



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos diegimo poilsio paskirties pastate tyrimas

Magistro baigiamasis projektas

Iveta Valukonytė
Projekto autorė

Lekt. dr. Rokas Valančius
Vadovas

**Kaunas,
2021**



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos diegimo poilsio paskirties pastate tyrimas

Magistro baigiamasis projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Iveta Valukonytė

Projekto autorė

Lekt. dr. Rokas Valančius

Vadovas

Prof. Tadas Ždankus

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Iveta Valukonytė

Saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos diegimo poilsio paskirties pastate tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

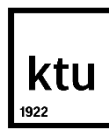
Patvirtinu, kad mano, Ivetos Valukonytės, baigiamasis projektas tema „Saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos diegimo poilsio paskirties pastate tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

Iveta Valukonytė

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):
SAULĖS ELEKTRINĖS IR ŠILUMOS SIURBLIŲ „ORAS-VANDUO“ TYRIMAS IR
PANAUDOJIMAS POILSIO PASKIRTIES PASTATE

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanų potvarkiu Nr.: V25-09-20

(lietuvių k.):
SAULĖS ELEKTRINĖS IR ŠILUMOS SIURBLIO SISTEMOS DIEGIMO POILSIO PASKIRTIES
PASTATE TYRIMAS

(anglų k.):
INVESTIGATION OF THE INSTALLATION OF A SOLAR POWER PLANT AND A HEAT
PUMP SYSTEM IN A RECREATIONAL BUILDING

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

--

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

Vadovas: Lekt. dr. Rokas Valančius
(indėlis 100 %) pareigos, vardas, pavardė parašas

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

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

Studentas: _____
Iveta Valukonytė
vardas, pavardė parašas

Valukonytė, Iveta. Saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos diegimo poilsio paskirties pastate tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Rokas Valančius; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų krypčių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: saulės elektrinė, fotovoltinis modulis, šilumos siurblys „oras-vanduo“, energijos poreikiai, energijos sąnaudos.

Kaunas, 2021. 64 p.

Santrauka

Šio baigiamojo magistro darbo tikslas sumodeliuoti saulės elektrinės sistemos ir šilumos siurblio „oras-vanduo“ geriausią galimą variantą esamoms poilsio paskirties pastato energijos sąnaudoms padengti.

Saulės elektrinės sistemos modeliavimas atliekamas naudojantis „PVsyst“ programiniu paketu, kur analizuojama monokristalinių ir polikristalinių saulės modulių elektros energijos gamyba ir sutaupyto CO₂ emisijų kiekis. Taip pat, atliekama skirtingų saulės elektrinių montavimo sistemų analizė ir kaip tai lemia pagaminamos elektros energijos kiekį. Atlikus modeliavimus buvo gauta, kad monokristalinių modulių saulės elektrinės, montuojamos su konstrukcijomis ant stogo dangos elektros energijos gamyba bus didesnė apie 4,03 % ir sugebės padengti 76,8 % pastato elektros energijos suvartojimo poreikių.

Šilumos siurblių „oras-vanduo“ modeliavimui naudojamas „Geo T*SOL“ programinis paketas. Jo pagalba, buvo nustatomas skirtingų modelių šilumos siurblių sezoninis naudingumo koeficientas prie pastato esamų šiluminės energijos sąnaudų. Remiantis gautais modeliavimo rezultatais, pastato šiluminės energijos poreikiams patenkinti pasirinktas 53,6 kW šilumos siurblys, kurio sezoninis naudingumo koeficientas – 3,46.

Valukonyte, Iveta. Investigation of the Installation of a Solar Power Plant and a Heat Pump System in a Recreational Building. Master's Final Degree / supervisor Lect. dr. Rokas Valančius; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences.

Keywords: solar power plant, photovoltaic module, air-to-water heat pump, energy needs, energy consumption.

Kaunas, 2021. 64 p.

Summary

The main purpose of this final Master's thesis is to simulate the best possible option of the solar-powered system and heat pump "air to water" to cover the current recreational building's energy costs.

The modelling of the solar power system is created by using the software package – "Pvsyst", which helps to analyze the electricity production of monocrystalline and polycrystalline solar modules and the amount of CO₂ emissions saved. In addition to this, also - an analysis of different solar installation systems and how it affects the amount of electricity produced. Simulations have shown that the power generation of monocrystalline modules, which are mounted on roof mounts, will be about 4.03 % higher and will be able to cover 76.8 % of the building's electricity consumption needs.

"Geo T*SOL" software package is being used for heat pump "air to water" modelling. With its assistant, the seasonal efficiency of different models of heat pumps was determined at the existing heat energy consumption of the building. Based on the obtained modelling results, a 53.6 kW heat pump with a seasonal efficiency coefficient of 3.46 was selected to reach the thermal energy needs of the building.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Temos aktualumas	13
1.2. Saulės elektrinės	15
1.2.1. Saulės energija.....	15
1.2.2. Fotovoltiniai moduliai	16
1.2.3. Saulės elektrinių sistemos.....	19
1.2.4. Saulės energetikos tendencijos Lietuvoje ir pasaulyje	22
1.3. Šilumos siurbliai.....	24
1.3.1. Šilumos siurblio veikimo principas ir pagrindiniai parametrai	24
1.3.2. Šilumos siurblių tipai.....	26
1.3.3. Šilumos siurblių statistikos apžvalga Lietuvoje ir Europoje	29
1.4. Atsinaujinantieji energijos ištekliai	31
2. Tyrimo objektas.....	32
2.1. Tyrimo objekto šildymo sistemos esama būklė.....	32
2.2. Tyrimo objekto karšto vandens ir elektros energijos poreikiai, kuro sąnaudos	33
3. Tyrimo metodologija	35
3.1. Šilumos siurblių tyrimo metodika	35
3.2. Saulės elektrinių tyrimo metodika.....	36
3.3. Saulės elektrinių montavimo sistemų pirminė analizė	37
3.3.1. Saulės elektrinių montavimo sistemos	37
3.3.2. Saulės elektrinių montavimo sistemų ekonominė analizė.....	39
3.3.3. Saulės elektrinių modeliavimas su skirtingomis montavimo sistemomis	40
4. Tyrimas.....	42
4.1. Saulės elektrinės	42
4.1.1. Monokristalinių ir polikristalinių modulių pagaminamos energijos skaičiavimas.....	42
4.1.2. Monokristalinių ir polikristalinių modulių išskiriamų CO ₂ emisijų skaičiavimas	44
4.1.3. Saulės elektrinių modeliavimas su skirtingomis montavimo sistemomis	47
4.2. Šilumos siurbliai.....	50
4.2.1. Šilumos siurblio „oras – vanduo“ sezoninio naudingumo koeficiento skaičiavimas.....	51
5. Saulės elektrinės ekonominis vertinimas.....	55
5.1. Europos Sąjungos paramos fiziniams ir juridiniams asmenims	55
5.2. 61,56 kW saulės elektrinės ekonominiai skaičiavimai.....	55
Išvados	59
Literatūros sąrašas	60
Priedai.....	65
1 priedas. „CanadianSolar“ Hiku CS3W-440MS modulių specifikacija	65
2 priedas. „CanadianSolar“ Hiku CS3W-440P modulių specifikacija.....	67
3 priedas. „PVsyst“ modeliavimo ataskaita su monokristaliniais moduliais	69
4 priedas. „PVsyst“ modeliavimo ataskaita su polikristaliniais moduliais	77

5	priedas. „PVsyst“ modeliavimo ataskaita Ispanijos vietovėje	85
6	priedas. „PVsyst“ modeliavimo ataskaita su integruotais į stogą moduliais.....	93
7	priedas. „PVsyst“ modeliavimo ataskaita su moduliais su tvirtinimo konstrukcijomis.....	102
8	priedas. „Geo T*SOL“ modeliavimo ataskaita naudojant 53,6 kW EcoTouch Air Kaskade 5060.5 šilumos siurblių	109
9	priedas. „Geo T*SOL“ modeliavimo ataskaita naudojant 59,6 kW Maxa – Advantix S.p.A šilumos siurblių	114

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Saulės apšvietos kWh/m ² pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje [25]	16
2 lentelė. Skirtingų tipų šilumos siurblių palyginimas [32]	28
3 lentelė. Skirtingų saulės elektrinių montavimo sistemų įrengimo kaštai	39
4 lentelė. 10,5 kW saulės elektrinės pradiniai parametrai	40
5 lentelė. „Canadian Solar“ tos pačios serijos, monokristalinių ir polikristalinių modulių charakteristikos	43
6 lentelė. Pagrindiniai modeliuojamos sistemos duomenys	43
7 lentelė. Išmetamų LCE emisijų kiekis saulės elektrinės gyvavimo ciklo etapuose [50]	45
8 lentelė. LCE skaičiavimų rezultatai (kg. ekv. CO ₂)	46
9 lentelė. LCE skaičiavimų rezultatai Australijos vietovėje (kg. ekv. CO ₂)	47
10 lentelė. LG gamintojo tos pačios serijos, visiškai juodų ir polikristalinių modulių charakteristikos	48
11 lentelė. 61,56 kW saulės elektrinės pagrindinės charakteristikos	48
12 lentelė. Pagrindiniai parametrai pastato energijos poreikio nustatymui	51
13 lentelė. Pagrindiniai sistemos modeliavimo parametrai	52
14 lentelė. II varianto šilumos siurblio charakteristikos	52
15 lentelė. Šilumos siurblių modeliavimo rezultatai	54
16 lentelė. Ekonominiams skaičiavimams naudojami saulės elektrinės parametrai	55
17 lentelė. Palankiausio mokėjimo už elektros energiją skaičiavimo rezultatai [54]	56
18 lentelė. Mokėjimo planų už susigrąžintą elektros energiją iš tinko tarifai [54]	57
19 lentelė. 61,56 kW saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimai	58

Paveikslų sąrašas

1 pav. Celių tipai pagal puslaidininkinę medžiagą [19].....	16
2 pav. P-N sandūros veikimo principas	17
3 pav. Modulių konstrukcijų „Stiklas/Stiklas“ ir „Stiklas/Plėvė“ elementai	18
4 pav. Metinė instaliuota saulės elektrinių galia technologijos atžvilgiu [21].....	18
5 pav. Fotovoltinių celių kainos kitimas 1977-2020 metų laikotarpiu[37].....	19
6 pav. Principinė „On Grid“ saulės elektrinės schema	21
7 pav. Principinė „Off Grid“ saulės elektrinės schema.....	21
8 pav. Principinė hibridinės saulės elektrinės schema	22
9 pav. Instaliuotų saulės elektrinių metinė galia GW [21].....	22
10 pav. Saulės energijai tenkanti dalis bendrame elektros energijos suvartojime 2018 metais [21] 23	
11 pav. Kompresorinio šilumos siurblio principinė schema [29]	24
12 pav. Teorinė šilumos siurblio efektyvumo koeficiento COP priklausomybė nuo aplinkos iš kurios šiluma imama ir temofikato, kurį tiekiamo į savo šildymo sistemą temperatūrų [30]	25
13 pav. Šilumos siurblių „oras-vanduo“ ir „gruntas vanduo“ sezono efektyvumo koeficiento didėjimo grafikai [42].....	26
14 pav. Principinė šilumos siurblio veikimo schema [28]	27
15 pav. Principinė šilumos siurblio „Oras – Vanduo“ jungimo schema [34]	29
16 pav. Šilumos siurblių sektoriaus augimas (parduotų šilumos siurblių skaičius) 2009-2013 metų laikotarpiu [28]	29
17 pav. Bendras šilumos siurblių pardavimo kiekis Europoje 2009-2018 metų laikotarpiu [36]	30
18 pav. Kasmetinis šilumos siurblių pardavimų kiekis Europoje pagal šilumos siurblio tipą 2018 metais [36]	30
19 pav. Atsinaujinančios energijos pasiskirstymas bendrame enegijos suvartojime pasaulyje 2018 metais [41]	31
20 pav. Metinis galios padidėjimas iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių pagal technologijos rūšį 2013-2019 metais [41].....	31
21 pav. Tiriamojo objekto - poilsio namų „Ažuolynas“ rytinio fasado esama būklė	32
22 pav. Poilsio namų „Ažuolynas“ katilinės esama būklė.....	33
23 pav. 5-erių metų mėnesinių elektros energijos sąnaudų vidurkis	34
24 pav. 5-erių metų mėnesinių karšto vandens sąnaudų vidurkis.....	34
25 pav. Saulės elektrinė integruota į stogo dangą.....	37
26 pav. Saulės elektrinė įrengta naudojant tvirtinimo konstrukcijas ant stogo dangos	38
27 pav. Saulės elektrinė su integruotomis fotovoltinėmis celėmis į čerpes.....	38
28 pav. Mėnesinis 10.5 kW saulės elektrinės generacijos grafikas su skirtingomis montavimo sistemomis	41
29 pav. Saulės modulių išdėstymas ant poilsio namų „Ažuolynas“ pirmojo ir antrojo korpusų pietinės stogo dalies	42
30 pav. Polikristalinių ir monokristalinių modulių mėnesinis pagaminamos elektros energijos kiekis	44
31 pav. CO ₂ emisijų kiekis taikant gyvavimo ciklo analizės metodą, skirtingoms elektros gamybos technologijoms[49].....	45
32 pav. Sutaupyta CO ₂ emisijų kiekis Lietuvos teritorijoje per visą saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį.....	46

