



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Saulės terminių kolektorių integravimo į esamą centralizuoto šilumos tiekimo sistemą analizė

Baigiamasis magistro projektas

Mantas Mocevičius

Projekto autorius

Doc. Egidijus Puida

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Saulės terminių kolektorių integravimo į esamą centralizuoto šilumos tiekimo sistemą analizė

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (6211EX023)

Mantas Mocevičius

Projekto autorius

Doc. Egidijus Puida

Vadovas

Prof. Gintautas Miliauskas

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Mantas Mocevičius

Saulės terminių kolektorių integravimo į esamą centralizuoto šilumos tiekimo sistemą analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Mantas Mocevičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Išduota studentui (-ei) – Mantui Mocevičiui

1. Projekto tema

Saulės terminių kolektorių integravimo į esamą centralizuoto šilumos tiekimo sistemą analizė
(Lietuvių kalba)

Analysis of the Integration of Solar Thermal Collectors into the Existing Centralized Heat Supply System

(Anglų kalba)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: Išanalizuoti saulės terminių kolektorių integravimo galimybes į esamą CŠT tinklą.

Uždaviniai:

1. atlikti didelio galingumo terminių saulės kolektorių sistemų literatūros analizę;
2. atlikti pasirinkto objekto su CŠT sistema situacijos analizę;
3. atlikti technolinius saulės terminių kolektorių sistemos, integruojant ją į CŠT, skaičiavimus;
4. atlikti apskaičiuotos sistemos energetinę, ekonominę ir ekologinę analizę;
5. atlikti apskaičiuotos ir analizuojamos sistemos rizikų analizę.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Projektas turi atitikti KTU rašto darbų rengimo metodinių nurodymų reikalavimus ir MIDF baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodinius reikalavimus.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Rekomenduojamas tyrimų rezultatų pristatymas MIDF konferencijoje „Industrial Engineering 2023“.

Projekto autorius	Mantas Mocevičius <i>(Vardas, Pavardė)</i>	<i>(Parašas)</i>	2023-02-09 <i>(Data)</i>
Projekto vadovas	Egidijus Puida <i>(Vardas, Pavardė)</i>	<i>(Parašas)</i>	2023-02-09 <i>(Data)</i>
Krypties studijų programų vadovas	Algimantas Balčius <i>(Vardas, Pavardė)</i>	<i>(Parašas)</i>	2023-02-10 <i>(Data)</i>

Mantas Mocevičius. Saulės terminių kolektorių integravimo į esamą centralizuoto šilumos tiekimo sistemą analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Egidijus Puida; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Saulės terminiai kolektoriai, integracija, CŠT tinklas, miestas, kolektorių laukas.

Kaunas, 2023. 60 p.

Santrauka

Siekiant padidinti šiluminės energijos gamybos dalį iš atsinaujinančių energijos šaltinių, dauguma Europos valstybių atsisako iškastinio kuro vartojimo bei pereina prie aplinkai draugiškesnių alternatyvų – biokuro bei saulės energijos. Puikus to pavyzdys yra Danija, kurioje didelio ploto saulės terminių jėgainių instaliuota galia siekia 1100 MW.

Šiame baigiamajame magistriniame darbe atliekama didelio ploto saulės terminių kolektorių literatūros analizė, išanalizuojamas jų veikimo principas bei technologiniai ir ekonominiai aspektai. Literatūros analizė panaudota kaip pagrindas tolimesniems skaičiavimams, kurių metu naudojantis EnergyPro programine įranga parinkta ir apskaičiuota saulės terminių kolektorių sistema, kuri integruota į esamą Tauragės miesto Beržės rajoninę katilinę ir jos CŠT tinklą. Atlikta šios sistemos ekonominė, ekologinė analizė bei rizikų analizė.

Mocevičius Mantas. Analysis of the Integration of Solar Thermal Collectors into the Existing Centralized Heat Supply System. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof Egidijus Puida; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Solar thermal collectors, integration, CHP network, city, collector field.

Kaunas, 2023. 60 p.

Summary

In order to increase the share of heat generation from renewable energy sources, most European countries are moving away from fossil fuels to more environmentally friendly alternatives such as biofuels and solar energy. A good example of this is Denmark, where the installed capacity of large-scale solar thermal power plants amounts to 1100 MW.

This thesis analyses the literature on large area solar thermal collectors, their principle of operation and their technological and economic aspects. The literature analysis was used as a basis for further calculations, which involved the selection and calculation of a solar thermal collector system using EnergyPro software, to be integrated into the existing Tauragė Beržės district boiler house and its CHP network. An economic, ecological and risk analysis of the system was carried out.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Europos šalių CŠT strategija	13
1.2. Lietuvos CŠT strategija	13
1.3. Saulės energijos ištekliai Lietuvoje	14
1.4. Saulės šilumos sistemų ir technologijų apžvalga	15
1.4.1. Centrinės saulės kolektorių šildymo sistemos	15
1.4.2. Išskirstyto tipo saulės šiluminės sistemos	16
1.5. Centralizuotos saulės šiluminės jėgainės su sezonine akumuliacine talpa veikimo principas .	16
1.6. Didelio galingumo saulės kolektorių sistemų analizė	18
1.7. Saulės kolektoriai	18
1.7.1. Plokštieji saulės kolektoriai	18
1.7.2. Vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriai	19
1.8. Akumuliacinės talpos	21
1.8.1. TTES talpos	21
1.8.2. PTES talpos	21
1.8.3. BTES talpos.....	22
1.8.4. ATES talpos.....	22
1.8.5. Skirtingų tipų akumuliacinių talpų privalumai ir trūkumai	22
1.9. Įgyvendinti didelio galingumo saulės terminių sistemų projektai Europoje	24
1.9.1. Saulės šiluminė jėgainė Silkeborgo mieste, Danijoje.....	24
1.9.2. Saulės šiluminė jėgainė Salaspilio mieste, Latvijoje.....	27
2. Esamos situacijos analizė	29
2.1. Tauragės miesto CŠT sistemos apžvalga	29
2.1.1. UAB „Tauragės šilumos tinklų“ eksploatuojamos katilinės	31
2.2. Tauragės miesto šilumos tiekimo tinklų būseną.....	32
2.2.1. Beržės katilinės termofikacinio vandens tiekimo tinklo duomenys	32
2.3. Beržės katilinės šiluminės energijos gamybos įrenginiai	33
2.4. Beržės katilinės šiluminės energijos gamybos poreikis	34
3. Tyrimo metodika	36
3.1. Saulės terminių kolektorių vietos parinkimas šalia Beržės katilinės.....	36
3.2. Klimatiniai Tauragės miesto duomenys	36
3.3. Saulės terminių kolektorių lauko dydžio įvertinimas	37
3.4. Saulės kolektorių ir akumuliacinės talpos integravimo į CŠT tinklą modeliavimo prielaidos	40
3.4.1. 1 variantas. Tiesioginis saulės kolektorių prijungimas į katilinės kontūrą be akumuliacinės talpos, grįžtamą termofikacinį vandenį šildant už kondensacinio ekonomaizerio	40
3.4.2. 2 variantas. Tiesioginis saulės kolektorių prijungimas į katilinės kontūrą su akumuliacine talpa, grįžtamą termofikacinį vandenį šildant už kondensacinio ekonomaizerio.....	44

4. Saulės terminių kolektorių sistemos įdiegimo į Tauragės miesto CŠT tinklą ekonominis ir ekologinis įvertinimas.....	51
4.1. Ekonominis įvertinimas.....	51
4.2. Subsidijos	51
4.3. Saulės terminių kolektorių sistemos atsipirkimo laikotarpio įvertinimas	51
4.4. Ekologinis įvertinimas.....	53
4.5. SSGG analizė.....	54
4.5.1. Stiprybės.....	54
4.5.2. Silpnybės	54
4.5.3. Galimybės.....	55
4.5.4. Grėsmės	55
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Sezoninių akumuliacinių talpų privalumai.....	23
2 lentelė. Sezoninių akumuliacinių talpų trūkumai.....	23
3 lentelė. Pagrindinės Silkeborgo saulės šiluminės jėgainės techninės charakteristikos [14]	25
4 lentelė. Tauragės miesto šilumos tiekimo tinklų pokytis.....	32
5 lentelė. Beržės katilinės šiluminės energijos gamybos įrenginiai.....	33
6 lentelė. Terminų saulės kolektorių Arcon Sunmark HT SolarBoost 35/10 techninė specifikacija [20]	38
7 lentelė. Beržės katilinės termofikacinio tinklo temperatūros duomenys	40
8 lentelė. Saulės terminiais kolektoriais pagaminamos šiluminės energijos duomenys	44
9 lentelė. Saulės terminiais kolektoriais pagaminamos šiluminės energijos duomenys po akumuliacinės talpos įdiegimo	46
10 lentelė. Susisteminti šiluminės energijos gamybos grafiko duomenys po akumuliacinės talpos įdiegimo metų bėgyje	49
11 lentelė. Saulės šiluminės jėgainės sistemos investiciniai ir kintamieji kaštai.....	51
12 lentelė. Mėnesiniai biokuro kiekio sutaupymai po saulės kolektorių sistemos įdiegimo	51
13 lentelė. Paprastoji atsipirkimo laikotarpio apskaičiavimas	52

Paveikslų sąrašas

1 pav. Saulės spinduliuotė Lietuvoje [7].....	15
2 pav. Centrinės saulės šilumos sistemos [8].....	16
3 pav. Išskirstyto tipo saulės šiluminės sistemos [8].....	16
4 pav. CSHPSS schema [9].....	17
5 pav. Dažniausiai pasitaikantys plokštieji saulės kolektoriai ir jų konstrukcija [11]	19
6 pav. Vakuuminių vamzdžių saulės kolektorius [11].....	19
7 pav. Vakuuminiai saulės kolektoriai : Šilumos vamzdžio tipo (kairėje) ir tiesioginio srauto (dešinėje) [11].....	20
8 pav. Vakuuminių saulės kolektorių veikimo principas: šilumos vamzdžio tipo (kairėje) ir tiesioginio srauto (dešinėje) [11].....	20
9 pav. Akumuliacinių talpų tipai [12]	21
10 pav. PTES akumuliacinės talpos skerspjūvis [12]	22
11 pav. Europos šalių naudojančių saulės energiją šildymui žemėlapis [13]	24
12 pav. Saulės šiluminė jėgainė netoli Silkeborgo miesto, Danija [14]	25
13 pav. Salaspilio miesto šilumos sistemos principinė technologinė schema [16].....	27
14 pav. Šiluminės energijos pokytis Tauragės miesto CŠT tinkle, GWh	29
15 pav. Šiluminės energijos vartotojų skaičiaus kitimas CŠT tinkle.....	30
16 pav. Šiluminės energijos kainos tarifai UAB „Tauragės šilumos tinkluose“, cnt/kWh [17]	31
17 pav. Pagamintos šiluminės energijos dalis Tauragės miesto katilinėse 2020 metais [18].....	31
18 pav. Beržės katilinės termofikacinių tinklų būseną.....	33
19 pav. Beržės katilinės šilumos generavimo įrenginių galių pasiskirstymo kreivė 2022 m.	34
20 pav. Šiluminės galios poreikio pasiskirstymas Beržės katilinės CŠT tinkle per 2022 metus	35
21 pav. Saulės kolektorių montavimui tinkamas sklypas šalia Beržės katilinės [32].....	36
22 pav. Aplinkos temperatūros grafikas Tauragės mieste 2022 metais remiantis CFSSR duomenimis	37
23 pav. Saulės spinduliuotės grafikas Tauragės mieste 2022 metais remiantis CFSSR duomenimis	37
24 pav. Saulės spindulių kritimo kampo modifikatoriaus (IAM) nustatymo principas.....	38
25 pav. Saulės spindulių kritimo kampo modifikatoriaus grafikas.....	39
26 pav. Saulės terminių kolektorių integravimo schema už KE	41
27 pav. Liepos mėnesio šiluminės galios generacijos grafikas.....	42
28 pav. Saulės terminiais kolektoriais generuojama galia metų bėgyje remiantis CFSSR duomenimis	43
29 pav. Optimalus akumuliacinės talpos tūrio ir saulės kolektorių ploto santykis priklausomai nuo saulės frakcijos [11].....	45
30 pav. Saulės terminių kolektorių integravimo schema už KE su akumuliacine talpa	46
31 pav. Liepos mėnesio šiluminės galios generacijos grafikas po akumuliacinės talpos įdiegimo..	48
32 pav. Galima šiluminės energijos gamyba po saulės kolektorių integracijos.....	50
33 pav. Esamos šiluminės energijos kainos palyginimas su galima šiluminės energijos kaina iš saulės kolektorių sistemos prie skirtingų finansavimo variantų.....	53
34 pav. Investicinių kaštų priklausomybė nuo saulės kolektorių ploto [32].....	55

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

Prof. – profesorius;

CŠT – centralizuotos šilumos tiekimas;

CSHPSS – Centralizuotos saulės šiluminės jėgainės su sezonine akumuliacine talpa;

HT FPC – aukštatemperatūriai plokštieji saulės kolektoriai;

KE – kondensacinis ekonomizeris;

CFSR – klimato prognozavimo sistema.

Įvadas

Šiomis dienomis daugelis Europos ir pasaulio valstybių yra skatinamos mažinti iškastinių kuro šaltinių naudojimą bei didinti energijos gavybos dalį iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Saulės šilumos sistemų integravimas į CŠT sistemas yra vis labiau plintanti praktika daugelyje Europos ir pasaulio šalių. Pagrindinė šios idėjos mintis, įtraukiant saulės kolektorių energiją į centralizuotą šilumos tinklą, yra sumažinti arba net visiškai patenkinti mažą CŠT tinklo poreikį vasaros laikotarpiu. Ankstesni tyrimai parodė, kad didelė saulės frakcija saulės centralizuoto šildymo srityje yra įmanoma tik tada, kai į sistemą yra integruota akumuliacinė talpa [1].

Daugelio šalių vyriausybės yra nustačiusios tikslus didinti atsinaujinančiųjų energijos šaltinių dalį šalies poreikyje dėl gamtinių išteklių išekvojimo, aplinkos apsaugos, energetinio saugumo ir ilgalaikių ekonominių problemų. Europoje buitinis karštas vanduo ir patalpų šildymas sudaro apie 80 % gyvenamųjų pastatų energijos poreikio. Saulės energijos panaudojimo galimybės naudojant saulės kolektorius yra didžiulės, nes šiems reikmėms reikalinga gana žema temperatūra [2]. Nors didelė dalis saulės terminių kolektorių naudojama privačiuose namuose, ši technologija per paskutinį dešimtmetį tapo populiari ir komerciniam naudojimui.

Europoje jau veikia 300 saulės terminių jėgainių, kurių galia viršija 350 kW. Danijos rinka smarkiai išaugo, o kitose šalyse, įskaitant Austriją, Vokietiją ir Švediją, stebima nuolatinė plėtra. Iš viso įrengta 1100 MW pajėgumų, o vidutinis rinkos augimas per pastaruosius penkerius metus kasmet buvo didesnis nei 35 %. Kitos Europos šalys ima sekti kitų šalių pavyzdžiu, todėl pradeda kurtis naujos rinkos [2].

Kiekvienoje technologijoje galima įžvelgti tiek plusų, tiek minusų. Pagrindiniai šios technologijos plusai yra technologiškai pakankamai lengvas integravimas į CŠT tinklą, taip pat konkurencinga šilumos kaina vasaros metu bei didelis energijos paklausos patenkinimas. Galima teigti, kad pagal ištirtą problematiką didžiausios kylančios problemos, integruojant saulės šilumos sistemas į CŠT tinklą yra šios [3]:

- reikalauja didelių investicijų;
- reikalingi dideli žemės plotai;
- politinio skatinimo trūkumas, nėra subsidijų ar kitokio valdžios paskatinimo plėsti šią technologiją;
- abejonės dėl technologijos.

Baigiamojo magistrinio darbo tikslai - Atlikti pasirinkto mažo Lietuvos miestelio, kuriame šilumos tiekimas objektams vykdomas per centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) sistemą, galimybių analizę, įrengiant didelio ploto saulės šiluminių kolektorių sistemą ir ją integruojant į CŠT. Taip pat atlikti išsamią energetinę ir ekonominę analizę bei SSGG analizę.

Šiems išsikeltiems tikslams įgyvendinti bus sprendžiami šie uždaviniai:

1. atlikti didelio galingumo terminių saulės kolektorių sistemų literatūros analizę;
2. atlikti pasirinkto objekto su CŠT sistema situacijos analizę;
3. atlikti technologinius saulės terminių kolektorių sistemos, integruojant ją į CŠT, skaičiavimus;
4. atlikti apskaičiuotos sistemos energetinę, ekonominę ir ekologinę analizę;
5. atlikti apskaičiuotos ir analizuojamos sistemos rizikų analizę.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Europos šalių CŠT strategija

Šiuo metu beveik 50 % visos Europoje suvartojamos energijos sunaudojama šilumos gamybai buityje arba pramonėje. Didžioji šios energijos dalis pagaminama deginant iškastinį kūrą, pavyzdžiui, naftą, dujas ir anglis, o žalingą poveikį aplinkai pirmiausia daro su tuo susijęs šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas ir naudingųjų išteklių gavybos procesas. Vėsinimas, išskyrus kelias išimtis, vyksta procesais, varomais elektros energija, kuri taip pat daugiausia gaminama iš iškastinio kuro. Dėl klimato kaitos sukeltų socialinių, aplinkosauginių ir ekonominių padarinių turime skubiai pereiti prie tvaresnės energetikos ekonomikos, pagrįstos atsinaujinančiais energijos šaltiniais [4].

Lyginant su kitais pasaulio žemynais, šiuo metu Europa pirmauja pagal atsinaujinančiųjų išteklių energijos integravimą į centralizuotą šilumos tiekimą – apie 25 proc. centralizuotai tiekiamos šilumos pagaminama iš atsinaujinančiųjų išteklių. Ypač dideli rodikliai stebimi tokiose šalyse kaip Švedija, Danija, Austrija, Estija, Lietuva, Latvija ir Islandija, kuriose daugiau kaip 50 % centralizuotai tiekiamos šilumos pagaminama iš atsinaujinančių išteklių [5].

Pagal „Grynojo nulio“ scenarijų centralizuotai tiekiamą šilumą ir toliau sudarys panašią galutinio pasaulinio šilumos suvartojimo dalį, nors energijos vartojimo efektyvumo didinimas centralizuoto šilumos tiekimo tinkluose ir pastatų atitvaruose leidžia iki 2030 m. centralizuotai tiekiamos šilumos kiekį sumažinti maždaug 20 %, lyginant su 2021 m. Per tą patį laikotarpį centralizuotuose tinkluose naudojama atsinaujinančioji energija, palyginti su dabartiniu lygiu, beveik padvigubės, o 2030 m. atsinaujinantys šaltiniai (įskaitant atsinaujinančiąją elektros energiją) sudarys beveik penktadalį centralizuotai tiekiamos šilumos.

Apie 40 proc. centralizuoto šilumos tiekimo įmonėse pagamintos šilumos suvartojama pastatų sektoriuje. Visame pasaulyje centralizuotai tiekiamą šilumą sudaro palyginti nedidelę dalį pastatuose suvartojamos šilumos – tik 11 % galutinio šilumos suvartojimo šiame sektoriuje – ir ši dalis nuo 2000 m. išliko įspūdingai pastovi, turint omenyje, kad per tą patį laikotarpį pastatų plotas padidėjo 65 %. Tačiau, nors vidutinė pasaulinė dalis yra maža, centralizuotai tiekiamą šilumą kai kuriose Europos šalyse, pavyzdžiui, Danijoje (apie 65 %) ir Švedijoje (daugiau kaip 45 %), sudaro didelę dalį pastatams šildyti naudojamos šiluminės energijos [5].

Ankščiau paminėtos šalys, tokios kaip Danija ir Švedija, įsipareigojo iki 2050 m. tam tikra prasme tapti neutraliomis CO₂ emisijų atžvilgiu. Dauguma Europos valstybių yra išsikėlusios tarpinius išmetamųjų teršalų mažinimo tikslus, pavyzdžiui, Nyderlandai reikalauja, kad iki 2030 m. 20 proc. namų turėtų atsinaujinančias arba beveik anglies dioksido neišskiriančias šildymo sistemas, o Prancūzija ir Vokietija siekia, kad iki tų pačių metų 38 proc. ir 27 proc. visos suvartojamos šilumos atitinkamai būtų gaunama iš atsinaujinančių šaltinių [4].

1.2. Lietuvos CŠT strategija

Didžiausias centralizuotam šilumos tiekimui keliamas tikslas Lietuvoje šiuo metu – padidinti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą. Šilumos gamybai skirtas iškastinio kuro, ypač gamtinių dujų, keitimas biokuru leido sparčiai padidinti atsinaujinančių energijos išteklių dalį šilumos sektoriaus kuro balanse iki beveik 75 proc. ir pasiekti numatytus tikslus (2020 m. – 70 proc.). Siekiant tolygesnės ir efektyvesnės atsinaujinančių energijos išteklių plėtros visos šalies mastu, planuojant

sparčią pastatų renovaciją bei šiluminės energijos poreikio mažėjimą, būtina užtikrinti tinkamą centralizuoto šilumos tiekimo sistemų planavimą, kad laiku būtų įvertinti būsimi sektoriaus pokyčiai ir priimti technologiniai bei investiciniai sprendimai, kurie leistų užtikrinti alternatyviųjų bei vietinių atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo plėtrą [6].

AEI naudojimas yra laikomas vienu svarbiausių Lietuvos energetikos politikos strateginių tikslų, siekiant sumažinti iškastinio kuro importą, apsirūpinant vietiniais energijos ištekliais, taip prisidedant prie klimato kaitos stabilizavimo ir mažinant šilumos kainą vartotojams. Planuojama, kad iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių pagaminta šiluma iki 2030 metų sudarys 90 proc., iki 2050 m. – 100 proc. visos centralizuotai tiekiamos šilumos. Norint tai pasiekti, vienas iš esminių uždavinių šilumos sektoriuje nuo 2021 m. yra CŠT sistemų transformacija, pereinant prie modernesnių ir efektyvesnių šilumos gamybos ir tiekimo būdų, kurie leistų mažinti išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir taip prisidėtų prie kovos su klimato kaita [6].

