



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio
technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje galimybių
analizė**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Ramūnas Blaževičius
Projekto autorius

Doc. dr. Rolandas Jonynas
Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio
technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje galimybių
analizė**

Baigiamasis magistro studijų projektas
Termoinžinerija (6211EX023)

Ramūnas Blaževičius
Projekto autorius

doc. dr. Rolandas Jonynas
Vadovas

doc. dr. Kęstutis Buinevičius
Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Ramūnas Blaževičius

Atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliavimo technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje galimybių analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) 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 (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Ramūnas Blaževičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje galimybių analizė
Feasibility Study of Integration of Renewable Energy Generation and Storage Technologies in Town DH System

Patvirtinta 2022 m. gegužės mėn. 2 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-11-2.

Reikalavimai ir sąlygos

Projekto tikslas – nustatyti atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje maksimalias galimybes ir pagrįsti tai techniniais-ekonominiais rodikliais.

Projekto uždaviniai:

1. Apžvelgti esamas atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo galimybes ir geriausią praktiką šalto klimato šalyse ir Lietuvoje;
2. Išanalizuoti esamą situaciją miesto CŠT sistemoje;
3. Parinkti atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo modeliavimo metodologiją;
4. Sumodeliuoti miesto CŠT sistemos variantus, kai energijos gamybos struktūroje atsinaujinantys energijos išteklių sudarytų 100 %, bei pagrįsti tokios sistemos veikimą techniniais-ekonominiais rodikliais.

Vadovas

doc. dr. Rolandas Jonynas

2022-02-07

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Blaževičius, Ramūnas. Atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje galimybių analizė. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Jonynas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė): Energijos Inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: šilumos gamyba, tiekimas, atsinaujintieji ištekliai, akumuliacinis.

Kaunas, 2022. 61 p.

Santrauka

Sklandus centralizuoto šilumos tiekimo sistemų veikimas – daug pastangų reikalaujantis darbas. CŠT sektorius, šalto klimato šalyse, strateginiu požiūriu, ypatingai svarbus. Skirtingose šalyse egzistuoja kitokie CŠT sektoriaus reguliavimo principai. Lietuvoje pasirinktas detalus šilumos tiekėjo reguliavimas, todėl dažnu atveju tai apsunkina šilumos tiekimo įmonės galimybes investuoti į inovatyvesnes šilumos generavimo, tiekimo ir kai kuriais atvejais, šilumos vartojimo technologijas. Šilumos tiekimo įmonės, keičiantis rinkos sąlygoms, šiuo metu yra konkuruojančios su nepriklausomais šilumos tiekėjais. Tokia situacija dar labiau mažina savivaldybėms priklausančių įmonių motyvą tobulinti CŠT sistemas.

Akiivaizdu, kad naujai statomų gyvenamųjų namų kvartalų statytojus, vietinė vadovybė turėtų stengtis motyvuoti, jungtis prie CŠT sistemų, vietoje diegiant decentralizuotus šilumos/vėsumos sprendimus. Kai kurios savivaldybės Lietuvoje dalinai finansuoja prisijungimą prie CŠT tinklo.

Pirmoji baigiamojo darbo dalis paskirta literatūros apžvalgai, kuri yra pagrindas, tolimesniems projekto vertinimams, pasinaudojant gerosios praktikos pavydžiais.

Šio projekto apimtyje analizuota vieno Lietuvos miesto CŠT sistemos esama būklė ir galimi organizaciniai bei technologiniai patobulinimai, siekiant, šilumos energiją, gaminti ir tiekti minimaliai darant poveikį aplinkai, t.y. beveik 100 sumažinant CO₂ emisijas į aplinką.

Blaževičius, Ramūnas. Feasibility Study of Integration of Renewable Energy Generation and Storage Technologies in Town DH System. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Rolandas Jonynas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: district heating, thermal energy production, supply, renewable sources, accumulation.

Kaunas, 2022. 61 p.

Summary

The smooth operation of district heating systems is a gruelling task. The DH sector is particularly strategically important in cold climates. Different countries have different regulatory principles for the sector. In Lithuania, detailed regulation of the heat supplier has been chosen, therefore it often makes it difficult for the heat supply company to invest in more innovative heat generation, supply and, in some cases, heat consumption technologies. Heat supply companies are currently competing with independent heat suppliers as market conditions change. This situation further reduces the motivation of municipal DH companies to improve their DH systems.

It is obvious that the builders of the newly built residential quarters should try to motivate the local management to connect to the DH systems by implementing decentralized heating / cooling solutions on the spot. Some municipalities in Lithuania partially finance the connection to the DH network.

The first part of the thesis is devoted to the literature review, which is the basis for further evaluations of the project, using examples of good practice.

The scope of this project analyses the current state of the DH system in one Lithuanian city and possible organizational and technological improvements in order to produce and supply heat with minimal impact on the environment, i. reducing CO₂ emissions by almost 100%.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Europos ir šalto klimato šalių CŠT strategija	13
1.2. Lietuvos CŠT sektoriaus strategija 2030/2050.....	14
1.3. Technologijos AEI integravimui. Geriausi prieinami būdai	16
1.3.1. Šilumos energijos generavimo sistemos ir jų optimizavimas.....	16
1.3.2. Katilinių modernizavimas pritaikant biokurui ir dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai	18
1.3.3. Terminų saulės kolektorių panaudojimas ir šilumos energijos akumuliacijos CŠT sistemose.....	22
1.3.4. Akumuliacijos sistemos	24
1.3.5. Žemos temperatūros centralizuoto šilumos tiekimo galimybės	26
1.3.6. Vandenilio panaudojimas šilumos generavimui.....	28
1.4. Kitos priemonės CŠT efektyvumo didinimui.....	31
2. Esama padėtis analizuojamo miesto centralizuoto šilumos ūkio sistemoje	33
2.1. Šilumos energijos gamybos šaltiniai	33
2.2. CŠT sistemos vamzdynai	38
2.3. Šilumos energijos vartotojai	40
2.3.1. Šilumos energijos gamyba ir pardavimo kaina	41
3. Problematika. Taikomi metodai ir projekto prielaidos	44
3.1. Eksperimentinis mišrios sistemos su oras/vanduo šilumos siurblio su radiatorine šildymo sistema tyrimas	44
3.2. Miesto CŠT sistemos atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacijos technologijų integravimo modeliavimo prielaidos	47
3.2.1. 1 variantas Mažų investicijų šilumos energijos gamyba	49
3.2.2. 2 variantas Didelių investicijų CO ₂ beveik neutrali šilumos energijos gamyba.....	55
Išvados	58
Literatūros sąrašas	59

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Didelės galios šilumos siurbliai veikiantys CŠT sistemose (2019 m. duomenys).....	19
1.2 lentelė. Pagrindinės esamos vandenilio generavimo technologijos.....	28
1.3 lentelė. Didelio mastelio šilumos siurblio (ŠS) sistemos modelio techniniai-ekonominiai duomenys.....	30
2.1 lentelė. Miesto integruotame CŠT tinkle veikiantys šilumos šaltiniai	37
2.2 lentelė. Miesto CŠT vamzdinių ilgis pagal skersmenis	38
2.3 lentelė. Pas miesto šilumos vartotojus instaliuota galia, MW	40
2.4 lentelė. Šildymo sezono oro temperatūros parametrai.....	41
2.5 lentelė. Šilumos gamyba 2021 metais	42
2.6 lentelė. Maksimalios šilumos galios skaičiavimo prielaidos, maksimali galia pastatų šildymui 2021 m.	43
3.1 lentelė. Miesto katilinių sklypų ribos	51
3.2 lentelė. Investicijos šilumos akumuliacijos talpoms ir šilumos siurbliams	57

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Siektini tikslai Lietuvos energetikos sektoriuje 2020, 2030 ir 2050 metais	15
1.2 pav. ŠESD emisijų dinamika Lietuvos CŠT sektoriuje.....	15
1.3 pav. Centralizuota šilumos energijos gamyba priklausomai pagal kuro rūšis, 2010-2020 ir esant „Nulinio CO ₂ SCENARIJUI, 2030“	17
1.4 pav. Palyginamieji šilumos energijos kaštai; šildymui ir karšto vandens ruošimui vartotojams pagal skirtingas šalis (pagal 2019 m. kuro ir energijos kainas).....	17
1.5 pav. Specifinis pirminio kuro suvartojimas 2000-2018 Lietuvos CŠT sektoriuje	18
1.6 pav. Šilumos siurblių pritaikymo sritys ir jų panaudojimo mastai	19
1.7 pav. Šilumos šaltinių pasiskirstymas pagal naudojimą ir jų vidutinės temperatūros	20
1.8 pav. Skirtingų CŠT sistemų temperatūrinių režimų grafikas (Švedija).....	21
1.9 pav. Šilumos siurblio ORAS/VANDUO COP priklausomybė nuo lauko oro temperatūros ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros	21
1.10 pav. Šalių, pagal diegiamą terminių saulės kolektorių sistemų dydį ir pagal sritį, lyderių trejetai	22
1.11 pav. Mišrios CŠT sistemos su terminių saulės kolektorių sistema hidraulinė schema.....	23
1.12 pav. Trumpalaikių ir sezoninių šilumos akumuliacijos technologijų pavyzdžiai	24
1.13 pav. Saulės kolektorių sistema centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje.....	25
1.14 pav. Šilumos akumuliacinės talpos įdiegimo, biokuro katilinėje, hidraulinė schema.....	25
1.15 pav. Istorinis CŠT kartų keitimosi laike grafikas	27
1.16 pav. ŽTCŠT pritaikymo pavyzdžiai	27
1.17 pav. Žaliojo H ₂ gamybos ir panaudojimo pastatų šildymui principinė schema [].....	29
1.18 pav. Atsinaujinančios elektros energijos panaudojimo šilumos energijos gamybai iš vandenilio efektyvumas.....	29
1.19 pav. Supaprastinta principinė integruotos CŠT sistemos schema	30
1.20 pav. Bristolio miesto (UK) CŠT tinklo vystymo planai panaudojant THERMOS - Project.....	31
1.21 pav. Išmaniosios energijos sistemos struktūrinė diagrama.....	32
2.1 pav. Analizuojamo miesto įmonės eksploatuojamų katilinių išsidėstymas.....	33
2.2 pav. CŠT įmonės 11 - oje gamybos objektų sudeginamo kuro kiekis 2021 m.	34
2.3 pav. Šilumos gamyba CŠT įmonės 11 - oje gamybos objektų	34
2.4 pav. Įmonės darbuotojų pasiskirstymas pagal veiklos sritis.....	34
2.5 pav. Analizuojamo miesto CŠT sistema.....	35
2.6 pav. Miesto CŠT katilinės Nr. 2 SCADA sistemos langai (viršuje VŠK Nr.2 parametrų, apačioje – vandens ūkis).....	36
2.7 pav. Miesto CŠT tinklo temperatūrinis grafikas.....	38
2.8 pav. Miesto CŠT tinklų schema.....	39
2.9 pav. Šilumos vartotojų pasiskirstymas pagal atskiras grupes (pagal šildomą plotą), 2021 m.....	40
2.10 pav. Šildymo dienolaipsnių skaičius 2019, 2020, 2021 m.	41
2.11 pav. Vidutinės mėnesio lauko oro temperatūros 2018-2021 metais, °C	42
2.12 pav. Miesto vartotojams tiekiamos šilumos energijos kaina 2014 – 2021 m.	43
3.1 pav. Katilinė skirta dviejų administracinių pastatų šildymui	44
3.2 pav. Katilinės schema su šilumos siurbliu ir granulių deginimo katilu.....	45
3.3 pav. Šilumos siurblio energijos transformavimo koeficiento priklausomybė nuo vidutinės lauko oro temperatūros (eksperimentiškai nustatyta).....	45
3.4 pav. Principinė gamintojo pateikiama šilumos siurblio ORAS/VANDUO pajungimo schema .	46

3.5 pav. Šilumos siurblio sezoninis energijos transformacijos koeficientas kintantis 2021 m. mėnesiais	46
3.6 pav. Analizuojamo miesto esamos katilinės integruotame CŠT tinkle (ESAMA SITUACIJA) 48	
3.7 pav. Minimalus šilumos akumuliacinio talpos tūris priklausomai nuo biokuro katilo vardinės galios.....	50
3.8 pav. Santykinės investicijos akumuliacinių šilumos talpų įrengimui priklausomai nuo jų tipo..	50
3.9 pav. Apskaičiuotas minimalus rekomenduojamas šilumos akumuliacinio tūris 5 MW biokuro katilui (eskizas).....	50
3.10 pav. Miesto CŠT Katilinės Nr. 2 su akumuliacinio talpa schema.....	52
3.11 pav. Modeliuojamo, biokuro katilinės, metinio šilumos gamybos su akumuliacine talpa grafikas	53
3.12 pav. Apskaičiuota teorinio 5 MW biokuro katilo įsijungimų skaičius priklausomai nuo šil. akumuliacinio talpos sistemoje	53
3.13 pav. Apskaičiuotas optimalus šilumos akumuliacinio tūris biokuro katilinei (eskizas)	54
3.14 pav. Miesto CŠT Katilinės Nr. 2 su akumuliacinio talpomis ir šilumos siurbliais schema	55
3.15 pav. Modeliuojamo atvejo, CŠT katilinių ir oras-vanduo šilumos siurblių metinio šilumos gamybos su akumuliacine talpa grafikas	56
3.16 pav. Šilumos galios poreikio trukmės grafikas 2 varianto scenarijui	57

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AEI	– atsinaujinantieji energijos ištekliai;
CŠT	– centralizuotas šilumos tiekimas;
ŽTCŠT	– žemos temperatūros centralizuotas šilumos tiekimas;
ES	– Europos Sąjunga;
CO ₂	– anglies dioksidas;
MWh	– megavatvalandė;
ŠS	– šilumos siurblys;
SCOP	- sezoninis šilumos siurblio energijos transformavimo koeficientas;

Apatiniai indeksai:

š arba th	– šilumos;
el.	– elektros;

Įvadas

Šiame taikomojo pobūdžio darbe analizuojama miesto centralizuoto šilumos tiekimo sistema, jos esama situacija, gamybiniai šilumos energijos generavimo pajėgumai, numatomos alternatyvos esamiems įrenginiams ir galimybės integruoti kitus šilumos generavimo šaltinius į esamą CŠT tinklą.

Darbo tikslas ne tik ekonominiu, bet ir ekologiniu požiūriu „draugiškų aplinkai“ investicijų integravimo galimybių analizė. CŠT modernizavimas, įvairių šilumos generavimo sistemų integravimas yra gyvybiškai svarbus siekiant išsaugoti esamą sistemą, užtikrinant pigiausią, ekologišką šilumos energiją vartotojams.

Centralizuotas šilumos tiekimas analizei pasirinktame mieste, kaip ir visoje Lietuvos Respublikoje kūrėsi šalia gamybinių įmonių, kurioms buvo tiekiamas garas, tuo pačiu buvo numatytas atliekinės šilumos energijos panaudojimas. Buvo statomi daugiabučiai gyvenamieji namai ir jungiami prie bendros centralizuotos šilumos tiekimo sistemos kartu su jau esamais daugiabučiais, kurie buvo aprūpinami šilumos energija iš pavienių, kvartalinų anglimis ar kitu iškastiniu kuru kūrenamų katilinių. Tokia centralizuoto šilumos tiekimo tinklo sistema leido ženkliai sumažinti oro taršą miestuose, sąlygojo gyventojų didėjimą, ekonominį miesto augimą.

Iš esmės pagrindinis centralizuoto šilumos tiekimo uždavinys liko panašus, t.y. garantuoti patikimą, nenutrūkstamą, ekonomiškai pagrįstą ir pigiausią, ekologiškai švariausią šilumos energijos generavimą.

Šalia to kas paminėta ypač aktualus uždavinys - energijos generavimo ir vartojimo apimčių atitikimas. Šylantis klimatas, daugiabučių gyvenamųjų namų modernizavimas, šilumos tinklų keitimas, brangstantys išteklių, naujų technologijų atsiradimas, visa tai skatina ieškoti alternatyvų iškastiniam kurui, tobulinti esamas sistemas, integruoti į centralizuoto šilumos tiekimo sistemą saulės, vėjo ar kitus atsinaujinančios energijos generavimo šaltinius.

Lietuva, kaip ir kitos, ypač Rytų Europos, valstybės turi unikalią CŠT sistemą, kurią naudojant galima užtikrinti žymiai mažesnius miestų oro taršos lygius, lyginant su regionais be šios sistemos. Centralizuoto šilumos tiekimo plėtra integruojant įvairius „aplinkai draugiškus“ šilumos generavimo šaltinius turi perspektyvą.

Projekto tikslas – nustatyti atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo miesto CŠT sistemoje maksimalias galimybes ir pagrįsti tai techniniais-ekonominiais rodikliais.

Projekto uždaviniai:

1. Apžvelgti esamas atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo galimybes ir geriausiąją praktiką šalto klimato šalyse ir Lietuvoje;
2. Išanalizuoti esamą situaciją miesto CŠT sistemoje;
3. Parinkti atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo modeliavimo metodologiją;
4. Sumodeliuoti miesto CŠT sistemos variantus, kai energijos gamybos struktūroje atsinaujinantys energijos išteklių sudarytų 100 %, bei pagrįsti tokios sistemos veikimą techniniais-ekonominiais rodikliais.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Europos ir šalto klimato šalių CŠT strategija

Pastatams ir pramonei, šildymui ir vėsinimui tenkantis suvartojamos energijos kiekis sudaro apie pusę ES suvartojamos energijos. Apie 75 % šildymui ir vėsinimui reikiamos energijos ES vis dar gaminama deginant iškastinį kurą, o tik 16 % – iš atsinaujinančios energijos. Matant dabartinių technologijų vystymą, akivaizdu, kad yra daug galimybių padidinti energinį efektyvumą, sumažinant išmetamų teršalų kiekį ir kartu sumažinant energijos išlaidas energijai. Atsižvelgiant į ES komisijos, šildymo/vėsinimo sektorius turi labai didelę dalimi sumažinti energijos vartojimą, o tuo pačiu ir iškastinio kuro naudojimą, tokiu būdu pasiekiant ES klimato ir energetikos tikslų [1].

ES šildymo ir vėsinimo strategijos esmė – šildymo ir vėsinimo sektorių dekarbonizacija ir energijos vartojimo efektyvumo didinimas. Šildymo ir vėsinimo sektorius turi prisidėti prie ES šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimo tikslo ir įsipareigojimo pagal susitarimą dėl klimato kaitos (Paryžiuje vykusioje COP21 klimato konferencijoje). Pripažįstama būtinybė - mažinti energijos importą ir priklausomybę. Todėl tiekimo saugumas išlieka ES šildymo ir vėsinimo strategijos prioritetu. Tai ypač svarbu valstybėms narėms, kurios šildymui naudoja dujas ir priklauso nuo vieno tiekėjo (dažniausiai Rusijos „Gazprom“). Strategijoje taip pat pabrėžiama, kad namų ūkių ir pramonės įmonių energijos sąnaudos turėtų būti sumažintos ir diegiant inovacijas integruotose energijos vartojimo sistemose (apimant šildymo ir vėsinimo poreikį) [2]. Taip pat dėl Europos Komisijos priimtų reglamentų dėl naujų pastatų energinio naudingumo [3] ir dėl esamo pastatų fondo atnaujinimo [4] gali atsirasti naujų strategijos scenarijų. Europos technologijų ir inovacijų platforma [5], Europoje modeliuoja skirtingus šilumos energijos vartojimo scenarijus iki 2050 m. - kai šildymo poreikis sumažės 20–30%, o vėsinimo poreikis padidės apie tris kartus, palyginti su 2006 m. Šią tendenciją patvirtina Europoje 1990–2010 metais vertintas vėsinamo grindų ploto padidėjimas, kuris gali siekti apie 600 %. Be to, per tą patį laikotarpį įrengtų patalpų vėsinimo įrenginių, skaičius išaugo 24 kartus (prieaugio indeksas apie 3% per metus).

Šalto klimato šalys labiausiai susiduria su šildymo/vėsinimo sektoriaus dekarbonizavimu. Pavyzdžiui Škotijoje ir visoje JK daugiau nei 80 % gyvenamojo ploto šildoma gamtinėmis dujomis [6]. Kitos šalys, kurios pastatų šildymui naudoja dujas yra Nyderlandai (95% nuosavybės) ir Vokietija (53%) [6]. Tokios šalys kaip Danija ir Švedija dešimtmečius siekė atsisakyti šilumos gamybos naudojant iškastinį kurą – istoriškai tai vyko dėl energetinio saugumo, tačiau pastaruoju metu dėl klimato politikos. Pagrindinis iššūkis Suomijoje ir Danijoje - centralizuoto šildymo (CŠT) sistemų dekarbonizavimas. Švedijos CŠT sektorius jau beveik visiškai dekarbonizuotas. Prancūzijoje ir Airijoje vis dar plačiai naudojamas individualus šildymas iškastiniu skystu kuru (dyzelinu), kadangi šalys neturi taip plačiai išvystyto gamtinių dujų tinklo kaip Jungtinėje karalystėje arba Nyderlanduose.

Visos aukščiau paminėtos šalys yra įsipareigojusios iki 2050 m. pasiekti siekti tam tikros formos CO₂ neutralumo. Šalyse, kuriose šildymo būdas generuoja daug anglies dioksido, iki šiol tikslus dekarbonizavimo būdas išlieka neaiškus. Taip pat šalys turi nustatyti tarpinius taršos mažinimo tikslus: Nyderlanduose iki 2030 metų 20% gyvenamųjų namų turi būti aprūpinti atsinaujinančiomis arba mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančiomis šilumos generavimo technologijomis, Prancūzijoje ir Vokietijoje yra numatyti tikslai, kad iki 2030 m. bendras šilumos energijos suvartojimas būtų gaunamas iš atsinaujinančios energijos, atitinkamai 38 % ir 27 %.

Škotija turi tarpinį tikslą - iki 2030 m. sumažinti anglies dioksido kiekį 75 %. Tikėtina, kad visgi bus nustatytas naujas tarpinis šilumos generavimo dekarbonizavimo tikslas, kadangi tai žymiai ambicingesnė mažinimo vertė nei kitur Europoje.

Viena iš galimų technologijų, padedančių pasiekti šiuos tikslus, yra gamtinių dujų vartojimo į mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančio vandenilio vartojimą (gamtinių dujų tinkle). Nyderlandai, Vokietija ir visa ES neseniai paskelbė vandenilio strategijas [7,8]. Visose šiose strategijose pabrėžiamas poreikis galiausiai sutelkti dėmesį į žaliąjį vandenilį (gaminamas naudojant atsinaujinančią elektros energiją), nors tam tikru mastu pripažįstama, kad pereinamuoju laikotarpiu yra svarbus ir mėlynasis vandenilis (iš gamtinių dujų).

Reikia akcentuoti, kad daugelyje šalių centralizuotas šilumos tiekimas laikomas svarbiu šilumos sektoriaus dekarbonizavimo mažinimo veiksmu. Tai brandi technologija – Skandinavijos šalyse (šalto klimato) tokiu būdu šildoma trečdalis gyvenamojo ploto. Tokiose šalyse kaip Švedija ir Suomija, biomasė yra pagrindinė, mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančio, centralizuoto šilumos tiekimo priemonė.

Strateginiuose tiksluose šalto klimato šalyse kreipiamas dėmesys į centralizuoto šilumos ir vėsumos tiekimo sistemų vystymą. Sistemos turi paminėtą privalumą – energinio efektyvumo didinimo galimybę dėl žematemperatūrinio CŠT tinklo vystymo galimybės [9]. Nors ir tokių, 4 kartos CŠT sistemų šiuo metu Europoje eksploatuojama mažai, jau eksperimentuojama ir su sekančios, 5 kartos, ypač žemos temperatūros CŠT sistemomis [10].

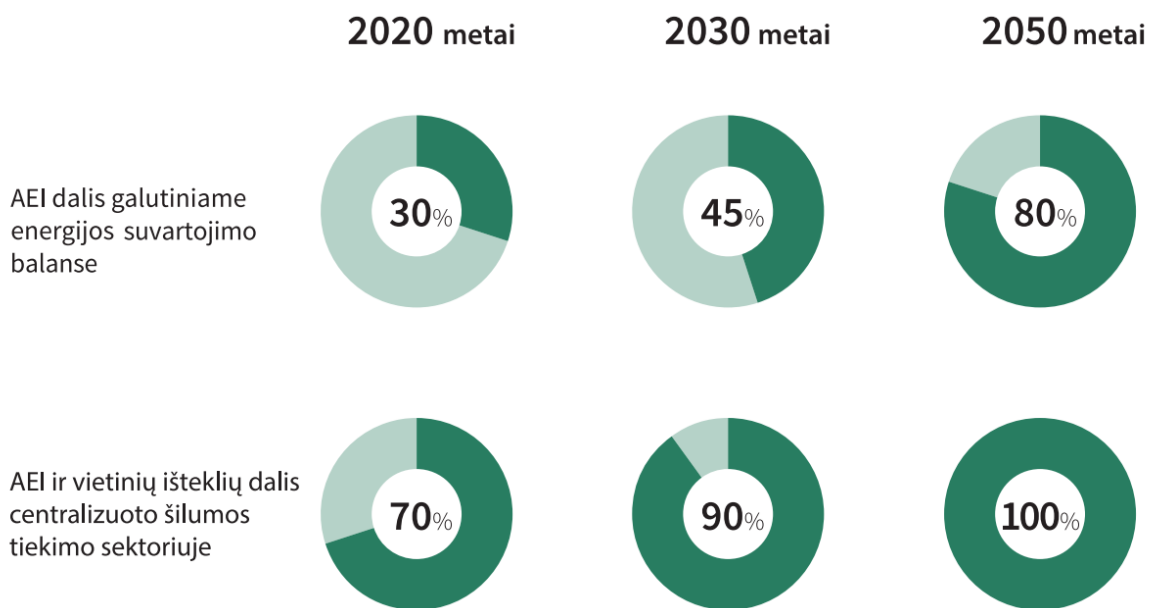
1.2. Lietuvos CŠT sektoriaus strategija 2030/2050

Svarbiausias Lietuvos Respublikos tikslas šilumos ūkio srityje – nuoseklus ir subalansuotas centralizuoto šilumos tiekimo sistemų atnaujinimas (optimizavimas), užtikrinantis efektyvų šilumos vartojimą, patikimą, ekonomiškai patrauklų (konkurencingą) gamybą ir tiekimą, sudarantis galimybę diegti modernias ir aplinkai palankias technologijas, naudojančias vietinius ir atsinaujinančius energijos išteklius, užtikrinantis sistemos lankstumą ir palankią terpę investicijoms.

Vadovaujantis gerąja ES šalių praktika, Lietuvoje turi būti skatinamas perėjimas prie ketvirtosios kartos (4G) centralizuotos šilumos tiekimo, integruojant saulės jėgaines į centralizuoto šilumos tiekimo tinklus ir skatinant perteklinės bei atliekinės šilumos panaudojimą pastatams šildyti.