33 pav. Sutaupytas CO ₂ emisijų kiekis Australijos teritorijoje per visą saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį.....	47
34 pav. Mėnesinis 61.56 kW saulės elektrinės generacijos grafikas su skirtingomis montavimo sistemomis	49
35 pav. Saulės elektrinės generacijos ir pastato elektros energijos suvartojimo grafikas.....	49
36 pav. Vidutinė oro temperatūra Lietuvoje, 1981-2010, 2019 ir 2020 metais.....	50
37 pav. Šilumos siurblio EcoTouch Air Kaskade 5060.5 mėnesinė generacija ir SPF koeficiento kitimas	53
38 pav. Šilumos siurblio Advantix S.p.A i-HP 0270 mėnesinė generacija ir SPF koeficiento kitimas	53
39 pav. Skirtingų mokėjimo planų už elektros energiją metinis mokestis pagal elektros energijos poreikį.....	56

Įvadas

Europos Parlamento direktyvoje buvo iškelti reikalavimai, kad nuo 2021 m. naujai statomi visuomeninės paskirties bei kitos paskirties pastatai, privalo būti nulinės energijos pastatais. Tokie pastatai dažniausiai yra apibūdinami, kurie savo suvartojamą energiją padengia iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių. Tačiau, ne tik naujai statomiems, bet ir esamiems pastatams, būtina visais galimais būdais, mažinti suvartojamos energijos kiekį bei diegti priemones, kurios sumažintų iškastinio kuro suvartojimą ir kur energijos poreikis būtų padengiamas iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių. Tiek Lietuvoje, tiek visame pasaulyje yra didelis potencialas ir galimybės plėsti atsinaujinančiųjų energijos šaltinių sektorių. Pažvelgus į paskutinių metų statistikos duomenis, galime pastebėti saulės elektrinių rinkos augimo tendenciją, kuriai daro įtaką krentančių sistemos įrengimo kainos, teikiamos subsidijos ir paramos. Tačiau, ne vien tik saulės elektrinių sistemų, bet ir kitų atsinaujinančiųjų energijos šaltinių paklausa pastebima. Vienas iš pavyzdžių – šilumos siurbliai, kurie yra auganti alternatyva šildymo sistemai bei karšto vandens ruošimui. Šios sistemos gali būti kombinuojamos kartu, taip didinant bendrą sistemos efektyvumą, tiek elektros gamybai, tiek šilumos energijai išgauti. Taip pat, žvelgiant aplinkosauginiu aspektu, tokių atsinaujinančiųjų energijos sistemų įrengimas sumažina iškastinio kuro sąnaudas elektros bei šilumos gamybai ir taip yra prisidedama prie CO₂ emisijų mažinimo.

Tikslas:

Sumodeliuoti saulės elektrinės sistemos ir šilumos siurblio „oras - vanduo“ geriausią galimą variantą, esamoms poilsio paskirties pastato energijos sąnaudoms padengti bei atlikti ekonominį vertinimą.

Uždaviniai:

1. Apžvelgti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo tendencijas bei panaudojimo perspektyvas Lietuvoje ir pasaulyje.
2. Atlikti skirtingų saulės modulių tipų analizę, jų sistemų modeliavimus, pagaminamos elektros energijos kiekio nustatymui.
3. Nustatyti tiriamajam objektui sumodeliuotos saulės elektrinės, išmetamų ir sutaupyto CO₂ emisijų kiekį.
4. Atlikti saulės elektrinės montavimo sistemų, jų panaudojimo pastatuose analizę ir palyginti pagal pagaminamos elektros energijos kiekį.
5. Atlikti šilumos siurblių tipų, panaudojimo ir efektyvumo analizę.
6. Atlikti sumodeliuotos saulės elektrinės sistemos ekonominį vertinimą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Temos aktualumas

CO₂ emisijos ir didelis energijos vartojimas šiandieniniame pasaulyje yra išskiriami kaip vienos opiausių problemų. Europoje apie 40 % energijos suvartojama pastatų šildymui, vėsinimui ir elektrai, todėl išskiriamas CO₂ emisijų kiekis siekia net 36 % viso išmetamo kiekio [1][2]. Siekiant sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, energijos vartojimą bei išmetamų į aplinką CO₂ dujų kiekį, Europos Sąjungoje buvo priimtos direktyvos ir apibrėžti pagrindiniai tikslai: didinti suvartojamos energijos iš atsinaujinančių išteklių dalį, taip siekiant energijos vartojimo efektyvumo, iki 2030 m. sumažinti CO₂ emisijų kiekį iki 40 % lyginant su 1990 metais, mažinti galutinės energijos suvartojimą pastatuose, taip dar labiau sumažinant energijos priklausomybę nuo iškastinio kuro. [3][4][5]. Taip pat, parengtame Europos Komisijos energetikos veiksmų plane iki 2050 m. [6] numatoma padidinti atsinaujinančių energijos išteklių vartojimo dalį tiek, kad iki 2050 m. būtų padengta 75 % galutinės suvartojamos energijos dalis. Pabrėžiama, kad energijos vartojimo efektyvumas turi išlikti vienu svarbiausių prioritetų, todėl reikia atsižvelgti į naujų bei esamų pastatų energinį efektyvumą. Siekti, kad jie patys išskirtų daugiau energijos, nei suvartotų ir taptų nulinės energijos pastatais. Taip pat juose esantys produktai ir prietaisai, turėtų atitikti aukščiausius energijos vartojimo efektyvumo standartus.

Europos Parlamento direktyvoje (2010/31/ES) buvo iškelti reikalavimai, kad nuo 2021 m. naujai statomi visuomeninės paskirties bei kitos paskirties pastatai privalo būti nulinės energijos pastatai ir atitikti visus keliamus reikalavimus bei standartus [4]. Nulinės energijos pastatai dažniausiai yra apibūdinami kaip pastatai, kurie savo suvartojamą energiją padengia iš atsinaujinančių energijos šaltinių [7]. Lu, Wang ir Shan, straipsnyje [8] išskyrė tris pagrindinius etapus siekiant nulinės energijos pastato statuso: pasyvioji projektavimo strategija (atitinkamos pastato atitvaros, pastato orientacija), energetiškai efektyvių technologijų taikymas (ŠVOK sistemos, karštas vanduo, apšvietimo sistemos, kita įranga) ir energijos gamyba iš atsinaujinančios energijos išteklių (saulės elektrinės, šilumos siurbliai, vėjo jėgainės).

Tačiau ne tik naujai statomiems, bet ir senos statybos, renovuojamiems pastatams yra svarbu, kad suvartojamos energijos kiekis būtų kuo mažesnis. Atsižvelgiant į tai, kiekvieną statinį, pagal skirtingas rodiklių reikšmes galima sertifikuoti ir priskirti energinio naudingumo klasei. Remiantis STR 2.01.02:2016 [9], pagal energinį naudingumą jie klasifikuojami į 9 klases. Aukščiausiai A++ klasei priskiriami jau minėti nulinės energijos pastatai.

Pastato energinis naudingumas yra apibūdinamas – apskaičiuotu energijos kiekiu, kuris reikalingas patenkinti visą energijos poreikį, įskaitant pastato apšvietimą, šildymą, vėdinimą, vėsinimą bei karšto vandens ruošimą [9].

Aptarta sertifikavimo sistema yra orientuota į energinį efektyvumą, tačiau yra ir kitų pastatų sertifikavimo sistemų, kurios labiau atsižvelgia į darnumo ir aplinkosauginius aspektus. Viena populiariausių pasaulyje yra britų BREEM (angl. *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) ir amerikiečių LEED (angl. *Leadership in Energy and Environmental Design*) [10]. Šios vertinimo ir sertifikavimo sistemos turi nemažą poveikį pastatų projektavimui, įrenginių

parinkimui inžinerinėse sistemose. Taip pat atsinaujinančių išteklių įrengimas padeda efektyviau vartoti energiją ir taip mažinti išmetamų CO₂ emisijų kiekį į aplinką.

Atsinaujinančios energijos išteklių pastate gali būti naudojami elektros energijos gamybai, karšto vandens ruošimui, pastato šildymui. Yra įvairių koncepcijų šiems energijos rūšims gauti: elektrai – saulės elektrinės, vėjo jėgainės; karšto vandens ruošimui – saulės kolektoriai, šildymui – šilumos siurbliai. Taip pat galimos ir hibridinės šių atsinaujinančių išteklių sistemos. Jos gali būti vertinamos pagal skirtingus aspektus: ekonomiškai patrauklus variantas, aplinkosauginiu požiūriu geriausias variantas ir energetiškai efektyviausias, energijos poreikiams patenkinti. Dažnai kombinuotos sistemos yra efektyvesnės nei pavienės, tačiau reikalauja didesnių investicijų ir sudėtingų skaičiavimų optimaliausiai sistemai rasti [11].

Skirtingam pastatui yra reikalingas nevienodas energijos kiekis. Jis priklauso nuo pastate esančių elektros įrenginių, pastato būklės bei energijos panaudojimo efektyvumo, t. y. kokia dalis energijos suvartojama šildymui, vėsinimui, karšto vandens ruošimui, vėdinimui ir apšvietimui. Šiam energijos kiekiui padengti, gali būti naudojami atsinaujinantys energijos išteklių bei kombinuotos jų sistemos. Vienas pagrindinių tikslų – pasirinkti tokią sistemą, jos dydį ir komponentus, kurie efektyviausiai padengtų suvartojamą energiją bei būtų ekonomiškai patrauklūs. Literatūroje yra daug pavyzdžių, kai yra tiriama ir lyginama tarpusavyje įvairios AEŠ sistemos, įrenginių tipai.