1.3. Saulės energijos ištekliai Lietuvoje

Saulės energija – energija gaunama iš saulės spinduliuotės lemianti planetos klimatą ir gyvybės Žemėje palaikymą. Saulės šviesa ir šiluma yra laikoma atsinaujinančiu energijos šaltiniu, tačiau nepaisant to, technologijos vis dar nėra tiek išvystytos, kad pavyktų maksimaliai panaudoti šį energijos šaltinį. Lyginant su pasaulinėmis tendencijomis, Lietuvoje saulės energija nėra plačiai naudojama, nors bendras susidomėjimas nuolat auga. Dažnai manoma, kad saulės kolektoriai negali veikti efektyviai esant intensyvios saulės spinduliuotės trūkumui. Tačiau lyginant saulės spinduliuotės duomenis, pastebima, kad Lietuva niekuo neatsilieka nuo kaimyninių valstybių [7].

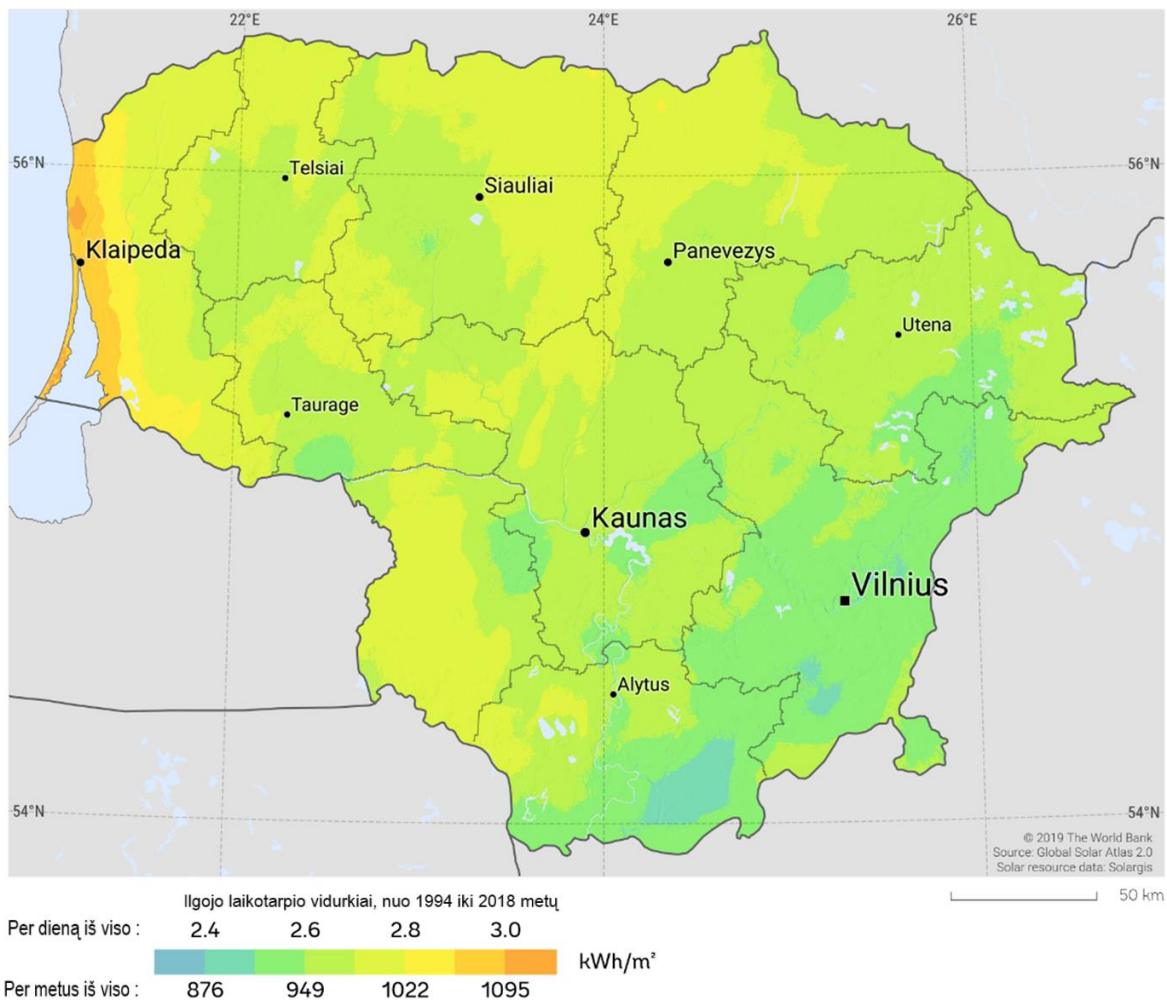
Palyginimui pateikiama metinės saulės spinduliuotės kaimyninėse šalyse:

- Norvegija – 780 kWh/m²;
- Švedija – 820–1050 kWh/m²;
- Vokietija – 1400–1650 kWh/m²;
- Italija – 1530 kWh/m².

Vidutiniškai Lietuvoje metinė saulės spinduliuotė siekia 1000 kWh/m². (žr. 1 pav.)

TIESIOGINĖ NORMALIOJI APŠVIETA

LIETUVA



1 pav. Saulės spinduliuotė Lietuvoje [7]

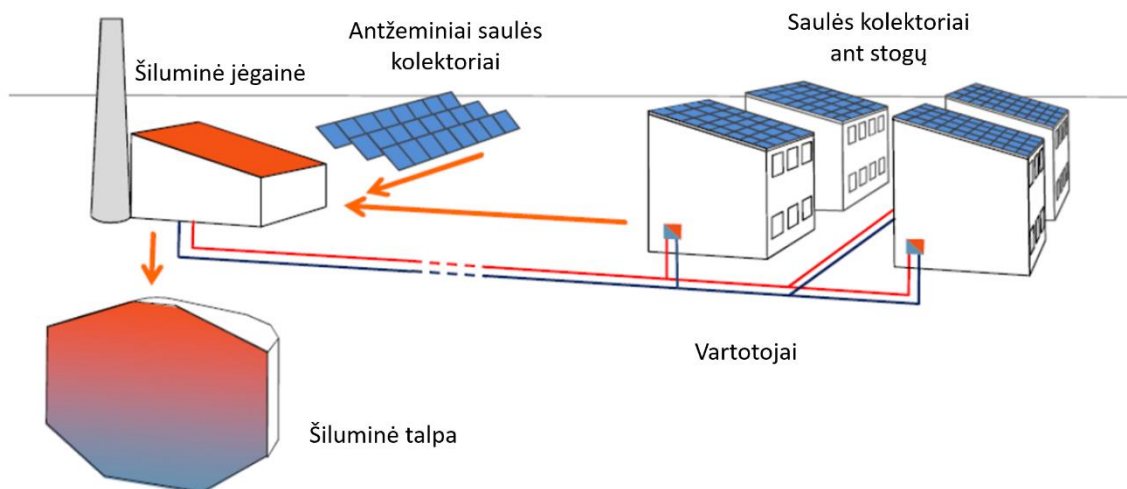
1.4. Saulės šilumos sistemų ir technologijų apžvalga

Kalbant abstrakčiai, centrinio šildymo saulės šilumos sistemos susideda iš didelio ploto saulės kolektorių laukų, integruotų į centrinio šildymo tinklus skirtus šilumos tiekimui gyvenamosioms bei pramoninėms zonoms. Praktikoje tokios sistemos gali būti diegiamos kelių skirtingų tipų, priklausomai nuo ribinių sąlygų [1].

1.4.1. Centrinės saulės kolektorių šildymo sistemos

Kaip alternatyva, saulės kolektoriai gali būti montuojami ant pastatų stogų, kur šiluma centrinio šilumos tinklu perduodama atgal į šiluminę jėgainę. Prie katilinės prijungta didelės talpos, ilgo laikotarpio šilumos akumuliacijos talpa leidžia išgauti aukštas saulės frakcijas.

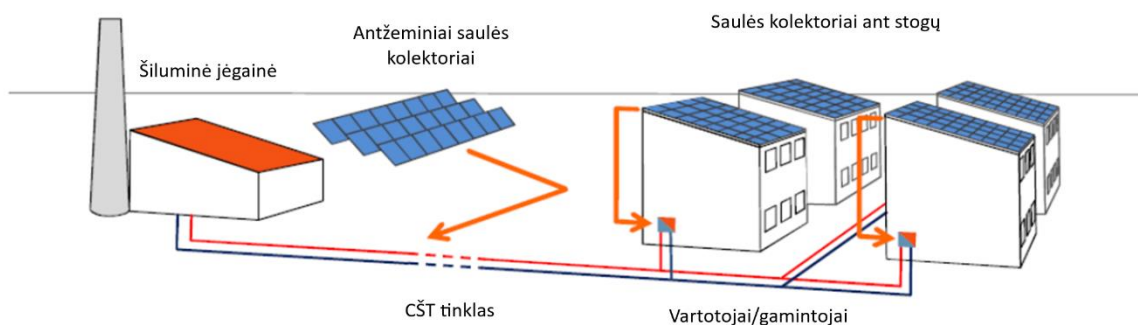
Centrinėse saulės kolektorių šildymo sistemose, saulės kolektorių sistema yra tiesiogiai prijungiama prie pagrindinės centralizuoto šilumos tiekimo tinklo energijos generavimo sistemos. Saulės kolektoriai dažniausiai yra montuojami ant žemės netoli šiluminės jėgainės [1].



2 pav. Centrinės saulės šilumos sistemos [8]

1.4.2. Išskirstyto tipo saulės šiluminės sistemos

Išskirstyto tipo saulės šiluminėse sistemose saulės kolektoriai yra montuojami bet kurioje vietoje netoli centrinio šildymo tinklo bei tiesiogiai prijungiami prie tinklo pagrindinio kontūro. Dažnai saulės šilumos sistemų įrenginiai centralizuoto šilumos tiekimo tinklą naudoja kaip saugyklą (jei tiekia nedidelį šilumos kiekį, palyginti su bendra apkrova centralizuoto šildymo sistemoje) [1].



3 pav. Išskirstyto tipo saulės šiluminės sistemos [8]

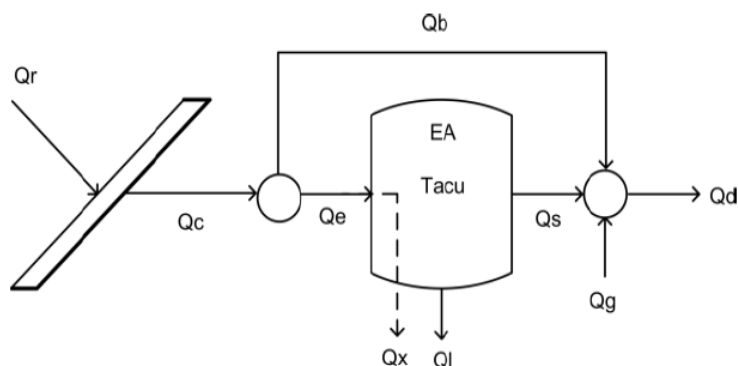
1.5. Centralizuotos saulės šiluminės jėgainės su sezonine akumuliacine talpa veikimo principas

Centralizuotos saulės šiluminės jėgainės su sezonine akumuliacine talpa (angl. Central solar heating plants with seasonal storage arba CSHPSS) gali efektyviai padengti karšto vandens poreikį šildymui bei buitiniam vandeniui už prieinamą kainą dideliame kiekiui gyvenamųjų namų. Šiuo metu tokios sistemos šiluma aprūpina dideles bendruomenes centrinėje ir šiaurinėje Europos dalyse. Puikus to pavyzdys yra Danija, šalis, kurioje saulės spinduliuotė nėra labai didelė, tačiau CSHPSS šildymas yra plačiai taikomas, dėka palankios teisinės, socialinės bei ekonominės sistemos. 2014 Danijoje buvo daugiau negu 50 veikiančių centralizuotų saulės jėgainių integruotų į CŠT tinklą, kurių pagalba generuojamos šilumos kaina be valstybės subsidijų buvo mažesnė negu 0,05 €/kWh [9].

Taigi, taupi saulės energijos CŠT sistema su didele saulės frakcija ir dideliais saulės spinduliuotės resursais gali būti ekonomiškai patrauklesnė negu tradicinė centralizuoto šilumos tiekimo sistema.

Ne tik ekonominė, bet ir ekologinė šios technologijos pusė yra labai svarbi, kadangi tai leistų sumažinti CO₂ bei kietųjų dalelių išmetimus, taip saugant gyventojų sveikatą [9].

4 paveiksle yra pavaizduota CSHPSS sistemos modelio schema, pagal kurią veikia daugelis CSHPSS sistemų.



4 pav. CSHPSS schema [9]

Iš saulės gaunama spinduliuotė (Q_r) yra surenkama saulės kolektorių, kurių sugeneruota šiluminė energija (Q_c) yra skaičiuojama pagal kiekvienos mėnesio dienos valandinius apkrovimus. Vanduo talpoje priimamas kaip visiškai susimaišęs, t.y nėra stratifikacijos proceso. Nustatytu laikotarpiu akumuliacinėje talpoje yra palaikoma vienoda vandens temperatūra. Akumuliacinės talpos šilumos nuostoliai ir eksploatacinės savybės yra apskaičiuojamos lyginant akumuliacinės talpos temperatūras mėnesio pradžioje ir pabaigoje. Prielaida akumuliacinėje talpoje palaikyti vienodą vandens temperatūra nustatytu laikotarpiu yra visiškai pagrįsta, kadangi vanduo turi geras termodinamines savybes (didelę šiluminę talpą) [9].

Sezoninės šiluminės talpos turi 2 pagrindinius darbo režimus per metus:

- iškrovimą;
- pakrovimą.

Pakrovimo procesas yra taikomas tada, kai saulės kolektorių generuojama šiluma (Q_c) yra didesnė negu šiluminės energijos poreikis tinkle (Q_d). Dalis tiekiamos šilumos yra nukreipiama tiesiogiai į CŠT tinklą (Q_b), o kita perteklinė šilumos energijos dalis bus nukreipiama į sezoninę šilumos talpą tolimesniam akumuliaciniam. Iškrovimo proceso metu, šilumos poreikis tinkle (Q_d) yra didesnis negu saulės kolektorių generuojama šiluminė energija (Q_c), tokiu atveju pirmiausia yra iškraunama šilumos talpa (Q_s), ir tik tuo atveju, jeigu šiluminės energijos tinklo poreikiams vis tiek nepakanka padengti, į sistemą yra jungiami pagalbiniai šilumos šaltiniai (Q_g), kurie padengia šilumos trūkumą. Sezoninės šiluminės talpos veikimas yra ribojamas dviejų temperatūrinių limitų – maksimumo ir minimumo. Kai yra pasiekiamas temperatūrinis minimumas, šiluminė talpa daugiau nebegali būti iškraunama ir pagalbinė energijos tiekimo sistema turi padengti šilumos poreikį tinkle (Q_g). Atvirkštinis procesas vyksta akumuliacinei talpai pasiekus temperatūrinį maksimumą. Kai ši temperatūra yra pasiekama, dalis šilumos yra išmetama (Q_x) norint apsisaugoti nuo perkaitinimo ir įrangos sugadinimo. Šiluminės talpos nuostoliai yra taip pat apskaičiuojami (Q_l), juos įvertinant priimama, kad sezoninės šiluminės talpos efektyvumas turėtų būti apie 70-80% [9].

1.6. Didelio galingumo saulės kolektorių sistemų analizė

Europoje, didelio galingumo terminių saulės kolektorių sistemų integravimas į CŠT tinklus yra naudojamas nuo 1980 metų. Šiuo metu Europoje skaičiuojama apie 400-450 didelio galingumo saulės kolektorių sistemų įgyvendintų projektų. Viena iš pirmaujančių šalių yra Danija, kurioje yra įgyvendinti vieni iš didžiausių Europos projektų [10].

Daugumoje centralizuoto šilumos tiekimo tinklų sistemų yra taikomas aktyvusis trumpalaikis šilumos kaupimas akumuliacinėse talpose arba pasyvusis kaupimas pačiame tinkle. Trumpalaikis saugojimas dažniausiai naudojamas siekiant išlyginti dienos poreikio svyravimus, kai didžiausias šiluminės energijos poreikis yra ryte arba popiet. Trumpalaikės akumuliacinės talpos dažniausiai yra skirtos vandenį akumuliuoti iki poros valandų, priklausomai nuo talpos dydžio bei reikiamo šilumos poreikio. Dėl sistemos projektavimo apribojimų šiomis trumpalaikio saugojimo talpyklomis energiją kaupti ilgesnį laikotarpį nėra įmanoma [10].

Vasaros metu šiluminės energijos poreikis tinkle yra nedidelis, ir dažniausiai yra naudojamas karštam buitiniam vandeniui paruošti. Šilumos poreikis didėja priklausomai nuo aplinkos temperatūros mažėjimo, ypač žiemos mėnesiais. Vasaros mėnesiais yra eksploatuojami pigiausi bazinės apkrovos gamybos įrenginiai, siekiant padengti tinklo poreikius. Vidutinės ir didžiausios apkrovos gamybos įrenginiai paleidžiami nukritus aplinkos temperatūrai, siekiant patenkinti didėjančią šilumos paklausą [10].

Kai kuriuose centralizuoto šilumos tiekimo tinkluose, kogeneracinės elektrinės naudojamos tiek šilumai tiek elektrai gaminti. Kogeneracinės elektrinės pelningumas didėja, jei jėgainė per metus eksploatuojama kuo daugiau valandų ir jei pavyksta išlaikyti aukštą elektros energijos gamybą. Jeigu vasaros metu nėra pagamintos šilumos poreikio, šiluminė energija išmetama į aplinką arba sumažinami šiluminės energijos gamybos pajėgumai, dėl to sumažėja ir elektros energijos gamyba. Jei pagamintą šiluminę energiją būtų galima kaupti ilgesnį laiką, būtų galima išlaikyti pastovią elektros energijos gamybą, taip didinant pelningumą [10].

1.7. Saulės kolektoriai

Dažniausiai rinkoje sutinkami vakuuminių vamzdžių bei plokštieji saulės kolektoriai. Rinkoje taip pat yra prieinami ir koncentruojantys saulės kolektoriai taip pat, bet kadangi didelė metinė saulės apšvietos dalis yra difuzinė, ypač šiaurinėje Europos dalyje, koncentruojantys saulės kolektoriai tampa nebeefektyvūs. Kolektorių pasirinkimas priklauso nuo kelių veiksnių:

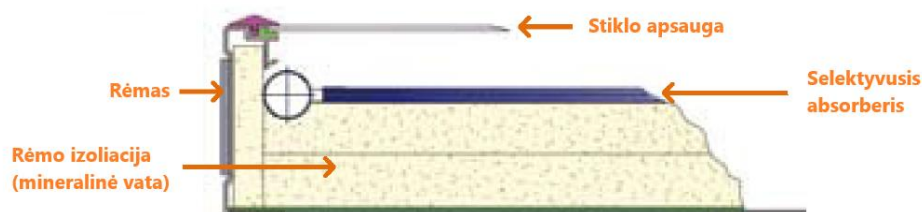
- kolektorių kaina;
- efektyvumas;
- darbinė temperatūra;
- vietovė. (Saulės apšvieta, aplinkos temperatūros).

1.7.1. Plokštieji saulės kolektoriai

Populiariausia kolektorių rūšis, naudojama pramoninio dydžio saulės kolektorių sistemose, yra plokštieji saulės kolektoriai. Plokščiojo kolektoriaus apvalkalas, kraštai ir galinė dalis yra pagaminti iš tvirtos medžiagos, kuri gali būti eksploatuojama ilgą laiką, net iki 25 metų. Norint padidinti kolektoriaus efektyvumą ir energijos išėgą, labai svarbu turėti tinkamą izoliaciją, ypač galinėje korpuso dalyje ir šonuose. Priklausomai nuo įrengimo aplinkybių, šilumnešis gali būti grynas vanduo,

neužšalantis mišinys arba oras. Plokštieji saulės kolektoriai paprastai naudojami žemos temperatūros sąlygomis [10].

Paprastai didesnėse sistemose naudojami vadinamieji aukštatemperatūriai plokštieji saulės kolektoriai, (angl. High Temperature Flat Plate Solar Collectors arba HT FPC). Daugumos didelių saulės kolektorių sistemų tiekimo temperatūrai, kuri išlieka pastovi, reguliuoti naudojamas kintamas srautas. Devynių skirtingų jėginių Danijoje vidutinis rodiklis yra apie 3 m² užimamo žemės ploto vienam m² efektyvaus saulės kolektorių ploto. HT FPC įrengti reikalingas žemės plotas skiriasi priklausomai nuo įrenginio. HT FPC skiriasi nuo įprastinių FPC tuo, kad turi didesnę įstrižainės plotą, didesnę šiluminę efektyvumą ir aukštesnę darbinę temperatūrą. HT FPC darbinė temperatūra gali siekti iki +90 °C ir daugiau. Vidutinė HT FPC kaina buvo apskaičiuota 242 Eur/m² apertūros ploto, įskaitant būtinus vamzdžius ir vidaus cirkuliacijos siurblius [10]. Dažniausiai pasitaikančių plokščiųjų saulės kolektorių ir jų pagrindinių sudedamųjų dalių schema vaizduojama 5 pav.



5 pav. Dažniausiai pasitaikantys plokštieji saulės kolektoriai ir jų konstrukcija [11]

1.7.2. Vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriai

Vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriai gaminami įvairiais būdais, tačiau visuose juose absorberiu izoliuoti naudojamas vakuumas. Tokių kolektorių pavyzdys pateiktas 6 paveiksle [11].



