



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

UAB „Raseinių šilumos tinklai“ biokuro katilinės modernizavimo galimybių studija

Baigiamasis magistro projektas

Petras Stadulis

Projekto autorius

Doc. Rolandas Jonynas

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**UAB „Raseinių šilumos tinklai“ biokuro katilinės
modernizavimo galimybių studija**

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (6211EX023)

Petras Stadulis

Projekto autorius

Doc. Rolandas Jonynas

Vadovas

Doc. Egidijus Puida

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Petras Stadulis

UAB „Raseinių šilumos tinklai“ biokuro katilinės modernizavimo galimybių studija

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.

Petras Stadulis

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Išduota studentui (-ei) – Petras Stadulis

1. Projekto tema

UAB „Raseinių šilumos tinklai“ biokuro katilinės modernizavimo galimybių studija

(Lietuvių kalba)

Feasibility Study of UAB “Raseinių šilumos tinklai” Biomass Boiler House Modernization

(Anglų kalba)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: siekiant padidinti biokuro katilinės efektyvumą ir patikimumą, nustatyti galimus technologinius sprendinius bei pagrįsti jų diegimo tikslingumą techniniais – ekonominiais ir aplinkosauginiais rodikliais.

Uždaviniai:

1. Literatūros analizė;
2. Pasirinkto objekto esamos situacijos analizė;
3. Projekto technologinių sprendinių nustatymas, detalizuoti technologiniai skaičiavimai, modeliavimas;
4. Projekto techninių – ekonominių bei aplinkosauginių rodiklių įvertinimas;
5. Projekto rizikų analizė.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Baigiamasis magistro projektas turi atitikti jam keliamus, šiuo metu galiojančius, reikalavimus.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Netaikoma.

Projekto autorius

Petras Stadulis

2023-02-20

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Projekto vadovas

Rolandas Jonynas

2023-02-20

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Krypties studijų
programų vadovas

Algimantas Balčius

2023-02-21

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Stadulis, Petras. UAB „Raseinių šilumos tinklai“ biokuro katilinės modernizavimo galimybių studija. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Jonynas; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: centralizuotas šilumos tiekimas, saulės kolektoriai, akumuliacinė talpa, fotovoltinė jėgainė, ORC .

Kaunas, 2023. 55 p.

Santrauka

Pastaruoju metu Europoje tendencingai didinama energijos gamybos dalis iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Šalys yra skatinamos plėsti centralizuoto šilumos bei vėsumos tiekimo tinklus, juose pritaikyti modernius bei klimatui neutralius energijos konvertavimo įrenginius, tokiu būdu pereinant į 4-tąją CŠT kartą (4G).

Šiame darbe atliekama UAB „Raseinių šilumos tinklai“ Raseinių miesto katilinės modernizavimo galimybių studija. Atliekama literatūros apžvalga apie CŠT sektorių bei jo modernizavimo priemones, analizuojama esama padėtis katilinėje. Parenkami 4 galimi technologinių sprendinių variantai: šilumos akumuliacinės talpos įdiegimas, saulės kolektorių su šilumos akumuliacine talpa įdiegimas, fotovoltinės saulės jėgainės įdiegimas bei ORC turbinos katilinėje pritaikymas. „EnergyPRO“ programine įranga atliekamas aukščiau išvardintų variantų modeliavimas, įvertinami technologiniai sistemos variantų rodikliai. Atliekama projekto variantų ekonominė analizė bei aplinkosauginis vertinimas.

Stadulis, Petras. Feasibility Study of UAB “Raseinių šilumos tinklai” Biomass Boiler House Modernization. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Rolandas Jonynas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: district heating, solar thermal collector, thermal energy storage, photovoltaic, ORC.

Kaunas, 2023. 55 p.

Summary

The share of renewable energy generation in Europe's energy mix has been increasing recently. Countries are being encouraged to expand their district heating and cooling networks and to install modern and climate-neutral energy conversion plants, thus moving towards the 4th generation of CHP (4G).

This work is a feasibility study for the modernisation of the Raseiniai town boiler house of UAB "Raseinių šilumos tinklai". A literature review of the CHP sector and its modernisation measures is carried out and the current situation of the boiler house is analysed. Four possible options for technological solutions are selected: the installation of a heat storage tank, the installation of solar collectors with a heat storage tank, the installation of a photovoltaic solar power plant and the application of an ORC turbine in the boiler house. "EnergyPRO" software is used to simulate the above options and evaluate the data obtained. An economic analysis of the projects and an environmental assessment are carried out.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Europos šalių CŠT apžvalga.....	12
1.2. Lietuvos CŠT sistemų apžvalga	13
1.3. CŠT sistemų modernizavimo priemonės.....	15
1.3.1. Šilumos siurbiai CŠT sistemose	17
1.3.2. Saulės energija pagaminta šiluma CŠT sistemose.....	20
1.3.3. Šilumos akumuliacinės talpos CŠT sistemose	22
1.3.4. Kogeneracijos įrenginiai CŠT sistemose.....	24
1.3.5. Branduolinė energija CŠT sistemose.....	27
2. Esamos padėties analizė	29
2.1. Šilumos šaltiniai	29
2.2. CŠT sistemos vamzdynai	31
2.3. Šilumos energijos gamyba ir suvartojimas.....	33
2.4. Elektros energijos suvartojimas.....	33
3. Metodinė dalis	34
3.1. Biokuro katilinės modernizavimas įdiegiant šilumos akumuliacinę talpą.	35
3.2. Biokuro katilinės modernizavimas įdiegiant plokščiuosius saulės kolektorius	37
3.3. Biokuro katilinės modernizavimas įrengiant fotovoltinę jėgainę.....	40
3.4. Biokuro katilinės modernizavimas įdiegiant ORC turbiną	42
4. Projekto variantų ekonominė analizė	46
4.1. Ekonominė analizė saulės terminių kolektorių įdiegimui	46
4.1.1. Kapitalinės investicijos.....	46
4.1.2. Atsipirkimo laikotarpio trukmė	46
4.2. Ekonominė analizė fotovoltinės jėgainės įdiegimui.....	48
4.2.1. Kapitalinės investicijos.....	48
4.2.2. Atsipirkimo laikotarpio trukmė	48
4.3. Ekonominė analizė ORC įdiegimui.....	49
4.3.1. Kapitalinės investicijos.....	49
4.3.2. Atsipirkimo laikotarpio trukmė	49
5. Aplinkosauga.....	50
Išvados	51
Literatūros sąrašas	52

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Potencialūs darbiniai fluidai ORC pritaikymui [25].	26
2 lentelė. Veikiančios branduolinės jėgainės, tiekiančios šilumos energiją į CŠT tinklus [27].	27
3 lentelė. Šilumos generavimo įrenginiai, sumontuoti Raseinių miesto katilinėje.	31
4 lentelė. Raseinių m. CŠT vamzdinių ilgiai pagal skersmenis.	32
5 lentelė. Pagamintos ir suvartotos šilumos suvestinė 2021 m.	33
6 lentelė. Raseinių katilinėje suvartotos elektros energijos kiekis	33
7 lentelė. Techniniai parametrai, priklausančys nuo talpos dydžio.	35
8 lentelė. Saulės terminių kolektorių su akumuliacine talpa atsipirkimo trukmė.	47
9 lentelė. Saulės jėgainės atsipirkimo laikotarpis, priklausomai nuo elektros energijos kainos	48
10 lentelė. ORC atsipirkimo laikotarpis, priklausomai nuo elektros energijos kainos.	49

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pirminio kuro struktūra CŠT sektoriuje 1997 - 2021 metais [7]	14
2 pav. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemų galios poreikio patenkinimas pagal kuro rūšį [LEI].	15
3 pav. CŠT tinklų kartos ir jose naudojamos technologijos [12].	17
4 pav. Galimi energijos šaltiniai šilumos siurbliui	18
5 pav. Supaprastinta hidraulinė stiprinančio šilumos siurblio schema [14].	19
6 pav. Didelės galios šilumos siurbliai CŠT tinkluose [16].	20
7 pav. Saulės šiluminių kolektorių integracija į CŠT tinklą [18].	21
8 pav. Saulės šilumos energijos rinkos lyderiai 2021 metais	21
9 pav. Dviejų zonų šilumos akumuliacinė talpa [18].	22
10 pav. Sezoninių šilumos akumuliacinių talpų tipai [21].	23
11 pav. Pricipinė PTES integravimo į CŠT tinklą schema.....	24
12 pav. Skirtingos ORC konfigūracijos: Standartinė ORC(a), ORC su rekuperatoriumi (b), ORC su nuėmimu turbinoje (c). Šilumnešio įvadas pažymėtas „in“, išvadas „out“.	25
13 pav. Kalina ciklo veikimo schema. Šilumnešio įvadas pažymėtas „in“, išvadas „out“.	26
14 pav. DHR 400 (kairėje), HAPPY200 (viduryje), TEPLATOR (dešinėje) vizualizacijos [30]. ...	28
15 pav. UAB "Raseinių šilumos tinklai" valdomų katilinių žemėlapis.....	29
16 pav. CŠT įmonėje sudeginto kuro dalis 2022 m.....	29
17 pav. CŠT įmonės sąnaudų pasiskirstymas 2022 m.....	30
18 pav. Miesto tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūrinis grafikas	32
19 pav. Oro temperatūra Raseiniuose 2021 m.....	34
20 pav. Saulės spinduliuotės intensyvumas Raseiniuose 2021 m.	34
21 pav. Miesto katilinės schema su integruota šilumos akumuliacine talpa	35
22 pav. Šilumos gamybos ir vartojimo grafikas su 500 m ³ akumuliacine talpa.....	36
23 pav. Šilumos gamybos ir vartojimo grafikas su 3000 m ³ akumuliacine talpa.....	36
24 pav. Santykinų investicijų priklausomybė nuo talpos tūrio kitimo	37
25 pav. Miesto katilinės schema su saulės kolektoriais.....	37
26 pav. Išmatuota preliminarinė teritorija saulės kolektorių įrengimui	38
27 pav. Šilumos energijos gamybos ir vartojimo grafikas su saulės kolektoriais bei akumuliacine talpa	39
28 pav. Prielaidos saulės kolektorių sistemos modeliavimui (Energy PRO sąsajos langas).....	39
29 pav. Šilumos energijos gamyba Raseinių katilinėje	40
30 pav. Miesto katilinės schema su saulės fotovoltine jėgaine	40
31 pav. Nustatymai saulės fotovoltinei jėgainei.....	41
32 pav. Saulės elektrinės metinis elektros energijos gamybos grafikas	42
33 pav. Šilumos a) bei elektros b) energijos metinis gamybos grafikas biokuro katilinėje	44
35 pav. ORC turbinos prijungimo prie VŠK-3 bei CŠT tinklo principinė schema.	45
34 pav. VŠK-3 ir ORC šilumos ir elektros energijos mėnesinis gamybos grafikas.....	45
36 pav. Šilumos energijos kaina Raseiniuose.....	47

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

ES – Europos Sąjunga

EK – Europos Komisija

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas

CŠVT – centralizuotas šilumos vei vėsumos tiekimas

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

NEKP – Nacionalinis energetikos ir klimato planas

ŠAT – šilumos akumuliacinė talpa

Ivadas

Energetika yra neatsiejamą moderniosios civilizacijos dalis. Centralizuoto šilumos tiekimo tinklai sėkmingai veikia jau nuo 1877 metų. Nuo pirmosios kartos CŠT yra tobulinamas iki šių dienų, palaipsniui pereinant į ketvirtąją centralizuoto šilumos tiekimo kartą. Šie pokyčiai sąlygoja naujų, klimato kaitos neskatinančių įrenginių bei technologijų pritaikymą esamose CŠT sistemose.

Remiantis Europos žaliuoju kursu bei 55% tikslo priemonių rinkiniu, senasis žemynas iki 2030 - tųjų metų siekia grynąjį šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį sumažinti 55 % lyginant su 1990 metų lygiu [1]. Didėjančius energijos poreikius anksčiau buvo įprasta spręsti tradiciniais būdais – diegiant šilumines elektrines, vartojančias iškastinį kurą. Visgi šiuo metu toks sprendimas nėra galimas. Šiuo metu reikalingi sprendimai, padedantys tenkinti dvi sąlygas – kylantį energijos poreikį bei draugišką aplinkai patikimos energijos gamybos būdą.

Taip pat svarbus pastarųjų dienų momentas energetikos sektoriuje – susiklosčiusi energetikos krizė Europoje dėl 2022 metų pradžioje kilusios karinio konflikto. Dėl šios krizės Europos Komisija (EK) pritaikė priemones [2], kurios padėtų užtikrinti nepertraukiamą energijos tiekimą Europos piliečiams ir pramonei. Priėmus planą „REPowerEU“, siekiama iki 2030 m. atsisakyti Europos priklausomybės nuo iškastinio kuro iš Rusijos. Taigi ši susiklosčiusi situacija skatina nedelsiant pereiti prie energetikos išteklių išsaugojimo, efektyvaus naudojamo kuro energijos panaudojimo bei spartesnio perėjimo prie švarios energijos.

Šiame darbe analizuojama miesto centralizuoto šilumos tiekimo sistema, jos esama situacija, šilumos gamybos įrenginių pajėgumai, apžvelgiamos ir įvertinamos galimybės į esančią miesto sistemą įdiegti naujus energijos generavimo ar akumuliacinio įrenginius.

Šio projekto tikslas - siekiant padidinti biokuro katilinės efektyvumą ir patikimumą, nustatyti galimus technologinius sprendinius bei pagrįsti jų diegimo tikslingumą techniniais – ekonominiais ir aplinkosauginiais rodikliais.

Uždaviniai:

1. atlikti literatūros bei gerosios praktikos pavyzdžių analizę Lietuvoje bei kitose panašaus klimato šalyse;
2. išanalizuoti pasirinkto objekto esamą situaciją;
3. nustatyti projekto technologinius sprendinius bei juos detalizuoti, remiantis sudarytu modeliu atlikti technologinius skaičiavimus;
4. įvertinti projekto techninius ir ekonominius bei aplinkosauginius rodiklius;
5. atlikti projekto rizikų analizę.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Europos šalių CŠT apžvalga

Šildymas yra didžiausia energijos vartojimo sritis, kuri sudaro daugiau nei pusę Europos metinės galutinės energijos vartojimo. Didžioji dalis Europos šiluminės energijos vis dar gaminama naudojant iškastinį kurą, iš kurio beveik pusė yra gamtinės dujos. Klimato krizė ir neseniai prasidėjęs Rusijos karas prieš Ukrainą išryškino būtinybę paspartinti importuojamo iškastinio kuro atsisakymą bei šilumos rinkos dekarbonizaciją. 2019 metais centralizuotas šildymas ir vėsinimas užėmė 12 % Europos šilumos rinkos.

Šiuo metu, pasauliniu mastu, AEI sudaro maždaug 18 % suvartojamos pirminės energijos, iš kurių didžiąją dalį sudaro geoterminė energija, biomasė, biologinės atliekos ir saulės energija. Palyginimui, Europa yra lyderiaujanti dekarbonizacijos srityje energetikos sektoriuje. Atsinaujinančių energijos išteklių dalis šildymui ir vėsinimui Europoje siekia 28,9 %. Įskaitant atliekinės šilumos atgavimą iš pramoninių procesų ši dalis pakyla iki 30,6 % [3].

Pirmosios ES šildymo ir vėsinimo strategijos tikslas – sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas bei didinti energijos gamybos, tiekimo bei vartojimo efektyvumą. Ši strategija yra pagrindinis ES strategijos veiksmas, prisidedantis prie ES energetinio saugumo bei atitinkantis 2015 m. gruodžio 12 dieną Paryžiuje Jungtinių Tautų klimato kaitos konferencijoje pasiektą susitarimą dėl klimato kaitos ir tolimesnio globaliosios energetikos vystymo. Šiuo dokumentu šildymas ir vėsinimas siūlomas vertinti kaip bendros energetikos sistemos sudėtinė dalis, susiejant šilumos ir elektros tinklų infrastruktūros vystymą. Siekiant ES dekarbonizacijos tikslų (CO₂ išmetimo sumažinimas) labai skiriasi centralizuoto ir individualaus šildymo galimybės. Šildymo ir vėsinimo strategijoje išskiriami 4 punktai:

- Supaprastinti pastatų renovacijos procesą - pritaikyti pažangius bei vartotojams naudingus sprendinius daugiabučių bei visuomeninių pastatų efektyvumui padidinti.
- Padidinti atsinaujinančių energijos šaltinių šilumos bei elektros energijos gamyboje dalį.
- Panaudoti atliekinę šilumą iš pramonės objektų – pramoniniai ir elektros energijos gamybos įrenginiai išskleidžia didelius kiekius atliekinės šiluminės bei vėsos energijos, kuri šiuo metu yra išsklaidoma ore arba vandenyje. Šiai problemai įveikti gali būti pritaikyti įvairūs sprendimai, tokie kaip:
 - tiesioginis šilumos ir vėsos tiekimas į CŠVT tinklus iš pramonės objektų;
 - šilumos energijos panaudojimas vėsumos gamybai absorbciniais šilumos siurbliais;
 - infrastruktūros plėtra. Nacionalinės ir vietos valdžios institucijos turi atlikti pagrindinį vaidmenį nustatydamos savo ekonominį atliekų šilumos ar šalčio potencialą, sukurdamos tinkamą įstatyminę bazę ir padedamos plėtoti infrastruktūrą, reikalingą šiam potencialui panaudoti.
- Įtraukti vartotojus ir pramonę:

- savininkai, nuomininkai, pastatų prižiūrėtojai ir valdžios institucijos turėtų turėti galimybę priimti pagrįstus sprendimus dėl pastatų renovacijos, efektyvaus ir atsinaujinančio šildymo ir vėsinimo tiekimo galimybių.
- 2012 m. pramonė suvartojo ketvirtadalį galutinės ES energijos, kurios didžioji dalis (73 %) buvo panaudota šildymui ir vėsinimui [4].

Europos energetikos agentūros duomenimis, ES pasiekė tikslą iki 2020 m. sumažinti ŠESD kiekį 20 %, lyginant su 1990 m. lygiu. Tačiau norint pasiekti 2030 m. ir vėlesnius tikslus, 2005–2020 m. pasiektą metinį šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimą reikia padvigubinti. Šildymui ir vėsinimui tenka pusė galutinio ES energijos suvartojimo. Kadangi šildymui sunaudojama daug energijos, šildymui dekarbonizuoti labai svarbu. Egzistuoja sprendimai, kaip taupyti energiją ir įdiegti efektyvias, atsinaujinančias šildymo ir vėsinimo sistemas, ir jie turi būti pritaikyti greičiau [5].

Daugelis Europos šalių susiduria su šilumos ir vėsinimo sektoriaus dekarbonizavimo iššūkiais ir turi skirtingas galimybes ir iššūkius, susijusius su energijos ištekliais dėl suformuotos infrastruktūros ir politikos. Jungtinėje Karalystėje gamtinėmis dujomis šildoma daugiau nei 80 %. Taip pat, Nyderlanduose bei Vokietijoje, didžioji šilumos energijos patalpų šildymui dalis pagaminama gamtinėmis dujomis, 95% bei 53 % atitinkamai [6]. Dujų tinklų dekarbonizacija yra ypač sudėtinga, o norint pasiekti, kad patalpų šildymas būtų visiškai dekarbonizuotas, šiose šalyse reikės ryžtingai atitrūkti nuo nusistovėjusių tiekimo būdų ir imtis labai intervencinių reguliavimo metodų, kai kurie iš jų dabar formuojami, pvz., prisijungimo prie gamtinių dujų tinklo uždraudimas naujiems projektuojamiems ir statomiems namams.

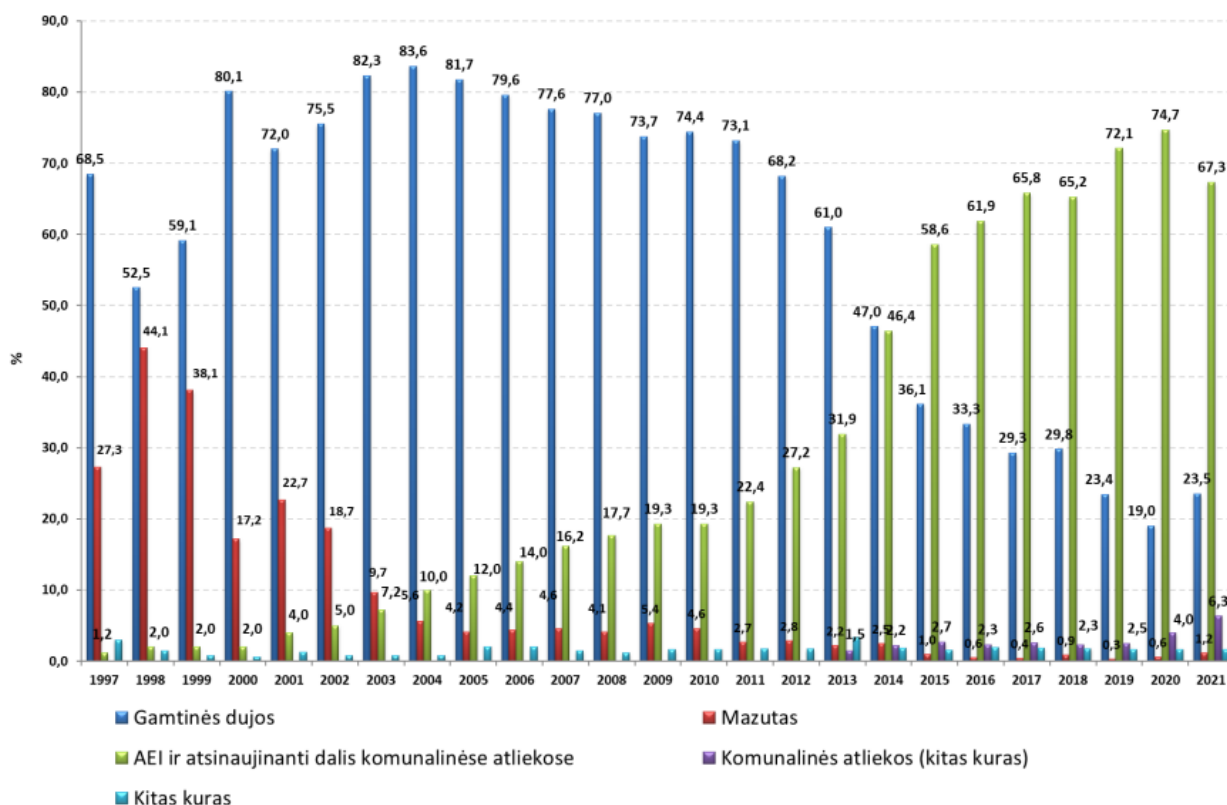
Skandinavijos šalys jau dešimtmečius taiko priemones atsiribojimui nuo iškastinio kuro patalpų šildymui. Istoriskai tai buvo daroma dėl energetinio saugumo, tačiau pastaruoju metu tai peraugo į pokyčius dėl aplinkosauginių paskatų. Norvegija, Skandinavijos šalių kontekste, išsiskiria tuo, jog jos šildymo sektorius yra beveik visiškai klimatui neutralus ir elektrifikuotas, dėl didelio masto hidroelektrinių pagaminamos elektros energijos.

