



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio
sistemos, nutolusiai nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklų
pastatų grupei, galimybių studija**

Baigiamasis magistro projektas

Mantas Žiauberis

Projekto autorius

Doc. Rolandas Jonynas

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio
sistemos, nutolusiai nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklų
pastatų grupei, galimybių studija**

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Mantas Žiauberis

Projekto autorius

Doc. Rolandas Jonynas

Vadovas

Doc. Algimantas Balčius

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Mantas Žiauberis

Hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio sistemos, nutolusiai nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklų pastatų grupei, galimybių studija

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Mantas Žiauberis

Patvirtinta elektroniniu būdu

Žiauberis, Mantas. Hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio sistemos, nutolusiai nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklų pastatų grupei, galimybių studija. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Jonynas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Hibridinė sistema, energija, gyvenvietė, autonomiškumas, tinklas.

Kaunas, 2022. 69 p.

Santrauka

Šiame magistro baigiamajame projekte atlikta hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio sistemos, nutolusiai nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklų pastatų grupei, galimybių studija. Darbo tikslas – išanalizuoti pastatų grupės, nutolusios nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklo, energijos poreikių tenkinimo, pritaikant hibridinę fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemą, galimybes nustatant techninius, aplinkosauginius ir ekonominius rodiklius. Tokių technologijų taikymas gali lemti geresnę būstų kokybę, sveikesnę gyvenamą aplinką ir ilgalaikį energijos sąnaudų sumažėjimą, todėl šio darbo rezultatai gali turėti teigiamą poveikį praktiniam pritaikomumui ir gali būti naudingi tiek aplinkosauginiu, tiek socialiniu požiūriu. Darbo uždaviniai atspindi viso darbo struktūrą: visų pirma, buvo apžvelgta pastatų aprūpinimo energija, esamų naujausių ir perspektyvinių, atsinaujinančių energijos išteklių naudojančių technologijų, literatūra. Ši apžvalga parodė, jog hibridinė fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistema pagal savo pobūdį bei atsinaujinančių energijos išteklių pritaikymą gali būti priskirta prie naujausios (4-osios ir 5-osios) kartos technologijų, kurių koncepcija gali būti naudojama ateities energetinėms sistemoms kurti. Taip pat galima teigti, jog minėtoji sistema turi plačias pritaikomumo galimybes ir modifikacijų įvairovę, o taip pat yra efektyvi tiek techniniu, tiek ekonominiu požiūriu. Galiausiai, šių technologijų naudojimui yra kuriamas efektyvus skatinamasis reguliavimas, kurio dėka hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemų naudojimas tampa vis labiau patrauklesnis vartotojams. Metodologinėje dalyje aprašytas tyrimo metodikos parinkimas hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos pritaikomumo vertinimui. Galima teigti, jog parinkta metodika – programinė įranga „Polysun“ labiausiai tinka hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos pritaikymo naujai statomos gyvenvietės energijos poreikių tenkinimo analizei atlikti. Tiriamojoje dalyje pateikti pagal nustatytus modeliavimo kriterijus sudaryti minėtosios sistemos pastatų grupei informaciniai lyginamieji modeliai dviem variantams: maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo. Iš šių variantų nustatyti labiausiai optimalūs techniniu, aplinkosauginiu bei ekonominiu vertinimu, atliekant gautų rezultatų palyginamąją, gyvavimo ciklo kaštų ir jautrumo analizes. Gauti rezultatai parodė, jog pagal nusistatytus kriterijus sumodeliuota maksimalaus autonomiškumo sistema yra optimalesnis variantas praktiškai visais aspektais, lyginant su maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema. Techniniu požiūriu, vertinant gebėjimą apsirūpinti elektros energija, pastaroji sistema yra tikrai pajėgi ne tik patenkinti vartotojų poreikius, bet ir nemažą pagamintos elektros energijos dalį perduoti į tinklą, kas gali atnešti svarias pajamas ir pagreitinti sistemos atsiperkamumą. Taip pat maksimalaus autonomiškumo energijos aprūpinimo kontūras yra efektyvesnis – naudingo veikimo koeficiento

vertės kone dvigubai didesnės. Galiausiai, maksimalaus autonomiškumo sistema, anot gautų rezultatų, yra mažiau tarši. Pastaroji sistema yra patrauklesnė ir ekonominiu požiūriu: atlikta gyvavimo ciklo kaštų analizė parodė, jog grynoji esamoji vertė yra didesnė lyginant su maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema. Tiesa, abiem atvejais grynoji esamoji vertė yra mažesnė už nulį, kas parodo sistemų ekonominį nepatrauklumą investicijoms, tačiau to būtų galima išvengti skyrus daugiau lengvatų brangiai įrangai, įgyvendinus daugiau paramos iniciatyvų bei sukūrus dar efektyvesnius finansavimo mechanizmus. Nepaisant to, galima teigti, kad hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos techniniai pajėgumai yra pakankami siekiant užtikrinti naujai statomų pastatų energijos poreikius Lietuvoje.

Žiauberis, Mantas. Feasibility Study of Hybrid Solar Energy Transformation and Heat Pump System for Group of Buildings Remote from District Heating Network. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Rolandas Jonynas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Power Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: Hybrid system, energy, group of buildings, autonomy, network.

Kaunas, 2022. 69 pages.

Summary

In this master's final degree project a feasibility study of Hybrid solar Energy transformation and heat pump System for Group of Buildings remote from district heating Network has been carried out. The aim of the work is to analyze the Energy needs of a Group of Buildings remote from district heating Network by applying a Hybrid photovoltaic solar / thermal transformation element and heat pump System to determine technical, environmental and economic indicators. The use of such technologies can lead to better housing quality, a healthier living environment and a long-term reduction in Energy consumption, and the results of this work can have a positive impact on practical applicability and can be beneficial from both an environmental and a social point of view. The tasks of the work reflect the structure of the whole work: first of all, the literature on the Energy supply of Buildings, the available latest and promising technologies using renewable Energy sources was reviewed. This review has shown that a Hybrid photovoltaic solar / thermal transformation element and heat pump System, by its nature and application of renewable Energy sources, can be classified as the latest (4th and 5th) generation of technologies whose concept can be used to develop future Energy Systems. It can also be said that the mentioned System has a wide range of applicability and a variety of modifications, and it is also efficient both technically and economically. Finally, the use of these technologies are being effectively regulated, making the use of Hybrid photovoltaic solar / thermal transformation element and heat pump Systems increasingly attractive to consumers. In the methodological part the selection of the research methodology for the evaluation of the applicability of the Hybrid photovoltaic solar / thermal transformation element and heat pump System has been described. It can be stated that the chosen methodology – software “Polysun” is the most suitable for the analysis of meeting Energy demand of a newly built Group of Buildings for the application of Hybrid photovoltaic solar / thermal transformation element and heat pump System. The information models for the Group of Buildings of the mentioned System based on the established modeling criteria are presented in the research part for two variants: maximum Energy consumption from the Network with minimum Energy generation and maximum Autonomy. From these variants, the most optimal ones has been determined through technical, environmental and economic evaluation by performing comparative, life-cycle cost and sensitivity analyzes. The obtained results showed that the System of maximum Autonomy, which has been modeled according to the established criteria, is a more optimal variant in practically all aspects compared to the System of maximum Energy consumption from the Network. From a technical point of view, in terms of self-sufficiency of electricity, the latter System is not only able to meet the needs of consumers, but also to transmit a significant part of the electricity produced to the grid, which can generate significant revenues and speed up the System's payback. Also, the maximum Autonomy Energy supply circuit is more efficient – the efficiency values are almost twice as high. Finally, the System of maximum Autonomy is less polluting, according to the results obtained. The latter System is also more attractive from an economic point of view: a life-

cycle cost analysis has shown that the net present value is higher than the System of maximum Energy consumption from the Network. However, in both cases the net present value is less than zero, which shows the economic unattractiveness of the Systems for investment, but this could be avoided by giving more incentives to expensive equipment, more support initiatives and even more efficient financing mechanisms. Nevertheless, it can be stated that the technical capacities of the Hybrid photovoltaic solar / thermal transformation element and heat pump System are sufficient enough to ensure the Energy needs of new buildings in Lithuania.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	10
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas	13
Įvadas.....	14
1. Perspektyvinių, pastatų aprūpinimo energija, technologijų apžvalga: literatūros analizė.....	15
1.1. Perspektyvinės naujos kartos pastatų aprūpinimo energija sistemos	15
1.2. Hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos	20
1.2.1. fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų klasifikacija	20
1.2.2. Hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemų koncepcija.....	26
1.3. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių technologijų skatinamasis reguliavimas Lietuvoje.....	32
2. Tyrimo metodologija	35
2.1. Tyrimo objektas.....	35
2.2. Programinės įrangos parinkimo pagrindimas	37
2.3. Hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos modeliavimo metodika	38
2.3.1. Gyvavimo ciklo kaštų analizė	39
2.3.2. Jautrumo analizė.....	40
3. Tyrimo eiga ir rezultatai	42
3.1. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo sistemų modeliavimas.....	42
3.1.1. Modeliavimo pradinių sąlygų apibrėžimas ir kriterijų, nusakančių modeliavimo sąlygas, nustatymas	42
3.1.2. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo sistemų variantų nustatymas	46
3.2. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo sistemų techninių bei aplinkosauginių parametrų palyginamoji analizė	48
3.3. Gyvavimo ciklo kaštų analizės duomenys ir rezultatai	54
3.4. Jautrumo analizės rezultatai	59
Išvados.....	64
Literatūros sąrašas	65
Priedai.....	70
1 priedas. Supaprastinta modeliavimo eigos algoritmo schema.....	70
2 priedas. Maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“ techniniai metiniai duomenys iš suformuotos „Polysun“ ataskaitos	72
3 priedas. Maksimalaus vartojimo iš tinklo sistemos „Li-Mithra“ techniniai metiniai duomenys iš suformuotos „Polysun“ ataskaitos	73
4 priedas. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo sistemų energijos srautų diagramos	74
74	
5 priedas. Maksimalaus autonomiškumo sistemos įrenginių kainų ir gyvavimo laikotarpio duomenys „Polysun“ aplinkoje	75

6	priedas. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemos įrenginių kainų ir gyvavimo laikotarpio duomenys „Polysun“ aplinkoje.....	76
7	priedas. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo sistemų jautrumo analizė NPV vertėms „Excel“ aplinkoje	77

Lentelių sąrašas

1 lentelė. 3-osios ir 4-osios kartos šildymo sistemų palyginimas [6]	17
2 lentelė. Pastatų šilumos energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus [11 p. 54]	35
3 lentelė. Pradinių parametrų programoje „Polysun“ įvesties duomenys	42
4 lentelė. LCCA pradinės sąlygos	55
5 lentelė. LCCA analizės įvesties duomenys	55

Paveikslų sąrašas

1 pav. 4-osios kartos centralizuoto šildymo sistemos konceptas [6 p. 3]	15
2 pav. Šildymo sistemų kartų vystymosi istorija (nuo 1-osios iki 4-osios kartos) [8 p. 149].....	16
3 pav. Išlaidų sumažinimo gradientai pagal skirtingas naudojamas technologijas, kiekvienai iš jų pritaikant du skirtingus temperatūrų lygius, būdingus 3-ajai ir 4-ajai šildymo sistemos kartai [9 p. 8]	18
4 pav. 5-osios kartos sistemų plėtra šildymo ir vėsinimo rinkoje [1 p. 510]	19
5 pav. PVT koncepcijos schema [13 p. 1322].....	21
6 pav. PVT skerspjūvio vaizdas [14 p. 3]	21
7 pav. PVT klasifikacija [13 p. 1323]	22
8 pav. Plokščios plokštės kolektorius [13 p. 1326].....	23
9 pav. Parabolinio lovio kolektorius [13 p. 1326].....	23
10 pav. Sudėtinis parabolinis kolektorius [13 p. 1327].....	24
11 pav. Parabolinės lėkštės kolektorius [13 p. 1328].....	24
12 pav. Linijinis Fresnel'io reflektorius [13 p. 1328]	25
13 pav. PVT-HP darbo ciklas slėgio ir entalpijos (p-h) koordinatinių sistemoje [15 p. 270]	27
14 pav. PVT-HP principinės schemos: A) tiesioginio išsiplėtimo; B) netiesioginio išsiplėtimo [15 p. 271].....	28
15 pav. PVT-HP veikimo principinė schema [12 p. 560].....	29
16 pav. Vandens temperatūros kitimas dienos laikotarpiu esant skirtingam masiniam debitui [16 p. 9].....	30
17 pav. COP kitimo priklausomybė nuo masinio debito, esant skirtingiems šaldymo agentams prie 945 W/m^2 saulės intensyvumo [16 p. 10].....	30
18 pav. PVT-HP palyginimas su: a) nepriklausomais fotovoltiniais moduliais bei standartiniais saulės šilumos kolektoriais; b) įprastomis oro šaltinio ir saulės šilumos siurblių vandens šildymo sistemomis [15 p. 280]	31
19 pav. Pinigų srautų (Jordanijos dinarais (JOD)) diagrama pagal atitinkamas technologijas [17 p. 15].....	32
20 pav. Elektros energijos gamybos iš saulės fotovoltinių elektrinių tendencijos Lietuvoje [19]....	33
21 pav. Namo, iš kurio sudaryta naujai statoma gyvenvietė, priekinio fasado ir išplanavimo vaizdas [31]	37
22 pav. Pastatų gyvavimo ciklo schema [37].....	39
23 pav. Variantas Nr. 1, sistema „55a“	43
24 pav. Elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis), naudojant skirtingas akumuliacines talpas „55a“ sistemai	44
25 pav. Elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis), naudojant skirtingo galingumo šilumos siurblius „55a“ sistemai	45
26 pav. Elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis), naudojant skirtingą kiekį PVT „55a“ sistemai	45
27 pav. Variantas Nr. 2, sistema „Li-Mithra“	46
28 pav. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemų variantų šiluminės energijos deficitas (kilovatvalandėmis).....	47
29 pav. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemų variantų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis).....	47
30 pav. Maksimalaus autonomiškumo sistemų variantų šiluminės energijos deficitas (kilovatvalandėmis)	48

31 pav. Maksimalaus autonomiškumo sistemų variantų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis)	48
32 pav. Maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“, pritaikyta visai gyvenvietei	49
33 pav. Maksimalaus vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“, pritaikyta visai gyvenvietei	50
34 pav. Šiluminės energijos kiekis, perduotas sistemoms iš PVT per metus (kilovatvalandėmis) ..	51
35 pav. Šiluminės energijos kiekis, perduotas sistemoms iš šilumos siurblio per metus (kilovatvalandėmis)	51
36 pav. Sistemų elektros energijos suvartojimas per metus (kilovatvalandėmis).....	52
37 pav. Sistemų elektros energijos gamyba iš PVT per metus (kilovatvalandėmis)	52
38 pav. Sistemų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas per metus (kilovatvalandėmis)	52
39 pav. Sistemų COP verčių pasiskirstymas per metus	53
40 pav. Sistemų CO ₂ išmetimai per metus, kilogramais	54
41 pav. Sistemų investicinių kaštų struktūra, EUR.....	57
42 pav. Sistemų energijos gamybos kaštų struktūra, EUR	58
43 pav. Sistemų NPV grafikas	58
44 pav. NPV priklausomybės nuo energijos kainų didėjimo grafikas	60
45 pav. NPV priklausomybės nuo technologijų kainų pokyčių grafikas	61
46 pav. NPV priklausomybės nuo infliacijos grafikas.....	61
47 pav. NPV priklausomybės nuo įrenginių išlaikymo kaštų pokyčių grafikas	62
48 pav. NPV priklausomybės nuo elektros energijos pardavimų pokyčių grafikas	62

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;

PVT – fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementai;

PVT-HP – hibridinė fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistema;

CŠS – centralizuoto šildymo sistema;

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas;

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

NPV – grynoji esamoji vertė;

IRR – vidinė grąžos norma;

PI – pelningumo indeksas;

LCOE – energijos gamybos svertiniai kaštai.

Ivadas

Pastaruoju laikotarpiu vis labiau išryškunami su energijos vartojimu susiję iššūkiai bei AEI naudojančių technologijų plėtros būtinumas tiems iššūkiams spręsti. Pvz., Europoje šildymo ir vėsinimo poreikis gyvenamajame sektoriuje sudaro apie 40 proc. visų galutinių energijos sąnaudų [1]. Taip pat pastebima, kad pastatų sektorius sparčiai auga ir sunaudoja 30–40 proc. visų pasaulio pagrindinių išteklių [2]. Ne gana to, pastatai tapo trečiu pagal dydį iškastinės energijos vartotoju po pramonės ir žemės ūkio [2]. Nustatyta, kad šiuo metu ES pastatai yra pagrindinis ŠESD išmetimo šaltinis, kuris į aplinką išmeta 36 proc. visų ES anglies dvideginio dujų [3]. Taip pat yra teigiama, jog pramoninėse šalyse dėl energijos vartojimo pastatuose anglies dvideginio išmetimai sudaro apie 50 proc. visų emisijų [2]. Taigi, kaip matyti, energijos vartojimo tendencijos turi augimo pobūdį ir, deja, bet didžiąją energijos dalį vis dar sudaro iškastinis kuras, kuris teršia aplinką, prisideda prie klimato kaitos (šiltėjimo) išmetant didelius kiekius ŠESD. Dėl šios priežasties ES imasi atsakomųjų priemonių minėtoms problemoms spręsti. Pagal patikslintą ES atsinaujinančios energijos direktyvą, Europos šalys sutelkia dėmesį į tai, kad iki 2030 m. 32 proc. visos energijos būtų gaunama iš atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip vėjas, saulė ir biomasė [4]. Siekdama paspartinti šį energijos perėjimą, ES taip pat nusprendė, kad nuo 2021 m. atsinaujinančių energijos šaltinių dalis šildymo bei vėsinimo sektoriuje kasmet padidės 1,3 proc. [4]. Be abejo, tokie planuojami pokyčiai yra neįmanomi be naujų, energetiškai efektyvių, AEI naudojančių technologijų diegimo. Vienas iš tokių sprendimų gyvenamiesiems pastatams būtų hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio sistemos pritaikymas. Todėl šio darbo tikslas yra išanalizuoti pastatų grupės, nutolusios nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklo, energijos poreikių tenkinimo, pritaikant hibridinę PVT-HP, galimybes nustatant techninius, aplinkosauginius ir ekonominius rodiklius. Tokių technologijų taikymas gali lemti geresnę būstų kokybę, sveikesnę gyvenamą aplinką ir ilgalaikį energijos sąnaudų sumažėjimą [5]. Dėl šios priežasties šio darbo rezultatai gali turėti teigiamą poveikį praktiniam pritaikomumui ir gali būti naudingi tiek aplinkosauginiu, tiek socialiniu požiūriu. Galiausiai, šio darbo naujumas yra tas, jog analizei atlikti bus pasitelkiamos naujausios technologijos – programinė įranga „Polysun“. Šio darbo uždaviniai yra šie:

1. apžvelgti pastatų aprūpinimo energija, esamų naujausių ir perspektyvinių, AEI naudojančių technologijų, literatūrą;
2. parinkti tyrimo metodiką PVT-HP pritaikomumo vertinimui;
3. nustatyti modeliavimo kriterijus ir pagal juos sudaryti PVT-HP pastatų grupei informacinius lyginamuosius modelius;
4. iš modeliuotų variantų nustatyti optimalų techniniu, aplinkosauginiu ir ekonominiu vertinimu, atliekant gautų rezultatų palyginamąją, gyvavimo ciklo kaštų ir jautrumo analizes.

1. Perspektyvinių, pastatų aprūpinimo energija, technologijų apžvalga: literatūros analizė

1.1. Perspektyvinės naujos kartos pastatų aprūpinimo energija sistemos

Tobulėjant technologijoms energetikos sektoriuje pastebima, kad ilgainiui atsiranda naujos kartos pastatų aprūpinimo energija sistemos. Naujausiomis yra laikomos 4-osios ir 5-osios kartos sistemos, kurių apibrėžimas yra labai platus. Pvz., jeigu būtų kalbama apie 4-osios kartos CŠS, bendrąja prasme ji apibrėžiama kaip nuosekli technologinė ir institucinė koncepcija, kuri, kuriant išmaniuosius šildymo tinklus, prisideda prie tvarios energetinės sistemos plėtojimo [6]. Nors kalbama apie CŠS, tačiau galima teigti, jog esmė bei principai gali būti taikomi ir decentralizuoto šildymo sistemoms. Detalesnė iliustracija, apibrėžianti 4-osios kartos šildymo sistemos konceptą, pateikta 1 paveiksle [6]:

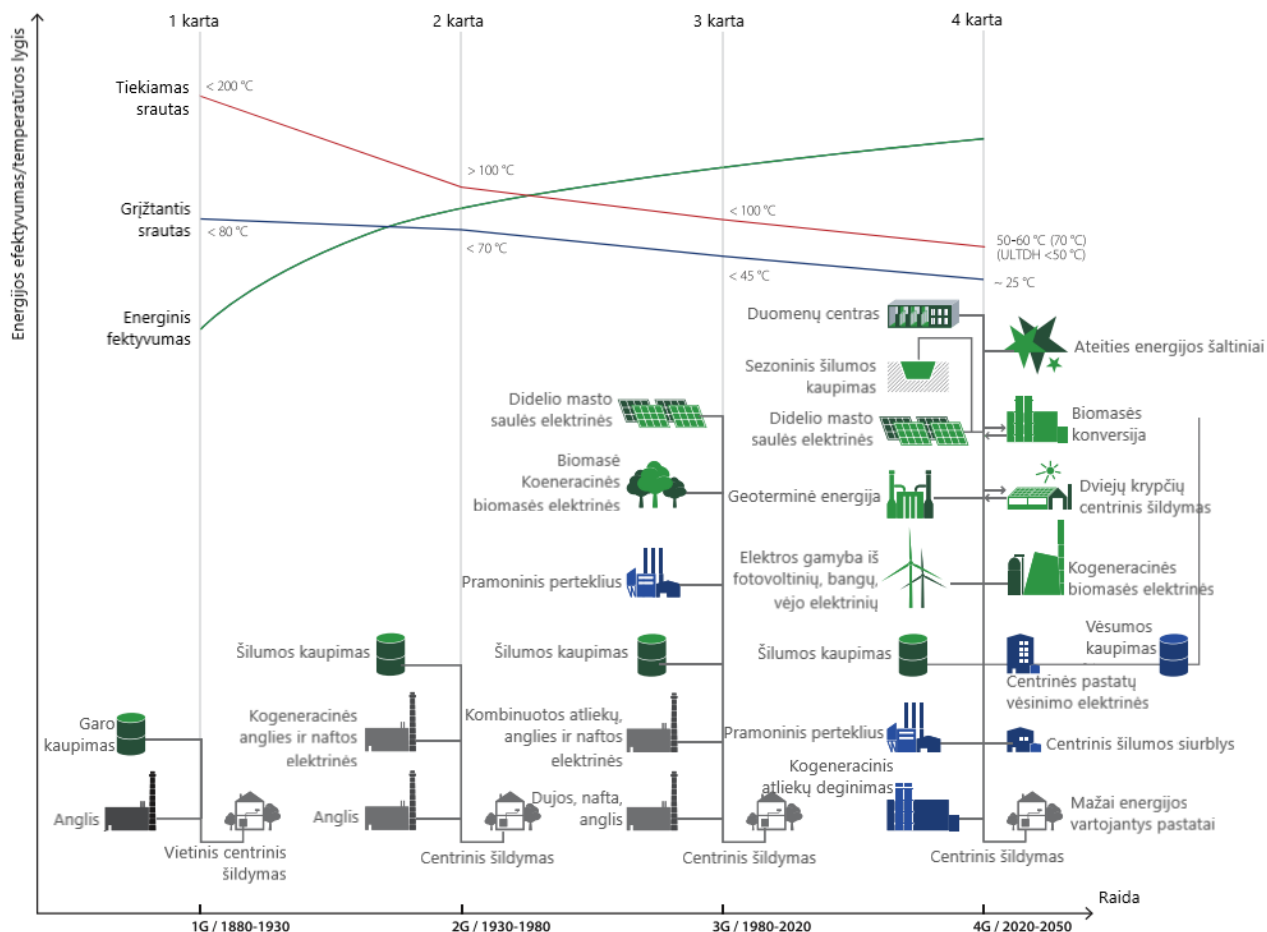


1 pav. 4-osios kartos centralizuoto šildymo sistemos konceptas [6 p. 3]

Kaip matyti iš iliustracijos (žr. 1 pav.), į 4-osios kartos šildymo sistemos sąvoką įeina institucinis valdymas ir reguliavimas, AEI integracija, mažai energijos naudojančių sistemų plėtra, žemos temperatūros šildymo tinklų sukūrimas ir pan.

Šildymo sistemų kartų istorijos pradžia gali būti laikomi 1880 m., kuomet pirmą kartą JAV buvo komerciškai įvestas centrinis šildymas, kuris naudojo garą kaip šilumos nešėją. Taip buvo sukurta 1-osios kartos šildymo sistema [7]. Vėliau, plėtojant centralizuotą šildymą (daugiausia Europoje), šilumos nešiklis buvo pakeistas iš garo į perkaitintą vandenį, ir šis esminis pokytis žymi 2-osios kartos centralizuoto šildymo sistemos sukūrimą. Perėjimas nuo garo prie perkaitinto vandens padidino sistemos efektyvumą, patikimumą ir atsparumą [7]. 3-osios kartos centralizuoto šildymo sistemos vystymo pradžia įvyko Skandinavijos šalyse, kurios patobulino šilumos tiekimo technologijas. Vienas iš tokių patobulinimų pagrįstas tuo, jog šilumos tiekimo temperatūrą pavyko sumažinti iki žemesnės kaip 100 °C temperatūros, taip leidžiant eksploatuoti įvairesnius šilumos šaltinius. Pasiekta žemesnė temperatūra padidino šilumos paskirstymo efektyvumą ir leido ekonomiškai perspektyviau panaudoti aukštos temperatūros atliekinę šilumą iš pramoninių procesų bei šilumos tiekimą iš AEI [7].

Didesnį dėmesį skiriant energijos vartojimo efektyvumui, išmanioms integruotoms energetikos sistemoms ir vietinių atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimo plėtrai, centralizuoto šildymo tobulinimas pasistūmėjo į priekį ir tai paskatino 4-osios kartos centralizuoto šildymo susikūrimą. Viena iš šios kartos savybių yra temperatūros lygis, kuris yra artimas faktiniam prijungtų galutinių vartotojų poreikiui, esant maksimaliai 60–70 °C temperatūrai. Žemesnė tiekimo temperatūra sumažina šilumos nuostolius ir įgalina ekonominiu požiūriu integruoti dar didesnius atliekinės šilumos kiekius, nei 3-osios kartos sistemos [7]. Detali šildymo sistemų kartų tobulėjimą vaizduojanti iliustracija pateikta 2 paveiksle [8]:



2 pav. Šildymo sistemų kartų vystymosi istorija (nuo 1-osios iki 4-osios kartos) [8 p. 149]

Kaip matyti iš iliustracijos (žr. 2 pav.), tobulėjant šildymo sistemoms atsirado įvairesnių šilumos gamybos, tiekimo, energijos konversijos bei saugojimo būdų. Galima pastebėti, kad 4-osios kartos šildymo sistemos pasižymi plačiu AEI naudojimu, o taip pat prie žemesnių darbinių temperatūrų pasiekia aukštesnį efektyvumą, lyginant su praėjusiomis kartomis. Taip pat verta atkreipti dėmesį į tai, jog 4-osios kartos šildymo sistema yra priskiriama ateities, 2020–2050 m., perspektyvinei sistemų kryptiai (žr. 2 pav.). Kitaip tariant, yra kuriamas visiškai naujas pastatų aprūpinimo energija konceptas, kurio įgyvendinimas yra siektinas tikslas.

Bendruoju atveju 4-osios kartos šildymo sistemų tikslas yra įveikti iššūkius ir nustatyti būdus, kuriais remiantis ateityje būtų galima pasiekti atsinaujinančia energija pagrįstą šilumos tiekimą įgyvendinant tvarių energetikos sistemų diegimą [7]. Tam, kad galėtų atlikti savo vaidmenį būsimose tvarios

energetikos sistemose, 4-osios kartos šildymo sistemos turės pasižymėti šiais penkiais gebėjimais [6–7]:

1. gebėjimas tiekti žemos temperatūros šildymą patalpoms šildyti ir karštam vandeniui ruošti esamiems pastatams, energetiškai atnaujintiems esamiems pastatams ir naujiems mažai energijos naudojantiems pastatams;
2. gebėjimas paskirstyti šilumą tinkluose su mažais tinklo nuostoliais;
3. gebėjimas perdirbti šilumą iš žemos temperatūros šaltinių ir integruoti atsinaujinančius šilumos šaltinius, tokius kaip saulė ir geoterminė energija;
4. gebėjimas būti integruota išmaniųjų energijos sistemų dalimi, įskaitant būvimą integruotos 4-osios kartos centralizuoto vėsinimo sistemos dalimi;
5. gebėjimas užtikrinti tinkamas planavimo, sąnaudų ir motyvacijos struktūras, susijusias su veikla, o taip pat strategines investicijas, susijusias su pertvarkymu į būsimas tvarias energetikos sistemas.

Šie reikalavimai ateities sistemoms iš esmės atitinka esminius punktus, pavaizduotus anksčiau pateiktoje iliustracijoje (žr. **1 pav.**). Šių reikalavimų įgyvendinimas yra būtinas siekiant šildymo sistemų tvarumo, pažangumo ir efektyvumo.

Tam, kad būtų galima įsitikinti 4-osios kartos pažangumu ir suvokti esminius ateities sistemų pokyčius, vertėtų 4-osios kartos šildymo sistemą palyginti su 3-iosios kartos sistema, kuri dabartiniu metu vis dar yra labiausiai paplitusi pasaulyje. Šis palyginimas pateiktas 1 lentelėje [6]:

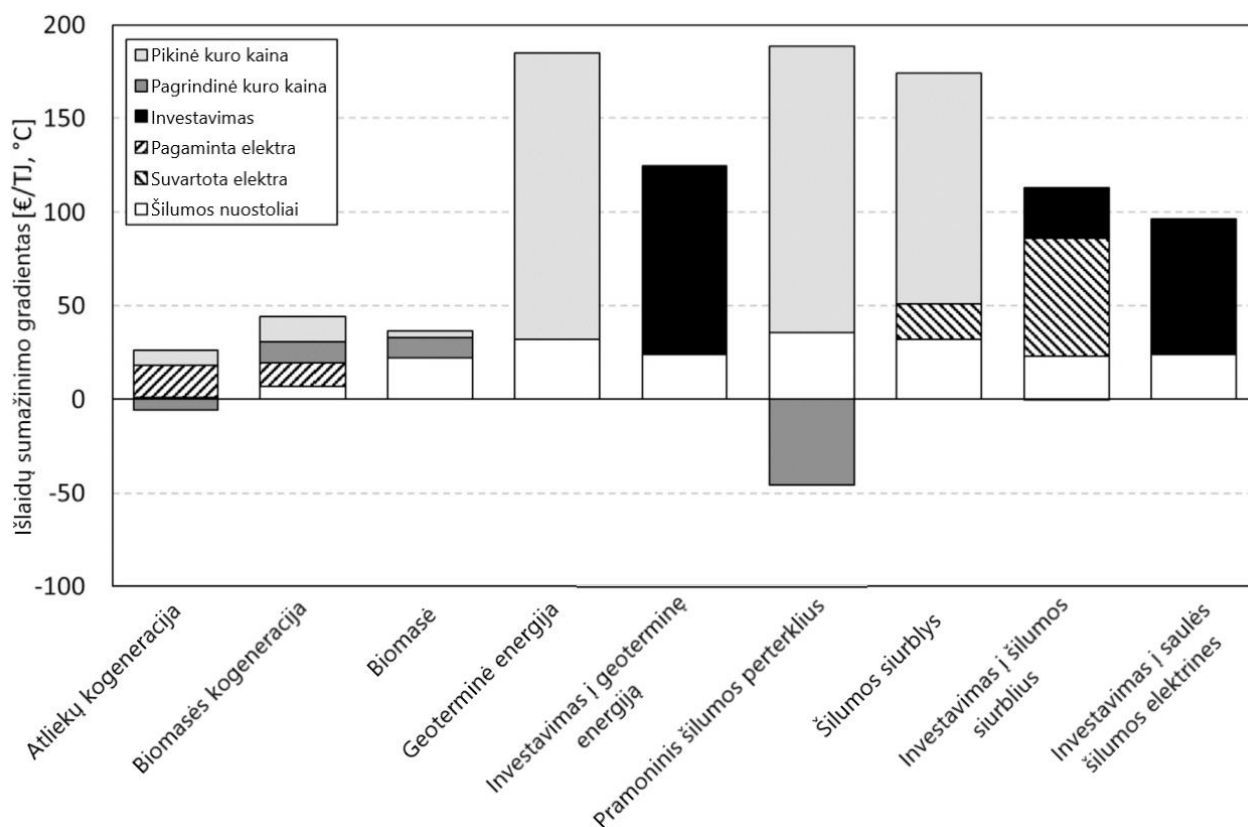
1 lentelė. 3-osios ir 4-osios kartos šildymo sistemų palyginimas [6]

Lyginamieji veiksniai	3 kartos šildymo sistema	4 kartos šildymo sistema
Periodas	1980–2020 m.	2020–2050 m.
Šilumnešis	Suslėgtas karštas vanduo, dažniausiai žemesnės nei 100 °C temperatūros	Žemos temperatūros vanduo (30–70 °C)
Cirkuliacinės sistemos siurbliai	Centriniai	Centriniai arba decentralizuoti
Pastatų šilumos suvartojimas	Gyvenamieji ir paslaugų sektoriaus pastatai (ir kai kurie vienbučiai namai): 100–200 kWh/m ²	Nauji pastatai: <25 kWh/m ² ; Esami pastatai: 50–150 kWh/m ²
Radiatoriai	Vidutinės temperatūros radiatoriai (70 °C) tiesiogiai ar netiesiogiai naudojantys centralizuoto šilumos tiekimo vandenį. Grindinis šildymas	Žemos temperatūros radiatoriai (50 °C). Netiesioginė sistema. Grindinis šildymas
Karšto vandens ruošimas	Šilumokaitis pašildo buitinį karštą vandenį iki 50 °C, cirkuliacinį vandenį iki 55 °C (jei būtina)	Efektyvus šilumokaitis pašildo buitinį karštą vandenį iki 50–40 °C. Centralizuoto šildymo sistemose, kuriose tiekama 30 °C temperatūra, šilumokaitis iš anksto pašildo buitinį karštą vandenį, o šilumos siurblys su buferine talpa ir šilumokaičiu padidina karšto vandens temperatūrą iki 40 °C, atvėsindamas grįžtamojo srauto temperatūrą.
Dominuojantis šilumos gamybos pobūdis	Didelio masto kogeneracijos taikymas, biomasės ir atliekų arba iškastinio kuro katilai	Žemos temperatūros šilumos panaudojimas ir atsinaujinantys energijos ištekliai

Lyginamieji veiksniai	3 kartos šildymo sistema	4 kartos šildymo sistema
Pagrindinė motyvacija visuomenėje (kodėl verta turėti CŠS?)	Energijos tiekimo saugumo užtikrinimas	Perėjimas prie tvarios energetikos sistemos
Infrastruktūros planavimas (kur diegti CŠS?)	Diegimas orientuotas į iškastinio kuro energetikos sistemas	Diegimas orientuotas į iškastinio kuro nenaudojančias energetikos sistemas

Remiantis lentelėje pateiktais duomenimis (žr. **1 lent.**) galima teigti, kad skirtumai tarp 3 ir 4 kartos šildymo sistemų yra ganėtinai akivaizdūs. 4 kartos sistemos pasižymi žemesnėmis temperatūromis, o tai, kaip jau buvo minėta anksčiau, sąlygoja didesnę sistemų efektyvumą. Taip pat pastebimas ir mažesnis pastatų šilumos suvartojimas (žr. **1 lent.**) bei kiti organizaciniai veiksniai, susiję su švaresne, tvaresne, į AEI orientuota energija.