R. Valančius, J. Černeckienė, J. Vaičiūnas, A. Jurelionis ir P. Fokaidės savo straipsnyje [12] palygino saulės elektrinės ir saulės kolektorių sistemas aplinkosauginiu aspektu, generuojamos energijos kiekiu bei atsipirkimo laikotarpiu. Palyginus jas, buvo gauta, kad visais aspektais saulės elektrinės yra pranašesnės už saulės kolektorius. Tokį rezultatą lėmė saulės elektrinių sistemų kainos kritimas, valstybės teikiamos paramos bei energijos „saugojimo“ tinkle galimybė.

B. Xiao, L. He, S. Zhang, T. Kong, B. Hub, R.Z. Wang [13], atliko palyginamąjį šilumos siurblių „oras ir oras“ ir „oras ir vanduo“ sistemų tyrimą tomis pačiomis aplinkos sąlygomis. Sistemų modeliavimui ir palyginimui buvo naudojamas CFD programinis paketas. Atlikus tyrimą, buvo nustatyta, kad šilumos siurblio sistemos „oras ir vanduo“ energinio naudingumo koeficientas COP yra mažesnis nei šilumos siurblio sistemos „oras ir oras“, ypač esant žemesnėms aplinkos temperatūroms.

Kitame straipsnyje, R. Valančius, J. Černeckienė ir R.M. Singh [14] nagrinėjo trijų skirtingų integruotų saulės kolektorių ir šilumos siurblių sistemų atvejus Lietuvos ligoninėse. Straipsnyje buvo analizuojama sistemų pagaminamos energijos kiekis bei apskaičiuojama šilumos siurblio pagaminamos energijos vidutinė kaina, sezoninis naudingumo koeficientas SCOP. Dėl ilgo šių sistemų atsipirkimo laiko ir įrengimo kainos, daugeliu atvejų ši rinka negali stabiliai augti Lietuvoje tiek privačiuose, tiek visuomeniniuose sektoriuose.

Taip pat, literatūroje yra pavyzdžių, kuomet įvairiais aspektais nagrinėjamos ne kelios, o daugiau AEŠ sistemų. G. Šiupšinskas, S. Adomėnaitė [15] palygino daugiakriteriu vertinimu tarpusavyje ir analizavo skirtingas aprūpinimo energija sistemas, tokias kaip: šilumos siurbliai („gruntas ir vanduo“ ir „oras ir vanduo“), saulės kolektoriai, absorbcinė vėsinimo mašina, biokuro katilas, saulės elektrinė, vėjo jėgainė – ir šių sistemų kombinacijas. Panašią analizę straipsnyje atliko ir R. Valančius, J. Černeckienė, J. Vaičiūnas, L. Stasiulienė, E. Perednis [16], kur buvo apžvelgiamos ir palyginamos šilumos sistemų alternatyvos pagal: sistemos įrengimo ir 10 metų eksploatacijos kainą, kasdienės

priežiūros poreikį, reikalingą plotą įrengimui, išmetamą teršalų kiekį, galios valdymo galimybę. Abiejų tyrimų metu, buvo nustatyta, kad pigiausia ir efektyviausia alternatyva yra kieto kuro katilas, tačiau žvelgiant aplinkosauginiu aspektu ši alternatyva yra kenksmingiausia, dėl išskiriamų kietųjų dalelių ir CO₂ kiekio į aplinką [16].

Remiantis M. Sharafi, T.Y. El Mekkawy, E. L. Bibeau [17] analizės rezultatais ir jau aptartais straipsniais, didesnis sistemos efektyvumas pasiekiamas kombinuojant AEŠ, tačiau ženkliai išauga tokių sistemų įrengimo ir eksploatacijos kaina.

1.2. Saulės elektrinės

1.2.1. Saulės energija

Visi svarbiausi procesai Žemės paviršiuje – klimatas, gyvybė, augalija – egzistuoja tik dėl Saulės spinduliuojamos energijos. Visų kitų pagrindinių atsinaujinančios energijos šaltinių – vėjo, biomasės, hidroenergijos – pirminis energijos šaltinis taip pat yra Saulė. Nepriklausantis nuo saulės energijos atsinaujinantis energijos šaltinis yra tik geoterminė energija. Tačiau jos įtaka Žemės klimatui labai menka. Ji prilygsta tik 0,02 % Saulės tiekiamos energijos.

Saulės šviesa yra nemokamas energijos šaltinis, kurį galima panaudoti beveik visame žemės paviršiuje. Žemei tenkančios saulės apšvietos pakaktų generuoti 165 000 TWh, nors šiuo metu pasaulyje suvartojama 22,3 TWh (2017 metais), o prognozės numato augimą iki 60 TWh. Tačiau saulės spinduliuotė yra nevienodai pasiskirsčiusi Žemėje. Lyginant pagal vidutinį saulės vienerių metų ekspozicijos horizontalioje plokštumoje rodiklį, Italijoje šis rodiklis yra 1100–1800 kWh/m², o Lietuvoje – 950–1050 kWh/m². Žvelgiant plačiau į Saulės spinduliuotės pasiskirstymą Lietuvoje, didžiausi saulės energijos ištekliai yra vakarinėje šalies dalyje – prie jūros, kur metinė ekspozicija siekia 1042 kWh/m², o mažiausi saulės energijos ištekliai yra šiaurės rytinėje ir rytinėje šalies dalyje, kur šis rodiklis lygus 926 kWh/m². Vidutinė metinė ekspozicija horizontalioje plokštumoje Lietuvoje apytiksliai siekia 1000 kWh/m². Detalesnis saulės apšvietos kWh/m² pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje pateikiamas 1 lentelėje [25].

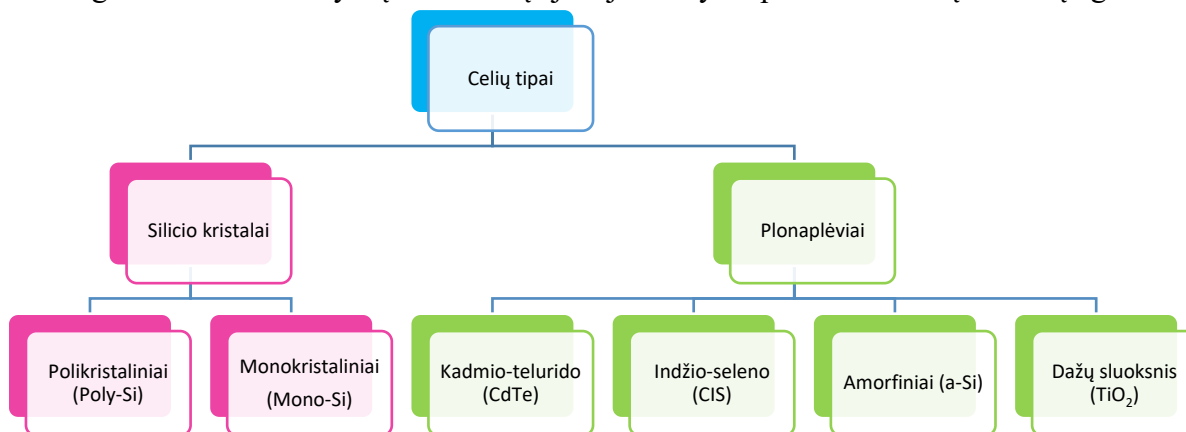
Nors saulės energijos kiekis Lietuvoje yra gerokai mažesnis negu labiau į pietus esančiose Europos šalyse, tačiau visos šalies mastu jis yra labai didelis, lyginant su šalies galutinių vartotojų suvartojamos energijos kiekiu. Galutinių vartotojų suvartojamos energijos kiekis siekia tik 0,26 % viso spinduliuojamo į Lietuvos teritoriją energijos kiekio. Saulės energijos panaudojimą sunkina tiek metinis, tiek ir paros saulės spinduliuotės intensyvumo netolygus pasiskirstymas. Didžiausias intensyvumas yra gegužės, birželio, liepos mėnesiais. Mažiausias – gruodžio, lapkričio, sausio mėnesiais. Saulės intensyvumui didelę įtaką turi klimatinės sąlygos, tai yra, koks debesuotumas yra tuo metu virš konkrečios teritorijos. Remiantis meteorologiniais duomenimis, saulėtų dienų skaičius Lietuvoje pasiskirstęs nevienodai. Daugiausiai saulėtų valandų per metus Nidoje – 1900, mažiausiai rytiniame šalies pakraštyje – 1650 [25].

1 lentelė. Saulės apšvietos kWh/m² pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje [25]

Eil.Nr.	Vietovė	Mėnesiai												Per metus
		Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	
1.	Šilutė	15	33	72	106	154	169	161	143	96	55	16	9	1029
2.	Nida	14	31	72	108	155	171	165	148	97	54	17	10	1042
3.	Kaunas	16	33	70	99	146	155	150	138	90	52	16	9	974
4.	Vilnius	16	34	69	93	142	164	142	136	84	50	17	10	957
5.	Telšiai	14	32	69	104	154	168	156	141	96	55	19	11	1019
6.	Šiauliai	13	31	68	100	154	163	153	142	94	53	17	9	997
7.	Klaipėda	12	31	67	102	155	168	161	147	94	53	16	8	1014
8.	Vėžaičiai	13	32	67	104	153	154	155	140	94	53	14	8	987
9.	Utena	15	33	67	96	145	151	175	133	84	50	16	8	973
10.	Biržai	8	27	65	96	148	165	151	135	83	46	9	2	935
11.	Dotnuva	10	29	70	103	154	164	158	145	92	50	11	3	989
12.	Dūkštas	9	28	65	97	150	157	153	137	84	47	10	1	938
13.	Kybartai	20	37	74	103	148	157	152	140	93	56	21	14	1015
14.	Lazdijai	19	37	74	103	150	159	153	142	94	56	20	13	1020
15.	Varėna	11	31	68	94	147	152	147	142	85	48	11	3	939

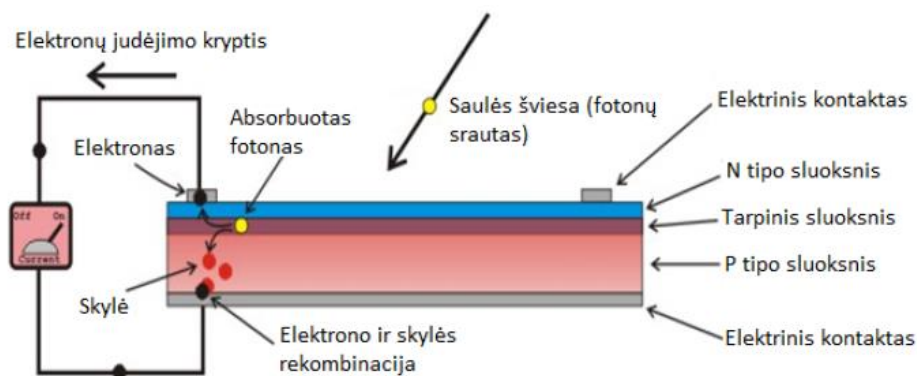
1.2.2. Fotovoltiniai moduliai

Pagrindinis saulės elektrinių elementas yra saulės fotovoltiniai moduliai, kurie saulės šviesos energiją paverčia į elektros energiją. Moduliai yra sudaryti iš dar mažesnių saulės komponentų, kurie vadinami celėmis. Celių gamybai gali būti panaudojamos skirtingos medžiagos, tokios kaip: silicio kristalai (poly-Si, mono-Si, c-Si, a-Si), kadmio-telurido kristalai (CdTe), indžio-seleno mišinys (CIS) ir kt. Celės veikimo principas pagrįstas fotoefektu, kuomet puslaidininkinės medžiagos fotonų energiją perduoda elektronams ir pakelia juos į aukštesnę energijos lygmenį, vėliau dėl puslaidininkinės medžiagos sandaros savybių elektronų judėjimas yra perduodamas į išorinę grandinę [18].



