

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Vilius Krasauskas**

**SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO PRAMONĖS  
TECHNOLOGINIUOSE PROCESUOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. Rolandas Jonynas

**KAUNAS, 2018**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO PRAMONĖS  
TECHNOLOGINIUOSE PROCESUOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Terminžinerija (621E30001)**

**Vadovas**

Doc. dr. Rolandas Jonynas

**Recenzentas**

Doc. dr. Robertas Poškas

**Projektą atliko**

Vilius Krasauskas

**KAUNAS, 2018**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Vilius Krasauskas**

Termoinžinerija, 621E30001

„Saulės energijos panaudojimo pramonės technologiniuose procesuose tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2018 m. gegužės 30 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Viliaus Krasausko, baigiamasis projektas tema „Saulės energijos panaudojimo pramonės technologiniuose procesuose tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

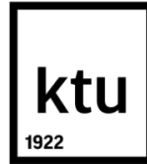
Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
Studijų programa: TERMOINŽINERIJA 621E30001

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO**  
**UŽDUOTIS**

Studentui Viliui Krasauskui.

1. Baigiamojo projekto tema:

*„Saulės energijos panaudojimo pramonės technologiniuose procesuose tyrimas“*

*„Study of solar energy usage for industrial technological processes“*

Patvirtinta 2018 m. balandžio 12 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-11-6.

2. Projekto tikslas ir uždaviniai: nustatyti optimalią saulės energijos panaudojimo, Lietuvos pramonės technologiniuose procesuose, technologiją.

Uždaviniai: apžvelgti pasaulio ir Lietuvos pramonės šakas ir pagal procesų temperatūras nustatyti aktualiausias; parinkti geriausiai prieinamas technologijas ir metodologiją; atlikti skirtingų sistemų variantų techninių ekonominių rodiklių skaičiavimus.

3. Pradiniai Projekto duomenys: Tiriamasis nr. 1 ir tiriamasis projektas nr. 2 rezultatai.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: darbas turi atitikti baigiamajam magistro projektui keliamus reikalavimus.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra: Įvadas; Literatūros apžvalga; Tyrimo objektas ir metodika; Prieinamos technologijos; Projekto ekonominiai rodikliai.

Išvados; Literatūros sąrašas.

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis: nėra nustatyta.

7. Projekto konsultantai: nėra.

Magistrantas: Vilius Krasauskas

.....  
*(vardas, pavardė, parašas, data)*

Projekto vadovas: Rolandas Jonynas

.....  
*(vardas, pavardė, parašas, data)*

Krypties studijų programos vadovas: Algimantas Balčius

.....  
*(vardas, pavardė, parašas, data)*

## Turinys

<b>Įvadas</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Saulės energijos panaudojimas pramonėje</b> .....	<b>14</b>
1.1 Saulės kolektorių panaudojimas pramonėje .....	14
1.2 Fotovoltinės energijos panaudojimas pramonėje .....	22
1.3 Hibridiniai PVT saulės moduliai .....	24
1.4 Žemo potencialo šilumos HRL sistemos.....	25
1.5 Saulės energijos potencialo įvertinimas .....	27
<b>2 Lietuvos pramonės apžvalga</b> .....	<b>30</b>
2.1 Europos Sąjungos direktyvos .....	30
2.2 Aktualiausios pramonės šakos.....	32
<b>3 Modeliavimo objektas</b> .....	<b>36</b>
<b>4 Parinktos technologijos</b> .....	<b>39</b>
4.1 Saulės energijos sistemų schemas .....	39
4.2 Įrenginių ir modeliavimo parametrų parinkimas.....	46
4.3 Ekonominės prielaidos .....	61
<b>5 Modeliavimas</b> .....	<b>68</b>
5.1 Modeliavimo rezultatai.....	68
5.2 Ekonominiai rezultatai .....	77
<b>Išvados</b> .....	<b>82</b>
<b>Literatūros sąrašas</b> .....	<b>84</b>
<b>Priedai</b> .....	<b>88</b>
1. Modeliavimo rezultatai.....	88

## Paveikslų sąrašas

1.1.1 pav. Saulės kolektorių sistemų tipai .....	16
1.1.2 pav. Saulės kolektoriaus pajungimo prie šilumos variklio principinė schema.....	17
1.1.3 pav. Saulės kolektoriaus karšto vandens ruošimo principinė schema .....	18
1.1.4 pav. Saulės kolektorių integracijos prie pramonės procesų principinė schema .....	18
1.1.5 pav. Saulės kolektoriaus garo generavimo principinė schema .....	19
1.1.6 pav. Absorbcinio oro kondicionieriaus principinė schema .....	20
1.1.7 pav. Plokštelinio saulės kolektoriaus principinė schema.....	21
1.1.8 pav. Vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriaus principinė schema .....	22
1.2.1 pav. Fotovoltinio elemento struktūros principinė schema.....	24
1.3.1 pav. Hibridinio saulės modulio principinė schema .....	25
1.4.1 pav. Saulės kolektorių prijungimas prie HRL sistemos .....	26
2.2.1 pav. Lietuvos pramonės įmonių šakų pasiskirstymas.....	33
2.2.2 pav. Europos Sąjungos pramonės įmonių šakų pasiskirstymas.....	33
2.2.3 pav. Galutinis pramonės šakų šiluminės energijos suvartojimas .....	34
2.2.4 pav. Galutinis pramonės šakų elektrinės energijos suvartojimas .....	35
4.1.1 pav. Saulės kolektorių sistemos integracijos pramonės procesams principinė schema .....	39
4.1.2 pav. Hibridinių saulės modulių elektrinės sistemos principinė schema .....	41
4.1.3 pav. Saulės modulių centralizuotos komutacijos schema.....	42
4.1.4 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 1 .....	43
4.1.5 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema, vamzdžių pavadinimai ir valdiklių linijos	43
4.1.6 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema, vamzdžių ilgiai, kontūrai ir šilumnešiai....	44
4.1.7 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 2 .....	45
4.1.8 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 3 .....	45
4.1.9 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 4.....	46
4.1.10 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 1 su hibridiniais moduliais .....	46
4.2.1 pav. Akumuliacinės talpos jungčių išdėstymai.....	50
4.3.1 pav. Pramoninių procesų šilumos saulės kolektorių sistemų investicijų pasiskirstymas .....	63
4.3.2 pav. 20 kolektorių sistemos saulės kontūro šilumokaičio energijos srauto galia .....	65
4.3.3 pav. Varianto 1, 20 plokštelių kolektorių, 50 l/m <sup>2</sup> sistemos investicijų pasiskirstymas .....	66
4.3.4 pav. Varianto 1, 23 hibridinių modulių, 50 l/m <sup>2</sup> sistemos investicijų pasiskirstymas.....	66
5.1.1 pav. Plokštelių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys bendrame poreikyje .....	69
5.1.2 pav. Vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys bendrame poreikyje.....	70
5.1.3 pav. Hibridinių modulių sistemų saulės šilumos dalys bendrame poreikyje.....	71
5.1.4 pav. Saulės energija pakeičiamos pirminės energijos kiekis.....	72

5.1.5 pav. Plokštelių kolektorių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos .....	73
5.1.6 pav. Vakuuminių vamzdžių kolektorių cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos...	74
5.1.7 pav. Hibridinių modulių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos.....	75
5.1.8 pav. Hibridinių modulių sistemų pagaminama elektros energija .....	76
5.1.9 pav. Pagaminama elektros energija, didžiausias hibridinių modulių kiekis.....	77
5.2.1 pav. Plokštelių kolektorių sistemų vidinės gražos normos.....	78
5.2.2 pav. Vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų vidinės gražos normos .....	79
5.2.3 pav. Hibridinių modulių sistemų vidinės gražos normos .....	80
5.2.4 pav. Grynosios dabartinės vertės palyginimas .....	81

## Lentelių sąrašas

1.1.1 lentelė. Pramonės šakų technologiniai procesai ir jų temperatūros.....	14
1.1.2 lentelė. Saulės kolektorių panaudojimo sritys, technologijos ir sistemų tipai.....	15
1.1.3 lentelė. Skirtingų saulės kolektorių temperatūros ribos.....	16
1.5.1 lentelė. Saulės ekspozicija Lietuvos miestuose .....	28
1.5.2 lentelė. Saulės kolektorių metiniai optimalūs kampai Lietuvos miestuose .....	28
1.5.3 lentelė. Saulės ekspozicija į optimalaus kampo plokštumą Lietuvos miestuose .....	28
1.5.4 lentelė. Difuzinės ir visuminės saulės apšvitos santykiai Lietuvos miestuose .....	29
3.1 lentelė. Aktualiausių pramonės šakų technologiniai procesai ir jų temperatūros.....	36
4.1.1 lentelė. Skirtingų saulės kolektorių temperatūros ribos.....	42
4.2.1 lentelė. Hibridinių saulės modulių kiekis .....	49
4.2.2 lentelė. Akumuliacinių talpų charakteristikos .....	50
4.2.3 lentelė. Apkrovos profilio išsiskirstymas paros metu.....	51
4.2.4 lentelė. Saulės kolektorių lygiagrečių eilių kiekiai ir dydžiai .....	52
4.2.5 lentelė. Vamzdynų 1–7 srauto debitai .....	55
4.2.6 lentelė. Vamzdynų 8–13 srauto debitai .....	55
4.2.7 lentelė. Vandens ir $x=0,162$ propileno glikolio – vandens mišinio tankiai .....	56
4.2.8 lentelė. Patalpų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai ir šiluminės izoliacijos storiai.....	57
4.2.9 lentelė. Lauko vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai ir šiluminės izoliacijos storiai.....	57
4.2.10 lentelė. Priimti vamzdynų izoliacijos storiai ir šilumnešių tankiai.....	58
4.2.11 lentelė. Vamzdynų tekėjimo greičiai .....	58
4.2.12 lentelė. Hibridinės sistemos elektrinės galios ir reikalingi inverterių parametrai .....	60
4.2.13 lentelė. Hibridinių modulių prijungimas prie inverterio ir gaunami parametrai .....	61
4.3.1 lentelė. Šilumokaičių energijos srautų galios .....	64



Krasauskas, Vilius. Saulės energijos panaudojimo pramonės technologiniuose procesuose tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Rolandas Jonynas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Energijos inžinerija (E13), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: saulės kolektoriai, hibridiniai moduliai, modeliavimas, pramonė.

Kaunas, 2018. 86 p.

## **Santrauka**

Šiame darbe įvertintos skirtingų saulės energijos transformavimo technologijų panaudojimo galimybės, pramonės įmonių technologinių procesų šilumos gamybai. Saulės energijos pavartojimui labiausiai tinka procesai, kurių temperatūra siekia iki 100 °C. Tokiomis temperatūromis pasižymi 13 % pramonėje naudojamų technologinių procesų. Esant tokioms temperatūroms dažniausiai naudojami plokšteliniai (toliau P) ir vakuuminių vamzdžių (toliau V) kolektoriai. Taip pat galima naudoti kogeneraciją atliekančius hibridinius modulius (toliau PVT), t. y. kartu su šilumos energija gaminančius elektros energiją. Programą Polysun atlikti galimų saulės energijos sistemų modeliavimai. Modeliavimo objektas parinktas pagal saulės energijos panaudojimui aktualiausias pramonės šakas. Nustatyta, kad šias aktualiausias šakas sudaro medienos, maisto ir tekstilės pramonės. Iš šių pramonės šakų parinktas modeliavimo objektas, pieno perdirbimo gamykla, turinti pramoninio profilio, 80 m<sup>3</sup> tūrio ir 80 °C temperatūros karšto vandens apkrovą per dieną. Modeliavimo metu atsižvelgta į skirtingų saulės energijos transformavimo technologijų (P, V, PVT), kolektorių kiekių (20–100) ir akumuliacinės talpos tūrio, kolektorių darbinio ploto santykių (50–100 l/m<sup>2</sup>) panaudojimą. Sumodeliuotos keturios skirtingos sistemų schemas: kai saulės kolektorių kontūre naudojamas išorinis šilumokaitis (toliau variantas 1), kai naudojamas akumuliacinės talpos vidinis šilumokaitis (toliau variantas 2), kai naudojamas išorinis šilumokaitis tarp akumuliacinės talpos ir katilo bei akumuliacinės talpos vidinis šilumokaitis (toliau variantas 3) ir kai naudojami išoriniai šilumokaičiai iš abiejų akumuliacinės talpos pusių (toliau variantas 4). Iš viso atlikti 180 modeliavimo atvejai. Kiekvienam modeliavimo atvejui gautos saulės šilumos energijos dalys bendrame šilumos energijos poreikyje, pagaminta elektros energija (PVT), grynosios dabartinės vertės po 25 metų ir t. t. Gauta, kad variantas 1 pasižymi didžiausiomis saulės šilumos dalimis: iki 6,7 % (V), 6 % (P) ir 3,5 % (PVT). Apie pusę PVT modulių sistemų metinių pajamų gaunama dėl elektros energijos gamybos savoms reikmėms. Įvertinus sistemos ekonomiškumą gauta, kad saulės kolektorių sistemos atsiperka po 10–21 metų, o PVT sistemos neatsiperka, jei gauta 50 % parama. Gavus maksimalią paramą (80 %), sistemos atsipirktų po 3–6 (V, P) ir 7–10 (PVT) metų.

Krasauskas, Vilius. Study of solar energy usage for industrial technological processes. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Rolandas Jonynas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Power Engineering (E13), Engineering Sciences (E).

Keywords: solar collectors, hybrid modules, simulation, industry.

Kaunas, 2018. 86 pages.

## **Summary**

This work evaluates various solar energy conversion technologies for industrial technological process heat generation. Solar energy is most applicable for processes, which require temperatures of up to 100 °C. Such temperatures are found in 13 % of industrial technological processes. At these temperatures the most commonly used collectors are flat plate (P) and evacuated tube (V) collectors. Also, hybrid modules (PVT) could be used, which carry out cogeneration, i. e. simultaneous heat and energy generation. Using the program Polysun simulations were done for possible solar energy systems. The simulation object was selected according to the industrial sectors, which are the most relevant for solar energy usage. It was found that wood, food and textile manufacturing sectors are the most relevant ones. According to these industrial sectors, a milk processing plant with an industrial profile, 80 m<sup>3</sup> volume and 80 °C temperature hot water daily load was selected as the simulation object. During the course of the simulation different solar energy conversion technologies (P, V, PVT), collector amounts (20–100) and ratios of storage tank volume to collector aperture area (50–100 l/m<sup>3</sup>) were taken into account. The simulations were done for four different system layouts: using an external heat exchanger for the solar loop (variant 1), using an internal heat exchanger for the storage tank (variant 2), using an external heat exchanger between the storage tank and the boiler, and using an internal heat exchanger for the storage tank (variant 3) and using external heat exchangers on sides of the storage tank (variant 4). In total 180 cases were simulated. For each simulation cases solar fractions, generated electrical energy (PVT), net present values after 25 years and other units were found. It was found that variant 1 (followed variants 2, 4 and 3) has the highest solar fractions: up to 6,7 % (V), 6 % (P) and 3,5 % (PVT). About half of PVT module system yearly income consists of electricity generation for self-use. After a financial analysis it was found that solar collector systems recoup after 10–21 years and PVT systems don't recoup within their lifetime of 25 years, if the granted subsidy is 50 %. If the subsidy would be maximal (80 %), the systems would recoup after 3–6 (V, P) and 7–10 (PVT) years.

## IVADAS

Šio darbo tema — Saulės energijos panaudojimo pramonės technologiniuose procesuose tyrimas. Darbe aptariama saulės energija, kuri yra pačio didžiausio potencialo energijos šaltinis, jeigu žiūrėtume pagal Žemę pasiekiančią energiją. Todėl šios energijos panaudojimo siekis yra gana pragmatiškas. Šiam tikslui naudojamos saulės energijos transformavimo technologijos, o šias technologijas naudojančios sistemos yra išskiriamos į kelias rūšis.

Sistemos, naudojančios saulės kolektorius, yra skirtos šiluminei energijai gauti. Naudojant tokias sistemas galima ruošti karštą vandenį, šildyti baseinus, šildyti žemos temperatūros patalpas, gautą šilumą panaudoti technologiniuose procesuose ir t. t. Patys saulės kolektoriai atitinkamai skirstomi į tris rūšis: plokštieji, vakuuminiai ir tūriniai kolektoriai. Saulės kolektorių sistemose paprastai naudojamas skystas šilumnešis, bet galima naudoti ir dujinės fazės šilumnešį. Pavyzdžiui, šilumą galima nuvesti panaudojant orą, kuri toliau išskirstoma patalpose naudojant ventiliacijos sistemą. Paprastai saulės kolektoriais galima pašildyti vandenį iki temperatūros, apie 3–4 kartus didesnės nei dienos temperatūra. Jeigu gaunami aukštos temperatūros, dideli šilumos kiekiai, galima gaminti garą ir juo varyti garo turbiną. Tokiu būdu saulės kolektorių sistemos taip pat gali gaminti elektros energiją. Šiam tikslui pasaulyje dažniausiai naudojamos koncentruojančio tipo saulės jėgainės, kur daugelių veidrodžių saulės energija būna koncentruojama į mažą plotą.

Be paminėtų koncentruojančių saulės jėgainių, taip pat naudojami kiti būdai elektros energijai gaminimui. Paplitęs fotovoltinių modulių naudojimas. Šie moduliai kuria nuolatinę srovę, tinkamą tiesiogiai naudoti nuolatinės srovės įrenginiuose, o jungiantis prie elektros tinklo arba prie kintamos srovės reikalaujančių įrenginių reikia papildomai naudoti galios inverterius. Pagrindinę fotovoltinio modulio dalį sudaro fotovoltiniai elementai, plokštelės sudarytos iš n ir p tipo puslaidininkių. Jei į puslaidininkį krentančios šviesios energija būna didesnė už puslaidininkio draudžiamąją juostą, gaunamas kovalentiniais ryšiais surišto elektrono (dažniausiai esančio silicio monokristale, dažniausiai naudojamame puslaidininkyje) perėjimas iš valentinės juostos į laidumo juostą. Taigi, gaunamas neigiamas elektronas ir teigiama skylė. Dėl puslaidininkių skirtingo legiravimo (puslaidininkių savybių pagerinimas įterpiant priemaišų) gaunami neigiami ir teigiami poliai, nes elektronai ir skylės renkasi skirtinguose elemento pusėse. Grandinė sujungiama ir elementas užbaigiamas viršuje uždėjus metalinį tinklėlį, o apačioje metalinį kontaktą. Tada fotovoltiniai elementai sujungiami į elektros grandinę ir patalpinami į rėmą, kuris ir sudaro fotovoltinį modulį. Tipiniai saulės elementai gaminami iš silicio, bet taip pat galima naudoti įvairius puslaidininkius. Paprastai fotovoltinių modulių naudingumo koeficientas gaunamas apie 15 %.

Trečias saulės energetikos variantas – šilumos ir elektros energijos gamybos sujungimas. Žinoma, jei naudojant saulės kolektorius gaunami dideli šilumos kiekiai ir taip gaunamas garas,

kuris varo garo turbiną, jau turima kogeneraciją atliekanti sistema, bet kogeneracijai „iš vieno įrenginio“ ir mažesniems mastams puikiai naudojami hibridiniai saulės moduliai. Tai iš principo fotovoltiniai moduliai, bet iš fotovoltinių elementų apatinės pusės jie dielektriniais klizais suklijuojami su papildomu absorberiu, kurio kanalais teka šilumnešis, kuris nukreipia šilumą nuo fotovoltinių elementų. Taip pat po absorberiu racionalu dėti šiluminę izoliaciją, kuri sumažina šilumos nuostolius, bet taip pat sumažina fotovoltinių elementų efektyvumą (reikia įvertinti, kas svarbiau). Toks fotovoltinių elementų efektyvumo sumažėjimas gaunamas dėl tos pačios priežasties, kaip ir dėl ko turimas bendras hibridinių saulės modulių panaudojimo pagrindimas. Fotovoltiniai moduliai įvertinami ir jų duomenys kataloguose pateikiami esant standartinėms sąlygoms,  $1 \text{ kW/m}^2$  saulės apšvitos ir  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  puslaidininkių temperatūros. Fotovoltiniai elementai, viršijantys šią temperatūrą, patiria galios nuostolius, paprastai sudarančius apie  $0,5 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ . Nukreipiant šilumą nuo fotovoltinių elementų, vienu metu gaunama šilumos energija ir sumažinami elementų galios nuostoliai. Bendras gautos energijos kiekis bus didesnis, bet pačios elektros energijos kiekis nebūtinai bus didesnis (lyginant su paprastais fotovoltiniais moduliais). Gautos šilumos ir elektros energijos santykis priklauso nuo hibridinių modulių sandaros ir savybių.

Šiame darbe didžiausias dėmesys skirtas šiluminės energijos gavimui saulės kolektoriais. Toliau taip pat galima išskirti kelis bendrus saulės energetikos privalumus:

- nėra jokių į aplinką išmetamų teršalų, jei atmetama pačių saulės kolektorių ar modulių gamyba;
- sistemos pasižymi mažomis eksploatacinėmis išlaidomis;
- sistemos ilgą laiką, nėra judančių dalių, išskyrus kai naudojamos saulės sekimo sistemos;
- tipinė sistema, šilumos arba elektros energijai gaminti, atsiperka apie per pusę savo naudojimo laikotarpio, o toliau vartotojui duoda pelną;
- kadangi tai atsinaujinančios energijos šaltinis, įmanoma gauti valstybės paramą.

Atitinkamai išskiriami bendri saulės energetikos trūkumai:

- mažas energetinis tankumas. Saulės ekspozicija Lietuvoje per metus yra lygi apie  $1 \text{ MWh/m}^2$ . Identiškas energijos kiekis gaunamas iš apie  $126 \text{ kg}$  anglies, bet tokiam anglies kiekiui sudeginti nereikės metų ir tam naudojamų katilų naudingumo koeficientas bus didesnis. Todėl, jei norima gauti didelius energijos kiekius naudojant saulės energiją, moduliais reikia apstatyti didžiulius plotus. Taip pat lyginant su tradiciniais energijos šaltiniais tikėtina, kad saulės energija užtikrinamas procesas bus pasyvesnis, labiau inertiškas ir saulės energija procese sudarys tik papildančiąją dalį;
- energijos gamyba priklauso nuo klimatinėms sąlygoms, nakties metu tokios technologijos yra neveiksios. Todėl reikia akumuliacijos arba saulės energiją reikia naudoti kaip pagalbinių šaltinių;

- gaunamas neatitikimas tarp gaminamo energijos kiekio ir energijos poreikio, jei energijos daugiausiai reikia žiemos metu, nes su saulės energetika daugiausiai energijos pagaminama vasaros metu.

Šio darbo pirmojoje dalyje, skyriuje 1 aprašytos skirtingos saulės energijos transformavimo technologijos ir jų panaudojimo sritys pramonėje. Po to skyriuje 2 atrinktos saulės energijos panaudojimui aktualiausios Lietuvos pramonės šakos, kad pagal tai skyriuje 3 būtų galima modeliavimo objektą. Visos modeliavimo charakteristikos, dydžiai, schemos ir t. t. yra pateiktos skyriuje 4. Galiausiai, rezultatai aprašyti skyriuje 5. Tokiu būdu gauti aktualus skirtingų saulės energijos transformavimo technologijų, sistemos schemų ir kitų dalių palyginimai.

# 1 SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMAS PRAMONĖJE

Šiame skyriuje trumpai aptariamos saulės energijos panaudojimo galimybės pramonėje. Skyrius suskirstytas į tris dalis pagal įvade paminėtas saulės energijos transformavimo technologijų rūšis: saulės kolektoriai, fotovoltiniai moduliai ir hibridiniai saulės moduliai. Didžiausias dėmesys, kaip ir visame darbe, skirtas saulės kolektorių panaudojimui.

## 1.1 Saulės kolektorių panaudojimas pramonėje

Žinoma, kad saulės kolektorių technologijos turi didžiausią panaudojimo potencialą procesams, kuriems reikia žemų ir vidutiniškai aukštų temperatūrų. Tai sudaro temperatūros intervalą nuo 80 iki 240 °C laipsnių [1]. Iš viso apie 13 % pramonės procesų reikalauja šiluminės energijos iki 100 °C, 27 % reikalauja šiluminės energijos iki 200 °C, o likusi dalis reikalauja aukštų temperatūrų (plieno, stiklo, keramikos pramonės ir t. t).

Dėl to, jei norima įvertinti saulės kolektorių panaudojimą kokioje nors pramonėje, reikia žinoti toje pramonėje vykdomus technologinius procesus ir tiems procesams reikalingas temperatūras. Šiam tikslui pasitelkiamas literatūros šaltinis [1] — saulės energijos panaudojimo pramonėje apžvalga. Gauta 1.1.1 lentelė, pateikianti paminėtus duomenis.

1.1.1 lentelė. Pramonės šakų technologiniai procesai ir jų temperatūros

<b>Pramonė</b>	<b>Procesas</b>	<b>Temperatūra, °C</b>
Pieno	Suslėgimas	60–80
	Sterilizacija	100–120
	Džiovinimas	120–180
	Koncentravimas	60–80
	Tiekiamas vanduo	60–90
Konservuoto maisto	Sterilizacija	110–120
	Pasterizacija	60–80
	Virimas	60–90
	Balinimas	60–90
Tekstilės	Balinimas, dažymas	60–90
	Džiovinimas, riebalų šalinimas	100–130
	Dažymas	70–90
	Apdorojimas po dažymo	160–180
	Presavimas	80–100
Popieriaus	Virimas, džiovinimas	60–80
	Tiekiamas vanduo	60–90
	Balinimas	130–150
Chemijos	Muilas	200–260
	Sintetinė guma	150–200
	Apdorojimo šiluma	120–180
	Tiekiamas vanduo	60–90
Mėsos	Plovimas, sterilizacija	60–90
	Virimas	90–100

### 1.1.1 lentelės tęsinys

Gėrimų	Plovimas, sterilizacija	60–80
	Pasterizacija	60–70
Miltai ir jų produktai	Sterilizacija	60–80
Medžio produktų	Termodifuzija	80–100
	Džiovinimas	60–100
	Tiekiamas vanduo	60–90
	Minkšta masė	120–170
Plytų	Nusistovėjimas	60–140
Plastiko	Paruošimas	120–140
	Distiliacija	140–150
	Atskyrimas	200–220

Matoma, kad šiose dažnai pasitaikančiuose pramonės šakose paplitę technologiniai procesai esant ankščiau minėtam 80–240 °C intervalui. Dabar lentelėje 1.1.2 galima išskirti naudojamą saulės kolektorių technologijas dažniausioms jų panaudojimo sritims ir sistemos tipams [1].

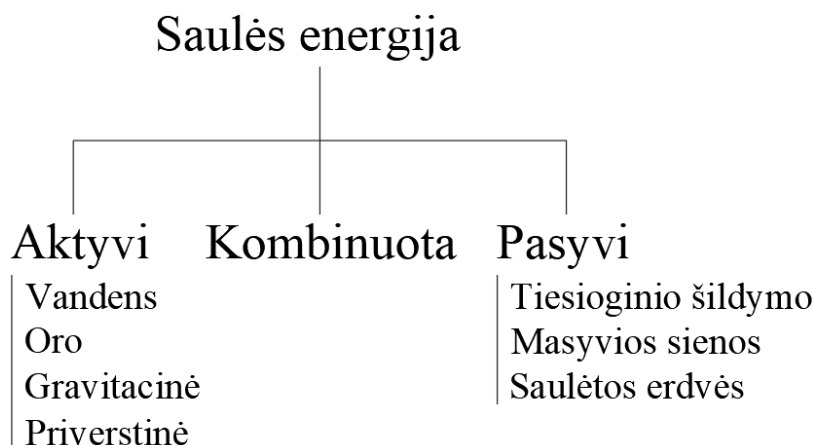
1.1.2 lentelė. Saulės kolektorių panaudojimo sritys, technologijos ir sistemų tipai

Saulės energijos panaudojimas	Naudojamos technologijos	Sistemos tipas
Vandens šildymas	Termosifonas	Pasyvus
	Integruotos talpos kolektoriai (ICS)	Pasyvus
	Tiesioginė cirkuliacija	Aktyvus
	Netiesioginis vandens šildymas	Aktyvus
	Orinės sistemos	Aktyvus
Erdvių šildymas ir šaldymas	Vandens sistemos	Aktyvus
	Orinės sistemos	Aktyvus
	Šilumos siurblių sistemos	Aktyvus
	Absorbcinės sistemos	Aktyvus
	Adsorbcinis desikantinis šaldymas	Aktyvus
	Mechaninės sistemos	Aktyvus
Industrinio proceso šilumos poreikis	Industrinės oro ir vandens sistemos	Aktyvus
	Garų generacijos sistemos	Aktyvus
Vandens gėlinimas	Saulės distiliatoriai	Pasyvus
	Daugiastadinis droseliavimas (MSF)	Aktyvus
	Daugiastadinis garintuvas (MEB)	Aktyvus
Saulės šiluminės galios sistemos	Kolektoriai su paraboliniiais loviais	Aktyvus
	Parabolinės bokšto sistemos	Aktyvus
	Parabolinės saulės lėkštės	Aktyvus
	Saulės krosnys	Aktyvus
	Saulės cheminės sistemos	Aktyvus

Saulės šiluminės galios sistemos naudojamos palankiomis klimato sąlygomis ten, kur saulės ekspozicija yra žymiai didesnė nei Lietuvoje. Taip pat Lietuvoje nėra prasmės atlikti vandens gėlinimo. Iš naudojamų technologijų, vandens šildymui dažniausiai naudojama tiesioginė cirkuliacijos sistemos, o erdvių šildymui, šaldymui taip pat paplitusios šilumos siurblių ir orinės sistemos.

Čia saulės kolektorių sistemos yra išskiriamos į aktyvias ir pasyvas bei kombinuotas [2]. Pasyvios sistemos naudoja natūralius procesus saulės energijai transformuoti į šilumą, šilumai

akumuliuoti ir šilumai paskirstyti. Aktyvios sistemos šiems procesams įvykdyti naudoja atskiras priemones. Pavyzdžiui, saulės kolektoriaus absorberyje įkaistančio fluido šilumą į akumuliacinę talpą perduoda atskiras šilumnešis. Kombinuota sistema gaunama prie pasyvios sistemos pridėjus cirkuliacinį siurbį, skirtą šilumos mainų intensyvumui didinti. Daugiau apie tai bus rašoma šiame skyriuje, kai bus kalbama apie pastatų pramonę.



### 1.1.1 pav. Saulės kolektorių sistemų tipai

Žinant pramonės šakose turimų technologinių procesų temperatūras ir naudojamas technologijas, galima pasirinkti eksploatacijai tinkamus saulės kolektorius. Skirtingi saulės kolektoriai taip pat pasižymi tipinėmis temperatūros ribomis, pagal ką atliekamas parinkimas (žinoma, atsižvelgiama į kainą, ar reikia saulės sekimo ir t. t.) Šie duomenys pateikti lentelėje 1.1.3 [1].

1.1.3 lentelė. Skirtingų saulės kolektorių temperatūros ribos

Sekimas	Kolektorius	Absorberis	Koncentracijos santykis <sup>1</sup>	Temperatūros ribos, °C
Stacionarus	Plokščias plokštelinis (FPC)	Plokščias	1	30–80
	Vakuuminių vamzdžių (ETC)	Plokščias	1	50–200
	Sudėtinis parabolinis (CPC)	Vamzdinis	1–5	60–240
Vienos ašies	Su frenelio lęšiais (FLC)	Vamzdinis	10–40	60–250
	Parabolinio lovio (PTC)	Vamzdinis	145	60–300
	Cilindrinio lovio (CTC)	Vamzdinis	10–50	60–300
Dviejų ašių	Parabolinės lėkštės atspindėjimo (PDR)	Taškinis	100–1000	100–500
	Heliostatinio lauko (HFC)	Taškinis	100–1500	150–2000

1 — kolektoriaus darbinio ploto ir absorberio ploto santykis.

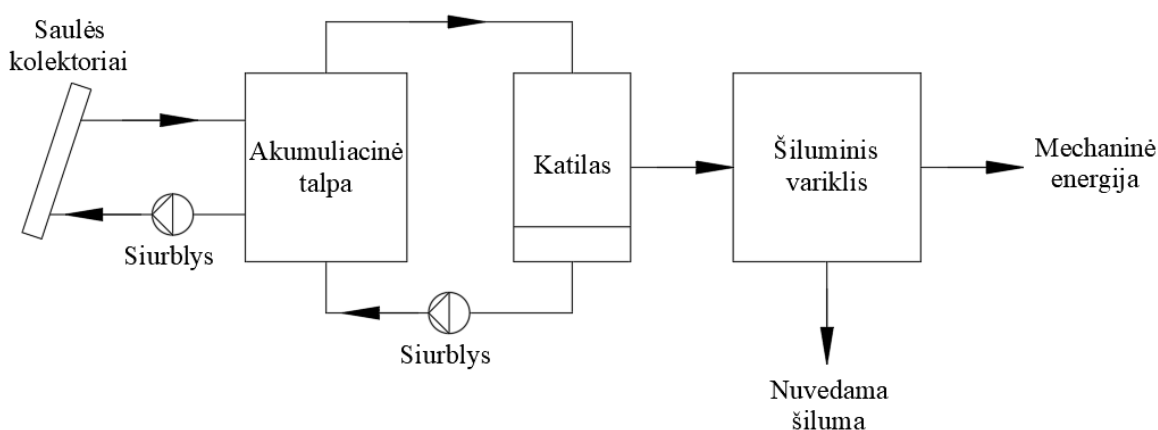
Čia kolektoriai, turintys labai didelius koncentracijos santykius, yra naudojami saulės šiluminės galios sistemose. Dažniausiai naudojami kolektoriai pateikti prie stacionaraus sekimo skilties, bet tai nereiškia, kad nėra įmanoma juos naudoti kartu su saulės sekimo sistemomis, jei būtų toks noras, o tik, kad dažniausiai jie naudojami be sekimo, stacionariai. Saulę, ašis sekantys



kolektoriai pasižymi didesnėmis eksploatacinėmis išlaidomis, nes turi judančias dalis. Paprastai dvi ašies sekantys kolektoriai naudojami saulės jėgainėse, o pramoniniams procesams naudojami vienos ašies sekimo ir stacionarūs kolektoriai.

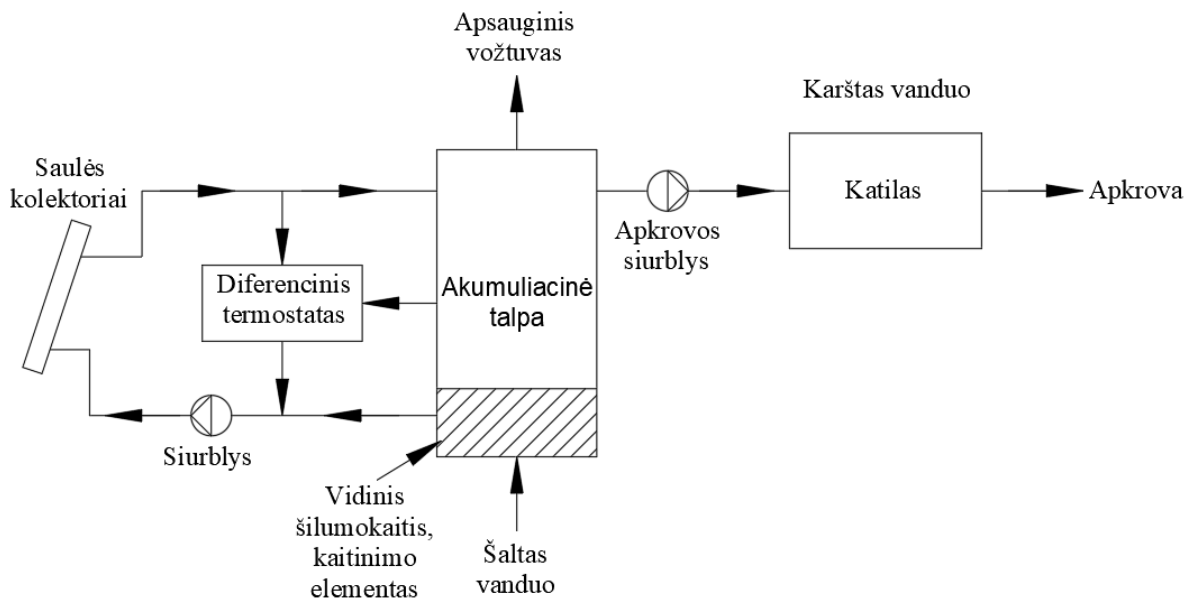
Bendrai naudojamo kolektoriaus tipas, naudojami fluidai, akumuliacinės talpos ir kiti įvairūs sistemos parametrai priklauso nuo turimo projekto reikalavimų. Plokšti kolektoriai naudojami žemos temperatūros reikmėms, o koncentruojantys ir loviniai kolektoriai naudojami aukštesnės temperatūros reikmėms.

Dažnas saulės kolektorių panaudojimas kartu su šiluminiais varikliais. Pavyzdžiui, tam gali būti naudojamas Stirlingo variklis, pasižymintis patikimumu, sistemos paprastumu ir dirbantis su visais išoriniais šilumos šaltiniais. Tokios sistemos naudojamos ten, kur reikia tylaus darbo ir arba ten, kur yra pastovus ir lėtai besikeičiantis galios poreikis.



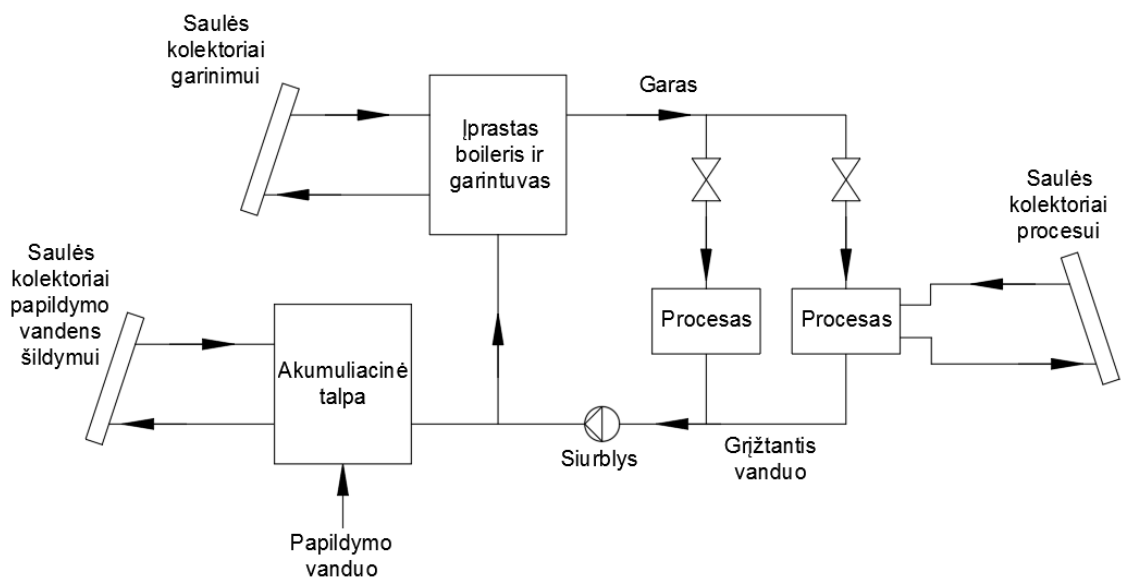
**1.1.2 pav. Saulės kolektoriaus pajungimo prie šilumos variklio principinė schema**

Namų ūkiuose ir pramonėje didžioji saulės kolektoriais gaunamos saulės šiluminės energijos dalis panaudojama karšto vandens ruošimui. Įprastą sistemą sudaro saulės kolektoriai, akumuliacinė talpa, siurbliai, automatikai skirti jutikliai, diferencinis termostatas ir t. t. Tokios sistemos veikimo principas yra pagrįstas karšto ir šalto vandens tankių skirtumu. Taip pat išskiriamos recirkuliuojančios ir nerekuliuojančios sistemos, iš kurių recirkuliuojančios sistemos yra labiau panašios į namų ūkiuose naudojamas sistemas, o nerekuliuojančios sistemos naudojamos, pavyzdžiui, valymo procesams.



**1.1.3 pav. Saulės kolektoriaus karšto vandens ruošimo principinė schema**

Saulės energijos sistemos pramonės procesams gali būti pajungtos, kaip reikalingos energijos tiekimo dalis arba kaip pačio proceso dalis.

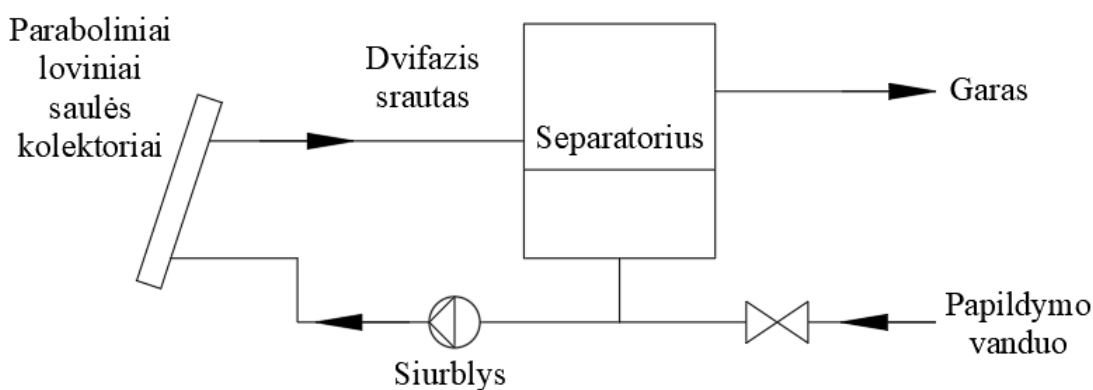


**1.1.4 pav. Saulės kolektorių integracijos prie pramonės procesų principinė schema**

Garų gaminimui dažniausiai naudojami tam tinkantys paraboliniai loviniai kolektoriai. Garų gavimo principas, naudojant tokią sistemą, sudarytas iš šių dalių: į saulės kolektorių tiekiamas suspaustas vanduo (suspaustas, nes siekiama išvengti virimo); už kolektorių gaunamas karštas, vienos fazės vanduo yra droseliuojamas į atskirą talpą (taip išgaunant garą); talpos vandens lygis išlaikomas pastovus naudojant papildomo vandenį.

Jeigu už kolektoriaus vanduo nedroseliuojamas, tiekiamas vanduo turi būti nesuspaustas ir už kolektoriaus gaunamas dvifazis srautas, kuris toliau turi būti paduodamas į separatorių. Žinoma,

saulės kolektorius taip pat galima naudoti tik pirminiam vandens pašildymui ir toliau vandenį paduoti į įprastą garo katilą.



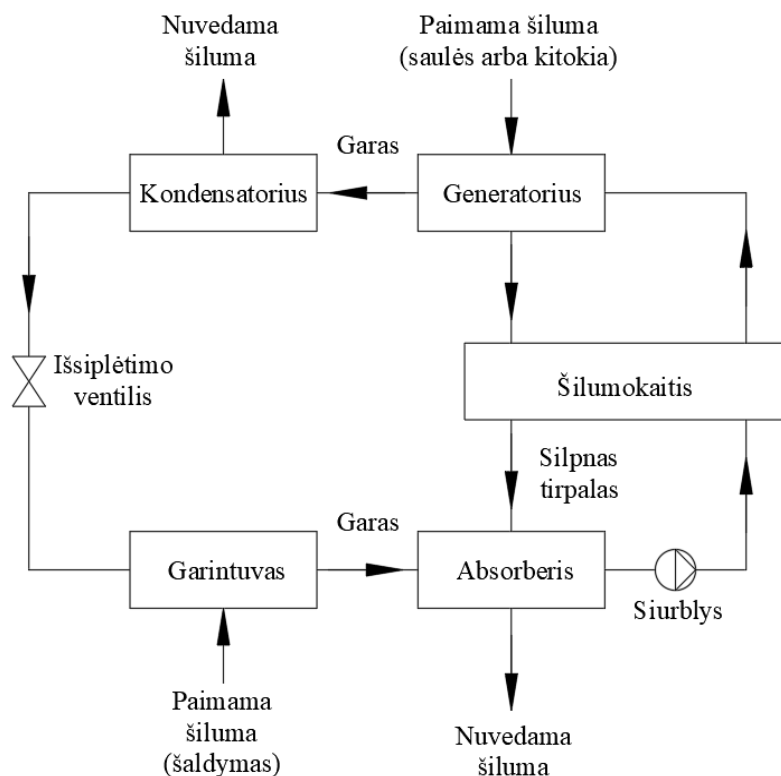
**1.1.5 pav. Saulės kolektoriaus garo generavimo principinė schema**

Saulės energiją naudojančios džiovinimo sistemos yra išskiriamos į dvi grupes: žemos ir aukštos temperatūros. Saulės energija gali padengti visus energijos poreikius, jei naudojama žemos temperatūros džiovinimo sistema, bet naudojant aukštos temperatūros sistemas tikėtina, kad tokios sistemos didžiąją dalimi naudos iškastinį kurą, biokurą arba elektros energiją. Džiovinimo sistemos taip pat yra skirstomos pagal oro tekėjimą į natūralios cirkuliacijos ir priverstinės konvekcijos sistemas. Priverstinės konvekcijos sistemų siurbliams varyti naudojama elektros energija arba įprasto kuro energija, o šilumos energijos atžvilgiu galima apsiriboti saulės energija, jei iš jos gaunamos šilumos energijos užtenka. Jei kartu su saulės energija taip pat naudojami įprastiniai energijos šaltiniai, siekiant pakelti oro temperatūrą iki reikalingos, gaunama hibridinė saulės džiovinimo sistema.