Dėl mažesnių nuostolių, geresnio žemos temperatūros panaudojimo, padidinto efektyvumo bei kitų teigiamų veiksnių kiekybiškai yra apskaičiuota, jog nauda viršija išlaidas, patiriamas diegiant ir eksploatuojant 4-osios kartos šildymo sistemas [8]. Tą įrodo toliau pateikiamas išlaidų sumažinimo pagal skirtingas naudojamas technologijas grafikas [9]:



3 pav. Išlaidų sumažinimo gradientai pagal skirtingas naudojamas technologijas, kiekvienai iš jų pritaikant du skirtingus temperatūrų lygius, būdingus 3-ajai ir 4-ajai šildymo sistemos kartai [9 p. 8]

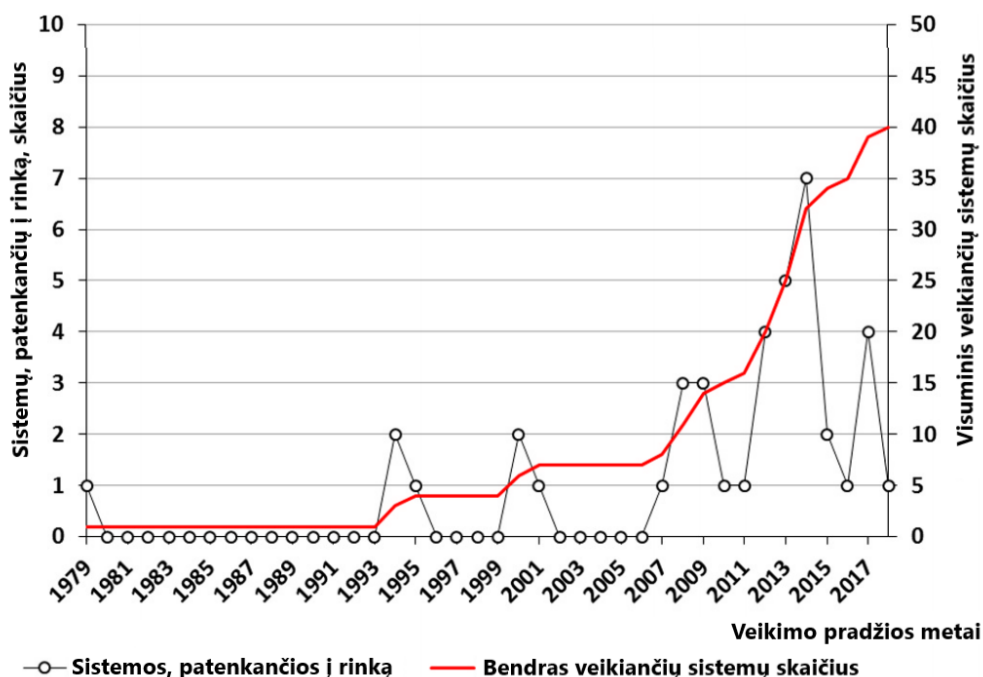
Grafike pavaizduotos trys kairiausios technologijos atitinka tradicines šildymo sistemas, kurias būtų galima priskirti trečiajai kartai; savo ruožtu likusios šešios (dešiniausios) technologijos priskiriamos būsimai šilumos tiekimo struktūrai (žr. **3 pav.**) [9]. Kaip matyti, perėjimas iš 3-osios kartos į 4-ąją ekonomiškai efektyviausias naudojant geoterminę energiją, pramoninį šilumos perteklių bei šilumos

siurblius. Tradicinės šildymo sistemos dėl kartų perėjimo patiria mažesnę ekonominę naudą (žr. 3 pav.). Visa tai galima traktuoti ir kaip paskatą, ir kaip tam tikrą apribojimą. Paskata pereiti prie naujų technologijų ir būtų ta, jog yra akivaizdi ekonominė nauda, lyginant su tradicinėmis sistemomis (žr. 3 pav.). Tačiau perėjimas nuo tradicinių prie 4-ajai kartai būdingų technologijų gali būti itin sudėtingas ir kelti daug iššūkių. Taip pat egzistuoja tam tikri specifiniai iššūkiai, susiję su perėjimu prie 4-osios kartos šildymo sistemos, būdingi rytų Europai. Rytų Europoje vis dar yra daug senų CŠS su 2-osios kartos technologijomis, o taip pat vyrauja dideli tinklų nuostoliai bei dominuoja iškastinis kuras [8]. Lietuva pagal šilumos vartotojų prijungimą prie CŠT yra viena didžiausių Europoje ir sudaro 56 proc. visos šalies šildymo sistemų [10]. Taigi, iššūkiai yra susiję su sprendimais, koku būdu efektyviai ir tvariai aprūpinti esamus pastatus šiame kontekste. Čia susiduriama su tokiais kliūtimis [8]:

1. neefektyvūs pastatai, skirti eksploatuoti esant aukštai šilumos tiekimo temperatūrai;
2. dideli centralizuoti tinklai;
3. priklausymas nuo deginimo technologijų (daugiausia iškastinio kuro).

Literatūroje yra užsimenama ir apie 5-osios kartos centralizuoto šildymo ir vėsinimo (angl. – 5GDHC) sistemą. Šios kartos sistema pasižymi tuo, jog šilumos tinklai veikia prie beveik žemės paviršiaus temperatūros ir naudoja dvipusius šilumos ir šalčio mainus tarp prijungtų pastatų. Tokiems tinklams reikalingi šilumos siurbliai, kurie padėtų pasiekti tinkamą buitinio karšto vandens temperatūrą [7]. Panašiai kaip 4-osios kartos atveju, 5-osios kartos idėja grindžiama šilumos tinklais, galinčiais tiekti ir išgauti šilumą prie santykinai žemos temperatūros šilumos siurblių veikimui ir šildymui bei vėsinimui galutiniams vartotojams užtikrinti [7].

Nors 5-osios kartos šildymo ir vėsinimo sistema dar yra ankstyvame kūrimo etape, kelios sistemos Europoje jau veikia kaip bandomieji projektai [1]. 5-osios kartos sistemos vis populiarėja ir jų pritaikymo kiekis Europos rinkoje vis auga. Tuo galima įsitikinti pateiktame grafike [1]:



4 pav. 5-osios kartos sistemų plėtra šildymo ir vėsinimo rinkoje [1 p. 510]

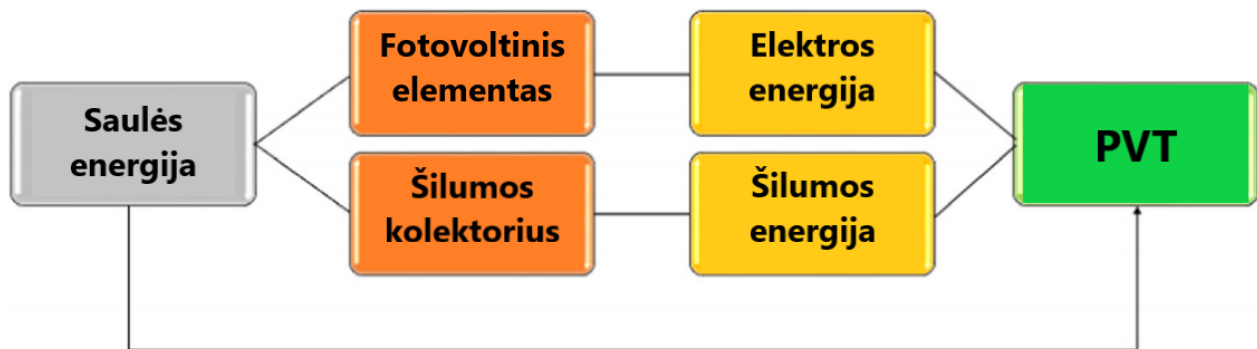
Iš esmės sutinkama, jog anksčiau minėti 4-osios kartos šildymo sistemos penki reikalaujami gebėjimai gali būti taikomi ir 5-ajai kartai su tam tikromis išlygomis. 5-oji karta, palyginus su praėjusiomis kartomis, gali būti laikoma kitokia technologine koncepcija, nes yra įvedamas šilumos siurblys, kurį naudodami vartotojai gali parinkti tiekimo temperatūrą priklausomai nuo specifinių reikalavimų, nesvarbu, ar šildymo, ar vėsinimo tikslais [7]. Bendruoju atveju yra laikoma, kad 5-osios kartos šildymo sistemos neturėtų būti vertinamos kaip 4-osios kartos tęstinė plėtotė. Tai veikia turėtų būti laikoma kaip lygiagreti veikla. 5-oji karta netgi gali būti laikoma kaip tam tikra šaka 4-osios kartos technologijų medyje, kuriame yra daugybė skirtingų galimybių pasirinkimų. Šios dvi kartos nepakeis viena kitos ir veikiausiai bus vienas kitą papildantys variantai [7].

Taigi, apibendrinant galima daryti išvadą, kad įvertinus 4-osios ir 5-osios kartos perspektyvinių šildymo (ir / ar vėsinimo) sistemų koncepciją tampa aišku, jog šiame darbe analizuojama hibridinės saulės energijos transformavimo ir šilumos siurblio sistema pagal savo pobūdį bei AEI taikymą gali būti priskirta prie naujausios kartos technologijų. Todėl minėta hibridinė sistema kitame poskyryje bus nagrinėjama detaliau.

1.2. Hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos

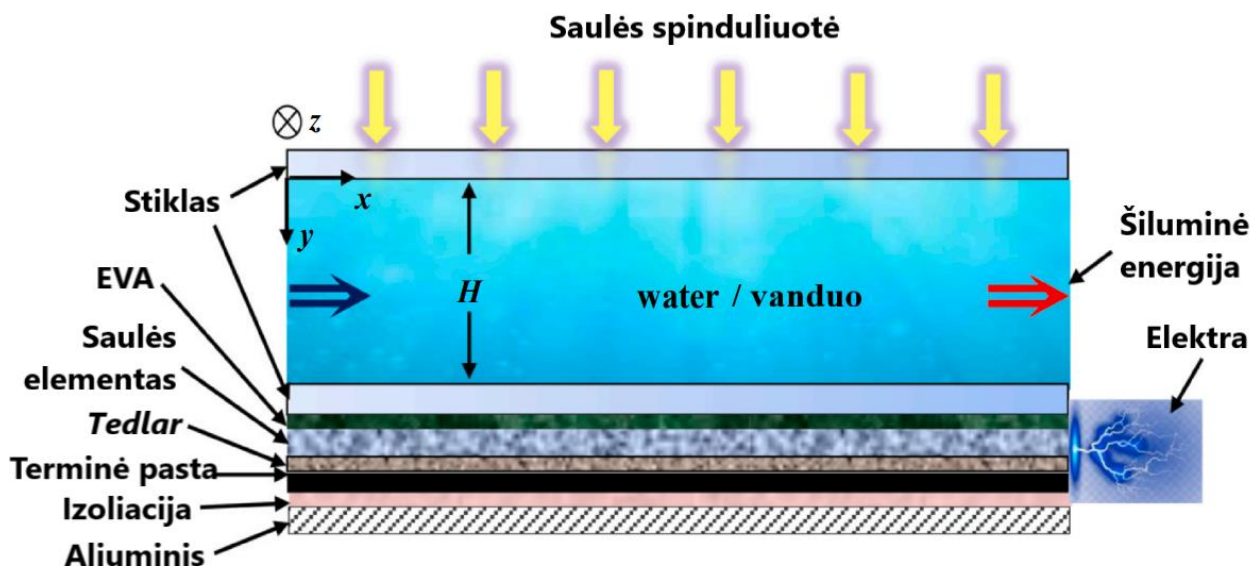
1.2.1. fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų klasifikacija

Europos išsikelti tikslai ateities energetikos sistemų tvarumui, efektyvumui, ekonomiškumui ir t. t. yra glaudžiai susiję su AEI integracija. Kitaip tariant, AEI naudojimas ateities tikslams pasiekti yra būtinas. Viena iš atsinaujinančių energijos rūšių yra saulės energija. Taigi, šiai energijos rūšiai įsisavinti paprastai yra naudojami saulės fotovoltiniai kolektoriai (angl. *Solar photovoltaics (PV) panels*). Jų veikimo principas pagrįstas tuo, jog saulės spindulių energija kolektoriuose yra transformuojama į šilumą, kuri vėliau yra pernešama į šildymo sistemą naudojant šilumos nešėją (pvz. oro, vandens ar kito skysčio) [11]. Saulės kolektoriai yra plačiai naudojami elektros energijai gaminti. Tačiau, problema ta, jog šių kolektorių efektyvumas paprastai siekia tik apie 20 proc., kadangi likusi absorbuotų saulės spindulių dalis virsta šiluma, kas sąlygoja tai, jog didėjant kolektoriaus temperatūrai elektrinis efektyvumas mažėja [12]. Yra nustatyta, kad konversijos į elektros energiją efektyvumas saulės kolektoriuose siekia apie 15–18 proc., kai tuo tarpu likusi dalis (82–85 proc.) yra absorbuojama saulės kolektoriuje arba atspindima į aplinką [13]. Bendrą kolektoriaus efektyvumą galima padidinti įvedant vėsinantį fluidą per galinę kolektoriaus dalį, tokiu būdu aušinant kolektorių, t. y. nuvedant nuo jo šilumą. Taip yra gaminama ne tik elektros, bet ir šilumos energija. Tokia kombinuota saulės šilumos ir elektros energijos sistema yra žinoma kaip PVT [12]. Tai yra hibridinė sistema, kuri yra gaunama sujungiant fotovoltinį elementą su saulės šilumos kolektoriumi ir tokiu būdu sistema įgalina gaminti elektrą ir šilumą vienu metu; taigi, tokia sistema tampa efektyvesne ir pagamina didesnę energijos kiekį tenkantį ploto vienetui, palyginus su saulės fotovoltinėmis ir saulės šilumos sistemomis, jeigu šios būtų naudojamos atskirai [13]. PVT sistemos saulės kolektoriaus koncepciją apibendrinanti schema pavaizduota 5 paveiksle [13]:



5 pav. PVT koncepcijos schema [13 p. 1322]

Tam, kad būtų gauta PVT sistema, reikia dviejų komponentų: fotovoltinio saulės modulio, gaminančio elektros energiją ir šilumos kolektoriaus, gaminančio šiluminę energiją (žr. 5 pav.). Tokios sistemos veikimo principas pateiktas 6 paveiksle [14]:



6 pav. PVT skerspjūvio vaizdas [14 p. 3]

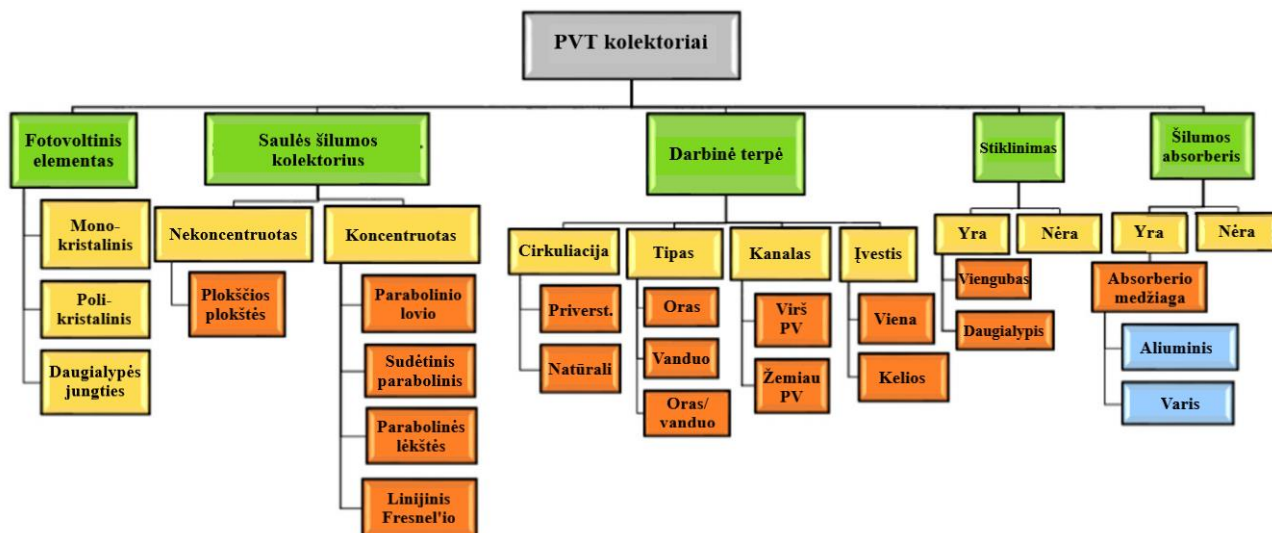
Kaip matyti iš iliustracijos (žr. 6 pav.), PVT susideda iš stiklo, tekančio fluido (vandens), etilvinilacetato (EVA), saulės elemento, polivinilidenfluorido (angl. *Tedlar*), terminės pastos, izoliacijos bei aliuminio sluoksnio. PVT sudėtis pakankamai kompleksiška, tačiau yra daugybė galimų PVT konstrukcijos galimybių. Veikimo principas aiškinamas remiantis [13] pateikta informacija: iš pradžių saulės spinduliuotė krenta į viršutinę stiklo sluoksnio dalį, praeina pro visą stiklo sluoksnį ir pasiekia vandens srautą. Priklausomai nuo vandens srauto kanalo aukščio, dalį infraraudonosios spinduliuotės sugeria vanduo (gaminama šiluma), o visas regimosios šviesos spektras pasiekia fotovoltinį elementą, kuris absorbuoja regimąją šviesą ir taip sukuria elektros srovę [13].

PVT buvo atrasti 20 a. 7-ojo dešimtmečio viduryje, kuomet 1976 m. Wolf'as tyrė skystojo tipo PVT, visus metus stebėdamas jo veikimą vienbučiame gyvenamajame name [13]. 1979 m. Florschuetz'as patobulino originalius PVT parametrus bei tyrė terminį ir elektrinį PVT naudingumą. Nepaisant to, kad PVT koncepcija buvo sukurta daugiau nei keturis dešimtmečius, ji vis dar nėra visiškai komercializuota [13].

Šiais laikais PVT tapo patraukliu išradimu, pasižyminčiu ekologiškumu bei priklausomybės nuo įprastų energijos šaltinių sumažinimu [13]. PVT klasifikacija yra itin plati ir gali būti skirstoma pagal [13]:

- fotovoltinio elemento tipą;
- saulės šilumos kolektoriaus tipą;
- darbinę terpę;
- stiklinimą;
- šilumos absorberį.

PVT klasifikacija schematiškai pateikta 7 paveiksle [13]:

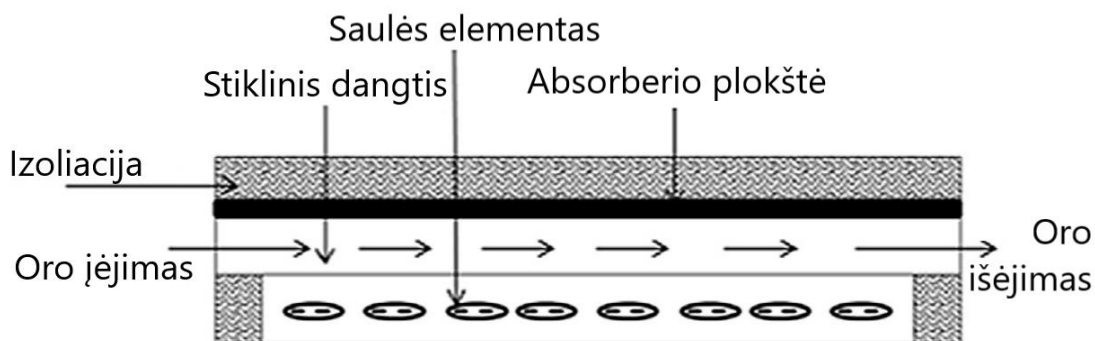


7 pav. PVT klasifikacija [13 p. 1323]

PVT dažniausiai naudojami fotovoltiniai elementai yra iš monokristalinio silicio, polikristalinio silicio arba galimi elementai iš kelių jungčių (žr. 7 pav.). Monokristaliniai ir polikristaliniai elementai priklauso pirmosios kartos fotovoltinėms technologijoms, o kelių jungčių funkciniai plonasluksniai silicio elementai priklauso antrajai kartai [13]. Monokristaliniai ir polikristaliniai elementai generuoja tokį patį energijos kiekį, tenkantį tam pačiam ploto vienetui, tačiau monokristalinių elementų efektyvumas (apie 20 proc.) yra didesnis už polikristalinių (15 proc.). Nepaisant to, monokristaliniai silicio elementai yra brangesni už polikristalinius elementus dėl sudėtingo vieno kristalo sudarymo proceso [13]. Savo ruožtu kelių jungčių saulės elementai yra sudaromi iš daugiau vienos protonų-neutronų jungties. Dažniausiai yra naudojami trys puslaidininkiai: germanis (Ge), galio indžio fosfidas (GaInP) bei indžio galio arsenidas (InGaAs). Nustatyta, kad kelių jungčių elementai yra efektyvesni už silicio elementus (apie 40 proc.) bei mažiau jautrūs temperatūrų šuoliams [13]. Taigi, apibendrinant galima pateikti tokias išvadas iš straipsnyje [13] pateiktos analizės apie fotovoltinius elementus:

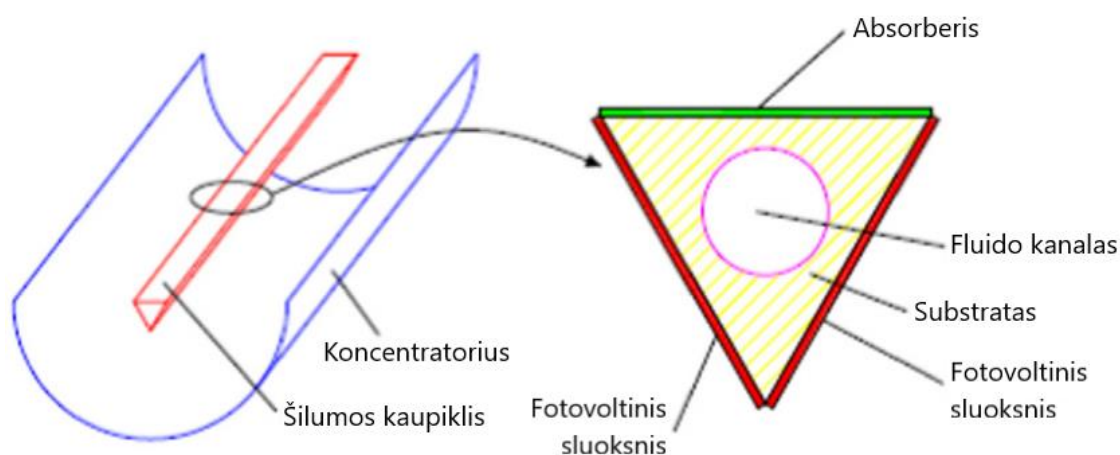
1. kristalinio silicio ir trigubos jungties (InGaP / GaAs / Ge) saulės elementai yra plačiausiai naudojami PVT sistemose palyginus su kitais fotovoltiniais elementais;
2. trigubos jungties (InGaP / GaAs / Ge) saulės elementai turi didesnę elektrinę efektyvumą PVT sistemose palyginus su kristaliniu siliciu;
3. PVT sistemos terminis efektyvumas išlieka maždaug panašus naudojant tiek kristalinį silicį tiek trigubos jungties fotovoltinius elementus.

Pagal saulės šilumos kolektorius tipą PVT sistemos yra skirstomos į nekoncentruotus (tokius kaip plokščios plokštės kolektorius (angl. – *FPC*) ir koncentruotus (pvz., parabolinio lovio (angl. – *PTC*), sudėtinio parabolinio (angl. – *CPC*), parabolinės lėkštės (angl. – *PDC*) ir linijinio Fresnel'io reflektoriaus (angl. – *LFR*)) kolektorius (žr. **7 pav.**) [13]. Kiekviena šių kolektorių rūšis tarpusavyje skiriasi savo sudėtimi, tam tikrų dalių forma, savybėmis, darbinėmis charakteristikomis ir pan. Pvz., plokščios plokštės kolektorius susideda iš absorberio plokštės, skaidraus dangčio, darbinio fluideo, vamzdelių, izoliacijos ir apsauginio dangčio. Šis kolektorius paprastai naudojamas instaliacijose, kurioms būdingos žemos temperatūros (30–80 °C). Plokščios plokštės kolektorius, kaip darbinę terpę naudojančio orą, principinė schema pateikta 8 paveiksle [13]:



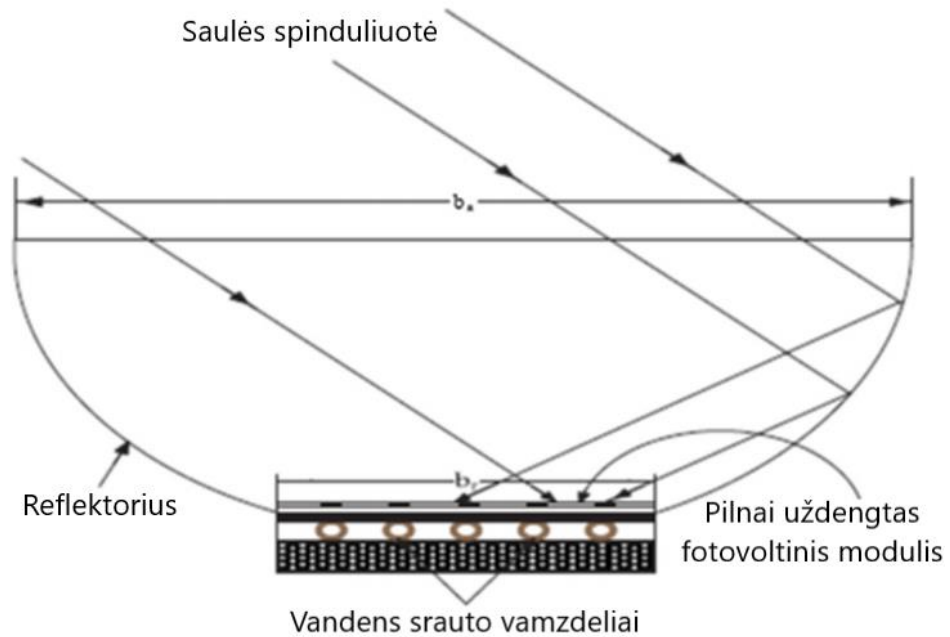
8 pav. Plokščios plokštės kolektorius [13 p. 1326]

Koncentruotų kolektorių savybė atsispindi jų rūšies pavadinime, t. y. šių tipų kolektoriuose naudojamos įvairios koncentratorių geometrijos, kuriomis saulės spindulių šiluma yra nukreipiama į šilumos kaupiklio (imtuvo) židini. Pvz., parabolinio lovio kolektorius yra sudarytas iš atspindinčios medžiagos parabolinio koncentratoriaus, atraminės konstrukcijos, sekimo sistemos, metalu padengto imtuvo vamzdžio, nukreipto į koncentratorių bei per jį einančio darbinio fluideo. Šio tipo kolektorius principinė schema pateikta 9 paveiksle [13]:



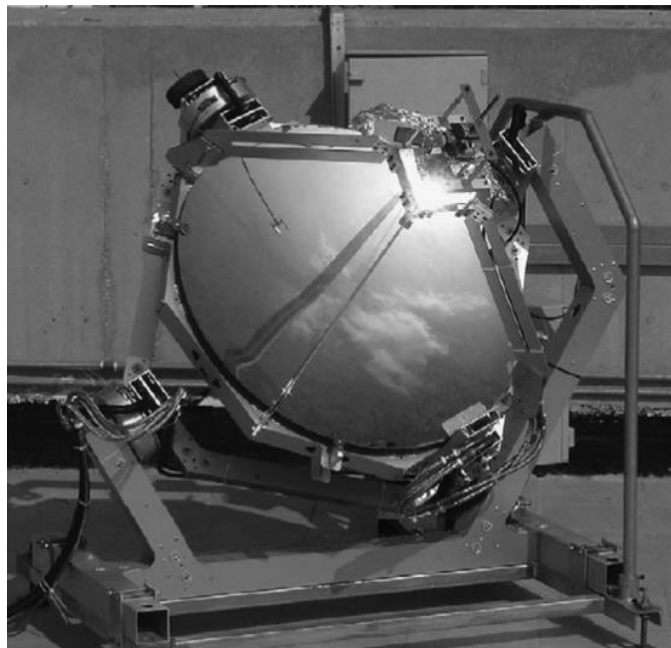
9 pav. Parabolinio lovio kolektorius [13 p. 1326]

Sudėtinis parabolinis kolektorius sudarytas iš dviejų susikertančių parabolinių koncentratorių, skaidraus dangčio iš viršaus, absorberio ir izoliacijos aplink fluideo kanalą. Yra du pagrindiniai sudėtinio parabolinių koncentratorių tipai: simetrinis ir asimetrinis. Taip pat naudojami dviejų tipų absorberiai: pelekų tipo su vamzdžiu ir vamzdiniai absorbentai. Sudėtinio parabolinio kolektorius principinė schema pateikta 10 paveiksle [13]:



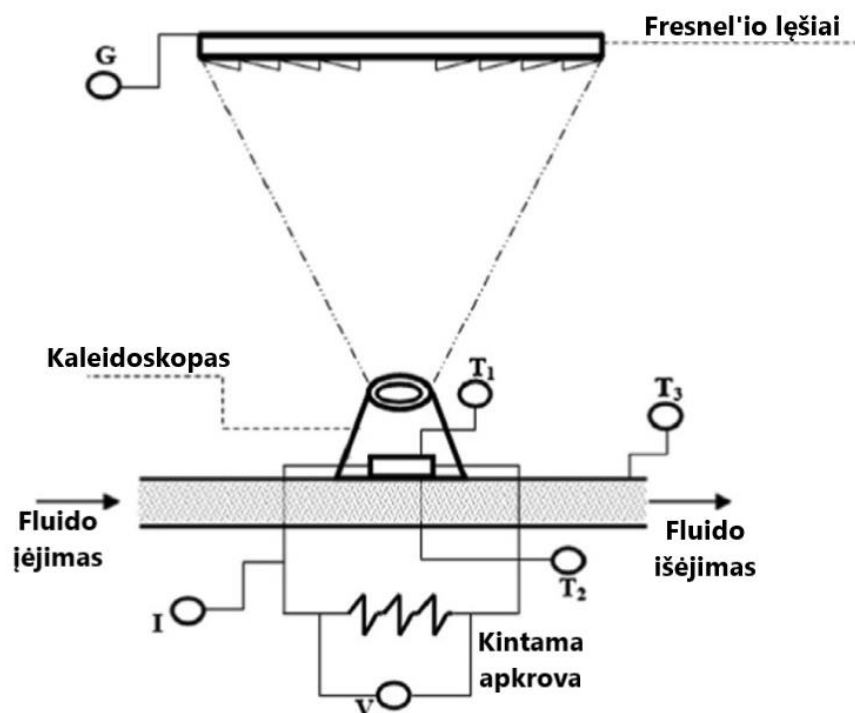
10 pav. Sudėtinis parabolinis kolektorius [13 p. 1327]

Parabolinės lėkštės kolektorių sudaro parabolinė lėkštė, absorberis, lankstus vamzdis ir sekimo ašis. Parabolinė lėkštė pagaminta iš atspindinčių veidrodžių, nukreipiančių saulės spindulius į vandens indą. Šio tipo kolektoriaus vaizdas pateiktas 11 paveiksle [13]:



11 pav. Parabolinės lėkštės kolektorius [13 p. 1328]

Linijinis Fresnel'io reflektorius sudarytas iš susideda iš linijinių lęšių, sekančių saulę, masyvo, imtuvo vamzdžio ir šilumos perdavimo fluideo. Fresnel'io reflektoriaus principinė schema pateikta 12 paveiksle [13]:



12 pav. Linijinis Fresnel'io reflektorius [13 p. 1328]

Taigi, apibendrinant galima pateikti tokias išvadas iš straipsnyje [13] pateiktos analizės apie saulės šilumos kolektorius:

1. visi saulės kolektoriai, įskaitant tiek koncentruotus, tiek nekoncentruotus, gali veikti prie aukštos saulės spinduliuotės (apie 1000 W/m^2);
2. saulės kolektoriaus pasirinkimas priklauso nuo naudojamos sistemos tipo, priklausomai nuo tai sistemai reikalaujamos išėjimo temperatūros diapazono;
3. koncentracinio tipo parabolinio lovio ir linijiniai Fresnel'io saulės kolektoriai yra labiausiai naudojami PVT sistemose;
4. saulės kolektoriaus tipo pasirinkimas turi mažai įtakos elektriniam sistemos efektyvumui.

