



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Kauno CŠT sistemos šilumos pajėgumų išnaudojimo didinimo,
nešildymo sezono metu, galimybių tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Karolis Dmuhovskis

Projekto autorius

dr. Raminta Skvorčinskienė

Vadovė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Kauno CŠT sistemos šilumos pajėgumų išnaudojimo didinimo, nešildymo sezono metu, galimybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (6211EX023)

Karolis Dmuchovskis
Projekto autorius

dr. Raminta Skvorčinskienė
Vadovė

Prof. habil. dr. Gintautas Miliauskas
Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Karolis Dmuhovskis

Kauno CŠT sistemos šilumos pajėgumų išnaudojimo didinimo, nešildymo sezono metu, galimybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Karolis Dmuhovskis

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui (-ei)	Karoliui Dmuchovskiui
Projekto tema	<u>Kauno CŠT sistemos šilumos pajėgumų išnaudojimo didinimo, nešildymo sezono metu, galimybių tyrimas</u> <u>Investigation of the Possibilities of Increasing the Heat Capacity Utilization of Kaunas DH System During the Non – Heating Season</u>
Darbo tikslas ir uždaviniai	<p>Magistranto darbo tikslas įvertinti nešildymo sezono metu Kauno miesto CŠT sistemoje perteklinės šilumos energijos potencialą. Taip pat atlikti analizę susidariusio šilumos potencialo panaudojimui pasitelkus sezoninės šiluminės talpos ir centralizuoto vėsumos tiekimo technologijomis.</p> <p>Darbo uždaviniai:</p> <ul style="list-style-type: none">• Atlikti Kauno miesto CŠT sistemos analizę, identifikuoti susidarantį šilumos perteklių bei įvertinti galimus Kauno miesto vėsumos vartotojus;• Atlikti šaltinio mašinų ir sezoninių šiluminių talpų apžvalgą, apžvelgti veikimo principus;• Įvertinti nagrinėjamų technologijų technines pritaikymo galimybes Kauno miesto CŠT ir galimą poveikį sistemos objektams;• Atlikti techno-ekonominę analizę.
Reikalavimai ir sąlygos	Magistro baigiamasis projektas turi atitikti metodiniuose nurodymuose pateiktus reikalavimus.
Vadovė	dr. Raminta Skvorčinskienė (vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)
	2021-02-18 (data)

Dmuchovskis Karolis. Kauno CŠT sistemos šilumos pajėgumų išnaudojimo didinimo, nešildymo sezono metu, galimybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas vadovė dr. Raminta Skvorčinskienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: CŠT, perteklinė šilumos energija, sezoninė šiluminė talpa, centralizuotas vėsumos tiekimas.

Kaunas, 2021. 75 p.

Santrauka

Dalis CŠT sistemų susiduria su iššūkiu, kaip panaudoti perteklinę šilumos energiją, pagaminamą nešildymo sezono metu. Dažniausiai šis šilumos energijos potencialas yra nepanaudojamas ir yra tiesiog atiduodamas į aplinką. Šiame baigiamajame darbe analizuojama galimybė išnaudoti tokį nešildymo sezono metu esantį šilumos energijos perteklių pasitelkiant dvi tokiam tikslui dažniausiai naudojamas technologijas: sezoninę šiluminę talpą ir centralizuotos vėsumos tiekimą.

Baigiamajame darbe atliekama sezoninės šiluminės talpos ir centralizuoto vėsumos tiekimo galimybių tyrimas pasirinktoje Kauno miesto CŠT sistemoje. Pateikiama šilumos energijos poreikio analizė ir įvertinamas Kauno miesto vėsumos poreikis. Atliekama pasirinktų technologijų techninė analizė, pateikiama naudojama skaičiavimo metodika, įvertinamas nešildymo sezono metu pakeliamo temperatūrinio grafiko įtaka šilumos nuostoliams tinkle. Galiausiai ekonominė analizės metu ir pristatomi technologijų atskiri ir bendri rezultatai.

Dmuchovskis Karolis. Investigation of the Possibilities of Increasing the Heat Capacity Utilization of Kaunas DH System During the Non – Heating Season. Master's Final Degree Project supervisor Dr. Raminta Skvorčinskienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: DH, excess heat energy, seasonal heat storage, district cooling.

Kaunas, 2021. 75 Number of pages.

Summary

Some district heating networks are faced with a challenge of using excess heat produced during the off-season. Usually, this thermal energy potential is untapped and is simply released into the environment. This final work analyses the possibility of utilizing such excess heat energy during the non-heating season by taking advantage of two most commonly used technologies for this purpose: seasonal heat storage and district cooling.

In this final work, the research of seasonal heat storage and district cooling possibilities in the selected Kaunas city district heating system is performed. Both the analysis of heat energy demand and an estimation of cooling demand in Kaunas city is performed. The technical analysis of the selected technologies is done, the calculation methodology is presented, and the influence of the temperature curve raise during the non-heating season on the heat losses in the network is evaluated. Finally, the economic analysis also presents the individual and overall results of both technologies.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Kauno miesto CŠT tinklo analizė ir šalčio vartotojų analizė	15
1.1. Nagrinėjamo tinklo CŠT poreikis ir gamybos balansas	15
1.2. Aukščiausią prioritetą turinčių gamintojų kainų analizė	16
1.3. Potencialių šalčio vartotojų identifikavimas, parinkimas tolimesnei analizei.....	17
2. Šalčio mašinų apžvalga ir sezoninių šiluminių talpų apžvalga	20
2.1. Kompresorinė šalčio mašina.....	20
2.1.1. Idealus Karno ciklas	21
2.1.2. Teorinis šaldymo mašinos ciklas.....	22
2.1.3. Kompresorinių šalčio mašinų darbo agentai	23
2.2. Absorbcinė šalčio mašina	24
2.2.1. Absorbcinės šalčio mašinos veikimo principas	24
2.2.2. Absorbcinės šalčio mašinos Karno ciklas	25
2.2.3. Absorbcinės šalčio mašinos darbo agentai	26
2.2.4. Kristalizacija.....	27
2.3. Sezoninės šiluminės talpos	28
2.3.1. Izoliacinės medžiagos.....	32
2.3.2. Stratifikacija	34
3. Techninė analizė	36
3.1. Sezoninės šiluminės talpos skaičiavimo metodika ir darbo režimai	36
3.1.1. Sezoninės šiluminės talpos geometrija.....	36
3.1.2. Sezoninės šiluminės talpos energijos kiekis bei šilumos nuostoliai.....	36
3.1.3. Sezoninės šiluminės talpos darbo režimai.....	39
3.2. Sezoninės šiluminės talpos pagrindiniai parametrai.....	45
3.3. Konceptualios sezoninės šiluminės talpos lokacijos	45
3.4. Absorbcinės šalčio mašinos panaudojimas šalčio gamybai	47
3.5. Kauno miesto integruoto tinklo temperatūrinio grafiko pakėlimo įtaka šilumos nuostoliams	50
4. Ekonominė analizė.....	52
4.1. Sezoninės šiluminės talpos šilumos pardavimo kaina.....	52
4.2. Taupomos dujų šilumos savikainos įvertinimas.....	54
4.3. Sezoninės šiluminės talpos projekto kaštai	55
4.3.1. Su pradinėmis investicijomis susiję kaštai	55
4.3.2. Fiksuoti eksploataciniai kaštai.....	56
4.3.3. Kintamieji eksploataciniai kaštai.....	56
4.3.4. Kiti kaštai.....	57
4.4. Centralizuoto vėsumos tiekimo projekto kaštai	57
4.4.1. Su pradinėmis investicijomis susiję kaštai	57
4.4.2. Fiksuoti eksploataciniai kaštai.....	58
4.4.3. Kintamieji eksploataciniai kaštai.....	58
4.5. Parduodamos vėsumos kainos įvertinimas	59
5. Skaičiavimo rezultatai.....	60

5.1. Sezoninės šiluminės talpos ekonominis vertinimas	60
5.1.1. Sezoninės šiluminės talpos su kompresoriniu šilumos siurbliu ekonominis vertinimas	60
5.1.2. Sezoninės šiluminės talpos su absorbciniu šilumos siurbliu ekonominis vertinimas.....	64
5.2. Centralizuotos vėsumos tiekimo ekonominis vertinimas	68
5.3. Suminis projektų ekonominis vertinimas	70
Išvados	72
Literatūra	73

Lentelių sąrašas

3.1 lentelė. Sezoninės šiluminės talpos pagrindiniai parametrai	45
4.1 lentelė. 1 MW galios hibridinės aušyklės parametrai	58
5.1 lentelė. Techniniai ekonominiai sezoninės šiluminės talpos su KŠS projekto rodikliai.....	64
5.2 lentelė. Techniniai ekonominiai sezoninės šiluminės talpos su AŠS projekto rodikliai.....	66
5.3 lentelė. Ekonominiai sezoninės šiluminės talpos projekto rodikliai	68
5.4 lentelė. Techniniai ekonominiai centralizuoto vėsumos tiekimo rodikliai	68
5.5 lentelė. Ekonominiai suminiai projektų rodikliai	71

Paveikslų sąrašas

1.1 pav.	Kauno miesto CŠT sistemos šilumos poreikio galios kitimo grafikas.....	15
1.2 pav.	Kauno miesto CŠT sistemos šilumos gamybos pasiskirstymas	16
1.3 pav.	Prioritetinių šilumos gamintojų parduodamas šilumos kiekis ir kaina.....	17
1.4 pav.	Kauno miesto vėsinamų pastatų plotai pagal seniūnijas	18
1.5 pav.	14 000 m ² ofiso pastato šalčio poreikio grafikas.....	19
1.6 pav.	Analizėje vertinami (pasirinkti) vėsumos vartotojai Šilainių ir Centro seniūnijose	19
2.1 pav.	Vienos pakopos kompresorinės šalčio mašinos schema	20
2.2 pav.	Atvirkštinis karno ciklas.....	21
2.3 pav.	Kompresorinės šaldymo mašinos ciklas	22
2.4 pav.	Vienos pakopos absorbcinės šaldymo mašinos schema.....	25
2.5 pav.	LiBr druskos kristalizacijos kreivė.....	28
2.6 pav.	Sezoninių šilumos talpų tipai	29
2.7 pav.	PTES talpos skerspjūvis	30
2.8 pav.	PTES kainos priklausomybė nuo talpos tūrio	31
2.9 pav.	PTES santykinė kainos priklausomybė nuo talpos tūrio	32
2.10 pav.	Vojens šiluminės talpos dangčio termovizijos nuotrauka	33
2.11 pav.	Dronninglund šiluminės talpos dangčio termovizijos nuotrauka.....	33
2.12 pav.	Marstal naujo šiluminės talpos dangčio termovizijos nuotrauka	34
2.13 pav.	Talpų įvadas ir išvadas su difuzoriais SUNSTORE 3 (kairėje) bei SUNSTORE 4 (dešinėje) projektuose	35
3.1 pav.	PTES talpos matmenys.....	36
3.2 pav.	Viršutinės talpos temperatūros ir energijos kiekio talpoje koreliacija	38
3.3 pav.	PTES įkrovimas.....	40
3.4 pav.	PTES įkrovimo loginė diagrama	41
3.5 pav.	PTES iškrovimas	42
3.6 pav.	PTES išsikrovimo loginė diagrama (1 variantas).....	43
3.7 pav.	PTES išsikrovimo loginė diagrama (2 variantas).....	44
3.8 pav.	Konceptuali SŠT (480 tūkst. m ³) lokacija netoli KKJ	46
3.9 pav.	Konceptuali SŠT (480 tūkst. m ³) lokacija netoli KKJ su sunkvežimiu	46
3.10 pav.	Konceptuali SŠT (200 tūkst. m ³) lokacija šalia KKJ	47
3.11 pav.	Konceptuali SŠT (210 tūkst. m ³) šalia IDEX Beruliškių katilinės.....	47
3.12 pav.	Šaldymo pastotės schema.....	48
3.13 pav.	Šaldymo mašinos veikimo loginė diagrama.....	49
3.14 pav.	Šaldymo pastotės veikimas savaitės bėgyje.....	50
3.15 pav.	Kauno miesto integruoto tinklo trasų ilgiai pagal paklojimo metus	51
4.1 pav.	Įvykusių aukcionų rezultatai Kauno miesto tinkle.....	52
4.2 pav.	Logistinės regresijos kreivė parodanti tikimybę laimėti aukcioną pagal pasiūlomą aukciono kainą	54
4.3 pav.	Hibridinės aušyklės darbo režimo priklausomybė nuo lauko oro temperatūros	59
5.1 pav.	Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią (1 variantas).....	60
5.2 pav.	Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir KŠS (1 variantas).....	61
5.3 pav.	Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir KŠS (2 variantas).....	63
5.4 pav.	Sezoninės šiluminės talpos su KŠS energijos balansas.....	63

5.5 pav.	Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią .	65
5.6 pav.	Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir AŠS.....	65
5.7 pav.	Sezoninės šiluminės talpos su AŠS energijos balansas.....	66
5.8 pav.	Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią .	67
5.9 pav.	Kauno miesto CŠT balansas su centralizuotu vėsumos tiekimu	69
5.10 pav.	Centralizuotos vėsumos tiekimo energijos balansas	70
5.11 pav.	Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir vėsumos gamyba	71

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

CŠT – Centralizuotas šilumos tiekimas;

KKJ – Kauno kogeneracinė jėgainė;

NŠG – Nepriklausomas šilumos gamintojas;

SŠT – Sezoninė šiluminė talpa;

KŠS – Kompresorinis šilumos siurblys;

AŠS – Absorbcinis šilumos siurblys;

KŠM – Kompresorinė šaldymo mašina;

AŠM – Absorbcinė šaldymo mašina.

Įvadas

Pastaraisiais metais didžiuosiuose Lietuvos miestuose, siekiant plėtoti žiedinės ekonomikos principą, buvo pastatytos atliekų deginimo kogeneracinės elektrinės, kurių pagrindinė paskirtis yra mažinti sąvartynuose šalinamų komunalinių atliekų, kurios nebetinkamos perdirbti ir/arba pakartotinai naudoti, kiekį. Šiose elektrinėse deginamos komunalinės kilmės atliekos panaudojamos kaip kuras elektros energijos ir centralizuotai tiekiamos šilumos energijos gamybai, kas leidžia atgauti ir naudingai panaudoti dalį atliekose esančio energijos kiekio.

Eksplatuojant atliekų deginimo jėgaines siekiam, kad kuo didesnę laiko dalį jos dirbtų pilnai kogeneraciniu režimu nominaliu galingumu. Tačiau ne visose CŠT sistemose, kuriose tokios jėgaines yra eksploatuojamos, šilumos poreikis nešildymo sezono metu leidžia tokį darbo režimą užtikrinti. Tokiu atveju, nešildymo sezono metu ar bet kuriuo kitu metu, kuomet šilumos gamyba viršija šilumos poreikį sistemoje, norint išlaikyti nominalią elektros energijos gamybą ir nemažinti atliekų deginimo pajėgumų, atliekų deginimo jėgaines turi pasitelkti priemonės, leidžiančias nuvesti šilumos energijos perteklių į aplinką. Lietuvoje dažniausiai naudojamos aušyklės, kurių eksploatacija reikalauja elektros energijos ir kitų eksploatacinių sąnaudų. Toks sprendimas ekonominiu-aplinkosauginiu požiūriu neatrodo racionalus.

Susidariusi situacija sudaro prielaidas nagrinėti kitus būdus, leidžiančius geriau panaudoti jėgaines produktus ir kogeneracijos privalumus. Vienas iš šių būdų yra padengti šildymo sezono metu patiriamus šilumos energijos poreikio pikus panaudojant nešildymo sezono metu pagamintą šilumos energiją. Tai galėtų būti įgyvendinta taikant Danijoje ir kitose Skandinavijos šalyse paplitusį šilumos energijos akumuliaciją sezoninėse šiluminėse talpose. Taikant šią technologiją, nešildymo sezono metu akumuliuojama perteklinė šiluma, kuri vėliau panaudojama šilumos energijos pikams padengti šildymo sezono metu. Tai leidžia ne tik perkelti šilumos energijos gamybos poreikį į nešildymo sezoną, bet ir sumažinti iškastinio kuro dalį CŠT kuro balanse.

Kitas galimas būdas yra šilumos poreikio didinimas nešildymo sezono metu. Tai gali būti atliekama ne tik prijungiant naujus šilumos energijos vartotojus, bet ir įrengiant naujus šilumos energijos naudotojus/imtuvus, kurie nešildymo sezono metu šilumos energiją naudoja vėsumos gamybai. Tokį kriterijų atitinkanti technologija yra absorbcinės šaldymo mašinos, kurios naudojamos vėsumos gamybai.

Detaliai šių šilumos tiekimo organizavimo būdų taikymo tikslingumo analizei buvo pasirinktas Kauno miesto integruotas tinklas.

Baigiamojo darbo tikslas – įvertinti nešildymo sezono metu Kauno miesto CŠT sistemoje esantį perteklinės šilumos energijos kiekį ir apžvelgti kaip šis potencialas galėtų būti išnaudojamas pasitelkus sezoninės šiluminės talpos ir centralizuoto vėsumos tiekimo technologijas.

Darbo uždaviniai:

- išanalizuoti Kauno miesto CŠT sistemą ir įvertinti galimus Kauno miesto vėsumos vartotojus;
- atlikti šalčio mašinų ir sezoninių šiluminių talpų apžvalgą, iširti veikimo principus;
- įvertinti nagrinėjamų technologijų technines pritaikymo galimybes Kauno miesto CŠT ir galimą poveikį sistemos objektams;

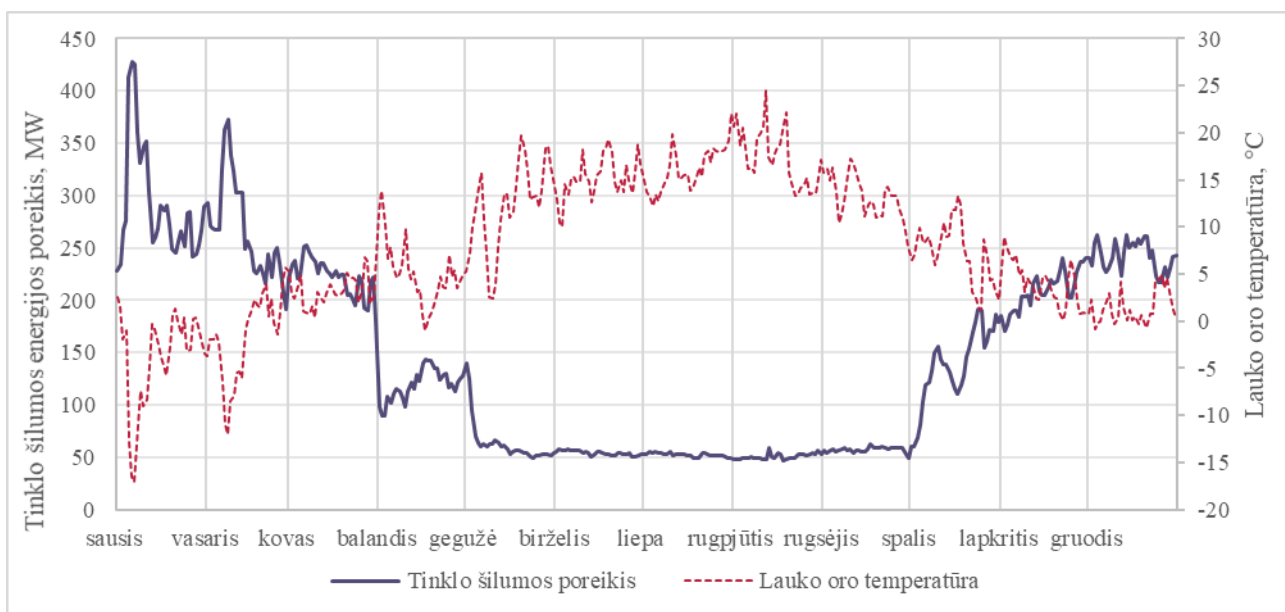
- atlikti analizuojamų technologijų finansinę-ekonominę analizę;

1. Kauno miesto CŠT tinklo analizė ir šalčio vartotojų analizė

1.1. Nagrinėjamo tinklo CŠT poreikis ir gamybos balansas

Remiantis, Baltpool [1] duomenimis, 2020 metais Kauno miesto CŠT tinkle buvo suvartota ~1 283 GWh šilumos energijos. Šiame darbe modeliuojant skaičiavimus yra priimama, kad Kauno miesto CŠT tinklo apkrovos kitimo grafikai yra panašūs kiekvienais metais. Tai reiškia, jog šilumos poreikio grafiko pikų reikšmės išlieka vienodos, šildymo sezonas pradedamas ir baigiamas panašiu metu, nešildymo sezono metu išlieka vienodas bazinis poreikis.

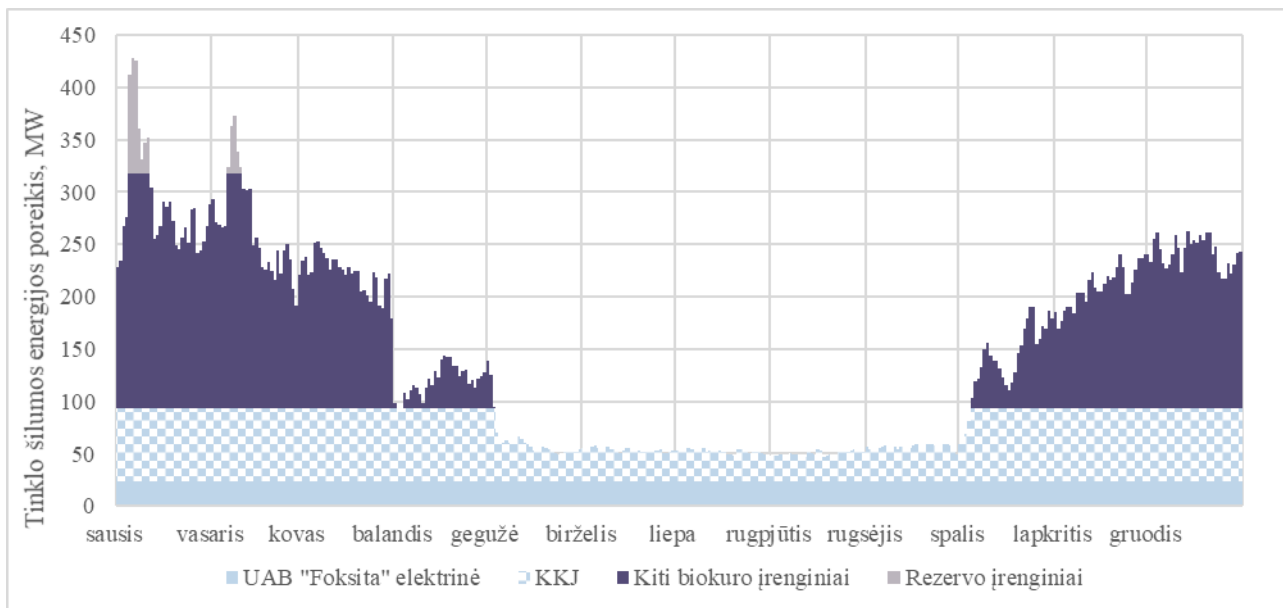
Sumodeliuotas Kauno miesto CŠT sistemos metinis poreikio grafikas (kas para) yra pateiktas toliau (žr. 1.1 pav.).



1.1 pav. Kauno miesto CŠT sistemos šilumos poreikio galios kitimo grafikas

Iš pateiktų duomenų matyti, jog bazinis šilumos poreikis nešildymo sezono metu sudaro apie 50 MW, kai tuo tarpu šildymo sezono metu pikinis poreikis siekia ~430 MW.

Kauno CŠT sistemoje veikiančių šilumos gamybos pajėgumų darbo modeliavimo pavyzdys pateikiamas 1.2 pav.



1.2 pav. Kauno miesto CŠT sistemos šilumos gamybos pasiskirstymas

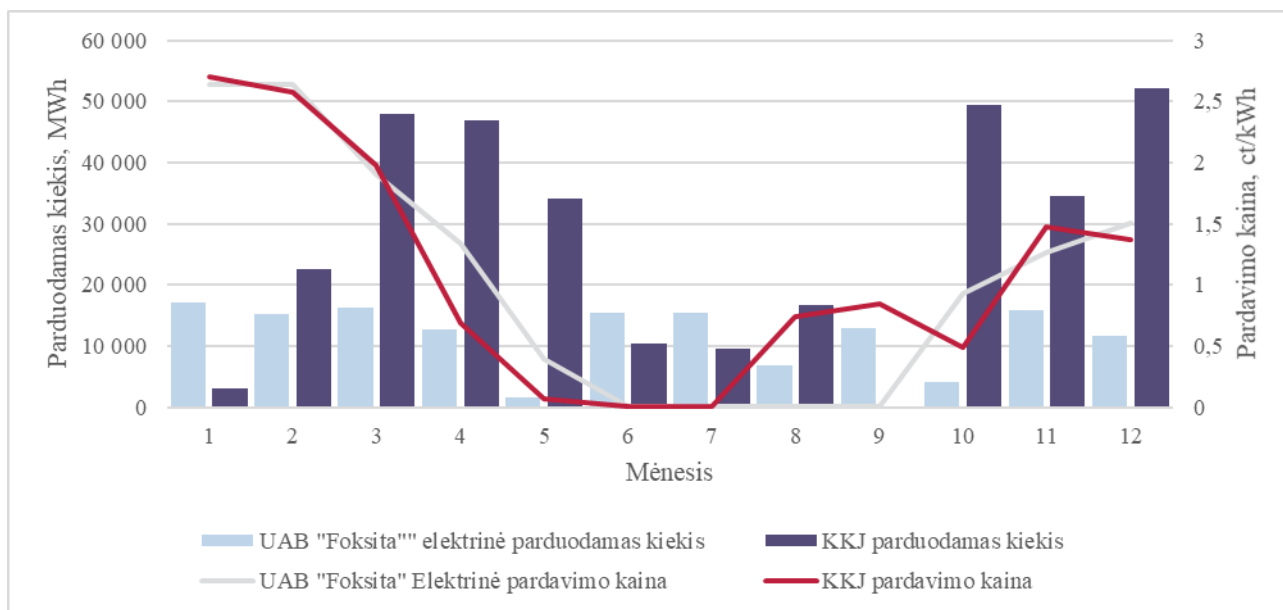
Vertinama, jog aukščiausią gamybos prioritetą turi UAB „Foksita“ elektrinė, kadangi pradėjo savo veiklą anksčiau ir Kauno kogeneracinė jėgainė (toliau KKJ), kuri daugeliu atvejų aukcionuose gali pasiūlyti žemiausią šilumos energijos kainą. Toliau daroma prielaida, jog pagal gamybos prioritetą rikiuojasi kiti biokurą naudojančios įrenginiai, tarp kurių patenka Kauno CŠT esantys NŠG bei AB „Kauno energija“ eksploatuojami vandens šildymo katilai. Tuo tarpu, šilumos poreikio pikus užtikrina rezervo įrenginiai.

Iš pateikto grafiko, galime daryti prielaidą, jog didžioji dauguma šilumos gamybos pajėgumų, nešildymo sezono metu nėra išnaudojami, tačiau, esant pikiniams poreikiams arba staigiems poreikio pokyčiams, jų neužtenka ir tuomet naudojamas iškastinis kuras.

Šiame darbe nagrinėjamos galimybės suvienodinti metinį šilumos energijos poreikį pasitelkiant sezoninių šilumos talpų bei šaldymo mašinų integravimą į esamą Kauno miesto CŠT sistemą. Šių technologijų apžvalga pateikiama kituose skyriuose.

1.2. Aukščiausią prioritetą turinčių gamintojų kainų analizė

Vertinant Kauno miesto CŠT sistemoje veikiančių prioritetinių šilumos gamybos įrenginių siūlomas šilumos energijos kainas, galime pastebėti, jog nešildymo sezono metu tiek KKJ, tiek UAB „Foksita“ elektrinė dažnai atvejais, šilumą parduoda už mažiausią leidžiamą 0,01 ct/kWh kainą. Parduodamų šilumos kiekių bei kainų grafiką galima pamatyti 1.3 paveiksle:



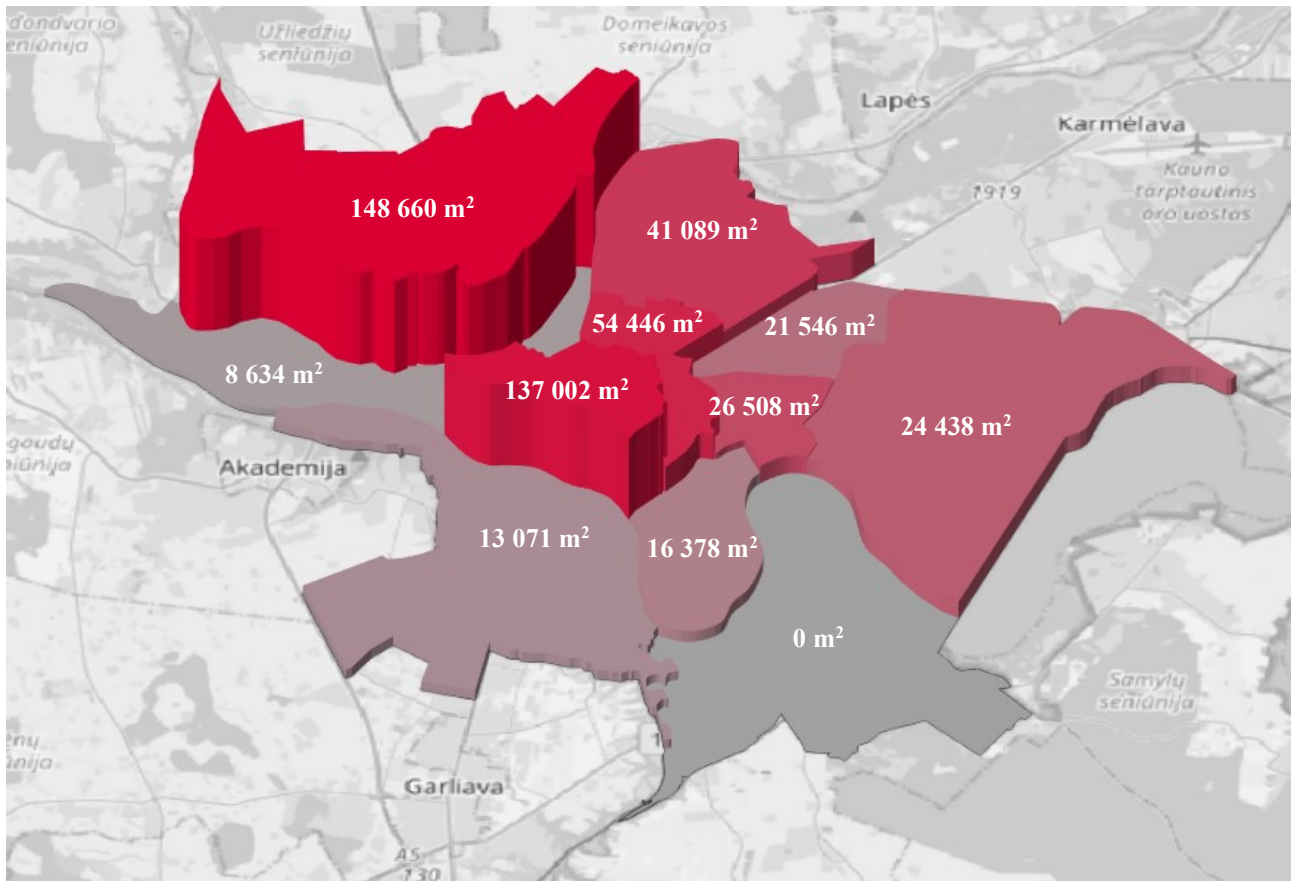
1.3 pav. Prioritetinių šilumos gamintojų parduodamas šilumos kiekis ir kaina

Pagrindinė tokių mažų į tinklą parduodamų šilumos kainų priežastis nešildymo sezono metu yra ta, kad kogeneracinių jėgainių galimas pagaminti šilumos kiekis viršija poreikį. Tai reiškia, kad kogeneracinė jėgainė, pavyzdžiui, KKJ, norėdama pilnu pajėgumu deginti atliekas ir gaminti elektros energiją, siekia kuo daugiau šiluminės energijos atiduoti į tinklą. Šilumos energija atliekų deginimo kogeneracinės jėgainės atveju yra atliekinė energija, tačiau šios šilumos išmetimas per aušykles ne tik reiškia negautas pajamas, bet ir sąlygoja papildomas sąnaudas elektros energijai nuvedimo per aušykles metu.