Manoma, jog plėtojant modernias centralizuoto šilumos ir vėsumos tiekimo sistemas bei į jas integravus įvairius atsinaujinančius energijos šaltinius, kitaip tariant, naudojant kompleksines priemones šildymo bei vėsinimo sektoriui, yra įmanoma įgyvendinti tokius aplinkosauginius tikslus, kaip „Fit for 55“ 2030 m. bei įgyvendinti Europos žaliojo kurso tikslus 2050 m.

1.2. Lietuvos CŠT sistemų apžvalga

Lietuva turi vieną geriausiai išvystytą centralizuoto šilumos tiekimo tinklą, veikiantį jau daugiau nei 80 metų ir šilumą tiekiantį apie 55 % šalies gyventojų. Tarp 2012 m. bei 2015m., vyko spartus biokuro katilų diegimas į šalies centralizuoto šilumos tiekimo sistemas, todėl AEI dalis sektoriuje nuo 2011-tųjų m. užėmusių 23 % pakilo iki 66 % 2017-aisiais metais, sudarant vieną didžiausių atsinaujinančios energijos dalių Europoje. Kartu su sumažėjusiu iškastinio kuro poreikiu, CO₂ emisijomis, sumažėjo

ir energetinė priklausomybė nuo, iki 2014 m. didžiąją dalį Lietuvos energetikos sektoriuje užėmusios, Rusijos išteklių [7].



1 pav. Pirminio kuro struktūra CŠT sektoriuje 1997 – 2021 metais [7]

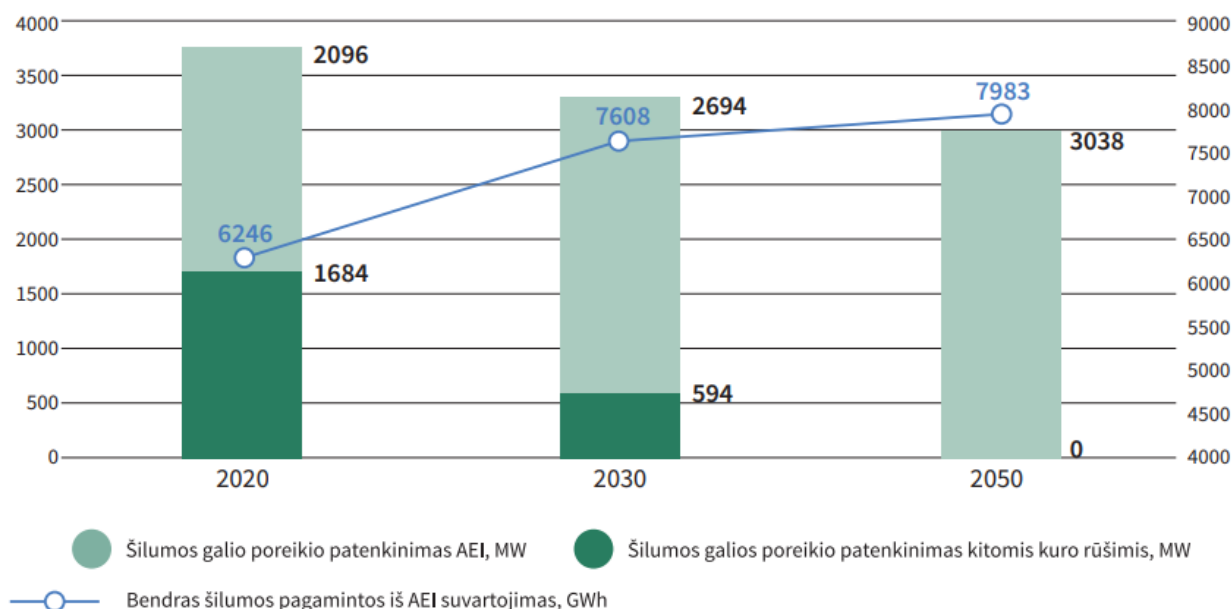
Pagrindinis nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos šilumos ūkio srityje tikslas – nuoseklus ir subalansuotas centralizuoto šilumos tiekimo sistemų atnaujinimas, įgalinantis užtikrinti efektyvų šilumos vartojimą, patikimą, ekonomiškai patrauklų tiekimą ir gamybą, sudarantis galimybę diegti modernias ir aplinkai palankias technologijas, naudojančias atsinaujinančius ir vietinius energijos išteklius, užtikrinantis sistemos lankstumą ir palankią terpę investicijoms [8].

Remiantis gerąja ES ir šalto klimato šalių praktika, Lietuvoje turi būti skatinamas perėjimas prie ketvirtosios kartos (4G) centralizuotos šilumos tiekimo [9].

Vykdamas šilumos ūkio sritys Lietuvoje plėtrą, siekiama, kad:

- iki 2020 metų iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta centralizuotai tiekama šiluma sudarytų 70 proc. visos centralizuotai tiekiamos šilumos [9];
- iki 2030 metų iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta centralizuotai tiekama šiluma sudarytų 90 proc. visos centralizuotai tiekiamos šilumos [9];
- iki 2050 metų iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta centralizuotai tiekama šiluma sudarytų iki 100 proc. visos centralizuotai tiekiamos šilumos ir ne mažiau kaip 90 proc. miestuose esančių pastatų būtų aprūpinama šiluma iš centralizuoto šilumos tiekimo sistemų [9].

Lietuvos tikslai šilumos ir vėsinimo sektoriuje yra nelengvai įgyvendinami, tačiau glaudžiai susiję su energetiniu efektyvumu. Planuojama, jog iki 2030 m. energijos poreikis mažės tiek centralizuoto, tiek decentralizuoto šilumos tiekimo srityje. Didžiausią įtaką šiems pokyčiams turės diegiamos modernios technologijos bei pastatų renovacija. Įgyvendinus numatytas priemones, gali būti pasiekta ir didesnė AEI dalis šilumoje ir vėsinime nei numatyta šiuo metu [9].



2 pav. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemų galios poreikio patenkinimas pagal kuro rūšį [LEI]

Tarptautinės energetikos agentūros rekomendacijos Lietuvos valdančiosioms institucijoms:

- sutelkti viešąjį ir privatųjį finansavimą, įskaitant ES lėšas, priimant tvirtą politiką, pavyzdžiui, aukcionų schemas, kad būtų stiprinama Lietuvos ekonomika ir įgyvendinami tikslai energetikos ir klimato srityje.
- užbaigti elektros ir dujų rinkų atvėrimą, reformuoti energetikos ir aplinkosaugos mokesčius ir rinkliavas, skatinti energetikos technologijų inovacijas, kartu siekiant padidinti konkurencingumą ir paspartinti perėjimą prie švarios energijos technologijų.
- stiprinti energetikos ir klimato valdymą, kad būtų galima nuolat peržiūrėti tikslus, stebėti pažangą ir įgyvendinti NEKP. Atnaujinti NEKP atsižvelgiant į ES ir nacionalines klimato neutralumo tikslus.
- intensyviau koordinuoti veiksmus su kaimyninėmis Baltijos ir Šiaurės šalimis rengiant ir įgyvendinant klimato ir energetikos politiką, įskaitant poveikį elektros energijos, dujų ir naftos tiekimo saugumui, taip pat kibernetiniam saugumui.

1.3. CŠT sistemų modernizavimo priemonės

2019 m. AEI dalis Lietuvos CŠVT sektoriuje sudarė apie 72 %, tad siekiant iki 2030 m. mažiausiai 18 % padidinti AEI naudojimą CŠVT, planuojama diegti naujas ir (ar) modernizuoti esamas nedidelės galios AEI naudojančias technologijas (pvz.: biokuro katilai, biokuro kogeneracinės jėgainės), keisti senus ir nusidėvėjusius biokuro katilus kitomis atsinaujinančios energijos išteklius naudojančiomis

technologijomis. Prioritetą planuojama tiekti AEI deginančių kogeneracinių jėgainių bei didelio efektyvumo biokuro katilų su šilumos siurbliais ar talpyklomis, diegimui. Taip pat planuojama skatinti aplinkos energijos panaudojimą CŠVT sistemose, diegiant saulės energiją naudojančias technologijas, įrengiant šilumos siurblius ir trumpalaikio bei ilgalaikio saugojimo šilumos talpyklas, padėsiančias labiau išnaudoti šilumos gamybos pajėgumų potencialą. Taip pat planuojama skatinti liekamosios energijos (atliekinės šilumos ir vėsumos, susidarančios, pvz.: pramonėje, vandenvalos ar atliekų sektoriuje, vėsinimo sistemose ar elektrinėse) panaudojimas CŠVT sektoriuje. Investuojant į projektus, planuojama sumažinti CO₂ emisijas apie 50 tūkst. t. Pirmumas suteikiamas centralizuoto šildymo bei vėsumo tiekimo sistemoms, kuriose AEI dalis šilumos gamyboje sudaro ne daugiau kaip 90 %. Pirmieji saulės šilumos, šilumos siurblių, talpyklų, atliekinės energijos surinkimo, vėsumos tiekimo technologijų projektai bus įgyvendinami kaip bandomieji projektai. Šioms priemonėms įdiegti 2021 – 2027 m. planuojama tiekti parama, skirstant pagal priemonių rūšį [10]:

atsinaujinančiai vėjo energijai planuojama skirti 139871 EUR;

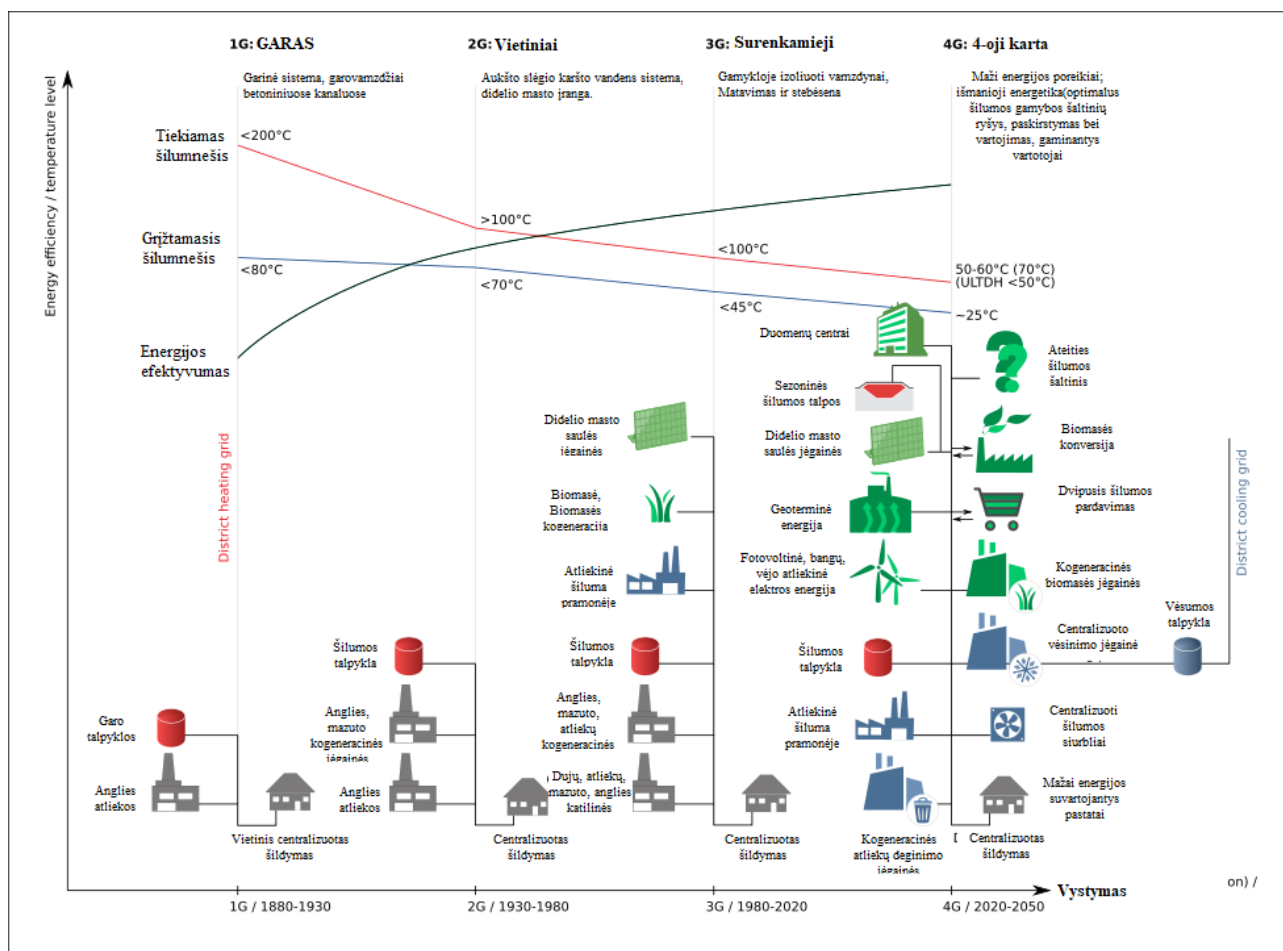
atsinaujinančiai saulės energijai - 88 405 204 EUR;

atsinaujinančiai biomasės energijai - 3 720 000 EUR;

atsinaujinančiai biomasės energijai, kurią naudojant itin sumažinamas išmetamas ŠESD kiekis – 6 000 000 EUR;

kitai atsinaujinančiai energijai (įskaitant ir geoterminę energiją) – 24 255 000 EUR;

pažangioms energijos sistemoms (įskaitant IRT bei pažangiuosius tinklus) bei susijusiam kaupimui – 1 645 544 EUR.



3 pav. CŠT tinklų kartos ir jose naudojamos technologijos [12]

Renkantis modernizuoti senus, ar įdiegti naujus energijos gamybos įrenginius, verta atsižvelgti į planuojamos paramos dydį kiekvienai atsinaujinančios energijos rūšiai.

Kaip matoma 3 paveiksle, norint pasiekti aukštesnį energijos panaudojimo efektyvumą, reikia sumažinti tiekiamo bei grįžtamojo šilumnešio temperatūrą bei sumažinti jų temperatūrų skirtumą iki 25 °C – 35 °C.

Priemonės, skirtos padidinti centralizuoto šilumos tiekimo tinklo efektyvumą, bei atnaujinti jį iki 4 – osios kartos, gali būti:

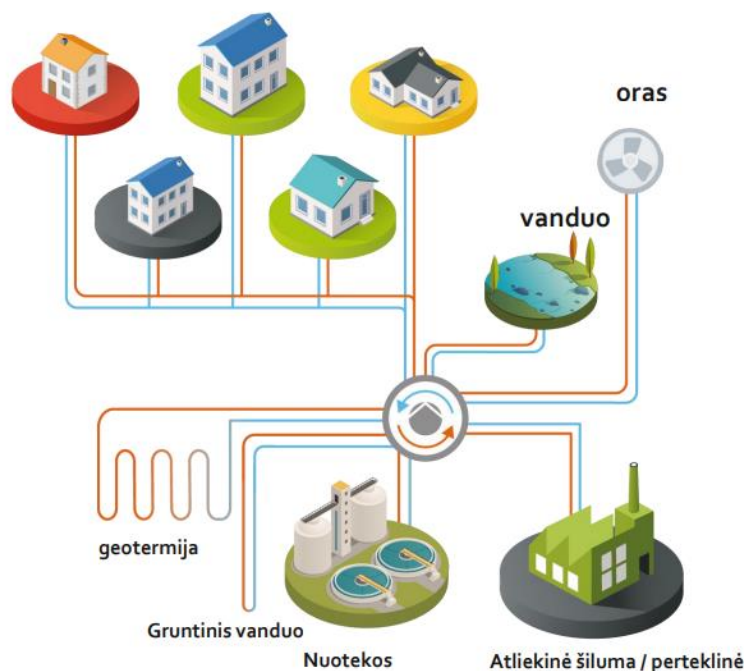
- centralizuoti bei decentralizuoti šilumos siurbliai;
- sezoninės bei trumpalaikės šilumos akumuliacijos talpos su saulės kolektoriais;
- kogeneraciniai įrenginiai;
- pažangiųjų tinklų sistemos.

1.3.1. Šilumos siurbliai CŠT sistemose

Šilumos siurbliai yra perspektyvi centralizuoto šildymo sistemų technologija, nes siūlo efektyvų ir aplinkai nekenksmingą šildymo sprendimą. Šilumos siurblys veikia paimdamas šilumą iš žemos temperatūros šaltinio, pavyzdžiui, oro, žemės, vandens ar kito energijos šaltinio, ir pakeldamas ją iki aukštesnės temperatūros, tinkamos šildymui ar karštam vandeniui ruošti. Šis procesas vykdomas

naudojant šaldymo agentą, kuris keliaudamas šilumos siurblio ciklu garuoja ir kondensuojasi, perduodamas šilumą.

Neseniai atliktoje analizėje TEA apskaičiavo, kad norint pasiekti tikslą iki 2050 m. pasiekti nulinių išmetamųjų teršalų kiekį, pastatų sektoriuje kasmet reiktų nuo dabar iki 2050 m. vidutiniškai 4-5 proc. per metus padidinti energijos vartojimo intensyvumą. Dabartiniai pastatai turėtų būti paruošti nuliniam išmetamųjų teršalų kiekiui (t. y. efektyvūs ir galintys veikti su nuliniu išmetamųjų teršalų kiekiu, kai tinklai bus dekarbonizuoti). Reiktų įrengti daugiau kaip 1,8 mlrd. šilumos siurblių ir 1,2 mlrd. terminių saulės kolektorių sistemų, taip pat apie 7500 TWh į pastatus integruotos fotovoltinės energijos sistemų. (IEA 2021b) [13].



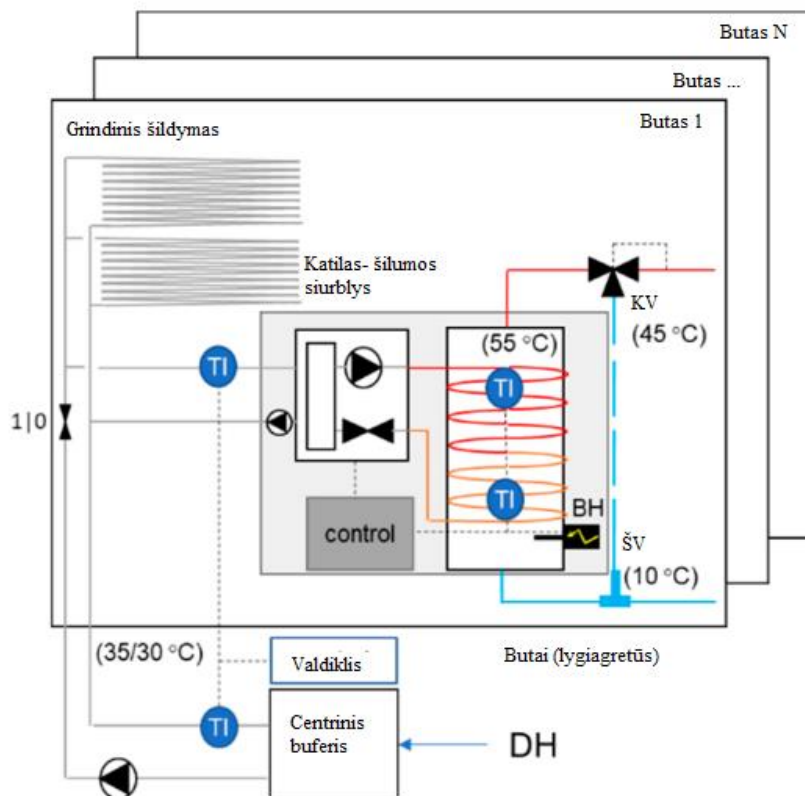
4 pav. Galimi energijos šaltiniai šilumos siurbliui

Galimos skirtingos šilumos siurblių integracijos į CŠT kombinacijos:

- CŠT + centralizuotas šilumos siurblys (oras, žemė, vanduo, atliekinė šiluma);
- CŠT + šilumos siurblys pastatui / kvartalui, skirtas patalpų šildymui;
- CŠT + šilumos siurblys pastatui / kvartalui, skirtas karšto vandens ruošimui;
- CŠT + decentralizuotas, arba kitaip, oras – vanduo šilumos siurblys butui, skirtas karšto vandens ruošimui;
- CŠT + decentralizuotas, arba kitaip, stiprinantysis šilumos siurblys butui, pakeliantis CŠT tiekiamos energijos potencialą, skirtas karšto vandens ruošimui (mažos išlaidos);
- šilumos siurblys pastatui ar kvartalui patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui (be CŠT);
- decentralizuotas, arba kitaip, oras – vanduo šilumos siurblys butui, skirtas patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui (be CŠT) [14].