Tipinę saulės džiovinimo sistemą sudaro orą šildantys saulės kolektoriai, oro tekėjimo kanalai, džiovinimo kambarys, kaminas, siurbliai (jei naudojama priverstinė konvekcija) ir katilas (jei sistema yra hibridinė). Paprastai pramoninės sistemos džiovinimui naudoja 140–220 °C orą arba dujas [1], o maisto pramonės agrikultūra džiovinimo procesą atlieka vidutiniškai prie 60 °C temperatūros [3].

Saulės apšvita yra intensyviausia vasaros mėnesiais, bet dažno šilumos vartotojo poreikiai tuo metų laiku būna mažiausi. Tai vienas iš saulės energetikos trūkumų ir būtent dėl to saulės energetika puikiai tinka oro kondicionavimo sistemoms, nes didžiausiais tokių sistemų poreikis yra karštaisiais metų mėnesiais, kai saulės apšvita yra didžiausia. Išskiriamos uždaros ir atviros sistemos. Šių sistemų skirtumas toks, kad uždaroms sistemoms reikia vykdyti recirkuliaciją ir uždaros sistemos pasižymi geresne darbo kokybe, nes gali tiksliau reguliuoti darbo parametrus. Tuo tarpu atviros sistemos pasižymi didesniu efektyvumu ir naudingumo koeficientu. Tokias sistemas

sudaro saulės kolektoriai, karščio ir šalčio talpos, karščio ir šalčio skirstymo įrenginiai bei galimas pagalbinis šildytuvas arba šaldytuvas.



**1.1.6 pav. Absorbcinio oro kondicionieriaus principinė schema**

Saulės energija puikiai tinka panaudojimui maisto, gėrimų ir pieno pramonėse. Atliekami valymo, pasterizacijos, sterilizacijos, virimo, džiovavimo ir kiti susiję procesai. Maisto konservavimo pramonėje saulės energija galima panaudoti skardinių konservavimui ir šaldymui. Įvairūs šių pramoninių procesai ir jų temperatūros buvo pateiktos 1.1.1 lentelėje.

Kartais saulės energijos panaudojimas pastatų poreikiams padengti yra įvardijamas, kaip pastatų pramonės dalis. Šioje pramonėje saulės energijos sistemos panaudojamos ruošiant karštą vandenį, gaminant elektrą ir atliekant oro kondicionavimą bei ventiliaciją. Tai svarbi pramonės šaka, nes gyvenamieji ir komercinės paskirties pastatai sudaro apie 40 % visų Europos Sąjungos energetinių sąnaudų. Todėl platus saulės energijos panaudojimas pastatų pramonėje turėtų didelę įtaką. Naudojamos saulės energijos transformavimo technologijos dažnai yra integruojamas, kaip pastato dalis. Tai reiškia, kad efektyviam jų panaudojimui reikia, kad pats pastatas būtų nukreiptas į pietus (tai dažnas vadinamojo pasyvaus namo bruožas).

Bendrai saulės energijos panaudojimas pastatų pramonėje yra skirstomas į tris grupes: pasyvus saulės energijos panaudojimas, kai pastatas pasyviai išskirsto dėl saulės įgautą šilumą, kuri surenkama panaudojant pastato orientaciją, medžiagas ir formą; aktyvus saulės energijos panaudojimas, kai saulės energija yra aktyviai naudojama šildymui arba šaldymui, kai naudojami

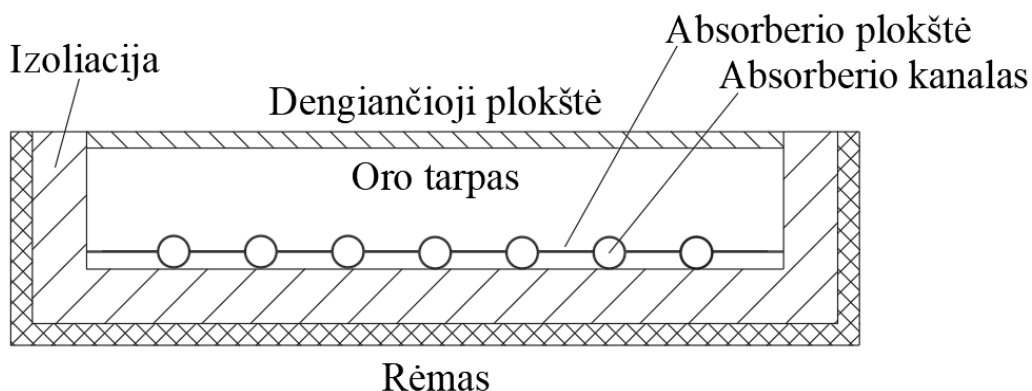
saulės kolektoriai ir kitos su įvairiomis sistemomis susijusios dalys; fotovoltinis saulės energijos panaudojimas, kai naudojami fotovoltiniai elementai, kuriais saulės energija transformuojama į elektros energiją, skirtą apšvietimo, ventiliacijos ir kitiems poreikiams padengti.

Toliau trumpai apie populiariausių saulės kolektorių rūšių darbo principus.

Plokščiuosius plokštinius saulės kolektorius sudaro absorberis, izoliacija, dengiančioji plokštė ir rėmas. Absorberis gaminamas iš šilumai laidžios ir šilumai bei korozijai atsparios medžiagos. Tam dažniausiai naudojamas varis. Per dengiančiąją plokštę praėję saulės spinduliai patenka ant absorberio plokštės ir ją sušildo. Tuo tarpu absorberio kanalais tekantis skystas šilumnešis nukreipia šilumą nuo įkaitusių plokštelių. Absorberio kanalai yra sulituoti su absorberio plokšte ir lygiagrečiai išvesti per didžiąją saulės kolektoriaus ilgio dalį. Absorberio paviršius turi būti dažomas tamsia matine spalva arba aptraukiamas specialia selektyvia danga. Jei naudojama selektyvi danga, dažniausiai naudojamas labai skaidrus grūdintas stiklas.

Absorberis turi būti dengtas šilumine izoliacija iš apačios ir šonų. Šiluminė izoliacija sumažina šiluminius nuostolius. Šiluminius nuostolius ir aplinkos faktorių poveikį taip pat sumažina dengiančioji plokštė, bet dengiančioji plokštė taip pat sugeria ir atspindi dalį ateinančios saulės spinduliuotės (šitie nuostoliai nėra labai dideli). Galiausiai šilumos nuostolius sumažina tarp absorberio ir dengiančiosios plokštės susidarantis oro tarpas.

Saulės kolektoriaus korpusas gali būti pagamintas iš aliuminio, plieno, plastmasės arba impregnuotos medienos.

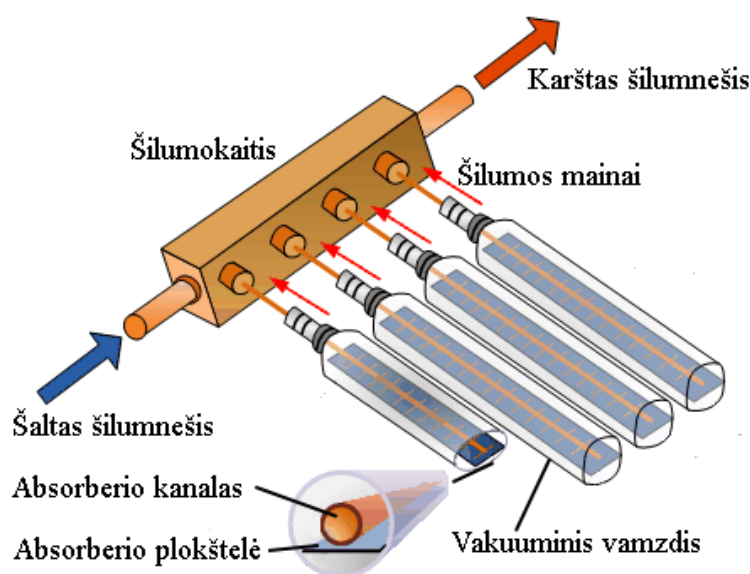


**1.1.7 pav. Plokštinio saulės kolektoriaus principinė schema**

Vakuuminių vamzdžių saulės kolektorius sudaro prie šilumokaičio lygiagrečiai sujungtų visiškai uždarų stiklinių vamzdžių eilė. Vamzdžiuose yra gilus vakuumas dėl kurio gaunamos didelės izoliacijos tokie kolektoriai pasižymi virš dvigubai mažesniu šiluminių nuostolių koeficientu. Vakuuminiame vamzdyje prie absorberio plokštelės yra prilituotas absorberio kanalas, kuriame teka metanolis. Dėl saulės spinduliuotės metanolis išgaruoja ir kyla į vakuuminio vamzdžio viršutinėje dalyje esantį kondensatorių, kuris pats išsina iš vakuuminio vamzdžio. Kondensatoriuje

metanolis kondensuojasi ir per šilumokaitį šilumnešiu perduoda šilumą. Galiausiai skystas metanolis teka žemyn absorberio kanalu.

Jungtis tarp vakuuminių vamzdžių ir šilumokaičio yra visiškai sausa. Todėl tokiai sistemai lengva pakeisti atskiras dalis. Taip pat galimas tiesioginio srauto vakuuminių vamzdžių atvejis, kai šilumokaitis nėra naudojamas ir kiekviename vakuuminiame vamzdyje prie absorberio plokštelės yra prilituoti du absorberio kanalai, kurie sujungti U forma vakuuminio vamzdžio žemutinėje dalyje. Tokios sistemos dalys negali būti lengvai pakeistos, nes šilumnešis turi įtekėti ir ištekėti iš kiekvieno vamzdžio.



1.1.8 pav. Vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriaus principinė schema

Tokio saulės kolektoriaus principinė schema yra pavaizduota paveiksle 1.1.8 [4]. Taip pat galimas vakuuminių plokščių kolektorių atvejis, sujungiantis šių sistemų bruožus.

## 1.2 Fotovoltinės energijos panaudojimas pramonėje

Saulės fotovoltinės sistemos yra išskiriamos į prijungtas prie elektros tinklo ir neprijungtas. Sistemos prie elektros tinklo nėra prijungiamos ten, kur nėra prieigos arba prisijungimo kaštai yra per dideli. Prie tinklo neprijungtos sistemos toliau skaidomos į turinčias akumuliaciją, akumuliacijos neturinčias ir hibridines sistemas. Akumuliacija naudojama energijos poreikiui padengti tada, kai fotovoltiniai moduliai yra neveiksnūs (dėl mažos saulės spinduliuotės, nakties metu), o fotovoltinės hibridinės sistemos gaunamos tada, kai kartu integruojamos vėjo, hidroenergijos ir kitokios sistemos.

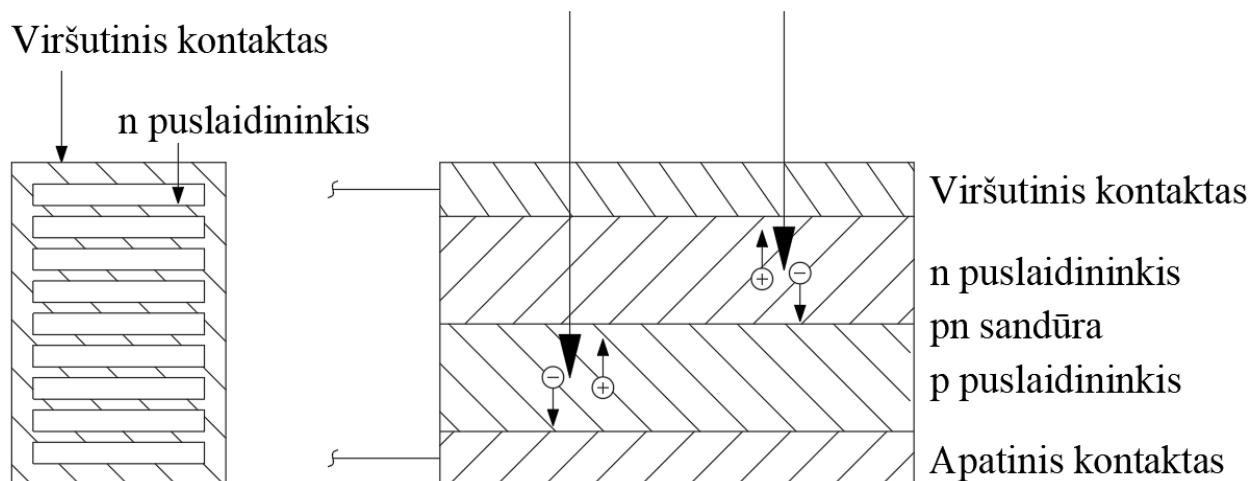
Mažos galios fotovoltinės sistemos yra dažnai naudojamos pastatų pramonėje, kur šios sistemos gali patenkinti vandens siurblių, šildytuvų bei įvairių elektrinių prietaisų elektros poreikį. Galima naudoti į pačius pastatus integruotas fotovoltines sistemas, kai fotovoltiniai elementai pakeičia įprastus pastato elementus. Pavyzdžiui, fotovoltiniais elementais padengiamos sienos, stogai, balkonai arba langai, kurie tada tampa pusiau permatomi.

Prie tinklo neprijungtos fotovoltinės sistemos yra dažnai naudojamos saulės mašinoms arba valtims varyti, parkavimosi aparatams, šviesoforams ir kitiems eismo ženklams maitinti. Tokios sistemos naudingai panaudojamos izoliuotuose vietovėse, pavyzdžiui, energija aprūpinant telekomunikacijos prietaisus.

Fotovoltiniai elementai, tai puslaidininkiai prietaisai, kurių veikimas yra pagrįstas fotoelektros efektu, t. y. šviesos energijos pavertimu į elektros energiją. Fotoefektas įvyksta, kai pakankamos energijos fotonas paveikia fotovoltinio elemento atomą ir perkelia elektroną iš valentinės juostos į laidumo juostą. Valentinis sluoksnis yra toliausiai nuo atomo branduolio nutolęs elektronų sluoksnis. Elektronai yra valentinėje juostoje (tuo pačiu valentiniame sluoksnyje), kai yra valentinėje jungtyje su gretimu atomu (atomai dalinasi elektronais). Valentinės jungtys taip pat vadinamos kovalentinėmis jungtimis ir yra sudaromos dėl atomų siekio pasiekti stabilumą, kas reikalauja visiško valentinio sluoksnio užpildymo. Pavyzdžiui, silicis turi keturias valentines jungtis, kurios yra užpildomos silicio monokristalo formavimosi metu.

Reikalingas fotono energijos kiekis atitinka draudžiamąją juostą. Tai yra skirtumas tarp laidumo ir valentinės juostos energijų vertės. Skirtingi puslaidininkiai turi skirtingas draudžiamosios juostos vertes. Silicis yra populiarus elementas, nes pasižymi draudžiamąja juosta, esančia truputi virš 1 eV. Tuo tarpu germanio draudžiamoji juosta yra apie 0,8 eV, bet šis elementas yra žymiai vertingesnis. Visiškas draudžiamosios juostos energiją atitinkantis fotonas tik išmuš elektroną į laidumo juostą. Jei energija bus didesnė, perteklius vairs šiluma, kas yra blogai, nes tai mažina fotovoltinių elementų efektyvumą (apie tai daugiau rašoma hibridinių modulių skyriuje 1.3). Jei energija nepakankama, fotonas fotovoltinius elementus truputi sušildys arba pereis kiaurai.

Neigiamo krūvio elektronai fotonų yra išmušami į laidumo juostą, o jų vietoje lieka teigiamo krūvio skylės. Nuolatinė elektros srovė yra sukuriama dėl pn sandūros, kuri sukuriama į skirtingas fotovoltinių elementų plokšteles įterpiant priemaišų. Priemaišos didina krūvininkų koncentraciją – didinančios elektronų kieki yra vadinamos n tipo, o didinančios skylių kieki vadinamos p tipo. Prijungus kontaktus gaunamas laisvų elektronų judėjimas pagal elektros lauką ir skylių judėjimas prieš elektros lauką.



1.2.1 pav. Fotovoltinio elemento struktūros principinė schema

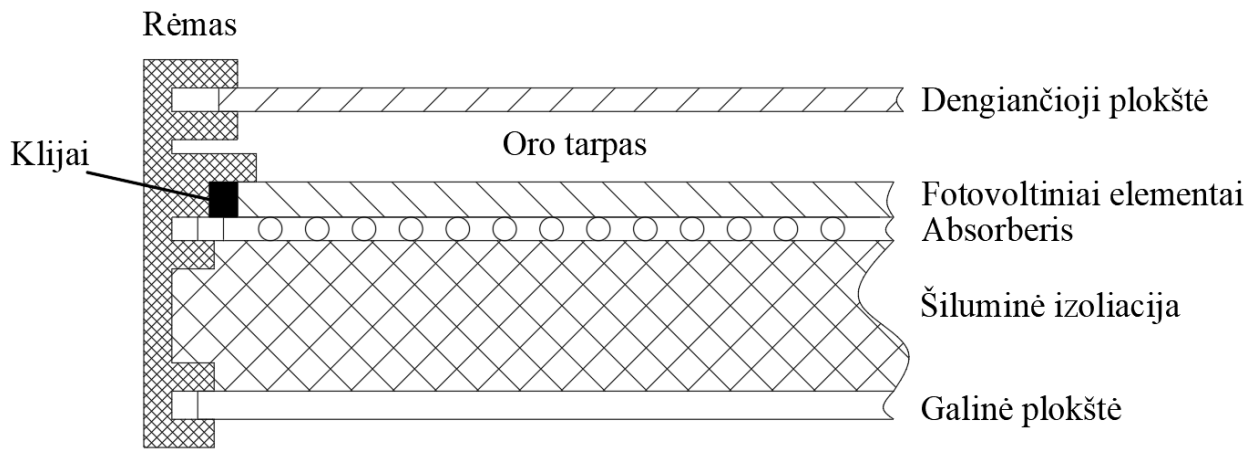
Tai yra svarbiausi fotovoltinių elementų veikimo principai. Jų struktūros principinė schema pavaizduota 1.2.1 paveiksle [5]. Tuo tarpu fotovoltinių modulių principinė schema yra panaši į žemiau pavaizduotą 1.3.1 paveikslą (išskyrus be plokščių, oro tarpo, absorberio ir šiluminę izoliaciją).

### 1.3 Hibridiniai PVT saulės moduliai

Fotovoltinių modulių charakteristikos paprastai būna pateiktos esant  $1 \text{ kW/m}^2$  saulės apšvitai ir  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  fotovoltinių elementų temperatūrai. Kadangi fotovoltiniai elementai yra sudaryti iš puslaidininkių,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros viršijimas sudaro apie  $0,5 \text{ } \%/^\circ\text{C}$  galios nuostolius. Naudojant hibridinius PVT (angl. – Photovoltaic Thermal) saulės modulius, fotovoltiniai elementai yra vėsinami papildomu, po jais dedamu absorberiu. Taip sumažinami fotovoltinių elementų galios nuostoliai ir tuo pačiu metu gaunama šiluminė energija. Lyginant su fotovoltiniais moduliais, pagamintos elektros energijos kiekis gali sumažėti. Tai priklauso nuo hibridinių modulių sistemos orientacijos į elektros arba šilumos energijos gamybą. Vis dėl to bendras pagamintos energijos kiekis bus didesnis. Taip pat toks modulis užimtu mažiau vietos, nei saulės kolektorius ir fotovoltinis modulis atskirai.

Hibridinio saulės modulio principinė schema yra pavaizduota 1.3.1 paveiksle [5]. Iš principo tai yra su saulės kolektoriumi sujungtas fotovoltinis modulis. Fotovoltiniai elementai dielektriniais klėjais yra suklijuojami su absorberiu, kurio kanalais tekantis šilumnešis nukreipia šilumą nuo įkaitusių fotovoltinių elementų. Absorberio kanalų forma beveik nedaro įtakos fotovoltinių elementų darbui, bet daro labai didelę įtaką šiluminiui naudingumui. Trumpai apibendrinant galima teigti [5], kad spiralinio srauto forma yra geriausia visais aspektais. Serpantino srauto forma yra blogiausia ir su ja prarandama apie  $30 \text{ } \%$  šiluminio naudingumo.





**1.3.1 pav. Hibridinio saulės modulio principinė schema**

Dengiančiosios plokštės yra dedamos siekiant sumažinti absorberio šilumos nuostolius ir šilumnešio priklausomybę nuo aplinkos poveikio. Šiluminė izoliacija ir oro tarpas taip pat atlieka šilumos nuostolių mažinimo funkciją. Vis dėl to šios dalys neigiamai paveikia fotovoltinių elementų efektyvumą dėl gaunamos didesnės jų temperatūros ir dengiančiosios plokštės atspindėtų arba absorbuotų saulės spindulių.

Dielektriniai klijai naudojami, nes užtikrina, kad visi kontaktai tarp fotovoltinių elementų ir absorberio būtų aukštos temperatūros.

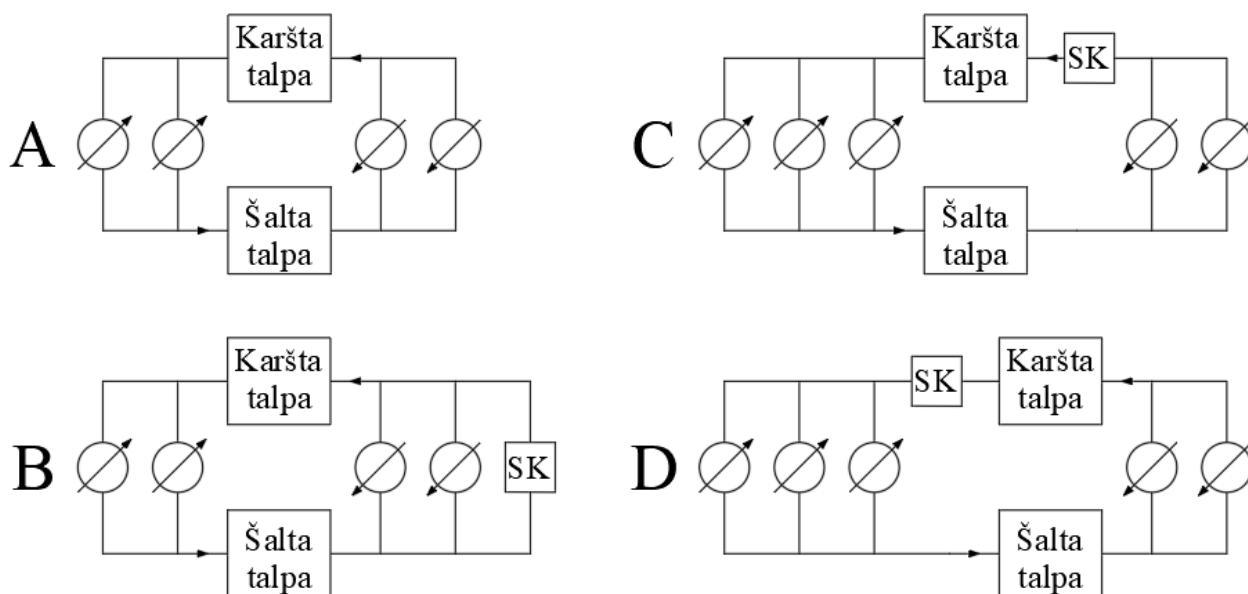
## **1.4 Žemo potencialo šilumos HRL sistemos**

Nagrinėjant saulės energijos transformavimo technologijų panaudojimą pramonės technologiniams procesams, galima gauti didesnę efektyvumą, jei saulės kolektoriai yra integruojami į HRL (angl. – Heat Recovery Loop) žemo potencialo šilumos atgavimo kontūro sistemą. Atliekinė, žemo potencialo šiluma, kurią sunku utilizuoti ir kuri dėl to dažnai yra išmeta, gali sudaryti labai didelę sunaudojamos energijos dalį. Pavyzdžiui, Jungtinės Karalystės maisto pramonėje tai sudaro 27 % [6] galutinės energijos sunaudojimo. Todėl HRL sistemų panaudojimas gali būti labai ekonomiškai naudingas.

Tokių sistemų ekonomiškumas taip pat yra pagrįstas jų galimybe integruotis prie jau įrengtų vamzdinių, siurblių, talpų ir jau naudojamų žemo potencialo šilumos atgavimo sistemų. Tai reiškia, kad per saulės kolektorius tekės ne specialus koncentratas, o pramoninio objekto sistemoje naudojamas šilumnešis (dažniausiai vanduo).

HRL sistemos darbo principas apibrėžiamas taip [7]: siurbliais į jėgaines (fabrikus, pieno perdirbimo gamyklas ir t. t.) paduodamas šilumnešis (paprastai vanduo), kur yra tinkamos temperatūros eilės šilumos perteklius. Šis šilumnešis atgauna šilumą ir toliau būna paduodamas į talpą, kuri toliau dirba kaip akumuliacinė šilumos talpa. Galiausiai šilumnešis pasiunčiamas į

jėgaines, kur reikia tokios pačios temperatūros eilės šildymo. Sistema yra uždara ir šilumnešis yra pastoviai cirkuliuojamas priklausomai nuo įvairių procesų šildymo ir šaldymo poreikių. Čia akumuliacinė talpa dirba kaip masės ir entalpijos nelygumų buferis tarp kontūro karštos ir šaltos pusės, kas yra ypač svarbu, kai turima daug beveik pastoviai vykstančių technologinių procesų. Taip pat galima pabrėžti, kad talpos dydis yra labai svarbus sistemos darbui ir talpos trūkumas dažnai sudaro kliūtį teorinių rezultatų pasiekimui. Saulės kolektoriai čia naudojami, kad būtų padidinta šilumnešio temperatūra ir entalpija. Išskiriami trys saulės kolektorių prijungimo prie HRL sistemų būdai, kai yra naudojamos dvi talpos [7].



1.4.1 pav. Saulės kolektorių prijungimas prie HRL sistemos

Paveikslo 1.4.1 atvejis A vaizduoja HRL sistemą be saulės kolektorių. Čia perbrauktas apskritimas – šilumos ir šalčio šaltiniai, SK – saulės kolektoriai. Toliau trumpai apie saulės kolektorių prijungimo būdus.

Kai saulės kolektoriai prijungiami lygiagrečiai HRL šilumos šaltiniams (atvejis B), kontūre turi būti gaunamas didesnis šilumnešio debitas dėl ko į karštą talpą yra perduodama daugiau šilumos.

Kai saulės kolektoriai prijungiami nuosekliai po šilumos šaltinių (atvejis C), saulės kolektoriai dirba kaip šilumnešio temperatūros ir entalpijos didintojai prieš karštą talpą. Taip šilumnešio debitas nepasikeičia ir ar tai efektyviau (lyginant su atveju B) priklauso nuo šildymo poreikio. Šiuo atveju karšta talpa kompensuoja didelius saulės kolektorių temperatūros pokyčius, kurie padarytu neigiamą įtaką šilumokaičių darbui.

Kai saulės kolektoriai prijungiami po karštos talpos (atvejis D), viskas išlieka kaip prie atvejo C, bet dabar netolygios saulės apšvitos poveikis nėra kompensuojamas karštos talpos buferiu.

Galimi kiti saulės kolektorių prijungimo būdai, kai naudojamos trys talpos ir kitokios sistemos, atitiks tam tikras šių keturių atvejų kombinacijas. Tokių sistemų įvertinimas yra gana sudėtingas ir aukščiau paminėti atvejai turi įvairių ypatumų, bet galima teigti [7], kad atvejis C yra efektyviausias (taip šaltinyje 7 nagrinėtam pieno perdirbimo gamyklos atvejui saulės kolektorių įtaka gaunama apie du kartus didesnė, negu prie atvejo B).

Šiame darbe tokia sistema nebus modeliuojama, nes tam reikėtų labai detalių nagrinėjamo objekto duomenų.

## 1.5 Saulės energijos potencialo įvertinimas

Žinoma, įvertinant saulės energijos transformavimo technologijų panaudojimą, būtina žinoti saulės energijos potencialą, kuris priklauso nuo pramonės įmonės vietą pasiekiančios saulės ekspozicijos. Saulės ekspozicija tai dydis, įvertinantis bendrą saulės energijos, pasiekusios saulės kolektoriaus paviršių, vertę per tam tikrą laiko tarpą. Saulės ekspozicija matuojama vatvalandėmis kvadratiniam metrui [ $\text{Wh/m}^2$ ].

Tuo tarpu į plokštumą krentančių saulės spindulių momentinė galios vertė yra vadinama saulės apšvita, kuri matuojama vatais kvadratiniam metrui [ $\text{W/m}^2$ ]. Šis dydis realiomis sąlygomis yra kintantis ir yra skaidomas į dvi dedamąsias: tiesioginę ir difuzinę saulės apšvitą. Tiesioginę saulės apšvitą sudaro į saulės kolektoriaus paviršių stačiu kampu krentantys saulės spinduliai. Tuo tarpu difuzinė saulės apšvita sudaro saulės kolektoriaus paviršių pasiekiantys atsispindėję, debesis praėję ir t. t. saulės spinduliai.

Saulės energijos potencialui įvertinti galima panaudoti Europos Komisijos Jungtinių Tyrimų Centro Energetikos ir Transporto Instituto Fotovoltinės Geografinės Informacijos Sistemos projektą (toliau PVGIS) [8]. Tai interaktyvi sistema, kurią naudojant galima rasti su saulės energijos panaudojimu susijusius dydžius beveik kiekvienai pasaulio vietai. Išskiriami dydžiai: saulės ekspozicija į horizontalią plokštumą, į tiesiai į saulės diską nukreiptą plokštumą (įskaito radiaciją, ateinančią tik tiesiogiai iš saulės disko), į optimaliu kampu nukreiptą plokštumą (atitinkamai galima sužinoti optimalų kampą saulės kolektoriams) ir į pasirinktu kampu nukreiptą plokštumą. Galima pasirinkti duomenų vaizdavimą mėnesiais, dienomis arba net valandomis. Taip pat pateikiami įvairūs meteorologiniai dydžiai: sauso oro temperatūra, vidutinė temperatūra, santykinė drėgme, vėjo kryptis ir greitis, oro slėgis, šildymo ir šaldymo dienos bei kiti dydžiai.

Panaudojant interaktyvią sistemą gaunamos mėnesinės saulės ekspozicijos vertės 2016 metams (naujausi siūlomi duomenys). Parinkti didžiausių Lietuvos miestų (apytiksliai tų miestų centrai) duomenys yra surašyti lentelėje 1.5.1, o šios lentelės paskutinėje skiltyje pateiktos suskaičiuotos metinės saulės ekspozicijos vertės.

1.5.1 lentelė. Saulės ekspozicija Lietuvos miestuose

Mėnesis	Saulės ekspozicija, kWh/m <sup>2</sup>					
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	15,60	15,80	12,80	14,60	14,40	16,80
Vasaris	26,90	26,70	32,60	32,30	28,30	28,70
Kovas	62,50	68,80	80,90	74,70	69,40	66,30
Balandis	95,70	101,00	154,00	121,00	108,00	99,80
Gegužė	179,00	182,00	179,00	193,00	181,00	177,00
Birželis	186,00	179,00	192,00	186,00	180,00	187,00
Liepa	131,00	138,00	162,00	156,00	147,00	138,00
Rugpjūtis	128,00	128,00	143,00	126,00	121,00	127,00
Rugsėjis	85,60	92,60	88,00	98,80	91,00	94,00
Spalis	36,50	34,30	43,20	34,60	32,80	36,20
Lapkritis	12,80	15,30	13,80	16,10	12,70	15,60
Gruodis	8,95	10,20	7,58	11,00	9,29	10,60
Metinis	968,55	991,70	1108,88	1064,10	994,89	997,00

Matoma, kad didžiausias saulės energijos potencialas yra vakarų Lietuvoje. Čia pateiktos saulės ekspozicijos vertės yra į horizontalią plokštumą ir gali būti padidintos artėjant prie optimalaus kampo. Optimaliu kampu vadinamas kampas, kuriuo nukreiptą saulės kolektorių pasiekia maksimaliai stačiu kampu į saulės kolektoriaus paviršiaus plokštumą krentantys saulės spinduliai (per tam tikrą laiko tarpą). Tai taip pat kampas tarp saulės kolektoriaus ir žemės paviršiaus plokštumos.

Saulės kolektoriaus kampas yra parenkamas mėnesiams arba metams, jei jis bus pilnai fiksuotas. Jei saulės kolektorius nėra fiksuotas ir turi saulės sekimo sistemą, saulės kolektoriaus kampas laikui einant yra pastoviai artinamas prie optimalaus kampo. Toliau lentelėje 1.5.2 pateikti metiniai Lietuvos optimalūs kampai.

1.5.2 lentelė. Saulės kolektorių metiniai optimalūs kampai Lietuvos miestuose

Optimalus metinis kampas, laipsniai					
Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
35	38	40	41	39	36

Dabar, žinant optimalius metinius kampus, galima surasti saulės ekspozicijos vertes į šiais kampais nukreiptų saulės kolektorių plokštumas.

1.5.3 lentelė. Saulės ekspozicija į optimalaus kampo plokštumą Lietuvos miestuose

Mėnesis	Saulės ekspozicija, kWh/m <sup>2</sup>					
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	26,10	28,30	24,70	28,40	26,90	28,90
Vasaris	35,70	35,30	57,30	49,80	40,70	37,90
Kovas	76,90	86,20	118,00	101,00	89,30	82,00
Balandis	107,00	113,00	195,00	142,00	127,00	111,00
Gegužė	188,00	193,00	191,00	206,00	191,00	186,00
Birželis	189,00	177,00	194,00	184,00	179,00	187,00
Liepa	131,00	138,00	168,00	155,00	147,00	140,00
Rugpjūtis	143,00	143,00	163,00	141,00	134,00	141,00

1.5.3 lentelės tęsinys

Rugsėjis	105,00	119,00	119,00	133,00	118,00	119,00
Spalis	49,70	46,00	66,80	47,40	45,40	48,50
Lapkritis	14,90	21,70	19,10	28,30	18,60	20,90
Gruodis	13,60	17,40	14,00	23,70	17,40	17,80
Metinis	1079,90	1117,90	1329,90	1239,60	1134,30	1120,00

Naudojant saulės kolektoriaus optimalų metinį kampą gaunama apie 15 % didesnė saulės ekspozicija (lyginant su saulės ekspozicija į horizontalią plokštumą). Jei būtų naudojamas kiekvieno mėnesio optimalius kampas, būtų gaunama apie 19 % didesnė saulės ekspozicija arba apie 2 % daugiau, jei būtų lyginama su metinio optimalaus kampo atveju. Panaudojant interaktyvią sistemą galima gauti saulės ekspozicijos vertes, jei būtų naudojamos saulės sekimo sistemos. Pavyzdžiui, sistema su dviašiu sekimu gautu atitinkamai 55 % (lyginant su horizontalia plokštuma), 35 % (lyginant su optimalaus metinio kampo atveju) arba 33 % (lyginant su optimalių mėnesinių kampų atveju) didesnę saulės ekspoziciją. Vis dėl to saulės sekimo sistemos yra brangios ir jų naudojimas Lietuvos klimatinėmis sąlygomis yra finansiškai nepagrįstas.

Kaip minėta anksčiau, saulės apšvita yra skirstoma į difuzinę ir tiesioginę. Taip pat išskiriamas šių apšvitų santykis. Kuo šis santykis mažesnis, tuo svarbiau saulės kolektorius nukreipti optimaliu kampu.

1.5.4 lentelė. Difuzinės ir visuminės saulės apšvitos santykiai Lietuvos miestuose

Mėnesis	Difuzinės ir visuminės apšvitos santykis					
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	0,79	0,77	0,72	0,76	0,77	0,77
Vasaris	0,80	0,82	0,62	0,72	0,77	0,80
Kovas	0,66	0,65	0,45	0,60	0,64	0,66
Balandis	0,65	0,65	0,32	0,55	0,56	0,65
Gegužė	0,45	0,42	0,37	0,38	0,43	0,47
Birželis	0,44	0,46	0,35	0,43	0,45	0,43
Liepa	0,65	0,60	0,42	0,54	0,58	0,59
Rugpjūtis	0,55	0,53	0,44	0,52	0,56	0,53
Rugsėjis	0,62	0,55	0,49	0,51	0,56	0,56
Spalis	0,69	0,72	0,63	0,73	0,72	0,71
Lapkritis	0,93	0,85	0,84	0,76	0,85	0,86
Gruodis	0,86	0,82	0,81	0,75	0,80	0,82
Metinis	0,58	0,57	0,43	0,53	0,56	0,57

Lentelėje metinės skiltys yra apskaičiuotos pagal saulės ekspozicijas į optimaliais mėnesiais kampais nukreiptus saulės kolektorius. Pagal lentelę matoma, kad vasaros metu saulės apšvita yra labiausiai tiesioginė, o žiemos metu yra labiausiai difuzinė.

## 2 LIETUVOS PRAMONĖS APŽVALGA

### 2.1 Europos Sąjungos direktyvos

Europos Sąjungos 2012 m. priimta energijos efektyvumo direktyva [9] nurodo įvairius veiksmus, kuriais reikia siekti numatytų energijos sunaudojimo dydžių 2020 metams. Kiekvienai ES šaliai yra užduotos siekiamos vertės, kad bendrai ES mastu 2020 m. būtų pasiektas 20 % energijos efektyvumo padidėjimas (lyginant su 2007 m. atliktomis projekcijomis). Tai reiškia, kad 2020 m. ES energijos suvartojimas turi sumažėti nuo projektuotų 1842 Mtne iki 1474 Mtne. Lietuvai 2020 m. pirminės energijos suvartojimas yra numatomas 6,5 Mtne, o galutinės energijos suvartojimas yra numatomas 4,3 Mtne. Lietuvoje galutinis energijos suvartojimas 2016 m. buvo 5,1 Mtne [10]. 2012–2015 m. šis dydis buvo atitinkamai 4,90; 4,78; 4,88 ir 4,86 Mtne. Tai reiškia, kad galutinės energijos sunaudojimas santykinai stipriai padidėjo 2016 metais.

Energijos efektyvumo didinimas gali būti matuojamas pagal pirminės arba galutinės energijos suvartojimą, sutaupymą arba energijos intensyvumą. Siekiant 2020 m. tikslo, Lietuvos Respublikos Seimas 2016 m. lapkričio 3 d. priėmė Energijos Vartojimo Efektyvumo Didinimo įstatymą [11]. Šiame įstatyme išskiriami trys pagrindiniai energijos vartojimo efektyvumo didinimo principai [11]:

1. ekonominio pagrįstumo – pirmenybė teikiama ekonomiškai efektyviausioms energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėms;
2. viešumo – asmenys turi užtikrinti viešumą įgyvendindami energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones;
3. atsakomybės – už šio įstatymo nuostatų nesilaikymą įmonėms taikoma atsakomybė.

Įstatyme nurodoma, kad Lietuvos Respublikai privalomas sutaupyti energijos kiekis yra nustatomas remiantis Europos Sąjungos energijos vartojimo efektyvumą reglamentuojančiais teisės aktais. Šis sutaupomos energijos kiekis įstatyme yra apibrėžtas taip [11]: „Šis kiekis lygus nuo 2014 m. sausio 1 d. iki 2020 m. sausio 1 d. kiekvienais metais sutaupytų energijos kiekių, pagal Lietuvos statistikos departamento pateiktą statistinę informaciją atitinkančių 1,5 procento nuo 2010–2012 metų suvartotos galutinės energijos vidurkio, sumai“.

Taigi, efektyvumo didinimas vykdomas pagal galutinės energijos suvartojimą ir taip pat reikia atsižvelgti į tai, kad šis privalomas energijos sutaupymo kiekis gali būti sumažinamas iki 25 % tokiais būdais [11]:

1. keičiant šias procentines vertes: 2014–2015 metais – 1 procentas, 2016–2017 metais – 1,25 procento, ir (arba)

2. neįtraukiant parduoto energijos kiekio, panaudoto Lietuvos Respublikos klimato kaitos valdymo finansinių instrumentų įstatymo 1 priede nurodytose veiklose, kurioms reikalingi leidimai išmesti šiltnamio efektą sukeliančias dujas; ir (arba)
3. įvertinant energijos gamybos taikant didelio naudingumo kogeneracijos būdą proceso metu ir energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių, įdiegtų energijos perdavimo, skirstymo ir tiekimo sistemose, sutaupyta energijos kiekį; ir (arba)
4. įvertinant dėl energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių, įdiegtų nuo 2008 m. gruodžio 31 d., sutaupyta energijos kiekį.

Transporto sektoriui perduota ir sunaudota galutinė energija taip pat nėra įskaičiuojama į galutinę energijos suvartojimą, atliekant sutaupytos energijos skaičiavimą. Antrame punkte paminėto Lietuvos Respublikos Klimato Kaitos Valdymo Finansinių Instrumentų įstatymo [12] priede 1 yra nurodytos veiklos, neįtraukiamos atliekant sutaupytos energijos skaičiavimą, apima įrenginius deginančius tik biomasę (kietas iškastinis kuras naudojamas tik įrenginį įjungiant ir išjungiant), kuro deginimo įrenginius (bendras šiluminis našumas didesnis, negu 20 MW), naftos perdurbimo, didelio našumo metalo gamybos, chemikalų gamybos įrenginius ir t. t. Šio darbo skyriuje 2.2 atrinktos modeliavimui aktualiausios pramonės šakos ir nustatyta, kad vienintelė galimai aktuali ir čia taip pat išskirta pramonės šaka – celiuliozės iš medienos ar kitų pluoštinių medžiagų gamyba. Dėl įrenginių, naudojančių tik biokurą, žinoma, kad priede pramoninių šakų kuro suvartojimai visada turi didelę gamtinių dujų dalį [13]. Bet kokiu atveju, energijos sutaupymo kiekis gali būti sumažintas iki 25 % pasitelkiant įvairius variantus ir todėl neverta į tai atsižvelgti, sprendžiant ar reikia įvertinti gaunamą įtaką energijos sutaupymo tikslo pasiekimui.

Toliau Energijos Vartojimo Efektyvumo Didinimo įstatymas išskiria pagrindines energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones [11]:

1. energijai ir energijos ištekliams taikomų pridėtinės vertės mokesčio ar akcizų, kurių poveikis yra galutinės energijos suvartojimo mažinimas, įvertinimas;
2. finansinės priemonės, kurios skatina diegti energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones ir kurių poveikis yra galutinės energijos suvartojimo mažinimas;
3. statybos ar gaminių ženklavimo techniniai reglamentai, kurie skatina diegti energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones ir kurių poveikis yra galutinės energijos suvartojimo mažinimas;
4. susitarimai su įmonėmis (įskaitant energetikos įmones), kurie skatina diegti energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones ir kurių poveikis yra galutinės energijos suvartojimo mažinimas;

5. Lietuvos Respublikos standartai ir higienos normos, kuriais siekiama didinti produktų, įskaitant pastatus ir transporto priemones, ir paslaugų energijos vartojimo efektyvumą, išskyrus atvejus, kai jie yra privalomi ir taikytini pagal Europos Sąjungos teisę;
6. energijos vartojimo efektyvumo ženklavimo reglamentai, išskyrus reglamentus, kurie privalomi ir taikytini pagal Europos Sąjungos teisę;
7. švietimas ir konsultavimas, kurie skatina diegti energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones ir kurių poveikis yra galutinės energijos suvartojimo mažinimas.

Po šių priemonių įstatyme numatyta susitarimų su vartotojais ir įmonėmis tvarka, auditų, skatinimų, baudžiamosios atsakomybės ir t. t. tvarka.

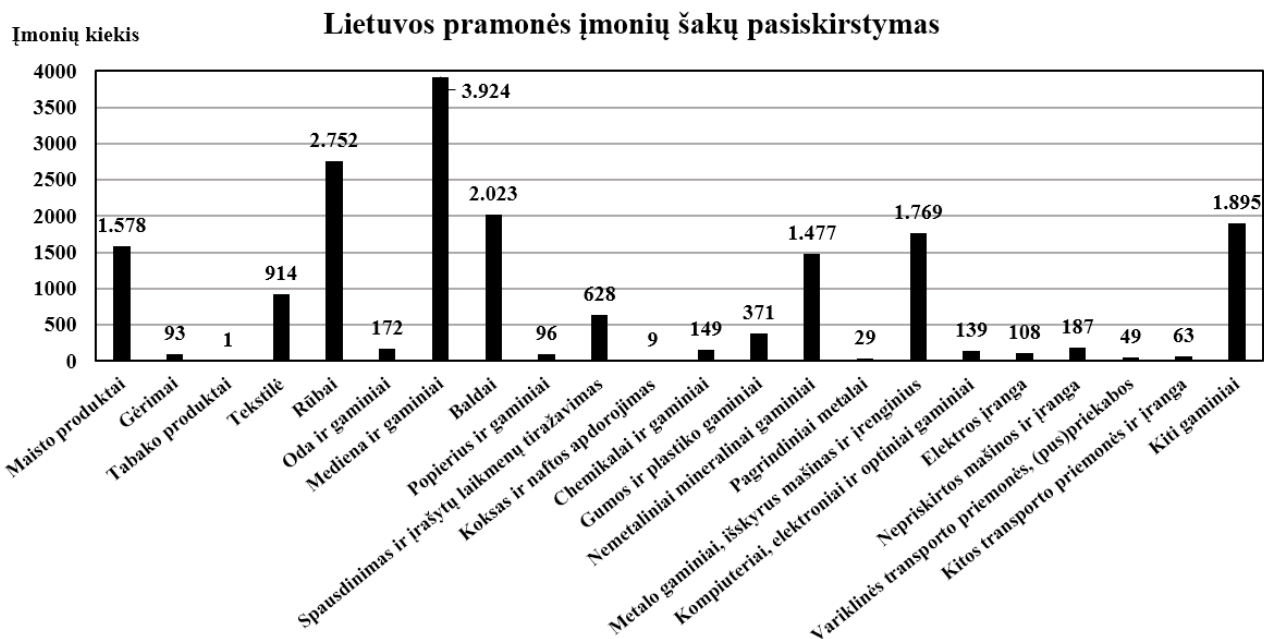
Susiejant pačias saulės energijos transformavimo technologijas su energijos efektyvumo didinimu pastebima, kad energijos efektyvumui didelę įtaką turi žemo potencialo šilumą panaudojančios sistemos. Iki trečdaliai galutinės energijos gali būti iššvaistoma žemo potencialo šilumos pavidalu. Siekiant sumažinti šiuos nuostolius ir šią šilumą panaudoti, naudojami papildomi šilumokaičiai, HRL žemo šilumos potencialo sistemos (aprašytos skyriuje 1.4) ir šilumos siurbliai (galimai su Renkino ir Kalina ciklais energijos gamybai). Saulės energijos transformavimo technologijų atžvilgiu geriausiai tinka HRL žemo potencialo šilumos sistemos atvejis, kai atliekinės šilumos panaudojimo sistemos dalis (vamzdžiai, akumuliacinė talpa) galima naudoti kartu su saulės šilumos sistema. Taigi toks energijos efektyvumo didinimo būdas sudaro sąlygas prijungti saulės energijos transformavimo technologijas ir taip prisidėti prie sekančios direktyvos įgyvendymo.