Lietuvoje centralizuoto šilumos tiekimo sistema yra neatskiriama sudedamoji bendro energetikos sektoriaus dalis, technologiniais ir energijos srautų ryšiais glaudžiai susijusi su elektros energetikos sistema, kuro tiekimo ir kitomis sistemomis. Visuose Lietuvos miestuose veikia gerai išvystytos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos, iš kurių šiluma šalyje aprūpinama apie 53 proc., o miestuose – apie 76 proc. visų pastatų. Pagrindiniai centralizuoto šilumos tiekimo paslaugų vartotojai yra daugiabučiuose namuose gyvenantys gyventojai. Bendroji įrengtoji šilumos gamybos įrenginių galia centralizuoto šilumos tiekimo sistemose yra 9582 MW [11].

Lietuva sieks, kad iki 2030 m. iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta centralizuotai tiekiamą šilumą sudarytų 90 proc. visos centralizuotai tiekiamos šilumos [12].

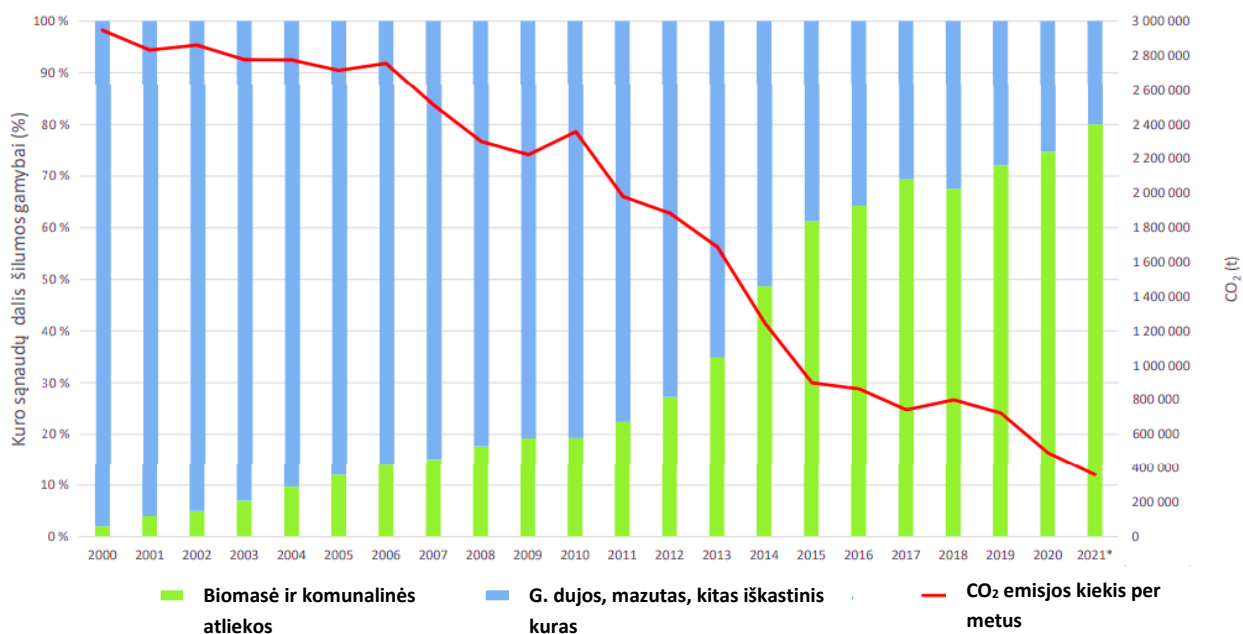


1.1 pav. Siektini tikslai Lietuvos energetikos sektoriuje 2020, 2030 ir 2050 metais

Prognozuojama, kad šilumos energijos gamybai privačiuose namų ūkiuose bus suvartota 2030 m. – 643 ktne kuro.

Lietuvos tikslai šilumos ir vėsinimo sektoriuje yra ambicingi, tačiau glaudžiai siejami su energetiniu efektyvumu – tiek decentralizuoto, tiek centralizuoto šilumos tiekimo srityje iki 2030 m. energijos poreikis mažės. Didžiausią įtaką turės diegiamos naujos technologijos (šilumos siurbliai, modernūs biokuro katilai ir kt.) bei daugiabučių namų renovacija. Jei bus įgyvendintos numatytos papildomos priemonės, gali būti pasiekta ir didesnė AEI dalis šilumoje ir vėsinime nei numatyta šiuo metu.

Lietuva, vadovaujantis 2021 m. duomenimis [13] jau pasiekė apie 80 % AEI ir vietinių išteklių naudojimą CŠT sektoriuje. Pagal 1.2 pav. pateiktą CO₂ mažinimo scenarijų galima prognozuoti, kad iki 2030-iems metams siektini rodikliai nustatyti Lietuvos Energetinės Nepriklausomybės Strategijoje yra realūs.



1.2 pav. ŠESD emisijų dinamika Lietuvos CŠT sektoriuje

1.3. Technologijos AEI integravimui. Geriausi prieinami būdai

Europos šalyse, ypač Skandinavijoje, per ilgą laiką buvo nusistovėjęs detalus CŠT sektoriaus, planavimas. Toks strateginis planavimas turi teigiamą įtaką sektoriaus vystymuisi, kadangi į sistemą integruojami, patikrinti sprendiniai arba geros praktikos pavyzdžiai [14].

Technologijos, kuriomis remiantis, galima padidinti energijos vartojimo efektyvumą, sumažinant anglies dvideginio išskyrimą į atmosferą, gali būti atskirtos pagal CŠT sistemos sudėtines dalis:

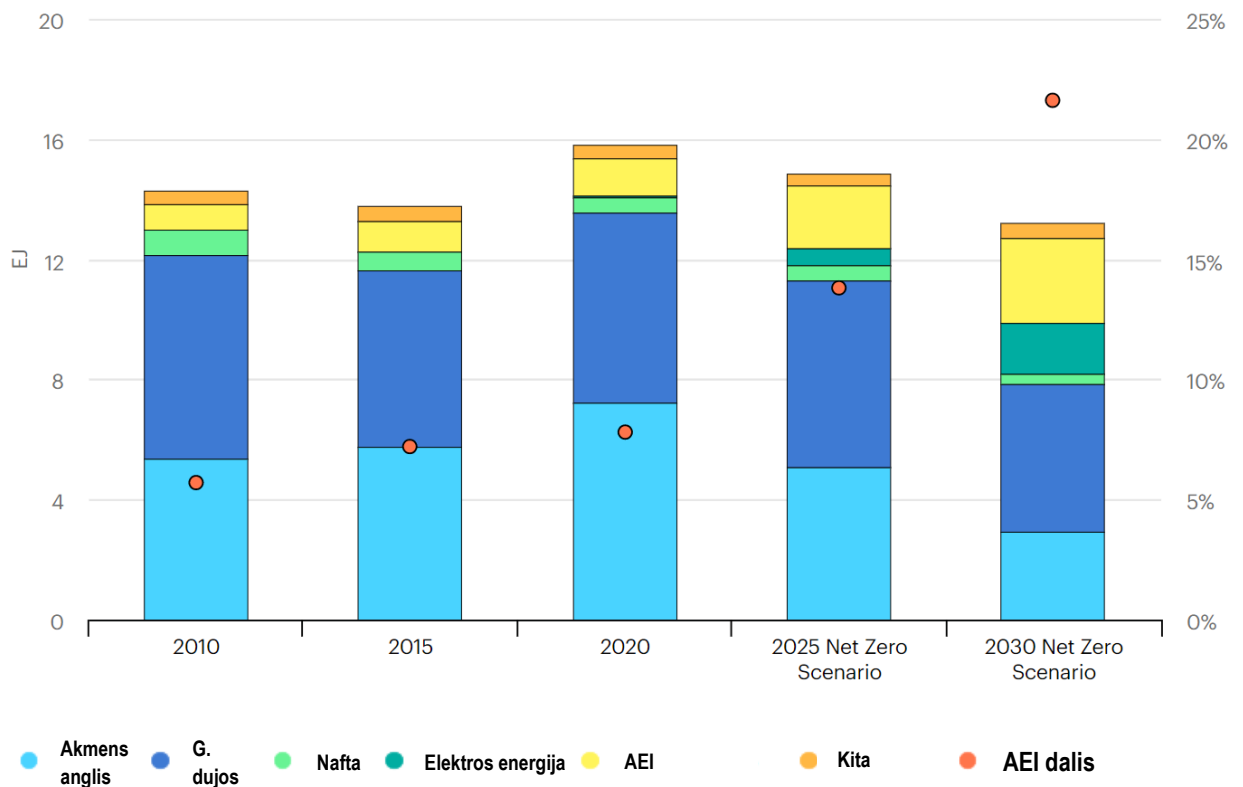
- Šilumos/vėsumos generavimo dalis;
- Šilumos/vėsumos tiekimo;
- Energijos vartojimo.

Remiantis minėtais pavyzdžiais ir tinkama šalies klimatine biologine aplinka (daug miškų, ir nuo 1997 m. miškų plotas padidėjo 218,9 tūkst. ha ir dabar užima 2,2 mln. ha, o tai sudaro trečdalį šalies teritorijos – 33,7 proc. [15]), Lietuva jau pasiekė aukštą rodiklį CŠT sistemų dekarbonizavimo srityje, iškastinį kurą šilumos generavimui beveik visiškai pakeisdama biomase [16]. Žinoma, kai kurie miestai Lietuvoje dar didele dalimi priklausomi nuo importuojamo iškastinio, tačiau artimiausiais metais tai bus išspęsta, įdiegus atsinaujinančių išteklių panaudojimu, paremtas šilumos generavimo technologijas. Tikriausiai tolimesnis žingsnis, Lietuvos CŠT sistemose plačiau katilinėse integruoti šilumos siurblius [17], taip kartu su saulės kolektorių sistemomis [18]. Tokios CŠT sistemos preliminari schema pavaizduota 1.19 pav. Taip pat, kur yra galimybė būtina diegti mažos galios kogeneracines sistemas, kartu su šilumos energijos akumuliacijos rezervuarais, tokiu būdu didinant bendrą CŠT sistemos efektyvumą, patikimumą, ekologiškumą ir ekonomiškumą.

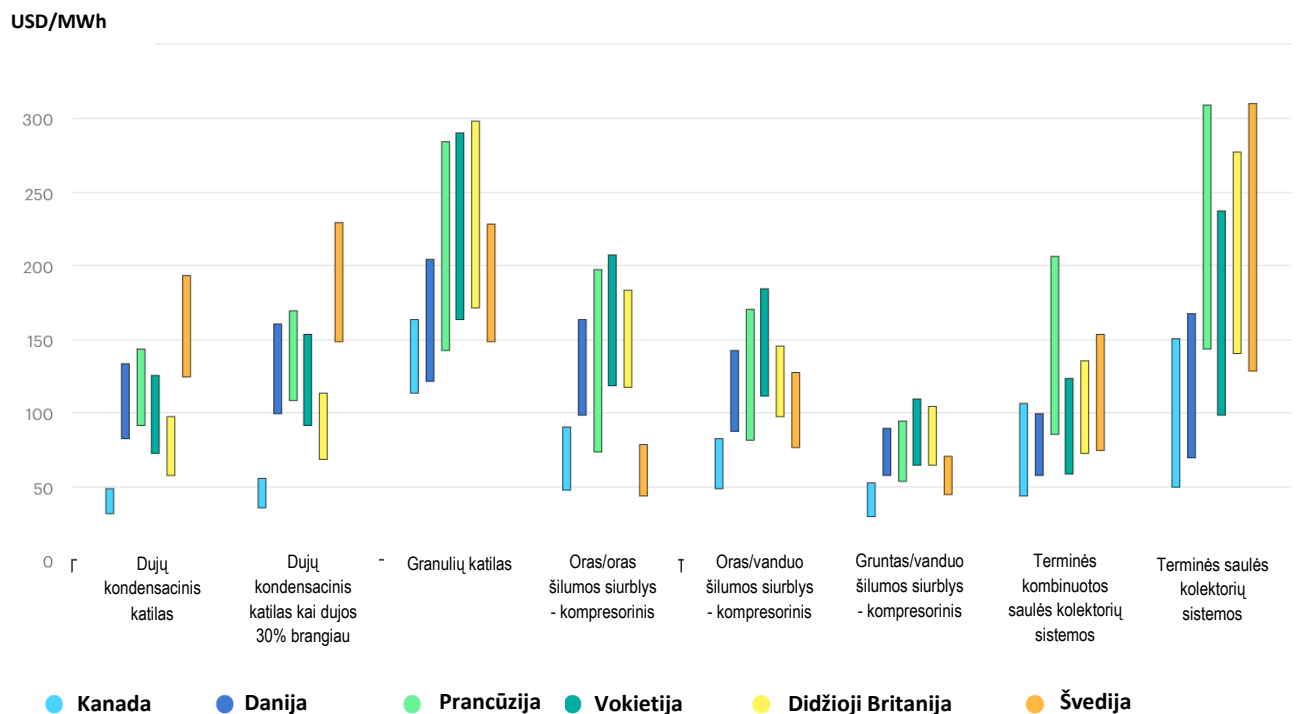
Remiantis Valstybės kontrolės ataskaita 2021–2027 m. planuojama ES struktūrinė parama į AEI panaudojimo didinimą šilumos ir vėsumos gamybai CŠT sektoriuje sudarys 75 mln. Eurų: saulės energetikai – 18,75 mln. Eurų, iš kurių: 10 proc. – saulės elektrinėms, 70 proc. – saulės kolektoriams, 20 proc. – šilumos talpykloms CŠT tinkle; biomasei – 37,5 mln. Eurų, iš kurių: 70 proc. – nedidelės galios biokuro kogeneracinėms elektrinėms, 25 proc. – didelio efektyvumo biokuro katilams, 5 proc. – šilumos saugykloms; šilumos siurbliams – 18,75 mln. Eurų [19].

1.3.1. Šilumos energijos generavimo sistemos ir jų optimizavimas

Ilgą laiką ir iki dabar Europos šalys, tame tarpe ir šaltojo klimato šalys, energijos gamybai intensyviai naudojo ir naudoja iškastinį neatsinaujinantį kurą [20]. Akivaizdu, kad į CŠT atsinaujinančios energijos generavimą daug investuojančios šalys, tokios kaip Danija, Švedija, šiuo metu yra pasiekę aukštus dekarbonizavimo rodiklius. Taip pat remiantis globaliais lyginamųjų kaštų rodikliais galima demonstruoti, kad atsinaujinančios energetikos technologijos gali konkuruoti su įprastinėmis (naudojant iškastinį kurą) [21].



1.3 pav. Centralizuota šilumos energijos gamyba priklausomai pagal kuro rūšis, 2010-2020 ir esant „Nulinio CO₂ SCENARIJUI, 2030“

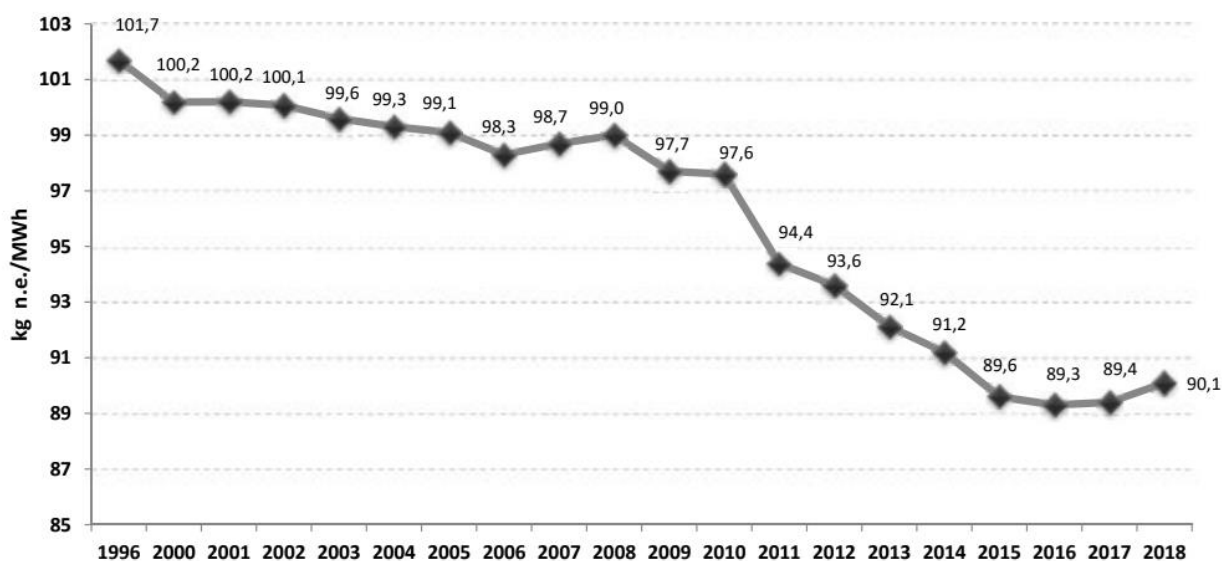


1.4 pav. Palyginamieji šilumos energijos kaštai; šildymui ir karšto vandens ruošimui vartotojams pagal skirtingas šalis (pagal 2019 m. kuro ir energijos kainas)

Grafike, 1.4 pav. parodytos palyginamosios (angl. trumpinys *Levelized cost of heating (LCOH)*) šildymo diapazonų sąnaudos yra supaprastintos sąmatos, pateiktos informacijai. Skaičiavimuose vertinama investicinės išlaidos (įskaitant PVM, neįskaitant papildomų išlaidų ir politikos paramos), eksploatacijos išlaidas ir kuro sąnaudas per visą technologijos naudojimo gyvavimą. Neatsižvelgiama į vėsinimą, kurį gali tiekti reversiniai šilumos siurbliai. Gruntas/vanduo šilumos siurblių atveju atsižvelgta į grunto kolektoriaus eksploatavimo laiką (trukmė apie 60 metų), kompresoriaus bloką keičiant kas 20 metų. Vertinime taip pat daroma prielaida, kad kiekvienoje šalyje yra pastovus vidutinis gyvenamojo ploto ir šilumos energijos šildymui poreikis, pastovios nacionalinės galutinio vartotojo kuro kainos 2019 m. vertės ir 2% diskonto norma.

1.3.2. Katilinių modernizavimas pritaikant biokurui ir dūmų kondensacinius ekonomizerius

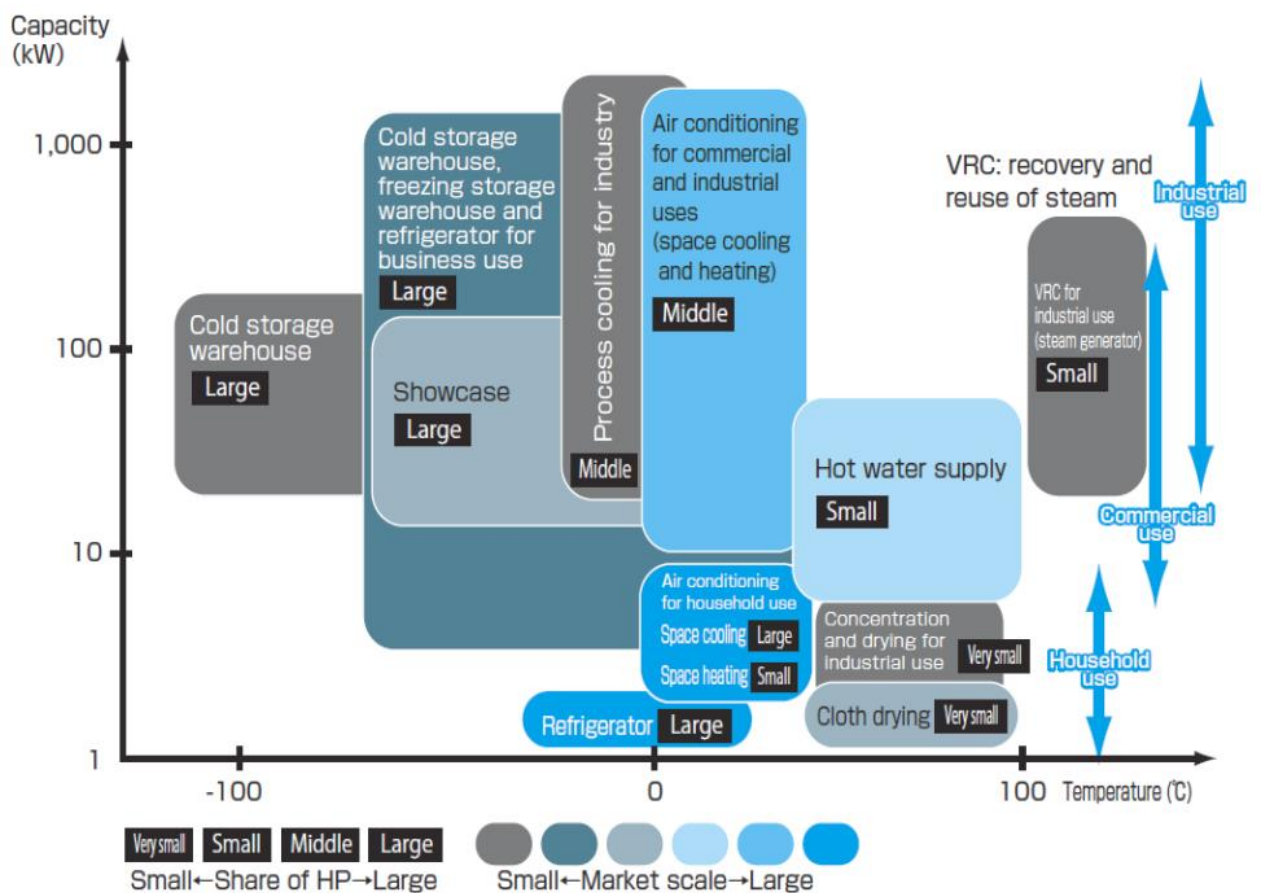
Lietuva, biokuro deginimo efektyvumo didinimo srityje, kartu su Skandinavijos šalimis, yra viena iš pirmaujančių Europoje. Pradėjus naudoti biokurą, senųjų katilų efektyvumas siekė iki ~70% ir buvo nuspręsta diegti dūmų kondensacinius ekonomizerius [22]. Dėl galimybės pasinaudoti ES finansinės parama taip pat buvo sudaryta dideliais masteliais diegti naujus biokuro katilus katilinėse, nei statyti naujas, efektyvias katilines. Dėl minėtų priežasčių Lietuvos CŠT sektoriaus efektyvumo rodiklis – kg n.e./MWh pasiekė šiandieninės vertės [23], pateikiamas 1.5 pav. t.y. apie 89–90 kg n.e./MWh.



1.5 pav. Specifinis pirminio kuro suvartojimas 2000-2018 Lietuvos CŠT sektoriuje

Šilumos siurbliai CŠT sistemose

Šilumos siurblių sistemų privalumai jau daugelį metų naudojami šalto klimato šalyse – Švedijoje, Suomijoje, Danijoje, Nyderlanduose, Norvegijoje ir kitose (1.1 lentelė). Šilumos siurblių panaudojimo sritys, koncentruotai pateikiamos



1.6 pav. Šilumos siurblių pritaikymo sritys ir jų panaudojimo mastai

Pagrindiniai, šilumos siurblių diegimo CŠT sistemose, privalumai :

- prisideda prie laipsniško iškastinio kuro atsisakymo energetikos sistemoje;
- subalansuoja elektros tinklą, kai elektros gamyba iš atsinaujinančių išteklių svyruoja;
- leidžia naudoti šilumos šaltinius esant labai žemai temperatūrai, taip padidinant bendrą energijos vartojimo efektyvumą.

1.1 lentelė. Didelės galios šilumos siurbLIAI veikiantys CŠT sistemose (2019 m. duomenys)

Šalis	Suminė šilumos galia (MW _s)	Objektų skaičius	Įdiegtų šilumos siurblių skaičius
Norvegija	84,5	8	15
Švedija	1022,3	13	43
Danija	45	9	11
Suomija	154,6	4	9
Italija	36,6	5	9
Šveicarija	35,4	9	13
Austrija	10,1	2	3
Lietuva	15	1	1
Slovakija	1,8	1	1
Čekija	6,4	1	1
Lenkija	3,7	1	2

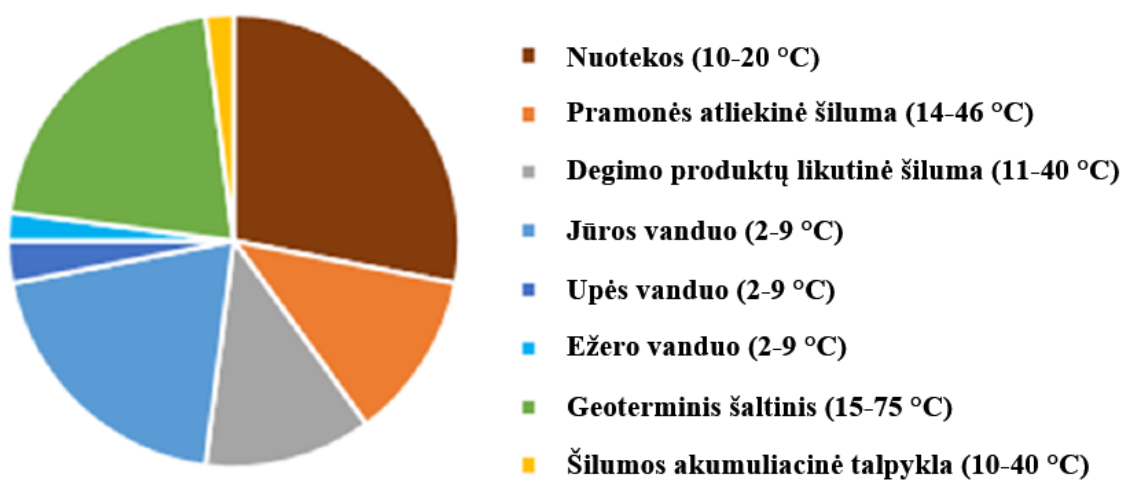
Šalis	Suminė šilumos galia (MW _s)	Objektų skaičius	Įdiegtų šilumos siurblių skaičius
Prancūzija	5,5	2	3
Nyderlandai	1,2	1	1

Kliūtys didelio masto šilumos siurblių integravimui yra t.y. šilumos šaltinių trūkumas arba žemas šilumos šaltinių temperatūros potencialas (mažas efektyvumas). Be to, dauguma operatorių (vis dar) neturi patirties integruojant ir eksploatuojant šilumos siurblius esamose CŠT sistemose (palyginti su gerai žinoma biomasės ar gamtinių dujų deginimo technologija) [24].