Įprastai Lietuvoje tiekiamo į CŠT šilumnešio temperatūra siekia iki 120 °C šildymo sezono metu bei apie 60-70 °C ne šildymo sezono metu bei grįžtamo vandens temperatūra siekia apie 50°C bei 40 °C atitinkamai, priklausomai nuo šilumos tiekėjo patvirtinto temperatūrinio grafiko.

Decentralizuotieji šilumos siurbliai gali būti integruojami kvartalams ar butams naudojant žemos temperatūros paskirstymo sistemą [15]. Mažai energijos naudojančiuose pastatuose karštam vandeniui ruošti paprastai reikia 60 °C srauto temperatūros, o patalpų šildymas gali būti užtikrinamas ir esant žemesnei temperatūrai. (pvz., 35 °C su grindiniu šildymu). Decentralizuotais šilumos siurbliais butams galima tiekti 50-55 °C temperatūros butinį karštą vandenį[14].

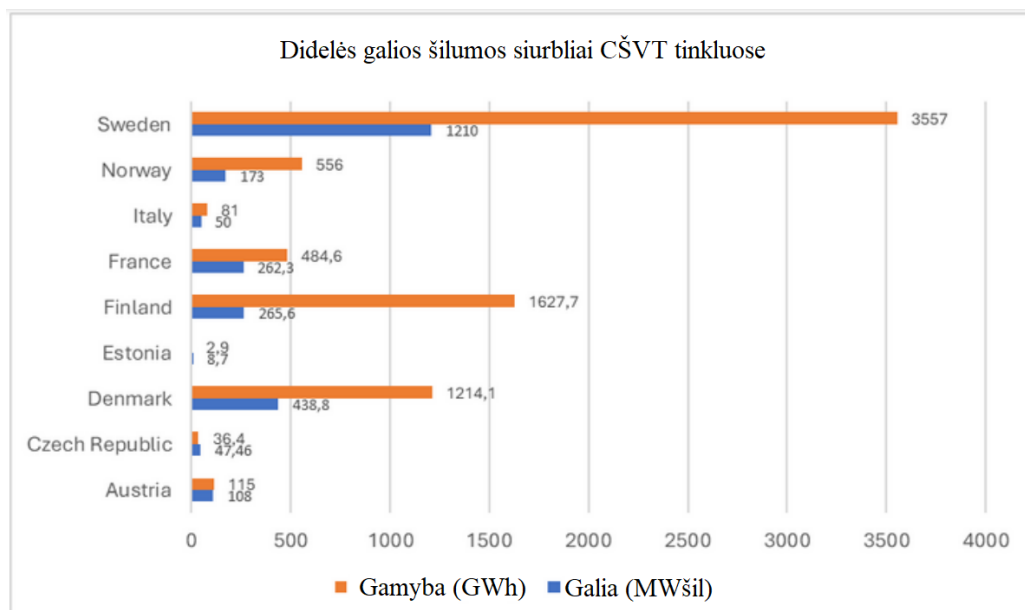


5 pav. Supaprastinta hidraulinė stiprinančio šilumos siurblio schema [14]

Egzistuoja skirtingi vadinamųjų stiprinančiųjų decentralizuotų šilumos siurblių variantai. Dažnai sutinkama tokio tipo šilumos siurblio versija schematiškai pavaizduota 5 paveiksle.

Butai šildomi centralizuotai, t. y., CŠT sistema. Butuose yra įrengta žematemperatūrinė grindinio šildymo sistema. Centralizuotai tiekama šiluma iš buferinės saugyklos reguliuojama pagal grįžtamąją temperatūrą. Kiekviename iš butų yra decentralizuota papildoma, buitiniam karštam vandeniui ruošti skirta sistema. Ją sudaro nedidelis (1,5 kW šiluminės galios) vanduo - vanduo šilumos siurblys ir įprastai 120 - 150 l talpos buitinio karšto vandens rezervuaras. Šilumos siurblio garintuvas lygiagrečiai prijungtas prie grindinio šildymo atšakų. Paprastai yra papildomas (1,2 kW) šildymo elementas, jei reikia rezervinio šildymo. Vasarą, grindinio šildymo kontūrai naudojami šilumai iš kondicionuojamos patalpos paimti (t. y. patalpoms vėsinti), o papildomas šildymo elementas įjungiamas tik tada, kai grindinio šildymo temperatūra nukrenta žemiau nustatytos ribos arba kai kondicionuojamoje patalpoje nebegalima užtikrinti komforto sąlygų. Taigi vasarą iš centralizuoto šilumos tiekimo sistemos naudojamas nežymus šilumos kiekis.

2021 m. duomenimis, EUROheat & Power šalys narės patvirtino, jog bendra įrengtoji šilumos siurblių galia CŠVT sistemose siekia 2,5 GW ir sudaro apie 1 proc. bendros šilumos gamybos įrenginių galios [16].



6 pav. Didelės galios šilumos siurbLIAI CŠT tinkluose [16]

1.3.2. Saulės energija pagaminta šiluma CŠT sistemose

Saulės kolektoriai dažnai naudojami karštam buitiniam vandeniui tiekti bei patalpų šildymui, privačiose namų karšto vandens ruošimo sistemoms namų ūkiuose visoje Europoje. Ši technologija yra gerai išplėtotą, ir jai keliama aukšti reikalavimai. Saulės kolektoriai gerai veikia ir šaltesnio klimato zonose. Pasaulyje didelės šiluminės galios saulės kolektorių jėgainės ($>350 \text{ kW}_{\text{šil}}$, $>500 \text{ m}^2$) buvo sėkmingai įrengtos 299 CŠT sistemose, kurių bendra šiluminė galia siekia $1,645 \text{ GW}_{\text{šil}}$, o plotas – $2,35 \text{ mln. m}^2$.

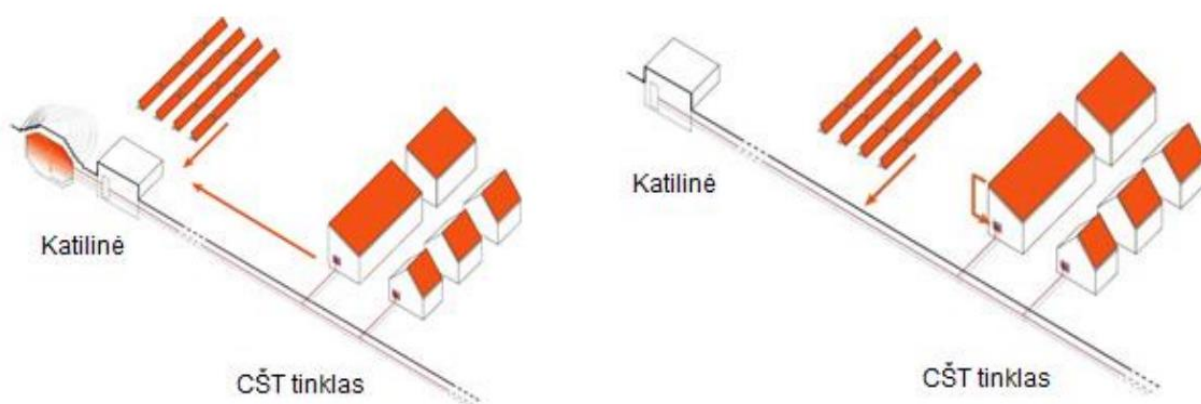
Saulės energija naudojama kogeneracijos sistemose, kuriose naudojamos didelės saulės šilumos surinkimo sistemos, kad pagaminta šiluma būtų tiekiama į CŠT tinklą. Saulės kolektoriai montuojami ant žemės arba ant pastatų stogų. Šiuo metu didžiausia įrengtoji šiluminių elektrinių galia yra 110 MW . Saulės energija paprastai patenkina iki 20 % metinio šilumos poreikio. Naudojant dideles sezonines šilumos akumuliacijos sistemas, kurios taip pat naudojamos šilumos ir elektros energijos gamybai subalansuoti, saulės energijos dalį galima padidinti iki 50 %. Jau šiandien naudojant terminių saulės kolektorių sistemas galima pasiekti konkurencingas šilumos kainas. Kainų konkurencingumo padidėjimas yra sąlygotas saulės jėgainių CŠT sistemoms įrengimo masto bei technologijų tobulinimo.

Danija pagal naudojamų saulės kolektorių plotą bei įrengtų sistemų kiekį (125 sistemos) pasaulyje yra lyderiaujanti valstybė, antroje vietoje yra Kinija su $279,3 \text{ tūkst. m}^2$ saulės kolektorių bei 41 sistema. Taip pat verta paminėti Vokietiją, kurioje įrengta 45 sistemos, o kai kuriose iš jų veikia sezoninės šilumos akumuliacijos talpos. Saulės šilumos kolektorių sistemos CŠT sistemose taip pat įrengtos Švedijoje (24 sistemos), Austrijoje (22 sistemos), Lenkijoje bei Prancūzijoje (po 8 sistemas) [17].

Arčiausiai Lietuvos įrengta ir eksploatuojama didelės galios saulės šilumos kolektorių sistema CŠT tinkle yra Salaspilyje, Latvijoje. Joje įrengtų kolektorių plotas siekia 21672 m², įrengtoji šiluminė galia – 15 MW_{šil} [17].

Galimi keli būdai integruoti saulės šilumos kolektorius į CŠT (7 paveikslas):

- centralizuotas kolektorių jungimas, kuomet saulės kolektoriai prijungti prie katilinės sistemos (kairėje);
- decentralizuotas kolektorių prijungimas, kuomet saulės kolektoriai prijungiami tiesiogiai prie centralizuoto šilumos tiekimo tinklo (dešinėje).



8 pav. Saulės šiluminių kolektorių integracija į CŠT tinklą [18]

Pirmaujančios rinkos		1	2	3
Saulės energija CŠT sistemose Nauji įrenginiai 2021 m. [MW _m]		Kinija	Prancūzija	Danija
Saulės šilumos energija pramonei Nauji įrenginiai 2021 m. [MW _m]		Kinija	Prancūzija	Meksika
Kombinuotos fotovoltinės/šiluminės saulės jėgainės, veikiančios 2021 [MW _m / MW _{peak}]		Prancūzija	P.Korėja	Kinija
Saulės oro šildymo sistemos Veikiančios 2020 m. [MW _m]		Kanada	Australija	Japonija
Baseinų šildymo saulės energija jėgainės veikiančios 2021 m. [MW _m]		JAV	Brazilija	Australija

Photos: GRENoneTEC, TVP Solar; AST Eis- und Solartechnik GmbH, DualSun, SolarWall Conservall Engineering Inc.

7 pav. Saulės šilumos energijos rinkos lyderiai 2021 metais

8 paveiksle nurodytos lyderiaujančios pasaulio šalys pagal saulės panaudojimą šiluminės energijos gamybai, išskirstant sektoriais. CŠT sektoriuje 2021 m. didžiausią pažangą pagal šiluminės galios įrengimą [$\text{MW}_{\text{šil}}$] padarė Kinija, Prancūzija ir Danija. Nepaisant pandemijos, 2021 metais pastebėtas 3 proc. arba $21 \text{ GW}_{\text{šil}}$ augimas saulės šilumos sektoriuje.

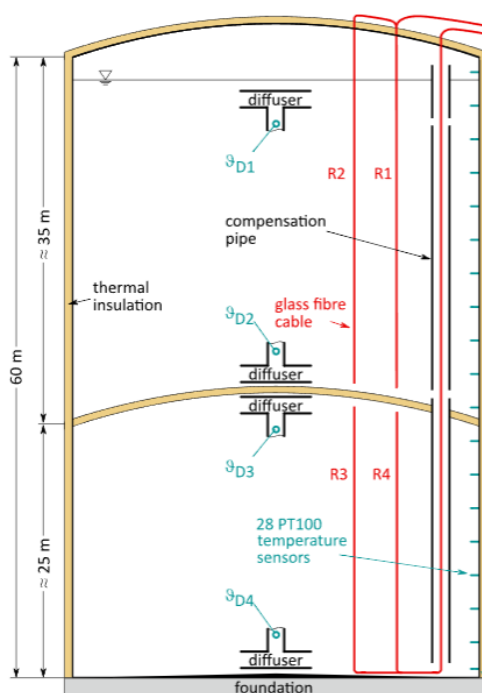
1.3.3. Šilumos akumuliacinės talpos CŠT sistemose

Šilumos akumuliacinės talpos leidžia naudoti lankstesnį šilumos gamybos režimą. Be to, ŠAT yra labai svarbi technologinio proceso dalis viena laikės elektros ir šilumos gamybos (kogeneracinėse) jėgainėse. Priklausomai nuo akumuliacinės talpos dydžio, gali būti, kad kogeneracinė jėgainė negamins elektros energijos už mažesnį supirkimo tarifą, o iš ŠAT bus tiekiama šilumos energija. Pakilus elektros energijos kainai, kogeneracinė jėgainė apkraunama nominaliai, o šilumos energijos perteklius panaudojamas ŠAT įkrovimui. Atsižvelgiant į labai nepastovias elektros energijos kainas, ŠAT veikimo režimas tampa vis svarbesnis. Šilumos akumuliacinės talpos dydis ir CŠT tinklo šilumos poreikis yra veiksniai, lemiantys, kiek laiko kogeneracinė jėgainė gali dirbti nepilnu šilumos gamybos režimu.

Trumpalaikė šiluminės energijos akumuliacija

Trumpalaikės šilumos akumuliacinės talpos yra neslėginiai rezervuarai, veikiantys prie atmosferinio slėgio. Rezervuarai yra gerai izoliuojami ir paprastai naudojami pikinių šilumos energijos poreikių padengimui. Tokiuose ŠAT temperatūra yra šiek tiek žemesnė nei 100°C . Kai kuriais atvejais, nebenaudojami mazuto rezervuarai modernizuojami, rekonstruojant juos į šilumos akumuliacines talpas CŠT sistemoms.

Slėginėse šilumos akumuliacinėse talpose karšto vandens temperatūra gali viršyti 100°C . Tai reikalinga vartotojų poreikiams tenkinti arba didelio potencialo energijai kaupti. Slėginėse ŠAT tame pačiame tūryje galima sukaupti didesnę kiekį šiluminės energijos, lyginant su neslėginėmis ŠAT. Dėl



9 pav. Dviejų zonų šilumos akumuliacinė talpa [18]

slėgio šio tipo rezervuarams taikomi slėginių indų techniniai reglamentai, bei sugriežtinti saugos reikalavimai, dėl ko padidėja gamybos bei priežiūros sąnaudos.

Pirmoji dviejų zonų šilumos akumuliacinė talpa pradėta eksploatuoti 2015 m. Niurnberge. Technologiją išrado Dr. Hedbäck, o vėliau užpatentavo Bilfinger VAM [19]. Šios technologijos ŠAT viršutinę vandens zoną nuo apatinės vandens zonos skiria lanksti membrana. Viršutinės zonos masė sukelia slėgį apatinėje talpos dalyje, kas įgalina akumuliuoti vandenį apatinėje zonoje aukštesnėje nei 100°C temperatūroje. Tuo tarpu viršutinėje zonoje vandens temperatūra yra žemesnė.

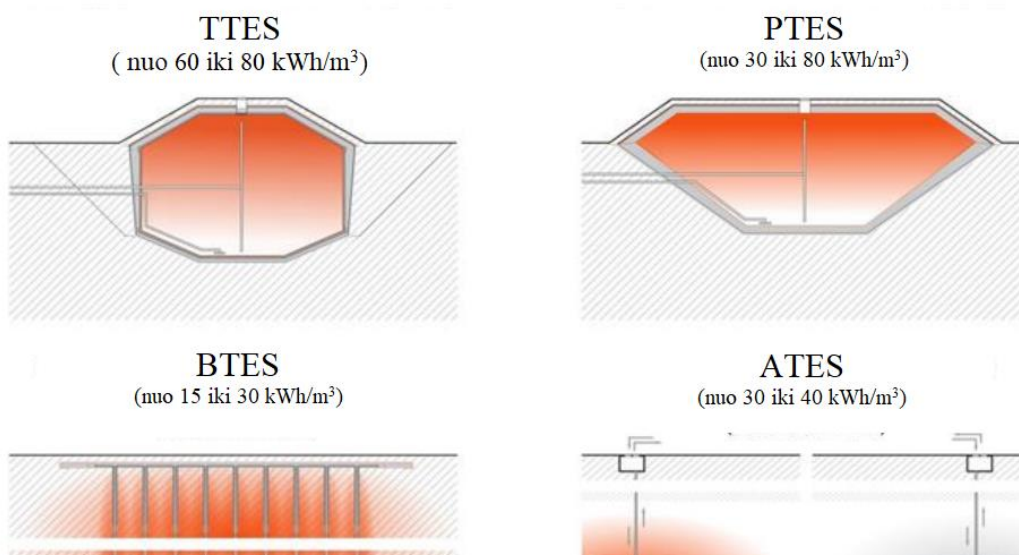
Lyginant su įprastomis atmosferinio slėgio šilumos akumuliacinėmis talpomis, dviejų zonų ŠAT privalumas – didesnis sukaupiamos energijos kiekis tame pačiame tūryje. Lyginant su slėginėmis ŠAT, dviejų zonų ŠAT privalumas – mažesnės išlaidos dėl mažesnių saugumo priemonių reikalavimų [19].

Sezoninė šiluminės energijos akumuliacija

Sezoninės šilumos akumuliacines talpas kaip tokias, kurios skirtos akumuliacijai nuo vienos savaitės iki vienerių metų. Išskiriami keturi pagrindiniai sezoninių ŠAT tipai:

- PTES, šiluminės energijos kaupimas iškastame rezervuare;
- BTES, šiluminės energijos kaupimas gręžiniuose, uždaro kontūro sistema;
- ATES, šiluminės energijos kaupimas vandeningame sluoksnyje, atviro kontūro sistema;
- TTES, šiluminės energijos kaupimas uždareame rezervuare.

PTES ir TTES energija kaupiama termofikaciniame apdorotame vandenyje, siekiant išvengti komponentų korozijos, ATES bei BTES šiluminės energijos kaupimo terpė yra dirva aplink gręžinius.



10 pav. Sezoninių šilumos akumuliacinių talpų tipai [21]

Karšto vandens saugyklos (TTES) atitinka trumpalaikes šilumos akumuliacines talpas, skirtas efektyviam energijos gamybos įrenginių balansavimui, tik didesniame mastelyje iki 10000 m³.

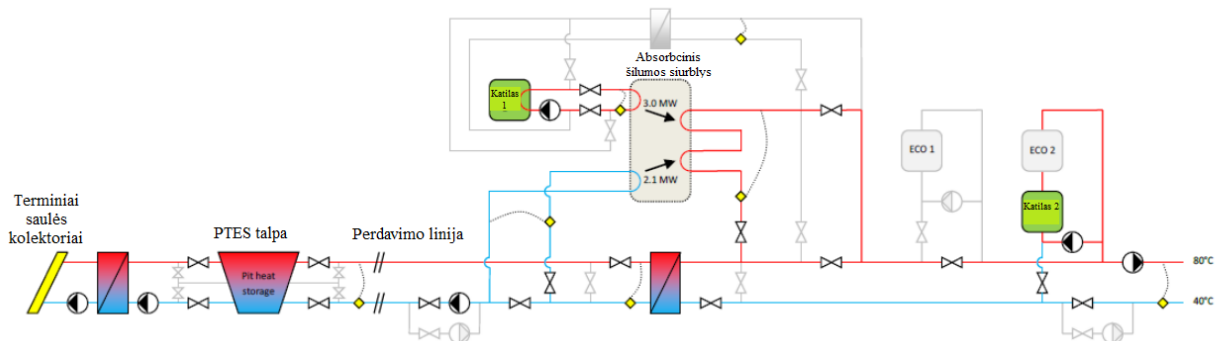
PTES, rezervuarinė talpa yra skirta akumuliuoti karštą vandenį ir turi keletą privalumų: nekenkia aplinkai, įgalina stratifikaciją (skirtingą termofikacinio vandens temperatūrą skirtinguose talpos sluoksniuose), didelę įkrovos bei iškrovos galią, geras šilumos perdavimo charakteristikas bei didelę savitosios šilumos talpą. Šio tipo talpyklos sparčiai populiarėja Danijoje ir naudojamos akumuliuoti apie 90°C vandenį ištisus metus, prie šių talpų prijungus saulės kolektorius, nuvedant perteklinę šilumą iš pramonės įmonių bei atliekų deginimo įmonių. Danijoje šio tipo talpos naudojamos sezoniniam šilumos akumuliacijai, nes didėjant šių talpų tūriui, mažėja santykinės investicijos bei santykiniai šilumos nuostoliai. Šių talpų tūris įprastai siekia 50000 – 500000 m³ atitinkamai energinė talpa 5000 – 40000 MWh [20].

11 paveiksle pavaizduota Dronninglundo miesto Danijoje šilumos gamybos įrenginių principinė schema [20]. Ją sudaro:

- 37573 m² saulės terminių kolektorių;
- 60000 m³ PTES šilumos akumuliacinė talpa;
- 2.1 MW_{vėsinimo} absorbcinis šilumos siurblys;
- bioalyvos katilas;
- dujinis katilas.

Absorbciniu šilumos siurbliu ataušinamas grįžtamasis vanduo į akumuliacinę talpą, kas ypač svarbu siekiant užtikrinti efektyvų saulės terminių kolektorių darbą.

Šio projekto dėka Dronninglundo gyventojams CŠT tinklu tiekiamą energiją yra pagaminama iš 70 proc. atsinaujinančių energijos šaltinių, iš kurių saulės energija sudaro apie 40 proc.