1 pav. Celių tipai pagal puslaidininkinę medžiagą [19]

Kiekvienos celės centre yra P-N sandūra. Vadinasi, puslaidininkinės medžiagos silicio kristalas sudaromas iš P tir N tipo sluoksnių. Suglaudus abu sluoksnius, prie susiglaudimo srities, priartėja teigiamos dalelės (skylės) ir neigiamos dalelės (elektronai), taip sudarydami teigiamą arba neigiamą polių. Krentis fotonų srautas (saulės šviesa) į P-N sandūrą yra absorbuojamas. Fotonais yra išjudinama visa sistema – elektronai išmušami iš atomų, taip sukuriant naujas daleles – skylės. Tokiu būdu P-N sandūroje sukuriama potencialų skirtumas [18].



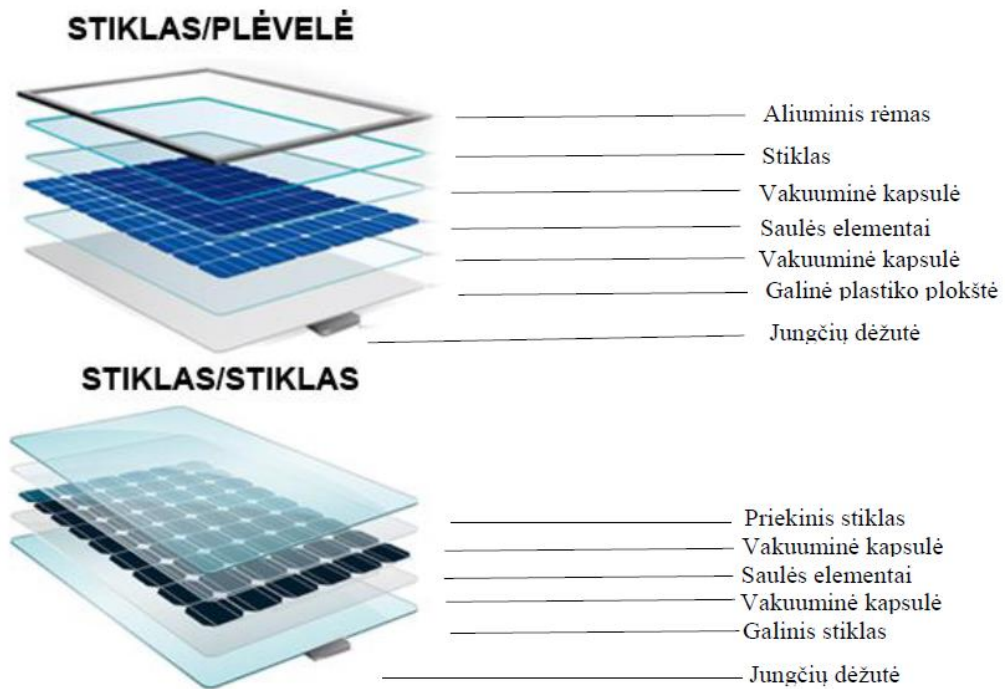
2 pav. P-N sandūros veikimo principas

Sujungus tarpusavyje nuosekliai saulės elementus yra gaunamas fotovoltinis modulis. Labiausiai pasaulyje paplitę silicio junginių moduliai, kurie palyginus su kitomis technologijomis, pasiekia aukštesnius naudingumo koeficientus (15-21%)[20].

Vieni populiariausių – monokristaliniai ir polikristaliniai silicio moduliai. Esminis šių technologijų skirtumas, kad monokristalinių modulių technologijoje naudojamas vienas bazinis monokristalas ir aplink jį sukuriamas idealiai orientuotas kristalinis tinklelis, o polikristalinių modulių technologijoje yra naudojami keli baziniai silicio kristalai [22]. Monokristaliniai moduliai, dėl juose esančio silicio grynumo savybių, turi didesnę efektyvumo rodiklį palyginus su polikristaliniais moduliais, naujausiose technologijose jis siekia net iki 24,04 % [21]. Taip pat monokristalinės plokštelės yra galingesnės, atsparesnės aukštų temperatūrų poveikiui bei pasižymi ilgaamžiškumu, tačiau ši technologija yra brangiausia dėl savo gamybinių procesų sudėtingumo. Polikristaliniai moduliai pasižymi prastesnėmis savybėmis nei monokristaliniai, jie yra mažiau atsparesni aukštoms temperatūroms, dėl to naudojimo / veikimo laikas yra trumpesnis ir turi mažesnę naudingumo koeficientą. Tačiau jų gamyba yra greitesnė ir pigesnė, todėl tai lemia mažesnę modulių kainą [21].

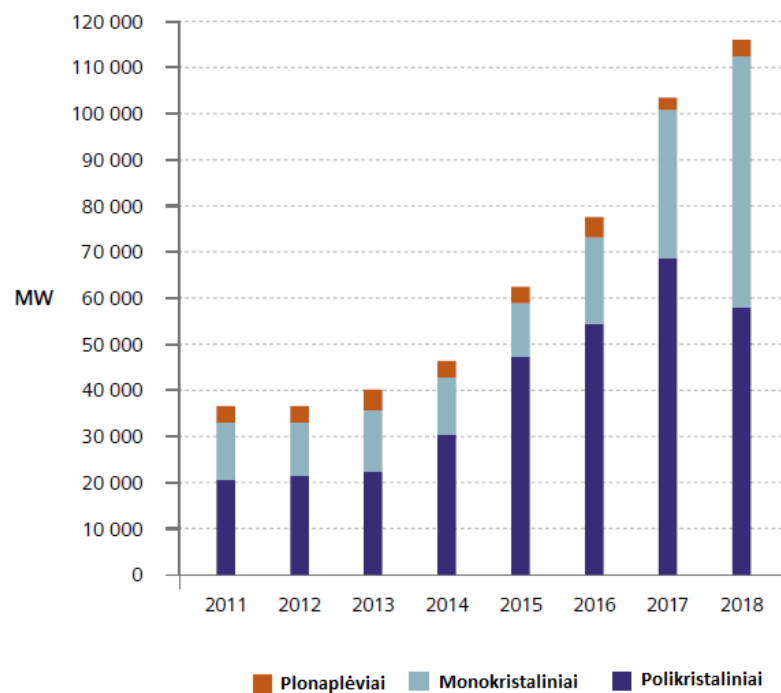
Plonaplėvių silicio modulių technologija pasižymi vienos arba kelių fotoelektrinių medžiagų sluoksnio plonumu [22]. Dažniausiai jie būna polikristalinės arba amorfinės sudėties, todėl jų tarnavimo laikas ir efektyvumas yra daug mažesnis (9–16 %) [23] nei monokristalinių ar polikristalinių modulių. Plonaplėvių silicio modulių gamyba yra paprastesnė ir jai sunaudojama daug mažiau žaliavų, todėl jie yra pigesni.

Modulių apsaugai nuo išorinių aplinkos veiksnių yra naudojamos apsauginės medžiagos. Apsauginė medžiaga priklauso nuo modulių rūšies ir technologijos. Labiausiai paplitusi technologija – „stiklas / plėvelė“, kai celių apsaugai iš viršaus naudojamas stiklas, o iš galo jos apgaubiamos plastikine plokšte ir patalpinamos į apsauginį rėmelį. Taip pat sparčiai populiarėja ir naujos kartos technologija – „stiklas / stiklas“, kur saulės elementai iš abiejų pusių yra izoliuojami stiklais. Dėl konstrukcijos sandarumo moduliai yra labiau apsaugomi nuo išorinio aplinkos poveikio ir taip yra pailginamas modulių tarnavimo laikas net iki 50 metų [24]. Remiantis modulių gamintojo „Solitek“ specifikacijose pateiktais duomenimis [24], ši technologija labiau apsaugo celes nuo mikroįtrūkimų esant išorinėms apkrovoms, tai užtikrina jų ilgesnį tarnavimo laiką ir mažesnius galios nuostolius.



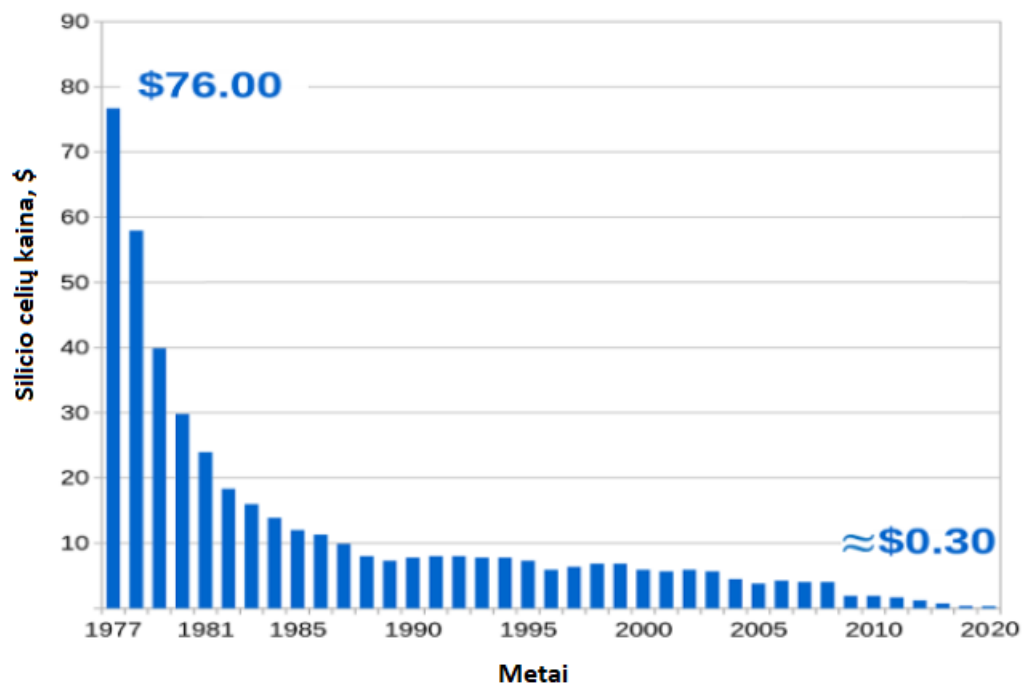
3 pav. Modulių konstrukcijų „Stiklas/Stiklas“ ir „Stiklas/Plėvė“ elementai

Žvelgiant į fotovoltinių modulių statistikos rezultatus, galime pastebėti, kad didžiąją dalį pardavimų rinkos užima monokristaliniai ir polikristaliniai moduliai. Paskutiniaisiais 2018 metais [21] monokristalinių modulių pardavimų skaičius buvo didesnis, nei polikristalinių modulių. Šiam pokyčiui didelę įtaką padarė krentanti modulių kaina ir augantis modulių efektyvumas, pusinių celių technologijos atradimas ir naudojimas modulių gamyboje. Kaip galima pastebėti iš 4 pav. plonaplėviai moduliai yra mažiausiai populiarūs rinkoje, dėl savo mažesnio modulių efektyvumo ir trumpesnio tarnavimo laiko.



4 pav. Metinė instaliuota saulės elektrinių galia technologijos atžvilgiu [21]

Fotovoltinių celių vidutinės kainos kritimas kiekvienais metais pavaizduotas 5 pav. Kaip galime pastebėti, modulių vidutinė kaina nuo 1977 iki 2020 metų laikotarpiu sumažėjo daugiau nei 250 kartų. O per pastaruosius 10 metų, kaina nukrito daugiau nei 50 %. Ši tendencija numatoma ir ateinantiems metams.



