



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Hibridinių saulės kolektorių analizė ir efektyvus panaudojimas plaukimo baseine

Magistro baigiamasis projektas

Modestas Stasytis

Projekto autorius

Doc. Rokas Valančius

Vadovas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Hibridinių saulės kolektorių analizė ir efektyvus panaudojimas plaukimo baseine

Magistro baigiamasis projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Modestas Stasytis

Projekto autorius

Doc. Rokas Valančius

Vadovas

Prof. Tadas Ždankus

Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Modestas Stasytis

Hibridinių saulės kolektorių analizė ir efektyvus panaudojimas plaukimo baseine

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Modestas Stasytis

Patvirtinta elektroniniu būdu



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: 6211EX006 Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):
HIBRIDINIŲ SAULĖS KOLEKTORIŲ ANALIZĖ IR EFEKTYVUS PANAUDOJIMAS
PLAUKIMO BASEINE

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanų potvarkiu Nr.: 2023 m. lapkričio 30 d. Nr. V25-09-28.

(lietuvių k.):
HIBRIDINIŲ SAULĖS KOLEKTORIŲ ANALIZĖ IR EFEKTYVUS PANAUDOJIMAS
PLAUKIMO BASEINE

(anglų k.):
ANALYSIS OF HYBRID SOLAR COLLECTORS AND EFFECTIVE UTILIZATION IN A
SWIMMING POOL

Pradiniai duomenys darbui:

Baigiamojo projekto dalys:	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	☐
Analitiniai tyrimai	☐
Skaitiniai tyrimai	☐
Ekonominė dalis	☐
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį):

Vadovas: Doc. Rokas Valančius
(indėlis _____ %) pareigos, vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu

Konsultantas: _____
(indėlis _____ %) pareigos, vardas, pavardė

Konsultantas: _____
(indėlis _____ %) pareigos, vardas, pavardė

Studentas: Modestas Stasytis
vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu

Stasytis, Modestas. Hibridinių saulės kolektorių analizė ir efektyvus panaudojimas plaukimo baseine. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rokas Valančius, Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų krypčių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Fotovoltinis modulis, saulės kolektorius, hibridinis saulės kolektorius.

Kaunas, 2024. 64 p.

Santrauka

Tiriamajame darbe siekiama palyginti saulės modulių, saulės kolektorių ir hibridinių saulės kolektorių panaudojimo galimybes plaukimo baseine. Nustatyti, kuris saulės energijos panaudojimo būdas būtų efektyviausias plaukimo baseino pastato energijos poreikiams tenkinti.

Darbe atliekama mokslinės literatūros analizė fotovoltinių modulių, saulės kolektorių ir hibridinių saulės kolektorių temomis, ieškoma būdų, kaip galima tikslingai palyginti šias sistemas. Tiriamojoje dalyje atliekami sistemų modeliavimai „Polysun“ programine įranga, naudojant realaus objekto, plaukimo baseino VŠĮ „Sveikatos oazė“, esančio Anykščiuose Ažupiečių g. 2 duomenis. Gauti duomenys analizuojami, palyginami ir padaromos išvados. Sukonstruotas ir aprašytas hibridinio saulės kolektoriaus testavimo stendas.

Stasytis, Modestas. Analysis of Hybrid Solar Collectors and Effective Utilization in a Swimming Pool. Master's Final Degree / supervisor assoc. prof. dr. Rokas Valančius, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences.

Keywords: Photovoltaic module, solar collector, hybrid solar collector.

Kaunas, 2024. 64.

Summary

The research aims to compare the possibilities of using solar modules, solar collectors, and hybrid solar collectors in a swimming pool. The goal is to determine which method of solar energy utilization would be most effective in meeting the energy needs of the swimming pool building.

The study involves a scientific literature analysis on the topics of photovoltaic modules, solar collectors, and hybrid solar collectors. Various methods of comparing these systems are explored. In the research section, system simulations are conducted using the "Polysun" software, utilizing data from a real object, the swimming pool facility of the Public Institution "Sveikatos oazė" located at Ažupiečių St. 2 in Anykščiai. The obtained data are analyzed, compared, and conclusions are drawn. Additionally, a testing stand for a hybrid solar collector is constructed and described.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas.....	10
Įvadas	11
1. Literatūros analizė	13
1.1. Fotovoltiniai saulės moduliai.....	13
1.1.1. Fotovoltinės elektrinės veikimo principas.....	13
1.1.2. Fotovoltinių elementų sandara.....	13
1.1.3. Saulės elektrinių veikimo tipai.....	14
1.2. Saulės kolektoriai.....	15
1.2.1. Saulės kolektorių veikimo principas	15
1.2.2. Saulės kolektorių panaudojimas.....	15
1.2.3. Saulės kolektorių tipai	16
1.3. Hibridiniai saulės kolektoriai.....	16
1.3.1. Hibridinių saulės modulių veikimo principas.....	16
1.3.2. Hibridinių saulės kolektorių klasifikavimas pagal sandarą	17
1.3.3. Hibridinio saulės kolektoriaus aušinimas	19
1.3.4. Bandymo metodikos.....	19
1.4. Sistemų palyginimas	20
1.4.1. Efektyvumas	20
1.4.2. Elektros ir šiluminės energijos kiekis.....	21
1.4.3. Investicijos	21
1.4.4. Ilgaamžiškumas.....	22
1.4.5. Ekologiškumas	23
1.4.6. Vietos sąlygos	23
1.4.7. Atsparumas aplinkos veiksniams	24
1.4.8. Estetika	24
1.4.9. Energijos poreikių užgarantavimas	24
1.4.10. Prieinamumas.....	24
1.4.11. Atsipirkimo laikotarpis.....	24
1.5. Hibridinių saulės kolektorių atlikti tyrimai	24
1.6. Hibridinių saulės kolektorių panaudojimas plaukimo baseine	25
1.6.1. Plaukimo baseinų energijos sąnaudų analizė.....	25
1.6.2. Panašių projektų analizė ir rezultatų apibendrinimas.....	26
1.7. Modeliavimo programos	26
1.7.1. „Polysun“.....	27
1.7.2. „GeoT*SOL“	27
1.8. Europos parama saulės elektrinėms įsirengti.....	27
1.9. Grėsmės	28
1.9.1. Galios sumažėjimas.....	28
1.9.2. Legionella bakterijos	28
2. Tyrimų metodologija.....	29
2.1. Tyrimo tikslingumas	29

2.2. Duomenų rinkimas	29
2.3. Tyrimo objektas	29
2.4. Saulės modulių montavimas	33
2.4.1. Saulės modulių orientacija.....	33
2.4.2. Atstumas tarp modulių eilių.....	33
2.5. Rezultatų apibendrinimas	34
2.5.1. Daugiakriterinio vertinimo metodas.....	35
3. Rezultatai ir diskusija	37
3.1. Sistemų modeliavimas.....	37
3.1.1. Modulių kiekio modeliavimas ant VŠĮ „Sveikatos oazė“ baseino laisvo stogo ploto.....	37
3.1.2. Modeliavimams naudoti moduliai ir jų pasirinkimas.....	40
3.1.3. Modulių ilgaamžiškumas.....	41
3.2. Modeliavimo rezultatai.....	41
3.2.1. Sumodeliuotų sistemų palyginimas pagal modulių kiekį ir efektyvų plotą.....	42
3.2.2. Sumodeliuotų sistemų palyginimas pagal pagaminamą energiją	43
3.2.3. Energijos poreikių plaukimo baseine padengimas.....	46
3.2.4. Pagaminamos energijos palyginimas pagal kainą.....	47
3.2.5. Sumodeliuotų sistemų palyginimas pagal išskiriamas CO2 emisijas	49
3.2.6. Saulės modulių kainos.....	50
3.3. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai	52
4. Hibridinio saulės kolektoriaus testavimo standas	55
5. Išvados	58
Literatūros sąrašas.....	59
Priedai	63
1 Sisteminis literatūros apžvalgos protokolas.....	63
2 Literatūros apžvalga atlikta naudojant PRISMA metodą.....	64

Lentelių sąrašas

1 lentelė. 5 efektyviausi saulės moduliai buitiniams vartotojams 2023 metais[16].....	20
2 lentelė. Populiariausių Lietuviškų internetinių svetainių, parduodančių saulės modulių, produktai su kainomis.....	21
3 lentelė. VŠĮ „Sveikatos oazė“ Anykščių baseinas užsakovo pateikti esamos situacijos duomenys prieš sumontuojant saulės kolektorių sistemą.....	29
4 lentelė. VŠĮ „Sveikatos oazė“ Anykščių baseinas energijos suvartojimo analizė pagal vartotojus	30
5 lentelė. Pagrindiniai šiluminės energijos vartotojai baseine	31
6 lentelė. Duomenys apie klimatinę ir geografinę objekto padėtį.....	31
7 lentelė. VŠĮ „Sveikatos oazė“ 2022 metų energinių resursų apskaitos duomenys.	32
8 lentelė. Saulės modulių palyginimui naudojami kriterijai	35
9 lentelė. Duomenys apie gamintojo suteikiamą garantiją ir gaminio nusidėvėjimą.....	41
10 lentelė. Metiniai visų sistemų pagaminamos energijos kiekiai:.....	44
11 lentelė. Energijos poreikių padengimas analizuojamam baseino pastatui.	47
12 lentelė. Skaičiavimai, kiek pinigų sutaupoma per metus, naudojant skirtingas saulės energijos sistemas.	47
13 lentelė. Modeliuojamų sistemų sutaupomų CO2 emisijų kiekiai:.....	49
14 lentelė. Modeliavimams naudojamų modulių orientacinės kainos.....	50
15 lentelė. Sistemos kainos projektuojamam baseinui:	50
16 lentelė. Saulės modulių atsipirkimo laikotarpis modeliuojamose situacijose.....	51
17 lentelė. Apskaičiuotų kriterijų reikšmingumų lentelė.....	52
18 lentelė. Alternatyvų reikšmės lyginamos su optimalia reikšme	53
19 lentelė. Sprendimo matrica.....	53
20 lentelė. Alternatyvų reitingavimas SAW metodu.....	54
21 lentelė. Sisteminis literatūros apžvalgos protokolas.....	63

Paveikslų sąrašas

1 pav. Saulės baterijos veikimo principinė schema [6]	13
2 pav. Saulės elektrinių veikimo tipai [6]	14
3 pav. Saulės kolektorių pajungimo į centralizuotą šilumos punktą schema [6]	15
4 pav. Pagrindiniai saulės kolektorių tipai [6]	16
5 pav. hibridinių saulės kolektorių klasifikacija [7]	17
6 pav. Baseino orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, bei turimas laisvas stogo plotas [36]	33
7 pav. Minimalaus atstumo apskaičiavimo funkcinė schema	34
8 pav. Modeliavimams naudojamų modulių galios palyginimas.....	40
9 pav. Modeliavimams naudojamų modulių efektyvumo palyginimas.....	40
10 pav. Saulės modulių kiekiai sistemose kiekvieno modeliavimo metu	42
11 pav. Sumodeliuotos sistemos efektyvus plotas kiekvieno modeliavimo metu	43
12 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai pirmoje modeliavimo situacijoje.....	44
13 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai antroje modeliavimo situacijoje	45
14 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai trečioje modeliavimo situacijoje.....	45
15 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai ketvirtoje modeliavimo situacijoje	46
16 pav. palyginimas kiek pinigų sutaupoma per metus, naudojant skirtingas saulės energijos sistemas.	48
17 pav. Modulių atsipirkimo laikotarpis skirtingose situacijose.....	52
18 pav. Laboratorijoje sukonstruotas hibridinio saulės kolektoriaus modulis.....	55
19 pav. Sonnex SNX-D54HND420M monokristalinis saulės modulis	56
20 pav. Hoymiles mikroinverteris HMS-800W-2T	56
21 pav. Hibridinio saulės kolektoriaus testavimo stendo schema.....	57
22 pav. Metodo grafinė išraiška	64

Ivadas

Temos aktualumas - sunku net pagalvoti, kad 2022 lapkričio 15 dieną žmonija perkopė 8 milijardų gyventojų skaičių. Toks spartus populiacijos didėjimas, labai sparčiai didina energijos poreikius. Ir pasaulis susiduria su situacija, kad kliautis vien iškastinio kuro energijos ištekliais nebegalima, nes jie ne tik vieną dieną baigsis, bet ir sukuria labai daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kurios spartina klimato kaitą ir daro nepataisomą žalą mūsų planetai. Tam kad išlaikytume savo gyvenimo kokybę tokiame pačiame lygyje tačiau sumažintume žalą aplinkai, esame priversti ieškoti alternatyvių energijos šaltinių. Būtent toks šaltinis ir yra saulės energija. Saulės galia Žemėje vienam kvadratiniam metrui vadinama saulės konstanta ir yra maždaug 1370 vatų kvadratiniam metrui (W/m^2). [1] Tai yra labai didelis energijos kiekis ir jei tik pavyktų jį visą surinkti ir panaudoti savo reikmėms, mes galėtume, stipriai sumažinti iškastinio kuro naudojimą.

Yra nustatyta kad daugiau nei 75 procentai Europos sąjungoje išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio susidaro gaminant ir naudojant energiją. Klimato kaita ir aplinkos būklės blogėjimas kelia egzistencinę grėsmę Europai ir pasauliui. Europos žaliasis kursas yra planas, kuris turi padėti įveikti šiuos iššūkius ir prisidėti prie to, kad ES taptų modernia, efektyviai išteklius naudojančia ir konkurencinga ekonomika, taip pat užtikrinti, kad iki 2050 metų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis būtų lygus nuliui ir ekonomikos augimas būtų atsietas nuo išteklių naudojimo. Europos Komisija jau priėmė pasiūlymų rinkinį, kuriuo siekiama ES klimato, energetikos, transporto ir mokesčių politiką pertvarkyti taip, kad būtų pasiektas tikslas iki 2030 m. grynąjį išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti bent 55 proc., palyginti su 1990 m. lygiu. [2] Kadangi Lietuva priklauso Europos sąjungai, ji taip pat privalo laikytis Europos sąjungos žaliojo kurso programos ir prisidėti prie jos įgyvendinimo. Europos žaliajame kurse dėmesys sutelkiamas į 3 pagrindinius perėjimo prie švarios energijos principus, kurie padės sumažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir pagerinti mūsų piliečių gyvenimo kokybę:

- Užtikrinti saugų įperkamos energijos tiekimą Europos Sąjungoje,
- Sukurti visiškai integruotą ir tarpusavyje sujungtą skaitmeninę ES energijos rinką,
- Teikti pirmenybę efektyviam energijos vartojimui, gerinti mūsų pastatų energinį naudingumą ir plėtoti elektros energijos sektorių, grindžiamą daugiausia atsinaujinančiais energijos ištekliais.[2]

Europos žaliojo kurso planas neišvengiamai palies ir atsinaujinančių energijos šaltinių sektorių, įskaitant ir saulės energetiką. Šiuo metu Europos komisija siūlo privalomą atsinaujinančiosios energijos dalį ES energijos rūšių derinyje padidinti iki 40 proc., mažinti energijos suvartojimą, didinti energijos vartojimo efektyvumą, reikalauti, kad valstybės narės kasmet renovuotų bent 3 proc. bendro visų viešųjų pastatų patalpų ploto ir nustatyti tikslą pastatuose naudoti 49 proc. atsinaujinančiosios energijos iki 2030 m., taip pat reikalauti, kad valstybės narės atsinaujinančiosios energijos naudojimą šildymui ir vėsinimui kasmet didintų 1,1 procentinio punkto iki 2030 m. [2] Todėl artimiausiu metu saulės energijos panaudojimas Europos sąjungos šalyse turėtų tik didėti ir ši sritis vis populiarėti. 2019 m. pasaulyje buvo pridėtas rekordinis 200 GW atsinaujinančiosios energijos pajėgumas. Remiantis naujausia REN21 ataskaita [3], atsinaujinanti energija sudarė 27 % pasaulio elektros suvartojimo ir daugiau nei 18 % viso pasaulio energijos suvartojimo. Saulės energija tebėra nedidelė atsinaujinančiosios energijos dalis pasaulyje (mažiau nei 2%), nepaisant jos spartaus augimo, palyginus su kitais atsinaujinančiosios energijos šaltiniais (saulės kolektorių sistemų naudojimas vidutiniškai augo 8% per metus nuo 2010 metų, o fotovoltinių sistemų naudojimas augo 37% per metus nuo 2010 metų)[4]

2021 metais didmeninės elektros kainos Europos Sąjungoje išaugo. Tą nulėmė tokie veiksniai kaip pasibaigusi pandemija, po kurios ekonomika pradėjo atsigavinėti taip pat prasidėjęs karinis konfliktas Ukrainoje, dėl kurio suprastėjo politiniai santykiai tarp Europos sąjungos šalių ir Rusijos. Kadangi gamtinės dujos ir anglis yra vieni iš pagrindinių elektros energijos gamybos šaltinių Europos Sąjungoje ir sudaro maždaug trečdalį 2021 m. produkcijos, elektros kainos labai priklauso nuo šių žaliavų kainos. O šių gamtinių dujų Europa labai daug importuoja iš Rusijos. [5] Susiklosčiusią situaciją dar labiau apsunkino ir rekordiškai karšta vasara, kuri ženkliai padidino elektros energijos paklausą. Pasirodė, kad daugelis Europos Sąjungos šalių nėra pasiruošusios pačios apsirūpinti elektros energija ir nelabai turi alternatyvių energijos šaltinių. Tam kad tokie scenarijai nepasikartotų Europos Sąjunga turėtų imtis veiksmų, o saulės energijos panaudojimas gali padėti užtikrinti energetinę nepriklausomybę.

Saulės energijos panaudojimo galimybės yra labai plačios, nes ją galima naudoti ir elektros energijos ir karšto vandens ruošimui. Tai tik dar labiau didina šios atsinaujinančios energijos rūšies patrauklumą ne tik tarp pramoninių, bet ir tarp buitinių vartotojų, nes sistema nėra labai brangi ir yra ilgaamžė, bei nereikalaujanti daug priežiūros.

Šio darbo tikslas – palyginti saulės modulių, saulės kolektorių ir hibridinių saulės kolektorių panaudojimo galimybes plaukimo baseine. Nustatyti, kuris saulės energijos panaudojimo būdas būtų efektyviausias plaukimo baseino pastato energijos poreikiams tenkinti.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros analizę saulės panaudojimo, saulės elektrinių, saulės kolektorių ir hibridinių saulės kolektorių temomis.
2. Atlikti skirtingų sistemų modeliavimus kompiuterine programa.
3. Sukurti hibridinio saulės kolektoriaus testavimo stendą.
4. Atlikti surinktų duomenų analizę, nustatyti, kuri saulės energijos panaudojimo sistema būtų labiausiai tinkama naudoti plaukimo baseino pastato energijos poreikiams tenkinti.

Magistro baigiamojo projekto naujumas – projekte yra nagrinėjami hibridiniai saulės kolektoriai. Ši technologija dar nėra plačiai išplitusi rinkoje ir atliekant literatūros analizę sunku surasti šaltinių apie jos praktinį panaudojimą ir bandymo metodikas.

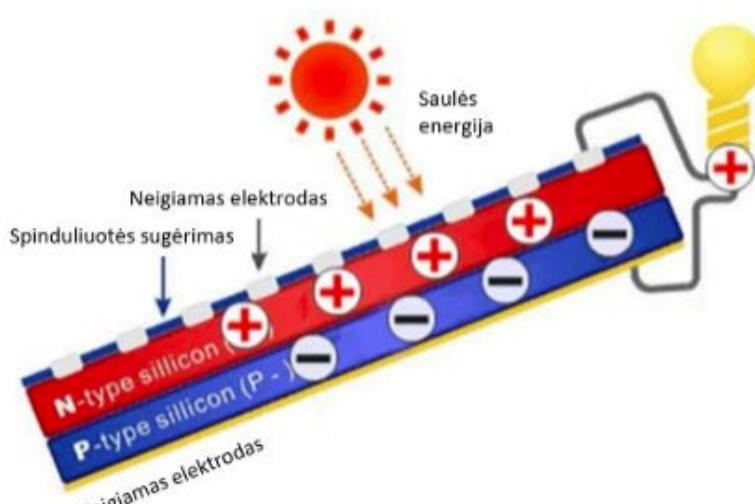
Magistro baigiamojo projekto praktinis pritaikomumas – projekte analizuojama hibridinių saulės kolektorių sistema. Tiriamuoju atveju hibridiniai saulės kolektoriai modeliuojami plaukimo baseinui, kuriame nereikia užtikrinti aukštų vandens temperatūrų. Darbe atliekama palyginamoji analizė fotovoltinių modulių, saulės kolektorių ir hibridinių saulės kolektorių. Darbas gali būti naudingas parenkant analogiškas sistemas panašios paskirties pastatuose.