11 pav. Principinė PTES integravimo į CŠT tinklą schema

1.3.4. Kogeneracijos įrenginiai CŠT sistemose

Įprastai kogeneracija CŠT sistemose naudojama kaip būdas, siekiant efektyviai išnaudoti kuro energiją vienalaikiai elektros bei šilumos energijos gamybai. Tai įprastai buvo atliekama anglį, dujas naudojančiose termofikacinėse elektrinėse, tačiau griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams, ši technologija pradėta taikyti atliekų bei biokuro jėgainėse.

Dažniausiai elektros energijos gamyba kogeneracinėse jėgainėse pagrįsta Renkino ciklu.

Garų Renkino ciklas (GRC) – dažniausiai naudojama sistema elektros gamybai. Vanduo išgarinamas katilo kaitinamuose paviršiuose, perkaitinamas perkaitintuve. Besiplečiantis garas turbinoje generuoja radialinį judesį. Sukamas generatorius ir gaminama elektros energija. Atidirbęs turbinoje garas yra

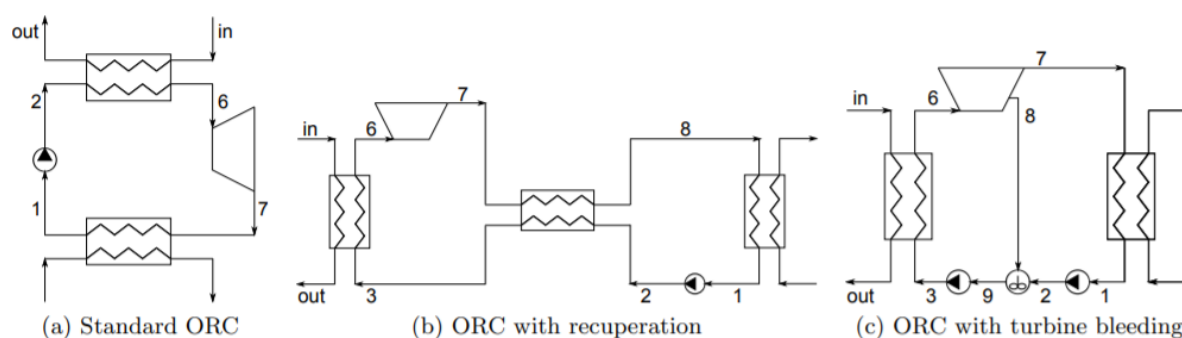
tiekiama į kondensatorių, kuriame yra sukondensuojamas į skystą būseną. Garo turbinos yra viena seniausių technologijų energijos gamybai [22].

ORC taikymas

Organinis Renkino ciklas yra Renkino ciklas, kuriame naudojamas organinis fluidas. Daugelis organinių fluidų pasižymi žemesne kritine temperatūra nei vanduo. Tai padaro juos tinkamesniais elektros gamybai naudojant žemesnio potencialo šilumos šaltinius.

Subkritiniai ir transkritiniai ORC

Išskiriami ciklai yra: subkritinis, transkritinis bei superkritinis. Subkritiniame cikle slėgis visuomet žemiau fluido kritinio slėgio ribos, o superkritiniame cikle slėgis viršija kritinį slėgį. Tuo tarpu transkritiniame cikle žemo slėgio sritis yra žemiau kritinio slėgio, o aukšto slėgio sritis viršija kritinį slėgį.

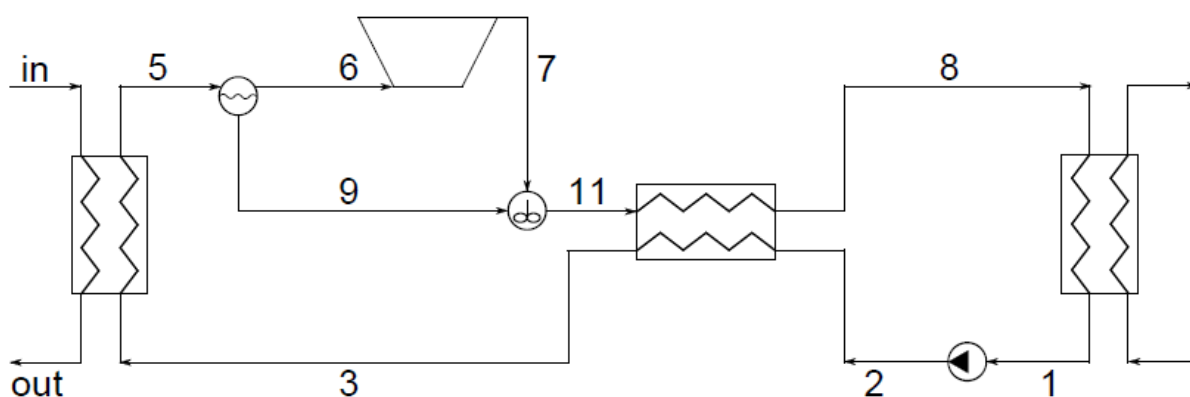


12 pav. Skirtingos ORC konfigūracijos: Standartinė ORC(a), ORC su rekuperatoriumi (b), ORC su nuėmimu turbinoje (c). Šilumnešio įvadas pažymėtas „in“, išvadas „out“

12 paveiksle pateikiamos trys ORC konfigūracijos. Šios konfigūracijos gali būti subkritinės bei transkritinės, priklausomai nuo maksimalaus slėgio cikle. Standartiniame ORC (12a pav.) pakeliamas darbinio fluido slėgis ($1 \rightarrow 2$), fluidas šilumokaityje išgarinamas šilumos šaltinio pagalba ($2 \rightarrow 6$), išplečiamas turbinoje ($6 \rightarrow 7$) ir sukondensuojamas kondensatoriuje ($7 \rightarrow 1$). Dažnai būsenoje Nr. 7 organinis fluidas yra aukštos temperatūros, taigi gali būti naudojamas rekuperatorius naudingai šilumai atgauti (2b pav.) Tokia konfigūracija pagerintų ciklo efektyvumą, nes tai pačiai galiai pasiekti būtų sunaudojamas mažesnis šilumos kiekis. Kitas metodas tinkamas efektyvumo padidinimui – turbino nuėmimo įdiegimas (2c pav.). Dalis darbinio fluido (būseną Nr.8) yra nuimama iš turbino vidutinio slėgio zonoje ir sumaišoma su būseną Nr.2, taip gaunant būseną Nr. 9. Tuomet darbinis fluidas suslegiamas iki aukšto slėgio ($9 \rightarrow 3$) ir tuomet ciklas tęsiamas analogiškai kaip ir standartiniame ORC [23].

Kalina ciklas

Kalina ciklas yra toks Renkino ciklas, kuriame naudojamas amoniako ir vandens mišinys. Šio mišinio amoniako koncentracija kinta cikle. Tipinė Kalina ciklo schema, visuomet turinti rekuperatorių, pavaizduota 13 paveiksle. Būsena Nr. 1, turi vidutinę amoniako koncentraciją x_{int} yra suslegiamas iki aukšto slėgio ($1 \rightarrow 2$), pašildomas rekuperatoriuje ($2 \rightarrow 3$) ir kaitinamas šilumnešiu ($3 \rightarrow 5$). Taškas Nr. 5 yra dvifazėje būsenoje ir garinė dalis (taškas 6 su aukšta amoniako koncentracija x_{high}) yra atskiriamas nuo skysčio dalies (taškas 9 su žema amoniako koncentracija x_{low}) separatoriuje. Būsena Nr. 6 yra išsiplečia turbinoje ($6 \rightarrow 7$), sumaišoma su būsena Nr. 9 ($7+9 \rightarrow 11$), atvėsinama rekuperatoriuje ($11 \rightarrow 8$) ir sukondensuojama kondensatoriuje. ($8 \rightarrow 1$). Dažnai naudojamas antras rekuperatorius šilumokaitai tarp 9 ir 3 būsenos, tačiau konkrečiame pavyzdyje pateikiama schema su vienu rekuperatoriumi [23].



13 pav. Kalina ciklo veikimo schema. Šilumnešio įvadas pažymėtas „in“, išvadas „out“

Kaip aukščiau pastebėta, organinio Renkino ciklo principas yra labai panašus į garo Renkino ciklą, tačiau jame naudojamas nebe vandens garas, o organinis fluidas. Šis darbinis agentas apibrėžia, kokia technologija turi būti panaudota - elektros energijos gamyba ar energijos atgavimo sistema [24]. Darbinis fluidas yra viena svarbiausių dalių termodinaminių savybių apibrėžimui, ekonominiam ir techniniam jėgainės lankstumui. Pasirinkimo kriterijai turi patenkinti termodinامينius poreikius, suderinamumą, ekonomiškumą bei aplinkosauginį aspektą.

1 lentelė. Potencialūs darbiniai fluidai ORC pritaikymui [25].

Pritaikymo sritis	$T_{\text{kondensacijos}} [C]$	$T_{\text{garintuvo}} [C]$	Galimi fluidai	Rekomenduojami fluidai
Atliekinės šilumos panaudojimas	30-50	120	R11, R113, R114	R113
neapibrėžiama	35-60	80-110		RC123, R124
Atliekinės šilumos panaudojimas	30	150-200	RC123, HFE 7100, benzenas, p-ksilenas	Benzenas, RC123
Vidaus degimo varikliai	55-100	60-150	H ₂ O, RC123, izopentanas, R245ca, R245fa, butanas, izobutanas, R152a	H ₂ O, R245ca, izobutanas
Kogeneracija	90	250-350	Butil-benzenas, propil-benzenas, etil-benzenas,	Butyl-benzenas

			Toluene, OMTS, Amoniakas, R123, PF5050	
Neapibrėžiama	40-60	220-350	HMDSO, OMTS, HMDSO/OMTS	HMDSO/OMTS
Saulės energija	45	120-230	H ₂ O, n-pentanas	n-dodekanas

ORC jėginių pritaikomumas kogeneracijai nuolat auga, atliekama daugelis mokslinių tyrimų šio ciklo efektyvumo didinimui. Organinio Renkino ciklo technologija yra gerai ištirta ir gali būti efektyviai pritaikoma geoterminei bei biokurą deginančiose jėgainėse, turinčiose žemo potencialo šilumos šaltinius. Vienas pagrindinių veiksnių, stabdančių šios technologijos realizaciją – ilgas atspirkimo laikas bei valstybių paramos stoka [26].

1.3.5. Branduolinė energija CŠT sistemose

Pastaruoju metu energetikoje dedamos pastangos dekarbonizuoti sektorių. Pagrindinės naudojamos priemonės – saulės ir vėjo jėgainės iš dalies sprendžia šią problemą elektros gamybos srityje, tačiau ne mažiau svarbi energetikos sritis vidutinio klimato bei šiaurės šalyse – šilumos sektorius. Siekiant sumažinti išmetamo anglies dvideginio kiekį į atmosferą, reikalinga ieškoti alternatyvų iškastiniam kurui. Viena jų – branduolinė energija.

Šiuo metu Europoje veikiančios branduolinės jėgainės, teikiančios šilumos energiją į CŠT tinklus ir pramonei, nurodomos 2 lentelėje.

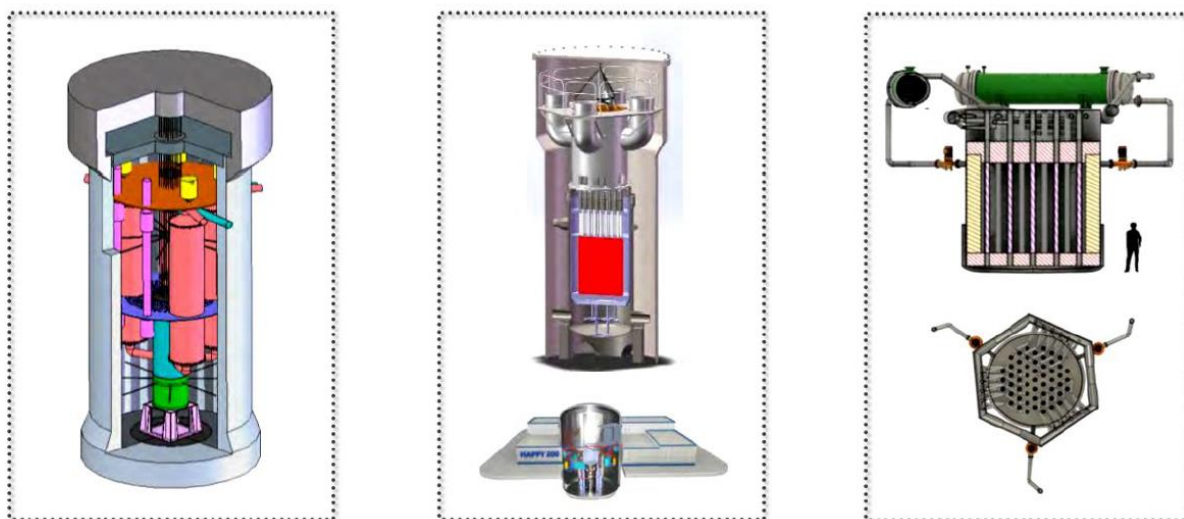
2 lentelė. Veikiančios branduolinės jėgainės, tiekiančios šilumos energiją į CŠT tinklus [27].

Valstybė	Pavadinimas	Reaktoriaus tipas	Elektrinė galia
Bulgarija	Kozloduy	2x VVER-1000	2080 MW
Čekija	Temelin	2x VVER-1000	2164 MW
Vengrija	Paks	4x VVER-440	2027 MW
Rumunija	Cerna voda	2x CANDU-6	1411 MW
Slovakija	Bohunice	2x VVER-440	1000 MW
Šveicarija	Beznau	2x WH 2LP PWR	760 MW
Ukraina	Rovno	2x VVER-440 2x VVER-1000	2835 MW
	Pietų Ukrainos	3x VVER-1000	3000 MW
	Zaporizės	6x VVER-1000	6000 MW

Šiuo metu Temelin jėgainė yra vienintelė šilumos energiją į CŠT tinklus tiekianti branduolinė jėgainė Čekijoje. Šios jėgainės šiluminė energija tiekama artimiausiam 8000 gyventojų turinčiam miesteliui Týn nad Vltavou, tačiau šiuo metu tiesiamos 26 km ilgio šiluminės trasos į 100000 gyventojų turinčius Česke Budejovicus. Šios jungties pagalba tikimasi padengti trečdalį (apie 210 TWh_{šil}) miesto šiluminės energijos poreikio [28].

Svarstoma, jog Dukovany branduolinė jėgainė taip pat galėtų būti panaudota šiluminės energijos tiekimui į antrą pagal dydį Čekijos miestą Brno. Ši jėgainė nuo Brno yra nutolusi per 41 km, šiuo metu trasos yra ankstyvoje projektavimo stadijoje [29].

Vis daugiau šalių atsigręžiant į branduolinę energetiką, kaip klimato kaitos nesukeliantį energijos gamybos būdą, vystomi įvairios galios ir paskirties branduoliniai reaktoriai. Tarptautinės branduolinės energetikos agentūros leidinyje paminima 70 vystomų branduolinių reaktorių, 4 iš jų – išskirtinai šilumos energijos gamybai. Pirmasis – jau nebevystomas konceptas RUTA-70, du iš jų – šiuo metu vystomi Kinijoje – DHR400 bei HAPPY200. Paskutinis – Čekijoje vystomas TEPLATOR. 14 paveiksle matomos preliminarios reaktorių vizualizacijos [30].



14 pav. DHR 400 (kairėje), HAPPY200 (viduryje), TEPLATOR (dešinėje) vizualizacijos [30]

Šie branduoliniai šiluminiai reaktoriai pasižymi skirtinga šilumine galia, naudojama kuro rūšimi bei slėgiu. DHR400 yra lengvuju vandeniu valdomas ir aušinamas 400 MW_{šil} galios reaktorius, veikiantis esant atmosferiniam slėgiui bei tiekiantis 98 °C temperatūros karštą vandenį. Šiame reaktoriuje bus naudojamas mažiau nei 5 proc. įsotintas uranas-235. Toks pats kuras naudojamas ir HAPPY200 reaktoriuje, kurio šiluminė galia - 200 MW_{šil}, darbinis slėgis sieks 0.6 – 0.8 MPa bei vandens temperatūra reaktoriaus išvade – 120 °C. Tuo tarpu 50 MW_{šil} galios reaktoriuje TEPLATOR pasitelkiama sunkiojo vandens moderacija ir naudojami VVER-440 kuro mazgai [30].

70 proc. pagamintos šilumos energijos 11 iš 12 didžiausių Čekijos miestų pagaminta deginant iškastinį kurą [31]. Panaudojus branduolinių jėgainių atliekinę šilumos energiją, būtų prisidedama prie šilumos sektoriaus dekarbonizacijos. Toks pavyzdys galėtų būti pritaikomas ne tik Čekijoje, bet ir kitose valstybėse su išvystytu CŠT tinklu, taip išvengiant anglies dvideginio emisijų bei tausojant biomasę.

Dėl savo specifikos, branduoliniai reaktoriai nėra pritaikyti būti vieninteliu ir pagrindiniu šilumos gamybos šaltiniu CŠT sistemose, dėl žiemos bei vasaros sezonų metu keliskart svyruojančio šiluminės energijos poreikio. Galimas reaktorių panaudojimas, padengiant bazinius miesto šilumos poreikius ne šildymo sezono metu, perteklinę šilumos energiją talpinant akumuliacinėse talpose, tuo tarpu šildymo sezono metu naudojant biokuro katilines, padidėjusiam šiluminės energijos poreikiui tenkinti.

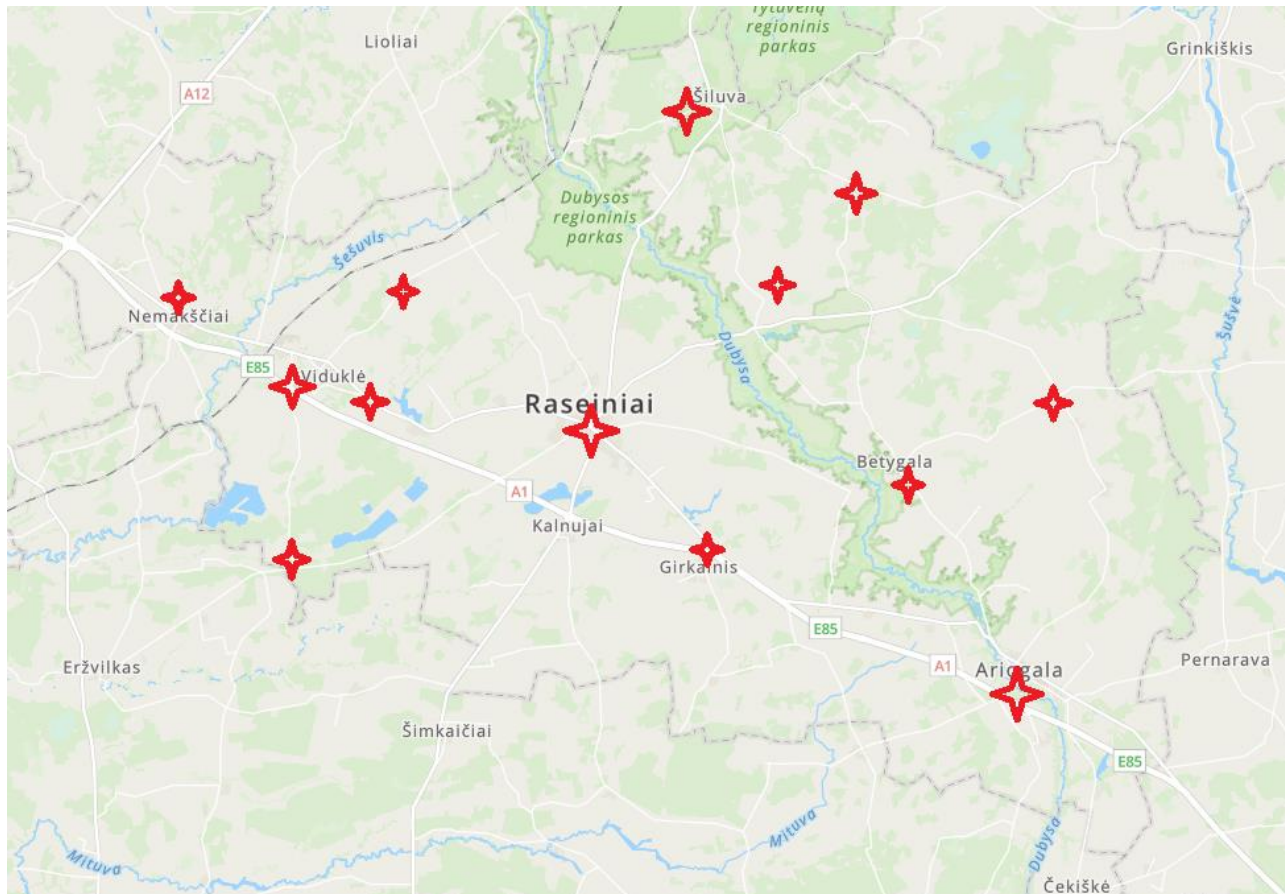
Visgi branduolinė energetika kelia specifinių iššūkių, tokių kaip saugus panaudoto kuro sandėliavimas, nesukeliant žalos aplinkai bei saugumo visuomenei užtikrinimas.

2. Esamos padėties analizė

2.1. Šilumos šaltiniai

UAB „Raseinių šilumos tinklai“ yra vienintelė centralizuoto šilumos tiekimo įmonė Raseinių rajone, kurios akcininkas – Raseinių rajono savivaldybė. Raseinių katilinė pradėjo veikti jau 1973 m.