2016 m. Europos komisija pasiūlė energijos efektyvumo direktyvos atnaujinimą – 2030 m. energetinę strategiją [14]. Naujus, 2030 metams užduotus tikslus sudaro 40 % šiltnamio efekto dujų išmetimų sumažinimas (lyginant su 1990 m. išmetimais), bent 27 % atsinaujinančių energijos šaltinių dalis energijos suvartojime ir bent 27 % energijos efektyvumo padidinimas (lyginant su projekcijomis be papildomų veiksmų). Čia saulės energijos transformavimo technologijų panaudojimas tiesiogiai prisideda prie bent dviejų šios direktyvos tikslų.

## **2.2 Aktualiausios pramonės šakos**

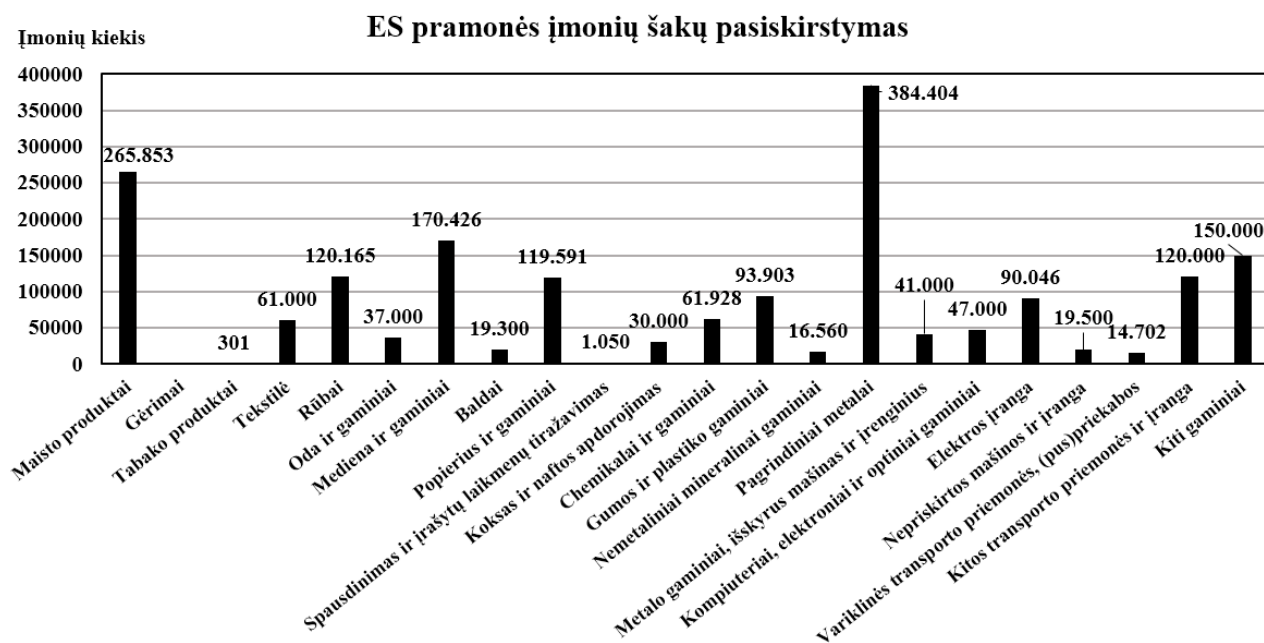
Saulės energijos transformavimo technologijų panaudojimo pramonėje tyrimas bus aktualus, jei modeliavimui bus atrinkta aktuali pramonės šaka, kur yra galimybių prijungti saulės energijos sistemas pramonės šakos naudojamiems technologiniams procesams. Tokiu būdu taip pat sumažinama ir sukonkretinama plati, šiame darbe nagrinėjama tema. Tam panaudojama „Eurostat“ pramonės statistika [15] (čia paimti 2015 m. duomenys). Apdorojus duomenis, randamas Lietuvos pramonės įmonių pasiskirstymas pagal pramonės šakas. Gauti rezultatai pavaizduoti paveiksle 2.2.1.





**2.2.1 pav. Lietuvos pramonės įmonių šakų pasiskirstymas**

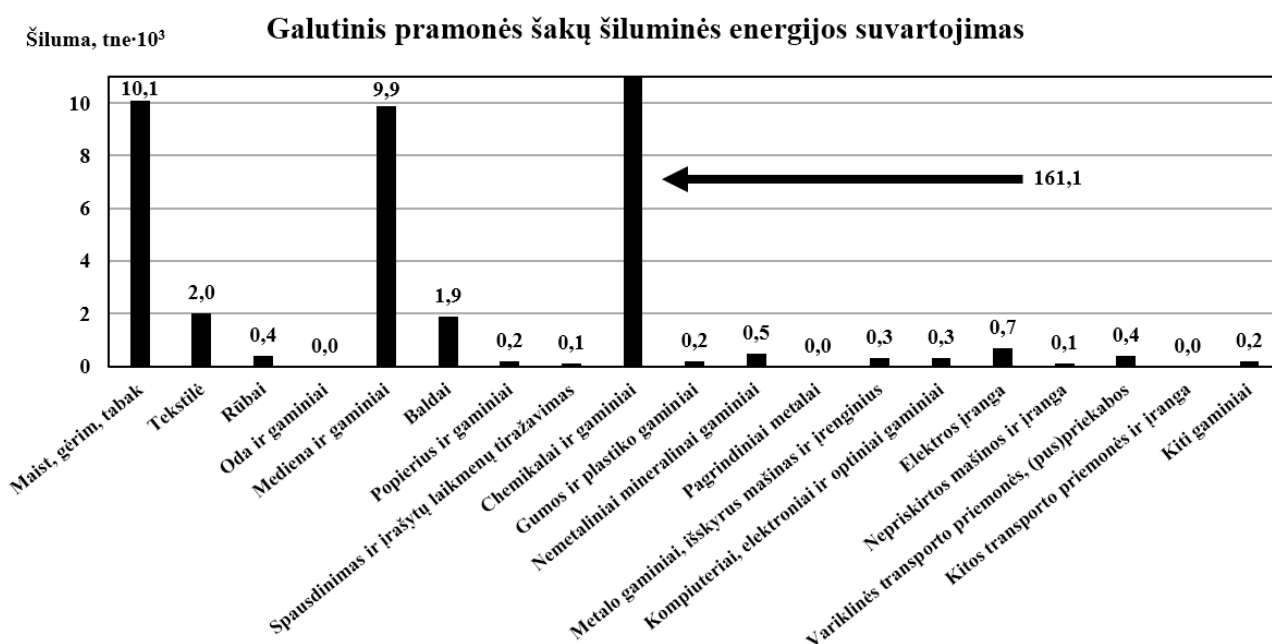
Pagal paveikslą 2.2.1 matoma, kad Lietuvoje labiausiai paplitusi medienos ir medienos produktų apdorojimo pramonė (praktiškai į tai dar galima įskaiciuoti baldų pramonę). Po to seka rūbų ir tekstilės, metalo gaminių (išskyrus mašinas ir įrenginius), mineralinių gaminių ir maisto pramonės. Palyginimui paveiksle 2.2.2 pavaizduotas Europos Sąjungos pramonės įmonių pasiskirstymas.



**2.2.2 pav. Europos Sąjungos pramonės įmonių šakų pasiskirstymas**

Nagrinėjant visą Europos Sąjungą matoma, kad didžiausią pramonės įmonių dalį sudaro pagrindinių metalų apdirbimas, kuomet Lietuvoje užsiima tik 29 įmonės. Čia gėrimų pramonė neišskirta.

Aktualiausių pramonės šakų parinkimui neužtenka tik pramonės įmonių išsidėstymo. Panaudojant oficialios statistikos portalo duomenis [10] randamas galutinis šiluminės energijos suvartojimas pramonėje, išskirstytas pagal pramonės šakas, pavaizduotas paveiksle 2.2.3.



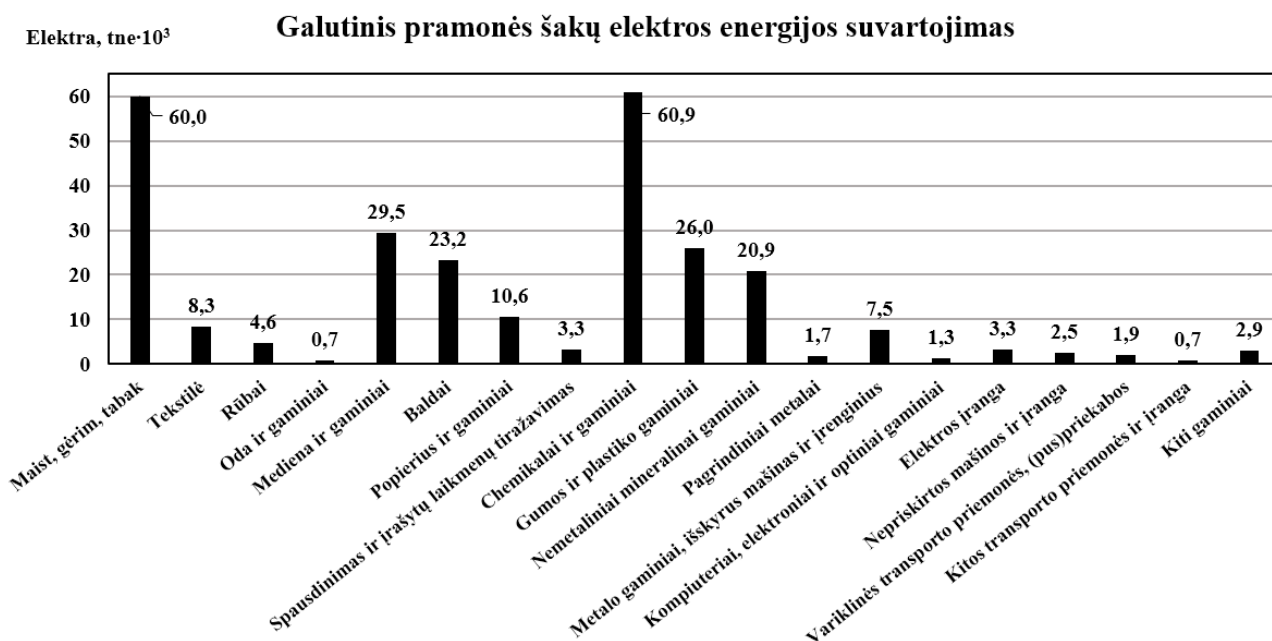
2.2.3 pav. Galutinis pramonės šakų šiluminės energijos suvartojimas

Galutinis šiluminės energijos suvartojimas pavaizduotoms pramonės šakoms yra lygus 188,4·10<sup>3</sup> tne. Čia kokso ir naftos apdirbimo šaka tikriausiai priskirta prie chemikalų ir jų gaminių šakos (dėl naudotų skirtingų statistikos šaltinių). Ši šaka sudaro didžiąją dalį pramonės šilumos suvartojimo.

Panaudojant oficialios statistikos portalo duomenis [10] randamas galutinis elektros energijos suvartojimas pramonėje, išskirstytas pagal pramonės šakas, pavaizduotas paveiksle 2.2.4. Galutinis elektros energijos suvartojimas pavaizduotoms pramonės šakoms yra lygus 269,8·10<sup>3</sup> tne. Šiuo atveju chemikalų ir jų gaminių pramonės šaka neturi žymiai didesnio energijos sunaudojimo.

Galima priimti, kad saulės energijos transformavimo technologijų pritaikymą pramonės technologiniams procesams aktualiausia modeliuoti medienos, jų gaminių ir baldų pramonės šakoms, nes lyginant paveikslus 2.2.1 ir 2.2.3 matoma, kad šių pramonės šakų įmonių kiekis yra santykinai didesnis už jų šilumos suvartojimą. Taip pat šios pramonės šakos sudaro didelę dalį bendro pramonės šilumos suvartojimo bei pasižymi technologiniais procesais, esančiais 80–240 °C

temperatūros intervale, kur saulės energijos transformavimo technologijų panaudojimas yra efektyviausias.



**2.2.4 pav. Galutinis pramonės šakų elektrinės energijos suvartojimas**

Antroji aktuali pramonės šaka – maisto ir gėrimų pramonė (čia didžiąją dalį sudaro maisto pramonė). Ši pramonės šaka, skirtingai nei medienos pramonė, sunaudoja santykinai daugiau šiluminės energijos (lyginant paveikslus 2.2.1 ir 2.2.3). Atskira maisto pramonės įmonė sunaudoja apie tris kartus daugiau šiluminės energijos, negu medienos pramonės įmonė, bet bendrai šios pramonės šakos turi apytiksliai vienodą šiluminės energijos suvartojimą.

Trečioji pramonės šaka – tekstilės ir drabužių pramonė. Drabužių pramonės atveju turimas mažas šiluminės energijos suvartojimas, bet įmonių kiekis yra santykinai žymiai didesnis. Todėl šioje pramonės šakoje naudojamų technologinių procesų energijos poreikiai turėtų būti lengvai padengiami naudojant saulės energijos transformavimo technologijas. Tai taip pat galioja gumos ir plastiko gaminių pramonės šakoms.

Chemikalų ir jų gaminių (įskaitant naftos apdorojimą) pramonės šaką sudaro mažas įmonių kiekis, kurių bendras šiluminės energijos suvartojimas yra apie 6 kartus didesnis už visų kitų pramonės šakų šiluminės energijos suvartojimo sumą. Tai reiškia, kad šioje pramonės šakoje yra naudojami aukštos temperatūros ir energetiškai intensyvūs technologiniai procesai, kuriems nepritaikomos saulės energijos transformavimo technologijos (ypatingai prie Lietuvos klimatinės sąlygos) ir kur naudojamas kuras turi būti žymiai energetiškai tankesnis.

Visos kitos pramonės šakos sunaudoja labai mažus šiluminės energijos kiekius, sudaro santykinai mažą Lietuvos pramonės dalį ir arba jų naudojami technologiniai procesai neturi paprastų saulės energijos transformavimo technologijų integracijos galimybių.

### 3 MODELIAVIMO OBJEKTAS

Skyriuje 2.2 buvo atrinktos trys Lietuvos pramonės šakos, kur saulės energijos panaudojimas būtų aktualiausias. Iš jų aktualiausia medienos, jų gaminių ir baldų pramonė. Toliau seka maisto ir gėrimų pramonė, kur didžiąją dalį sudaro ir maisto pramonė, ir galiausiai tekstilės bei drabužių pramonė.

Šiose pramonės šakose saulės energiją galima panaudoti trimis būdais, kaip apibrėžta skyriuje 1.1. Saulės energijos sistemą prijungiant prie akumuliacinės talpos vandens pradiniam pašildymui atlikti, sistemą prijungiant prie garintuvo garui ruošti arba sistemą prijungiant tiesiogiai prie proceso. Apdorojus lentelę 1.1.1, gautas aktualiausių pramonės šakų technologinių procesų sąrašas.

3.1 lentelė. Aktualiausių pramonės šakų technologiniai procesai ir jų temperatūros

Pramonė		Procesas	Temperatūra, °C
Maisto ir gėrimų	Pieno	Suslėgimas	60–80
		Sterilizacija	100–120
		Džiovinimas	120–180
		Koncentravimas	60–80
		Tiekiamas vanduo	60–90
	Konservuoto maisto	Sterilizacija	110–120
		Pasterizacija	60–80
		Virimas	60–90
		Balinimas	60–90
	Mėsos	Plovimas, sterilizacija	60–90
		Virimas	90–100
	Gėrimų	Plovimas, sterilizacija	60–80
		Pasterizacija	60–70
	Miltai ir jų produktai	Sterilizacija	60–80
Tekstilės ir drabužių	Balinimas, dažymas	60–90	
	Džiovinimas, riebalų šalinimas	100–130	
	Dažymas	70–90	
	Apdorojimas po dažymo	160–180	
	Presavimas	80–100	
Medienos, jų gaminių ir baldų	Termodifuzija	80–100	
	Džiovinimas	60–100	
	Tiekiamas vanduo	60–90	
	Minkšta masė	120–170	

Vandens pradinis pašildymas atliekamas maisto ir gėrimų pramonėje, naudojant šiluminio apdorojimo linijas, kur pienas arba kiti produktai yra šildomi regeneravimo būdu (dažniausiai naudojami plokšteliniai šilumokaičiai). Atliekamus procesus sudaro pasterizacija, sterilizacija (naudojami garai), koncentravimas, plovimas, virimas ir t. t. [16]. Tekstilės pramonėje karštas vanduo gali būti panaudotas dažymui ir balinimui. Siuvimo, šiluminio apdirbimo ir t. t. procesai dažniausiai naudoja garus [17]. Medienos pramonėje karšto vandens gali būti panaudotas minkštos masės gamyboje ir kituose procesuose.

Tiesioginis saulės energijos prijungimas prie proceso dažniausiai naudojamas ten, kur turimi džiovinimo procesai. Pienas gali būti džiovinamas oru konvekcijos būdu, o kiti produktai (pavyzdžiui, varškės sūris) dažniausiai džiovinami kamerinėse džiovyklose. Tekstilės pramonėje karštas oras naudojamas siūlų gamyboje ir džiovinimui. Medienos pramonėje karštas oras gali būti naudojamas biomasės džiovinimui.

Lietuvos klimatinėmis sąlygomis neapsimoka naudoti garo ruošimo sistemų, tam naudojančių saulės energiją. Labiau apsimoka įsirengti arba padidinti jau turimas vandens, oro šildymo sistemas.

Kadangi iš visų atrinktų saulės energijos panaudojimo variantų prie technologinių procesų tiesiogiai prijungiamas tik džiovinimo procesas, o visi kiti variantai yra susiję vandens šildymu, nereikia atsižvelgti į pačių technologinių procesų ypatumus. Modeliavimui atlikti užtenka maitinimo vandens temperatūros, apkrovos poreikio ir karšto vandens ruošimo įrenginių charakteristikų. Žinoma, džiovinimo atvejui reikia atitinkamų džiovinimo proceso dydžių.

Įvertinant visas atrinktas pramonės šakas, reikėtų modeliuoti po vieną atvejį kiekvienai šakai. Maisto ir gėrimų pramonei tinka pieno perdirbimo gamyklos atvejis, tekstilės ir drabužių pramonei tinka rūbų fabriko atvejis, o medienos, jų gaminių ir baldų pramonei tinka biomasės džiovyklos atvejis. Nors aktualiausias pramonės šakos buvo išrinktos dalinai pagal įmonių skaičių, o maisto ir gėrimų pramonėje pieno perdirbimo įmonės sudaro mažą dalį pagal įmonių skaičių, ši sritis parinkta, nes jai literatūroje galima lengvai surasti modeliavimui reikalingus dydžius ir ji vis tiek sudaro apie ketvirtį visos maisto ir gėrimų pramonės apyvartos [18].

Toliau modeliavimui parinktas tik pieno perdirbimo gamyklos atvejis. Tokiu būdu galima atlikti detalesnius skirtingų sistemų palyginimus.

Lietuvoje dirba 32 pieną perdirbančios įmonės [15], bet apie 95 % pieno perdirbama penkiose įmonėse: AB „Pieno žvaigždės“, AB „Rokiškio sūris“, AB „Žemaitijos pienas“, AB „Vilkyškių pieninė“ ir UAB „Marijampolės pieno konservai“ [18]. Iš viso šios įmonės eksploatuoja 14 pieno perdirbimo gamyklų [16]. Likusius 5 % sudaro bent 10 stambesnių gamyklų ir nežinomas kiekis žemės ūkio kooperatyvų, žemės ūkio bendrovių ir pavienių ūkininkų. Iš viso 2016 m. Lietuvoje pieno perdirbimo įmonės perdirbo 1650,5 tūkst. t. žalio pieno [18]. Priėmus, kad Lietuvoje yra 15 pieno perdirbimo gamyklų (14 stambiųjų ir 1 papildomai pridedama dėl nežinomo kiekio smulkiųjų gamyklų), viena gamykla perdirba tam tikrą kiekį žalio pieno:

$$\frac{1650,5}{15} = 110,03 \frac{\text{tūkst.t}}{\text{metai}}$$

Modeliavimui reikalingi dydžiai paimti iš literatūros, aptariančios objektus, pasižyminčius produkcijos dydžiais, panašiais į šiame skyriuje parinktus. Tai korektiška, nes šiame darbe nėra apibrėžti realūs objektai. Įmonės vietovę priimta Kaune, nes tai centrinė Lietuvos vieta. Pagal tai

bus nustatytos klimatinės sąlygos. Toliau literatūroje surastas aprašytas sąlygas atitinkantis objektas.

Pieno perdirbimo gamykla — žinoma, kad stambios gamyklos sunaudoja apie 120–150 m<sup>3</sup> karšto vandens per dieną [19]. Tokį suvartojimą atitinka Salonikų regione, Graikijoje veikianti „Mevgal“ įmonės gamyklą, kuriai 2000 m. buvo įrengtas saulės kolektorių projektas [20]. Čia procesams reikalinga šiluma gaunama naudojant garo katilus. Naudojamus procesus apima įrenginių valymas iki 80 °C ir kiti procesai iki 130 °C (daugiausiai pasterizacija). Saulės kolektoriai naudojami pradiniam vandens pašildymui. Sistema maitinama šaltu vandeniu iš vandentiekio.

Įmonės „Mevgal“ verslo strategija yra paremta koncentracija Salonikų regione. Tai regionas, kuriame išgaunama apie 67 % Graikijos pieno produkcijos. Dėl veiklos koncentracijos ši įmonė efektyviai superka žalią pieną iš vietinių gamintojų. Aprašytas pieno perdirbimo gamyklos [20] projektas taip pat yra šiame regione ir apie kitas įmonės gamyklas informacijos nėra. Todėl gamyklos žalio pieno suvartojimą apskaičiuojamas pagal „Eurostat“ pieno pramonės statistiką [21] ir Graikijos pieno sektoriaus statistiką [22]. Žinoma, kad 2005 m. Graikijos pieno perdirbimo gamyklos apdorojo 1418,4 tūkst. t. žalio pieno ir tuo metu įmonė „Mevgal“ sudarė 11 % Graikijos pieno sektoriaus. Todėl pagal priimtas prielaidas gamyklos žalio pieno suvartojimas gaunamas:

$$1418,40 \cdot 0,11 = 156,02 \frac{\text{tūkst.t}}{\text{metai}}$$

Kaip minėta, karšto vandens poreikis buvo 120–150 m<sup>3</sup> per dieną, bet kituose, vėlesniuose šaltiniuose šitos gamyklos karšto vandens poreikis pateikiamas lygus 75 m<sup>2</sup> per dieną. Todėl priimtas 112,5 m<sup>2</sup> karšto vandens poreikis per dieną (75 ir 150 vidurkis). Tada karšto vandens poreikis yra perskaičiuojamas pagal šiame skyriuje priimtą vidutinės Lietuvos pieno perdirbimo gamyklos žalio pieno suvartojimą:

$$\frac{110,03}{156,02} \cdot 112,5 = 79,34 \approx 80 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 80000 \frac{\text{l}}{\text{d}}$$

Pieno perdirbimo gamyklos modeliavimui galima priimti:

Maitinimo vandens temperatūra — jei maitino vanduo yra imamas iš šalto vandens vandentiekio, jo temperatūra yra tarp 8–12 °C.

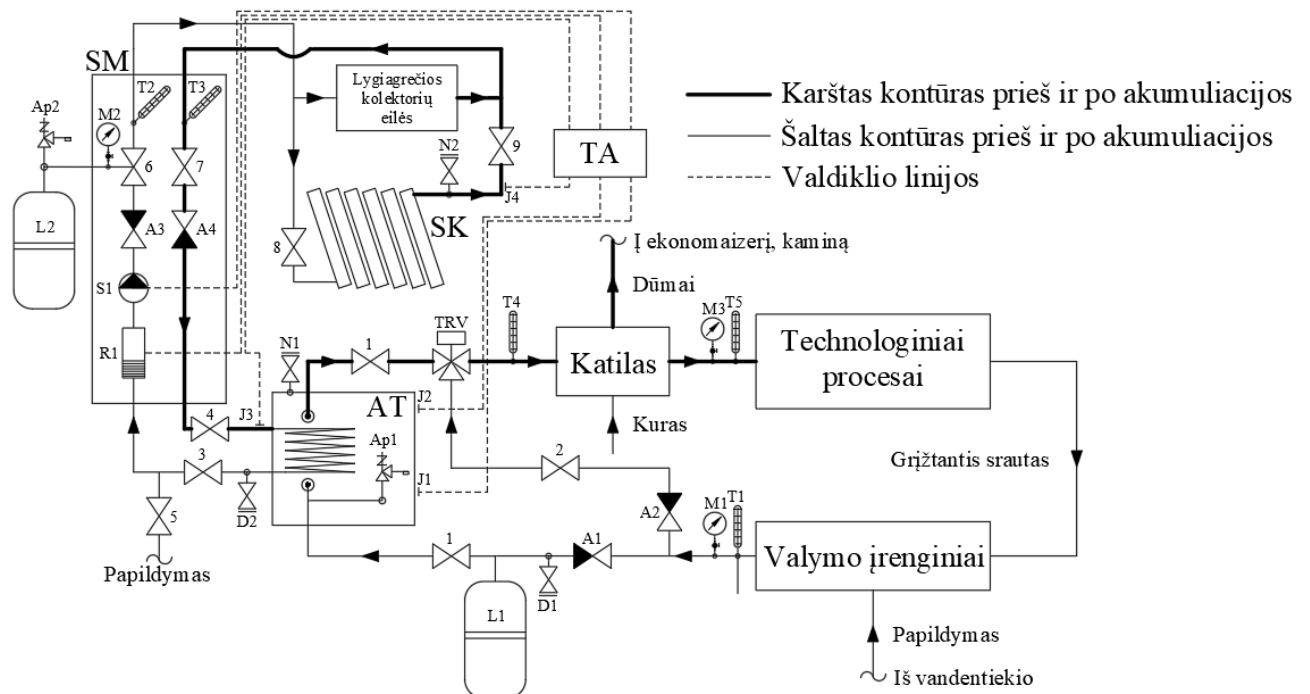
Saulės kolektorių sistemos apkrova — karšto vandens poreikis lygus 80 m<sup>3</sup>/d. Tokios gamyklos saulės kolektorių sistemai galima priimti 80 °C karšto vandens ruošimą [19]. Tokios temperatūros vanduo puikiai tinka panaudojimui prie žemos temperatūros procesų arba padavimui į katilą.

## 4 PARINKTOS TECHNOLOGIJOS

Šiame skyriuje apibrėžtos saulės kolektorių sistemų schemas ir parinkti įrenginiai. Apibrėžtos sistemų šiluminės ir taip pat elektrinės dalys, jei būtų naudojami hibridiniai saulės moduliai. Toliau modeliavimui naudojama programa „Polysun“. Sekančiuose poskyriuose taip pat bus „Polysun“ programa gautų dydžių.

### 4.1 Saulės energijos sistemų schemas

Pieno perdirbimo gamyklos atvejui galima saulės kolektorių sistemos principinė schema yra pavaizduota paveiksle 4.1.1. Šioje schemoje gali būti praleistų įrenginių, nes ji nėra detalizuota.



4.1.1 pav. Saulės kolektorių sistemos integracijos pramonės procesams principinė schema

Saulės kolektorių sistemą apriboja atbulinis vožtuvas A1 ir triegis termostatinis ventilis TRV. Visos schemas dalys, esančios kairėje šių elementų pusėje, sudaro saulės kolektorių sistemą. Už TRV einantis katilas naudoja įprastas kuro rūšis (biokurą, gamtines dujas ir t. t.) Šis katilas paprastai turi padengti visą šilumos poreikį, o po saulės kolektorių integracijos tik likusią šilumos dalį. Iš katilo išeinantis karšti dūmai yra nuvedami į kaminą arba prieš tai būna nuvedami į ekonomizerį, šilumokaitį. Šilumokaitis gali būti įrengtas prie valymo įrenginių, kad būtų pasiekta valymui reikalinga temperatūra, arba prieš katilą, kad būtų vykdomas papildomas maitinimo vandens šildymas. Iš katilo išeinantis reikalingų parametrų karštas vanduo arba garas yra nukreipiamas technologinių procesų maitinimui. Toliau grįžtantis srautas (susikondensavęs, jei

buvo naudojami garai) yra paduodamas į valymo įrenginius. Čia atliekami visi panaudoto vandens valymo procesai iki reikalingų normų ir išvalytas vanduo toliau yra pašalinamas į nuotekų sistemą arba yra panaudojamas pakartotinai. Prie valymo įrenginių taip pat prijungiamas maitinimo vandens papildymas, kad valymo įrenginiuose būtų pasiekti sistemoje naudoti tinkamo vandens parametrai. Maitinimo vandens papildymą galima vykdyti iš įmonės valdomų gręžinių arba iš vandentiekio. Už valymo įrenginių maitinimo vanduo paduodamas link katilo per atbulinį vožtuvą A2 ir rutulinį ventilių 2. Jei turima integruota saulės kolektorių sistema, šios dalys sudaro apėjimą. TRV ir apėjimą taip pat galima naudoti, jei norima sumaišyti vandens srautus po valymo įrenginių ir akumuliacinės talpos.

Saulės kolektorių sistemą sudaro saulės kolektoriai SK, siurblio modulis SM, akumuliacinė talpa AT ir valdiklis TA. Saulės kontūru cirkuliuoja specialus skystis, sudarytas iš dalinai propilen–glikolio arba etilen–glikolio koncentrato ir distiliuoto vandens. Paprastai šių medžiagų santykis mišinyje yra apie 50 %. Šio koncentrato cirkuliaciją užtikrina siurblio modulis SM, kurį sudaro siurblys S1, skaitmeninis srauto matavimo ir reguliavimo ventilis su uždarymo galimybe R1, atbuliniai vožtuvai A3 ir A4, rutuliniai ventiliai 6 ir 7. Skaitmeninis srauto matavimo ir reguliavimo ventilis su uždarymo galimybe R1 matuoja koncentrato srautą ir užtikrina vienodą koncentrato srautą kiekvienai nuosekliai sujungtai saulės kolektorių eilei. Prie siurblio modulio SM taip pat turi būti prijungtas apsauginis vožtuvas Ap2, kuris saugo nuo viršslėgio, ir išsiplėtimo indas L2, kuris palaiko pastovų sistemos slėgį vandeniui traukiantis arba plečiantis.

Akumuliacinė talpa AT atlieka šilumos akumuliacijos funkciją. Ji turi būti izoliuota, kad šiluminiai nuostoliai būtų minimizuoti. Akumuliacinėje talpoje AK įstatytu šilumokaičiu tekantis saulės kontūro koncentratas perduoda savo šilumą skysčiui, esančiam akumuliacinėje talpoje. Prie akumuliacinės talpos turi būti prijungtas apsauginis vožtuvas Ap1 ir nuorinimo ventilis N1 (nuorinimo ventiliai turi būti sumontuoti aukščiausiose sistemos vietose), prieš akumuliacinę talpą turi būti prijungtas išsiplėtimo indas L1 ir drenažo ventilis D1 (drenažo ventiliai turi būti sumontuoti žemiausiose sistemos vietose, turi turėti užplombavimo galimybę), o už akumuliacinės talpos (saulės kontūro šaltoje dalyje) turi būti prijungtas drenažo ventilis D2 (turi vesti į tinkamo dydžio saulės kontūro skysčio talpą) ir papildymo rutulinis ventilis 5. Šioje vietoje vykdomas saulės kontūro koncentrato papildymas.

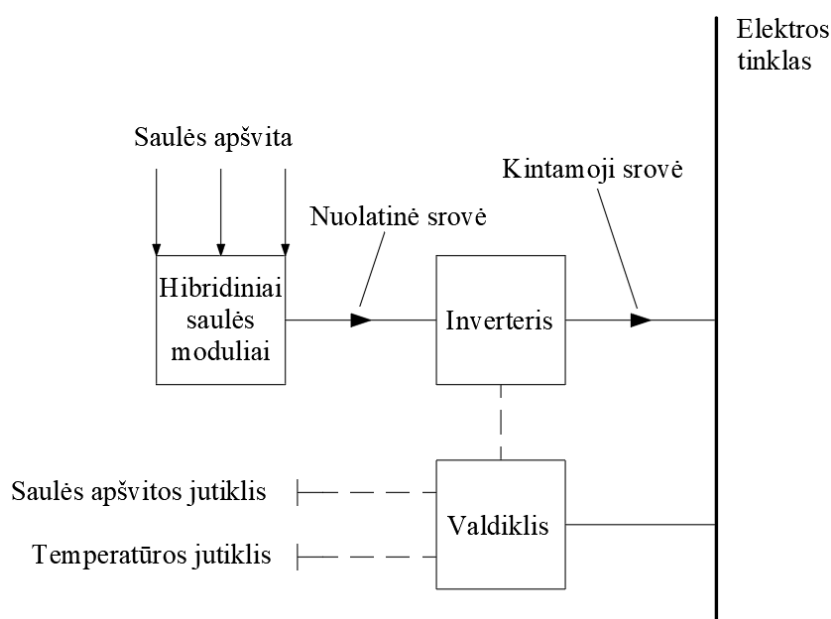
Schemoje pažymėta lygiagrečiai sujungtų saulės kolektorių eilė SK. Prie šios eilės prijungiami rutuliniai ventiliai 8 ir 9 bei nuorinimo ventilis N2. Prie sistemos gali būti prijungtos papildomos nuosekliai sujungtų saulės kolektorių eilės. Kiekviena lygiagreti eilė turi turėti čia paminėtus ventilius. Saulės kolektorių (modulių) darbai principai buvo aprašyti skyriuose 1.1–1.3.

Valdiklis TA automatiškai reguliuoja skaitmeninio srauto matavimo ir reguliavimo ventilio R1 bei siurblio S1 darbą. Siurblys S1 yra įjungiamas, kai valdiklis aptinka tam tikrą skirtumą tarp



vandens temperatūros akumuliacinėje talpoje ir koncentrato temperatūros saulės kolektorių išėjime. Schemoje išskirti jutikliai: J1 matuoja darbinę temperatūrą akumuliacinėje talpoje, J2 matuoja maksimalią temperatūrą akumuliacinėje talpoje, J3 matuoja iš saulės kolektorių grįžtančio koncentrato temperatūrą, J4 matuoja iš saulės kolektorių grįžtančio koncentrato maksimalią temperatūrą. Taip pat galimi kiti, schemoje nepažymėti jutikliai ir su valdikliu sujungti įrenginiai.

Jei būtų naudojami hibridiniai saulės moduliai, sistemos šiluminė dalis visiškai atitiktų ką tik aprašytą. Naudojant hibridinius saulės modulius taip pat yra vykdoma elektros energijos gamyba ir todėl reikia atsižvelgti į sistemos elektrinę dalį. Kadangi tokie pramoniniai objektai, žinoma, turi priėjimą prie centralizuoto elektros tinklo, priimta, kad saulės elektrinės sistema yra integruota ir nevykdo akumuliacijos. Tokios saulės elektrinės schema atitinka paveikslą 4.1.2 [5].



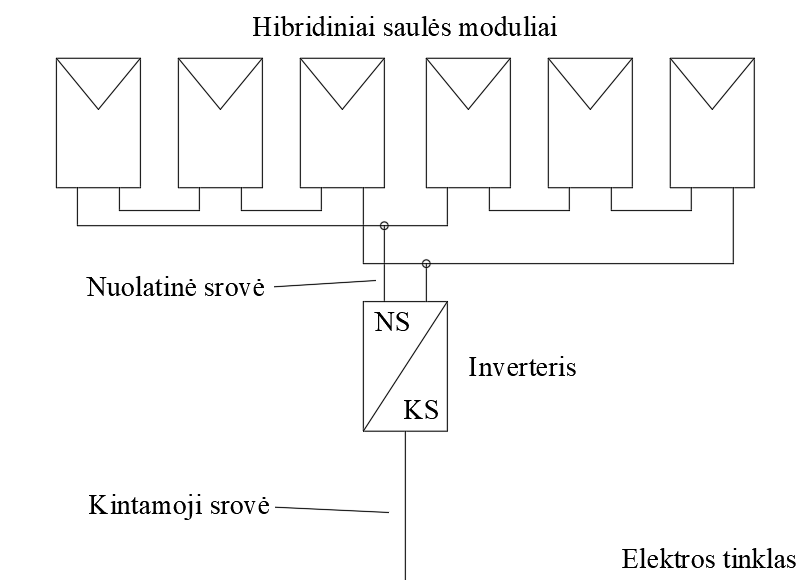
**4.1.2 pav. Hibridinių saulės modulių elektrinės sistemos principinė schema**

Elektrinę sistemą sudaro hibridiniai saulės moduliai, galios inverteriai ir valdiklis su jutikliais. Hibridiniai saulės moduliai sukuria nuolatinę elektros srovę, kurią dažniausiai prieš panaudojant reikia paversti į kintamąją elektros srovę. Šitam tikslui naudojami galios inverteriai.

Inverterio pagrindines funkcijas sudaro: nuolatinės srovės keitimas į elektros tinklo dažnio ir įtampos kintamąją srovę, inverterio išėjimo ir elektros tinklo įtampų amplitudžių suderinimas, gaminamos galios maksimizavimas prie turimos saulės apšvitos ir aplinkos temperatūros (nuolat keičiant saulės modulių bendrą atstojamąją varžą, kad ji sutaptų su elektros tinklo grandinės varžą). Prie inverterio taip pat turi būti prijungti prietaisai, kurie jį galėtų atjungti įvykus trumpam jungimui, neleistinam įtampos pokyčiui arba perkrovimui.

Prie saulės modulių inverteriai gali būti prijungti trimis būdais. Centralizuotai prie vieno, didelės galios inverterio prijungiant visus saulės modulius gaunama mažesnė sistemos kaina, bet

padidėja atskirų modulių skirtumų įtaką visai sistemai, nes sumažėja inverterio galios maksimizavimo galimybės. Naudojant pusiau centralizuotą sistemą, turimos kelios saulės modulių atšakos, kuri kiekviena yra prijungta prie atskiro inverterio. Taip gaunamos didesnės galios maksimizavimo galimybės, bet išlaidos inverteriams padidėja. Paskutinis sujungimo būdas, modulinis jungimas gaunamas tada, kai kiekvienam saulės moduliui yra skiriamas atskiras inverteris. Tada gaunamas didžiausias naudingumas ir skirtumai tarp atskirų saulės modulių neturi jokios įtakos visai sistemai, nes kiekvieno modulio darbas yra maksimizuojamas atskiru inverteriu. Vis dėl to taip gaunamos didžiausios išlaidos.



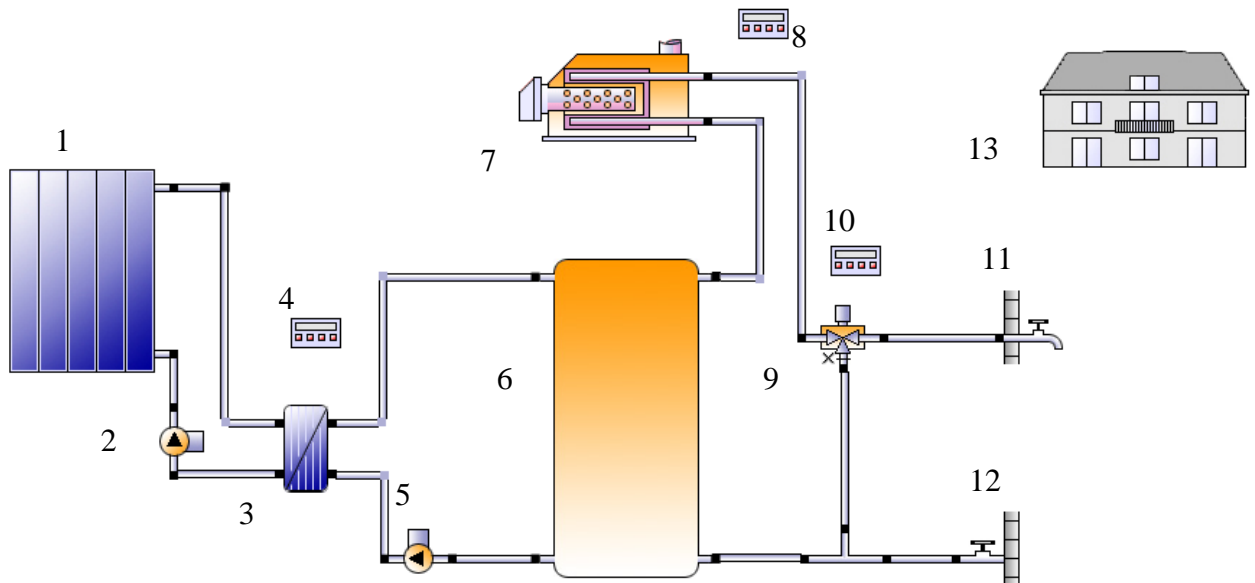
**4.1.3 pav. Saulės modulių centralizuotos komutacijos schema**

Saulės modulių centralizuotas prijungimas prie inverterio pavaizduotas paveiksle 4.1.3 [5]. Tokiu būdu gaunami bendri galios nuostoliai yra surašyti lentelėje 4.1.1 [5]. Čia taip pat pateikti modulinio jungimo galios nuostoliai (palyginimui). Pagal lentelę matoma, kad šių prijungimo būdų galios nuostoliai labai stipriai nesiskiria. Jei reikia, pusiau centralizuoto jungimo nuostolius galima priimti tarp lentelėje pateiktų verčių.

4.1.1 lentelė. Skirtingų saulės kolektorių temperatūros ribos

Galios nuostolių tipas	Galios nuostoliai, %	
	Centralizuotas jungimas	Modulinis jungimas
Šuntuojamųjų ir blokuojamųjų diodų	1,06	0
Galios maksimizavimo trūkumų	2,14	1,06
Jungiamųjų laidų	3,23	0,85
Inverterių	10,75	12,90
Bendrieji galios nuostoliai	17,18	14,80

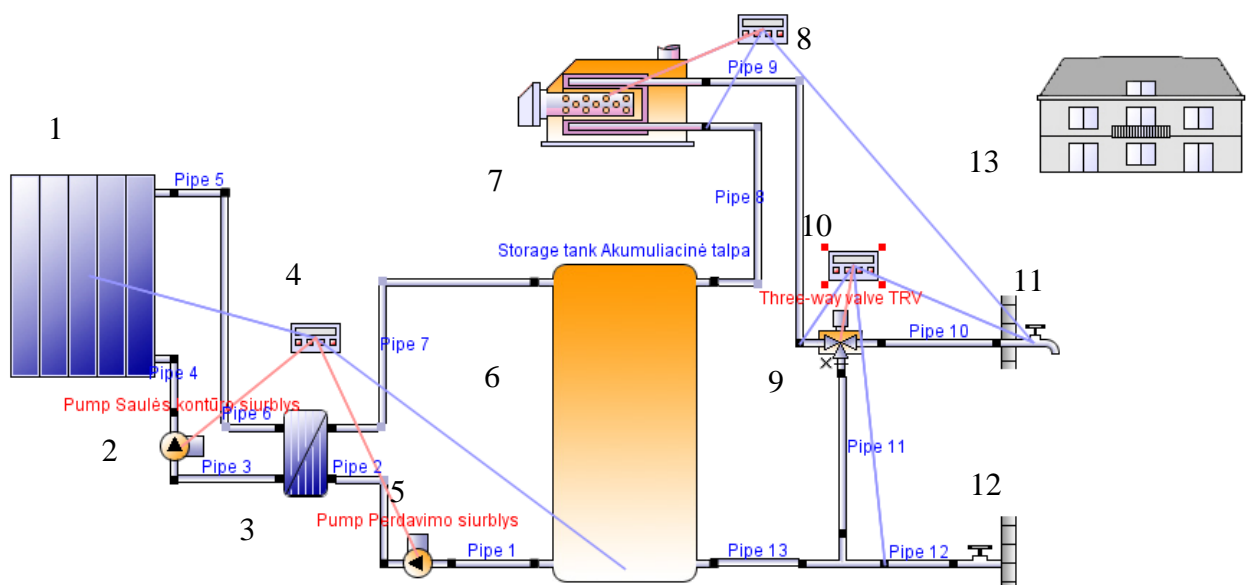
Toliau programoje „Polysun“ nubraižomi keli sistemų schemų variantai. Jei saulės kontūre naudojamas išorinis šilumokaitis, akumuliacinėje talpoje nenaudojamas vidinis šilumokaitis. Toks atvejis yra pavaizduotas paveiksle 4.1.4.