1. Literatūros analizė

1.1. Fotovoltiniai saulės moduliai

1.1.1. Fotovoltinės elektrinės veikimo principas

Saulės elementas – puslaidininkis įtaisas, saulės spinduliuotės energiją paverčiantis į elektros energiją. Saulės elemento veikimas grindžiamas elektromagnetinės spinduliuotės ir medžiagos sąveikoje vykstančiu fotoelektriniu reiškiniu. Fotovoltinėse elektrinėse absorbuojama saulės šviesa sukelia kryptingą elektronų judėjimą. Saulės šviesa, krentanti į saulės elementą, jonizuoja silicio atomus (tai vyksta net ir apsiniaukusiu oru). Šie, veikiami p-n jungties potencialų skirtumo, poliarizuojasi į dvi priešingo krūvio zonas. Laisvieji elektronai kaupiasi n- sluoksnyje, prie viršutinio kontakto, kuris gaminamas į silicį įmaišius šiek tiek fosforo priemaišų, atomai, netekę elektrono kaupiasi p- sluoksnyje, prie apatinės kontaktinės plokštelės, kuris gaunamas į silicį įmaišius boro priemaišų. Nors abi medžiagos atskirai yra elektriškai neutralios šiuos sluoksnius sujungus išorine grandine laisvieji elektronai iš n- sluoksniu keliauja į p-silicio sluoksnį ir ten užpildo trūkstamų elektronų vietas, išlaisvindami savo krūvio energiją. Elektronų srautas išorinėje grandinėje ir yra pagaminta elektros srovė. [6]



1 pav. Saulės baterijos veikimo principinė schema [6]

1.1.2. Fotovoltinių elementų sandara

Daugiau nei 98% visų rinkos saulės elementų gamybos pagrindinė medžiaga yra silicis (Si) – „Crystalline silicon cells”. Tai – antras pagal gausumą Žemės elementas. Kristalų pavidalo silicio randama smėlyje, smiltainyje bei granite. Dažnai jis sudaro ir nemažą molio ar skalūnų dalį. Randama ir kreidoje, klintyse ir kitose uolienose bei dirvoje. „Thin layer cells” arba plonų celių elementai gaminami siliciu padengiant stiklą ar kitą skaidrų paviršių. Jų gamybos procesas yra pats pigiausias, bet efektyvumo lygis žemiausias. Dažniausiai naudojami tik mažos galios įrenginiuose (laikrodžiuose, kišeniniuose kalkuliatoriuose). [6]

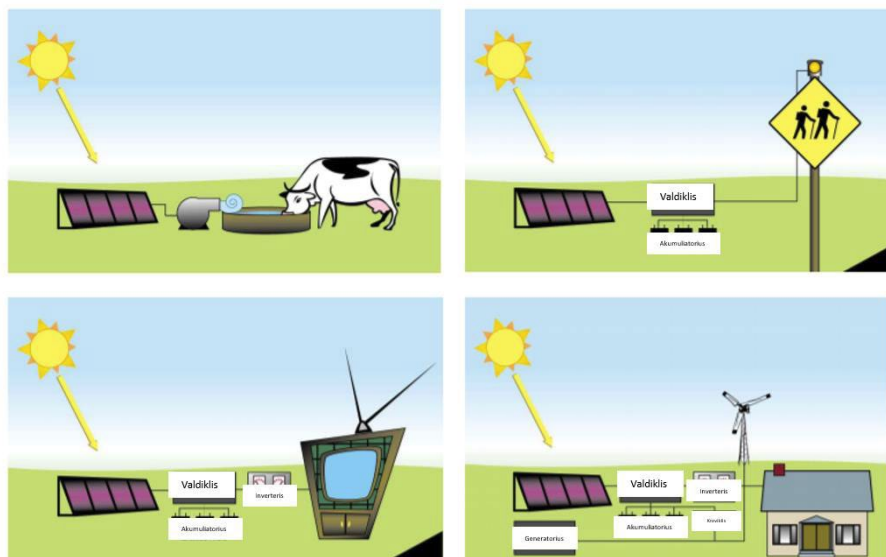
Kad ir kokie būtų saulės moduliai, jie visi yra pagaminti iš to paties silicio. Tik silicis kol tampa saulės moduliu turi pereiti eilę technologinių procedūrų. Iš pradžių jis yra valomas, kol tūrio vienetu liks 99% silicio. Vėliau jis yra lydomas specialiose krosnyse. Išlydžius, prasideda technologiniai

skirtumai. Gaminant monokristalinius silicio modulius, silicio plokštelė yra auginama aplinkui vieną bazinį monokristalą ir sukuriamas idealiai orientuotas kristalinis tinklelis. Polikristalinio modulio atveju silicio plokštelė formuojama iš karto aplink kelis bazinius kristalus. Kitaip sakant, polikristalas, tai yra daugybė vienas kito atžvilgiu laisvai orientuotų monokristalų. Tai ir yra pagrindinis skirtumas tarp šių dviejų technologijų. Visa esmė yra naudingumo koeficientas. Dėl savo daugiau harmoningos struktūros monokristalinis silicis turi šiek tiek didesnę naudingumo koeficientą.[6]

1.1.3. Saulės elektrinių veikimo tipai

Saulės elektrinės gali veikti 4 skirtingais būdais:

1. Prietaisai veikia tiesiogiai saulės spinduliavimo metu. Būdas primityvus ir buityje sutinkamas retai, prietaisai veiks, tik esant pakankamai saulės spinduliavimui.
2. Prietaisai veikia per reguliatorių saulės spinduliavimo metu. Būdas primityvus ir buityje sutinkamas retai, prietaisai veiks, tik esant pakankamai saulės spinduliavimui.
3. Saulės spinduliavimo metu sugeneruota energija kaupiama baterijose ir panaudojama prietaisų veikimo metu arba naudojama tiesiogiai prietaisų veikimo metu, o energijos pertekšus kaupiamas akumuliatoriuose. Būdas efektyvus, tačiau sistemos įrengimas brangus, dėl aukštos akumuliatorių kainos.
4. Saulės spinduliavimo metu sugeneruota energija atiduodama į elektros energijos tinklą ir susigrąžinama prietaisų veikimo metu arba naudojama tiesiogiai prietaisų veikimo metu, o energijos pertekšus kaupiamas elektros energijos tinkle. Šiuo atveju taikomas dvigubos apskaitos principas. Būdas efektyvus ir šiuo metu yra pigiausias elektrinės įrengimo būdas, tačiau taikomas energijos pasaugojimo mokestis.[6]



2 pav. Saulės elektrinių veikimo tipai [6]

Dvipusė elektros energijos apskaita – tai elektros tiekėjo administruojama sistema, skirta gaminantiems vartotojams, kurių namuose yra įrengtos saulės elektrinės ir kurių per metus suvartojamos elektros energijos kiekis iš esmės sutampa su jame per metus pagamintos elektros energijos kiekiu.

Kai saulės elektrinė gamina nepakankamai elektros energijos, elektros energijos trūkumas yra importuojamas iš elektros tinklų.

Kai saulės elektrinė gamina daugiau elektros energijos, nei tuo metu namų ūkis vartoja, perteklinė pagaminta elektros energija yra pateikiama į elektros tinklus. Elektros energijos importo ar eksporto metu įrengtas skaitiklis skaičiuoja į tinklus patiektą ir suvartotą elektros energiją.[6]

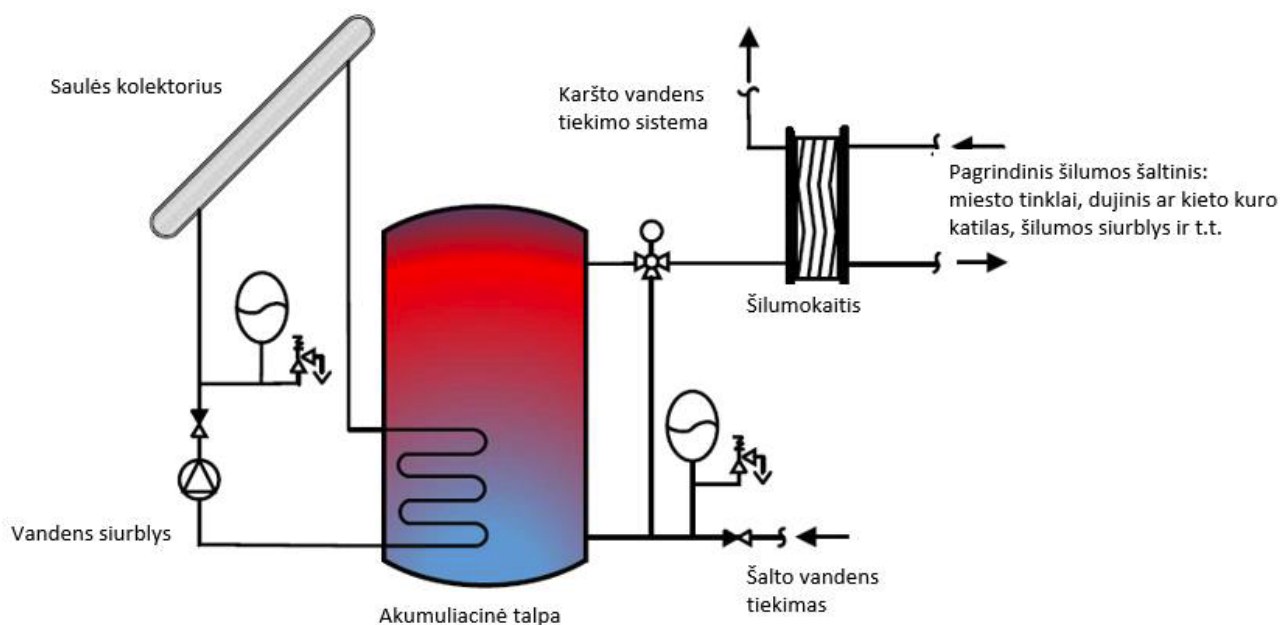
1.2. Saulės kolektoriai

1.2.1. Saulės kolektorių veikimo principas

Saulės kolektoriai, tai prietaisai užpildomi termofikaciniu skysčiu. Šiuos prietaisus nukreipus į saulę, termofikacinis skystis yra šildomas saulės spinduliuotės, tuomet pašildytas termofikatas yra nukreipiamas į reikiamas vietas – šildymo ar karšto vandens sistemas, akumuliacines talpas, gruntą ir t.t.

Saulės kolektorių integravimas į esamą karšto vandens ruošimo sistemą nėra sudėtingas. Saulės kolektorių sugeneruota šiluma yra tiesiogiai paduodama į akumuliacinę talpą. Cirkuliaciją į talpą pradedama automatiškai įsijungiant siurbliui, termofikacinio vandens temperatūrai kolektoriuje pasiekus reikiamą temperatūrą.

Šaltas vanduo į sistemą patenka pereidamas akumuliacinę talpą, kurioje yra pašildomas, jeigu akumuliacinėje talpoje yra sukauptos šiluminės energijos. Pašildytas vanduo, esant poreikiui, yra pašildomas papildomu šildytuvu ir paduodamas į karšto vandens sistemą.[6]



3 pav. Saulės kolektorių pajungimo į centralizuotą šilumos punktą schema [6]

1.2.2. Saulės kolektorių panaudojimas

Saulės kolektorių pagaminta energija vidurio ir rytų Europoje naudojama: 1. buitinio karšto vandens ruošimui (~80%); 2. lauko ir vidaus baseinų šildymui (~10%); 3. daliniam patalpų šildymui (~5%); 4. technologiniams procesams (~5%).

Daugiametė vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija kWh/m², tenkanti horizontaliam paviršiui per metus kituose Lietuvos ir Europos miestuose: Vilnius – 1001; Klaipėda – 1035; Berlynas 1010; Varšuva – 1024; Londonas – 943; Praha – 998; Viena – 1084. Matome jog Lietuvoje vyrauja panašus saulėtumas kaip ir kituose Europos didmiesčiuose.

Didžioji galimos konvertuoti į šilumą saulės energijos dalis (apie 80 %) tenka šiltajam laikotarpiui (kovas – spalis). Taigi žiemai belieka tik apie 190 kWh/m². Tai ir lemia kad dauguma sistemų yra skirtos karšto vandens ruošimui, lauko baseinų šildymui, daliniam patalpų šildymui.

Realus - išmatuotas pagaminamos energijos kiekis, ruošiant karštą vandenį tiek plokščiaisiais, tiek vakuuminiais kolektoriais Lietuvoje svyruoja nuo 330 iki 580 kWh/m². [6]

1.2.3. Saulės kolektorių tipai

Europoje dažniausiai naudojami šie saulės kolektorių tipai:

- plokštieji kolektoriai (~80%);
- apvalūs vakuuminiai kolektoriai (~15%);
- plaukimo baseinų kolektoriai - absorberiai (iki 4%);
- tūriniai kolektoriai (iki 1%, naudojami tik pietinėje Europoje);
- fokusuojantys kolektoriai (netaikomi vidurio ir rytų Europoje). [6]



4 pav. Pagrindiniai saulės kolektorių tipai [6]

1.3. Hibridiniai saulės kolektoriai

1.3.1. Hibridinių saulės modulių veikimo principas

Saulės kolektorius tai prietaisas, kuris sugeria saulės energiją ir perduoda ją šiluma, kuri gali būti panaudota įvairiems tikslams, tokiems kaip buitinio karšto vandens ruošimas arba patalpų šildymas ir pan.

Saulės fotovoltinis elementas yra technologija, kuri surenka saulės spinduliuotę ir paverčia ją į elektros energiją.

Tačiau hibridinis saulės kolektorius yra technologija, kuri apjungia juos abu. Tokiu būdu galima vienu metu gaminti ir elektros energiją, ir šilumą. Ši technologija buvo sukurta tam, kad būtų galima dar efektyviau išnaudoti saulės spinduliuojamą energiją. Taip pat ši technologija labai tinka vietoms, kai yra ribotas paviršiaus plotas, ir netgi leidžia sumažinti įrengimo išlaidas, kadangi sujungia dvi sistemas į vieną. [7]

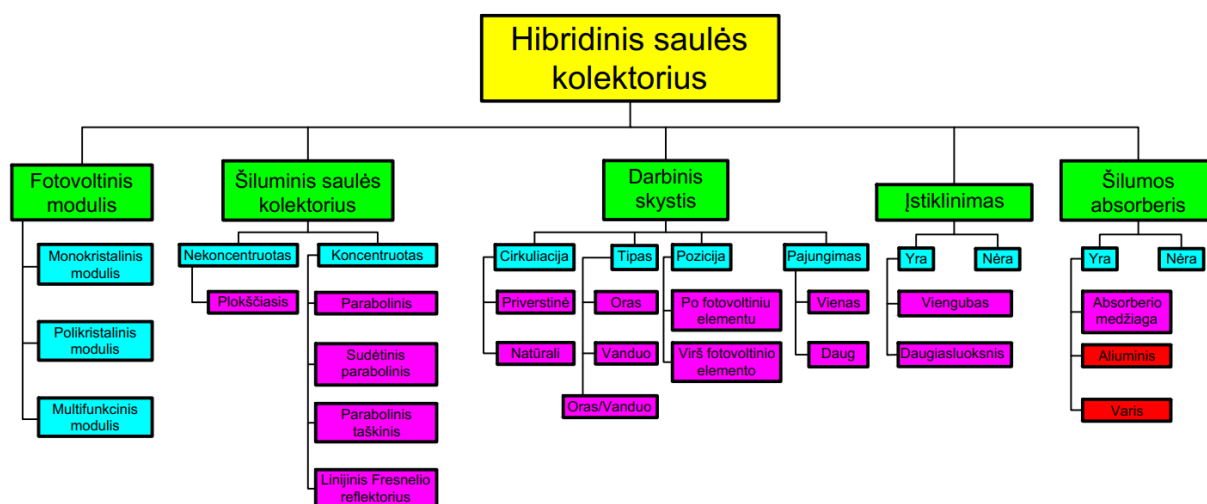
Hibridiniai saulės kolektoriai gali taip pat būti naudojami džiovinimui, patalpų šildymui ir vėsinimui, bei vandens gėlinimui, tačiau dažniausiai naudojami vandens šildymui. Hibridinių saulės kolektorių efektyvumas yra didesnis nei fotovoltinių elementų ir saulės kolektorių sistemų veikiančių atskirai. Prognozuojama, kad hibridinių saulės kolektorių sistemos jau artimiausiu metu galės patenkinti energijos suvartojimo poreikį. Be to, šios sistemos tiekia energiją, reikalingą švairiu ir aplinkai nekenksmingu būdu. Tai paaikšina tokių sistemų svarbą, todėl reikia atlikti daugiau tyrimų ir studijų, siekiant pagerinti ir optimizuoti sistemą, kad būtų užtikrintas didesnis efektyvumas ir mažesnės sąnaudos.[7]

1.3.2. Hibridinių saulės kolektorių klasifikavimas pagal sandarą

Hibridiniai saulės kolektoriai gali būti skirstomi į kategorijas pagal įvairias charakteristikas: fotovoltinio elemento tipą, šiluminį kolektorių, darbinį skystį, įstiklinimą, šilumos absorberį.

Fotovoltinio elemento tipas:

Hibridinius saulės kolektorius galima skirstyti į kategorijas pagal fotovoltinio elemento tipą. Dažniausiai naudojami fotovoltiniai elementai yra monokristalinis silicis (mono c-Si), polikristalinis silicis (poli c-Si) šie du priklauso pirmajai fotovoltinių technologijų kartai arba daugiasluoksnės sandaros su skirtingais draudžiamų energijų tarpais, pavyzdžiui pirmasis sluoksnis sugeria trumpabangę šviesą, antrasis ilgabangę, šis tipas priskiriamas antrajai fotovoltinių technologijų kartai. Monokristalinis ir polikristalinis generuoja tą pačią galią naudojant tą patį plotą; tačiau monokristalinis turi didesnę efektyvumą (apie 20 %) nei polikristalinis (15 %) dėl polikristaline esančių grūdelių. Nepaisant to, monokristalinis silicis yra brangesnis nei polikristalinis dėl sudėtingo vieno kristalo susidarymo. Kelių sandūrų saulės elementas yra efektyvesnis už silicio elementus, jo efektyvumas apie 40% ir jis mažiau jautrus temperatūros pokyčiams.[7] Buvo atliktas palyginimas tarp fotovoltinio modulio ir hibridinio saulės kolektoriaus našumo, kurio metu pastebėta, kad, su hibridiniu saulės kolektoriumi galima pagaminti 3,25 % daugiau elektros energijos. [8]



5 pav. hibridinių saulės kolektorių klasifikacija [7]

Saulės kolektoriaus tipas:

Saulės hibridiniai kolektoriai rūšiuojami pagal saulės kolektoriaus tipą kartu su fotovoltiniu elementu. Saulės kolektoriai skirstomi į koncentruotus ir nekoncentruotus.

Nekoncentruotas kolektorius gali būti plokščiasis (FPC).

Koncentruoti kolektoriai gali būti: parabolinis kolektorius (PTC), sudėtinis parabolinis kolektorius (CPC), parabolinis taškinis kolektorius (PDC), linijinis Fresnelio reflektorius (LFR)

Visi saulės kolektoriai ir koncentruoti ir nekoncentruoti, gali veikti esant didelei saulės spinduliuotei (apie 1000 W/m^2), saulės kolektoriaus tipo pasirinkimas priklauso nuo jo panaudojimo tipo, nes kiekvienam iš jų reikalingos skirtingos temperatūros. Saulės kolektoriaus tipas nežymiai veikia fotovoltinio elemento pagaminamos energijos kiekį. Hibridiniuose saulės kolektoriuose dažniausiai naudojami paraboliniai kolektoriai arba linijinio Fresnelio reflektoriai.[7]

Saulės kolektorių užpildymas darbinio skysčiu:

Hibridiniai saulės kolektoriai gali būti klasifikuojami pagal darbinio skysčio cirkuliaciją: natūrali arba priverstinė. Pagal darbinio skysčio tipą: vanduo, oras arba vanduo/oras). Priverstinė cirkuliacija yra efektyvesnė nei natūrali cirkuliacija, tačiau jai reikalingas siurblys, kuris sunaudoja dalį sugeneruojamos elektros energijos.

Hibridiniuose saulės kolektoriuose vanduo naudojamas dažniau nei oras, tačiau vandeninė sistema prie žemų aplinkos temperatūrų gali užšalti. Sistemose, kuriose darbinis skystis yra vanduo pasiekiamas didesnis elektrinis, šiluminis ir bendras efektyvumas.[7]

Saulės kolektorių klasifikavimas pagal įstiklinimą:

Hibridiniai saulės kolektoriai gali būti su įstiklinimu arba be įstiklinimo. Įstiklinimas reikalingas tam, kad plokštės būtų apsaugotos nuo aplinkos poveikio, tačiau, jis taip pat gali neleisti fotovoltiniam elementui sugerti saulės spinduliuotės, priklausomai nuo jo pralaidumo.

Buvo atliktas tyrimas, kuriame buvo lyginamos įstiklintos ir neįstiklintos hibridinių saulės kolektorių sistemos ir buvo gauti rezultatai, kad įstiklintos sistemos šiluminis naudingumo koeficientas yra 70,89%, o neįstiklintos - 63,37%, o elektrinis įstiklintos sistemos naudingumas yra 13,15% o neįstiklintos – 14,35%. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad jei siekiama didesnio bendro efektyvumo, pirmenybė teikiama įstiklintai sistemai, o jei siekiama pagaminti daugiau elektros energijos, tinkamesnė naudoti neįstiklinta sistema.[9]

Hibridinių saulės kolektorių įstiklinimas padidina šiluminį efektyvumą ir šiek tiek sumažina fotovoltinio elemento efektyvumą, tačiau bendras didesnis sistemos efektyvumas gaunamas naudojant įstiklinimą. Tačiau jei siekiama gauti didesnę fotovoltinio elemento efektyvumą, tai geriau naudoti neįstiklintą sistemą. Įstiklinta hibridinio saulės kolektoriaus sistema labiau tinkama naudoti, kai reikalingas didelis šiluminis arba bendras sistemos efektyvumas.[7]

Šilumos absorberio tipai:

Hibridiniai saulės kolektoriai gali būti su arba be šilumos absorberio.

Hibridiniai saulės kolektoriai yra konstruojami prijungiant fotovoltinius elementus prie saulės kolektorių šilumos absorberio. Šiluminis absorberis daro daug įtakos hibridinio saulės kolektoriaus efektyvumui. Jis skirtas tam kad perduotų šiluminę energiją iš fotovoltinio elemento į saulės kolektoriaus darbinį skystį. Šilumos absorberis hibridiniuose saulės kolektoriuose parenkamas pagal naudojamą saulės kolektoriaus tipą. Pagrindinės medžiagos iš kurių gaminami šilumos absorberiai yra aliuminis ir varis. [10]

1.3.3. Hibridinio saulės kolektoriaus aušinimas

Viena didžiausių problemų mažinančių fotovoltinio elemento efektyvumą yra aukšta temperatūra. Apytiksliai apskaičiuota, kad modulio temperatūros padidėjimas vienu laipsniu sumažina fotovoltinio modulio efektyvumą 0,4–0,65 %. [11]

Aušinimas iš viršutinės ir apatinės fotovoltinio elemento pusės yra geriausias būdas surinkti didžiausią šilumos kiekį. Skysčio kanalų naudojimas, padidina aušinimo greitį ir užtikrina vienodą temperatūros pasiskirstymą visame skystyje. [12]

1.3.4. Bandymo metodikos

Pagal esamą Europos standartą EN 12975-2 saulės kolektoriams, nėra specialiai hibridiniams saulės kolektoriams skirtos bandymo metodikos. Todėl reikia ištirti įvairias konstrukcijos ypatybes tokias kaip išorinis įstiklinimas, dengiamasis faktorius (Fotovoltinio elemento ir saulės kolektoriaus ploto santykį), šiluminį kontaktą tarp fotovoltinio elemento ir absorberio sluoksnių. [13]

Buvo atliktas tyrimas, kurio metu buvo bandoma palyginti hibridinius saulės kolektorius fotovoltinius saulės elementus ir saulės kolektorius. Buvo bandoma juos palyginti kaip sistemas, o ne kaip atskirus komponentus. Paimtas tas pats stogo plotas, bet palyginimas grindžiamas modeliavimu, siekiant pasiekti maksimalų kombinuotą efektyvumą, atsižvelgiant į energijos, ekonomikos, aplinkos aspektus. Siekiant užtikrinti tinkamą sprendimų priėmimą, naudojami ekonominiai parametrai, tokie kaip grynoji dabartinė vertė, vidinė grąžos norma ir atsipirkimo laikotarpis. Rezultatai parodė, kad naudojant abi sistemas yra nukrypimų nuo pajėgumų, darbo grafiko, pagrindinių veiklos rodiklių (KPI) ir ekonominių parametrų. Palyginimo metu buvo nustatytas bendras hibridinės sistemos efektyvumo padidėjimas yra 3,74%, metinio bendrojo sąnaudų taupymo koeficientas sumažėjimas 22,83%, grynoji dabartinė vertė sumažėjo 42,37% dėl didelių hibridinės sistemos plokščių kainų. Daroma išvada, kad naudojant hibridinę sistemą, o ne fotovoltinius modulius ir saulės kolektorius, bus pasiektas didesnis kombinuotas efektyvumas, bet mažesnė grynoji dabartinė vertė lyginant rinkos kainas. Tačiau didėjant parduodamos elektros energijos pardavimo kainoms, hibridiniai saulės kolektoriai tampa palankesni dėl didesnio kombinuoto naudingumo koeficiento ir grynosios dabartinės vertės. [14]

Šiuo metu hibridinių saulės kolektorių šiluminės charakteristikos gali būti tikrinamos pagal ISO 9806:2017 standartą, tačiau šis standartas skirtas saulės kolektoriams ir jame neatsižvelgiama į elektros galią. Fotovoltinio modulio plokštei taikoma standartinis tikrinimas vadovaujantis IEC 60904 metodika paprastai šią išvestį pateikia fotovoltinės plokštės gamintojas. [15]

1.4. Sistemų palyginimas

Norint atlikti saulės kolektorių, saulės fotovoltinių elementų ir hibridinių saulės kolektorių tikslingą palyginimą, reikia apibrėžti kriterijus pagal kuriuos lyginsime sistemas. Atliekant mokslinių straipsnių analizę išskyriau šiuos kriterijus:

1. Efektyvumas – palyginti koks yra sistemos energijos gavybos efektyvumo lygis, kiek saulės energijos sistema gali panaudoti;
2. Elektros energijos gavimas – palyginti sistemų pagaminamos elektros energijos kiekius;
3. Šiluminės energijos gavimas – kiek šiluminės energijos sistema gali sukaupti ir efektyviai panaudoti;
4. Investicijos – paanalizuoti kokia yra sistemų kaina rinkoje;
5. Ilgaamžiškumas – kiek laiko sistema gali efektyviai veikti be gedimų ar sistemos keitimo;
6. Ekologiškumas – kokią naudą sistema turi aplinkai, kiek sumažinamas išmetamųjų teršalų kiekis;
7. Vietos sąlygos – kaip gerai sistema veikia konkrečioje geografinėje vietovėje ir kokiomis sąlygomis;
8. Pritaikomumas – kokiomis sąlygomis sistema gali būti pritaikoma, kokiems energijos poreikiams.
9. Atsparumas aplinkos veiksniams – kokią įtaką sistemoms daro vėjas, sniegas, lietus ir kiti aplinkos veiksniai;
10. Estetika – kaip sistema integruojasi į pastatų dizainą;
11. Energijos poreikių užgarantavimas – kiek sistema gali padėti sumažinti arba visiškai patenkinti pastato energijos poreikius;
12. Prieinamumas – koks yra sistemos prieinamumas rinkoje;
13. Atsipirkimo laikotarpis – per kiek laiko sistema atsipirks;

Šie kriterijai turėtų padėti nustatyti, kuris saulės energijos panaudojimo metodas yra geriausias.