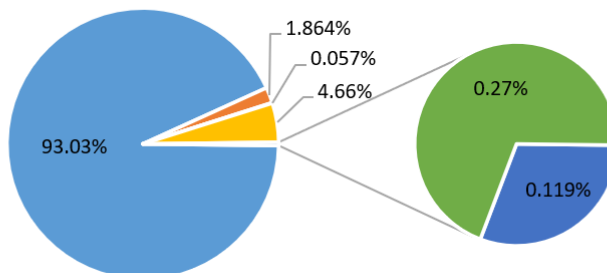
Bendrovė valdo 18 Raseinių rajone esančių katilinių, esančių 13 skirtingų miestų bei miestelių, iš kurių 10 yra mokyklų katilinės. Šis katilinių išdėstymas gerokai išaugina eksploatacines sąnaudas.



15 pav. UAB "Raseinių šilumos tinklai" valdomų katilinių žemėlapis

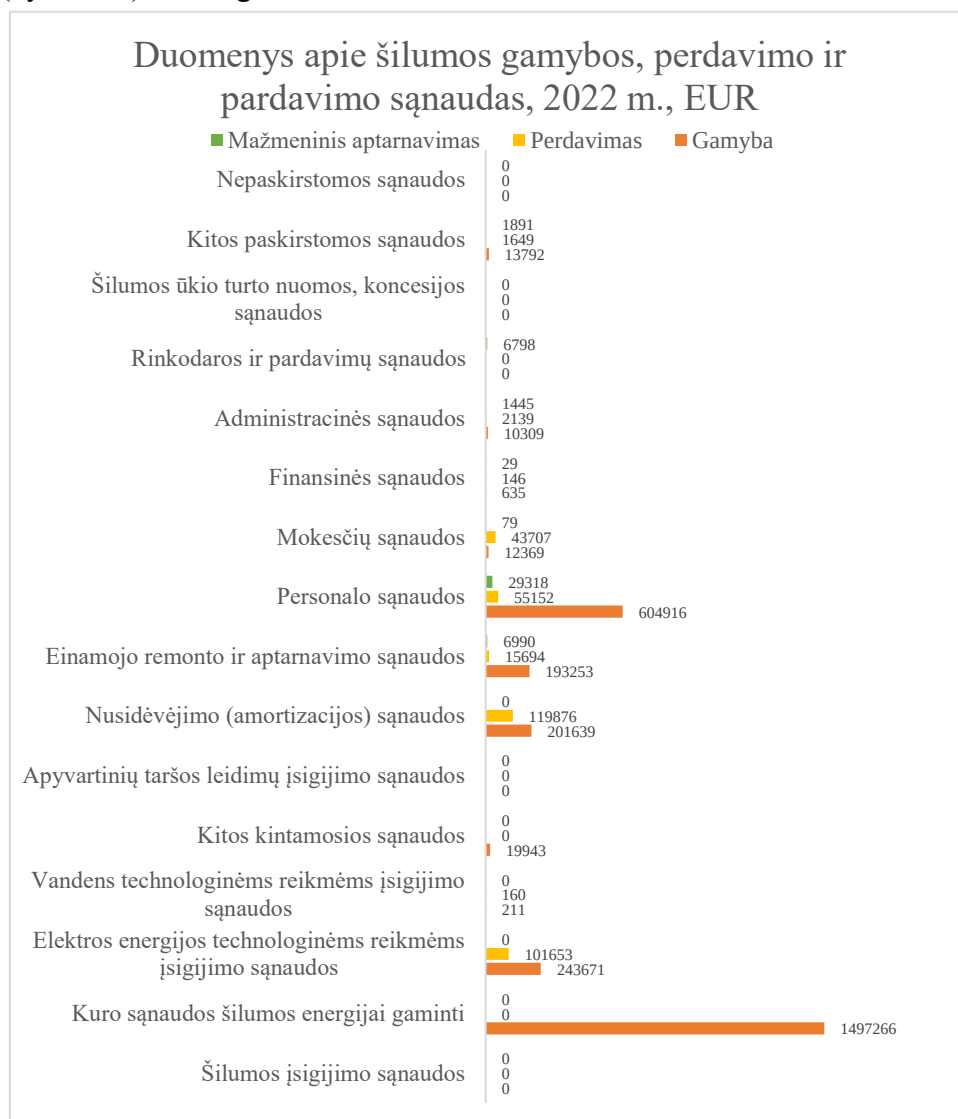
Suvaroto kuro dalis, proc. 2022 m.

■ Biokuro mišinys ■ Durpės ■ Mazutas
■ Granulės ■ Skystasis kuras (dizelinas) ■ Grūdų išvalos



16 pav. CŠT įmonėje sudeginto kuro dalis 2022 m.

Iš 2022 metais 18 šilumos gamybos objektų viso sudeginto kuro kiekio, 93,03 % sudarė biokuro mišinys, 4,66 % medienos granulės, 1,86 % durpės, 0,27 % sudarė grūdų išvalos, 0,119 % skystasis kuras (dyzelinas) ir sudeginto mazuto dalis siekė 0,057 %.



17 pav. CŠT įmonės sąnaudų pasiskirstymas 2022 m.

Kaip matoma iš duomenų 17 paveiksle, pagrindinės CŠT įmonės sąnaudos buvo skirtos personalui, nusidėvėjimui bei elektrai technologinėms reikmėms. Daugiausia išlaidų patirta kurui, iš kurio gaminama šilumos energija, įsigyti. Ši suma siekė 1 497 266 EUR. Palyginimui, 2020 m. bei 2021 m. ši suma siekė 516 780 EUR bei 763 418 EUR atitinkamai. Taigi galima teigti, jog kilusi energetikos krizė paveikė ne tik iškastinio, tačiau ir biokuro sektorių.

3 lentelė. Šilumos generavimo įrenginiai, sumontuoti Raseinių miesto katilinėje

Eil. Nr.	Šilumos generavimo įrenginio duomenys	Įrenginio tipas	Įrenginio sumontavimo metai	Instaliuota šilumos generavimo galia****	
				MW	t/h garo
1	2	3	4	6	7
1	Raseinių katilinė				
	Katilas Nr. 1	DKVR 4/13	1981	2,7	4
	Katilas Nr. 2	DKVR 4/14	1981	2,7	4
	Katilas Nr. 3	KVGM20/150	1994	20	
	Katilas Nr. 4	VŠK-3	2007	3	
	Katilas Nr. 5	VŠK-7	2007	7	
	Katilas Nr. 6	VŠK-5	2014	5	
	Kondensacinis ekonomizeris prie biokuro katilo Nr. 6	DKE 1318„AxisIndustries"	2014	1,25	
				41,65	8

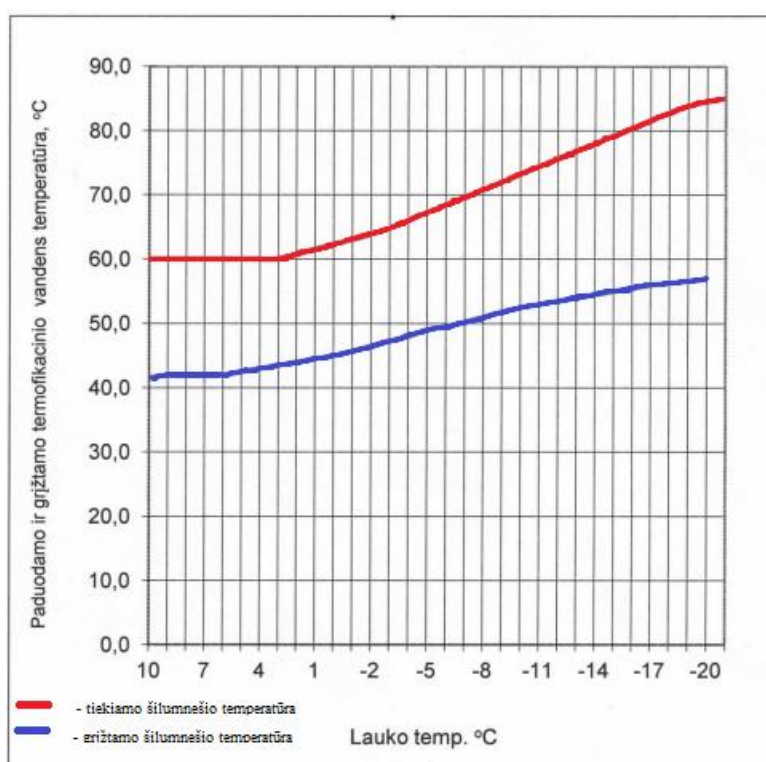
CŠT bendrovėje veikia, kaip anksčiau paminėta, 18 katilinių. Nagrinėjamu atveju pasirinkta Raseinių miesto katilinė, kurioje sumontuoti 6 šilumos gamybos įrenginiai, iš jų šiuo metu eksploatuojami 2006 m. sumontuoti verdančio tipo VŠK–3, VŠK-7 biokuro katilai bei 2014 m. įrengtas VŠK-5 biokuro katilas su dūmų kondensaciniu ekonomizeriu DKE 1318. Sumontavus šiuos šilumos gamybos įrenginius, 100 proc. Raseinių katilinėje pagaminamos šilumos yra išgaunama deginant biokurą. Katilai DKVR 4/13 bei DKVR 4/14 yra skirti naudoti iškastinį kurą (mazutą), taigi dėl šios priežasties nebėra eksploatuojami.

2.2. CŠT sistemos vamzdynai

Raseinių miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklo vamzdynų bendras ilgis siekia 15,67 kilometro. Kitų bendrovės CŠT tinklų ilgis Ariogalos m. siekia 5,16 km, Viduklės m. – 2,17 km bei Raseinių rajone – 0,957 km. Nuo 2006 m. UAB „Raseinių šilumos tinklai“ pradėjo vykdyti CŠT tinklų renovaciją keičiant susidėvėjusius magistralinių tinklų vamzdynus į pramoniniu būdu izoliuotus vamzdžius. 2015 metais įmonė įgyvendino 2010 metais pradėtą ES struktūrinių fondų remiamą projektą „Raseinių rajono centralizuoto šilumos tiekimo tinklų modernizavimas diegiant šiuolaikines technologijas“, taip Raseinių mieste atnaujinant 8,8 km magistralinių bei kvartalinių šiluminių trasų bei įdiegiant Raseinių miesto monitoringo (centralizuoto šilumos tiekimo tinklo modeliavimo ir valdymo) sistemą.

4 lentelė. Raseinių m. CŠT vamzdinių ilgių pagal skersmenis

Sąlyginis skersmuo, DN	Ruožo ilgis, m
25	137,9
32	256,4
40	201,1
50	1251,4
65	833,4
80	2006,0
100	2488,1
125	860,4
150	2515,8
200	821,8
250	1759,3
300	997,8



18 pav. Miesto tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūrinis grafikas

Bendras atnaujintų trasų ilgis – 11,042 km, kas sudaro apie 70 % visų miesto šiluminių trasų. Pritaikius modernizavimo priemones šilumos tiekimo (perdavimo) nuostoliai siekė 19,65 proc. Nors šis rodiklis ir 6 procentais perkopia Lietuvos vidurkį, tačiau gali būti pagerintas atnaujinus likusius 30 procentų šiluminių trasų, kurios nėra izoliuotos pramoniniu būdu.

2.3. Šilumos energijos gamyba ir suvartojimas

5 lentelė. Pagamintos ir suvartotos šilumos suvestinė 2021 m.

Mėnuo	Šilumos poreikis šildymui, MWh	Šilumos poreikis karštam vandeniui, MWh	Šilumos tiekimo (perdavimo) nuostoliai, MWh	Gamyba, Iš viso, MWh
Sausis	3739	499	887	5125
Vasaris	3800	459	591	4850
Kovas	2981	511	519	4011
Balandis	1899	488	484	2871
Gegužė	531	487	562	1580
Birželis	0	493	273	766
Liepa	0	445	237	682
Rugpjūtis	0	515	236	751
Rugsėjis	369	463	356	1188
Spalis	1458	464	657	2579
Lapkritis	2410	478	521	3409
Gruodis	3596	485	1175	5256
Viso:	20783	5787	6498	33068

Raseinių mieste bendrovė aptarnauja 91 pastatą, bendras centralizuoto šilumos tiekimo sistema apšildomų patalpų plotas siekia 132 376 m².

2.4. Elektros energijos suvartojimas

Raseinių katilinėje 2022 m. suvartotas elektros energijos kiekis:

6 lentelė. Raseinių katilinėje suvartotos elektros energijos kiekis

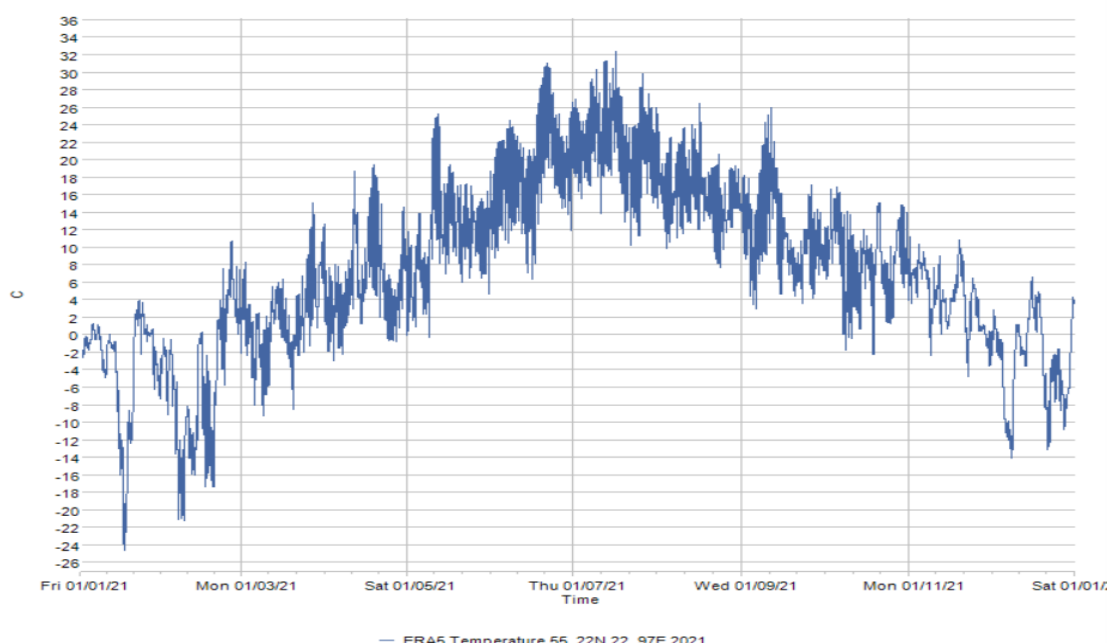
Elektros energijos suvartojimo sritis	Suvartotas kiekis, kWh
Gamybai	675481
Savo poreikiams	15200
Lauko tinklams	287000
Antenoms (radijo bangų transliavimas)	6220
Viso:	983901

3. Metodinė dalis

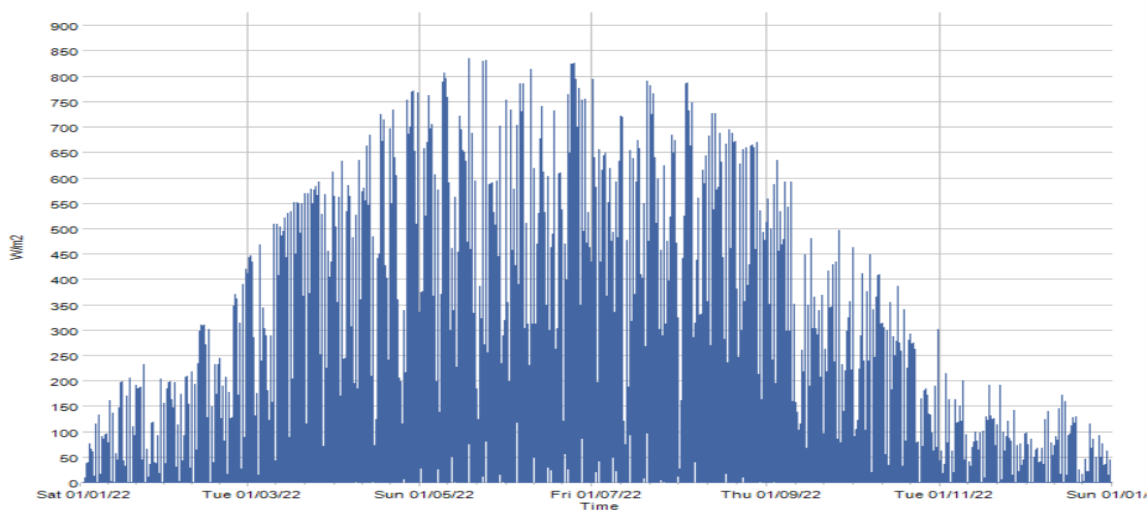
Šioje projekto dalyje pateikiami teoriniai šilumos gamybos bei vartojimo modeliai pritaikant skirtingas katilinės modernizavimo technologijas.

Modeliai sudaryti naudojant energyPRO 4 programinės įrangos paketą. "EnergyPRO" programinė įranga naudojama išsamiai techninei energetikos projektų analizei atlikti ir naudotojui pateikia projekto apžvalgą. Be daugybės techninių ir ekonominių ataskaitų, duomenys pateikiami grafiškai vaizduojant sumodeliuotą situaciją.

Raseinių rajono lauko oro temperatūros ir saulės spinduliuotės valandinių duomenų laiko eilutės gautos iš ERA5 paviršiaus duomenų rinkinio energyPRO programoje. Šie duomenys gaunami iš ES finansuojamo projekto „Copernicus Climate Change Service (C3S)“, valdomo Europos vidutinės trukmės orų prognozių centro (ECMWF).

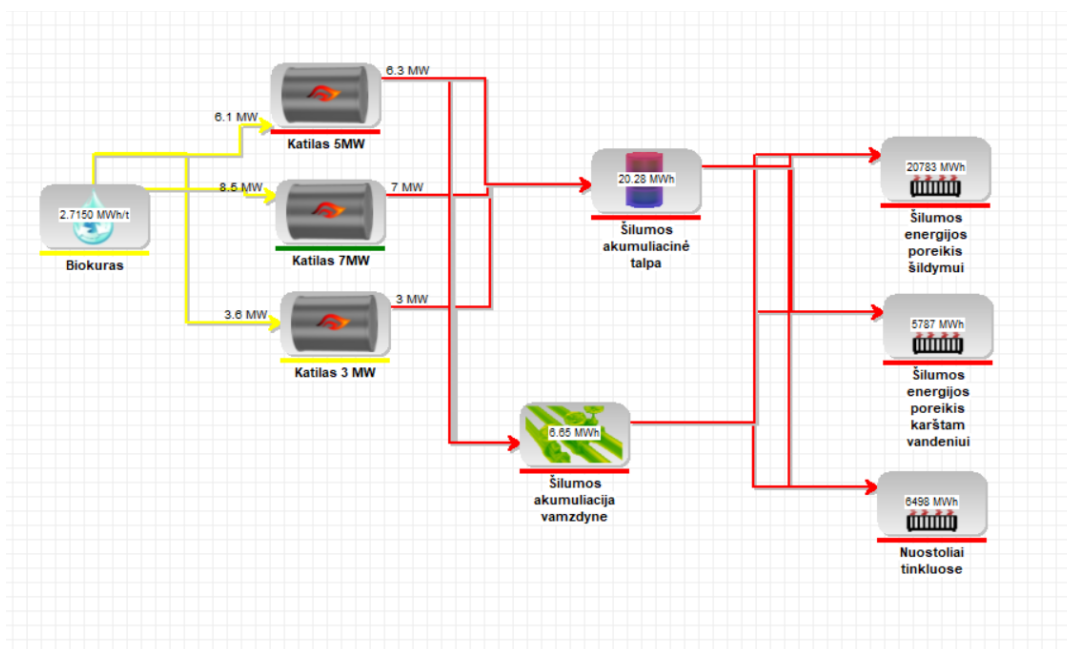


19 pav. Oro temperatūra Raseiniuose 2021 m.



20 pav. Saulės spinduliuotės intensyvumas Raseiniuose 2021 m.