1.3. Potencialių šalčio vartotojų identifikavimas, parinkimas tolimesnei analizei

Kadangi dėl viešų duomenų stokos tiksliai įvertinti šalčio potencialo Kauno mieste neįmanoma, preliminariam vertinimui buvo panaudoti *Registru centro* viešiniai pastatų duomenys [35]. Pasirinkus Kauno miesto duomenis, siekiant, atrinkti, potencialių, vėsinamų pastatų plotą, buvo filtruojami administracinės, prekybos, sporto paskirties, kondicionavimą arba vėdinimą su kondicionavimu pastatai. Taip pat buvo filtruojamas ir šių pastatų amžius ir naudojamas, pasirenkant tik pastatus pastatytus nuo 2000 metų ir turinčius virš 3 000 tūkst. m² bendro ploto, taip darant prielaidą, kad filtruojami pastatai pakankamai modernūs ir dideli, kad turėtų centralizuotą vėsumos tiekimo sistemą.

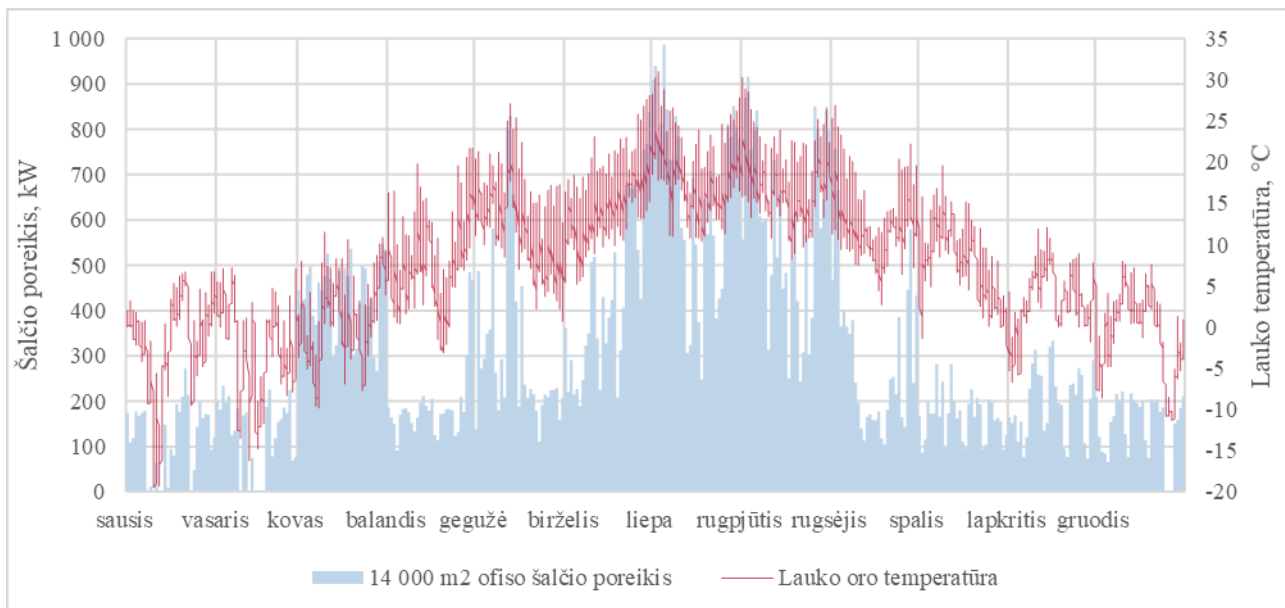
Iš viso buvo gauti 38 objektai. Kadangi, apie viešinius pastatus nėra pakankamai informacijos, kad jie būtų tiksliai identifikuojami, gauti rezultatai atvaizduojami seniūnijų lygmenyje 1.4 pav.



1.4 pav. Kauno miesto vėsinamų pastatų plotai pagal seniūnijas

Kaip matyti iš paveikslėlio, didžiausios vėsinamų plotų koncentracijos yra sutelktos Šilainių ir Centro seniūnijose. Abiejose seniūnijose didžiąją dalį vėsinamo ploto sudaro didieji prekybos centrai, „Mega“ ir „Akropolis“, atitinkamai ~90 % ir ~40 % ploto.

Kadangi, viešų duomenų apie šių objektų metinį šalčio poreikį nėra, o kiekvieno objekto modeliavimas ir šalčio poreikio prognozė būtų bet koku atveju pagrįsta tam tikromis prielaidomis, šiame darbe buvo pasirinkta pasinaudoti sumodeliuotu tipinio, 14 000 m² ofiso pastato šalčio poreikio valandiniu grafiku, kuris pateiktas 1.5 paveiksle.

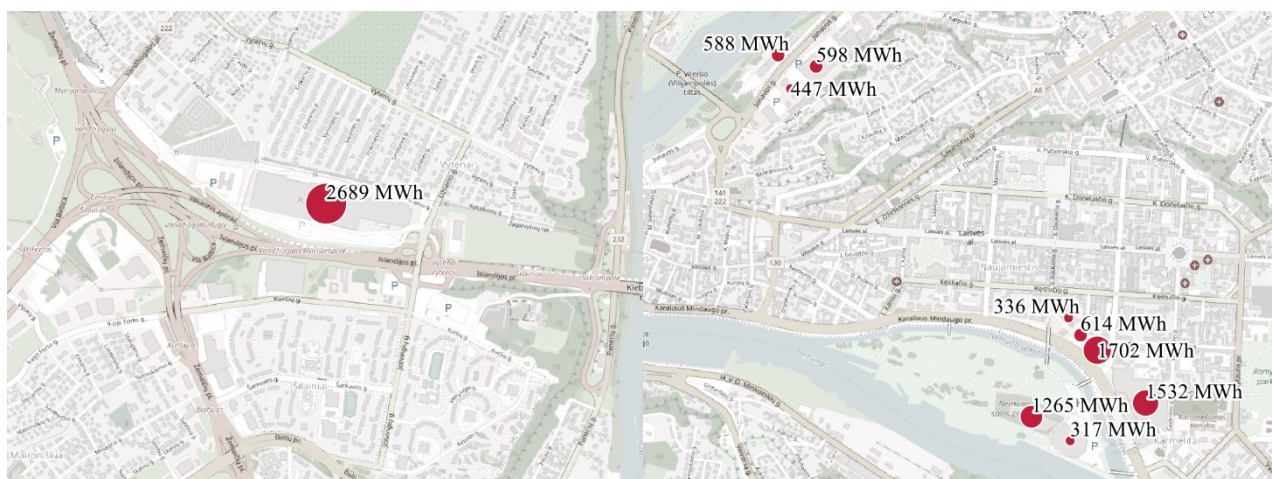


1.5 pav. 14 000 m² ofiso pastato šalčio poreikio grafikas

Iš pateikto grafiko matome, kad tokio ploto pastatas karščiausiomis metų dienomis galėtų reikalauti apie 1 MW vėsumos, o bendrai vertinama, kad per metus 14 000 m³ ofisas suvartoja ~1 117 MWh šalčio energijos.

Šiame darbe pasirinktiems šalčio vartotojams, šalčio poreikio galia ir kitimo profilis buvo nustatyti laikantis 1.5 paveiksle pateikto pavyzdžio, įvertinant objektų vėsinamų patalpų plotą. Taip pat, siekiant, kad šalčio vartotojų santykinis poreikis nebūtų vienodas visiems objektams, valandinėms poreikio vertėms buvo pritaikytas atsitiktinis nuokrypis, kuris maksimaliai valandinę poreikio vertę galėjo padidinti arba sumažinti 20 %. Tokiu atveju šalčio poreikių profiliai išlieka panašūs, bet tuo pačiu nėra identiški. Tai sudarys realistiškesnį modelį vertinant centralizuotą vėsumos tiekimą tankiai lokalizuotiems vėsumos vartotojams.

Remiantis šiomis prielaidomis ir 1.4 pav. pateikta vėsinamų plotų informacija, buvo pasirinkta toliau nagrinėti didesnius vėsumos vartotojus, kurie yra lokalizuoti Šilainių ir Centro seniūnijose. Jie pateikiami 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Analizėje vertinami (pasirinkti) vėsumos vartotojai Šilainių ir Centro seniūnijose

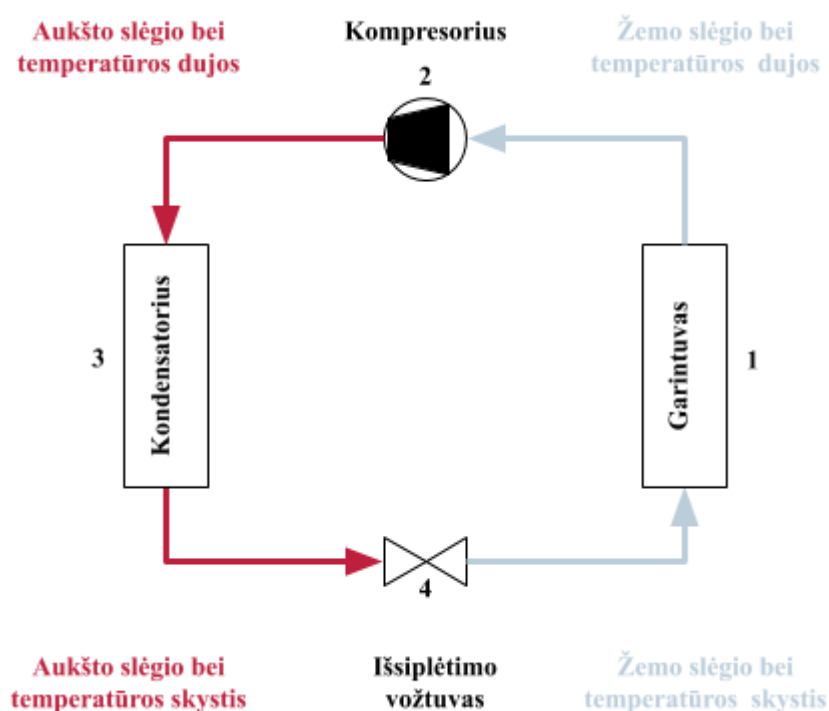
2. Šalčio mašinų apžvalga ir sezoninių šiluminių talpų apžvalga

Šalčio mašina – tai įrenginys užtikrinantis tam tikrą sistemos temperatūrą, kuri yra žemesnė lyginant su aplinkos, kurioje yra ši sistema temperatūra. Kadangi šaltis kaip dalykas fizikine prasme neegzistuoja, o tuo yra apibūdinami žemesnio energetinio potencialo kūnai, remiantis antru termodinamikos dėsniu, šalčio pagaminti neįmanoma, tačiau, tačiau yra galimybė atvėsinti sistemą, šilumos energiją pernešant kitai sistemai [2].

Šalčio mašinos yra skirstomos į 2 pagrindinius tipus, kompresorinius bei absorbcinius.

2.1. Kompresorinė šalčio mašina

Kompresorinė šalčio mašina yra populiariausia šalčio mašinų rūšis, kuri veikia cikliškai slegiant bei plečiant šaldymo agentą. Paprasčiausia vienos pakopos šaldymo mašina susideda iš 4 pagrindinių komponentų: garintuvo, kompresoriaus, kondensatoriaus bei išsiplėtimo vožtuvo. Vienos pakopos kompresorinės šalčio mašinos schema yra pateikta 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Vienos pakopos kompresorinės šalčio mašinos schema

Vienos pakopos kompresorinės šalčio mašinos darbo ciklas yra toks:

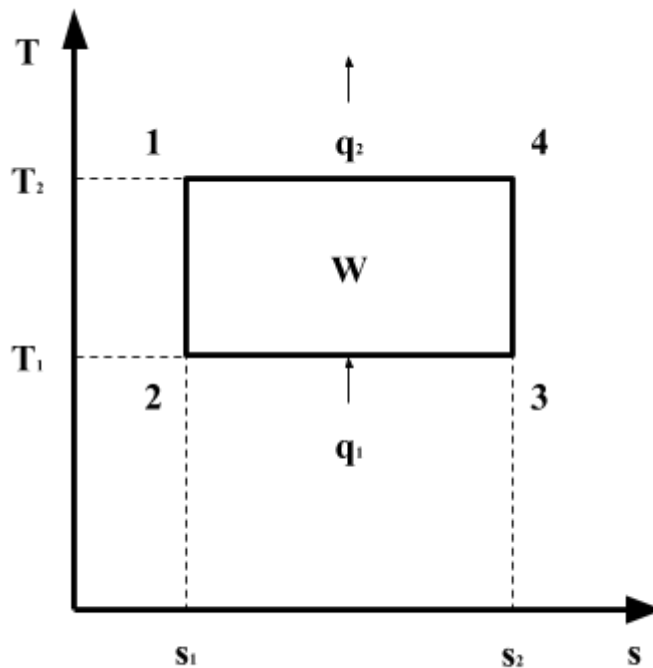
1. Garintuve, skystam, žemo slėgio darbo fluidui yra suteikiamas šilumos kiekis, fluidas yra išgarinamas;
2. Žemo slėgio dujos yra suslegiamos bei perkaitinamos kompresoriaus pagalba, panaudojant išorinį elektros energijos kiekį;
3. Aukšto slėgio bei temperatūros dujos kondensatoriuje kondensuojasi;

4. Panaudojus išsiplėtimo vožtuvą, aukšto slėgio skystis yra grąžinamas į pirminę būseną.

Pats kompresorinės šalčio mašinos veikimo principas yra paremtas fluidų fizine savybe keisti virimo temperatūrą priklausomai nuo slėgio. T.y. sumažinant fluideo slėgį jis gali būti išgarinamas pasitelkus mažesnes temperatūras ir atvirkščiai, padidinus slėgį kondensacijos procesas vyksta prie aukštesnių nei paprastai fluideo temperatūrų.

2.1.1. Idealus karno ciklas

Atvirkštinis karno ciklas nusako idealios vienos pakopos šaldymo mašinos darbą. Tokio ciklo T-S diagrama (2.2 pav.) yra pateikiama žemiau:



2.2 pav. Atvirkštinis karno ciklas

Cikle vyksta šie procesai:

- 2-3: Izoterminis plėtimasis. Iš žemos temperatūros aplinkos paimama šiluma q_2 ;
- 3-4: Adiabatinis suslėgimas. Darbo kūno temperatūra pakyla nuo T_1 iki T_2
- 4-1: Izoterminis suslėgimas. Darbo kūnas atiduoda aukštesnės temperatūros aplinkai šilumą q_1
- 1-2: Adiabatinis plėtimasis. Darbo kūno temperatūra nuo T_2 sumažėja iki T_1

Šilumos kiekis paimamas iš žemos aplinkos temperatūros yra aprašomas taip:

$$q_1 = T_1 \Delta s. \quad (1)$$

Šilumos kiekis paimamas iš aukštesnės aplinkos temperatūros yra aprašomas taip:

$$q_2 = T_2 \Delta s. \quad (2)$$

Ciklo plotas 1234 vaizduoja kompresoriuje sunaudoto darbo kiekį ir yra lygus:

$$W = T_2 \Delta s - T_1 \Delta s = q_2 - q_1. \quad (3)$$

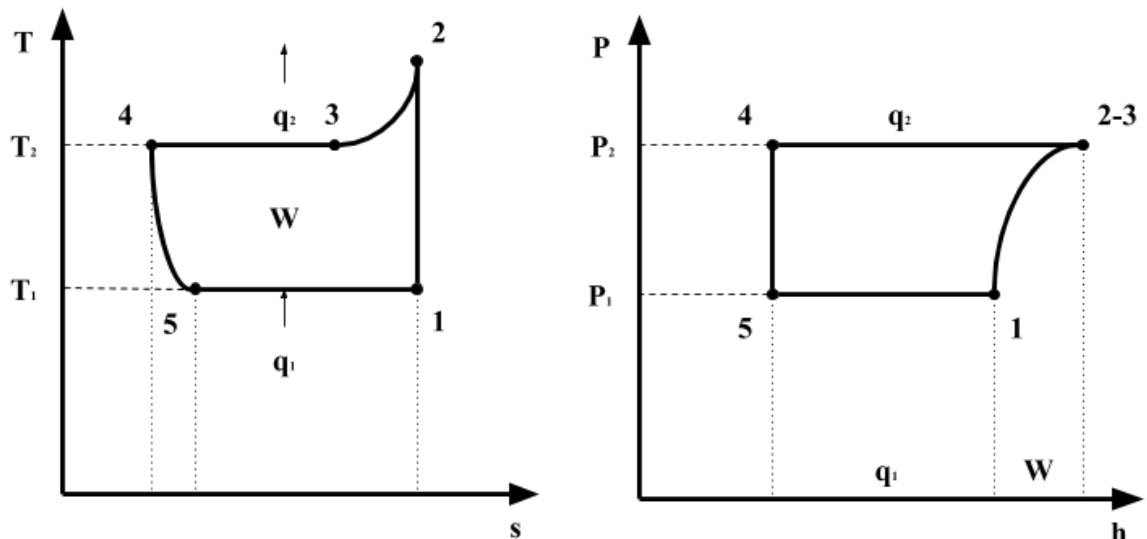
Tuomet šaldymo mašinos COP (angl. Coefficient Of Performace) yra apskaičiuojamas taip:

$$COP_c = \frac{q_1}{q_2 - q_1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}. \quad (4)$$

Matome, jog idealaus karno ciklo efektyvumas priklauso tik nuo temperatūrų skirtumo.

2.1.2. Teorinis šaldymo mašinos ciklas

Kadangi kompresijos procesas yra negrįžtamas, realiame gyvenime atvirkštinio karno ciklo pasiekti neįmanoma, tačiau galima būti labai arti jo. Realus šaldymo mašinos ciklas yra pateikiamas 2.3 paveiksle:



2.3 pav. Kompresorinės šaldymo mašinos ciklas

- 1-2: Kompresorius įsiurbia iš garintuvo darbo fluideo garą ir jį adiabatiškai suslegia;
- 2-3: Kondensatoriuje garas izobariškai aušta ir tampa sausu sočiuoju garu;
- 3-4: Izoterminė – izobarinė kondensacija;
- 4-5: Kondensatas varomas pro išsiplėtimo vožtuvą, esant pastoviai entalpijai krinta darbo fluideo temperatūra;
- 5-1: Izoterminis – izobarinis garavimas

Šaldymo galia matoma P – h diagramoje ir gali būti apskaičiuojama taip:

$$Q_1 = m \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot (h_1 - h_3), \quad (5)$$

čia:

m – darbo fluideo masinis debitas, kg/s

Reikiamas darbo kiekis yra:

$$W = \frac{m \cdot (h_2 - h_1)}{\eta}, \quad (6)$$

čia:

η – kompresoriaus efektyvumas

Tuomet realios šaldymo mašinos COP (angl. Coefficient Of Performace) yra apskaičiuojamas taip:

$$COP_C = \frac{Q_1}{W} = \eta \cdot \frac{(h_1 - h_3)}{(h_2 - h_1)}. \quad (7)$$

Kelių pakopų kompresorinio šilumos siurblio COP yra vadinamas Lorenz COP. Šiuo atveju norint pakelti temperatūras 30 – 50 K šilumos siurblys naudoja kelias pakopas, t. y. jš sudaro daugiau nei vienas kondensatorius. Toks COP apskaičiuojamas taip [3]:

$$COP_{Lorenz} = \frac{T_{lm,sink}}{T_{lm,sink} - T_{lm,source}}, \quad (8)$$

čia:

$$T_{lm} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\ln\left(\frac{T_{in}}{T_{out}}\right)}. \quad (9)$$

Čia T_{lm} vidutinė logaritminė temperatūra šaltinio bei nuvedamos šilumos šilumokaičių. Remiantis šiomis formulėmis šilumos siurblys, kuris pašildo vandenį nuo 45 iki 85 °C bei atvėsina šilumos šaltinį nuo 20 iki 15 °C, turės 7,2 COP, tačiau realus COP bus žymiai mažesnis dėl mechaninių bei šiluminių nuostolių, t. y. apie 40 – 60 % nuo teorinio COP:

$$COP_{tikras} = COP_{Lorenz} \cdot \eta_{Lorenz}. \quad (10)$$

2.1.3. Kompresorinių šalčio mašinų darbo agentai

Darbo agentas arba šaltnešis yra medžiaga arba medžiagų mišinys, kuris naudojamas šalčio mašinų ar šilumos siurblių cikle. Ciklo metu darbo agentas kelis kartus pakeičia savo fazę iš skystos į dujinę būseną.

Atsižvelgiant į techninius poreikius, darbo agentai pasižymi skirtingomis termodinaminėmis bei cheminėmis savybėmis. Taip pat reikia atkreipti dėmesį ir į jų saugumą sveikatai bei aplinkai.

Idealios darbo agento savybės yra pateikiamos žemiau [4]:

- Aukšta slaptosios garavimo šilumos vertė;
- Didelis darbo agento dujų tankis;
- Mažas garavimo bei kondensacijos proceso slėgių santykis;
- Kritinė temperatūra turi būti už darbo diapazono ribų;

- Cheminis stabilumas, suderamumas su konstrukcinėmis įrenginio medžiagomis bei tepamosiomis medžiagomis;
- Nekorozinis, netoksiškas ir nedegus;
- Stiprus dielektrikas;
- Saugus aplinkai;
- Žemos kainos.

Tačiau, suprantama, jog joks darbo agentas pilnai nepasižymi visomis šiomis savybėmis, todėl turi būti pritaikytas konkrečiam atvejui.

Ilgą laiką R22 buvo pagrindinis oro kondicionavimo darbo agentas. Tačiau, dėl ozono sluoksnį ardančių savybių šios medžiagos buvo atsisakyta ir kiti darbo fluidai kaip R134a, R407c bei R410a tapo pagrindiniais šaltnešiais kompresorinėse šaldymo sistemose.

Norint pasiekti žemesnes temperatūras bei išlaikyti didelį efektyvumą naudojamas R404A darbo agentas, kuris turi geresnes šilumos perdavimo savybes.

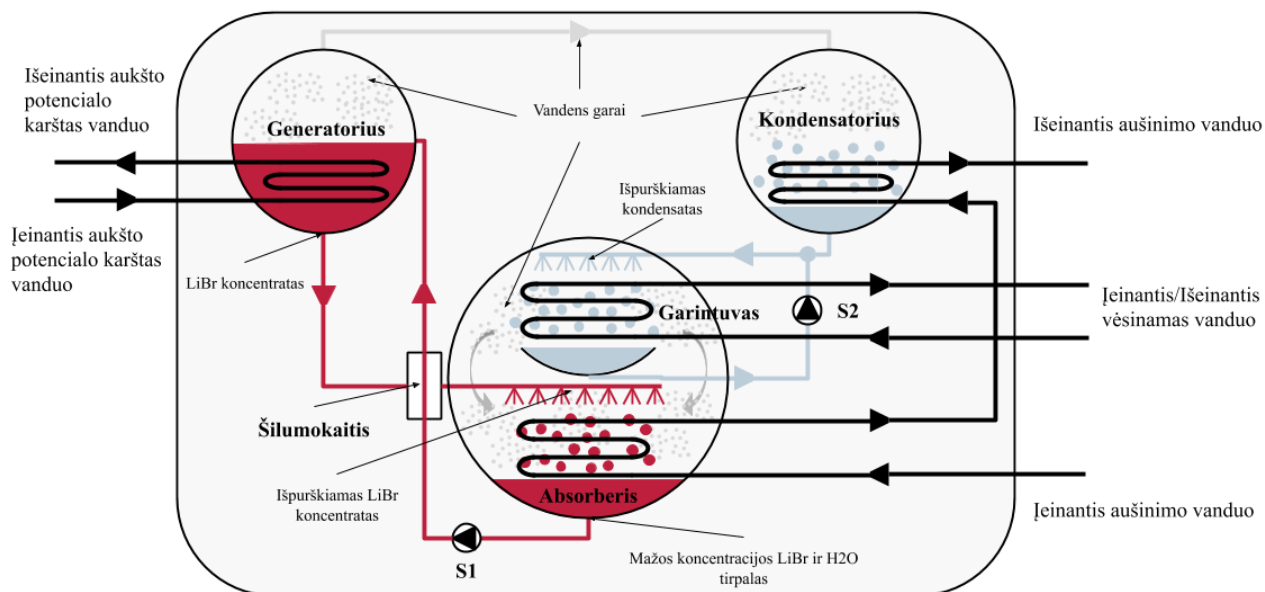
Amoniakas (R717) turi puikias termodinamines savybes bei lyginant su kitais šaldymo agentais yra pakankamai pigus. Didžiausi šio šaltnešio minusai yra didelis koroziskumas ties iš vario pagamintais elementais, todėl šaldymo sistema turi būti pagaminta iš plieno arba aliuminio. Taip pat amoniakas turi aukštą saugos reikalavimus dėl didelio toksiškumo. Tačiau, šiuos minusus kompensuoja tuo, jog yra visiškai saugus aplinkai.

2.2. Absorbcinė šalčio mašina

Absorbcinė šalčio mašina skiriasi nuo plačiai naudojamos kompresorinės šalčio mašinos tuo, jog kaip varomoji energija yra naudojama šilumos energija.

2.2.1. Absorbcinės šalčio mašinos veikimo principas

Nagrinėjamoje absorbcinėje šaldymo mašinoje, vanduo yra naudojamas kaip šaldymo agentas, o ličio bromido (toliau – LiBr) druskos tirpalas kaip absorbentas. 2.4 paveiksle pateikiamas absorbcinės šalčio mašinos veikimo principas. Raudona spalva žymi LiBr tirpalo cirkuliacinį kontūrą, mėlva – šaldymo agento, vandens kontūrą. Juoda – išorinį vandens kontūrą, kuris tiekia, nuveda, paima šilumos energiją, bet neturi tiesioginio kontakto su absorbcinėje šalčio mašinoje cirkuliuojančiais agentais.



2.4 pav. Vienos pakopos absorbcinės šaldymo mašinos schema

Į generatoriaus talpą, siurblio S1 pagalba per šilumokaitį yra tiekiamas mažos koncentracijos LiBr ir vandens tirpalas (apie 60% ant 40% atitinkamai). Generatoriuje šis tirpalas yra pakaitinamas ir užvirinamas naudojant aukšto potencialo šilumos šaltinį. Rektifikacijos proceso metu iš tirpalo yra išgarinamas vanduo, kuris nukreipiamas į kondensatorių, o generatoriuje lieka aukštos koncentracijos LiBr tirpalas.

Pasiekę kondensatorių, vandens garai atiduoda savo šilumą aušinimo vandeniui. Vandens garai kondensuojasi ir skysčio pavidalu iškrenta apatinėje kondensatoriaus dalyje.

Tolimesniame etape, sukondensuotas vanduo išpurškiamas į garintuvą, kuriame palaikomas vakuuminis slėgis. Slėgis garintuve yra toks, kad patekęs į jį vanduo užverda prie žemų temperatūrų (apie 7÷10 °C) ir vėl virsta garu. Vandens virsmui iš skystos fazės į garinę sunaudojamas ženklus šilumos kiekis (apie 2 489 kJ/kg), ši šiluma gaunama iš vandenio, kuris yra vėsinamas. Po garintuvo nespėjęs išgaruoti vanduo yra surenkamas ir siurblio S2 pagalba grąžinamas atgal į garintuvo purkštukus.

Apatinėje dalyje (po garintuvu) yra absorberis, į kurį išpurškiamas LiBr koncentruotas tirpalas. Kadangi, LiBr druska pasižymi labai geromis higroskopiškumo savybėmis, aplinkoje esančios vandens garų molekulės yra absorbuojamos aukštos koncentracijos LiBr tirpalo. Absorbcijos metu išsiskiria šilumos energija, kuri nuvedama panaudojus aušinimo vandens liniją. LiBr ir vandens tirpalas nusėda ir susikaupia absorberio dugne, iš kur gali būti surinktas ir vėl nukreiptas į generatorių.

2.2.2. Absorbcinės šalčio mašinos Karno ciklas

Teorinis maksimalus absorbcinės šaldymo mašinos COP yra Karno ciklo COP. Jis yra pateiktas žemiau [8]:

$$COP_C = \frac{T_E}{T_C - T_E} \cdot \frac{T_G - T_A}{T_G}, \quad (11)$$

čia:

T_E – Garintuvo temperatūra, °C;

T_G – Generatoriaus temperatūra, °C;

T_C – Kondensatoriaus temperatūra, °C;

T_A – Absorberio temperatūra, °C;

Galima pastebėti, jog pirma lygties dalis atitinka Karno ciklo COP kompresorinei šalčio mašinai (4 formulė). Antra formulės dalis nusako koncentruoto absorberio tirpalo cirkuliaciją tarp generatoriaus bei absorberio. Ši reikšmė visada mažesnė nei 1. Todėl absorbcinės šaldymo mašinos Karno COP yra visada mažesnis nei kompresorinės šaldymo mašinos.

Taip pat ši formulė parodo, jog aukštesnė generatoriaus temperatūra bei žemesnė absorberio temperatūra gali pagerinti COP, tačiau šios temperatūros yra tarpusavyje susijusios, todėl vienos pakopos absorbcinės šaldymo mašinos COP negali viršyti 1. Tai galima pasiekti su daugiapakope absorbcine šaldymo mašina, tačiau kaip rodo žemiau esanti formulė su kiekviena pakopa, gaunama nauda mažėja:

$$COP = \alpha + \alpha^2 \dots + \alpha^N = \frac{\alpha(1-\alpha^N)}{1-\alpha}, \quad (12)$$

čia:

α – Vienos pakopos COP.

Pats paprasčiausias būdas įvertinti absorbcinės šalčio mašinos COP yra nustatyti garintuve iš vėsinamo vandens absorbuotos šilumos kiekio Q_E santykį su generatoriuje patiektu šilumos kiekiu Q_G .

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G}. \quad (13)$$

2.2.3. Absorbcinės šalčio mašinos darbo agentai

Kaip jau minėta ankstesniame skyriuje absorbcinio šilumos siurblio veikimo principas yra paremtas šaldymo agento absorbcija bei išgarinimu. Todėl, absorbcinėje šalčio mašinoje yra naudojamas tirpalas, kuris dažniausiai susideda iš:

- LiBr druskos bei vandens. Šiuo atveju vanduo yra šaldymo agentas, o LiBr druska absorbentas.
- Amoniako bei vandens. Šiuo atveju amoniakas yra šaldymo agentas, o vanduo absorbentas.

Vanduo kaip šaldymo agentas turi gana aukštą specifinę garavimo šilumą, yra chemiškai stabilus, netoksiškas bei ekonomišką. Tačiau dėl mažo vandens garų slėgio talpoje yra reikalingas vakuumas, todėl įrenginys turi būti gerai apsaugotas nuo bet kokių nuotėkių. Taip pat dėl sąlyginai aukštos vandens užšalimo temperatūros, jo pritaikymas žemiau prie mažų temperatūrų yra neįmanomas. Todėl reali apatinė šaldymo riba siekia apie 5 °C. LiBr druskos tirpalo garų slėgis yra praktiškai nereikšmingas, o tirpalas netoksiškas bei mažos klampos. Vienas didelis LiBr druskos tirpalo minusas yra jo kristalizacijos rizika, apie kurią kalbama sekančiame skyriuje.

Tuo tarpu, amoniakas yra toksiškas, degus bei, esant tam tikroms koncentracijoms, sproguos ore. Dirbant su šiuo šaldymo agentu yra reikalingos specialios atsargumo priemonės. Taip pat amoniako garų slėgis yra aukštas, todėl yra reikalingi slėginiai indai bei didesnis siurblio našumas. Esant auštomis temperatūroms yra reikalingi slėgio reguliatoriai, kurie sumažina absorbcinės šalčio mašinos efektyvumą. Be to, generatoriuje išgaravęs amoniakas nėra grynas, todėl prieš jam patenkant į kondensatorių jis turi būti išgrynintas. Tačiau, amoniako bei vandens mišinys nesikristalizuoja. Taip pat šis mišinys gali dirbti prie tokių žemų temperatūrų kaip $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

Apibendrinant, amoniako/vandens yra sudėtingesni įrenginiai bei nėra tokie efektyvūs kaip LiBr/vandens, todėl šiame darbe nagrinėjamas absorbcinė šaldymo mašina, kurioje naudojamas LiBr bei vandens mišinys.

2.2.4. Kristalizacija

LiBr yra druska, kuri kietoje būsenoje pasižymi kristaline struktūra. LiBr druskai ištirpus vandenyje yra reikalinga palaikyti specifinę minimalią tirpalo temperatūrą, kuri priklauso nuo tirpalo koncentracijos. Jei ši temperatūra nukrenta žemiau minimalios ribos, prasideda druskos kristalizacija. Nedidelę įtaką tirpumo ribai sukelia ir aplinkos, kurioje yra tirpalas, slėgis.