1.4.1. Efektyvumas

Efektyvumas tai rodiklis, kuris apibūdina, kaip efektyviai sistema ar prietaisas panaudoja gautą energiją arba atlieka tam tikrą užduotį. Tai yra santykis tarp išvesties ir įvesties energijos. Konkrečiai saulės energijos kontekste, efektyvumas dažnai naudojamas siekiant išreikšti, kaip efektyviai saulės kolektoriai ar fotovoltiniai moduliai konvertuoja gautą saulės šviesos energiją į naudingą energiją (elektrą arba šilumą). Efektyvumo lygis paprastai išreiškiamas procentais ir nurodo, kiek procentų įvesties energijos yra konvertuojama į naudingą išvesties energiją. Kuo modulis yra efektyvesnis tuo mažesnio gaminio reikia pagaminti tam pačiam energijos kiekiui, taip galima nežymiai sutaupyti ploto saulės elektrinei įrengti.

Nors daugumos komercinių fotovoltinių plokščių efektyvumas yra nuo 15% iki 20%, o kai kuriais atvejais viršija 22%. Veiksmingiausių šiandien rinkoje esančių fotovoltinių elementų efektyvumas yra 22,8 %. Tačiau veiksmingiausi mokslininkų sukurti elementai siūlo 39,5% efektyvumą, tačiau tokių gaminių nėra prekyboje. „SunPower“, „Canadian Solar“, „REC“ ir „Panasonic“ gamina efektyviausias saulės baterijas rinkoje.[16]

1 lentelė. 5 efektyviausi saulės moduliai buitiniams vartotojams 2023 metais[16]

Gamintojas	Modelis	Efektyvumas
SunPower	M Series 440 W	22,8%
Canadian solar	HiHero 445H-AG	22,8%

REC	Alpha Pure-R 430 W	22,3%
Panasonic	EverVolt HK Black Series 410 W	22,2%
Trina Solar	Vertex S+	21,8%

Kalbant apie šiluminius saulės kolektorius tai jų efektyvumas yra daug didesnis nei fotovoltinių modulių ir gali siekti iki 80%, Taigi saulės kolektorių efektyvumas yra vidutiniškai 4–5 kartus didesnis nei fotovoltinio kolektoriaus efektyvumas. Taip yra dėl skirtingo šiuose kolektoriuose veikiančių fizinių reiškinių pobūdžio. Iš tiesų, tik nedidelė saulės energijos dalis (tam tikri „šviesos spektro“ bangos ilgiai) yra naudojama fotovoltinės technologijos, o visą saulės spinduliuotę panaudoja saulės šiluminės technologijos. Tačiau dar vienas labai svarbus dalykas analizuojant saulės kolektoriaus efektyvumą, yra jo pagaminamos šilumos temperatūra ir lauko temperatūra, kuri tiesiogiai įtakoja šilumos nuostolių lygį. Kai temperatūrų skirtumas, tarp pagaminamos šilumos ir lauko temperatūros padidės, tai kolektoriaus našumas sumažės [17]

Kalbant apie hibridinius saulės kolektorius, dėl geresnio fotovoltinės plokštės aušinimo jos efektyvumas šiek tiek padidėja, tai susiję su tuo, kad plokštės aušinimas vyksta per kolektoriaus sekciją. Saulės fotovoltiniai elementai geriausiai veikia, kai jie neperkaista. Vasarą paprasto fotovoltinio modulio temperatūra gali greitai pakilti iki daugiau nei 75°C, o tai nėra gerai. Dėl geresnio aušinimo hibridinio saulės kolektoriaus elektrinis efektyvumas yra didesnis, gali padidėti iki 15%, tačiau šiluminis efektyvumas šiek tiek krenta. Vidutiniškai hibridinio saulės kolektoriaus elektrinis efektyvumas yra apie 21%, o šiluminis apie 79%, jis kinta nuo aplinkos temperatūros.[18] Tačiau tai yra ganėtinai naujas produktas rinkoje, todėl nėra atlikta pakankamai tyrimų efektyvumui nustatyti.

Efektyvumą šiame darbe bus galima palyginti tyrimo metu, kai bus modeliuojamos konkrečios sistemos.

1.4.2. Elektros ir šiluminės energijos kiekis

Sunku tiksliai nustatyti elektros ir šiluminės energijos kiekį kurį pagamins saulės kolektorius, fotovoltinis elementas arba hibridinis saulės kolektorius, nes tam reikia atlikti modeliavimo programomis. Kadangi elektros energijos kiekis priklauso nuo tokių veiksnių kaip saulės intensyvumas, modulio efektyvumas, modulio plotas, oro sąlygos, naudojimo paskirtis ir panašiai.

Pagaminamos energijos kiekius šiame darbe bus galima palyginti tyrimo metu, atlikus modeliavimą.

1.4.3. Investicijos

Palyginti sistemas pagal kainą taip pat nėra objektyvu, nes sistemos generuoja skirtingus energijos tipus (šiluminę ir elektros), yra visiškai skirtingų konstrukcijų ir praktikoje yra modeliuojamos konkrečiai situacijai, naudojantis modeliavimo programomis.

2 lentelė. Populiariausių Lietuviškų internetinių svetainių, parduodančių saulės modulius, produktai su kainomis

Gamintojas	Modelis	Galia, W	Efektyvumas, %	Kaina, €
Canadian Solar	HiKu7	670	21,6	230 + mok.
Canadian Solar	CS3L-370	370	20,0	121 + mok.

Solet	HTM370-6-BF-370W	370	20,3	120 + mok.
Solet	370MH3-60	370	20,3	169
LONGi Solar	LR4-60HIH	370	20,9	120 + mok.
Swiss Solar.	IBEX66M-EiGER	670	21,6	230 + mok.
Ja Solar	JAM54S30	405	20,7	146 + mok.
Trina Solar	VERTEX	670	21,6	230 + mok.
Trina Solar	VERTEX S	405	21,1	130 + mok.
Trina Solar	Vertex S	385	20,0	139 + mok.
Trina Solar	Vertex S	395	20,5	143 + mok.
Risen	RSM144-7-450M	450	20,4	162 + mok.
Risen	RSM144-7-540BMDG	450	20,2	170 + mok.
Risen	RSM40-8-405M	405	21,1	146 + mok.
Risen	RSM110-8-540M	540	20,7	195 + mok.
Risen	RSM150-8-505BMDG	505	20,5	199
Jinko	JKM400M-6RL3-V	400	21,0	155
Luxen	LNSU-450M	450	20,7	155
TW Solar	TH400PM-60SBFB5	400	20,4	175

Paanalizavus Lietuvos rinkoje esančius produktus galime matyti, kad produkto kaina nepriklauso nuo galios ar efektyvumo. Kainą lemia gamintojo žinomumas, garantinio termino laikotarpis ir kiti kriterijai. Tikslėnę kainą galima gauti atlikus sistemos modeliavimą ir pateikus užsakymą gamintojams. Taip pat reiktų atsižvelgti, kad čia yra tik vieno modulio kaina, todėl įsigyti visą sistemą kainuos brangiau.

Saulės kolektorių kainos taip pat nėra įmanoma tiksliai pasakyti, nes ji priklauso nuo galios poreikio, dažniausiai saulės kolektoriai Lietuvos rinkai parduodami kaip pilna sistema.

Kalbant apie hibridinius saulės kolektorius, tai jų pasirinkimas Lietuvos rinkoje vis dar labai skurdus, pagrindiniai gamintojai turi vos po vieną tokį gaminį ir dažniausiai atskirai jo vieno neparduoda, tik kaip visą sistemą, todėl kainas palyginti labai sudėtinga.

Šiame darbe kainas bus įmanoma palyginti tiksliau tyrimo metu, nes bus modeliuojamos konkrečios sistemos vienam konkrečiam atvejui.

1.4.4. Ilgaamžiškumas

Atliekant rinkos analizę galima pastebėti, kad gamintojai deklaruoja, jog apytiksliai saulės kolektorių ilgaamžiškumo laikotarpis svyruoja nuo 20 iki 30 metų. Tačiau gerai prižiūrimi ir kokybiškai įdiegti kolektoriai gali tarnauti dar ilgiau. Rinkoje galima rasti kolektorių ir su ilgesniu garantiniu laikotarpiu.

Fotovoltiniai elementai paprastai turi garantinį laikotarpį nuo 20 iki 25 metų, tačiau jų tikėtinas naudojimo laikotarpis yra daug ilgesnis. Dauguma gamintojų nurodo, kad jų moduliai išlaiko ne mažiau kaip 80% pradinio efektyvumo po 25 ar daugiau metų naudojimo.

Hibridiniai saulės kolektoriai: Hibridiniai saulės kolektoriai yra ganėtinai nauja technologija, todėl duomenys apie ilgaamžiškumą yra riboti. Tačiau, kaip ir su saulės kolektoriais ir fotovoltiniais elementais, galima tikėtis, kad hibridiniai kolektoriai tarnaus apie 20-30 metų, priklausomai nuo jų kokybės, diegimo ir priežiūros.

Tiksliai nustatyti, kiek tarnaus sistema neįmanoma, nes tai labai priklauso nuo jos priežiūros, gaminių kokybės, naudotų medžiagų, aplinkos sąlygų, sistemos naudojimo. Ilgaamžiškumą taip pat reikia lyginti kiekvienu atveju skirtingai, pagal tai kokį garantinį laikotarpį deklaruoja gamintojas.

Ilgaamžiškumą šiame darbe taip pat bus galima palyginti tyrimo metu, nes bus parenkamas konkretus gaminys, ir palyginimas bus atliekamas pagal gamintojo nurodomus duomenis.

1.4.5. Ekologiškumas

Gaminio ekologiškumą reikėtų vertinti atsižvelgiant į keletą kriterijų:

Kiek atsinaujinančios energijos jis geba pagaminti: kiek elektros energijos ir kiek šiluminės energijos. Saulės kolektoriai, saulės fotovoltiniai moduliai ir hibridiniai saulės kolektoriai energiją gauna iš saulės, kuri yra ekologiškas energijos šaltinis.

Anglies dioksido emisijos: saulės kolektoriai, saulės fotovoltiniai moduliai ir hibridiniai saulės kolektoriai neturi jokių išmetamųjų teršalų, todėl jie laikomi visiškai ekologiškais. Tačiau saulės modulių gamyba reikalauja labai daug energijos ir teršalų, išskiriamų silicio lydymo, gryninimo. Kuomet silicis lydomas elektrinėse krosnyse didžiausia dalis energijos gaminama deginant iškastinį kurą, kuris išskiria CO₂. Taigi pagaminus saulės modulį jis jau turi savo CO₂ pėdsaką. Utrechto (NL) universitete buvo atlikti šios problemos tyrimai. Naudodamiesi Tarptautinės Energetikos Agentūros (IEA) duomenimis buvo nustatytas saulės modulių skaičius pasaulyje. Jie vertino kur, kaip ir kada saulės modulis buvo pagamintas. Pavyzdžiui saulės modulis, pagamintas Kinijoje sudarys dvigubai daugiau teršalų nei pagamintas Europoje. Tyrimo metu buvo apskaičiuota, kad šiuolaikinis saulės modulis per savo gyvenimo laikotarpį išskiria 20g CO₂ pagamindamas kilovatvalandę elektros. 1975 metais šis skaičius siekė 400-500g. Kuo daugiau saulės modulių pagaminama, tuo efektyvesni jie tampa. Kiekvieną kartą pasaulyje padvigubėjus saulės modulių kiekiui energijos poreikis jiems pagaminti krenta apie 12%, o CO₂ emisijos apie 17-24%. Palyginimui: gamtines dujas deginanti moderni elektrinė (efektyvumas 58%) išmeta apie 350 g CO₂ vienai pagamintai kWh, o akmens anglis deginanti elektrinė (efektyvumas 40%) išmeta apie 850-900 g CO₂ vienai pagamintai kWh.[19]

Aplinkosaugos sertifikatai ir standartai: Galima patikrinti ar gaminiai turi sertifikatus pagal aplinkosaugos standartus tokius kaip : LEED arba EnergyStar.

1.4.6. Vietos sąlygos

Geografinė padėtis ir aplinkos sąlygos turi didelę įtaką saulės kolektorių, saulės fotovoltinių elementų ir hibridinių saulės kolektorių veikimui. Regionuose, kurie yra arčiau pusiaujo, yra didesnė saulės

spinduliuotė ir sistemos sugeneruoja daugiau energijos. O šiaurės ar pietų pakraščiuose esantys regionai, turi mažesnę saulės spinduliuotę ir generuoja mažiau energijos.

Šiame darbe tyrimo metu bus modeliuojama prie vienodų geografinių sąlygų, todėl jos gali būti nelyginamos.

Taip pat didelę įtaką sistemų veikimui turi oro sąlygos: debesuotumas, kritulių kiekis, temperatūros svyravimai. Šie veiksniai taip pat gali sumažinti generuojamos energijos kiekį.

1.4.7. Atsparumas aplinkos veiksniams

Saulės kolektoriai, fotovoltiniai elementai ir hibridiniai saulės kolektoriai turi būti atsparūs įvairioms oro sąlygoms, tokioms kaip lietus, vėjas, sniegas ir drėgmė. Kolektoriai turėtų būti sandarūs, kad išvengtų vandens patekimo į vidų, ir turėtų būti stabilūs, kad atlaikytų stiprų vėjo poveikį. Taip pat turi būti atsparūs temperatūros svyravimams, nes Lietuvoje yra labai didelis temperatūrų diapazonas, ir temperatūros svyravimai daro įtaką sistemų efektyvumui.

1.4.8. Estetika

Lyginti sistemas iš estetikos, grožio pusės yra labai subjektyvu, tačiau tyrimo metu galima palyginti sistemų dydžius, kiek ir kokios įrangos reikia joms įrengti, kiek laisvo patalpos ploto jai reikia skirti. Taip pat apžvelgti gerą patirtį, kaip sistema buvo integruota į pastato dizainą arba paslėpta.

1.4.9. Energijos poreikių užgarantavimas

Tyrimo metu bus lyginamos sistemos, kiek elektros energijos ir kiek šilumos jos gali pagaminti. Tada duomenys bus palyginami su energijos poreikiu ir gaunama kiek pastato energijos poreikio jos gali patenkinti.

1.4.10. Prieinamumas

Tyrimo metu bus paanalizuotas sumodeliuotų produktų prieinamumas Lietuvos rinkoje.

1.4.11. Atsipirkimo laikotarpis

Tyrimo metu bus skaičiuojamas sumodeliuotų sistemų atsipirkimo laikotarpis ir lyginama, kuri sistema atsiperka greičiausiai.

1.5. Hibridinių saulės kolektorių atlikti tyrimai

2020 metais buvo atliktas tyrimas, kurio metu buvo išbandomas itin pigaus hibridinio saulės kolektoriaus veikimas naudojant aliuminio minikanalus šilumos surinkimui ir nevaizduojančia optika saulės koncentravimui, tyrimo metu buvo nustatyta, kad toks kolektorius gali pasiekti 57,4% šiluminį efektyvumą ir 12,3% elektros gamybos efektyvumą. Numatoma modulio kaina – 81 USD/m². Taip pat buvo atlikta gretutinė analizė, kuri rodo, kad hibridinio saulės kolektoriaus sistema sutaupo 15 % sąnaudų ir 30 % stogo ploto, palyginti su lygiaverčio pajėgumo fotovoltiniais moduliais + Saulės kolektoriais. Sąnaudų mažinimas yra labai svarbus siekiant maksimaliai padidinti ekonominį konkurencingumą ir paskatinti skverbtis į rinką.[20]

2017 metais buvo atliktas tyrimas siekiant apžvelgti hibridinių saulės kolektorių technologijos pritaikymą ir ekonominį įvertinimą. Hibridinių saulės kolektorių sistemų veikimo vertinimas yra

sudėtingas, o generuojamos energijos palyginimas nėra pakankamas kriterijus hibridinių saulės kolektorių veikimui įvertinti dėl šiluminio ir elektrinio naudingumo sąveikos bei skirtingų išėjimo energijos formų ir verčių. [11]

Hibridinių saulės kolektorių sistemų privalumai labiausiai išnaudojami tada, kai yra ir elektros, ir šilumos poreikis. Pastebima, kad hibridinio saulės kolektoriaus elektros išeiga jau yra didesnė nei panašaus dydžio fotovoltinio modulio. Prie to pridėjus šiluminę galią, turėti hibridinio saulės kolektoriaus sistemą yra naudingiausia, be padidėjusios elektros našumo yra ir šilumos poreikis. Jei yra tik šilumos poreikis, saulės šilumos sistema būtų tinkamesnė dėl didesnių šiluminių charakteristikų ir geresnio saulės šilumos sistemų ekonomiško . Esant tik elektros poreikiui, fotovoltinės sistemos projektavimas būtų tinkamesnis dėl mažesnių sąnaudų, nors hibridinių saulės kolektorių sistemos siūlo geresnį našumą gaminant elektros energiją[21]

1.6. Hibridinių saulės kolektorių panaudojimas plaukimo baseine

Baseinų šildymo sistemas su saulės kolektoriais paprastai sudaro neglazūruoti saulės kolektoriai , sujungti su filtru, cirkuliaciniu siurbliu ir paprasčiausia hidrauline kanalų sistema. Neglazūruotus saulės kolektorius paprastai sudaro juodi dembliai arba vamzdeliai, pagaminti iš gumos arba polimerinių medžiagų, per kuriuos cirkuliuoja vanduo. Kadangi šio tipo kolektorius nėra izoliuotas, jis naudojamas tik tada, kai dideliems skysčio kiekiams reikalinga žema temperatūra. Šiose sistemose vanduo iš baseino cirkuliuojamas siurbliu, pirmiausia filtru, kad pašalintų bet kokias daleles, o tada per saulės kolektorius, kuriuose vanduo šildomas. Sistemos dydį įtakoja baseino dydis (vandens tūris), įrengimo vieta ir veikimo laikotarpis (metinis ar sezoninis). Daugumos sistemų atsipirkimo laikotarpis yra nuo 2 iki 5 metų, priklausomai nuo anksčiau minėtų parametrų. Jie jos eksploatuojamos visus metus tai turi atsarginį šildytuvą. Literatūroje yra publikuotų darbų kuriuose išsamiai aprašomas saulės energijos panaudojimo baseinų šildymui veikimas. Visais atvejais vidutiniškai saulė padengia daugiau nei 80% energijos sąnaudų.[22]

Buvo atliktas rinkos tyrimas, kuris parodė, kad 2020 metais rinkoje veikė 2169 hibridinės saulės kolektorių sistemos, kurių bendras plotas 610000 m², iš kurių 75% naudojamos karštam vandeniui tiekti pastatuose, maždaug 21% - elektrai, patalpų šildymui ir karšto vandens tiekimui namų ūkiuose, o likę 4% - kitoms reikmėms: pramoniniams procesams, centralizuotam šildymui tarp jų ir baseinų šildymui.[23]

1.6.1. Plaukimo baseinų energijos sąnaudų analizė

Kasmetinis baseino energijos suvartojimas svyruoja nuo 600 kWh/m² iki 6000 kWh/m², atsižvelgiant į baseino tūrį, plotą, darbo laiką, vietą, orus ir tipą. Didžioji dalis energijos reikalinga šildymui. Vidaus ir lauko baseinų poreikis skiriasi. Vidaus baseine žmonės gali plaukioti bet kuriuo metų laiku, ir tam įtakos neturi lauko oro sąlygos. Tačiau šildymas reikalingas ne tik palaikyti tinkamą vandens temperatūrą, tačiau ir komfortišką mikroklimatą patalpoje. Tuomet padidėja vandens garavimas ir reikia didesnių energijos poreikių patalpų vėdinimui. [24]

Pagal surinktus duomenis nuo 1998 iki 2011 metų vidutinis energijos sunaudojimas vidaus plaukimo baseinuose, Norvegijoje yra 3991 kWh/m². Tyrimo metu taip pat nustatyta, kad klimato sąlygos nebuvo pagrindinis dalykas daręs įtaką baseinų energijos sąnaudoms. Bet didžiausią energijos poreikį turėjo vandens šildymas.[25]

Lauko baseinams tik vasaros sezonu aukšta lauko temperatūra ir saulės spinduliuotė gali užtikrinti komfortiškas vandens temperatūras. Tačiau šaltuoju metų laiku lauko baseinai, ypač šaltesnėse klimato zonose yra uždaromi, dėl prastų oro sąlygų. Tačiau tankiai apgyvendintuose miestuose tokiuose kaip Honkongas yra labai svarbu taupyti vietą, todėl baseino uždarymas būtų laikomas vietos švaistymu ir norint spręsti šią problemą, lauko baseinai dirba ilgiau, tačiau jiems reikalingas šildymas. 2015 metais buvo įvertintas energijos suvartojimas lauko baseinuose Graikijoje, remiantis apklausomis ir sporto asociacijos duomenimis ir tyrimo metu nustatyta, kad dauguma baseinų šildosi tradicinėmis šildymo technologijomis, tokiomis kaip dujiniai katilai ir taip patenkina savo energijos poreikius. Rezultatai parodė, kad vidutiniškai lauko baseinui reikia 2456 kWh/m^2 kai nėra naudojamas baseino uždangalas ir 1827 kWh/m^2 , kai uždangalas naudojamas. Tai gana didelis energijos poreikis, todėl būtina, ieškoti alternatyvių pigesnių ir draugiškesnių gamtai sprendimų.[26]

Įprastai baseinų temperatūra svyruoja nuo 26°C iki 28°C . Tai reiškia, kad žemos temperatūros saulės energijos šildymo technologijos yra geras energijos taupymo būdas.

1.6.2. Panašių projektų analizė ir rezultatų apibendrinimas

2015 metais buvo atliktas dinaminis modeliavimas ir ekonominė analizė, naudojant hibridinius saulės kolektorius vidaus-lauko plaukimo baseine. Pasirinktas plaukimo baseinas yra Pietų Italijoje, Neapolyje. Siekdami sukurti optimalią sistemą maksimaliai išnaudojančia saulės spinduliuotę darbo autoriai atliko parametrinę analizę. Modeliavimo rezultatai rodo, kad:

- Lauko baseinų šilumos nuostoliams sumažinti reikėtų įrengti baseino uždangalą.
- Visa hibridinio saulės kolektoriaus pagaminta energija yra sunaudojama. Elektros energiją sunaudoja įrengimai, o šiluminė energija pirmiausia naudojama baseino vandens šildymui, ir daliai karšto buitinio vandens poreikių patenkinti.
- Lauko baseino veikimo metu, baseino temperatūra gali pakilti virš leistinos reikšmės, todėl reikalinga vėsinimo opcija, kad baseinas neperkaistų.
- Kai veikia tik vidaus baseinas didžioji dalis hibridinio saulės kolektoriaus pagaminamos šilumos yra naudojama baseino vandeniui šildyti ir tik nedidelė dalis buitiniam karštam vandentiekiiui, o kai veikia ir lauko baseinas būna atvirkščiai.
- Ekonominė analizė parodė, kad dėl to meto hibridinių saulės kolektorių kainos sistema nėra pelninga, jei ji nėra finansuojama valstybės.[27]

2019 metais atlikta hibridinių saulės kolektorių sistemos analizė Baryje, Italijoje, parodė, kad hibridinė saulės kolektoriaus sistema sutaupo panašiai tiek pat kiek ir įprasta fotovoltinė elektrinė ar saulės kolektorių sistema, sistemos atsipirkimo laikas buvo 13,7 metų, o išlyginta energijos kaina – $0,109 \text{ €/kWh}$. Vienas iš pagrindinių hibridinių saulės kolektorių privalumų yra CO₂ emisijų mažinimas, kuris yra 40-75% didesnis nei fotovoltinių ar saulės kolektorių sistemų.[28]

1.7. Modeliavimo programos

Tyrimo metu sistemų modeliavimui planuojama naudoti programinę įrangą:

- Polysun
- GeoT*SOL

Programinė įranga leidžia įmonėms, užsiimančioms saulės energijos panaudojimu, pateikti greitas ir tikslias kainas automatizuojant visą projektavimo procesą. Tai pagreitina projektavimo ir pardavimo procesus, kas ypač svarbu projektuojant dideles sistemas.