5 pav. Fotovoltinių celių kainos kitimas 1977-2020 metų laikotarpiu[37]

1.2.3. Saulės elektrinių sistemos

Svarbus parametras projektuojant fotovoltinių modulių sistemas yra – pasvirimo kampas. Tai kampas tarp pasvirusio paviršiaus ir saulės. Saulės foto modulių generuojama galia priklauso, ne tik nuo apšvietos, bet ir nuo kampo tarp foto modulio paviršiaus ir saulės, geografinės platumos, metų laiko bei paros valandos. Kai sugeriantis paviršius yra statmenas saulės spindulių atžvilgiu, tuomet foto modulio paviršiaus galios tankis yra lygus saulės spindulių tankiui [22]. Kitaip tariant, foto modulio didžiausia generacija bus tada, kai paviršius bus statmenas saulės spinduliams. Tačiau dauguma montavimo sistemų yra stacionarios, dėl šios priežasties elektros generacijos kreivė yra parabolės formos. Optimaliausias pasvirimo kampas priklauso nuo vietovės ir metų laiko, Lietuvos teritorijoje vasaros laikotarpiu šis kampas svyruoja nuo 16° iki 34°, o žiemos 60°- 65°. Apskaičiuota, kad visais metais didžiausia generacija bus gaunama, kai modulių pasvirimo kampas bus lygus 35°[25].

Saulės elektrinės sistemą sudaro tarpusavyje sujungtų įrenginių grupė, kurių pagalba, dalis aplinkoje išspinduliuotos saulės energijos yra paverčiama į elektros energiją.

Pagrindiniai ir svarbiausi saulės elektrinių sistemų komponentai yra:

- Saulės moduliai;
- Inverteriai;
- Akumulatoriai.

Dažniausiai akumulatoriai yra naudojami „Off-grid“ ir hibridinėse saulės elektrinių tipų sistemose. Kai saulės elektrinės generuojamos energijos kiekis yra nesuvartojamas, jis yra kaupiamas

akumuliatoriuose. Esant jos trūkumui - nakties laikotarpiu arba kai saulės elektrinė generuoja nepakankamai, reikalingas energijos kiekis padengiamas iš akumuliatoriuose sukauptos energijos. Ilgą laiko tarpą, pagrindiniai ir labiausiai paplitę energijos kaupikliai buvo švino – rūgšties akumuliatoriai, tačiau dėl sparčių ličio technologijų patobulinimų, šiuolaikinės ličio akumuliatorių sistemos pakeitė tradicinius švino – rūgšties akumuliatorius [36]. Be šių technologijų dar yra naudojami – natrio-sieros (NaS), nikelio-kadmio (NiCd), nikelio-metalų hidridų (NiMH) akumuliatoriai. Tačiau, saulės elektrinių sistemos su akumuliatoriais yra efektyvios ir naudingos tik tuo atveju, jei nėra galimybės prisijungti prie bendrųjų elektros tinklų. Kitu atveju, lyginant šias sistemas tarpusavyje, pastarosios yra daug brangesnės, reikalingi papildomi įrenginiai. Taip pat, akumuliatoriai turi ribotą įkrovimų ir iškrovimų ciklų skaičių, kurį viršijus reikalingas akumuliatorių keitimas, todėl vertinant ekonominiu aspektu šios sistemos yra daug brangesnės bei laiko atžvilgiu - mažiau patikimesnės už saulės elektrines prijungtas prie bendrojo elektros tinklo.

Pagal veikimo principą yra trys pagrindiniai saulės elektrinių tipai:

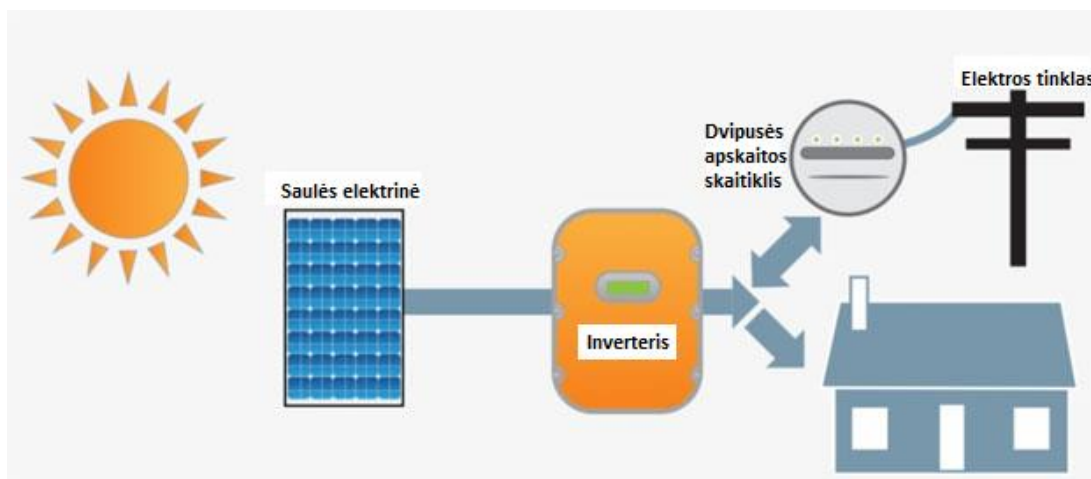
- „On Grid“ saulės elektrinės
- „Off Grid“ saulės elektrinės
- Hibridinės saulės elektrinės

„On grid“ saulės elektrinėse moduliai yra prijungiami prie inverterio, kuris nuolatine elektros srove, keičia kintamąją elektros srovę ir sugeneruota energija yra tiesiogiai vartojama, o esant jos pertekliui, tiekama į elektros tinklą. Kai saulės elektrinės generacija yra nepakankama, reikalinga elektros energijos kiekis pasiimamas iš elektros tinklo. Paskutinio dešimtmečio laikotarpiu, šio tipo saulės elektrinės yra daug populesnės, nes yra pigesnės, nei „Off Grid“ tipo elektrinės. „On Grid“ saulės elektrinėms yra nereikalingi akumuliatoriai ar kita papildoma įranga [23]. Į tinklą prijungtos saulės elektrinės principinė schema yra vaizduojama 6 pav.

Į tinklą prijungtos sistemos gali būti skirstomos į tris grupes:

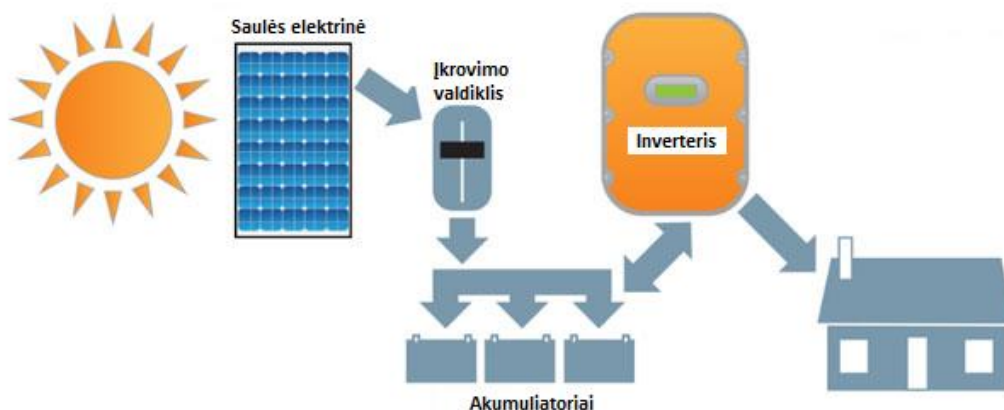
- Didelės galios saulės elektrinės, jų galia prasideda nuo kelių šimtų kilovatų iki kelių šimtų megavatų. Tokios saulės elektrinės yra jungiamos tiesiogiai į elektros tinklą. Dažniausiai montuojamos ant žemės ir dėl didelių apkrovų yra reikalinga papildoma įranga (transformatoriai, galios reguliatoriai ir kt.).
- Saulės elektrinių instaliacijos ant gyvenamųjų ir pramoninių pastatų dažnu atveju yra įrengiamos, kad padengtų jų elektros energijos suvartojimo poreikius arba bent dalį jų.
- Mažos galios elektrinės (galia iki 1kW), naudoja mikro inverterius, kurių pagrindinis tikslas, pasiekti kuo didesnę efektyvumą. Šio tipo sistemos yra jungiamos į vienfazį elektros tinklą [23].

„Off grid“ saulės elektrinės – tokios sistemos, kurios yra neprijungtos prie elektros tinklo. Sugeneruota elektros energija yra iš karto suvartojama, o esant jos pertekliui yra kaupiama akumuliatoriuose. Nakties metu ir esant nepakankamai saulės elektrinės generacijai, elektra yra apsirūpinama iš akumuliatorių. Tačiau, šios sistemos nėra tokios populiarios PV rinkoje, per metus įvairiose šalyse yra įrengiama ne daugiau kaip keli MW [21].



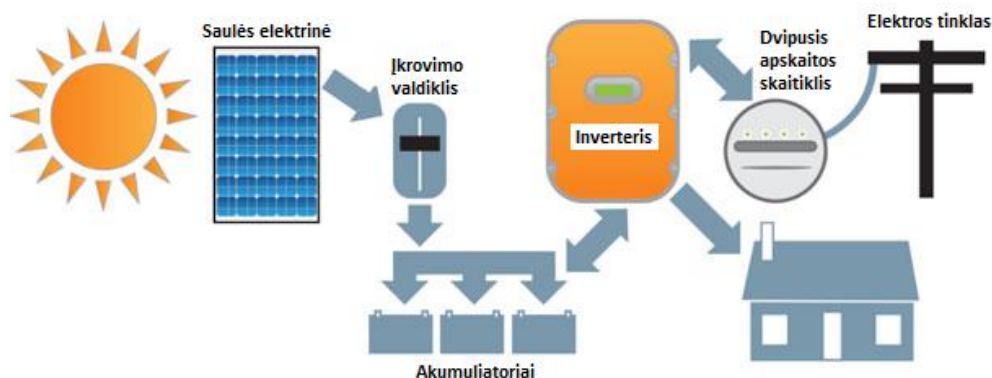
6 pav. Principinė „On Grid“ saulės elektrinės schema

Lyginant „On Grid“ ir „Off Grid“ saulės elektrinių sistemas, finansiniu aspektu „Off Grid“ sistemos yra daug brangesnės dėl reikalingos papildomos įrangos. Norint užtikrinti elektros energijos aprūpinimą, reikalingas didelis kiekis akumuliatorių, jų tarnavimo laikas taip pat yra ribotas, 5-10 metų, priklausomai nuo darbinių sąlygų. Taip pat reikalingi ir papildomi įkrovimo valdikliai, kurie reguliuoja, kad akumuliatorius nebūtų „perkrautas“ arba iki galo iškrautas, nes tokios krašutinės sąlygos trumpina jo tarnavimo laiką [21].



7 pav. Principinė „Off Grid“ saulės elektrinės schema

Hibridinė saulės elektrinė gali pilnai veikti, tiek prisijungus prie tinklo, tiek „Off Grid“ režimu. Generuojama saulės energija yra tiesiogiai vartojama, esant jos pertekliui yra pakraunami akumuliatoriai. Kai saulės elektrinė negeneruoja, elektros energijos poreikis padengiamas naudojant akumuliatorius. Esant pilnai pakrautiems akumuliatoriams, perteklinė energija yra atiduodama į elektros tinklą, o kai akumuliatoriai yra iškrauti ir saulės elektrinės generacija yra nepakankama, elektra apsirūpinama iš tinklo. Tokiu būdu, elektros energijos ištekliai yra išnaudojami efektyviau, nes pirmiau yra pakraunami akumuliatoriai, o tik vėliau perteklinė elektros energija yra atiduodama į tinklą. Tačiau, šios sistemos įrengimas reikalauja didesnių kaštų, nei tiesiogiai į tinklą prijungtų saulės elektrinių.