4.1.4 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 1

Čia: 1 — saulės kolektoriai; 2 — saulės kontūro siurblys; 3 — saulės kontūro išorinis šilumokaitis; 4 — saulės kontūro valdiklis; 5 — perdavimo kontūro siurblys; 6 — akumuliacinė talpa; 7 — katilas; 8 — katilo valdiklis; 9 — triegis ventilis; 10 — triegio ventilio valdiklis; 11 — karšto vandens apkrova; 12 — šalto vandens tiekimas; 13 — vidinės patalpos.

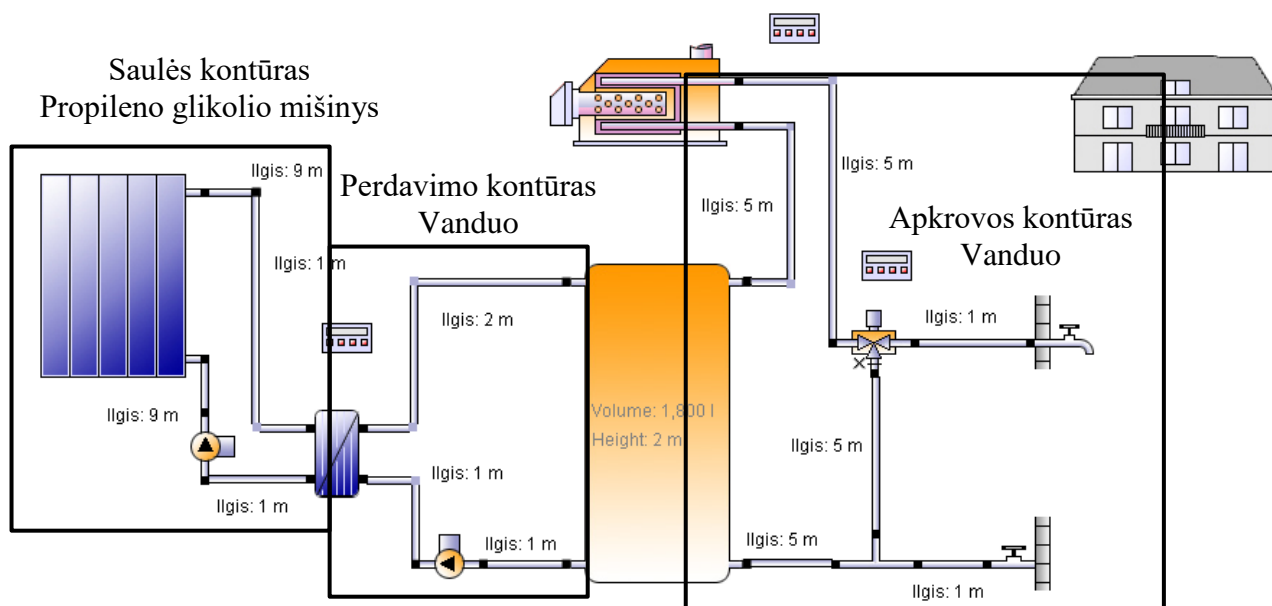
Toliau paveiksle 4.1.5 pavaizduojami vamzdžių pavadinimai ir valdiklių linijos. Mėlynos linijos atitinka valdiklių įvedimus, o raudonos linijos atitinka valdiklių išvedimus.



4.1.5 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema, vamzdžių pavadinimai ir valdiklių linijos

Vamzdžiai 4 ir 5 bei saulės kolektoriai (arba hibridiniai moduliai) numatyti lauko aplinkoje. Visos kitos sistemos dalys yra vidinėse patalpose. Pagal tai skiriasi šiluminių nuostolių skaičiavimai. Paveiksle pavaizduotos valdiklio linijos. Valdiklis 4 kontroliuoja siurblių 2 ir 5 darbą pagal akumuliacinės talpos 6 žemutinio sluoksnio ir kolektorių 1 ištekėjimo temperatūros skirtumą. Valdiklis 8 kontroliuoja katilo 7 darbą pagal vamzdžio 8 temperatūrą, katilo temperatūrą ir apkrovos 11 reikalaujamą temperatūrą. Valdiklis 10 kontroliuoja trieigio ventilio 9 darbą pagal vamzdžių 9, 13 temperatūrą ir apkrovos 11 reikalaujamą temperatūrą. Valdiklių parametrai yra aprašyti skyriuje 4.2.

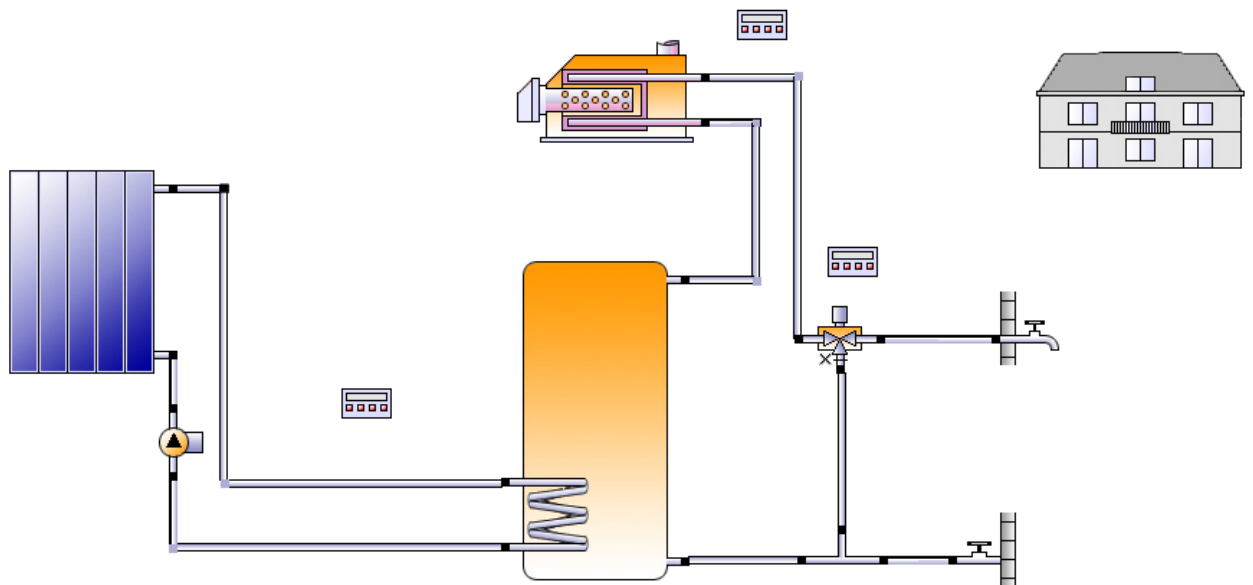
Vamzdžių ilgiai pateikti paveiksle 4.1.6. Priimta, kad siurbliai statomi su 1 m tarpais iškart po praeitų įrenginių. Tokiu būdu gaunami mažiausi slėgio nuostoliai (lyginant su siurblių įrengimu per ruožų vidurį arba kitaip). Tarp akumuliacinės talpos ir išorinio šilumokaičio yra 2 m atstumas. Po to iki saulės kolektorių nutiestas vamzdis yra 10 m ilgio, iš kurių 1 m nutiestas patalpos viduje, o 9 m nutiesti lauke. Visiems vamzdžiams tarp akumuliacinės talpos ir trieigio ventilio parinkti 5 m ilgiai, kad pasireikštų šilumos nuostoliai ir vidinių patalpų temperatūros parinkimas nebūtų beprasmiškas. Likusiems vamzdžiams parinkti 1 m ilgiai, nes atstumai iki apkrovos nėra žinomi. Jei keičiasi sistemos dalys, santykiniai atstumai tarp pagrindinių sistemos dalių išlaikomi nepsikeitę.



**4.1.6 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema, vamzdžių ilgiai, kontūrai ir šilumnešiai**

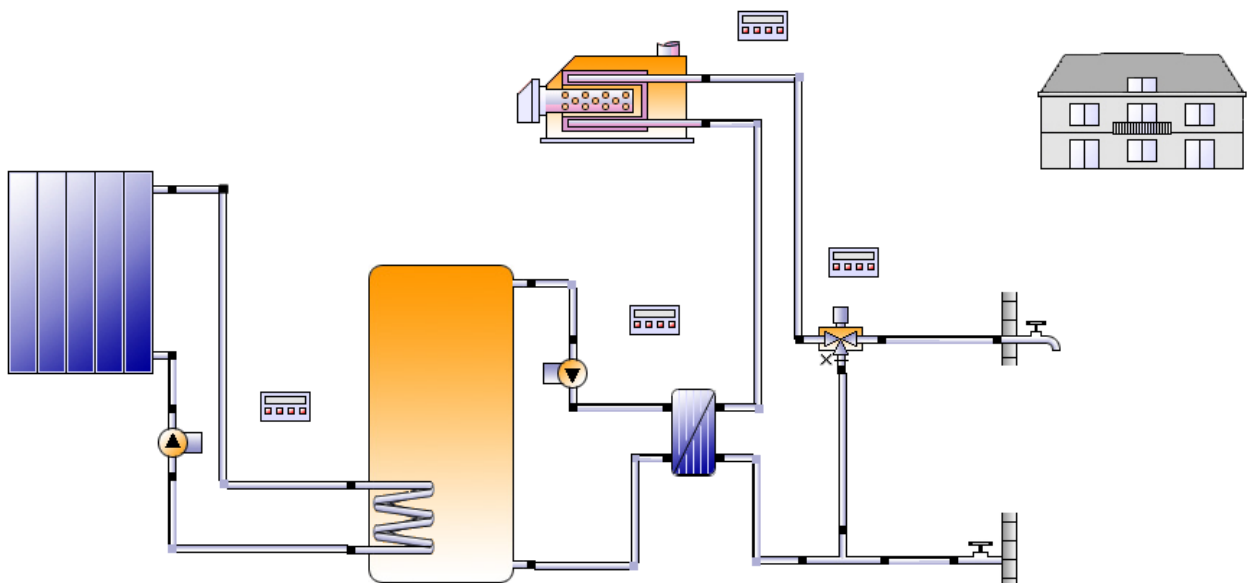
Paveiksle 4.1.6 taip pat pavaizduoti kontūrai ir juose tekantys šilumnešiai. Jei keičiasi sistemos elementai, perdavimo ir apkrovos kontūruose visada teka vanduo, o saulės kontūre visada teka propileno glikolio – vandens mišinys.

Toliau pateiktos kitų variantų sistemų schemas, kurios taip pat yra modeliuojamos. Paveikslas 4.1.7, jei būtų naudojamas vidinis šilumokaitis. Tada saulės kontūre nenaudojamas išorinis šilumokaitis.



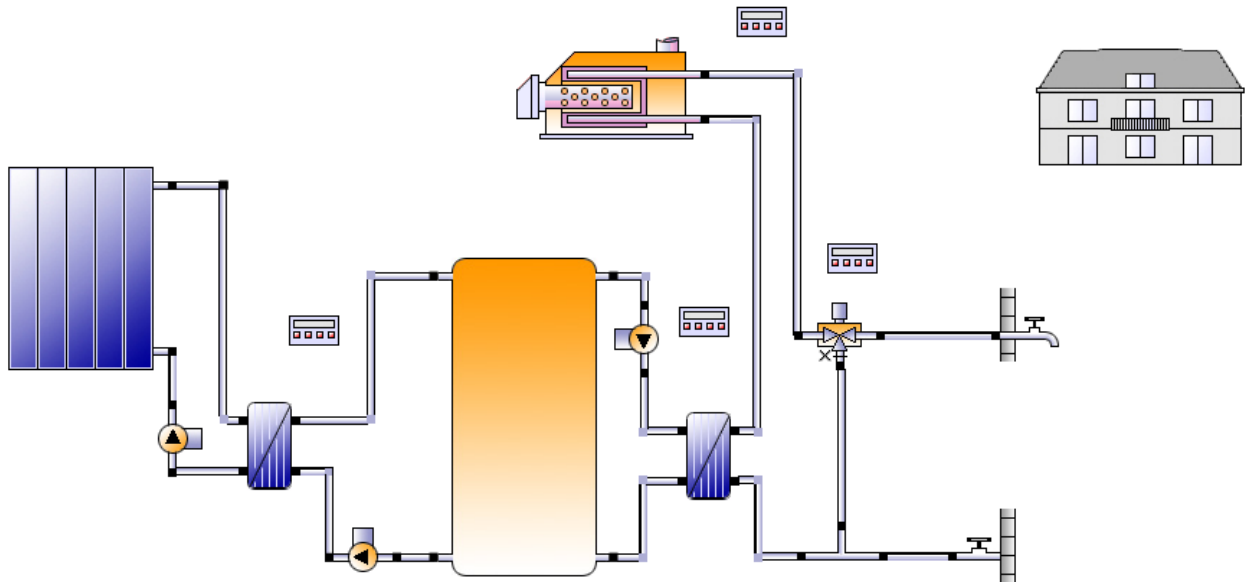
**4.1.7 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 2**

Paveikslas 4.1.8, jei tarp akumuliacinės talpos ir katilo naudojamas šilumokaitis, o akumuliacinėje talpoje naudojamas vidinis šilumokaitis.



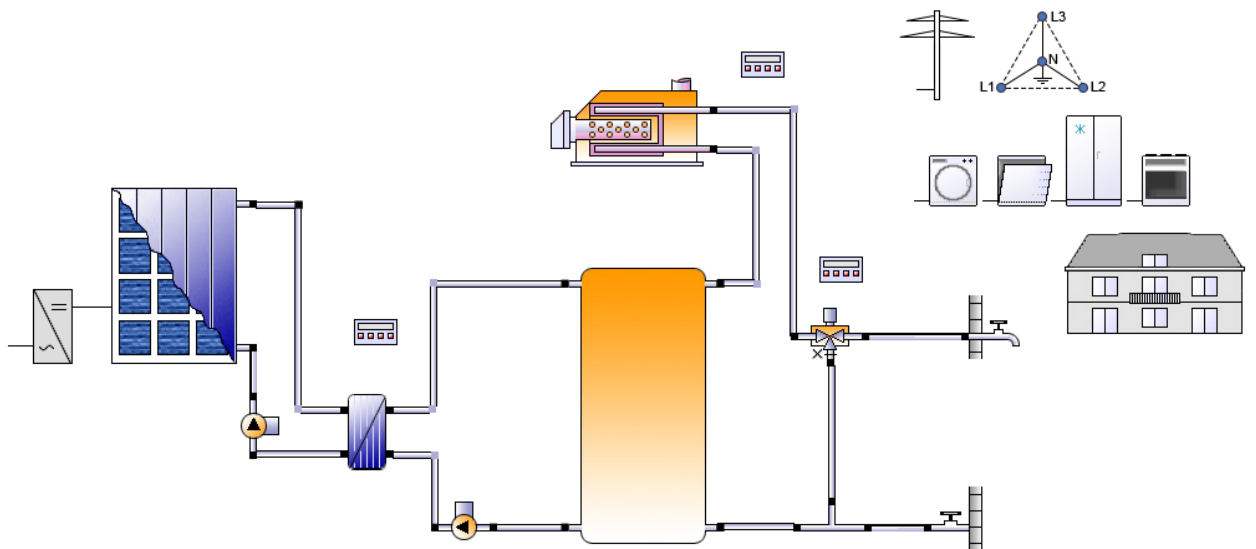
**4.1.8 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 3**

Paveikslas 4.1.9, jei naudojami išoriniai šilumokaičiai iš abiejų akumuliacinės talpos pusių. Tokiu atveju sistemoje yra du perdavimo kontūrai.



4.1.9 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 4

Jei naudojami hibridiniai moduliai, sistemos schema išlieka vienoda, išskyrus prijungiamą inverterį, elektros tinklą ir elektrinę apkrovą (apibrėžtas sistemos siurblių, savų reikmių naudojimas). Kai naudojami hibridiniai moduliai, modeliuojami visi ką tik pavaizduoti variantai.



4.1.10 pav. Modeliuojamos sistemos principinė schema variantas 1 su hibridiniais moduliais

## 4.2 Įrenginių ir modeliavimo parametrų parinkimas

Didžioji dalis įrenginių parinkta remiantis „Polysun“ katalogais.

### Plokštelinis saulės kolektorius — flat plate, good quality

Tarp įvairių gamintojų plokštelių kolektorių pateikti keturi vidutiniai variantai: be dengiančios plokštės, pigūs, geros kokybės ir aukštos kokybės. Daugumos plokštelių kolektorių

šiluminiai nuostoliai atitinka geros kokybės kolektorių šiluminius nuostolius. Todėl priimami geros kokybės plokšteliniai kolektoriai:

turi dengiančią plokštę;

absorberio plotas —  $1,80 \text{ m}^2$ ;

darbinis plotas —  $1,80 \text{ m}^2$ ;

paviršiaus plotas —  $2,00 \text{ m}^2$ ;

laminarinio srauto optinis efektyvumas —  $\eta_0=0,75$ ;

turbulentinio srauto optinis efektyvumas —  $\eta_0=0,80$ ;

šiluminių nuostolių koeficientas be vėjo —  $a_1=3,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;

šiluminių nuostolių koeficientas su vėju ( $2\text{--}4 \text{ m/s}$ ) —  $a_1=4,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;

kvadratinis šiluminių nuostolių koeficientas —  $a_2=0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ ;

dinaminio ekvilibriumo šiluminis našumas —  $5000 \text{ J/K}$ ;

tūris —  $1,5 \text{ l}$ ;

vamzdžiai — variniai,  $9 \text{ mm}$  vidinio diametro, vieno vamzdžio ilgis lygus  $18 \text{ m}$ ,  $1$  lygiagreti eilė,  $0,1 \text{ mm}$  šiurkštumas;

maksimalus darbinis slėgis —  $10 \text{ bar}$ ;

maksimali temperatūra (aukščiausia per tam tikrą testavimo periodą) —  $220 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Vakuuminių vamzdžių kolektorius — Fujika Q-B-K-1-60/2.60/0**

Pagal literatūros šaltinius žinoma, kad saulės kolektorių sistemos turimoms pramonės šakoms dažniausiai naudoja plokštelines saulės kolektorius, o po to seka vakuuminių vamzdžių kolektoriai [23]. Kad būtų galima atlikti palyginimą, modeliavimas taip pat atliktas su vakuuminių vamzdžių kolektoriais. Kad būtų galima lengvai palyginti, tokių kolektorių kiekis turi būti apskaičiuotas pagal visą plokštelių kolektorių absorberių plotą. Siekiant išvengti labai didelio skirtumo, parinktas apytiksliai tokio paties absorberio ploto vakuuminių vamzdžių kolektorius. Pagal „Polysun“ katalogus, vidutinio vakuuminių vamzdžių kolektoriaus šiluminiai nuostoliai yra lygus apie  $a_1=2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ir  $a_2=0,01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ . Todėl parinktas  $1,80 \text{ m}^2$  absorberio ploto kolektorius, turintis artimiausius šiluminius nuostolius:

absorberio plotas —  $1,80 \text{ m}^2$ ;

darbinis plotas —  $1,80 \text{ m}^2$ ;

paviršiaus plotas —  $3,55 \text{ m}^2$ ;

laminarinio srauto optinis efektyvumas —  $\eta_0=0,77$ ;

turbulentinio srauto optinis efektyvumas —  $\eta_0=0,77$ ;

šiluminių nuostolių koeficientas be vėjo —  $a_1=1,58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;

šiluminių nuostolių koeficientas su vėju —  $a_1=1,66 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;

kvadratinis šiluminių nuostolių koeficientas —  $a_2=0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ ;

dinaminio ekvilibriumo šiluminis našumas —  $295920 \text{ J/K}$ ;

tūris —  $1,26 \text{ l}$ ;

vamzdžiai — variniai, 7 mm vidinio diametro, vieno vamzdžio ilgis lygus 3,78 m, 1 lygiagrečiai eilė, 0,1 mm šiurkštumas;

maksimalus darbinis slėgis — 10 bar;

maksimali temperatūra (aukščiausia per tam tikrą testavimo periodą) —  $192 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Hibridinis saulės modulis — Fototherm FTT220Cs**

Taip pat atliktas modeliavimas naudojant hibridinius modulius. Iš „Polysun“ katalogų parinktas hibridinis kolektorius, kurio absorberio plotas yra artimiausias  $1,8 \text{ m}^2$  ir kuris turi dengiančią plokštę:

plokštelinis kolektorius su dengiančia plokšte;

polikristaliniai saulės elementai;

absorberio plotas —  $1,59 \text{ m}^2$ ;

darbinis plotas —  $1,59 \text{ m}^2$ ;

PVT paviršiaus plotas —  $1,61 \text{ m}^2$ ;

laminarinio srauto optinis efektyvumas —  $\eta_0=0,559$ ;

turbulentinio srauto optinis efektyvumas —  $\eta_0=0,559$ ;

šiluminių nuostolių koeficientas be vėjo —  $a_1=8,221 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;

šiluminių nuostolių koeficientas su vėju —  $a_1=9,123 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;

kvadratinis šiluminių nuostolių koeficientas —  $a_2=0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ ;

dinaminio ekvilibriumo šiluminis našumas —  $12894,9 \text{ J/K}$ ;

tūris —  $0,9 \text{ l}$ ;

vamzdžiai — variniai, 7 mm vidinio diametro, vieno vamzdžio ilgis lygus 1,5 m, 7 lygiagrečios eilės, 0,1 mm šiurkštumas;

maksimalus darbinis slėgis — 6 bar;

maksimali temperatūra (aukščiausia per tam tikrą testavimo periodą) —  $84,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

elektrinio efektyvumo koeficientas esant standartinėms sąlygoms (toliau STC:  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$  apšvita,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  puslaidininkių temperatūra) — 0,137;

elektrinė galia STC — 220 W;

įtampa esant maksimalios galios taškui (toliau MPP) STC — 29,2 V;

srovė esant MPP STC — 7,53 A;

atviros grandinės įtampa — 36,6 V;



trumpo jungimo srovė — 8,09 A;  
maksimali sistemos įtampa — 1000 V;  
įtampos temperatūros koeficientas — -0,34 %/K;  
srovės temperatūros koeficientas — 0,065 %/K;  
galios temperatūros koeficientas — -0,43 %/K.

Kai naudojami hibridiniai moduliai, modeliui reikia pateikti kelis papildomus dydžius, susijusius su modulių elektrine galia:

nešvarumų nuostoliai — priimami 2 %. Šie nuostoliai pasireiškia praėjus kelioms savaitėms po valymo arba instaliacijos ir paprastai sudaro 2–6 %;

fotovoltinių elementų senėjimo nuostoliai — priimami 0,2 %. Pagal „Polysun“, modulių elektrinė galia sumažėja kiekvienais metais vidutiniškai tokia verte;

hibridinių saulės modulių ventiliacija parinkta prie montavimo skilties (vidutinė).

Pramonėje naudojami įvairaus dydžio saulės kolektorių laukai. Priimama, kad šiame darbe modeliavimas bus atliktas esant 20–100 kolektorių sistemoms. Atitinkamai tokių saulės laukų plotai bus nuo 40 m<sup>2</sup> iki 200 m<sup>2</sup>. Čia ir toliau skaičiuojama pagal parinktų plokštelių saulės kolektorių plotą. Čia saulės lauko plotą sudaro visų kolektorių paviršiaus plotų suma.

Pagal plokštelių kolektorių ir hibridinių modulių absorberių plotų santykį, lygu 1,8/1,59≈1,13, suskaičiuojamas naudojamų hibridinių modulių kiekis. Rezultatai suapvalinti standartiniu būdu ir pateikti lentelėje 4.2.1.

4.2.1 lentelė. Hibridinių saulės modulių kiekis

Kolektorių kiekis	20	40	60	80	100
Hibridinių modulių kiekis	23	45	68	91	113

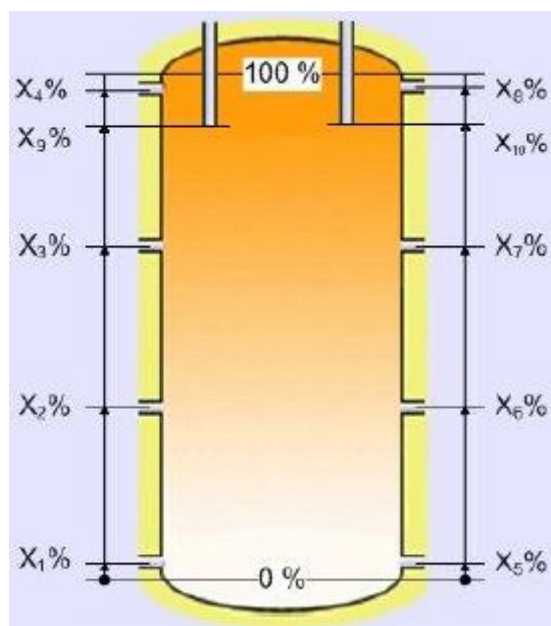
### **Akumuliacinė talpa — keli variantai**

Toliau „Polysun“ programinėje aplinkoje sukuriamos naudojamos akumuliacinės talpos:

talpa — karšto vandens sistemoms reikia 50–100 litrų akumuliacinės talpos kiekvienam saulės kolektorių absorberių kvadratiniam metrui [19];

jungtys — programoje galima pasirinkti paveiksle 4.2.1 [24] pavaizduotų jungčių kombinacijas. Išskiriamos jungtys kairėje ir dešinėje akumuliacinės talpos pusėje: apatinė, apatinė centrinė, viršutinė centrinė, viršutinė, viršaus. Akumuliacinėje talpoje karšti sluoksniai išsiskirto link talpos viršaus, o šalti sluoksniai išsiskirsto link talpos apačios. Todėl priimamos apatinės (paveiksle X<sub>1</sub> ir X<sub>5</sub>) ir viršutinės (X<sub>4</sub> ir X<sub>8</sub>) jungtys. Apatinės jungtys yra ties 5 % pagal paveikslą

4.2.1, o viršutinės jungtys yra ties 95 %. Jungčių tipas parenkamas S–lenkimo, kurių nuostoliai paprastai būna 0,2 W/K (be S–lenkimo 0,5 W/K, gerai izoliuotu S–lenkimo 0,05 W/K).



4.2.1 pav. Akumuliacinės talpos jungčių išdėstymai

Galima naudoti įvairius vidinius šildytuvus ir talpas. Taip pat galima pasirinkti iki keturių stratifikacijos iečių panaudojimą. Stratifikacijos vamzdžiai akumuliacinėje talpoje būna įrengti vertikaliai ir ties savo paviršiumi turi judančius dangtelius. Šilumnešis kyla vamzdžio viduje iki kol jo tankis yra didesnis, negu tos vietos akumuliacinės talpos skysčio tankis, ir tada išteka. Tokiu būdu pasiekama optimali akumuliacinės talpos stratifikacija. Papildomi įrenginiai nepriimti.

Kitos charakteristikos parinktos pagal „Polysun“ katalogų pavyzdžius. Gauti dydžiai pateikti lentelėje 4.2.2. Jei lentelės laukelyje pateiktos trys vertės, jos atitinka 50, 75 ir 100 l/m<sup>2</sup> tūrio santykius. Akumuliacinių talpų tūrių skaičiavimai atlikti pagal kolektorių kiekį. Jei naudojami hibridiniai moduliai, priimamos tokios pačios akumuliacinės talpos, nes pagal perskaičiuotą hibridinių modulių kiekį bendras absorberių plotas yra praktiškai vienodas.

4.2.2 lentelė. Akumuliacinių talpų charakteristikos

Kolektorių kiekis	20	40	60	80	100
Talpos tūris, l	1800; 2700; 3600	3600; 5400; 7200	5400; 8100; 10800	7200; 10800; 14400	9000; 13500; 18000
Aukštis, m	2; 2; 2,5	2,5; 2,5; 3	2,5; 3; 3	3; 3; 4	3; 3,5; 4
Viršaus ir apačios apvalumo aukštis, mm	100				
Medžiaga	Plienas				
Sienelių storis, mm	2,5				
Izoliacija	Standžios poliuretano putos				
Vidutinis izoliacijos storis (įskaitant viršų ir apačią), mm	120				

Akumuliacinės talpos izoliacijos charakteristikos — tankis  $100 \text{ kg/m}^3$ ; šiluminio laidumo koeficientas  $0,03 \text{ W/(mK)}$ ; kvadratinis šiluminio laidumo koeficientas  $0,0001 \text{ W/(mK}^2\text{)}$ ; specifinė šiluma  $1000 \text{ J/(kgK)}$ .

Galima priimti iki šešių vidinių šilumokaičių naudojimą. Jei bus naudojamas vidinis šilumokaitis, priimtas spiralinis šilumokaitis. Tokiu atveju nereikia vienos pusės akumuliacinės talpos jungčių. Vidinio šilumokaičio pozicija parinkta ties 30 % pagal paveikslą 4.2.1. „Polysun“ kataloguose apibrėžti keturi vidutiniai spiralinių šilumokaičių variantai: mažas, vidutinis, didelis ir milžiniškas. Kataloguose pateikta didžiausia akumuliacinė talpa, naudojanti vidutinio dydžio šilumokaitį, yra 5000 l tūrio, bet galimi ir įvairūs variantai (mažesnio tūrio talpos su didesniais šilumokaičiais, įvairių gamintojų šilumokaičiai su skirtingomis charakteristikomis). Modeliavimui priimta, kad bus naudojamas didelis spiralinis šilumokaitis, kuris netelpa akumuliacinėje talpoje iki 3 m aukščio talpų. Todėl iki tokių akumuliacinių talpų naudojamas vidutinis spiralinis šilumokaitis.

Vidutinis spiralinis šilumokaitis:

vamzdžiai — variniai  $18 \times 1$ ;

aukštis — 500 mm;

paviršiaus plotas —  $3,6 \text{ m}^2$ ;

jungčių nuostoliai —  $0,3 \text{ W/K}$ .

Didelis spiralinis šilumokaitis:

vamzdžiai — variniai  $18 \times 1$ ;

aukštis — 800 mm;

paviršiaus plotas —  $5,4 \text{ m}^2$ ;

jungčių nuostoliai —  $0,4 \text{ W/K}$ .

### **Apkrova — pastovi**

Skyriuje 3 priimta pieno perdirbimo gamyklos apkrova:  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros karšto vandens  $80 \text{ m}^3$  poreikis per dieną. Kadangi [20] aprašyta gamykla dirba visą parą be sustojimo, pagal šaltinį [25] priimtas pastovus apkrovos profilis. Tai komercinės įmonės, dirbančios be sustojimo, profilis, sukurtas Bavarijos energijos ir vandens asociacijos (taip pat vadinamas G3 profiliu). Priimto profilio išsidėstymas surašytas lentelėje 4.2.3.

4.2.3 lentelė. Apkrovos profilio išsiskirstymas paros metu

Valanda	Apkrovos dalis, %	Valanda	Apkrovos dalis, %
1	3,4	13	5,1
2	3,3	14	4,8
3	3,3	15	4,5
4	3,2	16	4,7

#### 4.2.3 lentelės tęsinys

5	3,2	17	4,8
6	3,1	18	4,9
7	3,6	19	4,9
8	3,8	20	4,7
9	4,3	21	4,4
10	4,9	22	3,9
11	5,0	23	3,7
12	5,1	24	3,4

Viso — 100 %.

#### Montavimas — lygiagrečios nuoseklių kolektorių eilės, 38° paviršius, 0° azimutas

Saulės kolektoriai montuojami lygiagrečiomis eilėmis. Kiekvieną eilę paprastai sudaro nuo 10 iki 15 saulės kolektorių [26]. Modeliavimui priimtų eilių dydžiai yra surašyti lentelėje 4.2.4. Jei vienoje eilėje gautas kolektorių kiekis nėra sveikasis skaičius, viena arba kelios eilės turi turėti vienu kolektoriumi daugiau už kitas eiles. Čia hibridinių modulių kiekis paimtas iš lentelės 4.2.1.

4.2.4 lentelė. Saulės kolektorių lygiagrečių eilių kiekiai ir dydžiai

Plokšteliniai ir vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriai					
Kolektorių kiekis	20	40	60	80	100
Lygiagrečios eilės	2	3	4	6	7
Nuoseklių kolektorių kiekis	10	13,33	15	13,33	14,29
Hibridiniai saulės moduliai					
Kolektorių kiekis	23	45	68	91	113
Lygiagrečios eilės	2	3	5	7	8
Nuoseklių kolektorių kiekis	11,5	15	13,6	13	14,125

Modeliavimas atliekamas be horizonto kliūčių, užstojimų ar kolektorių tarpusavio šešėlių. Priimta, kad kolektoriai išdėstyti su pakankamais tarpais ir jų šešėliai nedaro įtakos. Modeliavimui priimta, kad visus kolektorius arba modulius veikia 50 % vietinio vėjo greičio dalis.

Jei naudojami hibridiniai moduliai, priimta vidutinė modulių galinės pusės ventiliacija. Jei būtų naudojami fotovoltiniai moduliai (hibridinius modulius taip pat vėsina absorberis), tai reikštu, kad modulio temperatūra būtų apie 30 °C didesnė už aplinkos oro temperatūrą, esant standartinėms sąlygoms (blogas vėsinimas — 40 °C, puikus vėsinimas — 20 °C).

Modeliavimui parinktos Kauno klimatinės sąlygos. Atitinkamai kolektorių paviršiaus kampas su horizontu parinktas lygus nustatytam skyriuje 1.5 Kauno optimaliam metiniam 38° kampui. Kolektoriai yra nukreipti tiesiai į pietus.

#### Šilumnešiai — vanduo ir propileno glikolio mišinys

Apkrovos ir perdavimo kontūruose — vanduo. Maitinimo vandens temperatūra priimta nuo 8 °C iki 12 °C pagal skyrių 3;

saulės kontūre — propileno glikolio – vandens mišinys. Mišinio koncentracija lygi 45 % pagal komponentų svorį;

šilumnešiams reikia parinkti maksimalų slėgį viršutinėse sistemos dalyse — priimta 4 bar. Tai nedaro labai didelės įtakos pagrindiniams modeliavimo dydžiams.

### **Vidinių patalpų temperatūra — IIb kategorija**

Vidutinė patalpų temperatūra priimta 20 °C, o temperatūrų skirtumas tarp šalčiausios ir aukščiausios temperatūros per metus priimtas 5 °C [27]. Tai atitinka vidutinio darbo sunkumo kategoriją IIb.

### **Šilumokaičiai — large**

Kuo šilumokaitis didesnis, tuo geriau atliekami šilumos mainai. „Polysun“ kataloguose išskirti keturi vidutiniai šilumokaičiai: mažas, vidutinis, didelis ir milžiniškas. Atlikus pirminį modeliavimą esant 100 kolektoriams pastebimą, kad yra labai didelis saulės kolektorių sistemos pagamintos šilumos skirtumas tarp mažų, vidutinių ir didelių šilumokaičių naudojimo atvejų. Skirtumas tarp mažo ir didelio šilumokaičio yra apie 8 %, o skirtumas tarp didelio ir milžiniško šilumokaičio yra žymiai mažesnis. Tai reiškia, kad 100 kolektorių sistemai užtenka didelio šilumokaičio. Atlikus pirminį modeliavimą esant 20 kolektoriams, pagaminamos šilumos skirtumas tarp mažų ir didelių šilumokaičių yra apie 1 %. Todėl 20 kolektorių sistemai užtenka mažo šilumokaičio.

Kad šilumokaičiai tiktų visiems variantams, priimti didelį šilumokaičiai. Taip pat, naudojant didesnius šilumokaičius, gaunamos keliais procentais mažesnės elektros energijos sąnaudos:

šilumos perdavimo našumas — 17000 W/K;

sekcijos ilgis — 500 mm;

plotis — 120 mm;

aukštis — 120 mm;

plokščių kiekis — 30;

linijinės formos faktorius — 4;

trinties faktorius — 30;

nelygumų faktorius — 1,15.

### **SiurbLIAI — eco, large**

Modeliuojant su „Polysun“, kiekvienas kontūras privalo turėti būtent vieną srauto tekėjimo krypties apibrėžimą. Paveiksle 4.1.6 pavaizduotuose saulės ir perdavimo kontūruose tam naudojami cirkuliaciniai siurbLIAI, o apkrovos kontūro tekėjimo kryptis yra apibrėžta ir be siurblio.

Išskirtis trys vidutiniai siurblių tipai: ekonomišką mažą, ekonomišką vidutinį ir ekonomišką didelį. Modeliavimui priimtai ekonominiai dideli siurbliai. Tekėjimo debitą valdys valdikliai, t. y. valdikliai valdys siurblių darbą, kad būtų pasiekti užduoti tekėjimo debitai. Siurblių charakteristikas „Polysun“ nustato automatiškai.

### **Triegis ventilis**

Triegis ventilis yra kontroliuojamas valdikliu. Programoje nėra kitų parametrų įvedimo.

### **Katilas — VITOPLEX 200 Typ SX2A 560 kW**

Modeliavimui katilas svarbus tik todėl, kad „Polysun“ reikalauja sukurti schemą, kuri būtinai padengtų priimtą apkrovą. Čia svarbiausias dydis yra katilo naudingumo koeficientas, kuris paprastai būna apie 90 % pagal aukštutinę šilumos vertę. Todėl iš „Polysun“ katalogų priimtas mažiausios galios katilas, kuris turi tokį efektyvumą ir kurį naudojant „Polysun“ nerodo klaidos:

maksimali galia — 609 kW;

minimali galia — 30 kW;

Kuras — gamtinės dujos, 37,8 MJ/m<sup>3</sup> aukštutinė šilumos vertė;

Naudingumas pagal aukštutinę šilumos vertę — 90 %.

### **Valdikliai**

Sistemą valdo trys valdikliai: saulės kontūro, katilo ir triegio ventilio valdikliai. Toliau aprašyti kiekvieno valdiklio nustatymai. Valdiklių linijos buvo pavaizduotos paveiksle 4.1.5.

Saulės kontūro valdiklis valdo saulės kontūro siurblių darbą. Siurbliai įjungiami, kai temperatūros skirtumas tarp iš kolektorių išeinančio šilumnešio ir akumuliacinės talpos žemutinio sluoksnio yra lygus arba didesnis už 6 °C. Po siurblių įjungimo, jie būna išjungiami, kai temperatūrų skirtumas yra lygus ar mažesnis už 2 °C. Siurblių charakteristikos valdomos taip, kad būtų užtikrinamas 30 l/h/m<sup>2</sup> saulės kontūro tekėjimo debitas. Čia 30 l/h/m<sup>2</sup> yra kontūru pratekantis litrų kiekis, jei siurbliai dirbtų pastoviai vieną valandą, vienam kolektorių darbinio ploto kvadratiniam metrui. Paprastai 10–30 l/h/m<sup>2</sup> debitas vadinamas žemo tekėjimo, o 30–50 l/h/m<sup>2</sup> debitas vadinamas aukšto tekėjimo. Žemo tekėjimo metodas pasižymi aukštesne šilumnešio temperatūra dėl atitinkamai mažesnių tekėjimo greičių, o aukšto tekėjimo metodas pasižymi bendrai didesniu šilumos nuvedimu. Toliau modeliavimui priimta 30 l/h/m<sup>2</sup> vertė.

Katilo valdiklis įjungia katilą, jei katilo temperatūra nėra lygi apkrovos temperatūrai 80 °C. Katilas išjungiamas, jei katilo temperatūra yra lygi arba didesnė už 85 °C. Taip pat valdikliui reikia nurodyti katilo maitinimo vandens temperatūrą, kuri atitinka įtekėjimo (vamzdžio 8) temperatūrą. Tai reikalinga katilo galios nustatymui.

Trieigio ventilio valdiklis valdo maišymo vožtuvo poziciją pagal maitinimo vandens (vamzdžio 12) temperatūrą, temperatūrą po katilo (vamzdžio 9) ir apkrovos reikalaujamą temperatūrą. Karšto vandens temperatūra dėl sumaišymo gali per daug sumažėti, kas sukelia apkrovai reikalingos energijos trūkumą. Todėl valdikliui galima nurodyti, kad trieigis ventilis dirbtu lyg prie kitokios maitinimo vandens temperatūros. Šiuo atveju atrodo, kad esant +8 °C gaunami optimalius rezultatai.

Jei apkrovos kontūre naudojamas išorinis šilumokaitis, reikia papildomo siurblio, kurio darbą valdo valdiklis, sulyginantis abiejų šilumokaičio pusių srautus.

### Vamzdynų dydžiai ir izoliacija

Toliau priimant vamzdynų parametrus reikia atlikti pirminius modeliavimus. Iki šios vietos buvo priimti visi tam reikalingi dydžiai.

Vamzdynų ilgiai buvo pavaizduoti paveiksle 4.1.5. Toliau reikia parinkti vamzdynų storius taip, kad tekėjimo greitis vamzdžiuose būtų tarp 0,5–2,5 m/s [28]. Priimta neviršyti 2 m/s. Greičio apskaičiavimui galima naudoti formulę:

$$w = \frac{G}{f\rho} = \frac{G}{\pi D^2 \rho}$$

čia  $w$  — tekėjimo greitis vamzdyje, m/s;  $G$  — tekėjimo debitas, kg/s;  $f$  — pratekėjimo skerspjuvio plotas, m<sup>2</sup>;  $\rho$  — skysčio tankis, kg/m<sup>3</sup>;  $D$  — vamzdžio vidinis diametras, m.

Vamzdžių 1–7 debitai yra žinomi pagal saulės kontūro valdiklio nustatymą 30 l/h/m<sup>2</sup>.

4.2.5 lentelė. Vamzdynų 1–7 srauto debitai

Kolektorių kiekis	20	40	60	80	100
Darbinis plotas, m <sup>2</sup>	36	72	108	144	180
Debitas, l/h	1080	2160	3240	4320	5400
Modulių kiekis	23	45	68	91	113
Darbinis plotas, m <sup>2</sup>	36,57	71,55	108,12	144,69	179,67
Debitas, l/h	1097,10	2146,50	3243,60	4340,70	5390,1

Toliau debitai gali skirtis sistemos darbo eigoje, bet žinoma, kad maksimalus debitas vamzdžiams 8–10 ir 12–13 yra apibrėžtas pagal 80000 l/d apkrovos poreikį ir profilį. Atlikus pirminį modeliavimą gauta 7200 l/h vertė. Vamzdžio 11 debitas priklauso nuo trieigio ventilio valdiklio nustatymų ir temperatūros po katilo. Prie skirtingų variantų, temperatūrą po katilo įvairiais momentais skiriasi dėl skirtingo saulės sistemos darbo. Pagal pirminį modeliavimą priimta 1700 l/h.

4.2.6 lentelė. Vamzdynų 8–13 srauto debitai

Vamzdyno nr.	Maksimalus srauto debitas, l/h
8–10 ir 12–13	7200
11	1700

Skysčių tankis parenkamas lentelėje 4.2.7 pagal vamzdžių temperatūrą (skysčio vamzdyje). Propileno glikolio mišinio tankui nustatyti reikia suskaičiuoti propileno glikolio molinę dalį, kam panaudojama formulė:

$$x_i = \frac{\frac{m_i}{M_i}}{\sum_i \frac{m_i}{M_i}}$$

čia  $x_i$  — komponento molinė dalis;  $m_i$  — komponento masė;  $M_i$  — komponento molinė masė.

Šiame skyriuje buvo priimta, kad propilenas sudaro 45 % mišinio masės. Tada propileno glikolio masę galima priimti 45, o vandens masę priimti 55. Taip pat žinoma propileno glikolio molinė masė lygi 76,09 g/mol ir vandens molinė masė lygi 18,01528 g/mol. Tai gi propileno glikolio molinė dalis gaunama:

$$x_{propileno} = \frac{\frac{45}{76,09}}{\frac{45}{76,09} + \frac{55}{18,01528}} = 0,162$$

Lentelėje 4.2.7 pateiktos vandens ir 0,162 molinės dalies propileno glikolio – vandens mišinio [29] tankių vertės prie skirtingų temperatūrų. Vertės prie reikalingų temperatūros verčių gaunamos interpoliuojant arba ekstrapoliuojant.

4.2.7 lentelė. Vandens ir  $x=0,162$  propileno glikolio – vandens mišinio tankiai

Temperatūra, °C	Vandens $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Propileno glikolio mišinio $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
4	999,97	Ekstrapoliacija
10	999,7	
15	999,1	
20	998,21	1032,83
25	997,05	1030,16
30	995,65	1027,15
35	994,03	1024,27
40	992,22	1020,33
45	990,21	1014,76
50	988,04	1002,83
55	985,69	Ekstrapoliacija
60	983,2	
65	980,55	
70	977,76	
75	974,84	
80	971,79	
85	968,61	

Vamzdžių temperatūrai nustatymui atliekamas pirminis modeliavimas. Tam atlikti reikia parinkti vamzdynų izoliaciją:

visų vamzdynų izoliacijai parenkama mineralinė vata;

tankis — 110 kg/m<sup>3</sup>;



šiluminio laidumo koeficientas — 0,034 W/(mK);

kvadratinis šiluminio laidumo koeficientas — 0,00018 W/(mK<sup>2</sup>);

specifinė šiluma — 830 J/(kgK).