Programinė įranga bus naudojama darbo tiriamojoje dalyje sistemų modeliavimui ir palyginimui.

1.7.1. „Polysun“

„Polysun“ yra programinė įranga, leidžianti vartotojams sumodeliuoti saulės šilumos kolektorių, fotovoltines ir geotermines sistemas. Programa yra patogi, o grafinė vartotojo sąsaja leidžia patogiai ir aiškiai įvesti visus sistemos parametrus. Reikalingų duomenų įvedimas yra labai paprastas ir atliekamas jau paruoštoje grafinėje aplinkoje. Įvairių parametru įvedimas kiekvienam sistemos komponentui gali būti atliekamas dukart spustelėjus kiekvieną komponentą. Tokie šablonai yra prieinami visų tipų sistemoms, kurias galima modeliuoti naudojant „Polysun“, taip pat yra šablonų rengimo funkcija, skirta vartotojams, norintiems sukurti savo šabloną. Įvairių sistemos komponentų charakteristikas galima sužinoti iš paruoštų katalogų, kuriuose yra daug įvairių rinkoje prieinamų komponentų, tačiau vartotojas gali pridėti ir savo komponento charakteristikas. Kataloguose esantys komponentai apima talpyklas, saulės kolektorius, vamzdžius, katilus, siurblius, šilumokaičius, šilumos siurblius, pastatus, baseinus, fotovoltinius modulius ir inverterius ir kt. Rezultatų analizei suformuojami grafikai ir ataskaitos.[29]

1.7.2. „GeoT*SOL“

GeoT*SOL yra dinaminė modeliavimo programa, skirta profesionaliam šilumos siurblių sistemų planavimui, skaičiavimui ir projektavimui. Programa leidžia pasirinkti tarp skirtingų šilumos šaltinių (dirvožemis, oras ir gruntinis vanduo), darbo režimų ir daugybės sistemos konfigūracijų jūsų vietai. Programa taip pat leidžia integruoti saulės šilumos sistemas ir fotovoltines sistemas. Šios programos pagalba galima apskaičiuoti elektros energijos suvartojimą, sezoninius veikimo koeficientus, eksploataavimo išlaidas ir kitus sistemos duomenis. Rezultatų analizei galima suformuoti ataskaitas.[30]

1.8. Europos parama saulės elektrinėms įsirengti

Europos sąjunga yra suinteresuota didinti saulės energijos naudojimą Europos sąjungos šalyse, nes siekia panaikinti priklausomybę nuo rusiško iškastinio kuro. Pagal planą „REPowerEU“ siekiama iki 2025m. užtikrinti daugiau kaip 320GW saulės fotovoltinės energijos pajėgumų, padvigubinti nei 2020m., o iki 2030m. beveik 600GW. Todėl Europos sąjunga investuoja 26 mlrd. EUR iki 2027 metų, tam kad būtų įgyvendinta 55% užsibrėžto tikslo.[31]

Tokia pagalba gali pasinaudoti ir Lietuvos respublikos gyventojai. Lietuvoje, individualių namų ar daugiabučių gyventojai gali pasinaudoti parama saulės elektrinėms įsirengti. Paramos gavimo procesas yra nesudėtingas, o kiekvienas planuojantis įsirengti saulės jėgainę turi dideles galimybes ją gauti ir padengti virš 30-35% visų saulės elektrinės įrengimo išlaidų. Paramos dydis yra 323 Eurai už įrengtą kilovatą perkantiems įsirengiantiems naują saulės elektrinę (tiek modulius, tiek inverterį/keitiklį) ir 241 Eur/kW tiems, kurie nori išplėsti jau turimą elektrinę papildant ją tik moduliais. Parama galioja iki 10 kW įrengtosios galios elektrinės, bet saulės elektrinę galima įsirengti ir galingesnę.[32]

Darbo tyrimo metu galima palyginti sistemų kainą įvertinant ES paramą, kadangi šiluminių saulės kolektorių sistemoms parama nėra teikiama, o hibridiniams saulės kolektoriams ir fotovoltiniams moduliams teikiama. Tačiau plaukimo baseinui parama nėra taikoma, nes tai yra visuomeninis objektas.

1.9. Grėsmės

1.9.1. Galios sumažėjimas

Dažnai pasitaikanti problema saulės fotovoltinių modulių sistemose yra galios sumažėjimas. Norint tiksliai apskaičiuoti investicijų grąžą reikia nepamiršti įvertinti sistemos nusidėvėjimo. Fotovoltiniai saulės moduliai laikui bėgant praranda savo maksimalų galingumą, vidutiniškai apie 0,5% per metus. Tačiau nepaisant galios sumažėjimo moduliai vis dar yra tinkami naudoti.[33]

1.9.2. Legionella bakterijos

Legioneliozė – tai ūminė infekcinė liga, pasireiškianti ūminės pneumonijos ar ūminės respiracinės ligos klinikiniais sindromais, o jos sukėlėjas yra Legionella genties bakterijos, kurios yra randamos +20°C iki +60°C temperatūros vandenyje. Efektyviausias legioneliozės rizikos mažinimo būdas yra tinkama vandentiekio sistemų eksploatacija: karšto vandens temperatūra turi būti palaikoma 50 – 60°C, o šalto vandens temperatūra neturi siekti 25°C;[34]

2017 metais buvo atliktas tyrimas, siekiant išsiaiškinti ar saulės kolektorius gali užtikrinti pakankamai aukštą temperatūrą legioneliozės bakterijų prevencijai. Matavimai buvo atlikti Tlemcen mieste, Alžyre. Tyrimo metu nustatyta, kad saulės kolektorius nėra pajėgus pakelti vandens temperatūrą iki reikiamos temperatūros legioneliozės bakterijų prevencijai visus metus. Temperatūra nuo gegužės iki spalio viršijo 60 °C, o likusius metus buvo nepakankama, nužudyti legioneliozės bakterijoms. [35] Todėl yra nerekomenduojama, pasikliauti vien saulės kolektoriais ruošiant buitinį karštą vandenį, jis turėtų veikti kartu su jau esama karšto vandens sistema, kaip papildomas šaltinis, siekiant taupyti energiją.

2. Tyrimų metodologija

2.1. Tyrimo tikslingumas

Šio magistro baigiamuoju darbu siekiama išsiaiškinti, kurį saulės energijos panaudojimo būdą yra tikslingiausia naudoti plaukimo baseine.

Hipotezė – hibridiniai saulės kolektoriai yra pranašesni už saulės kolektorius, naudojant juos plaukimo baseine šildyti žemų temperatūrų vandenį.

2.2. Duomenų rinkimas

Baigiamajame darbe atliekami empiriniai tyrimai, jie yra pagrįsti stebėjimu, bandymais, duomenų rinkimu ir jų interpretavimu.

Baigiamajame darbe kuriami fotovoltinių, saulės kolektorių ir hibridinių saulės kolektorių sistemų modeliai plaukimo baseinui su programine įranga „Polysun“ ir analizuojami gauti rezultatai.

Baigiamajame darbe sumontuota ir paleista hibridinė saulės elektrinė ir surinkti duomenys apie jos veikimą.

2.3. Tyrimo objektas

Tyrimo sąlygoms, atliekant modeliavimus, suvienodinti bus naudojamas esamas objektas – Anykščių baseinas VŠĮ „Sveikatos oazė“ Ažupiečių g. 2

Šiuo metu baseino voniai ir karštam vandeniui šildyti naudojami dujiniai katilai Baxi, du veikiantys nuolat ir vienas rezervinis, o energijos taupymui ant dalies stogo sumontuoti saulės kolektoriai Tisun FM-W- 2,5 iš viso 65 moduliai.

Tisun FM-W-2,5 kolektorių techniniai duomenys:

- Paviršiaus plotas – 2,55 m²;
- Efektyvus paviršiaus plotas – 2,37 m²;
- Gabaritiniai matmenys – (ilgis/ plotis/ gylis) 1180/2160/90 mm;
- Svoris be skysčio – 48 kg;
- Skysčio talpa – 2,1 l;
- Korpusas – profiliuotas aliuminis;
- Skaidri danga – 4 mm specialus prizminis stiklas;
- Absorbcerio danga – selektyvinė, titano oksidas;
- Efektyvumas – 82,3 %.

3 lentelė. VŠĮ „Sveikatos oazė“ Anykščių baseinas užsakovo pateikti esamos situacijos duomenys prieš sumontuojant saulės kolektorių sistemą.

Esamų dujinių katilų naudingo veikimo koeficientas:	0,8
Duštų skaičius [vnt.]:	24
Vidutinis lankytojo karšto vandens 37 °C suvartojimas apsilankymo metu [ltr.]:	100
Šalto vandens temperatūra rugpjūtį [°C]:	10
Šalto vandens temperatūra vasarį [°C]:	8
Baseino ilgis [m]:	25

Baseino plotis [m]:					18
Baseino vidutinis gylis [m]:					1,5
Baseino patalpos temperatūra [°C]:					29
Baseino patalpos santykinis drėgnumas [%]:					60
Baseino vonios vandens temperatūra [°C]:					28
Mėnuo	Suvargota gamtinių dujų, m ³	Pagaminta šilumos, kWh	Suvargota karšto vandens, m ³	Suvargota šalto vandens, m ³	Lankytojų skaičius, vnt.
1	15460	115022,4	640	800	4000
2	13660	101630,4	640	800	4000
3	14170	105424,8	640	800	4000
4	7830	58255,2	560	700	3000
5	5630	41887,2	400	500	2000
6	2538	18882,72	320	400	1000
7	22	163,68	80	100	50
8	160	1190,4	40	50	50
9	7040	52377,6	880	1100	3000
10	10130	75367,2	560	700	3000
11	10740	79905,6	560	700	4000
12	12820	95380,8	640	800	4000
Suma	100200	745488	5960	7450	32100

Pastabos:

Kadangi nebuvo šilumos apskaitos, pagamintos šilumos kiekis apskaičiuotas teoriškai pagal katilų naudingumo koeficientą;

Karšto vandens temperatūra apie - 56 °C;

Karšto vandens dujinių šildytuvų suminė galia - 300 kW;

Katilų šilumos nešėjo paduodama temperatūra apie - 60 °C.

4 lentelė. VŠĮ „Sveikatos oazė“ Anykščių baseinas energijos suvartojimo analizė pagal vartotojus

Mėnuo	Suvargota energijos k. v. ruošti (tame tarpe 10% recirkuliacijos nuostolių), kWh ^{1.}	Suvargota energijos baseinui pašildyti (tame tarpe 10% nuostolių vamzdynuose), kWh ^{2.}	Suvargota energijos sūkurinei voniai ir hidromasažinio baseino šild., kWh ^{3.}	Likusi dalis šildymui, kWh	Suvargota karšto vandens (100 ltr. Lankytojų per apsilank.), m ³ , 37 °C	Suvargota karšto vandens (77 ltr. Lankytojų per apsilank.), m ³ , 56 °C
1	17212,40	13016,67	1538,33	83255	400	308,33
2	17212,40	13016,67	1538,33	69863	400	308,33

3	17212,40	13016,67	1538,33	73657,4	400	308,33
4	12909,30	13016,67	1538,33	30790,9	300	231,25
5	8606,20	13016,67	1538,33	18726	200	154,17
6	4303,1	13016,67	1538,33	24,62	100	77,08
7	215,16	-	-	-	5	3,85
8	215,16	-	-	-	5	3,85
9	12909,3	13016,67	1538,33	24913,3	300	231,25
10	12909,3	13016,67	1538,33	47902,9	300	231,25
11	17212,4	13016,67	1538,33	48138,2	400	308,33
12	17212,4	13016,67	1538,33	63613,4	400	308,33
Suma:	138129,51	130166,67	16921,67	460884,72	3210	2474,38

Pastabos:

1. Karšto vandens pašildymui reikalingas energijos kiekis paskaičiuotas, įvertinus pateiktus lankytojų skaičiaus ir vandens suvartojimo duomenis bei temperatūras;
2. Pagrindinio baseino vonios pašildymui reikalingas energijos kiekis suskaičiuotas pagal pateiktus duomenis su saulės sistemų simuliacijos programa T-SOL;
3. Sukūrinės vonios ir hidromasažinio baseino pašildymui reikalingas kiekis priimtas 13% pagrindinio baseino vonios pašildymui reikalingos energijos kiekio.

Iš suskaičiuotų rezultatų matosi pagrindiniai šilumos vartotojai VŠĮ „Sveikatos oazė“ plaukimo baseine:

5 lentelė. Pagrindiniai šiluminės energijos vartotojai baseine

	Vartotojas	Suvartota energijos
1	Karšto vandens gamyba	138,130 kWh
2	Baseino pagrindinės vonios pašildymas	130,167 kWh
3	Sukūrinės vonios ir hidromasažinio baseino pašildymas	16,921 kWh
4	Patalpų šildymas	460,884 kWh

Duomenys apie klimatinę ir geografinę objekto padėtį reikalingi sistemų parinkimui:

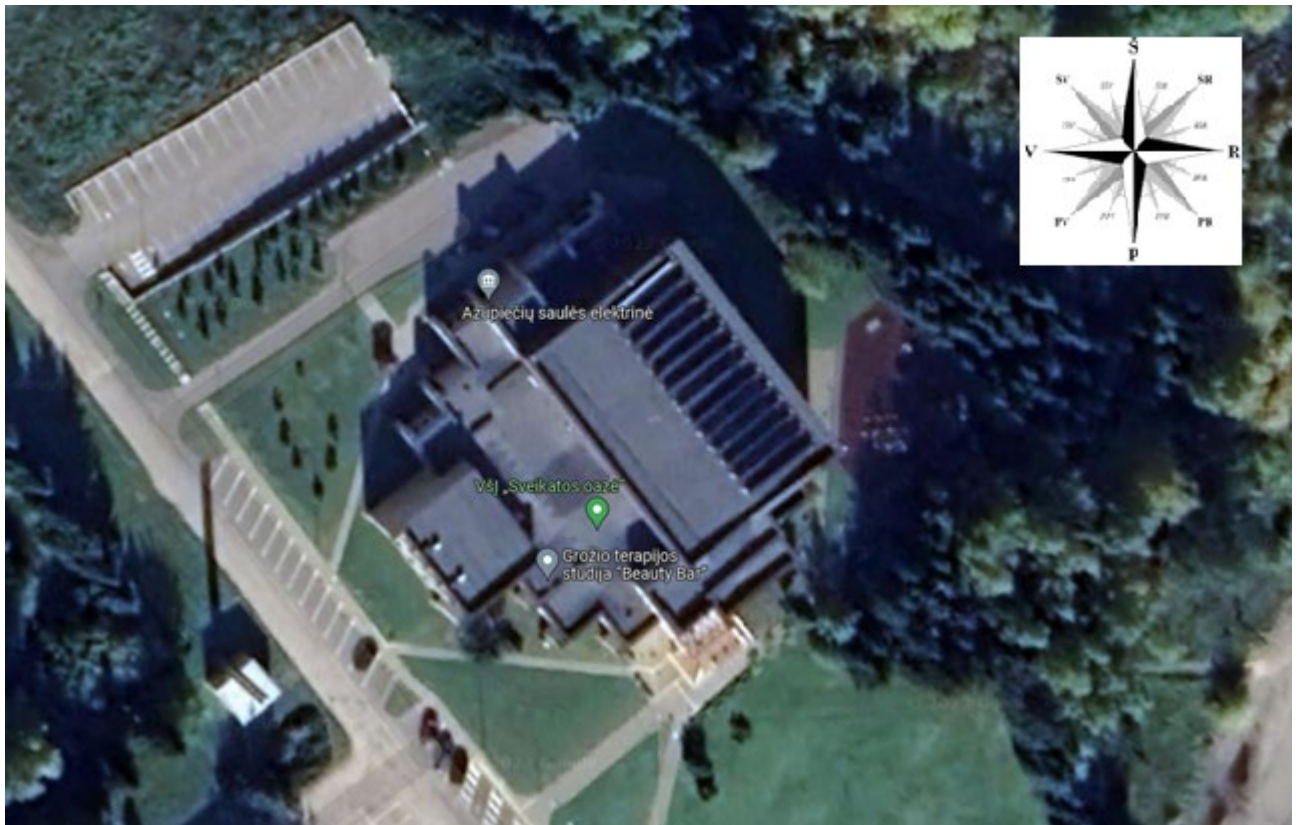
6 lentelė. Duomenys apie klimatinę ir geografinę objekto padėtį

Vieta	Anykščiai
Klimato regionas	Utena
Metinis saulės energijos spinduliavimas, [kWh/m ²]	997,61
Platuma, [°]	55,53
Ilguma, [°]	-25,6

Baseino energijos sąnaudos:

7 lentelė. VŠĮ „Sveikatos oazė“ 2022 metų energinių resursų apskaitos duomenys.

	Matav. Vnt.	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	Iš viso
Dujos	m ³	8483	7367	6532	5311	4263	2579	2511	982	4481	5188	6514	7655	61866
Saulės kolektorių gaminama energija	kWh	0	1300	6880	7870	7170	6420	9990	11330	4540	1720	130	20	57370
Iš dušo nuotekų išgaunama energija.	kWh	855	1115	965	965	610	290	220	40	430	760	915	960	8125
Elektra	kWh	36142	32460	33083	30203	28927	17838	13523	4479	22153	28337	29360	31598	308103
Vandens įvad. Apskaita	m ³	790	826	755	609	565	380	293	462	913	749	804	723	7869
Šaltas vanduo (baseinui)	m ³	301	306	274	201	220	115	102	159	369	256	256	241	2800
Karštas vanduo (baseinui)	m ³	52	51	44	36	35	21	19	178	212	46	46	41	781
Baseino papildymui (viso)	m ³	353	357	318	237	255	136	121	337	581	302	302	282	3581



6 pav. Baseino orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, bei turimas laisvas stogo plotas [36]

2.4. Saulės modulių montavimas

2.4.1. Saulės modulių orientacija

Daugiausia energijos saulė įspinduliuoja esant 0° azimuto kampui t. y. esant orientacijai į pietus.

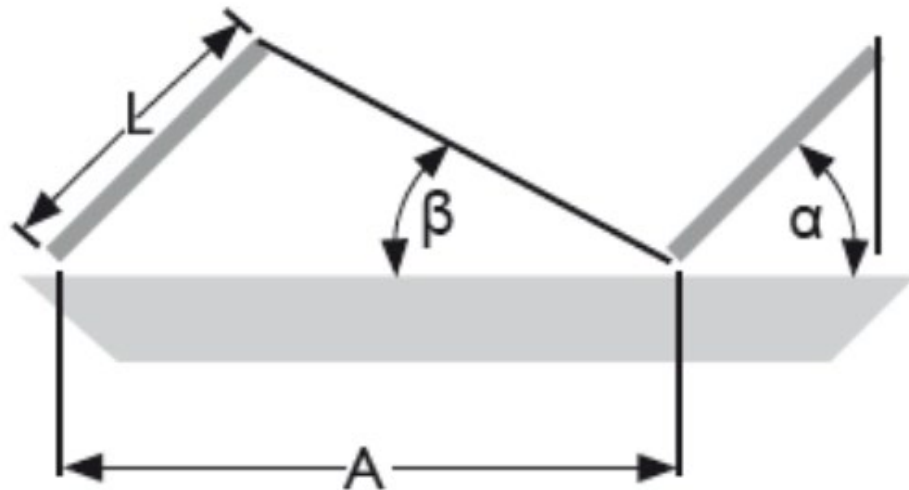
Posvyrio kampas α yra kampas tarp horizonto ir kolektoriaus plokštumos. Daugiausia energijos įspinduliuojama, kai saulės kolektoriaus plokštuma yra statmena saulės spindulių kryptčiai, taigi jis parenkamas atsižvelgiant į esamą geografinę padėtį. Nustatytu 38° kampu α Utenos geografinėje padėtyje vasaros metu į plokštumą įspinduliuojamas didžiausias saulės energijos kiekis. Toks kampas gaunamas montuojant modulius eilėmis horizontaliai pastato stogo atsuktus į pietryčių pusę.

Montuojant modulius eilėmis išilgai pastato stogo gaunamas 52° kampas nuo pietinės pusės ir moduliai orientuojami į pietvakarius.

Saulės moduliai modeliuojami pasvirę 30° ir 15° kampu.

2.4.2. Atstumas tarp modulių eilių

Tam kad būtų išvengta šešėlių susidarymo, turi būti išlaikomas minimalus atstumas tarp saulės kolektorių eilių.



7 pav. Minimalaus atstumo apskaičiavimo funkcinė schema

$$A = (L \times \cos \alpha) + \left(\frac{L \times \sin \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (1)$$

Čia:

A – atstumas tarp saulės kolektorių eilių;

L – saulės kolektoriaus aukštis;

α – saulės kolektoriaus posvyrio kampas;

β – minimalaus saulės padėties aukščio kampas.

$$\beta = 90^\circ - 23,5^\circ (\text{konstanta}) - \text{platuma} = 90^\circ - 23,5^\circ - 55,53^\circ = 10,97^\circ \approx 11^\circ;$$

2.5. Rezultatų apibendrinimas

Baigiamajame darbe atliekama surinktų duomenų analizė, gauti duomenys lyginami pagal literatūros analizėje išanalizuotus kriterijus:

- Efektyvumas
- Elektros energijos gavimas
- Šiluminės energijos gavimas
- Investicijos
- Ilgaamžiškumas
- Ekologiškumas
- Energijos poreikių padengimas
- Atsipirkimo laikotarpis

Atlikus duomenų analizę aptariami gauti rezultatai ir suformuluojamos išvados.

2.5.1. Daugiakriterinio vertinimo metodas

Taip pat gauti duomenys yra lyginami naudojant paprastąjį sudedamąjį svėrimo - SAW (Simple Additive Weighting) daugiakriterinio vertinimo metodą. Šiuo metodu galima vertinti rezultatus, kurie turi skaitines reikšmes. Pasitelkiant šį metodą, siekiama nustatyti, kuris saulės energijos panaudojimo būdas yra efektyviausias plaukimo baseino pastato energijos poreikiams tenkinti. Norint taikyti šį metodą, pirmiausia reikia:

14. Susikurti kriterijų sistemą, pagal kuriuos bus atliekamas vertinimas;
15. Nustatyti kriterijų reikšmingumą AHP (porinio palyginimo metodu);
16. Atlikti kriterijų atitikties įvertinimą.

Vykdamas kriterijų atranką, atsižvelgta ar bus įmanoma pasirinktą kriterijų išreikšti skaitine verte ir konsultuojamasi su darbo vadovu, kurie kriterijai yra svarbiausi. Taip atrinkti penki svarbiausi kriterijai, pagal kuriuos atliekamas daugiakriterinis sistemų vertinimas.