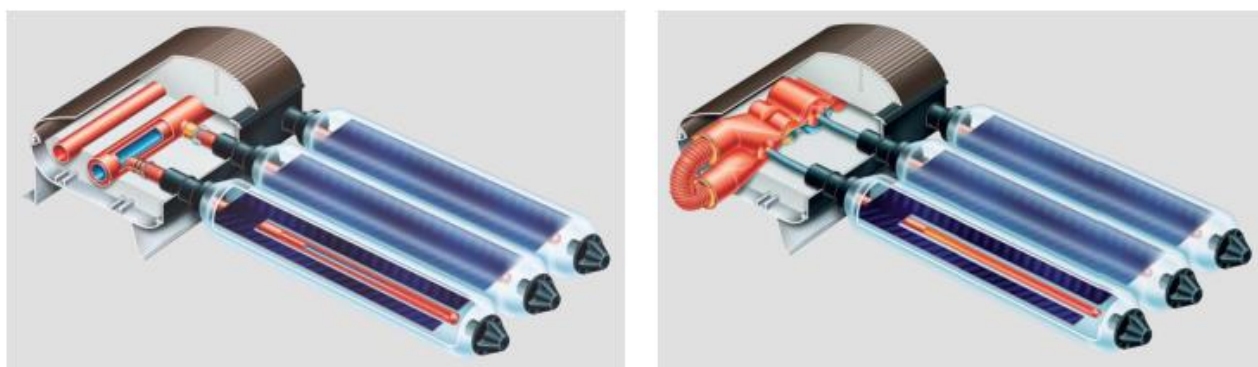
6 pav. Vakuuminių vamzdžių saulės kolektorius [11]

ETC šiluma gali būti surenkama per absorberį tekančiu saulės kolektoriaus skysčiu, kaip plokščiuose kolektoriuose, arba gali būti surenkama šilumos vamzdžio principu. Šilumos vamzdyje yra tik

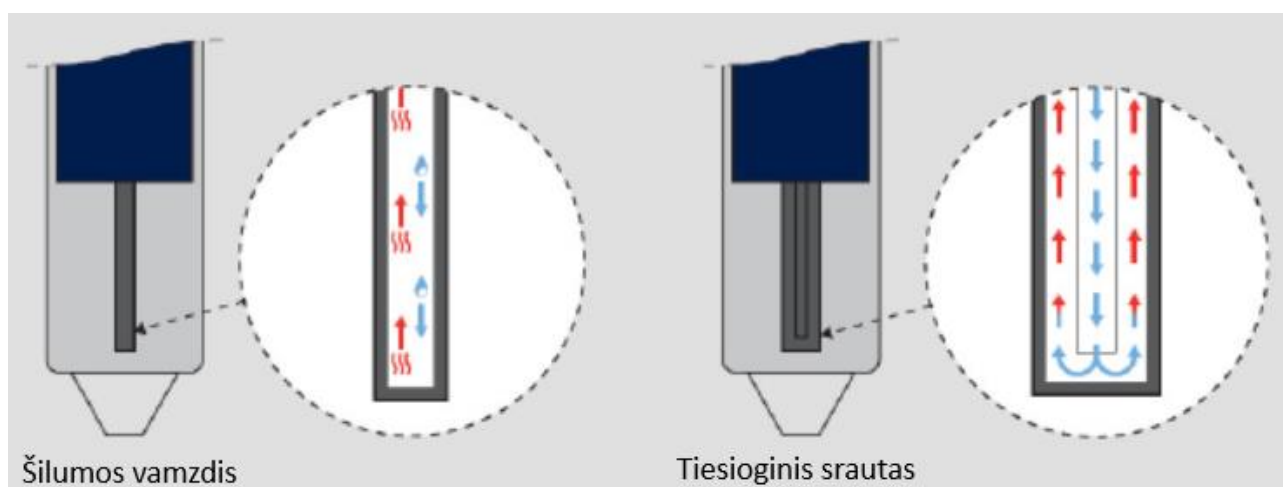
nedidelis kiekis skysčio, uždaryto kiekviename evakuaciniame vamzdyje. Energija perduodama keturiais etapais [11]:

1. šį skystį išgarina saulės spinduliuotė;
2. garai pakyla į viršų, kur susiduria su (šaltesniu) vamzdžiu, kuriuo teka skystis;
3. garai kondensuojasi, taip perduodami latentinę šilumą skysčiui viršutiniame vamzdyje;
4. kondensuotas skystis evakuotuose vamzdžiuose teka atgal į vamzdžio apačią, kur procesas gali prasidėti iš naujo.

Praktikoje šis procesas yra nuolatinis, o ne laipsniškas. Skirtumas tarp šilumos vamzdžių ir tiesioginio srauto ETC matyti toliau pateikuose 7 ir 8 paveiksluose.



7 pav. Vakuuminiai saulės kolektoriai : Šilumos vamzdis tipo (kairėje) ir tiesioginio srauto (dešinėje) [11]



8 pav. Vakuolinių saulės kolektorių veikimo principas: šilumos vamzdis tipo (kairėje) ir tiesioginio srauto (dešinėje) [11]

Vietoj bendraašio tiesioginio srauto vakuolinių vamzdžių saulės kolektoriai taip pat gali būti gaminami kaip „U formos vamzdžiai“, kai saulės kolektoriaus skystis teka vienu U formos vamzdžiu. Dažnai už kolektorių įrengiami įgaubti veidrodžiai. Tokiu būdu beveik visa spinduliuotė, kuri priešingu atveju prasiskverbtų tarp kolektoriaus vamzdžių, atsispindi ant vamzdžių iš užpakalinės pusės. Reflektoriai gali būti pagaminti iš pigios medžiagos, pvz., poliruoto aliuminio. Tačiau, kad šis sprendimas būtų veiksmingas, reikia, kad galinė absorberio pusė turėtų selektyvų paviršių, kaip ir priekinė.

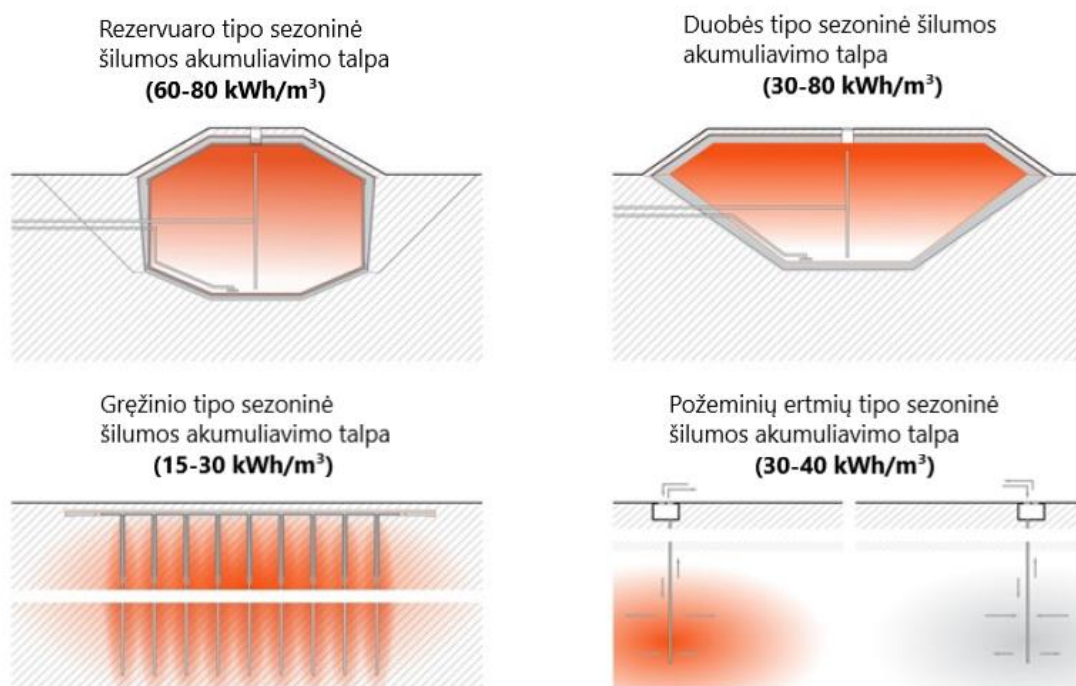
1.8. Akumuliacinės talpos

Dažniausiai sezoninėmis akumuliacinėmis talpomis vadiname tokias talpas, kurios karštą vandenį gali kaupti nuo savaitės iki vienerių metų [6].

Šiomis dienomis plačiausiai yra naudojamos šių tipų sezoninės akumuliacinės talpos:

- PTES (angl. Pit thermal energy storage) – duobės tipo sezoninio šilumos akumuliavimo talpa;
- BTES (angl. Borehole thermal energy storage) – gręžinio tipo sezoninio šilumos akumuliavimo talpa;
- ATES (angl. Aquifer thermal energy storage) – požeminių ertmių sezoninio šilumos akumuliavimo talpa;
- TTES (angl. Tank thermal energy storage) – rezervuaro tipo sezoninio šilumos akumuliavimo talpa.

Šios akumuliacinės talpos pateikiamos 5 pav.



9 pav. Akumuliacinių talpų tipai [12]

1.8.1. TTES talpos

Šios talpos yra panašios kaip dienos saugojimo akumuliacinės talpos, tik didesnės. Daugiau jos yra naudojamos sezoniniam šilumos akumuliavimui saulės centralizuoto šildymo sistemose, pavyzdžiui Vokietijoje didžiausia tokia talpa siekia 12000 m³ [12].

1.8.2. PTES talpos

Iš esmės, PTES talpos yra tiesiog dideli vandens rezervuarai, kurie yra naudojami šilumos akumuliavimui. Vandens, kaip fluideo, naudojimas sezoniniam šilumos kaupimui turi kelis pagrindinius pranašumus:

- vanduo nėra toksiškas;
- galima stratifikacija (vandens sluoksniavimasis pagal skirtingas temperatūras);
- geros šilumos perdavimo charakteristikos ir aukšta savitoji šiluminė talpa;
- didelis vandens prieinamumas leidžia jo lengvai įsigyti už mažą kainą.

PTES talpos gali būti projektuojamos įvairių formų, bet paprasčiausia iš jų yra nupjautos piramidės forma, kaip yra pavaizduota 10 paveiksle [12].



10 pav. PTES akumuliacinės talpos skerspjūvis [12]

Siekiant sumažinti grunto saugojimo bei transporto išlaidas, iškastas gruntas iš tranšėjos yra supilamas į pylimus aplink viršutinę saugyklos dalį, taip padidinant akumuliacinės talpos tūrį [12].

1.8.3. BTES talpos

Gręžinio tipo sezoninio šilumos akumuliacinės talpos dažniausiai yra kombinuojamos su šilumos siurbliais, ir toks veikimo modelis yra įgyvendintas Europos šalyse. Paprastai BTES talpos veikia prie žemos temperatūros parametru (nuo 0 iki 30 °C) . Šių akumuliacinių talpų naudingumo koeficientas gali siekti nuo 90 iki 100%, tuo metu kai BTES talpa veikia esant vidutinei natūraliai žemės temperatūrai, bei nesant dideliame požeminių vandenų tekėjimui. Be to, šioms akumuliacinėms talpoms reikia nedidelio žemės ploto. Taip pat, šios akumuliacinės talpos gali saugoti aukštos temperatūros vandenį (iki 90 °C) [12].

1.8.4. ATES talpos

ATES sezoninėse akumuliacinės talpose saugant karštą ir/arba šaltą vandenį, tiesioginiai šilumos mainai vyksta per vertikalius šulinius. Olandijoje ir Švedijoje yra įdiegtos kelios ATES talpos veikiančios kartu su šilumos siurbliais, naudojamos tiek šildymui tiek vėsinimui. Šios talpos yra labiausiai efektyviausios saugant žemos temperatūros fluidą [12].

Talpos pakrovimas yra gaunamas pumpuojant žemės vandenį per šilumokaitį į kitą akumuliacinę talpą esančią šalia po žeme. Kai talpa iškraunama, karštas vanduo pumpuojamas atgal per šilumokaitį ir šilumos siurblių, taip sumažinant vandens temperatūrą. Tada vanduo perpumpuojamas į pirmąją talpą su šaltu vandeniu [12].

1.8.5. Skirtingų tipų akumuliacinių talpų privalumai ir trūkumai

Lyginant skirtingų tipų sezoninio šilumos akumuliacinės talpas, galima išskirti skirtingo tipo talpų privalumus ir trūkumus. Dažniausiai rinkoje naudojamų akumuliacinių talpų privalumai pateikiami lentelėje 1 lentelėje.

1 lentelė. Sezoninių akumuliacinių talpų privalumai

PTES	BTES	ATES
<ul style="list-style-type: none"> • Galima didelė šilumos akumuliacinė talpa • Greitas talpos pakrovimas ir iškrovimas • Didelė specifinė šiluminė talpa • Pigus fluidas su geromis šilumos perdavimo savybėmis • Galima stratifikacija 	<ul style="list-style-type: none"> • Reikia nedidelio žemės ploto • Vizualiai praktiškai nematomas • Galimybė plėsti • Maža nuotėkio tikimybė • Uždara sistema • Ilga gyvavimo trukmė 	<ul style="list-style-type: none"> • Maži investavimo kaštai • Maži eksploatacijos kaštai • Lengvai išplečiamas

Remiantis 1 lentelės duomenimis pastebima, kad iš šių trijų pateiktų šiluminės energijos akumuliacinio talpų, daugiausiai privalumų turi PTES tipo talpa, kurios išsiskiria didele šilumos akumuliacine talpa, taip pat greitu talpos pakrovimo ir iškrovimo laiku. Šios talpos yra vienos ir dažniausiai naudojamų rinkoje.

Tačiau nepaisant akcentuojamų privalumų, kiekvienas talpos tipas turi ir tam tikrų trūkumų. Pagrindiniai rinkoje naudojamų akumuliacinių talpų trūkumai pateikiami lentelėje 2 lentelėje.

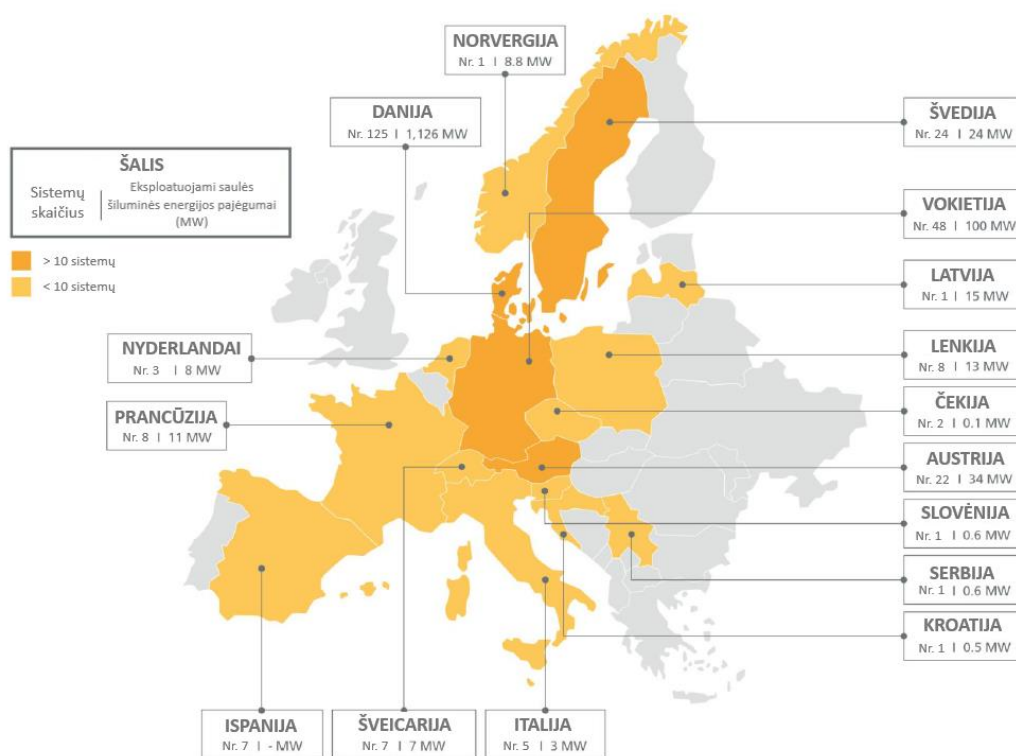
2 lentelė. Sezoninių akumuliacinių talpų trūkumai

PTES	BTES	ATES
<ul style="list-style-type: none"> • Reikia didelio žemės ploto • Sudėtingos instaliacijos rizika • Reikalingas geras prieinamumas technikai • Pažeidžiamas izoliacinis ir sandarinimo sluoksnis sukelia nuotėkio riziką 	<ul style="list-style-type: none"> • Nežinoma dirvožemio situacija • Šilumos praradimo rizika dėl tekančio požeminio vandens • Boilerio poreikis • Šilumos siurblio poreikis • Lėtas pakrovimas ir iškrovimas 	<ul style="list-style-type: none"> • Trumpojo jungimo pavojus • Kelių parametrų įtaka veikimui • Žemos talpos temperatūros (20 °C) • Atvira sistema (tiesioginis požeminio vandens naudojimas)

Remiantis 2 lentelėje pateikiamais duomenimis, didžiausias abejones kelia BTES tipo talpa, kadangi šių talpų projektų įgyvendinimo situacija priklauso nuo kelių pagrindinių faktorių, pvz. dirvožemio situacijos bei po žeme esančio požeminio vandens, kuris gali nuvesti šilumą iš akumuliacinės talpos. Taip pat BTES tipo technologiniame procese yra reikalingas šilumos siurblys, kuris padaro šias akumuliacines talpas ekonomiškai nepatraukliomis [12].

1.9. Įgyvendinti didelio galimumo saulės terminių sistemų projektai Europoje

Šiame skyrelyje bus apžvelgiami didelio pajėgumo saulės kolektorių sistemų, integruotų į egzistuojantį CŠT tinklą, įgyvendinti projektai Europoje. Remiantis 2023 metų duomenimis, 264 Europos miestai ir miesteliai naudoja atsinaujinančią energiją šildymui, tam pritaikant terminius saulės kolektorius. Šalių, naudojančių saulės terminius kolektorius žemėlapis pateikiamas 11 paveiksle.



11 pav. Europos šalių naudojančių saulės energiją šildymui žemėlapis [13]

Iš šio žemėlapio matome, kad vienareikšmė lyderė saulės terminių kolektorių integracijoje į CŠT sistemas yra Danija, kurios bendra instaliuota saulės terminių sistemų galia siekia 1126 MW. Kalbant apie Baltijos šalis, šiuo metu tik vienintelė Latvijos valstybė yra įsidiegusi 15 MW galios saulės terminę jėgainę.

1.9.1. Saulės šiluminė jėgainė Silkeborgo mieste, Danijoje

Šiuo metu didžiausia pasaulyje saulės šiluminė jėgainė yra Danijoje, netoli Silkeborgo miesto. Šio miesto atveju, saulės kolektoriai buvo ekonomiškai efektyviausia technologija, aprūpinant 22000 namų ūkių atsinaujinančia šilumine energija, tuo pačiu padedant vietovei iki 2030 metų tapti neišskiriančia CO₂ emisijų. Šis projekto įgyvendinimas parodė, kad atsinaujinančių išteklių pritaikymas šildymo sektoriuje gali būti ekonomiškai patrauklus ir įgyvendinamas greičiau negu per metus laiko. Ši saulės šiluminė jėgainė vaizduojama 12 pav. [14].



12 pav. Saulės šiluminė jėgainė netoli Silkeborgo miesto, Danija [14]

Ši saulės šiluminė jėgainė padengia apie 20 % viso metinio šiluminės energijos poreikio Silkeborgo miesto centralizuotame šilumos tinkle. Saulėtomis dienomis jėgainė pasiekia netgi daugiau negu 100 % šilumos poreikio tinkle. Perteklinė šiluma yra kaupiama akumuliacinėse talpose vėlesniam naudojimui. Saulės šiluminė jėgainė turi mažiausiai 25 metų eksploatacijos terminą, ir jos pagaminama šiluma padengia 4400 namų ūkių šilumos poreikį per metus. (iš 22000 namų ūkių prisijungusių prie centralizuoto šilumos tiekimo tinklo). Ši saulės šiluminė jėgainė susideda iš 12436 saulės kolektorių kurie užima 156694 m² plotą. Saulėtą vasaros dieną saulės kolektorių sistemoje cirkuliuoja 270 m³ vandens, kuri yra prijungta prie centralizuoto šilumos tinklo naudojant 1,2 kilometro ilgio vamzdžių sistema [14].

Susistemintos Silkeborgo saulės šiluminės jėgainės techninės charakteristikos pateikiamos 3 lentelėje.

3 lentelė. Pagrindinės Silkeborgo saulės šiluminės jėgainės techninės charakteristikos [14]

Vieta	Silkeborgas, Danija
Saulės kolektorių plotas	156700 m ²
Saulės kolektorių kiekis	12436 vnt.
Šilumos kaupimas (plieninės talpos be slėgio)	4 x 16000 m ³
Saulės kolektorių galia	110 MW
Apskaičiuotas metinis šiluminės energijos kiekis	80000 MWh
Apskaičiuotas CŠT tinklo poreikio padengimas	20 %
CO ₂ emisijų sumažinimas	15000 tonų per metus
Saulės kolektorių sistemos eksploatacijos trukmė	Mažiausiai 25 metai
Projekto paleidimas	2016 metų gruodžio mėnesis

Aprūpinami namų ūkiai	22000 vnt.
Papildomas šilumos šaltinis	Gamtinės dujos
Darbinė temperatūra (Vasarą)	82 °C / 47°C
Darbinė temperatūra (Žiemą)	47 °C / 12 °C
Vamzdynai	22 km (300 km visame tinkle)

Pagrindiniai veiksniai, lemiantys sprendimą investuoti į didelio masto saulės energiją, gali būti apibendrinami kaip:

- valstybinė paskata (energijos sutaupymai leidžia gauti finansavimą);
- tikslas tapti CO₂ neutraliu gamintoju iki 2030 metų;
- šilumos gamybos kaina yra labiau prognozuojama ir nepriklausoma nuo gamtinių dujų ar biokuro kainų svyravimų.

Nacionaliniu mastu sprendimui didžiausią įtaką daro įstatyminiai veiksniai. Pavyzdžiui, danų energetikos aktai, reikalauja šilumos tiekėjų kaip kurą naudoti gamtines dujas (nebent teigiamas socialinis – ekonominis poveikis gali būti gaunamas naudojant kitas alternatyvias technologijas) ir taikyti kogeneracijos ciklą gaminant tiek šilumą, tiek elektros energiją. Šie reikalavimai tam tikru mastu apriboja kitų kuro technologijų, pavyzdžiui, biomasės naudojimą [14].

Planuojant šilumos tiekimo sistemos atnaujinimą Silkeborgo mieste buvo svarstomos 3 pagrindinės atsinaujinančių šaltinių šildymo technologijos – didelio masto saulės šiluminė jėgainė, didelio masto šilumos siurbliai bei biokurą naudojanti energijos generavimo sistema. Didelio masto saulės šiluminė jėgainė buvo patraukliausia, nes nereikalauja iškastinio kuro [14].

Saulės šiluminės jėgainės įdiegimas užtikrina stabilią šilumos kainą CŠT tinkle taikomą vietinėms bendrijoms, taip pat šios technologijos įdiegimas į centralizuotą šilumos tinklą stabilizuoja šiluminės energijos kainą, sumažinant tradicinių energijos šaltinių įtaką kainos svyravimams. Apskaičiuota, kad per 20 metų Silkeborgo projekto atveju planuojama sutaupyti gamtinių dujų kiekį, lygų 2280 TJ energijos kiekiui. Taigi, šis projektas padeda užtikrinti stabilias ir prognozuojamas kainas CŠT tinkle. Be to, projekto svarba matoma ir gamtosauginiuose aspektuose. Saulės šiluminės energijos naudojimas stipriai prisideda prie CO₂ emisijų bei iškastinio kuro naudojimo sumažinimo [14]. Galiausiai, šis projektas buvo įkvėpimas ir kitoms didelėms investicijoms į saulės šiluminę energiją. Pavyzdžiui, Latvijos mieste Salaspilis 2018–2019 metais buvo įdiegtos didelio ploto saulės kolektorių sistemos, integruotos į esamą CŠT tinklą [14].