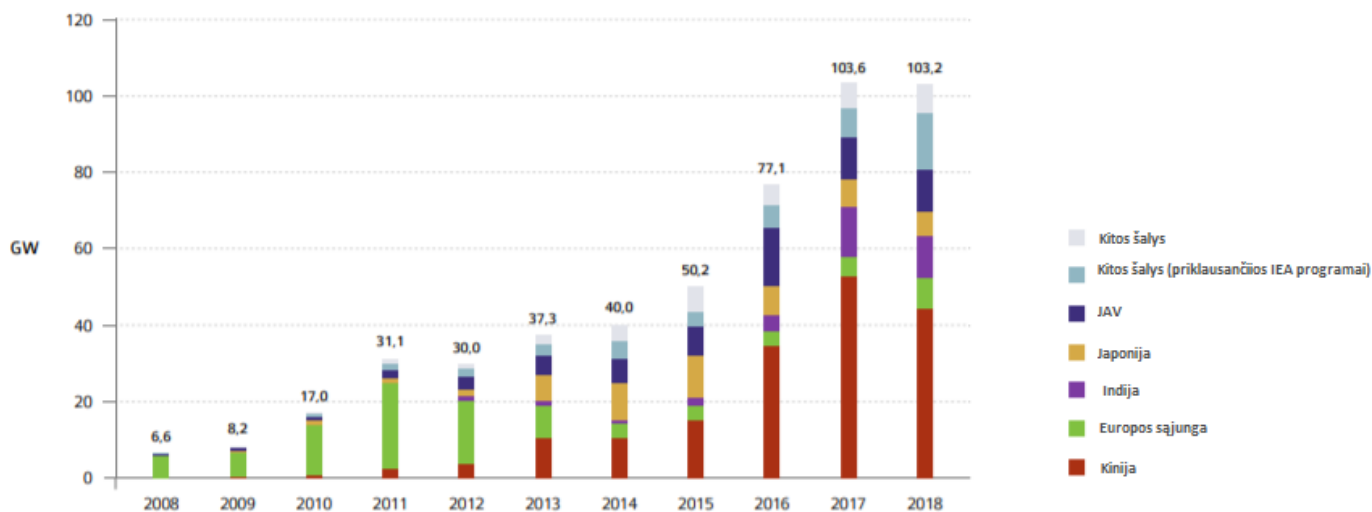


8 pav. Principinė hibridinės saulės elektrinės schema

Dažnai pasitaiko, kad saulės elektrinių sistemos yra lyginamos su saulės kolektorių sistemomis. Saulės kolektoriai – tokie įrenginiai, kurie saulės energiją verčia į šiluminę energiją ir gali būti panaudojami karšto vandens ruošimui, pasatato šildymui. Šios sistemos yra naudingos ir efektingos, tais atvejais, kai yra reikalingos didelės sistemos pavyzdžiui: ligoninėms, viešbučiams ir yra gaunama parama ar subsidijos iš Europos Sąjungos lėšų arba valstybės. Tačiau, remiantis atliktais modeliavimais ir šių sistemų tarpusavio palyginimais bei analize [12] kolektorinių sistemų atsipirkimo laikotarpis yra daug ilgesnis, lyginant su saulės elektrinių sistemomis. Taip pat, saulės elektrinių įrenginių kaina kiekvienais metais mažėja, o saulės kolektorių sistemų kainos, paskutiniu dešimtmečiu beveik nesikeitė, todėl tai yra dar viena iš priežasčių, kodėl yra pasirenkama saulės elektrinių sistemos. Kitą vertus, saulės elektrines yra lengviau kombinuoti su kitais šilumos gamybos įrenginiais, tokiais kaip: šilumos siurbliai. Taip pat, lyginant su šilumos siurbliais saulės kolektoriai yra mažiau efektyvesni. Įvertinus šių sistemų plusus ir minusus, galima pastebėti, kad saulės elektrinės yra labiau išsivysčiusi technologija, tiek ekonominiu, tiek praktiniu aspektais, nei saulės kolektorių sistemos.

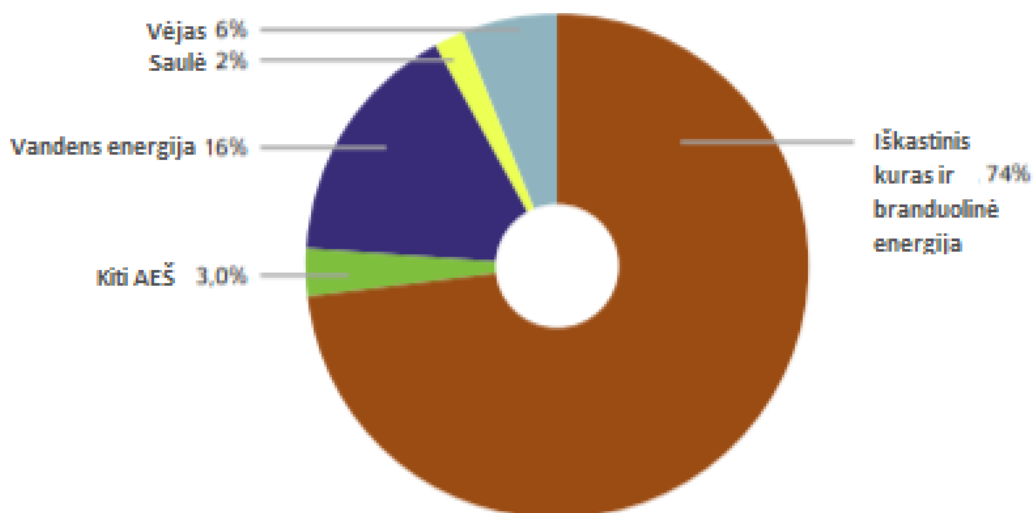
1.2.4. Saulės energetikos tendencijos Lietuvoje ir pasaulyje

Daugiau nei per 20 metų, visame pasaulyje yra instaliuota 512,3 GW saulės elektrinių. Iš jų daugiau, nei 54% buvo įdiegta per pastaruosius 3 metus [21].



9 pav. Instaliuotų saulės elektrinių metinė galia GW [21]

Pagal instaliuotos galios kiekį visame pasaulyje, pirmauja Kinija (34,2%), JAV (12,2%), Japonija (11%), Vokietija (8,9%) ir Indija (6,4%) [21]. Tuo tarpu, 2018 metų duomenimis Lietuvoje saulės energijos instaliuota galia siekė 88MW. Bendras visame pasaulyje instaliuotos galios kiekis sugeneruoja apie 670 TWh elektros energijos, kas yra tik 2% elektros energijos suvartojimo pasaulyje 2018 metais (23 000 TWh). Toks mažas skaičius parodo saulės energetiko rinkos poreikį, norint sumažinti iškastinio kuro ir branduolinę energijos sąnaudas. Tačiau, iš pateiktų duomenų 10 pav. matomas spartus jos augimas kiekvienais metais, ne tik saulės energetikos sektoriuje, bet ir bendrame elektros energetikos kontekste.



10 pav. Saulės energijai tenkanti dalis bendrame elektros energijos suvartojime 2018 metais [21]

Taip pat, PV rinkai yra palankios sąlygos kilti ir plėstis dėl kiekvienais metais krintančios įrengimų kainos. Vokietijoje, standartinės saulės elektrinės sistemos nuo 10 iki 100 kWp kaina 1990 metais siekė apie 14 000 € / kWp, kai tuo tarpu 2016 metų pabaigoje, tokios pat sistemos kaina buvo apie 1 270 € / kWp [23]. O 2018 metais Lietuvoje mažos galios (iki 10 kWp) saulės elektrinės sistemos kaina nukrito iki 1100 € / kWp [26]. Kaip matome, per mažiau nei 30 metų laikotarpį, sistemos įrengimo kaina sumažėjo daugiau kaip 90%. Krito ir saulės elektrinės įrenginių kainos, nuo 2009-2015 metų modulių kaina sumažėjo - 77%, o inverterių - 45% [23]. Pastaraisiais metais kainos papildomai krito iki 10% kiekvienais metais. Visa tai padėjo skatinti šią technologiją visame pasaulyje, kaip alternatyvą kitiems energijos šaltiniams.

Ne tik krintančios kainos, bet ir valstybės teikiamos paramos bei subsidijos skatina vartotojus įsirengti atsinaujinančiųjų energijos šaltinius. Nuo 2020 metų Lietuvoje valstybė skiria 370€ paramą už vieną įrengtą saulės elektrinės kW fiziniams asmenims įrengiant iki 10kW [27]. Taip pat, atsirado galimybė įsigyti arba „išsinuomuoti“ nutolusią saulės elektrinę asmenims, kurie gyvena daugiabučiuose ir taip tapti gaminančiais iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių elektros energiją, vartotojais. Įvairios verslo ir pramonės įmonės, taip pat turi galimybę gauti paramą saulės elektrinės įsirengimui, dalyvaujant „Atsinaujinantys energijos šaltiniai pramonei LT+“ konkurse. Pagal šį projektą bus skiriama parama saulės elektrinių arba kitų atsinaujinančiųjų energijos šaltinių įrengimui. Pagrindinis šio projekto tikslas – „žalios“ energijos panaudojimas pramonėje. Taip pat, ir valstybinėms įstaigoms yra teikiamos LR valstybės ir ES paramos atsinaujinančiųjų išteklių panaudojimui visuomeniniams ir

gyvenamosios paskirties pastatams. Šios aktyvinančios priemonės daro dar didesnę įtaką spartesnei ir dar didesnei saulės elektrinių plėtrai Lietuvoje ir skatina, tiek fizinius, tiek juridinius vartotojus, tapti atsinaujinančios energijos gamintojais.

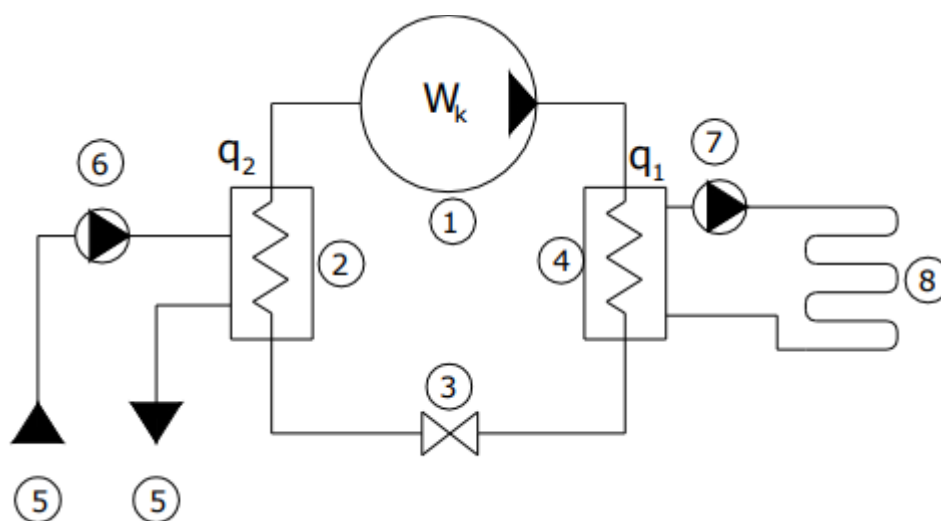
Tiek Lietuvoje, tiek visame pasaulyje yra didelis potencialas ir galimybės plėsti saulės energetikos sektorių. Pažvelgus į paskutinių metų duomenis, galime pastebėti, kad saulės energetikos rinkos augimo tendencija turėtų išlikti, dėl krentančių sistemos ir jos įrengimo kainų, teikiamų subsidijų ir paramų. Taip pat, žvelgiant aplinkosauginiu aspektu, tokių atsinaujinančiųjų energijos sistemų įrengimas sumažina iškastinio kuro sąnaudas elektros gamybai ir taip yra prisidedama prie CO₂ emisijų mažinimo.