Vamzdynų izoliacijos storį galima parinkti pagal Lietuvos įrenginių ir šilumos perdavimo tinklų šilumos izoliacijos įrengimo taisyklių įstatymo priedus 1 ir 2 [30].

4.2.8 lentelė. Patalpų vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai ir šiluminės izoliacijos storiai

Vamzdyno skersmuo, mm		Šiluminės izoliacijos storis	40 °C	Šiluminės izoliacijos storis	60 °C	Šiluminės izoliacijos storis	80 °C	Šiluminės izoliacijos storis	100 °C
D <sub>sąl</sub> , mm	D <sub>išor</sub> , mm	h, mm	W/m	h, mm	W/m	h, mm	W/m	h, mm	W/m
25	32	30	6	40	10	40	16	50	20
32	38	30	7	40	12	40	18	50	22
40	45	30	7	40	13	40	20	50	24
50	57	30	8	40	15	40	22	50	27
65	73	40	8	40	17	50	23	60	28
70	76	40	8	40	18	50	24	60	29
80	89	40	9	40	19	60	25	70	29
100	108	50	10	50	20	60	27	70	34

4.2.9 lentelė. Lauko vamzdynų norminiai šilumos nuostoliai ir šiluminės izoliacijos storiai

Vamzdyno skersmuo, mm		Šiluminės izoliacijos storis	40 °C	Šiluminės izoliacijos storis	60 °C	Šiluminės izoliacijos storis	80 °C	Šiluminės izoliacijos storis	100 °C
D <sub>sąl</sub> , mm	D <sub>išor</sub> , mm	h, mm	W/m	h, mm	W/m	h, mm	W/m	h, mm	W/m
25	32	50	9	50	13	50	19	50	25
32	38	50	10	50	15	50	21	50	27
40	45	50	10	50	17	50	23	50	29
50	57	50	11	60	17	50	26	60	34
65	73	60	12	60	20	60	27	60	35
70	76	60	12	60	21	60	30	70	35
80	89	60	13	60	22	60	30	80	35
100	108	60	16	70	23	70	32	80	38

Žinoma, kad vamzdžių 9 ir 10 temperatūra yra apie 80 °C. Todėl pagal lentelę 4.2.8 parinktas 50 mm izoliacijos storis. Vamzdžių 11, 12 ir 13 temperatūra yra apie 10 °C, kuri yra žemesnė už vidinių patalpų temperatūrą. Priimta 10 mm izoliacija, nes be izoliacijos modeliavimas užtrunka žymiai ilgiau. Kitų vamzdžių izoliacijos storiai parenkami su rezervu, kad tiktų visiems variantams.

Pradinis modeliavimas atliekamas su plieniniais 60,3x2,9 vamzdžiais apkrovos kontūrai ir variniais 35x1,5 vamzdžiais kitur.

Atlikus pradinį schemas 4.1.4 modeliavimą su 100 plokšteliniais saulės kolektoriais, gaunamos vamzdynų temperatūros liepos mėnesiui. Pagal tai parinkti izoliacijos storiai surašyti lentelėje 4.2.10. Čia tankiai greičio skaičiavimams parinkti pagal maksimalią metinę temperatūrą.

4.2.10 lentelė. Priimti vamzdynų izoliacijos storiai ir šilumnešių tankiai

Vamzdynai	Vamzdynų temperatūros prie varianto 1 ir 100 kolektorių, liepos mėnėsis		Šiluminės izoliacijos storis, mm	Vamzdyno maksimali temperatūra, °C	Šilumnešio $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
	Vidutinė, °C	Ruožas, °C			
1	13,8	11–26,1	20	26,1	996,742
2	13,8	11–26,1	20	26,1	996,742
3	15,5	11,4–29,8	20	29,8	1027,266
4	14,2	11,2–29,8	30	29,8	1027,266
5	20	11,8–51,5	50	52,9	995,905
6	21,2	12,6–51,1	40	52,8	996,143
7	18,8	12,1–42,4	40	42,4	991,255
8	18,1	10,9–39,6	40	39,6	992,365
9	80,5	52,7–111	50	111	952,074
10	80,6	55,1–107	50	107	954,618
11	12,7	11–19,1	10	19,9	998,228
12	11,2	11–11,7	10	12,5	999,400
13	11,2	11–11,7	10	12,5	999,400

Jeigu naudojamas vidinis šilumokaitis, vamzdžių 1–4 ir 7 izoliacija sulyginama su vamzdžiais 5 ir 6. Dabar galima suskaičiuoti vamzdynų dydžius. Skaičiavimai atlikti prie kelių skirtingų vamzdžių dydžių. Rezultatai surašyti lentelėje 4.2.11.

4.2.11 lentelė. Vamzdynų tekėjimo greičiai

Variniai vamzdžiai	Vamzdynai 1–7, m/s				
	20 PT	40 PT	60 PT	80 PT	100 PT
10x0,8	1,353	2,707	4,060	5,413	6,767
15x1	0,565	1,130	1,695	2,260	2,825
18x1	0,373	0,746	1,119	1,492	1,865
28x1,2	0,146	0,291	0,437	0,583	0,729
35x1,5	0,093	0,187	0,280	0,373	0,466
42x1,5	0,063	0,126	0,188	0,251	0,314
54x1,5	0,037	0,073	0,110	0,147	0,184
70x2	0,022	0,044	0,066	0,088	0,110
76x1,2	0,018	0,037	0,055	0,073	0,092
88,9x2	0,013	0,026	0,040	0,053	0,066
Variniai vamzdžiai	Vamzdynai 1–7, m/s				
	23 PVT	45 PVT	68 PVT	91 PVT	113 PVT
10x0,8	1,375	2,690	4,065	5,439	6,754
15x1	0,574	1,123	1,697	2,271	2,820
18x1	0,379	0,741	1,120	1,499	1,862
28x1,2	0,148	0,290	0,438	0,586	0,727
35x1,5	0,095	0,185	0,280	0,375	0,465
42x1,5	0,064	0,125	0,189	0,252	0,313
54x1,5	0,037	0,073	0,110	0,148	0,183
70x2	0,022	0,044	0,066	0,088	0,109
76x1,2	0,019	0,037	0,055	0,074	0,092
88,9x2	0,013	0,026	0,040	0,053	0,066
Plieniniai vamzdžiai	Vamzdynai 8–10, 12–13, m/s		Vamzdynas 11, m/s		
	10,2x2	16,561			3,910
	13,5x2,35	8,221			1,941
	21,3x2	2,127			0,502

4.2.11 lentelės tęsinys

26,9x2,3	1,280	0,302
33,7x2,6	0,784	0,185
42,4x2,6	0,460	0,109
48,3x2,6	0,343	0,081
60,3x2,9	0,214	0,051
76,1x2,9	0,129	0,030
88,9x4,05	0,098	0,023

PT — saulės kolektoriai.

PVT — hibridiniai moduliai.

Kaip minėta anksčiau, tekėjimo greitis vamzdžiuose turi būti tarp 0,5–2,5 m/s. Priimta, kad greitis neturi viršyti 2 m/s. Tada pagal lentelę 4.2.11, kai naudojami 20 kolektoriai arba 23 hibridiniai moduliai, parinkti 15x1 variniai vamzdžiai, kad tekėjimo greitis vamzdynuose 1–7 būtų virš 0,5 m/s. Kitiems variantams parinkti 18x1 variniai vamzdžiai. Tuo tarpu vamzdynams 8–10 ir 12–13 parinkti 26,9x2,3 plieniniai vamzdžiai, o vamzdynui 11 reikia 21,3x2 plieninio vamzdžio, kad tekėjimo greitis viršytų 0,5 m/s.

Variniai vamzdžiai 15x1 (mažiausios galios variantas) ir 18x1 (kiti variantai) saulės ir perdavimo kontūrams:

vamzdžio šiurkštumas — 0,002 mm;

šiluminio laidumo koeficientas — 394 W/(mK).

Plieniniai vamzdžiai 21.3x2 (vamzdynas 11) ir 26.9x2.3 (kiti vamzdynai) apkrovos kontūriui:

vamzdžio šiurkštumas — 0,005 mm;

šiluminio laidumo koeficientas — 50,5 W/(mK).

Dėl skirtingų vamzdžių dydžių pasikeičia lentelėje 4.2.10 surašytos temperatūros, bet priimta izoliacija nekeičiama, nes labai didelis skirtumas nesusidaro. Taip pat izoliacija nekeičiama, nes buvo priimta su atsarga, kad tiktų visiems variantams.

### **Inverteris**

Jei naudojami hibridiniai saulės moduliai, pagal gamintojo specifikaciją tokios sistemos elektrinė galia būtų 220 W per hibridinį modulį. Tokiai sistemai reikia parinkti galios inverterį. Galimos inverterio galios yra apibrėžiamos pagal literatūroje [31] pateiktus santykius.

Galia — paprastai nuolatinės srovės ir inverterio kintamosios srovės galios santykis yra lygus apie 1,15 [31]. Dažnai naudojami santykiai apie 1,3, kurie gali būti ekonomiškai naudingi dėl nevienodo fotovoltinių modulių ir inverterių kainų mažėjimo, bet tokiu atveju galima gauti inverterio nepakankamumą prie intensyviausios saulės spinduliuotės periodų. Suskaičiuotos,

reikalingos elektrinės inverterio galios yra surašytos lentelėje 4.2.12. Lentelėje taip pat surašytos reikalingos minimalios (inverteris gali turėti mažiau) MPP įtampos (esant 70 °C puslaidininkių temperatūrai), maksimalios (inverteris gali turėti daugiau) MPP įtampos (-10 °C). maksimalios nuolatinės srovės įtampos (-10 °C) ir maksimalios nuolatinės srovės stiprio vertės (70 °C), gautos naudojant „Polysun“.

4.2.12 lentelė. Hibridinės sistemos elektrinės galios ir reikalingi inverterių parametrai

Hibridinių modulių kiekis	23	45	68	91	113
Elektrinės galia, kW	5,060	9,900	14,960	20,020	24,860
Minimali inverterio galia, kW	3,892	7,615	11,508	15,400	19,123
Įprastinė inverterio galia, kW	4,400	8,609	13,009	17,409	21,617
Minimali MPP įtampa, V	568,8	1113	1681,8	2250,6	2794,8
Maksimali MPP įtampa, V	751,5	1470,4	2221,9	2973,4	3692,3
Maksimali nuolatinės srovės įtampa, V	942	1843	2785	3726,9	4628
Maksimalus nuolatinės srovės stipris, A	7,8				

Inverteriai turi būti parinkti taip, kad jų parametrai atitiktų lentelėje 4.2.12 surašytus ir visus žemiau surašytus dydžius:

- efektyvumas — apie 95–98 % dirbant nominalia galia;
- jungiamųjų laidų nuostoliai — priimti 3,2 % pagal lentelę 6.1.1;
- galios maksimizavimo nuostoliai — priimti 2,1 % pagal lentelę 6.1.1;
- galios koeficientas  $\cos\varphi$  — priimtas 1. Reaktyvios galios nėra;
- išvadų fazės — 3;
- minimali kintamosios srovės įtampa — 400 V arba mažiau;
- maksimali kintamosios srovės įtampa — 400 V arba daugiau.

Priimta, kad bus naudojama centralizuota komutacija ir vienas, didelės galios inverteris. Parinktas 23 kW nominalios galios inverteris, kurio efektyvumas esant 10 % nominaliai galiai yra lygus 97,3 %, esant 50 % nominaliai galiai — 98,3 %, o esant 100 % nominaliai galiai — 98,2 %. Todėl inverterį galima priimti visiems variantams ir nesvarbu, kad jis yra per didelis. Modeliavimai atlikti teisingai, nes visi inverterio parametrai atitinka reikalaujamus, efektyvumas visada yra lygus apie 98 % ir inverterio kaina priimta pagal sistemos dydį, o ne pagal inverterio modelį.

Trifazis inverteris REFUsol 023K–MV:

- nominali galia — 23 kW;
- efektyvumas — apie 98 %;
- minimali kintamosios srovės įtampa — 320 V;
- maksimali kintamosios srovės įtampa — 552 V;
- minimali MPP įtampa — 500 V;

maksimali MPP įtampa — 800 V;  
maksimali nuolatinės srovės įtampa — 1000 V;  
maksimalus nuolatinės srovės stipris — 41 A.

Kad MPP įtampos ir maksimali nuolatinės srovės įtampa būtų galimos parinktam inverteriui, hibridinių modulių sujungimą su centralizuotu inverteriu reikia skaidyti į kelias grandines. Lentelėje 4.2.13 surašyti priimti išskaidymai ir taip gaunami dydžiai.

4.2.13 lentelė. Hibridinių modulių prijungimas prie inverterio ir gaunami parametrai

Hibridinių modulių kiekis	23	45	68	91	113
Grandinių kiekis	1	2	3	4	5
Modulių kiekis grandinėje	23	23x1 22x1	23x2 22x1	23x3 22x1	23x3 22x2
Minimali MPP įtampa, V	568,8	568,8	568,8	568,8	568,8
Maksimali MPP įtampa, V	751,5	751,5	751,5	751,5	751,5
Maksimali nuolatinės srovės įtampa, V	942	942	942	942	942
Maksimalus nuolatinės srovės stipris, A	7,8	15,5	23,3	31	38,8

### Elektros tinklas

Hibridinių modulių pagaminama elektros energija prisideda prie sistemos šiluminės dalies elektros poreikių patenkinimo. Likusi arba tuo momentu nereikalinga elektros energija yra parduodama elektros tinklui, nes pieno perdirbimo gamyklos elektros energijos poreikis ir vartojimo profilis nėra žinomi:

elektros tinklas standartinis, Lietuvos — trijų fazių 230 V 50 Hz;  
vietinio skirstymo tinklo įtampa — 400 V.

### 4.3 Ekonominės prielaidos

Ekonominiam įvertinimui atlikti priimti sekantys dydžiai.

Stebėjimo periodas — 25 metai.

Paskolos — nepriimtos.

Faktinė palūkanų norma (investicijų gražos norma) — tai palūkanų norma, skirta dabartinei visų pinigų srautų vertei suskaičiuoti. Tai vidutinė svertinė kapitalo kaina, suskaičiuota kaip svertinis skolinto ir nuosavo kapitalo kainų vidurkis [33]:

$$r = WACC = R_d \cdot W_d + R_e \cdot \frac{1}{1-m} \cdot W_E$$

čia  $r$  — protingumo kriterijų atitinkanti investicijų gražos norma,  $WACC$  — vidutinė svertinė kapitalo kaina,  $W_D$  — skolinto kapitalo kainos dalis,  $W_E$  — nuosavo kapitalo kainos dalis,  $R_d$  —

skolinto kapitalo palūkanų norma,  $R_e$  — nuosavo kapitalo grąža,  $m$  — Lietuvoje taikoma pelno mokesčio norma.

Nuosavo kapitalo grąža apskaičiuojama:

$$R_e = R_f + \beta \cdot R_{erp}$$

čia  $R_f$  — nerizikingų investicijų grąžos norma,  $\beta$  — santykinis rizikos matmuo (atspindi ūkio šakos rizikingumo lygį, lyginant su bendru šalies ūkio rizikingumu),  $R_{erp}$  — nuosavybės rizikos premija.

WACC skaičiavimui reikalingi dydžiai parinkti pagal valstybinės kainų ir energetikos komisijos [33] paskelbtus duomenis, taikomus nustatant elektros energijos tarifus iš atsinaujinančių energijos išteklių ir biudujų, tiekiamų į gamtinių dujų sistemą, gamintojams 2018 m. Nors modeliuojamos sistemos didžiąja dalimi užsiima šiluminės energijos gamyba, o ne elektros energijos gamyba, čia praktiškai skiriasi tik  $\beta$ , kuris turėtų būti panašus į šių atsinaujinančių šaltinių sričių  $\beta$  (atsižvelgiant į tai, kad elektros energijos gamybos ir biudujų gamybos  $\beta$  skiriasi tik 0,02):

$$r = WACC = 2,05 \cdot 0 + (2,64 + 0,72 \cdot 4,48) \cdot \frac{1}{1-0,15} \cdot 1 = 7,042$$

Kadangi paskolos nepriimtos, WACC gaunamas truputi mažesnis. Jeigu kapitalo struktūra būtų optimali (skolinto kapitalo dalis sudarytų 60 %), WACC būtų gaunamas 7,566 ir grynoji dabartinė vertė būtų gaunama mažesnė.

Kuras — Kadangi maisto pramonėje didžiąją dalį kuro suvartojimo sudaro gamtinės dujos [13], priimta gamtinių dujų kaina su mokesčiais ir rinkliavomis neūkiniams vartotojams pagal oficialios statistikos portalą [10] ir priede 1 pateiktą visą gamtinių dujų sunaudojimą. Kai metinis gamtinių dujų suvartojimas yra tarp 1000–10000 GJ, 2017 m. gamtinių dujų kaina buvo lygi 9,9744 Eur/GJ pirmojoje metų pusėje ir 12,1765 Eur/GJ antrojoje metų pusėje, o šių kainų vidurkis gaunamas 11,07545 Eur/GJ. Pagal modeliavimo metu naudojamų gamtinių dujų šilumingumą 37,8 MJ/m<sup>3</sup> vieno dujų kubo kaina gauta lygi 0,4187 Eur/m<sup>3</sup>.

Elektros kaina — priimta standartinė vienos laiko zonos kaina 0,113 Eur/kWh [32].

Į tinklą tiekiamos elektros kainos tarifas — šiuo metu fiksuoti tarifai netaikomi, nes Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymo 13 straipsnio 3 dalyje numatytos skatinimo kvotos yra išnaudotos [33]. Kadangi pramoniniai objektai paprastai suvartoja didelį elektros energijos kiekį, kuris nebūtų pilnai padengtas hibridinių modulių naudojimu, į tinklą tiekiamos elektros kainos tarifas priimtas lygus elektros kainai 0,113 Eur/kWh.

Energijos kainų metiniai pokyčiai — labai detalaus ekonominio įvertinimo nesiekiami ir energijos kainos priimtos pastovios.

Infliacija — dabartinė infliacija Lietuvoje lygi +2,7 %, o 2019 m. Lietuvos centrinis bankas prognozuoja +2,2 % infliaciją [34]. Tuo tarpu Euro zonos vidutinė infliacija lygi +1,5 % ir artimuoju metu jos pokyčių nesitikima. Priimta Euro zonos infliacija, nes ji stabilesnė, prieš kelis metus Lietuvos centrinis bankas siekė tokios infliacijos vertės ir bet koku atveju prognozuoti infliaciją 25 metų periodui yra labai sudėtinga.

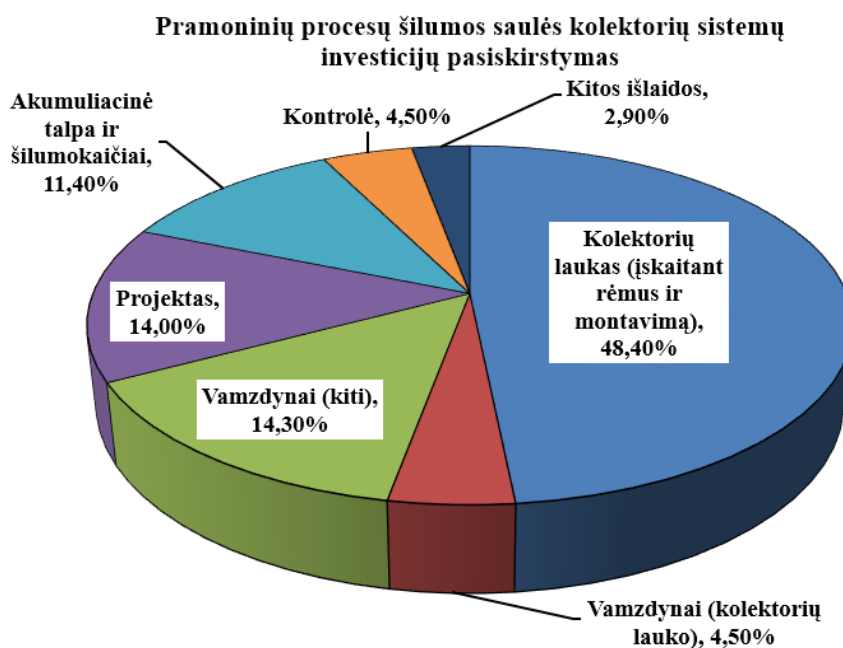
Sistemos tarnavimo laikas — paprastai saulės kolektoriai arba hibridiniai moduliai naudojami apie 25 metus, kas atitinka parinktą stebėjimo laikotarpį.

Technologijų kainų metinis pokytis — šis dydis neturi prasmės, nes parinktas stebėjimo laikotarpis atitinka kolektorių arba modulių naudojimo laikotarpį. Kitų sistemos dalių tarnavimo laikotarpis nevertinamas.

Metinės išlaidos — šis dydis simbolizuoja visas išlaidas sistemos remonto darbams ir eksploatacijai (išskyrus elektros sąnaudas). Priimta 1 % nuo sistemos pradinės kainos.

Parama — Lietuvos aplinkos apsaugos investicijų fondas skiria iki 200 000 Eurų paramą iki per trejus metus, bet paramos dydis negali viršyti 80 % visų išlaidų [35]. Toliau skaičiavimams priimta 50 % parama, skiriama pradėjus sistemos eksploataciją (nėra galimybės išskirstyti).

Sistemos kaina — Europoje pramoninių procesų šilumos saulės sistemų kainos būna tarp 180 ir 500 Eur/m<sup>2</sup> (pagal kolektorių darbinį plotą) [36], bet tam tikrais atvejais gali siekti 1000 Eur/m<sup>2</sup>. Kainos santykis mažėja, kai sistemos dydis didėja, nes projekto planavimo ir kitos pastovios išlaidos nesikeičia arba išlieka panašios. Sistemų kainos nustatomos pagal literatūroje žinomus investicijų pasiskirstymus [36].



4.3.1 pav. Pramoninių procesų šilumos saulės kolektorių sistemų investicijų pasiskirstymas

Žinomos apytikslės saulės kolektorių kainos [37]: 190 Eur/m<sup>2</sup> plokšteliniams kolektoriams ir 250 Eur/m<sup>2</sup> vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriams. Tuo tarpu hibridinių modulių kaina yra apie 450 Eur/m<sup>2</sup> [38]. Papildomos išlaidos dėl kiekvieno kolektoriaus tvirtinimo rėmo sudaro apie 34 Eur [38], dėl kiekvieno kolektoriaus kitų smulkių detalių apie 17 Eur [39]. Montavimo paslaugų išlaidos priklauso nuo darbo jėgos kainos. Šias išlaidas sunku įvertinti, bet apytiksliai galima priimti 40 Eur [38] kiekvienam kolektoriui, o hibridiniams moduliams 50 Eur kiekvienam moduliui.

Jei saulės kolektorių sistema įrengiama atskirai, vamzdynų kainos atitinka paveikslo 4.3.1 kainas ir vamzdynų bendra kaina sudaro 15–25 % visos sistemos kainos. Jei saulės kolektorių sistema prijungiama prie jau naudojamos sistemos, bendra vamzdynų kaina sudaro 5–10 % visos sistemos kainos [37]. Todėl priimta, kad kitų vamzdynų išlaidos sudaro 2 % visos sistemos kainos esant varianto 1, 20 plokštelių kolektorių sistemai su 50 l/m<sup>2</sup> akumuliacine talpa ir po to nesikeičia, nes modeliavimo eigoje nenumatyti jų pokyčiai.

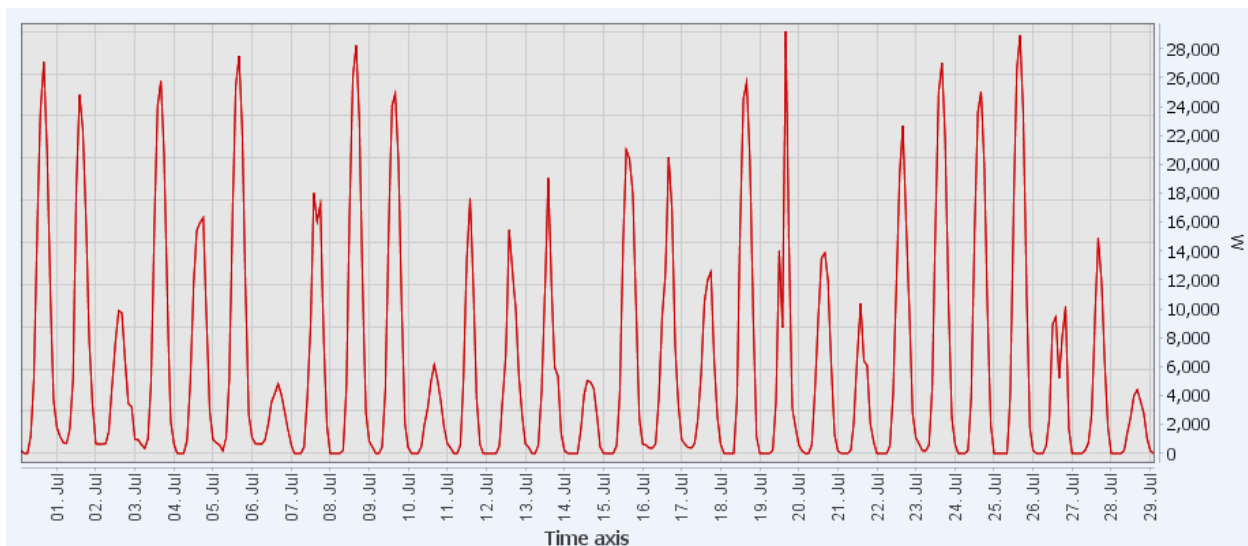
Akumuliacinių talpų kainos yra tarp 500–750 Eur/m<sup>3</sup> [40]. Naršant akumuliacinių talpų katalogus galima pastebėti, kad izoliuotų akumuliacinių talpų kaina yra apie 650 Eur/m<sup>3</sup>, o pridėjus vidinį šilumokaitį, kaina padidėja dar 25 % iki apie 810 Eur/m<sup>3</sup>. Modeliavimui buvo priimtas didelių šilumokaičių naudojimas, nes tai daro minimalią įtaką modeliavimo rezultatams, kai šilumokaitis yra per didelis. Šilumokaičių kaina yra tarp 17–20 Eur/kW [40] (priimta 18 Eur/kW). Kainai nustatyti reikia šilumokaičių energijos srautų galių, surašytų lentelėje 4.3.1. Čia surašyti liepos mėnesio duomenys, naudojant plokštelines kolektorius (vakuuminių vamzdžių kolektoriams priimtas vienodų šilumokaičių naudojimas) ir hibridinius modulius. Modeliuota esant 100 l/m<sup>2</sup> akumuliacinės talpos tūriui, saulės kontūro šilumokaičiui naudojant variantą 1, o apkrovos kontūro šilumokaičiui naudojant variantą 3.

4.3.1 lentelė. Šilumokaičių energijos srautų galios

Saulės kolektoriai	20	40	60	80	100
Saulės kontūro šilumokaičio galia, kW	29,2	58,7	87,8	115,9	144,1
Apkrovos kontūro šilumokaičio galia, kW	31,9	45,3	51,8	68,2	69,1
Hibridiniai moduliai	23	45	68	91	113
Saulės kontūro šilumokaičio galia, kW	19,0	36,6	54,7	71,9	87,5
Apkrovos kontūro šilumokaičio galia, kW	17,5	25,8	31,4	33,2	34,8

Duomenys nustatyti grafiniu būdu, apytiksliai parinkus maksimalią liepos mėnesio galią (gali būti trumpų, didesnių galių prie didesnių mastelių). Paveiksle 4.3.2 pavaizduotas saulės kontūro šilumokaičio energijos srauto galios grafikas naudojant 20 plokštelių kolektorių.





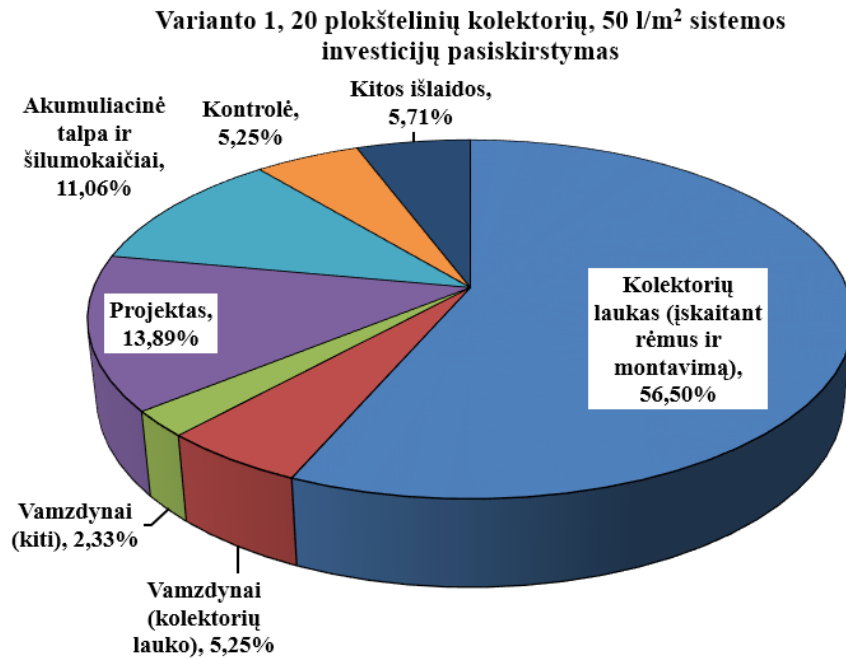
**4.3.2 pav. 20 kolektorių sistemos saulės kontūro šilumokaičio energijos srauto galia**

Kontrolės kainos dalis apibrėžia saulės kontūro valdiklio išlaidas, nes kiti valdikliai taip pat galėtų būti įprastos sistemos dalys. Lentelėje 4.2.4 parinkta, kad maksimalus lygiagrečių kolektorių eilių kiekis yra lygus 8. Vienas, geros kokybės valdiklis tam turi pakankamą jutiklių išėjimų kiekį ir todėl valdiklio kaina taip pat nekeičiama skirtingiems modeliavimo atvejams. Kai modeliuojami variantai 3 ir 4, naudojamas dar vienas žymiai paprastesnis valdiklis, sulyginantis apkrovos kontūro ir papildomo perdavimo kontūro debitus. Šito valdiklio kaina priimta lygi 20 % saulės kontūro valdiklio kainos.

Kitos išlaidos padidintos iki 5 % visų sistemos išlaidų. Tai visos kitos nenumatytos išlaidos: modeliavimo metu automatiškai parinkti siurbliai, nuorinimo ventiliai, išsiplėtimo indai, saulės kontūro skystis ir t. t.

Tuo tarpu projekto išlaidos sumažintos iki 11,9 % visų sistemos išlaidų dėl padidintų kitų išlaidų.

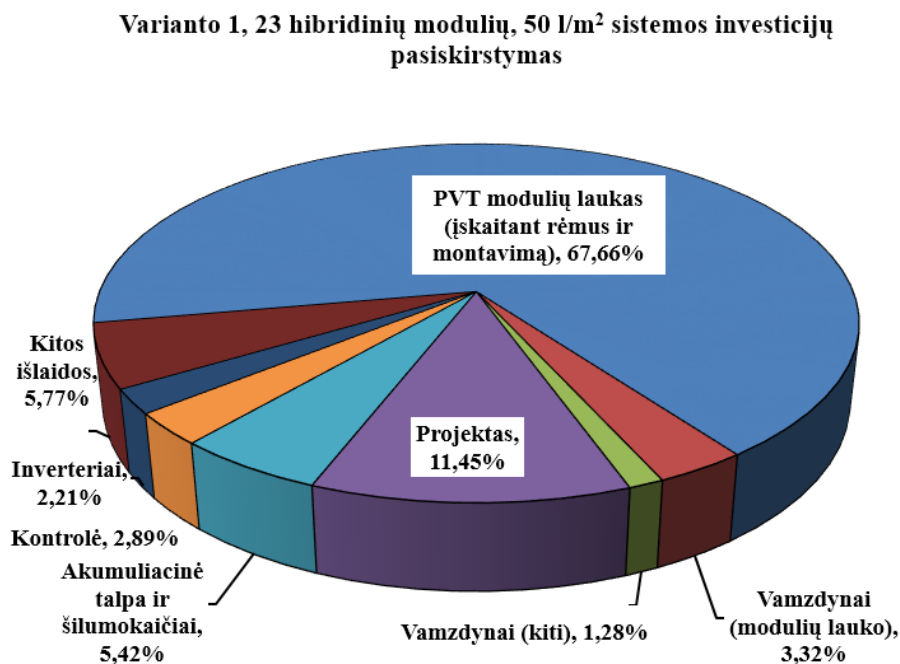
Paveiksle 4.3.3 pavaizduoti varianto 1, 20 plokštelių kolektorių sistemos su 50 l/m<sup>2</sup> akumuliacine talpa kainų pasiskirstymai. Čia procentinės dalys pasikeitė (lyginant su paveikslu 4.3.1) dėl sumažintos kitų vamzdžių dalies ir dėl priimto akumuliacinių talpų, šilumokaičių išlaidų skaičiavimo būdo (šių išlaidų dalis gauta apie 15 % mažesnė, negu pavaizduota paveiksle 4.3.1).



**4.3.3 pav. Varianto 1, 20 plokštelių kolektorių, 50 l/m<sup>2</sup> sistemos investicijų pasiskirstymas**

Hibridinių modulių inverterio kaina lygi apie 0,14 Eur/Wac [31] (trifazio srauto inverterio su galios maksimizavimo galimybe ir galimybe modulius prijungti centralizuotai kaina). Kainos suskaičiuotos pagal lentelės 4.2.12 įprastinę inverterių galią. Taip pat laidų ir kitų mažų elektrinės sistemos komponentų išlaidos sudaro apie 4 Eur kiekvienam hibridiniam moduliui [39].

Projekto kaina priimta 50 % didesnė, dėl hibridinių modulių sistemos sudėtingumo. Modulių lauko vamzdynų kaina priimta proporcinga plokštelių kolektorių atvejui. Valdiklio kaina priimta lygi plokštelių kolektorių atvejui Dabar gautas pasiskirstymas yra pavaizduotas paveiksle 4.3.4.



**4.3.4 pav. Varianto 1, 23 hibridinių modulių, 50 l/m<sup>2</sup> sistemos investicijų pasiskirstymas**

Gautos pastovios išlaidos: kiti vamzdynai (vidinių patalpų) — 357,85 Eur; projekto išlaidos — 2129,21 Eur arba 3193,82 Eur, jei naudojami hibridiniai moduliai; saulės kontūro valdiklis — 805,17 Eur; apkrovos kontūro valdiklis — 161,03 Eur.

Kitos išlaidos keičiasi esant skirtingiems modeliavimo atvejams: kolektorių laukas, kolektorių lauko vamzdynai (proporcingai paveikslo 4.3.3 atvejui pagal kolektorių arba modulių kiekį), akumuliacinė talpa, šilumokaičiai, kitos išlaidos (išlaikoma apie 5,7 % visos sistemos kainos dalis pagal paveikslą 4.3.3), inverteriai.

Paveikslo 4.3.3 sistemos kaina lygi 15328 Eur, o paveikslo 4.3.4 sistemos kaina lygi 27892 Eur. Kainų santykiai su visų saulės kolektorių arba hibridinių modulių darbinio plotu gauti lygus 425,78 Eur/m<sup>2</sup> ir 762,70 Eur/m<sup>2</sup>. Gavus 50 % paramą, sistemų kainos gaunamos 7664 Eur, 212,89 Eur/m<sup>2</sup> ir 13946 Eur, 381,35 Eur/m<sup>2</sup>.

Gautos visų modeliavimo atvejų sistemų išlaidos ir komponentų kainos surašytos priede 1.

## 5 MODELIAVIMAS

Modeliavimui atlikti naudojama programa „Polysun“. Modeliavimas atliktas su plokšteliniais, vakuuminių vamzdžių saulės kolektoriais ir hibridiniais moduliais. Skyriuje 4.2 buvo priimta, kad naudojama nuo 20 iki 100 saulės kolektorių (20 kolektorių žingsniais), o hibridinių saulės modulių kiekis buvo perskaičiuotas pagal absorberio plotų santykį siekiant, kad visas sistemų saulės kolektorių arba hibridinių modulių darbinis plotas būtų vienodas.

Taip pat atsižvelgta į akumuliacinės talpos ir absorberio ploto santykio įtaką (modeliavimas atliktas esant 50, 75 ir 100 l/m<sup>2</sup> santykiams). Kiti besikeičiantys dydžiai buvo apibrėžti skyriuje 4.2. Tuo tarpu ekonominių dydžių įvertinimas buvo atliktas pagal skyrių 4.3

Gauti modeliavimo rezultatai pristatyti skyriuje 5.1. Visi modeliavimo rezultatai skaitine forma yra pateikti priede 1

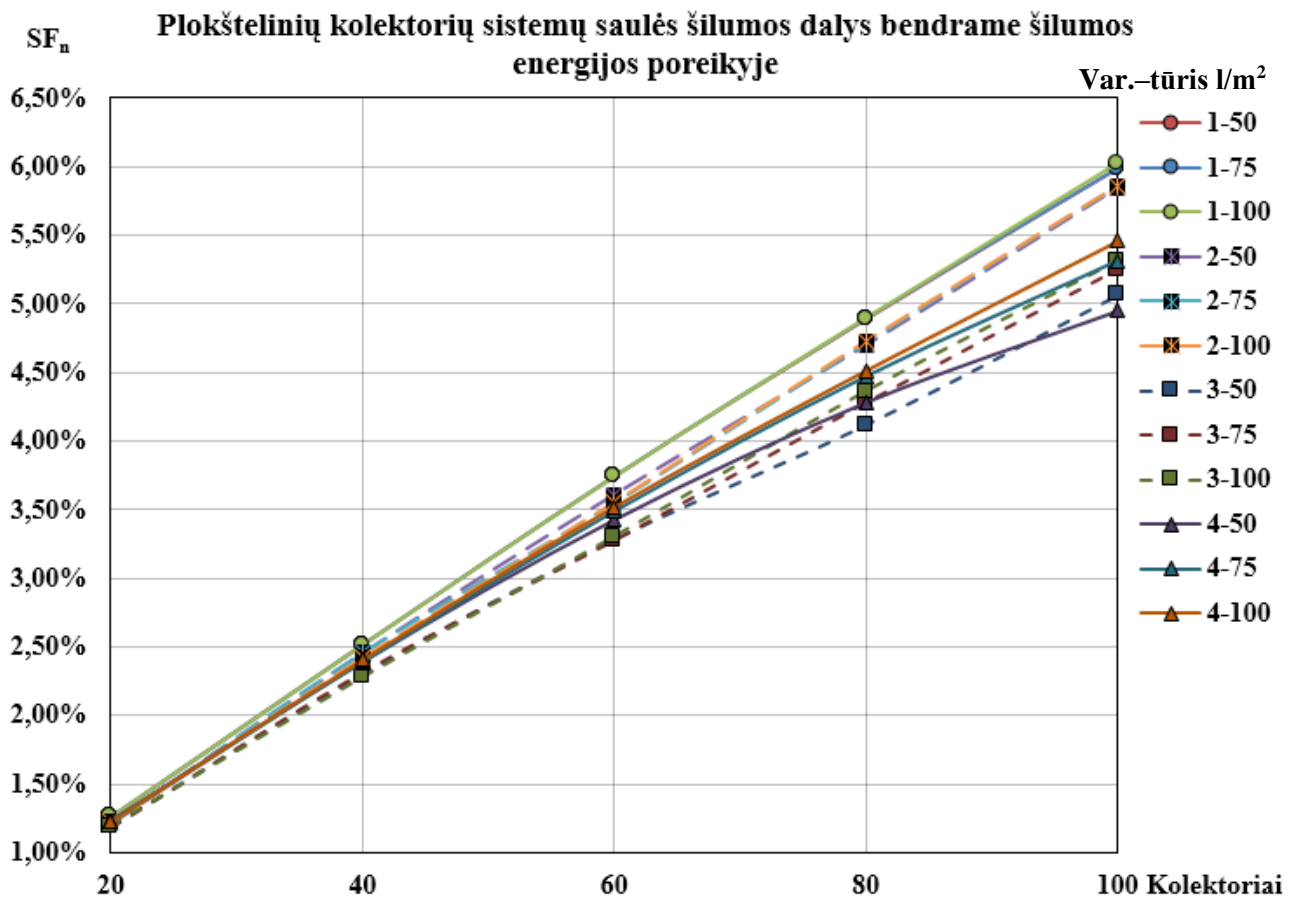
### 5.1 Modeliavimo rezultatai

Atlikus modeliavimą, gauti dydžiai, reikalingi įvertinti saulės energijos panaudojimą esant nagrinėjamos pieno perdirbimo gamyklos atvejui ir taip pat palyginti skirtingų sistemų schemų įtakas. Įvertinimui vienas iš svarbiausių dydžių yra saulės šilumos dalis bendrame šilumos energijos poreikyje (toliau saulės šilumos dalis). Tai santykis tarp saulės energijos sistemos sukurtos, į sistemą paduotos šiluminės energijos ir visos į sistemą paduotos šiluminės energijos, apskaičiuojamas pagal formulę [24]:

$$SF_n = \frac{Q_{sol}}{Q_{sol} + Q_{aux}}$$

čia  $SF_n$  — saulės šilumos dalis;  $Q_{sol}$  — saulės šiluminė energija paduota į sistema;  $Q_{aux}$  — kitų šaltinių šiluminė energija paduota į sistemą.

Suskaičiuotos saulės šilumos dalys  $SF_n$ , pavaizduotos paveiksle 5.1.1. Čia pavaizduotos saulės šilumos dalys, kai naudojami plokšteliniai saulės kolektoriai.

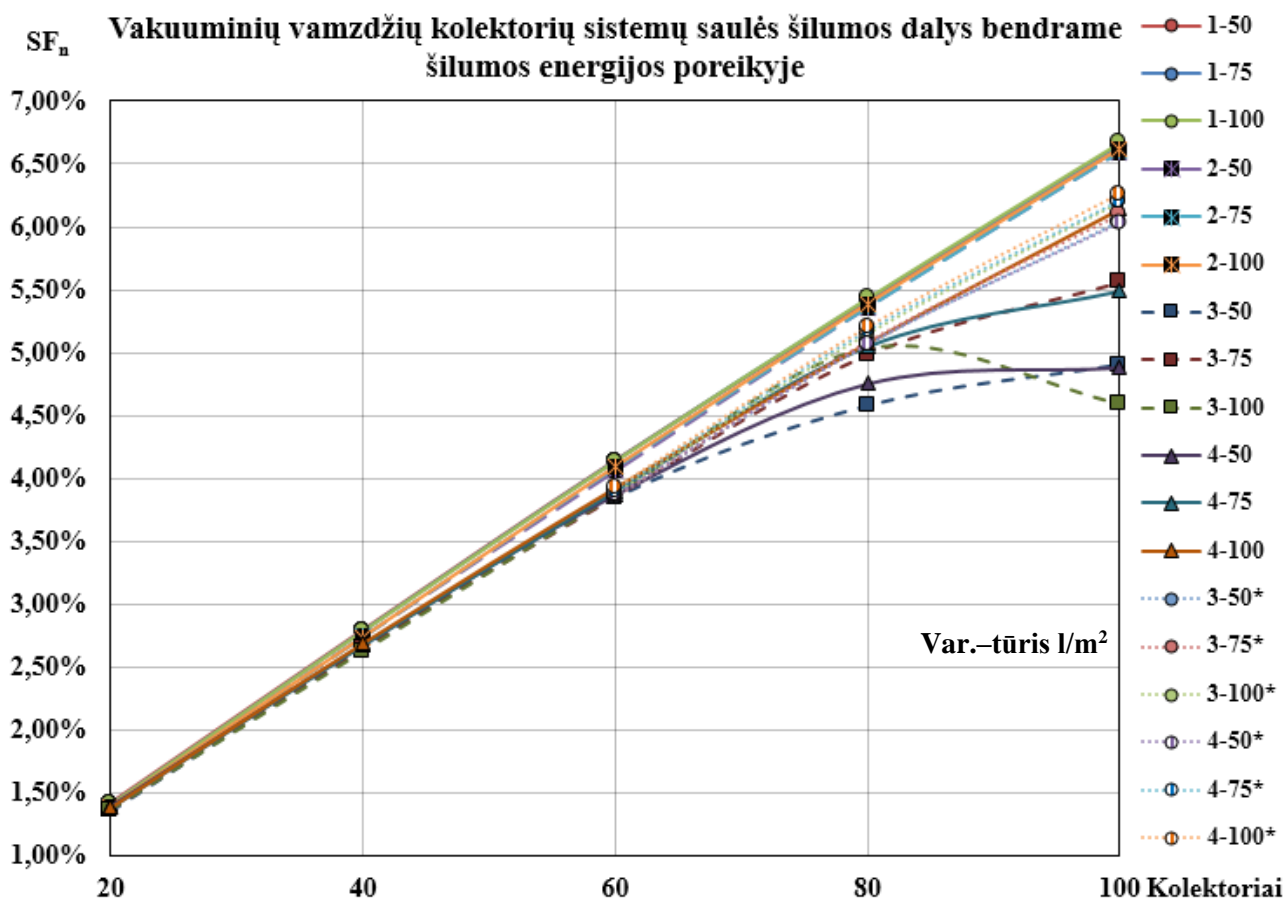


**5.1.1 pav. Plokštelių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys bendrame poreikyje**

Paveiksle 5.1.1 matoma, kad variantas 1, kai tarp akumuliacinės talpos ir saulės kolektorių naudojamas išorinis šilumokaitis, yra efektyviausias. Po to seka variantas 2, kai vietoje išorinio šilumokaičio naudojamas akumuliacinės talpos vidinis šilumokaitis. Varianto 1 ir 2 saulės šilumos dalys beveik nesiskiria prie skirtingų akumuliacinių talpų tūrių ir kolektorių darbinio ploto santykių (didesnės talpos lemia didesnę saulės šilumos dalį). Toliau varianto 3, kai naudojamas vidinis akumuliacinės talpos šilumokaitis ir apkrovos kontūro išorinis šilumokaitis bei varianto 4, kai naudojami išoriniai šilumokaičiai iš abiejų akumuliacinės talpos pusių, saulės šilumos dalies priklausomybės (toliau priklausomybės) pradeda stipriai svyruoti naudojant 60 kolektorių.