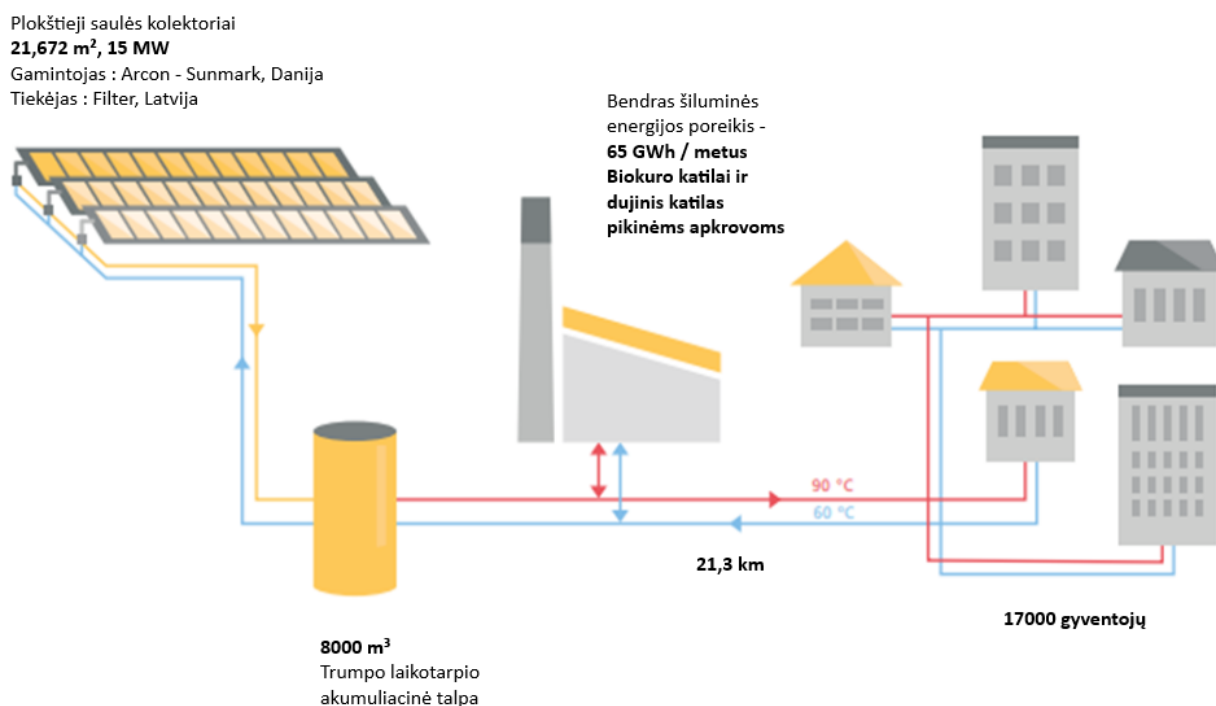
Apibendrinant šį projektą galima teigti, kad saulės šiluminės jėgainės projekto įgyvendinimas Silkeborgo mieste užtikrina stabilią bei prognozuojamą šiluminės energijos kainą, taip miestui tampant mažiau priklausomam nuo iškastinių energijos šaltinių, šiuo atveju gamtinių dujų. Tuo pačiu saulės šiluminės jėgainės yra patrauklios tuo, kad išlaidos saulės šiluminės jėgainės išlaikymui dažnu atveju neatsispindės galutiniam vartotojui, kadangi iškastinio kuro nenaudojimas kompensuoja projekto nusidėvėjimą. Tačiau be valstybės paramos ši technologija nėra konkurencinga, dėl labai didelių investicinių kaštų [14].

1.9.2. Saulės šiluminė jėgainė Salaspilio mieste, Latvijoje

Saulės šiluminės jėgainės projektas Salaspilio mieste yra sėkmingas pavyzdys, kaip Latvijos bei kitų valstybių miestai gali pritraukti ES fondų finansavimą, taip pat yra pajėgūs savo šilumos tiekimo sistemas, siekiant sumažinti iškastinio kuro naudojimą bei tiekti vartotojams labiau aplinkai draugišką šiluminę energiją bei švaresnę aplinką [15].

Vykdamas projektą buvo sumontuota 1720 vnt. saulės kolektorių, kurių bendras naudingas plotas yra 21762 m², taip pat buvo sumontuota 8000 m³ akumuliacinė talpa bei 3 MW galios biokuro katilinė kartu su kondensaciniu ekonomizeriu. Atsinaujinančių išteklių dalis šilumos gamyboje padidėjo iki 90 %, iš kurių 20 % yra saulės kolektoriais gaunama šiluma, taip pat pastebimai sumažėjo CO₂, NO_x ir kitų emisijų išmetimas į atmosferą [15].

UAB „Salaspils Siltums“ yra rajono savivaldybei priklausantis centralizuotos šilumos tiekėjas. Įmonė įkurta buvusioje Salaspilio katilinės vietoje 1996 metais. „Salaspils Siltums“ tiekia centralizuotą šilumą 85% Salaspilio miesto gyventojų, maždaug apie 17000 vartotojų. Bendras šiluminių tinklų ilgis yra apie 21 km. Instaliuota šiluminė galia yra apie 35 MW. Per metus „Salaspils Siltums“ pagamina apie 60000 MWh šiluminės energijos. Principinė sistemos technologinė schema pavaizduota 13 paveiksle [15].



13 pav. Salaspilio miesto šilumos sistemos principinė technologinė schema [16]

Saulės kolektorių pasirinkimą, kaip naują atsinaujinančios energijos šaltinį lėmė tai, kad šiuo metu tai yra optimalus sprendimas energijos vartojimo ir efektyvumo požiūriu. Vidutinis saulės spinduliuotės intensyvumas Latvijoje yra apie 1100 kWh/m² per metus ir tai šiame projekte lemia vidutinę metinę 12000 MWh šilumos energijos gamybą su saulės kolektorių sistema [15].

8000 m³ akumuliacinė talpa yra svarbi saulės šiluminės jėgainės dalis, leidžianti saugoti šilumos perteklių. Šio projekto metu buvo būtina įdiegti akumuliacinę talpą, kuri užtikrintų balansą tarp

šilumos gamybos ir paklausos. Akumuliacinės talpyklos suteikia sistemoms lankstumo bei didesnio efektyvumo [15].

Siekiant užtikrinti maksimalų atsinaujinančių energijos šaltinių efektyvumą į aplinką neišleidžiant papildomų teršalų, buvo įdiegtas naujas biokuru varomas katilas su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu. Kondensacinis dūmų ekonomazeris leidžia atgauti šilumą iš išmetamų dūmų, taip padidinant bendrą katilinės efektyvumą [15].

Šio projekto kūrimas ir įgyvendinimas truko dvejus metus, jis buvo pradėtas 2017 m. ir baigtas 2019 m. Į šį projektą buvo investuota 7,25 mln. eurų, iš kurių 2,7 mln. finansavo ES fondai. Likusias lėšas „Salaspilio Silums“ suteikė savomis investicijomis ir banko paskola, kuri siekė 2,8 mln. eurų [15].

Saulės šiluminė jėgainė buvo suprojektuota taip, kad vien saulės energijos užtektų padengti šiluminės energijos poreikį vasaros mėnesiais esant vidutiniam apšvietos lygiui. Tai leidžia išvengti energijos gamybos įrenginių eksploatavimo esant mažai apkrovai. Naudojant akumuliacinę talpą galima dienos metu sukauptą papildomą šilumą iš saulės kolektorių bei kitų energijos gamybos šaltinių panaudoti vėliau esant poreikiui, taip išvengiant iškastinių šaltinių, pvz. gamtinių dujų, naudojimo [15].

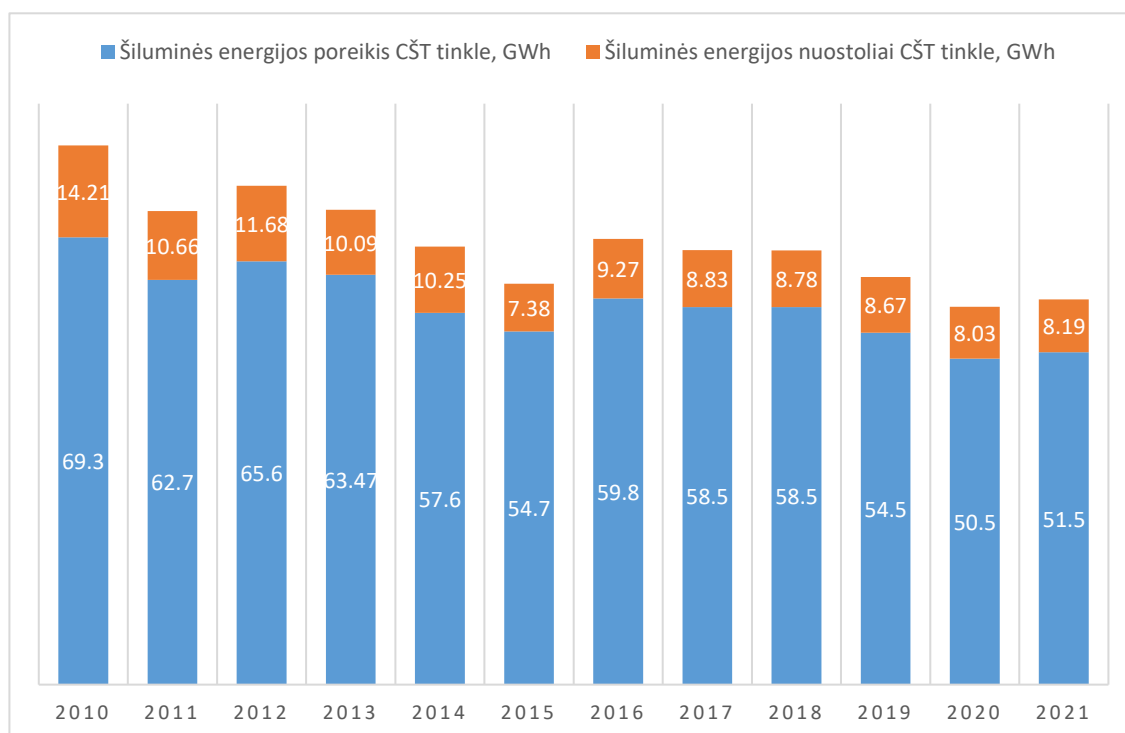
Salaspilio mieste įgyvendintas projektas yra sėkmingas pavyzdys, kaip Latvijos miestai, pritraukę bendrą ES fondų finansavimą, gali modernizuoti šilumos tiekimo sistemas, siekdami sumažinti iškastinio kuro vartojimą ir aprūpinti gyventojus ekologiškesne šilumos energija bei švaresne aplinka. Dėl šio projekto įgyvendinimo Salaspilio miestui pavyko tapti vienu pirmųjų Latvijos miestų, kuriame saulės energija naudojama centralizuoto šildymo sistemoje. Taip pat svarbu paminėti, kad Salaspilio miesto saulės šiluminės jėgainės projektas, yra vienas didžiausių tokio tipo projektų visose Baltijos šalyse. Tai yra istorija apie drąsą kurti idėją ir ją plėtoti, ir tuo pačiu apie sėkmingą ir sumanų projektų valdymą, kadangi suplanuoti darbai buvo atlikti dar iki šildymo sezono pradžios [15].

2. Esamos situacijos analizė

Tolimesnei projekto vykdymo analizei pasirinktas Tauragės miestas, bei konkrečiai šiame mieste esanti Beržės katilinė.

2.1. Tauragės miesto CŠT sistemos apžvalga

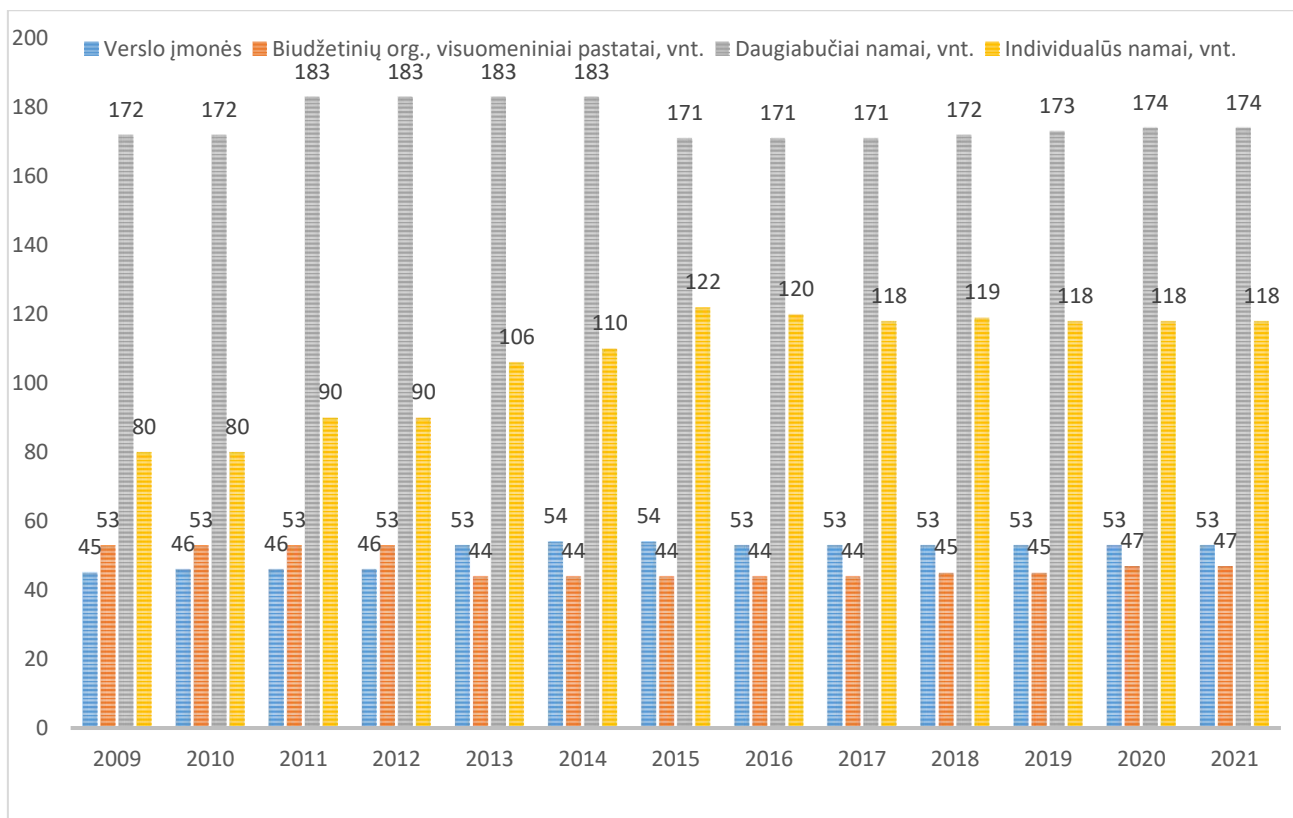
Šiluminės energijos vartojimas Tauragės mieste per pastarąjį dešimtmetį drastiškų pokyčių nepatyrė. 14 pav. vaizduojama šiluminės energijos poreikio pokyčiai Tauragės miesto CŠT tinkle. Pagrindinis šiluminės energijos poreikio sumažėjimas matomas nuo 2014 metų, kai buvo pradėti įgyvendinti gyvenamųjų namų modernizacijos projektai. Visgi, pagrindinis veiksnys, įtakojantis šiluminės energijos metinius svyravimus yra aplinkos temperatūra, tačiau negalima atmesti ir individualių gyventojų pastangų apšiltinant būstus – atliekant balkonų įstiklinimą bei keičiant senus langus.



14 pav. Šiluminės energijos pokytis Tauragės miesto CŠT tinkle, GWh

Remiantis grafiku galima teigti, kad paskutinių dvejų metų metiniai šiluminės energijos nuostoliai Tauragės miesto CŠT tinkle sudaro apie 15,9 % nuo bendro pateiktos šiluminės energijos kiekio. Šis rodiklis visiškai atitinka šiluminių nuostolių Lietuvos CŠT tinkluose vidurkį.

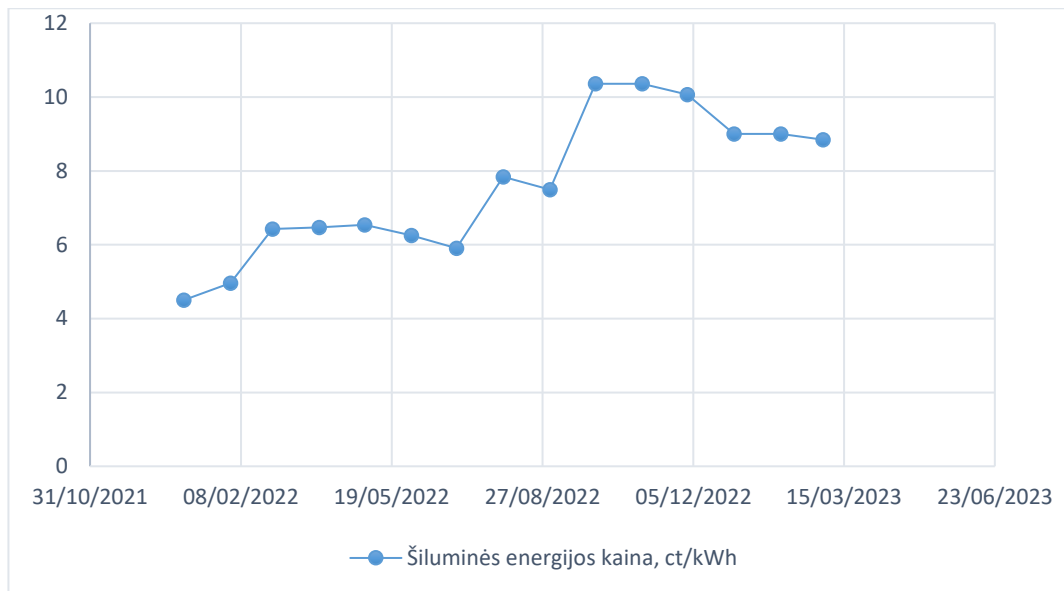
Tauragės miesto centralizuotos šilumos vartotojų skaičiaus kitimas pavaizduotas 15 paveiksle. Nuo 2009 metų pastebimas individualių namų prisijungimų prie CŠT tinklo didėjimas. Lyginant su 2009 metais, individualių namų 2021 metais CŠT tinkle yra 38 vnt. daugiau. Daugiabučių namų, prisijungusių prie CŠT tinklo, pokytis buvo ryškus tarp 2011 ir 2014 metų, kai tuo metu siekė 183 vnt. daugiabučių namų. Verslo įmonių bei biudžetinių organizacijų skaičius per šį nagrinėjamą laikotarpį praktiškai nepakito. 2021 metais UAB „Tauragės šilumos tinklai“ šilumą tiekė vartotojams, kurių bendras naudingas plotas siekė 474633 m².



15 pav. Šiluminės energijos vartotojų skaičiaus kitimas CŠT tinkle

Nuo 2012 metų Tauragės mieste yra vykdomi gyvenamųjų daugiabučių renovacijos projektai, finansuojami iš „Daugiabučių namų modernizavimo fondo, finansuojamo Europos regioninės plėtros fondo“. Nuo 2012 iki 2022 metų yra įgyvendinti 67 projektai, kurių bendra vertė siekia 17,3 mln. eurų. Šių renovuotų daugiabučių bendras naudingas plotas – 86000 m².

Tauragės miesto gyventojams tiekiamos šiluminės energijos kaina laikotarpiu nuo 2022 metų sausio mėnesio iki 2023 metų kovo mėnesio, buvo įvairi. Remiantis 16 paveiksle pateiktais duomenimis, didžiausi kainų šuoliai pastebimi 2022 metų šildymo sezono pradžioje, spalio bei lapkričio mėnesiais, kai šildymo kaina, dėl sunkios politinės situacijos šoktelėjo netgi virš 10 cent/kWh. Tačiau 2023 metų pradžioje stabilizavusios biokuro bei dujų kainos, leido Tauragės šilumos tinklams pasiūlyti vieną konkurencingiausių šiluminės energijos kainų Lietuvoje – 9 cent/kWh [17].

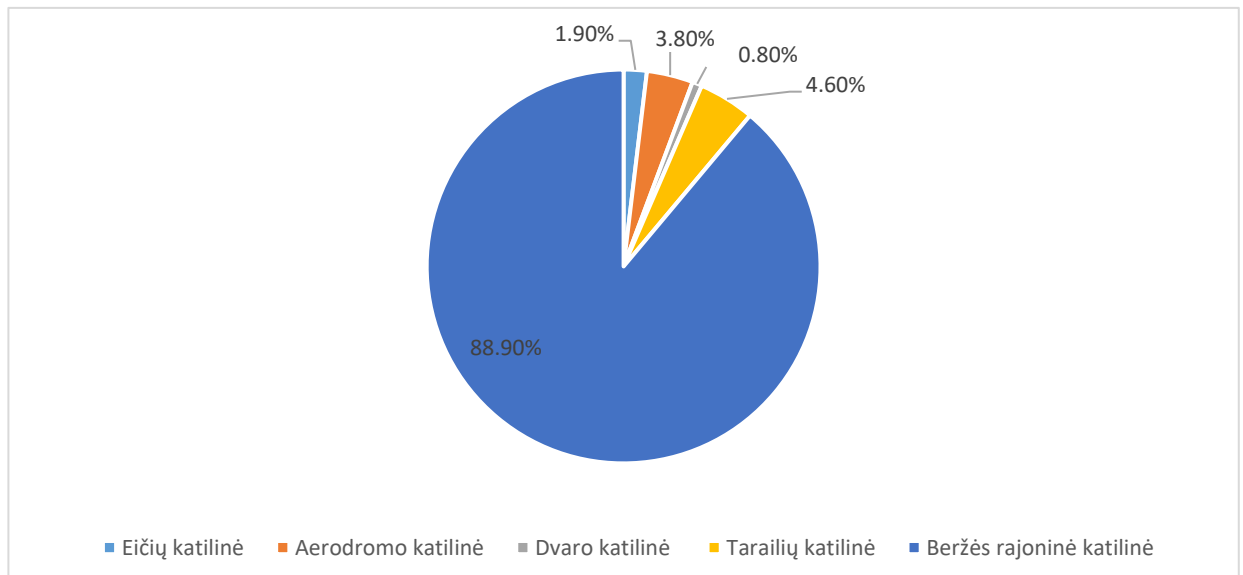


16 pav. Šiluminės energijos kainos tarifai UAB „Tauragės šilumos tinkluose“, cnt/kWh [17]

2.1.1. UAB „Tauragės šilumos tinklų“ eksploatuojamos katilinės

Šiuo metu bendrovė eksploatuoja penkias katilines: Beržės rajoninę katilinę (BRK), Aerodromo katilinę (AK), Tarailių katilinę (TK), Dvaro katilinę (DK) bei Eičių katilinę (EK). Bendra katilinių instaliuota galia – 86,5 MW. Mazutu varomų katilų galia siekia 43,6 MW, biokuru – 32,27 MW, skalūnų alyva – 9,58 MW, dyzelinu – apie 1 MW [18].