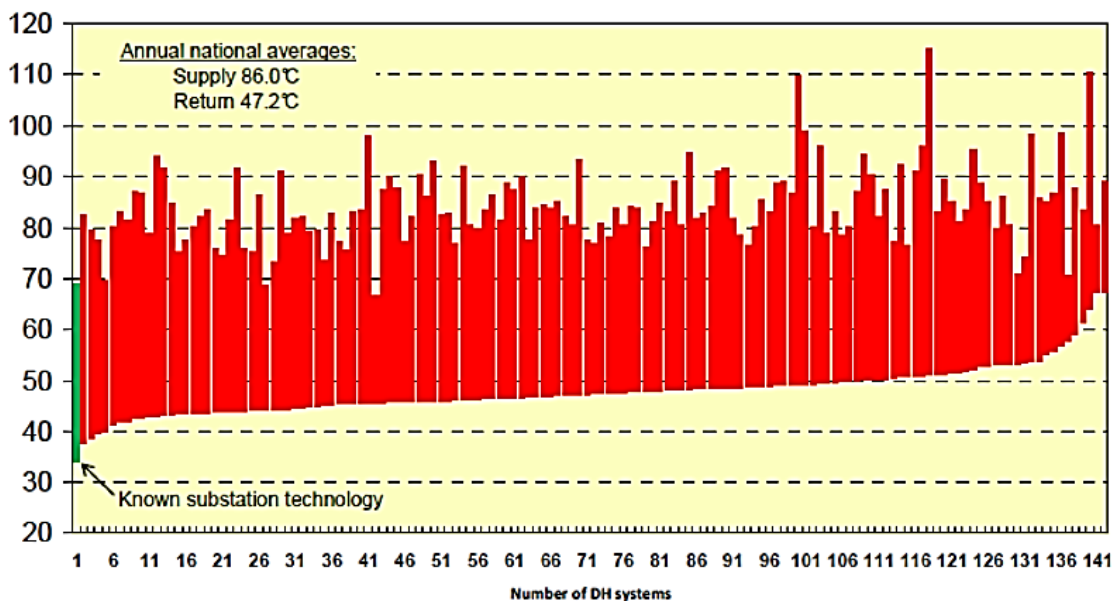
Dar viena kliūtis – aukšta esamų šilumos tinklų temperatūra (1.8 pav.), mažinanti šilumos siurblių efektyvumą. Be to, aukšta šių tinklų temperatūra lemia didelius šilumos nuostolius. Todėl žemos temperatūros tinklų diegimas padėtų padidinti šilumos siurblių naudojimą šiuose tinkluose (tipinis šilumos siurblių COP pagal pirminio šilumos šaltinio terpes, lauko oro ir šildymo sistemos temperatūras pateikiamas 1.9 pav.).

Išsami analizė [25] parodė, kad kompresoriniams šilumos siurbliams ORAS/VANDUO (galia apie 20 kW), vidutinio ir šalto klimato (tame tarpe gali būti ir Lietuva) SCOP gali skirtis atitinkamai pagal panaudojimo būdą (t.y. šildymui ar karštam vandeniui):

- Vidutinio klimato zona, žemos temperatūros šildymo sistema: SCOP apie 3,5 – 5,2;
- Vidutinio klimato zona, vidutinės temperatūros šildymo sistema: SCOP apie: 2,8 – 3,9;
- Vidutinio klimato zona, karšto vandens ruošimas: SCOP apie: 1,9 – 2,7;
- Šalto klimato zona, žemos temperatūros šildymo sistema: SCOP apie: 2,9 – 4,3;
- Šalto klimato zona, vidutinės temperatūros šildymo sistema: SCOP apie: 2,4 – 3,5;
- Šalto klimato zona, karšto vandens ruošimas: SCOP apie 1,3 – 2,4.

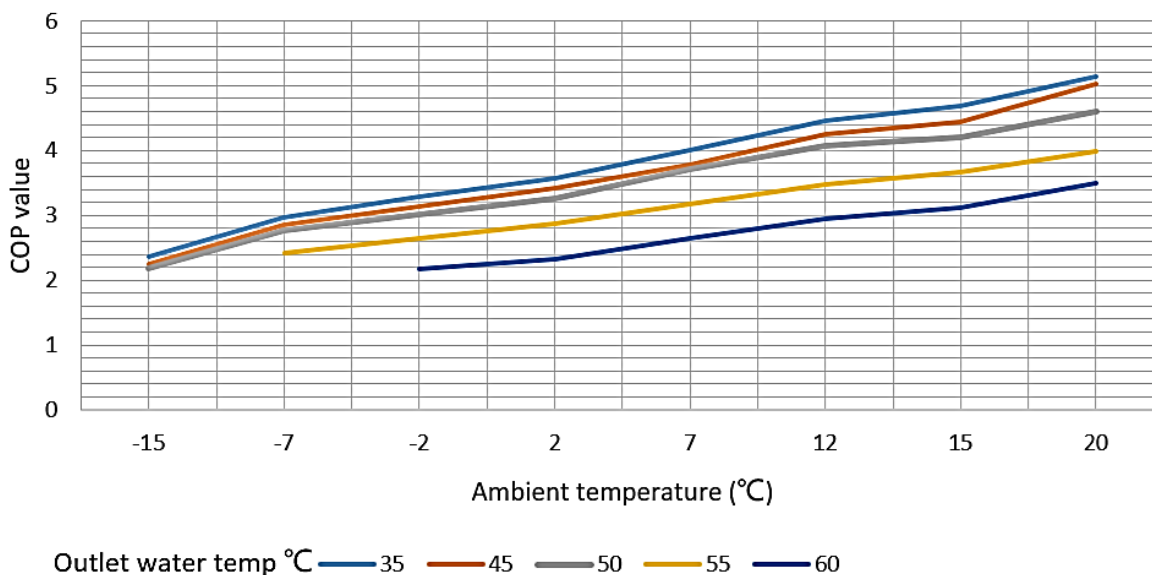


1.7 pav. Šilumos šaltinių pasiskirstymas pagal naudojimą ir jų vidutinės temperatūros



1.8 pav. Skirtingų CŠT sistemų temperatūrinių režimų grafikas (Švedija)






Šilumos siurbliuose, skirtingi darbiniai agentai turi savų privalumų ir trūkumų. Darbinio agento pasirinkimas priklauso nuo konkretaus panaudojimo atvejo. Šiuo metu, CO₂ ir amoniakas yra dažniausiai naudojami darbiniai agentai/šaltnešiai didelės galios šilumos siurbliams. Šilumos siurblys veikiantis su CO₂ darbinio agentu, gali būti naudojamas sistemos, kur reikia aukštų pvz. iki 90 °C temperatūrų, o naujo tipo amoniako sistemos gali pasiekti iki 100 °C temperatūrą [26].



1.9 pav. Šilumos siurblio ORAS/VANDUO COP priklausomybė nuo lauko oro temperatūros ir į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros

1.3.3. Terminų saulės kolektorių panaudojimas ir šilumos energijos akumuliacija CŠT sistemose

Šalto klimato šalyse - Danijoje ir Švedijoje, o taip pat Austrijoje, Vokietijoje, Ispanijoje ir Graikijoje didelės terminų saulės kolektorių sistemos, prijungtos prie vietinių CŠT tinklų arba naudojamos dideliuose gyvenamuosiuose, komerciniuose ir visuomeniniai pastatuose, nuo devintojo dešimtmečio pradžios. Reikėtų pažymėti, kad nuo devintojo dešimtmečio pradžios iki 2016 m. rinka daugiausia buvo sutelkta Europoje. Danija apie dešimtmetį dominavo didelio masto sistemų rinkoje – ypač saulės CŠT srityje. Pramonės sektoriuje 2020 m. Kinija užėmė lyderio poziciją. Pirmoje vietoje pagal didelio masto sistemų instaliuotą galią CŠT sistemose yra Vokietija. Ji yra pirmaujanti Europos šalis šiame rinkos segmente. Tai sudaro 23 % naujai instaliuoto terminų saulės kolektorių sistemų ploto visame pasaulyje. Nepaisant drastiško rinkos nuosmukio, kurį Danija patyrė 2020 m. (palyginti su jos diegiamais metiniais kiekiais per pastarąjį dešimtmetį), Danija vis dar užima antrąją vietą [27].

	1	2	3
<p>Terminų saulės kolektorių sistemos CŠT sistemose Pagal naujų sistemų įdiegimo apimtį 2020 m.</p> 	Vokietija	Danija	Kinija
<p>Terminų saulės kolektorių sistemos Pramonės sektoriui Pagal naujų sistemų įdiegimo apimtį 2020 m.</p> 	Kinija	Meksika	Vokietija
<p>Terminų saulės kolektorių sistemos Plaukimo baseinų šildymui Pagal naujų sistemų įdiegimo apimtį 2020 m.</p> 	JAV	Brazilija	Australija
<p>Terminų saulės kolektorių sistemos Oro šildymui Pagal naujų sistemų įdiegimo apimtį 2020 m.</p> 	Kanada	Australija	Japonija
<p>Hibridinių terminų ir elektros gamybai saulės kolektorių sistemos (PVT) Pagal naujų sistemų įdiegimo apimtį 2020 m.</p> 	Prancūzija	Pietų Korėja	Kinija

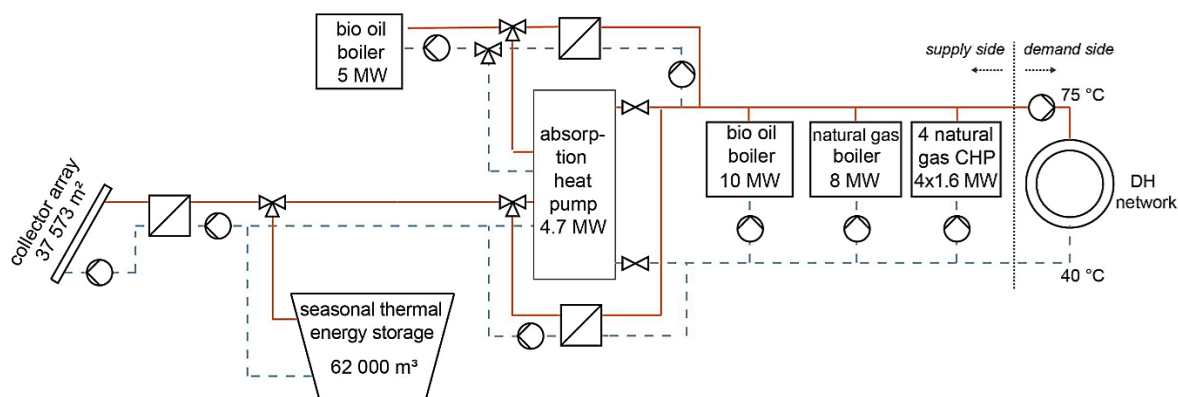
1.10 pav. Šalių, pagal diegiamą terminų saulės kolektorių sistemų dydį ir pagal sritį, lyderių trejetai

Keli terminų saulės kolektorių „gerosios praktikos“ pavyzdžiai Danijoje pateikiami žemiau [28]:

- Braedstrupas, Danijoje - kombinuota energijos sistema, į kurią įeina 18 600 m² saulės kolektorių, 7 500 m³ šilumos kaupimo rezervuarų, 19 000 m³ bandomojo gręžinio sezoninio šilumos kaupimo (atitinka maždaug 9 000 m³ vandens), kompresorinį šilumos siurblių,

elektrinį katilą, dujiniai VDV (kombinuota šilumos ir elektros gamyba) ir gamtinėmis dujomis kūrenami katilai. Taip pat pažangi valdymo sistema, subalansuojanti maksimalų saulės šilumos ir maksimalų elektros energijos pardavimą. Saulės dalis bendrame energijos balanse: 22 %. Sistema įdiegta 2007 m., papildomai išplėsta 2012 m..

- Dronninglund, Danijoje: 35 000 m² terminių saulės kolektorių laukas kartu su sezonine tvenkinio tipo šilumos saugykla, užpildyta 60 000 m³ vandens. Tvenkinio tipo saugykla naudojama vasarą pagamintai šilumos energijai kaupti. Saulės elektrinė per metus pagamina 16 000 MWh ir aprūpina 40 % šilumos vietiniam centralizuoto šilumos tiekimo tinklui su 1 350 vartotojų. Kiti šilumos šaltiniai – gamtinėmis dujomis VDV ir katilas su absorbciniu šilumos siurbliu. Saulės CŠT jėgainė pradėta eksploatuoti 2014 m.



1.11 pav. Mišrios CŠT sistemos su terminių saulės kolektorių sistema hidraulinė schema

- Vojensas, Danijoje. Nuo 2012 m. sukaupia patirtis su 17 000 m² didelio terminių saulės kolektorių lauko paskatino įmonę Vojens Fjernvarme planuoti į saulės kolektorių lauką papildomai įdiegti dar 52500 m² (36,75 MW_{th}) kartu su sezonine šilumos saugykla, o tai turėtų padidinti metinę saulės energijos dalį bendrame balanse nuo 14 %. Iki 45 %. Sistema buvo pradėta eksploatuoti 2015 m. gegužės mėn.
- Silkeborgas, Danijoje: Terminių saulės kolektorių plotas siekia 156694 m². Sistema pradėta eksploatuoti 2016 m. pabaigoje, todėl tuo metu tai buvo didžiausia pasaulyje saulės CŠT sistema. Kiti šilumos šaltiniai sistemoje: dujinė kogeneracinė jėgainė, elektrinis katilas ir pramonės atliekinė šiluma.

Apžvelgus įvairių šalto klimato šalių patirtis iškyla svarbūs argumentai saulės kolektorių sistemų diegimui ir naudojimui CŠT sistemose:

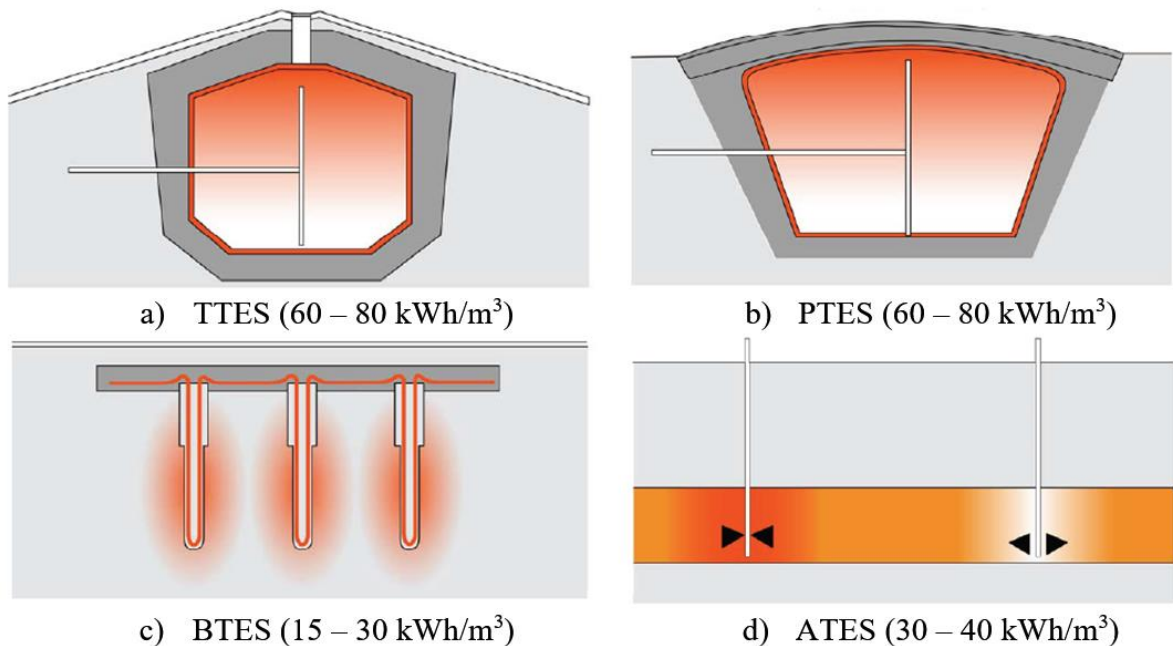
- Sistemos tiekia energiją be jokių išmetamų teršalų (degimo produktų) į aplinką, o tai aktyviai prisideda prie klimato apsaugos. Šilumos tiekėjai gali sumažinti energijos kainas dėl sumažėjusių išlaidų taršos mokesčiams;
- Saulės kolektorių sistemos paprastos ir patikimos, o jų vidutinis gyvavimo laikotarpis – 25 metai; Energijos kaina stabili, lyginant su kitomis tradicinėmis kuro rūšimis ir tiksliai prognozuojama 20 ar 25 metų perspektyvai, kadangi energijos kaina susideda iš pradinių investicijų;
- Naudojant terminių saulės kolektorių sistemas pasiekiamas dalinis energetinis ir finansinis nepriklausomumas. Sistemoms beveik nereikalingas aptarnavimas. Papildomai reikalingas tik nedidelis elektros energijos kiekis cirkuliacinių siurblių darbui;

- Sistemų savininkai turi galimybę gauti galimybę mokėti mažesnius mokesčius arba gauti valstybės subsidiją. Saulės kolektorių sistemos padidina bendrą turto vertę bei suteikia patrauklesnį įmonės įvaizdį;
- Diegiant ir naudojant sistemas sukuriama darbo vietos pramonės ir rinkodaros srityse;
- Saulės kolektorių sistemų gaminama šilumos energija, jeigu nesubsidijuojamos investicijos, akivaizdžiai nėra konkurencinga CŠT sistemose, ypač kur naudojama kogeneracija (deginant vietinį biokurą).

1.3.4. Akumuliacijos sistemos

Danijos praktinė patirtis rodo, kad visos didelės (1000 – 35000 m²) saulės kolektorių sistemos prijungtos prie CŠT tinklo yra montuojamos ant žemės, o energijos gamybai yra naudojami plokštieji saulės kolektoriai. Paprastai naudojami didelio ploto kolektoriai (10–15 m²), kurie yra išdėstomi lygiagrečiomis eilėmis maždaug po 20 kolektorių. Saulės kolektoriai dažniausiai prijungiami prie trumpalaikių šilumos talpyklų, vaizduojamų 1.12 pav. (10-24 valandų). Norint padengti didesnę CŠT tinklo poreikį (apie 30 – 50 %) naudojamos sezoninės, įvairių tipų, šilumos energijos saugyklos nuo keleto dienų iki savaitės, kelių mėnesių laikotarpiui.

Saulės kolektorių integravimui į CŠT tinklą naudojamos dviejų tipų schemas: centrinė arba paskirstyta. Centrinės sistemos atveju saulės kolektoriai išdėstyti vienoje vietoje ir per šilumokaitį prijungti prie šilumos energijos saugyklos. Paskirstytoje sistemoje saulės kolektoriai montuojami įvairiose vietose – ant namų stogų arba ant žemės (gali būti atskirų savininkų sistemos su atskira šilumos apskaita) ir per tarpinius šilumos perdavimo punktus nukreipiami į centrinę šilumos energijos saugyklą (1.13 pav.).

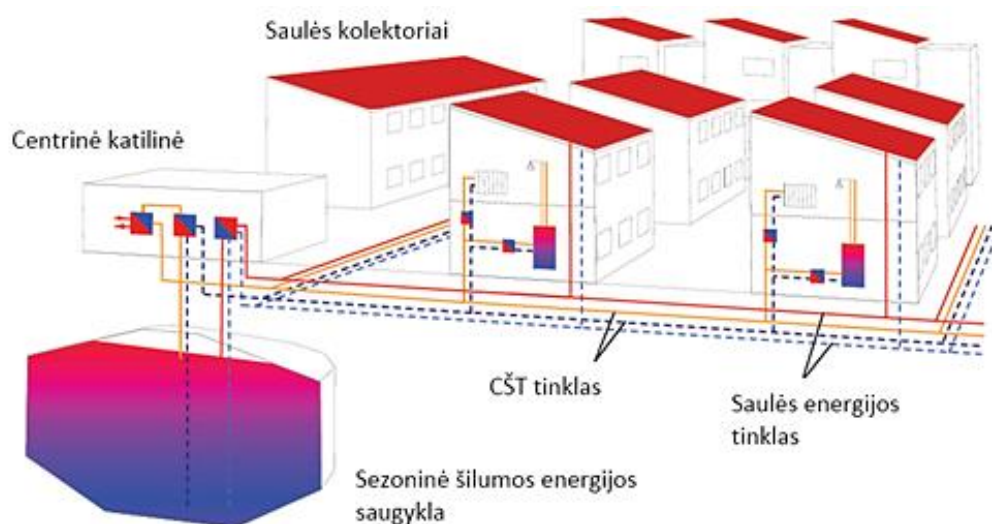


1.12 pav. Trumpalaikių ir sezoninių šilumos akumuliacijos technologijų pavyzdžiai

Gali būti atvejis, kada CŠT tinklas naudojamas kaip energijos akumuliatorius. Tokiu atveju yra šildomas grąžinamas šilumnešio srautas. Efektyviam saulės kolektorių sistemų išnaudojimui CŠT

grąžinamo srauto temperatūra turi būti kaip įmanoma žemesnė, ypač ryte prieš pradėdant šviesti saulei .

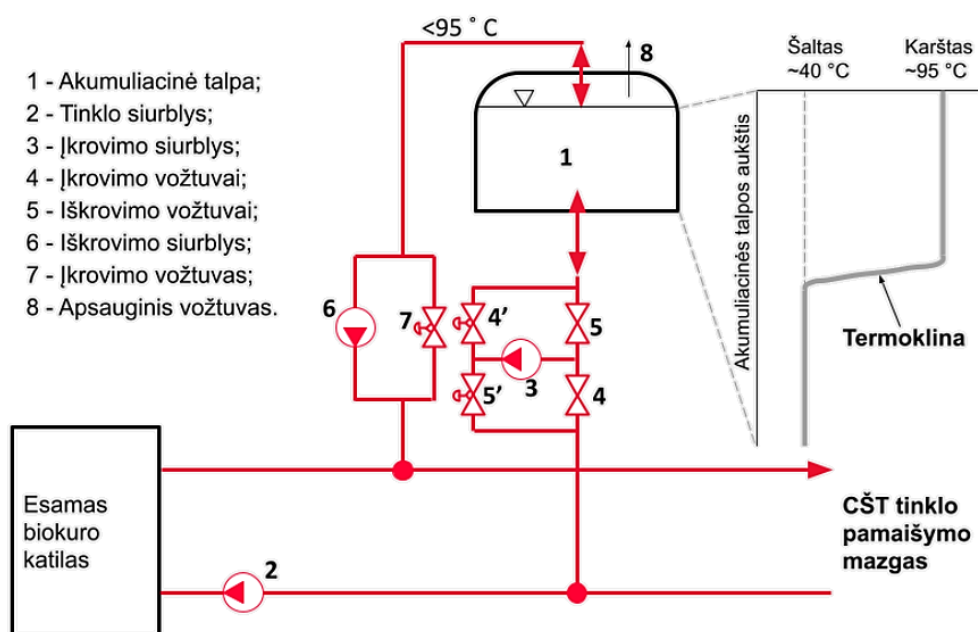
Vienas iš labai svarbių didelių šilumos energijos saugyklų privalumų - santykinų šilumos nuostolių mažėjimas didėjant jų tūriui. Esant didelėms sistemoms, santykiniai talpų šilumos nuostoliai artėja į nulinę vertę, kai jų tūris artėja link begalybės.



1.13 pav. Saulės kolektorių sistema centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje

Biokuro katilinių, veikiančių CŠT sistemoje atveju, yra taip pat naudojamos trumpalaikės šilumos talpos. Minėtų talpų panaudojimas labiausiai aktualus dėl biokuro katilų darbo lankstumo padidinimo.

Trumpalaikio šilumos akumuliacinio talpų panaudojimo/prijungimo schemą (1.14 pav.) pateikia AB „KAUNO ENERGIJA“ [29].



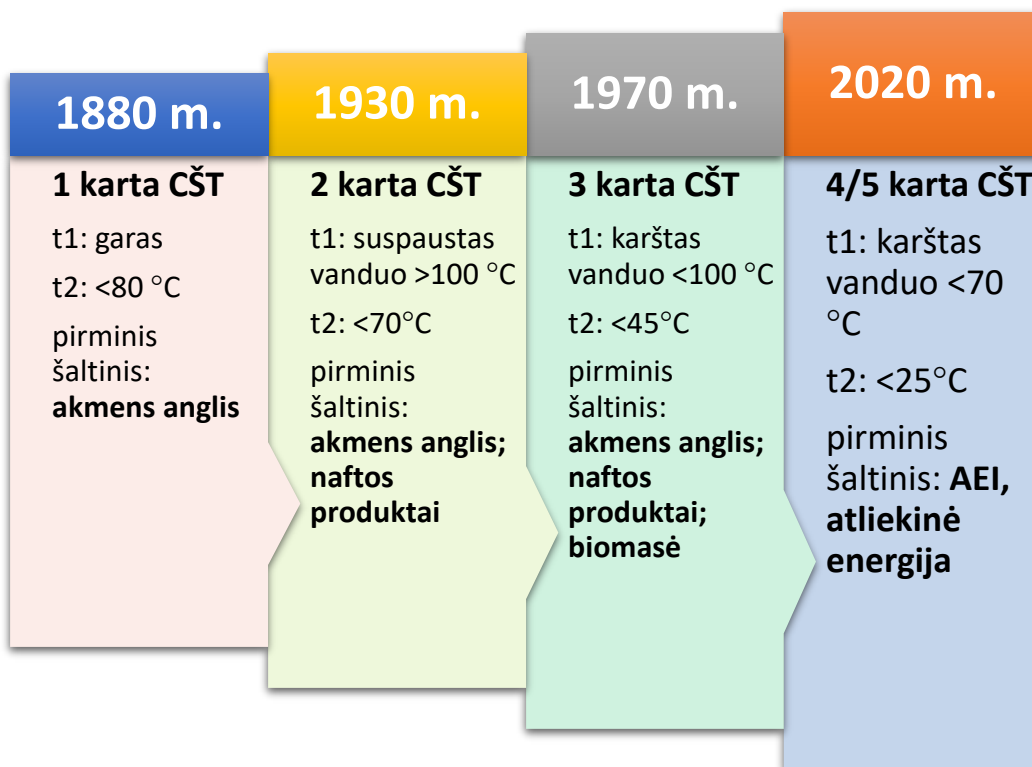
1.14 pav. Šilumos akumuliacinės talpos įdiegimo, biokuro katilinėje, hidraulinė schema