3.1. Biokuro katilinės modernizavimas įdiegiant šilumos akumuliacinę talpą.



21 pav. Miesto katilinės schema su integruota šilumos akumuliacine talpa

Šiame modelyje vertinama šilumos akumuliacinės talpos įdiegimo į miesto biokuro katilinės sistemą galimybė ir atliekami modeliavimo atvejai su skirtingais akumuliacinės talpos variantais:

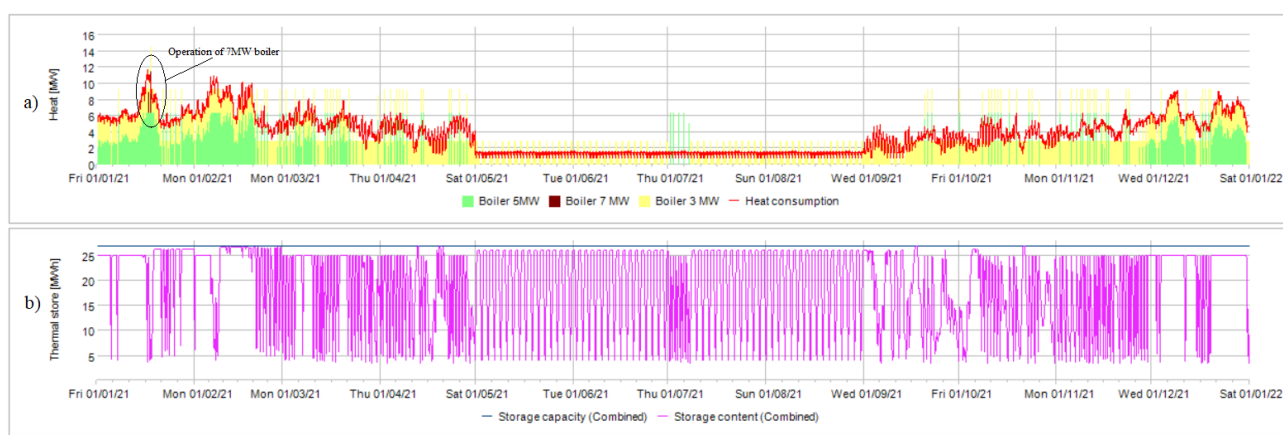
- 500 m³
- 1000 m³
- 1500 m³
- 2000 m³
- 2500 m³
- 3000 m³

7 lentelė. Techniniai parametrai, priklausantys nuo talpos dydžio

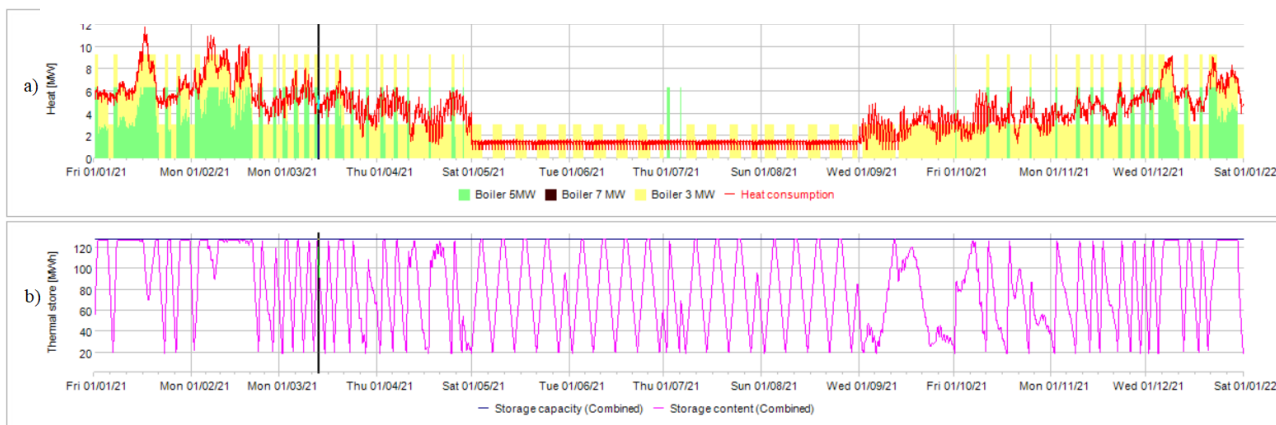
ŠAT talpa, m ³	Teoriniai katilų įsijungimai			Kuro suvartojimas, t	Katilų metinė darbo trukmė, h			Investicijų dydis, k€ [17]
	3 MW	5 MW	7 MW		3 MW	5 MW	7 MW	
500	62	133	3	13618,9	7636	2740	9	225
1000	43	85	1	13625,2	7467	2585	3	270
1500	32	62	0	13628,1	7370	2501	0	330
2000	26	49	0	13632,7	7324	2471	0	400
2500	23	45	0	13636,6	7281	2381	0	450
3000	20	38	0	13639,2	7259	2298	0	450

Remiantis gautais duomenimis, sudaryta lentelė Nr. 7. Joje atspindi katilinės darbo režimų pasikeitimas, keičiant modeliuojamos akumuliacinės talpos tūrį. Galima pastebėti, jog teorinis biokuro katilų įsijungimų skaičius bei metinė darbo trukmė nuosekliai mažėja, didėjant akumuliacinės talpos tūriui. Taip pat pastebėta, jog 7 MW katilo poreikis sumažėja iki 0 valandų per metus, įdiegus akumuliacinę talpą nuo 1500 m³.

22 bei 23 paveiksluose pavaizduoti grafikai parodo, jog 500 m³ šilumos akumuliacinė talpa gali būti naudojama trumpiems, pikiniams šiluminės energijos poreikiams padengti, taigi teorinis 5 MW katilo įsijungimų skaičius išlieka didelis. Talpoms nuo 1500 m³ iki 3000 m³, teorinis 5 MW katilo įsijungimų skaičius sumažinamas, o aukščiau paminėto 7 MW katilo poreikis sumažėja iki 0 valandų per šildymo sezoną. 3000 m talpos užkrovimo trukmė siekia maždaug 24 valandas naudojant 5 MW katilą šildymo sezonu bei apie 56 valandas naudojant 3 MW katilą. Kasmetinio 3 MW katilo remonto metu didesnio tūrio akumuliacinės talpos įgalina 5 MW katilą ilgesnį laiką dirbti optimaliu režimu.



22 pav. Šilumos gamybos ir vartojimo grafikas su 500 m³ akumuliacine talpa

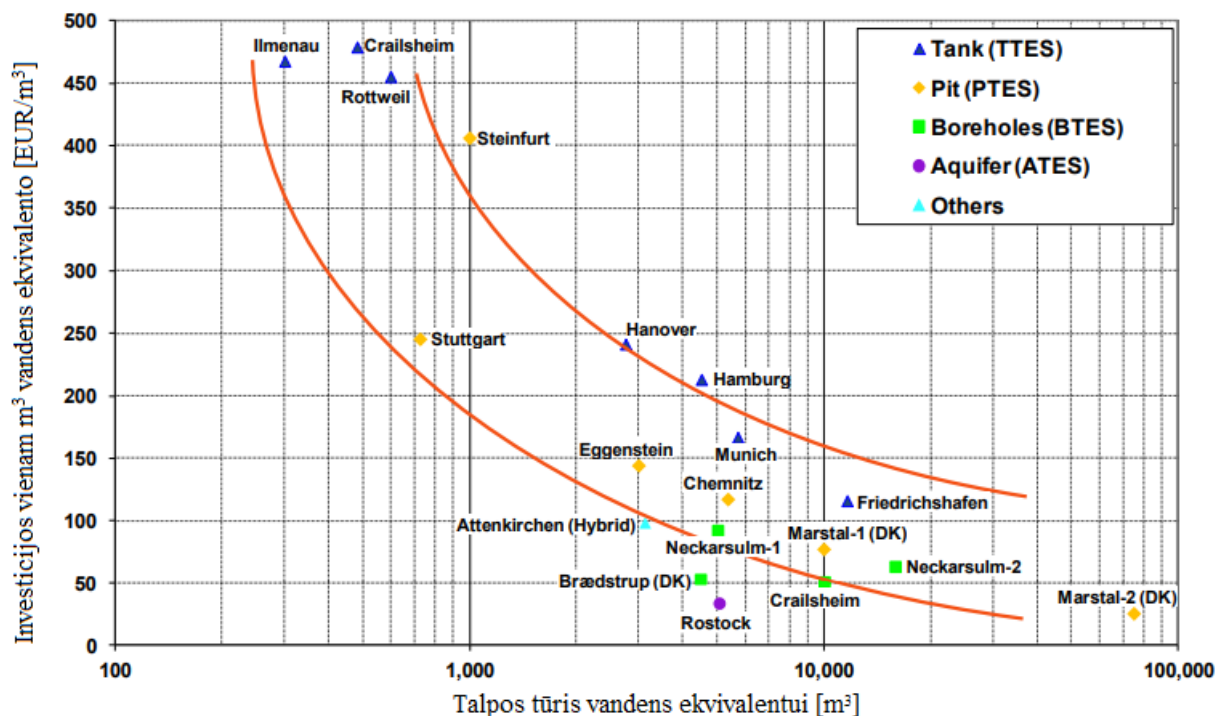


23 pav. Šilumos gamybos ir vartojimo grafikas su 3000 m³ akumuliacine talpa

Investicijos į šilumos akumuliacines talpas nustatytos remiantis Danijos energetikos agentūros duomenimis. Taigi, kaip nurodyta 4 lentelėje, investicijos šilumos akumuliacinėms talpoms nuo 500 m³ iki 3000 m³ įrengti siekia nuo 225 000 EUR iki 450 000 EUR. Didėjant akumuliacinės talpos tūriui 6 kartus, investicijų kaštai padvigubėja dėl santykinų investicijų sumažėjimo didėjant talpai.

Remiantis modeliavimo duomenimis, didėjant akumuliacinės talpos tūriui, pastebimas kuro suvartojimo katilinėje didėjimas. Akumuliacinės talpos sumontavimas biokuro jėgainėje sumažintų

teorinį katilų įsijungimų skaičių, taip potencialiai padidinant biokuro katilinės įrenginių patikimumą, tačiau tai įvertinti pinigine išraiška be eksperimentinių bandymų yra sudėtinga. Šiuo metu katilinėje sumontuoti šilumos generavimo įrenginiai atitinka CŠT sistemos poreikius ir šilumos akumuliacinės talpos įrengimas net su parama nėra ekonomiškai patrauklus.

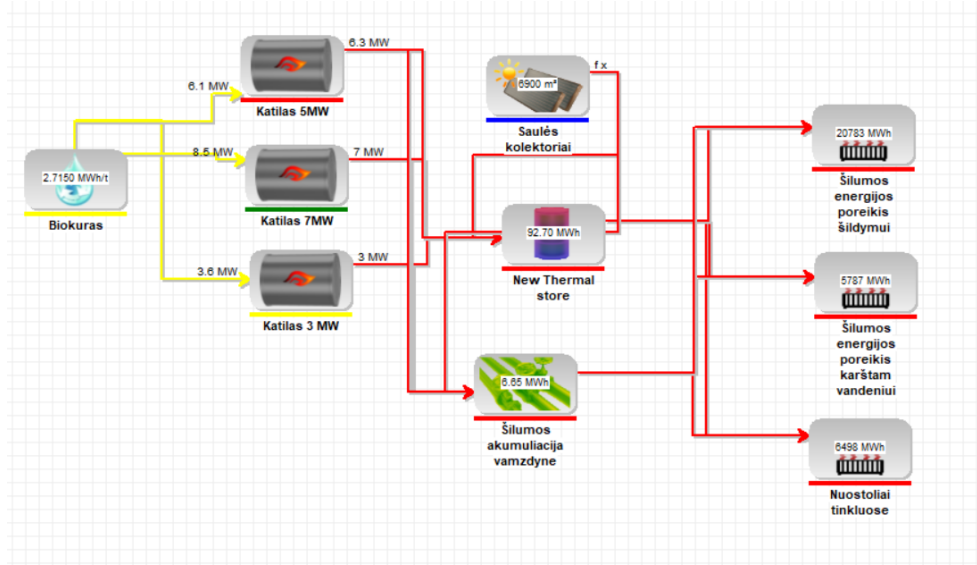


24 pav. Santykinių investicijų priklausomybė nuo talpos tūrio kitimo

3.2. Biokuro katilinės modernizavimas įdiegiant plokščiuosius saulės kolektorius

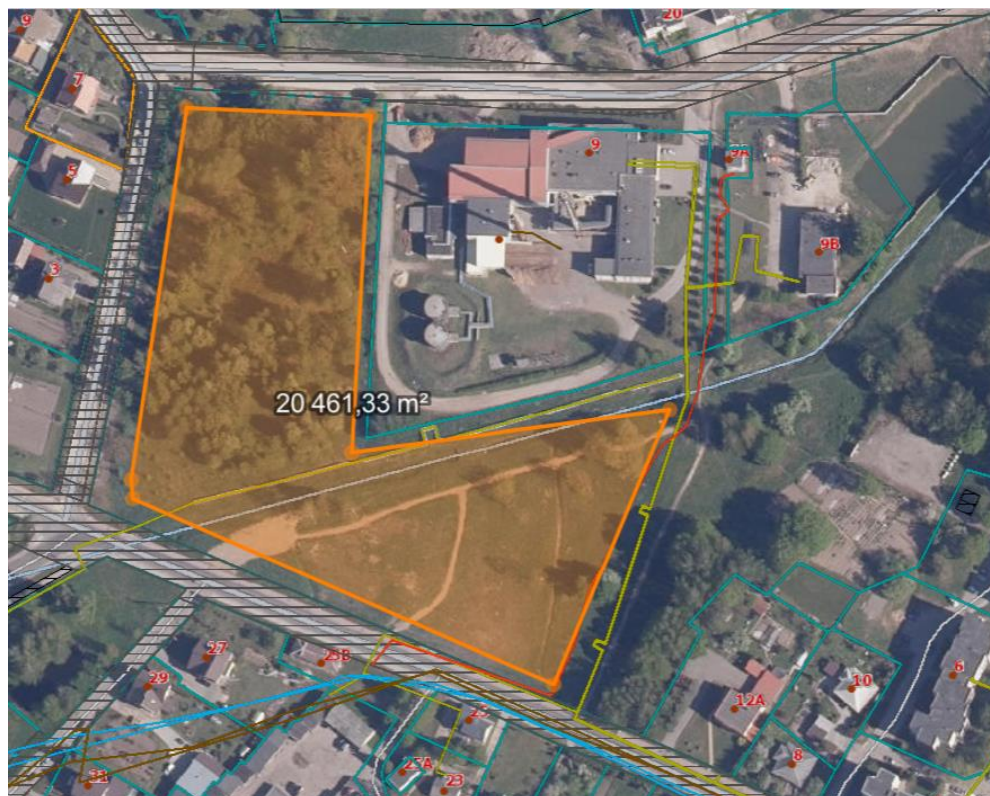
Kaip rodo literatūros apžvalga, terminių saulės šilumos kolektorių įdiegimas yra vienas iš CŠT sistemos pagerinimo būdų.

Energy PRO programine įranga sukuriamas katilinės modelis su plokščiaisiais saulės kolektoriais:



25 pav. Miesto katilinės schema su saulės kolektoriais

Katilinės teritorijoje pažymėtas plotas, kuriame potencialiai galėtų būti įrengta saulės kolektorių jėgainė:



26 pav. Išmatuota preliminarinė teritorija saulės kolektorių įrengimui

Saulės kolektorių skaičiavimui (be kritimo kampo modifikatoriaus) naudojama formulė:

$$Y = A * (I_s * n_0 - a_1 * (t_m - t_a) - a_2 * (t_m - t_a)^2) \quad (1)$$

čia: Y - Šilumos gamyba, W

A - Saulės kolektorių plotas, m²

I_s - Saulės spinduliuotė į saulės kolektorių, W/m²

t_m - Kolektorių vidutinė temperatūra °C, kuri yra įtekančios į kolektorių ir ištekančios iš kolektoriaus temperatūrų vidurkis

t_a - Aplinkos temperatūra, °C. Geriausiems rezultatams pasiekti turi būti pateikiami valandiniai duomenys.

Saulės kolektorių efektyvumas nustatomas pagal tris parametrus:

n₀ - Maksimalus kolektorių efektyvumas, -

a₁ - Pirmos eilės koeficientas saulės kolektorių efektyvumo lygtyje, W/m²°C

a₂ - Antros eilės koeficientas saulės kolektorių efektyvumo lygtyje, W/m²°C

Šiuos 3 parametrus galima nustatyti kolektoriams, išbandytiems pagal ASHRAE standartus ir įvertintiems SRCC (ASHRAE, 2003; SRCC, 1995), taip pat kolektoriams, išbandytiems pagal naujausius Europos saulės kolektorių standartus (CEN, 2001).

Size and Position

Total area of collectors

Inclination of solar collector degree

Orientation of solar collector (Deviation from South) degree

Collector specification

Start efficiency (η_0)

Loss coefficient (a_1) $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$

Loss coefficient (a_2) $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)^2$

Incidence angle modifier

☐ Coefficient
☒ K_θ at 50 degree

Select Input Time Series

Ambient temperatures

Radiation on horizontal plane

☒ Aggregated Radiation
 ☐ Direct and Diffuse Radiation

Aggregated radiation

Collector field specifications

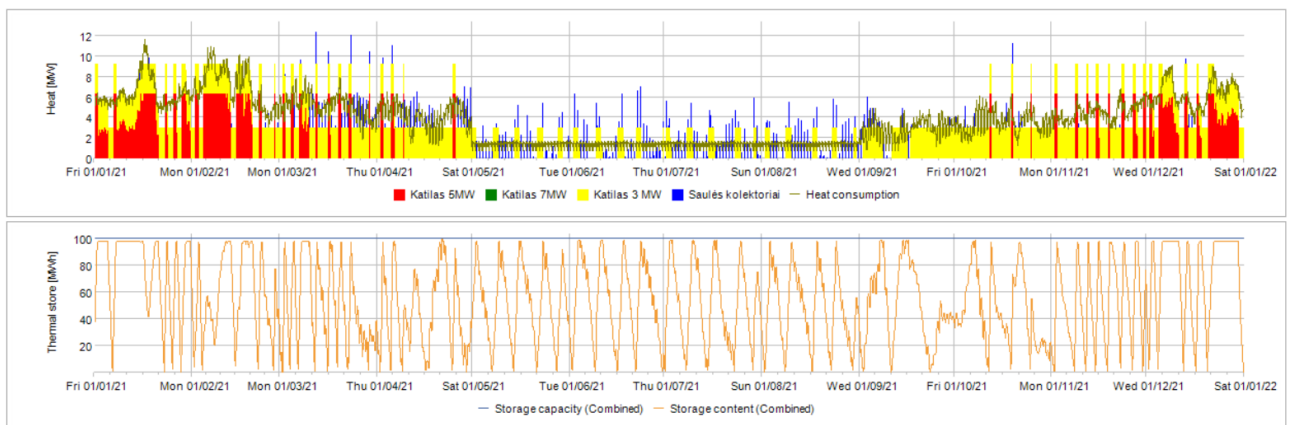
Temperatures on side of heat exchanger

From collector

To collector

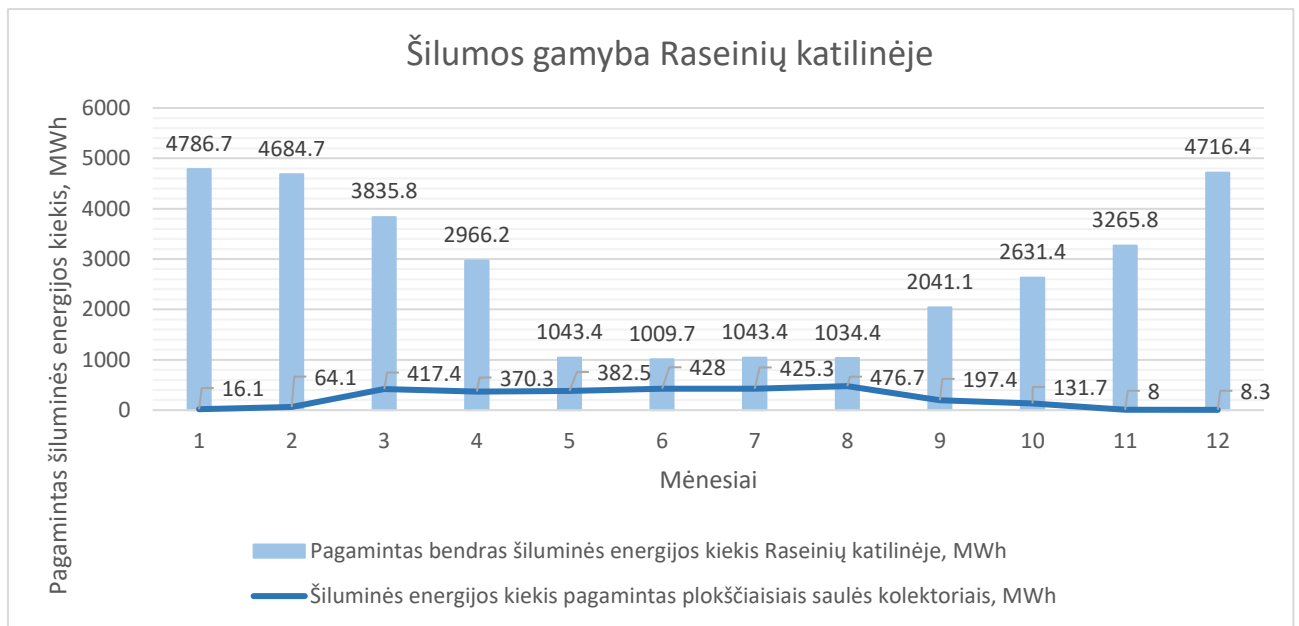
Losses in pipes in collector field in percentage of production %

28 pav. Prielaidos saulės kolektorių sistemos modeliavimui (Energy PRO sąsajos langas)



27 pav. Šilumos energijos gamybos ir vartojimo grafikas su saulės kolektoriais bei akumuliacine talpa

Remiantis panašių projektų praktika apskaičiuotas kolektorių plotas siekia 6900 m²..

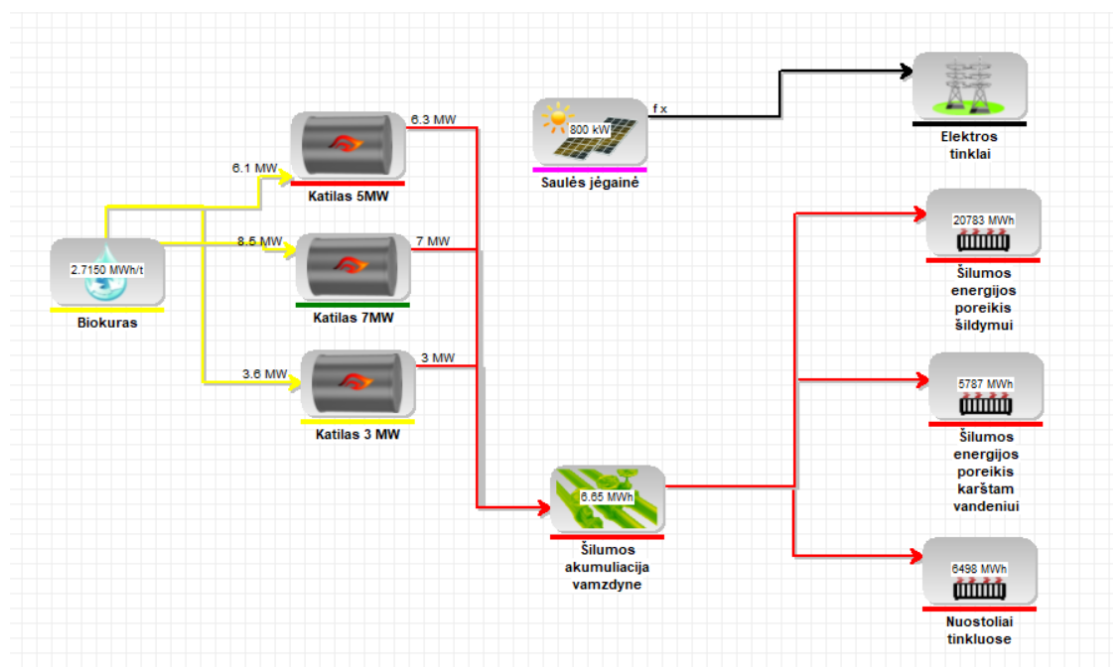


29 pav. Šilumos energijos gamyba Raseinių katilinėje

Plokščiaisiais saulės kolektoriais pagamintos šilumos energijos kiekis siekia **2925,9 MWh**, kas sudaro **8,85 %** viso katilinėje pagaminamos šiluminės energijos kiekio. Rugsjūčio mėnesį šilumos gamyba saulės kolektoriais sudaro iki **46,08 %** šilumos energijos poreikio.