Pagamintos šiluminės energijos dalis skirtingose katilinėse 2020 metais vaizduojamas 17 paveiksle. Iš grafiko matome, kad didžioji dalis šiluminės energijos yra pagaminama Beržės rajoninėje katilinėje.



17 pav. Pagamintos šiluminės energijos dalis Tauragės miesto katilinėse 2020 metais [18]

2.2. Tauragės miesto šilumos tiekimo tinklų būseną

Remiantis 2020 metų duomenimis, bendras šiluminių tinklų ilgis Tauragės mieste siekė 35,3 km, iš jų 31,5 km priklauso UAB „Tauragės šilumos tinklams“. Bendras šilumos tiekimo tinklų pokytis nuo 2010 metų pateikiamas 4 lentelėje.

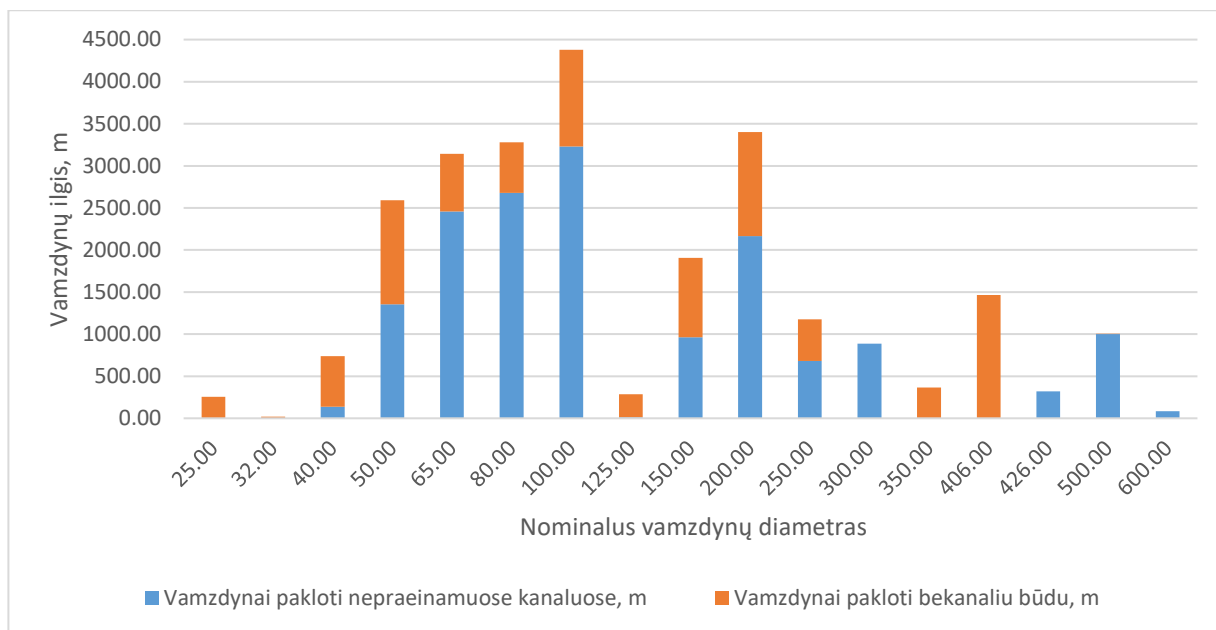
4 lentelė. Tauragės miesto šilumos tiekimo tinklų pokytis

Kilometrai	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Šilumos tinklų ilgis	35,5	35,5	34,8	34,8	33,6	33,2	33,2	32,3	34	35	35,3
UAB TŠT nuosavybė	24,8	24,8	29,1	29,1	27,9	28,1	29,1	27,8	30,2	31,2	31,5
Nebalansiniai	10,7	10,7	5,7	5,7	4,3	5,1	5,7	4,6	3,8	3,8	3,8
Modernizuoti ataskaitiniu laikotarpiu	1,1	3,1	3,7	0,4	0,1	0,2	0,3	0,8	2,7	0	0
Naujai įrengti ataskaitiniu laikotarpiu	0,5	0,4	0,9	0	0	0,8	0	0,5	0,2	0	0,3

Iš lentelėje pateiktų duomenų galima teigti, kad šilumos tiekimo tinklų ilgis Tauragės mieste per dešimtmetį pasikeitė nežymiai. Modernizuojamų vamzdinių dalis taip pat nebuvo didelė. Naujai įrengiamų bei modernizuojamų vamzdinių stoka lemia didesnius šiluminius nuostolius tinkle.

2.2.1. Beržės katilinės termofikacinio vandens tiekimo tinklo duomenys

Šiuo metu Tauragės mieste šiluma vartotojams tiekama dvejais, hidrauliškai nepriklausomais CŠT tinklais. Pagrindinį šilumos tiekimo tinklą šilumine energija aprūpina Beržės katilinė. Analizuojant Beržės katilinės termofikacinio vandens tiekimo tinklo duomenis pastebima, kad didžioji dalis vamzdinių yra likę seni, nutiesti nepraeinamuose kanaluose, ir jų bendras ilgis siekia 15,97 km. Kita dalis vamzdinių yra paklota šiuo metu dažniausiai naudojamu bekanaliu būdu. Šių vamzdinių ilgis siekia 9,33 km. Suminis Beržės katilinės termofikacinių tinklų ilgis – 25,32 km, t.y 72 % nuo bendro Tauragės miesto šilumos tinklo dydžio. Bendra Beržės katilinės termofikacinio vandens tiekimo tinklų būseną vaizduojama 18 pav.



18 pav. Beržės katilinės termofikacinių tinklų būseną

2.3. Beržės katilinės šiluminės energijos gamybos įrenginiai

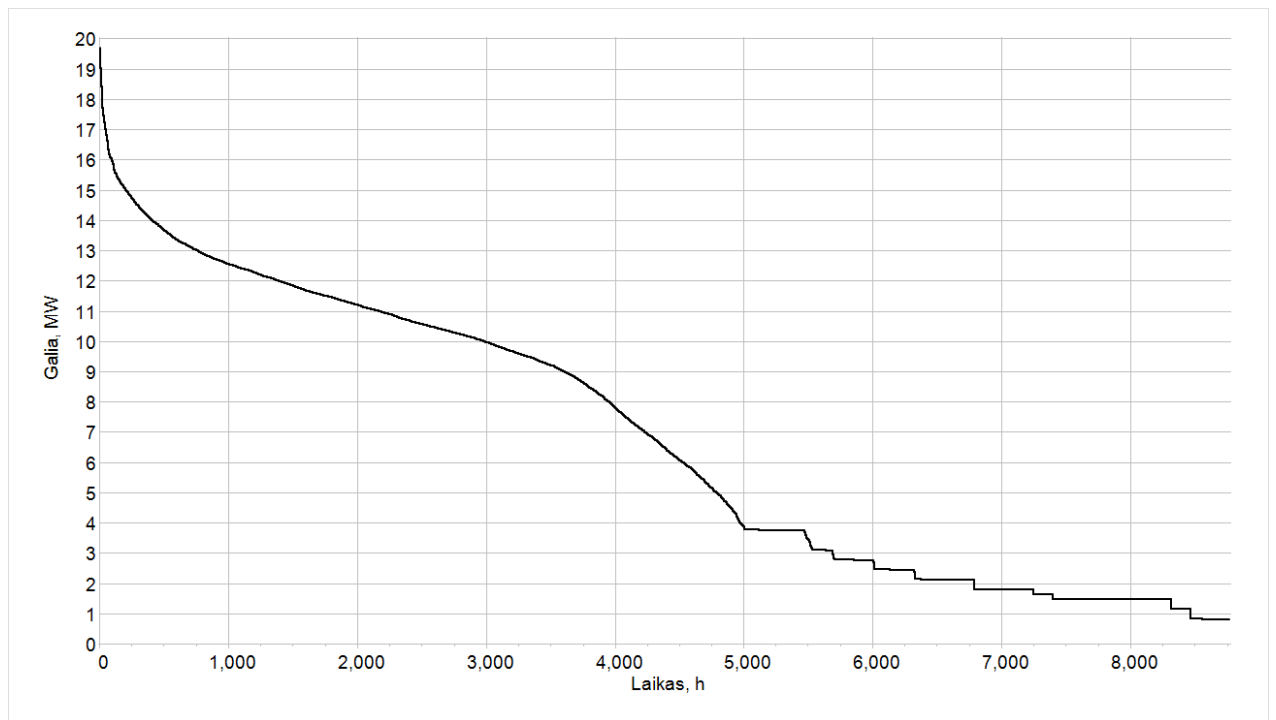
Šiuo metu Beržės katilinėje veikia 3 šiluminės energijos gamybos įrenginiai – 2 biokuru kūrenami katilai bei dūmų kondensacinis ekonomizeris. Šių energijos generavimų sistemų pagrindinės techninės charakteristikos pateikiamos 5 lentelėje.

5 lentelė. Beržės katilinės šiluminės energijos gamybos įrenginiai

Katilo Nr.	Katilo tipas	Katilo sumontavimo data	Paskutinis kapitalinis remontas	Instaliuota katilų šiluminė galia
Nr.1	DE-25/225 (K-4)	2006 metai	nebuvo	12,0 MW
Nr.2	VŠK-DE-16V (K-5)	2003 metai	nebuvo	8,0 MW
Kondensacinis Ekonomizeris		2008 metai	nebuvo	7,0 MW
Iš viso:				27,0 MW

Pagal lentelėje pateiktus duomenis matoma, kad bendra katilinėje esančių šiluminės energijos generavimo įrenginių įdiegta galia siekia 27 MW.

Beržės katilinės šilumos generavimo įrenginių galių pasiskirstymo kreivė per 2022 metus pateikiama 19 pav. Šiame grafike vaizduojama katilų išgauta galia, t.y kiek valandų ir kokia galia katilai dirbo per metus siekiant padengti CŠT tinklo poreikį. Remiantis grafiku pastebima, kad maksimali katilinėje išvystyta galia buvo 19,5 MW, tokia galią katilai palaikė apie 20 valandų per metus. Minimalus šiluminės energijos poreikis svyravo nuo 4 iki 1 MW, tokia galia katilai dirbo apie 3000 valandų.



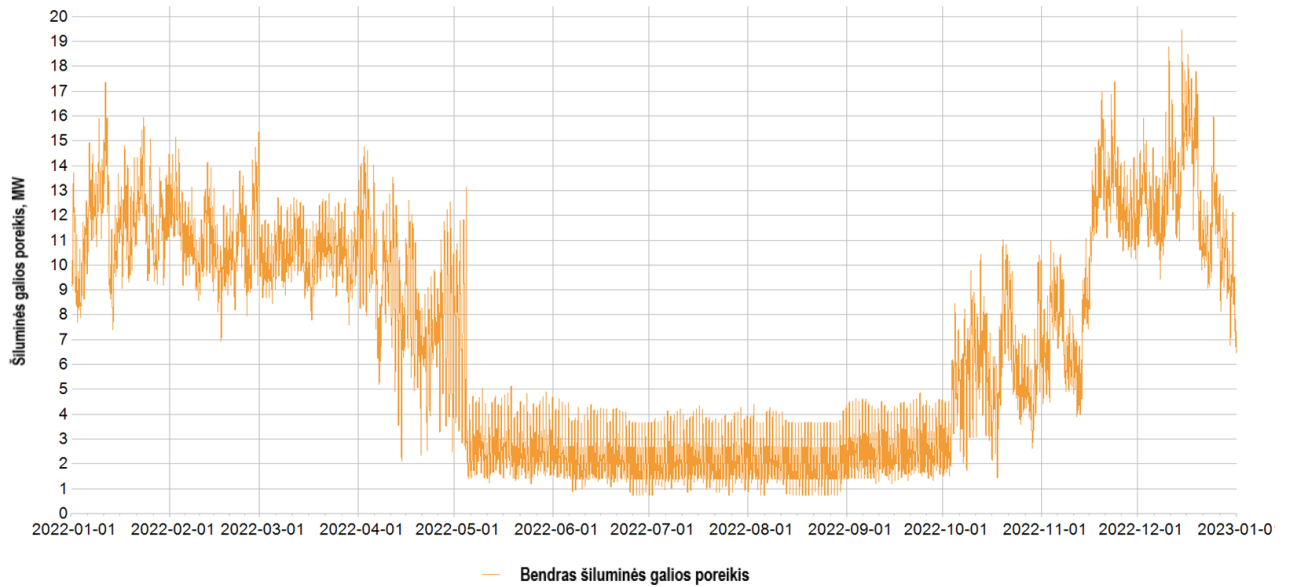
19 pav. Beržės katilinės šilumos generavimo įrenginių galių pasiskirstymo kreivė 2022 m.

2.4. Beržės katilinės šiluminės energijos gamybos poreikis

2021 m. Beržės katilinėje į Tauragės miesto centralizuotos šilumos tiekimo tinklą buvo patiekta 59700 MWh šiluminės energijos. Šis šiluminės energijos kiekis išsiskirsto į šias dalis:

- šiluminės energijos nuostoliai tinkle – 8000 MWh;
- šiluminės energijos poreikis karštam buitiniam vandeniui ruošti – 14000 MWh;
- šiluminės energijos poreikis namų šildymui – 37700 MWh.

Naudojantis šiais duomenimis EnergyPro programine įranga nubrėžiamas šiluminės galios poreikio grafikas 2022 metams. Skaičiavimams naudotos 2022 metų Tauragės aplinkos temperatūros kas valandą metų bėgyje, pasitelkiant programinėje įrangoje esančius klimatinius duomenis.



20 pav. Šiluminės galios poreikio pasiskirstymas Beržės katilinės CŠT tinkle per 2022 metus

Iš grafiko matome, kad didžiausi šilumos poreikiai yra žiemos mėnesiais dėl žemos aplinkos temperatūros. Vasaros laikotarpiu yra matomas stabilus šiluminės energijos poreikis, kadangi šiluminės energija skiriama karštam buitiniam vandeniui ruošti, šis poreikis svyruoja atitinkamai nuo 1 – 4 MW galios, priklausomai nuo dienos pikinio apkrovimo.

3. Tyrimo metodika

Tyrimo metu skaičiuojami keli skirtingi saulės terminių kolektorių sistemų integravimo į Tauragės miesto Beržės katilinės CŠT tinklą atvejai. Tyrimo metu numatoma į esamą CŠT tinklą šalia Beržės rajoninės katilinės integruoti didelio ploto saulės kolektorių sistemą pagal esamą žemės sklypo dydį bei šiluminės energijos poreikį.

3.1. Saulės terminių kolektorių vietos parinkimas šalia Beržės katilinės

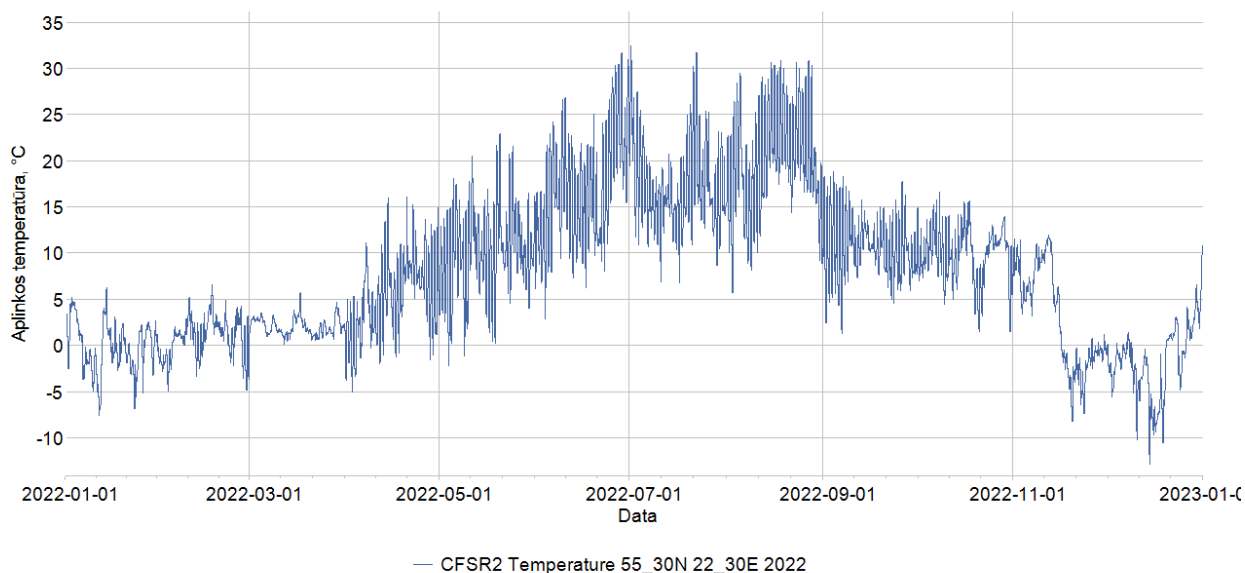
Įvertinimui priimama, kad terminiams saulės kolektoriams įdiegti gali būti naudojamas žemės sklypas esantis šalia Beržės katilinės. Remiantis portalo Regia duomenimis, šio sklypo plotas yra 33 886 m². Sklypo planas pateikiamas 21 paveiksle [33].



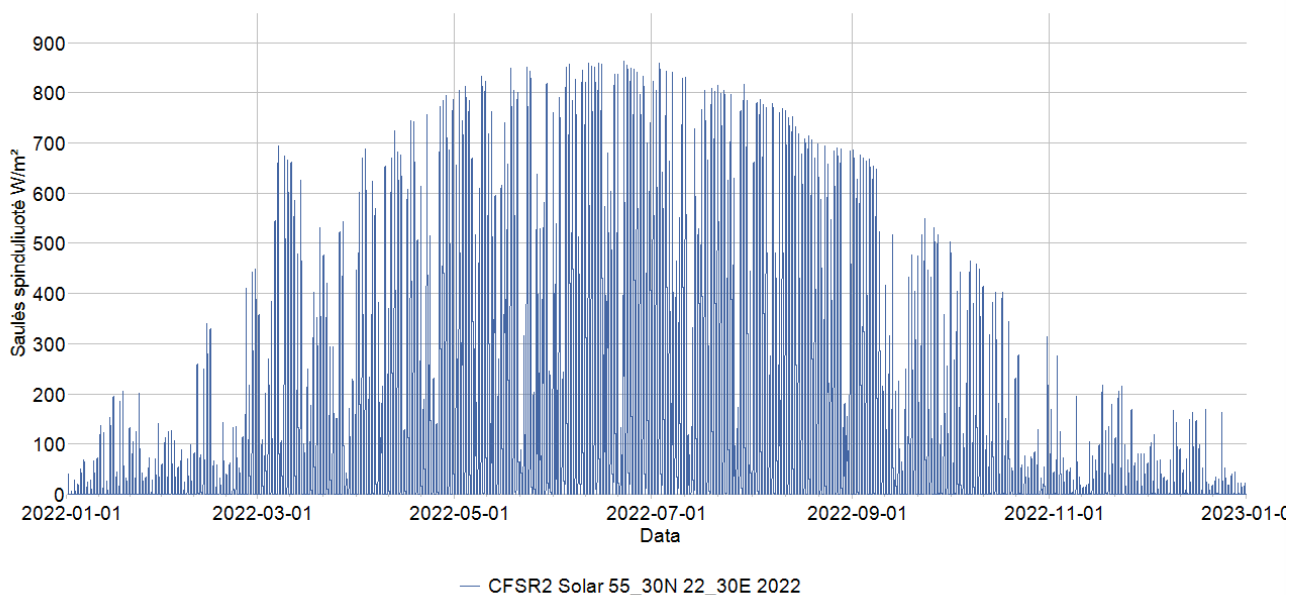
21 pav. Saulės kolektorių montavimui tinkamas sklypas šalia Beržės katilinės [32]

3.2. Klimatiniai Tauragės miesto duomenys

Tolimesniems skaičiavimams naudojama EnergyPro programinė įranga ir joje esantys klimato prognozavimo sistemos duomenys (angl. Climate Forecast Systems Reanalysis, CFSR) Tauragės miesto vietovėje. Pasirenkami pagrindiniai 2022 metų klimatiniai duomenys reikalingi tolimesniems skaičiavimams – aplinkos temperatūra bei saulės spinduliuotė. Gaunami temperatūriniai ir saulės spinduliuotės grafikai, kurie vaizduojami atitinkamai 22 ir 23 paveiksluose [19].



22 pav. Aplinkos temperatūros grafikas Tauragės mieste 2022 metais remiantis CFSR duomenimis



23 pav. Saulės spinduliuotės grafikas Tauragės mieste 2022 metais remiantis CFSR duomenimis

Remiantis grafikų duomenimis pastebima, kad aukščiausia aplinkos temperatūra buvo liepos mėnesį, kuri siekė netgi 33 °C. Iš saulės spinduliuotės grafiko matoma, kad didžiausia saulės spinduliuotės reikšmė Tauragės mieste buvo vasaros mėnesiais ir vidutiniškai siekė 800 – 900 W/m². Susumavus gautas kasdienes saulės spinduliuotės reikšmes, metinė saulės spinduliuotė Tauragėje gaunama 1074 kWh/m². Ši reikšmė yra artima Lietuvos vidurkiui, aprašytame 1.3 poskyryje.

3.3. Saulės terminių kolektorių lauko dydžio įvertinimas

Saulės terminių kolektorių integravimui pasirenkamas plotas, esantis šalia Beržės katilinės, apibrėžtas 3.1 skyrelyje. Pagal 1.7.1 skyrelyje apibrėžtą metodiką, įvertiname, kad šiame žemės sklype plokščiųjų saulės kolektorių plotas bus 3 kartus mažesnis negu sklypo plotas. Remiantis tokiomis prielaidomis gauname, kad saulės kolektorių teorinis efektyvus plotas šiame sklype būtų **11295 m²**.