1.3.5. Žemos temperatūros centralizuoto šilumos tiekimo galimybės

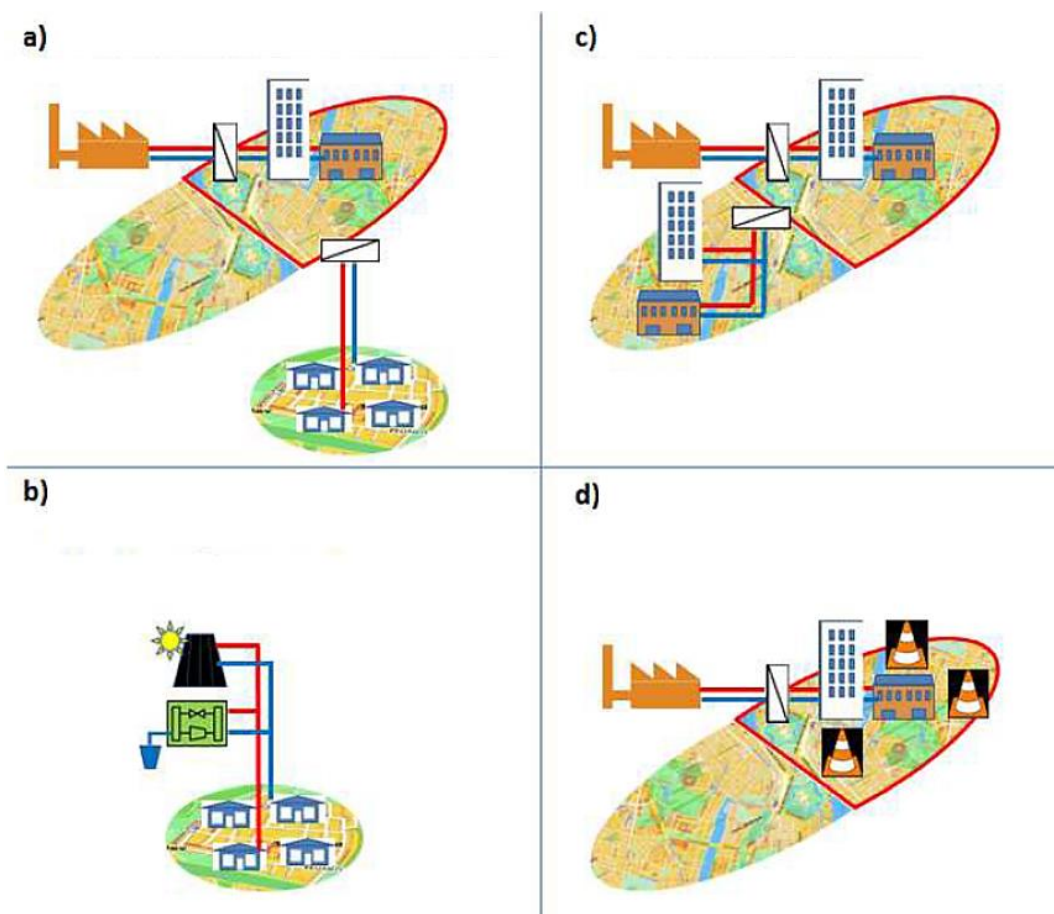
Europoje CŠT yra vystomas apie 140 metų. CŠT sistemų vystymosi etapai pavaizduoti 1.15 pav. [30]. Pirmosios kartos CŠT sistemos buvo sukurtos JAV devintajame dešimtmetyje ir buvo naudojamos iki XX amžiaus trečiojo dešimtmečio. CŠT esmė buvo anglies deginimas garo gamybai, kuris buvo pirmasis šilumnešis. Garo pagrindu veikiančioms sistemoms reikėjo sudėtingos kondensato tvarkymo sistemos, taigi aptarnavimo ir priežiūros išlaidos buvo didelės. Be to, aukšta darbinė temperatūra lėmė didelius šilumos nuostolius, ypač esant prastai izoliuotoms vamzdinių sistemoms. To trūkumas - nebuvo galimas šilumos energijos tiekimas dideliais atstumais. Antrosios kartos CŠT pradėtas kurti praėjusio amžiaus ketvirtajame dešimtmetyje ir jo vystymas tęsėsi iki 1970-ųjų. Šiose sistemose kaip energnešys buvo naudojamas suslėgtas karštas vanduo, kurio temperatūra aukštesnė nei 100 °C, o ne vandens garas. Šilumos perdavimas tapo saugesnis ir kartu su geriau izoliuotais vamzdynais atsirado prielaidos vystyti didesniems CŠT tinklams. Tokia sistema sudaryta dviejų vamzdžių uždaro ciklo sistema, kurioje grįžtamasis šilumnešis gali būti pakartotinai panaudotas arba žemesnių parametrų šilumos vartotojų poreikiui. Reikšmingas 2-osios kartos CŠT aspektas yra termofikacinės elektrinės (CHP) plėtra tiek šilumos, tiek elektros energijai gaminti, o tai įtakojo energijos nuostolių ir eksploataavimo sąnaudų mažinimą. Trečiosios kartos CŠT sistemų kūrimas pradėtas praėjusio amžiaus aštuntajame dešimtmetyje ir šiais laikais yra dažniausiai naudojama technologija. Šioje kartoje naudojamas suslėgtas vanduo, bet tiekimo šilumensio temperatūra žemesnė nei 2 kartos CŠT t. y. t₁ žemesnė nei 100 °C temperatūra. Standartinis 3 kartos CŠT tinklas susideda iš bekanalinių vamzdinių, plonesnių nei 2 kartos, su gera šilumos izoliacija. Be to, korpusiniai ir vamzdiniai šilumokaičiai buvo pakeisti plokšteliniais šilumokaičiais. Tai pat šilumos gamybai pradėti naudoti atsinaujinantys energijos šaltiniai, įskaitant biomasę. Šie pastebimi patobulinimai padidino sistemų efektyvumą ir sumažino šilumos sąnaudas.

Ketvirtosios kartos CŠT priskiriama nuo 2020 m. ir prognozuojama, kad ji dominuos iki 2050 metų. 4-osios kartos CŠT koncepcija numato kogeneracinių sistemų kūrimą, naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, tokius kaip biomasė, saulės šilumos energija, geoterminiai šaltiniai ir kiti. Ketvirtosios kartos CŠT gali veikti žemos temperatūros diapazone, kuri yra žemesnė nei 50–60 °C, kartu su žymiai mažesniais vamzdžių skersmenimis ir geresnės kokybės izoliacija. Taigi gali sumažėti tinklo šilumos nuostoliai ir padidėti tinklo šilumos pralaidumas. Sumažinti tiekimo temperatūrą galima dėl pagerėjusio šilumos perdavimo šilumokaičiuose. Be to, šilumos energijos kaupimas atlieka svarbų vaidmenį - todėl laiko poslinkis tarp šiluminės energijos gamybos ir jos panaudojimo nėra problemiškas. Taip pat esminis naujumas susijęs su išmaniuoju CŠT tinklo veikimo valdymu ir stebėseną, šilumos poreikio prognozavimu [31, 32, 33].

Žemos temperatūros centralizuotas šilumos tiekimas (ŽTCŠT) gali būti skirtas tiek naujiems, tiek esamiems pastatams. ŽTCŠT sistemos gali būti diegiamos naujose ir esamose centralizuoto šilumos tiekimo zonose. Be to, padalijus į potinklius, ŽTCŠT galima naudoti atskirose teritorijose. 1.16 pav. parodyti keturi skirtingi ŽTCŠT taikymo būdai: a) naujos miesto plėtos zonos prijungimas prie esamos CŠT sistemos, b) nedidelės ŽTCŠT sukūrimas naujoje miesto plėtos zonoje, c) esamos teritorijos prijungimas, pvz. pakeičiant dujinius katilus į CŠT arba d) renovuojant esamą CŠT, pvz. kaip bendros tiekimo temperatūros mažinimo strategijos dalis (1.16 pav.).



1.15 pav. Istorinis CŠT kartų keitimosi laike grafikas



1.16 pav. ŽTCŠT pritaikymo pavyzdžiai

1.3.6. Vandenilio panaudojimas šilumos generavimui

Vandenilis sudaro mažiau nei 2 % dabartinės Europos energijos suvartojimo ir daugiausia naudojamas chemijos pramonėje - plastikams ir trašoms, gaminti. Apie 96% šios vandenilio produkcijos pagaminama naudojant gamtines dujas, kurios išskiria didelį CO₂ kiekį. Tačiau vandenilį galima gaminti ir iš panaudojant atsinaujinančią energijos. Atsinaujinantis vandenilis („žalasis“ arba „švarus“ vandenilis) yra labai svarbus siekiant klimato neutralumo tikslų ir vaidins pagrindinį vaidmenį mažinant anglies dioksido kiekį sektoriuose, kuriuose kitos alternatyvos gali būti neįmanomos arba gali būti per brangios. Tai apima sunkiasvores transporto priemones ir daug energijos reikalaujančius pramonės procesus [34].

Vandenilio panaudojimas energetikoje jau ilgą laikotarpį analizuojama sritis ir dabarties vandenilio technologijos analizuojama atsižvelgiant į sąnaudas, suvartojimą, efektyvumą ir ilgaamžiškumą. Pagrindinės ir dominuojančios technologijos vandenilio generavimui visgi išlieka išvardintos technologijos [35].

1.2 lentelė. Pagrindinės esamos vandenilio generavimo technologijos

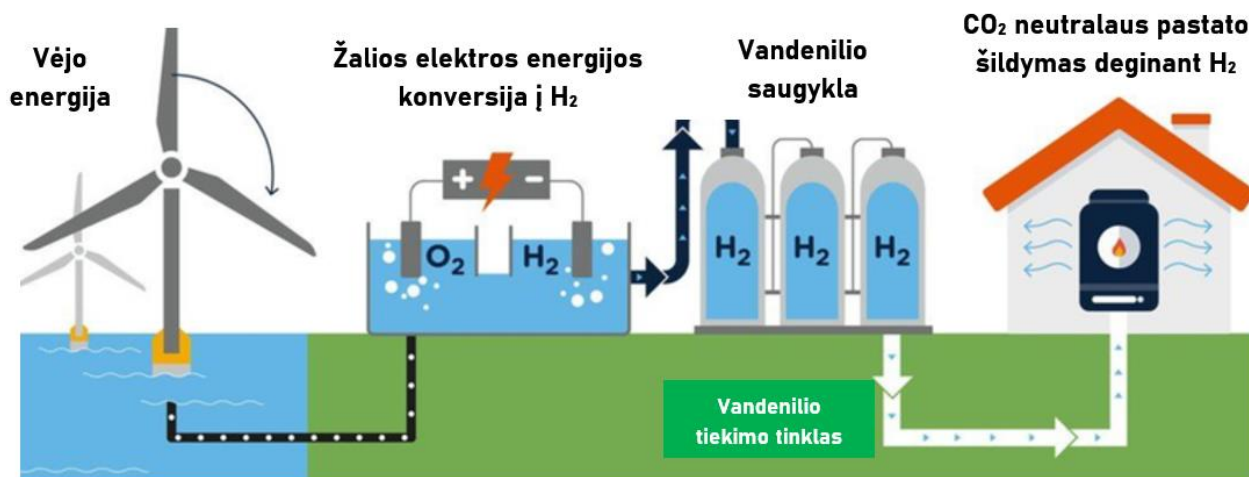
Tipas	Proceso temperatūra	Efektyvumas	Privalumai ir trūkumai
Šarminis elektrolizeris (AEL)	<80 °C	62%–82%	Privalumai: patvarumas ir technologijos brandumas. Trūkumai: nedidelis dalinės apkrovos diapazonas, nedidelis srovės tankis.
Elektrolizeris su protonams laidžia membrana (PEMEL)	<80 °C	67%–82%	Privalumai: kompaktiškumas ir didelio efektyvumo bei greito veikimo. Trūkumai: technologija brangesnė kitas ir mažesnis sistemos ilgaamžiškumas.
Kietojo oksido elektrolizeris (SOEL)	>700 °C	apie 100%	Privalumai: aukštas efektyvumas ir slėgis. Panaudojama atliekinė šilumos energija. Trūkumai: nedidelė technologijos branda, nėra komercializuota.

Šiuo metu vandenilis pagal savo kilmę skirstomas į:

Žalias vandenilis: pagamintas iš vandens, naudojant atsinaujinančią elektros energiją. Procesu metu sisiškai neišskiria CO₂, bet yra brangu.

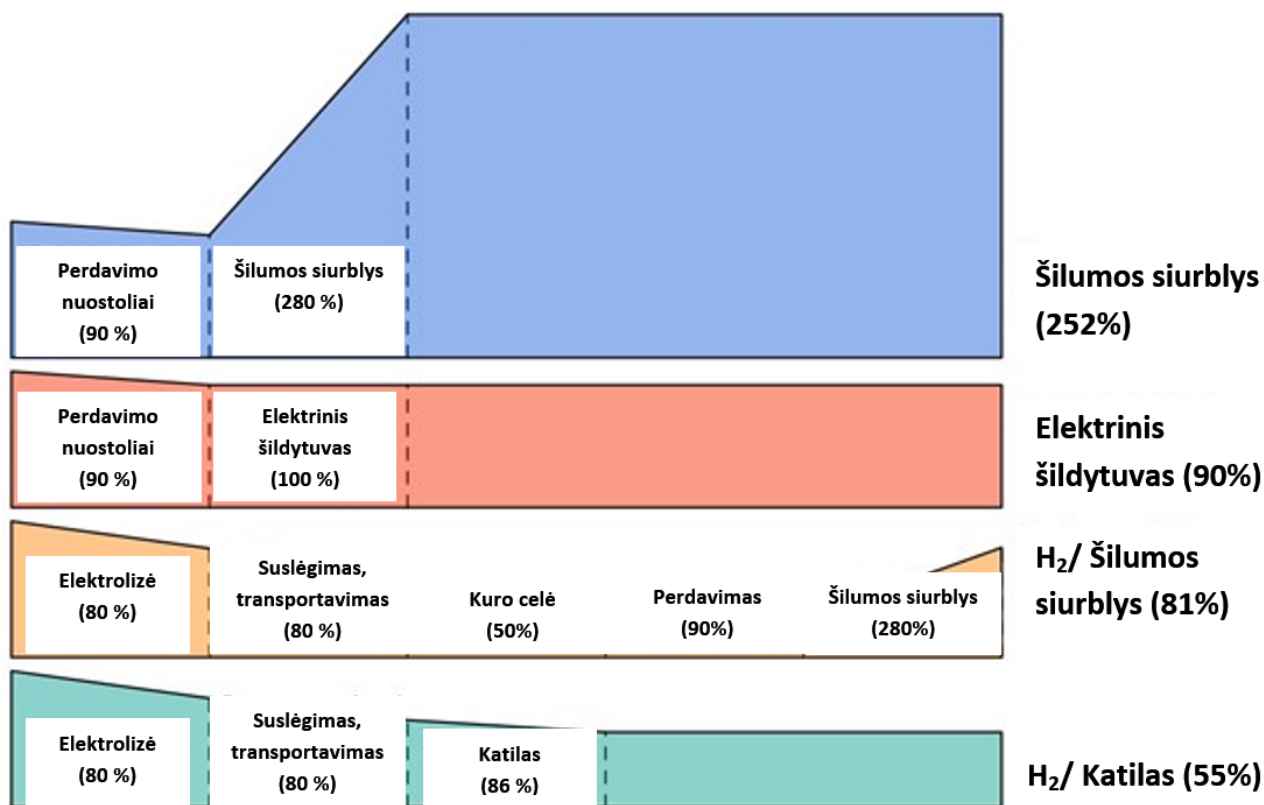
Rudasis vandenilis: pagamintas iš metano, cheminiu būdu atskiriant anglį CO₂ pavidalu – būtent to mes yra stengiamasi išvengti.

Mėlynasis vandenilis: pagamintas taip pat kaip rudasis, išskyrus tai, kad CO₂ yra „sugaunamas“ ir saugomas – nors praktiškai sunku surinkti 100%.



1.17 pav. Žaliojo H₂ gamybos ir panaudojimo pastatų šildymui principinė schema [36]

Matant dabartines tendencijas, tikėtina, kad vandenio tinklas Lietuvoje bus vystomas po 5 – 10 metų. Šaltinio [37] vertinimu vandenilio panaudojimas šilumos gamybai yra neaktyvus ir brangus būdas. Šilumos gamybos panaudojant „žaliąją“ elektros energiją, pagaminant vandenilį ir panaudojant šildymui, proceso efektyvumo diagrama (palyginant skirtingas technologijas) pateikiama 1.18 pav.



1.18 pav. Atsinaujinančios elektros energijos panaudojimo šilumos energijos gamybai iš vandenilio efektyvumas

Gerosios praktikos pavyzdžiai

Kaip „gerosios praktikos“ pavyzdį galima pateikti vieną integruotos CŠT sistemos pavyzdį, Vokietijoje. Sistemoje veikia mišri energijos gamybos sistema Kogeneracinė jėgainė, Terminiai saulės kolektoriai su šilumos energijos akumuliacinio talpa, o taip pat ir šilumos siurblys (vanduo/vanduo tipo). 1.3 lentelėje pateikiami ekonominiai ir technologiniai, mišrios/ar hibridinės, sistemos rodikliai.

1.3 lentelė. Didelio mastelio šilumos siurblio (ŠS) sistemos modelio techniniai-ekonominiai duomenys

Ekonominiai duomenys		Technologiniai duomenys	
Investicijos (<i>angl. CAPEX</i>)	1500 EUR/kW _{th}	Iš ŠS tiekiamo srauto temp.	80 °C
Ekonominio vertinimo laikas	20 metų	I ŠS grąžinamo srauto temp.	45–60 °C
Palūkanų norma	7%	Iš šilumos šaltinio	20 °C
Kintami kaštai	3 EUR/MWh	I šilumos šaltinį	8 °C
Fiksuoti kaštai	1% nuo investicijų kas metus	Sistemos efektyvumas	52%
Elektros energijos kaina^a	149 EUR/MWh	Vidutinis metinis COP	3.02

^avidutinė kaina be PVM pramonės vartotojams.

Pažymėjimai:

ST – Terminiai saulės kolektoriai

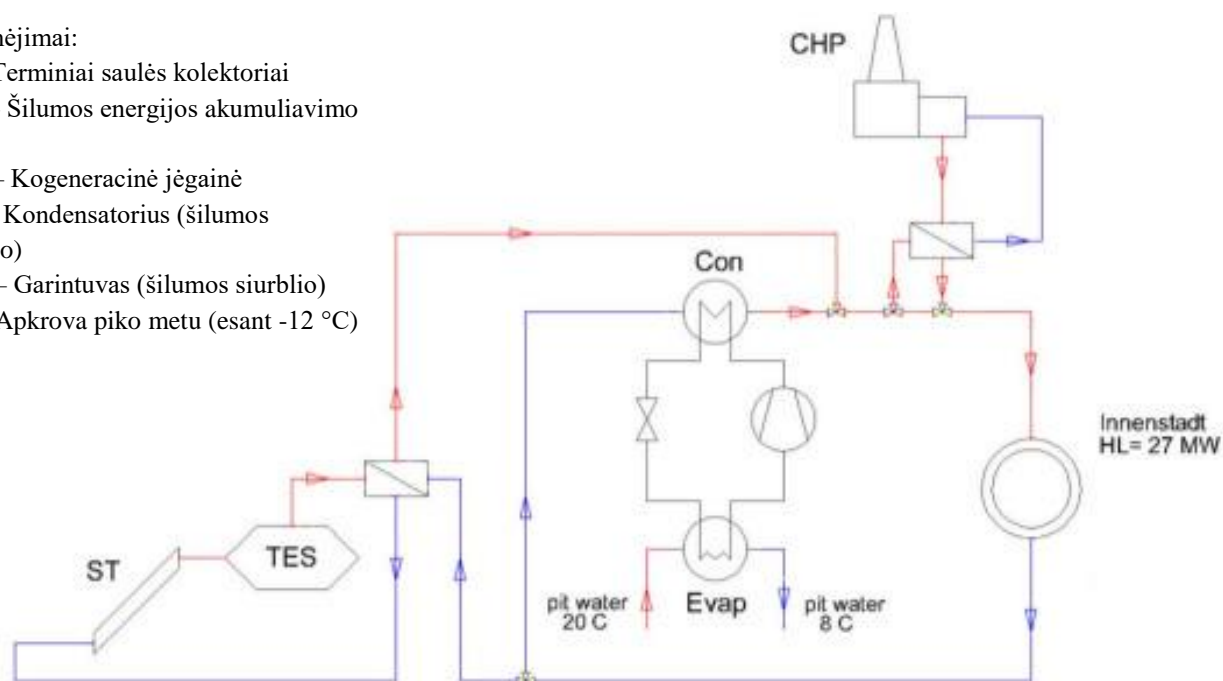
TES – Šilumos energijos akumuliacinio talpa

CHP – Kogeneracinė jėgainė

Con – Kondensatorius (šilumos siurblio)

Evap – Garintuvas (šilumos siurblio)

HL – Apkrova piko metu (esant -12 °C)



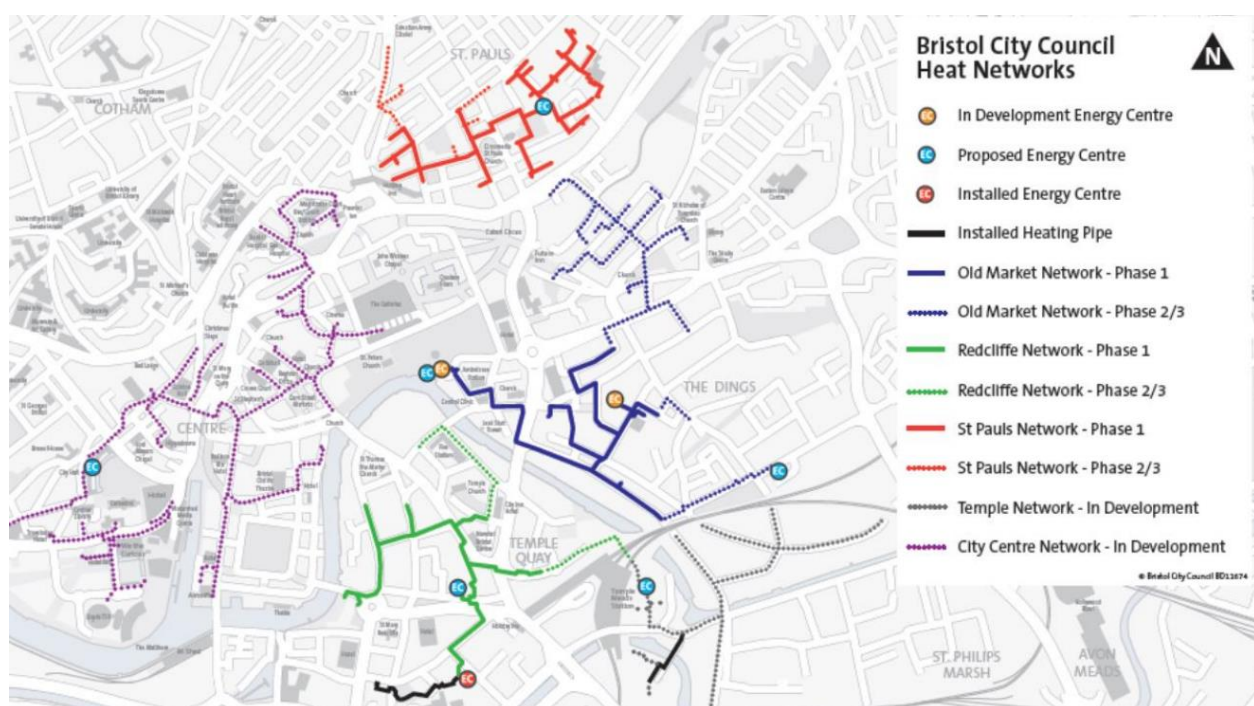
1.19 pav. Supaprastinta principinė integruotos CŠT sistemos schema

1.4. Kitos priemonės CŠT efektyvumo didinimui

Programinė įranga energijos gamybos ir tiekimo tinklų optimizavimui

THERMOS yra atviro kodo, internete, serveryje veikianti energijos planavimo programinė įranga, kuri iš karto pateikia tikslią šilumos ir vėsumos tinklo parinkčių analizę. Programinė įranga, sukurta pagal THERMOS ES finansuojamą projektą, skirta optimizuoti rajonų energijos tinklų planavimo procesus ir tvarios energijos bendrąjį planavimą, kad būtų lengviau diegti naujas mažai CO₂ į aplinką išskiriančias šildymo ir vėsinimo sistemas bei greitai atnaujinti, atnaujinti ir išplėsti esamas sistemas. Nors tradicinis šilumos ir vėsumos tiekimo tinklų planavimas yra ilgas, sudėtingas, reikalaujantis daug išteklių ir laiko, darbas. Taip pat minėtas procesas dažnai yra neoptimalus tiek proceso, tiek rezultato atžvilgiu. Naudojant THERMOS, per kelias minutes galima nustatyti vietinius, vartotojui pritaikytus optimalius tinklo sprendimus, bet kurioje konkrečioje teritorijoje. Dėl tikslaus didelės raiškos (adreso lygmens) kartografavimo ir integruoto energijos poreikio įvertinimo naudojant THERMOS galima greitai: Optimalių kelių naujų vartotojų prie esamo CŠT tinklo nustatymas; Vietos šilumos poreikio ir tinklo konfigūracijos nustatymas, pagal atitinkamą energijos šaltinį; Optimalaus tinklo sprendimo, atitinkančio turimus energijos šaltinius ir poreikį, nustatymas; Galimų CŠT tinklų ir ne CŠT sprendimų našumo įvertinimas [38].

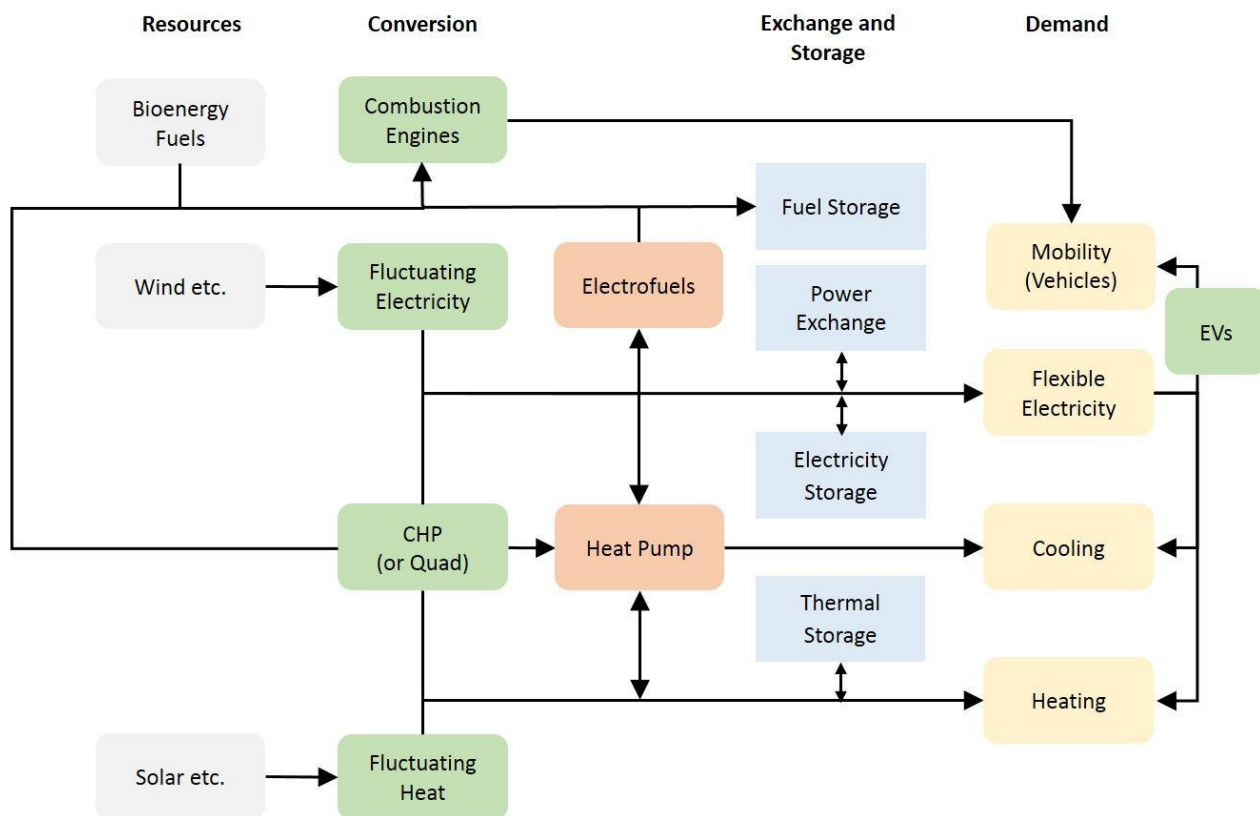
Optimalus THERMOS sprendimas apibrėžiamas pagal vartotojo pasirinktus kriterijus ir nurodytą šilumos energijos planavimo problemą, pvz., sąnaudas, emisijų mažinimo tikslus, technologijos tipą, reikalingus ryšius ar šaltinius.