8 lentelė. Saulės modulių palyginimui naudojami kriterijai

Nr.	Kriterijaus pavadinimas	Aprašymas	Matavimo vnt., vertinimo skalė	Optimizavimo kryptis MIN ar MAX
1	Saulės modulio, saulės kolektoriaus arba hibridinio saulės kolektoriaus efektyvumas	Kiek procentų saulės energijos modulis gali paversti į šiluminę arba elektros energiją	%	MAX
2	Pradinės investicijos	Modulių kaina	€	MIN
3	Saulės modulio, saulės kolektoriaus arba hibridinio saulės kolektoriaus gamybos ekologiškumas	CO2 sutaupymas	kg	MAX
4	Šilumos arba elektros poreikių padengimas	Kokią dalį pastato energijos poreikių sistema gali padengti	%	MAX
5	Sistemos atsipirkimo laikotarpis	Per kiek laiko sistema atsipirks	metai	MIN

Norint nustatyti kriterijų reikšmingumą, pasitelkta anketa, kurioje ekspertai pateikia savo nuomonę ir išreitinguoja kriterijus svarbos tvarka. Ekspertai gauna šiuos penkis kriterijus ir išreitinguoja juos pagal svarbumą. Ekspertai parinkti turintys darbo praktikos saulės energetikos srityje, dirbantys su moduliais jų tyrimais, juos montuojantys arba projektuojantys. Ekspertai užpildo porinio palyginimo lentelės lygina visus kriterijus vieną su kitu ir surinkus apklausos duomenis, skaičiuojami kriterijų reikšmingumai q_j . AHP metodas naudojamas pagal [37]. Ekspertai vertina duotus kriterijus pagal svarbą, nuo 1 iki 9. Anketos pildymo metodika jiems paaiškinta žodžiu.

Toliau turint ekspertų vertinimo anketas atliekami skaičiavimai AHP metodu, pagal formules aprašytas metodikoje[37]:

1. Anketų rezultatai surašomi į matricą:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. Visi matricos P stulpelio elementai yra dalinami iš stulpelio elementų sumos:

$$b_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=1}^n p_{ij}}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Tai atlikus gaunama nauja matrica B:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

3. B matricos eilučių vidurkis ir duoda atitinkamo kriterijaus reikšmingumo reikšmę pagal vieno eksperto porinio palyginimo vertinimą.

$$q_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

Gautas rodiklių reikšmingumo reikšmės naudojame tolimesniuose skaičiavimuose.

Toliau skaičiavimas atliekamas pagal SAW metodą[38]:

1. Skaičiavimams SAW metodu, reikia kad rodiklių reikšmingumo reikšmės tenkintų sąlygą:

$$\sum_{j=1}^n q_j = 1. \quad (6)$$

2. Normalizuojami sprendimo matricos X rodikliai, kurių optimizavimo kryptis yra MAX:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i^{\max}}, \quad (7)$$

3. Normalizuojami sprendimo matricos X rodikliai, kurių optimizavimo kryptis yra MIN:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_i^{\min}}{x_{ij}} \quad (8)$$

4. Tokiu būdu gaunama normalizuota matrica $\bar{X}$:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

5. Skaičiuojant alternatyvų SAW kriterijaus reikšmės, normalizuotos matricos elementai yra dauginami iš atitinkamų reikšmingumo reikšmių, o gautos sandaugos yra susumuojamos. SAW kriterijaus reikšmė visoms alternatyvoms apskaičiuojama pagal:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \cdot q_j \quad (10)$$

SAW kriterijaus reikšmė ir nurodo, kuris variantas yra geresnis. Aprašomi gauti rezultatai, suformuojamos išvados.

3. Rezultatai ir diskusija

3.1. Sistemų modeliavimas

Atliekami Sistemų modeliavimai ant esamo laisvo VŠĮ „Sveikatos oazė“ pastoto stogo ploto.

Laisvas plotas = 37 m. × 10 m. = 370 m²;

Atliekami 12 modeliavimų programa Polysun: 4 modeliavimai naudojant hibridinius saulės kolektorius, 4 modeliavimai naudojant fotovoltinius elementus ir 4 modeliavimai naudojant saulės kolektorius.

Modeliuojant skirtingus saulės modulius stengiamasi išlaikyti vienodas sąlygas.

Modeliavimams naudojami saulės moduliai (ir jų išmatavimai):

1. Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai (1661 x 997);
2. Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai (1646 x 1140);
3. Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai (1660 x 990);
4. Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai (1630 x 986);
5. Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai (2132 x 1048);
6. LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai (2115 x 1052);
7. Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai (1045 x 1676);
8. REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai (1721 x 1016);
9. Nibe AB SOLAR PF215 PL saulės kolektoriai (2088 x 1030);
10. SOLTOP Schuppisser AG COBRA AK 2.2V saulės kolektoriai (1897 x 1166);
11. SolvisFera F-282-I AR saulės kolektoriai (1480 x 1909);
12. Viessmann Werke HmbH & Co vitosol 200-FM SV2F saulės kolektoriai (2380 x 1056).

3.1.1. Modulių kiekio modeliavimas ant VŠĮ „Sveikatos oazė“ baseino laisvo stogo ploto.

Pagal 1 formulę skaičiuojami atstumai tarp modulių eilių, kad išvengtume šešėlių susidarymo, kai moduliai pasvirę 30° kampu:

1. $A = (1661 \times \cos 30) + \left(\frac{1661 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 5711 \approx 5700 \text{ mm};$
2. $A = (1646 \times \cos 30) + \left(\frac{1646 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 5659 \approx 5700 \text{ mm};$
3. $A = (1660 \times \cos 30) + \left(\frac{1660 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 5707 \approx 5700 \text{ mm};$
4. $A = (1630 \times \cos 30) + \left(\frac{1630 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 5604 \approx 5600 \text{ mm};$
5. $A = (2132 \times \cos 30) + \left(\frac{2132 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 7330 \approx 7300 \text{ mm};$
6. $A = (2115 \times \cos 30) + \left(\frac{2115 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 7272 \approx 7300 \text{ mm};$
7. $A = (1045 \times \cos 30) + \left(\frac{1045 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 3593 \approx 3600 \text{ mm};$
8. $A = (1721 \times \cos 30) + \left(\frac{1721 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 5917 \approx 5900 \text{ mm};$
9. $A = (2088 \times \cos 30) + \left(\frac{2088 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 7179 \approx 7200 \text{ mm};$
10. $A = (1897 \times \cos 30) + \left(\frac{1897 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 6522 \approx 6500 \text{ mm};$
11. $A = (1480 \times \cos 30) + \left(\frac{1480 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 5089 \approx 5100 \text{ mm};$

$$12. A = (2380 \times \cos 30) + \left(\frac{2380 \times \sin 30}{\tan 11} \right) = 8183 \approx 8200 \text{ mm};$$

Pasimodeliavus apskaičiuota, kiek telpa modulių ant turimo laisvo baseino stogo ploto montuojant juos skersai stogo orientuotus į pietryčius, pasvirusius 30° kampu:

1. 42 moduliai
2. 36 moduliai;
3. 42 moduliai;
4. 42 moduliai;
5. 35 moduliai;
6. 35 moduliai;
7. 40 modulių;
8. 42 moduliai;
9. 35 moduliai;
10. 30 moduliai;
11. 21 moduliai;
12. 28 moduliai;

Pasimodeliavus apskaičiuota, kiek telpa modulių ant turimo laisvo baseino stogo ploto montuojant juos išilgai stogo, orientuotus į pietvakarius, pasvirusius 30° kampu:

1. 68 moduliai
2. 58 moduliai;
3. 68 moduliai;
4. 68 moduliai;
5. 32 moduliai;
6. 32 moduliai;
7. 40 modulių;
8. 66 moduliai;
9. 33 moduliai;
10. 29 moduliai;
11. 34 moduliai;
12. 32 moduliai;

Pagal 1 formulę skaičiuojami atstumai tarp modulių eilių, kad išvengtume šešėlių susidarymo, kai moduliai pasvirę 15° kampu:

1. $A = (1661 \times \cos 15) + \left(\frac{1661 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 3816 \approx 3800 \text{ mm};$
2. $A = (1646 \times \cos 15) + \left(\frac{1646 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 3781 \approx 3800 \text{ mm};$
3. $A = (1660 \times \cos 15) + \left(\frac{1660 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 3814 \approx 3800 \text{ mm};$
4. $A = (1630 \times \cos 15) + \left(\frac{1630 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 3745 \approx 3800 \text{ mm};$
5. $A = (2132 \times \cos 15) + \left(\frac{2132 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 4898 \approx 4900 \text{ mm};$
6. $A = (2115 \times \cos 15) + \left(\frac{2115 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 4859 \approx 4900 \text{ mm};$
7. $A = (1045 \times \cos 15) + \left(\frac{1045 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 2401 \approx 2400 \text{ mm};$
8. $A = (1721 \times \cos 15) + \left(\frac{1721 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 3954 \approx 4000 \text{ mm};$

$$9. A = (2088 \times \cos 15) + \left(\frac{2088 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 4797 \approx 4800 \text{ mm};$$

$$10. A = (1897 \times \cos 15) + \left(\frac{1897 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 4358 \approx 4400 \text{ mm};$$

$$11. A = (1480 \times \cos 15) + \left(\frac{1480 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 3400 \approx 3400 \text{ mm};$$

$$12. A = (2380 \times \cos 15) + \left(\frac{2380 \times \sin 15}{\tan 11} \right) = 5468 \approx 5500 \text{ mm};$$

Pasimodeliavus apskaičiuota, kiek telpa modulių ant turimo laisvo baseino stogo ploto montuojant juos skersai stogo orientuotus į pietryčius, pasvirusius 15° kampu:

1. 63 moduliai
2. 54 moduliai;
3. 63 moduliai;
4. 63 moduliai;
5. 49 moduliai;
6. 49 moduliai;
7. 56 modulių;
8. 63 moduliai;
9. 49 moduliai;
10. 48 moduliai;
11. 30 moduliai;
12. 42 moduliai;

Pasimodeliavus apskaičiuota, kiek telpa modulių ant turimo laisvo baseino stogo ploto montuojant juos išilgai stogo, orientuotus į pietvakarius, pasvirusius 15° kampu:

1. 68 moduliai
2. 58 moduliai;
3. 68 moduliai;
4. 68 moduliai;
5. 64 moduliai;
6. 64 moduliai;
7. 60 modulių;
8. 66 moduliai;
9. 66 moduliai;
10. 58 moduliai;
11. 34 moduliai;
12. 32 moduliai;

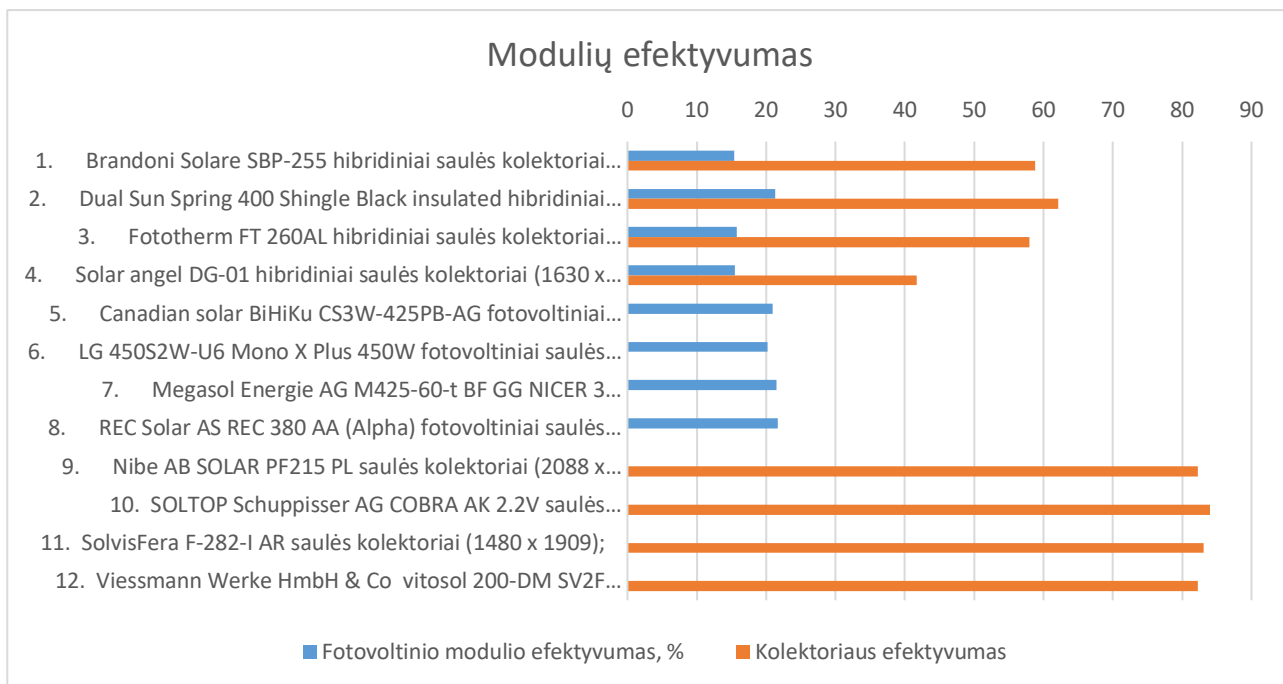
Ant stogo telpantis modulių kiekis apskaičiuotas pasimodeliavus situaciją Autocad programinėje įrangoje.

Siekiant sumažinti vėjo apkrovas yra rekomenduojama palikti pakankamą atstumą nuo žemės tam, kad vėjas galėtų lengviau apeiti modulius. Taip pat rekomenduojama laikytis minimalaus vieno metro atstumo nuo stogo kraštų. Saulės sekimo sistemos neprojektuojamos.

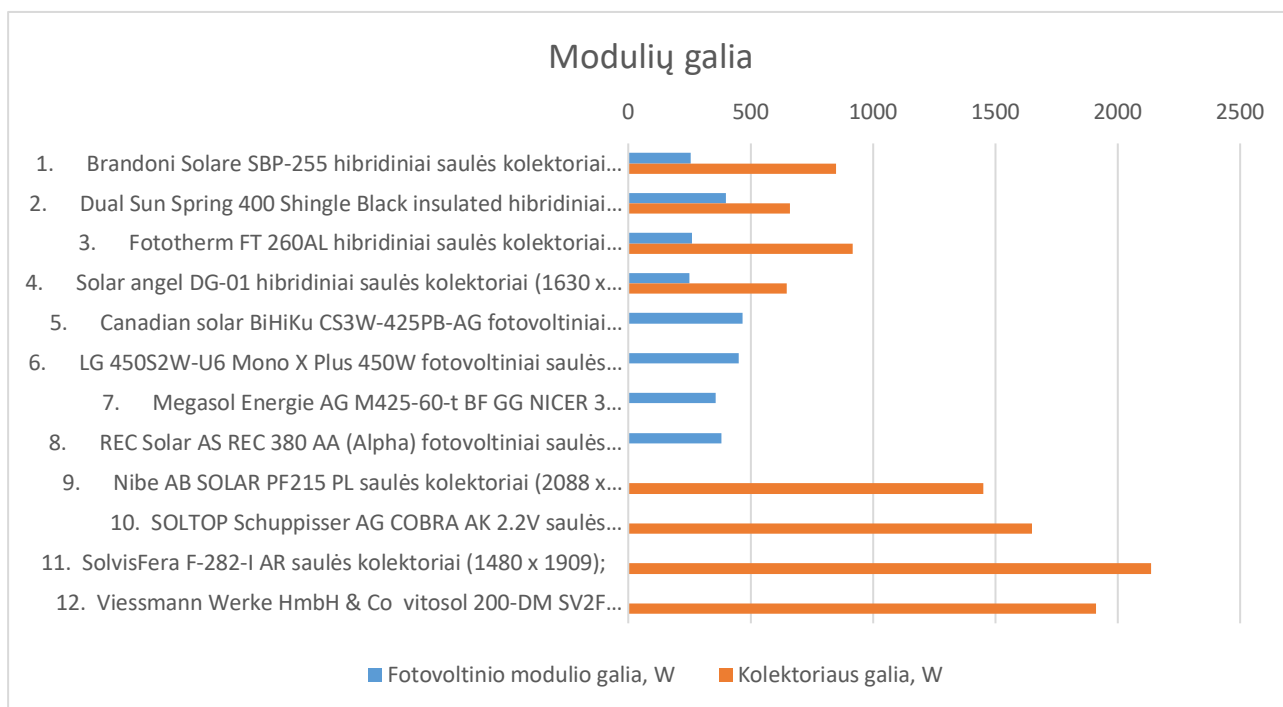
Iš viso atliekama 48 modeliavimai.

3.1.2. Modeliavimams naudoti moduliai ir jų pasirinkimas

Modeliuojami skirtingų gamintojų ir kuo panašesnio efektyvumo moduliai, jie pasirinkti pagal tai, kad būtų įtraukti į programinės įrangos „Polysun“ katalogus ir būtų prieinami Lietuvos rinkoje. Fotovoltiniai moduliai pasirinkti apie 20-22% efektyvumo, saulės kolektoriai apie 80-85% efektyvumo, o hibridiniai saulės kolektoriai pasirinkti kuo efektyvesni ir prieinami Lietuvos arba Europos rinkoje, nes jų pasiūla šiuo metu vis dar labai ribota. Renkantis modulius nebuvo vertinama jų galia, nes ji dažniausiai priklauso nuo modulio dydžio.



9 pav. Modeliavimams naudojamų modulių efektyvumo palyginimas



8 pav. Modeliavimams naudojamų modulių galios palyginimas

3.1.3. Modulių ilgaamžiškumas

Modulių ilgaamžiškumą galima palyginti pagal gamintojų deklaruojamas reikšmes, tačiau saulės kolektoriai pasirinkti modeliavimams šių deklaruotų verčių neturėjo, bet galime palyginti hibridinius saulės kolektorius ir fotovoltinius modulius.

9 lentelė. Duomenys apie gamintojo suteikiamą garantiją ir gaminio nusidėvėjimą

Saulės modulio gamintojas, tipas	Gamintojo suteikiama garantija, metai	Gaminio nusidėvėjimas, %
1. Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai	11 fotovoltiniam moduliui, 5 metai kolektoriui	Per 5 m. iki 95%; Per 10 m. iki 90%; Per 25 m. iki 80%
2. Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai	10 visam moduliui, 25 fotovoltiniam moduliui	per 25 m. iki 84,8%
3. Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai	10 visam moduliui	Per 25 m. iki 80%
4. Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai	10 visam moduliui, 25 fotovoltiniam moduliui	-
5. Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai	12 visam moduliui, 30 efektyvumui	per pirmus metus ne daugiau 2 %, toliau po 0,45% per metus
6. LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai	15 metų visam moduliui	Pirmi metai 97,5%; po to po 0,4% kasmet; po 25 m. 87,9%
7. Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai	10 visam moduliui, 30 efektyvumui	Pirmi metai 97%; po to po 0,5% kasmet; po 10 m. 92,5%; Po 25 m. 85%; Po 30 m. 80%
8. REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai	20 metų visam moduliui, 25 metų efektyvumui	Po 25 m. 92%

Iš surinktų duomenų galime matyti, kad gamintojai fotovoltiniams moduliams ir hibridiniams saulės kolektoriams dažniausiai skiria nuo 10 metų garantiją moduliui, ir iki 30 metų garantiją jo efektyvumui, kas reiškia, kad jo efektyvumui palaipsniui mažėjant, net po 30 metų jis nesumažės daugiau nei 80 %. Visos reikšmės yra gana panašios, todėl geresnę sistemą šiuo aspektu išskirti yra sunku. Iš literatūros analizės dalies žinome, kad apytiksliai saulės kolektorių ilgaamžiškumo laikotarpis svyruoja nuo 20 iki 30 metų. Tačiau gerai prižiūrimi ir kokybiškai įdiegti kolektoriai gali tarnauti dar ilgiau.

3.2. Modeliavimo rezultatai

Atlikti keturių situacijų modeliavimai:

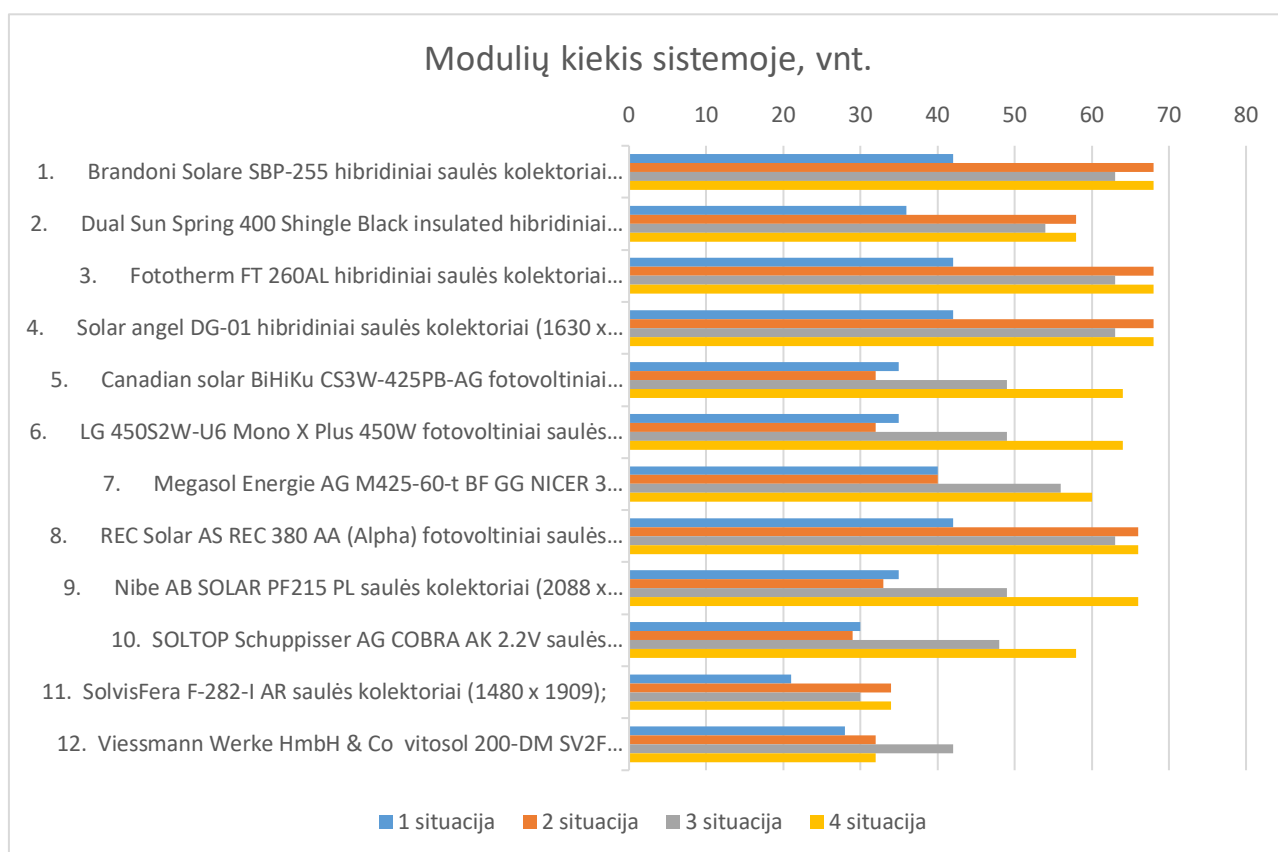
1. Kai moduliai pasvirę 30° kampu ir montuojami eilėmis skersai pastato, atsukti į pietryčių pusę +38° kampu;
2. Kai moduliai pasvirę 30° kampu ir montuojami eilėmis išilgai pastato, atsukti į pietvakarių pusę -52° kampu;
3. Kai moduliai pasvirę 15° kampu ir montuojami eilėmis skersai pastato, atsukti į pietryčių pusę +38° kampu;

4. Kai moduliai pasvirę 15° kampu ir montuojami eilėmis išilgai pastato, atsukti į pietvakarių pusę -52° kampu;

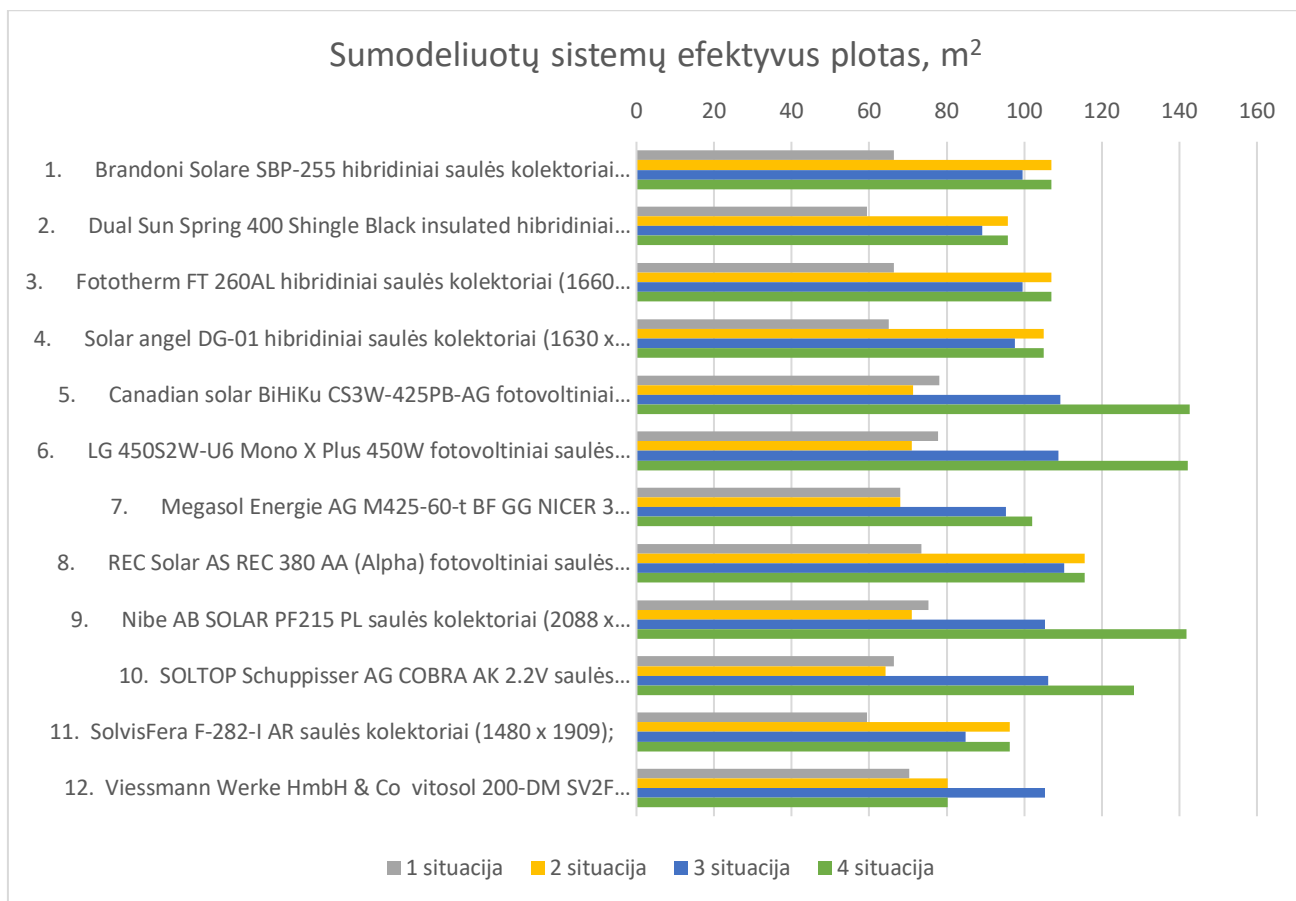
3.2.1. Sumodeliuotų sistemų palyginimas pagal modulių kiekį ir efektyvų plotą.