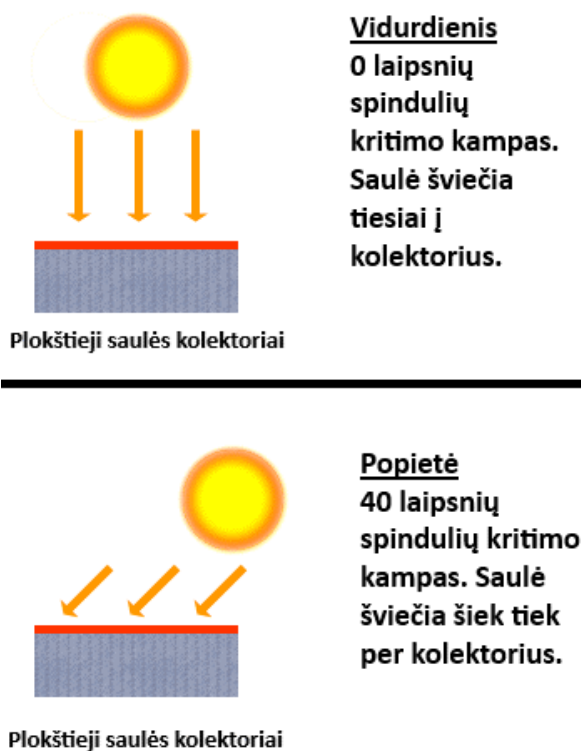
Tolimesniems skaičiavimams naudosime Arcon Sunmark HT SolarBoost 35/10 didelio efektyvumo plokščiuosius saulės kolektorius [20]. Šių kolektorių specifikacija pateikiama 6 lentelėje.

6 lentelė. Terminių saulės kolektorių Arcon Sunmark HT SolarBoost 35/10 techninė specifikacija [20]

Optinis naudingumo koeficientas η	0,84
Absorberio plotas, m^2	12,537
Nuostolių koeficientas a_1 , $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	2,46
Nuostolių koeficientas a_2 , $W/(m^2 \cdot ^\circ C)^2$	0,0197
Saulės kolektoriaus pasvirimas į horizontą, $^\circ$	40
Saulės kolektoriaus orientavimo kryptis	Pietūs
Fluidas	Vandens – glikolio mišinys 33,3%

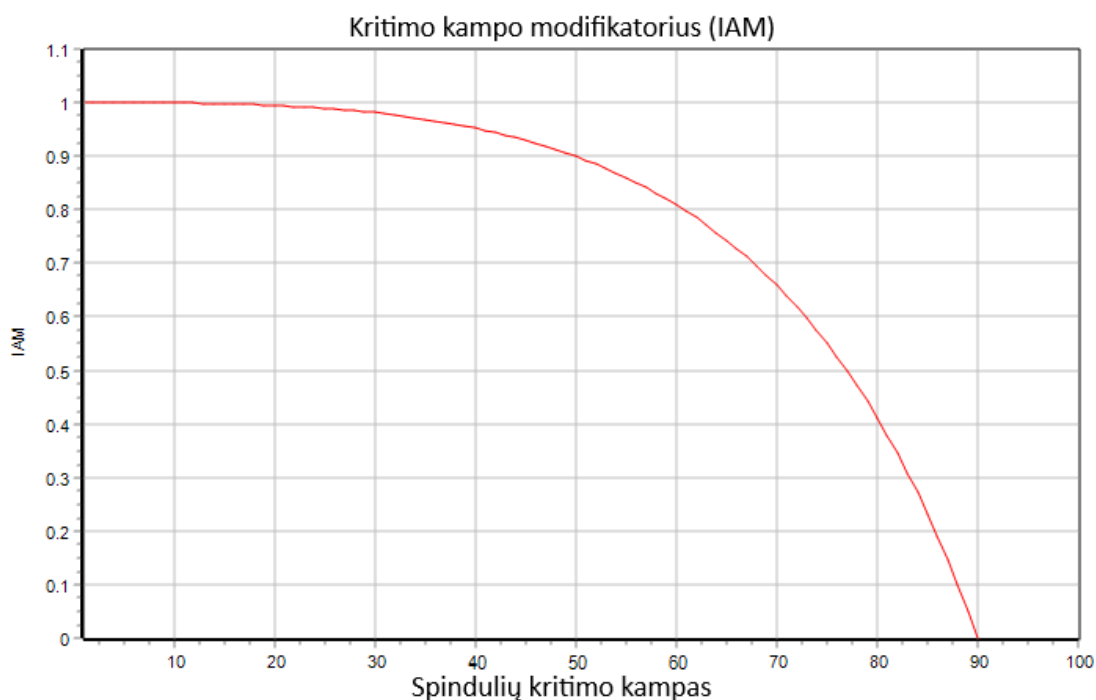
Remiantis 6 lentelės duomenimis, gauname, kad į šį saulės kolektorių lauką preliminariai tilptų apie 900 vnt. plokščiųjų saulės kolektorių, kurių pasvirimo kampas į horizontą – 40° .

Saulės kolektorių generuojamai šiluminei galiai apskaičiuoti įvedamas kritimo kampo modifikatorius (angl. incidence angle modifier, IAM) - tai būdas įvertinti optinius nuostolius, atsirandančius, kai saulės kritimo kampas į kolektorių paviršių yra didesnis už nulį. Kitaip tariant, kai kolektorių paviršius nėra visiškai normalus saulės spindulių atžvilgiu, dalis energijos prarandama dėl atspindžio nuo modulio paviršiaus medžiagų. Spindulių kritimo kampo modifikatoriaus nustatymo principas vaizduojamas 24 pav.



24 pav. Saulės spindulių kritimo kampo modifikatoriaus (IAM) nustatymo principas

Šiame darbe naudotų plokščiųjų saulės kolektorių kritimo kampo modifikatoriaus grafikas pateikiamas 25 paveiksle.



25 pav. Saulės spindulių kritimo kampo modifikatoriaus grafikas

Šį koeficientą taip pat galima apibrėžti pagal (1) formulę:

$$K_{\theta} = 1 - \tan^a(\theta/2) \quad (1)$$

Čia θ – saulės spindulių kritimo kampas kolektorių, °;

a – IAM koeficientas.

Pagal (2) formulę saulės kolektorių generuojama šiluminė galia apskaičiuojama kiekvienai metų dienai valandos tikslumu:

$$P = A \cdot (I_T \cdot K_{\theta} + I_{\xi} \cdot K_{60^\circ}) \cdot n_0 - a_1 \cdot (t_m - t_a) - a_2 \cdot (t_m - t_a)^2 \cdot L_p \quad (2)$$

Čia I_T – Apskaičiuota tiesioginė saulės spinduliuotė priklausomai nuo vietovės, W/m^2 ;

I_{ξ} – Apskaičiuota išsisklaidžiusi saulės spinduliuotė priklausomai nuo vietovės, W/m^2 ;

t_a – Aplinkos temperatūra, °C ;

n_0 – Kolektoriaus optinis naudingumo koeficientas;

a_1 – Nuostolių koeficientas, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

a_2 – Nuostolių koeficientas, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)^2$;

t_m – Vidutinė kolektoriaus temperatūra, °C ;

L_p – Nuostoliai vamzdyje, %.

3.4. Saulės kolektorių ir akumuliacinės talpos integravimo į CŠT tinklą modeliavimo prielaidos

Siekiant rasti technologiškai bei ekonomiškai geriausią variantą Tauragės miesto atveju, analizei pasirenkami 2 alternatyvūs rezultatų variantai:

1. tiesioginis saulės kolektorių prijungimas į katilinės kontūrą be akumuliacinės talpos, grįžtamą termofikacinio vandens srautą šildant už kondensacinio ekonomizerio;
2. tiesioginis saulės kolektorių prijungimas į katilinės kontūrą su akumuliacine talpa ir galimybe talpoje energiją akumuliuoti katilams, grįžtamą termofikacinio vandens srautą šildant už kondensacinio ekonomizerio.

Kaip ir minėta anksčiau, Tauragės šilumos tinklų Beržės katilinės termofikacinis tinklas sudaro 25,32 km. Remiantis Tauragės šilumos tinklų gautais duomenimis, šiame tinkle vamzdynų tūris siekia 860 m³. Beržės katilinės CŠT tinklo mėnesiniai vidutiniai paduodamos bei grįžtamos temperatūros duomenys pateikiamus 7 lentelėje.

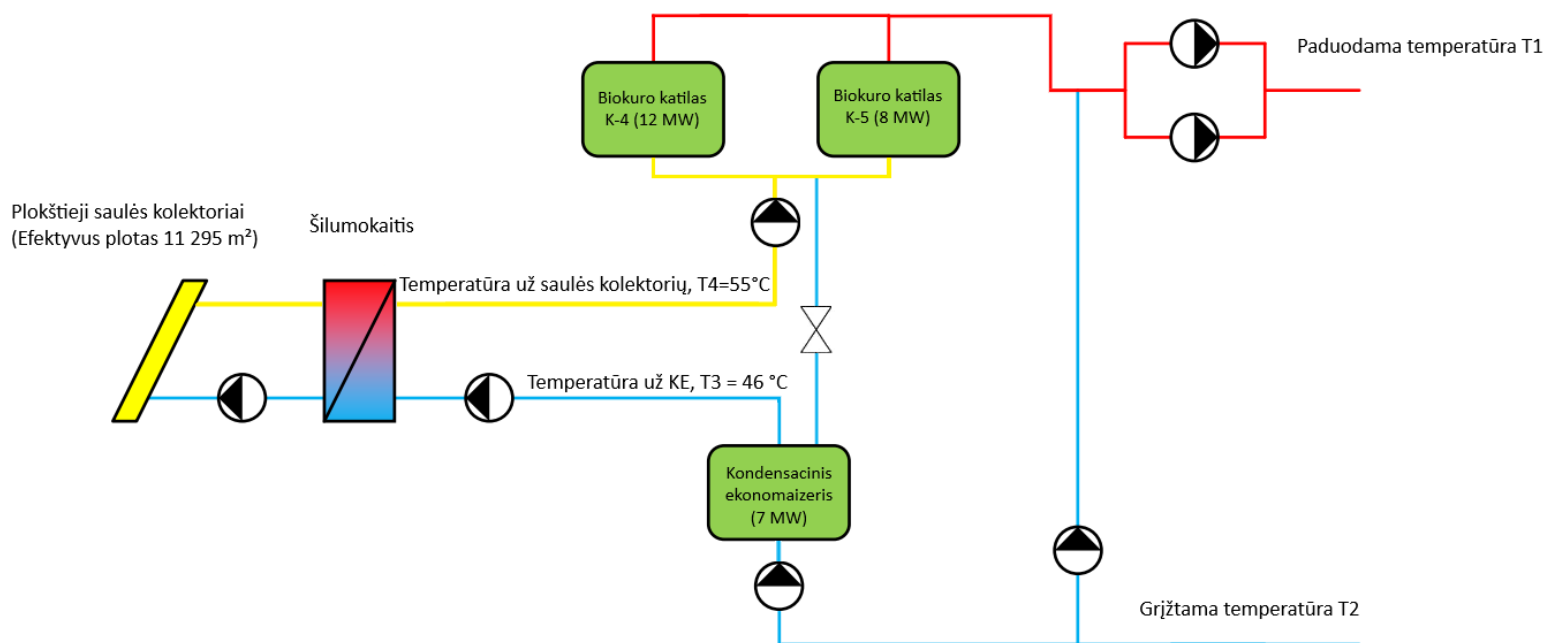
7 lentelė. Beržės katilinės termofikacinio tinklo temperatūros duomenys

Mėnesiai	Paduodama temperatūra, °C	Grįžtama temperatūra, °C
Sausis	80	45
Vasaris	74	40
Kovas	75	39
Balandis	75	37
Gegužė	74	40
Birželis	70	41
Liepa	70	41
Rugpjūtis	71	40
Rugsėjis	71	40
Spalis	74	40
Lapkritis	75	40
Gruodis	76	41

Kombinuojant saulės šilumines sistemas su biomase kūrenamais šilumos generavimo įrenginiais svarbu atsižvelgti į katilinės technologinius aspektus. Kadangi katilinėje yra įdiegtas kondensacinis ekonomizeris, terminių saulės kolektorių sistemos turi būti jungiamos už kondensacinio ekonomizerio, antraip sumažėtų kondensacinio ekonomizerio efektyvumas.

3.4.1. 1 variantas. Tiesioginis saulės kolektorių prijungimas į katilinės kontūrą be akumuliacinės talpos, grįžtamą termofikacinį vandenį šildant už kondensacinio ekonomizerio

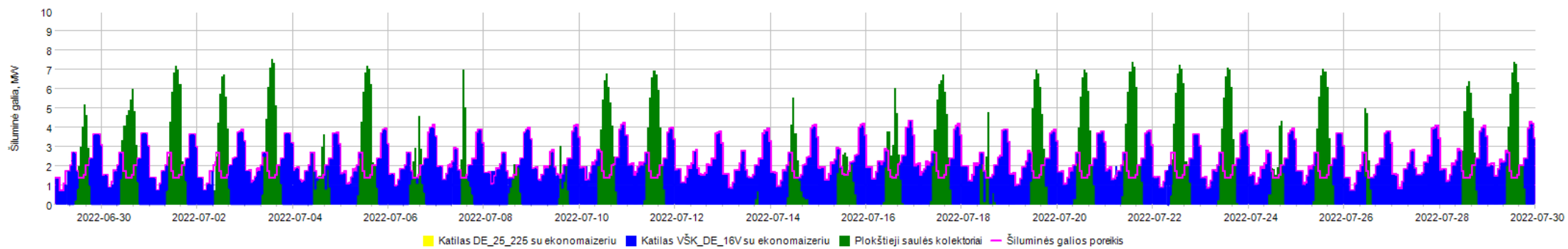
Šiame variante apskaičiuojamas metodas, kai saulės terminiai kolektoriai jungiami tiesiogiai į katilinės kontūrą, grįžtamą termofikacinį vandenį šildant už kondensacinio ekonomizerio. Skaičiavimams naudojama principinės schema pateikiama 26 paveiksle.



26 pav. Saulės terminių kolektorių integravimo schema už KE

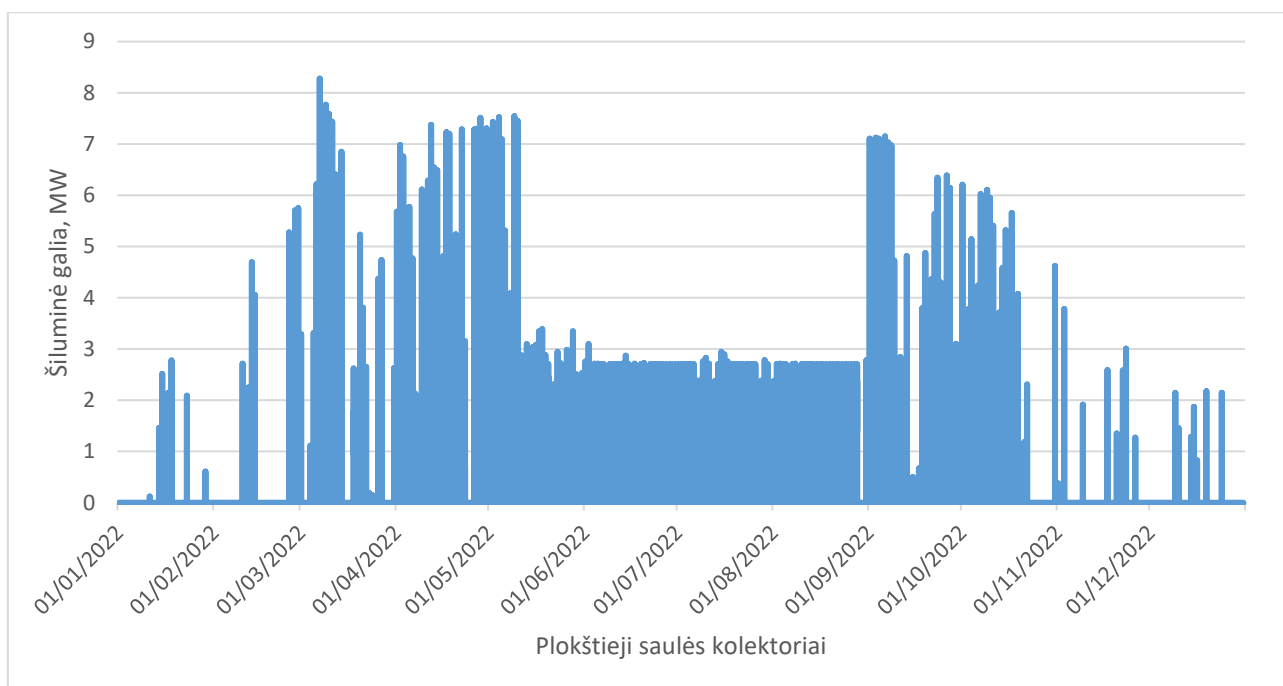
Priimama prielaida, kad terminiai saulės kolektoriai termofikacinį vandenį pašildo nuo 46 °C iki 55°C ir tiekia į biokuro katilus. Taip pat priimame, kad temperatūra paduodama į kolektorius visada yra pastovi. Kadangi saulės terminiams kolektoriams numatyta vieta yra nedideliu atstumu nuo Beržės katilinės (apie 200 metrų iki tolimiausios numatomos saulės kolektorių vietos), nuostolius saulės terminių kolektorių vamzdynuose įvertiname 2 % nuo metinio saulės kolektoriams pagaminamo šiluminės energijos kiekio [11].

Naudojantis EnergyPro programine įranga sumodeliuotas galimas scenarijus, kai saulės terminiai kolektoriai įdiegiami už kondensacinio ekonomizerio į katilinės kontūrą. Aktualiausias sistemos veikimo darbas šiuo atveju yra vasaros mėnesiais, esant didžiausiai saulės spinduliuotei. 27 paveikslo grafike pateikiamas programine įranga sudarytas galimas liepos mėnesio energijos generavimo sistemos šiluminės galios generacijos grafikas.



27 pav. Liepos mėnesio šiluminės galios generacijos grafikas

Remiantis grafike pavaizduotais duomenimis pastebime, kad saulės kolektorių vasaros mėnesiais pagaminama šiluminė galia dienos metu viršija šiluminės galios poreikį CŠT tinkle. Tai leidžia daryti prielaidą, kad akumuliacinės talpos integravimas į sistemą yra būtinas, siekiant išgauti maksimalų saulės kolektorių sistemos efektyvumą. 28 paveiksle vaizduojamas saulės terminių kolektorių sistemos galimos sugeneruoti galios grafikas be akumuliacinės talpos sistemoje.



28 pav. Saulės terminiais kolektoriais generuojama galia metų bėgyje remiantis CFSR duomenimis

Pagal gautą grafiką matome, kad iš 11295 m² efektyvaus ploto terminių saulės kolektorių didžiausia galima sugeneruoti šiluminė galia pagal skaičiuojamąjį scenarijų vasaros mėnesiais siektų maksimaliai 3 MW. Akivaizdu, kad pagaminama galia vasaros mėnesiais galėtų būti ženkliai didesnė, bet dėl nesamos galimybės sukaupti šiluminės energijos perteklių saulės kolektorių sistemos galimybės negali būti pilnai išnaudojamos.

Atlikus skaičiavimus, gauti mėnesiniai saulės terminiais kolektoriais pagaminamos šiluminės energijos kiekiai bei saulės kolektorių naudingumo koeficientas. Saulės kolektorių mėnesinis naudingumo koeficientas apskaičiuojamas pagal 2 formulę kiekvienai mėnesio dienai valandos tikslumu esant saulės spinduliuotei bei šiluminės energijos gamybai kolektoriuose:

$$\eta = \frac{P}{I \cdot A} \quad (3)$$

Čia I – Apskaičiuota saulės spinduliuotė priklausomai nuo vietovės, W/m²;

P – Saulės terminiais kolektoriais generuojama galia apskaičiuota 2 formulėje, W;

A – Terminių saulės kolektorių plotas, m².

Gauti duomenys pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Saulės terminiais kolektoriais pagaminamos šiluminės energijos duomenys

Mėnesiai	Pagaminamos energijos kiekis, MWh	Šiluminės energijos suvartojimas CŠT tinkle, MWh	Saulės kolektorių naudingumo koeficientas
Sausis	30,77	8660,4	0,06
Vasaris	125,32	7423,2	0,13
Kovas	450,32	7752	0,28
Balandis	713,58	6193,7	0,40
Gegužė	631,35	2414,6	0,2
Birželis	520,01	1609,6	0,23
Liepa	526,66	1611,8	0,21
Rugpjūtis	552,05	1556,7	0,27
Rugsėjis	563,98	1877,9	0,39
Spalis	328,21	4170,2	0,43
Lapkritis	49,76	7147,5	0,14
Gruodis	38,99	9282,4	0,17
Viso per metus	4584	59700	0,242

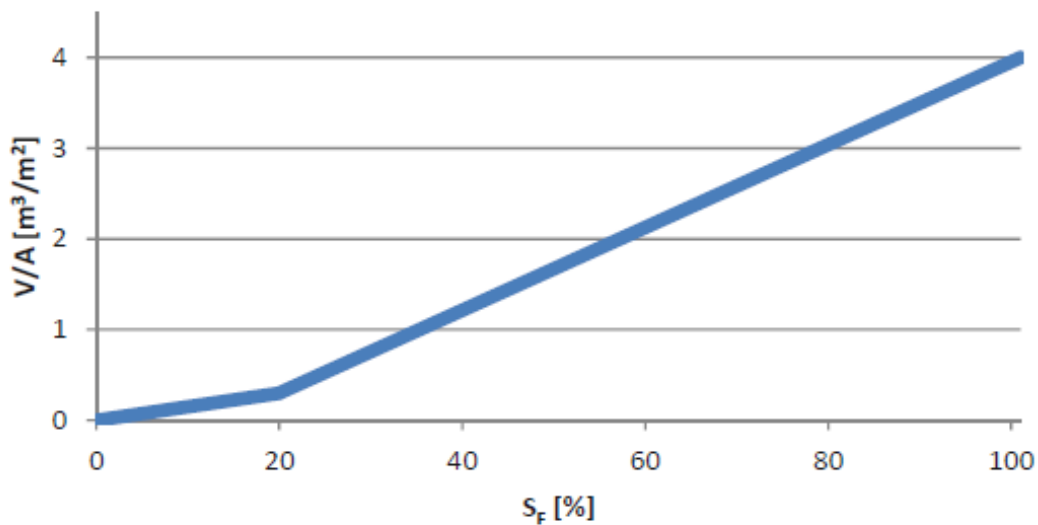
Remiantis 8 lentelės duomenimis, metinis saulės kolektoriais gaminamos šiluminės energijos kiekis siekia 4584 MWh. Tokios sistemos metinis efektyvumas siektų tik 24,2 %, ir ji padengtų 7,6 % metinės šiluminės energijos poreikio CŠT tinkle.