1.20 pav. Bristolio miesto (UK) CŠT tinklo vystymo planai panaudojant THERMOS - Project

Kita priemonė miesto ar net šalies energijos gamybos ir tiekimo sistemų modeliavimui - EnergyPLAN – programinis paketas, skirtas analizuoti ir optimizuoti integruotas energijos sistemas (išmaniąsias energijos sistemas). Išmanioji energijos sistema apibrėžiama vadovaujanti šiais pagrindiniais principais [39]: tai 100 % atsinaujinančius energijos išteklius naudojanti sistema; sistemoje panaudojamos sinergijos maksimalaus veikimo efektyvumo ir mažiausių kaštų

užtikrinimui; gali nežymiai padidinti energijos kainą lyginant su iškastinio kuro energijos sistemomis (tačiau kai kuriais atvejais energijos kaina gali būti sumažinta 10-15 %).



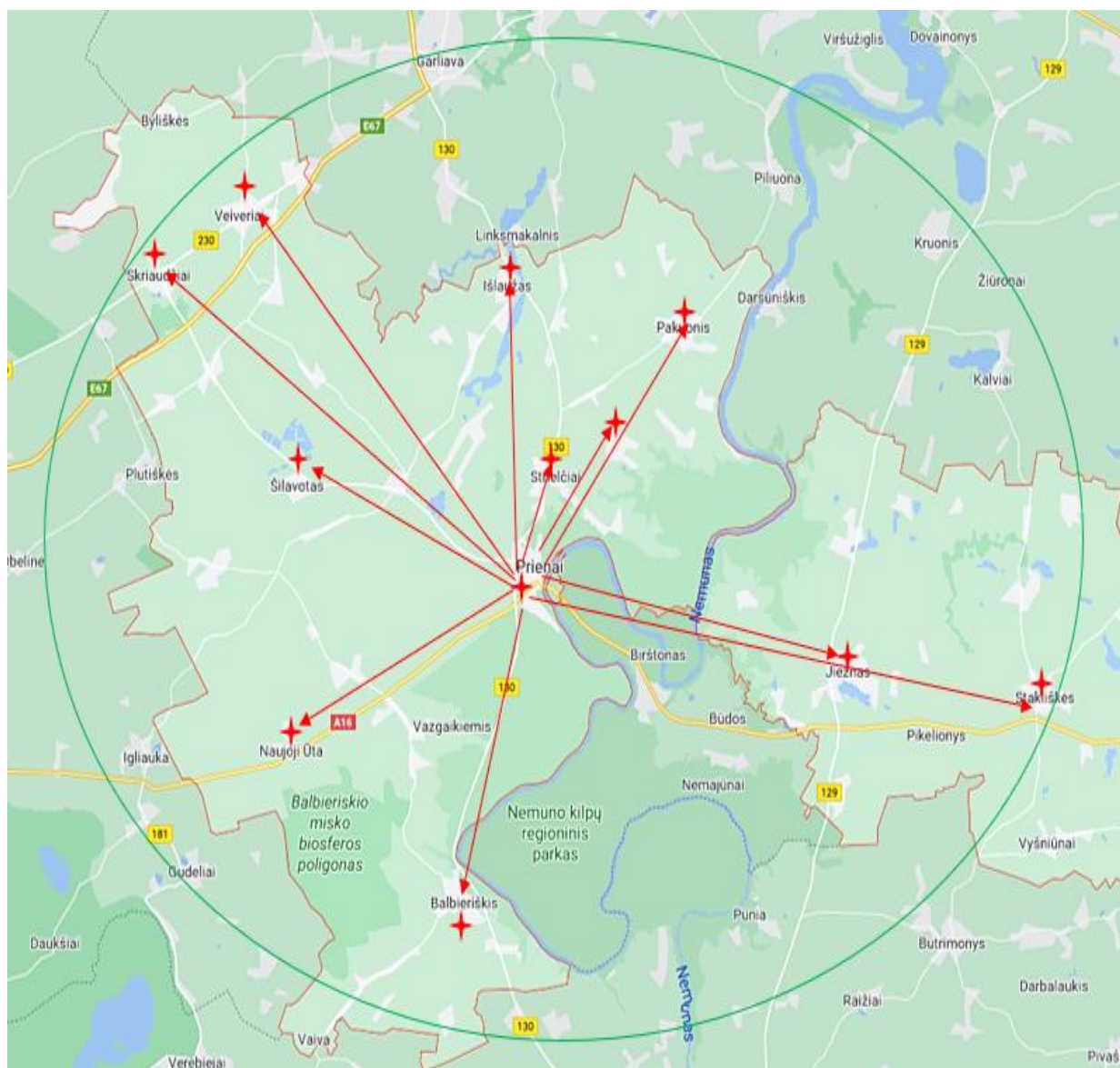
1.21 pav. Išmaniosios energijos sistemos struktūrinė diagrama

2. Esama padėtis analizuojamo miesto centralizuoto šilumos ūkio sistemoje

2.1. Šilumos energijos gamybos šaltiniai

Analizuojamo miesto centralizuotas šilumos ūkis yra eksploatuojamas savivaldybei priklausančiai įmonei.

Aptarnaujama teritorija apima visą rajoną, o tai savo ruožtu ženkliai padidina eksploatacines sąnaudas. Dauguma katilinių generuoja šilumos energiją tik šildymo sezono metu. Pasibaigus šildymo sezonui, šiluma gaminama karštam vandeniui tik miesto teritorijoje.

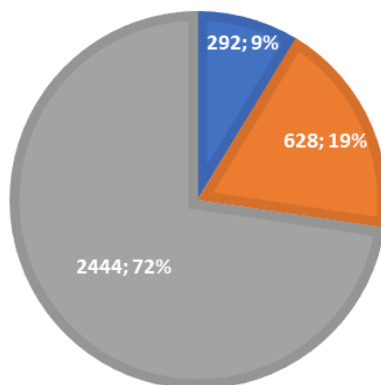


2.1 pav. Analizuojamo miesto įmonės eksploatuojamų katilinių išsidėstymas

Iš viso šilumos tiekimo įmonė eksploatuoja 11 šilumos gamybos objektų. Bendras įmonės sudeginamo kuro balansas, pagal rūšis pateikiamas 2.2 pav. 81 % kuro sudaro biokuras.

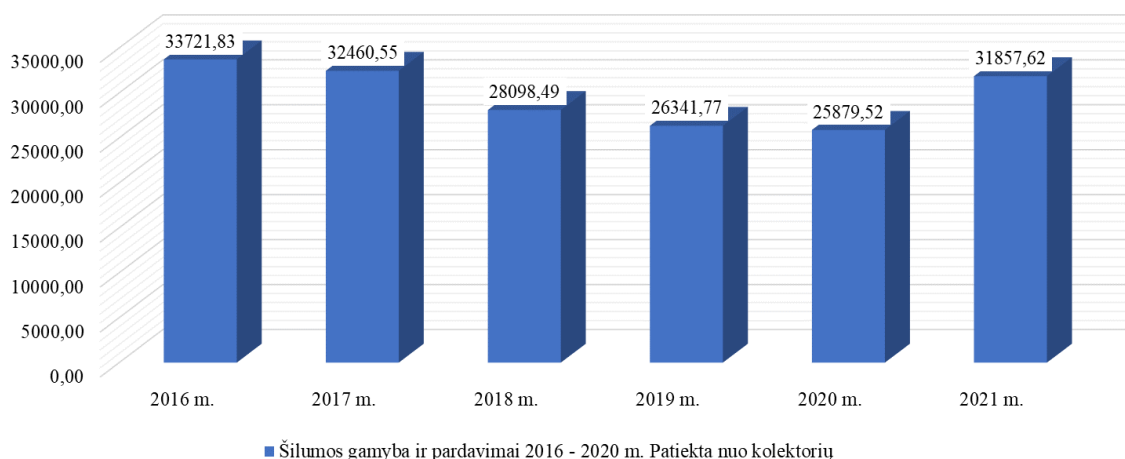
Kuro suvartojimas už 2021, t.n.e.

■ Gaminės dujos ■ Granulės ■ Biokuras

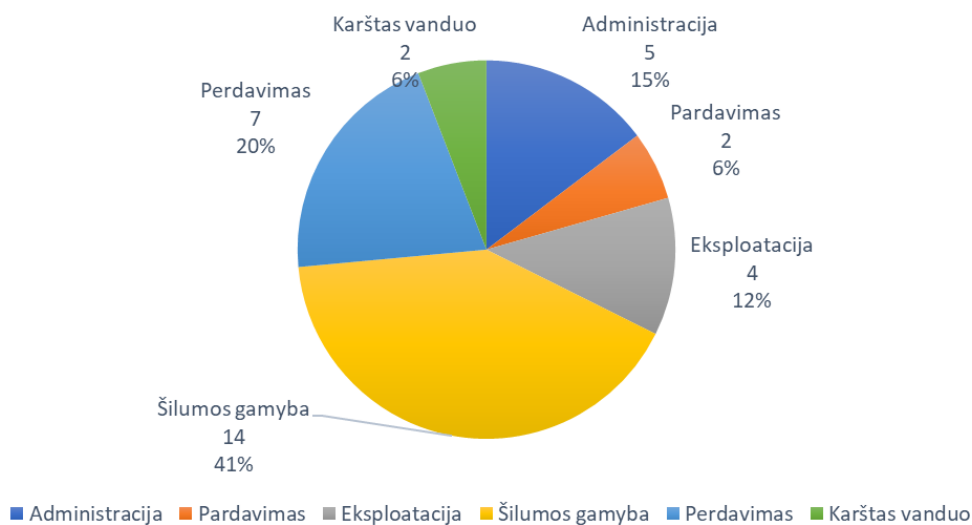


2.2 pav. CŠT įmonės 11 - oje gamybos objektų sudeginamo kuro kiekis 2021 m.

Šilumos gamyba 2016 - 2021 m.



2.3 pav. Šilumos gamyba CŠT įmonės 11 - oje gamybos objektų



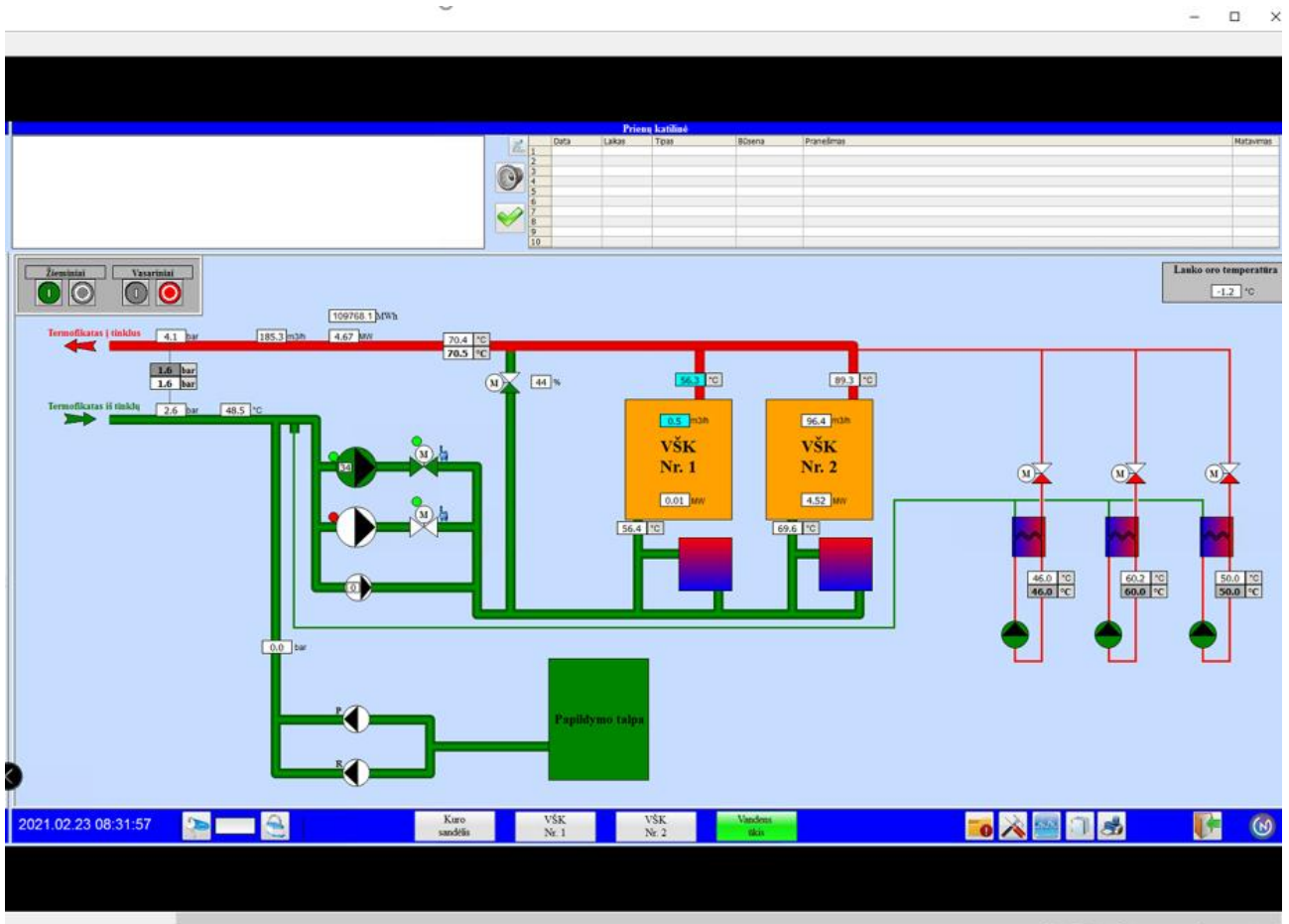
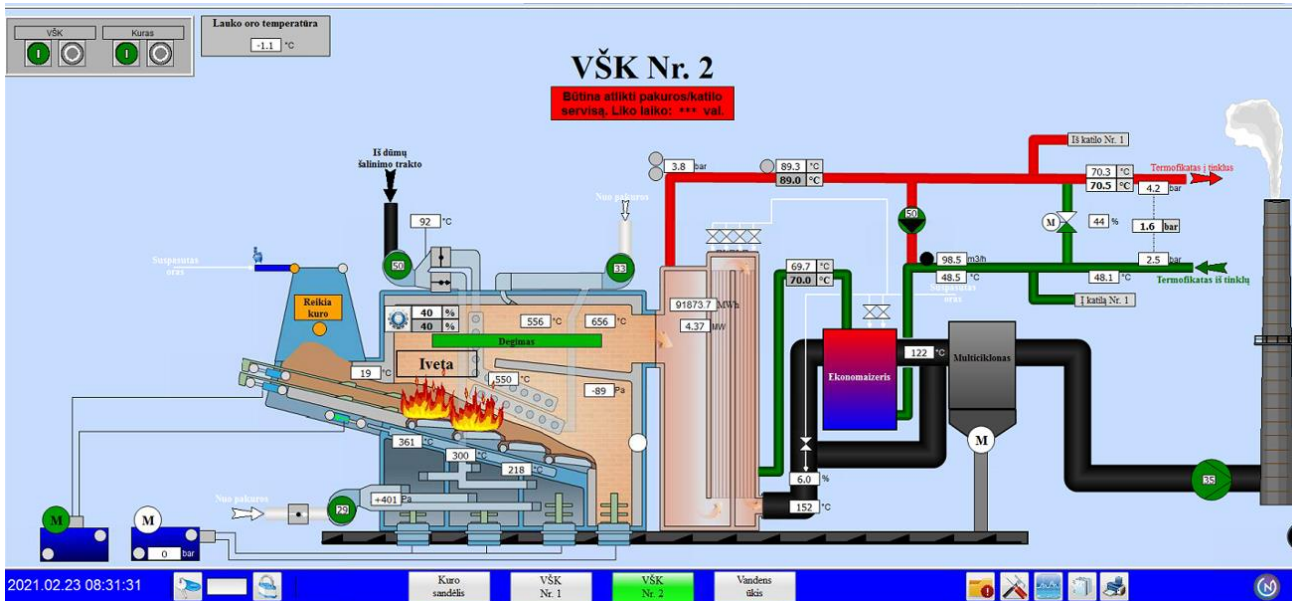
2.4 pav. Įmonės darbuotojų pasiskirstymas pagal veiklos sritis

Analizuojamo miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklas yra sujungtas su trimis katilinėmis, iš kurių viena (biokuro) yra pagrindinė, o kitos dvi (gamtinės dujos) – rezervinės. Rezervinės katilinės gali bet kada pilna galia pakeisti biokuru kūrenamą katilinę. Dažnu atveju taip ir nutinka, sutrikus pagrindinės katilinės veiklai. Miesto integruotame CŠT tinkle veikiantys šilumos šaltiniai ir jų pagrindinės charakteristikos pateikiamos 2.1 lentelėje.



2.5 pav. Analizuojamo miesto CŠT sistema

Suminė instaliuota šilumos generavimo galia – 25,5 MW. Iš bendrojo pajėgumo, biokuru kūrenamos katilinės galia yra 7,5 MW (du katilai 2,5 ir 5,0 MW).



2.6 pav. Miesto CŠT katilinės Nr. 2 SCADA sistemos langai (viršuje VŠK Nr.2 parametrų, apačioje – vandens ūkis)

2.1 lentelė. Miesto integruotame CŠT tinkle veikiančios šilumos šaltiniai

Eil. Nr.	Šilumos generavimo įrenginio duomenys	Katilinės tipas	Įrenginio tipas	Įrenginio sumontavimo metai	Paskutinis kapitalinis remontas (metai)	Rezervinis įrenginys	Katilo šilumos gamybos nominalus naudingumo koeficientas (proc.)	Instaliuota galia	Nominali įrenginio šilumos generavimo galia pagal kuro rūšį		Įrenginio būklė
									Šilumos gamyba, MW	Biokuras, MW	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Katilinė Nr.1										
1.1	Katilas Nr. 1	VK-1,8	Vandens šildymo	1990	2016	Taip	90	1,8		1,6	1,6
1.2	Katilas Nr. 2	VK-1,8	Vandens šildymo	1991	2016	Taip	90	1,8		1,6	1,6
1.3	Katilas Nr. 3	Vitoplex 300	Vandens šildymo	2005		Taip	90	1,8		1,6	1,6
1.4	Katilas Nr. 4	Vitoplex 300	Vandens šildymo	2005		Taip	90	1,8		1,6	1,6
1.5	Katilas Nr. 5	VK-1,8	Vandens šildymo	1987		Taip	90	1,8		1,6	1,6
1.6	Katilas Nr. 6	VK-1,8	Vandens šildymo	1987		Taip	90	1,8		1,6	1,6
2	Katilinė Nr. 2										
2.1	Katilas Nr. 1	kaitr.va mz.kat.	Vandens šildymo	2015			87	2,5	2,175		2,175
2.2	Katilas Nr. 2	kaitr.va mz.kat.	Vandens šildymo	2015			87	5	4,35		4,35
3.	Katilinė Nr.3										
3.1	Katilas Nr. 1	VK-1,8	Vandens šildymo	1983		Taip	90	1,8		1,6	1,6
3.2	Katilas Nr. 2	VK-1,8	Vandens šildymo	1984	2016	Taip	90	1,8		1,6	1,6
3.3	Katilas Nr. 3	VK-1,8	Vandens šildymo	1985	2004	Taip	90	1,8		1,6	1,6
3.4	Katilas Nr. 4	VK-1,8	Vandens šildymo	1989	2004	Taip	90	1,8		1,6	1,6
3.5	Katilas Nr. 5	VK-1,8	Vandens šildymo	1983	2007	Taip	90	1,8		1,6	1,6

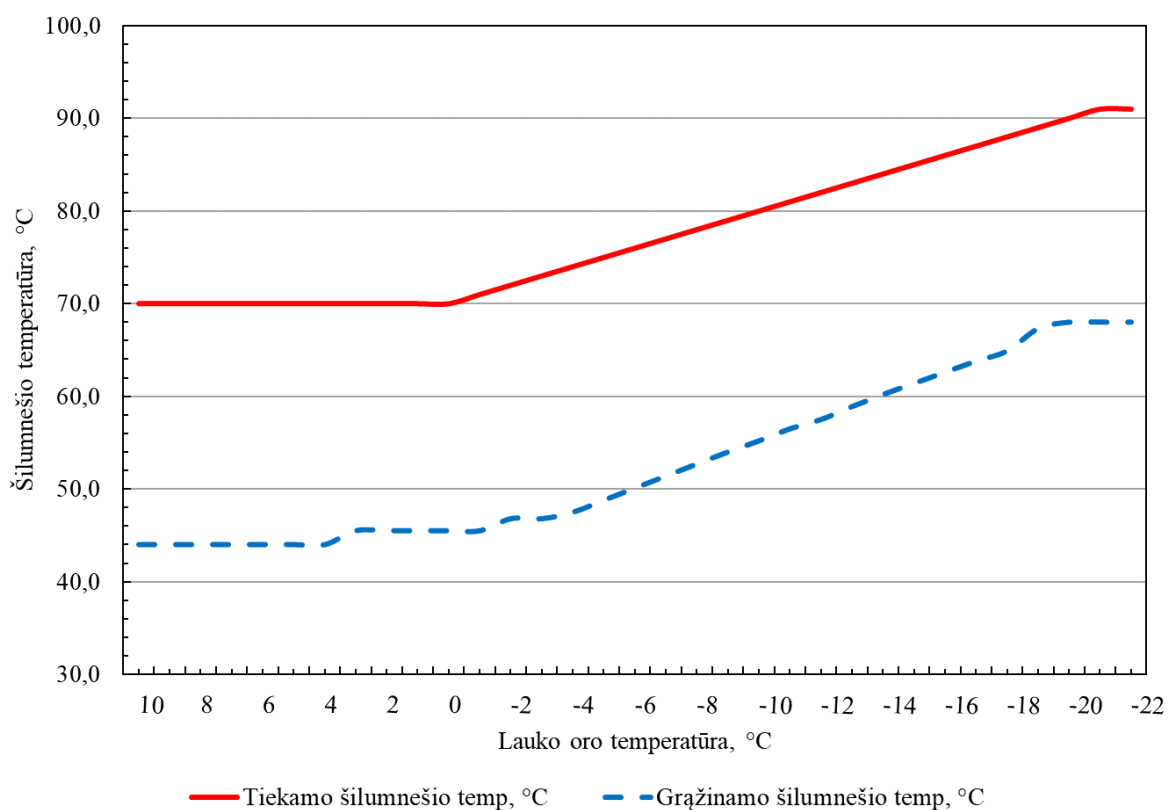
Miesto CŠT sistemoje šiuo metu nėra nepriklausomų šilumos gamintojų.

2.2. CŠT sistemos vamzdynai

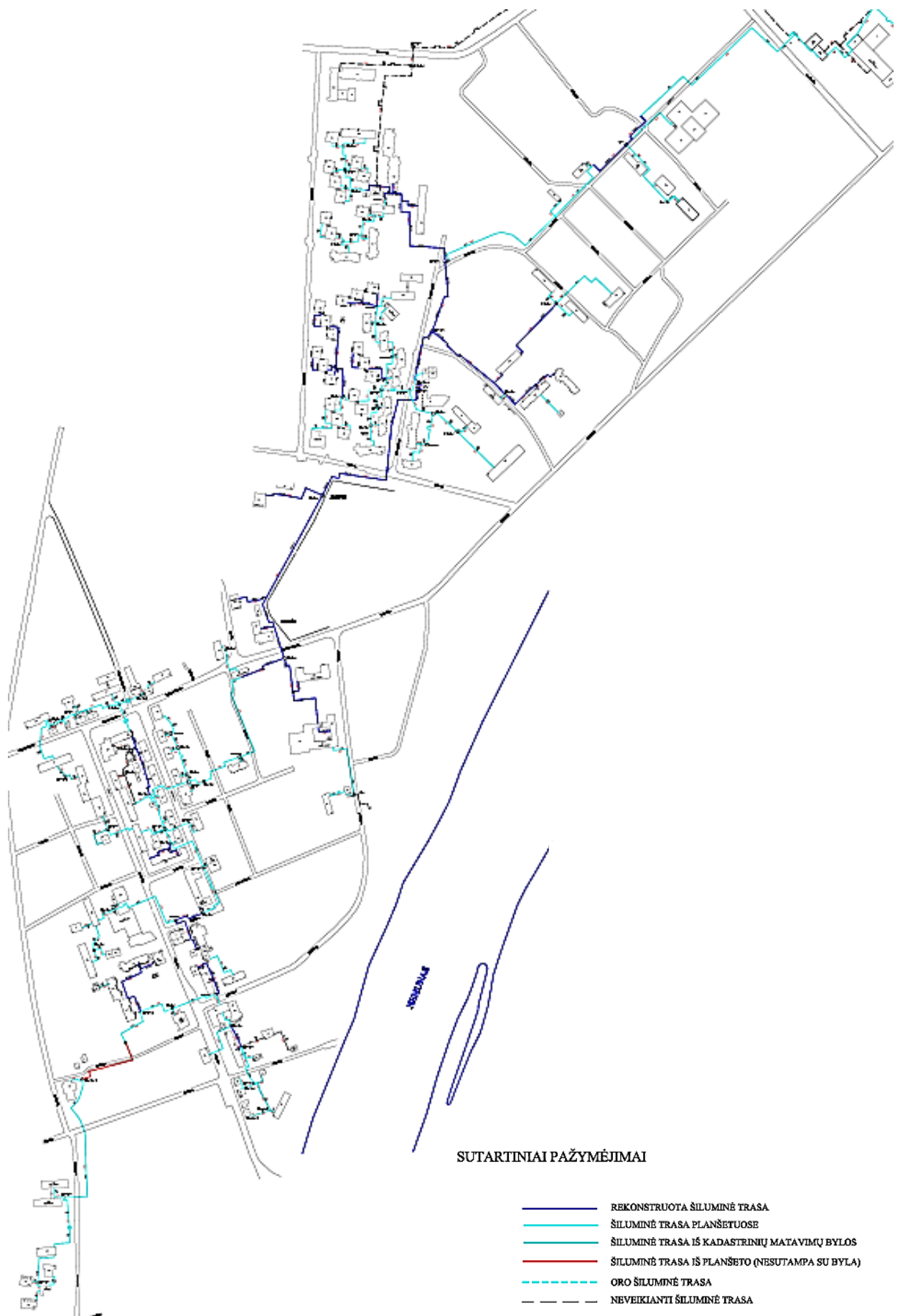
Bendras miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklo vamzdynų ilgis yra apie 9 kilometrai.