Druskų kristalų susidarymas labai priklauso nuo jau esamų kristalų „židinių“. Jeigu šių nėra, tirpalas tampa prisotintas druskos, tai reiškia, jog druskos koncentracija pradeda viršyti tirpumo ribą ir laikui bėgant prasidės pirmųjų kristalų formavimasis, kurie taps reikalingais „židiniiais“ tolimesnių kristalų augimui.

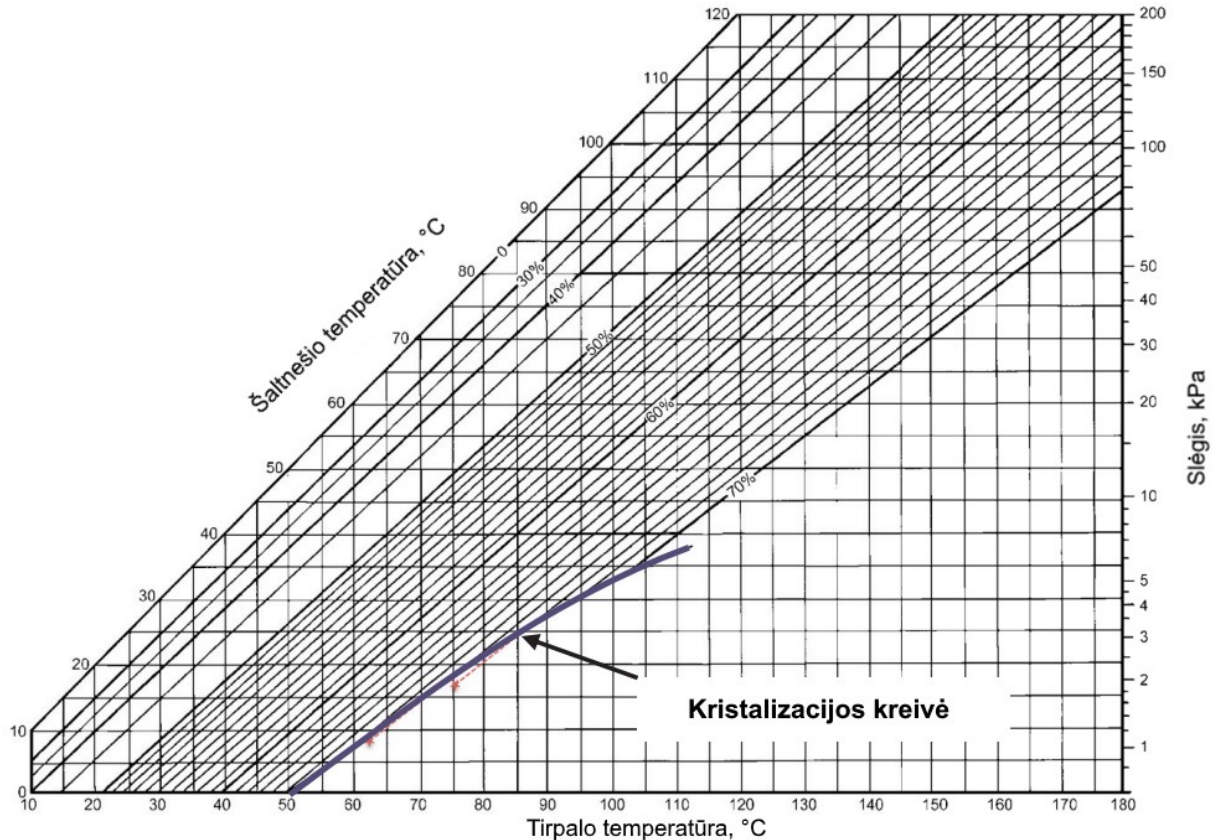
Absorbcinėje šaldymo mašinoje esant per aukštai LiBr tirpalo koncentracijai arba per žemai tirpalo temperatūrai susidaro kristalizacijos rizika. Dažniausiai tai pasireiškia šilumokaityje, kuomet būna ataušinamas didžiausios koncentracijos LiBr tirpalas. Siekiant sustabdyti kristalų augimą bei atsiradimą, koncentrato temperatūra turėtų būti padidinta taip padidinant tirpumo ribą bei ištirpinant susidariusius kristalus atgal į tirpalą. Taip pat į AŠM tirpalą yra įdedama specialių priemonių, kurios mažina kristalizacijos riziką.

Viena iš dažniausių kristalizacijos priežasčių yra oro patekimas į AŠM. Tai padidina garintuve esantį slėgį, dėl, kurio padidėja garintuvo temperatūros bei sumažėja jo galia. Taip pat korozijos metu susidariusios vandenyje netirpios dujos kaip vandenilis taip pat blogina kondensatoriaus bei absorberio darbą.

Šaltesnis nei įprastai kondensatoriaus vanduo bei didelės apkrovos režimas yra dar viena kristalizacijos priežastis. Tirpalo šilumokaityje mažos koncentracijos tirpalas gali per daug ataušinti aukštos koncentracijos tirpalą, kuris grįžta iš generatoriaus, taip sumažinant jo temperatūrą iki kristalizacijos ribos.

Trečia kristalizacijos priežastis gali būti elektros tiekimo sutrikimai. Esant normaliam AŠM stabdymui, įrenginyje yra vykdomas praskiedimo ciklas, kuris visuose įrenginio komponentuose sumažina tirpalo koncentraciją iki saugios ribos. Tokiu atveju, AŠM gali atvėsti iki aplinkos temperatūros be kristalizacijos rizikos. Netikėtai nutrūkus AŠM darbui yra didelė tikimybė, jog aukštos koncentracijos tirpalas esantis šilumokaityje kristalizuosis [6].

LiBr druskos kristalizacijos kreivė yra pateikiama žemiau 2.5 paveiksle:



2.5 pav. LiBr druskos kristalizacijos kreivė

Šioje P-T diagramoje, įstrižos linijos nusako tirpalo koncentraciją, kairėje pusėje yra vandens kreivė, o dešinėje kristalizacijos kreivė, kuri nusako kristalizacijos rizikos ribą.

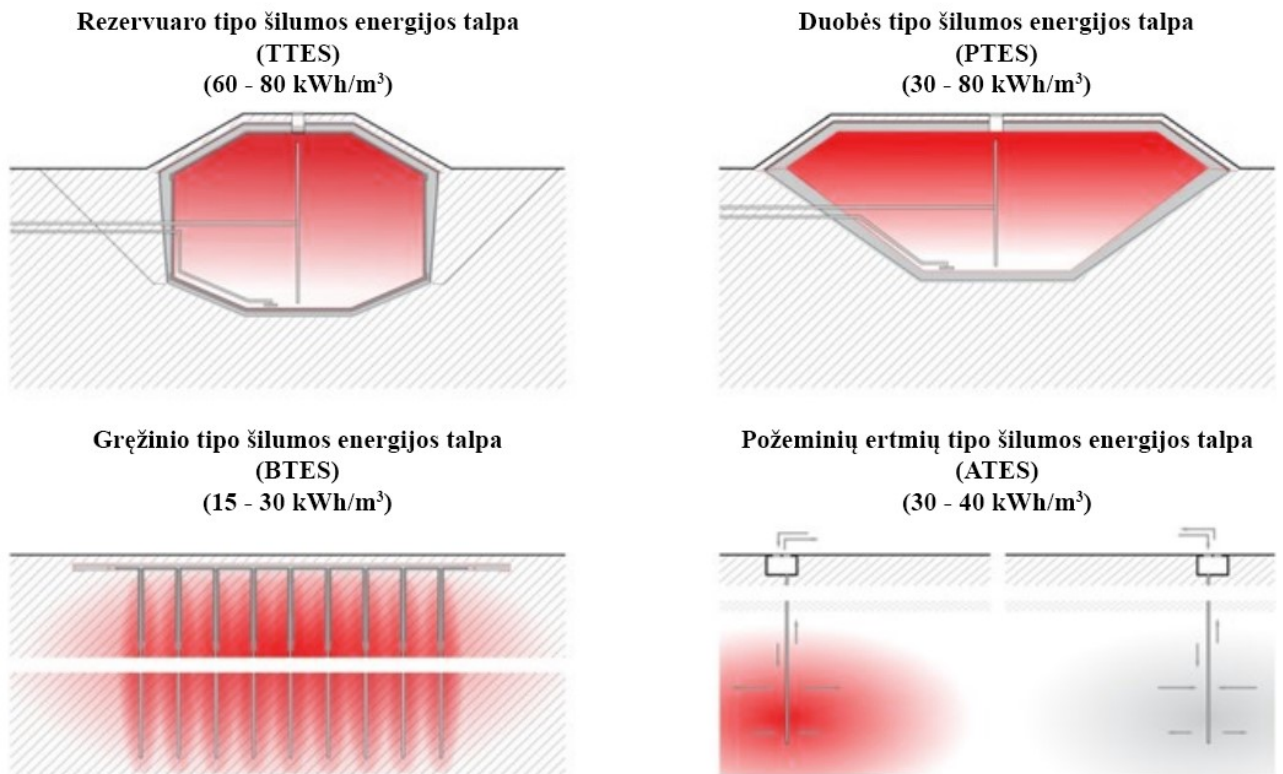
Praktikoje AŠM įrenginių LiBr tirpalo koncentracijos yra labai artimos šiai kristalizacijos kreivei, todėl siekiama išvengti, kad druskos nenusėtų ant vamzdynų taip sumažinant šilumos ir masės mainų bei viso įrenginio efektyvumą. Be to, laikui bėgant druskų formavimas gali visiškai užkimšti vamzdynus taip sustabdomas tirpalo tekėjimą, ko pasekoje turi būti stabdomas įrenginys [7].

2.3. Sezoninės šiluminės talpos

Sezoninės šilumos talpos (2.6 pav.) paprastai yra karšto vandens talpos, kurių šilumos kaupimo ciklas yra ilgesnis nei vienos savaitės ir gali būti iki vienerių metų. [9]

Šiuo metu CŠT sistemose yra populiarios šios sezoninių talpų sistemos:

- PTES (angl. Pit thermal energy storage) duobės tipo šilumos energijos talpa
- BTES (angl. Borehole thermal energy storage) gręžinio tipo šilumos energijos talpa su uždaru kontūru
- ATES (angl. Aquifer thermal energy storage) požeminių ertmių tipo šilumos energijos talpa su atviru kontūru
- TTES (angl. Tank thermal energy storage) rezervuaro tipo šilumos energijos talpa



2.6 pav. Sezoninių šilumos talpų tipai

TTES

TTES sezoninės šilumos talpos skiriasi nuo įprastų šilumai kaupti skirtų rezervuarų tuo, jog tiesiog yra didesnės. Lyginant su kitomis sezoninėmis šilumos talpomis, ši yra sunkiai pagrindžiama, nes didelio masto talpai yra reikalingas didelis kiekis plieno, todėl toliau ši technologija nėra nagrinėjama.

BTES

BTES yra sistema, kuri susideda iš vamzdžių esančių gręžiniuose bei šilumos siurblių. Šis šiluminės energijos talpos tipas reikalauja sąlyginai mažai žemės ploto bei paviršius gali būti skirtas kitoms reikmėms.

ATES

ATES talpos tipas yra naudojamas kaupiant šiltą arba šaltą vandenį požeminėse ertmėse. Šio tipo talpa pasižymi atviru kontūru, šilumos mainai vyksta tiesiogiai kontaktuojant vandeniui vertikaliais gręžiniais.

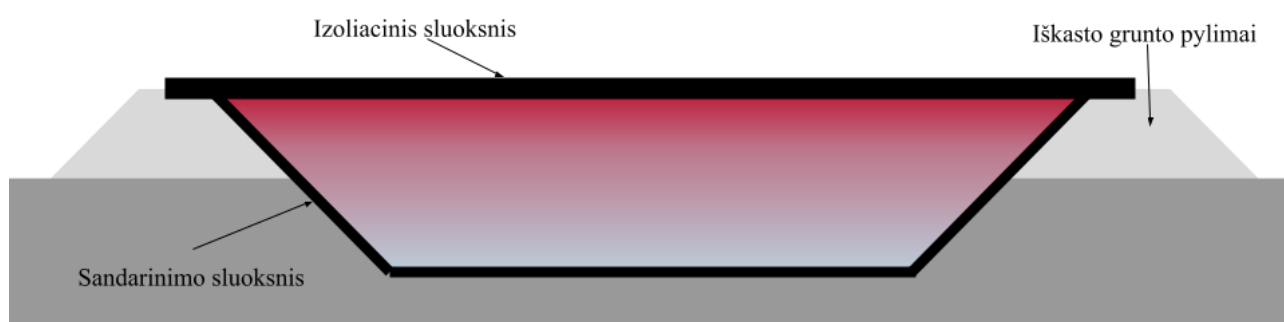
Tokios šiluminės talpos įkrovimas yra atliekamas siurbiant vandenį per šilumokaitį į kitą žemės ertmę. Taip šiluma yra kaupiama po žeme. Kai norima šią šilumą atgauti, šiltas vanduo į siurbiamas atgal per šilumokaitį ir šilumos siurblių, taip vėsinant šį vandenį ir pasiimant jame sukauptą šilumos energijos kiekį. Toliau vanduo yra siurbiamas atgal į pirmąją šalto vandens ertmę.

PTES

PTES talpos iš principo yra tiesiog dideli vandens rezervuarai, kurie naudojami kaupti šilumos energiją. Vandens naudojimas šilumai kaupti turi kelis pranašumus:

- Jis nėra toksiškas;
- Galima stratifikacija (Sluoksniavimas pagal skirtingas temperatūras);
- Aukšta savitoji šiluminė talpa;
- Geros šilumos perdavimo charakteristikos;
- Didelis prieinamumas ir pigumas.

PTES šilumos talpykla gali būti projektuojama įvairiomis formomis, bet paprastai naudojama apverstos nupjautos piramidės forma, kaip parodyta 2.7 paveiksle:



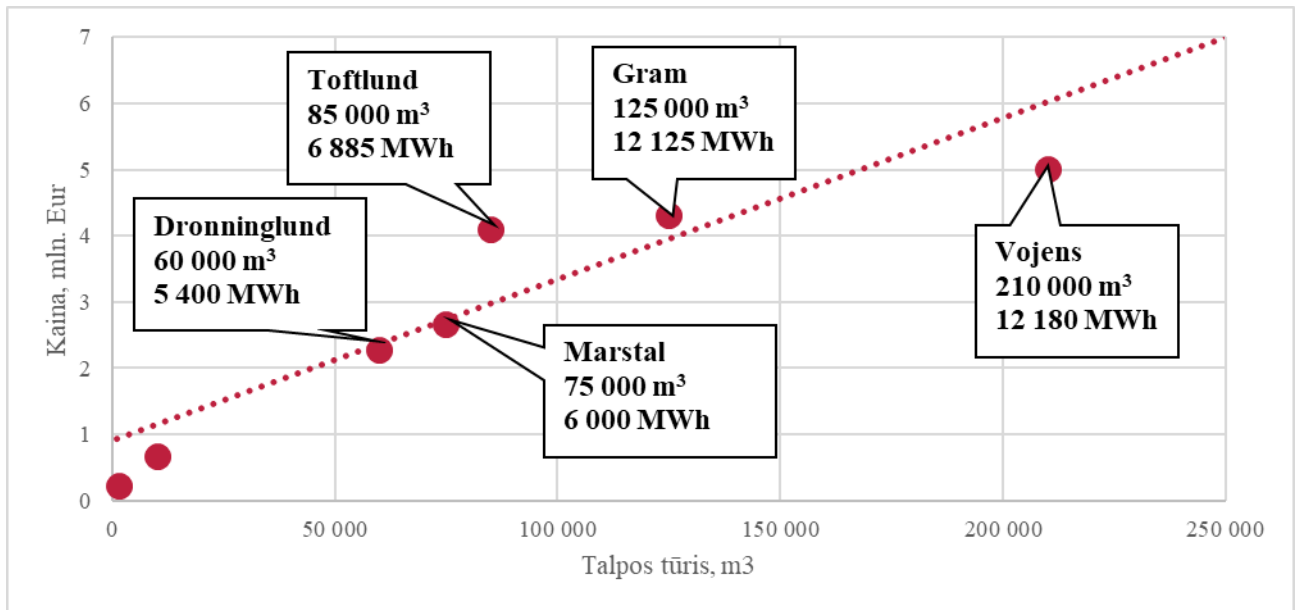
2.7 pav. PTES talpos skerspjūvis

Tam, kad būtų sumažinamos grunto saugojimo bei transporto išlaidos, iškastas gruntas iš tranšėjos yra supilamas į pylimus viršutinėje saugyklos dalyje taip padidinant talpos tūrį.

Taip pat tokios talpos pranašumas yra tas, kad tokia talpa neturi struktūrinių apribojimų ir jos mastelis gali būti išplėstas iki labai didelio tūrio. Talpos struktūrinių elementų kiekis taip pat yra sąlyginai mažas lyginant su kitomis talpomis, kadangi jų kiekis yra sumažinamas dėl žemės kaip struktūrinio elemento, panaudojimo.

PTES tipo talpos energiją kaupiančia medžiaga paprastai būna vanduo, tačiau pasitaiko atvejų kuomet naudojamas vandens ir žvyro mišinys. Visgi, pranašesnės, vandeniui užpildytos talpos, kadangi vandens termodinaminės savybės yra geresnės. Vandens šiluminė talpa yra apie $1,16 \text{ kWh/m}^3 \text{ K}$, tuo tarpu vandens ir žvyro mišinio (45 % tūrio sudaro vanduo) šiluminė talpa pasiekia tik $0,33 \text{ kWh/m}^3 \text{ K}$ vertę [29].

Remiantis Danijos energetikos agentūros pateikiamais duomenimis, pagal 7 įgyvendintus PTES talpos projektus, kainos priklausomybė nuo tūrio yra pateikiama 2.8 paveiksle [9].



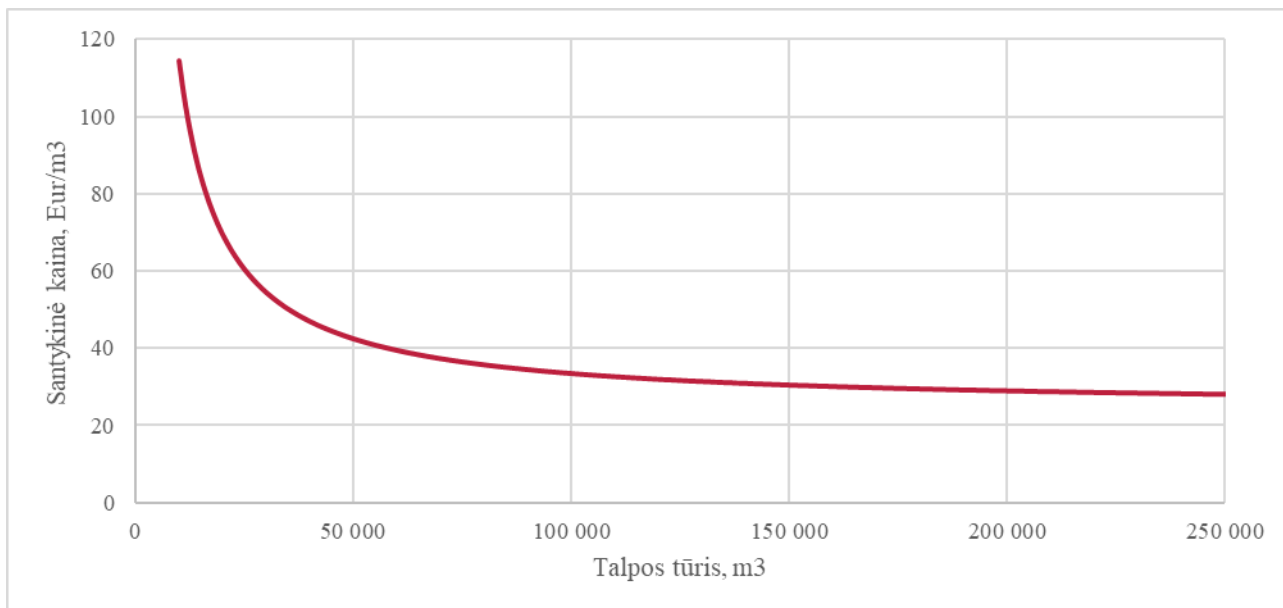
2.8 pav. PTES kainos priklausomybė nuo talpos tūrio

Šią projekto kainą procentais sudaro:

- 15 % - Grunto kasimas ir pylimų sudarymas;
- 35 % - Apatinio ir šoninių paviršių sandarinimo sluoksniai bei izoliacinis sluoksnis;
- 20 % - Montavimo darbai;
- 15 % - Vamzdynai;
- 15 % - Vanduo (įskaitant jo paruošimą).

Galima pastebėti, jog šiluminėje talpoje sukauptos energijos kiekis priklauso ne vien tik nuo talpos tūrio, bet ir nuo temperatūrų iki kurios ji įkraunama bei iškraunama. Norint šiluminę talpą iškrauti iki mažesnės temperatūros yra naudojami šilumos siurbliai, apie tai rašome sekančiame skyriuje 4.

Santykinė šiluminės talpos kaina vienam kubiniam metrui yra pateikiama 2.9 paveiksle.



2.9 pav. PTES santykinė kainos priklausomybė nuo talpos tūrio

Matome, jog įrenginėjant didesnę nei 50 tūkst. m³ šiluminę talpą, ženkliai mažėja santykinė talpos kaina. Tai yra svarbus rodiklis, į kurį reikia atsižvelgti parinkinėjant šiluminės talpos dydį.

2.3.1. Izoliacinės medžiagos

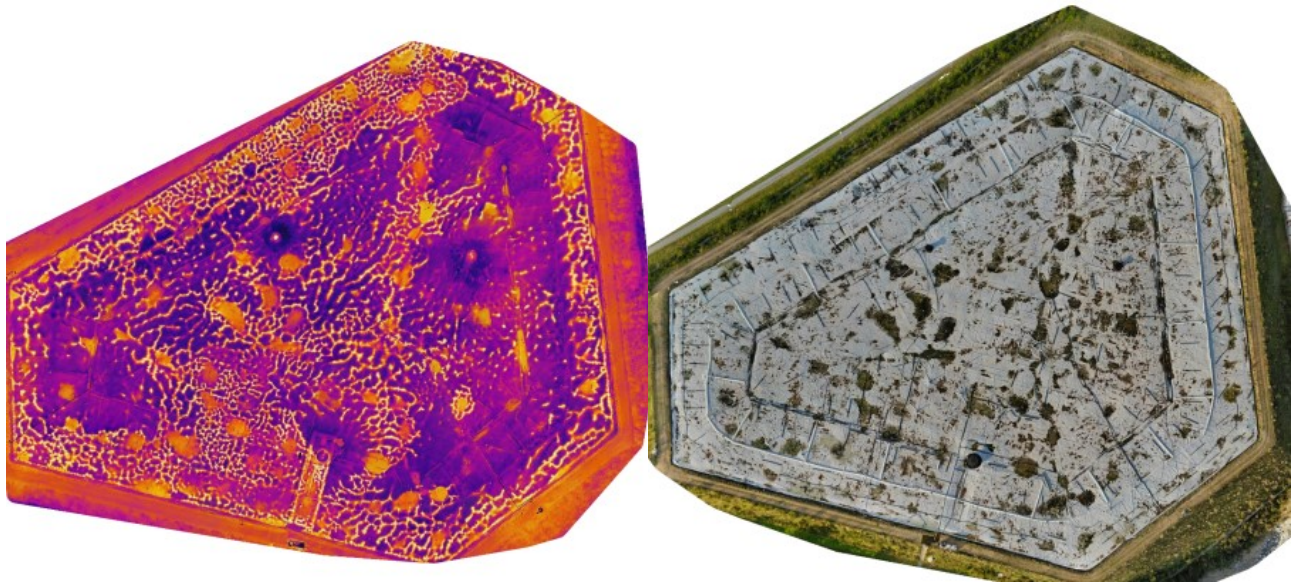
Pagrindinės medžiagos naudojamos sezoninėse talpose yra [29]: ekstruzinis polistirolas (XPS), putų polistirolas (EPS), polietilenas (PE), poliuretanas (PUR), poliizocianuratas (PIR), maži keramzito kamuoliukai (LECA).

PTES tipo talpos dugnas ir šonai, Danijoje įrengtose sistemose naudoja Didelio tankio Polietileno (HDPE) polimerinius pamušalus. Pagrindinė to priežastis yra maža kaina ir suvirinimo galimybė. Atlikti testai, rodo, jog tokių pamušalų tikėtinas gyvavimo laikotarpis gali siekti 25 metus [30].

Viena didžiausių problemų PTES talpos izoliacinėms medžiagoms yra lietus. Lyjant ilgai ant talpos dangčio susidaro vandens balos, kurios gali įsiskverbti į izoliuojančius sluoksnius taip ženkliai padidinant izoliacinių medžiagų laidumą. Tam, kad būtų išspręsta ši problema, talpos dangtis yra projektuojamas su nuolydžiu į drenažo zonas.

Lietaus balų įtaka, dangčio izoliacinėms savybėms galima pamatyti DTU Civil Engineering atliktame tyrime [31], kuomet termovizinės kameros pagalba, talpų dangčiai buvo nufotografuoti iš paukščio skrydžio:

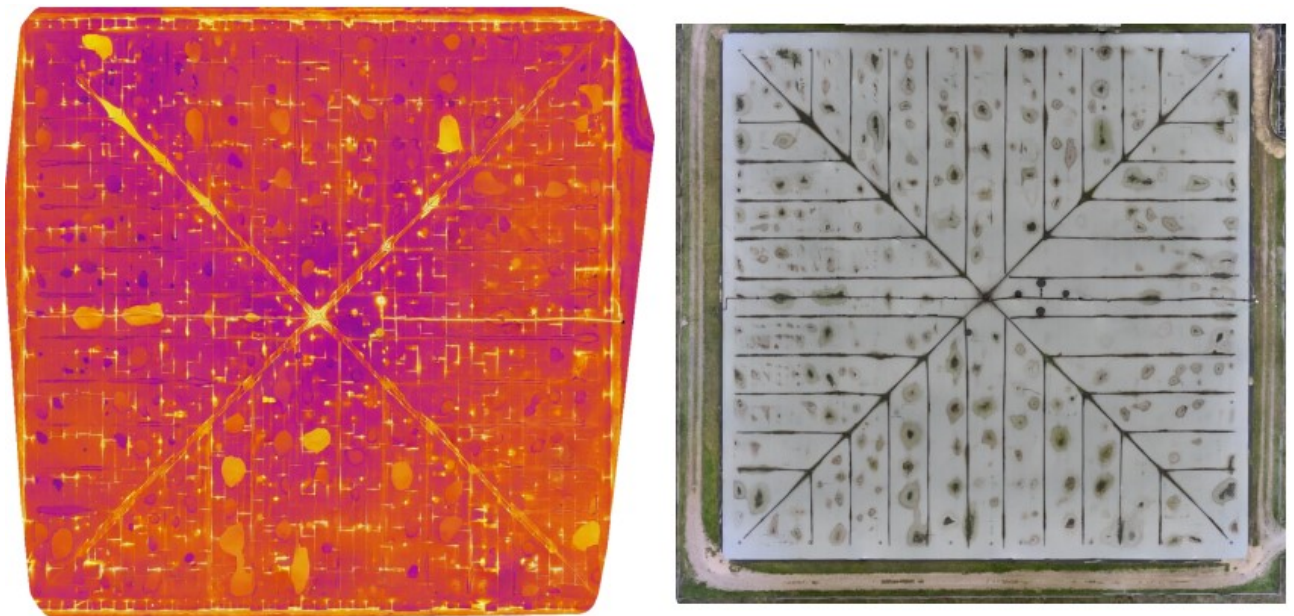
Vojens 210 000 m³, 12 180 MWh



2.10 pav. Vojens šiluminės talpos dangčio termovizijos nuotrauka

Remiantis termovizijos nuotrauka, galima matyti, jog talpos paviršiuje susidaranti lietaus vandens balos prasiskverbia į izoliacinius sluoksnius ir tampa intensyviausių šilumos mainų zonomis. Be to, kadangi šioje talpoje kaip izoliacinė medžiaga yra naudojami LECA kamuoliukai, galime pamatyti „karštas“ linijas, kurios parodo netolygų izoliacinės medžiagos pasiskirstymą.

Dronninglund 60 000 m³, 5 400 MWh



2.11 pav. Dronninglund šiluminės talpos dangčio termovizijos nuotrauka

Dronninglund šiluminės talpos dangtis yra sudarytas iš dangos, kuri plūduriuoja ant vandens paviršiaus. Įstrižai talpai, yra įrengti balastiniai vamzdžiai pripildyti cemento. Šių vamzdžių

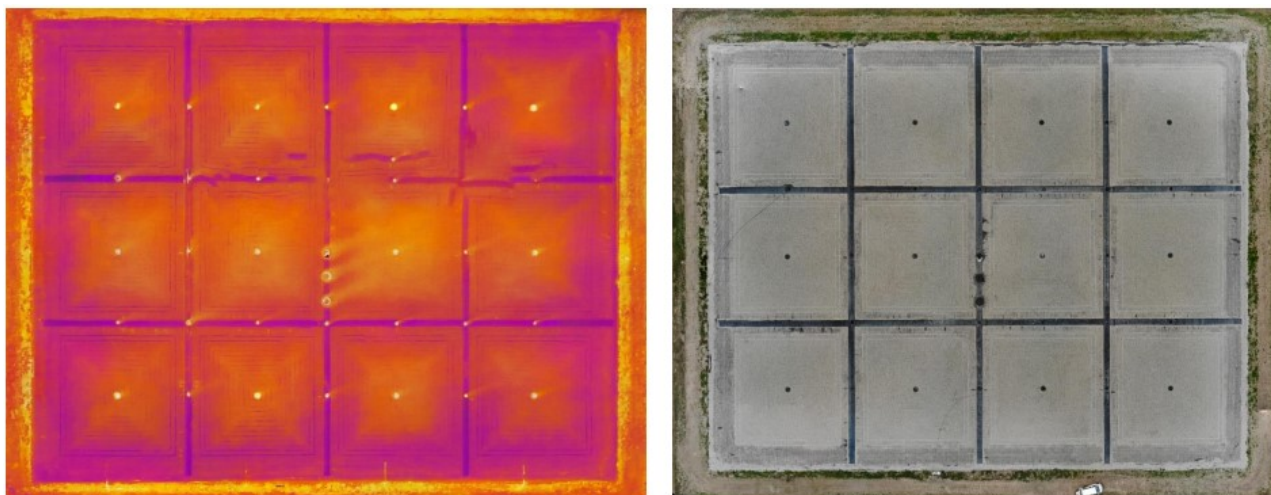
diametras didėja link centro taip sudarant mažą nuolydį centro link, kur yra surenkamas vanduo į siurbimo šulinį, kuris žarna yra išsiurbiamas su siurblio pagalba, įrengto už talpos ribų.

Tuo tarpu, talpoje susidarantys oro burbuliukai keliauja į talpos šonus, kur yra išvėdinami pro vėdinimo angas. Tarp plūduriuojančios dangos, viršutinės dangos ir izoliacinės medžiagos yra įrengti tarpai izoliacinėje medžiagoje susidarančios drėgmės vėdinimui.

Remiantis pateiktu paveikslėliu, matoma, kad nors buvo priimti techniniai sprendimai lietaus vandens drenavimui ir šalinimui, tai nepadėjo visiškai išvengti „karštųjų“ zonų susidarymo dėl lietaus vandens balų.

Tokio tipo dangtis buvo ir Marstal PTES talpoje, tačiau susidūrus su tomis pačiomis problemomis, dangtis buvo pakeistas dėl drėgmės kaupimosi izoliacinėje medžiagoje. Dangčio dizainas buvo pakeistas:

Marstal 75 000 m³, 6 000 MWh



2.12 pav. Marstal naujo šiluminės talpos dangčio termovizijos nuotrauka

Visų pirma buvo pakeistas viršutinio dangčio sluoksnio dizainas. Dabartinė konstrukcija leidžia difuziniu būdu drėgmei išsisklaidyti per viršutinį sluoksnį, o ne kauptis izoliacijoje.