Įvertinus šiame variante gautus skaičiavimų rezultatus išskiriami 2 pagrindiniai aspektai. Norint užtikrinti tokios sistemos sklandų veikimą, reikėtų beveik dvigubai sumažinti saulės kolektorių plotą (iki maždaug 6000 m² efektyvaus ploto). Kitas alternatyvus variantas nemažinant saulės kolektorių ploto, yra akumuliacinės talpos įdiegimas. Tolimesniam įvertinimui pasirenkamas saulės terminių kolektorių sistemos apskaičiavimas su akumuliacine talpa.

3.4.2. 2 variantas. Tiesioginis saulės kolektorių prijungimas į katilinės kontūrą su akumuliacine talpa, grįžtamą termofikacinį vandenį šildant už kondensacinio ekonomizerio

Šiame skaičiavimų variante papildomai į skaičiuojamąją schemą įdiegiama akumuliacinė talpa. Optimalus akumuliacinės talpos tūris parenkamas pagal 29 paveiksle vaizduojamą grafiką.

Optimalus akumuliacinės talpos tūrio ir saulės kolektorių ploto santykis

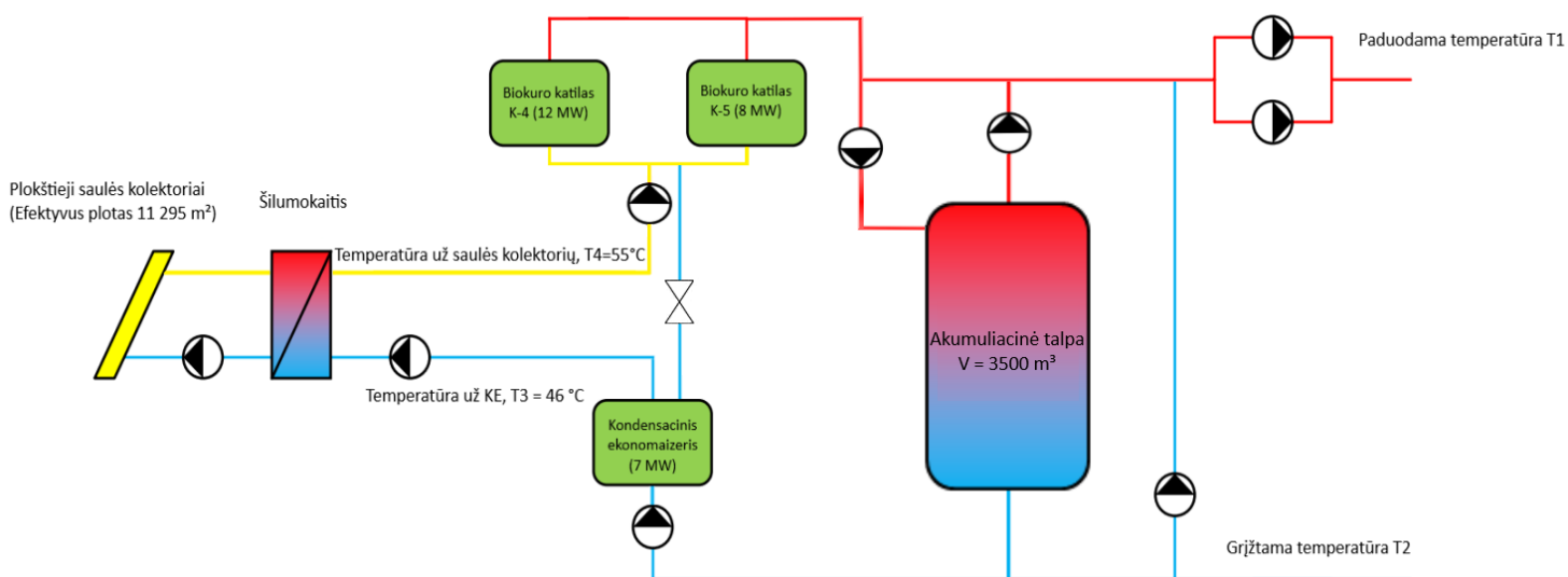


29 pav. Optimalus akumuliacinės talpos tūrio ir saulės kolektorių ploto santykis priklausomai nuo saulės frakcijos [11]

Remiantis grafiko bei informacinių šaltinių duomenimis [11], priimame, kad reikalingas akumuliacinės talpos tūris saulės kolektorių sistemoms, kurios vasaros metu padengia 100 % tinklo poreikio yra $0,3 \text{ m}^3$ kiekvienam 1 m^2 efektyvaus saulės kolektorių ploto. Įvertinus analizuojamą saulės kolektorių lauką, kurio saulės kolektorių efektyvus plotas yra 11295 m^2 priimame, kad tolimesniems skaičiavimams naudosisime trumpalaikę akumuliacinę talpą, kurios tūris yra 3500 m^3 . Akumuliacinės talpos temperatūrinis režimas numatomas $85 \text{ }^\circ\text{C} / 40 \text{ }^\circ\text{C}$, kas leistų sukaupti $164,26 \text{ MWh}$ šiluminės energijos. Numatomi šie akumuliacinės talpos parametrai bei dydžiai:

- skersmuo – 15 metrų;
- aukštis – 20 metrų;
- temperatūrinis veikimo režimas – $85 \text{ }^\circ\text{C} / 40 \text{ }^\circ\text{C}$;
- kaupiamas energijos kiekis – $164,26 \text{ MWh}$;
- izoliacijos storis – 300 mm;
- šilumos laidumo koeficientas $\lambda = 0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Skaičiavimams programinėje įrangoje nustatome, kad šiuo atveju biokuro katilas VŠK-DE-16V vasaros metu turi dirbti nenutrūkstamai, siekiant išvengti biokuro katilo stabdymų. Akumuliacinės talpos įdiegimas į principinę schema pavaizduojamas 30 paveiksle.



30 pav. Saulės terminių kolektorių integravimo schema už KE su akumuliacine talpa

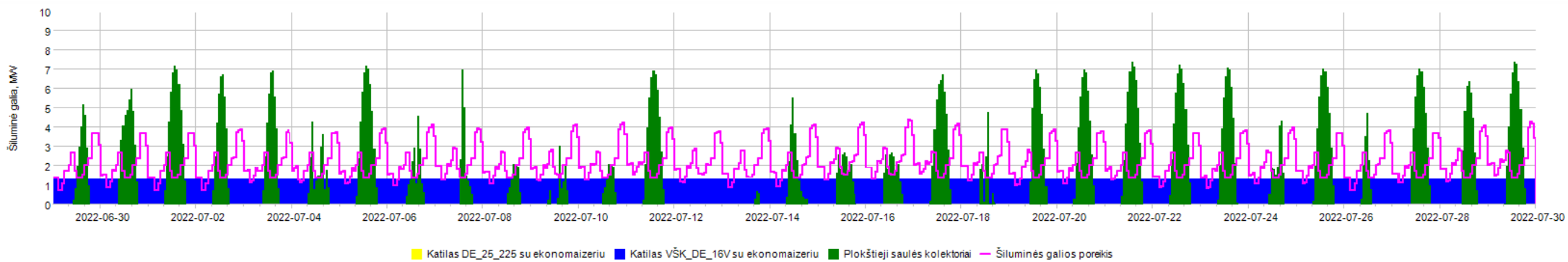
Pagal gautą schemą sudaromas modelis skaičiavimams EnergyPro programine įranga, į 1 variante naudotą schemą įdiegiant 3500 m³ akumuliacinę talpą. Skaičiavimų metu gauti saulės kolektorių mėnesiniai šiluminės energijos duomenys pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Saulės terminiais kolektoriais pagaminamos šiluminės energijos duomenys po akumuliacinės talpos įdiegimo

Mėnesiai	Pagaminamos energijos kiekis, MWh	Šiluminės energijos suvartojimas CŠT tinkle, MWh	Saulės kolektorių naudingumo koeficientas
Sausis	32,91	8660,4	0,064
Vasaris	128,7	7423,2	0,128
Kovas	481,71	7752	0,278
Balandis	763,33	6193,7	0,396
Gegužė	794,73	2414,6	0,398
Birželis	1043,74	1609,6	0,470
Liepa	925,62	1611,8	0,450
Rugpjūtis	1069,87	1556,7	0,560
Rugsėjis	565,4	1877,9	0,40
Spalis	347,25	4170,2	0,434
Lapkritis	53,24	7147,5	0,140
Gruodis	41,7	9282,4	0,170
Viso per metus	6248,2	59700	0,324

Pagal 9 lentelėje vaizduojamus rezultatus matome, kad į technologinę schemą įdiegus trumpalaikio saugojimo akumuliacinę talpą, iš saulės kolektorių pavyktų išgauti apytiksliai 1664 MWh daugiau šiluminės energijos, kadangi po akumuliacinės talpos įdiegimo atsirastų galimybė saulės kolektorių

sistemą panaudoti 100 %. Bendras metinis tokios sistemos naudingumo koeficientas gaunamas 32,4 %. Pirmajame skaičiavimų variante modeliuotoje sistemoje esant didelei saulės frakcijai saulės kolektoriai, dėl nepakankamos šiluminės talpos CŠT tinkle, vasaros laikotarpiu negali į tinklą atiduoti visos galimos pagaminti šiluminės energijos. Dėl šios priežasties atsiranda akumuliacinės talpos poreikis. Šiam skaičiavimų variantui EnergyPro programine įranga sumodeliuojamas galimas šiluminės energijos gamybos scenarijus. Gautas liepos mėnesio energijos generavimo sistemos šiluminės energijos gamybos grafikas pateikiamas 31 paveiksle.



31 pav. Liepos mėnesio šiluminės galios generacijos grafikas po akumuliacinės talpos įdiegimo

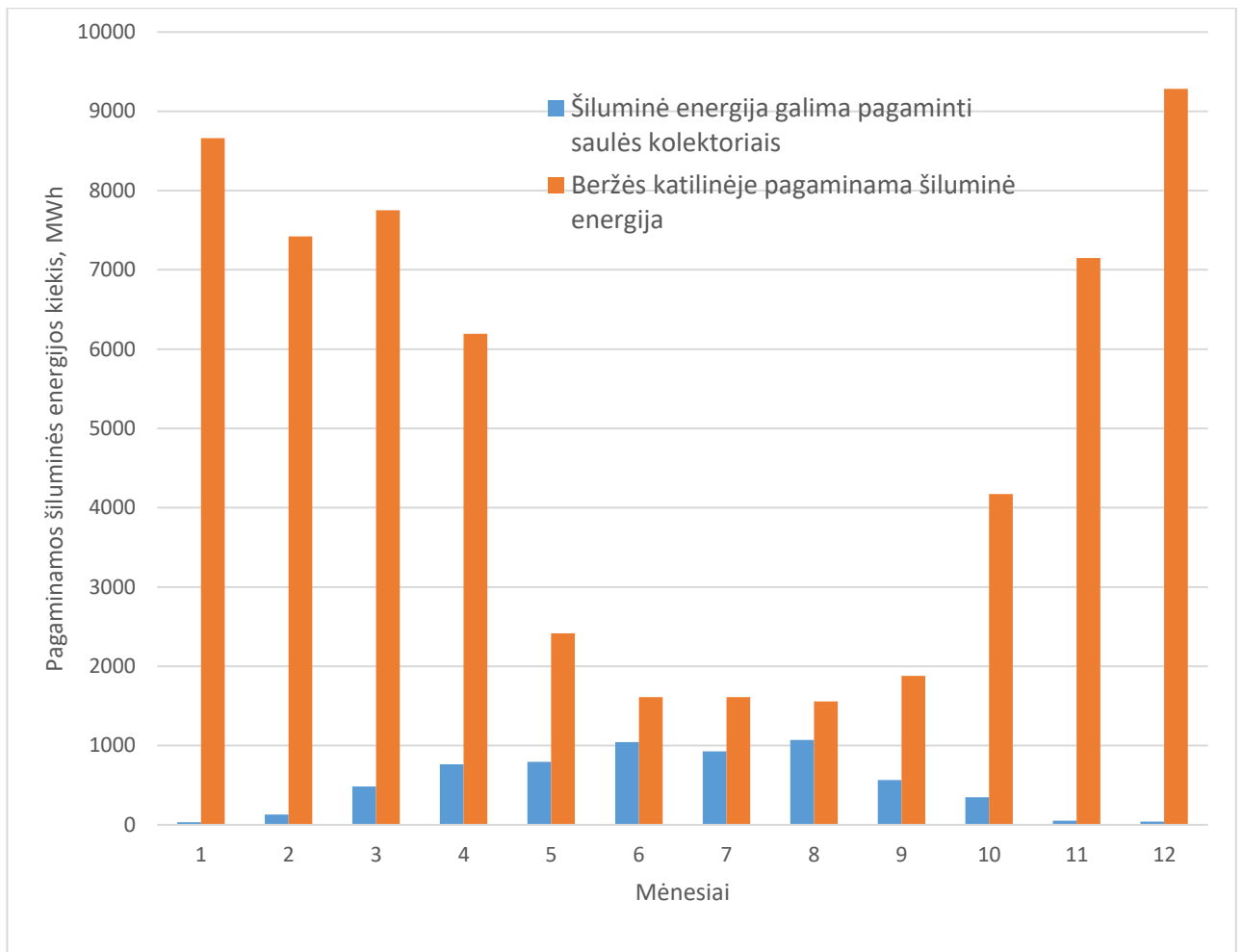
Grafike vaizduojama metų bėgyje skirtingomis energijos generavimo sistemų šiluminių galių pasiskirstymai, į sistemos kontūrą įdiegus akumuliacinę talpą. Remiantis grafike pateiktais duomenimis, galima teigti, kad vasaros laikotarpiu biokuro katilas turėtų dirbti minimalia 1,2 MW galia. Naudojantis programine įranga nustatyta, kad biokuro katilas VŠK-DE-16V vasaros metus turėtų dirbti 2799 valandas, įvertinant, kad šildymo sezonas 2022 metais Tauragėje baigėsi gegužės 10 dieną. Susisteminti duomenys pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. Susisteminti šiluminės energijos gamybos grafiko duomenys po akumuliacinės talpos įdiegimo metų bėgyje

Šiluminės energijos generavimo įrenginys	Pagamintas šiluminės energijos kiekis, MWh	Naudingumo koeficientas, %	Suvaroto biokuro kiekis, ton.
Biokuro katilas DE-25/225 (K-4) su KE	14016,8	91,3	5654,6
Biokuro katilas VŠK-DE-16V (K-5) su KE	39530,7	97,02	15030,7
Plokštieji saulės kolektoriai	6248,2	0,324	-
Nuostoliai akumuliacinėje talpoje	-95,7	-	-
Viso per metus	59700	-	20685,3

Remiantis grafiko bei lentelės duomenimis pastebime, kad į sistemos kontūrą įdiegus akumuliacinę talpą, šiluminės energijos gamyba saulės kolektoriais padidėja apie 27 %. Po akumuliacinės talpos įdiegimo natūraliai sumažėja ir biokuro suvartojimas, maždaug apie 600 tonų per metus.

Pastebima, kad po akumuliacinės talpos įdiegimo modeliuojamu atveju, biokuro katilo veikimo laikas išliktų pastovus, t.y katilas veiktų nepertraukiamai. Biokuro katilas veiktų kaip pagalbinis energijos generavimo įrenginys, siekiant užkrauti akumuliacinę talpyklą iki pilnos talpos. Visa kita šiluminė energija skirta aprūpinti CŠT tinklą būtų generuojama saulės kolektorių pagalba. 32 paveikslėlyje vaizduojamas potencialus energijos gamybos grafikas saulės terminiais kolektoriais kiekvienam mėnesiui.



32 pav. Galima šiluminės energijos gamyba po saulės kolektorių integracijos

4. Saulės terminių kolektorių sistemos įdiegimo į Tauragės miesto CŠT tinklą ekonominis ir ekologinis įvertinimas

Šiame skyriuje įvertinama apskaičiuotų energetinių sistemų variantų ekonominė ir ekologinė dalis. Priimama, kad šiame skyriuje bus vertinama tik pagal 2 variantą apskaičiuoti rezultatai, kadangi pirmasis energetinės sistemos variantas be akumuliacinės talpos nėra technologiškai ir ekonomiškai naudingas bei realus.

4.1. Ekonominis įvertinimas

Tolimesniems skaičiavimams atlikti, įsivertiname saulės terminių kolektorių sistemos investicinius kaštus. Remiantis įgyvendintų projektų duomenimis, saulės šiluminės jėgainės sistemos investiciniai kaštai pateikiami 11 lentelėje [22,10].

11 lentelė. Saulės šiluminės jėgainės sistemos investiciniai ir kintamieji kaštai

Energetinės sistemos dalis	Dydis	Investiciniai kaštai
Plokštieji saulės kolektoriai	11295 m ²	242 Eur/m ²
Akumuliacinė talpa	3500 m ³	220 Eur/m ³
Žemės sklypas	380 arų	800 Eur/a

Saulės terminių kolektorių kintamieji kaštai įvertinami **2 Eur/MWh** pagamintos šiluminės energijos [23]. Į šią kainą įtraukti elektros energijos kaštai siurbliams, taip pat kas 5 metus privalomas fluideo pakeitimas saulės kolektoriuose. Gaunamos bendros investicijos visai saulės šiluminei sistemai, kurios lygios **3 820 593 Eur**.

4.2. Subsidijos

2021–2027 metų Europos Sąjungos fondų investicijų programoje išskirtas konkretus uždavinys [24], kuris numato skatinti atsinaujinančiąją energiją pagal Direktyvą (ES) 2018/2001, įskaitant joje nustatytus tvarumo kriterijus. Pagrindinis šios programos tikslas – skatinti atsinaujinančių išteklių naudojimą CŠT tinkle (šiuo atveju saulės energijos). Remiantis šios programos duomenimis, saulės energijos technologijų įdiegimo skatinimui yra preliminariai numatyta 88,4 mln. eurų. Tolimesnėje projekto ekonominėje analizėje atliekami skirtingi skaičiavimo variantai įvertinant galimas subsidijas pagal minėtą investicinę programą.

4.3. Saulės terminių kolektorių sistemos atsipirkimo laikotarpio įvertinimas

Saulės terminių kolektorių sistemos atsipirkimo laikotarpiui įvertinti, lyginsime biokuro kiekio sutaupymą po saulės kolektorių įdiegimo. Remiantis BaltPool energetinės skaičiuoklės duomenimis [25] priimame, kad 1 tonos biokuro energetinė vertė yra 2,715 MWh. Apskaičiuoti mėnesiniai biokuro sutaupymai pateikiami 12 lentelėje.

12 lentelė. Mėnesiniai biokuro kiekio sutaupymai po saulės kolektorių sistemos įdiegimo

Mėnesiai	Saulės kolektoriais pagaminamas šiluminės energijos kiekis, MWh	Biokuro kaina 2022 metais, Eur/MWh	Biokuro sutaupymas, Eur	Sutaupyto biokuro kiekis, ton.
Sausis	32,91	26,39	868,5	12,12
Vasaris	128,7	27,35	3519,9	47,40

Kovas	481,71	26,77	12895,4	177,43
Balandis	763,33	22,62	17266,5	281,15
Gegužė	794,73	21,98	17468,2	292,72
Birželis	1043,74	26,83	28003,5	384,43
Liepa	925,62	36,42	33711,1	340,93
Rugpjūtis	1069,87	43,35	46378,9	394,06
Rugsėjis	565,4	49,24	27840,3	208,25
Spalis	347,25	44,45	15435,3	127,90
Lapkritis	53,24	38,05	2025,8	19,61
Gruodis	41,7	36,4	1517,9	15,36
Viso	6248,2	-	206931	2301,4

Remiantis 12 lentelėje pateikiamais duomenimis, matome, kad įdiegus saulės terminių kolektorių sistemą, lyginant su 2022 metų BaltPool biokuro biržos duomenimis [25], metų bėgyje pavyktų sutaupyti 2301,4 tonų biokuro, kurio kaina lygi 206931 Eur.

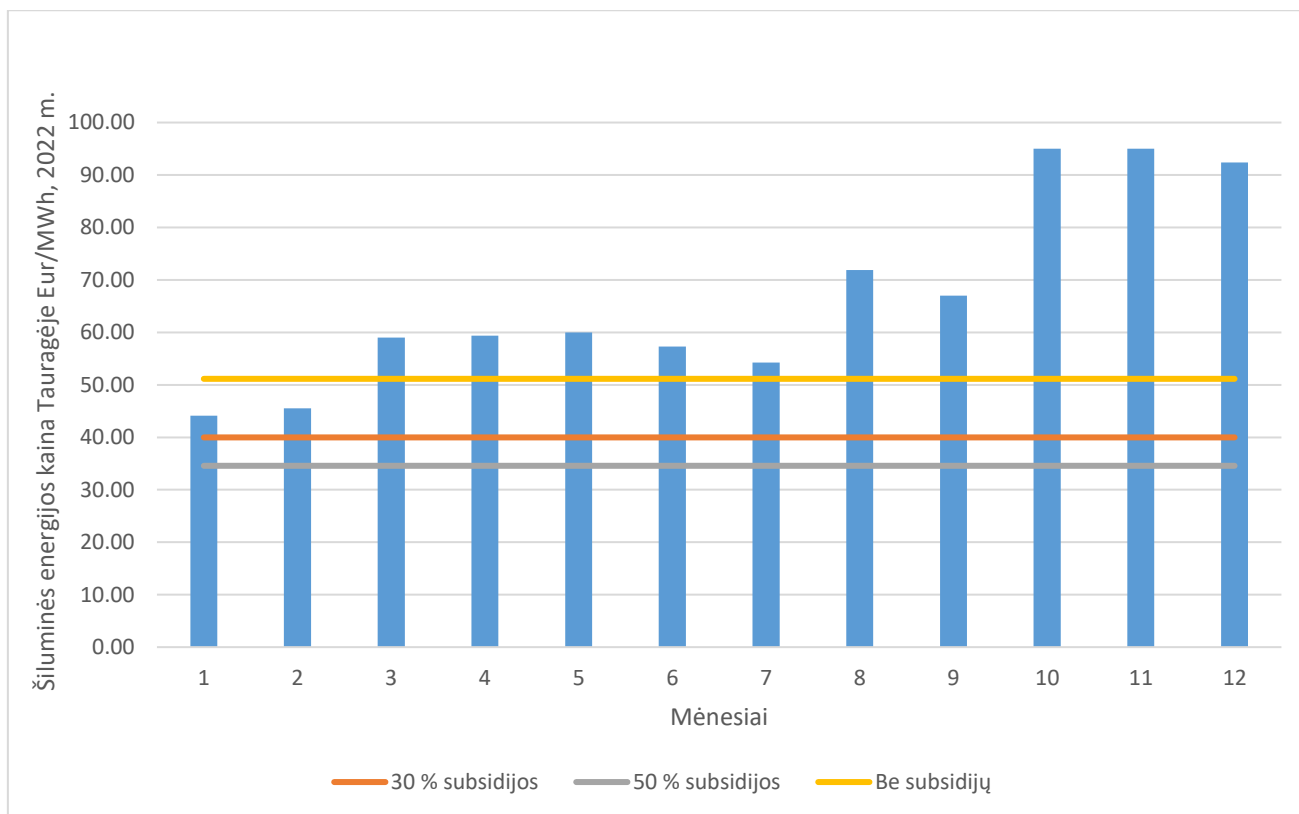
Atliekant tolimesnę sąnaudų ir naudos analizę daroma prielaida, kad plokščiųjų saulės kolektorių amortizacijos laikotarpis yra 25 metai [11]. Finansinė parama numatoma pagal tris skirtingus scenarijus: be paramos investicijoms, bei su 30 % ir 50 % parama nuo investicinių kaštų. Taip pat įvertinamas galimas paskolos poreikis, darant prielaidą, kad paskolos suma yra 60 % nuo investicijų sąnaudų, atėmus finansinę paramą. Palūkanų norma skaičiavimuose įvertinama 3 % bei paskolos laikotarpis nustatomas 20 metų. Atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas kaip paprastasis atsipirkimo laikotarpis, kai eksploatacijos metu sutaupytos lėšos dalijamos iš investicijų. Gauti rezultatai pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Paprastoji atsipirkimo laikotarpio apskaičiavimas

Paramos dydis	Atsipirkimo tipas	Atsipirkimo laikotarpis
0 %	Be paramos ir su paskola	25 metai
30 %	Su parama ir su paskola	17 metų
50 %	Su parama ir su paskola	13 metų

Remiantis 13 lentelės duomenimis matome, kad finansiškai realiausias saulės terminių kolektorių sistemos atsipirkimo variantas būtų su 50 % finansine parama, taip pat įvertinus ir paskolos poreikį šis atsipirkimo laikotarpis siektų 13 metų. Šiuo atveju 30 % finansinė parama saulės šiluminių kolektorių integravimui į šilumos tiekimo tinklą vis dar yra per maža, kad projektas būtų patrauklus.