2.2 lentelė. Miesto CŠT vamzdynų ilgis pagal skersmenis

Sąlyginis skersmuo, DN	Suminis ruožų ilgis	Bekanalio būdu paklotų vamzdynų ilgis	Nepraeinamuose kanaluose	Nepraeinamuose koridoriuose
mm	m	m	m	m
40	192	120	72	0
50	718,4	424	254,4	40
70	44,8	28	16,8	0
80	1609,8	928	556,8	125
100	744	496	248	0
125	747	498	249	0
150	420	280	140	0
200	3537	2358	1179	0
250	675	450	225	0
	8688	5582	2941	165



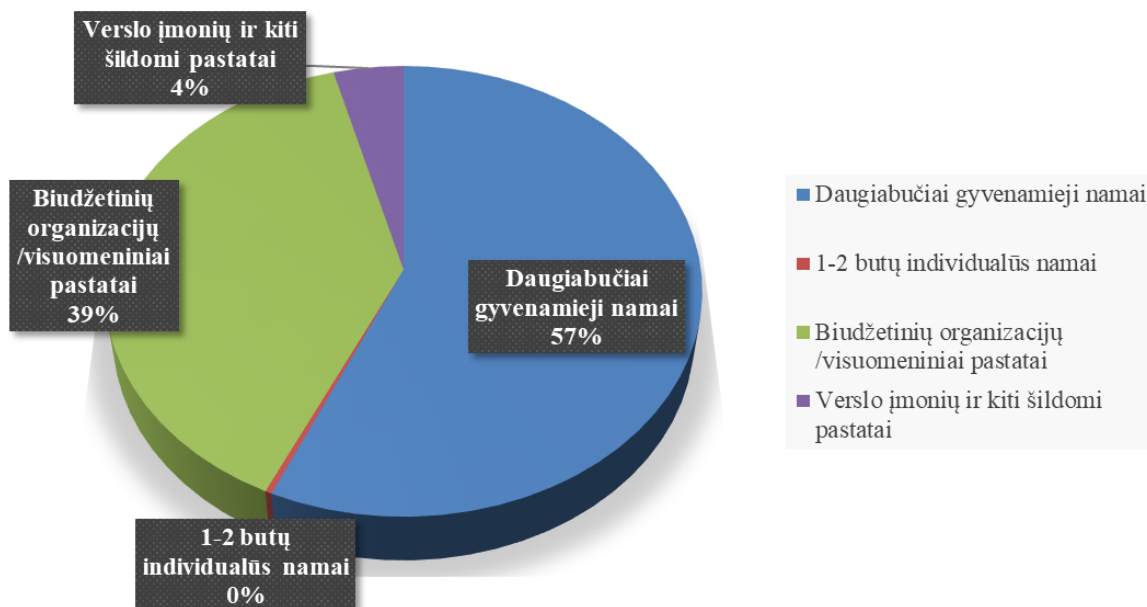
2.7 pav. Miesto CŠT tinklo temperatūrinis grafikas



2.8 pav. Miesto CŠT tinklų schema

2.3. Šilumos energijos vartotojai

Prie miesto CŠT tinklo prijungti 172 šilumos vartotojai, kurių bendras plotas 2021 m. siekė 211979 m². Šilumos vartotojų pasiskirstymas pagal atskiras grupes vaizduojamas 2.9 pav.



2.9 pav. Šilumos vartotojų pasiskirstymas pagal atskiras grupes (pagal šildomą plotą), 2021 m.

Per paskutinius penkis metus bendras tinklo šilumos energijos generavimas ir poreikis sumažėjo 27 % dėl šių priežasčių:

- 2010 – 2020 CŠT modernizavimas (susidėvėjusių tinklų keitimas naujais) – 70 % (kita dalis jau pakeista ankstesniais metais);
- Miesto centralizuotos šilumos tinkle esančių daugiabučių gyvenamųjų namų renovacija jau beveik baigta ir viršija 90 %.

Pas vartojus instaliuota šilumos (vartojimo sistemų) galia šildymui siekia - 12,75 MW [40].

2.3 lentelė. Pas miesto šilumos vartotojus instaliuota galia, MW

Vartotojų šilumos galia pagal katilinėms priskirtas grupes	Šildymui, MW	Karštam vandeniui, MW	Viso, MW
Instaliuota galia pas vartotojus (Katilinė NR. 1, Katilinė Nr. 2)	9,61	9,12	18,73
Instaliuota galia pas vartotojus (Katilinė Nr. 3)	3,14	0,00	3,14
Suminė instaliuota miesto šilumos galia, MW	12,75	9,12	21,87

2.3.1. Šilumos energijos gamyba ir pardavimo kaina

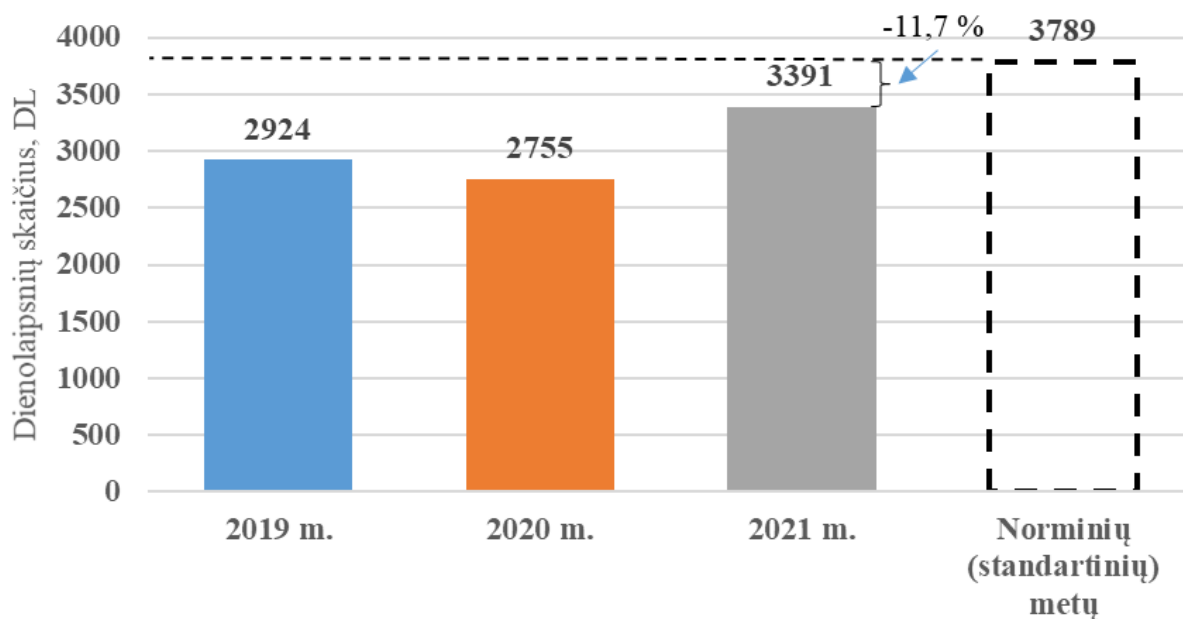
Klimatiniai duomenys

Miesto klimatiniai duomenys pagal Lietuvos Statybinę klimatologiją [41] artimi Kauno miesto.

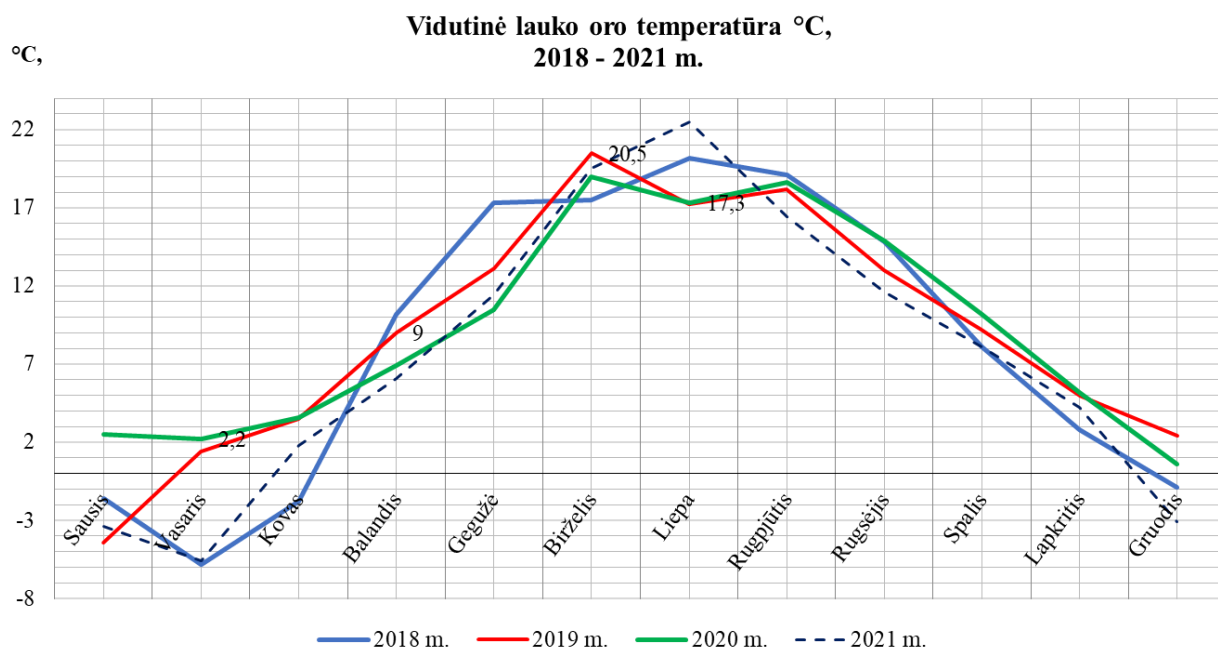
2.4 lentelė. Šildymo sezono oro temperatūros parametrai

Projektinė lauko oro temperatūra	-22 °C
Norminių (standartinių) metų šildymo sezono pradžia	Rugsėjo 26 d.
Norminių (standartinių) metų šildymo sezono pabaiga	Gegužės 3 d.
Šildymo sezono trukmė paromis	219 paros
Vidutinė lauko oro temperatūra šildymo sezono laikotarpyje	0,7 °C
Šalčiausių parų lauko oro temperatūra	-17,6 °C

Akivaizdu, kad 2021 m. šildymo dienolaipsnių skaičius yra artimas norminių metų skaičiui ir yra tik 11,7 % mažesnis (2.10 pav. [įmonės duomenys]).



2.10 pav. Šildymo dienolaipsnių skaičius 2019, 2020, 2021 m.



2.11 pav. Vidutinės mėnesio lauko oro temperatūros 2018-2021 metais, °C

2.5 lentelė. Šilumos gamyba 2021 metais

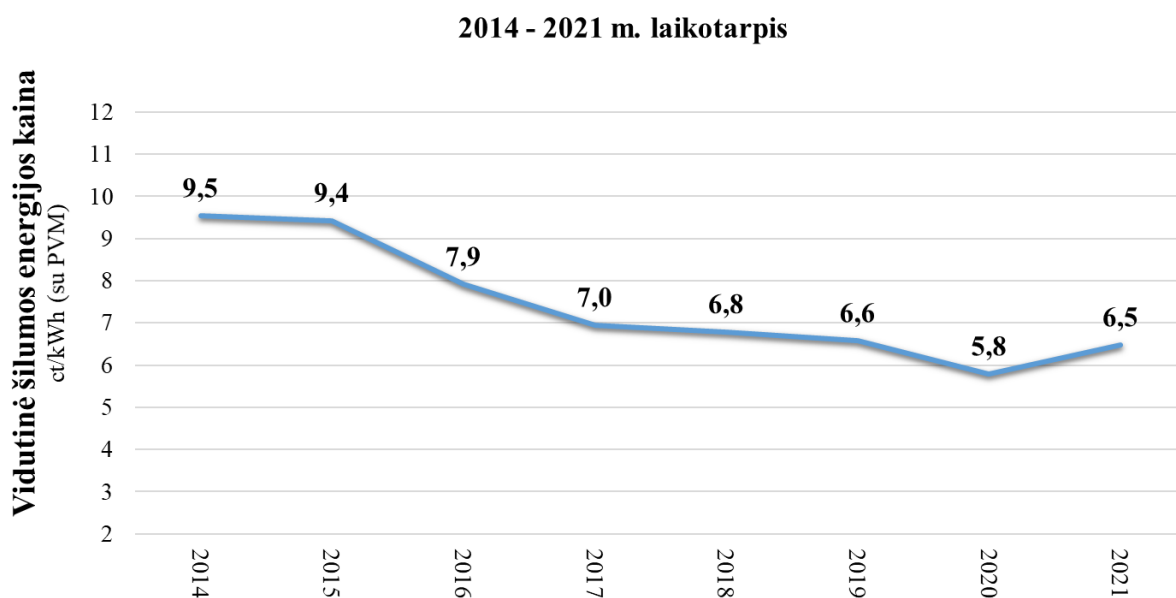
Mėnuo	Šilumos poreikis šildymui, MWh	Šilumos poreikis karšam vandeniui, MWh	Šilumos tiekimo (perdavimo) nuostoliai, MWh	Gamyba, Iš viso, MWh
Sausis	2199	431	885	3514
Vasaris	2333	389	987	3709
Kovas	1858	431	1047	3336
Balandis	1100	417	653	2170
Gegužė	387	431	366	1183
Birželis	0	357	127	484
Liepa	0	373	121	493
Rugpjūtis	0	431	129	560
Rugsėjis	129	417	261	807
Spalis	886	431	263	1580
Lapkritis	1444	417	641	2501
Gruodis	2075	431	428	2933
Viso:	12410	4954	5908	23271

Pagal šilumos poreikį šildymui galima įvertinti kokia 2021 m. buvo pasiekta tikroji maksimali šilumos galia pastatų šildymui. Tai rodiklis apytiksliai nusakantis bendrą miesto vartotojų elgsenos arba energijos taupymo tendenciją.

Suminė instaliuota miesto šilumos galia pastatų šildymui 12,75 MW, o apskaičiuota šilumos reali maksimali galia pastatų šildymui 2021 m. siekia 5,50 MW. Galima pastebėti, kokią įtaką turėjo visuotinis pastatų modernizavimas.

2.6 lentelė. Maksimalios šilumos galios skaičiavimo prielaidos, maksimali galia pastatų šildymui 2021 m.

Rodiklis	Mat. vienetai	2021 m.
Projektinė lauko oro temperatūra	°C	-22
Patalpų vidaus temperatūra	°C	18
Dienų skaičius analizės laikotarpiu	d	228
Vidutinė aplinkos oro temperatūra analizės laikotarpiu	°C	1,49
Sunaudotas šilumos kiekis šildymui per analizės laikotarpį	MWh	12409,9
Dienolaisniai	d · °C	3391
Pastatų reali maksimali galia šildymui analizės laikotarpiui	MW	5,50
Skaičiuotina šilumos galia karšto vandens ruošimui	MW	1,037
Vidutinė šilumos tiekimo tinklo nuostolių galia	MW	0,687
Suminė vartotojo šilumos galia	MW	7,219



2.12 pav. Miesto vartotojams tiekiamos šilumos energijos kaina 2014 – 2021 m.

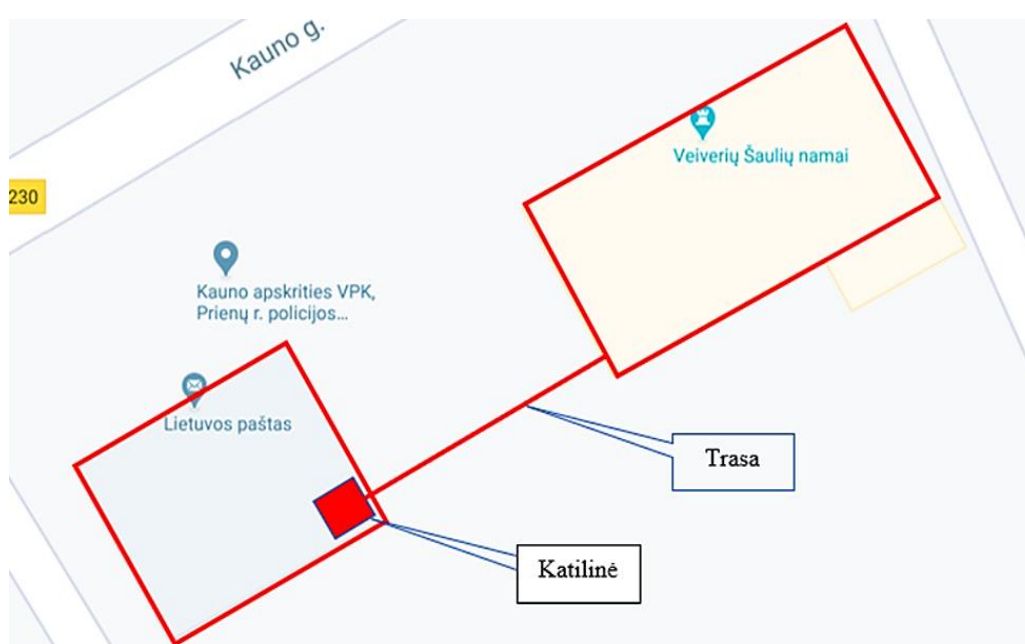
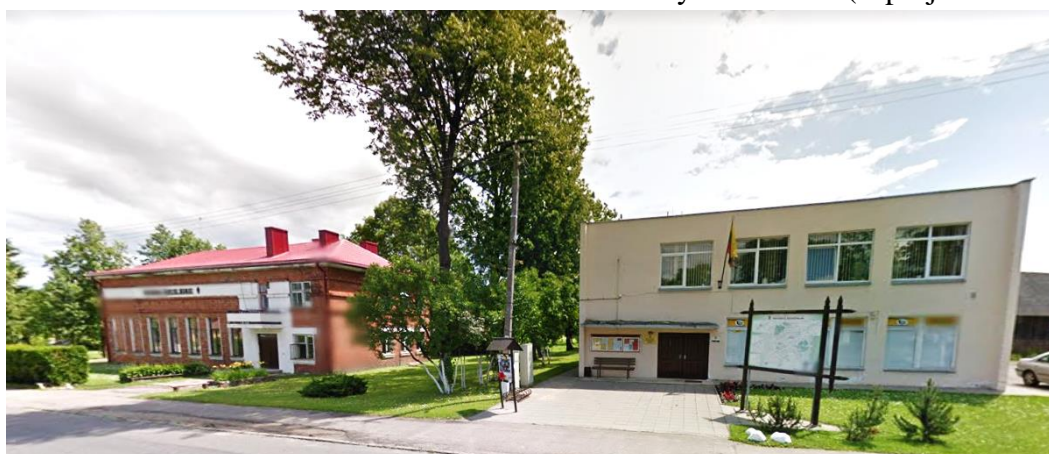
3. Problematika. Taikomi metodai ir projekto prielaidos

Šio darbo esmė susideda iš dviejų dalių:

- taikomojo eksperimentinio tyrimo;
- miesto CŠT teorinio modelio sudarymo vertinant „gerosios praktikos“ priemonių įgyvendinimą ir siekiant užtikrinti CO₂, 100 procentų neutralią šilumos energijos gamybą.

3.1. Eksperimentinis mišrios sistemos su oras/vanduo šilumos siurblio su radiatorine šildymo sistema tyrimas

Vadovaujanti gerosios praktikos pavydžiais suplanuota eksperimentiškai patikrinti šilumos siurblių ir kieto kuro katilo bendro šilumos generavimo sąveiką. Vienoje, iš šilumos tiekimo įmonės valdomų rajono katilinių, iškilus didesniai šilumos poreikiui, buvo sumontuoti du kompresoriniai šilumos siurbliai ir sugrupuoti bendram energijos generavimui kartu su medžio granulėmis kūrenamu katilu. Šilumos vartotojas – du administracinės paskirties pastatai (3.1 pav.), kurių bendras šildomas plotas sudaro 615 m². Pastatuose sumontuota radiatorinė vidaus šildymo sistema (suprojektuota 80/60 °C).



3.1 pav. Katilinė skirta dviejų administracinių pastatų šildymui

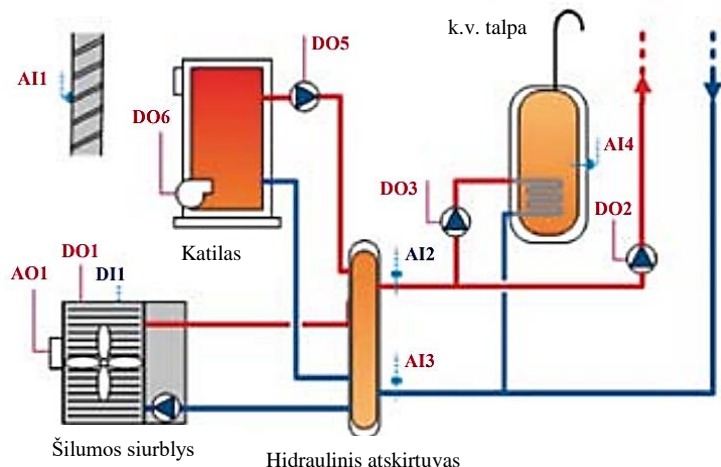
Katilinės charakteristika:

Katilo nominali galia – 30 kW_{th} (medienos granulės);

Oras/vanduo šilumos siurblių nominali galia – 2x11 = 22 kW_{th} (gamintojo deklaruojama šildymo galia gali kisti nuo 5,8 iki 25 kW_{th} (B0W35, pagal EN14511 standartą, įskaičiuotas cirkuliacinių siurblių ir kompresoriaus darbas, , COP_(B0W35) = 5,0).

Investicijos šilumos siurblių įdiegimui sudarė 13000 EUR.

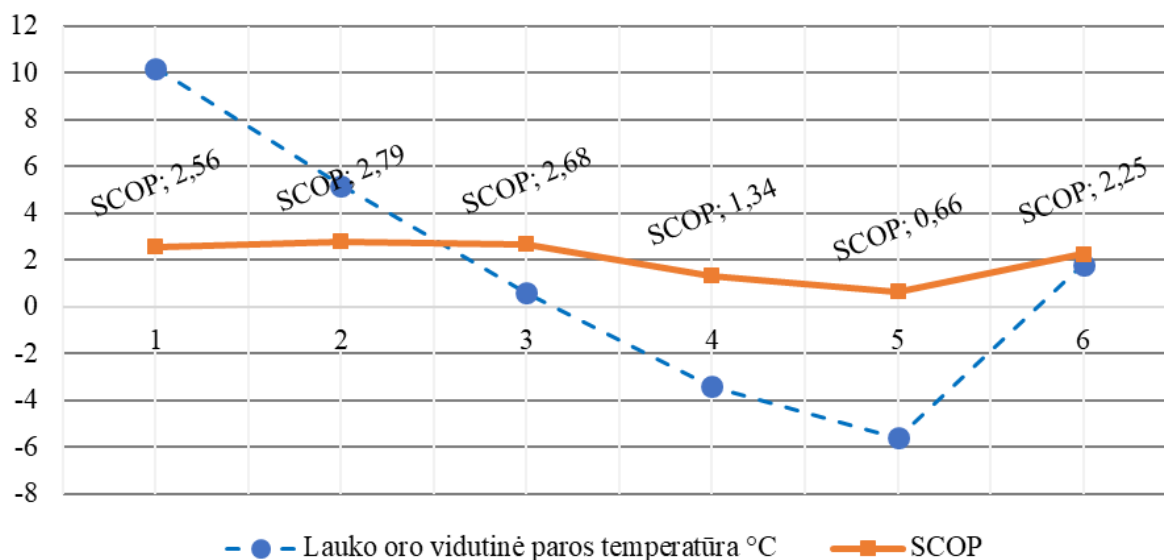
Šilumos siurblio su 300 l talpa ir granulinių deginimo katilų prijungimo prie šildymo sistemos schema vaizduojama 3.2 pav.



Įėjies parametrai		Išvesties parametrai	
A11	Lauko oro temp. jutiklis	AO1	Šilumos siurblys
A12	Tiekiamo srauto jutiklis	DO1	Šilumos siurblio įj./išj.
A13	Grąžinamo srauto jutiklis	DO2	Antro kontūro siurblys
A14	K.v. jutiklis	DO3	K. v. siurblys
D11	Šilumos siurblio gedimas	DO5	Katilo siurblys
D12	Laikmatis (laiko zonoms)	DO6	Katilo valdymas

3.2 pav. Katilinės schema su šilumos siurbliu ir granulinių deginimo katilu

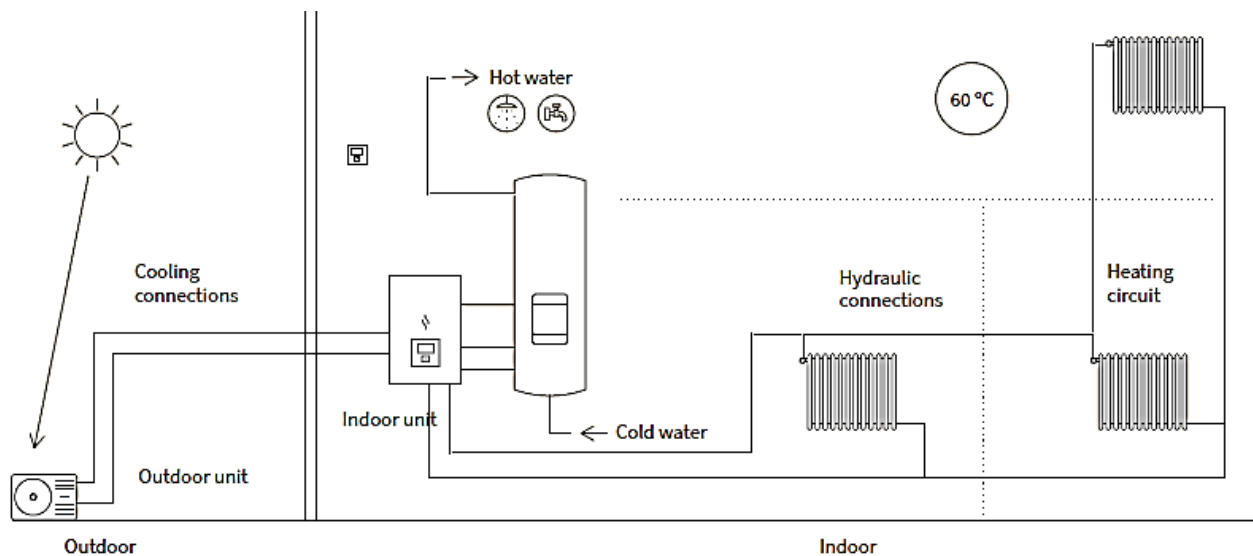
Šildymo sezono metu buvo naudojami abiejų tipų šilumos generavimo šaltiniai. Realiomis sąlygomis kintant vidutinei lauko oro temperatūrai nuo 10,2 °C iki -5,6 °C, realus (sezoninis, vadinamas SCOP) energijos transformacijos koeficientas atskiromis paromis svyravo tarp SCOP = 0,66 ir 2,79.