Čia varianto 3 ir 4 priklausomybių svyravimai gali kilti dėl nepakankamo šilumos mainų ploto apkrovos kontūre. Jei apkrovos kontūro išorinis šilumokaitis padidinamas apie 76 % (pagal šilumokaičio laidumą W/K), variantui 3 saulės šilumos dalis gaunama apie 5,43 % (esant 100 kolektoriams su 100 l/m<sup>2</sup> santykiu) vietoje 5,31 %, o variantui 4 saulės šilumos dalis gaunama apie 5,51 % vietoje 5,46 %. Skirtumas yra nedidelis ir todėl galima teigti, kad parinktas šilumokaitis yra pakankamas. Variantams 3 ir 4 akumuliacinės talpos tūrio didinimas sukelia labai didelius saulės šilumos dalies padidėjimus esant aukštam kolektorių kiekiui, o esant žemam kolektorių kiekiui

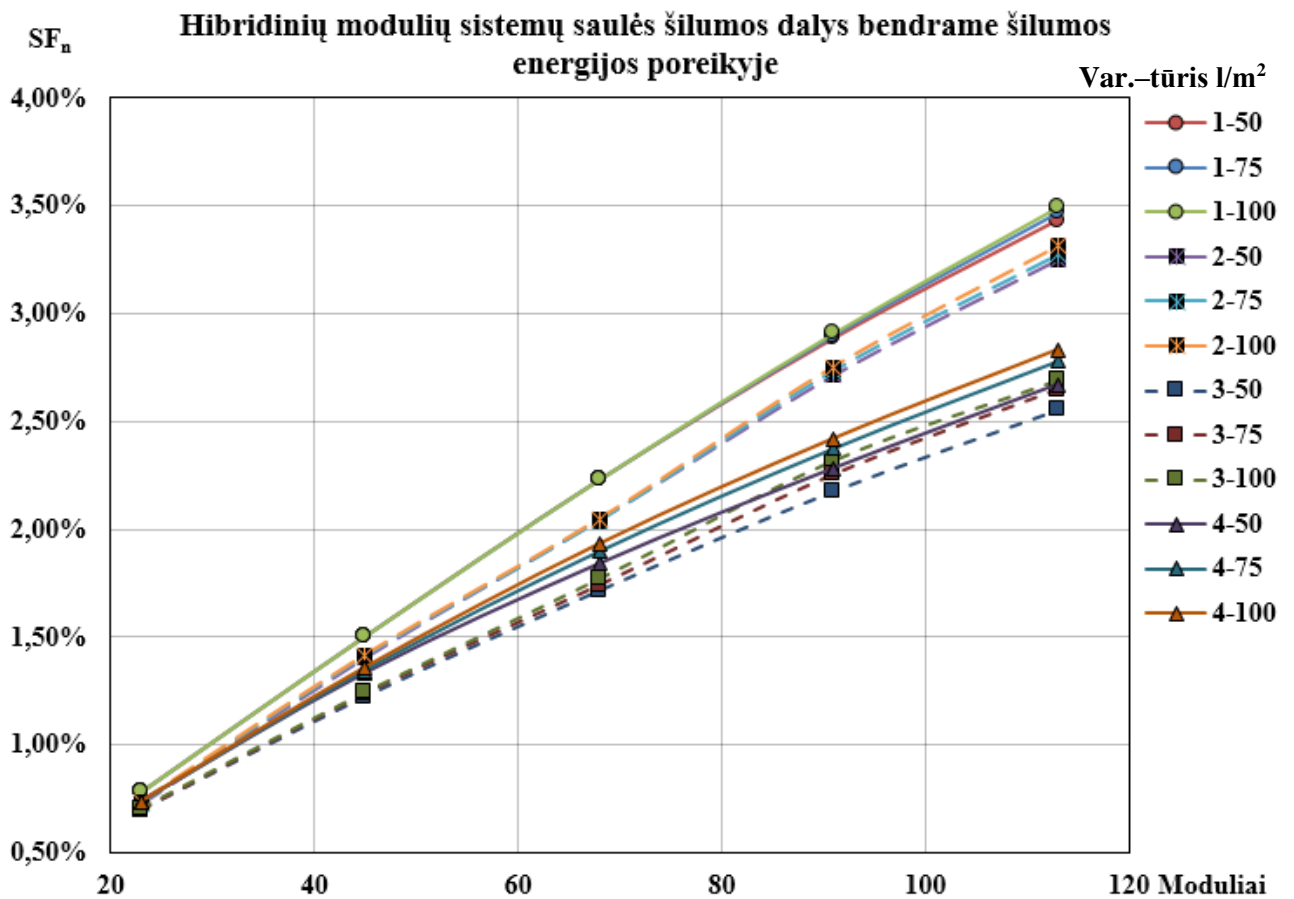
galimas minimalus saulės šilumos dalies sumažėjimas. Tai taip pat pastebima variantams 1 ir 2, bet šių variantų saulės šilumos dalies pokyčiai yra žymiai mažesni.



5.1.2 pav. Vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys bendrame poreikyje

Paveiksle 5.1.2 pavaizduotos vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys. Lyginant vakuuminių vamzdžių kolektorių ir plokštelių kolektorių saulės šilumos dalis, vakuuminių kolektorių variantų 1 ir 2 šilumos dalys skiriasi mažiau. Dabar varianto 1 saulės šilumos dalys didesnės tik procento dalimi. Tuo tarpu variantų 3 ir 4 priklausomybės išsiskaido žymiai stipriau, bet vėliau pagal naudojamų kolektorių kiekį.

Jei išoriniai šilumokaičiai padidinami apie 76 %, kaip buvo skaičiuota prie paveikslo 5.1.1, variantui 3 saulės šilumos dalis gaunama apie 6,20 % vietoje 4,60 %, o variantui 4 saulės šilumos dalis gaunama apie 6,26 % vietoje 6,14 %. Variantui 4, esant 50 l/m<sup>2</sup> tūrio santykiui, saulės šilumos dalis padidėja nuo 4,88 % iki apie 6,03 %. Taip pat stiprus skirtumas pastebimas naudojant 80 kolektorių sistemas ir todėl galima daryti išvadą, kad vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemoms apkrovos kontūro šilumokaitis buvo parinktas per mažas, kai naudojama 80 ir 100 kolektorių. Grafike 5.1.2 priklausomybės, pažymėtos ženklu \*, atitinka ką tik paminėtų didesnių šilumokaičių panaudojimo atvejus.



**5.1.3 pav. Hibridinių modulių sistemų saulės šilumos dalys bendrame poreikyje**

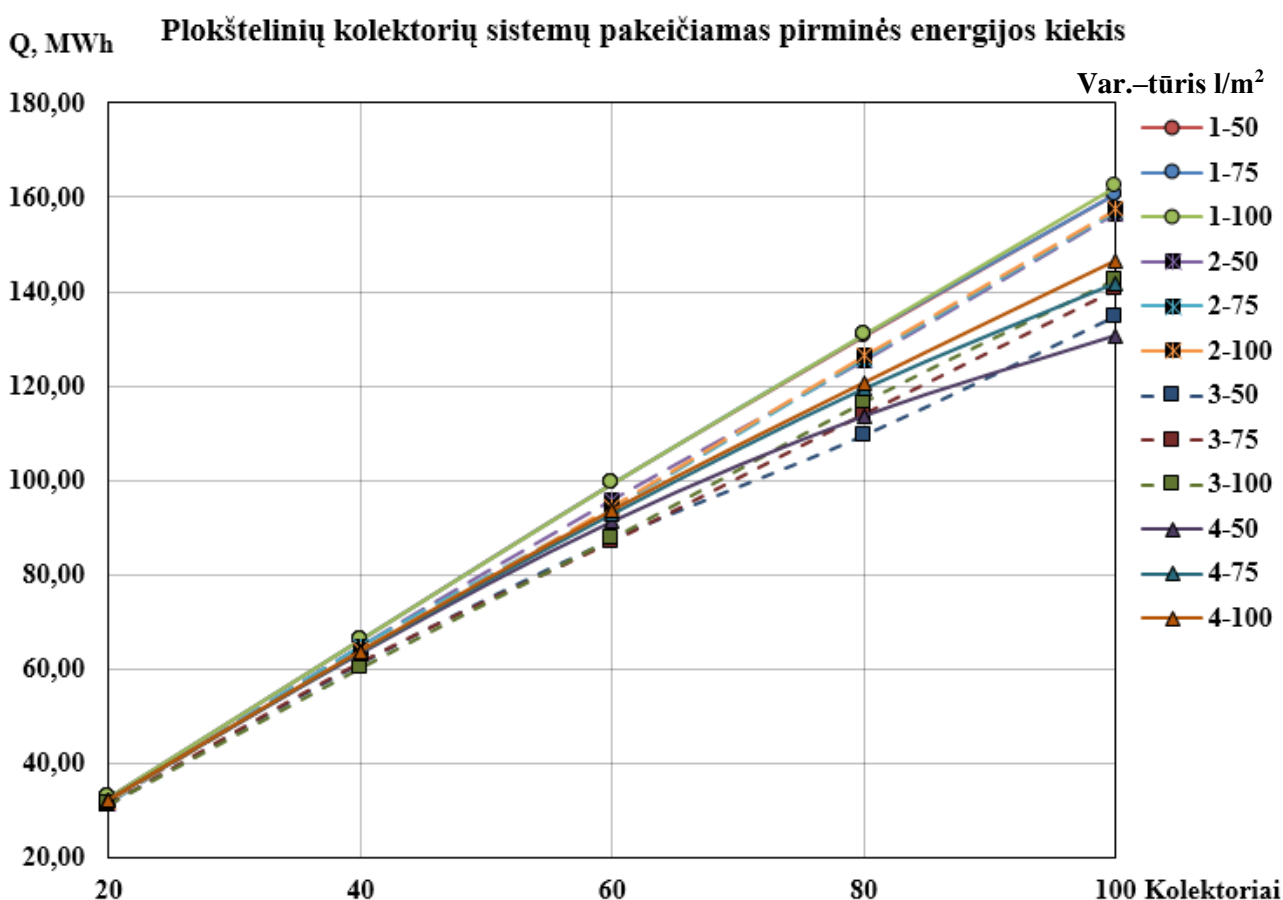
Paveiksle 5.1.3 pavaizduotos hibridinių modulių sistemų saulės šilumos dalys. Naudojant hibridinius modulius, priklausomybės gaunamos beveik vienodos, kaip ir naudojant plokštinius kolektorius, nes jų sudėtis (šiluminės dalies) taip pat yra labai panaši. Čia skirtumas tarp variantų 1 ir 2 atrodo žymiai didesnis dėl didesnio mastelio, bet iš tiesų yra beveik vienodas, kaip paveiksluose 5.1.1 ir 5.1.2. Tuo tarpu variantų 3 ir 4 priklausomybės neturi stiprių svyravimų, kurie pasireikštų, jei šiame grafike saulės šilumos dalių priklausomybės siektu 6 % arba daugiau, kaip paveiksluose 5.1.1 ir 5.1.2. Pagal gautas šilumos dalis ir priklausomybių pobūdį galima pasakyti, kad didesnio šilumokaičio panaudojimas neturėtų didelės įtakos.

Nustatyta, kad saulės kolektorių arba hibridinių modulių sistemos pasižymi geriausiomis saulės šilumos dalimis, kai apkrovos kontūre nenaudojamas išorinis šilumokaitis ir katilo maitinimo vandeniu būna tiekiamas tiesiogiai iš akumuliacinės talpos. Kitais atvejais sistemos saulės šilumos dalys gaunamos žymiai mažesnės.

Efektyviausiam variantui 1 gauta, kad plokštinių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys siekia iki apie 6 %, vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų saulės šilumos dalys siekia iki apie 6,7 %, o hibridinių modulių sistemų saulės šilumos dalys siekia iki apie 3,5 %. Skaičiuojant kitaip pagal priedo 1  $Q_{sol}$  lentelę, vakuuminių vamzdžių kolektoriai pagamina 11,1 % (variantas 1, 100

kolektorių, 100 l/m<sup>2</sup>), 13,5 % (variantas 2) arba 12,6 % (variantas 3, kur šilumokaitis pakankamas) daugiau šiluminės energijos, negu plokšteliniai kolektoriai. Tuo tarpu hibridiniai moduliai pagamina atitinkamai 57,1 % (lyginant su plokšteliniais kolektoriais) arba 51,4 % (lyginant su vakuuminių vamzdžių kolektoriais), 55,7 % arba 49,1 % ir 51,1 % arba 45,4 % šiluminės energijos dalį.

Pagal priedą 1 visų sunaudotų gamtinių dujų ir į sistema tiekiamos kitų šaltinių energijos santykis  $E_{\text{gas}}/Q_{\text{aux}}$  gaunamas apie 1,1125–1,1128 visiems 180 modeliavimo atvejams. Šis santykis priklauso nuo parinkto katilo efektyvumo (didžioji dalis), valdiklių parametrų ir kitų sistemos dydžių. Todėl galima teigti, kad į sistemą tiekama saulės šiluminė energija pakeičia tam tikrą kiekį pirminės energijos santykiu  $E_{\text{gas}}/Q_{\text{aux}}$ , t. y. apie 11,26 % daugiau, negu sistemai pateikta saulės šiluminės energijos.



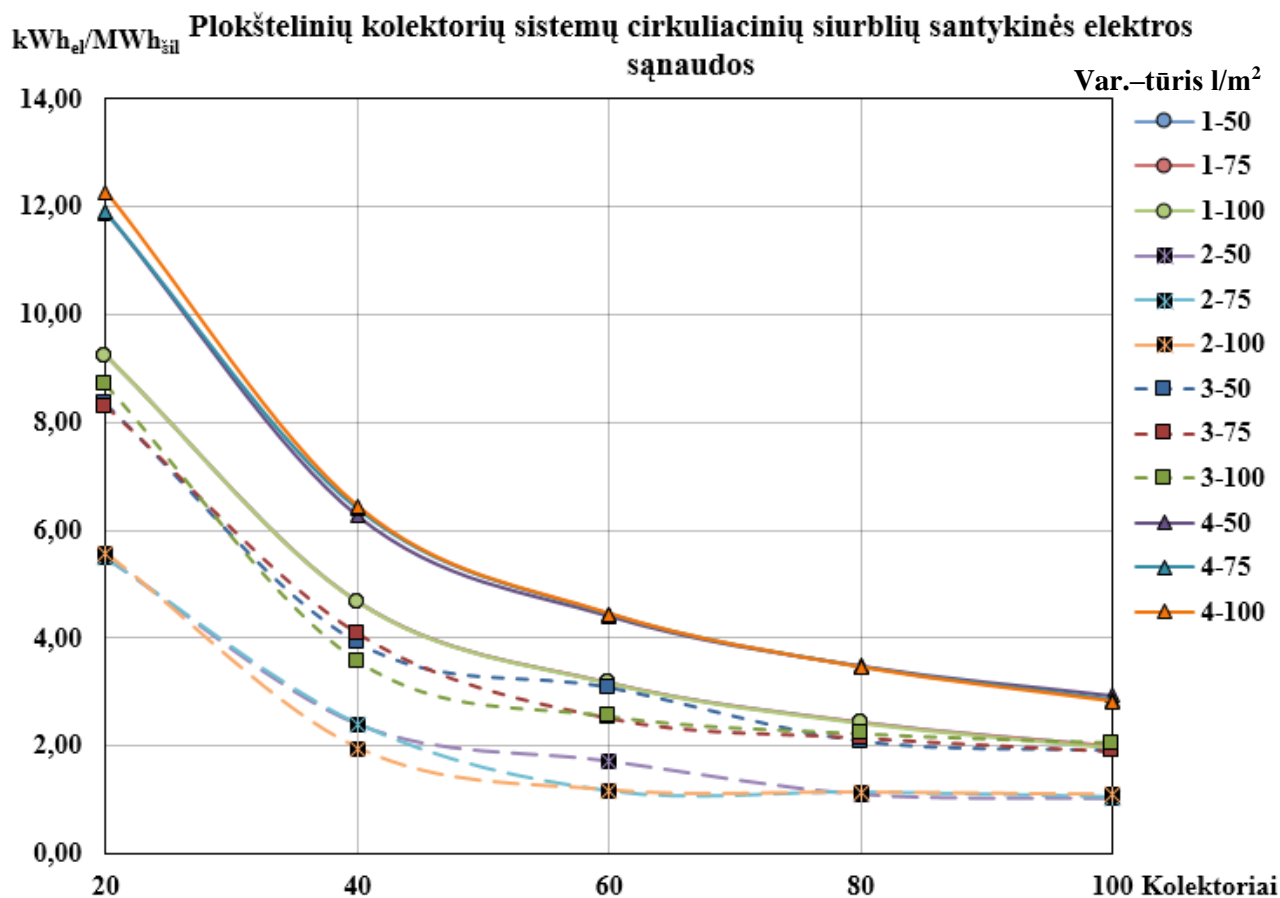
**5.1.4 pav. Saulės energija pakeičiamos pirminės energijos kiekis**

Paveiksle 5.1.4 pavaizduoti plokštelinių kolektorių sistemų pakeičiami pirminės energijos kiekiai. Čia saulės energija pakeičiamų pirminės energijos kiekių priklausomybių formos, tarpusavio išsidėstymai ir t. t. atitinka saulės šilumos dalies paveikslą 5.1.1. Tai taip pat būtų gaunama vakuuminių vamzdžių kolektorių ir hibridinių modulių grafikams.

Toliau nubraižyti cirkuliacinių siurblių santykinės elektros energijos sąnaudų grafikai. Tai cirkuliacinių siurblių sunaudojamos elektros energijos  $E_{\text{par}}$  ir į sistemą tiekiamos saulės šiluminės



energijos  $Q_{sol}$  santykiai. Paveiksle 5.1.5 pavaizduotos plokštelių kolektorių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos.

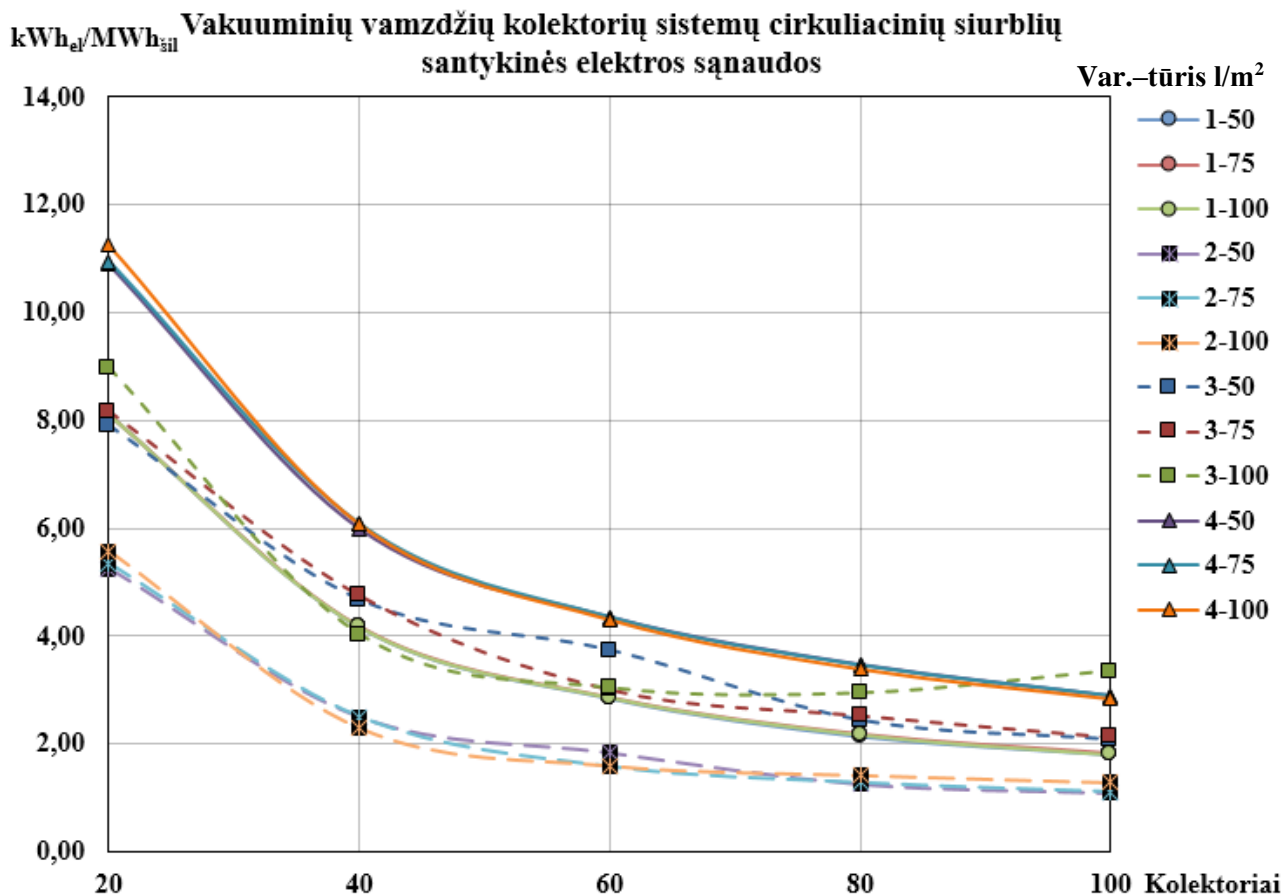


5.1.5 pav. Plokštelių kolektorių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos

Kai naudojamas variantas 2, akumuliacinėje talpoje naudojamas vidinis šilumokaitis, o saulės kontūre išorinio šilumokaičio nėra. Tai reiškia, kad „Polysun“ privaloma apibrėžti būtent vieną saulės kontūro cirkuliacinį siurblį (kitų kontūrų srauto tekėjimas jau apibrėžtas). Dėl to, kad naudojamas tik vienas siurblys (vamzdynai tarp variantų priimti vienodi), gaunamos mažiausios cirkuliacinių siurblių elektros energijos sąnaudos. Variantui 3, kai apkrovos kontūre naudojamas papildomas išorinis šilumokaitis, reikia papildomo siurblio, kuris sukelia didesnes cirkuliacinių siurblių sąnaudas. Toliau variantas 1 taip pat turi du cirkuliacinius siurblius, bet išorinis šilumokaitis yra prijungiamas saulės kontūre. Galiausiai variantas 4 turi išorinius šilumokaičius iš abiejų akumuliacinės talpos pusių (iš viso 3 cirkuliacinius siurblius) ir cirkuliacinių siurblių sąnaudos gaunamos didžiausios.

Esant priimtiems modeliavimo parametrų, cirkuliacinių siurblių santykinės elektros energijos sąnaudos beveik nesikeičia didinant kolektorių kiekį. Kaip ir saulės šilumos dalių grafikuose, varianto 1 vertės mažiausiai skiriasi tarp skirtingų akumuliacinės talpos tūrio ir kolektorių darbinio ploto santykių. Daugumai atvejų didesnio tūrio akumuliacinių talpų naudojimas

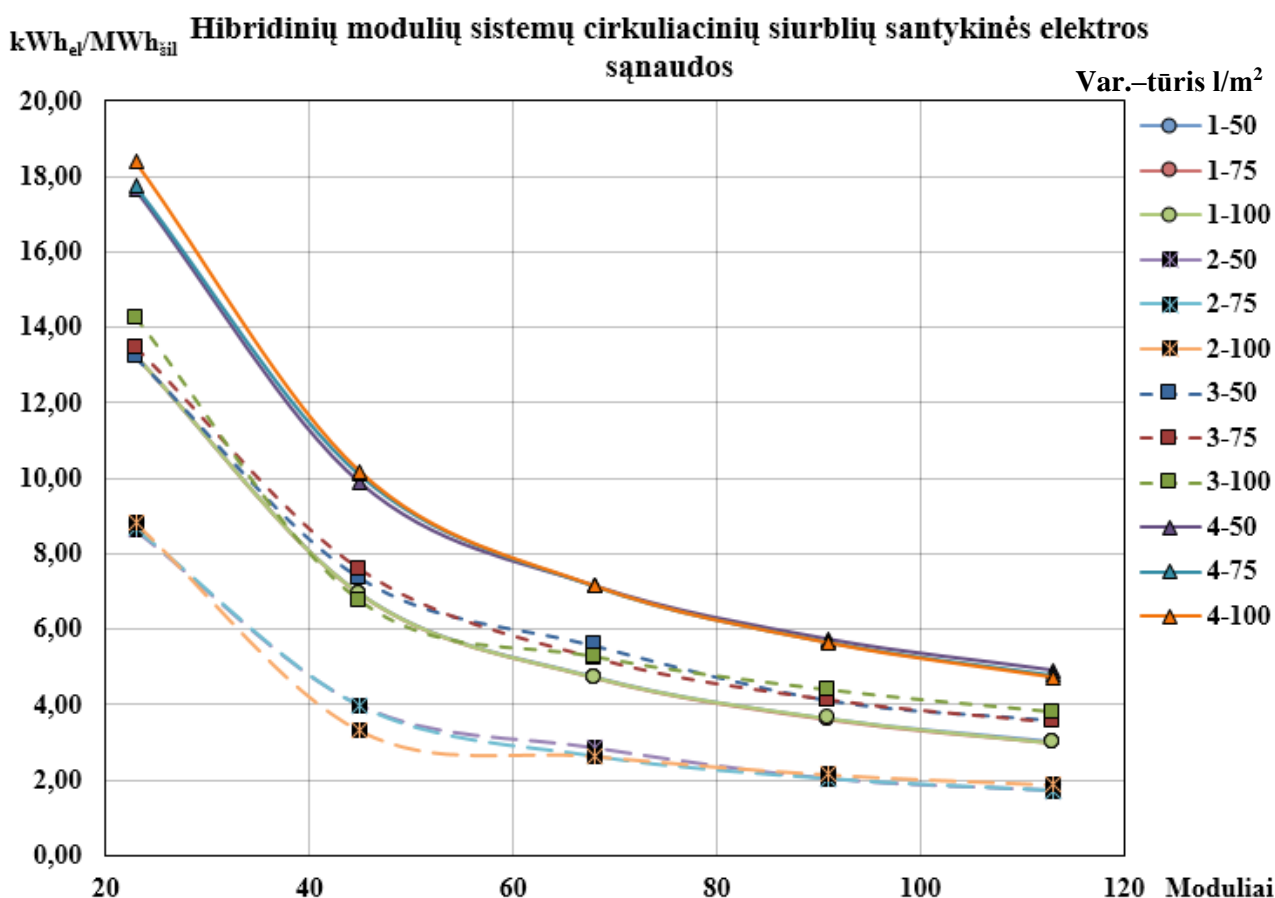
sukelia didesnes siurblių elektros energijos sąnaudas (žr. priedą 1). Priešingu atveju, cirkuliacinių siurblių santykinų elektros sąnaudų priklausomybių (toliau priklausomybės) svyravimus, ypač naudojant 60 kolektorių sistemas, turi sukelti tarp modeliavimo atvejų netolygiai pasikeičiantys akumuliacinės talpos parametrai (žr. lentelę 4.2.2) ir kiti hidrauliškai įtaką darantys dydžiai.



5.1.6 pav. Vakuuminių vamzdžių kolektorių cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos

Paveiksle 5.1.6 pavaizduotos vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos. Skirtumo tarp vakuuminių vamzdžių ir plokštelių kolektorių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinų elektros energijos sąnaudų, kai naudojamas variantas 1, beveik nėra. Tuo tarpu varianto 2 cirkuliacinių siurblių santykinės sąnaudos gaunamos didesnės nuo 109,62 %, naudojant 20 kolektorių ( $50 \text{ l}/\text{m}^2$ ), iki 133,77 %, naudojant 100 kolektorių ( $100 \text{ l}/\text{m}^2$ ), bet skirtumo, lyginant pagal santykius su pagaminta saulės šiluma, beveik nėra. Didelis skirtumas gaunamas naudojant 60 kolektorių, nes esant tokiam atvejui plokštelių kolektorių sistemų siurblių sąnaudos buvo gautos labai mažos. Variantui 3, esant  $100 \text{ l}/\text{m}^2$  tūrio akumuliacinėms talpoms, gaunamas didelis priklausomybių nuokrypis dėl per mažo šilumokaičio. Jei šilumokaičiai būtų parinkti didesni, priklausomybės turėtų išsidėstyti panašiai, kaip išsidėstė paveiksle 5.1.5. Jei būtų braižomas tik cirkuliacinių siurblių elektros sąnaudų grafikas, būtų gautami dideli variantų 3 ir 4 elektros sąnaudų nukrypimai, kaip ir saulės šilumos dalių grafike 5.1.2. Lyginant su plokšteliniais

kolektoriais, varianto 1 priklausomybės yra vidutiniškai žemesnės apie 10 %, varianto 4 priklausomybės apie žemesnės 3 %, o variantų 2 ir 3 priklausomybės vidutiniškai aukštesnės apie 12–14 % (dėl per mažo šilumokaičio parinkimo, kuris sumažino šių variantų saulės šilumos dalį).

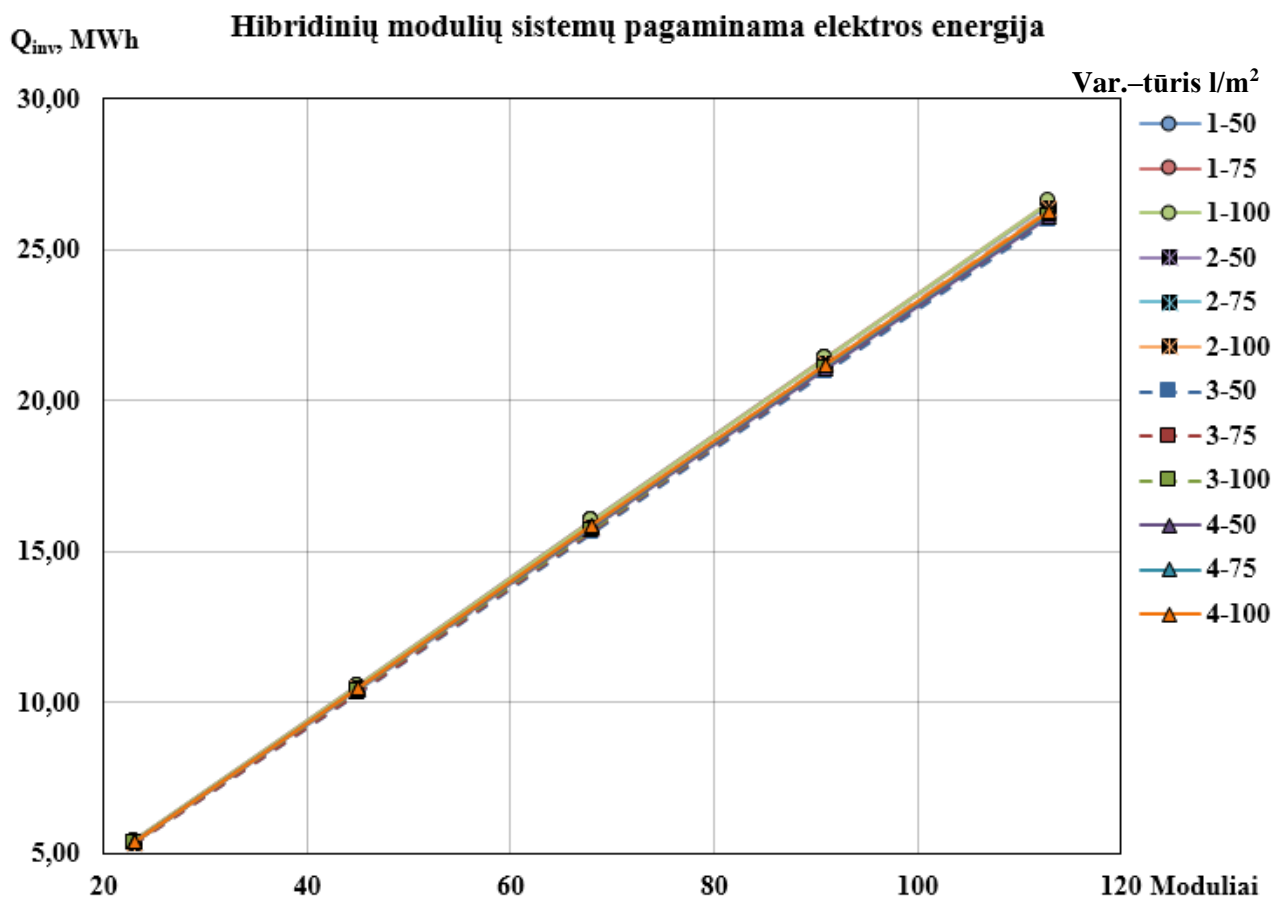


5.1.7 pav. Hibridinių modulių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos

Paveiksle 5.1.7 pavaizduotos hibridinių modulių sistemų cirkuliacinių siurblių santykinės elektros sąnaudos. Kadangi hibridiniai moduliai nėra skirti tik šiluminės energijos gamybai, jų sistemos turi didžiausias cirkuliacinių siurblių santykinės elektros energijos sąnaudas. Lyginant su plokšteliniais kolektoriais, visų variantų priklausomybės yra žymiai aukštesnės. Iš eilės variantams 1, 2, 3 ir 4, priklausomybės vidutiniškai aukštesnės apie 49 %, 76 %, 86 % ir 60 %. Tai taip pat pastebima hibridinių modulių saulės šilumos dalių grafike 5.1.3, kur variantas 1 turi didžiausia saulės šilumos dalį, o variantas 3 turi mažiausia saulės šilumos dalį, ir bus gauta hibridinių modulių pagamintos elektros energijos grafike 5.1.8.

Jei būtų braižomas tik cirkuliacinių siurblių elektros sąnaudų grafikas, hibridinių modulių sistemų cirkuliacinių siurblių elektros sąnaudų priklausomybės būtų beveik vienodos plokštelių kolektorių sistemų priklausomybėms, kaip ir lyginant saulės šilumos dalis. Variantams 1 ir 4 būtų gaunamos mažesnės siurblių sąnaudos (iki keliasdešimt kilovatvalandžių mažiau), bet variantų 2 ir

3 sąnaudos būtų beveik vienodos. Vis dėl to, visos priklausomybės būtų truputi tolygesnės (dėl mažesnės hibridinių modulių šiluminės galios ir tai galiai visiškai pakankamų sistemos dalių).



5.1.8 pav. Hibridinių modulių sistemų pagaminama elektros energija

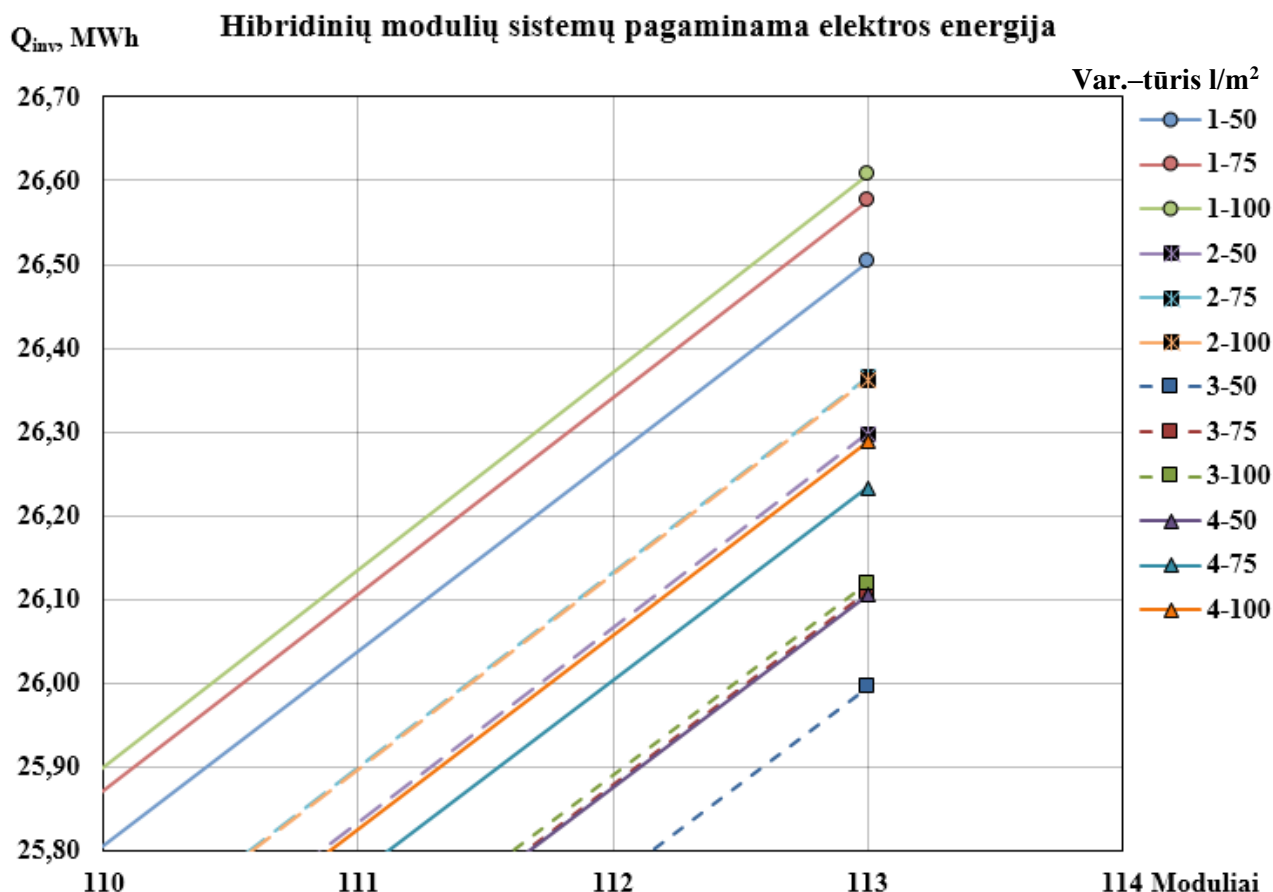
Kai naudojami hibridiniai moduliai, saulės energijos sistema pagamina tam tikrą elektros energijos kiekį, priklausanti nuo sistemos sudėties. Siekiant tai įvertinti, nubraižytas paveikslas 5.1.8, kuriame pavaizduotos pagamintos elektros energijos priklausomybės (toliau priklausomybės), atitinkančios pagamintą nuolatinės srovės elektros energiją. Matoma, kad pagaminamos elektros energijos kiekis beveik nesiskiria tarp skirtingų sistemų ir priklausomybės yra beveik tiesinės.

Paveiksle 5.1.9 pavaizduotos priklausomybės naudojant 113 hibridinių modulių, kur skirtumas tarp skirtingų modeliavimo atvejų priklausomybių yra didžiausias. Čia priklausomybių taškai mažėjimo tvarka: 1–100 (variantas ir akumuliacinės talpos tūrio santykis  $\text{l/m}^2$ ), 1–75, 1–50, 2–75, 2–100, 2–50, 4–100, 4–75, 3–100, 3–75, 4–50, 3–50.

Kadangi elektros energijos gamybos efektyvumas priklauso nuo puslaidininkų temperatūros (hibridinių modulių galios temperatūros koeficientas lygus  $-0,43 \text{ \%}/\text{K}$ ), elektros energijos daugiausiai pagamina tie modeliavimo atvejai, kurių šilumos nuvedimas nuo hibridinių modulių yra efektyviausias. Pavyzdžiui, žemiausios priklausomybės galutinis taškas (var. 3,  $50 \text{ l/m}^2$ ) sudaro 97,70 % aukščiausios priklausomybės galutinio taško (var. 1,  $100 \text{ l/m}^2$ ). Todėl žemiausios atvejo

vidutinė puslaidininkių temperatūra yra  $(100-97,70)/0,43=5,35$  °C didesnė už aukščiausio atvejo vidutinę puslaidininkių temperatūrą. Todėl žemiausio atvejo saulės šilumos dalis yra gauta mažesnė (tarp kitų saulės šilumos dalį sumažinančių sistemos dalių).

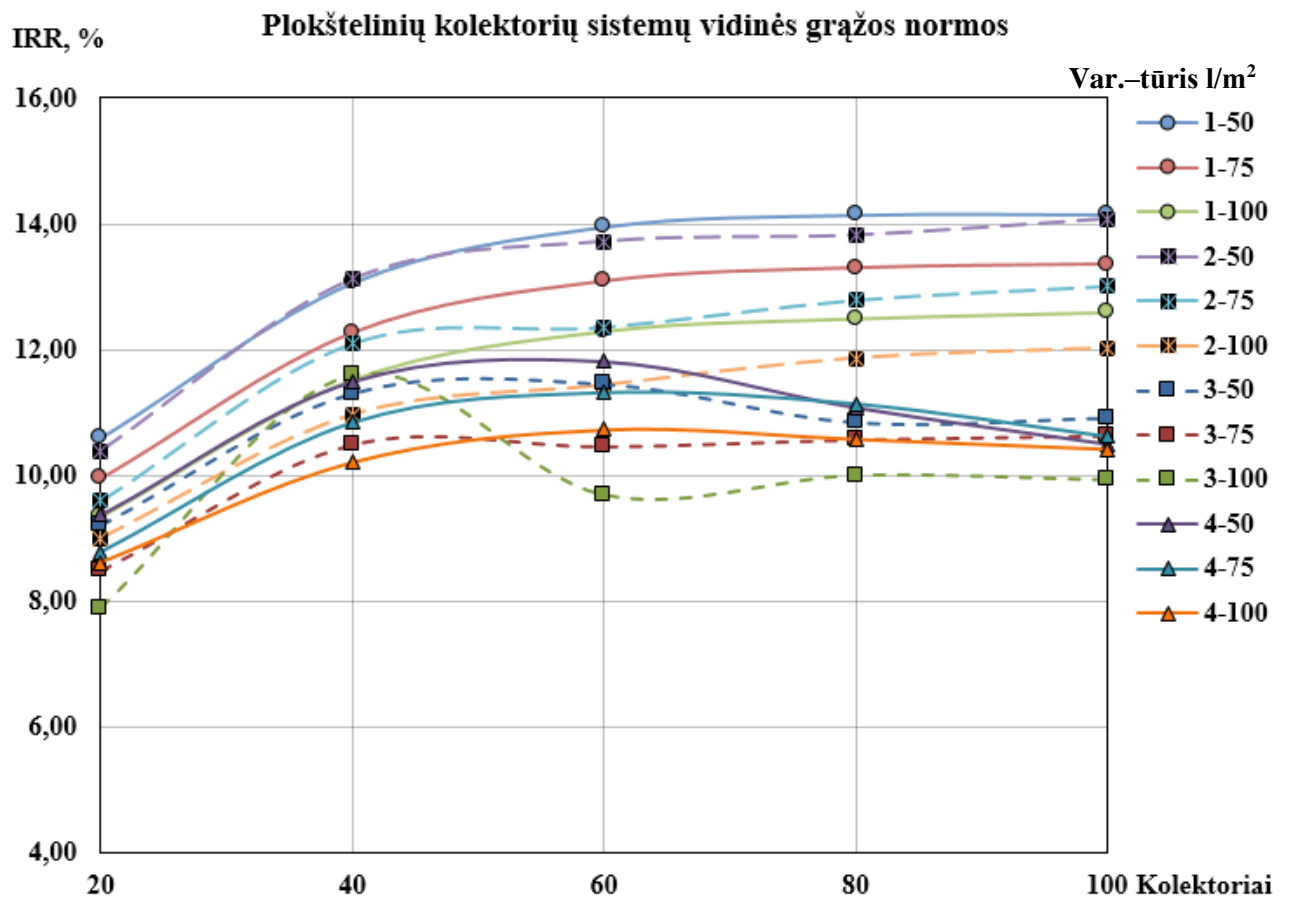
Hibridinių modulių pagaminta elektros energija yra sunaudojama savoms reikmėms (cirkuliacinių siurblių maitinimui). Kai hibridinių modulių pagaminamos elektros energijos neužtenka, trūkumas paimamas iš elektros tinklo. Kai elektros energijos pagaminama daugiau, negu reikia, skirtumas tiekiamas į elektros tinklą. Šie dydžiai yra surašyti priede 1.