PVT pagal darbinę terpę (fluidą) gali būti detaliau klasifikuojama pagal (žr. 7 pav.) [13]:

- darbinės terpės cirkuliacijos tipą (natūrali arba priverstinė cirkuliacija);
- darbinės terpės tipą (vanduo, oras arba vanduo-oras);
- terpės kanalo poziciją (virš fotovoltinio sluoksnio ar žemiau jo);
- fluido įvestį (vieną arba kelias).

Darbinės terpės priverstinė cirkuliacija yra efektyvesnė už natūralios cirkuliacijos tekėjimą, tačiau priverstinei cirkuliacijai sukurti reikalingas ventiliatorius, kuriam išnaudojama galia sumažina PVT generuojamą gryną elektros energiją [13]. Bendroju atveju galima pateikti tokias išvadas iš straipsnyje [13] pateiktos analizės apie PVT darbinės terpes:

1. vanduo yra plačiau naudojamas PVT sistemose nei oras;
2. vandenį naudojančios PVT sistemos yra labiau apribotos veikimo sąlygų dėl galimo vandens užšalimo esant žemai darbinei temperatūrai, kas nėra taikoma orą naudojančioms PVT sistemoms;
3. vandenį naudojančių PVT elektrinis, terminis ir visuminis efektyvumas yra aukštesnis už orą naudojančias PVT.

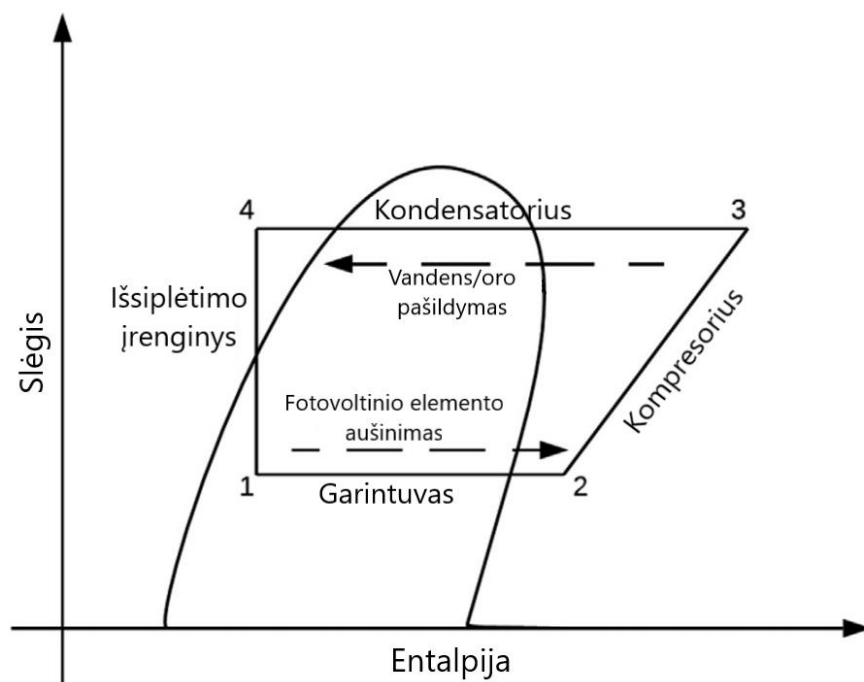
PVT pagal stiklinimą yra skirstoma į stiklinamą (vieno arba kelių sluoksnių) arba nestiklinamą sistemą (žr. **7 pav.**). Tai yra svarbi saulės kolektorių dalis, nes stiklas apsaugo juos nuo įvairaus aplinkos poveikio [13]. Nepaisant to, stiklinimas turi ir neigiamą poveikį: stiklo sluoksnis, priklausomai nuo jo laidumo, gali sumažinti saulės spinduliuotės absorbciją saulės elementuose. Taigi, stiklinimo naudojimas yra svarbus norint maksimaliai padidinti pagaminamos šiluminės energijos kiekį, tačiau veikia nepakankamai efektyviai tuo atveju, kai norima maksimizuoti pagaminamos elektros energijos kiekį. Pvz., nustatyta, kad naudojant stiklą ir jo nenaudojant šiluminis efektyvumas siekia atitinkamai 70,89 proc. ir 63,37 proc., o elektrinis efektyvumas atitinkamai 13,15 proc. ir 14,35 proc. [13]. Bendruoju atveju galima pateikti tokias išvadas iš straipsnyje [13] pateiktos detalios analizės apie kolektorių stiklinimą:

1. stiklo naudojimas didina šiluminį efektyvumą ir šiek tiek sumažina elektrinį efektyvumą;
2. visuminis PVT sistemos efektyvumas yra didesnis tuo atveju, kai yra naudojamas stiklinimas;
3. nestiklinta PVT sistema yra priimtinesnė tuo atveju kai reikalinga didesnė elektrinė galia;
4. vieno sluoksnio stiklinimas yra labiau priimtinas nei kelių sluoksnių.

Galiausiai, PVT pagal šilumos absorberį detaliau skirstoma pagal jam naudojamą medžiagą (aliuminį arba varį) (žr. **7 pav.**). PVT paprastai sukonstruojama prijungiant fotovoltinius elementus prie saulės kolektoriaus šilumos absorberio. Šilumos absorberis yra neatsiejama PVT dalis, kuri atsakinga už saulės spinduliuotės sugėrimą ir jos panaudojimą, t. y. sukauptos šilumos perdavimą nuo fotovoltinio sluoksnio tekančiam fluidui. Pastebima tai, jog absorberis turi didelę įtaką PVT terminiam ir elektriniam efektyvumui [13].

1.2.2. Hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemų koncepcija

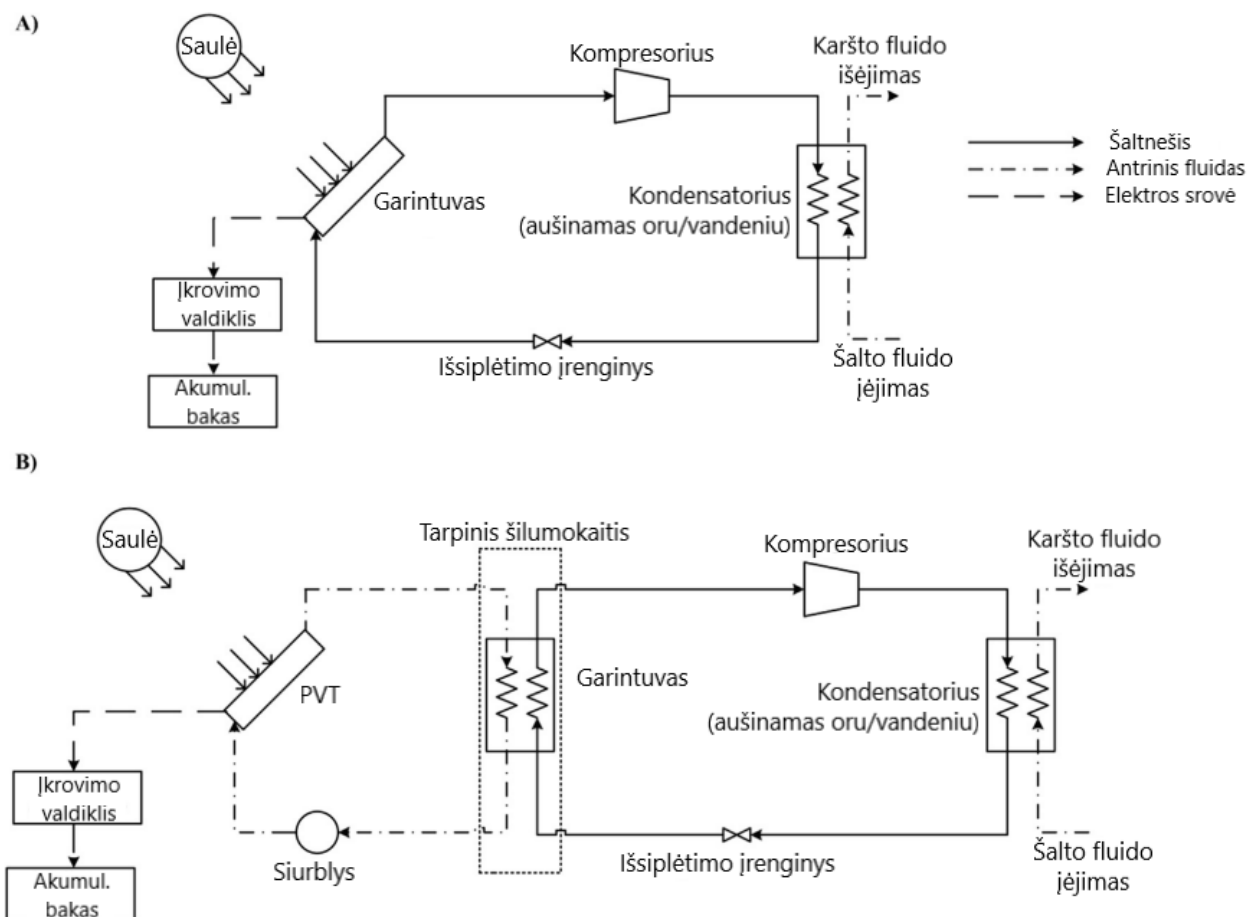
Sutinkama, jog fotovoltiniuose saulės kolektoriuose gaunamos šiluminės energijos nepakankama sukurti tokiai aukštai temperatūrai, kuri tenkintų būstų šilumos poreikį [12]. Vienas iš šio iššūkio sprendimų yra PVT integravimas su šilumos siurbliu. Tokiu būdu yra gaunama hibridinė PVT-HP. Tokios sistemos darbo ciklas pateiktas 13 paveiksle [15]:



13 pav. PVT-HP darbo ciklas slėgio ir entalpijos (p-h) koordinačių sistemoje [15 p. 270]

PVT-HP veikimo principas, remiantis straipsnyje [15] pateikta informacija, aiškinamas sekančiai (žr. **13 pav.**): sistemoje naudojamas šaldymo agentas, kuris iš pradžių, būdamas žemos temperatūros, yra tiekiamas į garintuvą ir sugeria šilumą iš garintuvo absorberio plokštės, tuo pačiu aušindamas fotovoltinį saulės elementą (procesas 1-2). Gautas perkaitintas garas palieka garintuvą ir patenka į kompresorių, kur padidėja jo slėgis ir temperatūra (procesas 2-3). Po to aukšto slėgio ir temperatūros garo būsenos šaltnešis patenka į kondensatorių, kuriame atiduoda šilumą šilumnešiui, kuris naudojamas patalpų šildymui (procesas 3-4). Galiausiai, skystos būsenos šaldymo agentas paduodamas į išsiplėtimo įrenginį, kuriame sumažėja šaltnešio slėgis (procesas 4-1), pasiekiami skystoji fazė ir vėliau ciklas kartojasi [15].

Dažniausiai PVT-HP yra klasifikuojama į du tipus: tiesioginio ir netiesioginio išsiplėtimo [15]. Šių sistemų principinė schema pateikta 14 paveiksle:

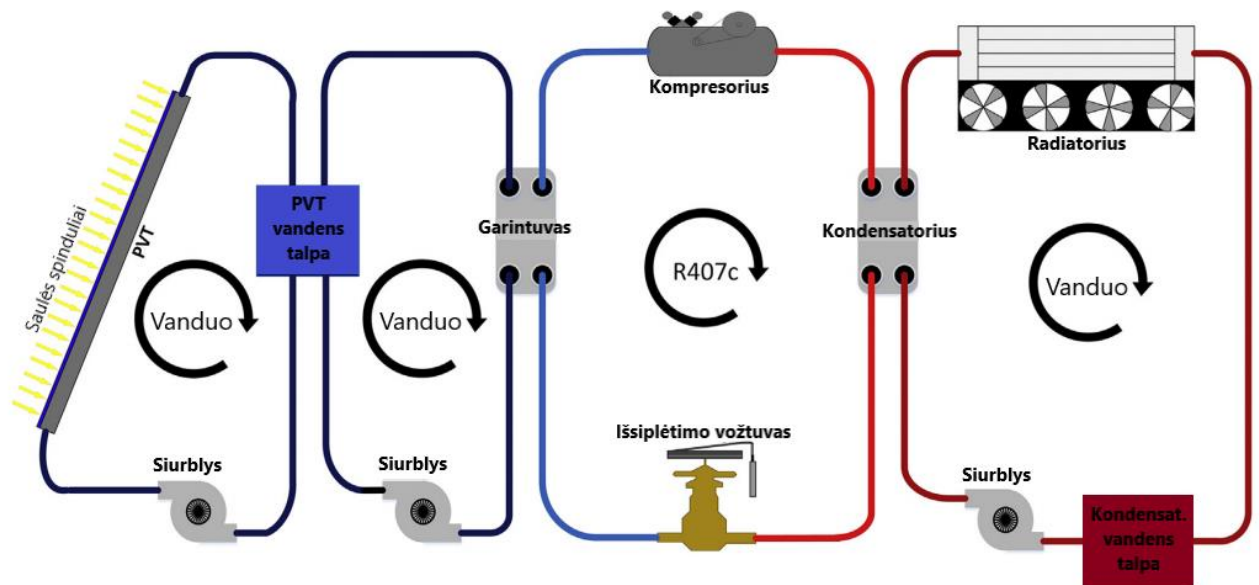


14 pav. PVT-HP principinės schemos: A) tiesioginio išsiplėtimo; B) netiesioginio išsiplėtimo [15 p. 271]

Kaip matyti iš iliustracijos (žr. **14 pav.**), tiesioginio išsiplėtimo konfigūracijos PVT-HP tiesiogiai šildo šilumos siurblio darbinį fluidą, šilumą sukaupdama PVT. Savo ruožtu netiesioginio išsiplėtimo PVT-HP naudoja fluidą (pvz. vandenį) saulės šilumos energijos absorbcijai nuo PVT plokštės ir tą šilumą perneša į šilumokaitį, per kurį ji yra atiduodama šilumos siurblio ciklo kontūrai arba kaupiama vandens rezervuare, kuris veikia kaip šilumos siurblio šilumos šaltinis [12].

Remiantis straipsnyje [15] pateikta informacija galima išskirti tam tikras tiesioginio ir netiesioginio išsiplėtimo PVT-HP ypatumus. Tiesioginio išsiplėtimo PVT-HP gali ataušinti fotovoltinį saulės modulį iki santykinai žemos temperatūros, kas lemia didesnę energijos konversijos efektyvumą bei geresnį šilumos išgavimą ir panaudojimą. Nepaisant to, yra pastebėta, kad šio tipo sistemų projektavimas, šaltnešio paskirstymas ir fotovoltinio modulio temperatūros valdymas tampa labiau komplikuoatas sulig sistemos didėjimu. Tokiu atveju netiesioginio išsiplėtimo PVT-HP yra laikoma kaip labiau tinkama didesnėms sistemoms. Be to, tarpinis šilumokaitis tarp PVT ir garintuvo (žr. **14 pav.**) gali būti naudojamas kaip šilumos kaupimo įrenginys ir tokiu būdu veikti kaip šilumos šaltinis nulinės saulės spinduliuotės metu [15].

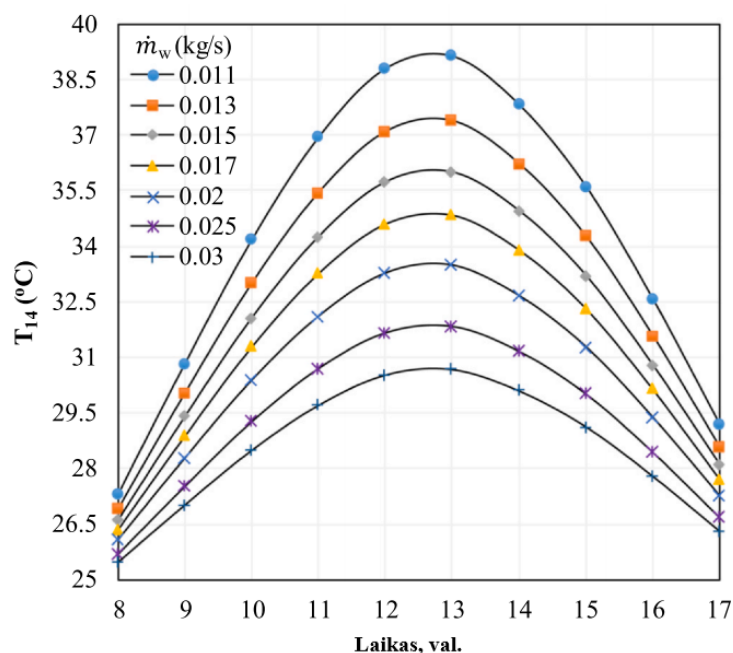
Literatūroje galima rasti įvairių PVT-HP konfigūracijų. Viena iš jų pateikiama 15 paveiksle [12]:



15 pav. PVT-HP veikimo principinė schema [12 p. 560]

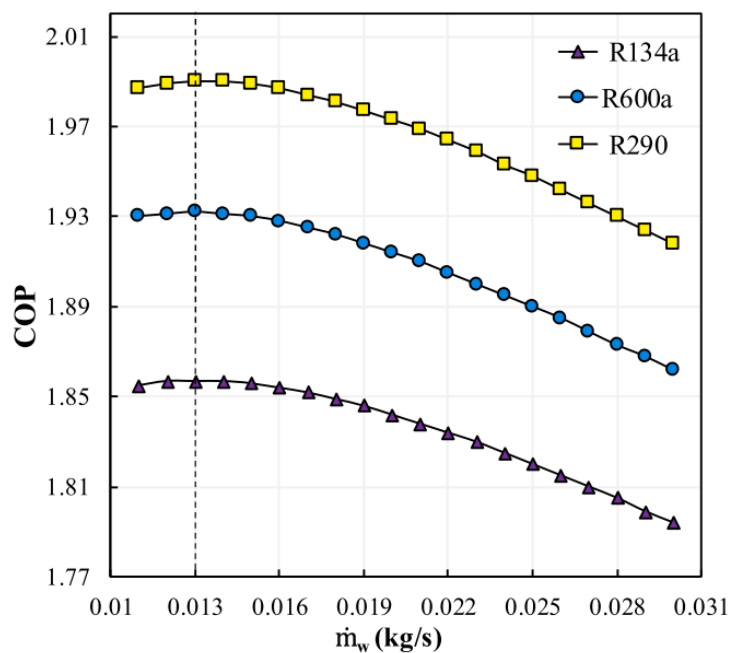
Iliustracijoje pateikta PVT-HP susideda (žiūrint iš kairės į dešinę) iš PVT vandens kontūro, PVT vandens talpos kontūro, vanduo-vanduo šilumos siurblio kontūro bei šilumos atidavimo kontūro (žr. **15 pav.**). Vanduo-vanduo šilumos siurblio kontūras susideda iš darbo ciklą (žr. **13 pav.**) atitinkančių ir jau minėtų dalių: garintuvo, kompresoriaus, kondensatoriaus ir išsiplėtimo vožtuvo. Savo ruožtu šilumos atidavimo kontūras susideda iš vandens talpos, šilumos siurblio, skirto tiekti vandenį į kondensatorių, bei priverstinės konvekcijos radiatoriaus, per kurį šiluma yra tiekama vartotojui [12]. Veikimo principas praktiškai atitinka jau aptartą darbo ciklą (žr. **13 pav.**), o pagal tipą tai būtų netiesioginio išsiplėtimo PVT-HP, tik šiuo atveju dar papildomai naudojamas vandens talpos kontūras šiluminei energijai kaupti ir saugoti (žr. **14–15 pav.**).

PVT-HP veikimo efektyvumas priklauso nuo daugelio veiksnių. Pvz., egzistuoja stiprus ryšys tarp vandens srauto masinio debito ir išeinančio vandens temperatūros. Vieno PVT su ežektoriumi tyrimo duomenimis [16], padidinus vandens masinį debitą nuo 0,011 kg/s iki 0,03 kg/s prie 945 W/m² saulės intensyvumo, išeinančio vandens temperatūra sumažėja nuo 39,14 °C iki 30,67 °C ir tokiu atveju PVT efektyvumas padidėja nuo 66,7 proc. iki 75,8 proc.. Vandens temperatūros kitimo grafikas esant skirtingam masiniam debitui dienos laikotarpiu pateiktas 16 paveiksle [16]:



16 pav. Vandens temperatūros kitimas dienos laikotarpiu esant skirtingam masiniam debitui [16 p. 9]

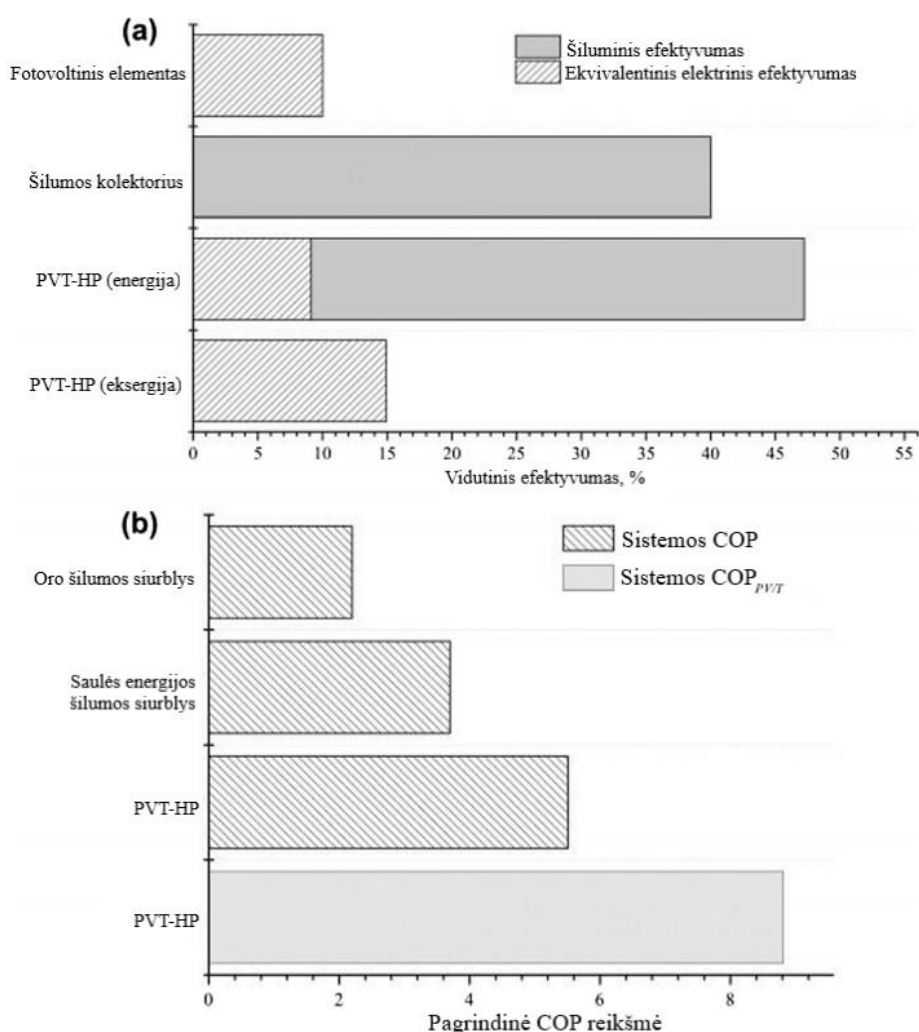
Taip pat sistemos efektyvumas priklauso ir nuo to, koks šaldymo agentas yra naudojamas sistemoje. Remiantis to paties tyrimo duomenimis [16] pastebėta, kad iš tirtų trijų šaldymo agentų (R134a, R290 ir R600a) didžiausias efektyvumas pasiekiamas naudojant šaltnešį R290: naudingo veikimo koeficientas (angl. *Coefficient of performance*, toliau tekste – COP) padidėja 7,5 proc., palyginus su R134a. Galiausiai, pastebėta, jog sistemos COP yra didžiausias tuo atveju, kai pasiekiamas optimalus vandens srauto masinis debitas 0,013 kg/s. Visa tai apibendrinantis grafikas pateiktas 17 paveiksle [16]:



17 pav. COP kitimo priklausomybė nuo masinio debito, esant skirtingiems šaldymo agentams prie 945 W/m² saulės intensyvumo [16 p. 10]

Galiausiai, PVT efektyvumui turi įtakos vandens talpų parinkimas, saulės spinduliuotės intensyvumas ir pan. Remiantis vieno tyrimo duomenimis [12], saulės spinduliuotės intensyvumui padidėjus nuo 250 W/m^2 iki 1000 W/m^2 , PVT plokštės temperatūra padidėja maždaug nuo $12 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $30 \text{ }^\circ\text{C}$, kas lemia elektrinio efektyvumo sumažėjimą nuo 16 proc. iki 14,5 proc.. Sistemos veikimo metu bėgant laikui šiluminis efektyvumas prie 750 W/m^2 ir 1000 W/m^2 taip pat turi mažėjimo tendenciją (atitinkamai 0,5 proc. ir 2 proc.). Tik prie saulės intensyvumo verčių, siekiančių 250 W/m^2 ir 500 W/m^2 , šiluminis efektyvumas laikui bėgant didėja (pagal minėtas vertes atitinkamai 14 proc. ir 3,5 proc.). Nepaisant to, didėjant saulės spinduliuotės srautui nuo 250 W/m^2 iki 1000 W/m^2 bendrasis sistemos COP didėja [12].

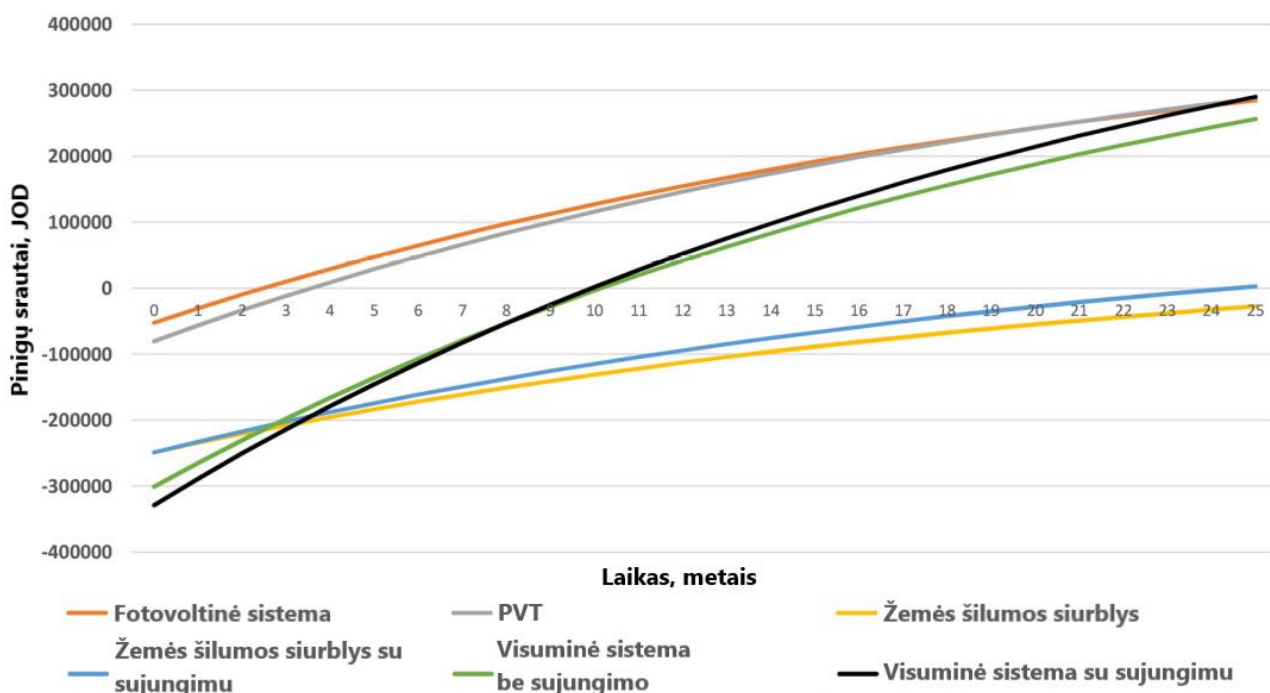
Analizuojama PVT-HP turi ryškių privalumų, lyginant su atskirai naudojamomis saulės modulių ir šilumos siurblio technologijomis. Efektyvumų palyginimas, naudojant šias technologijas kartu ir atskirai, pateiktas 18 paveiksle [15]:



18 pav. PVT-HP palyginimas su: a) nepriklausomais fotovoltiniais moduliais bei standartiniais saulės šilumos kolektoriais; b) įprastomis oro šaltinio ir saulės šilumos siurblių vandens šildymo sistemomis [15 p. 280]

Kaip matyti iš iliustracijoje pateiktos diagramos (žr. **18 pav.**), kombinuota sistema pasiekia kur kas didesnes efektyvumo ir COP vertes, lyginant su nepriklausomomis fotovoltinėmis ir saulės šilumos sistemomis [15]. Tai įrodo, kad hibridinė PVT-HP techniniu požiūriu yra efektyvi ir patraukli naudoti. Tą patį būtų galima teigti ir apie teigiamus ekonominius rodiklius. Jordanijoje atliktame tyrime [17]

analizuojama, kokią ekonominę įtaką turi PVT ir žemės šilumos siurblio kombinuotas veikimas ir tai lyginama su šiomis technologijomis, veikiančiomis atskirai. Tyrimo rezultatai parodė, jog kombinuotos (PVT-HP) sistemos veikimas bei ekonominis efektyvumas yra geresnis, lyginant su kiekvienos sistemos atskiru veikimu. Tuo galima įsitikinti pažvelgus į grafiką, pateiktą žemiau [17]:



19 pav. Pinigų srautų (Jordanijos dinarais (JOD)) diagrama pagal atitinkamas technologijas [17 p. 15]

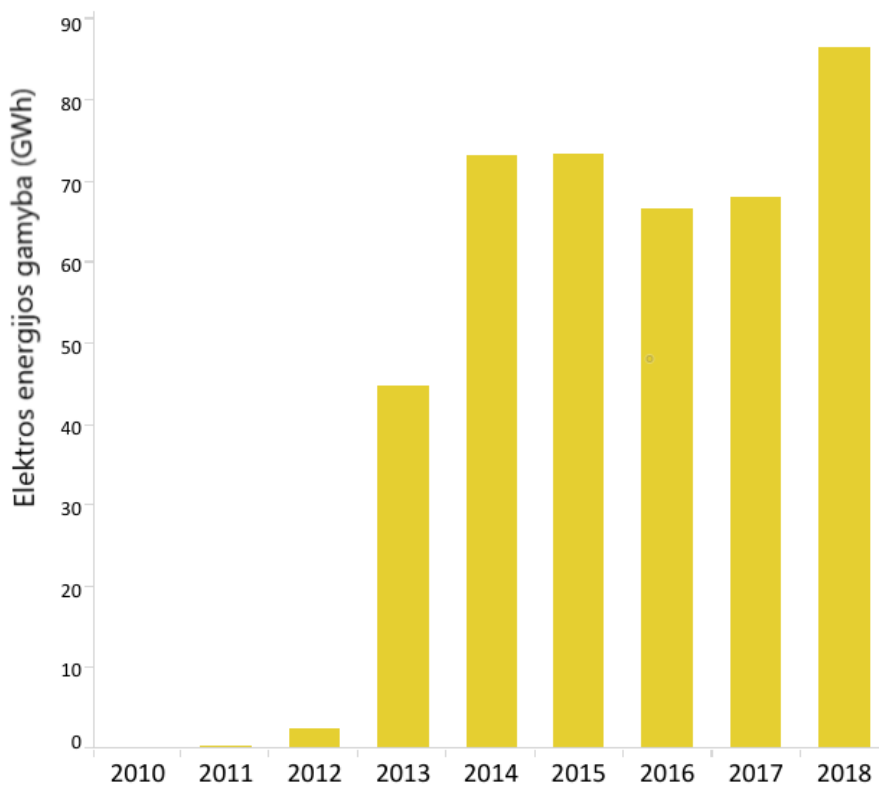
Kaip matyti iš diagramos (žr. **19 pav.**), kombinuotos sistemos pinigų srautų kreivė didžiąją dalį laiko yra žemiau už atskiros PVT kreivę, tačiau ilgainiui (maždaug ties dvidešimt penktais metais) kreivės susilygina ir nuo šio taško kombinuota sistema generuoja didesnius pinigų srautus. Turint omenyje tai, jog PVT-HP investiciniai kaštai pradiniais metais yra žymiai didesni, toks rezultatas yra tikrai priimtinas (žr. **19 pav.**).