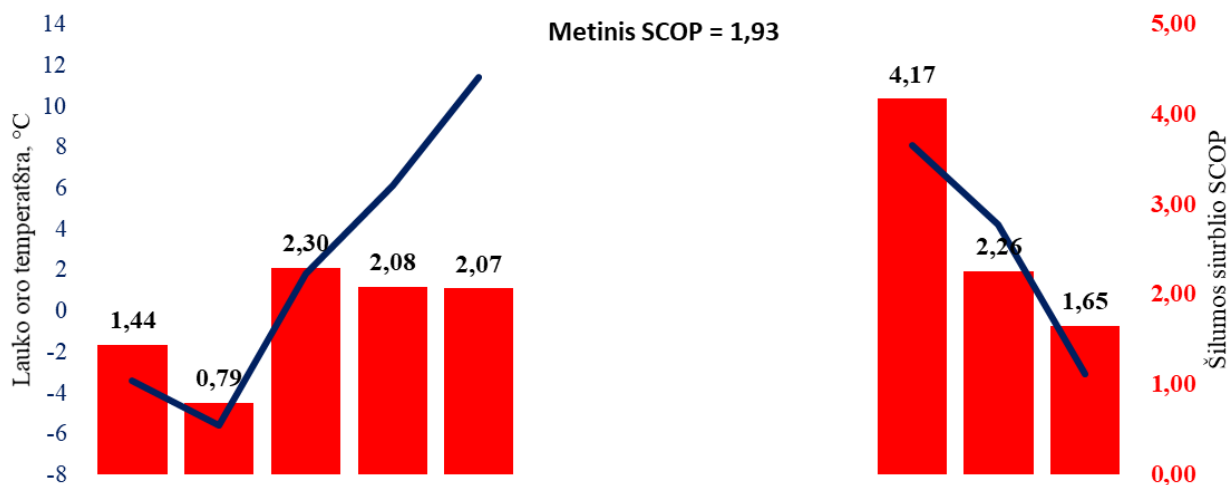
3.3 pav. Šilumos siurblio energijos transformavimo koeficiento priklausomybė nuo vidutinės lauko oro temperatūros (eksperimentiškai nustatyta)

Reikia vertinti tai, kad abiejų tipų šilumos generavimo šaltiniai į šildymo sistemą tiekė apie 60 °C temperatūros šilumenšį (3.4 pav. [42]). Nustatytas metinis 2021 m. šilumos siurblio sistemos SCOP

siekė 1,93 (3.5 pav.). Palyginus panašias šildymo sistemas, paaiškėjo, kad tuose pastatuose, kuriuose buvo grindinio šildymo sistema ir tiekiamas vandens temperatūra neviršijo 40 °C, šildymo išlaidos buvo daugiau negu 50 % mažesnės.



3.4 pav. Principinė gamintojo pateikiama šilumos siurblio ORAS/VANDUO pajungimo schema



3.5 pav. Šilumos siurblio sezoninis energijos transformacijos koeficientas kintantis 2021 m. mėnesiais

Pagrindinė išvada atlikus taikomojo pobūdžio tyrimą - naudojant geoterminio/aeroterminio šildymo šilumos siurblių sistemas tinkamiausia grindinė pastato šildymo sistema su žema šilumnešio temperatūra.

Galima pasiekti ženkliai aukštesnį SCOP užtikrinant tinkamą valdiklių darbą (derinant kartu su granuliu deginimo katilu) bei į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūrą.

3.2. Miesto CŠT sistemos atsinaujinančios energijos generavimo ir akumuliacinio technologijų integravimo modeliavimo prielaidos

Kaip jau rašyta anksčiau, miesto CŠT sistema turi didelį privalumą lyginant su decentralizuoto šilumos tiekimo sistemomis - vienas iš pagrindinių – visos katilinės sujungtos į integruotą tinklą. Tačiau galima išvardinti ir pagrindinius sistemos trūkumus:

- Pasenusi įranga rezervinėse katilinėse (daugumos katilų amžius siekia 30 – 40 metų);
- Sąlyginai didelis atstumas tarp pagrindinės biokuro kūrenamos katilinės ir tolimiausių šilumos vartotojų (apie 3 km);

Šie trūkumai padidina šilumos tiekimo sąnaudas, sistema nėra pakankamai lanksti ir prisitaikanti prie bet kokio šilumos poreikio, dėl to mažėja bendras CŠT sistemos efektyvumas ir taip pat didinama vietinės aplinkos oro tarša.

Remiantis literatūros apžvalga, šalto klimato šalių gerąja praktika, šiame projekte, alternatyvų analizei pasirinkti galimi scenarijai:

Bazinis scenarijus – esamas CŠT sistemos veikimas (Miesto CŠT principinė schema 3.6 pav.).

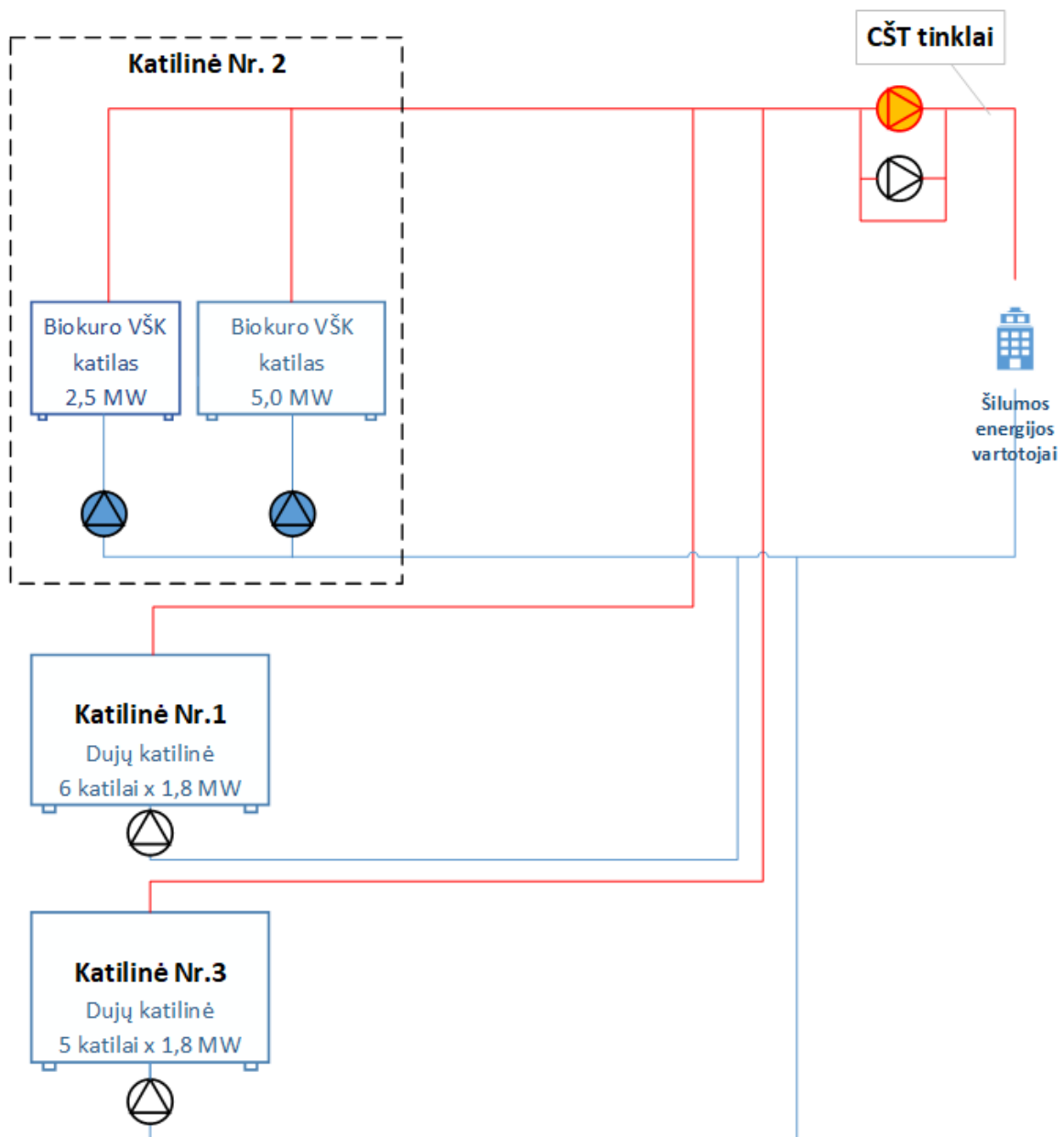
1 variantas | Mažų investicijų šilumos energijos gamyba:

Biokuro deginimo įrenginiai + šilumos energijos akumuliacinis (Katilinė Nr. 2);

2 variantas | Didelių investicijų CO₂ neutrali šilumos energijos gamyba:

Biokuro deginimo įrenginiai + Šilumos siurbliai (nešildymo sezono metu) šilumos energijos akumuliacinis (Katilinė Nr. 2 ir Katilinė Nr. 3 (2x30m³ požeminė));

Projekto galimybių analizei naudojama programiniai paketai: EnergyPRO (EMD).



3.6 pav. Analizuojamo miesto esamos katilinės integruotame CŠT tinkle (ESAMA SITUACIJA)

3.2.1. 1 variantas | Mažų investicijų šilumos energijos gamyba

Kaip minėta anksčiau, miesto CŠT sistemoje veikia **trys šilumos energiją generuojančios katilinės, iš kurių dvi yra rezervinės** (katilinių sklypų ribos pateikiamos paveiksluose 3.1 lentelė). Katilinės yra integruotos į vieną CŠT sistemą.

Bendras trasų ilgis yra apie 9 kilometrai, šilumos energija tiekama daugiabučiams gyvenamiesiems namams, įstaigoms ir organizacijoms. Toks CŠT tinklas yra strategiškai geras tuo, kad į jį yra galima integruoti įvairius atsinaujinančios energijos generavimo šaltinius, energijos akumuliacijos technologijas. Toks naujų technologijų integravimas ypač veiksmingas būtų nešildymo sezono metu, kada termofikacinis vanduo būtų ruošiamas tik karštam vandeniui ruošti.

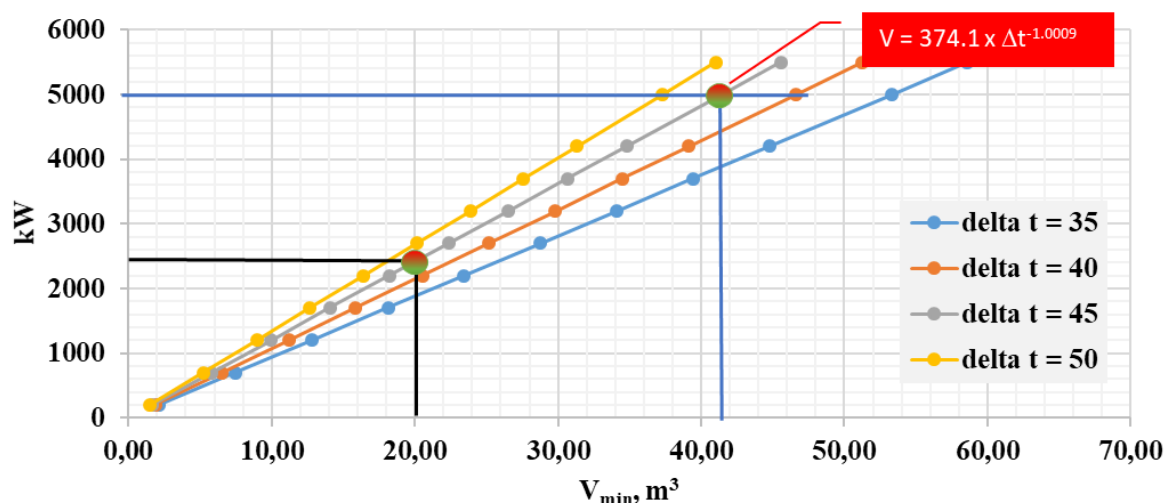
Būtina akcentuoti, kad centralizuotas šilumos tiekimo tinklas jau yra sukurtas ir modernizuotas, todėl diegiant šilumos generavimo technologijas atskiriems pastatams, iškyla reali grėsmė tinklo decentralizavimui, kas tik padidintų išlaidas visiems prie CŠT parjungtiems vartotojams.

Biokuro deginimo katilai Katilinėje Nr. 2 veiktų pagrindiniai biokuro katilai, tačiau sklandžiam jų darbui įrengiama šilumos energijos akumuliacija (Katilinė Nr. 2).

Standartiškai projektuojant ir statant biokuro deginimo katilines turėtų būti įrengiamos šilumos akumuliacinės talpos, tačiau tai padidina bendrąsias investicijas, o techniniuose reglamentuose ir taisyklėse tai nėra nurodyta kaip privalomas reikšmės. Dažnai daroma prielaida, kad kaip šilumos akumuliacijos sistema gali būti panaudojama CŠT sistemos vamzdynai, kadangi CŠT eksploatacijoje, temperatūrinio grafiko leidžiamas nuokrypis nuo nustatytos temperatūros yra 5 °C.

Analizuojamo miesto CŠT sistemos vamzdynų tūris siekia apie 180 m³. Taigi žiemos metu vamzdynuose (vertinant nuokrypį – padidėjusią šilumnešio temperatūrą $\Delta t = 5$ °C) vertinant šildymo sezono vidutinę lauko oro temperatūrą 0,7 °C galima būtų akumuliuoti iki 1,05 MWh šilumos energijos.

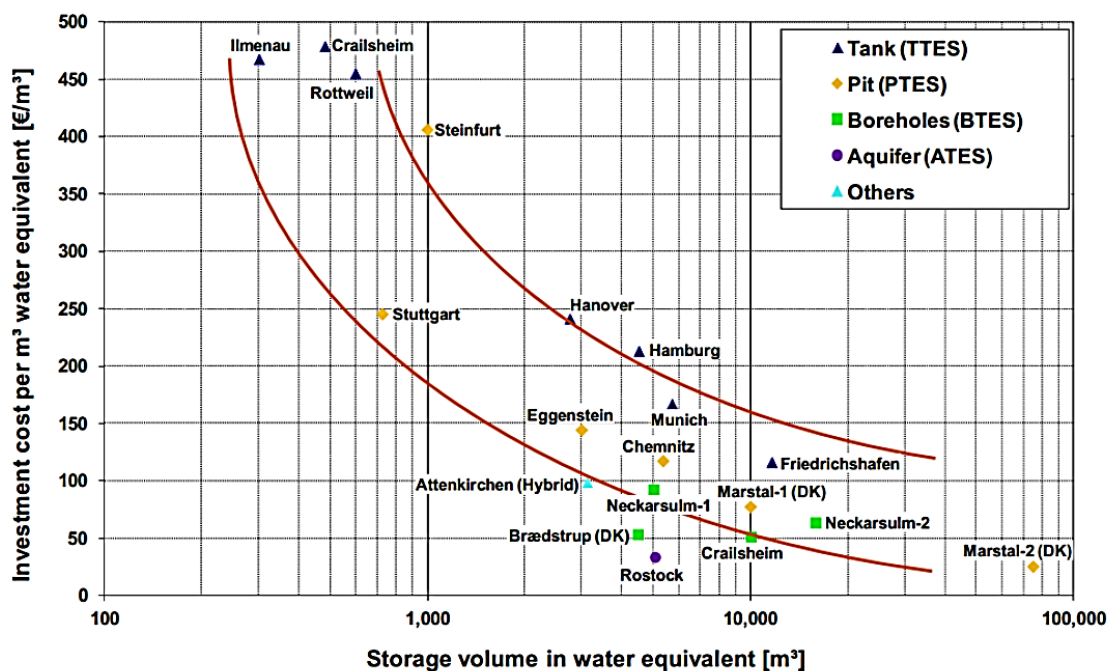
Pagal metodiką [43], siekiant pagerinti šilumos gamybos sistemos efektyvumą prisitaikant prie įvairių apkrovų, minimalus šilumos akumuliacijos talpos tūris turėtų būti apie **41,42 m³**, kurioje būtų galimas **šilumos akumuliacija iki 2,17 MWh (kai $\Delta t = 45$ °C)**. Metodika galioja katilams 50 kW to 5 MW medienos skiedrą deginantiems katilams su judančiu ardynu ir 3:1 galios nusikrovimo santykiu.



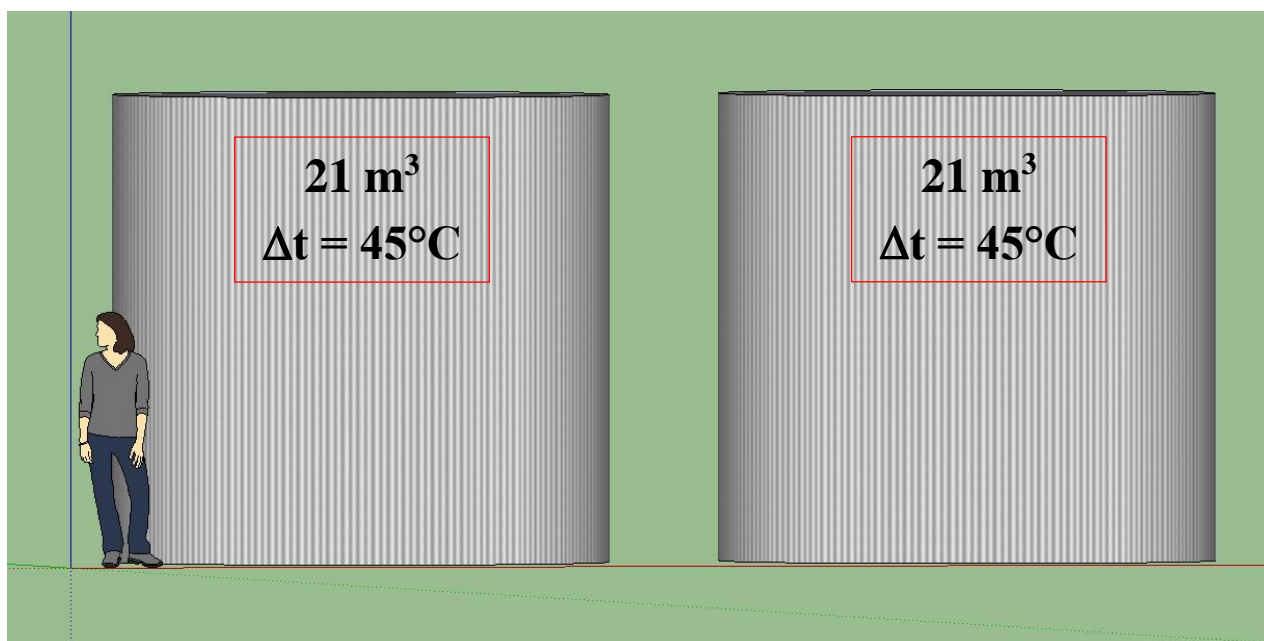
3.7 pav. Minimalus šilumos akumuliacijos talpos tūris priklausomai nuo biokuro katilo vardinės galios

Santykinės investicijos 3.8 pav. akumuliacinių šilumos talpų įrengimui priklausomai nuo jų tipo pateikiamos šaltinyje [44]. Akivaizdu, kad talpų dydžiui kintant nuo 1000 iki 10000 santykinės investicijos mažėja dvigubai.

Remiantis šaltiniu [29] **42 m³ šilumos akumuliacinė talpai investicijos siektų apie 40000 EUR (tūris padalintas į dvi dalis – eskizas pateikiamas 3.9 pav.).**



3.8 pav. Santykinės investicijos akumuliacinių šilumos talpų įrengimui priklausomai nuo jų tipo



3.9 pav. Apskaičiuotas minimalus rekomenduojamas šilumos akumuliacijos tūris 5 MW biokuro katilui (eskizas)

3.1 lentelė. Miesto katilinių sklypų ribos



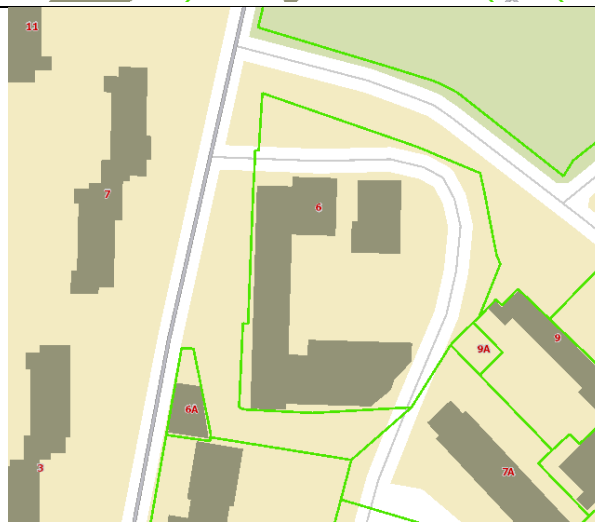
a) Katilinė Nr. 3 (3d eskizas ir sklypo ribos)



b) Katilinė Nr. 2 (3d eskizas ir sklypo ribos)



c) Katilinė Nr. 1 (3d eskizas ir sklypo ribos)



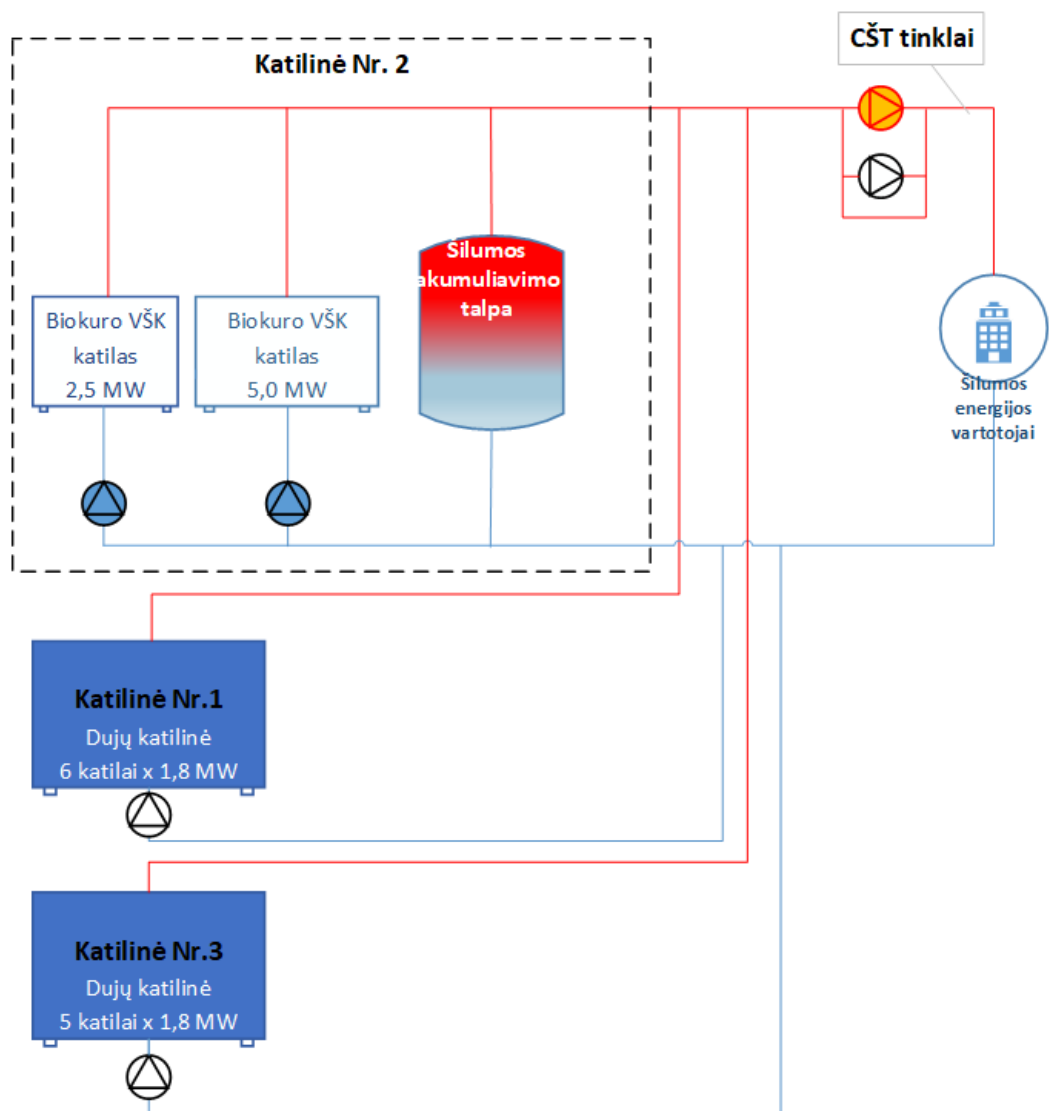
Šilumos akumuliacijos talpų įdiegimas katilinėse didina bendrą katilinės efektyvumą ir prisitaikymą prie bet kokių apkrovų, tokiu būdu visiškai atsisakant piko apkrovos dujinių katilų veikimo. Minimalaus tūrio talpa (apskaičiuota), nėra optimali, todėl būtina modeliuoti šilumos akumuliacijos talpų veikimą. Modeliavimui pasirinkta programinė įranga EnergyPRO. Modeliavimo pradžioje užsuduoti tokie įvesties parametrai:

- Lauko oro temperatūra;
- Naudojamas kuras ir jo šiluminė vertė;
- Šilumos poreikiai;
- Šilumos generavimo įrenginiai su pagrindinėmis charakteristikomis (įskaitant akumuliacines talpas);
- Įrenginių veikimo strategija.

Taigi temperatūros naudojamos norminių metų Kauno rajonui.

Kuras: Gamtinės dujos – 9,3 MWh/n.m³; medienos skiedra – 2 MWh/t.

Šilumos poreikiai užsuduoti pagal pateikiamus 2.5 lentelėje.



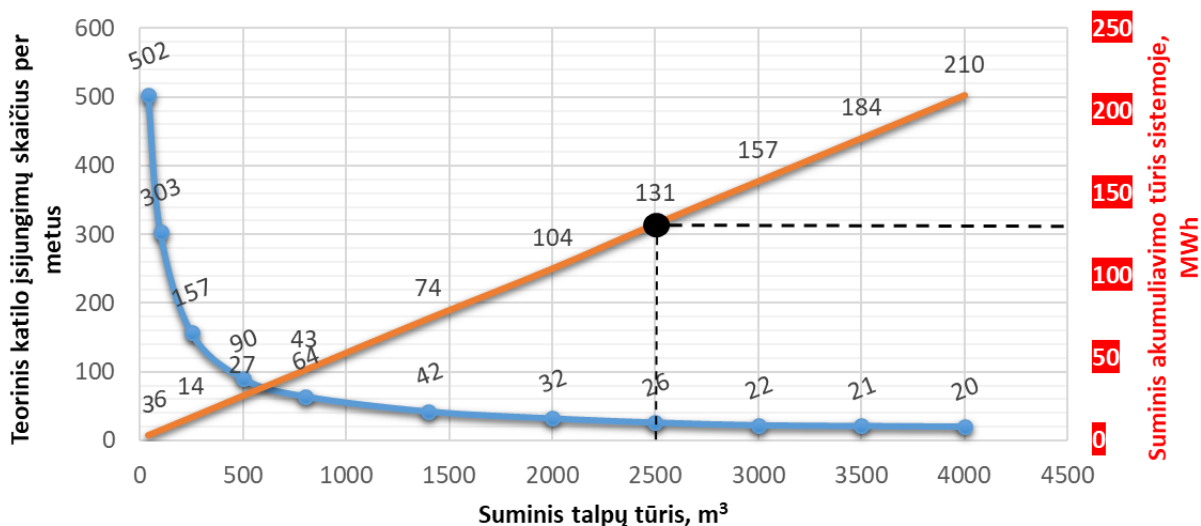
3.10 pav. Miesto CŠT Katilinės Nr. 2 su akumuliacijos talpa schema

Siekiant rasti optimalų šilumos akumuliacinio talpos tūrį, nusistatyta prielaida, kad katilų įsijungimų skaičius neviršytų 2 kartų per mėnesį.