3.3. Biokuro katilinės modernizavimas įrengiant fotovoltinę jėgainę

Šiame poskyryje bus įvertinama galimybė įrengti saulės fotovoltinę jėgainę katilinės teritorijoje.



30 pav. Miesto katilinės schema su saulės fotovoltine jėgaine

Elektros gamyba fotovoltiniu moduliu P_{pv} gali būti išreikšta formule:

$$P_{pv} = P_{Max} * \frac{I_s}{I_{STC}} * [1 - \gamma_s * (T_{cell} - T_{STC})] \quad (2)$$

čia: P_{max} - Įrengtoji galia, W

I_s - Saulės spinduliuotė, W/m^2

I_{STC} - Spinduliuotė standartinėmis sąlygomis ($1000 W/m^2$), W/m^2

γ_s - Temperatūrinis koeficientas modulio efektyvumui, -

T_{cell} - darbinė celės temperatūra, $^{\circ}C$

T_{STC} - celės temperatūra standartinėmis sąlygomis ($25^{\circ}C$), $^{\circ}C$

Celės darbinė temperatūra skaičiuojama pagal formulę (Antonio Luque and Steven Hegedus (2003)):

$$T_{cell} = T_a + I_s * \left(\frac{NOCT - 20^{\circ}C}{800 W/m^2} \right) \quad (3)$$

čia: T_a - aplinkos temperatūra, $^{\circ}C$

NOCT - nominali celės darbinė temperatūra, $^{\circ}C$

Iš čia gaunami nuostoliai iš fotovoltinio modulio į tinklą, λ_{misc} , pvz., įvairūs fotovoltinio masyvo nuostoliai ir kiti elektros įtampos keitimo iš nuolatinės į kintamą, nuostoliai.

Tiekiami į tinklą galia:

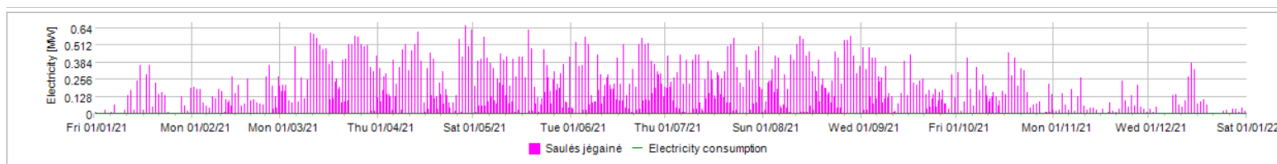
$$P_{elek} = P_{pv} * (1 - \lambda_{misc})$$

The screenshot displays the Energy PRO software interface for configuring a PV system. It is divided into several sections:

- Size and Position:**
 - Installed capacity: 800.0 kW
 - Inclination of photovoltaic: 34 degree
 - Orientation of photovoltaic (Deviation from South): 0 degree
- Select Input Time Series:**
 - Ambient temperatures: ERA5 Tempera, $^{\circ}C$
 - Radiation on horizontal plane:
 - ☒ Aggregated Radiation
 - ☐ Direct and Diffuse Radiation
 - Aggregated radiation: ERA5 Solar 55_22N 22
- PV module specification:**
 - Maximum power: 420 W
 - Temperature coefficient of power: -0.34 $\%/^{\circ}C$
 - NOCT: 41 $^{\circ}C$
- Miscellaneous:**
 - Aggregated Losses from module to grid: 15 %
 - Number of PV modules: 1905

31 pav. Nustatymai saulės fotovoltinei jėgainei (Energy PRO sąsajos langas)

Saulės jėgainės galia parinkta remiantis panašių įgyvendintų projektų Lietuvoje praktika. Įprastai galios / ploto santykis siekia 0,4 – 0,6 MW/ha. 26 paveiksle nurodytas potencialus katilinės sklypo plotas, siekiantis apie 2 hektarus, įgalina 0,8 MW galios fotovoltinės jėgainės įrengimą.



32 pav. Saulės elektrinės metinis elektros energijos gamybos grafikas

Atlikus skaičiavimus, ataskaitoje nurodoma, jog šia jėgaine per metus pagaminamas elektros energijos kiekis siekia **843,6 MWh**, kas sudaro 85,7 % viso katilinėje suvartojamo elektros energijos kiekio.

3.4. Biokuro katilinės modernizavimas įdiegiant ORC turbiną

Kaip jau paminėta literatūros apžvalgoje, dar vienu biokuro katilinės modernizavimo būdu gali būti pasirenkama organinio Renkino ciklo turbina.

Skaičiavimams atlikti priimamos prielaidos:

- katilo šiluminė galia $Q_{\text{šil}} = 3000 \text{ kW}$;
- katilo įvado temperatūra priimama $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- katilo išvado temperatūra – $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- grįžtamojo termofikacinio vandens temperatūra šildymo sezono metu – $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- grįžtamojo termofikacinio vandens temperatūra ne šildymo sezono metu – 41°C ;
- termofikacinio vandens srautas šildymo sezono metu – $462,49 \text{ t/h}$;
- termofikacinio vandens srautas ne šildymo sezono metu – 130 t/h ;
- ORC garintuvo $\Delta T = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- ORC elektros generavimo efektyvumas – $5,3 \%$;
- termofikacinio vandens dalis praleidžiama pro ORC kondensatorių – 80% ;
- vandens savitoji šiluma – $4,1867 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$;
- šilumos perdavimo nuostoliai į tinklus iš ORC kondensatoriaus – $1,5 \%$.

Apskaičiuojamas srautas per katilą:

$$G_{kv} = \frac{Q_{\text{šil}}}{c_p \cdot \Delta T_k} \quad (4)$$

čia G_{kv} – katilė cirkuliuojančio vandens srautas, kg/s

C_p – vandens savitoji šiluma, $\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$

ΔT_k – vandens temperatūros katilo išvade bei įvade, skirtumas, K

Apskaičiavus, katile cirkuliuojančio katilo srautas $G_{kv} = 17,91$ kg/s arba 64,5 t/h.

Apskaičiuojamas maksimalus šilumos paėmimas ORC garintuve:

$$Q_{gar} = G_{kv} \cdot c_p \cdot \Delta T_{gar} \quad (5)$$

čia Q_{gar} – maksimalus šilumos paėmimas ORC garintuve, kW

G_{kv} – katile cirkuliuojančio vandens srautas, kg/s

C_p – vandens savitoji šiluma, J/(kg*K)

ΔT_{gar} – ORC garintuvo įvado bei išvado temperatūros skirtumas, K

Apskaičiavus, maksimalus šilumos paėmimas ORC garintuve $Q_{gar} = 750$ kW.

Remiantis prielaida, jog ORC elektros generavimo efektyvumas – 5,3 %, apskaičiuojama ORC turbina generuojama elektrinė galia. Šis rodiklis įprastai siekia apie 8 %, tačiau katilo temperatūra yra nepakankama aukšto efektyvumo organinio fluido panaudojimui.

$$P_{ORC\ el} = \frac{Q_{gar}}{\eta_{el}} \quad (6)$$

Čia $P_{orc\ el}$ – ORC turbina generuojama maksimali elektrinė galia, kW

Q_{gar} – maksimalus šilumos paėmimas ORC garintuve, kW

η_{el} – ORC elektros generavimo efektyvumas, -

Apskaičiuota elektrinė galia $P_{orc\ el} = 39,75$ kW.

Priimant prielaidą, jog perduodant šilumos energiją į termofikacinio vandens tinklus, patiriami 1,5 % nuostoliai, apskaičiuojamas šilumos kiekis, perduodamas į CŠT tinklus per ORC kondensatorių:

$$Q_{kondens} = Q_{gar} - P_{ORC\ el} - (Q_{gar} \cdot \eta_{šil}) \quad (7)$$

čia $Q_{kondens}$ – į CŠT tinklus perduodama šiluminė galia, kW

Q_{gar} – maksimalus šilumos paėmimas ORC garintuve, kW

$P_{orc\ el}$ – ORC turbina generuojama maksimali elektrinė galia, kW

$\eta_{šil}$ – kondensatoriaus šilumokaičio efektyvumas, -

$Q_{kondens} = 699$ kW.

Priimama, jog per ORC kondensatorių perduodama 80 % viso termofikacinio vandens srauto. Taigi, termofikacinio vandens srautas per ORC kondensatorių ne šildymo sezono metu $G_{t.v.v.} = 28,9$ kg/s arba 104 t/h. Termofikacinio vandens srautas per ORC kondensatorių šildymo sezono metu $G_{t.v.ž.} = 102,8$ kg/s arba 367 t/h.

Termofikacinio vandens temperatūros padidėjimas apskaičiuojamas 8 formule.

$$\Delta T_{t.v.} = \frac{Q_{kondens}}{c_p \cdot G_{t.v.}} \quad (8)$$

Čia $\Delta T_{t.v.}$ – termofikacinio vandens padidėjimas ORC kondensatoriuje, °C

C_p – vandens savitoji šiluma, $J/(kg \cdot K)$

G_{kv} – termofikacinio vandens srautas CŠT tinkluose, kg/s

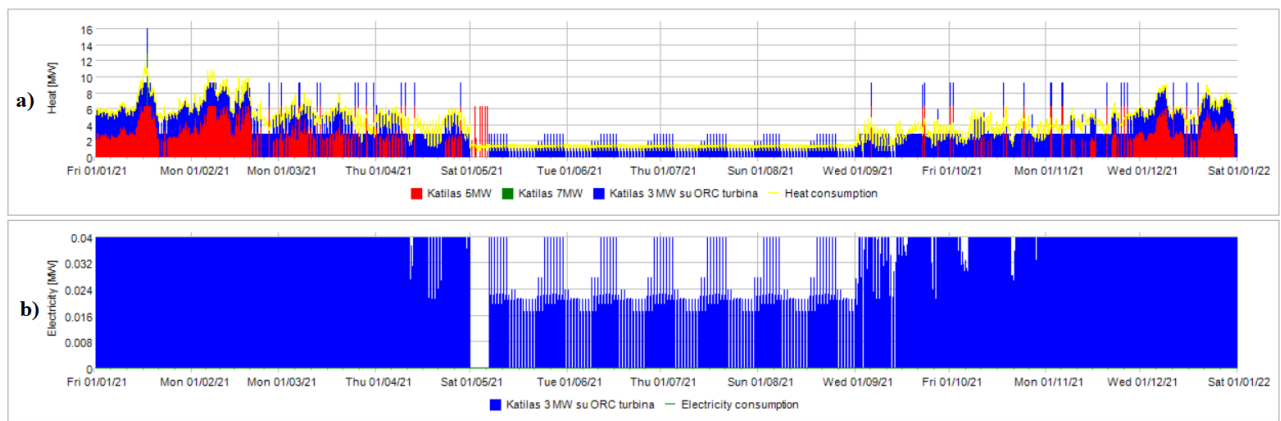
Apskaičiuotas termofikacinio vandens temperatūros padidėjimas ORC kondensatoriuje šildymo sezono metu $\Delta T_{t.v.ž.} = 1,62$ °C.

Apskaičiuotas termofikacinio vandens temperatūros padidėjimas ORC kondensatoriuje ne šildymo sezono metu $\Delta T_{t.v.v.} = 5,78$ °C.

34 paveiksle pavaizduota principinė ORC prijungimo prie VŠK-3 šiluminės energijos gamybos įrenginio bei CŠT tinklo principinė schema.

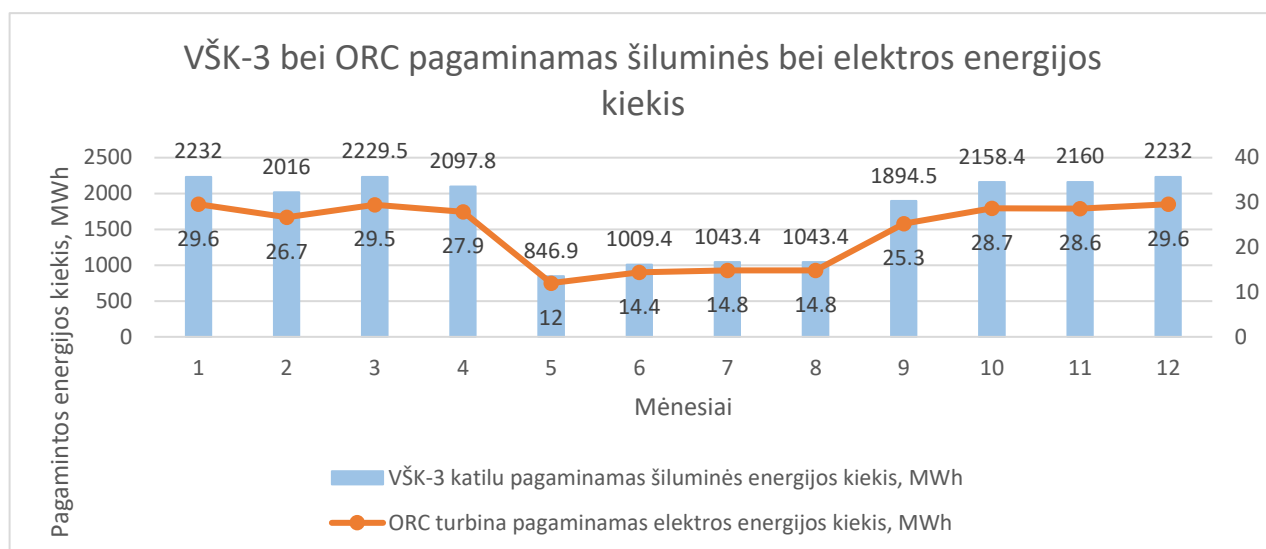
EnergyPRO 4 sukuriamas katilinės modelis, įdiegiant kogeneracinį įrenginį kartu su VŠK-3 3 MW šiluminės galios biokuro katilu.

Programa apskaičiuotas metinis sugeneruojamos elektros energijos kiekis – **282 MWh**. Tai sudaro 28,7 % viso Raseinių katilinėje suvartojamo elektros energijos kiekio.

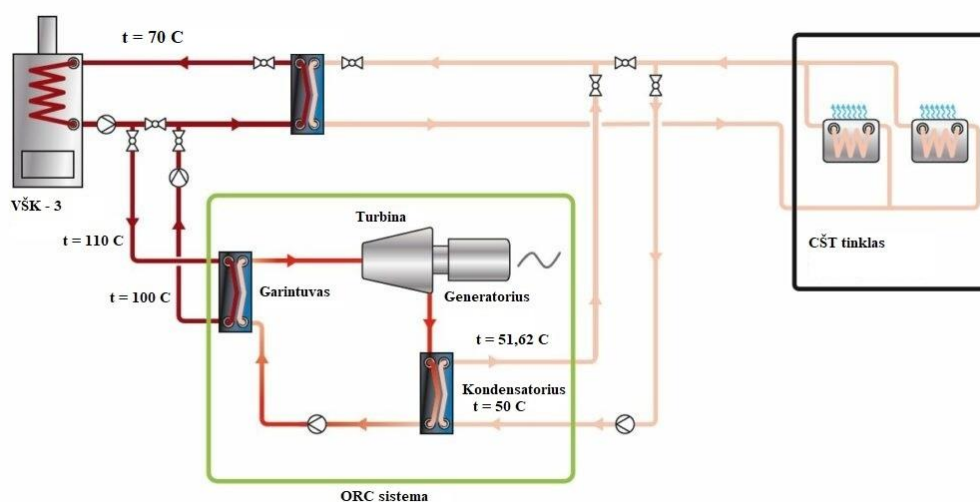


33 pav. Šilumos a) bei elektros b) energijos metinis gamybos grafikas biokuro katilinėje

Kaip matoma 33 paveiksle, elektros energijos gamybos pajėgumai yra didžiausi šildymo sezono metu, dėl didesnio šilumos energijos poreikio. Taip yra dėl to, jog ORC įrenginiu generuojamos elektros kiekis tiesiogiai priklauso nuo katilu generuojamos šilumos.



35 pav. VŠK-3 ir ORC šilumos ir elektros energijos mėnesinis gamybos grafikas



34 pav. ORC turbinos prijungimo prie VŠK-3 bei CŠT tinklo principinė schema.

4. Projekto variantų ekonominė analizė

Ekonominei analizei priimamos prielaidos:

- investicijų nusidėvėjimo laikotarpis – 25 metai;
- finansinė parama – 0 %, 30 % arba 50 %;
- paskola 5-eriems metams – 60 % nuo investicijų atėmus finansinę paramą;
- paskolos palūkanų norma – 5 %;
- elektros energijos kaina rinkoje – 230 EUR/MWh + 3% kasmet;
- biokuro kaina – 44,8 EUR/MWh;
- biokuro šilumingumas – 2,715 MWh/t [32] ;
- Įrangos priežiūra ir remontas – saulės terminiams kolektoriams 2 EUR/MWh, fotovoltinei saulės jėgainei – 10 EUR/kW galios metams.

4.1. Ekonominė analizė saulės terminių kolektorių įdiegimui

4.1.1. Kapitalinės investicijos

Kapitalinių investicijų apskaičiavimui pasitelkiamas lyginamųjų investicijų metodas.

$$K = k_{lygkol} \cdot A_{inst} + k_{lygtalp} \cdot V_{talp} + k_{lygsklyp} \cdot A_{sklyp} \quad (9)$$

čia K – kapitalinės projekto investicijos, EUR

k_{lygkol} – lyginamosios kapitalinės investicijos saulės kolektoriams, EUR/m²

A_{inst} – saulės kolektorių plotas, m²

$k_{lygtalp}$ – lyginamosios kapitalinės investicijos akumuliacinei talpai, EUR/m³

V_{talp} – akumuliacinės talpos tūris, m³

$k_{lygsklyp}$ – lyginamosios kapitalinės investicijos sklypui, EUR/a

A_{sklyp} – sklypo plotas, a

Priimama, jog saulės kolektorių plotas siekia 6900 m², lyginamosios kapitalinės investicijos saulės kolektoriams – 255 EUR/m² [33], akumuliacinės talpos tūris – 2000 m³, lyginamosios kapitalinės investicijos akumuliacinei talpai – 250 EUR/m³ [34], sklypo plotas – 208 a, lyginamosios kapitalinės investicijos sklypui rinkos duomenimis - 1000 EUR/a.

Priėmus prielaidas, kapitalinės investicijos siekia 2 280 300 EUR.

4.1.2. Atsipirkimo laikotarpio trukmė

Paprastasis atsipirkimo laikas be paskolos apskaičiuojamas remiantis formule:

$$AL = \frac{K}{MS - OPEX} \quad (10)$$

čia AL – atsipirkimo laikotarpis, *m*

K - kapitalinės projekto investicijos, *EUR*

MS – metiniai sutaupymai, *EUR*

OPEX (angl. Operational expenditure) – eksploatacijos išlaidos, *EUR*

Paprastasis atsipirkimo laikas su paskola apskaičiuojamas remiantis 11 formule.

$$AL = \frac{K + IN}{MS - OPEX} \quad (11)$$

čia AL – atsipirkimo laikotarpis, *m*

K - kapitalinės projekto investicijos, *EUR*

IN – palūkanos per visą paskolos laikotarpį, *EUR*

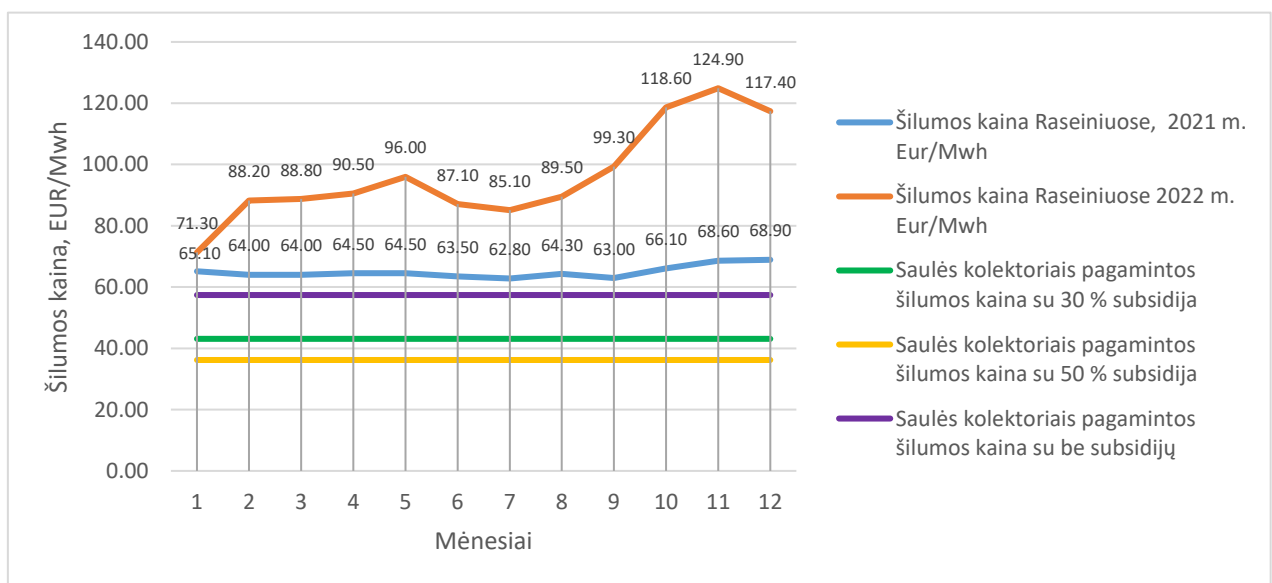
MS – metiniai sutaupymai, *EUR*

OPEX (angl. Operational expenditure) – eksploatacijos išlaidos, *EUR*

Remiantis 2022 metų duomenimis apskaičiuota saulės terminių kolektorių atsipirkimo trukmė.