Taigi, apibendrinant galima teigti, jog PVT-HP yra perspektyvi technologija, naudojanti AEI ir tokiu būdu atitinkanti šiuolaikinius tvarios energetikos principus. Šių technologijų naudojimo mastai pastaruoju metu ryškiai auga. Pastebėtina, jog metinė fotovoltinių modulių gamyba padidėjo 30 proc. nuo 2016 m. iki 2018 m., o vertinant tų pačių metų pokyčių tendenciją saulės šiluminė galia pasauliniu mastu padidėjo nuo 62 GW iki 480 GW [16]. Šis prieaugis prilygsta 42,6 mln. litrų naftos sumažinimui ir dėl to 137,5 mln. t. anglies dvideginio pašalinimui iš atmosferos [16]. Taigi, PVT-HP neabejotinai gali būti laikoma ateities technologija, kuri turi plačias pritaikomumo galimybes ir modifikacijų įvairovę, o taip pat yra efektyvi tiek techniniu, tiek ekonominiu požiūriu.

1.3. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių technologijų skatinamasis reguliavimas Lietuvoje

ES pastaruoju laikotarpiu deda dideles pastangas siekiant tvarios, AEI integruojančios energetikos plėtros. Lietuva priklauso ES, todėl joje priimti nutarimai turi būti įgyvendinti kiekvienos valstybės narės nacionaliniu mastu. Vienas pagrindinių dokumentų, aprašančių Lietuvos energetinius išpareigojimus ateities perspektyvoje yra nutarimas „Dėl Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo“ pakeitimo“ [18]. Vertinant saulės elektrines iki 2020 m.

buvo prognozuota, kad iš visų AEI saulės elektrinėse būtų pagaminama iki 6 proc. elektros energijos, tačiau jau 2025 m. ši dalis turėtų sudaryti net 20 proc., o 2030 m. – 22 proc. [18]. Nors planuojama, kad iš visų AEI vėjo elektrinėse bus gaminama didžioji dalis elektros energijos, tačiau prognozės rodo ir saulės energijos technologijų sparčią plėtrą. Tuo galima įsitikinti pažvelgus į pastarųjų metų elektros energijos gamybos tendencijas, kurių diagrama pateikta 20 paveiksle [19]:



20 pav. Elektros energijos gamybos iš saulės fotovoltinių elektrinių tendencijos Lietuvoje [19]

Kaip matyti iš diagramos (žr. **20 pav.**), nors pastarųjų metų elektros energijos gamybos iš saulės fotovoltinių elektrinių didėjimas nėra toks spartus, o 2016 m. bei 2017 m. netgi pastebimas gamybos sumažėjimas, tačiau nuo 2018 m. generacija pradėjo sparčiai augti ir tikėtina, kad augimo tendencijos išliks ir ateinančiais metais.

Kadangi šiame darbe orientuojamasi į decentralizuotą apsirūpinimą energija, todėl tai galima prilyginti kaip galimybę tapti gaminančiais vartotojais. Nutarime [18] teigiama, jog „Ilguoju laikotarpiu elektros energijos vartotojai taps aktyviais rinkos dalyviais, jiems bus suteikiama galimybė iš atsinaujinančių energijos išteklių gaminamą energiją vartoti savo reikmėms, o už perteklinę energiją, patiektą į tinklą, gauti rinkos sąlygas atitinkantį atlygį“. Prognozuojama, kad iš AEI gaminančių vartotojų dalis Lietuvoje augs ir 2030 m. sieks ne mažiau kaip 30 proc., o 2050 m. – ne mažiau kaip 50 proc. [18]. Galiausiai, individualiai šildomuose namų ūkiuose energijos iš netaršių, ŠESD dujų neišmetančių, AEI naudojančių technologijų dalis 2030 m. sudarys net 80 proc. [18], ką tikrai būtų galima laikyti ambicingu tikslu. Kitame Lietuvai svarbiame dokumente – „Lietuvos Respublikos Nacionaliniame energetikos ir klimato srities veiksmų plane 2021–2030 m.“ [20] teigiama, kad: „Šilumos ir karšto vandens gamybos technologijų efektyvumas decentralizuotame sektoriuje yra gana nedidelis ir čia galima įžvelgti nemažą energijos taupymo potencialą“. Taip pat numatyta, kad energijos poreikis decentralizuotai šilumos gamybai iš AEI taip pat augs: nuo 2020 m.

iki 2030 m. šis poreikis atitinkamai padidės nuo 1303 k_{tne} iki 1506 k_{tne} [20]. Taigi, decentralizuoti energijos tinklai įgauna vis didesnę reikšmę Lietuvos energetikos kontekste.

Tam, kad būtų galima pasiekti aptartus tikslus, susijusius su AEI (šiuo atveju – saulės elektrinių) integracija namų ūkiuose, būtina sukurti efektyvų rinkos mechanizmą bei kitas skatinamąsias priemones. Viena iš tokių priemonių būtų paramos teikimas vartotojams, norintiems savuose būstuose įsidiegti įrenginius, gaminančius energiją iš AEI. Paramos teikimo mechanizmą reglamentuoja „Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas“ [21]. Jeigu siekiama įsirengti šiame darbe analizuojamą PVT-HP, tuomet reikėtų vadovautis „Energijos efektyvumo ir atsinaujinančių išteklių energijos gamybos ir naudojimo skatinimo“ 04.1.1-LVPA-V-114 priemone „Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginių įrengimas namų ūkiuose“ [22]. Šios paramos priemonės tikslas yra sukurti palankią investicinę aplinką energijos vartotojams, galintiems elektros energiją pasigaminti savo reikmėms ir tokiu būdu didinti tokių gamintojų skaičių, kaip numatyta Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje [18]. Paramą gali gauti tie fiziniai asmenys, kurie įsidiegia iki 10 kW galios AEI naudojančias technologijas. Projektams įgyvendinti numatoma skirti iki 17 mln. EUR iš ES struktūrinių fondų (Sanglaudos fondo) lėšų [22]. Kvietimą fiziniams asmenims teikti registracijos formas bei su tuo susijusius veiksmus (pvz. trukmę ir kvietimui numatytą lėšų sumą) skelbia Aplinkos projektų valdymo agentūra (APVA) savo interneto svetainėje [23]. Pvz., 2021 m. balandžio mėn. skelbtame finansavimo konkurse paramos dydis įsirengus pilną komplektą (saulės modulius ir inverterį) siekė 322,91 EUR už 1 kW saulės elektrinės įrengtosios galios, o paramos dydis įsirengus tik saulės modulius siekė 242,92 EUR už 1 kW saulės elektrinės įrengtosios galios [24].

Taigi, apibendrinant galima teigti, jog AEI naudojančių technologijų plėtrai Lietuvoje skiriamas vis didesnis dėmesys ir palaipsniui skatinamasis reguliavimas sukuria vis daugiau palankesnių terpių naudoti tokias technologijas kaip PVT-HP.

2. Tyrimo metodologija

2.1. Tyrimo objektas

Pastaruoju metu susiduriama su daugybe veiksnių, susijusių su augančiu energijos poreikiu, vartojimu bei tarša. Dėl šios priežasties, siekiant spręsti iškilusius iššūkius svarbu plėtoti darnių, ekologiškų gyvenviečių koncepciją. Todėl šiame darbe numatyta tirti naujai statomą gyvenvietę, kuri pasižymėtų ekologiškumu, tvarumu (ekogymenvietės) savybėmis. Kalbant apie šias savybes, visų pirma verta aptarti reikalavimus, taikomus naujai statomiems namams. Remiantis Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES [6], nustatyta, jog ne vėliau kaip 2020 m. gruodžio 31 d. visi nauji pastatai būtų beveik nulinės energijos pastatai. Tokie pastatai yra apibūdinami kaip labai aukšto energinio naudingumo, beveik energijos nereikalaujantys bei didžiąją dalį energijos gaunantys iš atsinaujinančių išteklių, įskaitant vietoje ar netoliese pagamintą atsinaujinančių išteklių energiją [6]. Įsitikinti tokių pastatų mažomis energijos sąnaudomis galima pažvelgus į pastatų šilumos energijos poreikio ir šilumos nuostolių per metus (pa)lyginamąją lentelę:

2 lentelė. Pastatų šilumos energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus [11 p. 54]

Pastato tipas	Bendrasis metinis šilumos poreikis, kWh/m ²	Energijos poreikis karštam vandeniui paruošti, kWh/m ²	Šilumos nuostoliai per atitvaras, kWh/m ²	Šilumos nuostoliai dėl vėdinimo, kWh/m ²
Pasyvieji namai	30	15	10	5
Mažai energijos naudojantys pastatai	85	15	35	35
Tradiciniai pastatai	145	15	80	50
Senesni pastatai	225	15	160	50

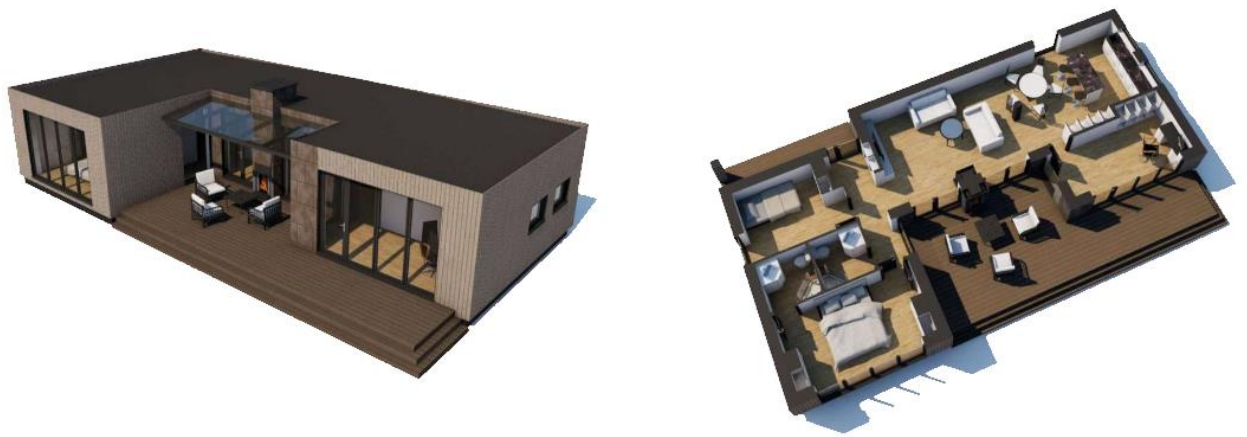
Kaip matyti iš lentelėje pateiktų duomenų (žr. **2 lent.**), pasyviųjų namų (kuriuos būtų galima priskirti beveik nulinės energijos pastatams) bendras metinis šilumos poreikis tesiekia 30 kWh/m², o tai yra tikrai nedaug, lyginant su tradiciniais ar senesniais pastatais. Be to, įvertinus tai, kad iš šaltinio [11] pateikti duomenys nėra pačių naujausių metų, tikėtina, jog dabartiniai nauji pastatai turi dar mažesnius energijos poreikius.

Lietuvoje pasyviųjų pastatų koncepciją atitiktų pastatai, turintys aukščiausią energinio naudingumo klasę. Šios klasės bei su tuo susiję veiksniai reglamentuoti statybos techniniame reglamente STR 2.01.02:2016 „Pastatų energetinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“, kuris „taikomas projektuojant šildomų gyvenamųjų ir negyvenamųjų pastatų (jų dalių) energetinį naudingumą, atliekant pastatų energetinio naudingumo sertifikavimą, skaičiuojant pastatų (jų dalių) šildymo sistemos šilumos šaltinio projektinę galią“ [26]. Remiantis šiuo reglamentu, visi pastatai yra skirstomi pagal energetinį naudingumą į 9 klases: A++, A+, A, B, C, D, E, F, G. A++ klasė laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą [26]. Tokio tipo pastatas turi atitikti energijos vartojimo efektyvumo rodiklių, atitvarų skaičiuojamųjų savitųjų šilumos nuostolių, šiluminių savybių, sandarumo ir kt. reikalavimus, apibrėžtus statybos techniniame reglamente [26]. Vienas iš svarbesnių reikalavimų A++ energinės klasės pastatams būtų tas, jog didžiąją sunaudojamos energijos dalį turi sudaryti atsinaujinančių išteklių energija [26]. Galiausiai, reglamente teigiama, jog nuo 2021 m. sausio 1 d. visi Lietuvoje statomi gyvenamieji pastatai turi būti ne žemesnės kaip A++ energinės klasės [26]. Taigi, šiame darbe modeliuojamos gyvenvietės pastatai turi atitikti statybos techniniame reglamente aprašytus reikalavimus.

Kalbant apie ekogyvencietės koncepciją visų pirma svarbu suvokti, kokiomis savybėmis (be reikalavimų naujai statomiems pastatams, aptartiems anksčiau) turi pasižymėti tokia gyvenvietė ir apskritai, kaip tokia gyvenvietė apibūdinti praktiškai. Bendraja prasme ekogyvencietę arba ekokaimą (angl. *ecovillage*) galima suvokti kaip tam tikrą bendruomenę, kurios gyventojai sutelkia dėmesį į savo poveikio aplinkai mažinimą ir tvaresnio gyvenimo būdo plėtrą [27]. Vienas iš būdų, kaip šios gyvenvietės siekia tvarumo tikslų, yra „žalios“ statybos principų ir atsinaujinančios energijos integravimas. Viename tyrime [27] buvo tirtos trys ekogyvencietės ir tyrimo metu pastebėta, jog visos jos, nors ir naudojo elektros energiją iš tinklo, tačiau buvo įdiegusios ir saulės, vėjo bei mikrohidroelektrinių technologijas ir gaminosi energiją pačios. Be abejo, ekogyvencietės prisideda ir prie kitų įvairių ekonominių, socialinių, kultūrinių bei aplinkosauginių veiksmų, tokių kaip sveikatos apsauga, efektyvaus susisiekimo, energijos ir resursų tausojimo mechanizmų kūrimas, vandens, nuotekų ir atliekų tvarkymas ir t. t. [28].

Ekogyvencietėjų pasaulyje yra labai daug, o jas jungia „Pasaulinis ekologinių kaimų tinklas“ (angl. *Global Ecovillage Network*) [29]. Ekogyvencietės koncepcijos kūrėjų jau yra ir Lietuvoje. Taigi, atlikus ekogyvencietėjų apžvalgą galima daryti prielaidą, jog tokių gyvenviečių konceptas vis labiau populiarėja ir netgi tampa madingas. Be abejo, taip yra ne be priežasties – tokių gyvenviečių kūrimas yra svarbus ir gali prisidėti prie dabartinių iššūkių sprendimo. Remiantis Lietuvoje išleistu rekomendaciniu dokumentu „Darnaus vystymosi tikslų integravimas į teritorijų planavimo procesus“ [30], „Lietuvos miestai vystosi nedarniai: plėtra dažnai yra nekontroliuojama ir neefektyvi, socio-ekonominė atskirtis didėja, taip pat auga ir neigiamas poveikis aplinkai“. Taip pat šiame dokumente teigiama, jog Lietuvoje kasmet dėl oro taršos sukeltų negalavimų ir ligų anksčiau laiko miršta daugiau nei 2,8 tūkst. žmonių, o apie 66 proc. Lietuvos gyventojų gyvena daugiabučiuose namuose, kurių dauguma yra smarkiai susidėvėję ir energetiškai neefektyvūs, ir taip prisideda prie aplinkos taršos ir klimato kaitos [30]. Pasauliniu mastu, miestai užima iki 3 proc. Žemės sausumos ploto, bet išmeta apie 70 proc. visų ŠESD, o koncentruota infrastruktūra, transportas, gamyba ir vartojimas prisideda prie žymaus miestų neigiamo poveikio aplinkai [30]. Ir nors dokumente [30] iš esmės pabrėžiami miestai ir su jais susiję Jungtinių Tautų Darnaus vystymo tikslai, ekogyvencietėjų vystymas iš esmės galėtų prisidėti prie šių tikslų įgyvendinimo.

Taigi, įvertinus reikalavimus, taikomus naujai statomiems namams, bei ekogyvencietės esminius principus, tolimesniame etape yra apibrėžiamas šio darbo tyrimo objektas. Kaip jau buvo minėta anksčiau, tai yra naujai statoma mini gyvenvietė, kurią sudarytų šeši A++ energinio naudingumo klasės gyvenamieji namai, kuriuos reiktų aprūpinti energija. Iš tinklapio „Green Valley“ [31] parenkamas orientacinis namo dizainas, darant prielaidą, jog naujai statomą gyvenvietę sudarys būtent šio dizaino A++ namai. Tokio namo priekinio fasado ir išplanavimo vaizdai pateikti 21 paveiksle:



21 pav. Namo, iš kurio sudaryta naujai statoma gyvenvietė, priekinio fasado ir išplanavimo vaizdas [31]

Kaip matyti iš namo priekinio fasado vaizdo (žr. **21 pav.**), namas yra vieno aukšto, keturių kambarių. Namo bendras plotas 99,08 m². [31].

Galiausiai, yra parenkama būsimos gyvenvietės vieta. Naudojantis „Google žemėlapiais“ randama vieta tarp Vilniaus ir Kauno, esanti atokiau miestų, šalia turinti vandens telkinį. Ši vietovė yra Vilniaus aps., Elektrėnų raj. sav., Vievio sen., netoli Kasčiūkiškių kaimo. Vietovės koordinatės: 54.732644, 24.897605. Galima daryti prielaidą, kad pasirinktoji vieta būtų patogi susisiekimui, komfortabili ir rami kokybiškam gyvenimui, o praretintas plotas yra tinkamas namų statybai.

2.2. Programinės įrangos parinkimo pagrindimas

Šiuo metu egzistuoja daugybė įrankių, kuriuos pasitelkus galima modeliuoti pastatų aprūpinimo energija sistemas. Dėl šios priežasties yra svarbu išsirinkti tinkamiausią programinę įrangą, tinkančią šio darbo tyrimui.

Viename tyrime [32] buvo lyginami šie programiniai paketai: „TRNSYS“, „Polysun“ ir „EnergyPRO“. Šiame darbe buvo tiriamas individualus vienos šeimos namas, pastatytas šaltoje klimato zonoje (Vilniuje), pritaikant saulės energijos sistemą buitiniam karštam vandeniui ruošti. Remiantis atliktu tyrimu [32] galima pastebėti, jog „Polysun“ turi daugiau įvesties parametrų nei kiti programiniai paketai, be to, grafinis dizainas kur kas patrauklesnis akiai. Kitas svarbus veiksnys yra tai, jog straipsnio [32] autoriai „Polysun“ programinę įrangą įvardija kaip labiau tikslesnę, lyginant su „EnergyPRO“. Remiantis kitais šaltiniais [33–34], „Polysun“:

- yra labai funkcionali ir ideali platforma namų ūkių energijos sistemų analizei [33].
- turi numatytą patrauklią grafinę vartotojo sąsają bei užtikrintą patogumą [33].
- suteikia galimybę rinktis įvairius simuliacijos laiko režimus ir skaičiavimus atlieka greitai [33].
- leidžia modeliuoti įvairias sistemas bei jų kombinacijas ir jas lyginti [34].

Atlikta analizė parodė, jog programa „Polysun“ sėkmingai pritaikyta projektuose, panašiuose į šiame darbe atliekamą tyrimą. Pvz., viename iš tyrimų [33] programa „Polysun“ buvo panaudota skaitinei analizei atlikti siekiant minimizuoti saulės frakciją, suvartojamą elektros energiją ir CO₂ emisijas vienos šeimos gyvenamajame name skirtinguose Irako miestuose, pritaikant saulės energijos vandens šildymo sistemą. Gauti rezultatai parodė, jog rastas optimalus sistemos dydis gali pasiekti metinius elektros energijos sutaupymus nuo 1365 kWh iki 1459 kWh, taip pat metines anglies dvideginio emisijas nuo 771 kg iki 824 kg, priklausomai nuo miesto, kuriame buvo tirta minėta sistema. Kitame

tyrime [34] buvo lyginamos keturios skirtingos kombinuotos saulės ir žemės šilumos siurblio sistemos esant skirtingiems elektros, šildymo, vėsinimo ir buitinio karšto vandens poreikiams. Visos sistemos buvo modeliuojamos „Polysun“ programine įranga. Modeliavimo rezultate pateikiami techniniai, ekonominiai ir aplinkosauginiai duomenys, kuriuos palyginus buvo parinkta efektyviausia sistema. Dar viename darbe [35] „Polysun“ programa buvo panaudota realiai įdiegtai ir ištestuotai fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir žemės šilumos siurblio sistemai, siekiant optimizuoti sistemos parametrus. Pasitelkus programinį paketą gauti rezultatai parodė, jog galima padidinti PVT kolektoriaus efektyvumą 22,2 proc., sumažinti fotovoltinio modulio maksimalią temperatūrą 30 proc. bei optimizuoti kitus sistemos komponentų parametrus. Iš šių kelių pavyzdžių galima pastebėti tai, jog programa „Polysun“ turi iš ties plačias galimybes ir yra tinkama gyvenamųjų namų energijos sistemoms modeliuoti, o taip pat techniniams, ekonominiams bei aplinkosauginiams parametrų gauti ir juos optimizuoti. Dėl šios priežasties „Polysun“ programinis paketas yra pasirenkamas kaip pagrindinis metodinis įrankis šio darbo tyrimui atlikti.

2.3. Hibridinės fotovoltinės saulės šviesos / šilumos transformavimo elementų ir šilumos siurblio sistemos modeliavimo metodika

Pasirinkus modeliavimo metodiką (žr. **1.2. poskyrį**) aptariami gyvenvietės, naudojančios hibridinę PVT-HP, tyrimo ypatumai. Viena svarbiausių modeliavimo dalių būtų projekto sukūrimas ir tinkamas sistemos parametrų įvedimas (angl. *Input*) programoje „Polysun“. Tai įgyvendinus „Polysun“ geba apskaičiuoti ir gauti rezultatus pasirinktai pastatų aprūpinimo energija sistemai. Kadangi sistemos energetinė schema parenkama standartinė iš programoje siūlomų variantų, dėl šios priežasties sistemą gali tekti koreguoti pagal asmeninius analizės poreikius, o tai nesunkiai galima padaryti panaudojus „Polysun“ programinį paketą. Programa leidžia braižyti energijos tiekimo kontūrus, schemą papildyti įvairiais komponentais arba juos panaikinti, taip pat keisti tų komponentų parametrus. Taigi, tokiu būdu sudaroma PVT-HP schema pastatų grupei, nutolusiai nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklo.

Modeliavimas atliekamas keliems skirtingiems variantams:

1. kai hibridinė sistema energiją praktiškai pilnai ima iš tinklo su minimaliu energijos generavimu, kuris privalomas pagal energinio naudingumo klasę (žr. **2.1. poskyrį**);
2. kai hibridinė sistema yra maksimaliai autonominė, t. y. geba pilnai aprūpinti gyvenvietę energija, o jos perteklių tiekia į tinklą – gyvenvietė tampa visaverčiu gaminančiu vartotoju.

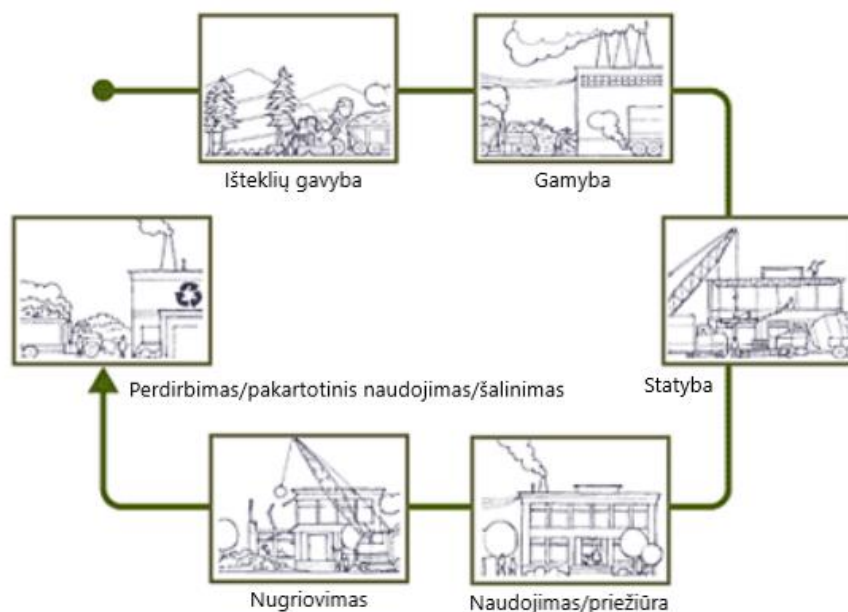
Siekiant sumodeliuoti šiuos skirtingus variantus, iš pradžių sukuriama kelios skirtingos sistemos, kurios vėliau lyginamos. Išsirenkant vieną iš šių sistemų, sukuriama pastarosios sistemos kopijos, tarpusavyje besiskiriančios konkrečiu parametru, pvz., parenkant didesnę akumuliacinę talpą, sumažinant PVT skaičių ir t.t. Tokiu būdu lyginant tą pačią sistemą su skirtingais parametrais yra nustatomi kriterijai, lemiantys maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo atvejus. Šie kriterijai yra taikomi kelioms skirtingoms sistemoms, iš kurių, remiantis gautais rezultatais, yra parenkami maksimalaus autonomiškumo ir visiškos priklausomybės nuo išorinio energijos tiekimo variantai. Viso modeliavimo metu siekiama užtikrinti, kad rezultatai būtų logiški, o sistemos tenkintų minimalius energijos poreikius. Tokiu būdu bus įsitikinta PVT-HP techninėmis galimybėmis aprūpinti gyvenvietę energija.

Galiausiai, gavus optimalius pilno energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo variantus, kitame modeliavimo etape atliekama šių variantų gyvavimo ciklo kaštų bei jautrumo

analizės. Tolesniuose skyreliuose detaliau pateikiama šių etapų metodika, o viso modeliavimo supaprastinta algoritmo schema pateikta 1 priede (žr. **1 priedą**).

2.3.1. Gyvavimo ciklo kaštų analizė

Gyvavimo ciklo kaštų analizė (angl. *Life cycle cost analysis / assessment*, toliau tekste – LCCA) yra populiarus ekonominės analizės metodas, pagal kurį galima nustatyti visas produkto sąnaudas per visą jo veikimo laikotarpį nuo naudojimo pradžios iki jo gyvavimo pabaigos [36]. LCCA taikymas ypač naudingas tuo atveju, kuomet reikia palyginti projekto alternatyvas, kurios turi tuos pačius veikimo reikalavimus, bet skiriasi pradinėmis ir eksploatacinėmis sąnaudomis, siekiant pasirinkti tą, kuris maksimizuoja grynuosius sutaupymus [37]. Taigi, LCCA yra metodika, padedanti priimti sprendimus ir optimizuoti projektavimo procesą, kad būtų galima nustatyti geriausią sprendimą ekonomiškumo požiūriu per visą gyvavimo ciklą [38]. Ši metodika gali būti pritaikyta įvairiose srityse, tačiau kone labiausiai LCCA yra taikoma pastatų (statybos) sektoriuje. Pvz., LCCA gali būti pritaikyta pastato visuminiam vertinimui ir būti integruota į energijos modeliavimą arba siekiant optimizuoti tam tikrą vieno pastato elementą ir paslaugų komponentą [38]. Pastatų gyvavimo ciklas schematiškai pavaizduotas 22 paveiksle:



22 pav. Pastatų gyvavimo ciklo schema [37]

LCCA metodika turi tarptautinius standartus ISO 14040:2006 [39] ir ISO 14044:2006 [40], kuriais remiantis, LCCA metodika atsižvelgia ne tik į ekonominę poveikį, bet ir į galimą veiklos poveikį aplinkai per visą medžiagos gyvavimo laiką. Kitaip tariant, šioje vietoje yra ypač svarbus aplinkosauginis veiksnys.

Remiantis [37], su pastatais (statyba) susiję pagrindiniai kaštai yra šie:

- pradiniai (investiciniai) kaštai: pirkimo, įsigijimo, statybos išlaidos;
- su kuru susiję kaštai;
- eksploataciniai, priežiūros ir remonto kaštai;
- pakeitimo (pvz., sistemos komponentų) kaštai.

Lietuvoje gyvavimo ciklo sąnaudų samprata aprašyta ir reglamentuota Lietuvos Respublikos viešųjų pirkimų įstatyme [41], kuriame nurodoma, jog gyvavimo ciklo sąnaudos apima prekių, paslaugų ar darbų gyvavimo laikotarpiu patiriamas visas išlaidas ar jų dalį, o pagrindinės patiriamos išlaidos būtų šios:

- su įsigijimu susijusios išlaidos, įskaitant kainą;
- naudojimo išlaidos, pvz., energijos ar kitų išteklių suvartojimo išlaidos;
- eksploataavimo išlaidos;
- išlaidos gyvavimo ciklo pabaigoje, pvz., atliekų surinkimo, perdirbimo išlaidos;
- išlaidos, susijusios su prekių, paslaugų ar darbų gyvavimo laikotarpiu sukeliama išoriniais aplinkos veiksniais, jeigu įmanoma nustatyti ir patikrinti tokių išlaidų piniginę vertę (pvz., tokios išlaidos gali būti susijusios su ŠESD ar kitų išmetamųjų teršalų kiekio mažinimu, klimato kaitos mažinimu).

Taigi, šiame darbe LCCA bus atliekama naudojantis „Polysun“ programine įranga, kuri įgalina vartotoją atlikti ne tik techninius, bet ir ekonominius skaičiavimus, programoje įvardijamus kaip pelningumo skaičiavimai (angl. *Profitability calculation*). Priklausomai nuo užsiduotų sąlygų, tokių kaip sistemos veikimo amžius, energijos kainas lemiantys parametrai, sistemos komponentų kainos, subsidijavimas ir t. t., „Polysun“ geba apskaičiuoti investicinius, energijos gamybos bei išlaikymo kaštus, o taip pat tokius parametrus kaip NPV, atsipirkimo laikotarpį bei pelningumą. Kalbant apie NPV, programa rezultatuose pateikia ne tik skaitinę vertę, bet ir NPV kitimo laike grafiką. Vienoje koordinatinių sistemoje galima pasirinkti nebūtinai vienos sistemos rezultatus, bet lyginti kelias sistemas, kas suteikia puikią vizualinio palyginamumo galimybę. Dėl šios priežasties LCCA bus atliekama dviem pagrindiniams sumodeliuotiems variantams: maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo, kaip buvo aptarta anksčiau. Ši analizė leis įvertinti, kuris iš šių variantų yra patrauklesnis ekonominiu požiūriu. Taigi, įvertinus tai, kad „Polysun“ ekonominių rodiklių skaičiavimuose įvertina praktiškai visus sistemos gyvavimo ciklo kaštus, galima teigti, jog šis programinis paketas yra pajėgus atlikti LCCA.

2.3.2. Jautrumo analizė

Galiausiai, gavus pagrindinius šiame darbe išsikeltų uždavinių rezultatus, paskutiniame tyrimo etape yra atliekama jautrumo analizė. Jautrumo analizę galima suvokti kaip poveikio analizę: yra tikrinama, ar kinta ir kaip kinta galutinis sprendimo rezultatas, keičiant pradinius duomenis bei parametrus [42]. Po to gauti rezultatai yra lyginami su fiksuotu sprendimo rezultatu. Tai yra itin svarbu siekiant priimti vienokį ar kitokį sprendimą, nes tokiu būdu galima įvertinti projekto rizikas ir tokiu būdu jų išvengti. Remiantis straipsniu [42], „Pagal jautrumo analizės rezultatus galime nustatyti, kurių modelio parametru tikslumas įvertinimas leistų gerokai sumažinti modelio rezultato neapibrėžtumą, ir kurių parametru tolesnis tikslinimas nėra prasmingas dėl jų mažos įtakos rezultatui“. Taigi, jautrumo analizės tikslas yra identifikuoti ir sumažinti projekto neapibrėžtumą ir „[...] objektyviai spręsti optimalaus lėšų paskirstymo brangiems tyrimams klausimą“ [42]. Jautrumo analizė yra įvardijama kaip bene plačiausiai naudojamu projektų rizikos vertinimo metodu, o dažniausiai naudojami kriterijai yra šie [43]:

- IRR;
- NPV;
- PI.

Atliekant jautrumo analizę, dažniausiai varijuojami (kaitaliojami) šie parametrai [43]:

- fizinė pardavimų ar paslaugų apimtis;
- realizuojamos produkcijos ar paslaugų kainos;
- tiesioginių gamybinių išlaidų dydis;
- pastoviųjų gamybinių išlaidų dydis;
- investicijų suma;
- diskonto norma;
- projekto diegimo laikas;
- infliacijos rodikliai.

Jautrumo analizės pagrindiniai privalumai yra šie [43]:

- objektyvumas;
- teorinis skaidrumas;
- skaičiavimų paprastumas;
- ekonominis matematinis rezultatų natūralumas bei jų aiškinimo akivaizdumas.

Taigi, šio darbo tyrimo metu jautrumo analizė bus atliekama naudojantis „Polysun“ programine įranga, kuri, kaip jau buvo aptarta anksčiau, geba pateikti sumodeliuotų sistemų NPV verčių rezultatus (žr. **2.3.1. skyrelį**). Pačioje programoje bus varijuojami kai kurie iš LCCA parinkti parametrai. Kaitaliojant šiuos parametrus bus iš naujo užduodama užklausa rezultatams, o jautrumo analizės paskutiniame etape bus sudaroma šios analizės suvestinė ir daromos išvados apie modeliuojamų variantų parametrų kitimo įtaką NPV vertei. Atlikus jautrumo analizę paaiškės, kuris modeliuojamas variantas yra mažiau jautrus parametrų kitimui ir, tokiu atveju, patrauklesnis realiam įgyvendinimui.