5.1.9 pav. Pagaminama elektros energija, didžiausias hibridinių modulių kiekis

## 5.2 Ekonominiai rezultatai

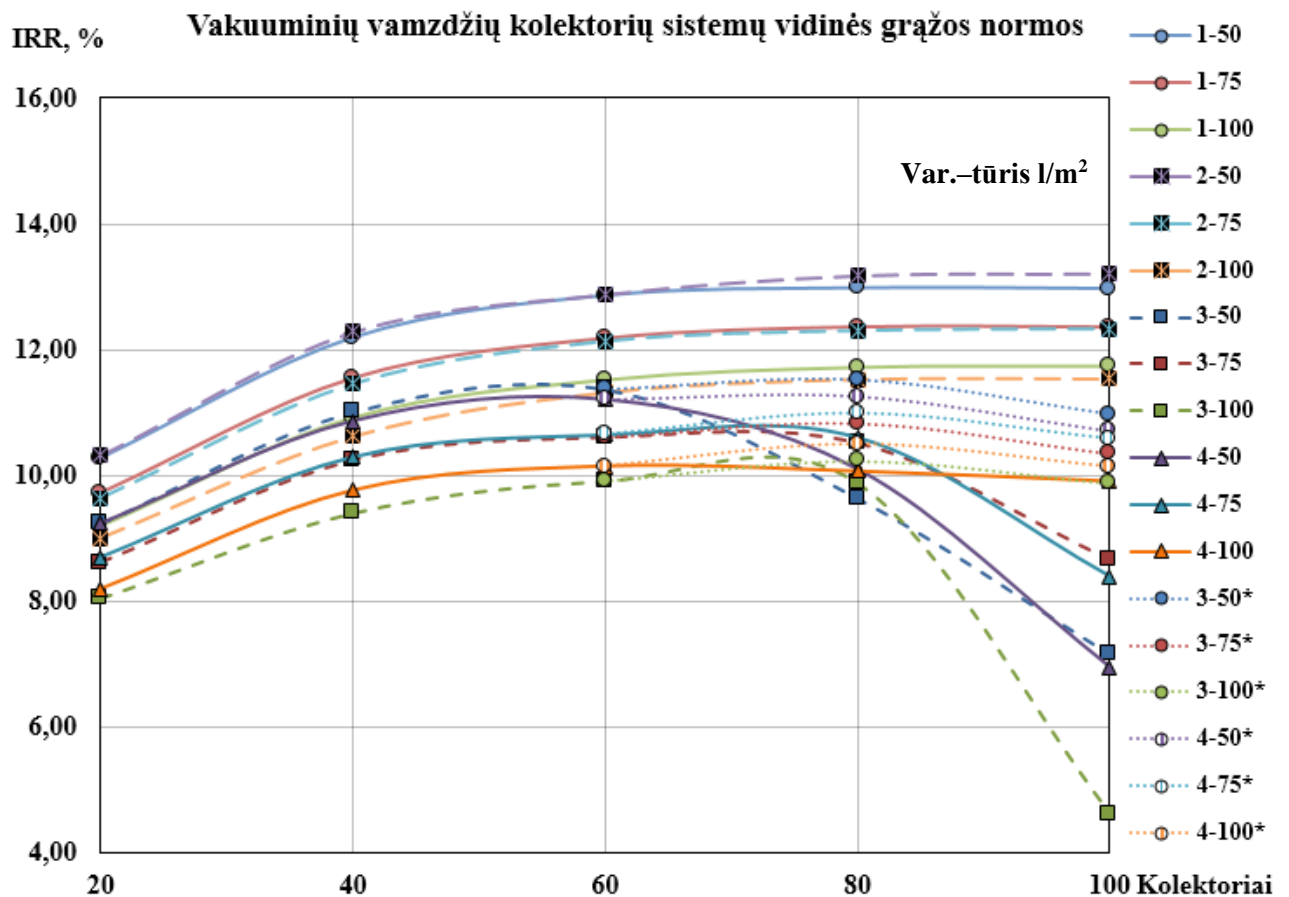
Ekonominių dydžių įvertinimas atliktas pagal skyrių 4.3. Rastos vidinės grąžos normos atitinka diskonto normą, kuriai esant dabartinė pajamų vertė būtų lygi nuliui. Kuo šis dydis didesnis, tuo sistema yra labiau finansiškai pagrįsta ir greičiau atsiperka.



**5.2.1 pav. Plokštelių kolektorių sistemų vidinės gražos normos**

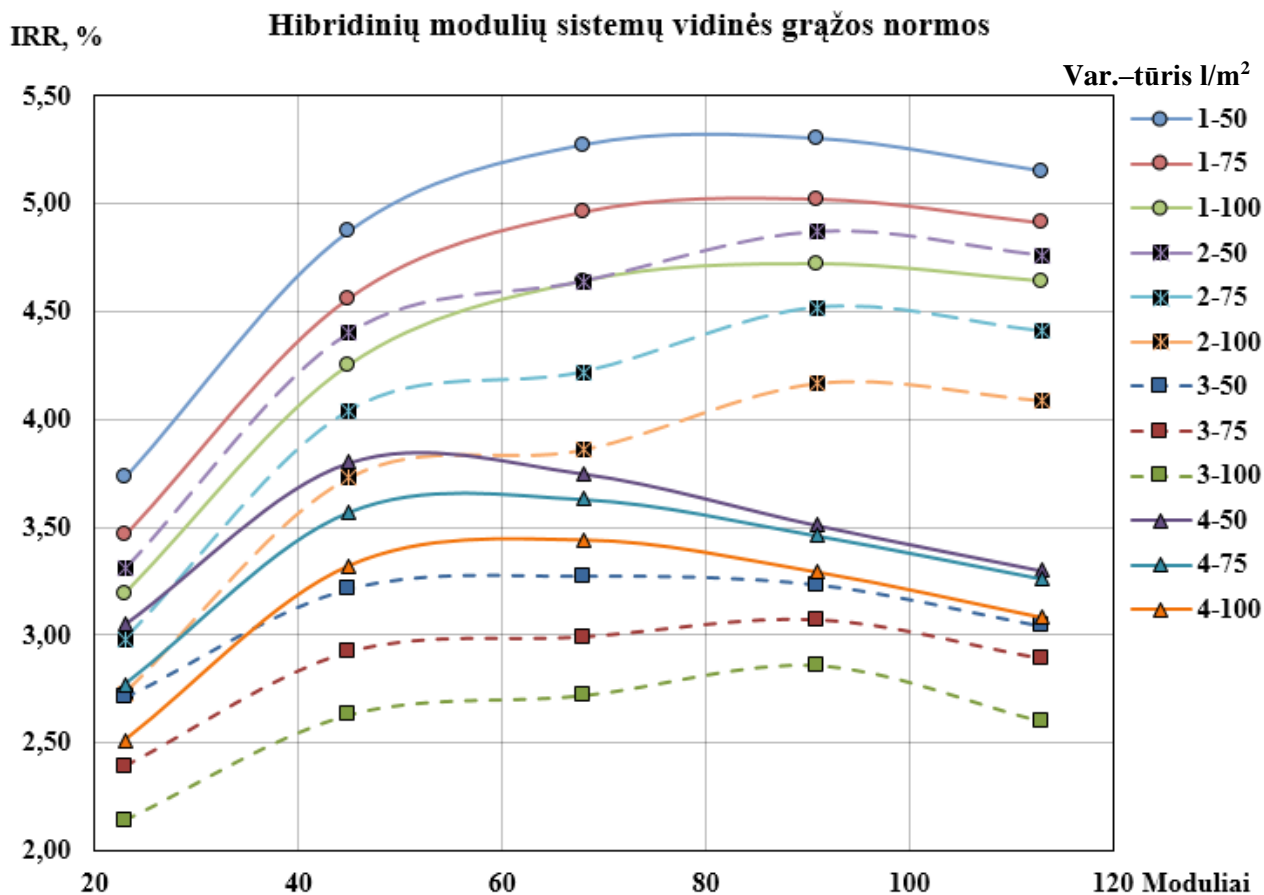
Paveiksle 5.2.1 pavaizduotos plokštelių kolektorių sistemų vidinių gražos normų priklausomybės (toliau priklausomybės). Kaip ir saulės šilumos dalių grafikuose, gauta, kad variantų 1 ir 2 priklausomybės yra labai artimos. Pagal skyriuje 4.3 priimtas sistemų kainas, esant 100 kolektorių sistemos variantui 1, sistemos kaina didesnė už varianto 2 sistemos kainą apie 1200 Eur, kai akumuliacinės talpos tūris santykis yra lygus 50 l/m<sup>2</sup>, ir varianto 2 vidinės gražos norma yra praktiškai vienoda. Kai tūris yra 75 l/m<sup>2</sup>, skirtumas sumažėja iki apie 460 Eur, o kai tūris yra 100 l/m<sup>2</sup>, skirtumas sumažėja iki apie -300 Eur. Todėl didinant akumuliacinės talpos tūrį gaunamas didėjantis skirtumas tarp vidinių gražos normų, nes saulės šilumos dalys beveik nesikeičia.

Kitiems variantams gauti priklausomybių svyravimai, kaip ir saulės šilumos dalių grafikuose. Variantui 4 galima atkreipti dėmesį, kad naudojant 100 kolektorių sistemas beveik nėra skirtumo tarp vidinių gražos normų, bet sistema su 100 l/m<sup>2</sup> tūrio akumuliacine talpa pasižymi apie 10 % didesne saulės šilumos dalimi, negu sistema su 50 l/m<sup>2</sup> tūrio akumuliacine talpa. Tokiais atvejais apsimoka pasirinkti didesnę sistemą.



**5.2.2 pav. Vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų vidinės gražos normos**

Paveiksle 5.2.2 pavaizduotos vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų vidinės gražos normos. Vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų vidinės gražos normos gautos mažesnės, negu plokštelių kolektorių sistemų, nes jų saulės šilumos dalys yra didesnės tik apie 10 %, bet sistemų kainos yra didesnės apie 16 %, o tai sukelia didesnes eksploatacines išlaidas (priimta 1 % sistemos pradinės kainos į metus). Todėl po 25 metų jų grynoji dabartinė vertė yra mažesnė už plokštelių kolektorių sistemų ir jų naudoti neapsimoka (išskyrus variantui 2, kur grynoji dabartinė vertė yra iki 16 % ir vidutiniškai apie 7 % didesnė). Čia priklausomybių formos yra beveik vienodos, kaip ir naudojant plokštelių kolektorius, išskyrus tai, kad, naudojant 80 ir 100 kolektorių sistemas, įtaką pradeda daryti per mažo šilumokaičio parinkimas, kas čia pastebima žymiai stipriau, negu saulės šilumos dalių grafike 5.1.2. Grafike nubraižytos priklausomybės, pažymėtos ženkle \*, atitinka didesnių šilumokaičių panaudojimo atvejus, kaip ir paveiksle 5.1.2. Šios priklausomybės turėtų būti truputi žemesnės, nes didesni šilumokaičiai padidintų sistemos kainą.

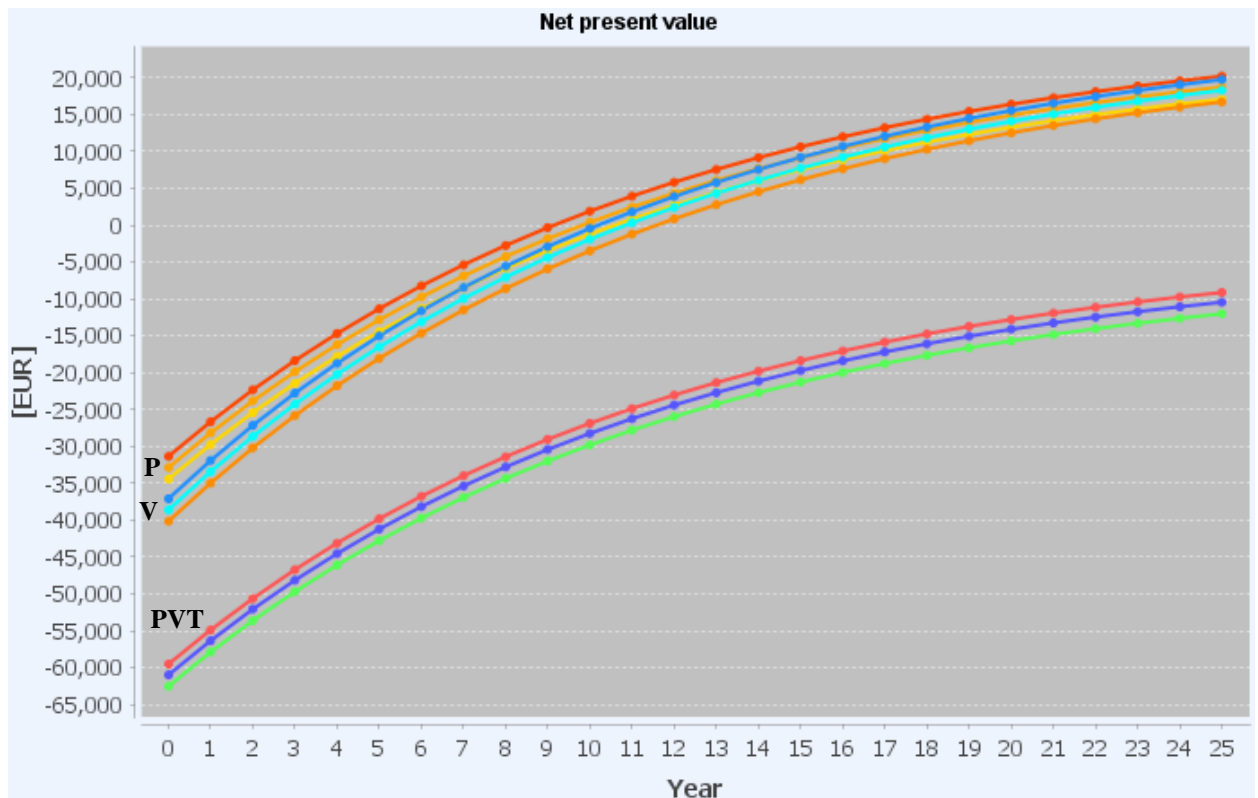


**5.2.3 pav. Hibridinių modulių sistemų vidinės gražos normos**

Paveiksle 5.2.3 pavaizduotos hibridinių modulių sistemų vidinės gražos normos. Hibridinių modulių sistemų vidinių gražų normų priklausomybės yra labiau išsklaidytos dėl didesnio mastelio. Esant paveikslų 5.2.1 ir 5.2.2 masteliui priklausomybės atrodytų panašios į plokštelių kolektorių sistemų priklausomybės, išskyrus būtų labiau stabilios. Kadangi šių sistemų šiluminė galia yra žymiai mažesnė ir todėl visos sistemos dalys yra pilnai patenkinamos visiems atvejams, nėra jokių stiprių priklausomybių susikirtimų ir nukrypimų. Iš trijų modeliavimo metu naudotų saulės energijos transformavimo technologijų gauta, kad hibridinių modulių sistemos turi mažiausias vidines gražos normas. Atitinkamai hibridinių modulių sistemos nėra ekonomiškai pagrįstos, lyginant su plokštelių ir vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemomis.

Toliau paveiksle 5.2.4 pavaizduotos efektyviausio varianto 1, 100 kolektorių (113 hibridinių modulių), 50 l/m<sup>2</sup>, 75 l/m<sup>2</sup> ir 100 l/m<sup>2</sup> akumuliacinės talpos tūrių sistemų grynujų dabartinių verčių priklausomybės (toliau priklausomybės).





**5.2.4 pav. Grynosios dabartinės vertės palyginimas**

Čia P — plokšteliniai kolektoriai; V — vakuuminių vamzdžių kolektoriai; PVT — hibridiniai moduliai. Kiekviena grupė turi po tris priklausomybes, atitinkančias skirtingo tūrio akumuliacines talpas naudojančias sistemas. Kadangi grynoji dabartinė vertė 0 metais atitinka investicijas po paramos, viršutinės priklausomybės atitinka mažiausio tūrio akumuliacinių talpų sistemas. Kai grynoji dabartinė vertė yra didesnė už 0, pasiekiamas sistemos atsipirkimas. Grafike matoma, kad šios plokštelinių ir vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemos atsiperka po apie 11 metų. Tuo tarpu hibridiniai moduliai neatsiperka per sistemos naudojimo laikotarpį, 25 metus.

Kad hibridiniai moduliai atsipirktų, reikia didesnės valstybės paramos, negu čia priimta 50 % parama. Pavyzdžiui, turint apie 13 tūkst. Eur. didesnę paramą, hibridiniai moduliai atsipirktų po 25 metų. Iš viso maksimali parama gali siekti 80 % pradinės sistemos kainos. Tokiu atveju šios hibridinių modulių sistemos atsipirktų po 9 metų, o plokštelinių ir vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemos atsipirktų po 4 metų.

Visų modeliavimo atvejų grynosios dabartinės vertės ir atsipirkimo laikotarpiai su 50 % ir 80 % paramomis bei kiti dydžiai yra surašyti priede 1.

## IŠVADOS

1. Atlikus Lietuvos pramonės apžvalgą rastos saulės energijos transformavimo technologijų pritaikymui aktualiausios pramonės šakos. Aktualiausia šaka yra medienos, jų gaminių ir baldų pramonė. Po to aktualiausias šakas sudaro maisto ir gėrimų pramonė, tekstilės ir drabužių pramonė. Atlikus pieno perdirbimo gamyklos atvejo modeliavimą gautos sekančios išvados.
2. Modeliuojamoms sistemoms gauta, kad variantas 1 pasižymi didžiausia saulės šilumos dalimi bendrame šilumos energijos poreikyje (toliau saulės šilumos dalis). Kai naudojamos 100 kolektorių sistemos, iki 6 % naudojant plokštinius kolektorius, 6,7 % naudojant vakuuminių vamzdžių kolektorius ir 3,5 % naudojant hibridinius modulius. Akumuliacinės talpos tūrio įtaka saulės šilumos daliai siekia iki kelias procento šimtąsias. Beveik nėra skirtumo tarp varianto 1 ir 2 saulės šilumos dalių (iki 0,1 %). Tuo tarpu skirtumas tarp varianto 1 ir 4 saulės šilumos dalių siekia iki 0,8 %. Variantams 3 ir 4 didelius saulės šilumos dalies nuostolius sudaro papildomo šilumokaičio naudojimas tarp akumuliacinės talpos ir katilo. Tarp šių variantų didesnę saulės šilumos dalį turi variantas 4. Šitiems variantams akumuliacinės talpos didinimo įtaka saulės šilumos dalims siekia kelias procento dešimtąsias.
3. Variantams 3 ir 4 didelę įtaką daro šilumokaičių parinkimas, kai naudojami vakuuminių vamzdžių kolektoriai ir naudojamų kolektorių kiekis yra lygus 80 arba daugiau. Modeliavimui parinkto šilumokaičio neužtenka ir tai sukelia iki 1,5 % saulės šilumos dalies nuostolius. Todėl tikslesniam modeliavimui reikėtų atlikti iteracijas, kiekvienam modeliavimo atvejui parenkant optimalias sistemos dalis.
4. Hibridinių modulių pagaminamos elektros energijos variantai yra išsidėstę tokia pačia eile, kaip ir gautoms saulės šilumos dalims. Taip gauta, nes hibridinių modulių elektrinė galia mažėja didėjant puslaidininkių temperatūrai ir tarp modeliuojamų variantų nesikeičia jokia pačių hibridinių modulių dalis. Todėl daugiausiai elektros energijos pagamina tie variantai, kurie nuo hibridinių modulių geriausiai nuveda šiluminę energiją.
5. Naudojant hibridinius modulius, apie 50 % metinių pajamų generuojama dėl elektros energijos gamyba. Priimta, kad visa elektros energija suvartojama savoms reikmėms, kas pakeičia 0,113 Eur/kWh kaina perkamą elektros energiją. Kadangi šiuo metu skatinimo kvotos yra išnaudotos, naujoms elektrinėms netaikomi fiksuoti tarifai ir būtų galima tikėtis

apie 0,03–0,04 Eur/kWh tarifo. Todėl hibridinių modulių pagaminamą elektros energiją būtina išnaudoti savoms reikmėms.

6. Kadangi hibridiniai moduliai nėra skirti tik vienos energijos rūšies gavimui gauta, kad cirkuliacinių siurblių santykinės elektros energijos sąnaudos yra didžiausios naudojant hibridinių modulių sistemas, nes  $E_{par}/Q_{sol}$  santykis gaunamas mažesnis dėl mažesnės hibridinių modulių šiluminės galios. Lyginant su plokštelių kolektorių sistemas, skirtingų variantų vidutinės santykinės elektros energijos sąnaudos gautos 49 %, 76 %, 86 % ir 60 % aukštesnės (var. 1–4). Naudojant vakuuminių vamzdžių kolektorius, varianto 1 cirkuliacinių siurblių santykinės elektros energijos sąnaudos gautos 10 % mažesnės dėl didesnių saulės šilumos dalių. Vis dėl to varianto 2 santykinės elektros energijos sąnaudos gautos 12 % didesnės. Skirtumas gautas dėl variantui 2 priimto akumuliacinės talpos vidinio šilumokaičio (hidrauliniai nuostoliai didėja sparčiau, negu didėja saulės šilumos dalis). Todėl variantas 3 taip pat turi 17 % didesnes santykinės elektros energijos sąnaudas, o variantas 4 turi 3 % mažesnes sąnaudas, lyginant su plokštelių kolektorių sistemomis. Čia variantams 3 ir 4 taip pat įtaką daro per mažų išorinių šilumokaičių parinkimas.
7. Skirtumas tarp plokštelių ir vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų saulės šilumos dalių yra apie 0,15 %, 0,3 %, 0,4 %, 0,5 % ir 0,6 % esant atitinkamiems kolektorių kiekiams (20–100), bet didesnės vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemų kainos ir eksploatacinės išlaidos padidina atsipirkimo laiką vienais metais iki 11–21 metų (didesnės sistemos atsiperka greičiau). Tuo tarpu hibridinių modulių sistemos neatsiperka per 25 metų sistemos eksploatacinį laikotarpį.
8. Paminėti atsipirkimo laikotarpiai atitinka atvejį, kai gauta 50 % Lietuvos aplinkos apsaugos investicijų fondo parama. Maksimali parama siekia 80 % pradinės sistemos kainos. Tokiu atveju plokštelių kolektorių sistemos atsipirktų po 3–5 metų, vakuuminių vamzdžių kolektorių sistemos atsipirktų po 4–6 metų, o hibridinių modulių sistemos atsipirktų po 7–10 metų.
9. Jei būtų turimi visi pramoninio objekto duomenys, tiksliausiai saulės energijos panaudojimo įvertinimui reikėtų atsižvelgti į saulės transformavimo technologijų integravimo į žemo potencialo šilumos atgavimo kontūro sistemą galimybes.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. MEKHILEF, S. R. SAIDUR, and A. SAFARI. A review on solar energy use in industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2011, 15(4), 1777–1790 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.018>
2. VIKNIUS, A. Pasyvios saulės šildymo sistemos tyrimas: Magistro darbas. Kaunas: Aleksandro Stulginskio universitetas [Interaktyvus], 2012, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: eLABa – nacionalinė Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka.
3. BELESSIOTIS, V. and E. DELYANNIS. Solar drying. *Solar Energy* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2011, 85(8), 1665–1691 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.001>
4. *IEE–NITK: Evacuated tube collectors*, [Interaktyvus]. 2017. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://ieeenitk.org/blog/evacuated-tube-collector/>
5. KRASAUSKAS, V. Hibridinės saulės jėgainės projektas: Bakalauro darbas. Kaunas: Kauno Technologijos Universitetas [Interaktyvus], 2016, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: eLABa – nacionalinė Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka.
6. MÜLLER, H. Solar process heat in the food industry – methodological analysis and design of a sustainable process heat supply system in a brewery and a dairy. Leicester: De Montfort University [Interaktyvus], 2016, [žiūrėta 2018-05-17] Prieiga per: <https://www.dora.dmu.ac.uk/handle/2086/12489>
7. WALMSLEY, T. G. et al. Integration options for solar thermal with low temperature industrial heat recovery loops. *Energy* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2015, 90, 113–121 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.080>
8. *European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
9. EUROPEAN COUNCIL. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance. [Interaktyvus] [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>
10. *Lietuvos Statistikos Departamentas: Oficialios statistikos portalas* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/pradinis>
11. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. XII-2702 2016-11-03 Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas. [Interaktyvus] [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/946da260a67b11e69ad4c8713b612d0f>

12. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. XI-329 2009-07-07 Lietuvos Respublikos klimato kaitos valdymo finansinių instrumentų įstatymas. [Interaktyvus] [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.B77E00EAE8EB>
13. Eurostat: *Complete energy balances - annual data* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg\\_110a](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_110a)
14. European Commission: *2030 Energy Strategy* [Interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>
15. Eurostat: *Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E)* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/SBS\\_NA\\_IND\\_R2](http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/SBS_NA_IND_R2)
16. GUDONIS, A. *Pieno gaminių technologija* [Interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2012 [žiūrėta 2018-05-17]. ISBN 9786090207031. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/898/pieno-gaminiu-technologija/>
17. *CliqueSolar: Textile Industry* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.cliquesolar.com/TextileSolution.aspx>
18. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija: *Pieno pramonė* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://zum.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/zemes-ir-maisto-ukis/maisto-pramone/pieno-pramone>
19. ANDERSON, T. N. and M. DUKE. Solar energy use for energy savings in dairy processing plants. *Institution of Professional Engineers New Zealand* [Interaktyvus]. Wellington: Institution of Professional Engineers New Zealand, 2007, 2008(001), 1–9 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://hdl.handle.net/10289/3204>
20. KARAGIORGAS, M. and A. BOTZIOS-VALASTAKIS. Solar systems applications in the dairy industry. *Pikermi Attiki: Center for Renewable Energy Sources* [Interaktyvus], 2004, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://www.cres.gr/kape/pdf/download/dairy\\_leaflet.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/download/dairy_leaflet.pdf)
21. Eurostat: *Milk collection (all milks) and dairy products obtained – annual data* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro\\_mk\\_pobta](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro_mk_pobta)
22. TSAKISTARA, D. et al. Analysis of Greek milk market. *MIBES Transactions* [Interaktyvus]. 2009, 3(1), 137–151 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.prd.uth.gr/uploads/publications/2009/674100cc307618e56d746bda55718bbb48c4a074.pdf>

23. FARJANA, S. H. et al. Solar process heat in industrial systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2018, 82, 2270–2286 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.065>
24. Polysun Simulation Software User Manual. Winterthur: Vela Solaris [Interaktyvus], 2017, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://www.velasolaris.com/files/tutorial\\_en.pdf](http://www.velasolaris.com/files/tutorial_en.pdf)
25. LAUTERBACH, C. Potential, system analysis and preliminary design of low-temperature solar process heat systems. Kassel: University of Kassel [Interaktyvus], 2014, [žiūrėta 2018-05-17]. ISBN 9783862197439. Prieiga per: <http://www.upress.uni-kassel.de/katalog/abstract.php?978-3-86219-742-2>
26. BAVA, F. S. FURBO, and B. PERERS. Simulation of a solar collector array consisting of two types of solar collectors, with and without convection barrier. *Energy Procedia* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2015, 70, 4–12 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.091>
27. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. V-770 Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai" patvirtinimo. [Interaktyvus] [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.39061F53794A>
28. KAJUTIS, K. Šilumos tiekimas pramonės įmonėms: metodiniai nurodymai kursiniam projektui. Kaunas: KPI, 1983.
29. KHATTAB, I. et al. Density, viscosity, surface tension, and molar volume of propylene glycol + water mixtures from 293 to 323 K and correlations by the Jouyban-Acree model. *Arabian Journal of Chemistry* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2017, 10, S71–S75 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.07.012>
30. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. I-245 2017-09-18 Dėl įrenginių ir šilumos perdavimo tinklų šilumos izoliacijos įrenginių taisyklių patvirtinimo. [Interaktyvus] [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/6f2128909c4511e78bd78a8ea3cd0744>
31. FU, R. et al. U.S. solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2017. Golden: National Renewable Energy Laboratory [Interaktyvus], 2017, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68925.pdf>
32. ESO: *Energijos skirstymo operatorius*, [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.eso.lt>
33. *Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija* [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.regula.lt>

34. *Lietuvos respublikos centrinis bankas: Makroekonomikos prognozės*, [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [https://www.lb.lt/makroekonomines\\_prognozes](https://www.lb.lt/makroekonomines_prognozes)
35. *Lietuvos aplinkos apsaugos investicijų fondas*, [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.laaif.lt/lt/>
36. Solar process heat generation: guide to solar thermal system design for selected industrial processes. Linz: SO-PRO [Interaktyvus], 2011, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://www.solar-process-heat.eu/fileadmin/redakteure/So-Pro/Work\\_Packages/WP3/Planning\\_Guideline/Techn\\_Bro\\_SoPro\\_en-fin.pdf](http://www.solar-process-heat.eu/fileadmin/redakteure/So-Pro/Work_Packages/WP3/Planning_Guideline/Techn_Bro_SoPro_en-fin.pdf)
37. HICKS, B. R. Commercial solar thermal systems Germany (sample). Berkshire: BSRIA Limited [Interaktyvus], 2012, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <https://www.bsria.co.uk/market-intelligence/market-reports/publication/germany-european-market-for-commercial-solar-thermal-2011/>
38. HERRANDO, M. and C. N. MARKIDES. Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. *Applied Energy* [Interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2016, 161, 512–532 [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.025>
39. *Staltika energetikos firma: Projektų pavyzdžiai*, [Interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.staltika.lt/>
40. Regional inventory document, North Rhine-Westphalia. Linz: SO-PRO [Interaktyvus], 2011, [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: [http://www.solar-process-heat.eu/fileadmin/redakteure/So-Pro/Work\\_Packages/WP2/Regional\\_report/Regional\\_report\\_Gertec\\_EN\\_web.pdf](http://www.solar-process-heat.eu/fileadmin/redakteure/So-Pro/Work_Packages/WP2/Regional_report/Regional_report_Gertec_EN_web.pdf)

## PRIEDAI

### 1. Modeliavimo rezultatai

Toliau lentelėse: stulpelis K–S – saulės kolektorių kiekis (hibridiniai modulių kiekis perskaičiuotas skyriuje 4.2, o čia lentelėse nėra vietos tam parašyti) ir akumuliacinės talpos tūrio, kolektorių darbinio ploto santykis, l/m<sup>2</sup>; P – plokšteliniai kolektoriai; V – vakuuminių vamzdžių kolektoriai; PVT – hibridiniai moduliai.

Į sistemą tiekiamą saulės šiluminę energiją  $Q_{sol}$ .

1 lentelė. Į sistemą tiekiamą saulės šiluminę energiją

K–S	$Q_{sol}$ , MWh											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	29,57	33,22	18,22	28,40	32,54	16,93	27,96	32,04	16,28	29,02	32,75	17,28
20–75	29,57	33,22	18,22	28,43	32,59	16,95	27,98	32,10	16,28	28,99	32,72	17,25
20–100	29,57	33,22	18,22	28,70	32,65	17,14	28,19	32,23	16,49	29,00	32,72	17,29
40–50	59,57	66,26	35,31	58,23	65,16	32,97	54,84	62,98	28,79	56,86	63,63	31,44
40–75	59,58	66,26	35,31	58,23	65,22	33,08	55,15	63,00	29,13	57,12	63,85	31,78
40–100	59,58	66,26	35,31	57,39	64,95	33,23	54,14	62,40	29,21	57,30	64,01	32,02
60–50	89,28	99,01	52,64	86,11	97,11	48,21	78,50	91,94	40,56	81,99	92,72	43,61
60–75	89,28	99,04	52,67	84,65	97,86	48,06	78,18	92,04	41,02	83,41	93,25	44,83
60–100	89,29	99,06	52,67	84,88	97,94	48,27	78,79	92,47	41,66	84,13	93,83	45,59
80–50	117,28	130,08	68,44	112,59	128,86	64,31	98,32	107,83	51,47	102,06	112,99	54,05
80–75	117,53	130,62	68,80	113,11	129,20	64,80	102,50	119,53	53,26	107,28	121,33	56,22
80–100	117,68	130,98	69,05	113,58	129,81	65,25	104,70	120,76	54,80	108,43	122,11	57,34
100–50	144,39	160,37	81,74	140,63	159,38	77,24	121,04	112,42	60,43	117,42	112,78	63,31
100–75	144,39	161,28	82,65	141,16	159,86	77,85	126,18	130,76	62,76	127,43	129,60	66,01
100–100	145,80	162,00	83,28	141,52	160,58	78,83	128,02	103,43	63,78	131,70	148,33	67,31

Į sistemą tiekiamą kitų šaltinių šiluminę energiją  $Q_{aux}$ .

2 lentelė. Į sistemą tiekiamą kitų šaltinių šiluminę energiją

K–S	$Q_{aux}$ , MWh											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	2316,6	2314,6	2316,7	2321,3	2319,0	2317,3	2330,2	2325,6	2326,4	2329,2	2326,9	2326,9
20–75	2317,7	2316,1	2317,0	2321,5	2319,0	2316,9	2333,0	2327,5	2329,4	2333,1	2329,5	2331,0
20–100	2318,4	2316,9	2317,2	2321,5	2318,5	2316,3	2335,5	2329,1	2331,7	2335,7	2332,7	2333,5
40–50	2309,5	2306,8	2314,0	2314,4	2310,3	2314,2	2325,1	2313,8	2328,9	2323,7	2316,8	2328,9
40–75	2310,6	2307,8	2314,1	2313,9	2310,0	2313,6	2328,5	2317,0	2331,5	2327,6	2321,8	2331,9
40–100	2311,1	2308,4	2314,0	2314,3	2308,3	2314,1	2323,2	2313,0	2325,9	2321,1	2315,4	2325,0
60–50	2297,0	2292,1	2309,6	2299,6	2295,9	2310,5	2311,0	2298,8	2327,0	2311,9	2304,5	2327,6
60–75	2297,7	2292,9	2309,8	2302,0	2294,6	2309,8	2307,4	2296,4	2319,0	2305,6	2297,7	2319,2



2 lentelės tęsinys

60–100	2298,3	2293,6	2309,9	2302,6	2295,9	2310,0	2306,4	2296,5	2315,2	2304,5	2297,2	2315,1
80–50	2283,4	2276,4	2304,2	2284,2	2276,4	2304,9	2288,0	2249,8	2315,9	2282,1	2264,1	2315,9
80–75	2285,3	2278,8	2304,9	2285,9	2278,9	2305,6	2292,5	2278,4	2311,5	2290,8	2282,2	2311,7
80–100	2286,5	2280,2	2305,4	2287,2	2279,8	2305,5	2295,3	2277,0	2310,6	2293,3	2284,3	2311,5
100–50	2268,3	2260,6	2299,5	2265,1	2258,0	2299,7	2268,3	2182,6	2308,1	2255,6	2197,4	2308,7
100–75	2268,3	2265,0	2300,6	2268,9	2261,9	2300,9	2276,8	2220,2	2308,6	2269,8	2231,7	2308,2
100–100	2275,0	2267,6	2301,3	2272,2	2264,2	2301,5	2282,3	2147,5	2307,9	2281,7	2267,6	2308,4

Saulės šilumos dalis bendrame šilumos energijos poreikyje  $SF_n$ .

3 lentelė. Saulės šilumos dalis bendrame šilumos energijos poreikyje

K–S	$SF_n, \%$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	1,260	1,415	0,780	1,209	1,384	0,725	1,186	1,359	0,695	1,230	1,388	0,737
20–75	1,260	1,414	0,780	1,210	1,386	0,726	1,185	1,360	0,694	1,227	1,385	0,734
20–100	1,260	1,413	0,780	1,221	1,389	0,734	1,192	1,365	0,702	1,226	1,383	0,735
40–50	2,515	2,792	1,503	2,454	2,743	1,405	2,304	2,650	1,221	2,388	2,673	1,332
40–75	2,514	2,791	1,503	2,455	2,746	1,410	2,314	2,647	1,234	2,395	2,676	1,344
40–100	2,513	2,790	1,503	2,420	2,737	1,416	2,277	2,627	1,240	2,409	2,690	1,358
60–50	3,741	4,141	2,228	3,610	4,058	2,044	3,285	3,845	1,713	3,425	3,868	1,839
60–75	3,740	4,141	2,229	3,547	4,090	2,038	3,277	3,853	1,738	3,491	3,900	1,896
60–100	3,740	4,140	2,229	3,555	4,091	2,047	3,303	3,871	1,767	3,522	3,924	1,931
80–50	4,885	5,405	2,885	4,697	5,358	2,714	4,120	4,574	2,174	4,281	4,754	2,281
80–75	4,891	5,421	2,898	4,715	5,365	2,734	4,280	4,985	2,252	4,474	5,048	2,374
80–100	4,895	5,432	2,908	4,731	5,387	2,752	4,362	5,037	2,317	4,515	5,074	2,420
100–50	5,985	6,624	3,433	5,846	6,593	3,250	5,066	4,899	2,551	4,948	4,882	2,669
100–75	5,985	6,647	3,468	5,857	6,601	3,272	5,251	5,562	2,647	5,316	5,489	2,780
100–100	6,023	6,668	3,492	5,863	6,623	3,311	5,311	4,595	2,689	5,457	6,140	2,833

Visas gamtinių dujų sunaudojimas  $E_{gas}$  (atitinka kitų šaltinių energijos sunaudojimą  $E_{aux}$ ).

4 lentelė. Visas gamtinių dujų sunaudojimas

K–S	$E_{gas}, MWh$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	2577,5	2575,4	2577,7	2582,7	2580,3	2578,4	2592,5	2587,4	2588,4	2591,4	2588,9	2588,9
20–75	2578,8	2577,0	2578,1	2583,0	2580,3	2577,9	2595,5	2589,5	2591,6	2595,7	2591,8	2593,3
20–100	2579,6	2577,9	2578,2	2583,0	2579,7	2577,3	2598,4	2591,3	2594,1	2598,5	2595,3	2596,1
40–50	2569,7	2566,7	2574,7	2575,2	2570,7	2574,9	2586,8	2574,3	2591,0	2585,3	2577,6	2591,0
40–75	2570,9	2567,9	2574,8	2574,6	2570,3	2574,3	2590,5	2577,9	2593,9	2589,6	2583,3	2594,4
40–100	2571,5	2568,5	2574,8	2575,0	2568,4	2574,8	2584,7	2573,5	2587,8	2582,4	2576,2	2586,8
60–50	2555,8	2550,5	2569,9	2558,8	2554,7	2570,9	2571,1	2557,8	2589,0	2572,1	2564,1	2589,7
60–75	2556,6	2551,4	2570,1	2561,4	2553,3	2570,1	2567,3	2555,1	2580,2	2565,2	2556,6	2580,3
60–100	2557,3	2552,1	2570,2	2562,1	2554,7	2570,3	2566,2	2555,3	2576,0	2564,1	2556,1	2575,8

4 lentelės tęsinys

80–50	2540,8	2533,1	2564,0	2541,7	2533,1	2564,7	2545,7	2503,2	2576,7	2539,2	2519,1	2576,7
80–75	2543,0	2535,8	2564,7	2543,6	2535,9	2565,4	2550,7	2535,3	2571,9	2549,0	2539,4	2572,1
80–100	2544,2	2537,3	2565,3	2545,0	2536,9	2565,4	2554,0	2533,6	2571,0	2551,7	2541,7	2571,8
100–50	2524,1	2515,6	2558,7	2520,5	2512,7	2559,0	2523,9	2428,5	2568,1	2509,7	2444,9	2568,7
100–75	2524,1	2520,4	2559,9	2524,7	2517,0	2560,3	2533,4	2470,5	2568,7	2525,6	2483,2	2568,3
100–100	2531,5	2523,3	2560,7	2528,4	2519,5	2561,0	2539,5	2389,5	2568,0	2538,8	2523,3	2568,5

Visų sunaudotų gamtinių dujų ir į sistema tiekiamos kitų šaltinių šiluminės energijos santykis  $E_{\text{gas}}/Q_{\text{aux}}$ .

5 lentelė. Visų sunaudotų gamtinių dujų ir į sistema tiekiamos kitų šaltinių šiluminės energijos santykis

K–S	$E_{\text{gas}}/Q_{\text{aux}}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	1,1126	1,1127	1,1127	1,1126	1,1127	1,1127	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126
20–75	1,1126	1,1127	1,1127	1,1126	1,1127	1,1127	1,1125	1,1126	1,1126	1,1125	1,1126	1,1126
20–100	1,1126	1,1127	1,1127	1,1126	1,1127	1,1127	1,1125	1,1126	1,1126	1,1125	1,1125	1,1125
40–50	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1125	1,1126	1,1126	1,1125	1,1126	1,1125
40–75	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126
40–100	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126
60–50	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126	1,1126
60–75	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1126	1,1127	1,1126	1,1126	1,1127	1,1126
60–100	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1126	1,1127	1,1126	1,1127	1,1127	1,1126
80–50	1,1127	1,1128	1,1127	1,1127	1,1128	1,1127	1,1126	1,1127	1,1126	1,1126	1,1127	1,1126
80–75	1,1127	1,1128	1,1127	1,1127	1,1128	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127
80–100	1,1127	1,1128	1,1127	1,1127	1,1128	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127
100–50	1,1128	1,1128	1,1127	1,1128	1,1128	1,1127	1,1127	1,1127	1,1126	1,1127	1,1127	1,1126
100–75	1,1128	1,1128	1,1127	1,1128	1,1128	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127
100–100	1,1128	1,1128	1,1127	1,1128	1,1128	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127	1,1127

Apytikslis saulės energija pakeičiamas sunaudojamos pirminės energijos kiekis  $Q_{\text{sol}} \cdot E_{\text{gas}}/Q_{\text{aux}}$ .

6 lentelė. Apytikslis saulės energija pakeičiamas sunaudojamos pirminės energijos kiekis

K–S	$Q_{\text{sol}} \cdot E_{\text{gas}}/Q_{\text{aux}}, \text{ MWh}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	32,90	36,96	20,27	31,60	36,20	18,84	31,11	35,65	18,11	32,28	36,43	19,22
20–75	32,90	36,96	20,27	31,64	36,27	18,86	31,13	35,71	18,11	32,25	36,40	19,19
20–100	32,90	36,96	20,28	31,94	36,33	19,07	31,36	35,86	18,35	32,26	36,40	19,23
40–50	66,28	73,73	39,28	64,78	72,51	36,69	61,01	70,07	32,03	63,26	70,79	34,98
40–75	66,29	73,73	39,29	64,79	72,57	36,81	61,35	70,09	32,41	63,55	71,04	35,35
40–100	66,29	73,73	39,29	63,85	72,27	36,97	60,23	69,42	32,50	63,75	71,22	35,62
60–50	99,34	110,17	58,57	95,82	108,06	53,65	87,33	102,29	45,13	91,22	103,16	48,52
60–75	99,35	110,20	58,60	94,19	108,89	53,47	86,98	102,41	45,64	92,80	103,76	49,88

6 lentelės tęsinys

60–100	99,35	110,22	58,61	94,44	108,98	53,71	87,66	102,89	46,35	93,60	104,41	50,73
80–50	130,50	144,75	76,16	125,28	143,39	71,56	109,40	119,98	57,27	113,56	125,72	60,14
80–75	130,78	145,35	76,55	125,86	143,76	72,10	114,05	133,01	59,26	119,37	135,00	62,56
80–100	130,95	145,75	76,83	126,38	144,44	72,61	116,49	134,38	60,97	120,64	135,87	63,80
100–50	160,67	178,45	90,95	156,49	177,36	85,95	134,68	125,09	67,23	130,65	125,49	70,44
100–75	160,67	179,47	91,97	157,08	177,89	86,62	140,39	145,50	69,83	141,79	144,21	73,44
100–100	162,24	180,27	92,66	157,47	178,69	87,71	142,45	115,09	70,97	146,54	165,05	74,90

Visa sunaudojama šiluminė energija  $Q_{use}$ .

7 lentelė. Visa sunaudojama šiluminė energija

K–S	$Q_{use}, \text{MWh}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	2346,3	2348,0	2335,0	2349,7	2351,7	2334,3	2358,2	2357,7	2342,8	2358,4	2359,8	2344,3
20–75	2347,5	2349,5	2335,4	2350,0	2351,7	2334,0	2361,1	2359,7	2345,9	2362,3	2362,4	2348,4
20–100	2348,2	2350,3	2335,6	2350,4	2351,3	2333,7	2363,9	2361,5	2348,4	2365,0	2365,7	2351,1
40–50	2369,3	2373,2	2349,5	2372,8	2375,6	2347,3	2380,0	2376,8	2357,9	2380,7	2380,5	2360,5
40–75	2370,4	2374,4	2349,7	2372,3	2375,4	2347,0	2383,7	2380,1	2360,8	2384,9	2385,9	2364,0
40–100	2371,1	2375,0	2349,7	2372,0	2373,5	2347,6	2377,5	2375,5	2355,4	2378,6	2379,7	2357,4
60–50	2386,5	2391,4	2362,6	2385,9	2393,2	2358,9	2389,4	2390,7	2367,7	2393,9	2397,3	2371,4
60–75	2387,3	2392,3	2362,8	2386,9	2392,8	2358,2	2385,7	2388,4	2360,3	2389,1	2391,0	2364,3
60–100	2388,1	2393,1	2363,1	2387,8	2394,2	2358,6	2385,4	2389,0	2357,2	2388,8	2391,2	2361,0
80–50	2401,0	2406,8	2373,0	2397,0	2405,5	2369,5	2386,2	2357,0	2367,6	2384,1	2376,6	2370,1
80–75	2403,3	2409,8	2374,2	2399,3	2408,3	2370,8	2395,0	2397,8	2365,0	2398,2	2403,4	2368,2
80–100	2404,7	2411,6	2375,0	2401,2	2410,0	2371,3	2400,1	2397,7	2365,8	2401,8	2406,4	2369,2
100–50	2413,0	2421,2	2381,6	2405,9	2417,6	2377,3	2389,2	2293,5	2368,7	2372,7	2308,7	2372,2
100–75	2413,0	2426,6	2383,8	2410,4	2422,0	2379,2	2402,9	2350,0	2371,6	2397,1	2360,3	2374,5
100–100	2421,3	2430,0	2385,2	2414,1	2425,2	2380,9	2410,3	2248,3	2372,1	2413,4	2415,8	2376,1

Šiluminės energijos trūkumas  $Q_{def}$ .