Modeliavimų metu keičiant pasvyrimo kampą ir orientaciją, siekiama nustatyti, kokią įtaką sistemai, gali turėti modulio dydis, ir orientacija saulės atžvilgiu, turint labai ribotą stogo plotą.

Modeliuojant skirtingas situacijas, gautos skirtingos sistemos, modulių kiekiu ir efektyviu plotu, nes skiriasi modulių dydžiai ir reikalingas minimalus atstumas tarp modulių.



10 pav. Saulės modulių kiekiai sistemose kiekvieno modeliavimo metu



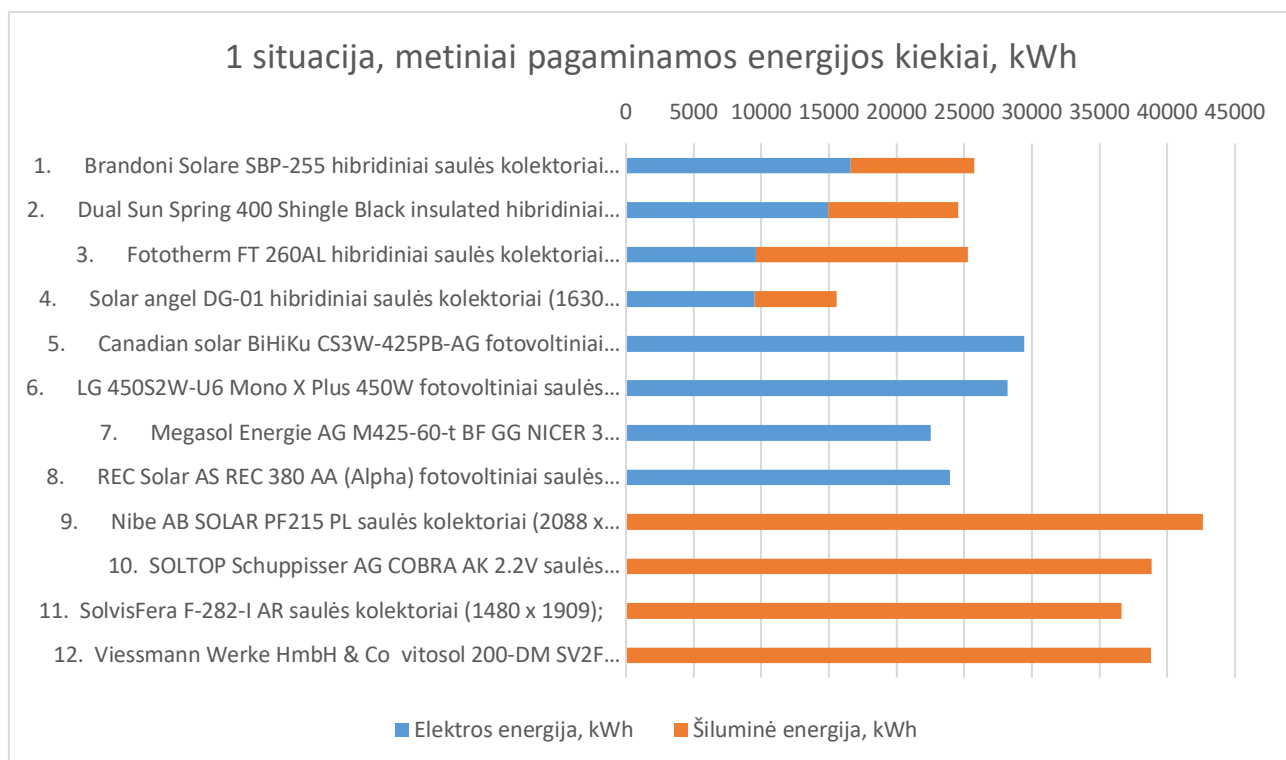
11 pav. Sumodeliuotos sistemos efektyvus plotas kiekvieno modeliavimo metu

3.2.2. Sumodeliuotų sistemų palyginimas pagal pagaminamą energiją

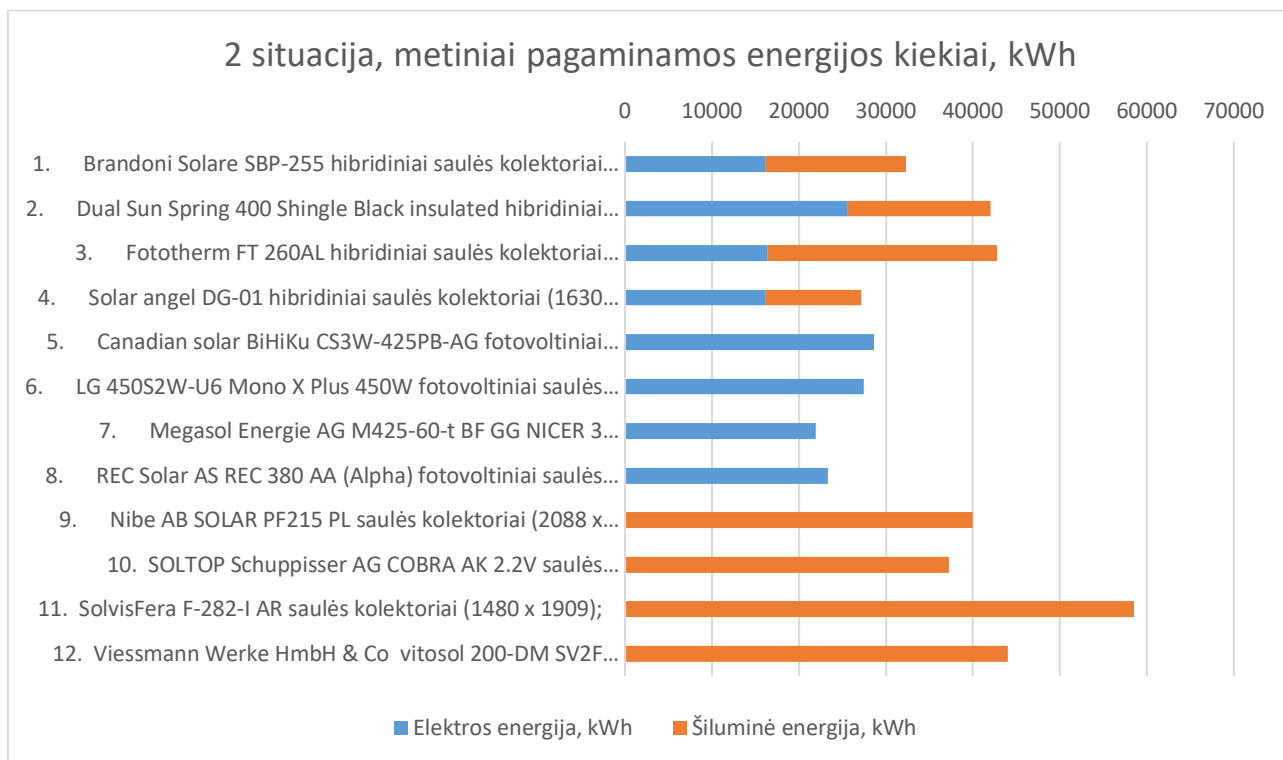
Lyginant sistemas pagal pagaminamą energiją, galime pastebėti, kad saulės kolektoriai pagamina daugiau energijos nei hibridiniai saulės kolektoriai ar fotovoltiniai moduliai, tačiau hibridiniai saulės kolektoriai gamina abiejų rūšių energiją: elektros ir šiluminę energiją, todėl, jų panaudojimo galimybės yra universalesnės. Bet jeigu pastate nėra šiluminės energijos poreikio, tuomet projektuoti hibridinius saulės kolektorius, nėra tikslinga, nes pagamintos šiluminės energijos nėra kur panaudoti, jos perduoti į miesto tinklą taip pat nėra įmanoma, todėl dažnai priimamas variantas modulius tiesiog uždengti, dėl ko prarandama ir elektros energijos gaminimo opcija. Taip pat lyginti skirtingų rūšių energiją nėra optimalu, nes elektros energijos ir šiluminės energijos kainos ženkliai skiriasi. Todėl šie rezultatai nelabai tinkami pasakyti, kuris saulės energijos panaudojimo būdas yra geresnis. Tačiau galima tiesiog palyginti skaitines išraiškas. Mažiausiai elektros energijos pagamina hibridinių saulės kolektorių sistema, Nr. 4 pirmos situacijos metu – 9495 kWh, o daugiausiai fotovoltinių modulių sistema Nr. 5 pirmosios situacijos metu – 29424 kWh. Jei skaičiuotume vidurkį sistemų, kurios gali gaminti elektros energiją, tai vidutiniškai hibridinių saulės kolektorių sistemos pagamina 15548 kWh, o fotovoltinių saulės modulių sistemos – 25239 kWh. Analogiškai lyginant sistemas, kurios gamina šiluminę energiją, mažiausiai šiluminės energijos pagamina hibridinių saulės kolektorių sistema Nr. 4 pirmosios situacijos metu – 6092 kWh, o daugiausiai saulės kolektorių sistema Nr. 9 ketvirtosios situacijos metu – 73385 kWh. Toliau esančioje lentelėje ir diagramose pateikiami visų sistemų pagaminamos energijos kiekiai skaičių ir diagramų pavidalu.

10 lentelė. Metiniai visų sistemų pagaminamos energijos kiekiai:

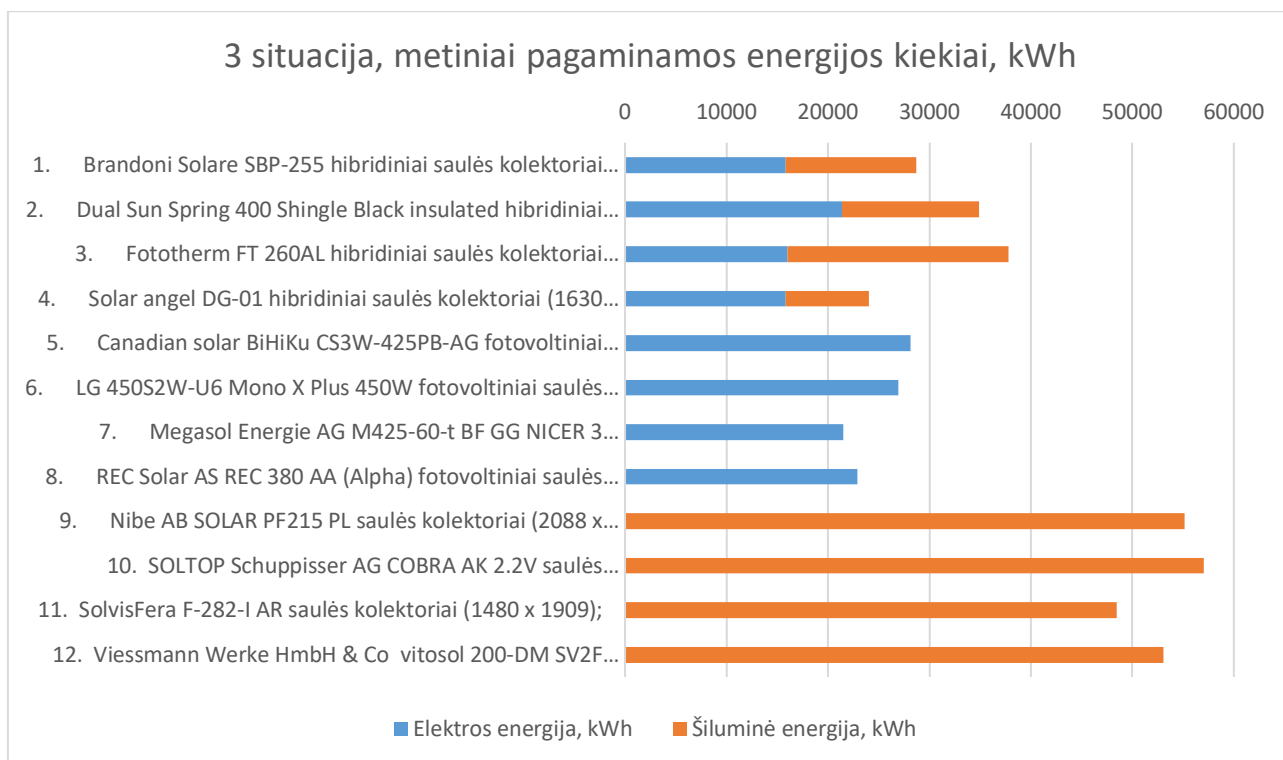
Sistemos numeris	1 Situacija		2 Situacija		3 Situacija		4 Situacija	
	Pagaminamas elektros energijos kiekis, kWh	Pagaminamas šiluminės energijos kiekis, kWh	Pagaminamas elektros energijos kiekis, kWh	Pagaminamas šiluminės energijos kiekis, kWh	Pagaminamas elektros energijos kiekis, kWh	Pagaminamas šiluminės energijos kiekis, kWh	Pagaminamas elektros energijos kiekis, kWh	Pagaminamas šiluminės energijos kiekis, kWh
1.	16620	9113	16195	16095	15830	12847	15576	14627
2.	14948	9614	25525	16533	21355	13542	24532	14990
3.	9606	15667	16409	26333	16038	21725	15794	23877
4.	9495	6092	16204	10979	15855	8206	15609	9463
5.	29424	0	28638	0	28130	0	27664	0
6.	28209	0	27454	0	26959	0	26510	0
7.	22502	0	21895	0	21496	0	21135	0
8.	23963	0	23342	0	22877	0	22506	0
9.	0	42623	0	39949	0	55139	0	73385
10.	0	38830	0	37260	0	57059	0	68197
11.	0	36644	0	58514	0	48453	0	54394
12.	0	38821	0	43997	0	53063	0	40253



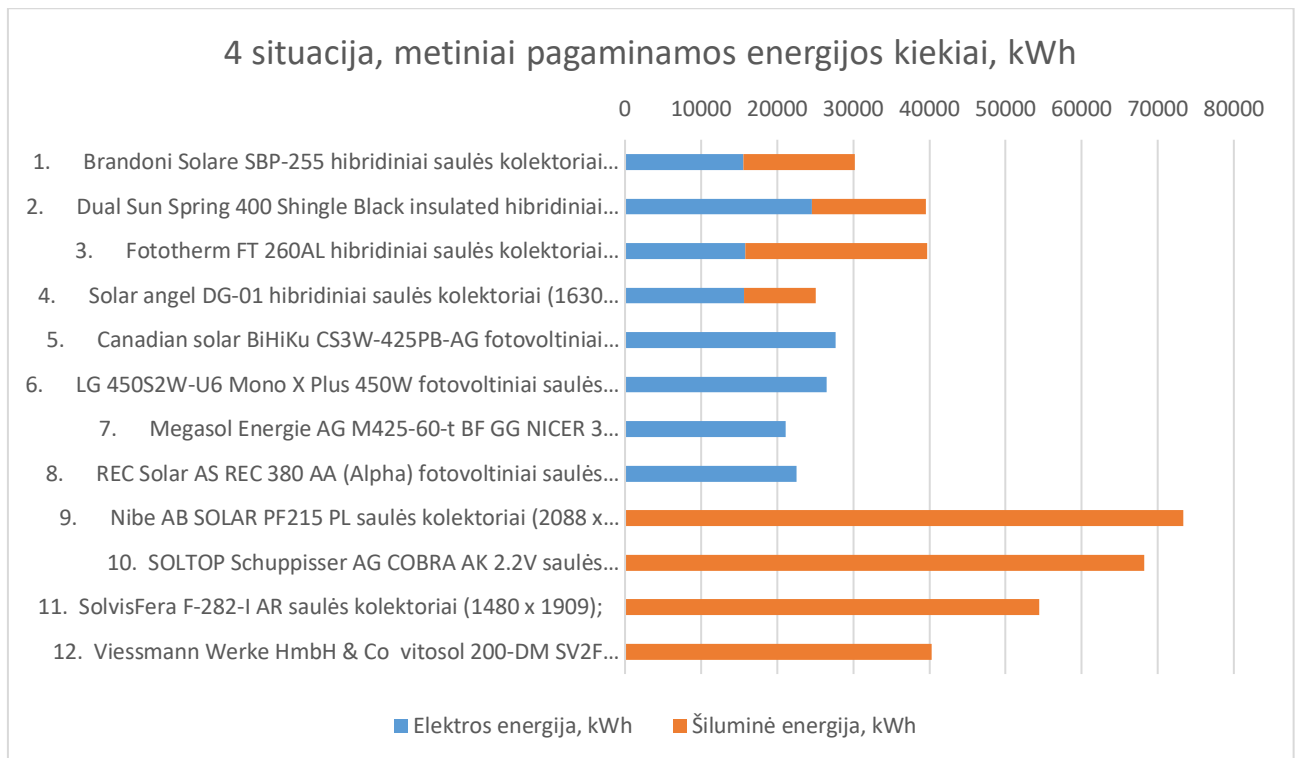
12 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai pirmoje modeliavimo situacijoje



13 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai antroje modeliavimo situacijoje



14 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai trečioje modeliavimo situacijoje



15 pav. sistemų pagaminamos energijos kiekiai ketvirtoje modeliavimo situacijoje

3.2.3. Energijos poreikių plaukimo baseine padengimas

Iš 7 lentelėje pateiktų duomenų, žinome, kokie yra modeliuojamo objekto energijos resursų poreikiai 2022 metais. Tad galime paskaičiuoti, kiek procentų šių poreikių mūsų suprojektuotos sistemos galės padengti. Lyginsime tik šiluminės ir elektros energijos poreikius. Iš 7 lentelės žinome, kad per 2022 metus pastatas suvartojo 308103 kWh elektros energijos ir 781 m³ karšto vandens baseinui, taip pat 3581 m³ baseino papildymui. Baseino vandens temperatūrą nuo 8 °C (vasarį) – 10 °C (rugsjūtį) reikia pakelti iki 28 °C. Energijos kiekis reikiamam kiekiui vandens pašildyti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q = m \times c_p (t_1 - t_2); \quad (11)$$

Čia:

m – vandens masė, $(m = 781 \text{ m}^3 + 3581 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4362000 \text{ kg};$

c_p – vandens savitoji šiluma $(c_{p(H_2O)} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}});$

t_1 – paduodamo vandens šiluma, $(t_1 = 9 ^\circ\text{C});$

t_2 – pašildyto vandens šiluma, $(t_2 = 28 ^\circ\text{C});$

$$Q = 4362000 \times 4200 (9 - 28) = 348088 \text{ MJ} = 96691 \text{ kWh};$$

Kai žinome kiek, šiluminės ir elektros energijos baseino pastatui reikia per metus galime apskaičiuoti, kokią dalį šio poreikio (procentais) sistema gali padengti.

11 lentelė. Energijos poreikių padengimas analizuojamam baseino pastatui.

Sistemos numeris	1 Situacija		2 Situacija		3 Situacija		4 Situacija	
	Padengiamas el. energijos poreikis, %	Padengiamas šiluminės energijos poreikis, %	Padengiamas el. energijos poreikis, %	Padengiamas šiluminės energijos poreikis, %	Padengiamas el. energijos poreikis, %	Padengiamas šiluminės energijos poreikis, %	Padengiamas el. energijos poreikis, %	Padengiamas šiluminės energijos poreikis, %
1.	5,4	9,4	5,3	16,6	5,1	13,3	5,1	15,1
2.	4,9	9,9	8,3	17,1	6,9	14,0	8,0	15,5
3.	3,1	16,2	5,3	27,2	5,2	22,5	5,1	24,7
4.	3,1	6,3	5,3	11,4	5,1	8,5	5,1	9,8
5.	9,6	0,0	9,3	0,0	9,1	0,0	9,0	0,0
6.	9,2	0,0	8,9	0,0	8,7	0,0	8,6	0,0
7.	7,3	0,0	7,1	0,0	7,0	0,0	6,9	0,0
8.	7,8	0,0	7,6	0,0	7,4	0,0	7,3	0,0
9.	0,0	44,1	0,0	41,3	0,0	57,0	0,0	75,9
10.	0,0	40,2	0,0	38,5	0,0	59,0	0,0	70,5
11.	0,0	37,9	0,0	60,5	0,0	50,1	0,0	56,3
12.	0,0	40,1	0,0	45,5	0,0	54,9	0,0	41,6

Iš gautų rezultatų matome, kad fotovoltiniai moduliai, padengia daugiausia pastato elektros energijos poreikių, o saulės kolektoriai, daugiausia pastato šiluminės energijos poreikių, tačiau negalima jų tikslingai palyginti su hibridiniais saulės kolektoriais, nes šie gamina dviejų rūšių energiją. Tačiau nei viena sistema, nepadengia pastato energijos poreikių pilnai.

3.2.4. Pagaminamos energijos palyginimas pagal kainą.

Kad būtų galima tikslingai palyginti pagaminamus sistemų energijos kiekius, tai konvertuosiu juos į piniginę išraišką, pagal VŠĮ „Sveikatos oazė“ energijos kainas.