3. Tyrimo eiga ir rezultatai

3.1. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo sistemų modeliavimas

3.1.1. Modeliavimo pradinių sąlygų apibrėžimas ir kriterijų, nusakančių modeliavimo sąlygas, nustatymas

Visų pirma, nustatoma tiriamos gyvenvietės vieta pagal anksčiau minėtas koordinates: 54.732644, 24.897605. Kitu etapu yra pasirenkama PVT-HP sistema nurodant, kad joje turi būti PVT bei šilumos siurblys, o vartojimą turi apimti elektros energija, buitinis karštas vanduo bei patalpų šildymas. Pasirinkus konkretų PVT-HP sistemos kontūrą, vėliau yra įvedamos pradinės sąlygos ir pasirenkama įranga bei jų parametrai. Įvedami pradiniai parametrai, jų vertės ir pastabos pateikti žemiau esančioje lentelėje:

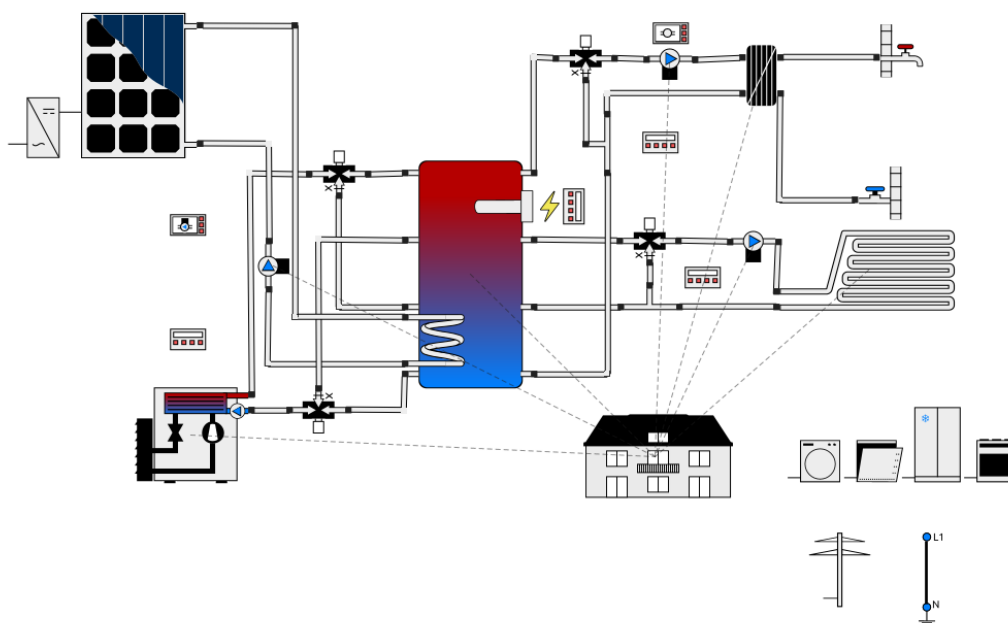
3 lentelė. Pradinių parametrų programoje „Polysun“ įvesties duomenys

Parametras	Vertė	Pastabos
Žmonių viename būste skaičius	3	Priimama, kad būtent tiek žmonių gyvens viename name
Tiekiamo karšto vandens temperatūra, °C	55	Vertė priimta remiantis šaltiniu [44], kuriame teigiama, jog temperatūra turi būti ne mažesnė kaip 50 °C
Buitinio karšto vandens poreikis, litrais	$40 \cdot 3 = 120$	Vertė priimta remiantis šaltiniu [45], kuriame nurodoma, kad vidutiniai žmogaus vandens poreikiai per parą yra 20–40 litrų
Būstų gyventojų išvykos	Kontūras: „Kasmetinės atostogos“	Priimama, kad gyventojai išvyksta atostogauti ir palieka namus du kartus per metus: vasarą (nuo liepos 10 iki 24 d.) bei rudenį (nuo spalio 7 iki 14 d.). Šiais laikotarpiais energijos poreikio nėra
Pastato tipas	„Vienos šeimos, pasyvusis pastatas“	Pasirinkto pastato tipo pagrindiniai parametrai: – Visuminis pastato šilumos perdavimo koeficientas: 0,13 W/(m ² ·K); – Specifinis energijos poreikis šildymui: 15 kWh/m ² . Taip pat nurodyti ir kiti pastato šilumines savybes lemiantys veiksniai, tokie kaip kiekvienos namo pusės sienų ir langų santykiai, oro infiltracija, šilumos gavimai iš žmonių, elektros prietaisų ir t. t.
Duomenys apie pastato gabaritus	Pastato išmatavimai: 13x7,5x2,5 m, aukštų skaičius – 1	–
Pastato patalpų temperatūra, °C	20	Parinkta vertė remiantis [46]
Saulės kolektoriaus posvyrio kampas	55°	Vertė priimta remiantis šaltinyje [47] pateiktomis rekomendacijomis pagal saulės kolektoriaus lokaciją – geografinę ilgumą.
Šildymo būdas	Grindinis šildymas. Tiekama temperatūra: 30 °C, grįžtanti – 25 °C	–
Elektros tinklas	Vienfasis, 230 V 50 Hz	–

Atkreiptinas dėmesys į tai, jog pradinių parametrų įvesties fazėje programa „Polysun“ reikalauja nurodyti ne tik tam tikrų parametrų vertes (žr. **3 lent.**), bet ir pasirinkti sistemos įrangą, t. y. saulės kolektorius, akumuliacinę talpą, šilumos siurblių. Pradinėje modeliavimo fazėje pasirenkami orientaciniai produktai su pačio programinio paketo siūlomais parametrais, tačiau jie bus tikslinami vėlesniame modeliavimo etape. Verta paminėti tai, jog programinis paketas „Polysun“ įgalina rinktis konkrečių gamintojų įrangą. Dėl šios priežasties, parenkant PVT renkama iš gamintojo „DualSun“, šilumos siurblių – iš „Viessmann“, akumuliacinę talpą – iš „Stiebel Eltron“ gaminių.

Paskutiniame parametrų įvesties lange galima parinkti elektros energijos vartojimo profilių skaičių bei metinį vieno profilio elektros suvartojimą kilovatvalandėmis. Tai yra ganėtinai sunku numatyti tiksliai, kadangi viskas priklauso nuo vartotojų pasirinktų buitinių prietaisų bei jų naudojimo ypatumų. Viename iš šaltinių teigiama, kad Jungtinėje Karalystėje vidutinis būstas suvartoja apie 3700 kWh elektros energijos [48]. Įvertinus tai, kad šiame tyrime analizuojamas A++ pastatas, reikia būtinai numatyti papildomą elektros energijos suvartojimą kondicionieriams ar kitai vėsinimo įrangai. Dėl šios priežasties minėta elektros energijos suvartojimo vertė modeliuojamiems būstams padidinama ir priimama 4000 kWh.

Parinkus visus pradinius duomenis programa „Polysun“ darbiname lange atidaro pasirinktą sistemos schemą. Kaip jau buvo minėta anksčiau, modeliavimo metu bus lyginamos dvi sistemos. Variantas Nr. 1, programoje įvardijamas kaip „55a“, pavaizduotas 23 paveiksle:

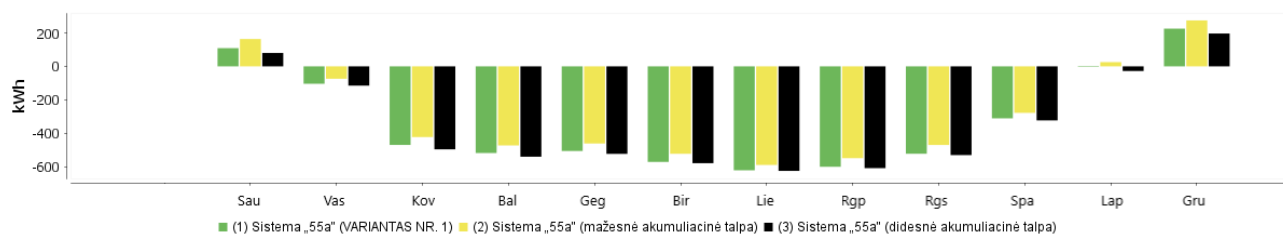


23 pav. Variantas Nr. 1, sistema „55a“

Kaip matyti iš iliustracijos (žr. **23 pav.**), pirmoji sistema pasižymi tuo, jog PVT nėra tiesiogiai prijungta prie šilumos siurblio, veikia nepriklausomai ir atskiru kontūru tiekia šilumą akumuliacinei talpai. Šiame kontūre naudojamas šilumos siurblys oras-vanduo. Iš akumuliacinės talpos tiekama šiluma patalpų šildymui į grindinio šildymo sistemą, o taip pat atskiru kontūru tiekiamas buitinis karštas vanduo. Sklandų sistemos veikimą užtikrina į ją įvesti regulatoriai, kurie automatiniu būdu valdo įvairius sistemos parametrus.

Tam, kad būtų galima sumodeliuoti maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo atvejus, svarbu suvokti programinio paketo „Polysun“ esminius veikimo principus, kurie vėliau leis nustatyti minėtiems dvejiems variantams būdingus kriterijus. Šių kriterijų nustatymui naudojame „55a“ sistemą (žr. **23 pav.**). Sudarome kelias šios sistemos kopijas, iš kurių kiekviena pasižymi kažkuria viena besiskiriančia komponente. Tarkime, vienai kopijai parenkame minimalius poreikius tenkinantį PVT kiekį, t. y. PVT plotą sumažiname iki minimumo, o kitus parametrus paliekame tokius pačius. Kitai kopijai parenkame didesnę už esamą akumuliacinę talpą, tačiau renkant iš to paties gamintojo produktų. Dar kitai, priešingai – parenkama mažesnė akumuliacinė talpa. Tas pats padaroma ir su šilumos siurbliais: vienai kopijai parenkamas minimalius poreikius tenkinantis šilumos siurblys, kitai – kur kas didesnis ir galingesnis.

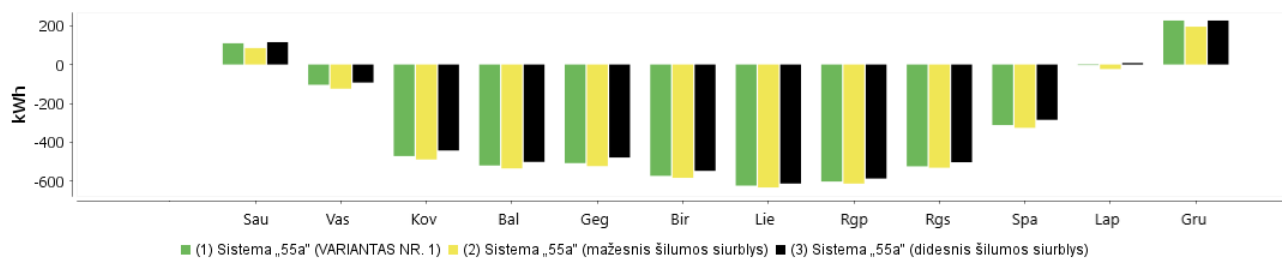
Anksčiau aprašytas kopijas, kaip ir bet kokias kitas sistemas galima nesunkiai lyginti ir gauti įvairius rezultatus naudojant programą „Polysun“. Vienas svarbiausių lyginamųjų veiksnių yra „Polysun“ rezultatų lange pateikiamas dydis, parodantis sistemos elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansą. Be abejo, rezultatų lange taip pat galima matyti, kiek sistema tiekia į tinklą ir kiek iš jo vartoja elektros energijos (kilovatvalandėmis), tačiau vien šių verčių lyginimas neparodo tikrojo autonomiškumo ar maksimalios priklausomybės nuo elektros tinklo lygio, kadangi daugumoje atvejų kelios sistemos tiekia praktiškai vienodą kiekį į tinklą, bet dėl skirtingų parametrų įtakos iš tinklo paima skirtingus kiekius elektros energijos. Vienas iš šių atvejų yra lyginant sistemos „55a“ kopijas su mažesne ir didesne akumuliacine talpa. Minėtojo balanso rezultatų diagrama pateikiama 24 paveiksle:



24 pav. Elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis), naudojant skirtingas akumuliacines talpas „55a“ sistemai

Kaip matyti iš diagramoje pateiktų rezultatų (žr. **24 pav.**), matome, kad vertės yra neigiamos (išskyrus sausio ir gruodžio mėn.). Neigiama vertė rodo, jog analizuojamos sistemos elektros energijos tiekimas viršija energijos vartojimą. Kitaip tariant, sistema pagamina daugiau elektros energijos ir jos tiekia į tinklą, negu jos reikia paimti iš tinklo. Tai paaiškinama tuo, jog programa „Polysun“ šį parametą apskaičiuoja elektros energijos vartojimą iš tinklo atimdama iš gamybos ir pertekliaus padavimo į tinklą (kilovatvalandėmis). Kuo vertė turi didesnę neigiamą vertę, tuo sistema yra autonomiškesnė elektros energijos atžvilgiu. Taigi, analizuojant akumuliacinės talpos dydžio įtaką sistemos autonomiškumui matyti, kad didesnė akumuliacinė talpa (1000 litrų) užtikrina didesnę elektros energijos tiekimą į tinklą, lyginant su mažesne talpa (500 litrų) (žr. **24 pav.**).

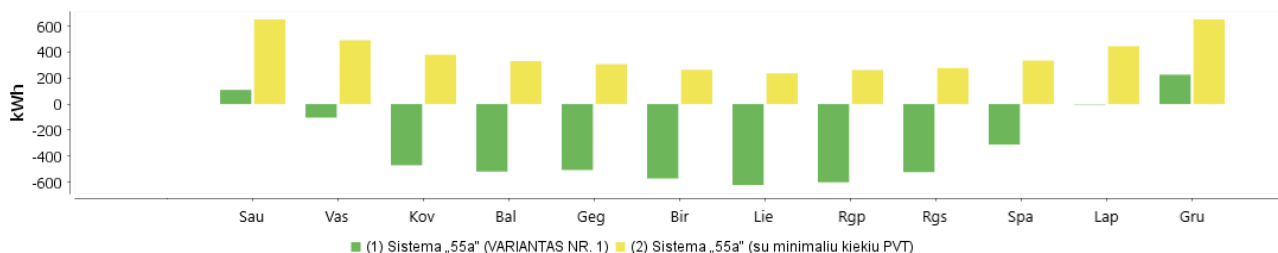
Tiriant tai, kokią įtaką šilumos siurblio dydis (galingumas) turi elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansui, galima įsitikinti pažvelgus į 25 paveikslą:



25 pav. Elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis), naudojant skirtingo galingumo šilumos siurblius „55a“ sistemai

Remiantis gautais rezultatais (žr. **25 pav.**) galima pastebėti tai, kad elektros energijos balanso vertės mažai skiriasi nuo skirtingų akumuliacinių talpų diagramos (žr. **24 pav.**). Taip pat matyti, jog mažesnio galingumo šilumos siurblys priartina nagrinėjamą sistemą prie mažesnės dalies elektros vartojimo iš tinklo, tokiu būdu ją paversdamas autonomiškesniu variantu. Tai gali būti siejama su tuo, jog mažesnio galingumo šilumos siurblys savo veikimo poreikiams suvartoja mažiau elektros energijos.

Galiausiai, dar vienas kintamas veiksnys maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo atvejų nustatymui yra PVT kiekis. „55a“ sistemos baziniam atvejui parinktas PVT kiekis yra 20 vnt., o siekiant minimizuoti PVT skaičių, šis yra sumažinamas iki 2 vnt. Šiuo atveju elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balanso vertės pavaizduotos 26 paveiksle:



26 pav. Elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis), naudojant skirtingą kiekį PVT „55a“ sistemai

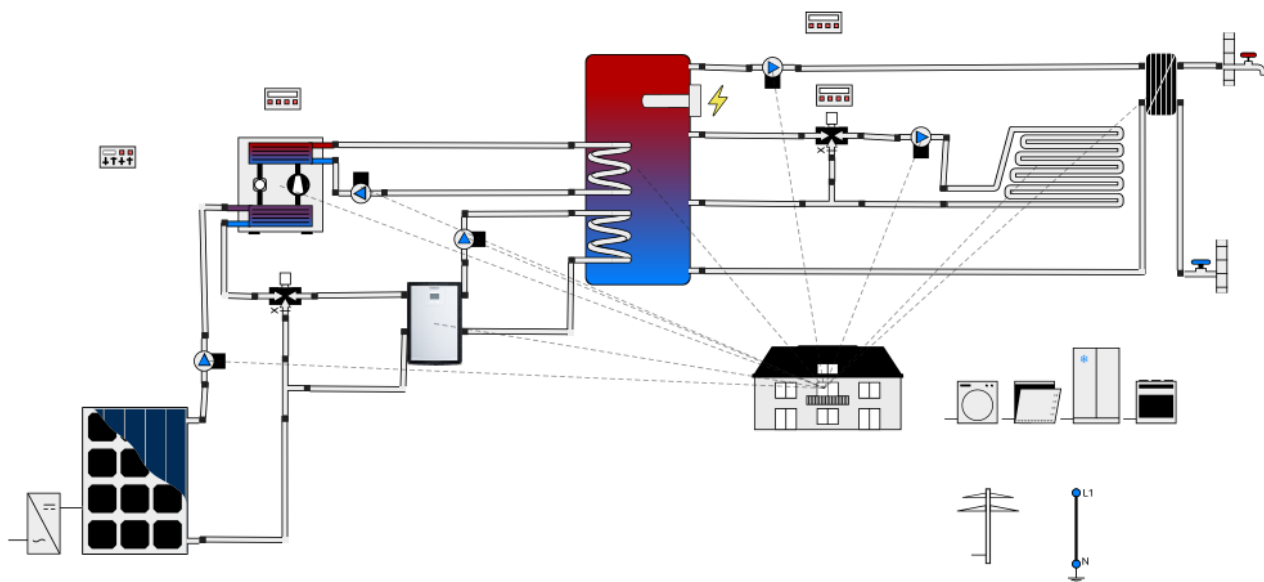
Kaip matyti iš diagramoje pateiktų duomenų (žr. **26 pav.**), minimalus PVT kiekis iš tiesų sumažina analizuojamos sistemos autonomiškumą iki minimumo ir priverčia didesnius elektros energijos kiekius imti iš tinklo. Apie tai byloja teigiamos diagramos vertės, kurios parodo, kad elektros energijos tiekimas į tinklą viršiją vartojimą iš tinklo.

Taigi, apibendrinant galima įvardyti tris pagrindinius kriterijus, nusakančius maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo atvejus:

- didesnė akumuliacinė talpa užtikrina didesnę elektros energijos tiekimą į tinklą, taip padarydama sistemą autonomiškesne (nekeičiant kitų parametru);
- mažesnio galingumo šilumos siurblys sumažina elektros energijos vartojimą iš tinklo ir tokiu būdu priartina sistemą prie autonomiškesnio varianto (nekeičiant kitų parametru);
- minimalius poreikius tenkinantis PVT kiekis sumažina sistemos autonomiškumą iki minimumo ir yra pagrindinis veiksnys, turintis įtakos elektros energijos balansui.

Nustatant maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo atvejus buvo remtasi tik elektros energijos balansu. Šioje vietoje būtų galima įvertinti ir įtaką šiluminiams sistemų parametrams, tačiau vertinant gaunamus rezultatus matyti, jog bendras suvartojamas šilumos kiekis praktiškai nesikeičia, o kinta tik šilumos šaltinių įtaka bendrame šilumos balanse. Pvz., padidinus šilumos siurblio galią, pastarojo įtaka šilumos balanse padidėja, o PVT sumažėja, tačiau bendras pagaminamos šilumos kiekis, būtinas patenkinti vartotojų poreikius, išlieka toks pats. Dėl šios priežasties, analizuojant sistemų autonomiškumą ir priklausomybę nuo tinklo, analizuojamas tik elektros energijos balansas.

Pagal anksčiau pateiktus kriterijus bei pradinius parametrus (žr. **3 lent.**) yra sumodeliuojamos kelios skirtingos pastatų aprūpinimo energija sistemos, iš kurių yra sugeneruojami maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo variantai. Viena iš analizuojamų sistemų jau buvo pateikta anksčiau (žr. **23 pav.**), kita, pritaikant maksimalaus autonomiškumo kriterijus, pavaizduota 27 paveiksle:



27 pav. Variantas Nr. 2, sistema „Li-Mithra“

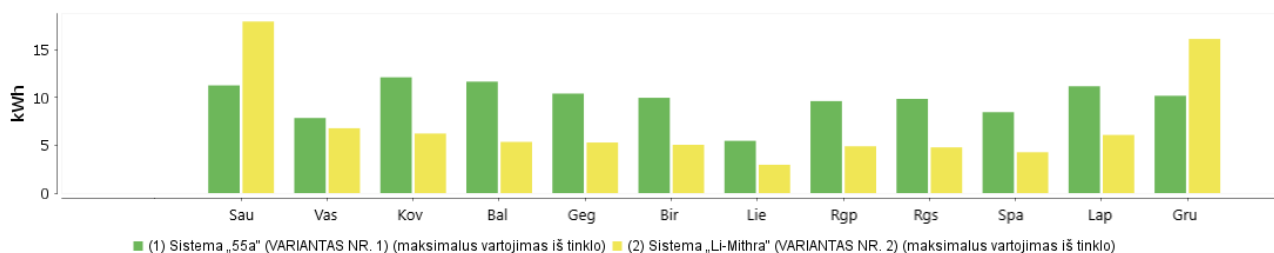
Kaip matyti iš iliustracijos (žr. **27 pav.**), šioje sistemoje įdiegtas vanduo-vanduo šilumos siurblys, kuris yra tiesiogiai prijungtas prie PVT, o tarp akumuliacinės talpos ir PVT yra papildomai įrengtas tarpinis šilumokaitis. Šis pastato aprūpinimo energija kontūras programiniame pakete „Polysun“ pateikiamas kaip gamintojo „Li-Mithra“ ir turi nemažai panašumų su anksčiau aptarta netiesioginio išsiplėtimo PVT-HP schema (žr. **14 pav.**). Kaip ir pirmojo varianto atveju (žr. **23 pav.**), iš akumuliacinės talpos tiekama šiluma patalpų šildymui į grindinio šildymo sistemą, o taip pat atskiru kontūru tiekiamas buitinis karštas vanduo vartotojams.

3.1.2. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo sistemų variantų nustatymas

Nors šio darbo tikslas yra išanalizuoti pastatų grupės, nutolusios nuo centralizuoto šilumos tiekimo tinklo, energijos poreikių tenkinimo galimybes, tačiau siekiant nustatyti maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo variantus, tai bus atliekama vienam pastatui ir jo energijos aprūpinimo kontūrai. Šiam nustatymui bus atsižvelgta ne tik į jau anksčiau aptartą elektros

energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansą, bet ir į taip vadinamą šiluminės energijos deficitą, kuris, remiantis programoje „Polysun“ pateiktu aiškinimu, parodo skirtumą tarp energijos poreikio ir jos efektyvaus suvartojimo (kilovatvalandėmis). Gaunama deficito vertė parodo, kad tam tikrais atvejais sistema neužtikrina nustatytosios pastato patalpų temperatūros. Šiuo atveju savaime suprantama, kad kuo šiluminės energijos deficitas yra didesnis, tuo nagrinėjama sistema yra mažiau autonomiška šiluminės energijos atžvilgiu.

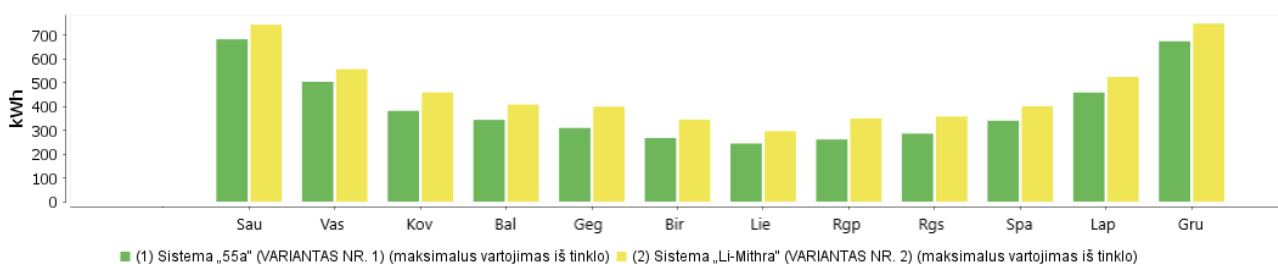
Taigi, visų pirma lyginami sistemų „55a“ (žr. **23 pav.**) ir „Li-Mithra“ (žr. **27 pav.**) sumodeliuoti maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu variantai. Šių variantų šiluminės energijos deficito rezultatų diagrama pateikiama 28 paveiksle:



28 pav. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemų variantų šiluminės energijos deficitas (kilovatvalandėmis)

Iš gautų rezultatų (žr. **28 pav.**) matyti, jog sistema „Li-Mithra“ patiria didesnę šilumos deficitą gruodžio ir sausio mėnesiais, tačiau visu likusiu metų laiku sistema geba geriau užtikrinti nustatytą vidaus patalpų temperatūrą, lyginant su sistema „55a“. Sumoje gaunama, jog pastarosios sistemos šilumos deficitas per metus siekia 118 kWh, o „Li-Mithra“ – 85,8 kWh. Iš esmės šios deficito vertės nėra didelės, tad siekiant nustatyti, kuri sistema mažiau autonomiška, nagrinėjamo parametro vertės turi sąlyginai mažai svarumo. Nepaisant to, remiantis gautais rezultatais galima teigti, jog šiluminiu požiūriu efektyvesnė sistema yra „Li-Mithra“, tačiau verta pabrėžti, kad pastaroji sistema yra labiau pažeidžiama šaltuoju metų laiku, kuomet šilumos poreikis yra didžiausias.

Sumodeliuotų maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu variantų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balanso vertės pateiktos 29 paveiksle:

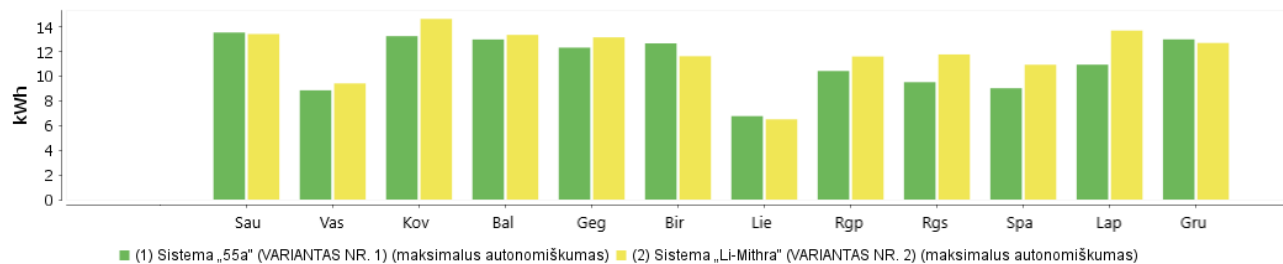


29 pav. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemų variantų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis)

Remiantis gautais rezultatais (žr. **29 pav.**) akivaizdžiai matyti, jog sistema „Li-Mithra“ turi didesnę teigiamą elektros energijos balanso vertę, lyginant su sistema „55a“ ir siekia atitinkamai 5578 ir 4745 kWh. Kaip jau buvo minėta anksčiau, programa „Polysun“ šį balansą apskaičiuoja elektros energijos vartojimą iš tinklo atimdama iš gamybos ir pertekliaus padavimo į tinklą (kilovatvalandėmis). Kuo vertė turi didesnę neigiamą vertę, tuo sistema yra autonomiškesnė elektros energijos atžvilgiu ir

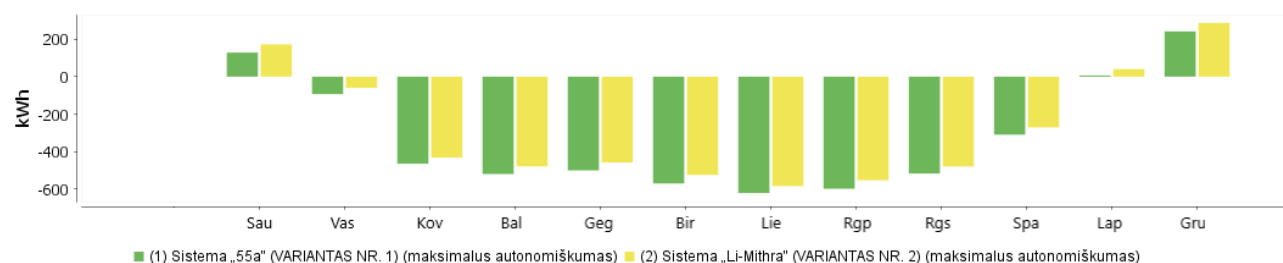
atvirksčiai – kuo sistema turi didesnę teigiamą vertę, tuo sistema yra labiau priklausoma nuo elektros tiekimo tinklo. Taigi, šis parametro vertės parodo, jog sistema „Li-Mithra“ yra labiau priklausoma nuo tinklo, lyginant su sistema „55a“. Taigi, sistema „Li-Mithra“ yra priimama kaip maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu galutinis variantas.

Toliau lyginami sistemų „55a“ (žr. **23 pav.**) ir „Li-Mithra“ (žr. **27 pav.**) sumodeliuoti maksimalaus autonomiškumo variantai. Šių variantų šiluminės energijos deficito rezultatų diagrama pateikiama 30 paveiksle:



30 pav. Maksimalaus autonomiškumo sistemų variantų šiluminės energijos deficitas (kilovatvalandėmis)

Iš rezultatų diagramos (žr. **30 pav.**) matyti, jog abiejų sistemų šilumos deficitas yra labai panašus. Tą rodo ir programinio paketo „Polysun“ rezultatų lange rodomos šio parametro skaitinės vertės: sistemos „55a“ deficitas siekia 133 kWh per metus, o sistemos „Li-Mithra“ – 143 kWh. Be to, galima pastebėti, jog tarpusavio verčių kitimas metų bėgyje yra gana nepastovus. Taigi, šiuo atveju nustatyti, kuri sistema efektyvesnė (ir dėl to autonomiškesnė) šiluminiu požiūriu, praktiškai neįmanoma. Dėl šios priežasties šių sistemų autonomiškumą lemia elektros energijos balanso vertės, kurių rezultatų grafikas lyginamoms sistemoms pateikiamas 31 paveiksle:



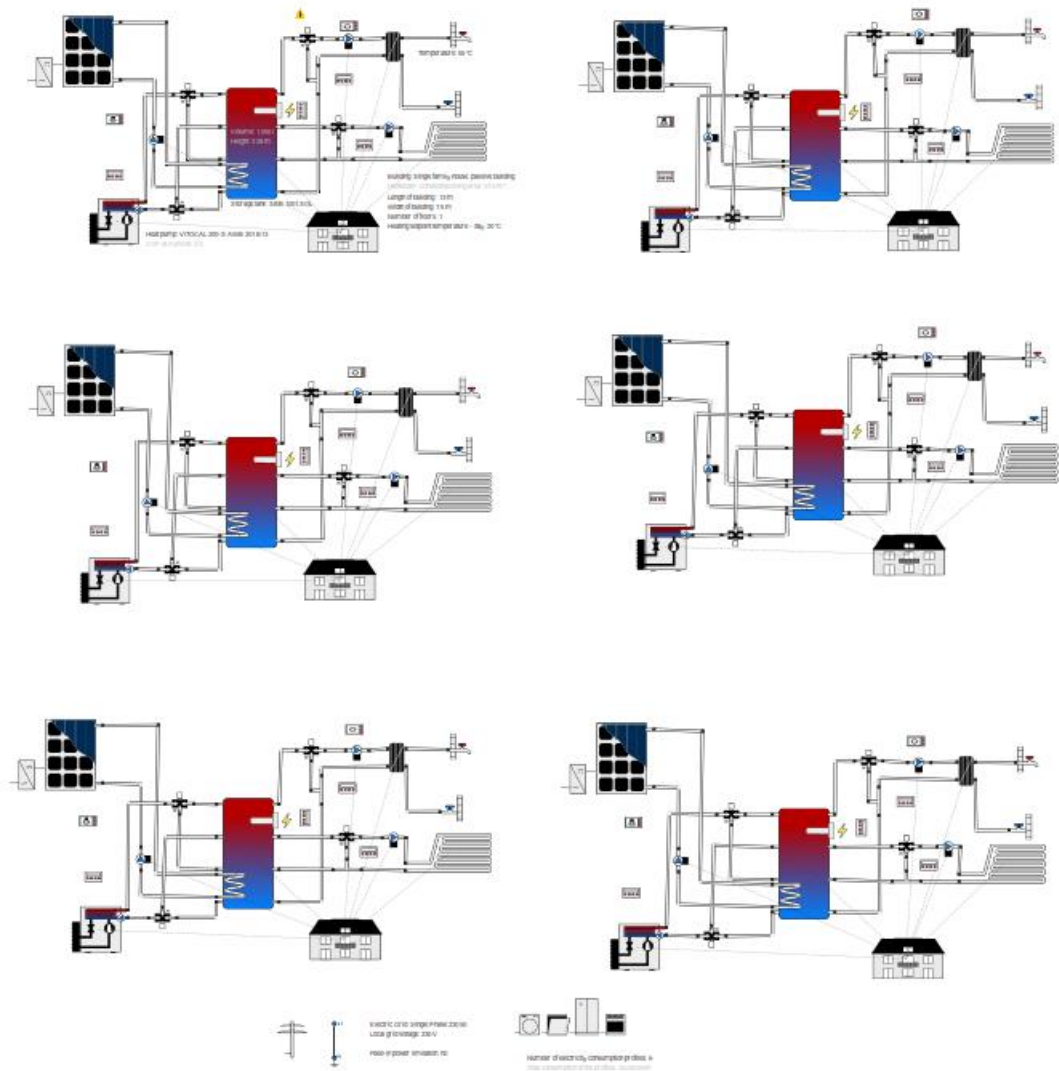
31 pav. Maksimalaus autonomiškumo sistemų variantų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas (kilovatvalandėmis)

Remiantis gautais rezultatais (žr. **31 pav.**) matyti, jog sistema „55a“ per metus turi didesnę neigiamą elektros energijos balanso vertę, lyginant su sistema „Li-Mithra“. Tą rodo ir metinė verčių suma, kurios atitinkamai pasiskirsto sekančiai: –3822 ir –3345 kWh. Abejų sistemų elektros energijos tiekimo į tinklą vertės praktiškai vienodos, tačiau sistema „55a“ suvartoja mažiau elektros, tad ir sąnaudos iš tinklo yra mažesnės (apie 500 kWh). Taigi, šiuo atveju sistema „55a“ priimama kaip maksimalaus autonomiškumo galutinis variantas.