1.3. Šilumos siurbliai

1.3.1. Šilumos siurblio veikimo principas ir pagrindiniai parametrai

Šilumos siurblys – toks įrenginys, kuris panaudodamas oro, vandens ar grunto energiją, paverčia aukštesnės temperatūros šiluma, kuri yra panaudojama pastato šildymui, karšto vandens ruošimui. Kompresoriniai(garo suspaudimo) šilumos siurbliai, sudaro didžiąją dalį šilumos siurblių rinkos visame pasaulyje ir yra dažniausiai naudojami pastatų šildymo sistemose. [28]

Šilumos siurblio veikimo principas yra paremtas antruoju termodinamikos dėsniu, kuris sako, kad šiluma yra perduodama iš šiltesnio kūno į šaltesnį. 11 pav. pavaizduota kompresorinio šilumos siurblio principinė veikimo schema.



11 pav. Kompresorinio šilumos siurblio principinė schema [29]

Paveiksle skaičiais pažymėti įrenginiai yra: 1 – kompresorius, 2 – garintuvas, 3 – išsiplėtimo vožtuvas (droselis), 4 – kondensatorius, 5 – lauko kolektorius, 6 ir 7 – cirkuliaciniai siurbliai, 8 – šildymo sistema

Kiekviename šilumos siurblyje yra du šilumokaičiai, šiltasis – kondensatorius, kurio šiluma atiduodama į kontūrą, ir šaltasis - garintuvas, kuris jau atlikusį darbą ir atvėsusį šaldymo agentą, gražina į sistemą ciklo pakartojimui. Pirmiausia, panaudojus oro, vandens ar grunto šilumą, šilumokaityje yra priverčiama šaldymo agentą garuoti. Šio proceso vyksmui didžiausią įtaką daro šaldymo agentas, kuris yra žemesnės temperatūros. Toliau drėgnas garas keliauja į kompresorių, kur

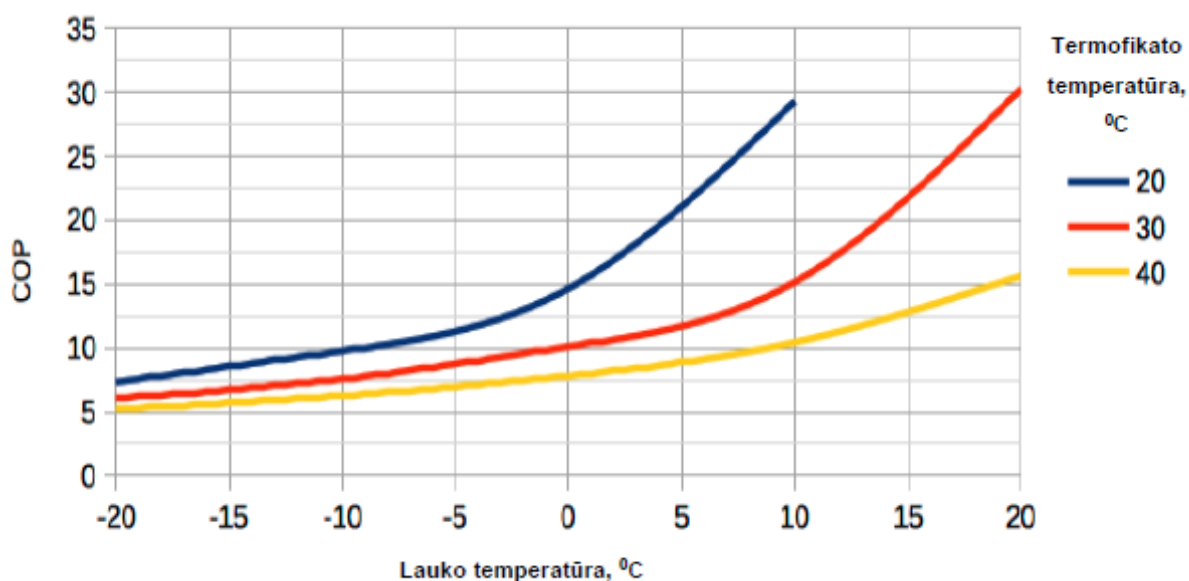
yra suspaudžiamas iki reikiamos temperatūros ir slėgio. Suspaustas garas keliauja į kondensatorių, kur kitame šilumokaityje jis kondensuojasi ir cirkuliacinio siurblio pagalba šilumos agentas (vandeniu) yra perduodamas į šildymo sistemą. Atlikęs darbą šaldymo agentas teka pro išsiplėtimo vožtuvą, kur vėl ciklas pradedamas iš naujo. [29]

Pagrindinis šilumos siurblio parametras tai – transformacijos koeficientas dar vadinamas trumpiniu COP (angl. *coefficient of performance*). Jis apibūdina pagaminamos šilumos kiekio santykį su sunaudota elektros energija, t.y kiek kartų daugiau šilumos pagaminama sunaudojus vieną kilovatvalandę.

$$COP = \frac{\theta_{HP}}{P_{HP} + P_{HP,aux}}; \quad (1)$$

čia: θ_{HP} – šildymo galia, W; P_{HP} – panaudota elektrinė galia, W; $P_{HP,aux}$ – papildomų įrenginių galia, W.

Šilumos siurblių gamintojų deklaruojamas ir pateikiamas COP transformacijos koeficientas yra apskaičiuotas prie standartinių lauko ir vidaus patalpų sąlygų, todėl eksploatacijos metu šis parametras yra ne vienodas ir dažniausiai skiriasi. Taip yra todėl, kad COP koeficientas yra priklausomas nuo vidaus temperatūros, pastato šildomo ploto, pastato šiluminės varžos, termofikato bei nuo aplinkos, grunto ar vandens temperatūros. 12 pav. pateikiama COP priklausomybė nuo aplinkos temperatūros, kai šilumos šaltiniui naudojamas oras.



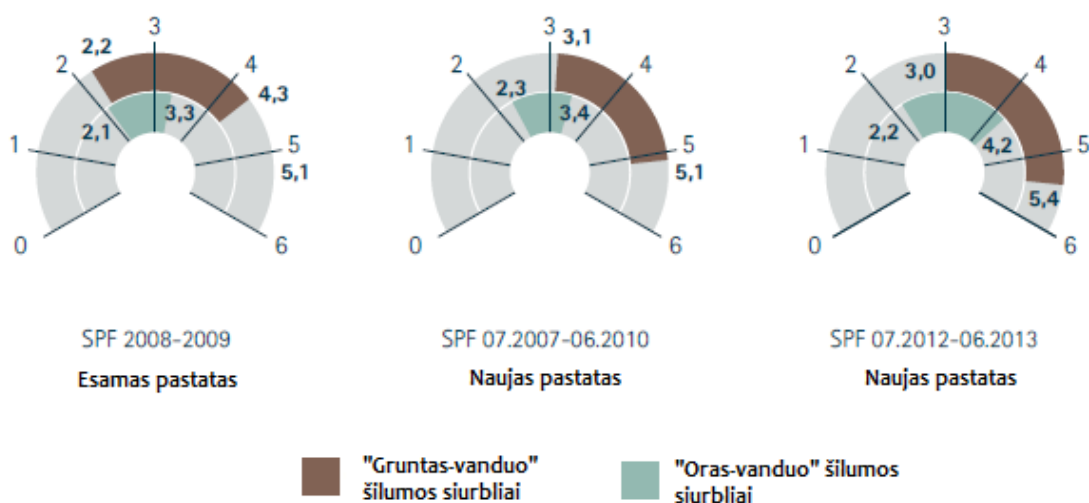
12 pav. Teorinė šilumos siurblio efektyvumo koeficiento COP priklausomybė nuo aplinkos iš kurios šiluma imama ir termofikato, kurį tiekiamo į savo šildymo sistemą temperatūrų [30]

Kaip galima pastebėti iš 12 pav. grafiko, šilumos siurblio transformacijos koeficientas COP bus didesnis, kai aplinkos temperatūra, iš kurios yra imama šiluma yra aukštesnė. Taip pat, tai priklauso ir į sistemą tiekiamo termofikato temperatūros. Kuo mažesnė ši temperatūra, tuo mažiau suvartojama elektros energijos kompresoriuje, kad būtų ji užtikrinama, todėl COP koeficientas yra didesnis esant mažesnės temperatūros termofikato poreikiui.

Dar vienas svarbus šilumos siurblio parametras - sezoninis naudingumo koeficientas SPF (angl. *SPF* – *seasonal performance factor*). Tai per šildymo sezoną šilumos siurblio patiektos šilumos ir suvartotos elektros energijos santykis, įvertinant kintamą šilumos poreikį, šilumos šaltinio ir patiektos šilumos temperatūrų svyravimus [31].

$$SPF_{g,t} = \frac{\theta_{out,g,h} + \theta_{out,g,DHW}}{E_{in,g} + W_g}; \quad (2)$$

čia: $SPF_{g,t}$, – bendras sezoninis efektyvumo koeficientas; $Q_{out,g,h}$ – šildymo sistemai suteiktas šilumos kiekis, kWh; $Q_{out,g,DHW}$ – karšto vandens ruošimui suteiktas šilumos kiekis, kWh; $E_{in,g}$ – šilumos siurblio elektros energijos sąnaudos, kWh; W_g – papildomų įrenginių elektros energijos sąnaudos, kWh.



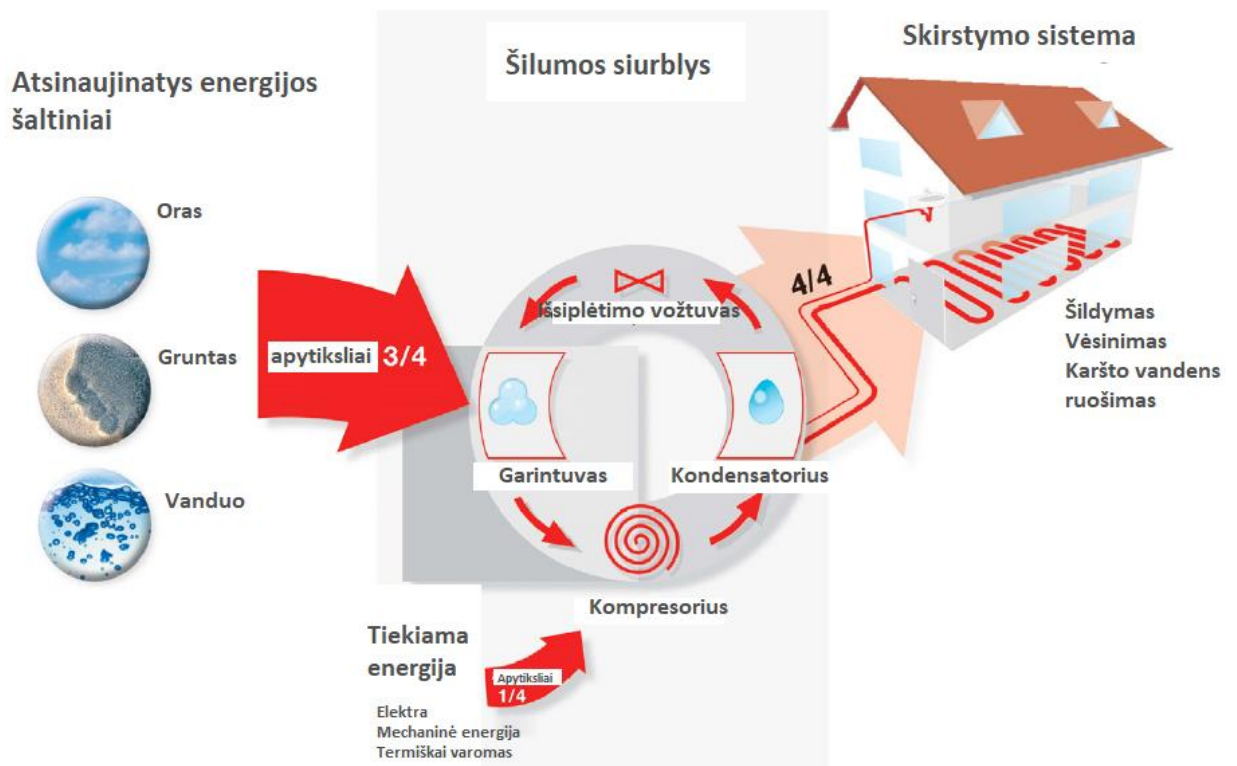
13 pav. Šilumos siurblių „oras-vanduo“ ir „gruntas vanduo“ sezonių efektyvumo koeficiento didėjimo grafikai [42]