Antras ženklus pokytis buvo dangčio išskirstymas į skirtingas sekcijas. Vietoje vienos įdubos su vienu drenažo šuliniu, buvo įrengta dvylika. Tam, jog sekcijose susidarytų nuolydžiai, kaip balastas panaudotas žvyro sluoksnis, tokiu būdu lietaus vanduo paviršiuje susirenka į drenažo šulinius, o tuo tarpu oro burbuliukai, kyla į sekcijų šonus ir yra nuorinami aukščiausiuose taškuose įrengtų vožtuvų pagalba [32].

Iš pateiktos termovizijos nuotraukos matyti, kad naujajame dangtyje nebesusidaro „karštosios zonos“ ir lietaus vandens balos. Vieninteliai aiškiau identifikuojami šilumos nuostoliai yra patiriami pro drenažo šulinius ir nuorinimo vožtuvus.

2.3.2. Stratifikacija

Sezoninės šiluminės talpos stratifikacija yra vienas iš būdų padidinti talpos efektyvumą. Terminė stratifikacija natūraliai atskiria mažesnio tankio šiltą vandenį virš didesnio tankio šalto vandens.

Pasiremiant šiuo dėsningumu, šiluminėje talpoje yra išlaikomas didesnis eksergijos, kuomet tiekiamas vanduo yra paimamas iš talpos viršaus. Taip pat pasinaudojus stratifikacija yra sumažinami šilumos nuostoliai į gruntą bei išgaunamas didesnis temperatūrų skirtumas.

Pagrinde yra trys faktoriai, kurie nusako terminės stratifikacijos temperatūros profilio susidarymą talpoje [33]:

- Šilumos perdavimo procesai: šilumos mainiai su aplinka, šilumos konvekcija dėl įkrovimo ir iškrovimo;
- Talpos fluideo maišymas įkrovimo ir iškrovimo srautų;
- Lokali turbulencija stratifikacijos zonoje.

Tačiau priklausomai nuo talpos tipo, stratifikacijai gali daryti ir kiti faktoriai, kurie nagrinėjami bandymuose [34]. Rezultatai rodo, kad mažesnis talpos gylis, mažina ir talpos efektyvumą, tuo tarpu didesnio gylio talpa pasiekia labiau išreikštą stratifikacijos lygį.

Taip pat terminėi stratifikacijai įtaką daro ir talpos šonų nuolydžio kampas, statesnis kampas užtikrina geresnį stratifikacijos lygį.

Tam, kad šiluminėje talpoje išsilaikytų vandens terminė stratifikacija yra naudojami specialūs stratifikacijos įrenginiai – difuzoriai, kurie sumažina įvado srauto greitį padidinant įvado skerspjūvio plotą.

Tai buvo įgyvendinta ir SUNTORE 3 [11] ir SUNSTORE 4 [12] projektuose:



2.13 pav. Talpų įvadas ir išvadas su difuzoriais SUNSTORE 3 (kairėje) bei SUNSTORE 4 (dešinėje) projektuose

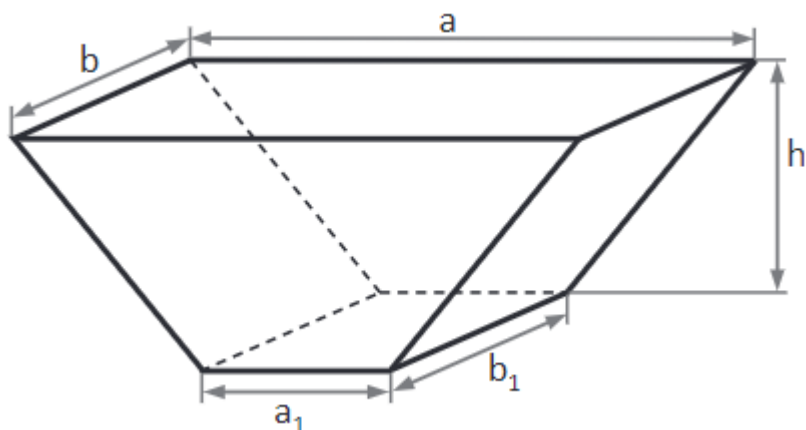
3. Techninė analizė

3.1. Sezoninės šiluminės talpos skaičiavimo metodika ir darbo režimai

3.1.1. Sezoninės šiluminės talpos geometrija

Sezoninių šilumos energijos talpų nuostoliai priklauso nuo keleto parametrų kaip: geometrijos, talpos temperatūrų, darbo režimo, ciklo trukmės bei oro sąlygų.

Geometrijos parametrus galime apskaičiuoti pasitelkdami 3.1 paveikslėlį:



3.1 pav. PTES talpos matmenys

Iš paveikslėlio matome, jog tokios talpos tūris yra lygus:

$$V = \frac{h}{6} \left((2a + a_1) \cdot b + (2a_1 + a) \cdot b_1 \right). \quad (14)$$

Tuomet tokios talpos šoninių sienų plotai apskaičiuojami:

$$A_a = \frac{1}{2} (a + a_1) \cdot \sqrt{\left(\frac{a+a_1}{2}\right)^2 + h^2}. \quad (15)$$

$$A_b = \frac{1}{2} (b + b_1) \cdot \sqrt{\left(\frac{b+b_1}{2}\right)^2 + h^2}. \quad (16)$$

Tuomet šoninių sienų plotų suma:

$$A_{sienos} = 2A_a + 2A_b. \quad (17)$$

Kadangi viršus ir apačia yra stačiakampio formų, jų plotai randami sudauginant kraštines:

$$A_v = a \cdot b, \quad (18)$$

$$A_a = a_1 \cdot b_1. \quad (19)$$

3.1.2. Sezoninės šiluminės talpos energijos kiekis bei šilumos nuostoliai

Sezoninės šiluminės talpos gali veikti dviem režimais: naudojant šilumos siurblių arba nenaudojant jo. Šie du režimai skiriasi tuo, jog talpoje su šilumos siurbliu atveju, temperatūros yra gerokai mažesnės, todėl šilumos talpa yra apskaičiuojama skirtingai [10]:

$$Q_{c\check{s}T} = V \cdot u \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_v - T_a), \quad (20)$$

čia:

V – talpos tūris, m³;

u – panaudojamo tūrio dalis, %;

ρ – vandens tankis, kg/m³;

c_p – vandens savitoji šiluminė talpa, J/(kg K);

T_v – vandens talpos viršuje temperatūra, °C;

T_a – vandens talpos apačioje temperatūra, °C;

Tuo tarpu sukauptas šiluminės energijos kiekis dirbant su šilumos siurbliu:

$$Q_{\check{s}.s.} = V \cdot u \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{v \check{s}.s.} - T_{a \check{s}.s.}). \quad (21)$$

Kai $T_{v \check{s}.s.}$ yra lygi T_v tada $Q_{\check{s}.s.}$ yra maksimalus. Tačiau ši vertė gali būti mažesnė už tiekiamą tinklo temperatūrą, taip turint mažesnę šilumos potencialą, tačiau tuo pačiu ir patiriant mažesnius šilumos nuostolius. Tokias išvadas pagrindžia ir Marstal (SUNSTORE 4) įrengtos PTES apskaičiuoti šilumos nuostoliai prie skirtingų vandens talpos temperatūrų. Esant 78 °C vidutinei temperatūrai, buvo pastebimas apie 0,08 K/dieną šiluminės talpos temperatūros kritimas. Tuo tarpu esant 56 °C vidutinei temperatūrai, jos kritimas sudarė tik 0,04 K/dieną. [9]

Dalis šiluminės talpos tūrio nebus išnaudota. Toks praktiškai neišnaudojamas šilumos energijos kiekis apskaičiuojamas:

$$Q_u = \left(V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{v \check{s}.s.} - T_{a \check{s}.s.}) \right) - Q_{\check{s}.s.} \quad (22)$$

Tam, jog būtų galima įvertinti kokia yra šiluminės talpos viršaus temperatūra T_v , esant skirtingiems šiluminės energijos kiekiams šiluminėje talpoje, buvo pasiremta SUNSTORE 3 sezoninės šiluminės talpos rezultatais išvedant supaprastintą tiesinę koreliaciją tarp talpos viršutinės temperatūros bei energijos kiekio talpoje:

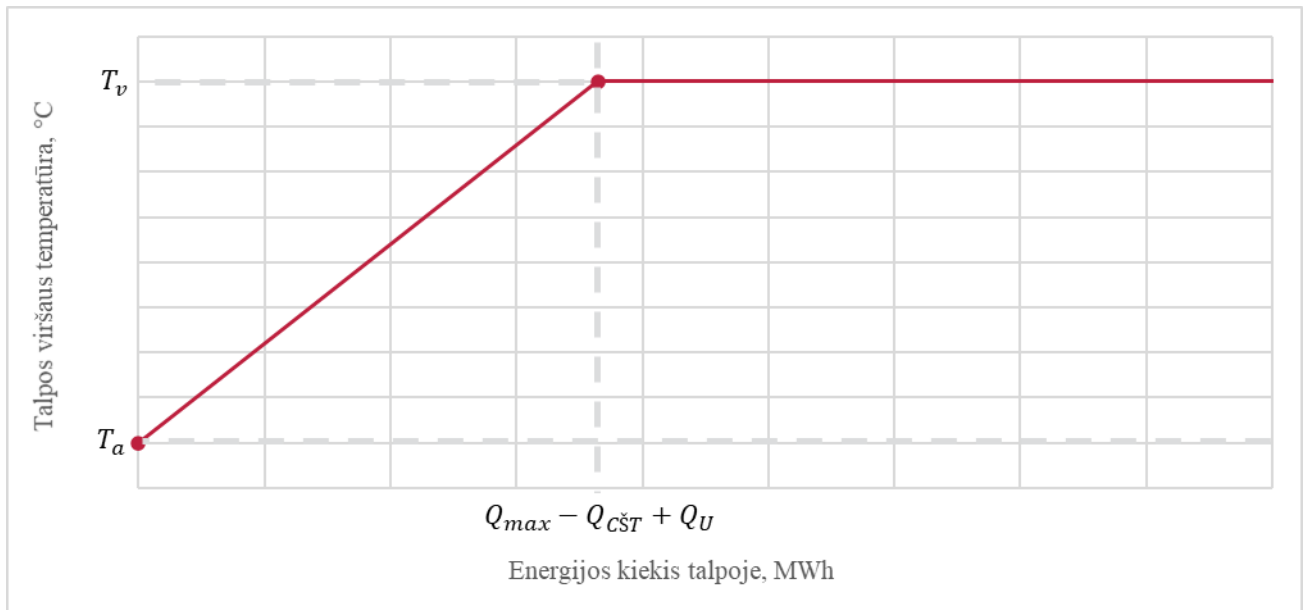
$$E_s < Q_{max} - Q_d + Q_u. \quad (23)$$

Temperatūra, talpos apačioje yra nustatoma, pagal tai, kokių režimu dirba talpa, su šilumos siurbliu ar be jo:

$$T_a = T_a, \text{ kai } T_v \geq T_v, \quad (24)$$

$$T_a = T_{a \check{s}.s.}, \text{ kai } T_v \geq T_{v \check{s}.s.} \quad (25)$$

Tiesinę koreliaciją galima pamatyti žemiau 3.2 paveiksle:



3.2 pav. Viršutinės talpos temperatūros ir energijos kiekio talpoje koreliacija

Matoma, jog T_v turi tiesinę koreliaciją su energijos kiekiu talpoje, tol kol nepasiekia tam tikro energijos kiekio, po kurio, talpos viršuje nusistovi stratifikacija ir talpos viršaus temperatūra pasiekia maksimalią vertę. Toliau kraunant šiluminę talpą, auga talpos vidutinė temperatūra, kuri talpai pasiekus maksimalų energijos kiekį tampa beveik lygi talpos viršaus temperatūrai. Vidutinės šiluminės talpos temperatūros apskaičiavimas yra pateikiamas 30 formulėje.

Šilumos nuostolius patiriamus PTES talpoje galima apskaičiuoti panaudojus žemiau pateiktą formulę:

$$Q_{nuost.} = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot \Delta T, \quad (26)$$

čia:

λ – medžiagos šiluminis laidumas, W/m K;

s – medžiagos storis, m;

A – sienos plotas, m²;

ΔT – temperatūrų skirtumas, K.

Iš šios formulės, bei anksčiau nurodytų plotų, galime daryti išvadą, jog yra trys skirti šilumos nuostolių keliai šioje sistemoje.

Šilumos nuostoliai nuo talpos viršaus:

$$Q_{v nuost.} = \frac{\lambda_v}{s_v} \cdot A_v \cdot (T_v - T_{oro}), \quad (27)$$

čia:

T_{oro} – lauko oro temperatūra, K;

λ_v – izoliacinio sluoksnio šiluminis laidumas, W/m K;

s_v – izoliacinio sluoksnio storis, m;

Šilumos nuostoliai nuo talpos apačios:

$$Q_{a \text{ nuost.}} = \frac{\lambda_g}{s_g} \cdot A_a \cdot (T_a - T_z), \quad (28)$$

čia:

T_z – vidutinė grunto temperatūra, neįskaitant šilumos gaunamos iš pačios talpos, K.

λ_g – grunto sluoksnio šiluminis laidumas, W/m K;

s_g – grunto sluoksnio storis, m.

Tuomet šilumos nuostoliai nuo talpos sienų:

$$Q_{sienų \text{ nuost.}} = \frac{\lambda_g}{s_g} \cdot A_s \cdot (T_{vid} - T_z), \quad (29)$$

čia:

T_{vid} – vidutinė šiluminės talpos temperatūra prie sienų, K.

Vidutinė šiluminės talpos temperatūra šiuo atveju yra apskaičiuojama pasitelkiant tokią formulę:

$$T_{vid} = (T_v - T_{a \text{ š.s.}}) \cdot \frac{E}{Q_{\text{š.s.}} + Q_u} + T_{a \text{ š.s.}} \quad (30)$$

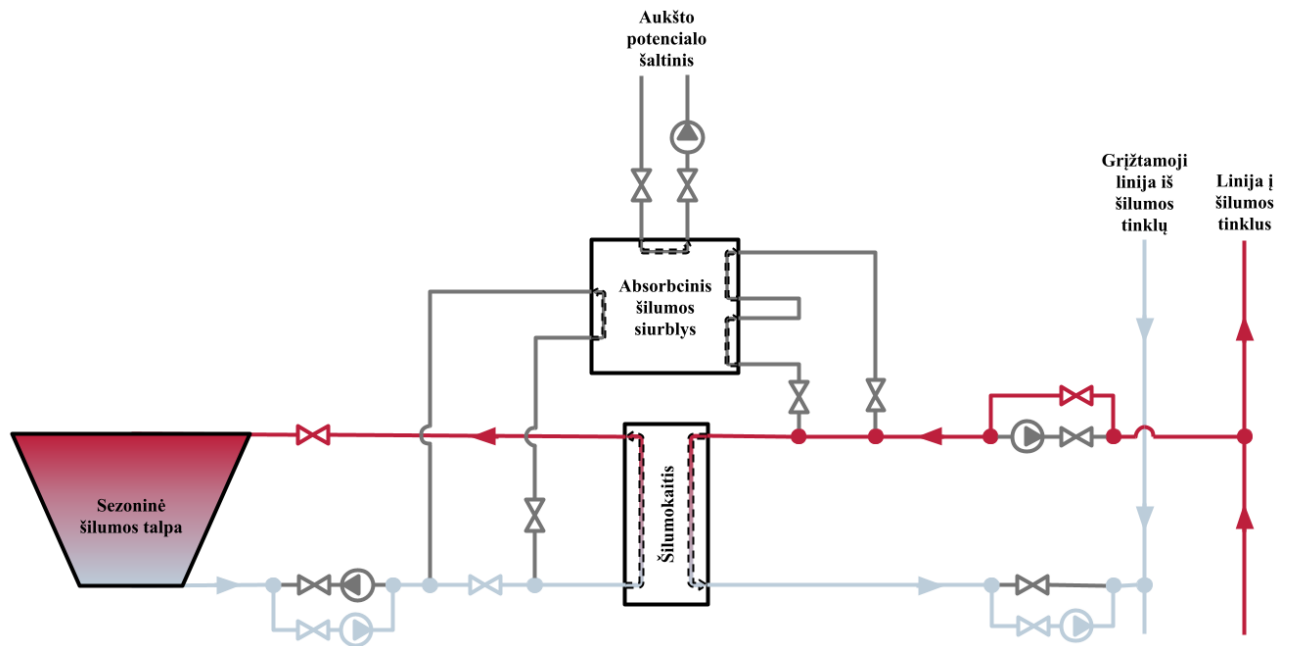
3.1.3. Sezoninės šiluminės talpos darbo režimai

Sezoninė šiluminė talpa dirbtų 3 pagrindiniais režimais:

1. sezoninės šiluminės talpos įkrovimas;
2. sezoninės šiluminės talpos iškrovimas be šilumos siurblio;
3. sezoninės šiluminės talpos iškrovimas su šilumos siurbliu.

Remiantis *SUNSTORE 3* ataskaita [11], sudarytos principinės talpos įkrovimo bei iškrovimo schemos.

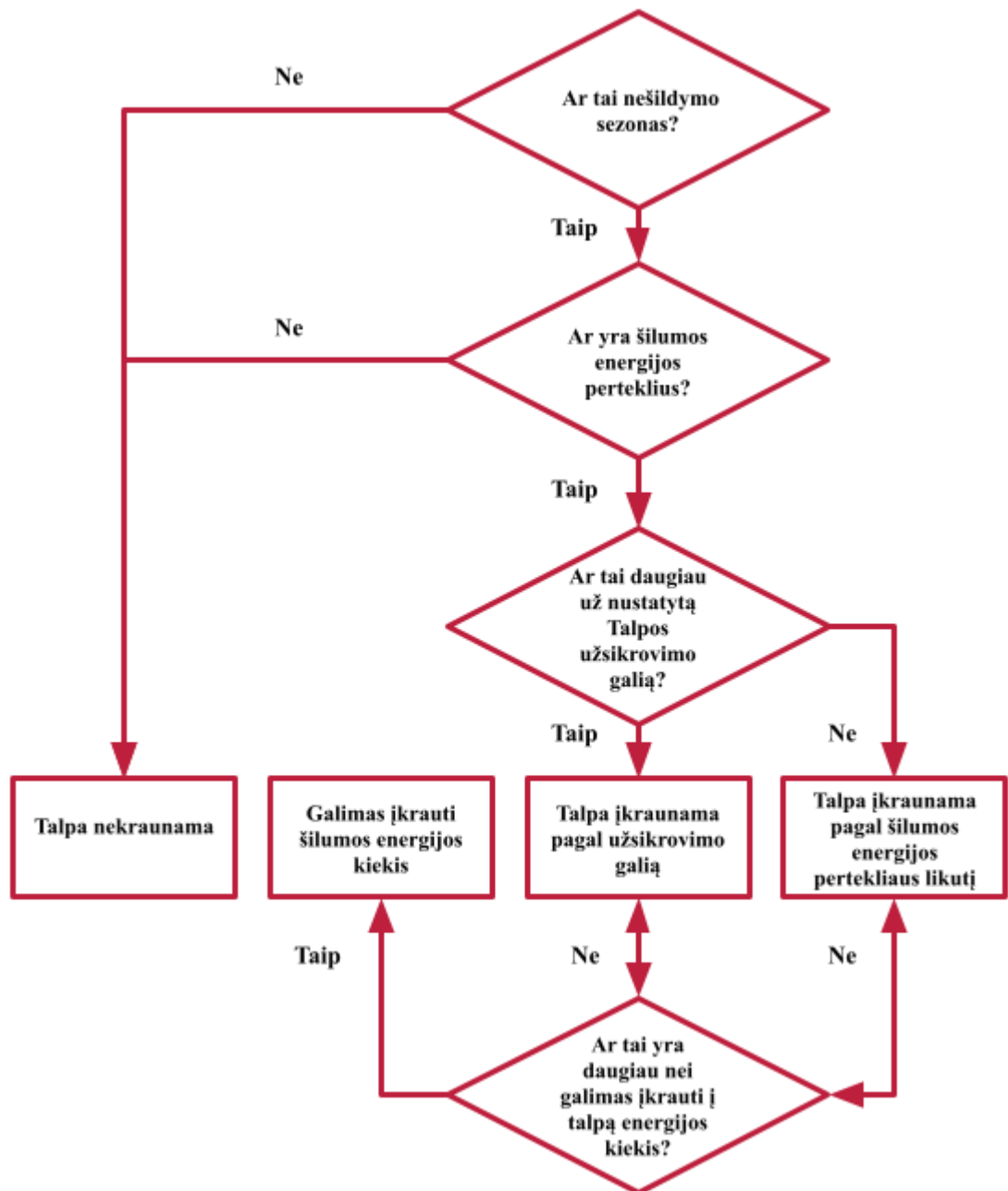
Toliau 3.3 paveiksle pateikiamas PTES talpos įkrovimas.



3.3 pav. PTES įkrovimas

Matome, jog talpa, vasarą būtų įkraunama pasitelkiant tinkluose esančią mažos kainos šilumos energiją. Šiluma iš tinklų į sezoninę šilumos talpą būtų perduodama šilumokaičiu, taip užtikrinant, jog talpos kontūras būtų uždaras. Pašildytas ~ 90 °C vanduo keliautų į talpos viršų, tuo tarpu iš talpos apačios, šaltas vanduo keliautų į šilumokaitį. Taip, talpoje būtų išlaikoma stratifikacija ir sumažintas temperatūrų maišymasis.

Sezoninės šiluminės talpos įkrovimo loginė diagrama yra pavaizduota 3.4 paveiksle.

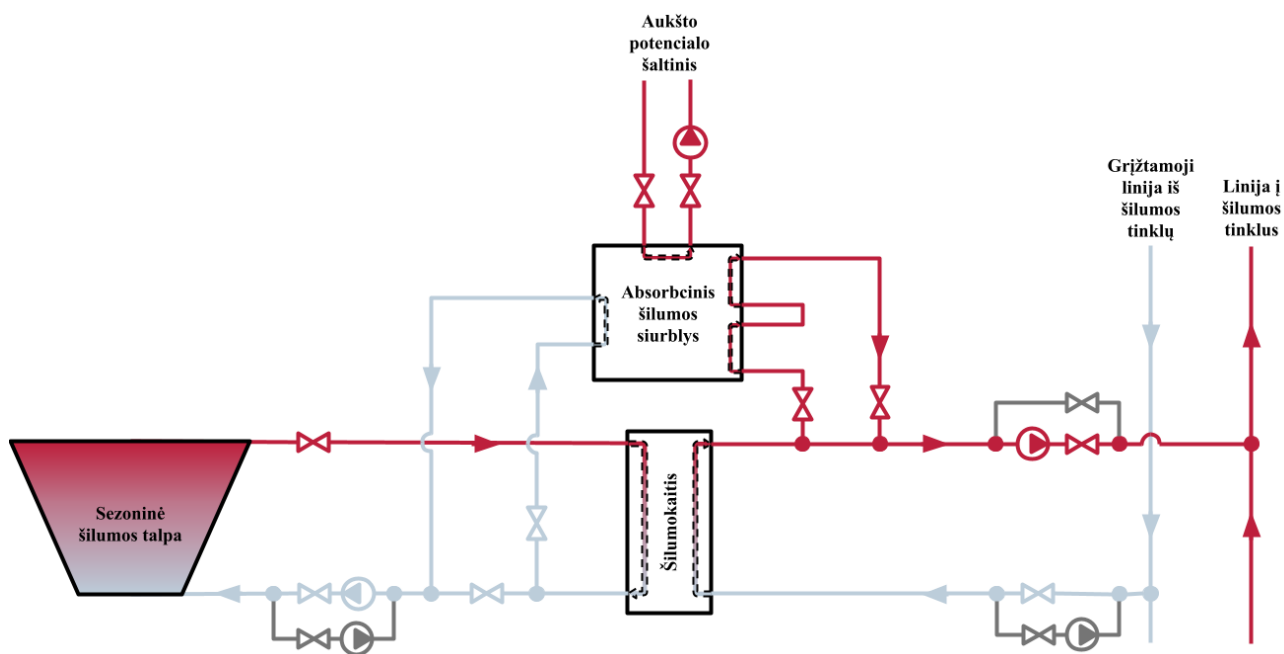


3.4 pav. PTES įkrovimo loginė diagrama

Pagal diagramą matome, jog pirmasis kriterijus, talpos įkrovimui yra sezono laikotarpis. Kadangi žinome, jog nešildymo sezono metu, galime talpą krauti pigiausia šilumos energija, talpa yra įkraunama tik nešildymo sezono metu. Tolimesnis kriterijus patikrina ar tinkle yra šilumos energijos perteklius. T.y. bazinį šilumos poreikį patenkinantys šilumos gamybos įrenginiai dar gali papildomai pateikti pigios šilumos energijos. Esant teigiamai reikšmei toliau yra žiūrima į tai, ar šis energijos perteklius yra pakankamas talpai įkrauti pagal nustatytą įkrovimo galią. Jei perteklius yra mažesnis, talpa yra įkraunama pagal pertekliaus likutį. Galiausiai įkraunant šiluminę talpą yra atsižvelgiama į galimą įkrauti į talpą šilumos energijos kiekį. Jeigu talpa yra arti maksimalaus įkrovimo, ji yra pakraunama iki šios vertės, jeigu ne ji įkraunama pagal įkrovimo galią arba pagal šilumos energijos pertekliaus likutį.

Vasaros metu maksimaliai įkrovus šiluminę talpą, sulaukus šildymo sezono, talpa pakeistų savo režimą į iškrovimo bei taptų nebe šilumos vartotoju, bet šilumos gamintoju.

Tokio režimo principinė schema pateikiama toliau:

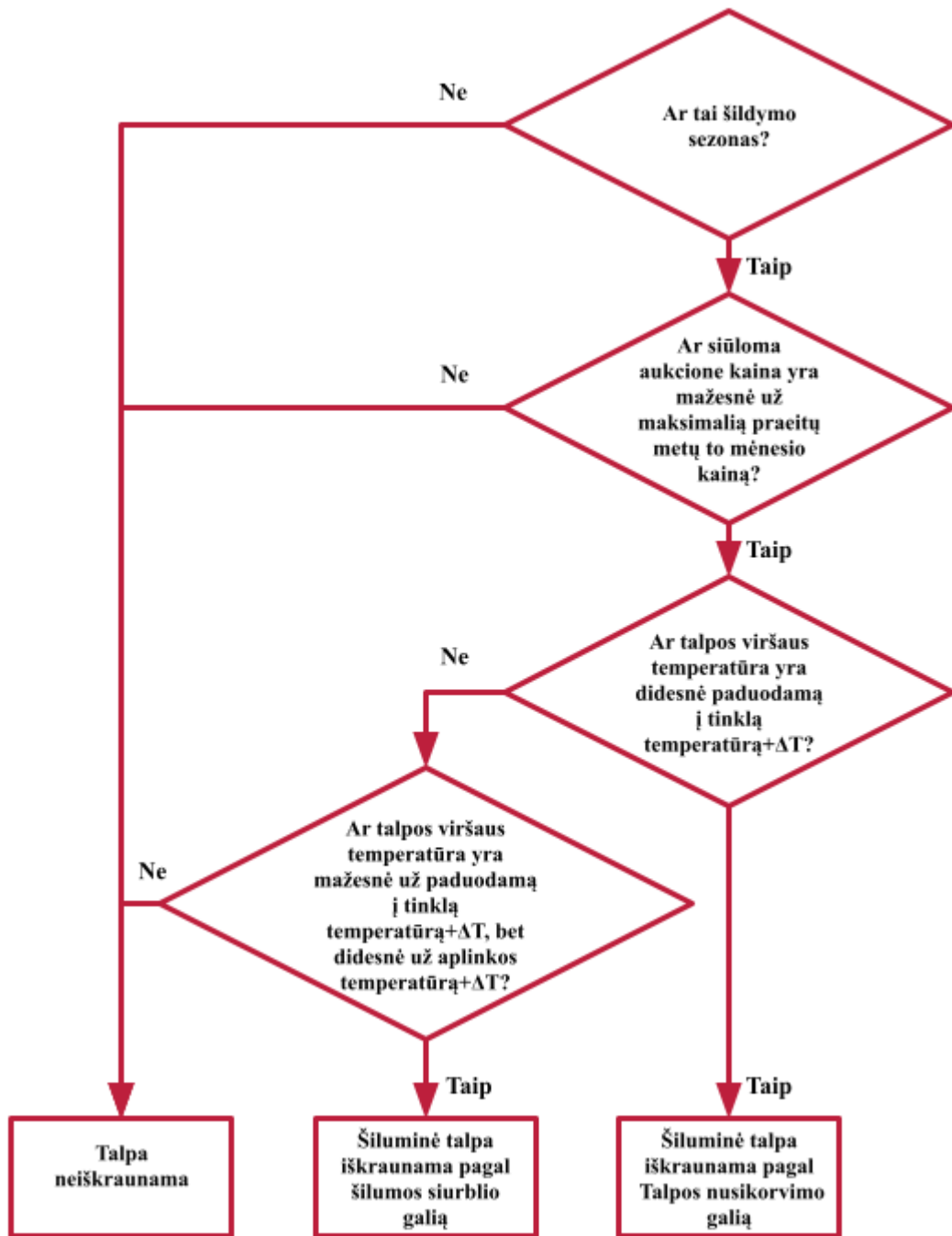


3.5 pav. PTES iškrovimas

Vertinama, jog kol šiluminės talpos viršuje esantis temperatūra būtų didesnė nei tiekiamą į tinklus temperatūra ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$), tol sezoninė šiluminė talpa dirbtų be šilumos siurblio. Šiai temperatūrai nukritus žemiau į tinklus tiekiamos temperatūros vertės būtų pasitelkiamas šilumos siurblys, taip išgaunant iš talpos žemesnio potencialo energiją. Šiuo atveju, šiluminės talpos galia būtų lygi šilumos siurblio Q_{sil} .

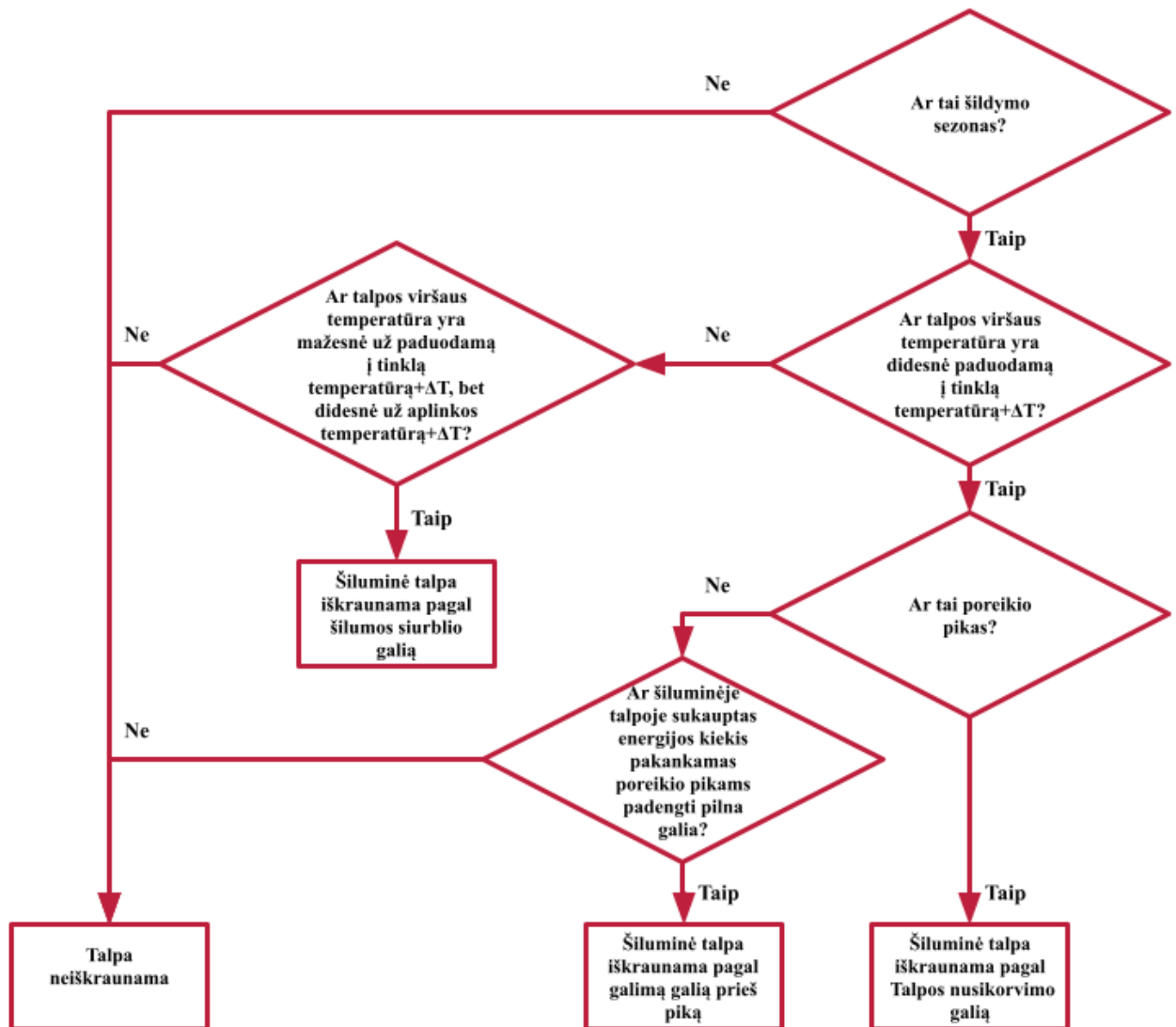
Sezoninės šiluminės talpos iškrovimo loginės diagramos yra pavaizduotos 3.6 ir 3.7 pav.