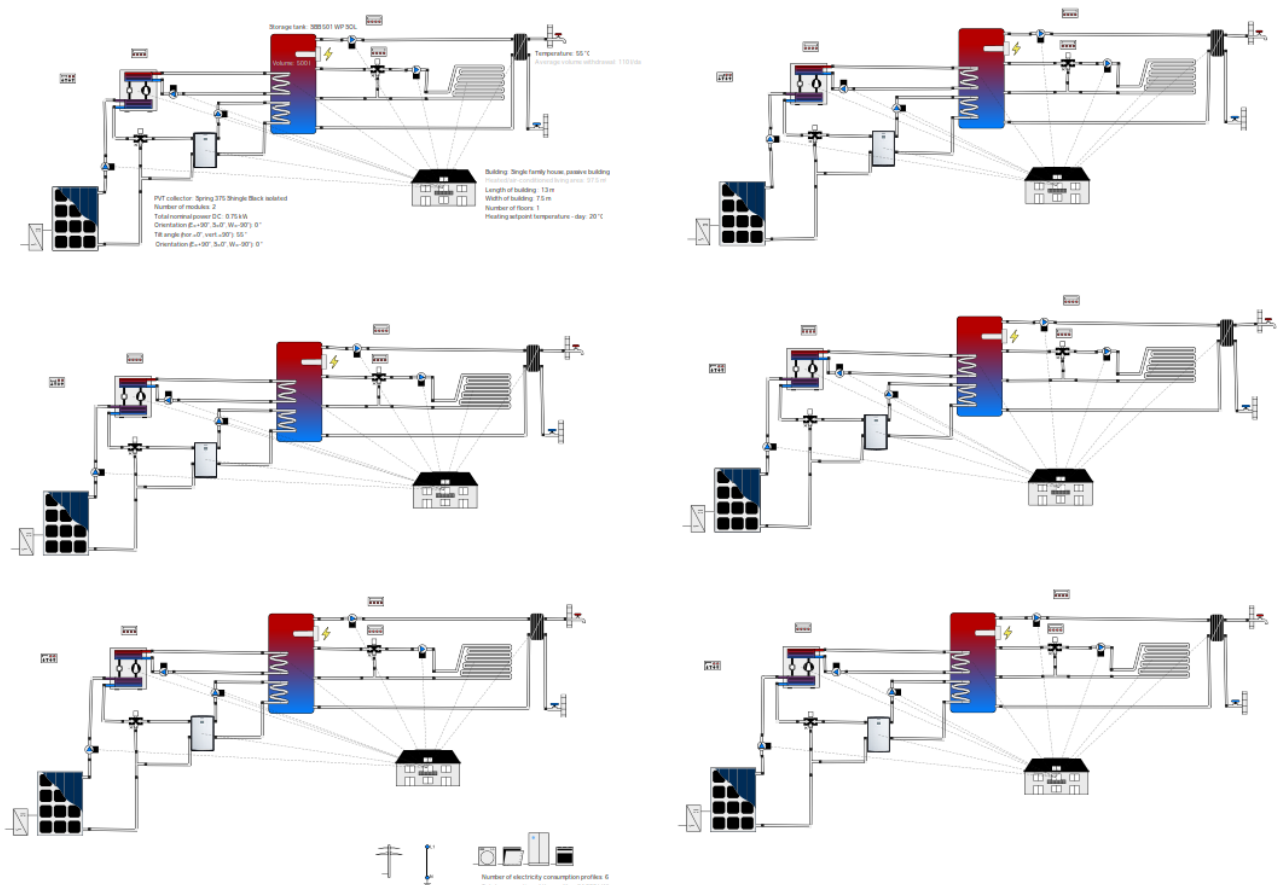
3.2. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo ir maksimalaus autonomiškumo sistemų techninių bei aplinkosauginių parametru palyginamoji analizė

Tolimesniame tyrimo etape, pagal gautus palyginamuosius rodiklius nustatčius galutinius maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus

autonomiškumo variantus, šie yra lyginami siekiant nustatyti, kuri sistema yra optimaliausia techniniu bei aplinkosauginiu aspektais. Prieš tai atliktas sistemų modeliavimas apėmė vieno pastato sistemas (žr. 23 ir 27 pav.), tačiau, kadangi šis tyrimas orientuotas į visos gyvenvietės, kurią sudaro šeši gyvenamieji namai, aprūpinimą energija, dėl šios priežasties programoje „Polysun“ yra papildomai išbraižomos analizuojamų sistemų kopijos. Tokiu būdu gaunamos sistemos, apimančios visą gyvenvietę. Šios sistemos pateikiamos žemiau:



32 pav. Maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“, pritaikyta visai gyvenvietei

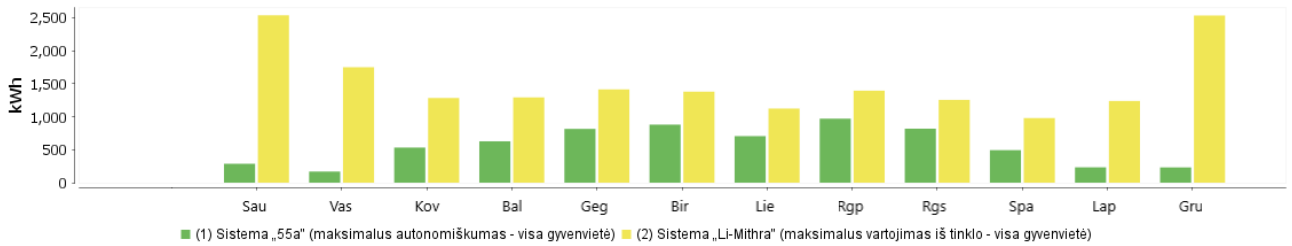


33 pav. Maksimalaus vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“, pritaikyta visai gyvenvietei

Kaip matyti iš sistemų schemų (žr. **32–33 pav.**), priimta, kad kiekvienas gyvenvietės pastatas turi savo nepriklausomą aprūpinimo energija kontūrą, kuriam priklauso tam tikras kiekis PVT, pastato viduje įrengtas šilumos siurblys, akumuliacinė talpa bei kiti šildymo sistemos komponentai. Taip pat kiekvienam kontūrai buvo priskirti baziniam variantui analogiški valdikliai, kurių įvesties ir išvesties signalai priskiriami rankiniu būdu.

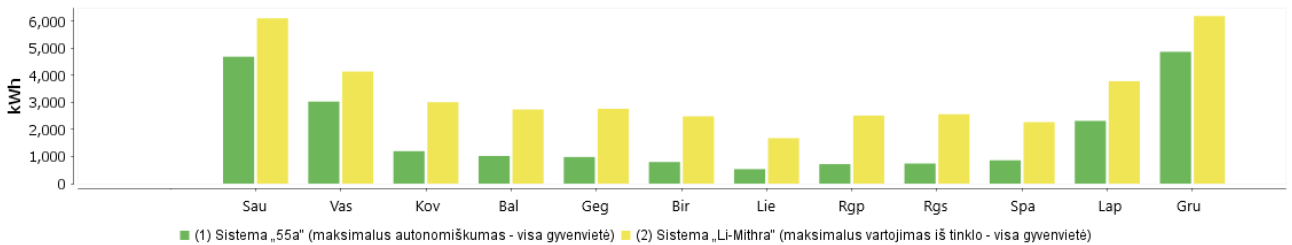
Pilnai sumodeliuotoms gyvenvietės, nutolusios nuo centralizuoto CŠT tinklų, sistemoms (žr. **32–33 pav.**) programiniam paketui „Polysun“ užduodama suformuoti detalią rezultatų ataskaitą. Tokiu būdu itin greitai gaunama virš dvidešimt puslapių suvestinė apie tiriamų sistemų įvairius duomenis: metines elektros bei šilumos energijos vertes, naudingumo koeficientus bei kitus veikimo efektyvumą lemiančius veiksnius, detalizuotus duomenis apie kiekvieną konkretų įrenginį. Taip pat pateikiami kasdienės maksimalios temperatūros ant PVT paviršių grafikai ir netgi energijos srautų diagrama. Be to, ataskaitoje raštiškai patvirtinama, ar sumodeliuota sistema patenkina energijos poreikius (sumodeliuotu atveju abi sistemos šiuos poreikius tenkina).

Sistemų lyginamieji rodikliai iš suformuotų ataskaitų pateikiami 2 ir 3 prieduose (žr. **2–3 priedus**). Iš gautų duomenų gaunami palyginamieji grafikai. Iš pradžių apžvelgiamas šiluminis sistemų potencialas ir balansas. Kaip matyti iš prieduose pateiktų duomenų (žr. **2–3 priedus**), šilumos suvartojimas abejose sistemose praktiškai vienodas (~ 22 000 kWh) su nežymiais skirtumais, kuriuos gali lemti programiniai „Polysun“ ypatumai. Nepaisant to, energijos gamybos įrenginių įtaka bendrame energijos balanse skiriasi. Pvz., šiluminės energijos kiekis, perduotas sistemai iš PVT, pateiktas 34 paveiksle:



34 pav. Šiluminės energijos kiekis, perduotas sistemoms iš PVT per metus (kilovatvalandėmis)

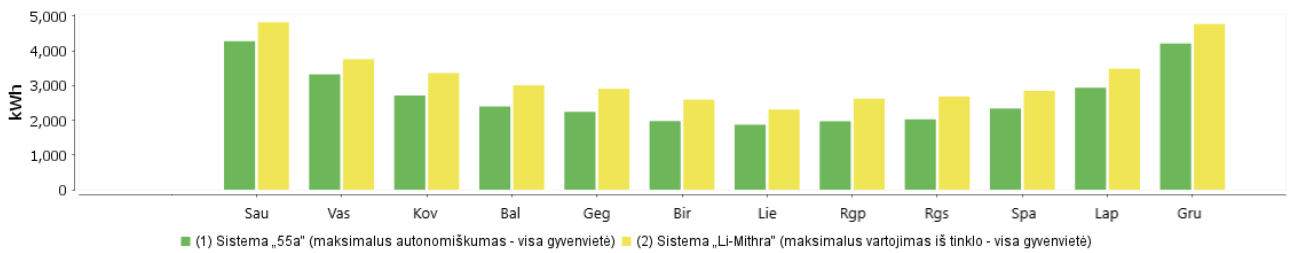
Nors maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“ turi žymiai didesnę kiekį PVT, nei maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistemos „Li-Mithra“ atveju, tačiau matyti (žr. **34 pav.**), jog pastarosios sistemos PVT pagaminamas šiluminės energijos kiekis yra didesnis ir visai gyvenvietei siekia 18 184 kWh, kuomet maksimalaus autonomiškumo atveju ši vertė lygi 6 763 kWh (žr. **2–3 priedus**). Panaši situacija yra ir su šilumos siurbliu, iš kurio gaunamo šiluminės energijos kiekio palyginamoji diagrama pateikiama 35 paveiksle:



35 pav. Šiluminės energijos kiekis, perduotas sistemoms iš šilumos siurblio per metus (kilovatvalandėmis)

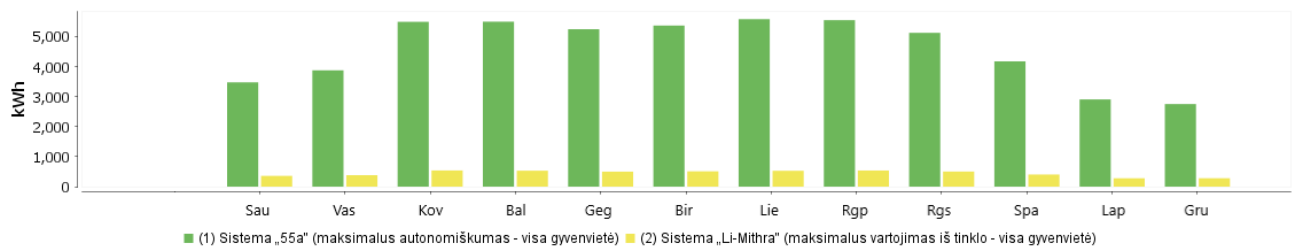
Iš pateiktų duomenų (žr. **35 pav.**) matyti, jog maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistemos atveju šilumos siurblys taip pat pagamina daugiau šilumos per metus (40 225 kWh), lyginant su maksimalaus autonomiškumo sistema (21 751 kWh). Gauti rezultatai sufleruoja tai, jog sistemos „Li-Mithra“ šiluminis potencialas yra kur kas didesnis nei maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“. Be abejo, tai yra logiškai paaiškinama. Pagal anksčiau apspręstus kriterijus (žr. **3.1. poskyrį**) maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistemai parinktas didesnis šilumos siurblys, kuris suvartoja žymiai daugiau elektros energijos, tačiau tuo pačiu gausiai padidėja jo šiluminė galia. Be to, šiai sistemai parinkta mažesnės talpos akumuliacinė talpa, kas reiškia tai, jog reikia sušildyti žymiai mažesnę vandens kiekį, tad šilumos perdavimo laipsnis ženkliai padidėja. Dėl šių svarbių veiksnių tampa aišku, kodėl maksimalios priklausomybės nuo energijos sistema „Li-Mithra“ pagamina daugiau šilumos. Būtų galima daryti prielaidą, jog minėtoji sistema yra autonomiškesnis variantas šiluminiu požiūriu, tačiau reikia nepamiršti, jog tai turi mažai praktinės reikšmės, kadangi, kaip buvo minėta anksčiau, sistema su esama konfigūracija vis vien patenkina šiluminės energijos poreikius. Gauti rezultatai iš esmės parodo tai, jog sistema „Li-Mithra“ turi didesnę energijos kaupimo potencialą, t. y. įrengus didesnę akumuliacinę talpą sistema būtų pajėgi patenkinti šilumos poreikius net ir pasitaikius ekstremalesnėms klimato sąlygoms, o tai yra pakankamai aktualu Lietuvoje.

Kalbant apie su elektros energija susijusius ypatumus, gauti rezultatai atspindi tai, į ką buvo orientuotos sumodeliuotos sistemos. Visų pirma, maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema iš viso suvartoja daugiau elektros energijos. Tai atspindi žemiau pateiktoje diagramoje:



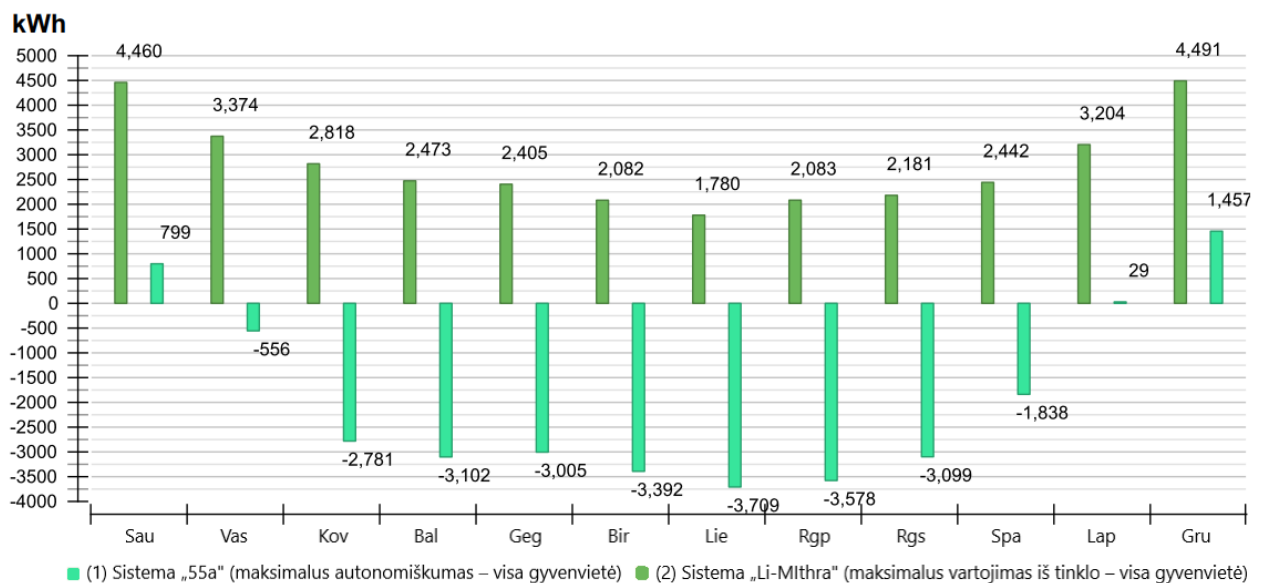
36 pav. Sistemų elektros energijos suvartojimas per metus (kilovatvalandėmis)

Sistema „55a“ per metus suvartoja 32 261 kWh elektros energijos, tuo tarpu „Li-Mithra“ 39 147 kWh. Tai vėlgi gali būti aiškinama tuo, jog pastaroji sistema naudoja galingesnę šilumos siurblių, kuris suvartoja daugiau elektros energijos. Kitas aspektas yra tai, jog dėl žymiai didesnio PVT kiekio maksimalaus autonomiškumo sistema pagamina žymiai daugiau elektros energijos. Tuo galima įsitikinti pažvelgus į 37 paveikslą:



37 pav. Sistemų elektros energijos gamyba iš PVT per metus (kilovatvalandėmis)

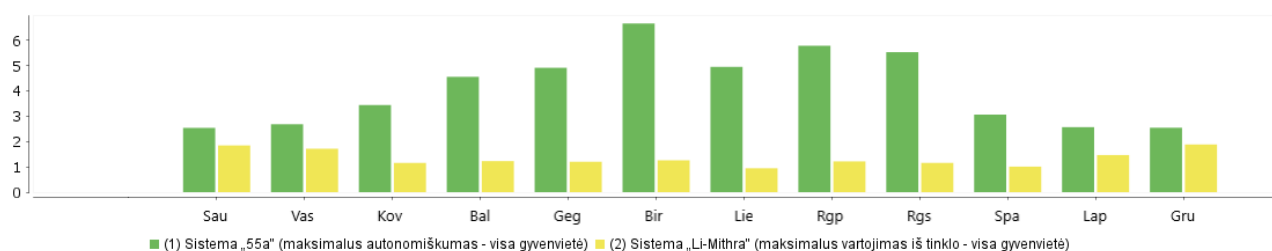
Kaip matyti iš gautų rezultatų (žr. **37 pav.**), rezultatai yra daugiau nei akivaizdūs: maksimalaus autonomiškumo sistema per metus pagamina net 55 035 kWh, kai tuo tarpu maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema pagamina tik 5 354 kWh. Iš pastarųjų rezultatų gaunamas jau anksčiau aptartas rodiklis – elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas. Kad gauti geresnį vizualinį vaizdą detalesniam palyginimui, šio parametro rezultatų diagrama naudojama iš atskiros sistemų palyginimo ataskaitos, kurią taip pat geba suformuoti programa „Polysun“. Šio parametro vertės pateiktos 38 paveiksle:



38 pav. Sistemų elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas per metus (kilovatvalandėmis)

Kaip jau buvo ne kartą minėta, šis parametras (žr. **38 pav.**) apskaičiuojamas elektros energijos vartojimą iš tinklo atimant iš gamybos ir pertekliaus padavimo į tinklą. Taigi, jei gamyba viršija vartojimą, gaunama neigiama vertė. Kaip matyti, maksimalaus autonomiškumo sistema geba ne tik apsirūpinti elektros energija, tačiau šilčiausiais sezono mėnesiais, pvz., liepos mėn. geba į tinklą paduoti net apie 3 700 kWh (žr. **38 pav.**). Šiai sistemai papildomai elektros energijos iš tinklo reikia tik šalčiausiais metų mėnesiais (gruodį bei sausį). Sistema „55a“ per metus į elektros tinklą tiekia 22 774 kWh perteklinės elektros energijos, ką tikrai galima laikyti pakankamai reikšmingu kiekiu tokiai gyvenvietei. Savo ruožtu maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“ į elektros tinklą per metus tiekia tik 154 kWh elektros energijos, o tai yra praktiškai nulinės vertės generacija. Ši sistema yra priversta nuolat naudoti elektros energiją iš tinklo: per metus iš viso suvartojama net 33 793 kWh (žr. **3 priedą**).

Galiausiai, tiriant analizuojamų sistemų elektrinį potencialą, svarbu atsižvelgti į dar vieną veiksni – COP, kurio vertė programoje „Polysun“ pateikiama fotovoltiniam moduliui. COP parodo, kiek yra išgaunama šilumos ar vėsumos energijos iš vieno kilovato įvestos elektros energijos. Pvz., anot gamintojo „Daikin“ tinklapyje pateiktu aiškinimu [49], jei oro kondicionierius išgauna 5 kW šilumą, sunaudodamas 1 kW elektros energijos, jo COP tokiu atveju yra 5,0. Šio parametro rezultatų diagrama pateikiama 39 paveiksle:

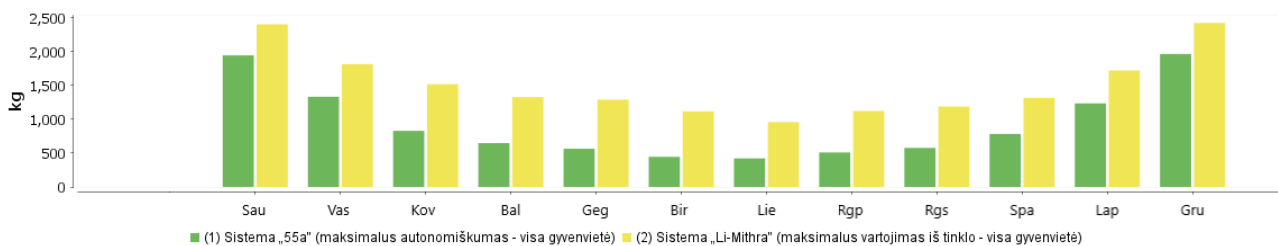


39 pav. Sistemų COP verčių pasiskirstymas per metus

Kaip matyti iš diagramoje pateiktų duomenų (žr. **39 pav.**), maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“ turi kur kas didesnes COP vertes nei sistema „Li-Mithra“: liepos mėn. COP vertė siekia net 6,53, kai tuo tarpu maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema tą patį mėnesį turi 1,25 COP vertę. Atitinkamai vidutinės metinės vertės pasiskirsto sekančiai: 3,06 ir 1,47. Taigi, maksimalaus autonomiškumo sistema pagal šį rodiklį turi ryškų pranašumą – kaip matyti, COP vertė didesnė apie 2 kartus.

Siekiant vizualiai pažvelgti į analizuojamų maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo sistemų energinę situaciją, 5 priede yra pateikiamos rezultatus apibendrinančios energijos srautų diagramos, kurias sugeneruoja programa „Polysun“ (žr. **4 priedą**). Iš gautų diagramų matyti, jog maksimalaus autonomiškumo atveju daugiausiai energijos tiekia PVT, o šilumos siurblys turi mažesnę įtaką bendrame energijos balanse (ir atvirkščiai maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo atveju). Taip pat dar kartą įsitikinama, kad sistema „55a“ didelį energijos kiekį patiekia į tinklą, kai tuo tarpu sistemos „Li-Mithra“ energijos srautų diagramoje šis kiekis yra vos pastebimas. Be to, galima pastebėti ir tai, jog maksimalaus autonomiškumo sistema patiria žymiai mažesnius šiluminius nuostolius (žr. **4 priedą**).

Galiausiai, trumpai apžvelgiamas maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo sistemų aplinkosauginis veiksnys. Apie tai, kiek šios sistemos išmeta anglies dvideginio per metus, byloja žemiau pateikta diagrama:



40 pav. Sistemų CO₂ išmetimai per metus, kilogramais

Kaip matyti iš diagramoje pateikiamų duomenų (žr. **40 pav.**), ir šiuo atveju maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“ pasiekia geresnius rezultatus: per metus išmeta 11 259 kg anglies dioksido, kai tuo tarpu sistema „Li-Mithra“ į aplinką emituoja 18 209 kg. Taigi, renkantis maksimalaus autonomiškumo variantą teršalų kiekis būtų sumažintas iki 6 950 kg (arba 38,2 proc.) per metus.

Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti, jog iš esmės maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“ yra optimaliausias variantas techniniu ir aplinkosauginiu aspektais, tiesa, su tam tikromis išlygomis. Apsirūpinimo elektros energija požiūriu minėtoje sistema yra tikrai pajėgi ne tik patenkinti vartotojų poreikius, bet ir nemažą pagamintos elektros energijos dalį perduoti į tinklą, kas gali atnešti svarias pajamas ir pagreitinti sistemos atsiperkamumą. Taip pat maksimalaus autonomiškumo energijos aprūpinimo kontūras yra efektyvesnis – COP vertės kone dvigubai didesnės. Galiausiai, sistema „55a“, anot gautų rezultatų, yra mažiau tarši (žr. **40 pav.**). Vienintelis privalumas, kurį turi maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo kontūras „Li-Mithra“ yra tas, jog šiluminis potencialas yra tikrai žymus, gebantis užtikrinti vartotojų šilumos poreikius esant vėsesniam orui ar patiriant didelius šilumos nuostolius. Vertinant Lietuvos klimatą, kuris yra nepastovus, šiluminis veiksnys turi svarią įtaką renkantis, kurią sistemą pritaikyti gyvenvietei. Dėl šios priežasties techninės bei aplinkosauginės analizės rezultatų negalima vertinti vienareikšmiškai. Nepaisant to galima teigti, jog PVT-HP techniniai pajėgumai yra pakankami siekiant užtikrinti pastatų energijos poreikius.

3.3. Gyvavimo ciklo kaštų analizės duomenys ir rezultatai

LCCA, kaip ir techninių bei aplinkosauginių parametru analizė, yra atliekama naudojantis programine įranga „Polysun“ toms pačioms analizuojamoms sistemoms: maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu („Li-Mithra“) ir maksimalaus autonomiškumo („55a“). Tik šiuo atveju, siekiant išvengti perteklinės informacijos bei siekiant padidinti gaunamų rezultatų praktinį pritaikomumą bei aiškumą kiekvienam vartotojui, LCCA šioms sistemoms atliekama vienam pastatui. Ekonominiai skaičiavimai atliekami pasirinkus konkrečią sistemą ir komandų lange išskvietus pelningumo skaičiavimų (angl. *Profitability calculation*) langą. Šių skaičiavimų langas susideda iš keturių įvesties sekcijų:

- pradinių modeliavimo sąlygų;
- visų analizuojamos sistemos kaštų, susijusių su įranga, jų gyvavimo laikotarpiu ir nuo to priklausančių pakeičiamumo kaštų. Taip pat įvertinami planavimo bei objekte patiriami kaštai (pvz., sistemos įrengimo kaštai);
- sistemos veikimo ir išlaikymo kaštų bei finansinės paramos (subsidijavimo);
- kitų įvairių sąlygų (angl. *Miscellaneous*), į kurias įeina duomenys apie paskolos ėmimą bei pajamų numatymas už energijos pardavimus.

Pradinės sąlygos, kurios yra vienodos abejoms sistemoms, pateikiamos 4 lentelėje:

4 lentelė. LCCA pradinės sąlygos

Pavadinimas	Vertė	Pastabos
Analizės laikotarpis, metais	30	–
Energijos kainų didėjimas, proc./metus	5	Parametras, kurį numatyti itin sudėtinga. Remiantis įvairiais duomenimis, elektros (kaip ir kitų energijos rūšių) kaina sparčiai kinta dėl sudėtingos geopolitinės padėties pasaulyje. Dėl šios priežasties vertė užsiduota sąlyginai
Technologijų kainų pokytis, proc./metus	3	Vertė užsiduota sąlyginai, įvertinus sudėtingą geopolitinę situaciją
Infliacija, proc./metus	2	Remiantis [50], metinė infliacija Lietuvoje kovo mėn. siekė 15,7 proc. Vertė užsiduota nemaža atsižvelgiant į tai, kad šis dydis vertinamas per metus, t. y. kasmet infliacija padidėtų 2 proc.
Fotovoltainių modulių dėvėjimasis, proc./metus	0,5	Vertė priimta remiantis [51]
Elektros kaina, EUR/kWh	0,146	Užsiduota vertė remiantis [52], priimama vienos laiko zonos tarifas, planas „Namai plus“

Toliau, remiantis įvairiomis internetinėmis svetainėmis, randamos orientacinės sistemų įrenginių kainos ir jų tarnavimo laikotarpis. Verta pabrėžti, kad dėl ribotos darbo apimties nėra galimybės pateikti plataus spektro šaltinių, kuriais remiantis buvo gauti empiriniai tyrimo duomenys. Dėl šios priežasties šie šaltiniai nėra išskiriami ir yra naudojami tik orientaciniams duomenims gauti. Šie duomenys, į kuriuos įeina įrenginių kainos ir gyvavimo laikotarpis, abejoms sistemoms „Polysun“ aplinkoje detalai pateikiami 5 ir 6 prieduose (žr. **5–6 priedus**), tačiau kaip suminė vertė vienoje eilutėje, greta kitų sistemų kaštų ir duomenų, pateikiama 5 lentelėje:

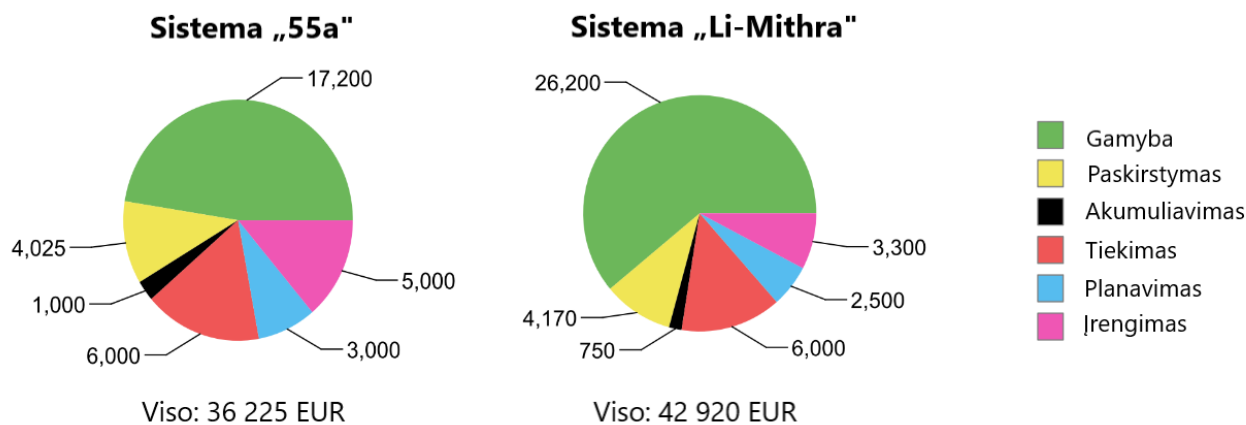
5 lentelė. LCCA analizės įvesties duomenys

Duomenų grupė	Pavadinimas	Vertė		Pastabos
		Maksimalaus Autonomiškumo sistema „55a“	Maksimalaus vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“	
Investiciniai kaštai	Gamybinių įrenginių suminė kaina, EUR	17 200	26 200	Pateikiamos suminės vertės. Detalizuotai pateikta 5–6 prieduose (žr. 5–6 priedus)
	Energijos paskirstymo įrenginių suminė kaina, EUR	4 025	4 170	Pateikiamos suminės vertės. Detalizuotai pateikta 5–6 prieduose (žr. 5–6 priedus)
	Akumuliacinės talpos kaina, EUR	1 000	750	–
	Grindinio šildymo sistemos kaina, EUR	6 000		–
	Planavimo kaštai, EUR	3 000	2 500	Vertės užsiduotos paties darbo autoriaus.
	Sistemos įrengimo kaštai, EUR	5 000	3 300	Vertės užsiduotos remiantis gamintojo „Vilpra“ konsultacijomis

Duomenų grupė	Pavadinimas	Vertė		Pastabos
		Maksimalaus Autonomiškumo sistema „55a“	Maksimalaus vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“	
Išlaikymo kaštai ir subsidijavimas	Įrenginių išlaikymo kaštai, EUR/metus	865,6	1138,4	Vertės apskaičiuotos remiantis tinklapyje [53] pateikta metodika, pritaikant tiesiogiai proporcingą (tiesinį) metodą. Metodikoje teigiama, kad skaičiavimuose naudojama likvidacinė kaina turi neviršyti 10 proc. turto įsigijimo kainos. Dėl to likvidacinė kaina priimta lygi 8 proc.
	Prisijungimo prie elektros tinklų mokestis, EUR/metus	72		Užsiduotos vertės remiantis [52], priimant vienos laiko zonos tarifą, planą „Namai plus“
	Subsidija saulės elektrinei, EUR	2 422,5	323	Vertės apskaičiuotos remiantis tinklapyje [52] pateikta informacija apie paramą saulės elektrinei. Subsidijos suma apskaičiuojama žinant paramos dydį už 1 kW saulės elektrinės įrengtosios galios (323 EUR) bei sumodeliuotos PVT sistemos galią, kW (sistemos „55a“ galia 7,5 kW, sistemos „Li-Mithra“ – 0,75 kW, tačiau skaičiavimui suapvalinta iki 1 kW)
	Subsidija šilumos siurbliui, EUR	1 223	3 416	Vertės parinktos remiantis tinklapyje [52] pateikta informacija apie paramą šilumos siurbliui be integruoto boilerio. Subsidijos suma parenkama pagal faktinę sumodeliuoto šilumos siurblio galią, kW (sistemos „55a“ elektrinė galia 3,21 kW, sistemos „Li-Mithra“ – 30,4 kW)
Paskolos ėmimo sąlygos ir pajamos už energijos pardavimus	Paskolos grąžinimo palūkanų norma, proc.	4,9		Priimta vertė, remiantis tinklapyje [54] pateikta fiksuotos metinės palūkanų normos reikšme
	Paskolos suma, EUR	20 000		–
	Paskolos grąžinimo laikotarpis, metai	10		Programoje „Polysun“ parinktas linijinis paskolos grąžinimo grafikas su fiksuoto dydžio palūkanų norma
	Elektros energijos pardavimai, EUR/metus	695,7	2,61	Vertės apskaičiuotos remiantis tinklapyje [55] pateikta gaminančių vartotojų patiektos į elektros tinklą energijos vidutine svertine kaina balandžio-vasario mėn. laikotarpiui (0,095 EUR/kWh) bei žinant sumodeliuotos sistemos atiduotos į tinklą elektros energijos kiekį, kWh.