8 lentelė. Saulės terminių kolektorių su akumuliacine talpa atsipirkimo trukmė

Sąlygos	Atsipirkimo trukmė, metais
Be paramos ir paskolos	25,88
Be paramos su paskola	31,46
Su 30 % parama be paskolos	18,12
Su 30 % parama su paskola	24,64
Su 50 % parama be paskolos	12,20
Su 50 % parama su paskola	17,60



36 pav. Šilumos energijos kaina Raseiniuose

Šilumos energijos kaina Raseiniuose 2021 m., 2022 m. bei įdiegus plokščiuosius saulės kolektorius, su skirtingomis finansavimo sąlygomis nurodyta 36 paveiksle.

4.2. Ekonominė analizė fotovoltinės jėgainės įdiegimui

4.2.1. Kapitalinės investicijos

Kapitalinių investicijų apskaičiavimui pasitelkiamas lyginamųjų investicijų metodas.

$$K = k_{fotovolt} \cdot P_{inst} + k_{lygsklyp} \cdot A_{sklyp} \quad (12)$$

čia K – kapitalinės projekto investicijos, *EUR*

$k_{fotovolt}$ – lyginamosios kapitalinės investicijos fotovoltinei saulės elektrinei, *EUR/kW*

P_{inst} – saulės elektrinės galia, *kW*

$k_{lygsklyp}$ – lyginamosios kapitalinės investicijos sklypui, *EUR/a*

A_{sklyp} – sklypo plotas, *a*

Priimama, jog saulės jėgainės galia – 800 kW, lyginamosios kapitalinės investicijos saulės jėgainėms – 800 EUR/kW [35], sklypo plotas – 208 a, lyginamosios kapitalinės investicijos sklypui - 1000 EUR/a.

Priėmus prielaidas, kapitalinės investicijos siekia 848 000 EUR.

4.2.2. Atsipirkimo laikotarpio trukmė

Atsipirkimo laikotarpio trukmė apskaičiuojama remiantis 10 ir 11 formulėmis.

Eksploatacinės sąnaudos saulės jėgainėms laikoma 10 EUR/kW [35] įrengtos galios per metus. Pastaraisiais metais energetikos rinkai patyrus kainų šoką, prognozuoti elektros energijos kainas yra sudėtinga. Nordpool duomenimis, vidutinė elektros kaina 2020 m. biržoje siekė 34,04 EUR/MWh, 2021-aisiais – 90,45 EUR/MWh, o štai 2022 m. vidutinė kaina pakilo iki 230,23 EUR/MWh [36]. Todėl paprastas atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas priklausomai nuo elektros energijos kainos. VERT nutarimu, gaminantiems vartotojams paliekama 88% pagamintos energijos, 12% paliekama operatoriui už naudojimosi tinklais paslaugas [37].

9 lentelė. Saulės jėgainės atsipirkimo laikotarpis, priklausomai nuo elektros energijos kainos

Elektros energijos kaina, EUR/MWh	50	100	150	200	250
Sąlygos	Atsipirkimo trukmė, metais				
Be paramos ir paskolos	29,12	12,80	8,20	6,04	4,77
Be paramos su paskola	39,60	17,41	11,16	8,21	6,49
Su 30 % parama be paskolos	20,38	8,96	5,74	4,22	3,34
Su 30 % parama su paskola	25,63	11,26	7,22	5,31	4,20
Su 50 % parama be paskolos	14,56	6,40	4,10	3,02	2,39

Su 50 % parama su paskola	21,90	9,63	6,17	4,54	3,59
---------------------------	-------	------	------	------	------

4.3. Ekonominė analizė ORC įdiegimui

4.3.1. Kapitalinės investicijos

Kapitalinių investicijų apskaičiavimui pasitelkiamas lyginamųjų investicijų metodas.

$$K = k_{ORC} \cdot P_{inst} \quad (13)$$

čia K – kapitalinės projekto investicijos, EUR

k_{ORC} – lyginamosios kapitalinės investicijos ORC įrenginiui, EUR/kW

P_{inst} – ORC įrenginio galia, kW

Priimama, jog ORC galia – 40 kW, lyginamosios kapitalinės investicijos saulės jėgainėms – 17 500 EUR/kW.

Priėmus prielaidas, kapitalinės investicijos siekia 700 000 EUR.

4.3.2. Atsipirkimo laikotarpio trukmė

Atsipirkimo laikotarpio trukmė apskaičiuojama remiantis 10 ir 11 formulėmis.

Eksplotacinės sąnaudos priimamos 4 % nuo kapitalinių investicijų per įrenginio tarnavimo laiką (20 m.) [38].

ORC atsipirkimo skaičiavimui taip pat pasirenkamas metodas, pritaikant skirtingas elektros energijos kainas.

10 lentelė. ORC atsipirkimo laikotarpis, priklausomai nuo elektros energijos kainos

Elektros energijos kaina, EUR/MWh	50	100	150	200	250
Sąlygos	Atsipirkimo trukmė, metais				
Be paramos ir paskolos	50,69	26,70	18,12	13,72	11,03
Be paramos su paskola	63,47	33,43	22,69	17,17	13,81
Su 30 % parama be paskolos	35,48	18,69	12,68	9,60	7,72
Su 30 % parama su paskola	48,26	25,42	17,25	13,05	10,50
Su 50 % parama be paskolos	25,35	13,35	9,06	6,86	5,51
Su 50 % parama su paskola	38,12	20,08	13,63	10,32	8,29

5. Aplinkosauga

Aplinkosauginis aspektas, įdiegus modernizavimo priemones, apskaičiuojamas atsižvelgiant į sutaupyto energijos kiekį.

Įdiegus plokščiuosius saulės kolektorius, įvertinamas biokuro sutaupymas, lyginant su esamu katilinės kuro kiekio suvartojimu. Sutaupomas biokuro kiekis siekia 1480,3 tonų. CO₂ išmetimai neskaičiuojami, priimant, jog biokuras yra atsinaujinantis kuras, tačiau apskaičiuojamas sutaupyto CO₂ biokuro transportavimui iki katilinės. Priimama, jog sunkvežimis gabena biokurą 60 km iki katilinės, vienu reisų atgabenamas biokuro kiekis siekia 25 tonas. Sunkvežimio išmetamųjų dujų norma – 307 gCO₂/km [39]. Apskaičiavus, sutaupoma 2 210,4 tonos CO₂.

Įdiegus fotovoltinę saulės jėgainę, pagaminamas elektros energijos kiekis siekia 843,6 MWh. 2021 m. duomenimis, 1 kWh elektros energijos atitinka 117 g CO₂ ekvivalento [40]. Sutaupomas CO₂ kiekis įdiegus fotovoltinę saulės jėgainę siekia 98 701,2 t.

ORC įrenginiu sugeneruojama 282 MWh elektros energijos. Priimant aukščiau pažymėtą prielaidą, CO₂ sutaupymai siekia 32 994 t.

Išvados

Remiantis atlikta literatūros analize, galima teigti, jog CŠT sektoriaus modernizavimas turi didelę įtaką energetinio saugumo užtikrinimui bei ES aplinkosauginių tikslų, tokių kaip „Fit for 55“ paketo bei Europos žaliojo kurso įgyvendinimui.

Literatūros analizė parodė, jog Lietuvoje sėkmingai atsisakoma iškastinio kuro CŠT sistemose, vis didesnę pirminio kuro dalį sudarant biokurui.

Galimybių studijos objekto – UAB „Raseinių šilumos tinklai“ valdomos Raseinių miesto katilinės analizė parodė, jog katilinė yra modernizuota ir šilumos gamybai naudojama 100 % biokuro, visiškai atsisakius iškastinį kurą naudojančių šilumos gamybos šaltinių. Tačiau nuostoliai CŠT tinkluose sudaro 19,65 %, kas yra daugiau nei 6 % didesnis rodiklis nei Lietuvos vidurkis.

Modeliavimo rezultatai parodė, jog modernizacijai panaudojus tik akumuliacinę talpą (modeliavimas atliktas su talpomis nuo 500 m³ iki 3000 m³) nėra gaunama ekonominė ar ekologinė nauda, didėjant talpos tūriui, didėja ir šilumos energijos suvartojimas, tačiau įdiegiant talpą, kurios tūris siekia 1500 m³ ir daugiau, panaikinamas poreikis 7 MW katilo panaudojimui viso šildymo sezono metu, bei sumažinamas biokuro katilų įsijungimų kiekis, kas leidžia katilinei dirbti nominaliu režimu ilgesnį laiką.

Įdiegus saulės kolektorius ir 2000 m³ akumuliacinę talpą, jais pagamintos šilumos energijos kiekis siekia 2925,9 MWh, kas sudaro 11,3 % viso katilinėje pagaminamos šiluminės energijos kiekio. Vasaros mėnesiais šilumos gamyba saulės kolektoriais sudaro iki 46,08 % Raseinių miesto šilumos energijos poreikio. Pritaikius skirtingas finansavimo sąlygas, paprastasis atsipirkimo laikas siekia nuo 12,2 metų iki 31,46 metų.

Įdiegus fotovoltinę saulės elektrinę, ja pagaminamos elektros energijos kiekis siektų iki 843,6 MWh, kas sudaro 85,7 % viso katilinėje suvartojamo elektros energijos kiekio. Tačiau dėl savo specifikos, didžiausi elektrinės gamybos pajėgumai pasiekiami ne šildymo sezono metu, kuomet elektros energijos suvartojimas yra mažiausias. Šia modernizacijos priemone pasiekiamas didžiausias aplinkosauginis efektas, sutaupant 98 701,2 tonas CO_{2e}.

ORC įdiegimas prisidėtų prie katilinės aplinkosauginių rodiklių gerinimo, sutaupant 32 994 tonas CO_{2e}. ORC komplektuojamas su VŠK-3 katilu, per metus įgalinantis pagaminti ne tik šilumos energiją, tačiau ir 282 MWh arba 28,7 % viso Raseinių katilinėje suvartojamo elektros energijos kiekio. Šios priemonės atsipirkimo laikotarpio trukmė esant palankiausioms finansavimo ir didžiausioms elektros energijos kainoms, gali siekti 5,51 metų.

Literatūros sąrašas

1. Europos Vadovų Taryba. Pasirengimo įgyvendinti 55% tikslą priemonių rinkinys.[interaktyvus] 2023. Prieiga per internetą: <https://www.consilium.EURopa.eu/lt/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/Informacijos šaltinis> [žiūrėta 2023-02-26]
2. Europos Komisija. ES veiksmų energetikos krizei įveikti [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/eu-action-address-energy-crisis_lt [žiūrėta 2023-02-26]
3. Euroheat & Power. DHC Market Outlook. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://www.euroheat.org/static/cb513adb-3825-4060-8c0883af1be7a0a2/e4e11303-9e7f-4874-888df9efa4c44c20/DHC-Market-Outlook.pdf> [žiūrėta 2023-02-26]
4. Europos Komisija. AN EU Strategy on Heating and Cooling. [interaktyvus] 2016. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1575551754568&uri=CELEX:52016DC0051> [žiūrėta 2023-02-26]
5. Europos aplinkos agentūra. Decarbonising heating and cooling – a climate imperative. [interaktyvus] 2023. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/publications/decarbonisation-heating-and-cooling>
6. KERR, N., WINSKEL M. A review of heat decarbonisation policies in Europe [interaktyvus] 2021. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.7488/era/794> [žiūrėta 2023-02-26]
7. LIETUVOS ŠILUMOS TIEKĖJŲ ASOCIACIJA. Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2021 metų apžvalga. [interaktyvus] 2022 Prieiga per internetą: <https://lsta.lt/wp-content/uploads/2021/05/Fact-Sheet-DH-in-Lithuania.pdf> [žiūrėta 2023-02-26]
8. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija. [interaktyvus] 2018. Prieiga per internetą: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf [žiūrėta 2023-02-26]
9. LIETUVOS RESPUBLIKOS NACIONALINIS ENERGETIKOS IR KLIMATO SRITIES VEIKSMŲ PLANAS 2021-2030 m. [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Teisin%C4%97%20informacija/Teis%C4%97s%20aktai/Bendrieji%20energetikos%20strateginiai%20dokumentai/NECP/Lietuvos Respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmu planas.pdf> [žiūrėta 2023-03-26]
10. Europos Sąjunga. 2021–2027 m. ES fondų investicijų programa Lietuvai [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://2021.esinvesticijos.lt/2021-2027-m-es-fondu-investiciju-programa/apie-2021-2027-m-es-fondu-investiciju-programa> [žiūrėta 2023-03-28]
11. LITHUANIA 2021 ENERGY POLICY REVIEW Tarptautinė energetikos agentūra. [interaktyvus] Prancūzija, 2021 m. Prieiga per internetą: https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d014034-0f94-409d-bb8f-193e17a81d77/Lithuania_2021_Energy_Policy_Review.pdf [žiūrėta 2023-03-28]
12. 5GDH. Different generations of DHC. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://5gdhc.eu/different-generations-of-dhc/> [žiūrėta 2023-03-28]
13. International Energy Agency (2021b). Net Zero by 2050. [interaktyvus] Paryžius, 2021. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. [žiūrėta 2023-04-05]

14. OCHS, F.; MAGNI, M.; DERMENTZIS G. Integration of Heat Pumps in Buildings and District Heating Systems—Evaluation on a Building and Energy System Level [interaktyvus] *Energies* 2022, 15(11), Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/en15113889> [žiūrėta 2023-04-05]
15. OCHS, F.; BREUSS, S.; VENTURI, E.; MAGNI, M.; DERMENTZIS G.; FISCO, S. Modelling and Simulation of Innovative Decentral Domestic Hot Water Systems with Heat Pumps for Multi-Family Buildings. In *BauSIM 2020—8th Conference of IBPSA Germany and Austria*; [interaktyvus] Graz University of Technology: Graz, Austria, 2020; pp. 135–142. Prieiga per internetą: <https://openlib.tugraz.at/download.php?id=6058624c708d8&location=browse> [žiūrėta 2023-04-05]
16. EUROHEAT & POWER. Large heat pumps in district heating and cooling systems. [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: <https://www.euroheat.org/static/c254bdc8-5b3b-4765-9a552f6f27af2253/V18-Technology-Report-Large-heat-pumps-in-District-Heating-and-Cooling-systems.pdf> [žiūrėta 2023-04-05]
17. WEISS W.; SPORK-DUR M. Solar heat worldwide [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2022.pdf> [žiūrėta 2023-04-08]
18. HERWIG, A.; UMBREIT, L., RUHLING, K. Measurement-based modelling of large atmospheric heat storage tanks [interaktyvus] 2018. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.182> [žiūrėta 2023-04-08]
19. UPGRADE DH. Centralizuoto šilumos tiekimo tinklų tobulinimas. Techniniai ir kiti metodai. Vadovas. [interaktyvus] 2018. Prieiga per internetą: https://www.upgrade-dh.eu/en/news-3.05-4.05-2018-upgrade-dh-kick-off-meeting/D2.5_2019-05-09_Upgrade-DH_Handbook_LT.pdf [žiūrėta 2023-04-08]
20. DANIJOS ENERGETIKOS AGENTŪRA ir ENERGINET. Technology Data. Energy storage [interaktyvus] Prieiga per internetą: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_energy_storage.pdf [žiūrėta 2023-04-08]
21. SØRENSEN, P. A. & SCHMIDT, T. Design and Construction of Large Scale Heat storages for District Heating in Denmark. 14th International Conference on Energy Storage,[interaktyvus] 25-28 April 2018, Adana, Turkija. Prieiga per internetą: https://planenergi.dk/wp-content/uploads/2018/05/Soerensen-and-Schmidt_Design-and-Construction-of-Large-Scale-Heat-Storages-12.03.2018-004.pdf [žiūrėta 2023-04-09]
22. NEEHARIKA Naik-Dhungel „Waste Heat to Power Systems“ U.S. Environmental Protection Agency, [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/waste_heat_to_power_systems.pdf [žiūrėta 2023-04-12]
23. WALRAVEN, D.; LAENEN, B; D' HAESELEER W. Comparison of Thermodynamic Cycles for Electricity Production from Low-Temperature Geothermal Heat Sources [interaktyvus], 2012. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.10.003> [žiūrėta 2023-04-12]
24. CHEN H., GOSWAMI D. Y., STEFANAKOS E. K., A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 9, pp. 3059–3067, [interaktyvus] 2010. Prieiga per internetą: https://www.academia.edu/17565563/A_review_of_thermodynamic_cycles_and_working_fluids_for_the_conversion_of_low-grade_heat [žiūrėta 2023-04-12]

25. QUOILIN S., VAN DEN BROEK M., DECLAYE S., DEWALLEF P., LEMORT V., Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, [interaktyvus] 2013. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.028> [žiūrėta 2023-04-20]
26. TCHANKE, B., LAMBRINOS Gr., FRANGUODAKIS, A, PAPADAKIS, G Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111002644> [žiūrėta 2023-04-20]
27. MAŠATA, D, ABUSHAMAN, H. JIRICKOVA J., ŠKODA R Nuclear Power for the Decarbonization of the District Heating Sector in the Czech Republic [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: https://www.djs.si/nene2022/proceedings/htm/pdf/NENE2022_1201.pdf [žiūrėta 2023-04-20]
28. ŠKODA, R., MAŠATA, D., PELTAN, T. TEPLATOR DEMO: Nuclear heating for Prague central heating network. In: *Proceedings of the International Conference Nuclear Energy for New Europe (NENE 2021)*. [interaktyvus] Ljubljana 2021. Prieiga per internetą: https://www.djs.si/nene2021/proceedings/pdf/NENE2021_203.pdf [žiūrėta 2023-04-20]
29. NEUMAN, P., ŠKODA, R. *TEPLATOR* - případová studie bezemisního dálkového vytápění Brna. All for Power, [interaktyvus] 2021. Prieiga per internetą: <https://allforpower.cz/jaderna-energetika/teplator-pripadova-studie-bezemisniho-dalkoveho-vytapeni-brna-536> [žiūrėta 2023-04-24]
30. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. 2020 Edition.[interaktyvus] Viena, 2020 Prieiga per internetą: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf [žiūrėta 2023-04-24]
31. ABUSHAMAH, HAS., MAŠATA, D., MUELLER, M., ŠKODA, R. Economics of reusing spent nuclear fuel by Teplator for district heating applications. [interaktyvus] 2021. Prieiga per internetą: doi:10.1002/er.7521. [žiūrėta 2023-04-24]
32. BALTPOL. Biokuro energetinės vertės skaičiuoklė. Prieiga per internetą: <https://www.baltpool.eu/biokuro-birza/biokuro-energetines-vertes-skaiciuokle/> [žiūrėta 2023-04-30]
33. LISAUSKAS A. Solar Calculations for the Raseiniai District Heating Plant [interaktyvus] 2014. Prieiga per internetą: https://www.solarthermalworld.org/sites/default/files/news/file/2017-08-03/sdh_calculations_for_raseiniai_planenergi_october2014.pdf [žiūrėta 2023-04-30]
34. DANIJOS ENERGETIKOS AGENTŪRA. Udredning vedrørende varmelagringsteknologier og store varmepumper til brug i fjernvarmesystemet [interaktyvus] 2014 Prieiga per internetą: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Forskning_og_udvikling/udredning_om_varmelagringsteknologier_og_store_varmepumper_i_fjernvarmesystemet_nov_2013.pdf [žiūrėta 2023-04-30]
35. TARPTAUTINĖ ATSINAUJINANČIOS ENERGETIKOS AGENTŪRA. Renewable power generation costs in 2020 [interaktyvus] 2020. Prieiga per internetą: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8 [žiūrėta 2023-04-30]
36. NORDPOOL. Yearly day - ahead prices[interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/LT/Yearly/?view=table> [žiūrėta 2023-04-30]

37. VALSTYBINĖ ENERGETIKOS REGULIAVIMO TARYBA. GAMINANTIEMS VARTOTOJAMS NUSTATYTOS PASINAUDOJIMO TINKLAIS PASLAUGOS KAINOS 2023 METAMS [interaktyvus] 2022. Prieiga per internetą: <https://www.vert.lt/Puslapiai/naujienos/2022-metai/2022-11-29/gaminantiems-vartotojams-nustatytos-pasinaudojimo-tinklais-paslaugos-kainos-2023-metams.aspx> [žiūrėta 2023-05-15]
38. GOMAA, M., MUSTAFA, R.J. DHAIFULLAH, M. REZK H. A low-grade heat Organic Rankine Cycle driven by hybrid solar collectors and a waste heat recovery system [interaktyvus] 2020. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egy.2020.12.011> [žiūrėta 2023-05-15]
39. TRANSPORT & ENVIRONMENT. Easy Ride: why the EU truck CO₂ targets are unfit for the 2020s. Prieiga per internetą: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/10/202108_truck_CO2_report_final.pdf [žiūrėta 2023-05-15]
40. TISEO I. Power sector carbon intensity in Lithuania 2000-2021.[interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://www.statista.com/statistics/1290427/carbon-intensity-power-sector-lithuania/#statisticContainer> [žiūrėta 2023-05-15]