Pagal 3.6 diagramą matome, jog kaip ir įkrovimo atveju pirmiausia yra nustatoma ar tai yra šildymo sezonas. Toliau atsižvelgiama į tai ar siūloma šilumos aukciono kaina yra žemesnė nei 2020 m. to mėnesio kaina. Kaip pagrindžiama parduodamos šilumos kaina aukcionuose, pateikta 4.1 skyriuje. Siekiant įvertinti kokia galia išsikrauna šiluminė talpa, atsižvelgiama į talpos viršaus temperatūrą. Talpos viršaus temperatūros nustatymas yra pateikiamas 3.1.2 skyriuje. Kai talpos viršaus temperatūra yra didesnė už į tinklą tiekiamo vandens talpa iškraunama pagal numatytą talpos išsikrovimo galią. Kitu atveju jeigu talpos temperatūra yra mažesnė už į tinklą tiekiamą temperatūrą, bet didesnė už aplinkos temperatūrą, talpa iškraunama pagal nustatytą šilumos siurblio galią.



3.6 pav. PTES išsikrovimo loginė diagrama (1 variantas)

Tokia talpos iškrovimo logika leistų šiluminei talpai dalyvauti aukcionuose kaip tipiniam šilumos gamintojui, tačiau tokiu atveju būtų neišnaudojamas šiluminės talpos lankstumas reaguojant į staigius šilumos poreikio pokyčius tinkle. Todėl 3.7 diagramoje pateikiamas alternatyvus šiluminės talpos išsikrovimo variantas, kuriame šiluminė talpa atliktų CŠT tinklo balansavimo ir pikų padengimo rolę.



3.7 pav. PTES išsikrovimo loginė diagrama (2 variantas)

Vertinama, jog kaip ir pirmajame variante, taip ir čia, nustatant kaip talpa bus iškraunama pirmiausia įvertinama ar tai yra šildymo sezonas. Toliau yra atsižvelgiama ar talpos viršaus temperatūra yra didesnė už į tinklą tiekiamo vandens. Teigiamu atveju, žiūrima ar tai yra poreikio pikas t. y. ar paprastu atveju būtų naudojami rezerviniai įrenginiai, kai nebeužtenka biokuro įrenginių pajėgumų. Jeigu tai yra pikas, talpa yra iškraunama pagal talpos išsikrovimo galią, siekiant maksimaliai padengti šiuos pikus. Jeigu talpos dydis yra toks, jog padengus pikus lieka tiesiogiai panaudojamos šilumos energijos, ji yra panaudojama CŠT tinklo balansavimui. Jeigu talpa yra mažesnė ir tik užtikrina pilną arba dalinį pikų padengimą, talpa prieš pikus nėra iškraunama tinklo balansavimui. Padengus pikus, talpa yra tiesiogiai iškraunama maksimaliai, t. y. be šilumos siurblio naudojimo, toliau talpa nebus iškraunama. Tokiu atveju, jeigu yra įrengtas šilumos siurblys, talpa likusią šildymo sezono dalį yra iškraunama pagal šilumos siurblio galią kai talpos temperatūra yra mažesnė už į tinklą tiekiamą temperatūrą, bet didesnė už aplinkos temperatūrą.

3.2. Sezoninės šiluminės talpos pagrindiniai parametrai

Siekiant įvertinti sezoninės šiluminės talpos, kaip šilumos pajėgumų didinimo priemonę, buvo atliktos tokios prielaidos:

3.1 lentelė. Sezoninės šiluminės talpos pagrindiniai parametrai

Parametras	Žymėjimas	Vertė	Matavimo vienetas
Išnaudojama sezoninės talpos tūrio dalis	u	98	%
Talpos viršaus temperatūra	T_v	90	°C
Talpos apačios temperatūra	T_a	40	°C
Talpos iškrovimo su Š.S apačios temperatūra	$T_{a\text{ š.s}}$	10	°C
Šilumokaičio temperatūrų skirtumas	ΔT	3	°C
Talpos išsikrovimo galia	Q_N	30	MW
Talpos izoliacinio sluoksnio viršaus laidumas [12]	λ_v	0,104	W/(m K)
Izoliacinio sluoksnio storis [12]	s_v	0,24	m
Grunto sluoksnio šiluminis laidumas [10]	λ_g	0,5	W/(m K)
Grunto sluoksnio storis	s_g	2	m
Grunto vidutinė temperatūra	T_g	8	°C
Šilumos siurblio „Lorenzo“ naudingumas [3]	η_L	45	%
Absorbcinio šilumos siurblio COP _{šil} [3]	-	1,71	

3.3. Konceptualios sezoninės šiluminės talpos lokacijos

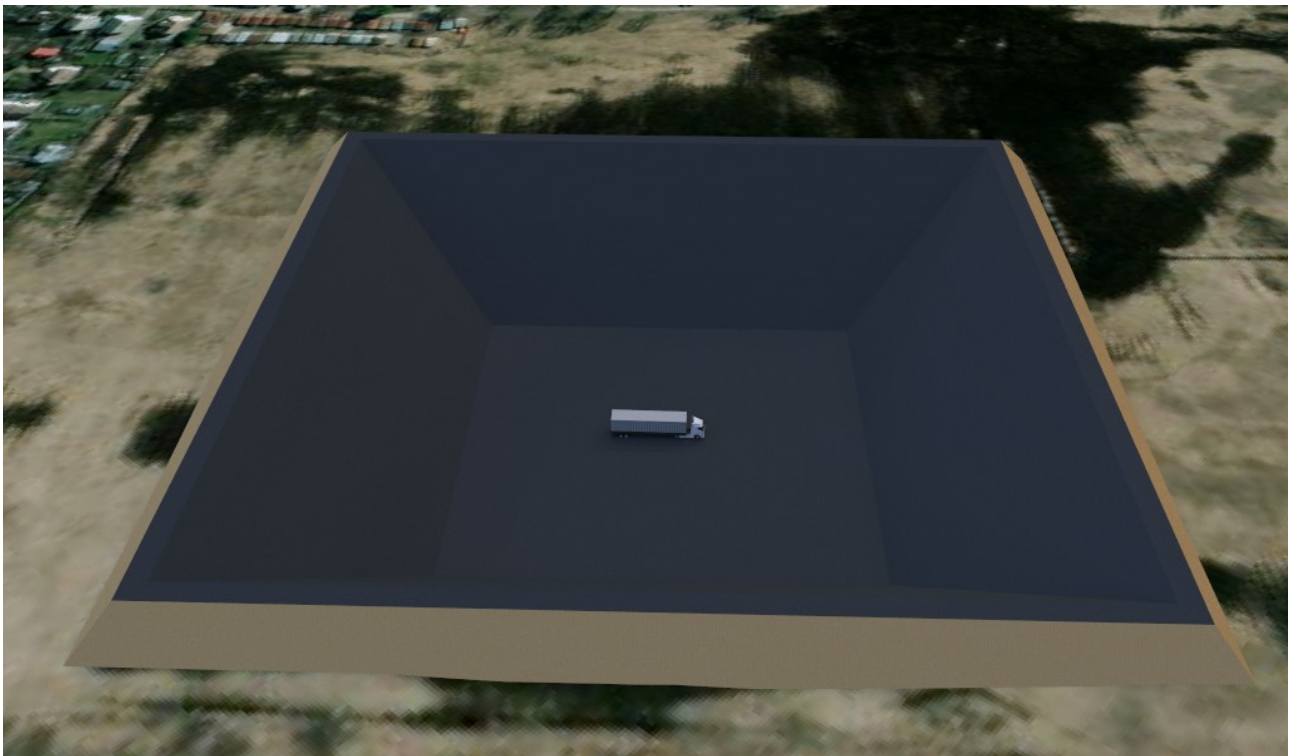
Duobės tipo sezoninės šiluminės talpos didžiausias trūkumas yra didelis užimamas žemės plotas, todėl vertinant tokią talpą svarbu ir nustatyti galimas lokacijas, Kauno mieste, kuriose talpa galėtų būti įrengta. Kaip jau minėta ankstesniuose skyriuose, talpai su absorbciniu šilumos siurbliu svarbus išorinis aukšto potencialo šilumos šaltinis. Tai gali būti ir papildomai įrengta nedidelė katilinė, tačiau siekiant sumažinti investicinius kaštus racionalu tokią sezoninę šiluminę talpą įrenginėti prie esamo šilumą generuojančio įrenginio.

Viena iš tokių lokacijų galėtų būti prie Kauno kogeneracinės jėgainės:



3.8 pav. Konceptuali SŠT (480 tūkst. m³) lokacija netoli KKJ

Tokios talpos dydis būtų ~480 tūkst. m³ ir joje galėtų būti sukaupta apie 43 GWh. Žemiau pateikiama tokia talpa su joje esančiu gerai pažįstamo objekto, sunkvežimio, gabaritais.



3.9 pav. Konceptuali SŠT (480 tūkst. m³) lokacija netoli KKJ su sunkvežimiu

Kita numatyta lokacija, su mažesne talpa, apie 200 tūkst. m³ taip pat galėtų būti įrengta sklypuose esančiuose visai šalia KKJ:



3.10 pav. Konceptuali SŠT (200 tūkst. m³) lokacija šalia KKJ

Tiesa, toks talpos tipas suteikia ir šiek tiek lankstumo tuo, jog tokios talpos nebūtinai turi būti nupjautos piramidės formos, o gali būti ir netaisyklinga geometrinė figūra. Tai leidžia geriau prisitaikyti prie turimo ploto sąlygų.

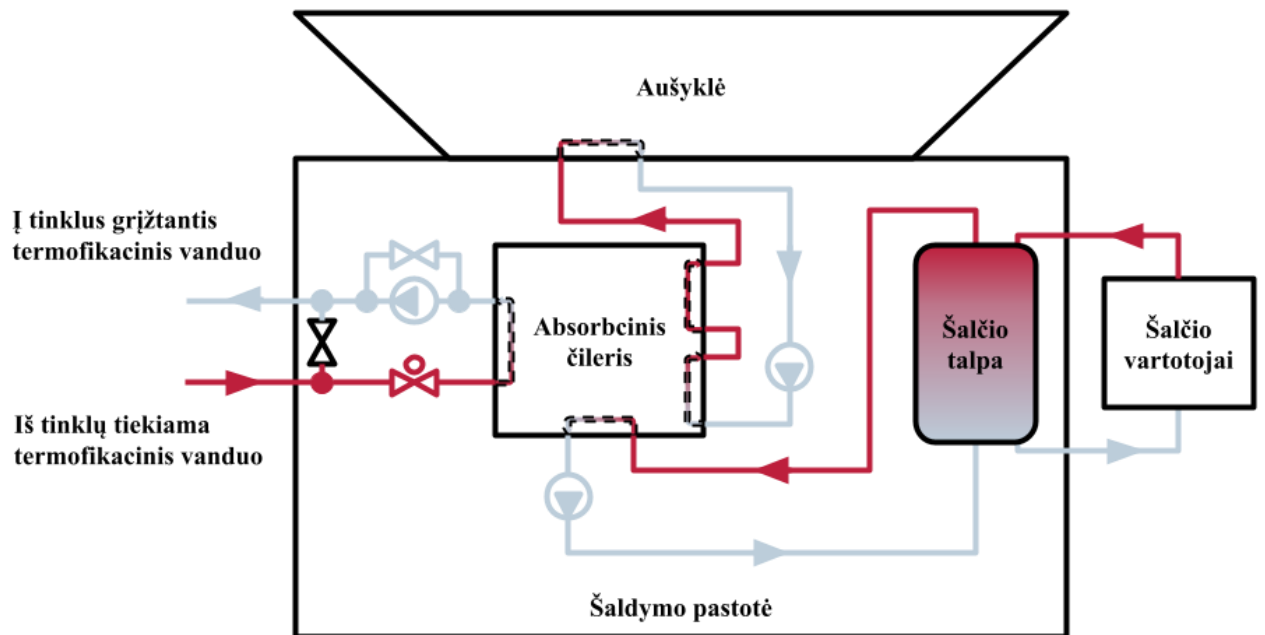
Šio privalumo panaudojimo pavyzdys yra matomas konceptualios talpos (~210 tūkst. m³) lokacijoje prie UAB „Ilex Biruliškių“ esančios katilinės:



3.11 pav. Konceptuali SŠT (210 tūkst. m³) šalia Ilex Beruliškių katilinės

3.4. Absorbcinės šalčio mašinos panaudojimas šalčio gamybai

Darbe vertinama, kad nešildymo sezono metu būtų galima racionaliau išnaudoti atliekamą šilumą, absorbcinės šaldymo mašinos galėtų būti panaudojamos tiekiant šaltį keliems vartotojams iš vienos šaldymo pastotės, tokio koncepto schema yra pateikta toliau:

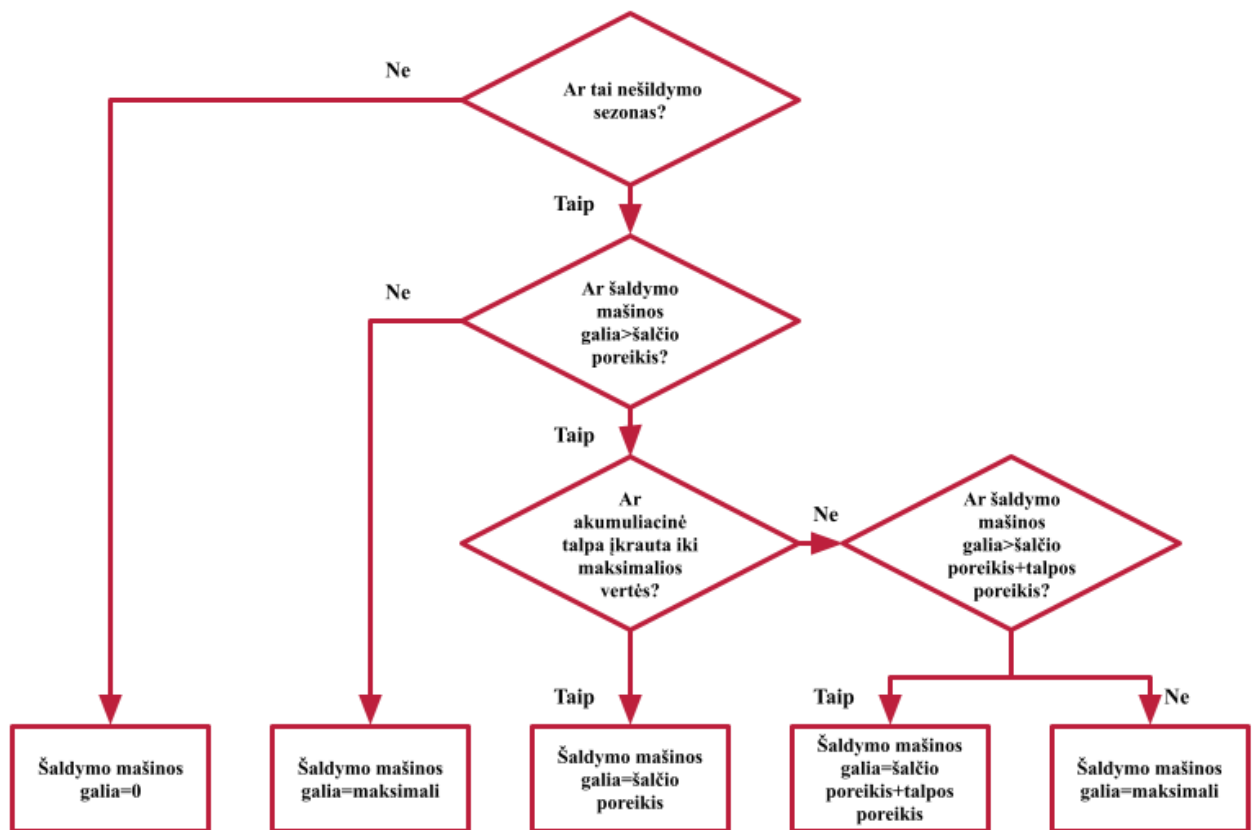


3.12 pav. Šaldymo pastotės schema

Toks šalčio tiekimo sprendimas yra parankus, kuomet šalčio vartotojai yra CŠT sistemos ribose ir mažame plote yra daugiau nei vienas potencialus šalčio vartotojas. Tokios situacijos yra tipinės šiaurės Europos miestuose, kur didžioji dauguma pastatų, kuriems reikia šalčio, yra tankiai koncentruoti [25].

Nagrinėjant pateiktą schemą, matyti, jog šaldymo pastotę sudarytų ne tik, absorbcinė šaldymo mašina, bet kartu prie garintuvo prijungta akumuliacinė šalčio talpa ir prie kondensatoriaus ir absorberio prijungta aušyklė šilumos perdavimui. Tuo tarpu generatorius yra prijungtas prie CŠT tinklo, kuris yra naudojamas kaip varančioji absorbcinės šaldymo mašinos energija.

Nagrinėjamos šaldymo mašinos loginė diagrama pateikiama 3.13 paveiksle.

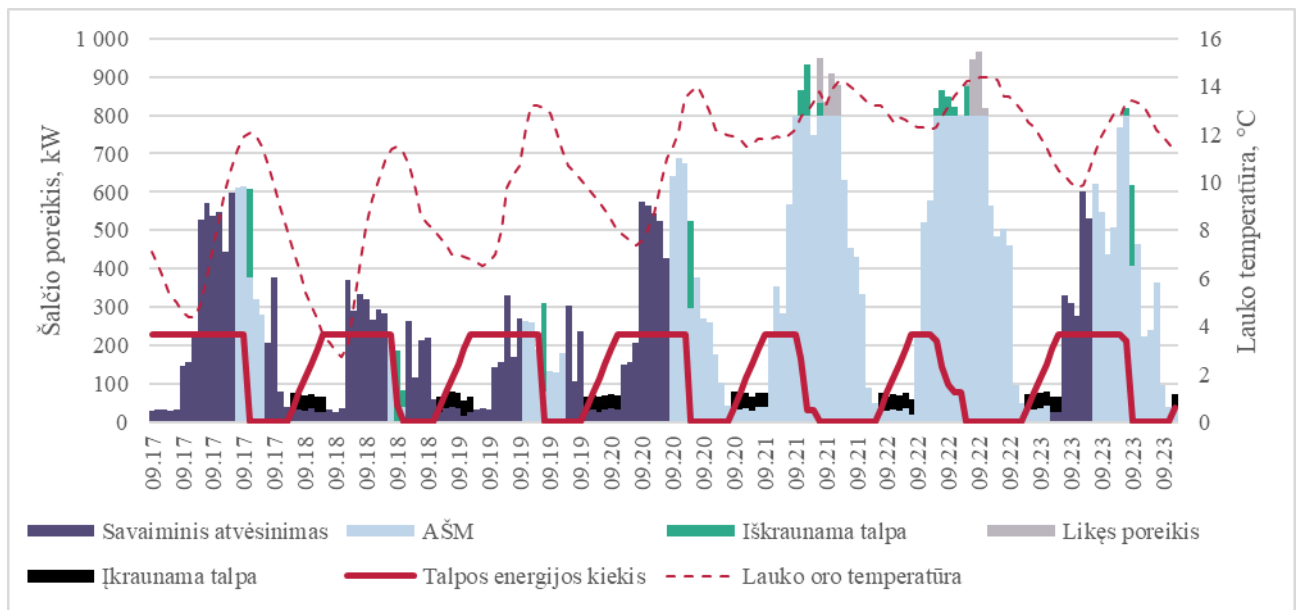


3.13 pav. Šaldymo mašinos veikimo loginė diagrama

Nagrinėjant pateiktą diagramą, matyti, jog visų pirma absorbcinės mašinos veiklą nusako metų laikotarpis, jeigu tai nešildymo sezonas, vadinasi, tinkle yra pigios perteklinės energijos, todėl šaldymo mašina dirbs. Toliau yra atsižvelgiama šaldymo mašinos galia yra didesnė už tą valandą esantį šalčio poreikį, jei ji yra mažesnė, tuomet šaldymo mašina dirba maksimalia galia ir su talpos šalčio energijos likučiu padengia maksimalią dalį šalčio poreikio. Kitu atveju, kai šaldymo mašinos galia yra didesnė už poreikį yra žiūrima ar akumuliacinė talpa yra įkrauta iki maksimalios vertės. Jeigu ji yra įkrauta, šaldymo mašinos galia yra lygi šalčio poreikiui, jeigu akumuliacinė talpa nėra visiškai įkrauta, šaldymo mašinos galia priklauso nuo to, ar maksimaliai įkrauta akumuliacinė talpa.

Vertinama, jog esant žemesnei lauko temperatūrai nei tiekama į šaldymo sistemą, pastatai vėsintusi atiduodami šilumą į lauką, naudojant savaiminio atvėsavimo principą.

Tokios logikos poreikio grafikas pateikiamas 3.14 paveiksle.

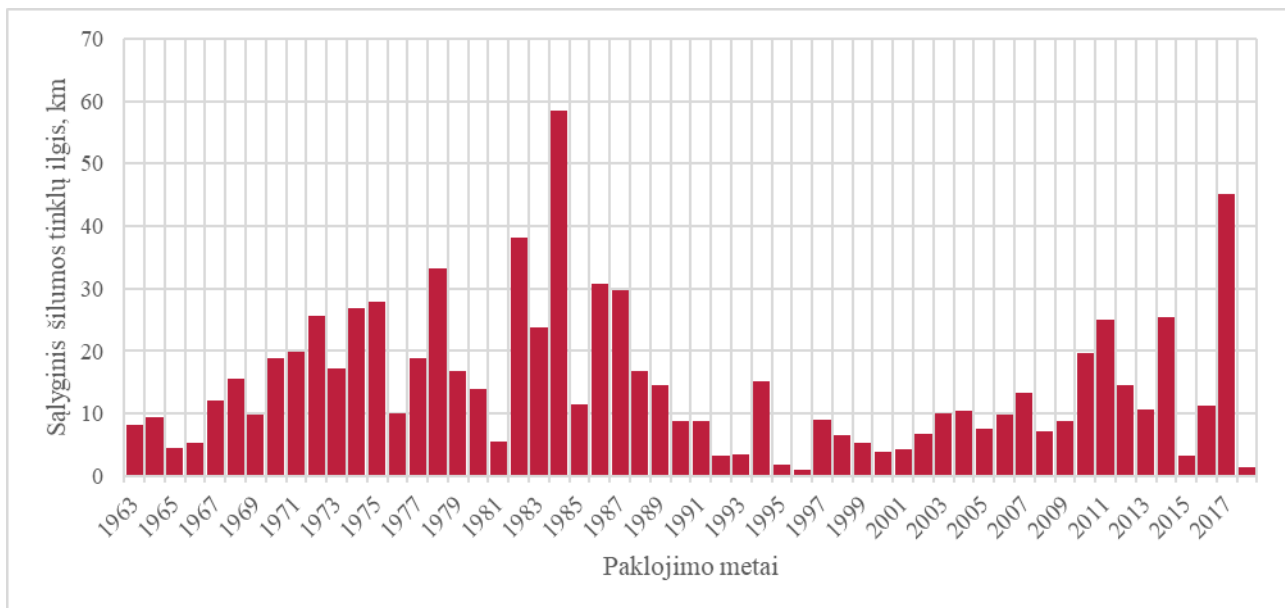


3.14 pav. Šaldymo pastotės veikimas savaitės bėgyje

Pateiktame paveiksluke, galima matyti, jog esant pakankamai šaltam paros laikotarpiui, pastatai šalčio poreikį pasirūpina patys, atsivėsindami pakankamai šaltu lauko oru. Pakilus temperatūrai bei šalčio poreikiui pradėtų veikti absorbcinė šalčio mašina, kuri pastotėje gamintų šaltį ir tiekų jį į akumuliacinę talpą ir paskui į šalčio vartotojus. Atvejais kuomet AŠM negali patenkinti šalčio poreikio papildomai iškraunama ir buferinė talpa, taip kompensuojant staigius šalčio poreikio svyravimus. Ši buferinė talpa, esant galimybei, būtų įkraunama naktį, kuomet elektros energijos tarifai yra mažiausi. Taip pat numatoma, kad buferinė talpa išsikrautų dienos pabaigoje padengiant pikus. Atvejais, kuomet šaldymo pastotė nebegali užtikrinti viso šalčio poreikio, šalčio vartotojai pasidengtų savo įrenginiais patys.

3.5. Kauno miesto integruoto tinklo temperatūrinio grafiko pakėlimo įtaka šilumos nuostoliams

Remiantis 2018 metų duomenimis, didžioji vamzdynų dalis Kauno miesto integruotame tinkle yra paklota nepraeinamais kanalais prieš 1991 metus. Kauno miesto vamzdynų pasiskirstymas pagal jų paklojimo metus yra pateikiamas 3.15 paveiksle. Stulpelinėje diagramoje pateikiamas sąlyginis tinklų ilgis, t.y. faktinis šilumos perdavimo tinklus sudarančių skirtingo skersmens vamzdžių ilgis, perskaičiuotas į 100 mm skersmens vamzdžius.



3.15 pav. Kauno miesto integruoto tinklo trasų ilgiai pagal paklojimo metus

Siekiant nustatyti, kokią įtaką perdavimo techniniams nuostoliams CŠT tinklui turės nešildymo sezono temperatūrinio grafiko pakėlimas iki 90 °C buvo atsižvelgta į faktinius 2018 metų nuostolius, kurie sudarė 237,6 GWh [22] per metus.

Turimi tinklų duomenys, buvo įvesti į VERT šilumos perdavimo vamzdynų nuostolių skaičiuoklę [23], darant prielaidą, jog vamzdynai pakloti iki 2000 metų yra pakloti nepraeinamuose kanaluose, o po 2000 metų, bekanaliniu būdu. Taip pat termofikacinio vandens temperatūros skirtingais laikotarpiais buvo pasirinktos pagal Kauno miesto CŠT temperatūros grafikus [24]. Turint šiuos duomenis, termofikacinio tinklo suminiai rezultatai buvo sukalibruoti naudojant MS “Excel” Goal Seek funkciją taip, jog būtų gaunama faktinė 2018 metų vertė.

Toliau, pakėlus nešildymo sezono temperatūrinį grafiką buvo gauta, kad toks temperatūros padidinimas reikštų papildomus ~25 794 MWh, t.y. apie 10 % nuostolių padidėjimą per metus. Nors šis skaičius yra ir nemažas ir galutiniame balanse neatrodo praktiškas, reikia įvertinti, jog šie papildomi nuostoliai būtų patiriami tik nešildymo sezono metu, kurio metu yra daroma prielaida, jog šilumos kaina būtų 0,01 ct/kWh.

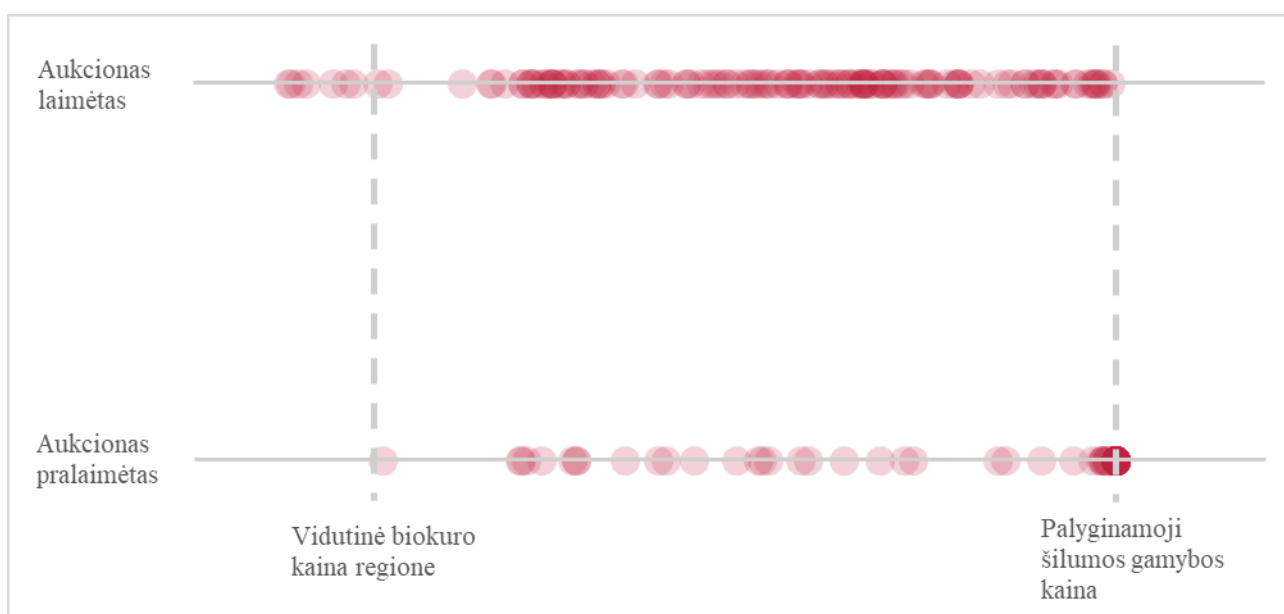
4. Ekonominė analizė

4.1. Sezoninės šiluminės talpos šilumos pardavimo kaina

Vertinant sezoninės šiluminės talpos šilumos realizavimo kainą, svarbu įvertinti tai, jog nors sezoninė šiluminė talpa yra gana panaši, į tipinį aukcione dalyvaujantį šilumos gamintoją, joje sukauptas šilumos energijos kiekis yra baigtinis. Tai reiškia, kad talpa išnaudojusi visą savo šilumos energijos kiekį, vėliau aukcione nebedalyvaus ir lauks kito sezono. Tokiu atveju, per šildymo sezoną, pasirinkto dydžio šiluminė talpa galėtų išdirbti apie 1944 val., per šildymo sezoną (360 val. pilnu pajėgumu ir 1584 val. kartu su šilumos siurbliu). Tai sudarytų apie 45 % nuo šildymo sezono trukmės.

Siekiant nustatyti galimą šilumos pardavimo kainą, buvo nagrinėjami Kauno miesto šilumos tiekimo sistemos aukciono rezultatai, šildymo sezono metu, nuo 2018 metų balandžio mėn. iki 2021 kovo mėn. [13]. Taip pat šiame laikotarpyje buvo įvertinta ir vidutinė Kauno regiono biokuro kaina [14].

Turint šiuos duomenis, analizuojama, kokia aukcione šilumos gamintojo siūloma kaina padėdavo laimėti aukcioną. Aukcionų rezultatai yra pateikiami 4.1 paveiksle.



4.1 pav. Įvykusių aukcionų rezultatai Kauno miesto tinkle

Horizontalioje grafiko ašyje atidedama faktinė aukcione pasiūlyta kaina, kaip santykis tarp vidutinės Kauno regiono biokuro kainos (kainos grindys) ir palyginamosios šilumos gamybos kainos (kainos lubos), o vertikalioje ašyje nurodoma aukciono baigtis, laimėtas arba pralaimėtas. Kadangi ateinančių aukcionų šilumos poreikių prognozės nėra lygios faktinėms vertėms, būna atvejų, kai šilumos gamintojas laimi aukcioną, tačiau dėl sumažėjusio šilumos energijos poreikio šilumos tą mėnesį negamina arba gamina tik dalį pasiūlyto kiekio. Todėl, siekiant išvengti tokių rezultatų iškraipymų, daroma prielaida, jog aukcionas yra laimimas tuomet, kada laimėtojas pagamina bent 80 % prognozuoto šilumos energijos kiekio.