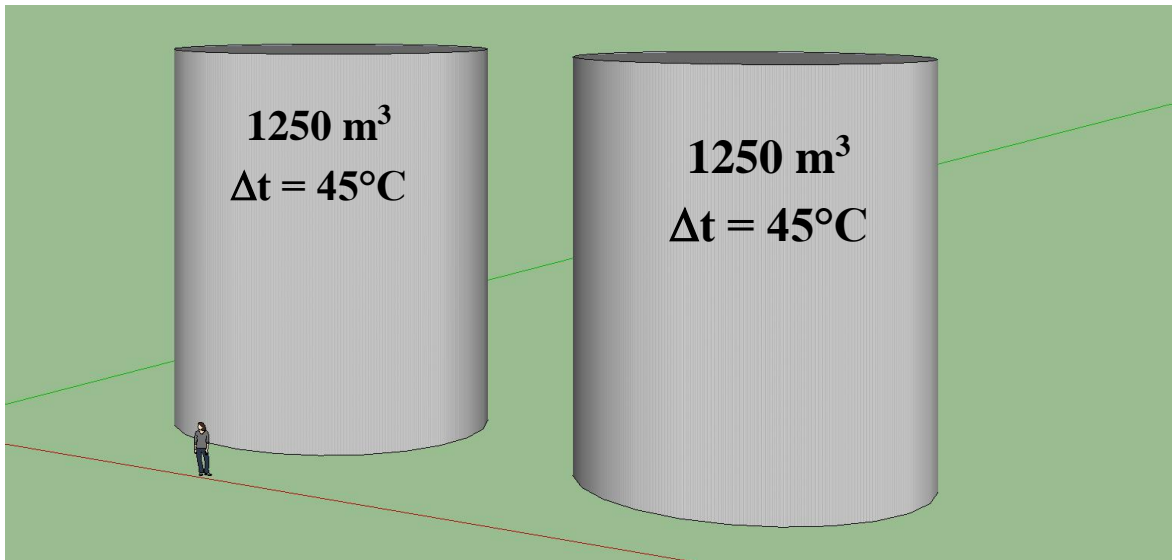


3.11 pav. Modeliuojamo, biokuro katilinės, metinio šilumos gamybos su akumuliacine talpa grafikas

Naudojantis programine įranga, skaičiavimais, priartėjimo būdu, nustatyta, kad optimali šilumos akumuliacinė talpa esamai biokuro deginimo katilinei, CŠT sistemoje siekia 2500 m³ (131 MWh, esant $\Delta t = 45^{\circ}\text{C}$). Remiantis 3.8 pav. pateiktu grafiku preliminarios investicijos tokio dydžio šilumos akumuliacinio talpai siektų **875000 EUR**.



3.12 pav. Apskaičiuota teorinio 5 MW biokuro katilo įsijungimų skaičius priklausomai nuo šil. akumuliacinio talpos sistemoje



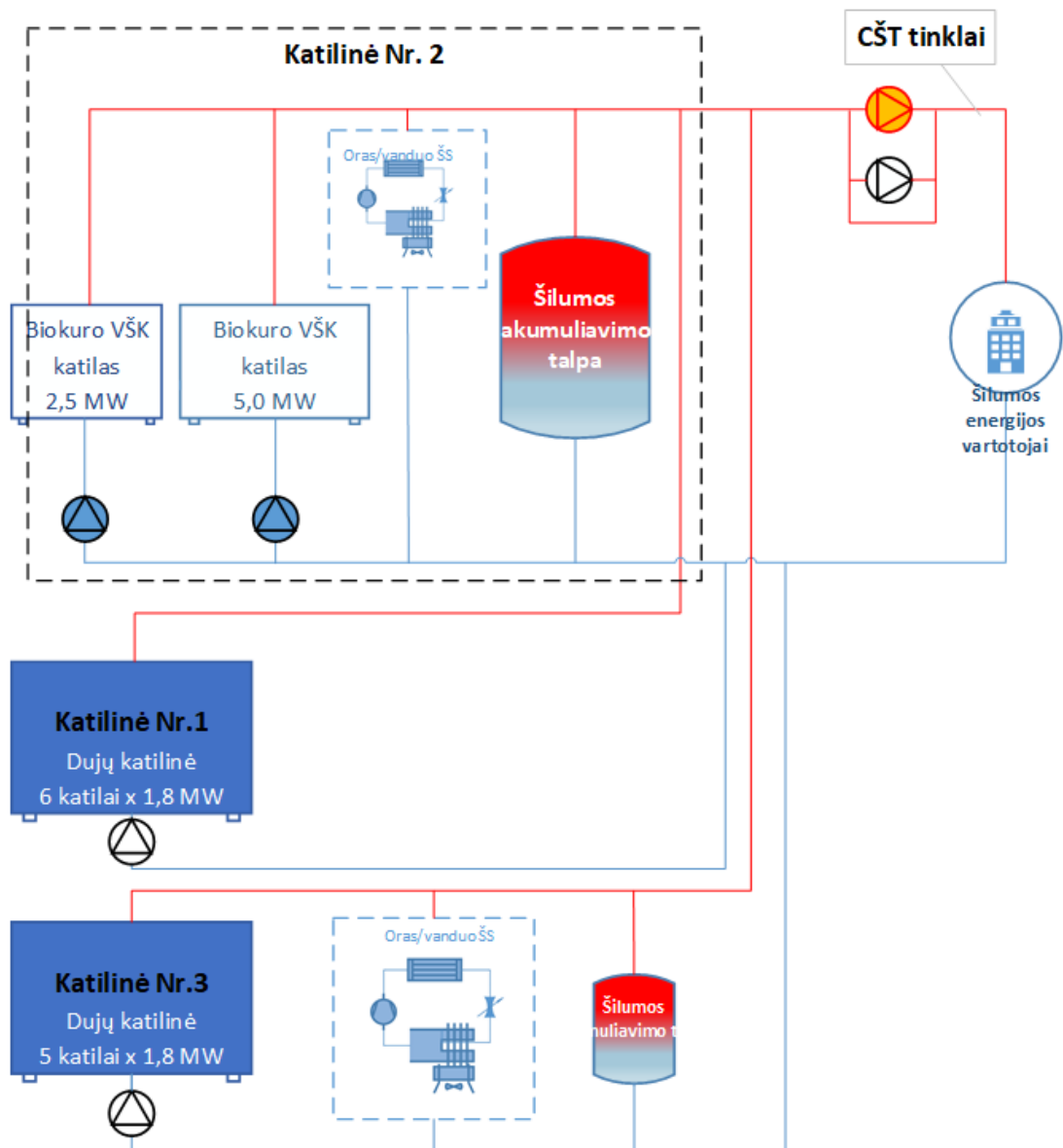
3.13 pav. Apskaičiuotas optimalus šilumos akumuliacijos tūris biokuro katilinei (eskizas)

3.2.2. 2 variantas | Didelių investicijų CO₂ beveik neutrali šilumos energijos gamyba

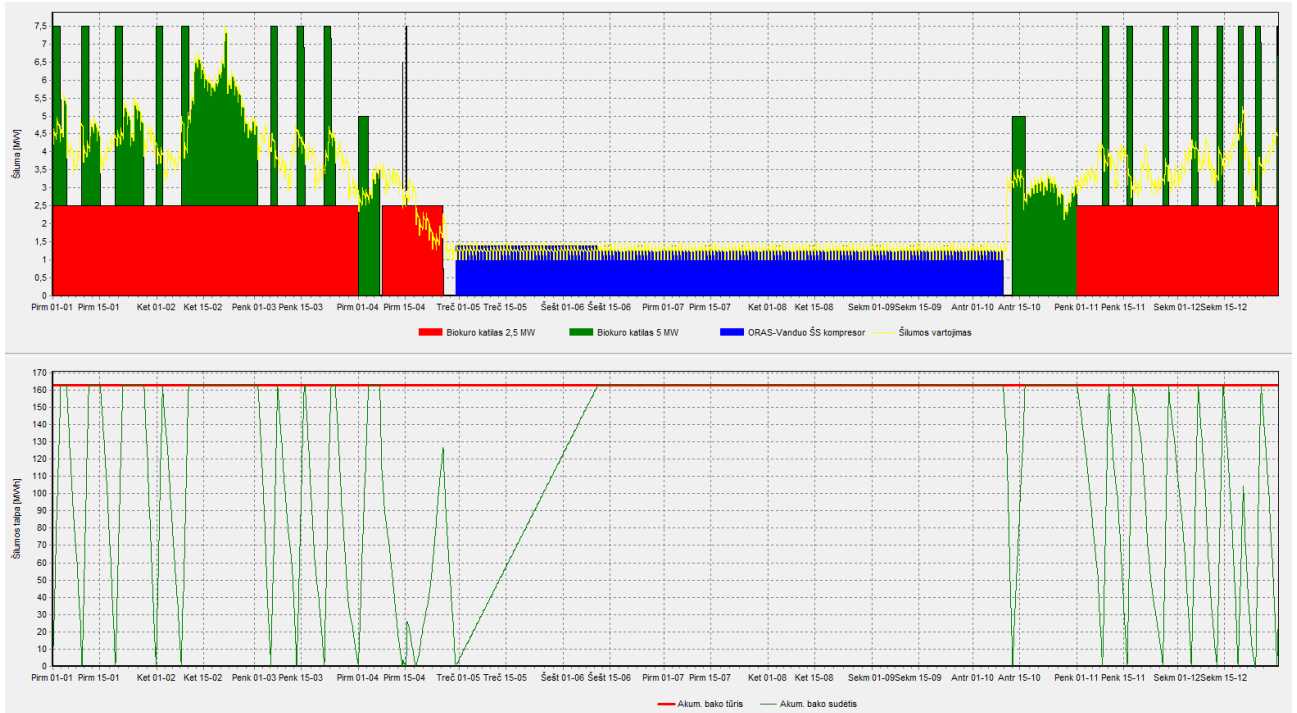
Šiame variante veiktų:

Biokuro deginimo įrenginiai + Šilumos siurbliai (nešildymo sezono metu) šilumos energijos akumuliacija (Katilinė Nr. 2 ir Katilinė Nr. 3 (2x30m³ požeminė)).

CŠT sistemos modernizavimo variante suplanuota projekto 1 – variantą papildyti šilumos siurblių įvedimu nešildymo sezono metu. Tokiu būdu, nešildymo sezono laikotarpiu galima sutaupyti 4 darbuotojų, darbo užmokečio fondo išlaidas, kadangi biokuro katilinė tuo laikotarpiu būtų rezerve. Pagal vasaros apkrovimą, numatoma bendra ORAS/VANDUO šilumos siurblių galia 1,4 MW.

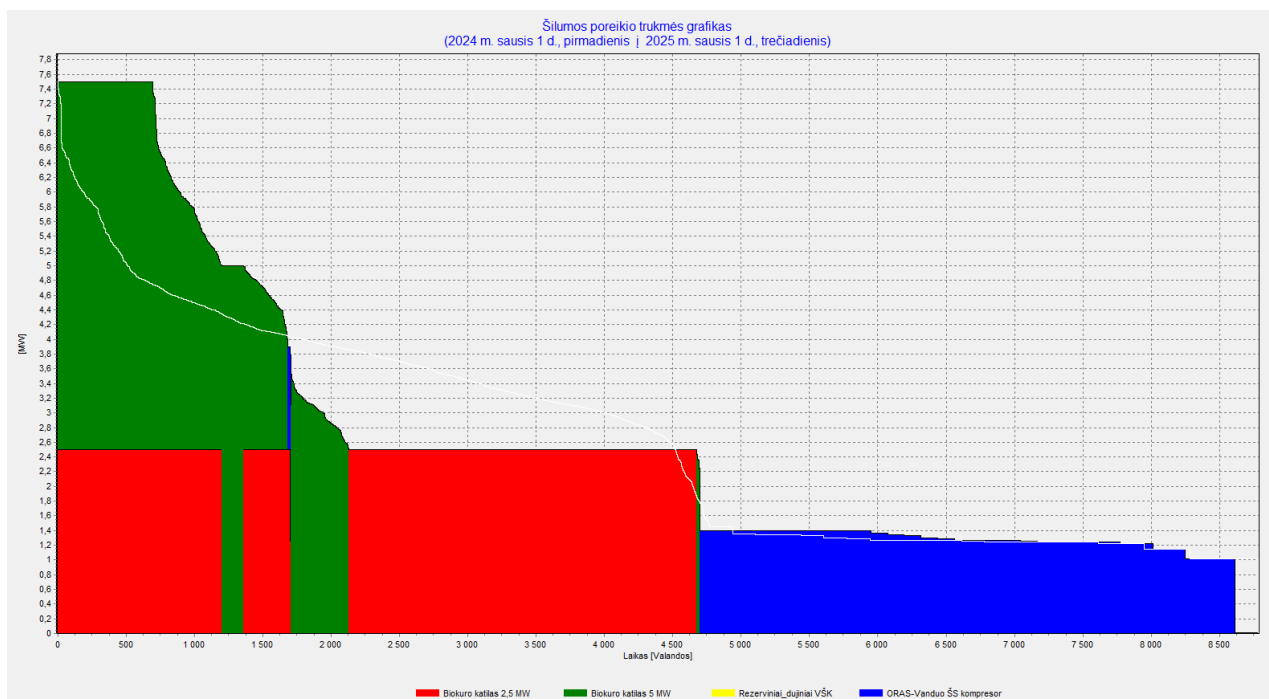


3.14 pav. Miesto CŠT Katilinės Nr. 2 su akumuliacijos talpomis ir šilumos siurbliais schema



3.15 pav. Modeliuojamo atvejo, CŠT katilinių ir oras-vanduo šilumos siurblių metinio šilumos gamybos su akumuliacine talpa grafikas

Šilumos siurblių sistemos galėtų būti išdėstytos Katilinėje Nr. 2 ir Katilinėje Nr. 3. Kadangi prie minėtų katilinių išsidėstę panašaus dydžio vartotojų apkrovos, vertinama, kad Katilinėje Nr. 2 būtų įrengta $4 \times 200 \text{ kW}_s = 800 \text{ kW}_s$, šilumos siurblių sistema, Katilinėje Nr. 3, dėl mažesnio patalpų ploto (preliminariai 1 MW šilumos siurblių sistemos įrengimui reikia 1000 m^2), būtų įrengiama $3 \times 200 \text{ kW}_s$, šilumos siurblių sistema su požeminėmis akumuliacinėmis talpomis - $2 \times 30 \text{ m}^3 = 60 \text{ m}^3$.



3.16 pav. Šilumos galios poreikio trukmės grafikas 2 varianto scenarijui

Tokios sistemos santykinės investicijos, (pagal literatūros šaltinius [28]) 1400 EUR/kW_s.

3.2 lentelė. Investicijos šilumos akumuliacijos talpoms ir šilumos siurbliams

Investicijos	Katilinė Nr. 2	Katilinė Nr. 3	Katilinė Nr. 2 ir Nr. 3
Šilumos akumuliacijos talpos, EUR su PVM	875000	42000	917000
Šilumos siurbliai ORAS/VANDUO (pramoniniai kompresoriniai, skirti karšto vandens ruošimui, COP=4,2; priimtas SCOP = 3,8), EUR su PVM	1120000	840000	1960000
Investicijos iš viso, EUR su PVM:	1995000	882000	2877000

2 varianto atveju skaičiuojamos daugiau nei 3 kartus didesnės investicijos nei pirmame variante, todėl tikėtina, kad esant aukštomis elektros energijos kainoms tokio scenarijaus įgyvendinimas būtų ekonomiškai nepagrįstas.

Išvados

1. Literatūros apžvalga parodė, kad šalto klimato šalys intensyviai ieško galimybių ir technologijų CŠT sektoriaus dekarbonizavimo srityje – rengia nacionalines strategijas bei tarptautinius susitarimus. Energijos generavimui daugiausia pasitelkiamos hibridinės sistemos – kartu su kogeneracija iš AEI yra derinamos, didelio mastelio terminių ir PVT saulės kolektorių, šilumos siurblių sistemos. Prie vartotojų poreikių prisitaikančiam, mišrių energijos generavimo sistemų, veikimui yra modeliuojamos ir diegiamos didelės talpos šilumos akumuliacijos technologijos (10 – 60 tūkst. m³), tokiu būdu į CŠT sistemą gali būti tiekama ir išnaudojama žemo potencialo atliekinė šilumos energija.
2. Į CŠT sistemas siekiant labiau integruoti visus įmanomus šilumos gamybos šaltinius bei atliekinę šilumos energiją, naujai vystomuose, gyvenamuosiuose kvartaluose, nacionaliniu lygiu bandoma pereiti prie žemos temperatūros centralizuoto šilumos tiekimo sistemų (4 kartos CŠT). Esamuose, senos statybos gyvenamuose kvartaluose tokių sistemų diegimas technologiškai sudėtingas ir reikalaujantis didelių investicijų.
3. Analizuoto miesto CŠT sistema yra didžiąja dalimi modernizuota – šilumos energija daugiausiai gaminama panaudojant AEI (iš viso), šilumos tiekimo tinklas pakeistas naujais vamzdynais, apie 90 proc. šilumos vartotojų, pastatų yra atnaujinti ir yra energetiškai efektyvūs. Maksimali vartotojų galia pastatų šildymui yra sumažėjusi iki 5,5 MW (instaliuota galia šildymui pas vartotojus 12,7 MW).
4. Tiesioginiais matavimais nustatyta, kad CŠT įmonės eksploatuojamoje sistemoje oras/vanduo šilumos siurblio (dėl per aukštos į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio temperatūros) SCOP siekia apie 1,9.
5. Optimalaus, miesto CŠT sistemoje veikiančios, biokuro katilinės veikimo optimizavimui pasirinktas akumuliacinių talpų dydžio modeliavimo būdas, pasitelkiant programinę įrangą.
6. Nustatyta, kad minimali, 5 MW biokuro katilo veikimui reikalinga šilumos akumuliacijos talpa siektų 42 m³ (arba 2,17 MWh), o optimalus šilumos akumuliacijos talpos tūris, biokuro deginimo katilinės energijos generavimo įrenginių veikimo laiko pratęsimui bei remontų apimčių sumažinimui, 2500 m³ (131 MWh). Investicijos optimaliai šilumos akumuliacijos sistemai siektų apie 875000 EUR.
7. Antrojo varianto scenarijaus atveju investicijos sudarytų 2,877 mln. EUR.

Literatūros sąrašas

1. Nordic heating & cooling | Euroheat & Power. (2017, December). Euroheat & Power. Retrieved from <https://www.euroheat.org/publications/nordic-heating-cooling/>
2. Nordic heating and cooling Nordic approach to EU's Heating and Cooling Strategy. (n.d.). Retrieved from <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1098961/FULLTEXT01.pdf>.
3. JOINT RESEARCH CENTRE, INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY, Mutka, K., Papillon, P., Kalf, R., et al., 2020-2030-2050, common vision for the renewable heating and cooling sector in Europe : European technology platform on renewable heating and cooling, Publications Office, 2011, <https://data.europa.eu/doi/10.2788/20474>
4. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Brussels: Official Journal of the European Union; 2010.
5. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency Brussels: Official Journal of the European Union; 2012.
6. KERR, N. - WINSKEL, M. A Review of Heat Decarbonisation Policies in Europe. In Ed.ac.uk [interaktyvus]. 2021. [Prieiga per internetą: <<https://era.ed.ac.uk/handle/1842/37510?show=full>>].
7. GOVERNMENT STRATEGY ON HYDROGEN. In Government.nl [interaktyvus]. 2020. Prieiga per internetą: <<https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>>].
8. BENTERBUSCH, U. [interaktyvus].2020. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/events/presentations/02.03.01_mf34_presentation-de_h2_strategy-benterbusch.pdf>].
9. SCHMIDT D ET AL. Low temperature district heating for future energy systems. In: Proceedings of the 15th international symposium on district heating and cooling, Energy Procedia 116 (2017) 26–38.
10. BÜNNING, F. ir kt. Bidirectional low temperature district energy systems with agent-based control: Performance comparison and operation optimization. In Applied Energy [interaktyvus]. 2018. Vol. 209, p. 502–515. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261917314940>>].
11. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. 2020 Lietuvos Respublikos Nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021–2030. Prieiga prie interneto : <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/Integruotas%20planas/Final%20NECP.pdf>.
12. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, patvirtinta 2018-04-21 Lietuvos Respublikos Seimo nutarimu Nr. XIII-1288. E-seimas.lrs.lt [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2022-03-05]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.429490/asr>>].
13. LIETUVOS ŠILUMOS TIEKĖJŲ ASOCIACIJA. Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2020 metų apžvalga. Šiluminė technika, 2021, 3: 3-13.
14. ZHANG, Lipeng, et al. Comparison of district heating systems used in China and Denmark. International Journal of Sustainable and Green Energy, 2015, 4.3: 102-116.
15. Miškų Lietuvoje daugėja. In Am.lrv.lt [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2021]. Prieiga per internetą: <<https://am.lrv.lt/lt/naujienos/misku-lietuvoje-daugeja>>].

16. Lithuania is well placed to lead on clean energy and energy security in the Baltic region, according to IEA policy review - News - IEA. In IEA [interaktyvus]. 2021. Prieiga per internetą: <<https://www.iea.org/news/lithuania-is-well-placed-to-lead-on-clean-energy-and-energy-security-in-the-baltic-region-according-to-iea-policy-review>>.
17. HAST, Aira, et al. District heating in cities as a part of low-carbon energy system. *Energy*, 2018, 152: 627-639.
18. POPOVSKI, E. ir kt. The role and costs of large-scale heat pumps in decarbonising existing district heating networks – A case study for the city of Herten in Germany. In *Energy* [interaktyvus]. 2019. Vol. 180, p. 918–933. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219310047?casa_token=gh9XG1t88bAAAAAA:1mo8Zyhz_MbGdt3f0QEb4iIPj_dxXz5pgMKBh11YRCP7kL35UhG3BMdhA_3RRKhSHg0pChJ_WA>.
19. VALSTYBĖS KONTROLĖ. Centralizuoto šilumos tiekimo vertinimas. In <https://www.valstybeskontrole.lt> [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022-03-02]. Prieiga per internetą: <<https://www.valstybeskontrole.lt>>.
20. District heat production by fuel, 2010-2020 and in the Net Zero Scenario, 2030 – Charts – Data & Statistics - IEA. In IEA [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2021]. Prieiga per internetą: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/district-heat-production-by-fuel-2010-2020-and-in-the-net-zero-scenario-2030>>.
21. COST, L. Levelized cost of heating (LCOH) for consumers, for selected space and water heating technologies and countries – Charts – Data & Statistics - IEA. In IEA [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2022]. Prieiga per internetą: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/levelized-cost-of-heating-lcoh-for-consumers-for-selected-space-and-water-heating-technologies-and-countries>>.
22. LUKOŠEVIČIUS, V.; WERRING, L. *Regulatory Implications of District Heating*. 2011.
23. LIETUVOS ŠILUMOS TIEKĖJŲ ASOCIACIJA. Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2018 metų apžvalga. 2019. 1. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://lsta.lt/wp-content/uploads/2019/10/LSTA_apzvalga_2018.pdf>.
24. Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems - Final Report - HPT - Heat Pumping Technologies. In HPT - Heat Pumping Technologies [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022-04-12]. Prieiga per internetą: <<https://heatpumpingtechnologies.org/publications/heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems-final-report/>>.
25. STIGNOR, Caroline Haglund; WALFRIDSON, Tommy. Nordsyn study on air-to-water heat pumps in humid Nordic climate. Nordic Council of Ministers, 2019.
26. GARCIA, Nicolas Pardo, et al. Best available technologies for the heat and cooling market in the European Union. Publications Office of the European Union, 2012.
27. IEA SHC || Solar Heat Worldwide. In iea-shc.org [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022-03-30]. Prieiga per internetą: <<https://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>>.
28. DANISH ENERGY AGENCY. Technology Data for Generation of Electricity and District Heating. Retrieved August 27th, 2019, 2019.
29. NARBUTAS, Laimonas. AB “Kauno energija” žaliojo kurso energetikos vystymo kryptys ir nauda šilumos vartotojams. [interaktyvus]. 2022. Prieiga per internetą: https://lsta.lt/wp-content/uploads/2022/03/5_KE-pranesimas-KTU-2022.pdf

30. GRZEGÓRSKA, A., et al. Smart Asset Management for District Heating Systems in the Baltic Sea Region. *Energies* 2021, 14, 314. 2021.
31. LI, Haoran; NORD, Natasa. Transition to the 4th generation district heating-possibilities, bottlenecks, and challenges. *Energy Procedia*, 2018, 149: 483-498.
32. ZIEMELE, Jelena; CILINSKIS, Einars; BLUMBERGA, Dagnija. Pathway and restriction in district heating systems development towards 4th generation district heating. *Energy*, 2018, 152: 108-118.
33. SCHWEIGER, Gerald; KUTTIN, Fabian; POSCH, Alfred. District heating systems: An analysis of strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the 4GDH. *Energies*, 2019, 12.24: 4748.
34. Hydrogen. In *Energy* [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2022-]. Prieiga per internetą: <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-system-integration/hydrogen_en>.
35. YUE, Meiling, et al. Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 146: 111180.
36. WITH, H. Fuel Cell & Hydrogen Energy Association. In *Fuel Cell & Hydrogen Energy Association* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2022-]. Prieiga per internetą: <<https://www.fchea.org/in-transition/2021/2/22/heating-with-hydrogen>>.
37. Heat pumps or hydrogen: how do we decarbonise our heating? - Cambridge Carbon Footprint. In *Cambridge Carbon Footprint* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2022-]. Prieiga per internetą: <<https://cambridgecarbonfootprint.org/heat-pumps-or-hydrogen-how-do-we-decarbonise-our-heating/>>.
38. What is THERMOS? THERMOS [interaktyvus]. 2021. Prieiga per internetą: <<https://www.thermos-project.eu/thermos-tool/what-is-thermos/>>.
39. LUND, Henrik, et al. Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 2017, 137: 556-565.
40. Miesto šilumos tiekimo įmonės duomenys. 2021 m.
41. Architektūros ir statybos institutas, Lietuvos Hidrometeorologijos valdyba. Statybinė klimatologija RSN 156-94. Respublikinės statybos normos. Vilnius : Lietuvos Respublikos Statybos ir Urbanistikos Ministerija, 1995 m.
42. Product Catalogue. Hitachiaircon.com [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2022-03-05]. Prieiga per internetą: <<https://www.hitachiaircon.com/uk/resources/others/product-catalogue/2020-product-catalogue>>.
43. Carbon Trust, Biomass Heat Accelerator – Biomass Boiler System Sizing Tool – User Manual, Version 6.8, July 2013. [interaktyvus]. 2021. Prieiga per internetą: <https://prod-drupal-files.storage.googleapis.com/documents/resource/public/biomass-software-tool-user-manual-v68.pdf>
44. GUADALFAJARA, M. Evaluación de centrales solares térmicas para el sector residencial en España. 2013. PhD Thesis. Master Thesis, EINA, Universidad de Zaragoza.