Apskaičiuotos šilumos gamybos sąnaudos lyginamos su 2022 metų šiluminės energijos kaina Tauragės miesto CŠT sistemoje pridėjus vidutines paskirstymo sąnaudas, kurios, kaip nustatyta, apytiksliai lygios 16 Eur/MWh [18]. Skaičiavimų rezultatai parodė, kad be subsidijų šiluminės energijos, gaminamos saulės kolektoriais kaina nebūtų konkurecinga, lyginant su biokurą naudojančiomis energijos generavimo sistemomis (žr. 33 pav.).



33 pav. Esamos šiluminės energijos kainos palyginimas su galima šiluminės energijos kaina iš saulės kolektorių sistemos prie skirtingų finansavimo variantų

Reikėtų pažymėti, kad saulės šiluminės energijos kaina nepriklauso nuo kuro kainų svyravimų. Tai galima laikyti privalumu, atsižvelgiant į augančias biomasės, naftos ir dujų kainas.

4.4. Ekologinis įvertinimas

Vertinant ekologinį šio projekto aspektą, galima teigti, kad saulės kolektorių sistemos įdiegimas sumažina išmetamųjų kenksmingų dalelių kiekį, kadangi yra sudeginama mažiau biokuro. Kadangi Tauragės Beržės katilinėje yra deginamas atsinaujinančiu laikomas biokuras bei sistemoje yra įdiegtas kondensacinis ekonomizeris, teršalų kiekiai yra neįtikėtinai maži ir neviršija leistinų LAND 43-2013 įsakyme apibrėžtų normų [26]. Sumažinus naudojamo biokuro kiekį, galima sumažinti CO₂ pėdsaką, kadangi medžiai dar yra vadinami pasaulio „plaučiais“ dėl galimybės absorbuoti anglies dioksidą.

Įdiegus saulės terminių kolektorių sistemą šiame projekte pavyktų sutaupyti apie 2301 tonų biokuro. Remiantis šaltinių duomenimis, pilnai subrendęs medis gali absorbuoti apie 21 kg. CO₂ per metus [27]. Įvertinimui priimame vidutinę 20 metrų [28] aukščio pušį, kurios tankis 550 kg/m³ bei skersmuo 0,3 metro. Gauname, kad tokio medžio tūris yra 1,4 m³, ir preliminarus svoris 777 kg. Tokiu atveju gauname, kad įdiegus saulės kolektorių sistemą pavyktų išsaugoti apie 2961 medžių, kurie absorbuoja **62,2 tonos** CO_{2e} per metus.

Kitas aspektas, kuriame pavyktų sutaupyti CO₂ yra biokuro transportavimas sunkiuoju transportu. Darant prielaidą, kad biokuras yra gabenamas iš Kauno ir vidutinis atstumas tarp Kauno ir Tauragės yra 120 kilometrų, o vidutinis sunkiasvorio dyzelinio sunkvežimio degalų naudojimo efektyvumas yra 5 kilometrai litrai, sunkvežimis kelionei sunaudotų apie 24 litrus dyzelino. Remiantis dyzelinių degalų CO₂ emisijos koeficientu, kuris yra maždaug 2,6 kg CO₂ vienam litrai sunaudotų degalų,

sunkvežimis kelionės iš Kauno į Tauragę metu išskirtų maždaug 62,4 kg CO₂. Priimame, kad vienas sunkvežimis talpina 25 tonas biokuro, ir gauname, kad įdiegus saulės kolektorių sistemą sutaupyti 97 biokuro transportavimus sunkiuoju transportu, kas leistų sutaupyti dar papildomai **6 tonas** CO₂ emisijų [29]. Palyginimui Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos duomenimis, 2019 m. bendras visų Lietuvos sektorių išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis sudarė apie **20,3 mln. tonų** CO₂ ekvivalento (MtCO_{2e}). Iš šio bendro kiekio daugiausia teršalų išmetė energetikos sektorius – apie 62 proc. visų išmetamųjų emisijų kiekio, toliau seka žemės ūkis (22 proc.) ir pramonės procesai bei produktų naudojimas (11 proc.) [30].

4.5. SSGG analizė

Kiekvienoje technologijoje galima atrasti tiek silpnybių, tiek stiprybių. Šiame skyrelyje atliekama saulės šiluminės jėgainės įdiegimo į egzistuojančią energijos generavimo sistemą SSGG analizė. Aprašomi trys pagrindiniai kiekvieno aspekto punktai, gali būti daugiau smulkių stiprybių, silpnybių, galimybių ir grėsmių, tačiau jos nebus nurodomos.

4.5.1. Stiprybės

Ryškiausios praktikoje išskiriamos saulės terminių sistemų stiprybės yra šios:

- pasitvirtinusi technologija;
- nėra taršių emisijų;
- pigus aptarnavimas.

Pagrindinis saulės šilumos privalumas yra tas, kad tai yra patikrinta technologija, t. y. jau įrodyta, kad ji yra pigesnė, skaičiuojant MWh kainą ir efektyvesnė nei bet kuris kitas atsinaujinantis šaltinis. Kuriant saulės šilumos parką, šilumos kaina už MWh apskaičiuojama ir nustatoma ateinantiems 25 metams. Šiuo konkrečiu Tauragės miesto atveju pastovi šiluminės energijos kaina generuojama saulės kolektoriais su 50% subsidijomis gauta **34,57 Eur/MWh**. Saulės energijos gamyba neišskiria jokių teršalų. Saulės kolektorių pagaminimas turi neigiamą poveikį gamtai (CO₂ emisijų išskyrimas), tačiau išmetamų teršalų kiekis kompensuojamas jau po 1-2 metų, priklausomai nuo sistemos dydžio [23]. Trečiasis saulės šilumos privalumas yra tas, kad parko priežiūra yra labai pigi. Paprastai saulės šilumos parko išlaikymas kainuoja apie 1-2 EUR už MWh pagamintos šiluminės energijos [23].

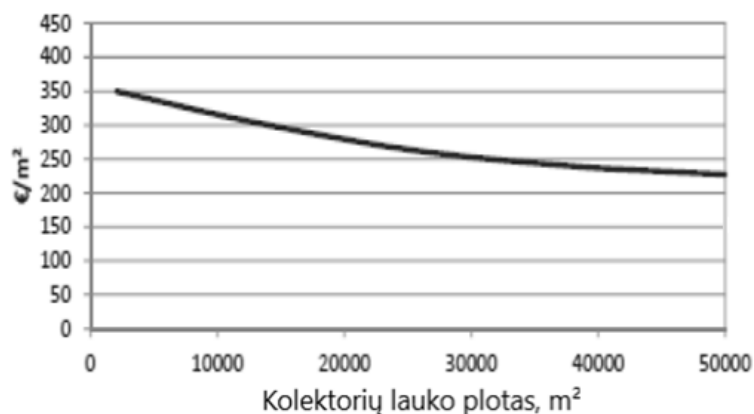
4.5.2. Silpnybės

Didžiausios silpnybės, išskirtos praktikoje įgyvendintuose projektuose yra šios:

- didelių investicijų poreikis;
- priklausomybė nuo CŠT tinklo;
- didelio ploto saulės kolektorių poreikis.

Saulės terminio parko kūrimui reikalingos didelės investicijos. Dėl didelių išlaidų saulės šilumos parko neįmanoma įgyvendinti be subsidijų ir paskolų. Dažnu atveju, lėšos parko finansavimui yra gaunamos pasinaudojant subsidijomis ir paskolomis kartu. Saulės šilumos parko efektyvumas labai priklauso nuo šilumos tinklo prie kurio jis yra prijungtas. Be to, vystant saulės šilumos parką šilumos kaina skaičiuojama 25 metams. Šilumos kainą sunkiau nustatyti, jei per tuos 25 metus bus atliekami dideli šilumos tinklų pakeitimai. Tais atvejais, kai šilumos tinklai iš esmės plečiasi, tai dažnai būna sunkiai įveikiama užduotis. Instaliuojant saulės kolektorių sistemą, investiciniai kaštai kinta nuo

sistemos ploto. Kuo didesnė sistema – tuo pigesnė saulės terminių kolektorių instaliacija. Investicinių kaštų kitimo nuo saulės kolektorių ploto grafikas pavaizduojamas 34 pav. [31].



34 pav. Investicinių kaštų priklausomybė nuo saulės kolektorių ploto [32]

4.5.3. Galimybės

Saulės terminių kolektorių technologija yra įvardinama kaip viena iš didžiausių potencialą turinčių technologijų atsinaujinančios energetikos srityje. Išskiriamos plačiausios šios sistemos galimybės:

- technologijos tobulėjimas;
- 100 % šiluminės energijos iš atsinaujinančių šaltinių;
- įgyvendinti projektai.

Saulės šilumos kolektoriai pirmą kartą panaudoti 1977 m., todėl ši technologija yra ganėtinai jauna. Todėl šiuo metu technologija gali tik tobulėti. Spartesni moksliniai tyrimai, atliekami siekiant patobulinti saulės kolektorius, dar labiau pagerins saulės kolektorių našumą. Perėjimas prie atsinaujinančių šaltinių tampa vis svarbesne energetine kryptimi. Atsinaujančiųjų išteklių, kurie yra labai efektyvūs, mažina sąnaudas ir išmetamųjų teršalų kiekį, poreikis tik didėja. Tačiau ateityje, norint 100 proc. namų ūkių aprūpinti atsinaujinančiąja energija, reikia derinti įvairius atsinaujinančiuosius šaltinius. Labai mažai tikėtina, kad tik vienas atsinaujinantis šaltinis patenkins 100 % šilumos poreikio. Šiuo konkrečiu Tauragės miesto atveju, būtų derinami 2 atsinaujinantys šaltiniai – saulės energija bei biokuras. Remiantis jau įgyvendintais projektais Danijoje, Švedijoje, Vokietijoje, pastebima, kad saulės terminės jėgainės turi didžiulį potencialą plėtrai, tuo pačiu mažindamos išmetamųjų teršalų emisijas [23].

4.5.4. Grėsmės

Pagrindinės grėsmės, dažniausiai verčiančios investuotojus rinktis kitas alternatyvias technologijas yra šios:

- didelio ploto žemės poreikis;
- informacijos stoka;
- subsidijos.

Tikriausiai didžiausia grėsmė saulės termininėms jėgainėms tai žemės poreikis. Dažnu atveju yra sunku rasti didelį žemės plotą šalia pirminės energijos generavimo sistemos bei jos CŠT tinklo. Šiuo metu Lietuvoje informacijos apie saulės šilumos parkus yra nedaug, taip pat susidomėjimas ir informuotumas yra menki. Dėl ribotos informacijos ir nepakankamo susidomėjimo sprendimus priimančias asmenys dažniau renkasi kitą esamą atsinaujinantį šilumos šaltinį, kuris, jų manymu, yra labiau išvystytas (šiuo atveju biokuras). Be to, dėl ribotų žinių ir nepakankamo susidomėjimo žmonės nežino, kuo skiriasi fotovoltinė ir saulės šilumos energija, arba net nežino, kad yra įmanoma šiluminės energijos gamyba naudojant saulės kolektorius. Visa tai kelia didelę grėsmę saulės šilumos parkų ateičiai. Didelio ploto saulės terminių kolektorių sistemų įgyvendinimas nėra įmanomas be subsidijų bei paskolų. Subsidijų dydis labai įtakoja šių sistemų atsiperkamumo laikotarpį. Jeigu subsidijos siekia mažą procentą nuo investicinių kaštų (10-20%), tokiu atveju saulės terminių sistemų įgyvendinimas vis tiek išlieka komplikuoatas ir neapsimokantis.

Išvados

1. Atlikta literatūros apžvalga parodė, kad atsinaujinančių technologijų integracija į CŠT tinklą yra vienas iš svarbiausių uždavinių Europos sąjungoje, siekiant iki 2050 metų užtikrinti visišką valstybių neutralumą CO₂ emisijų išmetime. Remiantis gerosios praktikos pavyzdžiais Europoje vis dažniau kaip alternatyva karšto vandens ruošimui CŠT tinkle naudojamos didelio ploto saulės terminių kolektorių sistemos.
2. Šio projekto įgyvendinimui pasirinktas Tauragės miestas, ir šiame mieste esanti Beržės katilinė. 2021 metų duomenis, tiekiamos šiluminės energijos kiekis Beržės katilinėje siekė **59700 MWh**, iš kurių **33700 MWh** buvo panaudota gyvenamųjų namų šildymui, **14000 MWh** – karštam buitiniam vandeniui ruošti bei **8000 MWh** nuostoliai CŠT tinkle.
3. Saulės terminių kolektorių integravimo vietai numatytas **33 866 m²** žemės sklypas esantis šalia Beržės katilinės. Remiantis gerosios praktikos pavyzdžiais, numatyta, kad į šį žemės sklypą būtų galima instaliuoti **11295 m²** efektyvaus saulės kolektorių.
4. Naudojantis EnergyPro programine įranga atlikti technologiniai skaičiavimai. Saulės kolektorius pasirinkta įdiegti tiesiogiai į katilinės kontūrą, grįžtamą termofikacinį vandenį šildyti už kondensacinio ekonomizerio pakeliant vandens temperatūrą nuo 46 iki 55 °C, ir pašildytą vandenį tiekti į biokuro katilus. Atlikti 2 skaičiavimų variantai, kuriuose vertinamas akumuliacinės talpos poreikis sistemoje.
5. Atlikus skaičiavimus gauta, kad tokio dydžio saulės terminių kolektorių sistemos veikimas be akumuliacinės talpos yra technologiškai ir ekonomiškai nenaudingas, dėl šios priežasties į sistemą papildomai įdiegiama **3500 m³** akumuliacinė talpa.
6. Pagal gautus sistemos energetinės analizės rezultatus atliktas projekto ekonominis įvertinimas. Gauti investiciniai saulės terminės jėgainės kaštai siekia apytiksliai **3,8 mln. eurų**. Atlikus ekonominį įvertinimą pastebėta, kad be papildomų išorinių subsidijų, projekto atsiperkamumo laikotarpis išaugtų iki 25 metų. Ekonomiškai patraukliausias atsiperkamumo variantas būtų gavus 50 % subsidiją nuo investicinių kaštų, tokiu atveju projekto atsiperkamumo laikotarpis sumažėtų iki 13 metų, įvertinant paskolos poreikį.
7. Gauti ekologiniai šio projekto aspektai, vertinant išsaugotų medžių CO₂ absorbciją bei sunkiojo transporto CO₂ emisijas. Apskaičiuota, kad tokios sistemos įdiegimas leistų sumažinti apie **68 tonas** CO₂ emisijų per metus.
8. Atlikta SSGG analizė parodė, kad saulės terminių jėgainių integravimas į CŠT tinklą turi didelę perspektyvą, tačiau ši technologija yra labai priklausoma nuo žemės ploto bei atitinkamos finansinės paramos.

Literatūros sąrašas

1. WINTERSCHIED, Carlo; J-O. Dalenbäck ir S. Holler. Integration of solar thermal systems in existing district heating systems. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.159>.
2. PEREZ-MORA, N., Bava, F., Andersen, M., Bales, C., Lennermo, G., Nielsen, C., Furbo, S., & Martínez-Moll, V. Solar district heating and cooling: A review. *International Journal of Energy Research* [interaktyvus]. 2018, 42(4), 1419-1441 [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1002/er.3888>.
3. JAKOBSSON, Mikael ir L. Shaofang. Solar district heating in republic of China [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/514916/solar-district-heating-peoples-republic-china.pdf>.
4. SANNER, Burkhard; R. Kalf; A. Land; K. Mutka. Common Vision for the Renewable Heating & Cooling sector in Europe [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2022-11-19]. Prieiga per: <https://www.rhc-platform.org/>
5. IEA. District Heating [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-01-15]. Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/district-heating>.
6. AUKŠČIAUSIA AUDITO INSTITUCIJA. Centralizuoto šilumos tiekimo vertinimas. Vertinimo ataskaita [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-01-15]. Prieiga per: <https://www.valstybeskontrolė.lt/LT/Product/24071/centralizuoto-silumos-tiekimo-vertinimas>
7. SOLARGIS. *Solar recourse maps and GIS data* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-01-24 d.]. Prieiga per: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/lithuania>
8. *Solar District Heating Guidelines. Collection of Fact Sheets. Deliverable of SDHplus (Solar District Heating) project under “Intelligent Energy for Europe programme”* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2023-01-24]. Prieiga per: <http://www.solar-district-heating.eu/>
9. FELIPE, Javier; G. Krajacic; D.R. Schneider. „Evaluation of integration of solar energy into the district heating system in the city of Velika Gorica“ [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2023-02-12]. Prieiga per: <https://doi.org/10.2298/TSCI151106106A>
10. TONHAMMAR, Anders. *Solar District Heating – the potential of a large scale solar district heating facility in Stockholm : magistrinis darbas*. Upsalos universitetas, 2014.
11. SØRENSEN, Alex. Description of different combination options for solar heat including economic issues when it is combined with other fuels such as biomass [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2023-04-10]. Prieiga per: www.solar-district-heating.eu .
12. DANISH ENERGY AGENCY. Technology Data for Energy Storage [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2023-04-27]. Prieiga per: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_energy_storage.pdf
13. SHC. Efficient Solar District Heating Systems [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-04-27]. Prieiga per: <https://task68.iea-shc.org/>

14. GEORGIEV, Ivo. Case study on Solar-heating plant in Silkeborg, Denmark [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2023-04-27]. Prieiga per: https://european-union.europa.eu/index_lt
15. *Salaspils Solar Thermal Power Heating Plant* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2023-03-25]. Prieiga per: <https://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2021/06/64a576aaa511448999e06bdbc217e52tmp1.pdf>
16. SHC. Solar Heat for Cities – The Sustainable Solution for District Heating [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2023-03-05]. Prieiga per: <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/country-profiles>
17. VALSTYBINĖ ENERGETIKOS REGULIAVIMO TARYBA. Šiluminės energijos kaina [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-04-02 d.]. Prieiga per: <https://www.regula.lt>
18. UAB „TAURAGĖS ŠILUMOS TINKLAI“. Eksploatuojamos katilinės [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-04-05 d.]. Prieiga per: <https://www.tauragesst.lt/>
19. EMD International. EnergyPro software [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-04-17 d.]. Prieiga per: <https://www.emd-international.com/>
20. SPF. Solar Collector Factsheet Arcon – Sunmark HT – SolarBoost 35/10 [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2023-04-17]. Prieiga per : <https://serv.spf.ch/spftesting/collectors/pdfs/scf1735en.pdf>
21. RALUCA-ANCUTA Suciū, Stadler P., Girardin L., Marechal F. Solar thermal and geothermal integration with low temperature CO2 DENs. *ScienceDirect* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2023-04-17]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50303-7>
22. ROSSI ESPAGNENT, Alberto. *Techno-Economic Assessment of Thermal Energy Storage integration into Low Temperature District Heating Networks : magistrinis darbas*. Stokholmas, 2016 [žiūrėta 2023-04-13]. Prieiga per: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:956741/FULLTEXT01.pdf>
23. DULLEMEN, Stijn. *A Guide to Large-Scale Solar Heat Collection : bakalaurinis darbas*. Groningenas, 2020 [žiūrėta 2023-04-13]. Prieiga per: https://fse.studenttheses.ub.rug.nl/21524/1/Bachelor_IEM_2020_StijnvanDullemen.pdf
24. *2021–2027 m. ES fondų investicijų programa Lietuvai* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2023-05-10]. Prieiga per: <https://2021.esinvesticijos.lt/dokumentai/2021-2027-m-es-fondu-investiciju-programa>
25. BALTPPOOL. *Tarptautinė biokuro birža* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-04-12 d.]. Prieiga per: <https://www.baltpool.eu/>
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2013 m. balandžio 10 d. Nr. D1-244 [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-04-28]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.446368>
27. VIESSMAN. *How much CO2 does a tree absorb?* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-04-28 d.]. Prieiga per: <https://www.viessmann.co.uk/en/heating-advice/boilers/how-much-co2-does-tree-absorb.html>
28. FAO. Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-05-01]. Prieiga per: <https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>

29. EPA. Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-05-01]. Prieiga per: <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>].
30. *National Energy and Climate Action Plan of the Republic of Lithuania for 2021-2030* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-05-01]. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/en/energy-sector/renewable-energy-sources/national-energy-and-climate-plan-for-2021-2030>
31. LIŠAUSKAS, Aurimas. Solar Calculations for the Raseiniai District Heating Plant [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2023-04-16]. Prieiga per: https://www.solarthermalworld.org/sites/default/files/news/file/2017-08-03/sdh_calculations_for_raseiniai_planenergi_october2014.pdf
32. REGIA. Žemėlapiai, sklypų ribos [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-02-13 d.]. Prieiga per: <https://regia.lt/map/regia2>