Nagrinėjant sudaryto grafiko duomenis, galime apytiksliai vertinti, kad aukcione siūlant kainą arti palyginamosios, aukcionas didžiuoju kiekiu atvejų yra pralaimimas, tačiau pralaimėjimai pasitaiko ir siūlant šilumos kainą artimą to mėnesio vidutinei biokuro kainai.

Siekiant tiksliau įvertinti šiuos rezultatus, duomenų analizei buvo panaudota binominė logistinė regresija. Tokia regresija skiriasi nuo klasikinės, tiesinės regresijos tuo, kad sąlyginis y bei x pasiskirstymas yra Bernoulli skirstinys, o ne Gauso, nes priklausomoji vertė yra binominė. Taip, pat prognozuojamos vertės yra tikimybės, kurios yra limituotos ties dvejomis vertėmis (0, 1), nes logistinė regresija prognozuoja tik tikimybę tarp galimų rezultatų, o ne rezultatus.

Binominė logistinė regresija visų pirma apskaičiuoja rezultato tikimybę skirtinguose lygiuose kiekvienam nepriklausomam kintamajam, o vėliau paima šio rezultato logaritmą tam, jog būtų sukurtas tęstinis kriterijus kaip transformuota priklausomo kintamojo versija.

Siekiant nustatyti logistinės regresijos funkciją, visų pirma kiekvienai santykinei pasiūlytai aukciono kainai buvo apskaičiuota Logit vertė. Tikimybių logaritmas yra spėjimo Logit:

$$\text{logit } p = \ln \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \beta_1 x, \quad (31)$$

čia:

p – Spėjimas;

β_i – lygties parametrai.

Kadangi, β_i parametru verčių nežinome, siekiant aprašyti funkciją, jas nustatome atsitiktines. Vėliau turint funkciją bus panaudota Excel funkcija tam, kad būtų rastos optimalios parametru vertės.

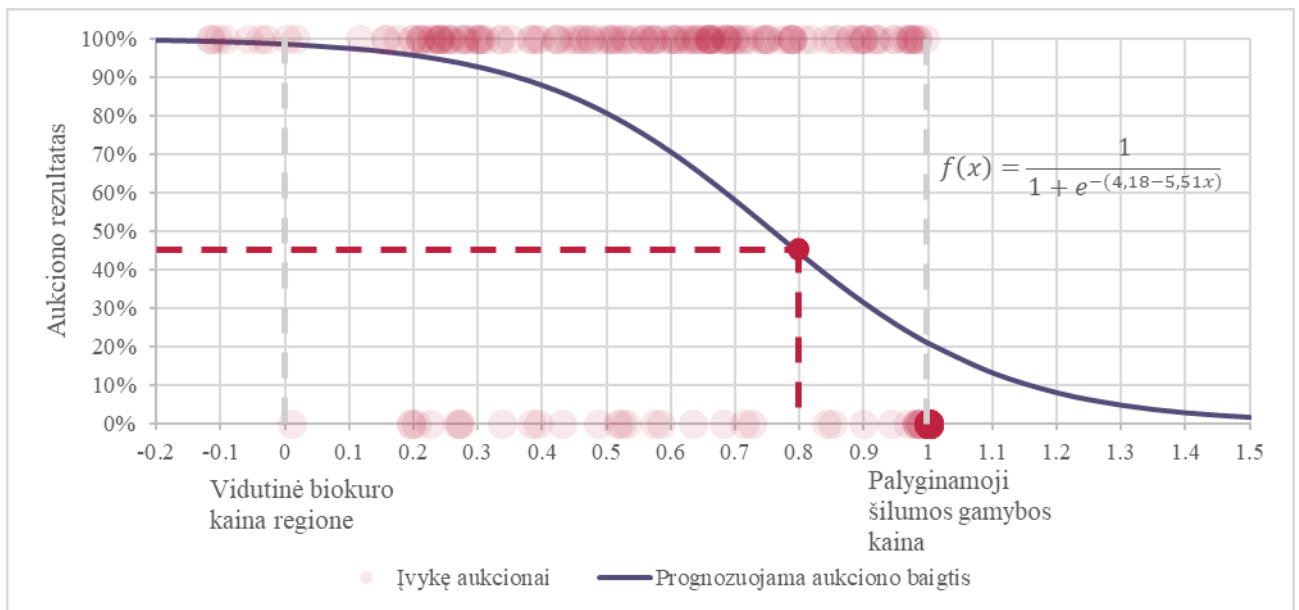
Toliau gautas vertes, eksponuojame bei įkeliamo į pagrindinę logistinės regresijos lygtį:

$$p(x) = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}}{e^{(\beta_0 + \beta_1 x)} + 1} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}}. \quad (32)$$

Toliau apskaičiuojame logaritmo tikimybę. Tikimybės funkcija apskaičiuoja tikimybę pagal įvesties kintamųjų reikšmes. Bendra tikimybė bus visų šių verčių suma, kurios maksimali vertė reikš optimaliausius lygties parametrus:

$$LL = y \cdot \ln p(x) + (1 - y) \cdot \ln(1 - p(x)). \quad (33)$$

Panaudojus *MS Excel Solver* funkciją gauname priklausomybę, kurios rezultatai yra 4.2 pateikiami paveiksluke.



4.2 pav. Logistinės regresijos kreivė parodanti tikimybę laimėti aukcioną pagal pasiūlomą aukciono kainą

Analizuojant gautus rezultatus matome, jog tikimybės kreivė atitinka realią situaciją Kauno miesto šilumos tiekimo tinkle. Dalyvaujant aukcione su kaina, artimai vidutinei Kauno regiono biokuro kainai, galima tikėtis laimėjimo 99 % patikimumu. Tuo tarpu siūlant kainą artimą palyginamajai šilumos gamybos kainai, tikimybė laimėti aukcioną būtų tik apie 20 %.

Vertinant šiluminės talpos galimų išdirbti valandų skaičių, matome, jog siekiant dirbti 45 % procentus laiko, aukcionuose reiktų siūlyti 20 % mažesnę kainą, už to mėnesio palyginamąją kainą. Tuo atveju, kuomet sezoninė šiluminė talpa pralaimi aukcioną, tačiau esamų biokuro pajėgumų neužtenka padengti šilumos poreikiui, sezoninė šiluminė talpa šilumą parduoda už palyginamąsias sąnaudas.

4.2. Taupomos dujų šilumos savikainos įvertinimas

Siekiant nustatyti taupomos šilumos energijos kainą, kuri kitu atveju būtų pagaminama deginant gamtines dujas, buvo priimtos tokios prielaidos:

- Įsigyjamų gamtinių dujų žaliavos kaina (Vidutinė 2021 m. vasario mėn. kaina) – 21,19 Eur/MWh [14];
- Gamtinių dujų papildomos skirstymo, perdavimo, rezervo užtikrinimo, VMI akcizo, o taip pat saugumo dedamosios kainos priimtos pagal galiojančią kainodarą [16] [17] [18];
- Gamtinių dujų katilų efektyvumas priimtas lygus 93 % vertinant pagal žemutinį kuro šilumingumą ir apie 83,9 % vertinant pagal aukštutinį šilumingumą;
- Šilumos gamyboje sunaudojamos elektros energijos ir vandens kiekiai priimti pagal Kogeneracinių jėgainių šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimo metodikos 3 ir 4 priedų rekomendacijas taikant IV kategoriją [15];

- Gamtinių dujų išmetamų CO₂ teršalų faktorius (pagal aukštutinį šilumingumą) – 61,56 t/TJ - 0,22 t/MWh [19]
- Apyvartinių taršos leidimų (ATL) kaina balandžio mėnesį – 42,83 Eur/tCO₂ [20];
- Elektros energijos kaina priimta lygi 74,5 Eur/MWh [21] , vandens kaina priimta lygi 1 Eur/m³.

Kadangi 5 skyriuje bus nagrinėjamas ir atvejis, kuomet daroma prielaida, jog iš sezoninės šilumos talpos tiekiant šilumos energiją į tinklus bus sumažinamas brangesnio, iškastinio kuro naudojimas, jam iš pateiktų rodiklių apskaičiuojama sutaupomos šilumos kaina iš dujinio kuro, kuri yra lygi – 41,37 Eur/MWh.

4.3. Sezoninės šiluminės talpos projekto kaštai

Siekiant įvertinti sezoninės šiluminės talpos kaštus, jie buvo suskirstyti į 4 grupes:

- Su pradinėmis investicijomis susiję kaštai;
- Fiksuoti eksploataciniai kaštai;
- Kintamieji eksploataciniai kaštai;
- Kiti kaštai.

4.3.1. Su pradinėmis investicijomis susiję kaštai

Sezoninės šiluminės talpos investiciniai kaštai

Kaip jau minėta 0 skyriuje, į sezoninės šiluminės talpos investicinius kaštus įeina:

- 15 % - Grunto kasimas ir pylimų sudarymas;
- 35 % - Apatinio ir šoninių paviršių sandarinimo sluoksniai bei izoliacinis sluoksnis;
- 20 % - Montavimo darbai;
- 15 % - Vamzdynai;
- 15 % - Vanduo (įskaitant jo paruošimą).

Siekiant nustatyti šiuos kaštus buvo pasinaudota pasinaudota 7 Danijoje įvykdytų projektų išvesta kaštų formule [9]:

$$K_{\text{š.T.}}(\text{Eur}/\text{m}^3) = (0,9 + 2,44 \cdot 10^{-5} \cdot V) \cdot 1\,000\,000 \quad (34)$$

Čia:

V – Sezoninės talpos tūris, m³.

Naujo pastato šilumos siurbliui įrengimo kaštai

Įrengus šilumos siurblių, jam reiks įrengti ir naują pastatą. Remiantis Technology Data [3], kompresorinio šilumos siurblio išmatavimai yra:

$$S_{K.š.S.}(1\ 000m^2/MW) = 0,05 \cdot Q_{K.š.S.šil} \quad (35)$$

Tuo tarpu absorbcinio šilumos siurblio išmatavimai:

$$S_{A.š.S.}(1\ 000m^2/MW) = 0,01 \cdot Q_{A.š.S.šil} \quad (36)$$

Vertinama, jog pastato aukštis galėtų būti apie 3 metrus, tokiu, atveju pastato kaina nustatoma pagal statinių statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamuosius rodiklius (2018 m. kovo mėn.). Energetinės paskirties pastatams (kurių tūris yra mažesnis nei 2 500 m³) rekomenduojama taikyti statybos įkainį 179,56 Eur/m³.

Kompresorinio ir absorbcinio šilumos siurblio įrengimo kaštai

Preliminariai vertinama, jog investicija į kompresorinį šilumos siurblių siektų 860 000 Eur/MW, apie 80 % šios kainos sudarytų pats įrenginys, o likusius 20 % įrengimas. [3]

Tuo tarpu investicija į absorbcinį šilumos siurblių siektų 560 000 Eur/MW_{šil}, pusę šios kainos sudarytų pats įrenginys, o kitą pusę jo įrengimas.

Naujos/esamos biokuro katilinės įsigijimo kaštai

Vertinama, jog norint užtikrinti absorbcinio šilumos siurblio veikimą, šalia sezoninės šiluminės talpos bei AŠS taip pat reiks turėti šilumą generuojantį įrenginį. Vertinama, jog toks įrenginys galėtų būti įrengtas naujai arba perpirktas iš esamų NŠG.

Numatoma, jog tokia investicija galėtų siekti 260,655 Eur/kW biokuro katilui bei 304,1 Eur/kW dūmų kondensaciniam ekonomizeriui. [15]

4.3.2. Fiksuoti eksploataciniai kaštai

Šiluminės talpos fiksuoti eksploataciniai kaštai

Šiluminės talpos fiksuoti eksploataciniai kaštai yra lygūs 13 000 Eur, t.y. visam galimam sukaupti šiluminės talpos kiekiui. [9]

Kompresorinio bei absorbcinio šilumos siurblio fiksuoti eksploataciniai kaštai

Vertinama, jog tiek KŠS bei AŠS fiksuoti eksploataciniai kaštai sudaro 2 000 Eur/MW_{šil}.

4.3.3. Kintamieji eksploataciniai kaštai

Šiluminės talpos kintamieji eksploataciniai kaštai

Vertinama, jog šiluminės talpos elektros energijos sąnaudos siektų 2 % nuo patiektos šilumos energijos, MWh. [9]

Kompresorinio bei absorbcinio šilumos siurblio kintamieji eksploataciniai kaštai

Kompresorinio šilumos siurblio kintamieji eksploataciniai kaštai sudarytų 2,19 Eur/MWh_{šil}, taip pat šilumos siurblys suvartotų 1 % elektros energijos nuo patiektos šilumos energijos, MWh vidiniams

procesams. Be to Kompresoriniame šilumos siurblyje būtų patiriamos elektros energijos sąnaudos atsižvelgiant į tuo metu esantį COP.

Tuo tarpu absorbcinio šilumos siurblio kintamieji eksploataciniai kaštai sudarytų apie 1 Eur/MWh_{šil}, į kuriuos įeina elektros energijos kainas bei kiti kaštai. [3]

Naujos/esamos biokuro katilinės kintamieji eksploataciniai kaštai

Vertinama, jog biokuro katilinės kintamieji eksploataciniai kaštai sudarytų 21 kWh/MWh elektros energijai bei 0,16 m³/MWh technologiniam vandeniui.

Taip pat kaip eksploatacinės sąnaudos numatoma 8,75 Eur/MWh į kurias įeina materialinės sąnaudos, darbo užmokestis, socialinis draudimas ir mokesčiai. [15]

Įsigyjamo biokuro kaina nustatyta pagal paskutinių dviejų metų šildymo sezono mėnesių vidutinę biokuro kainą, kuri lygi 10,9 Eur/MWh [14].

4.3.4. Kiti kaštai

Šiluminės talpos įkrovimo kaštai

Vertinama, jog įkraunant šiluminę talpą kiekvieną sezoną kainuos 0,01 Eur/MWh.

Papildomų tinkle patiriamų šilumos nuostolių kaštai

Kaip ir sezoninės šiluminės talpos atveju, vertinama, jog vasarą pakėlus temperatūrinį grafiką iki 90 °C papildomi šilumos nuostoliai tinkle kainuotų 0,01 Eur/MWh.

4.4. Centralizuoto vėsumos tiekimo projekto kaštai

4.4.1. Su pradinėmis investicijomis susiję kaštai

Absorbcinės šaldymo mašinos įrengimo kaštai

Investicija į absorbcinę šaldymo mašiną siektų ~560 000 Eur/MW_{šal}, pusę šios kainos sudarytų pats įrenginys, o kitą pusę jo įrengimas. [3]

Pastotės pastato kaštai

Vertinama, jog pastotės turį sudarytų absorbcinės šaldymo mašinos tūris ir buferinės talpos užimamas tūris.

Pastato aukštis galėtų būti apie 3 metrus, tokiu, atveju pastato kaina nustatoma pagal statinių statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamuosius rodiklius (2018 m. kovo mėn.). Energetinės paskirties pastatams (kurių tūris yra mažesnis nei 2 500 m³) rekomenduojama taikyti statybos įkainį 179,56 Eur/m³.

Šalčio buferio akumuliacinė talpos kaštai

Numatoma investicija į buferinę talpą yra numatoma tokia:[26]

$$K_{B.T.}(Eur/l) = 33,979 \cdot V_{B.T.}^{-0,373} \quad (37)$$

Hibridinės aušyklės kaštai

Vertinama, jog hibridinės aušyklės kaina galėtų siekti apie 101 555 Eur/MW [27].

4.4.2. Fiksuoti eksploataciniai kaštai

Absorbcinės šaldymo mašinos fiksuoti eksploataciniai kaštai

Absorbcinės šaldymo mašinos fiksuoti eksploataciniai kaštai sudaro 2 000 Eur/MW_{šal.}

4.4.3. Kintamieji eksploataciniai kaštai

Absorbcinio šaldymo mašinos kintamieji eksploataciniai kaštai

Absorbcinės šaldymo mašinos kintamieji eksploataciniai kaštai sudarytų apie 1 Eur/MWh_{šal.}, į kuriuos įeina elektros energijos kainos bei kiti kaštai. [3]

Hibridinės aušyklės kintamieji eksploataciniai kaštai

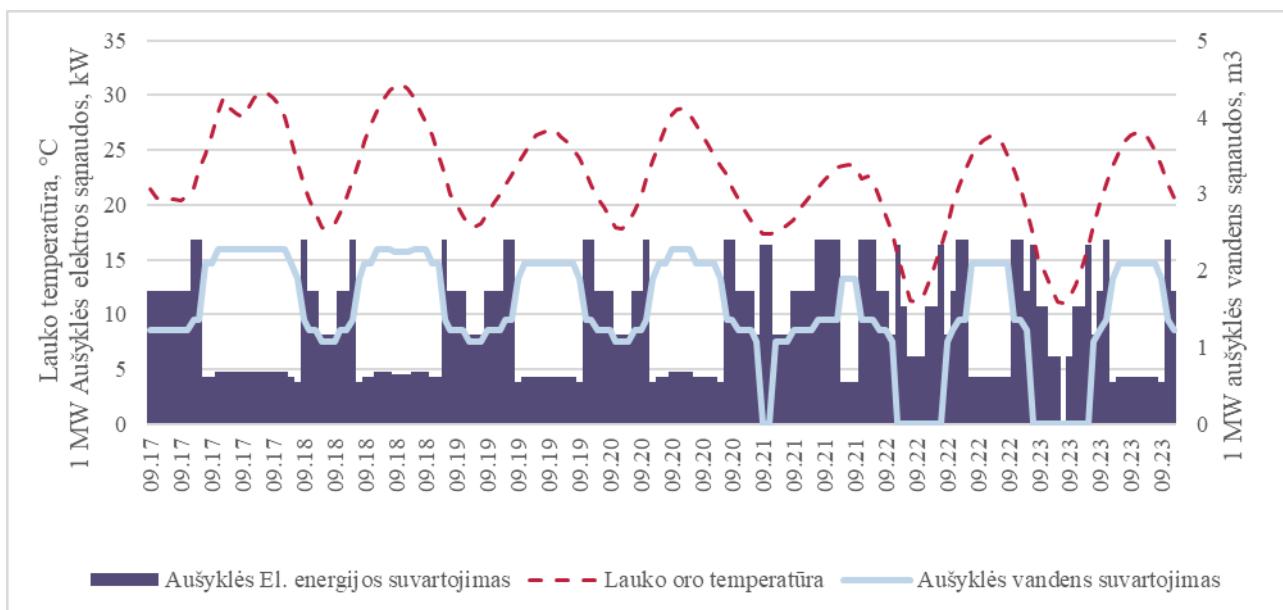
Vertinant hibridinės aušyklės kintamuosius eksploatacinius kaštus, buvo pasirinktas vieno gamintojo hibridinės aušyklės vienerių metų veikimo charakteristikos:

4.1 lentelė. 1 MW galios hibridinės aušyklės parametrai

Lauko oro temperatūra, °C	Vandens suvartojimas, m ³ /val	El. suvartojimas, kW
4 – 7	0	2,76
7 – 10	0	3,97
10 – 13	0	6,17
13 – 16	0	10,72
16 – 18	0	16,34
18 – 19	1,07	8,17
19 – 22	1,22	12,08
22 – 24,1	1,35	16,78
24,1 – 25	1,89	3,79
25 – 28	2,1	4,25
28 – 31	2,27	4,73
31 – 33	2,25	4,50

Pagal lentelės duomenis galima matyti, jog iki 17 °C aušyklė dirba pilnai sausu režimu, t.y. nėra išpurškiamas vanduo šilumos mainams intensyvinti. Pasiekus 18 °C ribą, aušyklė pradeda veikti hibridiniu režimu, išpurškiamas vanduo, o elektros sąnaudos sumažėja, kadangi ventiliatoriams nebereikia taip intensyviai dirbti. Pasiekus 24,1 °C ribą aušyklė pradeda dirbti pilnai šlapiu režimu taip maksimaliai suaktyvinant šilumos mainus.

Tokie hibridinės aušyklės darbo režimai pateikiami žemiau:



4.3 pav. Hibridinės aušyklės darbo režimo priklausomybė nuo lauko oro temperatūros

4.5. Parduodamos vėsumos kainos įvertinimas

Siekiant nustatyti už kokią kainą būtų galima pardavinėti šaltį šalčio vartotojams yra daromos prielaidos, jog šalčio kaina priklausys nuo:

- Elektros energijos kaina priimta lygi 102 Eur/MWh; [21]
- Esamos šaldymo sistemos kintamieji eksploataciniai kaštai lygūs 3,77 Eur/MWh_{šal.}; [3]
- Esamos šaldymo sistemos elektros energijos sąnaudos aušyklėse nustatytos pagal 4.1 lentelėje pateiktus duomenis;
- Esamos šaldymo sistemos šilumos siurblių šaldymo COP_{šal} – 4,3.

Priėmus tokias prielaidas, vertinama, jog įskaičiavus esamų sistemų eksploatacines ir elektros energijos sąnaudas, gauname, kad tai sudarytų apie 36,65 Eur/MWh_{šal.}. Vertinama, jog parduodant šaltį pagamintą su absorbcinę šaldymo mašina, šalčio vartotojams ji būtų parduodama už 10 % mažesnę kainą, nei išleidžiama elektros energijai. Tai sudarytų 33,62 Eur/MWh_{šal}

5. Skaičiavimo rezultatai

5.1. Sezoninės šiluminės talpos ekonominis vertinimas

Nagrinėjant sezonines šiluminės talpas, buvo pasirinkta jas vertinti kartu su kompresoriniu šilumos siurbliu arba absorbciniu šilumos siurbliu ir papildoma 5 MW galios katiline.

Atliekant analizę, buvo pasiremta 3.4, 3.6 ir 3.7 paveikslėliuose pateiktomis loginėmis diagramomis bei jų aprašymais.

Siekiant nustatyti optimalų sezoninės šiluminės talpos dydį bei šilumos siurblio galią, šiems rodikliams buvo apskaičiuotas atsipirkimo laikas prie skirtingų verčių.

5.1.1. Sezoninės šiluminės talpos su kompresoriniu šilumos siurbliu ekonominis vertinimas

Sezoninės šiluminės talpos, kartu su kompresoriniu šilumos siurbliu pliusas yra tas, kad kitaip absorbcinio šilumos siurblio atveju, jis nėra priklausomas nuo papildomos arba netoli esamo aukšto potencialo šilumos šaltinio. Tačiau kompresorinio šilumos siurblio įrengimo ir eksploatacijos kaštai yra gerokai didesni. Taip pat, varomoji energija yra elektros energija, kuri yra brangesnė.

Vertinant sezoninę šiluminę talpą su pirmojo varianto logine diagrama buvo gauti tokie rezultatai:

Sezoninės šiluminės talpos tūris, m ³	Šilumos siurblio galia, MW													
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	
60 197	5 414	29,36	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
69 686	6 267	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
80 123	7 206	28,61	28,33	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
91 553	8 234	26,41	26,47	27,78	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
104 021	9 355	25,01	25,20	25,91	28,39	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
117 573	10 574	24,10	24,33	24,84	26,56	28,75	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
132 254	11 894	23,55	23,77	24,21	25,11	27,05	29,03	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
148 108	13 320	23,24	23,44	23,80	24,30	25,65	27,40	29,08	>30	>30	>30	>30	>30	>30
165 181	14 855	23,12	23,28	23,57	23,98	24,53	26,00	27,53	29,16	>30	>30	>30	>30	>30
183 519	16 505	21,47	21,79	22,18	22,64	23,16	24,42	25,78	27,12	28,55	>30	>30	>30	>30
203 166	18 271	21,72	21,98	22,29	22,67	23,09	23,58	24,72	25,97	27,24	28,46	29,82	>30	>30
224 167	20 160	20,75	21,07	21,42	21,81	22,24	22,70	23,49	24,64	25,75	26,83	28,02	29,08	>30
246 568	22 175	21,19	21,45	21,74	22,06	22,41	22,79	23,20	23,79	24,77	25,81	26,80	27,88	28,84
270 414	24 319	20,61	20,89	21,20	21,52	21,86	22,23	22,62	23,03	23,71	24,62	25,57	26,43	27,36
295 749	26 598	20,22	20,52	20,82	21,14	21,47	21,82	22,19	22,57	22,96	23,62	24,44	25,27	26,17
322 620	29 014	19,98	20,28	20,58	20,89	21,20	21,54	21,88	22,23	22,59	22,96	23,54	24,27	25,06
351 071	31 573	19,86	20,15	20,44	20,74	21,04	21,35	21,67	22,00	22,33	22,67	23,02	23,46	24,15
381 147	34 278	19,82	20,10	20,39	20,67	20,96	21,25	21,56	21,86	22,17	22,48	22,80	23,12	23,46
412 894	37 133	19,24	19,53	19,83	20,13	20,42	20,72	21,03	21,33	21,64	21,94	22,26	22,57	22,89
446 356	40 142	19,38	19,66	19,94	20,22	20,50	20,79	21,07	21,36	21,64	21,93	22,22	22,51	22,80
481 579	43 310	19,03	19,32	19,61	19,89	20,17	20,46	20,74	21,02	21,30	21,59	21,87	22,15	22,43
518 608	46 640	18,80	19,09	19,38	19,66	19,98	20,27	20,55	20,78	21,06	21,33	21,61	21,88	22,16
557 488	50 137	19,10	19,38	19,65	19,92	20,23	20,63	20,90	21,03	21,29	21,50	21,76	22,02	22,28
598 264	53 804	19,00	19,27	19,54	19,81	20,12	20,52	20,79	21,05	21,31	21,43	21,63	21,89	22,14
640 981	57 646	18,58	18,86	19,13	19,40	19,71	20,24	20,51	20,78	21,05	21,18	21,30	21,50	21,76
685 685	61 666	18,62	18,89	19,16	19,43	19,86	20,26	20,66	20,93	21,05	21,32	21,44	21,55	21,75
732 421	65 869	18,70	18,97	19,23	19,49	19,93	20,32	20,72	20,98	21,24	21,50	21,61	21,73	21,98
781 233	70 259	18,50	18,77	19,04	19,30	19,73	20,12	20,52	20,91	21,17	21,43	21,56	21,67	21,93
832 168	74 840	18,38	18,64	18,91	19,17	19,60	20,11	20,50	20,77	21,03	21,29	21,56	21,68	21,94
885 270	79 615	18,58	18,84	19,10	19,36	19,78	20,30	20,68	20,95	21,33	21,60	21,86	21,98	22,24
940 583	84 590	18,54	18,80	19,06	19,31	19,74	20,25	20,63	21,02	21,29	21,55	21,81	22,07	22,33
998 155	89 768	18,30	18,56	18,82	19,08	19,50	19,88	20,39	20,78	21,04	21,43	21,70	21,96	22,23
1 058 028	95 152	18,35	18,61	18,87	19,12	19,54	19,92	20,44	20,82	21,09	21,48	21,74	22,01	22,27
1 120 250	100 748	18,44	18,69	18,95	19,20	19,62	20,00	20,39	20,78	21,16	21,56	21,95	22,21	22,48
1 184 864	106 559	18,76	19,01	19,26	19,56	19,94	20,32	20,72	21,10	21,49	21,88	22,28	22,54	22,81
1 251 916	112 589	19,51	19,77	20,02	20,32	20,71	21,09	21,49	21,88	22,27	22,67	23,07	23,34	23,75
1 321 452	118 843	20,75	21,00	21,26	21,56	21,95	22,34	22,75	23,15	23,55	23,95	24,36	24,78	25,04
1 393 516	125 324	22,58	22,83	23,08	23,38	23,78	24,04	24,44	24,86	25,41	25,83	26,24	26,67	26,93
1 468 153	132 036	24,58	24,83	25,08	25,38	25,62	26,04	26,45	26,88	27,29	27,71	28,29	28,55	28,99
1 545 409	138 984	26,80	27,04	27,28	27,51	27,81	28,24	28,65	29,09	29,51	29,93	>30	>30	>30
1 625 328	146 171	29,25	29,47	29,70	29,93	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30

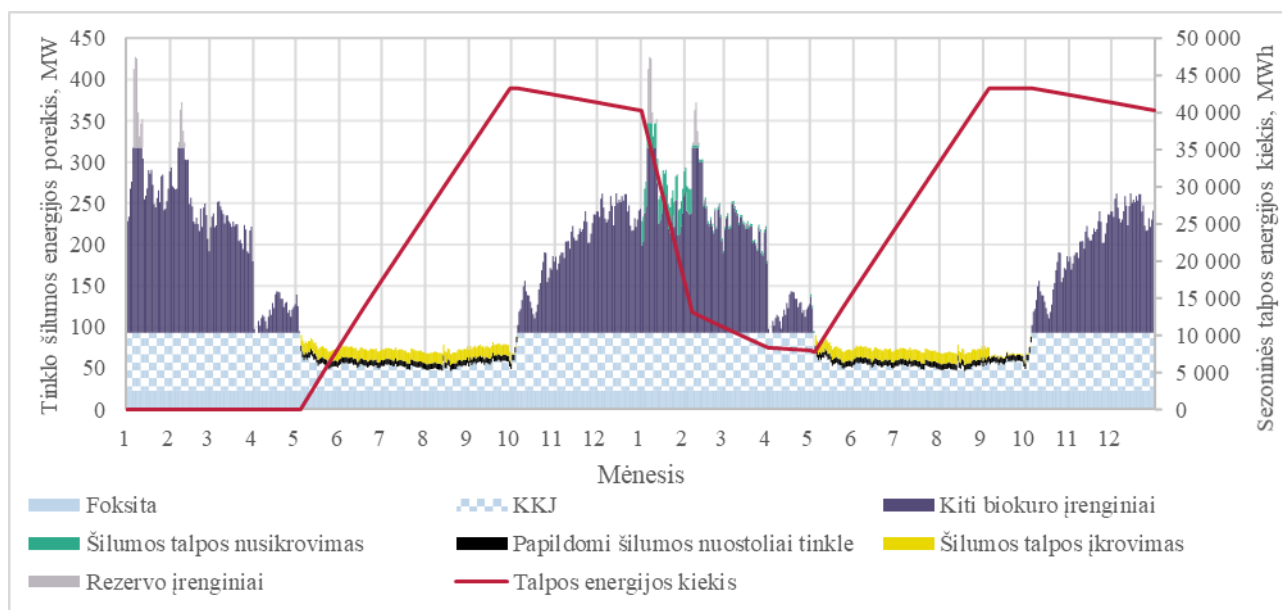
5.1 pav. Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią (1 variantas)

Iš pateikto paveikslėlio, matome, jog vertinant sezoninę šiluminę talpą kartu su kompresoriniu šilumos siurbliu, susiduriame su situacija kada šilumos siurblio įrengimas kartu su talpa yra neracionalus,

kadangi, papildomi investiciniai kaštai į šilumos siurblių reiškia padidėjusį bendro projekto atsipirkimo laiką.

Tačiau tam, kad tai galima būtų vizualizuoti grafike, buvo parinkta ~480 tūkst. m³ kartu su 3 MW kompresoriniu šilumos siurbliu, kadangi atsipirkimo laikas išauga neženkiai, o šilumos siurblio įrengimas suteikia lankstumo iškraunant sezoninę šilumos talpą.

Vertinama, jog tokia talpa šilumos aukcione dalyvautų kaip tradicinis šilumos gamintojas. Taip pat priimama, jog tokiai talpai išsikrauti pilnu pajėgumu ir likusią dalį su šilumos siurbliu pakaktų laimėti apie 22 % aukcionų, o tai remiantis 4.1 skyriuje aprašyta logistine regresija reikštų apie 2 % mažesnę kainą nei palyginamoji.



Įvertinus šiuos rezultatus daroma prielaida, jog nors sezoninė šiluminė talpa ir galėtų dalyvauti aukcionuose kaip tipinis šilumos gamintojas, tai nesuteiktų tinklo balansavimo galimybės ir nevisiškai padengtų šilumos poreikio pikus. Dėl šios priežasties tolimesniuose skaičiavimuose nagrinėjamas antras talpos išsikrovimo variantas.