1 kWh elektros energijos kaina – 0,19 €;

1 m³ dujų kaina – 0,79 €;

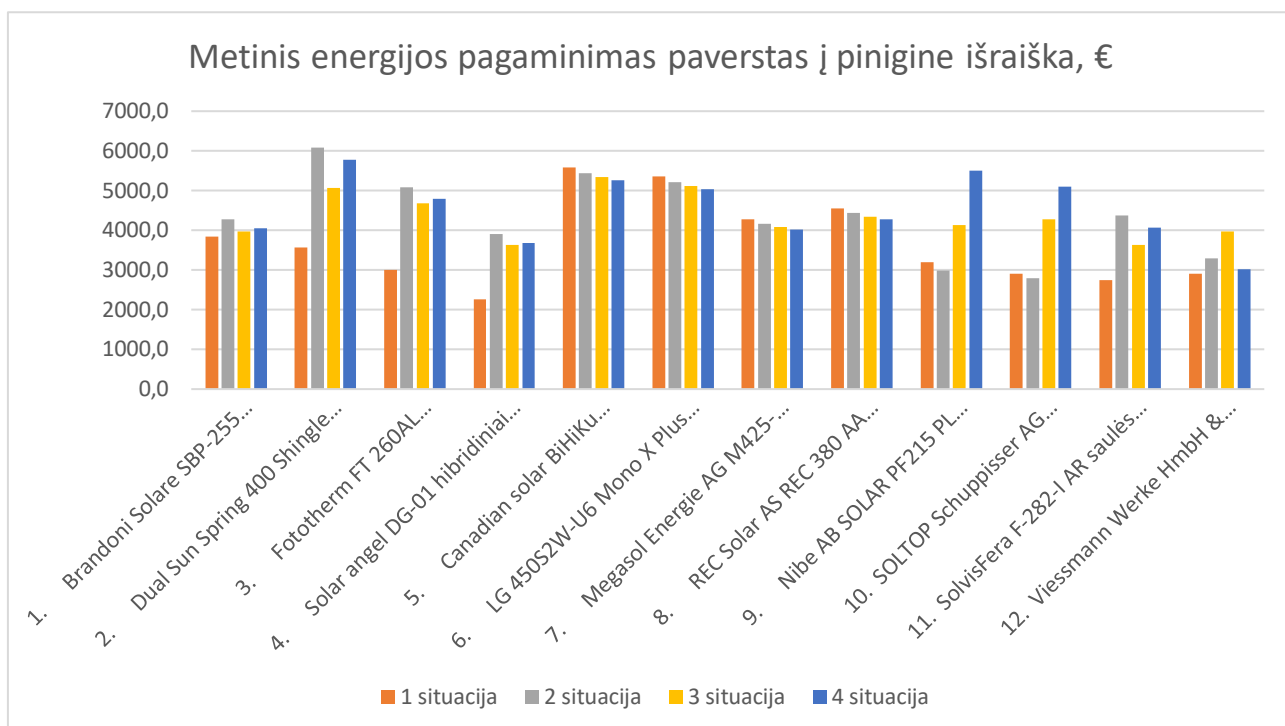
1 kWh šiluminės energijos kaina – 0,075 €;

Pagal šiuos įkainius, perskaičiuojama kiek pinigų sutaupoma per metus naudojant skirtingus modulių, rezultatai pateikiami lentelėje.

12 lentelė. Skaičiavimai, kiek pinigų sutaupoma per metus, naudojant skirtingas saulės energijos sistemas.

Saulės modulio gamintojas, tipas:	Pagaminamos energijos kaina 1 situacija, €	Pagaminamos energijos kaina 2 situacija, €	Pagaminamos energijos kaina 3 situacija, €	Pagaminamos energijos kaina 4 situacija, €

1. Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai	3840,2	4282,3	3969,7	4054,7
2. Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai	3560,0	6087,8	5071,5	5783,6
3. Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai	2998,3	5089,6	4674,0	4788,8
4. Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai	2260,2	3900,9	3626,9	3674,3
5. Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai	5590,6	5441,2	5344,7	5256,2
6. LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai	5359,7	5216,3	5122,2	5036,9
7. Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai	4275,4	4160,1	4084,2	4015,7
8. REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai	4553,0	4435,0	4346,6	4276,1
9. Nibe AB SOLAR PF215 PL saulės kolektoriai	3191,7	2991,4	4128,9	5495,2
10. SOLTOP Schuppisser AG COBRA AK 2.2V saulės kolektoriai	2907,6	2790,1	4272,7	5106,7
11. SolvisFera F-282-I AR saulės kolektoriai	2744,0	4381,6	3628,2	4073,1
12. Viessmann Werke HmbH & Co vitosol 200-DM SV2F saulės kolektoriai	2907,0	3294,6	3973,4	3014,2



16 pav. palyginimas kiek pinigų sutaupoma per metus, naudojant skirtingas saulės energijos sistemas.

Atlikus skaičiavimus galime pastebėti, kad didžiausią atsiperkamumą turi fotovoltinių saulės modulių ir hibridinių saulės kolektorių sistemos. Pirmoje ir trečioje situacijoje didžiausią energijos kiekį pinigine išraiška sugeneruodavo gamintojo - Canadian Solar fotovoltinės sistemos, antroje ir

ketvirtoje situacijoje didžiausią energijos kiekį pinigine išraiška sugeneruodavo gamintojo - Dual Sun hibridinių saulės kolektorių sistemos. Tačiau pirmoje ir antroje situacijoje saulės energijos panaudojimas yra efektyvesnis, nes naudojant mažesnių modulių skaičių, pagaminamas didesnis energijos kiekis, tai reiškia, kad sistema bus pigesnė ir greičiau atsipirks.

3.2.5. Sumodeliuotų sistemų palyginimas pagal išskiriamas CO2 emisijas

Sistemų palyginimas pagal CO2 emisijų sumažinimą atliekamas naudojant duomenis gautus iš sistemų modeliavimo. Programinė įranga „Polysun“ apskaičiuoja sutaupytą CO2 emisijų kiekį pagal dujų kaloringumo lentelę ir vidutinį metinį šilumos generatoriaus efektyvumą. Duomenys apie dujų kaloringumą imami iš „Ecoinvent“ centro (Schweizer Zentrum für Ökoinventare). CO2 emisijų sumažinimas „Polysun“ programoje apskaičiuojamas pagal formules:

$$CO2 \text{ sutaupymas} = \text{Energijos sutaupymas} \times \text{Kuro CO2 emisijos}; \quad (12)$$

$$\text{Energijos sutaupymas} = \text{Kuro sutaupymas} \times \text{Kuro šiluminė vertė}; \quad (13)$$

$$\text{Energijos sutaupymas} = \frac{Q_{sol}}{\text{Nominalus katilo efektyvumas}}; \quad (14)$$

Daugiausia CO2 emisijų sutaupoma naudojant fotovoltinius modulius ir saulės kolektorius.

13 lentelė. Modeliuojamų sistemų sutaupomų CO2 emisijų kiekiai:

Saulės modulio gamintojas, tipas:	CO2 emisijų sumažinimas 1 situacija, kg	CO2 emisijų sumažinimas 2 situacija, kg	CO2 emisijų sumažinimas 3 situacija, kg	CO2 emisijų sumažinimas 4 situacija, kg
1. Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai	2,345	4,142	3,307	3,765
2. Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai	2,478	4,262	3,491	3,864
3. Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai	4,032	6,777	5,591	6,145
4. Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai	1,568	2,826	2,113	2,436
5. Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai	14,418	14,102	13,939	13,756
6. LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai	13,911	13,604	13,436	13,256
7. Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai	11,373	11,098	10,92	10,753
8. REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai	12,02	11,749	11,56	11,396
9. Nibe AB SOLAR PF215 PL saulės kolektoriai	10,968	10,28	14,188	18,883
10. SOLTOP Schuppisser AG COBRA AK 2.2V saulės kolektoriai	9,992	9,588	14,682	17,548
11. SolvisFera F-282-I AR saulės kolektoriai	9,429	15,057	12,468	13,997

12. Viessmann Werke HmbH & Co vitosol 200-DM SV2F saulės kolektoriai	9,989	11,321	13,654	10,358
---	-------	--------	--------	--------

3.2.6. Saulės modulių kainos

Visų tikslų kainų tyrimo metu nepavyko sužinoti, nes gamintojai arba perpardavinėtojai atskleidžia jas tik formuojant užsakymą, todėl kai kurios kainos yra paimtos iš panašių tos pačios šalies gamintojų modulių, perskaičiuojant jas pagal efektyvų plotą.

14 lentelė. Modeliavimams naudojamų modulių orientacinės kainos

Saulės modulio gamintojas, tipas:	Vieneto kaina, €	Internetinis šaltinis/ parduotuvė.
1.Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai	644	[39]
2.Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai	537	[39]
3.Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai	637	[39]
4.Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai	460	[39]
5.Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai	315	[40]
6.LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai	183	[41]
7.Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai	149	[42]
8.REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai	254	[43]
9.Nibe AB SOLAR PF215 PL saulės kolektoriai	437	[44]
10.SOLTOP Schuppisser AG COBRA AK 2.2V saulės kolektoriai	1123	[45]
11.SolvisFera F-282-I AR saulės kolektoriai	500	[46]
12.Viessmann Werke HmbH & Co vitosol 200-DM SV2F saulės kolektoriai	1276	[45]

Turėdamas vieno modulio kainą, perskaičiavau kiek kainuotų įrengti skirtingų dydžių sistemas kiekvienai situacijai, įvertinant modulių, sistemos montavimo ir kitų komponentų kainą. Priimant kad tiriamuoju atveju jau yra inžinerinės sistemos, prie kurių galima prijungti naujai projektuojamas sistemas. Prie fotovoltinių modulių ir hibridinių saulės kolektorių kainos pridedu 30% sumos, o prie saulės kolektorių kainos pridedu 20% sumos tam, kad įvertinti sistemos montavimo ir kitų reikalingų komponentų kainą.

15 lentelė. Sistemos kainos projektuojamam baseinui:

Saulės modulio gamintojas, tipas:	1 situacija,€	2 situacija,€	3 situacija,€	4 situacija,€
1.Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai	35162	56930	52744	56930
2.Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai	25132	40490	37697	40490
3.Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai	34780	56311	52170	56311
4.Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai	25116	40664	37674	40664

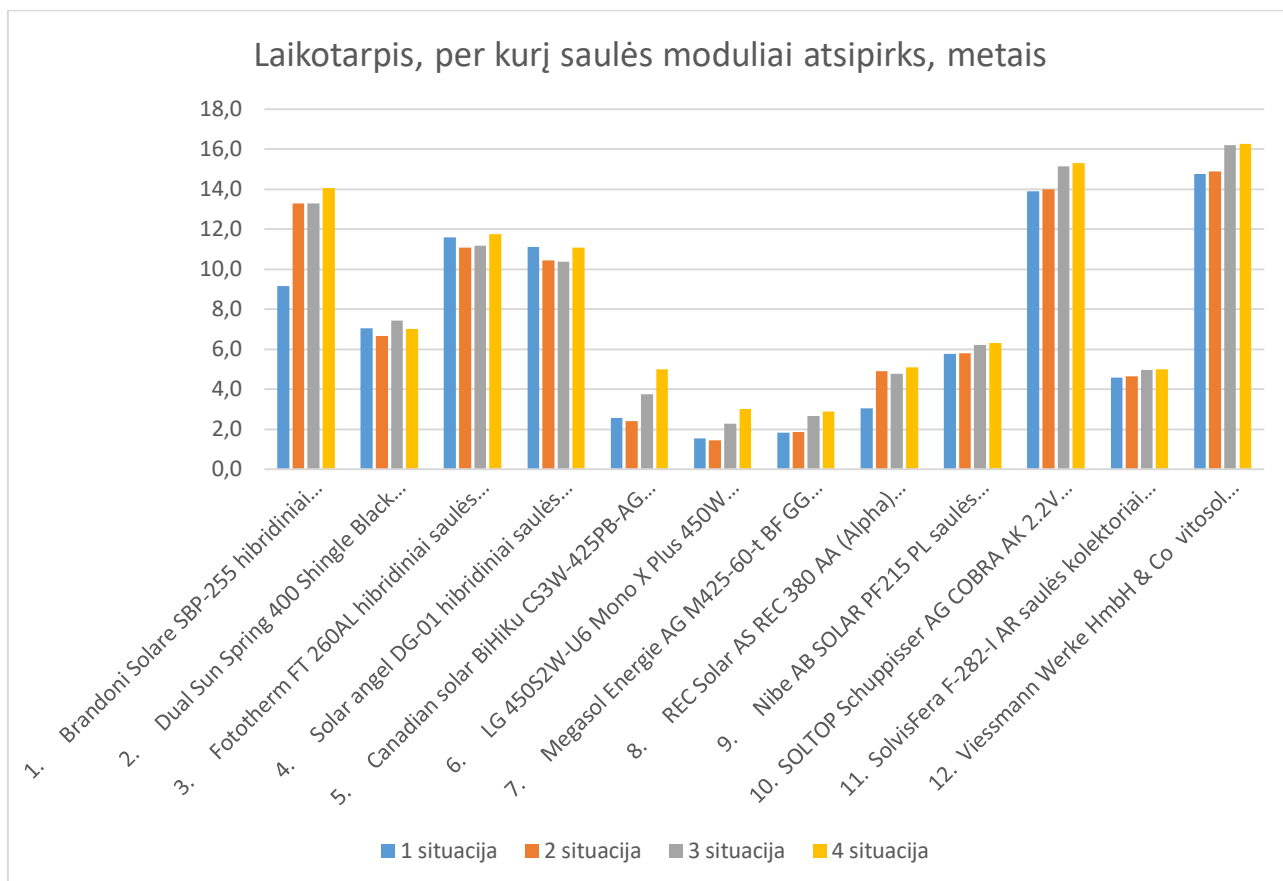
5.Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai	14333	13104	20066	26208
6.LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai	8327	7613	11657	15226
7.Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai	7748	7748	10847	11622
8.REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai	13868	21793	20803	21793
9.Nibe AB SOLAR PF215 PL saulės kolektoriai	18354	17305	25696	34610
10.SOLTOP Schuppisser AG COBRA AK 2.2V saulės kolektoriai	40428	39080	64685	78161
11.SolvisFera F-282-I AR saulės kolektoriai	12600	20400	18000	20400
12.Viessmann Werke HmbH & Co vitosol 200-DM SV2F saulės kolektoriai	42874	48998	64310	48998

Turint modulių kainą ir metinį energijos pagaminimą, išreikštą pinigine išraiška, galima paskaičiuoti, per kokį laikotarpį sistema, atsipirks ir pradės nešti pelną:

16 lentelė. Saulės modulių atsipirkimo laikotarpis modeliuojamose situacijose

Saulės modulio gamintojas, tipas:	1 situacija	2 situacija	3 situacija	4 situacija
1.Brandoni Solare SBP-255 hibridiniai saulės kolektoriai	9,2	14,0	12,4	9,2
2.Dual Sun Spring 400 Shingle Black insulated hibridiniai saulės kolektoriai	6,7	7,4	7,0	6,7
3.Fototherm FT 260AL hibridiniai saulės kolektoriai	11,1	11,8	11,4	11,1
4.Solar angel DG-01 hibridiniai saulės kolektoriai	10,4	11,1	10,7	10,4
5.Canadian solar BiHiKu CS3W-425PB-AG fotovoltiniai saulės moduliai	2,4	5,0	3,4	2,4
6.LG 450S2W-U6 Mono X Plus 450W fotovoltiniai saulės moduliai	1,5	3,0	2,1	1,5
7.Megasol Energie AG M425-60-t BF GG NICER 3 fotovoltiniai saulės moduliai	1,8	2,9	2,3	1,8
8.REC Solar AS REC 380 AA (Alpha) fotovoltiniai saulės moduliai	3,0	5,1	4,5	3,0
9.Nibe AB SOLAR PF215 PL saulės kolektoriai	5,8	6,3	6,0	5,8
10.SOLTOP Schuppisser AG COBRA AK 2.2V saulės kolektoriai	13,9	15,3	14,6	13,9
11.SolvisFera F-282-I AR saulės kolektoriai	4,6	5,0	4,8	4,6
12.Viessmann Werke HmbH & Co vitosol 200-DM SV2F saulės kolektoriai	14,7	16,3	15,5	14,7

Tam kad, būtų galima patogiau palyginti duomenis, jie pateikiami diagramos forma (žr. 17 pav.).



17 pav. Modulių atsipirkimo laikotarpis skirtingose situacijose.

Iš diagramos galima matyti, kad greičiausią atsipirkimo laiką, turi fotovoltiniai saulės moduliai, o saulės kolektorių hibridinių saulės kolektorių, atsipirkimo laikas yra gerokai ilgesnis, ir labai priklauso nuo pasirinkto modulio kainos. Fotovoltinių saulės modulių atsipirkimo laikas svyruoja nuo 1,5 iki 5,1 metų, saulės kolektorių atsipirkimo laikas svyruoja nuo 4,6 iki 16,3 metų, o hibridinių saulės kolektorių atsipirkimo laikas svyruoja nuo 6,7 iki 14 metų. Apskaičiavus sumodeliuotų sistemų vidurkį, fotovoltinių saulės modulių sistema atsiperka per 3,1 metų, saulės kolektorių sistema per 10,2 metų, o hibridinių saulės kolektorių sistema, per 10,4 metų. Fotovoltinių saulės modulių kaina pastaruoju metu ženkliai krito, dėl per pandemijos laikotarpį smarkiai išaugusios pasiūlos ir po jos sekusio susidomėjimo saulės moduliais sumažėjimo. Šiuo metu Europos sandėliai yra perpildyti pasenusiais moduliais ir žmonės labai vangiai nori investuoti į pasenusias technologijas [47] O tuo tarpu saulės kolektoriai neatpigo ir tai atsispindi gautuose rezultatuose. Norint greitesnio atsiperkamumo, reikia ieškoti būdų kaip atpiginti saulės kolektorius ir hibridinius saulės kolektorius.

3.3. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai

Porinio palyginimo anketas užpildė devyni ekspertai. Pagal gautus duomenis naudojant AHP metodą, buvo apskaičiuotas kriterijų reikšmingumas:

17 lentelė. Apskaičiuotų kriterijų reikšmingumų lentelė.

Kriterijus	Kriterijaus reikšmingumai, q_j
Saulės modulio, saulės kolektoriaus arba hibridinio saulės kolektoriaus efektyvumas	0,07

Pradinės investicijos	0,21
Saulės modulio, saulės kolektoriaus arba hibridinio saulės kolektoriaus gamybos ekologiškumas	0,04
Šilumos arba elektros poreikių padengimas	0,24
Sistemos atsipirkimo laikotarpis	0,44

Nustatyta, kad svarbiausias kriterijus yra sistemos atsipirkimo laikotarpis, o mažiausiai svarbus – ekologiškumas.

Turint kriterijų reikšmingumus, nustatomos optimalios charakteristikų reikšmės. Taip pat nurodoma ar rodiklis turi būti maksimizuojamas ar minimizuojamas:

18 lentelė. Alternatyvų reikšmės lyginamos su optimalia reikšme

	Saulės modulio, saulės kolektoriaus arba hibridinio saulės kolektoriaus efektyvumas	Pradinės investicijos	Saulės modulio, saulės kolektoriaus arba hibridinio saulės kolektoriaus gamybos ekologiškumas	Šilumos arba elektros poreikių padengimas	Sistemos atsipirkimo laikotarpis
Matavimo vnt.	%	€	kg	%	metai
Kriterijaus optimizavimo kryptis	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN
Hibridinis saulės kolektorius (A1)	72,15	43079	3,696	20,24	10,4
Fotovoltinis modulis (A2)	21,08	14547	12,581	8,17	3,1
Saulės kolektorius (A3)	82,93	37181	12,650	50,84	10,2
Optimali reikšmė	82,93	14547	12,650	50,84	3,1

Apskaičiuojama sprendimo matrica, kuo reikšmė arčiau vieneto tuo ji optimalesnė, kuo arčiau nulio tuo mažiau atitinka optimalią reikšmę:

19 lentelė. Sprendimo matrica

	Efektyvumas	Investicijos	Ekologiškumas	Energijos poreikių padengimas	Atsipirkimo laikotarpis
q_j	0,07	0,21	0,04	0,24	0,44
A1	1,1494	0,3377	3,4226	2,5119	0,2981
A2	3,9341	1,0000	1,0055	6,2228	1,0000
A3	1,0000	0,3912	1,0000	1,0000	0,3039

Išrenkama geriausia alternatyva:

20 lentelė. Alternatyvų reitingavimas SAW metodu

Alternatyvos Nr.	SAW kriterijus	SAW rangas
A1	1,026804	2
A2	2,438998	1
A3	0,565511	3

Daugiakriterinio vertinimo metu buvo siekiama nustatyti, kuri sistema yra geriausia naudoti plaukimo baseine. Tyrimo metu nustatyta, kad lyginant pagal efektyvumą, investicijų poreikį, ekologiškumą, energijos poreikių padengimą ir sistemos atsipirkimo laikotarpį, geriausia sistema yra fotovoltinių saulės modulių, o prasčiausia saulės kolektorių. Palyginimams naudoti sumodeliuotų sistemų gautų rezultatų vidurkiai.

4. Hibridinio saulės kolektoriaus testavimo stendas

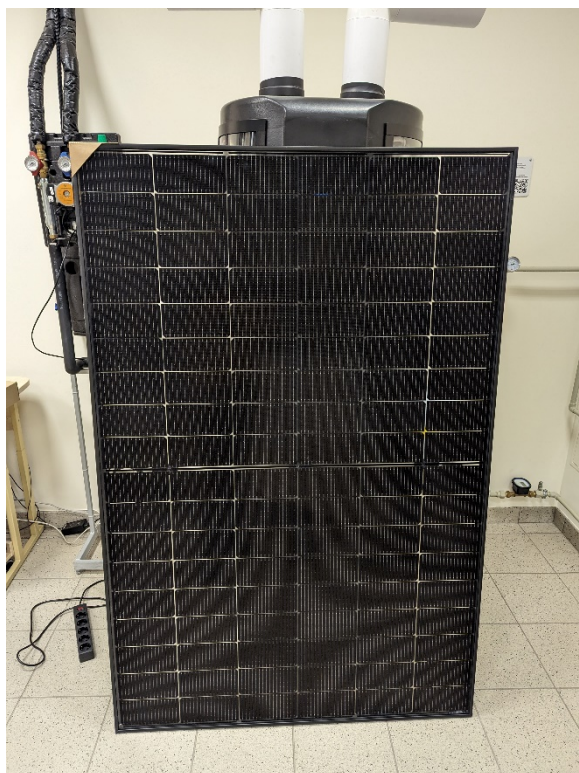
Tiriamąjį projektą metu buvo sukonstruotas ir paleistas hibridinio saulės kolektoriaus testavimo stendas. Stendas pajungtas prie jau esamo saulės kolektoriaus su šilumos siurbliu stendo. Surinkti duomenų apie sistemos veikimą nepavyko, nes sistemos montavimas labai užsitęsė dėl problemų surandant tinkamus sistemos komponentus ir ilgo atsiuntimo termino.

Sistemą sudaro hibridinio saulės kolektoriaus modulis, jis sukonstruotas iš Sonnex SNX-D54HND420M monokristalinio saulės modulio, ir prie jo karščiui laidžiais klijais priklijuotas varinis vamzdelis, tam kad veiktų kaip šilumos absorberis, nes moduliui kaistant krenta jo efektyvumas. Tokiu būdu yra gaminama ir elektros, ir šiluminė energija. Variniai vamzdeliai prijungiami prie esamo stendo, kuriame renkami duomenys apie šiluminės energijos gavimą.



18 pav. Laboratorijoje sukonstruotas hibridinio saulės kolektoriaus modulis

Tam kad palyginti kokią įtaką fotovoltiniam moduliui daro šilumos absorberis yra pakeltas dar vienas Sonnex SNX-D54HND420M monokristalinis saulės modulis, tik elektros energijos gaminimui.