Taigi, suvedus anksčiau pateiktus duomenis (žr. 4–5 lent.), naudojantis programine įranga „Polysun“ gaunami abiejų analizuojamų sistemų ekonominiai rezultatai. Programa suteikia galimybę lyginti ekonominius rodiklius, pateikiamus vienoje koordinacių sistemoje, o taip pat kiekvienai sumodeliuotai sistemai geba sudaryti ataskaitą, kurioje atsispindi visi ekonominių skaičiavimų rezultatai.

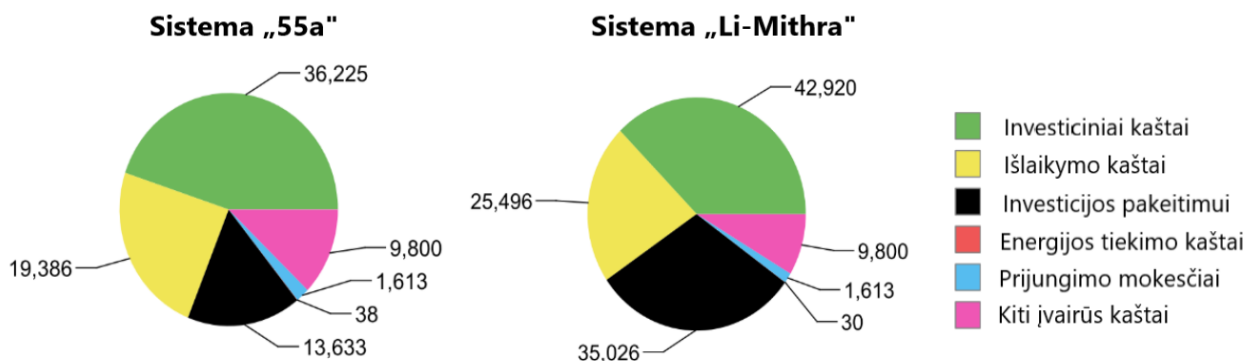
Kadangi šiame darbo etape atliekama LCCA, dėl šios priežasties yra svarbu išnagrinėti tiriamų sistemų kaštų struktūrą. Visų pirma, verta atkreipti dėmesį į investicinius kaštus, kurie pateikti 5 lentelėje (žr. 5 lent.), tačiau dėl geresnio palyginamumo iš „Polysun“ suformuotų ataskaitų papildomai pavaizduoti 41 paveiksle:



41 pav. Sistemų investicinių kaštų struktūra, EUR

Kaip matyti iš iliustracijoje pateiktų duomenų (žr. 41 pav.), abiejų sistemų energijos gamybinių įrenginių (PVT ir šilumos siurblių) kaštai yra didžiausi. Sistemos „Li-Mithra“, kuri yra maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu variantas, gamybinės įrangos kaštai sudaro daugiau nei pusę savo investicinių kaštų ir netgi viršija maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“ šių kaštų dalį. Be abejo, tai yra susiję su šiame darbe nustatytu vienu iš modeliavimo kriterijų, kuris teigia, kad mažesnio galingumo šilumos siurblys sumažina elektros energijos vartojimą iš tinklo ir tokiu būdu priartina sistemą prie autonomiškesnio varianto (ir atvirkščiai). Remiantis šiuo kriterijumi sistemai „Li-Mithra“ buvo parinktas itin galingas ir brangus šilumos siurblys, kurio orientacinė kaina priimta apie 25 000 EUR (žr. 6 priedą). Tačiau maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“ paskirstymo, šilumos akumuliacijos (kaupimo), planavimo ir įrengimo kaštai yra didesni už sistemos „Li-Mithra“, kadangi sistema yra sudėtingesnė, įrengiama didesnė akumuliacinė talpa, o dėl sistemos kompleksiško natūralu, jog projektavimo ir instaliacijos kaštai taip pat turi būti didesni. Nepaisant to, matyti, jog dėl itin brangaus šilumos siurblio investicinių kaštų suma yra didesnė maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo „Li-Mithra“ atveju.

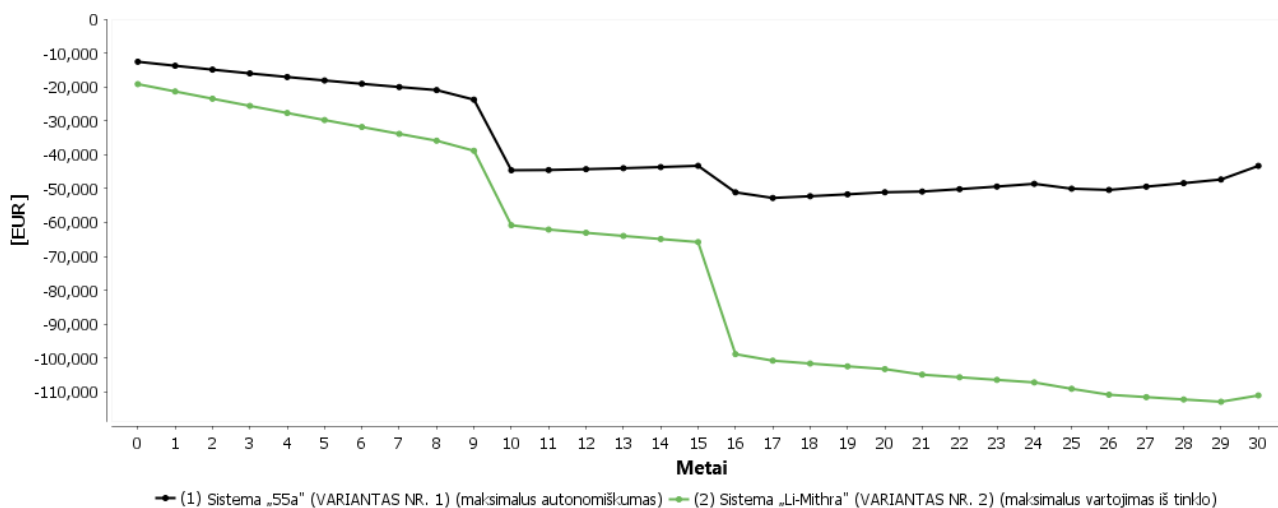
Tokiu pačiu principu „Polysun“ suformuotose ataskaitose pateikia ir sistemų energijos gamybos kaštų struktūrą per visą analizuojamą laikotarpį, t. y. šiuo atveju 30 metų. Ši kaštų struktūra pavaizduota 42 paveiksle:



42 pav. Sistemų energijos gamybos kaštų struktūra, EUR

Iš pateiktų duomenų (žr. 42 pav.) matyti, jog maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“ pasižymi ne tik didesniais investiciniais kaštais, bet ir sistemos išlaidymas ir įrangos atnaujinimas taip pat yra brangesnis. Vėlgi, tai yra susiję su jau aptartu sistemai parinktu galingu šilumos siurbliu, kurio gyvavimo laikotarpis priimtas apie 15 metų [56]. Vadinasi, po šio laikotarpio šilumos siurblių reikia keisti nauju, o kadangi šis įrenginys yra itin brangus, tad ir investicijos pakeitimui bei įrangos išlaidymo ir priežiūros kaštai yra dideli. Pvz., investicijos pakeitimui sistemos „Li-Mithra“ atveju yra apie 2,57 karto didesnės, lyginant su maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“. Skirtumas yra tikrai akivaizdus ir galima daryti prielaidą, jog vien dėl brangaus šilumos siurblio sistema „Li-Mithra“ yra brangesnė. Į kitų įvairių kaštų dalį (žr. 42 pav.) įeina paskolos gražinimo kaštai – palūkanos. Abėjoms sistemoms taikytos tos pačios paskolos ėmimo sąlygos (žr. 5 lent.), todėl palūkanų vertė šioms sistemoms yra vienoda ir lygi 9 800 EUR (žr. 42 pav.).

Galiausiai, verta apžvelgti analizuojamų sistemų ekonominio efektyvumo parametrus. Sistemų gyvavimo ciklo NPV palyginamasis grafikas pateikiamas 43 paveiksle:



43 pav. Sistemų NPV grafikas

Kaip matyti iš pateikto grafiko (žr. 43 pav.), abiem atvejais NPV per analizuojamą laikotarpį nepasiekia teigiamos vertės. Sistemos „55a“ galutinė NPV vertė siekia –43 300 EUR, o sistemos „Li-Mithra“ – –111 019 EUR. Tiesa, galima pastebėti tai, jog maksimalaus autonomiškumo atveju NPV vertė ties 17-ais metais po truputį pradeda kilti į viršų. Tam įtakos turi daugybė veiksnių. Pvz., atlikti pagrindinių (brangiausių) įrenginių pakeitimo darbai, o pajamos už elektros energijos tiekimą į tinklą

pradedą didėti dėl užsiduoto energijos kainų didėjimo kasmet 5 proc. (žr. **4 lent.**). Nepaisant to, abiejų sistemų NPV < 0, kas reiškia, jog abu investiciniai projektai yra nepriimtini. Atsipirkimo laikotarpio nėra, o gautos neigiamos IRR vertės iš esmės neturi prasmės, kadangi pajamos yra mažesnės už išlaidas. Taip pat programoje „Polysun“ yra apskaičiuojami sistemų LCOE. Šio rodiklio vertė sistemos „55a“ atveju yra lygi 0,22 EUR/kWh, o sistemos „Li-Mithra“ – 0,85 EUR/kWh. Kaip matyti, šie kaštai, tenkantys vienai pagamintos elektros energijos kilovatvalandei, yra didesni maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo atveju. Kitaip tariant, elektros kaina šiai sistemai turėtų būti žymiai didesnė, kad investicija atsipirktų.

Taigi, atlikus gyvavimo ciklo kaštų ekonominę analizę galima teigti, jog maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“ yra patrauklesnė ekonominiu požiūriu, lyginant su maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistema „Li-Mithra“, tačiau abi sistemos yra neatsiperkančios ir nepatrauklios investicijoms į jas. Abiejų sistemų įranga yra brangi, o pagamintos elektros pardavimai yra per menki, kad padengtų investicijas ir kaštus. Ši situacija iš esmės pasikeistų, jei būtų įvestos tam tikrų veiksmų korekcijos. Vienas iš veiksmų, galinčių privesti PVT-HP prie ekonominio patrauklumo, būtų didesnė parama šioms technologijoms nacionaliniu ar savivaldybiniu mastu, nei egzistuoja šiuo metu Lietuvoje. Čia galima remtis užsienyje egzistuojančiais paramos mechanizmu pavyzdžiais. Pvz., Didžiojoje Britanijoje yra galimybė vartotojams gauti 0 proc. PVM lengvatą saulės moduliams ar jų įrengimui, o taip pat ir šilumos siurbliams [57]. Taip pat galima gauti užmokestį ne tik už pagamintos perteklinės elektros energijos padavimą į tinklą, bet ir naudojantis supirkimo tarifu gauti priemoną už kiekvieną pagamintos elektros energijos vienetą [57]. Be to, reikia nepamiršti ir ekogyvenciečių koncepcijos vystymo, kurios tiesiogiai prisideda prie gyvenenciečių autonomiškumo didėjimo. Pvz., Australijoje vienam iš ekokaimų buvo skirta 190 tūkst. USD iš Australijos atsinaujinančios energetikos agentūros (angl. – ARENA) siekiant palaikyti bendruomenei priklausančius energijos tinklus [58]. Tai tik keli iš daugybės pavyzdžių, parodančių, kad vyriausybių įtaka yra itin aktuali siekiant didinti gyvenenciečių autonomiškumą ir skatinant naujausias energijos aprūpinimo technologijas. Taigi, skyrus daugiau lengvatų brangiai įrangai, įgyvendinus daugiau paramos iniciatyvų bei sukūrus dar efektyvesnius finansavimo mechanizmus būtų galima pasiekti didesnę PVT-HP ekonominę efektyvumą.

3.4. Jautrumo analizės rezultatai

Paskutiniame šio darbo etape yra atliekama jautrumo analizė siekiant nustatyti, kuri iš tiriamų sistemų ekonominiu požiūriu yra rizikingesnė. Tiesa, galima pastebėti tai, jog atliekama jautrumo analizė iš esmės turi nedaug praktinės reikšmės, kadangi analizuojamų aprūpinimo energija sistemų NPV vertės gautos neigiamos (žr. **43 pav.**). Jautrumo analizė yra orientuota į projekto rizikų identifikavimą ir jų valdymą, tačiau pagal gautus rezultatus matyti, kad tos rizikos jau pasitvirtino ir vertinant ekonominio efektyvumo rodiklius, projektai yra nepriimtini. Nepaisant to, jautrumo analizę šiuo atveju galima panaudoti kaip priemonę siekiant įsitikinti, ar įmanoma keičiant tam tikrus parametrus gauti teigiamą projekto vertę.

Kaip jau buvo minėta anksčiau, ši analizė bus atliekama NPV vertei, kuriai daro įtaką modeliavime taikyti parametrai ir jų kitimas. Varijuojami parametrai jautrumo analizei atlikti yra parenkami iš atliktos LCCA ir būtų šie (žr. **4–5 lent.**):

- Energijos kainų didėjimas, proc./metus;
- Technologijų kainų pokytis, proc./metus;
- Infliacija, proc./metus;

- Įrenginių išlaikymo kaštai, EUR/metus;
- Elektros energijos pardavimai, EUR/metus.

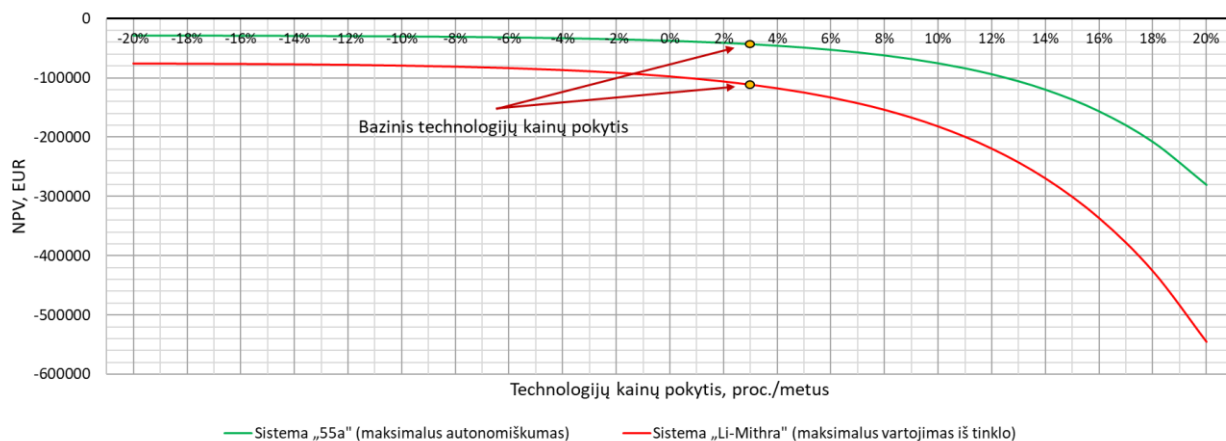
Varijuojant anksčiau pateiktus parametrus gaunamos vis naujos NPV vertės, kurios yra apskaičiuojamos ir pagal šias vertes sudaromi NPV pokyčių grafikai „Excel“ programoje. Skaičiavimų lango vaizdas pateiktas 8 priede (žr. **7 priedą**), o pagal šiuos skaičiavimus sudaryti grafikai pateikiami žemiau esančiuose paveiksluose. Verta paminėti, kad grafikuose papildomam informatyvumui yra sužymėtos bazinės parametrų vertės, t. y. tos, kurios taikytos originalaus modeliavimo metu. Tokiu būdu galima palyginti sumodeliuotus variantus su jautrumo analizės metu gautomis vertėmis. Taigi, iš pradžių pateikiamas NPV priklausomybės nuo energijos kainų didėjimo grafikas abejoms sistemoms:



44 pav. NPV priklausomybės nuo energijos kainų didėjimo grafikas

Kaip matyti iš pateikto grafiko (žr. **44 pav.**), energijos kainų didėjimas turi ryškų poveikį maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“ NPV vertei. Galima pastebėti tai, jog energijos kainoms kasmet padidėjus 9,5 proc., pastarosios sistemos NPV taptų teigiamas ir projektas taptų ekonomiškai priimtinas. Deja, to negalima pasakyti apie maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo atvejį, kuomet NPV vertė nesikeičia keičiantis energijos kainų didėjimo procentui. Be abejo, tai yra tiesiogiai susiję su sistemų elektros tiekimu į tinklą ir pajamomis už pardavimus. Kadangi sistema „Li-Mithra“ praktiškai netiekia elektros energijos į tinklą, tad nėra ir pardavimų, o nesant jų energijos kainų didėjimas tampa nereikšmingas, įtakos neturintis veiksnys. Šio parametro įtakos NPV vertei vertinime nebuvo analizuojamas neigiamas kainų didėjimas (kainų mažėjimas) įvertinus dabartinės energijos kainų tendencijas, kurios rodo, jog ateityje kainos tik didės.

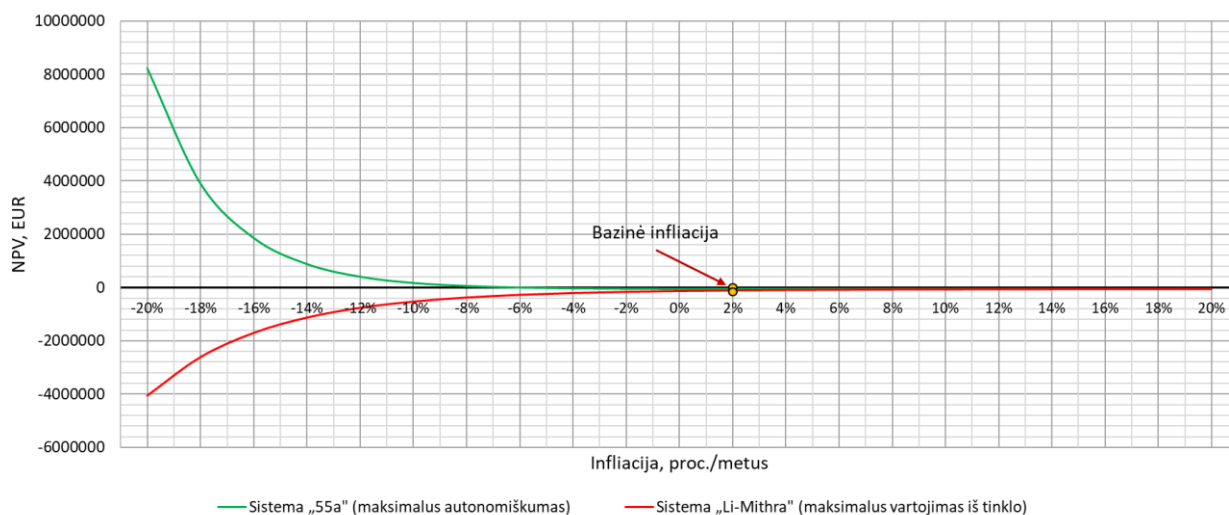
NPV priklausomybės nuo technologijų kainų pokyčių grafikas abejoms sistemoms pateiktas 45 paveiksle:



45 pav. NPV priklausomybės nuo technologijų kainų pokyčių grafikas

Iš grafike (žr. 45 pav.) pateiktų rezultatų matyti, jog net ir esant neigiamam technologijų kainų pokyčiui (o tai yra lygu technologijų pigimui), abiejų sistemų NPV yra neigiamas, o kasmetiniam pabrangimui pasiekus 4 proc. NPV vertės pradeda itin stipriai mažėti.

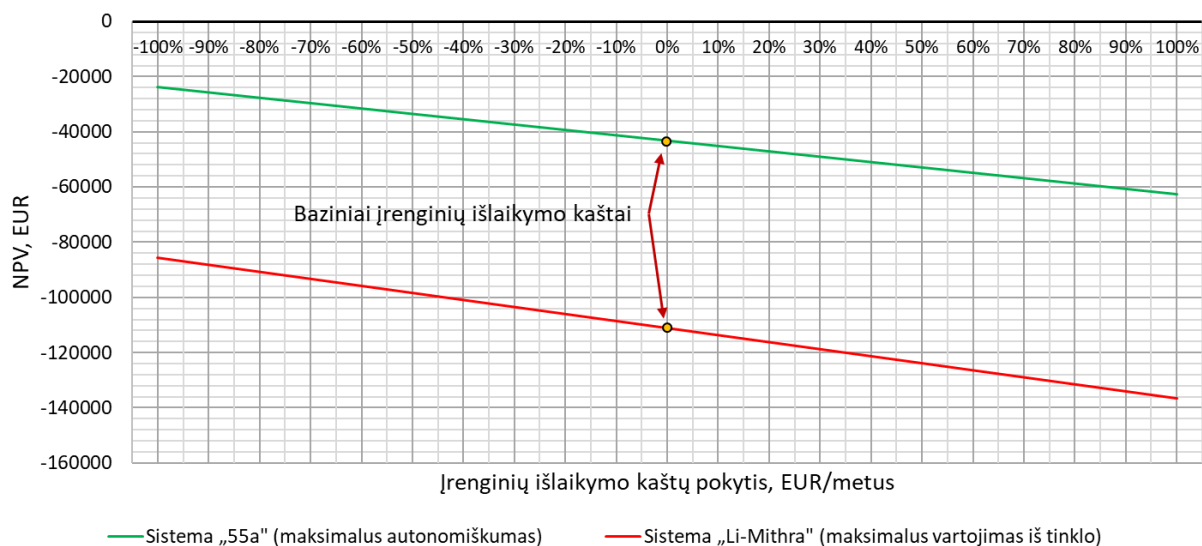
NPV priklausomybės nuo infliacijos grafikas abejoms sistemoms pateiktas 46 paveiksle:



46 pav. NPV priklausomybės nuo infliacijos grafikas

Pateiktame grafike (žr. 46 pav.) galima pastebėti kiek neįprastą tendenciją – kylant infliacijai maksimalaus autonomiškumo sistemos NPV vertė mažėja, o maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo atveju priešingai – vertė didėja. Tai vėlgi yra susiję su sumodeliuotų sistemų specifika. Sistema „55a“ turi svarius elektros energijos pardavimus, tad didėjanti infliacija tiesiogiai daro pajamų (o tuo pačiu ir NPV) mažėjimui. Savo ruožtu sistema „Li-Mithra“ pajamų neturi, tačiau turi nemažai išlaidų sistemos išlaikymui, įrangos pakeičiamumui ir pan. Tad pinigų nuvertėjimas iš esmės sumažina išlaidų vertę. Beje, matyti ir tai, jog NPV vertės kinta tik esant neigiamai infliacijai, t. y. kintant defliacijai. Infliacijai pasiekus 2 proc., kas atitinka modeliavime taikytą reikšmę, NPV vertės įsisotina ir toliau nebekinta.

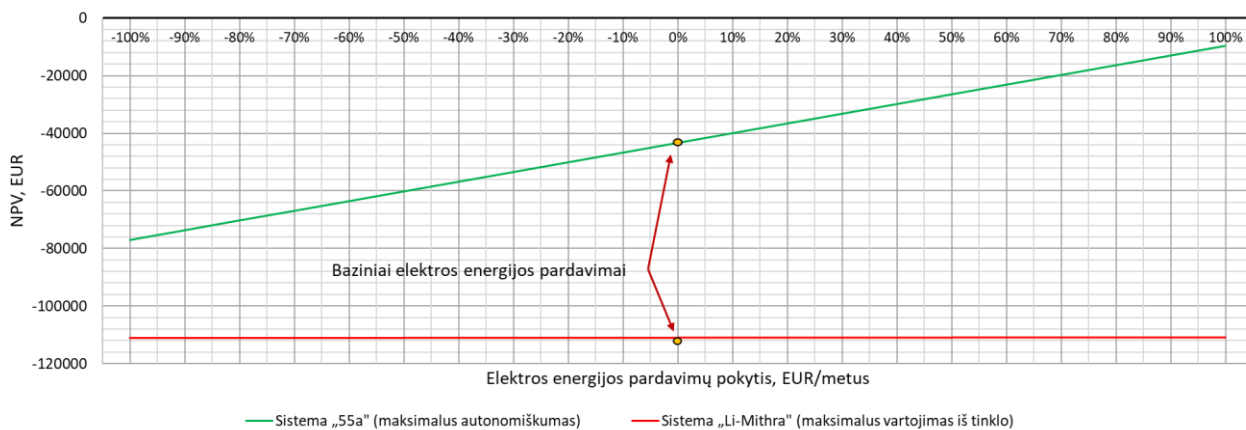
NPV priklausomybės nuo įrenginių išlaikymo kaštų pokyčio abejoms sistemoms grafikas pateiktas 47 paveiksle:



47 pav. NPV priklausomybės nuo įrenginių išlaikymo kaštų pokyčių grafikas

Šiame grafike (žr. **47 pav.**) pavaizduotos NPV vertės yra gautos perskaičiavus įrenginių išlaikymo kaštų bazines vertes pagal atitinkamą pokyčio procentą, t. y. maksimaliai sumažinus ir padidinus šias vertes 100 proc. kas 10 proc. (žr. **7 priedą**). Vadinasi, 0 proc. pokytis grafike rodo sumodeliuotą bazinę vertę (žr. **47 pav.**). Taigi, šiuo atveju sumažinus abiejų sistemų išlaikymo kaštus netgi dvigubai (t. y. 100 proc.), NPV vertės yra neigiamos ir projektai yra neatsiperkantys.

NPV priklausomybės nuo elektros energijos pardavimų pokyčių abejoms sistemoms grafikas pateiktas 48 paveiksle:



48 pav. NPV priklausomybės nuo elektros energijos pardavimų pokyčių grafikas

Iš grafike (žr. **48 pav.**) pateiktų duomenų matyti, jog net ir dvigubai padidėjus elektros energijos pardavimams maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“ NPV vertės nepasiekia atsipirkimo ribos. Tuo tarpu sistemos „Li-Mithra“ atveju NPV vertės nesikeičia dėl jau aptartos priežasties: sistema neturi elektros energijos pardavimų.

Taigi, apibendrinus atliktą jautrumo analizę galima dar kartą įsitikinti tiriamų maksimalaus autonomiškumo ir maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemų ekonominiu nepriimtimumu. Varijuojant įvairius modeliavime naudotus parametrus NPV vertės gaunamos neigiamos, tokių sistemų diegimas neatsiperka. Be abejo, galima pastebėti ir tai, jog

jautrumo analizė yra gana vienareikšmiška ir gali neparodyti realaus poveikio NPV reikšmėms, kadangi visi parametrai varijuojami atskirai. Šiuo atveju, naudojant jautrumo analizę kaip siekį ištirti, kas paverstų projektą atsiperkančiu ($NPV > 0$), būtų svarbu kombinuoti kelių parametru variaciją vienu metu, pvz., didinti elektros energijos pardavimus ir tikėtis elektros kainų didėjimo ar infliacijos mažėjimo.

Išvados

1. Pastatų aprūpinimo energija, esamų naujausių ir perspektyvinių, AEI naudojančių technologijų, literatūros apžvalga parodė, jog hibridinė PVT-HP sistema pagal savo pobūdį bei AEI pritaikymą gali būti priskirta prie naujausios (4-osios ir 5-osios) kartos technologijų, kurių koncepcija gali būti naudojama ateities energetinėms sistemoms kurti. Taip pat galima teigti, jog hibridinė PVT-HP sistema turi plačias pritaikomumo galimybes ir modifikacijų įvairovę, o taip pat yra efektyvi tiek techniniu, tiek ekonominiu požiūriu. Galiausiai, šių technologijų naudojimui palapsniui yra kuriamas efektyvus skatinamasis reguliavimas, kurio dėka PVT-HP sistemos naudojimas tampa vis labiau patrauklesnis vartotojams.
2. Atlikus metodinės dalies analizę galima teigti, jog parinkta metodika – programinė įranga „Polysun“ labiausiai tinka PVT-HP pritaikymo naujai statomos gyvenvietės energijos poreikių tenkinimo analizei atlikti dėl plataus spektro parametrų įvesties ir rezultatų palyginamumo galimybių, dinamiškumo bei tikslumo savybių, lyginant su kitais panašaus pobūdžio programiniais paketais.
3. Sudaryti PVT-HP pastatų grupei informaciniai modeliai: maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo. Lyginant gautus rezultatus priimta, jog sistemos kontūras „55a“ labiausiai atitinka maksimalaus autonomiškumo variantą: lyginamiesiems modeliams pritaikius autonomiškumo kriterijus pastarosios sistemos elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas yra didesnis apie 14,2 proc., lyginant su sistema „Li-Mithra“ (vertės atitinkamai pasiskirsčiusios sekanti: –3822 ir –3345 kWh). Savo ruožtu sistema „Li-Mithra“ labiausiai atitinka maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo variantą: lyginamiesiems modeliams pritaikius maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo kriterijus pastarosios sistemos elektros energijos vartojimo iš tinklo ir tiekimo į jį balansas turi 17,5 proc. didesnę teigiamą elektros energijos balanso vertę, lyginant su sistema „55a“ (vertės atitinkamai siekia atitinkamai 5578 ir 4745 kWh).
4. Atlikus sumodeliuotą maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo variantų sistemų palyginamąją, gyvavimo ciklo kaštų ir jautrumo analizę galima teigti, jog pagal nusistatytus kriterijus sumodeliuota maksimalaus autonomiškumo sistema „55a“ yra optimaliausias variantas praktiškai visais aspektais, lyginant su maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistema „Li-Mithra“. Techniniu požiūriu, vertinant gebėjimą apsirūpinti elektros energija sistema „55a“ yra tikrai pajėgi ne tik patenkinti vartotojų poreikius, bet ir nemažą pagamintos elektros energijos dalį perduoti į tinklą (per metus į elektros tinklą pastatų grupei pritaikyta sistema patiekia 22 774 kWh perteklinės elektros energijos), kas gali atnešti svarias pajamas ir pagreitinti sistemos atsiperkamumą. Taip pat maksimalaus autonomiškumo energijos aprūpinimo kontūras yra efektyvesnis – COP vertė kone dvigubai didesnė (vertės atitinkamai lygios 3,06 ir 1,47). Sistema „55a“, remiantis modeliavimo rezultatais, yra mažiau tarši: renkantis pastarąją sistemą teršalų kiekis būtų sumažintas iki 6 950 kg (arba 38,2 proc.) per metus. Pastaroji sistema yra patrauklesnė ir ekonominiu požiūriu: atlikta LCCA parodė, jog NPV vertės yra didesnės už maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo sistemą. Tiesa, abiem atvejais $NPV < 0$, kas parodo sistemų ekonominį nepatrauklumą investicijoms, tačiau to būtų galima išvengti skyrus daugiau lengvatų brangiai PVT-HP įrangai, įgyvendinus daugiau paramos iniciatyvų bei sukūrus dar efektyvesnius finansavimo mechanizmus. Nepaisant to, galima teigti, kad PVT-HP techniniai pajėgumai yra pakankami siekiant užtikrinti naujai statomų pastatų energijos poreikius Lietuvoje.