Vertinama, jog tokia talpa CŠT sistemoje dalyvautų ne kaip tradicinis šilumos gamintojas, tačiau kaip įrankis, subalansuoti staigius tinklo nuokrypius ir padengti šildymo sezono metu susidarancius piko suvartojimus, kurie kitais atvejais būtų padengiami eksploatuojant iškastinį kurą deginančius įrenginius. Tokios konfigūracijos sezoninės šiluminės talpos su KŠS atsipirkimo laikai pateikiami žemiau:

		Šilumos siurblio galia, MW															
		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5		5,5	6		
60 197	5 414	26,88	29,32	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Kol sezoninė šiluminė talpa nėra pakankamo dydžio padengti pikus, jos atsipirkimo laikas yra prastesnis
69 686	6 267	27,83	28,14	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
80 123	7 206	29,10	28,74	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
91 553	8 234	28,29	27,95	28,27	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
104 021	9 355	25,83	25,90	26,35	28,40	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
117 573	10 574	23,74	24,06	24,61	26,19	28,37	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
132 254	11 894	25,31	25,49	25,85	26,37	27,47	29,40	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
148 108	13 320	22,56	23,48	24,38	25,30	26,23	27,51	29,23	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
165 181	14 855	24,11	24,82	25,53	26,26	27,00	27,75	28,54	29,80	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
183 519	16 505	22,12	22,87	23,62	24,35	25,09	25,84	26,60	27,65	29,10	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
203 166	18 271	22,50	23,17	23,83	24,49	25,14	25,80	26,46	27,13	27,82	29,07	>30	>30	>30	>30	>30	
224 167	20 160	22,32	22,95	23,56	24,17	24,77	25,37	25,97	26,57	27,19	27,81	28,66	29,81	>30	>30	>30	
246 568	22 175	21,71	22,29	22,86	23,42	23,98	24,53	25,09	25,64	26,20	26,76	27,33	28,13	29,20	>30	>30	
270 414	24 319	21,17	21,71	22,24	22,76	23,28	23,79	24,30	24,81	25,32	25,83	26,35	26,87	27,62	>30	>30	
295 749	26 598	20,69	21,19	21,69	22,17	22,65	23,13	23,60	24,07	24,54	25,01	25,48	25,96	26,44	>30	>30	
322 620	29 014	20,27	20,73	21,19	21,65	22,09	22,53	22,97	23,41	23,84	24,27	24,71	25,15	25,58	>30	>30	
351 071	31 573	19,89	20,32	20,75	21,17	21,59	22,00	22,41	22,81	23,21	23,61	24,01	24,42	24,82	>30	>30	
381 147	34 278	19,55	19,96	20,35	20,75	21,13	21,52	21,89	22,27	22,64	23,02	23,39	23,76	24,13	>30	>30	
412 894	37 133	19,25	19,62	20,00	20,36	20,72	21,08	21,43	21,78	22,13	22,48	22,82	23,16	23,51	>30	>30	
446 356	40 142	18,97	19,32	19,67	20,01	20,35	20,68	21,01	21,34	21,66	21,99	22,31	22,63	22,95	>30	>30	
481 579	43 310	18,72	19,05	19,37	19,69	20,01	20,32	20,63	20,93	21,24	21,54	21,84	22,14	22,43	>30	>30	
518 608	46 640	18,50	18,80	19,11	19,40	19,70	19,99	20,28	20,56	20,85	21,13	21,41	21,69	21,97	>30	>30	
557 488	50 137	18,29	18,58	18,86	19,14	19,41	19,69	19,96	20,23	20,49	20,76	21,02	21,28	21,54	>30	>30	
598 264	53 804	18,10	18,37	18,63	18,89	19,15	19,41	19,66	19,92	20,16	20,41	20,66	20,90	21,15	>30	>30	
640 981	57 646	17,92	18,18	18,43	18,67	18,91	19,16	19,39	19,63	19,86	20,10	20,33	20,56	20,79	>30	>30	
685 685	61 666	17,76	18,00	18,23	18,47	18,69	18,92	19,14	19,37	19,59	19,81	20,02	20,24	20,45	>30	>30	
732 421	65 869	17,62	17,84	18,06	18,28	18,49	18,70	18,91	19,12	19,33	19,54	19,74	19,95	20,15	>30	>30	
781 233	70 259	17,48	17,69	17,89	18,10	18,30	18,50	18,70	18,90	19,09	19,29	19,48	19,67	19,86	>30	>30	
832 168	74 840	17,35	17,55	17,74	17,94	18,13	18,32	18,50	18,69	18,87	19,06	19,24	19,42	19,60	>30	>30	
885 270	79 615	17,23	17,42	17,60	17,78	17,96	18,14	18,32	18,49	18,67	18,84	19,01	19,19	19,36	>30	>30	
940 583	84 590	17,17	17,34	17,51	17,68	17,85	18,01	18,18	18,34	18,50	18,66	18,82	18,98	19,14	>30	>30	
998 155	89 768	17,06	17,23	17,39	17,55	17,70	17,86	18,01	18,17	18,32	18,47	18,63	18,78	18,93	>30	>30	
1 058 028	95 152	16,97	17,12	17,27	17,42	17,57	17,72	17,86	18,01	18,16	18,30	18,44	18,59	18,73	>30	>30	
1 120 250	100 748	16,87	17,02	17,16	17,30	17,44	17,58	17,72	17,86	18,00	18,14	18,27	18,41	18,54	>30	>30	
1 184 864	106 559	16,91	17,04	17,18	17,31	17,44	17,58	17,71	17,84	17,97	18,10	18,22	18,35	18,48	>30	>30	
1 251 916	112 589	17,66	17,78	17,90	18,02	18,14	18,26	18,37	18,49	18,60	18,72	18,83	18,94	19,06	>30	>30	
1 321 452	118 843	18,77	18,89	19,01	19,12	19,24	19,36	19,48	19,59	19,71	19,83	19,94	20,05	20,17	>30	>30	
1 393 516	125 324	20,48	20,59	20,70	20,81	20,92	21,03	21,14	21,24	21,35	21,46	21,57	21,67	21,78	>30	>30	
1 468 153	132 036	22,39	22,49	22,59	22,69	22,79	22,89	22,99	23,09	23,19	23,29	23,38	23,48	23,58	>30	>30	
1 545 409	138 984	24,54	24,63	24,72	24,80	24,89	24,98	25,07	25,15	25,24	25,33	25,41	25,50	25,59	>30	>30	
1 625 328	146 171	26,97	27,04	27,11	27,19	27,26	27,33	27,40	27,47	27,54	27,62	27,69	27,76	27,83	>30	>30	
1 707 956	153 602	29,73	29,78	29,83	29,88	29,93	29,98	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
1 793 339	161 281	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	
1 881 520	169 212	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	

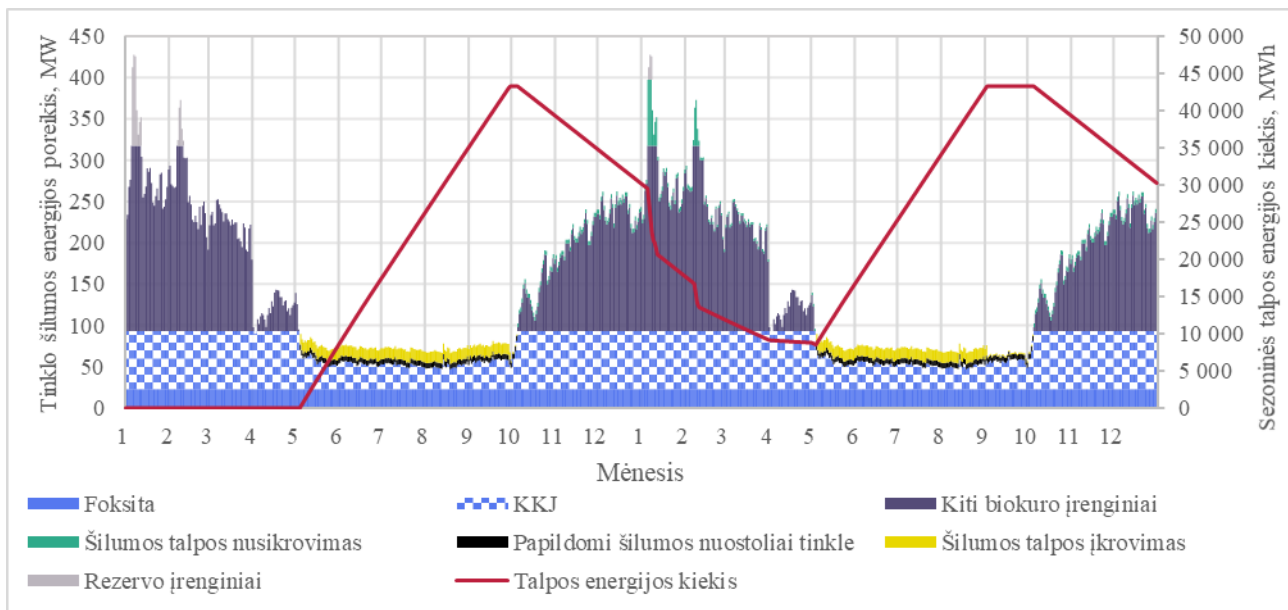
Neįrengus šilumos siurblio, atsipirkimo laikas yra geresnis

5.2 pav. Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią (2 variantas)

Darbe, daroma prielaida, jog prasidėjus šildymo sezonui, talpa veiktų kaip balansinis įrankis, t.y. pastoviai tinklui galėtų užtikrinti apie ~4,8 MW šilumos energijos. Toks iškraunamos energijos kiekis yra pasirinktas tam, jog talpoje liktų pakankamai energijos kiekio išsikrauti pilna galia esant šilumos energijos pikų laikotarpiams. Pasibaigus pikams ir šiluminei talpai išnaudojus nebegalint išsikrauti tiesiogiai tiekiant šilumos energiją į tinklą, darbo režimas būtų pakeičiamas į režimą su šilumos siurbliu.

5.2 paveiksle matoma, kad mažas talpos dydis nėra ekonomiškai naudingas, kadangi tokiu atveju talpa negali pilna galia padengti šildymo sezono pikų. Taip pat pastebima 1 varianto tendencija, jog nesvarbu kokio dydžio yra talpa, šilumos siurblio įrengimas tik sumažina projekto ekonominius rodiklius. Galiausiai, augant talpos dydžiui, ekonominiai rodikliai pradeda smarkiai prastėti, kadangi tokio dydžio talpai įkrauti nebeįmanoma nešildymo sezono metu esančios pigios šilumos energijos.

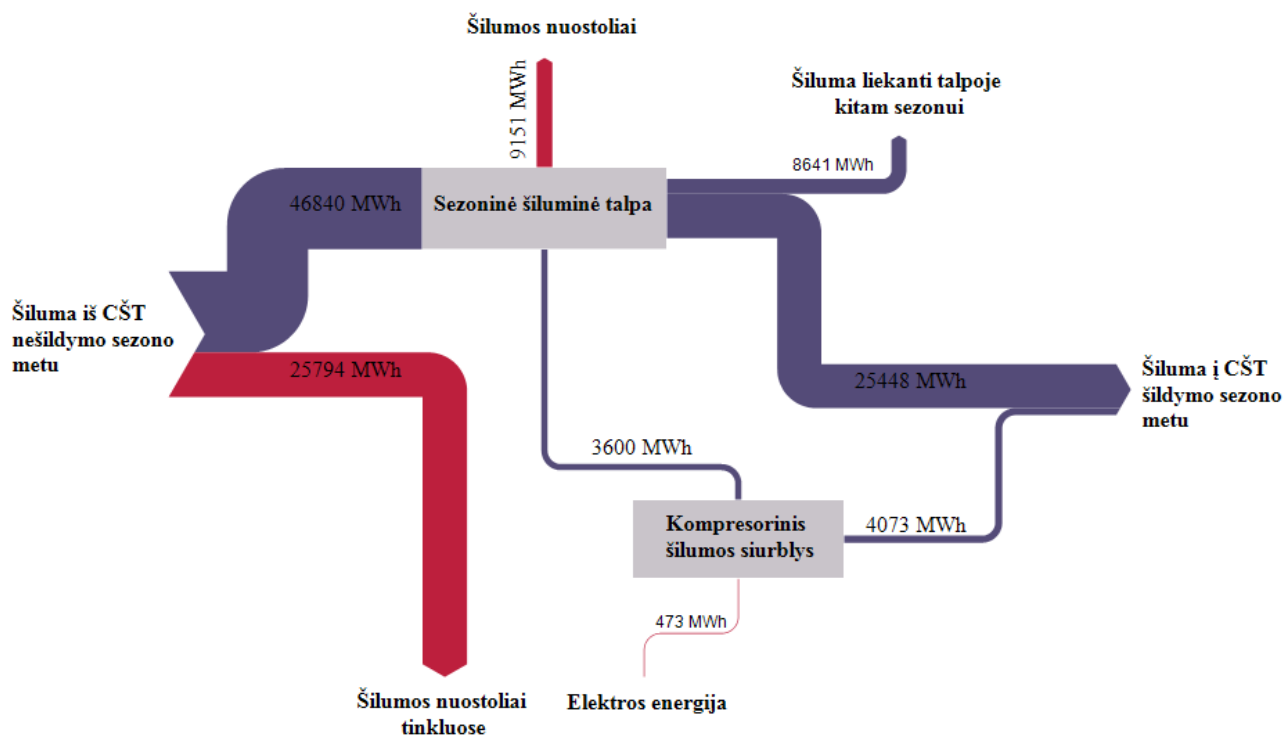
Tokios konfigūracijos talpos balansas Kauno miesto CŠT kontekste yra pateikiamas 5.3 paveiksle.



5.3 pav. Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir KŠS (2 variantas)

Iš pateikto grafiko, galima matyti, jog iki ir po poreikių pikų talpa veiktų kaip balansinis įrankis, užtikrinantis tinklo stabilumą, o per pikų laikotarpį sumažintų rezervinių įrenginių išnaudojimą. Vertinama, jog tokia talpa, pikų laikotarpiu galėtų padengti 87 % rezervo įrenginiais pateikiamos šilumos energijos.

Tokios konfigūracijos šilumos balansas pateikiamas 5.4 paveiksle:



5.4 pav. Sezoninės šiluminės talpos su KŠS energijos balansas

5.1 lentelė. Techniniai ekonominiai sezoninės šiluminės talpos su KŠS projekto rodikliai

Nr.	Aprašymas	Reikšmė
1	Pradinė investicija	15 328 291 Eur
1.1	Sezoninė šiluminė talpa su aprišimu	12 650 519 Eur
1.2	Kompresorinis šilumos siurblys su aprišimu	2 580 000 Eur
1.3	Pastatas šilumos siurbliui	97 772 Eur
2.1	Nupirkta šiluma talpos įkrovimui	46 840 MWh
2.2	Papildomi šilumos nuostoliai tinkle	25 794 MWh
2.3	Pateikta šiluma tiesiogiai iš talpos	25 448 MWh
2.4	Šiluma pateikta su šilumos siurblio pagalba	3 600 MWh
2.5	Šilumos siurblio sunaudotas elektros energijos kiekis	473 MWh
3	Išlaidos	114 652 Eur
3.1	Išlaidos šiluminės talpos įkrovimui	4 684 Eur
3.2	Išlaidos šiluminės talpos eksploatacijai	13 000 Eur
3.3	Išlaidos papildomiems šilumos nuostoliams tinkle	2 579 Eur
3.4	Išlaidos elektros sąnaudoms šiluminėje talpoje	37 918 Eur
3.5	Išlaidos šilumos siurblio eksploatacijai	13 884 Eur
3.6	Išlaidos elektros sąnaudoms šilumos siurblyje	37 890 Eur
4	Pajamos už parduotą šilumos energiją	876 770 Eur
5.1	Projekto vidinė gražos norma	-0,3 %
5.2	Grynoji dabartinė vertė (su 5 proc. diskonto norma)	-5 946 915 Eur
5.3	Paprastas atsipirkimo laikas	20,63 metai

5.1.2. Sezoninės šiluminės talpos su absorbciniu šilumos siurbliu ekonominis vertinimas

Sezoninė šiluminė talpa su absorbciniu šilumos siurbliu kaip varomąją energiją naudoja šilumos energiją. Tai reiškia, jog šio šilumos siurblio eksploatacinės sąnaudos yra mažesnės, tačiau tam, kad šis šilumos siurblys veiktų yra reikalingas išorinis aukšto potencialo šilumos šaltinis. Šiame darbe vertinama papildoma 5 MW katilinė, kaip tas šaltinis, tačiau tai galėtų būti ir perimtas NŠG ar kitas šalia talpos esantis šilumą generuojantis įrenginys.

Vertinant tokios talpos dydį bei šilumos siurblio galią galime pamatyti panašią tendenciją kaip ir su kompresoriniu šilumos siurbliu (5.5 paveikslėlis), jog šilumos siurblio įrengimas tik nežymiai sumažina projekto atsipirkimo laikotarpį. Taip pat matoma, jog įrenginėjant didesnės galios talpą atsipirkimo laikotarpis mažėja, tol kol nešildymo sezono metu nebeužtenka galios pilnai įkrauti šiluminę talpą.

Dėl didesnės talpos didelių pradinės investicijos kaštų, tolimesniame nagrinėjame pasirenkama tokio pačio dydžio talpa su 3 MW absorbciniu šilumos siurbliu.

	Šilumos siurblio galia, MW												
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
60 197	5 414	26,88	28,70	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
69 686	6 267	27,83	27,26	28,55	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
80 123	7 206	29,10	28,05	26,98	28,46	29,94	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
91 553	8 234	28,29	27,65	25,67	26,63	27,98	29,24	>30	>30	>30	>30	>30	>30
104 021	9 355	25,83	26,09	24,51	25,02	26,12	27,31	28,50	29,62	>30	>30	>30	>30
117 573	10 574	23,74	24,58	23,35	23,53	24,53	25,53	26,71	27,67	28,90	29,79	>30	>30
132 254	11 894	25,31	25,95	24,81	23,86	23,64	24,50	25,35	26,45	27,26	28,31	29,30	>30
148 108	13 320	22,56	24,29	23,93	23,62	23,34	23,53	24,30	25,25	26,09	27,14	27,88	29,04
165 181	14 855	24,11	25,50	25,08	24,70	24,37	24,07	23,79	24,12	24,95	25,65	26,53	27,34
183 519	16 505	22,12	23,70	23,44	23,21	23,01	22,81	22,64	22,85	23,59	24,39	25,01	25,73
203 166	18 271	22,50	23,95	23,72	23,51	23,32	23,14	22,98	22,83	22,68	23,28	23,87	24,60
224 167	20 160	22,32	23,72	23,53	23,36	23,20	23,06	22,93	22,80	22,68	22,57	22,76	23,33
246 568	22 175	21,71	23,06	22,92	22,78	22,66	22,55	22,44	22,34	22,24	22,15	22,07	22,27
270 414	24 319	21,17	22,47	22,36	22,26	22,16	22,07	21,98	21,90	21,83	21,76	21,69	21,63
295 749	26 598	20,69	21,94	21,85	21,77	21,70	21,63	21,56	21,50	21,44	21,39	21,33	21,28
322 620	29 014	20,27	21,46	21,39	21,33	21,28	21,22	21,17	21,12	21,08	21,03	20,99	20,95
351 071	31 573	19,89	21,02	20,97	20,93	20,89	20,85	20,81	20,77	20,74	20,71	20,67	20,64
381 147	34 278	19,55	20,62	20,59	20,56	20,53	20,50	20,47	20,45	20,42	20,40	20,37	20,35
412 894	37 133	19,25	20,26	20,24	20,22	20,20	20,18	20,16	20,14	20,13	20,11	20,09	20,08
446 356	40 142	18,97	19,93	19,92	19,91	19,89	19,88	19,87	19,86	19,85	19,84	19,83	19,82
481 579	43 310	18,72	19,63	19,62	19,62	19,61	19,61	19,60	19,59	19,59	19,58	19,58	19,57
518 608	46 640	18,50	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,34
557 488	50 137	18,29	19,10	19,10	19,10	19,11	19,11	19,11	19,12	19,12	19,12	19,13	19,13
598 264	53 804	18,10	18,86	18,87	18,88	18,88	18,89	18,90	18,90	18,91	18,91	18,92	18,93
640 981	57 646	17,92	18,65	18,66	18,67	18,68	18,68	18,69	18,70	18,71	18,72	18,73	18,74
685 685	61 666	17,76	18,45	18,46	18,47	18,48	18,49	18,50	18,51	18,52	18,53	18,54	18,55
732 421	65 869	17,62	18,26	18,28	18,29	18,30	18,31	18,33	18,34	18,35	18,36	18,37	18,38
781 233	70 259	17,48	18,09	18,10	18,12	18,13	18,15	18,16	18,17	18,19	18,20	18,21	18,22
832 168	74 840	17,35	17,93	17,95	17,96	17,98	17,99	18,01	18,02	18,03	18,05	18,06	18,07
885 270	79 615	17,23	17,78	17,80	17,81	17,83	17,84	17,86	17,87	17,89	17,90	17,92	17,93
940 583	84 590	17,17	17,68	17,70	17,71	17,72	17,73	17,75	17,76	17,77	17,78	17,79	17,80
998 155	89 768	17,06	17,55	17,56	17,58	17,59	17,60	17,62	17,63	17,64	17,65	17,66	17,68
1 058 028	95 152	16,97	17,43	17,44	17,45	17,47	17,48	17,49	17,51	17,52	17,53	17,54	17,56
1 120 250	100 748	16,87	17,31	17,32	17,34	17,35	17,37	17,38	17,39	17,40	17,42	17,43	17,45
1 184 864	106 559	16,91	17,32	17,33	17,34	17,35	17,36	17,37	17,38	17,39	17,40	17,41	17,42
1 251 916	112 589	17,66	18,04	18,03	18,03	18,02	18,01	18,01	18,00	17,99	17,99	17,98	17,97
1 321 452	118 843	18,77	19,12	19,11	19,11	19,10	19,09	19,08	19,08	19,07	19,06	19,06	19,05
1 393 516	125 324	20,48	20,80	20,77	20,75	20,73	20,70	20,68	20,66	20,64	20,62	20,60	20,58
1 468 153	132 036	22,39	22,66	22,62	22,58	22,54	22,50	22,46	22,42	22,38	22,35	22,31	22,28
1 545 409	138 984	24,54	24,75	24,69	24,63	24,56	24,50	24,44	24,39	24,33	24,27	24,22	24,16
1 625 328	146 171	26,97	27,11	27,02	26,93	26,84	26,75	26,67	26,59	26,50	26,42	26,35	26,27
1 707 956	153 602	29,73	29,77	29,65	29,52	29,40	29,29	29,17	29,06	28,95	28,84	28,74	28,63
1 793 339	161 281	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
1 881 520	169 212	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30

Kol sezoninė šiluminė talpa nėra pakankamo dydžio padengti pikus, jos atsipirkimo laikas yra prastesnis

Sezoninės šiluminės talpos maksimalus energijos kiekis, MWh

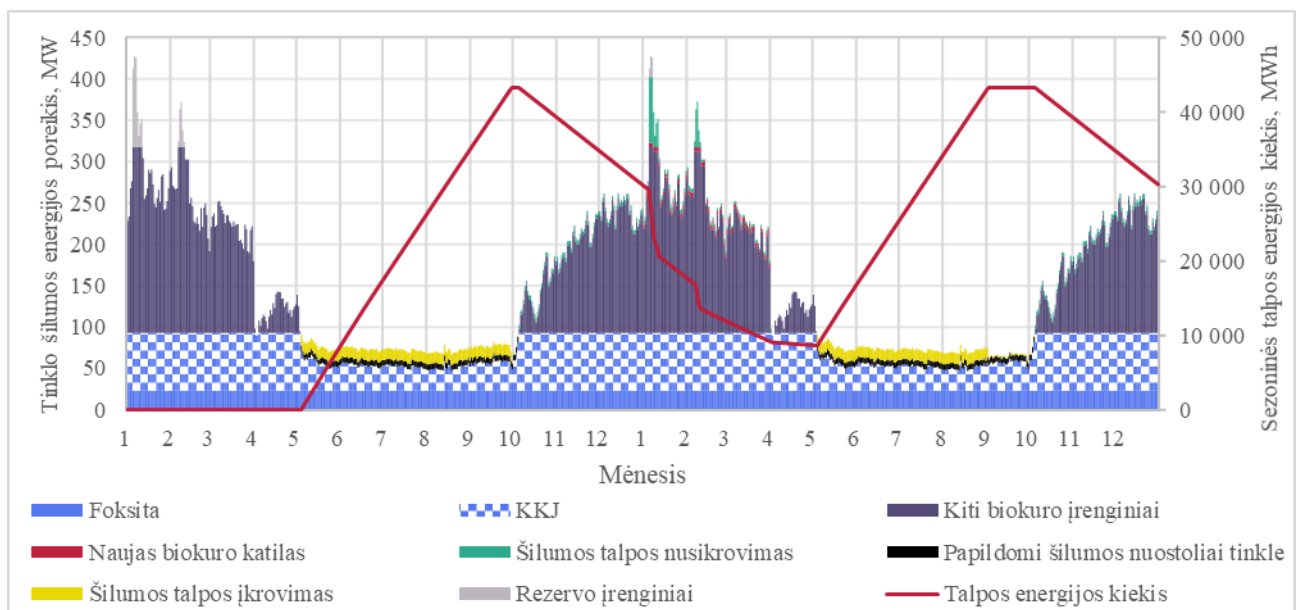
Sezoninės šiluminės talpos energijos kiekis, MWh

Sezoninės šiluminės talpos dydis yra didesnis nei galimas patiekti į ją energijos kiekis vasarą, todėl atsipirkimo laikas sparčiai prastėja

Neįrengus šilumos siurblio, atsipirkimo laikas yra geresnis

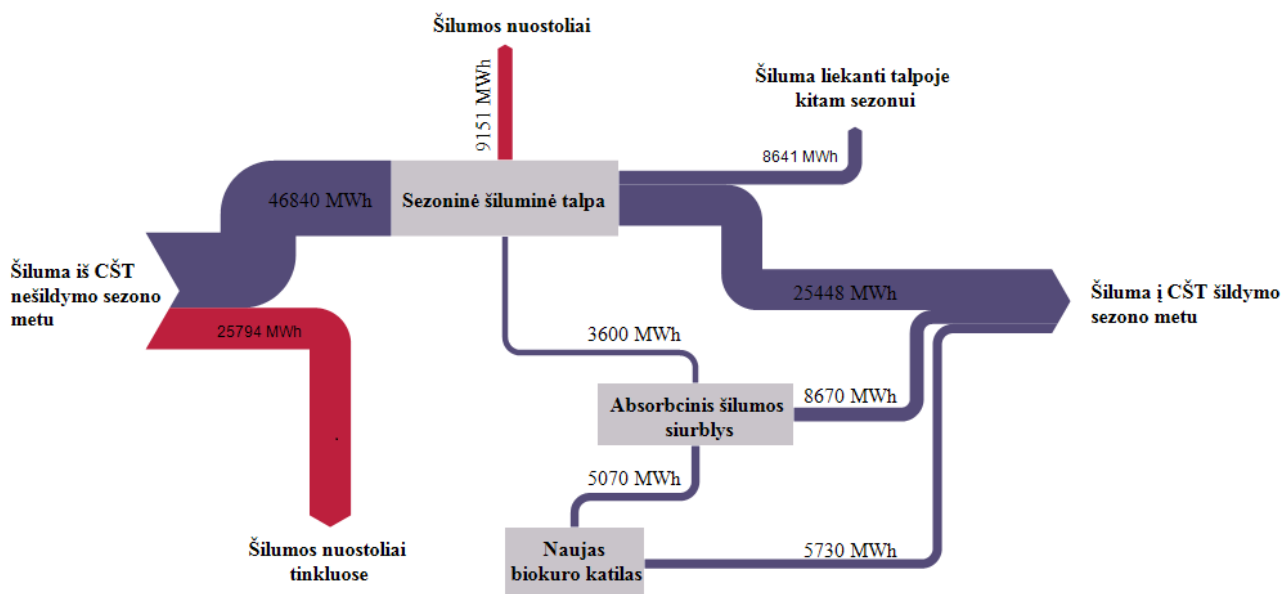
5.5 pav. Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią

Tokios konfigūracijos talpos balansas Kauno miesto CŠT kontekste yra pateikiamas 5.6 paveiksle.



5.6 pav. Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir AŠS

Pagal pateiktą grafiką matome, jog jis daug nepakito nuo jau nagrinėto kompresorinio šilumos siurblio varianto. Esminis pokytis yra papildomos katilinės pagamintas energijos kiekis. Tai galima pamatyti toliau pateikiamame balanse:



5.7 pav. Sezoninės šiluminės talpos su AŠS energijos balansas

5.2 lentelė. Techniniai ekonominiai sezoninės šiluminės talpos su AŠS projekto rodikliai

Nr.	Aprašymas	Reikšmė
1	Pradinė investicija	15 677 239 Eur
1.1	Sezoninė šiluminė talpa su aprišimu	12 650 519 Eur
1.2	Kompresorinis šilumos siurblys su aprišimu	1 680 000 Eur
1.3	Biokuro katilinė	1 346 720 Eur
2.1	Nupirkta šiluma talpos įkrovimui	46 840 MWh
2.2	Papildomi šilumos nuostoliai tinkle	25 794 MWh
2.3	Pateikta šiluma tiesiogiai iš talpos	25 448 MWh
2.4	Šiluma pateikta su šilumos siurblio pagalba	3 600 MWh
2.5	Biokuro katilinės pateikta šiluma	10 800 MWh
3	Išlaidos	297 130 Eur
3.1	Išlaidos šiluminės talpos įkrovimui	4 684 Eur
3.2	Išlaidos šiluminės talpos eksploatacijai	13 000 Eur
3.3	Išlaidos papildomiems šilumos nuostoliams tinkle	2 579 Eur
3.4	Išlaidos elektros sąnaudoms šiluminėje talpoje	37 918 Eur
3.5	Išlaidos šilumos siurblio eksploatacijai	14 670 Eur
3.6	Išlaidos biokuro įsigijimui	112 114 Eur
3.7	Išlaidos biokuro katilinės sąnaudoms	113 125 Eur
4	Pajamos	1 125 955 Eur
4.1	Pajamos už parduotą šilumos energiją iš talpos	862 734 Eur
4.2	Pajamos už parduotą šilumos energiją iš papildomos katilinės	263 221 Eur

5.1	Projekto vidinė gražos norma	0,2 %
5.2	Grynoji dabartinė vertė (su 5 proc. diskonto norma)	-5 608 137 Eur
5.3	Paprastas atsipirkimo laikas	19,60 metai

Pagal gautus rezultatus, vertinant, jog šiluminė talpa veiktų kaip pikų padengimo bei balansavimo įrankis matome, jog toks projektas ekonominiu požiūriu nėra racionalus, kadangi talpos sandarinimo ir izoliacijos sluoksnių techninis gyvavimo laikotarpis siekia tik 20 metų.

Tačiau vertinant tai kaip konkrečią naudą šilumos tiekėjui, įrengus tokio dydžio talpą ir naudojant ją kaip rezervą, būtų padengiama 80 MW rezervo pikinis poreikis. Daroma prielaida, kad įrengus sezoninę šiluminę talpą, būtų galima atsikvėpti bent pusės, padengiamo rezervo amortizacijos išlaidų.

Vertinant, jog dujinių katilų techninis gyvavimo laikotarpis yra apie 25 metus, tai leistų sutaupyti apie 70 000 Eur per metus ir įvertinus 4.2 skyriuje nurodytas reikšmes leistų sutaupyti apie 46,05 Eur/MWh už sutaupytą dujomis tiekiamą šilumą.