19 pav. Sonnex SNX-D54HND420M monokristalinis saulės modulis

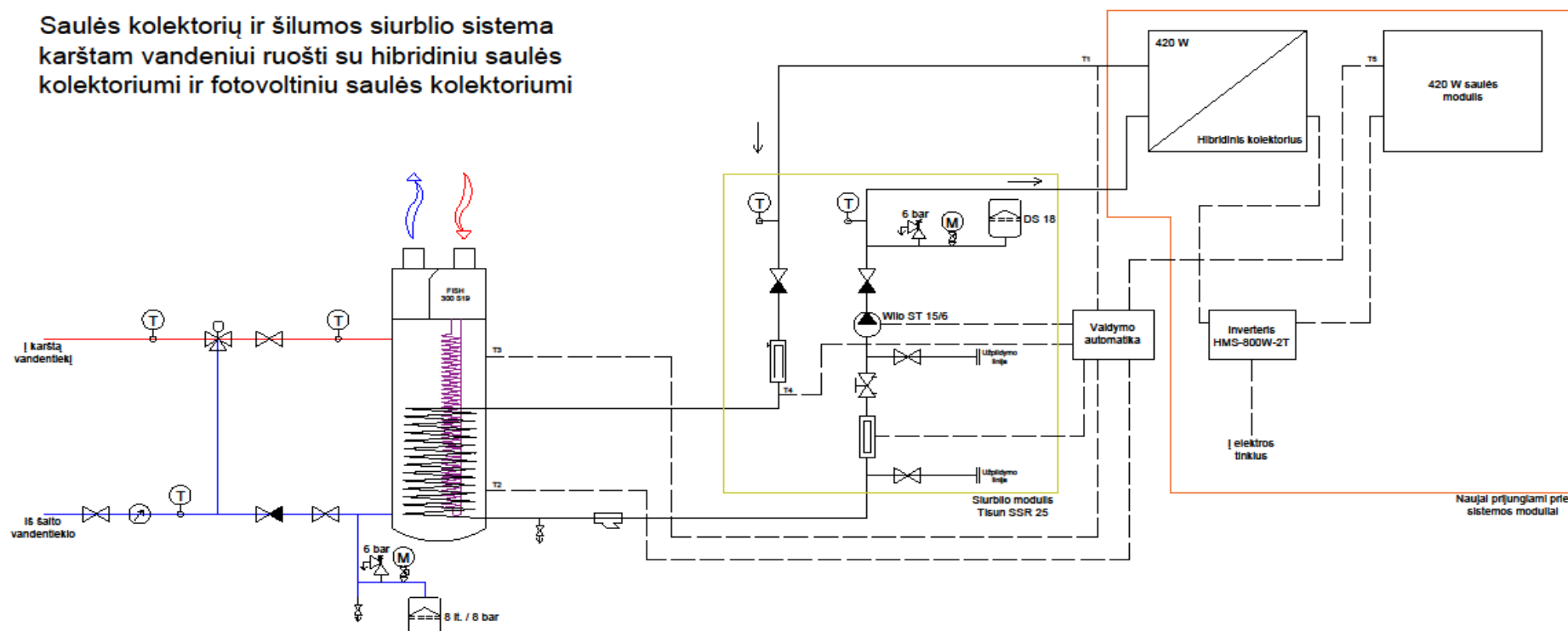
Pagamintai elektros energijai paduoti į elektros tinklus naudojamas Hoymiles vienos fazės mikroinverteris HMS-800W-2T prie kurio pajungiami abu moduliai



20 pav. Hoymiles mikroinverteris HMS-800W-2T

Visos sistemos funkcinę schemą galime matyti 21 pav.

Saulės kolektorių ir šilumos siurblio sistema
karštam vandeniui ruošti su hibridiniu saulės
kolektoriumi ir fotovoltiniu saulės kolektoriumi



SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI

	Cirkuliacinis siurblys		Apsauginis vožtuvas		Oro separatorius		Vandens skaitiklis
	Atbulinis vožtuvas		Vandens išleidimo ventilis		Srauto matuoklė		Manometras
	Uždarymo vožtuvas		Termometras		Išsiplėtimo indas		Purvarinkis
	Termostatinis pamašymo vožtuvas		Balansinis ventilis (uždarantis)				

21 pav. Hibridinio saulės kolektoriaus testavimo stendo schema

5. Išvados

1. Atlikus literatūros analizę atrinkti kriterijai pagal, kuriuos buvo vertinamos sistemos: efektyvumas, elektros ir šiluminės energijos gavimas, reikalingos investicijos, ilgaamžiškumas, ekologiškumas, energijos poreikių padengimas, sistemų atsipirkimo laikotarpis. Nustatyta, kad šiuo metu nėra reglamentuotos bandymo metodikos hibridiniams saulės kolektoriams.
2. Visas modeliuotas sistemas galima naudoti plaukimo baseine, tačiau tiriamuoju atveju nei viena sistema negali visiškai padengti plaukimo baseino energijos poreikių. Nustatyta, kad didžiausią metinį atsiperkamumą turi fotovoltinių saulės modulių ir hibridinių saulės kolektorių sistemos. Tačiau greičiausiai atsiperka fotovoltinių saulės modulių sistemos. Fotovoltiniai moduliai atsiperka vidutiniškai per 3,1 metus. Saulės kolektorių sistema atsiperka per 10,2 metų, o hibridinių saulės kolektorių sistema – per 10,4 metų.
3. Sukurtas stendas skirtas hibridinio saulės kolektoriaus ir saulės modulio analizei ir palygimui realiomis sąlygomis. Šis stendas bus naudingas atliekant tyrimus ateityje. Su juo bus galima palyginti sistemose pagaminamą energijos kiekį ir efektyvumą.
4. Atlikus daugiakriterinį sistemų vertinimą nustatyta, kad geriausia tiriamajame objekte yra naudoti fotovoltinių saulės modulių sistemą, nes ji labiausiai atitinka išsikeltus kriterijus: sistemų efektyvumą, pradinių investicijų poreikį, ekologiškumą, šilumos arba elektros poreikių padengimą ir sistemos atsipirkimo laikotarpį. Antroje vietoje yra hibridinių saulės kolektorių sistema, o trečioje vietoje – saulės kolektorių sistema.

Literatūros sąrašas

1. John Kennewell and Andrew McDonald. *Saulės Konstanta*. 2023, Prieiga per: [https://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/1/12#:~:text=The%20power%20of%20the%20Sun,\(W%2Fm2\).](https://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/1/12#:~:text=The%20power%20of%20the%20Sun,(W%2Fm2).)
2. Europos komisija. *Europos Žaliasis Kursas. Mūsų Ekonomikos Ir Visuomenės Transformavimas*. 2023, Prieiga per: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_lt#naujienos.
3. REN21, P.S. *Renewables 2017 Global Status Report. Secretariat Renewable Energy Policy Network for The*, 2017, 21.
4. WEISS, W. and MAUTHNER, F. *Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply*, 2022.
5. Statista. *Average Monthly Electricity Wholesale Prices in Selected Countries in the European Union (EU) from January 2020 to January 2023*. -022023, Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1267500/eu-monthly-wholesale-electricity-price-country/>.
6. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūra. *Pastatų Ir Kvartalų Energinio Efektyvumo Didinimo Sprendinių Ir Priemonių Katalogas*, -02-07, 2023. pp. 1-71 Prieiga per: <https://modernizuok.apva.lt/lt/doclib/ahjpdhfsrqwatysmpbeu74uusvqr9ts>.
7. HEREZ, A., et al. *Review on Photovoltaic/Thermal Hybrid Solar Collectors: Classifications, Applications and New Systems*. *Solar Energy*, 2020, 207. pp. 1321-1347 ISSN 0038-092X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20307945> DOI 10.1016/j.solener.2020.07.062.
8. PANG, W., et al. *Numerical Simulation and Experimental Validation of a Photovoltaic/Thermal System Based on a Roll-Bond Aluminum Collector*. *Energy*, 2019, 187. pp. 115990 ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219316846> DOI 10.1016/j.energy.2019.115990.
9. KAZEMIAN, A., HOSSEINZADEH, M., SARDARABADI, M. and PASSANDIDEH-FARD, M. *Effect of Glass Cover and Working Fluid on the Performance of Photovoltaic Thermal (PVT) System: An Experimental Study*. *Solar Energy*, 2018, 173. pp. 1002-1010 ISSN 0038-092X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18307151> DOI 10.1016/j.solener.2018.07.051.
10. WU, J., et al. *A Review of Thermal Absorbers and their Integration Methods for the Combined Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Modules*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 75. pp. 839-854 ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308085> DOI 10.1016/j.rser.2016.11.063.
11. BRAHIM, T. and JEMNI, A. *Economical Assessment and Applications of Photovoltaic/Thermal Hybrid Solar Technology: A Review*. *Solar Energy*, 2017, 153. pp. 540-561 ISSN 0038-092X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X17304887> DOI 10.1016/j.solener.2017.05.081.

12. ABDELRAZIK, A.S., AL-SULAIMAN, F.A., SAIDUR, R. and BEN-MANSOUR, R. *A Review on Recent Development for the Design and Packaging of Hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) Solar Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 95. pp. 110-129 ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118305227> DOI 10.1016/j.rser.2018.07.013.
13. GUARRACINO, I., et al. *Systematic Testing of Hybrid PV-Thermal (PVT) Solar Collectors in Steady-State and Dynamic Outdoor Conditions. Applied Energy*, 2019, 240. pp. 1014-1030 ISSN 0306-2619. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918318634> DOI 10.1016/j.apenergy.2018.12.049.
14. KAMEL, M.A., ELBANHAWY, A.Y. and ABO EL-NASR, M. *A Novel Methodology to Compare between Side-by-Side Photovoltaics and Thermal Collectors Against Hybrid Photovoltaic Thermal Collectors. Energy Conversion and Management*, 2019, 202. pp. 112196 ISSN 0196-8904. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890419312026> DOI 10.1016/j.enconman.2019.112196.
15. K. Kramer. *Status Quo of PVT Characterization* [interaktyvus], Oct 1, 2020 [viewed 2023-12-12] Prieiga per: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task60-B1-Status-Quo-Report-PVT-Characterization.pdf> DOI 10.18777/ieashc-task60-2020-0004.
16. Emily Walker. *What are the most Efficient Solar Panels? Top Brands in 2023*. May 18, 2023, Prieiga per: <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>.
17. Hugues Defreville. *Everything You Need to Know about how Solar Thermal Energy Works*. May 10, 2022, Prieiga per: <https://newheat.com/en/how-does-solar-thermal-energy-work/#:~:text=What%20is%20the%20efficiency%20of,80%25%20for%20low%20temperature%20applications>.
18. Solar 2 Power. *Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collector*. Feb 1, 2022, Prieiga per: <https://solar2power.pt/photovoltaic-thermal-hybrid-solar-collector/>.
19. GREENUP. *Ar Saulės Energija Švari?* Jan 18, 2017, Prieiga per: <https://greenup.lt/2017/01/18/ar-saules-energija-svari/>.
20. WIDYOLAR, B., et al. *Experimental Performance of an Ultra-Low-Cost Solar Photovoltaic-Thermal (PVT) Collector using Aluminum Minichannels and Nonimaging Optics. Applied Energy*, 2020, 268. pp. 114894 ISSN 0306-2619. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920304062> DOI 10.1016/j.apenergy.2020.114894.
21. ALLAN, J., DEHOUCHE, Z., STANKOVIC, S. and MAURICETTE, L. *Performance Testing of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors. Energy Science and Engineering*, 2015, 3, no. 4. pp. 310-326 Scopus. Prieiga per: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84986624670&doi=10.1002%2fese3.75&partnerID=40&md5=7b27b7f9eedb218f55d01bfb7b7120b3> DOI 10.1002/ese3.75.
22. MARTINOPOULOS, G. *Advances in Solar Heating and Cooling* Woodhead Publishing, 2016. 43-59 p. ISBN 9780081003015. DOI 10.1016/B978-0-08-100301-5.00003-5. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081003015000035>.

23. BAGGENSTOS, A., et al. *Existing PVT Systems and Solutions. IEA SHC Task60, PVT Systems, Report A*, 2020, 1. pp. 2020.
24. LI, Y., NORD, N., HUANG, G. and LI, X. *Swimming Pool Heating Technology: A State-of-the-Art Review. Building Simulation*, 2021, 14, no. 3. pp. 421-440 ISSN 1996-8744. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0669-3> DOI 10.1007/s12273-020-0669-3.
25. KAMPEL, W., AAS, B. and BRULAND, A. *Energy-use in Norwegian Swimming Halls. Energy and Buildings*, 2013, 59. pp. 181–186 DOI 10.1016/j.enbuild.2012.11.011.
26. MOUSIA, A. and DIMOUDI, A. *Energy Performance of Open Air Swimming Pools in Greece. Energy and Buildings*, 2015, 90 DOI 10.1016/j.enbuild.2015.01.004.
27. BUONOMANO, A., DE LUCA, G., FIGAJ, R.D. and VANOLI, L. *Dynamic Simulation and Thermo-Economic Analysis of a PhotoVoltaic/Thermal Collector Heating System for an Indoor–outdoor Swimming Pool. Energy Conversion and Management*, 2015, 99. pp. 176-192 ISSN 0196-8904. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415003763> DOI 10.1016/j.enconman.2015.04.022.
28. WANG, K., HERRANDO, M., PANTALEO, A.M. and MARKIDES, C.N. *Technoeconomic Assessments of Hybrid Photovoltaic-Thermal Vs. Conventional Solar-Energy Systems: Case Studies in Heat and Power Provision to Sports Centres. Applied Energy* [interaktyvus], 2019, 254. pp. 113657.
29. KALOGIROU, S.A. *Solar Energy Engineering (Second Edition)* Boston: Academic Press, 2014. 583-699 p. ISBN 9780123972705. DOI 10.1016/B978-0-12-397270-5.00011-X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012397270500011X>.
30. Valentin software. *The Calculation and Simulation Software for Heat Pump Systems*. Prieiga per: <https://valentin-software.com/en/products/geotsol/>.
31. EUROPOS KOMISIJA. *ES Saulės Energetikos Strategija*. communiqué ed. , May 18, 2022.
32. MB Energija man. *Parama Saulės Elektrinėms 2023 Metais. Ką Reikia Žinoti?* [interaktyvus]. May 15, 2023, Prieiga per: <https://energijaman.lt/naujienos/parama-saules-elektrines-lietuvoje/>.
33. JORDAN, D.C. and KURTZ, S.R. *Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review. Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2013, 21, no. 1 [viewed December 12, 2023]. pp. 12-29.
34. BORELLA, P., et al. *Legionella Infection Risk from Domestic Hot Water. Emerging Infectious Diseases*, 2004, 10, no. 3 [viewed December 12, 2023]. pp. 457.
35. AMARA, S., BAGHDADLI, T., KNAPP, S. and NORDELL, B. *Legionella Disinfection by Solar Concentrator System. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 70. pp. 786-792 ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310401> DOI 10.1016/j.rser.2016.11.259.
36. Google maps. *Ažupiečių G. 2, 29148 Anykščiai*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: <https://www.google.com/maps/place/A%C5%BEupie%C4%8Di%C5%B3+g.+2,+29148+Anyk%C5%A1%C4%8Diiai/@55.522099,25.0839298,148m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x46e7e9408ce1e0>

[8b0x82dbdb9d21fd2826!8m2!3d55.5212211!4d25.083689!16s%2Fg%2F11f37_s9fb?authuser=0&entry=ttu](https://www.researchgate.net/publication/352122111/figure/fig/1548610968/8b0x82dbdb9d21fd2826!8m2!3d55.5212211!4d25.083689!16s%2Fg%2F11f37_s9fb?authuser=0&entry=ttu).

37. SATTY, L.T.Elsevier, 1977.234-281 p.

38. EITUTIS. R. *Daugiakriterinė Šventosios Uosto Plėtros Analizė. Uosto Statinių Studijų Programos Magistro Baigiamasis Darbas, Klaipėda*, 2021 [viewed 2023-12-12]. pp. 76 Prieiga per: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/MLA/article/download/15486/10968>.

39. Bengt Perers, Simon Furbo, Janne Dragsted, Technical University of Denmark, et al. *PVT Technology Research - Best Practices Report PowerUp MyHouse* [interaktyvus], Birželis, 2021, 41 [viewed 2023-12-12] Prieiga per: <https://www.powerupmyhouse.com/gallery/Output%201%20Report.pdf>.

40. Solarflexion. *Canadian Solar BiHiKu Series CS3W-450MB-AG-PALLET-33 450Watt 144 1/2 Cells Bifacial Clear Monocrystalline 30mm Silver Frame Solar Panel*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: <https://www.solarflexion.com/product-p/cs3w-450mb-ag-pallet-33.htm>.

41. Renugen. *LG 450Wp Mono X Plus U6 - 144 Cells*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: <https://www.renugen.co.uk/lg-450wp-mono-x-plus-u6-144-cells-buy-to-order/?setCurrencyId=2>.

42. ENF Ltd. *Megasol Energie AG M425-60-T BF GG3*. [interaktyvus]. Prieiga per: <https://de.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/43056>.

43. MG-solar-shop. *REC Alpha 370 AA FULLBLACK Solar Panel, 370Wp, Monocrystallin*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: <https://www.mg-solar-shop.com/rec-alpha-370-aa-fullblack-solar-panel-370wp-monocrystallin>.

44. PHU "DAG-DAR". *Kolektor Słoneczny Biawar NIBE SOLAR FP215 P*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: http://www.rtvagd.sklep.pl/biawar/nibe_solar_fp215_p_65094.php5.

45. TanklessWaterHeaters.com. *Viessmann Vitosol 200-FM SV2F Flat Plate Vertical Solar Panel 25 Sq. Ft*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: <https://tanklesswaterheaters.com/products/viessmann-vitosol-200-fm-sv2f-flat-plate-vertical-solar-panel-25-sq-ft>.

46. SecondSol GmbH. *Solvis Fera F-652-I*. [interaktyvus]. 2023, Prieiga per: <https://www.secondsol.com/en/anzeige/30633/thermische-zonne-energie/collectoren/vlakkeplaatcollectoren/solvis/fera-f-652-i>.

47. P.C. MARTIN SCHACHINGER. *Solar Module Price Falling, with no End in Sight*. [interaktyvus]. -09-252023, Prieiga per: <https://www.pv-magazine.com/2023/09/25/solar-module-price-falling-with-no-end-in-sight/>.

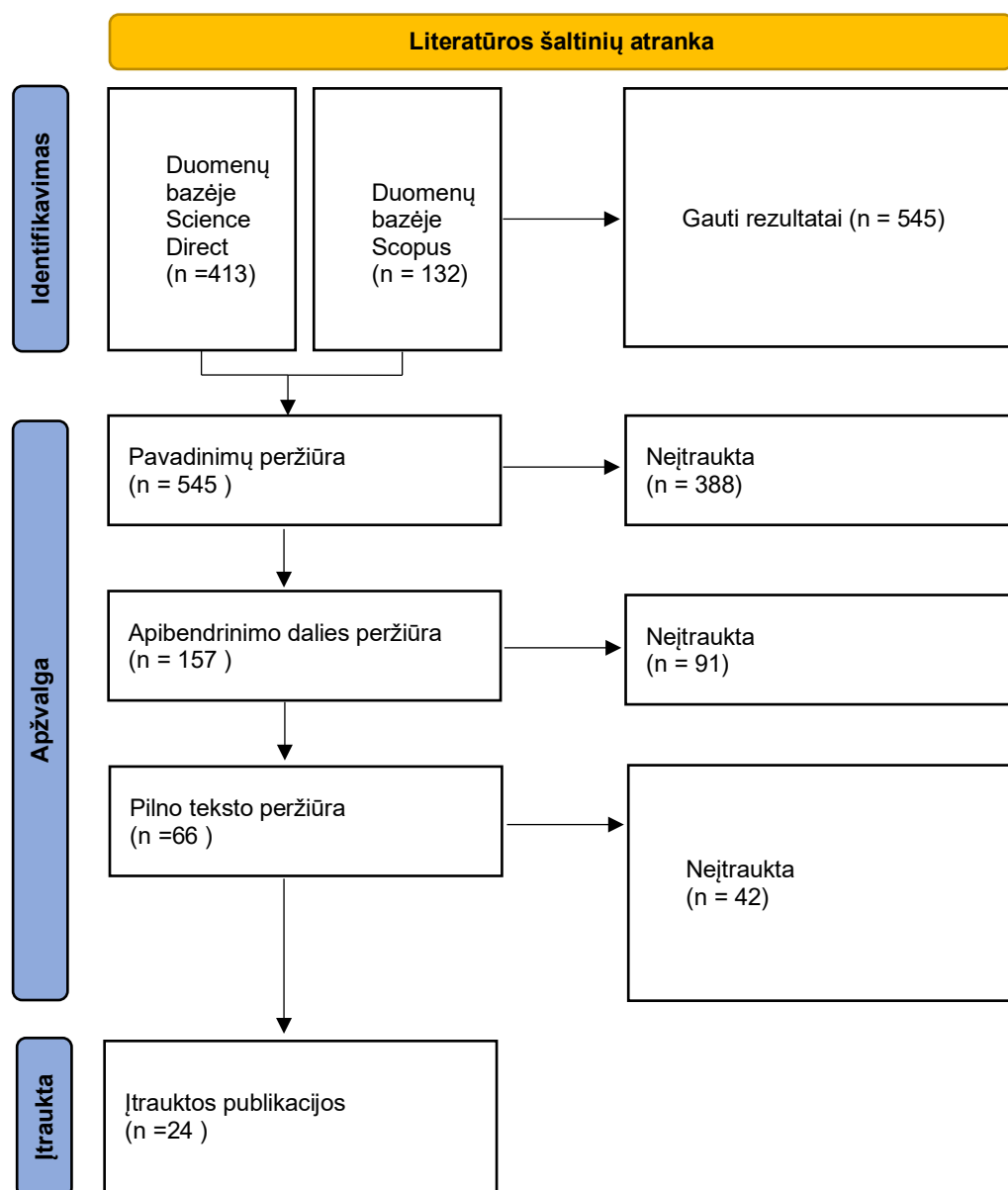
Priedai

1 Sisteminis literatūros apžvalgos protokolas

21 lentelė. Sisteminis literatūros apžvalgos protokolas

Tyrimo tema	Saulės modulių, saulės elektrinių ir hibridinių saulės kolektorių analizė ir efektyvus panaudojimas plaukimo baseine		
Potemė	Hibridiniai saulės kolektoriai	Saulės moduliai	Saulės kolektoriai
Paieškos raktiniai žodžiai	Photovoltaic/ thermal; hybrid solar collector	PV system; photovoltaic system; solar system	Thermal system; collector; solar system
Paieškos įvesties duomenys	{ “ PVT “ }; { “ PVT “ AND “module“ }; { “ photovoltaic “ AND “thermal “ }; { “solar energy “ AND “PVT“};	{ “ PV “ }; {“photovoltaic“ AND “cell“ };	{ “Thermal“ AND “collector“ }; { “Solar thermal collector“ };
Sinonimai	Solar panels, Solar energy, Renewable energy, Solar system	Solar panels, Solar energy, Renewable energy, Solar system	Solar panels, Solar energy, Renewable energy, Solar system
Informacinių šaltinių duomenų bazės	Google Scholar; Science Direct; Scopus		
Šaltinių atmetimo kriterijai	1. Šaltinis ne lietuvių ir anglų kalba; 2. Šaltinis senesnis nei 10 metų (išskyrus teisinius dokumentus); 3. Nerecenzuotas; 4. Neprieinamas pilno teksto dokumentas.		
Šaltinių tinkamumo kriterijai	1. Susijęs su atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimu; 2. Šaltinis anglų arba lietuvių kalba; 3. Šaltinis ne senesnis nei 10 metų (išskyrus teisinius dokumentus); 4. Recenzuotas; 5. Pilnas šaltinis laisvai prieinamas;		

2 Literatūros apžvalga atlikta naudojant PRISMA metodą



22 pav. Metodo grafinė išraiška