8 lentelė. Šiluminės energijos trūkumas

K–S	$Q_{def}, \text{MWh}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	70,090	65,179	74,052	68,026	66,476	71,449	74,507	74,662	79,744	75,277	70,262	81,939
20–75	69,330	64,275	73,473	66,869	65,097	70,752	80,270	78,410	83,413	79,669	76,195	84,229
20–100	68,740	63,646	73,047	65,345	66,341	71,043	80,888	78,573	85,965	81,994	76,817	87,987
40–50	58,529	53,656	64,883	57,191	55,129	63,719	78,578	70,911	81,742	72,122	67,613	81,967
40–75	57,755	53,007	64,363	56,725	54,304	63,710	61,179	57,143	64,548	54,916	51,752	63,466
40–100	57,307	52,585	64,055	64,217	57,027	68,143	70,358	61,385	70,909	54,584	50,313	63,701
60–50	51,404	47,829	58,820	50,284	47,980	58,738	55,961	48,080	60,269	53,318	48,647	61,212
60–75	50,588	47,154	58,386	62,498	48,881	61,031	71,335	55,163	68,216	53,366	48,728	63,752
60–100	49,955	46,593	58,064	61,199	48,289	60,496	68,919	50,796	66,727	50,597	45,947	62,770

8 lentelės tęsinys

80–50	45,524	43,020	55,434	52,395	44,413	56,740	64,903	81,602	61,301	59,321	64,503	59,940
80–75	44,277	41,720	54,309	50,305	43,595	55,675	58,115	44,495	61,668	48,208	42,414	59,916
80–100	43,495	41,060	53,580	51,366	44,409	54,750	56,424	44,174	61,106	47,241	42,105	60,347
100–50	41,591	40,060	52,744	44,550	40,884	54,083	61,800	130,271	61,813	72,204	121,348	60,421
100–75	41,591	38,068	51,546	42,980	39,972	53,012	52,738	84,651	59,294	54,348	82,732	58,243
100–100	39,034	36,885	50,720	42,082	38,860	51,342	46,708	165,686	57,018	43,776	40,484	57,568

Visa reikalaujama šiluminė energija  $Q_{\text{dem}}=Q_{\text{use}}+Q_{\text{def}}$ .

9 lentelė. Visa reikalaujama šiluminė energija

K–S	$Q_{\text{dem}}$ , MWh											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	2416,4	2413,1	2409,1	2417,8	2418,1	2405,8	2432,7	2432,3	2422,6	2433,6	2430,0	2426,3
20–75	2416,8	2413,8	2408,9	2416,9	2416,8	2404,7	2441,3	2438,1	2429,3	2442,0	2438,6	2432,6
20–100	2417,0	2414,0	2408,7	2415,7	2417,7	2404,7	2444,8	2440,1	2434,4	2447,0	2442,5	2439,1
40–50	2427,8	2426,9	2414,4	2430,0	2430,8	2411,0	2458,6	2447,7	2439,6	2452,9	2448,1	2442,5
40–75	2428,2	2427,4	2414,1	2429,0	2429,7	2410,7	2444,9	2437,2	2425,4	2439,8	2437,6	2427,4
40–100	2428,4	2427,6	2413,8	2436,2	2430,5	2415,8	2447,9	2436,9	2426,3	2433,2	2430,0	2421,1
60–50	2437,9	2439,2	2421,4	2436,2	2441,2	2417,7	2445,4	2438,8	2428,0	2447,2	2445,9	2432,7
60–75	2437,9	2439,5	2421,2	2449,4	2441,6	2419,2	2457,0	2443,6	2428,5	2442,5	2439,8	2428,0
60–100	2438,0	2439,7	2421,1	2449,0	2442,5	2419,1	2454,3	2439,8	2423,9	2439,4	2437,1	2423,8
80–50	2446,5	2449,8	2428,5	2449,4	2449,9	2426,3	2451,1	2438,6	2428,9	2443,4	2441,1	2430,1
80–75	2447,5	2451,5	2428,5	2449,6	2451,9	2426,4	2453,1	2442,3	2426,6	2446,4	2445,9	2428,1
80–100	2448,2	2452,7	2428,6	2452,6	2454,4	2426,0	2456,5	2441,8	2426,9	2449,1	2448,5	2429,5
100–50	2454,6	2461,3	2434,4	2450,5	2458,4	2431,4	2451,0	2423,8	2430,5	2444,9	2430,1	2432,6
100–75	2454,6	2464,7	2435,3	2453,4	2462,0	2432,2	2455,7	2434,7	2430,9	2451,5	2443,1	2432,8
100–100	2460,4	2466,9	2435,9	2456,2	2464,0	2432,3	2457,0	2414,0	2429,1	2457,2	2456,3	2433,7

Visa sunaudojama elektros energija  $E_{\text{cs}}$  (atitinka siurblių elektros energijos sunaudojimą  $E_{\text{par}}$ ).

10 lentelė. Visa sunaudojama elektros energija

K–S	$E_{\text{cs}}$ , kWh											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	273,0	269,0	241,0	156,0	171,0	146,0	233,0	253,0	215,0	345,0	357,0	305,0
20–75	273,0	269,0	241,0	156,0	174,0	147,0	232,0	262,0	219,0	345,0	358,0	306,0
20–100	273,0	269,0	241,0	160,0	182,0	151,0	245,0	289,0	235,0	356,0	368,0	318,0
40–50	278,0	276,0	245,0	140,0	163,0	131,0	214,0	294,0	212,0	356,0	381,0	311,0
40–75	278,0	276,0	245,0	140,0	163,0	131,0	225,0	299,0	221,0	365,0	388,0	321,0
40–100	278,0	276,0	245,0	112,0	149,0	110,0	193,0	251,0	197,0	369,0	389,0	326,0
60–50	282,0	282,0	249,0	148,0	178,0	137,0	241,0	343,0	226,0	361,0	403,0	312,0
60–75	282,0	282,0	249,0	97,3	154,0	126,0	196,0	276,0	215,0	370,0	405,0	321,0
60–100	282,0	283,0	249,0	99,3	156,0	127,0	200,0	280,0	219,0	374,0	404,0	326,0
80–50	285,0	279,0	248,0	124,0	161,0	130,0	204,0	262,0	212,0	355,0	391,0	310,0

10 lentelės tęsinys

80–75	285,0	283,0	249,0	128,0	165,0	131,0	220,0	301,0	220,0	371,0	419,0	319,0
80–100	285,0	284,0	251,0	128,0	184,0	140,0	232,0	354,0	240,0	374,0	414,0	323,0
100–50	286,0	290,0	247,0	144,0	173,0	132,0	230,0	233,0	217,0	344,0	325,0	311,0
100–75	286,0	292,0	248,0	147,0	177,0	133,0	239,0	277,0	222,0	363,0	374,0	317,0
100–100	286,0	292,0	249,0	154,0	206,0	148,0	262,0	346,0	242,0	371,0	421,0	318,0

Santykinė siurblių sunaudojama elektros energija  $E_{\text{par}}/Q_{\text{sol}}$ .

11 lentelė. Santykinė siurblių sunaudojama elektros energija

K–S	$E_{\text{par}}/Q_{\text{sol}}, \text{kWh}_{\text{el}}/\text{MWh}_{\text{sil}}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	9,232	8,099	13,226	5,492	5,256	8,622	8,332	7,896	13,210	11,890	10,902	17,654
20–75	9,232	8,098	13,226	5,486	5,338	8,675	8,292	8,162	13,456	11,901	10,942	17,742
20–100	9,231	8,099	13,225	5,574	5,574	8,811	8,692	8,966	14,251	12,276	11,248	18,393
40–50	4,667	4,165	6,939	2,404	2,501	3,973	3,902	4,669	7,365	6,261	5,988	9,892
40–75	4,666	4,165	6,939	2,404	2,499	3,960	4,080	4,746	7,587	6,390	6,077	10,101
40–100	4,666	4,165	6,938	1,952	2,294	3,311	3,565	4,023	6,744	6,440	6,077	10,183
60–50	3,159	2,848	4,730	1,719	1,833	2,841	3,070	3,731	5,572	4,403	4,347	7,155
60–75	3,158	2,847	4,728	1,149	1,574	2,622	2,507	2,999	5,242	4,436	4,343	7,161
60–100	3,158	2,857	4,727	1,170	1,593	2,631	2,539	3,028	5,257	4,446	4,306	7,150
80–50	2,430	2,145	3,624	1,101	1,249	2,021	2,075	2,430	4,119	3,478	3,460	5,735
80–75	2,425	2,167	3,619	1,132	1,277	2,022	2,146	2,518	4,131	3,458	3,453	5,674
80–100	2,422	2,168	3,635	1,127	1,417	2,145	2,216	2,931	4,380	3,449	3,391	5,633
100–50	1,981	1,808	3,022	1,024	1,085	1,709	1,900	2,073	3,591	2,930	2,882	4,913
100–75	1,981	1,811	3,001	1,041	1,107	1,709	1,894	2,118	3,537	2,849	2,886	4,803
100–100	1,962	1,803	2,990	1,088	1,283	1,878	2,047	3,345	3,794	2,817	2,838	4,724

Pirminės energijos faktorius  $eP=(E_{\text{aux}}+E_{\text{par}})/Q_{\text{use}}$ .

12 lentelė. Pirminės energijos faktorius

K–S	eP											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	1,099	1,097	1,104	1,099	1,097	1,105	1,099	1,098	1,105	1,099	1,097	1,104
20–75	1,099	1,097	1,104	1,099	1,097	1,105	1,099	1,097	1,105	1,099	1,097	1,104
20–100	1,099	1,097	1,104	1,099	1,097	1,104	1,099	1,097	1,105	1,099	1,097	1,104
40–50	1,085	1,082	1,096	1,085	1,082	1,097	1,087	1,083	1,099	1,086	1,083	1,098
40–75	1,085	1,082	1,096	1,085	1,082	1,097	1,087	1,083	1,099	1,086	1,083	1,098
40–100	1,085	1,082	1,096	1,086	1,082	1,097	1,087	1,083	1,099	1,086	1,083	1,097
60–50	1,071	1,067	1,088	1,073	1,068	1,090	1,076	1,070	1,094	1,075	1,070	1,092
60–75	1,071	1,067	1,088	1,073	1,067	1,090	1,076	1,070	1,093	1,074	1,069	1,092
60–100	1,071	1,067	1,088	1,073	1,067	1,090	1,076	1,070	1,093	1,074	1,069	1,091
80–50	1,058	1,053	1,081	1,060	1,053	1,082	1,067	1,062	1,088	1,065	1,060	1,087
80–75	1,058	1,052	1,080	1,060	1,053	1,082	1,065	1,057	1,088	1,063	1,057	1,086

12 lentelės tęsinys

80–100	1,058	1,052	1,080	1,060	1,053	1,082	1,064	1,057	1,087	1,063	1,056	1,086
100–50	1,046	1,039	1,074	1,048	1,039	1,076	1,056	1,059	1,084	1,058	1,059	1,083
100–75	1,046	1,039	1,074	1,048	1,039	1,076	1,054	1,051	1,083	1,054	1,052	1,082
100–100	1,046	1,039	1,074	1,047	1,039	1,076	1,054	1,063	1,083	1,052	1,045	1,081

Hibridinių modulių pagaminama elektros energija  $E_{ocs}$ , sunaudojama siurblių.

13 lentelė. Hibridinių modulių pagaminama elektros energija

K–S	$E_{ocs}$ , kWh			
	Variantas 1	Variantas 2	Variantas 3	Variantas 4
23–50	225,00	129,00	174,00	268,00
23–75	225,00	129,00	177,00	271,00
23–100	225,00	130,00	182,00	275,00
45–50	231,00	122,00	175,00	275,00
45–75	231,00	122,00	175,00	276,00
45–100	231,00	105,00	152,00	276,00
68–50	235,00	126,00	180,00	270,00
68–75	235,00	119,00	167,00	272,00
68–100	235,00	119,00	168,00	274,00
91–50	237,00	122,00	169,00	266,00
91–75	238,00	122,00	171,00	268,00
91–100	238,00	127,00	181,00	270,00
113–50	236,00	124,00	170,00	263,00
113–75	237,00	124,00	171,00	265,00
113–100	238,00	130,00	183,00	266,00

Likusi, iš tinklo įimama elektros energijos dalis  $E_{feg}$ .

14 lentelė. Likusi, iš tinklo įimama elektros energijos dalis

K–S	$E_{feg}$ , kWh			
	Variantas 1	Variantas 2	Variantas 3	Variantas 4
23–50	15,20	17,50	40,70	36,90
23–75	15,20	17,80	41,50	35,50
23–100	15,20	21,30	52,80	42,80
45–50	14,30	8,80	37,00	36,60
45–75	14,40	9,00	46,10	45,40
45–100	14,40	4,20	45,20	49,50
68–50	14,00	10,40	46,60	41,90
68–75	14,30	7,10	47,90	49,30
68–100	14,30	7,30	51,20	52,30
91–50	11,80	7,80	42,80	43,60
91–75	11,80	8,70	49,90	50,90
91–100	12,30	13,30	58,30	52,90
113–50	11,50	8,60	47,30	47,90
113–75	11,10	9,20	51,50	52,20
113–100	10,80	17,50	59,10	52,00

Hibridinių modulių visa pagaminama nuolatinės srovės elektros energija  $Q_{inv}$ .

15 lentelė. Hibridinių modulių visa pagaminama nuolatinės srovės elektros energija

K–S	$Q_{inv}$ , MWh			
	Variantas 1	Variantas 2	Variantas 3	Variantas 4
23–50	5,398	5,352	5,325	5,375
23–75	5,398	5,356	5,333	5,376
23–100	5,398	5,365	5,342	5,377
45–50	10,541	10,403	10,298	10,453
45–75	10,541	10,421	10,330	10,470
45–100	10,541	10,468	10,393	10,479
68–50	16,011	15,774	15,612	15,796
68–75	16,012	15,784	15,680	15,857
68–100	16,012	15,798	15,710	15,885
91–50	21,396	21,185	20,938	21,055
91–75	21,419	21,242	21,036	21,161
91–100	21,426	21,235	21,071	21,204
113–50	26,503	26,298	25,995	26,105
113–75	26,576	26,365	26,109	26,233
113–100	26,607	26,362	26,118	26,289

Į elektros tinklą tiekama elektros energija  $E_{teg}$ .

16 lentelė. Į elektros tinklą tiekama elektros energija

K–S	$E_{teg}$ , MWh			
	Variantas 1	Variantas 2	Variantas 3	Variantas 4
23–50	5,173	5,223	5,150	5,107
23–75	5,173	5,227	5,156	5,105
23–100	5,173	5,235	5,161	5,102
45–50	10,310	10,281	10,122	10,179
45–75	10,310	10,298	10,155	10,194
45–100	10,310	10,362	10,242	10,202
68–50	15,776	15,648	15,432	15,526
68–75	15,777	15,665	15,513	15,585
68–100	15,777	15,679	15,542	15,612
91–50	21,159	21,064	20,769	20,789
91–75	21,181	21,119	20,865	20,893
91–100	21,188	21,108	20,889	20,934
113–50	26,267	26,174	25,826	25,842
113–75	26,339	26,241	25,938	25,969
113–100	26,369	26,232	25,935	26,023

Toliau ekonominiai dydžiai. Sistemų komponentų kainos.

17 lentelė. Sistemų komponentų kainos

Sistemų komponentų kainos					
Kolektorių kiekis, vnt	20	40	60	80	100
PVT modulių kiekis, vnt	23	45	68	91	113
Sistemos dalis	Kaina, Eur				
Plokštelių kolektorių laukas (įskaitant rėmus ir montavimą)	8660,00	17320,00	25980,00	34640,00	43300,00

17 lentelės tęsinys

Vakuuminių vamzdžių kolektorių laukas (įskaitant rėmus ir montavimą)	10820,00	21640,00	32460,00	43280,00	54100,00
PVT modulių laukas (įskaitant rėmus ir montavimą)	18871,50	36922,50	55794,00	74665,50	92716,50
Vamzdynai (kolektorių lauko)	805,17	1610,33	2415,50	3220,66	4025,83
PVT Vamzdynai (kolektorių lauko)	925,94	1811,62	2737,56	3663,50	4549,18
Vamzdynai (kiti)	357,85				
Projektas	2129,21				
PVT Projektas	3193,82				
Akumuliacinė talpa 50 l/m <sup>2</sup>	1170,00	2340,00	3510,00	4680,00	5850,00
Akumuliacinė talpa 75 l/m <sup>2</sup>	1755,00	3510,00	5265,00	7020,00	8775,00
Akumuliacinė talpa 100 l/m <sup>2</sup>	2340,00	4680,00	7020,00	9360,00	11700,00
Akumuliacinė talpa su vidiniu šilumokaičiu 50 l/m <sup>2</sup>	1458,00	2916,00	4374,00	5832,00	7290,00
Akumuliacinė talpa su vidiniu šilumokaičiu 75 l/m <sup>2</sup>	2187,00	4374,00	6561,00	8748,00	10935,00
Akumuliacinė talpa su vidiniu šilumokaičiu 100 l/m <sup>2</sup>	2916,00	5832,00	8748,00	11664,00	14580,00
Saulės kontūro šilumokaitis	525,60	1056,60	1580,40	2086,20	2593,80
PVT Saulės kontūro šilumokaitis	342,00	658,80	984,60	1294,20	1575,00
Apkrovos kontūro šilumokaitis	574,20	815,40	932,40	1227,60	1243,80
PVT Apkrovos kontūro šilumokaitis	315,00	464,40	565,20	597,60	626,40
Saulės kontūro valdiklis	805,17				
Apkrovos kontūro valdiklis	161,03				
<b>Kitos išlaidos, var.-l/m<sup>2</sup></b>	<b>Plokšteliniai kolektoriai, Eur</b>				
1–50	875,01	1562,62	2249,83	2936,01	3622,29
1–75	908,36	1616,41	2325,14	3032,79	3740,54
1–100	941,71	1683,11	2425,20	3166,20	3907,31
2–50	861,46	1522,30	2184,24	2846,12	3508,00
2–75	903,02	1605,43	2308,93	3012,37	3715,81
2–100	944,59	1688,55	2433,61	3178,61	3923,62
3–50	903,38	1577,97	2246,58	2925,29	3588,09
3–75	944,94	1661,10	2371,27	3091,54	3795,91
3–100	986,50	1744,22	2495,95	3257,78	4003,72
4–50	916,92	1605,37	2287,42	2978,55	3653,88
4–75	950,28	1672,08	2387,48	3111,96	3820,64
4–100	983,63	1738,78	2487,54	3245,37	3987,40
<b>Kitos išlaidos, var.-l/m<sup>2</sup></b>	<b>Vakuuminių vamzdžių kolektoriai, Eur</b>				
1–50	1010,88	1834,36	2657,44	3479,49	4301,64
1–75	1038,13	1878,19	2717,82	3556,36	4395,01
1–100	1071,49	1944,90	2817,88	3689,77	4561,77
2–50	991,24	1784,09	2576,92	3369,69	4162,47
2–75	1032,80	1867,21	2701,61	3535,94	4370,28
2–100	1074,36	1950,34	2826,29	3702,19	4578,09
3–50	1033,15	1839,76	2639,26	3448,86	4242,56
3–75	1074,72	1922,88	2763,95	3615,11	4450,37
3–100	1116,28	2006,01	2888,63	3781,36	4658,18
4–50	1046,70	1867,16	2680,10	3502,12	4308,34
4–75	1080,05	1933,86	2780,16	3635,53	4475,10
4–100	1113,40	2000,57	2880,22	3768,94	4641,87
<b>Kitos išlaidos, var.-l/m<sup>2</sup></b>	<b>PVT moduliai, Eur</b>				
1–50	1609,57	2913,87	4274,12	5633,45	6935,69
1–75	1623,54	2929,24	4289,25	5648,28	6951,80



17 lentelės tęsinys

1–100	1656,89	2995,95	4389,30	5781,68	7118,56
2–50	1587,11	2857,82	4182,31	5506,76	6777,34
2–75	1628,67	2940,94	4307,00	5673,01	6985,15
2–100	1670,23	3024,06	4431,69	5839,26	7192,96
3–50	1614,25	2893,47	4223,72	5550,01	6822,24
3–75	1655,81	2976,60	4348,40	5716,26	7030,05
3–100	1697,37	3059,72	4473,09	5882,51	7237,86
4–50	1617,32	2898,19	4230,59	5558,12	6829,93
4–75	1650,68	2964,90	4330,65	5691,53	6996,69
4–100	1684,03	3031,60	4430,71	5824,94	7163,46

Visa sistemos kaina  $I_{inv}$ , jei nėra paramos (skyriuje 4.3 priimta 50 % parama, lygi šios lentelės reikšmių pusei).

18 lentelė. Visa sistemos kaina, jei nėra paramos

K–S	$I_{inv}$ , tūkst. Eur											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	15,33	17,62	27,89	15,08	17,37	27,82	15,85	18,14	28,32	16,11	18,39	28,38
20–75	15,95	18,24	28,49	15,85	18,14	28,59	16,62	18,91	29,09	16,72	19,01	28,99
20–100	16,56	18,85	29,11	16,62	18,91	29,36	17,40	19,68	29,86	17,34	19,63	29,61
40–50	27,18	31,77	50,21	26,66	31,24	50,07	27,69	32,27	50,73	28,20	32,78	50,82
40–75	28,41	32,99	51,39	28,20	32,78	51,61	29,23	33,82	52,27	29,44	34,02	52,06
40–100	29,64	34,22	52,63	29,74	34,32	53,15	30,78	35,36	53,81	30,67	35,26	53,29
60–50	39,03	45,92	73,48	38,25	45,12	73,27	39,40	46,27	74,03	40,16	47,03	74,16
60–75	40,86	47,73	75,25	40,56	47,43	75,58	41,71	48,59	76,35	42,01	48,89	76,02
60–100	42,71	49,59	77,10	42,87	49,74	77,89	44,03	50,90	78,66	43,87	50,74	77,87
80–50	50,86	60,04	96,73	49,83	58,99	96,46	51,30	60,46	97,26	52,29	61,45	97,41
80–75	53,29	62,46	99,09	52,91	62,08	99,54	54,38	63,54	100,35	54,76	63,92	99,89
80–100	55,77	64,93	101,56	56,00	65,16	102,63	57,46	66,63	103,43	57,23	66,40	102,36
100–50	62,68	74,16	119,01	61,42	72,87	118,72	62,90	74,36	119,55	64,12	75,58	119,69
100–75	65,73	77,18	121,95	65,27	76,72	122,57	66,75	78,21	123,40	67,21	78,67	122,78
100–100	68,82	80,27	125,04	69,12	80,58	126,42	70,61	82,06	127,25	70,30	81,76	125,87

Visa sistemos parama  $I_{sub}$ .

19 lentelė. Visa sistemos parama

K–S	$I_{sub}$ , tūkst. Eur											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	7,66	8,81	13,95	7,54	8,68	13,91	7,93	9,07	14,16	8,05	9,20	14,19
20–75	7,97	9,12	14,25	7,92	9,07	14,29	8,31	9,46	14,54	8,36	9,51	14,50
20–100	8,28	9,43	14,55	8,31	9,45	14,68	8,70	9,84	14,93	8,67	9,82	14,81
40–50	13,59	15,89	25,10	13,33	15,62	25,04	13,85	16,14	25,37	14,10	16,39	25,41
40–75	14,20	16,49	25,70	14,10	16,39	25,81	14,62	16,91	26,14	14,72	17,01	26,03
40–100	14,82	17,11	26,32	14,87	17,16	26,58	15,39	17,68	26,91	15,34	17,63	26,65

19 lentelės tęsinys

60–50	19,51	22,96	36,74	19,12	22,56	36,63	19,70	23,14	37,02	20,08	23,52	37,08
60–75	20,43	23,87	37,62	20,28	23,72	37,79	20,86	24,29	38,17	21,01	24,44	38,01
60–100	21,36	24,79	38,55	21,43	24,87	38,94	22,01	25,45	39,33	21,93	25,37	38,94
80–50	25,43	30,02	48,37	24,92	29,50	48,23	25,65	30,23	48,63	26,14	30,72	48,71
80–75	26,65	31,23	49,54	26,46	31,04	49,77	27,19	31,77	50,17	27,38	31,96	49,94
80–100	27,88	32,46	50,78	28,00	32,58	51,31	28,73	33,31	51,71	28,62	33,20	51,18
100–50	31,34	37,08	59,50	30,71	36,44	59,36	31,45	37,18	59,77	32,06	37,79	59,85
100–75	32,86	38,59	60,98	32,63	38,36	61,28	33,38	39,10	61,70	33,61	39,33	61,39
100–100	34,41	40,14	62,52	34,56	40,29	63,21	35,30	41,03	63,63	35,15	40,88	62,94

Metinės sistemos eksploatacijos (išskyrus elektros sąnaudas) ir remonto išlaidos  $I_{eks}$ .

20 lentelė. Metinės sistemos eksploatacijos (išskyrus elektros sąnaudas) ir remonto išlaidos

K–S	$I_{eks}, \text{Eur}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	153,3	176,2	278,9	150,8	173,7	278,2	158,5	181,4	283,2	161,1	183,9	283,8
20–75	159,5	182,4	284,9	158,5	181,4	285,9	166,2	189,1	290,9	167,2	190,1	289,9
20–100	165,6	188,5	291,1	166,2	189,1	293,6	174,0	196,8	298,6	173,4	196,3	296,1
40–50	271,8	317,7	502,1	266,6	312,4	500,7	276,9	322,7	507,3	282,0	327,8	508,2
40–75	284,1	329,9	513,9	282,0	327,8	516,1	292,3	338,2	522,7	294,4	340,2	520,6
40–100	296,4	342,2	526,3	297,4	343,2	531,5	307,8	353,6	538,1	306,7	352,6	532,9
60–50	390,3	459,2	734,8	382,5	451,2	732,7	394,0	462,7	740,3	401,6	470,3	741,6
60–75	408,6	477,3	752,5	405,6	474,3	755,8	417,1	485,9	763,5	420,1	488,9	760,2
60–100	427,1	495,9	771,0	428,7	497,4	778,9	440,3	509,0	786,6	438,7	507,4	778,7
80–50	508,6	600,4	967,3	498,3	589,9	964,6	513,0	604,6	972,6	522,9	614,5	974,1
80–75	532,9	624,6	990,9	529,1	620,8	995,4	543,8	635,4	1003,5	547,6	639,2	998,9
80–100	557,7	649,3	1015,6	560,0	651,6	1026,3	574,6	666,3	1034,3	572,3	664,0	1023,6
100–50	626,8	741,6	1190,1	614,2	728,7	1187,2	629,0	743,6	1195,5	641,2	755,8	1196,9
100–75	657,3	771,8	1219,5	652,7	767,2	1225,7	667,5	782,1	1234,0	672,1	786,7	1227,8
100–100	688,2	802,7	1250,4	691,2	805,8	1264,2	706,1	820,6	1272,5	703,0	817,6	1258,7

Sistemos kainos ir darbinio ploto santykis  $I_{inv}/A_{eff}$ , jei nėra paramos.

21 lentelė. Sistemos kainos ir darbinio ploto santykis, jei nėra paramos

K–S	$I_{inv}/A_{eff}, \text{Eur}/\text{m}^2$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	425,8	489,6	762,7	418,8	482,4	760,6	440,4	504,0	774,4	447,4	511,0	775,9
20–75	443,0	506,6	779,1	440,2	503,8	781,7	461,8	525,4	795,4	464,5	528,1	792,8
20–100	460,1	523,7	796,0	461,6	525,2	802,7	483,2	546,8	816,5	481,7	545,3	809,7
40–50	377,5	441,3	701,7	370,3	433,9	699,8	384,6	448,3	709,0	391,7	455,3	710,3
40–75	394,5	458,2	718,3	391,7	455,3	721,3	406,0	469,7	730,6	408,9	472,5	727,5
40–100	411,7	475,3	735,6	413,1	476,7	742,9	427,4	491,1	752,1	426,0	489,7	744,8
60–50	361,4	425,1	679,6	354,1	417,8	677,6	364,8	428,5	684,7	371,8	435,5	685,9

21 lentelės tęsinys

60–75	378,3	442,0	696,0	375,5	439,2	699,0	386,2	449,9	706,1	389,0	452,7	703,1
60–100	395,5	459,1	713,1	396,9	460,6	720,4	407,6	471,3	727,5	406,2	469,8	720,2
80–50	353,2	416,9	668,5	346,0	409,7	666,7	356,2	419,9	672,2	363,1	426,7	673,3
80–75	370,1	433,7	684,8	367,5	431,1	688,0	377,6	441,3	693,5	380,3	443,9	690,4
80–100	387,3	450,9	701,9	388,9	452,5	709,3	399,1	462,7	714,8	397,5	461,1	707,4
100–50	348,2	412,0	662,4	341,2	404,8	660,7	349,4	413,1	665,4	356,2	419,9	666,2
100–75	365,2	428,8	678,7	362,6	426,2	682,2	370,9	434,5	686,8	373,4	437,0	683,4
100–100	382,3	446,0	696,0	384,0	447,6	703,6	392,3	455,9	708,3	390,6	454,2	700,6

Sistemos kainos ir darbinio ploto santykis  $I_{inv}/A_{eff}$ , gavus 50 % paramą.

22 lentelė. Sistemos kainos ir darbinio ploto santykis, gavus 50% paramą

K–S	$I_{inv}/A_{eff}$ , Eur/m <sup>2</sup>											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	212,9	244,8	381,3	209,4	241,2	380,3	220,2	252,0	387,2	223,7	255,5	388,0
20–75	221,5	253,3	389,5	220,1	251,9	390,8	230,9	262,7	397,7	232,3	264,1	396,4
20–100	230,1	261,9	398,0	230,8	262,6	401,4	241,6	273,4	408,3	240,9	272,7	404,9
40–50	188,8	220,6	350,9	185,1	217,0	349,9	192,3	224,1	354,5	195,8	227,7	355,1
40–75	197,3	229,1	359,1	195,8	227,7	360,7	203,0	234,8	365,3	204,4	236,2	363,8
40–100	205,8	237,7	367,8	206,5	238,4	371,4	213,7	245,5	376,1	213,0	244,8	372,4
60–50	180,7	212,6	339,8	177,1	208,9	338,8	182,4	214,2	342,4	185,9	217,7	343,0
60–75	189,2	221,0	348,0	187,8	219,6	349,5	193,1	224,9	353,1	194,5	226,3	351,5
60–100	197,7	229,6	356,6	198,5	230,3	360,2	203,8	235,6	363,7	203,1	234,9	360,1
80–50	176,6	208,5	334,3	173,0	204,8	333,3	178,1	209,9	336,1	181,5	213,4	336,6
80–75	185,0	216,9	342,4	183,7	215,5	344,0	188,8	220,6	346,8	190,1	222,0	345,2
80–100	193,6	225,4	351,0	194,4	226,2	354,6	199,5	231,3	357,4	198,7	230,5	353,7
100–50	174,1	206,0	331,2	170,6	202,4	330,4	174,7	206,5	332,7	178,1	209,9	333,1
100–75	182,6	214,4	339,4	181,3	213,1	341,1	185,4	217,2	343,4	186,7	218,5	341,7
100–100	191,2	223,0	348,0	192,0	223,8	351,8	196,1	227,9	354,1	195,3	227,1	350,3

Vidinė gražos norma po 25 metų IRR.

23 lentelė. Vidinė gražos norma po 25 metų

K–S	IRR, %											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	10,60	10,27	3,73	10,39	10,31	3,31	9,20	9,24	2,71	9,37	9,23	3,05
20–75	9,96	9,72	3,46	9,60	9,63	2,98	8,48	8,61	2,39	8,77	8,70	2,77
20–100	9,35	9,19	3,19	9,00	9,00	2,73	7,89	8,04	2,14	8,61	8,20	2,51
40–50	13,06	12,19	4,87	13,12	12,28	4,40	11,30	11,01	3,21	11,49	10,86	3,80
40–75	12,27	11,54	4,56	12,10	11,45	4,04	10,48	10,24	2,92	10,84	10,30	3,57
40–100	11,52	10,91	4,25	10,96	10,62	3,73	11,60	9,40	2,63	10,21	9,76	3,32
60–50	13,95	12,86	5,27	13,72	12,88	4,64	11,45	11,37	3,27	11,81	11,20	3,75
60–75	13,09	12,17	4,96	12,36	12,13	4,22	10,45	10,60	2,99	11,32	10,65	3,63

23 lentelēs tēsinys

60–100	12,29	11,51	4,64	11,43	11,32	3,86	9,69	9,91	2,72	10,73	10,14	3,44
80–50	14,14	12,98	5,30	13,82	13,18	4,87	10,84	9,64	3,23	11,08	10,09	3,51
80–75	13,30	12,35	5,02	12,79	12,30	4,52	10,56	10,51	3,07	11,14	10,61	3,46
80–100	12,49	11,71	4,72	11,86	11,53	4,17	10,00	9,88	2,86	10,58	10,06	3,29
100–50	14,15	12,97	5,15	14,08	13,21	4,76	10,91	7,16	3,04	10,50	6,94	3,30
100–75	13,36	12,35	4,91	13,01	12,33	4,41	10,62	8,65	2,89	10,62	8,39	3,26
100–100	12,59	11,73	4,64	12,02	11,54	4,09	9,93	4,61	2,60	10,42	9,90	3,08

Grynoji dabartinē vērtē po 25 metų NPV.

24 lentelē. Grynoji dabartinē vērtē po 25 metų

K–S	NPV, tūkst. Eur											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	2,40	2,49	-3,63	2,21	2,48	-4,05	1,48	1,72	-4,73	1,62	1,74	-4,40
20–75	2,02	2,12	-3,99	1,76	2,04	-4,51	1,02	1,27	-5,19	1,24	1,35	-4,79
20–100	1,65	1,75	-4,36	1,40	1,59	-4,89	0,63	0,83	-5,57	0,86	0,97	-5,15
40–50	7,36	7,30	-4,39	7,29	7,30	-5,28	5,22	5,65	-7,57	5,56	5,51	-6,49
40–75	6,63	6,57	-5,10	6,36	6,40	-6,14	4,40	4,73	-8,33	4,91	4,85	-7,09
40–100	5,88	5,83	-5,85	5,13	5,38	-6,93	6,22	3,61	-9,13	4,24	4,17	-7,74
60–50	12,21	11,99	-5,26	11,56	11,83	-7,06	7,69	8,86	-10,89	8,50	8,65	-9,62
60–75	11,11	10,91	-6,31	9,64	10,76	-8,49	6,22	7,58	-12,00	7,95	7,74	-10,19
60–100	10,00	9,80	-7,43	8,34	9,41	-9,77	5,07	6,36	-13,10	7,12	6,86	-10,97
80–50	16,39	16,03	-6,82	15,29	16,30	-8,43	8,57	6,83	-14,46	9,31	8,17	-13,49
80–75	15,02	14,79	-8,07	13,65	14,58	-10,02	8,38	9,65	-15,49	9,91	10,01	-13,99
80–100	13,60	13,45	-9,45	11,98	12,95	-11,71	7,40	8,23	-16,71	8,88	8,75	-14,98
100–50	20,20	19,74	-9,12	19,61	20,25	-10,86	10,72	0,36	-18,57	8,40	-0,33	-17,48
100–75	18,72	18,29	-10,44	17,51	18,13	-12,86	10,47	5,39	-19,83	10,55	4,53	-18,11
100–100	17,08	16,72	-12,01	15,33	16,07	-14,80	8,87	-8,02	-21,74	10,41	10,17	-19,38

Metai, kada sistema atsiperka, t. y. grynoji dabartinē vērtē tampa didesnē už 0.

25 lentelē. Metai, kada sistema atsiperka

K–S	Atsīpirkimo laikotarpis, metai											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	14	14	–	14	14	–	17	17	–	16	17	–
20–75	15	15	–	16	16	–	19	18	–	18	18	–
20–100	15	17	–	17	17	–	21	20	–	20	20	–
40–50	11	12	–	11	11	–	13	13	–	12	13	–
40–75	11	12	–	12	12	–	14	14	–	13	14	–
40–100	12	13	–	13	14	–	12	16	–	14	15	–
60–50	10	11	–	10	11	–	12	13	–	12	13	–
60–75	11	12	–	11	12	–	14	14	–	13	14	–
60–100	11	12	–	12	13	–	15	15	–	14	15	–

25 lentelės tęsinys

80–50	10	11	–	10	10	–	13	16	–	13	15	–
80–75	10	11	–	11	11	–	14	14	–	13	14	–
80–100	11	12	–	12	12	–	15	15	–	14	15	–
100–50	10	11	–	10	10	–	13	25	–	15	–	–
100–75	10	11	–	11	11	–	14	18	–	14	19	–
100–100	11	12	–	12	12	–	15	–	–	14	15	–

Modeliavimo metu buvo priimta 50 % parama, o maksimaliai skiriama iki 80 % parama, kaip aprašyta skyriuje 4.3. Likusi paramos dalis gali tiesiogiai padidinti grynąją dabartinę vertę (nes priimta, kad parama suteikiama sistemos eksploatacijos pradžioje) iki  $NPV_{max}$ .

26 lentelė. Grynoji dabartinė vertė po 25 metų, gavus 80% paramą

K–S	NPV <sub>max</sub> , tūkst. Eur											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	6,99	7,78	4,73	6,73	7,69	4,29	6,23	7,16	3,77	6,45	7,25	4,11
20–75	6,81	7,59	4,55	6,51	7,48	4,07	6,01	6,95	3,54	6,26	7,06	3,91
20–100	6,62	7,41	4,37	6,39	7,26	3,92	5,85	6,74	3,39	6,06	6,86	3,73
40–50	15,51	16,83	10,67	15,29	16,68	9,74	13,53	15,33	7,65	14,02	15,34	8,75
40–75	15,15	16,47	10,31	14,82	16,24	9,34	13,17	14,87	7,35	13,75	15,05	8,53
40–100	14,78	16,09	9,94	14,05	15,68	9,01	15,45	14,22	7,02	13,44	14,75	8,25
60–50	23,92	25,77	16,78	23,03	25,36	14,92	19,51	22,74	11,32	20,55	22,76	12,62
60–75	23,37	25,23	16,26	21,80	24,99	14,19	18,73	22,16	10,90	20,55	22,41	12,62
60–100	22,81	24,68	15,71	21,20	24,33	13,59	18,28	21,63	10,49	20,28	22,09	12,39
80–50	31,64	34,04	22,20	30,24	34,00	20,51	23,96	24,97	14,72	25,00	26,60	15,74
80–75	31,01	33,53	21,66	29,52	33,20	19,84	24,70	28,71	14,61	26,34	29,19	15,98
80–100	30,33	32,93	21,02	28,78	32,50	19,08	24,64	28,22	14,31	26,05	28,67	15,72
100–50	39,01	41,99	26,58	38,04	42,11	24,76	29,59	22,67	17,29	27,64	22,34	18,43
100–75	38,44	41,44	26,14	37,09	41,14	23,91	30,49	28,85	17,19	30,72	28,13	18,72
100–100	37,73	40,80	25,50	36,06	40,24	23,13	30,05	16,59	16,43	31,50	34,70	18,38

Metai, kada sistema atsiperka, gavus 80 % paramą.

27 lentelė. Metai, kada sistema atsiperka, gavus 80 % paramą

K–S	Atsipirkimo laikotarpis, metai											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	4	4	8	4	4	9	5	5	9	5	5	9
20–75	4	5	8	5	5	9	5	5	10	5	5	9
20–100	5	5	9	5	5	9	5	5	10	5	5	10
40–50	4	4	7	4	4	7	4	4	9	4	4	8
40–75	4	4	7	4	4	8	4	4	9	4	4	8
40–100	4	4	8	4	4	8	4	5	10	4	5	9
60–50	3	4	7	3	4	7	4	4	9	4	4	8

27 lentelės tęsinys

60–75	4	4	7	4	4	8	4	4	9	4	4	8
60–100	4	4	7	4	4	8	5	4	9	4	4	8
80–50	3	4	7	3	4	7	4	5	9	4	4	8
80–75	4	4	7	4	4	7	4	4	9	4	4	8
80–100	4	4	7	4	4	8	4	4	9	4	4	9
100–50	3	4	7	3	4	7	4	6	9	4	6	9
100–75	4	4	7	4	4	7	4	5	9	4	5	9
100–100	4	4	7	4	4	8	4	7	10	4	4	9

Absoliutinis metinis pelnas po 25 metų (keičiasi tik elektrinė dalis)  $I_{abs}$ .

28 lentelė. Absoliutinis metinis pelnas po 25 metų

K–S	$I_{abs}, \text{Eur}$											
	Variantas 1			Variantas 2			Variantas 3			Variantas 4		
	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT	P	V	PVT
20–50	995,0	1117,9	1002,0	964,2	1104,4	956,5	930,2	1067,6	914,8	957,0	1081,6	949,9
20–75	988,9	1111,8	996,0	957,7	1098,7	949,7	923,2	1061,3	907,6	949,7	1074,1	942,5
20–100	982,7	1105,6	989,9	960,4	1092,4	950,1	922,3	1055,8	907,7	942,8	1066,7	936,8
40–50	2072,3	2293,3	2012,4	2039,4	2267,5	1918,2	1885,7	2155,3	1724,3	1945,0	2166,4	1835,4
40–75	2060,3	2281,2	2000,7	2024,1	2254,6	1909,1	1881,2	2140,3	1725,1	1942,1	2162,1	1837,2
40–100	2047,9	2268,8	1988,4	1978,3	2230,1	1906,8	2137,1	2106,1	1722,4	1936,5	2156,1	1834,7
60–50	3137,9	3457,2	3058,3	3034,6	3401,2	2870,7	2708,9	3164,5	2530,5	2827,0	3181,3	2661,3
60–75	3119,9	3440,1	3041,7	2959,0	3410,3	2843,4	2678,3	3153,0	2534,2	2864,1	3183,9	2696,9
60–100	3101,4	3422,1	3023,4	2944,6	3390,6	2830,3	2678,8	3146,7	2539,3	2873,7	3188,6	2711,5
80–50	4136,1	4555,1	4034,8	3977,1	4530,5	3862,9	3384,7	3665,7	3307,2	3506,9	3847,0	3410,8
80–75	4121,7	4552,2	4027,9	3966,9	4512,4	3857,4	3518,7	4097,0	3357,3	3688,4	4151,5	3483,0
80–100	4102,9	4541,6	4013,7	3954,7	4503,7	3843,0	3574,1	4109,4	3388,5	3709,0	4149,3	3506,8
100–50	5098,6	5620,5	4891,4	4977,4	5607,3	4705,2	4171,6	3713,1	3984,6	4002,3	3704,8	4099,6
100–75	5102,3	5626,2	4906,1	4959,9	5587,3	4697,9	4336,9	4400,9	4050,6	4368,1	4339,0	4189,6
100–100	5093,2	5624,1	4903,3	4934,5	5574,4	4696,6	4369,4	3264,7	4051,7	4506,9	5049,7	4216,6

Hibridinių modulių absoliutinis metinis pelnas po 1 metų  $I_{abs}$ . Skirtumas tarp  $I_{abs}$  po metų ir po 25 metų gautas dėl priimto hibridinių modulių elektrinės dalies senėjimo.

29 lentelė. Hibridinių modulių absoliutinis metinis pelnas po 1 metų

K–S	$I_{abs1}, \text{Eur}$			
	Variantas 1	Variantas 2	Variantas 3	Variantas 4
23–50	1029,31	984,16	942,06	976,89
23–75	1023,34	977,34	934,8	969,5
23–100	1017,22	977,76	935,0	963,8
45–50	2066,89	1972,58	1777,9	1889,2
45–75	2055,21	1963,53	1778,8	1891,1
45–100	2042,91	1961,59	1776,6	1888,7
68–50	3141,71	2953,43	2612,1	2743,4
68–75	3125,18	2926,31	2616,2	2779,4
68–100	3106,90	2913,21	2621,5	2794,1

29 lentelės tęsinys

91–50	4146,71	3974,34	3417,1	3520,8
91–75	4139,94	3969,17	3467,7	3593,5
91–100	4125,83	3954,65	3499,1	3617,6
113–50	5030,33	4843,66	4121,3	4236,3
113–75	5045,4	4836,74	4187,83	4326,97
113–100	5042,81	4835,32	4188,93	4354,22

Dėl hibridinių modulių senėjimo prarandama elektros energija po 25 metų (iš viso)  $E_{dpv}$ .

30 lentelė. Dėl hibridinių modulių senėjimo prarandama elektros energija po 25 metų (iš viso)

K–S	$E_{dpv}$ , kWh			
	Variantas 1	Variantas 2	Variantas 3	Variantas 4
23–50	263,54	261,27	259,94	262,39
23–75	263,54	261,46	260,33	262,43
23–100	263,53	261,9	260,8	262,5
45–50	514,6	507,9	502,7	510,3
45–75	514,6	508,7	504,3	511,1
45–100	514,6	511,0	507,4	511,5
68–50	781,6	770,1	762,1	771,1
68–75	781,7	770,5	765,5	774,1
68–100	781,7	771,2	766,9	775,5
91–50	1044,5	1034,2	1022,1	1027,9
91–75	1045,6	1037,0	1026,9	1033,0
91–100	1046,0	1036,6	1028,6	1035,1
113–50	1293,8	1283,8	1269,0	1274,4
113–75	1297,4	1287,1	1274,6	1280,7
113–100	1298,89	1286,93	1275,04	1283,34