Literatūros sąrašas

1. BUFFA, S., et. al. 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. Elsevier, 2019, vol. 104, 504–522 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.rser.2018.12.059
2. CHEL, A. and G. KAUSHIK. Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal* [interaktyvus]. Elsevier, 2018, vol. 57, 655–669 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.aej.2017.02.027
3. CAMARASA T., L. K. KALAHASTHI, L. ROSADO. Drivers and barriers to energy-efficient technologies (EETs) in EU residential buildings. *Energy and Built Environment* [interaktyvus]. Southwest Jiatong University, 2021, vol. 2, 290–301 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.enbenv.2020.08.002
4. ABOKERSH, Mohamed H., et. al. Flexible heat pump integration to improve sustainable transition toward 4th generation district heating. *Energy Conversion and Management* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 225(113379) [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113379
5. YEATTS, D. E., et. al. A systematic review of strategies for overcoming the barriers to energy-efficient technologies in buildings. *Energy Research & Social Science* [interaktyvus]. Elsevier, 2017, vol. 32, 76–85 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.erss.2017.03.010
6. LUND, H., et. al. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2014, vol. 68, 1–11 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.energy.2014.02.089
7. LUND, H., et. al. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2021, vol. 227(120520) [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.energy.2021.120520
8. LUND, H., et. al. The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2018, vol. 164, 147–159 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.206
9. AVERFALK, H. and S. WERNER. Economic benefits of fourth generation district heating. *Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 193(116727) [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.energy.2019.116727
10. HANSEN C. H., O. GUDMUNDSSON, N. DETLEFSEN. Cost efficiency of district heating for low energy buildings of the future. *Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2019, vol. 177, 77–86 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.energy.2019.04.046
11. GURSKIS, V., et al. *Efektyvus energijos vartojimo pastatuose vadovas* [interaktyvus]. Kaunas: Lietuvos Respublikos ūkio ministerija, 2008 [žiūrėta 2021-06-19]. ISBN 9789955751205. Prieiga per: <https://www.ena.lt/uploads/PDF-AEI/Leidiniai-LT/3-EE-vadovas.pdf>.
12. OBALANLEGE, Mustapha A., et. al. Performance assessment of a hybrid photovoltaic-thermal and heat pump system for solar heating and electricity. *Renewable Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 148, 558–572 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.renene.2019.10.061
13. HEREZ, A., et. al. Review on photovoltaic/thermal hybrid solar collectors: Classifications, applications and new systems. *Solar Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 207, 1321–1347 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.solener.2020.07.062

14. RAMDANI, H. and C. OULD-LAHOUCINE. Study on the overall energy and exergy performances of a novel water-based hybrid photovoltaic-thermal solar collector. *Energy Conversion and Management* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 222(113238) [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113238
15. VAISHAK, S. AND V. B. PURNANAND. Photovoltaic/thermal-solar assisted heat pump system: Current status and future prospects. *Solar Energy* [interaktyvus]. Elsevier, vol. 189, 268–284 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.solener.2019.07.051
16. ZAREI, A., et. al. A Novel, eco-friendly combined solar cooling and heating system, powered by hybrid Photovoltaic thermal (PVT) collector for domestic application. *Energy Conversion and Management* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 222(113198) [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113198
17. ABU-RUMMAN M., M. HAMDAN, O. AYADI. Performance enhancement of a photovoltaic thermal (PVT) and ground-source heat pump system. *Geothermics* [interaktyvus]. Elsevier, 2020, vol. 85 [žiūrėta 2021-06-19]. doi: 10.1016/j.geothermics.2020.101809
18. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Nutarimas dėl Lietuvos Respublikos Seimo 2012 m. birželio 26 d. nutarimo Nr. XI-2133 „Dėl Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo“ pakeitimo* [interaktyvus]. 2018 m. birželio 21 d. Nr. XIII-1288 [žiūrėta 2021-06-19]. Prieiga per:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/1d2616b27c3011e89188e16a6495e98c?jfwid=-mhqn1b0f5>
19. IRENA [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-06-19]. Prieiga per: <https://www.irena.org/solar>.
20. Lietuvos Respublikos Nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030 m. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-06-19]. Prieiga per:
https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Teisinproc.C4proc.97proc.20informacija/Teisproc.C4proc.97sproc.20aktai/Bendriejiproc.20energetikosproc.20strateginiaiproc.20dokumenta/NECP/Lietuvos_Respublikos_nacionalinis_energetikos_ir_klimato_srities_veiksmu_planas.pdf
21. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas* [interaktyvus]. 2011 m. gegužės 12 d. Nr. XI-1375 [žiūrėta 2021-06-19]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.FC7AB69BE291/BWEjxIWsrD>
22. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTRAS. *Įsakymas dėl 2014–2020 metų Europos sąjungos fondų investicijų veiksmų programos 4 prioriteto „Energijos efektyvumo ir atsinaujinančių išteklių energijos gamybos ir naudojimo skatinimas“ 04.1.1-LPVA-V-114 priemonės „Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginių įrengimas namų ūkiuose“ projektų finansavimo sąlygų aprašo nr. 1 patvirtinimo* [interaktyvus]. 2019 m. sausio 18 d. Nr. 1-13 [žiūrėta 2021-06-19]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/168ad0501b1511e9875cdc20105dd260>
23. APVA [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-06-19]. Prieiga per: <https://apvis.apva.lt/>
24. APVA: Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginių įrengimas namų ūkiuose 2021-04 Nr. VP-EM-EE01 [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-06-19]. Prieiga per:
https://apvis.apva.lt/paskelbti_kvietimai/elektros-energijos-is-atsinaujinanciu-istekliu-gamybos-irenginiu-irengimas-namu-ukiuose-2021-04

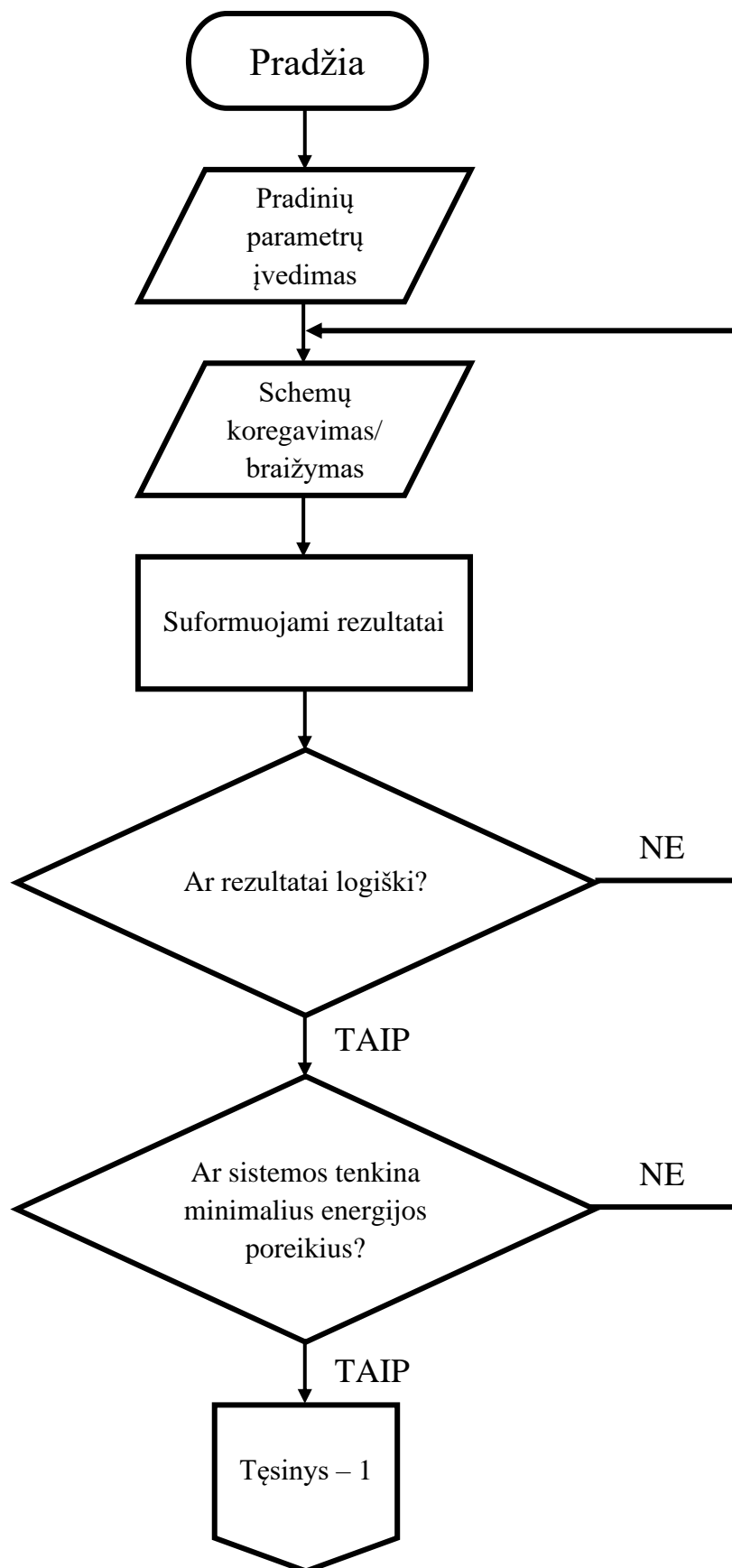
25. EUROPOS PARLAMENTAS IR TARYBA. *Europos parlamento ir tarybos direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo (nauja redakcija)* [interaktyvus]. 2010 m. gegužės 19 d. [žiūrėta 2022-01-16]. Prieiga per:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS. Įsakymas dėl statybos techninio reglamento STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ patvirtinimo [interaktyvus]. 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754 [žiūrėta 2022-01-16]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr>
27. SHERRY, J. The impact of community sustainability: A life cycle assessment of three ecovillages. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. Elsevier, 2019, vol. **237**(117830) [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117830
28. BARANI S., A. H. ALIBEYGI, A. PAPZAN. A framework to identify and develop potential ecovillages: Meta-analysis from the studies of world's ecovillages. *Sustainable Cities and Society* [interaktyvus]. Elsevier, 2018, vol. 43, 275–289 [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.1016/j.scs.2018.08.036
29. *Global Ecovillage Network* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-16]. Prieiga per:
<https://ecovillage.org/>
30. PUNYTĖ, Ieva, Kristina SIMONAITYTĖ. Darnaus vystymosi tikslų integravimas į teritorijų planavimo procesus: Žingsniai darnaus Lietuvos miestų vystymosi link. Rekomendacijos [interaktyvus]. Kurk Lietuvai, 2018 [žiūrėta 2022-01-16]. Prieiga per:
http://kurklt.lt/wp-content/uploads/2018/09/REKOMENDACIJOS_darnus-miestu-vystymasis_galutinis.pdf
31. *Green Valley* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-16]. Prieiga per: <https://greenvalley.lt/>
32. DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ, R. and G. STRECKIENĖ. Solar Hot Water Heating System Analysis Using Different Software in Single Family House. Iš: The 9th International Conference “Environmental Engineering”, May 22–24, 2014, Vilnius, Lithuania. Vilnius Gediminas Technical University Press Technika, 2014. doi: 10.3846/enviro.2014.258
33. MOHAMMED, A. K. and I. A. HAMAKHAN. Analysis of energy savings for residential electrical and solar water heating systems. *Case Studies in Thermal Engineering* [interaktyvus]. Elsevier, 2021, vol. 27(101347) [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.1016/j.csite.2021.101347
34. NAHAVANDINEZHAD, M. and A. ZAHEDI. Conceptual design of solar/geothermal hybrid system focusing on technical, economic and environmental parameters. *Renewable Energy* [interaktyvus]. Elsevier, 2022, vol. 181, 1110–1125 [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.1016/j.renene.2021.09.110
35. CAI, Junjie, et al. Performance study of a novel hybrid solar PV/T ground-source heat pump system. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017, 19-22 October 2017, Jinan, China. *Procedia Engineering* [interaktyvus]. Elsevier, 2017, vol. 205, 1642–1649 [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.324
36. ZHAO, J. and S. LI. Life cycle cost assessment and multi-criteria decision analysis of environment-friendly building insulation materials - A review. *Energy & Buildings* [interaktyvus]. Elsevier, 2022, vol. **254**(111582) [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111582

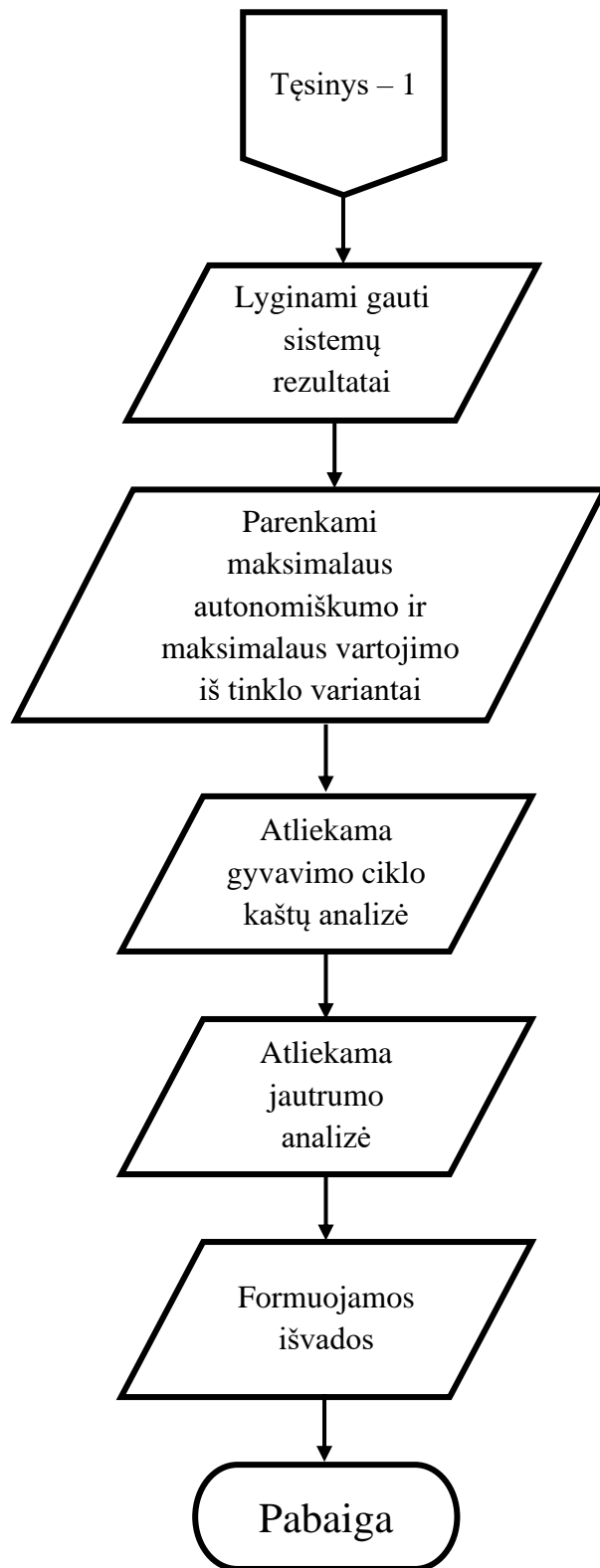
37. FULLER, Sieglinde. Life-cycle cost analysis (LCCA). National Institute of Building Sciences, An Authoritative Source of Innovative Solutions for the Built Environment [interaktyvus]. 2010, vol. 1090 [žiūrėta 2022-01-16].
38. PERNETTI R., F. GARZIA, U. F. OBEREGGER. Sensitivity analysis as support for reliable life cycle cost evaluation applied to eleven nearly zero-energy buildings in Europe. *Sustainable Cities and Society* [interaktyvus]. Elsevier, 2021, vol. **74**(103139) [žiūrėta 2022-01-16]. doi: doi.org/10.1016/j.scs.2021.103139
39. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. [ISO 14040:2006]. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. International Organization for Standardization, 2006.
40. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. [ISO 14044:2006]. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, 2006.
41. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos viešųjų pirkimų įstatymo Nr. I-1491 pakeitimo įstatymas* [interaktyvus]. 2017 m. gegužės 2 d. Nr. XIII-327 [žiūrėta 2022-01-16]. Prieiga per:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/b63962122fcb11e79f4996496b137f39>
42. SIMANAVIČIENĖ, R. and L. USTINOVIČIUS. Jautrumo analizės metodai ir jų naudojimas daugiakriteriniams sprendimams analizuoti. *Mokslas – Lietuvos ateitis* [interaktyvus]. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2011, vol. **3**(1), 25–28 [žiūrėta 2022-01-16]. doi: 10.3846/mla.2011.005
43. NORVAIŠIENĖ, Rasa ir Rytis KRUŠINSKAS. Projektų ekonominis ir socialinis vertinimas: mokomoji knyga. Kaunas: Vitae Litera, 2008. ISBN: 9786090203491.
44. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 24:2003 "Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai" patvirtinimo* [interaktyvus]. 2003 m. liepos 23 d. Nr. V-455 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.216309/asr>
45. Yerevan State University of Architecture and Construction. *Active Solar Thermal Energy Applications in Buildings (Part 2)* [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
<http://www.inogate.org/documents/Lecture%20Solar%20Thermal%20Part%20%20ENG.pdf>
46. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 42:2009 "Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas" patvirtinimo* [interaktyvus]. 2009 m. gruodžio 29 d. Nr. V-1081 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.362676>
47. *Sino Voltaics* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
<https://sinovoltaics.com/learning-center/system-design/solar-panel-angle-tilt-calculation/>
48. *OVO Energy* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
<https://www.ovoenergy.com/guides/energy-guides/how-much-electricity-does-a-home-use>
49. *DAIKIN* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
https://www.daikin.lt/lt_it/faq/what-is-meant-by-the-terms-cop-and-eer-.html
50. Oficialiosios Statistikos Portalas [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:
<https://osp.stat.gov.lt/pagrindiniai-salies-rodikliai>
51. *National Renewable Energy Laboratory* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per:

- <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/stat-faqs-part2-lifetime-of-pv-panels.html>
52. *Ignitis* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt>
53. *Valstybinė mokesčių inspekcija* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://www.vmi.lt/evmi/ilgalaikio-turto-nusid%C4%97v%C4%97jimas-ar-amortizacija-18-19-str.->
54. *Swedbank* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://www.swedbank.lt/private/credit/loans/solar?language=LIT>
55. *ESO* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: https://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/tarifai-kainos-atsiskaitymai-ir-skolos/gaminanciu-vartotoju-kainos-verslas.html
56. *Conditioned Air* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://www.conditionedairinc.com/>
57. *Green Match* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-26]. Prieiga per: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels/solar-panel-grants>
58. *Central Coast News* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-05-26]. Prieiga per: <https://coastcommunitynews.com.au/central-coast/news/2017/06/ecovillage-receives-190000-grant-towards-energy-grid/>

Priedai

1 priedas. Supaprastinta modeliavimo eigos algoritmo schema





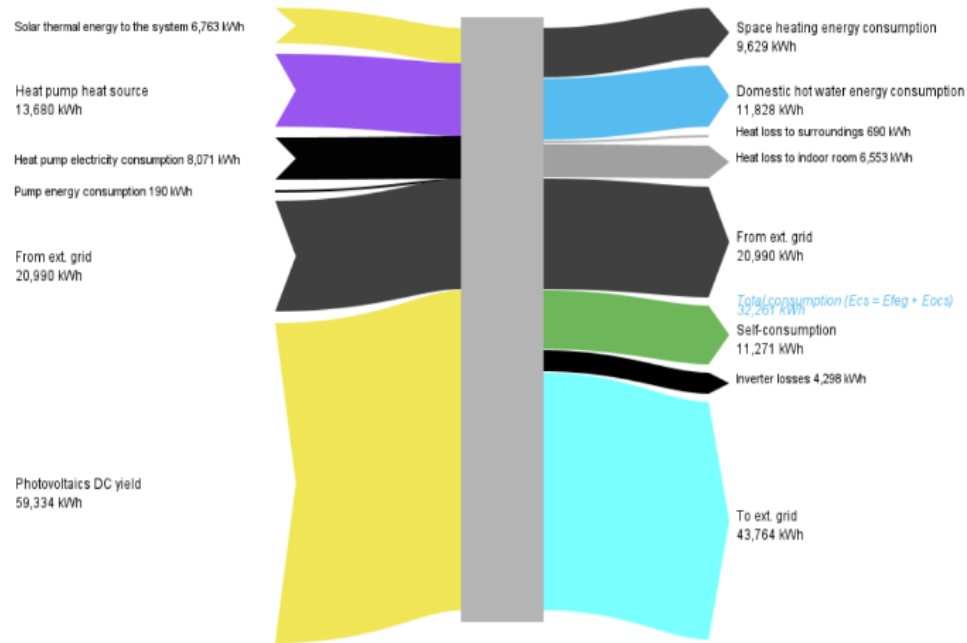
2 priedas. Maksimalaus autonomiškumo sistemos „55a“ techniniai metiniai duomenys iš suformuotos „Polysun“ ataskaitos

	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Solar thermal energy to the system [Qsol]													
kWh	6763	287	169	532	627	815	880	706	970	818	493	233	231
Heat generator energy to the system (solar thermal energy not included) [Qaux]													
kWh	21751	4687	3029	1198	1020	982	797	534	719	742	859	2316	4868
Heat generator fuel and electricity consumption [Eaux]													
kWh	8071	1787	1151	471	384	340	269	178	243	258	323	851	1815
Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]													
%	23.7	5.8	0	30.8	38.1	45.4	52.5	57	57.4	52.5	36.5	9.1	4.5
Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]													
kWh	-22774	799	-556	-2781	-3102	-3005	-3392	-3709	-3578	-3099	-1838	29	1457
Irradiation onto collector area [Esol]													
kWh	299802	18269	20483	29262	29752	28983	29940	31255	30973	28249	22586	15447	14602
Yield Photovoltaics DC [Qpvf]													
kWh	59334	3741	4172	5907	5921	5666	5797	6024	5980	5518	4500	3139	2970
Radiation onto module area [Esol PV]													
kWh	299802	18269	20483	29262	29752	28983	29940	31255	30973	28249	22586	15447	14602
Yield Photovoltaics AC [Qinv]													
kWh	55036	3475	3875	5492	5497	5245	5367	5580	5547	5125	4174	2906	2752
Electricity consumption of pumps [Epar]													
kWh	190	29.2	19.1	9	10.9	14.6	16.9	14.6	15.3	10.9	7.5	11.5	30.3
Total energy consumption [Quse]													
kWh	21545	4389	2739	1195	1130	1123	1035	540	1007	985	779	2058	4564
Heat loss to indoor room (including heat generator losses) [Qint]													
kWh	6553	554	474	484	495	553	593	618	636	576	533	487	549
Heat loss to surroundings (without collector losses) [Qext]													
kWh	690	36	35	70	68	69	75	76	78	68	55	32	28
Total electricity consumption [Ecs]													
kWh	32261	4274	3319	2711	2395	2240	1975	1871	1969	2025	2336	2935	4209
Self-consumption [Eocs]													
kWh	11271	648	834	1166	1187	1188	1145	1084	1019	949	875	633	545

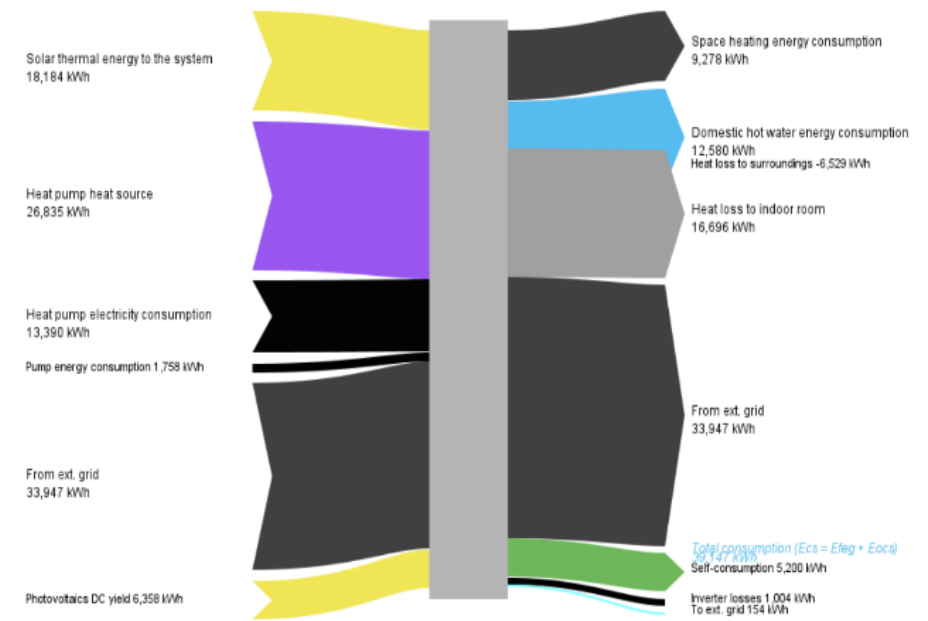
3 priedas. Maksimalaus vartojimo iš tinklo sistemos „Li-Mithra“ techniniai metiniai duomenys iš suformuotos „Polysun“ ataskaitos

	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Solar thermal energy to the system [Qsol]													
kWh	18184	2537	1750	1284	1293	1414	1380	1124	1395	1255	980	1239	2534
Heat generator energy to the system (solar thermal energy not included) [Qaux]													
kWh	40225	6105	4137	3006	2737	2763	2484	1678	2512	2562	2270	3782	6189
Heat generator fuel and electricity consumption [Eaux]													
kWh	13390	2239	1498	959	844	839	730	490	739	772	709	1295	2275
Solar fraction: fraction of solar energy to system [SF_n]													
%	31.1	29.4	29.7	29.9	32.1	33.9	35.7	40.1	35.7	32.9	30.1	24.7	29.1
Total fuel and/or electricity consumption of the system [E_{tot}]													
kWh	33793	4460	3374	2818	2473	2405	2082	1780	2083	2181	2442	3204	4491
Irradiation onto collector area [E_{sol}]													
kWh	29980	1827	2048	2926	2975	2898	2994	3125	3097	2825	2259	1545	1460
Yield Photovoltaics DC [Q_{pvf}]													
kWh	6358	417	448	633	630	603	616	636	639	594	479	333	330
Radiation onto module area [E_{sol PV}]													
kWh	29980	1827	2048	2926	2975	2898	2994	3125	3097	2825	2259	1545	1460
Yield Photovoltaics AC [Q_{inv}]													
kWh	5355	359	382	539	532	500	511	529	537	503	404	279	280
Electricity consumption of pumps [E_{par}]													
kWh	1,757.6	121.7	109	167.7	160.6	180.3	173	140.7	170.5	156.1	130.6	115.2	132.1
Total energy consumption [Q_{use}]													
kWh	22007	4316	2737	1281	1217	1210	1123	588	1092	1059	837	2051	4497
Heat loss to indoor room (including heat generator losses) [Q_{int}]													
kWh	16696	1502	1203	1395	1377	1452	1436	1170	1489	1405	1229	1469	1568
Heat loss to surroundings (without collector losses) [Q_{ext}]													
kWh	-6529	-1166	-687	-405	-358	-463	-400	-139	-388	-376	-342	-664	-1141
Total electricity consumption [E_{cs}]													
kWh	39147	4819	3756	3357	3005	2905	2592	2309	2621	2684	2846	3483	4771
Self-consumption [E_{ocs}]													
kWh	5200	336	372	525	530	497	509	520	527	469	391	271	252

4 priedas. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo sistemų energijos srautų diagramos



Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas – visa gyvenvietė)



Sistema „Li-Mihtra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo – visa gyvenvietė)

5 priedas. Maksimalaus autonomiškumo sistemos įrenginių kainų ir gyvavimo laikotarpio duomenys „Polysun“ aplinkoje

System diagram Sistema „55a“ (VARIANTAS NR. 1) (maks. autonomiškumas) - Profitability calculation

Input values

Conditions System costs Operation and maintenance Miscellaneous

Production		
Components	Price [EUR]	Service life
VITOCAL 200-S AWB 201.B13	5,200	15
PVT collector: 7.5 kW, 20 x Spring 375 Shingle Black isolated	12,000	30

+ New line Delete line

Distribution		
Components	Price [EUR]	Service life
Auxiliary heating controller 1	300	8
Auxiliary heating controller 2	300	8
External heat exchanger Potable water: medium	120	10
Flow rate controller	300	8
Heating/Cooling controller	300	8
Mixing valve controller	300	8
Pipe: 24 Quantity	1,000	25
Pump Heating loop: Pump big	340	15
Pump Solar loop: Pump small	260	15
Pump Transfer circuit: Pump small	260	15
Pump controller solar loop	300	8
Three way Valve Fresh water station mixing valve	75	20
Three way Valve Space heating loop mixing valve	75	20
Three way Valve Switching valve	75	20
Three-way join: 2 Quantity	20	20

+ New line Delete line

6 priedas. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu sistemos įrenginių kainų ir gyvavimo laikotarpio duomenys „Polysun“ aplinkoje

System diagram Sistema „Li-Mithra“ (VARIANTAS NR. 2) (maks. emimas iš tinklo) - Profitability calculation

Input values

Conditions System costs Operation and maintenance Miscellaneous

Production		
Components	Price [EUR]	Service life
Vitocal 350-G PRO BW 352.A132	25,000	15
PVT collector 1: 0.75 kW, 2 x Spring 375 Shingle Black isolated	1,200	30
		+ New line
		Delete line
Distribution		
Components	Price [EUR]	Service life
Auxiliary heating controller	300	8
External heat exchanger Potable water: large	120	10
External heat exchanger Transfer circuit: huge	150	10
Heating/Cooling controller	300	8
Pipe: 24 Quantity	800	25
Programmable controller 3	200	15
Pump Auxiliary heating: Pump big	340	15
Pump Heating loop: Pump small	260	15
Pump Load Tank_Solar: Pump big	340	15
Pump Potable water: Pump medium	300	15
Pump WP_prim: Pump big	340	15
Three way Valve 21	200	20
Three way Valve Change_Source	200	20
Three-way join: 2 Quantity	20	20
Variable speed pump controller	300	8
		+ New line
		Delete line

7 priedas. Maksimalaus energijos vartojimo iš tinklo su minimaliu energijos generavimu ir maksimalaus autonomiškumo sistemų jautrumo analizė NPV vertėms „Excel“ aplinkoje

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
5											
6		Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas)	Sistema „Li-Mithra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo)								
7	Bazinio varianto NPV	-43300	-111019								
8											
9		Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas)	Sistema „Li-Mithra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo)			Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas)	Sistema „Li-Mithra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo)			Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas)	Sistema „Li-Mithra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo)
10	Energijos kainų didėjimas, proc./metus	NPV, EUR	NPV, EUR		Technologijų kainų pokytis, proc./metus	NPV, EUR	NPV, EUR		Inflacija, proc./metus	NPV, EUR	NPV, EUR
11	0%	-61448	-111071		-20%	-28731	-75371		-20%	8232815	-4062905
12	1%	-59051	-111064		-18%	-28873	-75687		-18%	3909923	-2617524
13	2%	-56164	-111056		-16%	-29068	-76136		-16%	1869327	-1705706
14	3%	-52674	-111046		-14%	-29335	-76772		-14%	891053	-1130009
15	4%	-48443	-111033		-12%	-29702	-77668		-12%	415709	-764132
16	5%	-43300	-111019		-10%	-30208	-78922		-10%	182178	-529268
17	6%	-37035	-111001		-8%	-30904	-80667		-8%	66527	-376680
18	7%	-29386	-110979		-6%	-31863	-83085		-6%	9029	-276233
19	8%	-20031	-110952		-4%	-33188	-86416		-4%	-19508	-209193
20	9%	-8573	-110919		-2%	-35018	-90985		-2%	-33524	-163821
21	10%	5481	-110879		0%	-37551	-97223		0%	-40242	-132684
22	11%	22735	-110830		2%	-41063	-105706		2%	-43300	-111019
23	12%	43938	-110769		4%	-45939	-117198		4%	-44546	-95741
24	13%	70008	-110694		6%	-52724	-132713		6%	-44913	-84824
25	14%	102081	-110602		8%	-62184	-153599		8%	-44875	-76921
26	15%	141549	-110488		10%	-75402	-181639		10%	-44670	-71127
27	16%	190128	-110349		12%	-93909	-219201		12%	-44412	-66827
28	17%	249921	-110177		14%	-119871	-269427		14%	-44155	-63595
29	18%	323514	-109966		16%	-156360	-336490		16%	-43922	-61137
30	19%	414073	-109706		18%	-207721	-425941		18%	-43719	-59245
31	20%	525478	-109386		20%	-280111	-545173		20%	-43547	-57772
32											
33											
34		Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas)	Sistema „Li-Mithra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo)					Sistema „55a“ (maksimalus autonomiškumas)	Sistema „Li-Mithra“ (maksimalus vartojimas iš tinklo)		
35	Irenginių išlaidų kaštai, EUR/metus	NPV, EUR	NPV, EUR	Irenginių išlaidų kaštų vertės perskačiavimas, EUR/metus (sistema „55a“)	Irenginių išlaidų kaštų vertės perskačiavimas, EUR/metus (sistema „Li-Mithra“)	Elektrų energijos pardavimai, EUR/metus	NPV, EUR	NPV, EUR	Irenginių išlaidų kaštų vertės perskačiavimas, EUR/metus (sistema „55a“)	Irenginių išlaidų kaštų vertės perskačiavimas, EUR/metus (sistema „Li-Mithra“)	
36	-100%	-23914	-85523	0,0	0,0	-100%	-77050	-111146	0,00	0,00	
37	-90%	-25853	-88073	86,6	113,8	-90%	-73675	-111133	69,57	0,26	
38	-80%	-27792	-90622	173,1	227,7	-80%	-70230	-111121	139,14	0,52	
39	-70%	-29730	-93172	259,7	341,5	-70%	-66925	-111108	208,71	0,78	
40	-60%	-31669	-95722	346,2	455,3	-60%	-63550	-111095	278,28	1,04	
41	-50%	-33608	-98271	432,8	569,2	-50%	-60175	-111083	347,85	1,31	
42	-40%	-35546	-100821	519,4	683,0	-40%	-56800	-111070	417,42	1,57	
43	-30%	-37485	-103370	605,9	796,8	-30%	-53425	-111057	486,99	1,83	
44	-20%	-39423	-105920	692,5	910,7	-20%	-50050	-111045	556,56	2,09	
45	-10%	-41362	-108470	779,0	1024,5	-10%	-46676	-111032	626,13	2,35	
46	0%	-43300	-111019	865,6	1138,4	0%	-43300	-111019	695,70	2,61	
47	10%	-45239	-113569	952,2	1252,2	10%	-39926	-111006	765,27	2,87	
48	20%	-47178	-116118	1038,7	1366,0	20%	-36551	-110994	834,84	3,13	
49	30%	-49117	-118668	1125,3	1479,9	30%	-33176	-110981	904,41	3,39	
50	40%	-51055	-121218	1211,8	1593,7	40%	-29801	-110969	973,98	3,65	
51	50%	-52994	-123767	1298,4	1707,5	50%	-26426	-110956	1043,55	3,92	
52	60%	-54933	-126317	1385,0	1821,4	60%	-23051	-110943	1113,12	4,18	
53	70%	-56871	-128866	1471,5	1935,2	70%	-19677	-110930	1182,69	4,44	
54	80%	-58810	-131416	1558,1	2049,0	80%	-16302	-110918	1252,26	4,70	
55	90%	-60748	-133966	1644,6	2162,9	90%	-12927	-110905	1321,83	4,96	
56	100%	-62687	-136515	1731,2	2276,7	100%	-9552	-110893	1391,40	5,22	