Įvertinus tokias prielaidas sezoninės šiluminės talpos atsipirkimas būtų toks:

		Šilumos siurblio galia, MW															
		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6			
Sezoninės šiluminės talpos tūris, m ³	Sezoninės šiluminės talpos maksimalus energijos kiekis, MWh	60 197	5 414	16,39	20,33	21,65	23,04	24,43	25,94	27,48	28,90	>30	>30	>30	>30		
		69 686	6 267	17,01	19,65	20,66	21,91	23,10	24,43	25,69	26,92	28,31	29,50	>30	>30	>30	
		80 123	7 206	17,81	20,15	19,92	21,01	22,09	23,23	24,25	25,52	26,54	28,00	28,98	>30	>30	
		91 553	8 234	17,42	19,69	18,97	19,75	20,74	21,68	22,72	23,71	24,69	25,85	26,91	27,75	29,04	
		104 021	9 355	16,07	18,36	17,85	18,36	19,17	20,03	20,90	21,72	22,71	23,48	24,58	25,31	26,38	
		117 573	10 574	14,89	17,13	16,78	17,09	17,82	18,54	19,36	20,07	20,91	21,58	22,51	23,35	24,03	
		132 254	11 894	15,86	17,99	17,69	17,43	17,51	18,16	18,80	19,57	20,20	20,94	21,66	22,48	23,21	
		148 108	13 320	14,26	16,55	16,62	16,68	16,73	17,01	17,58	18,24	18,84	19,55	20,10	20,87	21,37	
		165 181	14 855	15,22	17,34	17,38	17,41	17,44	17,46	17,49	17,82	18,41	18,94	19,56	20,15	20,81	
		183 519	16 505	14,05	16,03	16,11	16,19	16,26	16,33	16,40	16,65	17,17	17,73	18,18	18,70	19,28	
		203 166	18 271	12,79	14,61	14,73	14,84	14,95	15,05	15,15	15,24	15,33	15,74	16,14	16,61	17,04	
		224 167	20 160	13,02	14,72	14,84	14,95	15,06	15,16	15,26	15,35	15,44	15,52	15,74	16,13	16,57	
		246 568	22 175	13,13	14,72	14,83	14,93	15,03	15,13	15,22	15,31	15,39	15,48	15,55	15,77	16,15	
		270 414	24 319	13,23	14,71	14,82	14,92	15,01	15,10	15,19	15,28	15,36	15,43	15,51	15,58	15,79	
		295 749	26 598	13,33	14,71	14,81	14,90	14,99	15,08	15,16	15,24	15,32	15,39	15,47	15,54	15,60	
		322 620	29 014	13,42	14,71	14,80	14,89	14,98	15,06	15,14	15,21	15,29	15,36	15,43	15,49	15,56	
		351 071	31 573	13,50	14,71	14,80	14,88	14,96	15,04	15,12	15,19	15,26	15,33	15,39	15,45	15,52	
		381 147	34 278	13,58	14,71	14,80	14,87	14,95	15,02	15,10	15,16	15,23	15,30	15,36	15,42	15,48	
		412 894	37 133	13,66	14,72	14,79	14,87	14,94	15,01	15,08	15,14	15,21	15,27	15,33	15,38	15,44	
		446 356	40 142	13,73	14,72	14,79	14,86	14,93	15,00	15,06	15,12	15,18	15,24	15,30	15,35	15,41	
		481 579	43 310	13,79	14,72	14,79	14,86	14,92	14,98	15,04	15,10	15,16	15,22	15,27	15,32	15,38	
		518 608	46 640	13,85	14,73	14,79	14,85	14,91	14,97	15,03	15,09	15,14	15,19	15,25	15,30	15,35	
		557 488	50 137	13,91	14,73	14,79	14,85	14,91	14,96	15,02	15,07	15,12	15,17	15,22	15,27	15,32	
		598 264	53 804	13,96	14,73	14,79	14,85	14,90	14,95	15,01	15,06	15,11	15,15	15,20	15,25	15,29	
		640 981	57 646	14,01	14,74	14,79	14,84	14,90	14,95	15,00	15,04	15,09	15,14	15,18	15,23	15,27	
		685 685	61 666	14,06	14,74	14,79	14,84	14,89	14,94	14,99	15,03	15,08	15,12	15,16	15,20	15,25	
		732 421	65 869	14,10	14,75	14,79	14,84	14,89	14,93	14,98	15,02	15,06	15,10	15,14	15,18	15,22	
		781 233	70 259	14,14	14,75	14,79	14,84	14,88	14,93	14,97	15,01	15,05	15,09	15,13	15,17	15,20	
		832 168	74 840	14,18	14,75	14,80	14,84	14,88	14,92	14,96	15,00	15,04	15,08	15,11	15,15	15,19	
		885 270	79 615	14,22	14,76	14,80	14,84	14,88	14,92	14,96	15,00	15,03	15,07	15,11	15,14	15,17	
940 583	84 590	14,31	14,82	14,86	14,89	14,93	14,96	14,99	15,03	15,06	15,09	15,12	15,15	15,18			
998 155	89 768	14,34	14,82	14,86	14,89	14,92	14,96	14,99	15,02	15,05	15,08	15,11	15,14	15,17			
1 058 028	95 152	14,37	14,83	14,86	14,89	14,92	14,95	14,99	15,01	15,04	15,07	15,10	15,13	15,16			
1 120 250	100 748	14,40	14,83	14,86	14,89	14,92	14,95	14,98	15,01	15,04	15,07	15,09	15,12	15,15			
1 184 864	106 559	15,24	15,65	15,67	15,70	15,72	15,74	15,76	15,78	15,80	15,82	15,84	15,86	15,88			
1 251 916	112 589	16,24	16,62	16,63	16,63	16,64	16,64	16,65	16,65	16,66	16,66	16,67	16,67	16,67			
1 321 452	118 843	17,06	17,43	17,44	17,45	17,45	17,46	17,46	17,47	17,47	17,48	17,49	17,49	17,50			
1 393 516	125 324	18,55	18,89	18,88	18,88	18,87	18,87	18,86	18,86	18,85	18,85	18,84	18,84	18,83			
1 468 153	132 036	20,20	20,50	20,48	20,46	20,44	20,43	20,41	20,39	20,37	20,36	20,34	20,32	20,30			
1 545 409	138 984	22,03	22,29	22,26	22,22	22,19	22,15	22,12	22,09	22,06	22,02	21,99	21,96	21,93			
1 625 328	146 171	24,08	24,30	24,24	24,18	24,13	24,08	24,03	23,97	23,92	23,87	23,82	23,78	23,73			
1 707 956	153 602	26,39	26,54	26,46	26,38	26,30	26,22	26,15	26,08	26,01	25,93	25,87	25,80	25,73			
1 793 339	161 281	29,00	29,06	28,95	28,85	28,74	28,64	28,54	28,44	28,34	28,25	28,15	28,06	27,97			
1 881 520	169 212	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30			

Kol sezoninė šiluminė talpa nėra pakankamo dydžio padengti pikus, jos atsipirkimo laikas yra prastesis

Sezoninės šiluminės talpos dydis yra didesnis nei galimas patiekti į ją energijos kiekis vasarą, todėl atsipirkimo laikas sparčiai prastėja

Neįrengus šilumos siurblio, atsipirkimo laikas yra geresnis

5.8 pav. Sezoninės šiluminės talpos atsipirkimo laikas pagal talpos dydį ir šilumos siurblio galią

Kaip matyti iš gautų atsipirkimo laiko rezultatų, tokia prielaida padaro projektą gyvybingą ir galėtų atsipirkti per 15 metų laikotarpį.

5.3 lentelė. Ekonominiai sezoninės šiluminės talpos projekto rodikliai

Aprašymas	Reikšmė
Projekto vidinė gražos norma	2,9 %
Grynoji dabartinė vertė (su 5 proc. diskonto norma)	-2 652 833Eur
Paprastas atsipirkimo laikas	15,04 metai

5.2. Centralizuotos vėsumos tiekimo ekonominis vertinimas

Atsižvelgiant į vidutines vasaros sezono šaldymo pikų vertes, buvo pasirinktos 5 šaldymo mašinos nuo 0,5 iki 1 MW galios.

Taip pat vertinama, jog kiekviena pastotė turės ~40 m³ buferinę talpą, kuri padengs staigius poreikio svyravimus. Tokia talpa gali sukaupti apie 230 kWh šalčio energijos.

Daroma prielaida, jog ant kiekvienos pastotės stogo bus įrengtos hibridinės aušyklės, kurių galia priklausys nuo nominalios absorbcinės šaldymo mašinos galios:

$$Q_{H.A.} = \frac{Q_{A.S.M.}}{COP_{\text{šal}}} \cdot (1 + COP_{\text{šal}}) \quad (38)$$

Pagrindiniai techniniai – ekonominiai rodikliai pateikiami žemiau:

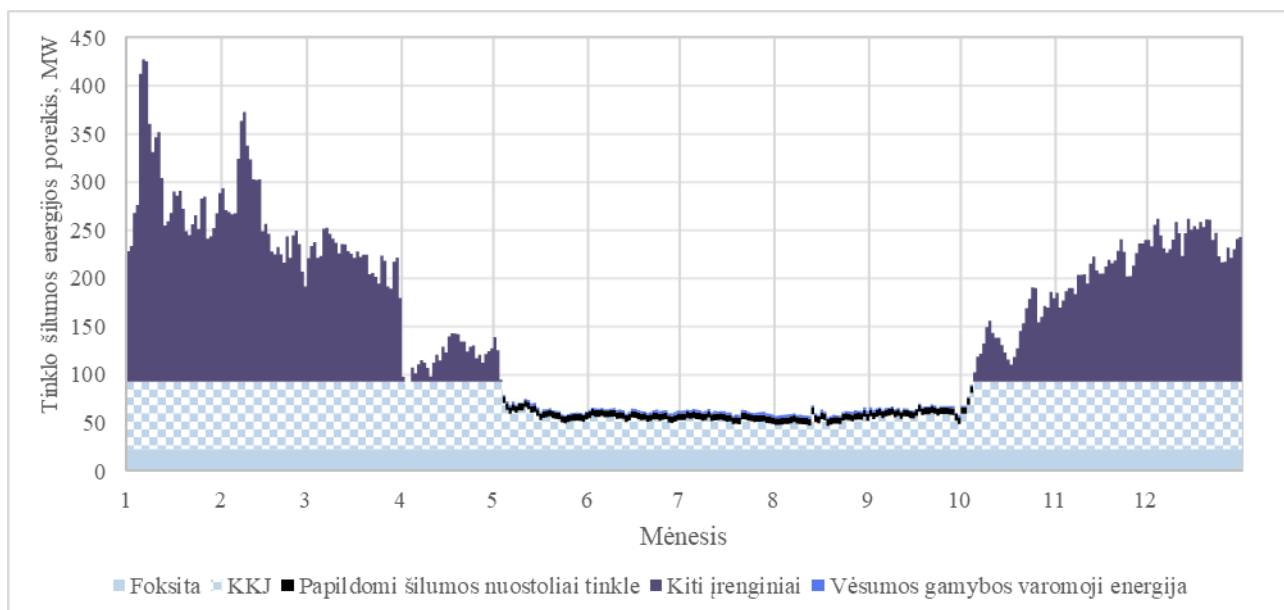
5.4 lentelė. Techniniai ekonominiai centralizuoto vėsumos tiekimo rodikliai

Nr.	Aprašymas	Reikšmė
1	Pradinė investicija	2 463 511 Eur
1.1	Absorbcinės šaldymo mašinos	1 680 000 Eur
1.2	Pastotės	62 215 Eur
1.3	Šalčio buferio talpa	70 785 Eur
1.4	Hibridinės aušyklės	650 511 Eur
2.1	Nupirkta šiluma absorbcinės šaldymo mašinai	6 980 MWh
2.2	Papildomi šilumos nuostoliai tinkle	25 794 MWh
2.3	Absorbcinės šaldymo mašinos pagamintas šalčio kiekis	4 956 MWh
2.4	Aušyklėse suvartotas elektros energijos kiekis	132 MWh
2.5	Aušyklėse suvartotas vandens kiekis	10 612 m ³
3	Išlaidos	38 240 Eur
3.1	Išlaidos nupirktai šilumos energijai	698 Eur
3.2	Išlaidos absorbcinės šaldymo mašinos eksploatacijai	10 857 Eur
3.3	Išlaidos papildomiems šilumos nuostoliams tinkle	2 579 Eur
3.4	Išlaidos aušyklių elektros energijai	13 494 Eur
3.5	Išlaidos aušyklių suvartotam vandeniui	10 612 Eur
4	Pajamos	171 426 Eur
4.1	Sutaupymai esamų šaldymo sistemos eksploatacijai	22 646 Eur
4.2	Sutaupymai esamų šaldymo sistemos aušyklių elektros energijai	9 146 Eur
4.3	Sutaupymai esamų šaldymo sistemų varomajai elektros energijai	139 633 Eur
5.1	Projekto vidinė gražos norma	0,8 %

5.2	Grynoji dabartinė vertė (su 5 proc. diskonto norma)	-765 494 Eur
5.3	Paprastas atsipirkimo laikas	18,50 metai

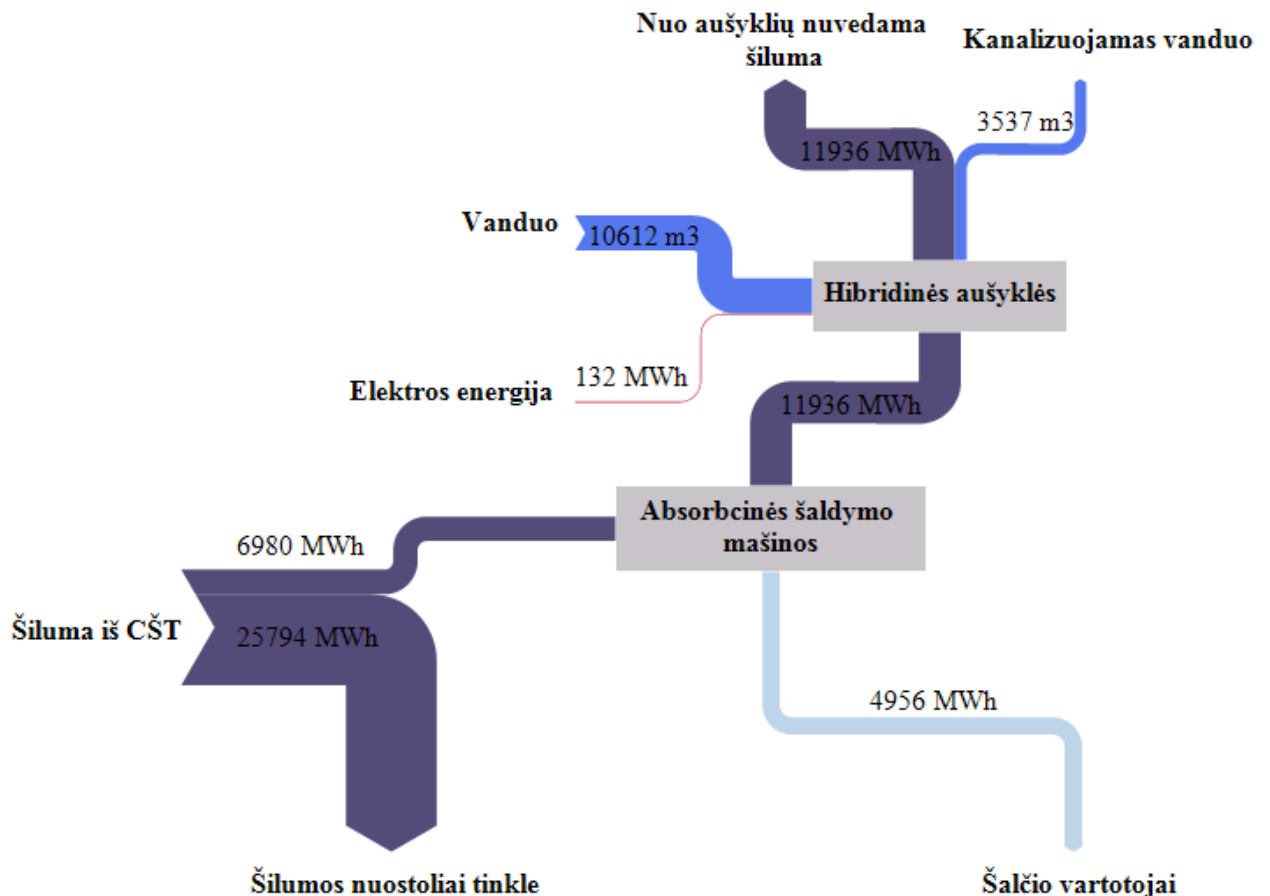
Vertinama, jog tokie absorbcinių šaldymo įrenginių pajėgumai leistų nešildymo sezono metu vidutiniškai pakelti šilumos energijos poreikį apie 2,5 MW. Tai nėra aukštas rodiklis, tačiau reikia įvertinti tai, jog absorbcinių šaldymo mašinų galios buvo pasirinktos aptarnauti tik didžiąją dalį šalčio pikų. Tuo pačiu, reikia įvertinti ir Kauno LEZ esančių gamyklų šalčio potencialą, kuris galėtų gerokai pakelti šilumos poreikį įrengus panašią pastotę šioje teritorijoje.

Tokio projekto balansas Kauno CŠT sistemoje atrodytų taip:



5.9 pav. Kauno miesto CŠT balansas su centralizuotu vėsumos tiekimu

Tuo tarpu visų pastočių energijos balansas atrodytų taip:



5.10 pav. Centralizuotos vėsumos tiekimo energijos balansas

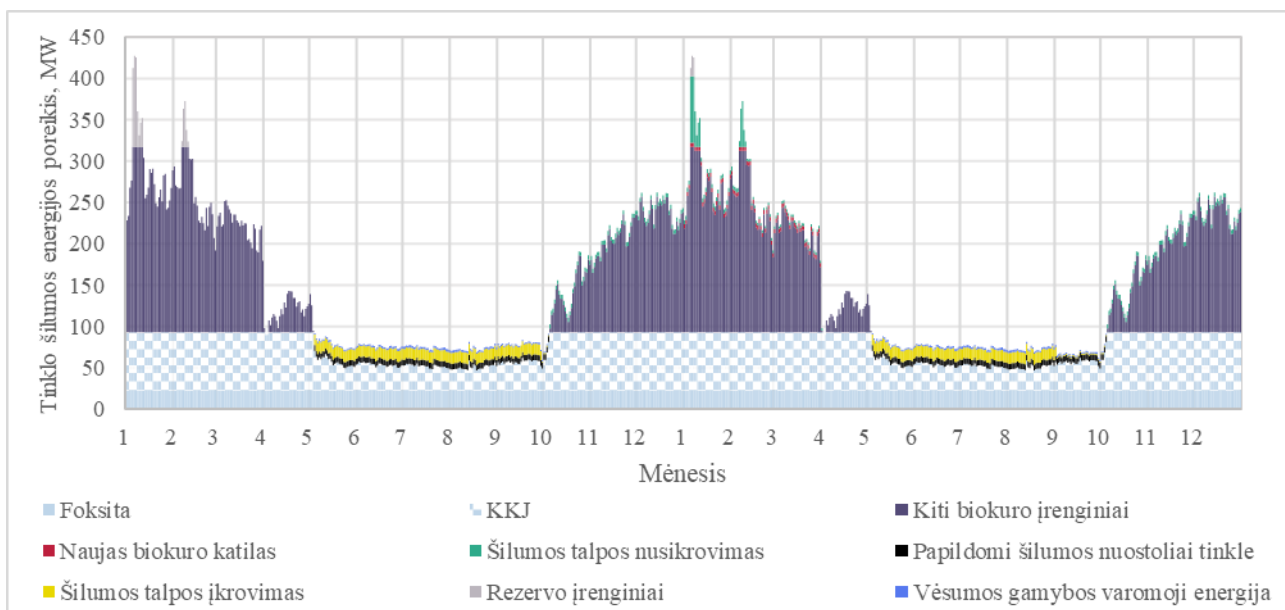
Gauti rezultatai, rodo, kad toks centralizuoto vėsumos tiekimo projektas būtų vargiai racionalus ekonominiu požiūriu. Viena pagrindinių to priežasčių yra dideli pradiniai investiciniai kaštai į absorbcines šaldymo mašinas ir hibridines aušyklės. Siekiant šias pradines investicijas sumažinti, absorbcinės šaldymo mašinos, didelį šalčio poreikį turinčiuose objektuose galėtų būti įkomponuojamos į esamą vėsinimo sistemą, taip išvengiant papildomų investicijų pastotės konstrukcijai, buferinei talpai ir aušyklėms.

Taip pat įgyvendinus kelis pastočių projektus, būtų galima ir toliau vystyti tokio pobūdžio centralizuotos vėsumos tiekimą. Tai taip pat galėtų tapti ekonomiškai patrauklesnis variantas potencialiems šalčio vartotojams arba tokiems vartotojams, kurie planuoja modernizuoti šaltį gaminančius įrenginius, kadangi, absorbcinių siurblių eksploataciniai kaštai yra mažesni, o ir jų šalčio gamybos kaina mažesnė, dėl pirminio energijos šaltinio kainos.

5.3. Suminis projektų ekonominis vertinimas

Vertinant abiejų projektų įtaką Kauno CŠT tinklui, galime matyti, jog atsiradęs papildomas šilumos energijos poreikis sezoninės šiluminės talpos įkrovimui ir vėsumos gamybai kartu su papildomais nuostoliais patiriamais tinkle sugebėtų ženkliai pakeisti nešildymo sezono poreikį taip išnaudojant esančius, pigios šiluminės energijos pajėgumus.

Bendras projektų įtaka CŠT balanse pateikiama 5.11 paveiksle.



5.11 pav. Kauno miesto CŠT balansas su sezonine šilumine talpa ir vėsumos gamyba

Vertinama, kad šiluminės talpos įkrovimas kartu su vėsumos gamyba ir papildomais nuostoliais patiriamais tinkle, galėtų vidutiniškai pakelti nešildymo sezono poreikį apie 25 MW.

Dėl sumažintų gamtinių dujų ir elektros energijos [28] sąnaudų, taip pat kasmet bendras išmetamų teršalų kiekis būtų sumažinamas 3 911 t CO².

Pagrindiniai suminiai abiejų projektų ekonominiai rodikliai pateikiami 5.5 lentelėje.

5.5 lentelė. Ekonominiai suminiai projektų rodikliai

Aprašymas	Reikšmė
Projekto vidinė gražos norma	2,5 %
Grynoji dabartinė vertė (su 5 proc. diskonto norma)	-3 656 494 Eur
Paprastas atsipirkimo laikas	15,68 metai

Išvados

1. Įvertinta, kad Kauno miesto CŠT sistemoje nešildymo sezono metu egzistuoja apie 40 MW galios pigios šilumos energijos, kuri gali būti panaudota šią šilumą akumuliuojant arba su absorbcinių šaldymo mašinų pagalba tiekiant vėsumą.
2. Lyginant kompresorinio šilumos siurblio technologiją su absorbcinio šilumos siurblio technologija, matome, jog užsibrėžtomis sąlygomis AŠS yra ekonomiškai pranašesnis nei KŠS. Pagrindinės to priežastys yra varančiosios energijos skirtumas, mažesni investiciniai kaštai ir mažesnės eksploatacinės sąnaudos. Vienintelis KŠS siurblio pranašumas yra talpos galimybė dirbti be išorinio šilumos šaltinio, tačiau įrenginėjant sezoninę šiluminę talpą prie esamo šilumą generuojančio įrenginio šis pranašumas pradingsta.
3. Vertinama, kad šiluminei talpai dalyvaujant kaip tradiciniam šilumos gamintojui, jos potencialas pilnai išnaudojamas nebūtų, kadangi, talpos darbas priklausytų nuo aukcionų rezultatų. Rezultatai rodo, kad parinkus optimaliausią talpą, aukcione dalyvaujant kaip paprastui šilumos gamintojui, būtų galima tikėtis, jog investicija atsipirks po 18,5 metų. Vertinant, kad talpos deklaruojamas medžiagų gyvavimo laikotarpis yra 20 metų, talpos panaudojimas kaip tradicinio šilumos gamintojo nėra racionalus.
4. Nagrinėjant atvejį, kuomet šiluminė talpa dirba kaip tinklo balansavimo ir pikus padengiantis įrenginys, matome, kad parinkus optimalią ~1 120 tūkst. m³ tūrio talpą be šilumos siurblio, būtų galima tikėtis 17 metų atsipirkimo laiko. Kitais atvejais, kaip ir darbe nagrinėjamos konfigūracijos, ~480 tūkst. m³ kartu su 3 MW šilumos siurbliu, atsipirkimo laikas išlieka nepatrauklus – apie 20 metų. Tačiau, toks talpos darbo režimas padėtų balansuoti tinklą ir taptų greitos reakcijos rezervo įrenginiu. Vertinant, kad talpa sutaupyty dujiniu kuru pagaminamą šilumą ir padengtų dalį rezervinių įrenginių galios, projekto atsipirkimo laikas sumažėtų iki 15 metų.
5. Vertinant, centralizuotą vėsumos tiekimą įrengiant lokalias šaldymo pastotes aptarnaujančias kelis šalčio vartotojus, matome, kad tokia investicija nėra racionali dėl aukštų pradinių investicijų kaštų. Tokio projekto atsipirkimo laikotarpis galėtų būti apie 18,5 metus. Tačiau nagrinėjant vėsumos tiekimo technologiją panaudojant absorbcines šaldymo mašinas, reiktų įvertinti tai, kad naujai projektuojamiems šalčio vartotojams investicija į absorbcines šaldymo mašinas būtų mažesnė nei į kompresorines šaldymo mašinas. Be to, AŠS eksploataciniai kaštai yra mažesni dėl, kintamųjų eksploatacinių sąnaudų ir varomosios energijos skirtumo.
6. Galiausiai, vertinant suminius projektų rodiklius, matome, kad nors vėsumos tiekimo projekto ekonominiai rodikliai yra ne kokie, bendras projektų paprastas atsipirkimo laikas siektų 16 metų. Todėl įrenginėjant vieną iš šių technologijų būtų racionalu vystyti ir kitą, kadangi temperatūrinio grafiko pakėlimas suteikia naudą abiem technologijom. Taip pat nagrinėjant, abiejų projektų įtaką klimato kaitai, vertinama, kad investicija į šias naujas technologijas Lietuvoje, iniciuotą 3 911 t CO² šiltnamio efektą sukeliančių dujų sumažinimą ir užduotų galimą kryptį kitiems projektams.

Literatūra

1. Baltpool. Deklaruoti duomenys. [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18]
https://e.baltpool.eu/heat/?ti=5123069&bp=h_declared_data&hsy_id=10&month=2019-01
2. GIMBUTIS G., KAJUTIS K., KRUKONIS. V., PRANCKŪNAS A., ŠVENČIANAS P. Šiluminė technika: vadovėlis auštosioms mokykloms. Vilnius: Mokslas, 1993. ISBN 5-420-00751-7
3. Danish energy agency. Technology Data Catalogue for Electricity and district heating production [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/technology_data_catalogue_for_el_and_dh_-_0009.pdf
4. GUY F. HUNDY, ALBERT R. TROTT, T. C. WELCH. Refrigeration and air-conditioning. Elsevier 4th edition, 2008. ISBN 978-0-7506-8519-1
5. KÜHN A., ZIEGLER. F. Cycle basics of thermally driven heat pumps [interaktyvus]. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2013 [žiūrėta 2021-05-18]. ISBN 978-3-7983-2596-8. Prieiga per: https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/5152/1/005_kuehn_ziegler.pdf
6. FLORIDES G.A., KALOGIROU S.A., TASSOU S.A., WROBEL L.C. Design and construction of a LiBr–water absorption machine. Energy Conversion and Management [interaktyvus]. 2003, 2483-2508 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890403000062>
7. GILANI S. I., AHMED M. S. M. S. Solution Crystallization Detection for double-effect LiBr-H₂O steam absorption chiller. Energy Procedia, 2015, 1522-1528 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215010723>
8. L. D. DANNY HARVEY. A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems. Fundamentals, Techniques and Examples. London, Sterling, 2006. ISBN 978-184407-243-9
9. Danish energy agency. Technology Data for Energy Storage [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_energy_storage.pdf
10. P. SORKNÆS. Simulation method for a pit seasonal thermal energy storage system with a heat pump in a district heating system [interaktyvus]. 2018, 533-538 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360544218305619?token=6E6552BAE7E123D4A37795139CAF7D127DA33FCABABF4898B3C9CF6CB410D3722639891D032207F340D18C215FC7CC59>
11. PlanEnergi. SUNSTORE 3, PHASE 2 IMPLEMENTATION [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://planenergi.dk/wp-content/uploads/2018/05/26-Sunstore-3-Final-report.pdf>
12. PlanEnergi. SUNSTORE 4, DESIGN OF THE PIT HEAT STORAGE OF THE DEMONSTRATION PLANT AT MARSTAL FJERNVARME [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://docplayer.net/40878119-Sunstore-4-deliverable-d-2-2-version-3-design-of-the-pit-heat-storage-of-the-demonstration-plant-at-marstal-fjernvarme.html>
13. Baltpool. Duomenų eksportas. [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18]
https://e.baltpool.eu/heat/?ti=5475762&bp=h_export_data
14. Valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba. Vidutinė šalies kuro (žaliavos) kaina. [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://www.vert.lt/siluma/Puslapiai/kuro-ir-perkamos-silumos-kainos/vidutine-salies-kuro-zaliavos-kaina.aspx>

15. Dėl kogeneracinių jėgainių šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimo metodikos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.350433/asr>
16. ESO. Gamtinių dujų skirstymo paslaugos kainos nuo 2021-01-01. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: https://www.eso.lt/lt/verslui/dujos_235/duju-tarifai-kainos-atsiskaitymai_400/gamtiniu-duju-skirstymo-paslaugos-kainos-nuo-2021-gc2r.html
17. Amber Grid. Gamtinių dujų perdavimo paslaugų kainos nuo 2021-01-01. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://www.ambergrid.lt/lt/paslaugos/kainos-ir-mokesciai/kainos-nuo-2021-01-01>
18. Valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba. Nustatyta SGD terminalo saugumo dedamoji 2021 metams [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://www.regula.lt/Puslapiai/naujienos/2020-metai/2020-lapkritis/2020-11-30/nustatyta-sgdt-saugumo-dedamoji.aspx>
19. Aplinkos apsaugos agentūra. Lietuvoje taikomos kuro grynosios šiluminės vertės ir išmetamų teršalų faktoriai [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://klimatas.gamta.lt/cms/index?rubricId=b83233ea-a295-4e27-a50d-be1a6f748aee>
20. The European Energy Exchange (EEX). Auction market [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market>
21. Oficialiosios statistikos portalas. Elektros energijos kainos ne namų ūkių vartotojams [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S7R048#/>
22. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2018 metų apžvalga.
23. Valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba. Šilumos perdavimo vamzdinių nuostolių skaičiuoklė [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://www.regula.lt/siluma/Puslapiai/silumos-nuostoliu-skaiciuokle.aspx>
24. Kauno energija. Temperatūriniai grafikai [interaktyvus] [žiūrėta 2021-05-18] <https://www.kaunoenergija.lt/bendroji-informacija/temperatūriniai-grafikai/>
25. Frederiksen S., Werner S. District Heating and Cooling. Studentlitteratur AB, Lund ISBN 978-91-44-08530-2
26. SCHÖPFER M. D. Absorbtion chillers: their feasibility in district heating networks and comparison to alternative technologies. Technico Lisboa [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: https://fenix.technico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997255394/Thesis_Final.pdf
27. JAEGGI. HTK-SE Hybrid dry cooler. [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: http://www.jaeggi-hybrid.eu/fileadmin/literature/europe/JAEGGI/HTK-SE/JAEGGI_HTK-SE_Info_EN.pdf
28. Dėl klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.369461/asr>
29. C. BOTT, I. DRESSEL, P. BAYER State-of-technology review of water-based closed seasonal thermal energy storage systems [interaktyvus]. 2019, 1364-0321 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032119304411?token=3481283EC6BF26580CB5423D0C23C68426B7AD2BEA8C6F0F69EFCDCACEFEA969EAFB63550476B62D57052F9BE863F5F4&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210427095607>
30. KALLESØE, A.J. & VANGKILDE-PEDERSEN, T. (eds). 2019: Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned. HEATSTORE project report, GEOTHERMICA – ERA NET Cofund Geothermal. [interaktyvus]. [žiūrėta

- 2021-05-18]. Prieiga per: https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_UTES%20State%20of%20the%20Art_WP1_D1.1_Final_2019.04.26.pdf
31. A. R. JENSEN & I. SIFNAIOS Thermal Imaging of Pit Storages. Heat storages and monitoring results [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: https://www.heatstore.eu/documents/20201028_DK-temadag_Thermography%20of%20PTES%20projects.pdf
32. AALBORG CSP. PTES the next generation of storing energy. Heat storage and monitoring results. [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: https://heatstore.eu/documents/20201028_DG-temadag_Aalborg%20CSP.pdf
33. P. STEINERT, S. GÖPPERT, B. PLATZER. Transient calculation of charge and discharge cycles in thermally stratified energy storages, Solar Energy [interaktyvus]. 2013, 505-516, ISSN 0038-092X [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0038092X13003496?token=DB3A4AEFDF72C5AFFB2E3558904306DB850312B8C1DC0176D5F2AC359B8A3D9D4353896F2F58C9B1918ADE1465C720B8&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210429140530>
34. C. CHANG, B. NIE, G. LENG, C. LI, X. SHE, X. PENG, J. DENG. Influences of the key characteristic parameters on the thermal performance of a water pit seasonal thermal storage, Energy Procedia [interaktyvus]. 2017, 495-500, ISSN 1876-6102 [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610217358058?token=6BE419829EE41DFE580393D1852B43467E88394C2E3D5AAA991510CF4A03080376BE72CD206334C1DDFA BDD5EA8AF519&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210429140413>
35. Registrų Centras. Nekilnojamo turto registro (NTR) duomenys [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-05-18]. Prieiga per: <https://www.registrucentras.lt/p/1091>