12 paveikslėlyje pavaizduota šilumos siurblio efektyvumo koeficiento priklausomybė nuo lauko temperatūros yra tik teorinė. Realūs šilumos siurblių esamuose ir naujuose pastatuose sezoniniai efektyvumo koeficientai pateikiami 13 pav., kurie beveik per pusę mažesni už teorines vertes. Kaip galima pastebėti, bėgant metams įrenginių technologija tobulėjo ir taip padidino efektyvumo koeficiento vertę, kurią gali pasiekti šilumos siurblys. Taip pat, iš pateiktų duomenų matoma, kad šis koeficiento dydis priklauso ir nuo bendros sistemos, pačio pastato būklės. Jei sistema suprojektuota tinkamai, šilumos siurbliai dirba efektyviau ir gali pasiekti aukštesnius SPF rodiklius [42].

1.3.2. Šilumos siurblių tipai

Šilumos siurbliai dažniausiai yra skirstomi pagal šilumos šaltinį, funkciją, energijos rūšį ir šilumos šaltinį:

- Šilumos šaltinis: oras, vanduo, gruntas, nuotekos;
- Funkcija: vėsinimas, šildymas, vėsinimas ir šildymas, karšto vandens ruošimas;
- Energijos rūšis tiekama į šilumos siurblių: elektra, mechaninė energija, termiškai varomas.



14 pav. Principinė šilumos siurblio veikimo schema [28]

Labiausiai yra paplitę šilumos siurblius klasifikuoti pagal šaltinį, iš kurio imama šiluma – tai oras, vanduo arba gruntas. Šiuos tipus detaliau apžvelgsiu tolimesniuose skyreliuose.

„Oras ir vanduo“ ir „Oras – Oras“ šilumos siurbLIAI

Šilumos siurbLIAI „oras ir vanduo“ arba „oras ir oras“, kaip šilumos šaltinį naudoja aplinkos orą. Šio tipo šilumos siurbLIAI, yra mažiau efektyvesni esant žemesnėms aplinkos temperatūroms nei -10°C , lyginant su kitos rūšies šilumos siurbLIAis. Taip pat, dar vienas minusas – skleidžiamas triukšmas. Tačiau pastaraisiais metais šios rūšies šilumos siurbLIų technologijos patobulėjo. Dėl geresnių kompresorių, šilumokaičių savybių bei šaldymo agento efektyvumo naujausi šilumos siurbLIų modeliai gali dirbti esant daug žemesnėms aplinkos temperatūroms [32].

„Gruntas-vanduo“ šilumos siurbLIAI

Šio tipo šilumos siurbLIų šilumos šaltinis – gruntas. Čia šiluma iš grunto pasiimama sumontavus vertikalius ir horizontalius vamzdynų kontūrus po žeme, kuriuose cirkuliuoja neužšalantis skystis (pvz. etilenglikolis). Gruntui nėra būdingas didelis temperatūros kitimas visų metų laikotarpiu, todėl gruntiniai šilumos siurbLIAI yra mažiau priklausomi nuo aplinkos temperatūros, nei „oras-oras“, „oras-vanduo“ šilumos siurbLIAI. Yra laikoma, kad 0,8m gylyje grunto temperatūra yra stabili, tačiau ji gali kisti nuo įvairių išorinės aplinkos faktorių, tokių kaip: saulės spinduliuotės pokyčiai, oro temperatūros pokyčiai, kritulių kiekio, dirvožemio šiluminių savybių bei vidutinės sniego dangos žiemos laikotarpiu. Ši sistema yra patraukli dėl sistemos efektyvumo, tačiau jos įrengimas yra daug sudėtingesnis ir brangesnis lyginant su oriniais šilumos siurbLIAis [32].

„Vanduo ir vanduo“ šilumos siurbLIAI

Šie šilumos siurbLIAI, kaip šilumos šaltinį naudoja vandenį, kuris yra tiesiogiai tiekiamas į įrenginį. Jei nėra jokių papildomų kliūčių tarp šilumos šaltinio vandens (požeminio vandens ar paviršinio

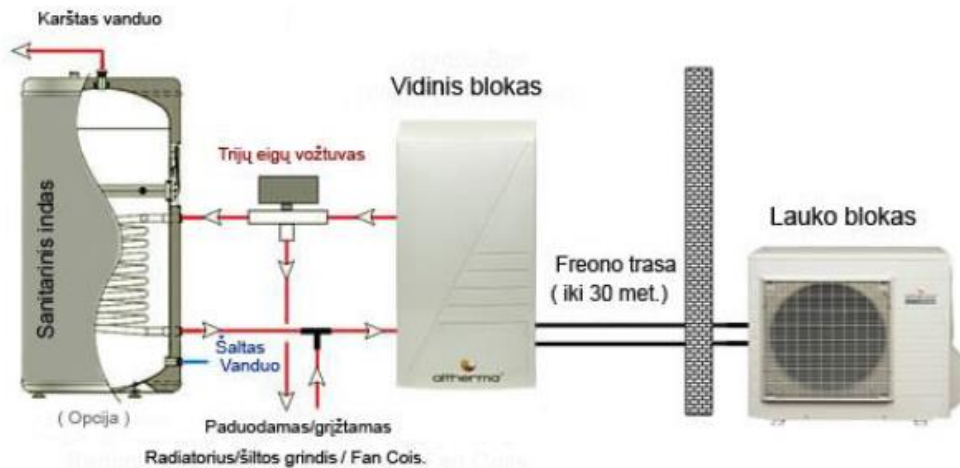
vandens telkinio) ir garintuvo, tuomet vanduo gali būti tiesiogiai tiekiamas į šilumos siurblių ir tokia sistema yra vadinama atviro kontūro sistema. Šioms sistemoms yra labai svarbi šilumnešio vandens kokybė, nes dėl per daug druskingo vandens, ar turinčio nuosėdų galimi sistemos užsikimšimai, gedimai, korozijos tikimybė. Taip pat, atviro kontūro sistemai svarbu, kad būtų užtikrintas pakankamas šilumnešio srautas ir tėkmės greitis. Dažniausiai tokio tipo sistemai yra reikalingas atskiras gręžinys arba paviršinis baseinas, pakartotiniam vandens panaudojimui. Rumunijoje atliktas tyrimas parodė, kad abiejų - vandens šilumos siurblių ir gruntinių šilumos siurblių transformacijos koeficientas COP yra lygus 4 [33]. Todėl, dėl mažesnės įrengimo kainos „vanduo-vanduo“ šilumos siurbliai yra pranašesni už gruntinius šilumos siurblius [32].

Žemiau esančioje 2 lentelėje pateikiama skirtingų tipų šilumos siurblių palyginimas, pagal tam tikras savybes, jų sezoninį naudingumo koeficientą [32].

2 lentelė. Skirtingų tipų šilumos siurblių palyginimas [32]

Punktas/Savybė	Šilumos siurbliai, kurių šilumos šaltinis oras	Šilumos siurbliai, kurių šilumos šaltinis gruntas arba vanduo
SPF	1,8-3,4	2,5-5,6
Mažesnė įrengimo kaina	Taip	Ne
Reikalinga mažiau vietos įrengimui	Taip	Ne
Efektyvesnis esant žemesnėms aplinkos temperatūroms	Ne	Taip
Mažiau skleidžia garsą	Ne	Taip
Mažesnės eksploatacijos išlaidos	Ne	Taip
Ilgesnis atsipirkimo laikas	Ne	Taip

Dėl savo konstrukcijos ir montavimo paprastumo šilumos siurbliai „oras ir vanduo“, darosi vis populiariesni ir yra pasirenkami pastatų šildymui ar karšto vandens ruošimui. Šilumos siurblio kompresorius yra pastatomas pastato išorėje, dažniausiai šalia sienos, kur yra vamzdiniai ar katilinės, kad būtų sumažinami sistemos nuostoliai. Taip pat, išoriniame bloke yra sumontuotas garintuvas, kuriame cirkuliuoja šaldymo agentas. Šalia esantis ventiliatorius, imdamas aplinkos orą, sukuria oro srautą, kuriuo yra apipučiamas garintuvas, ir taip priversdamas garintuve, esantį šaldymo agentą „virtį“. Tuomet kompresoriuje suslėgtos iki reikiamos temperatūros ir slėgio įkaitusios dujos, keliauja į vidiniame bloke esantį šilumokaitį – kondensatorių, kur šiluma yra perduodama termofikaciniam vandeniui, kuris jau naudojamas šildymo sistemoje ar karšto vandens ruošime. Panaudojus trijų eigu vožtuvą termofikatas nukreipiamas į dar vieną šilumokaitį, kuris ruošia karštą geriamąjį vandenį [34]. Principinė šilumos „Oras ir vanduo“ siurblio jungimo schema pateikiama žemiau esančiame 15 pav.

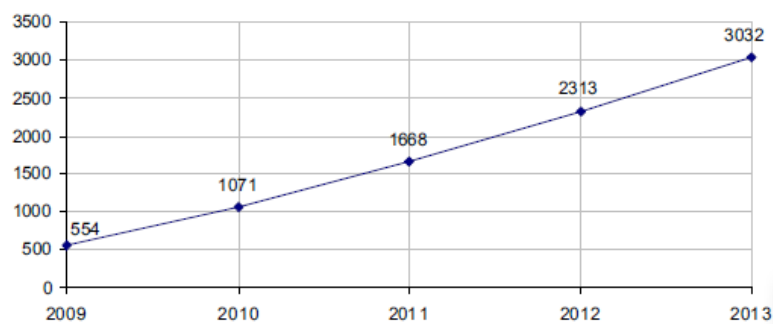


15 pav. Principinė šilumos siurblio „Oras – Vanduo“ jungimo schema [34]

Kaip jau buvo aptarta anksčiau, šio tipo šilumos siurblių efektyvumas yra tiesiogiai priklausomas nuo aplinkos temperatūros. Kai aplinkos temperatūra krenta, tai proporcingai mažėja ir šilumos siurblio momentinis transformacijos koeficientas COP. Visi šio tipo šilumos siurbliai turi elektrinius kaitinimo elementus, kurie užtikrina trūkstamą šiluminį kiekį, tačiau šio proceso metu sunaudojamas iš išorinio resurso papildomas energijos, kuris mažina sistemos efektyvumą.

1.3.3. Šilumos siurblių statistikos apžvalga Lietuvoje ir Europoje

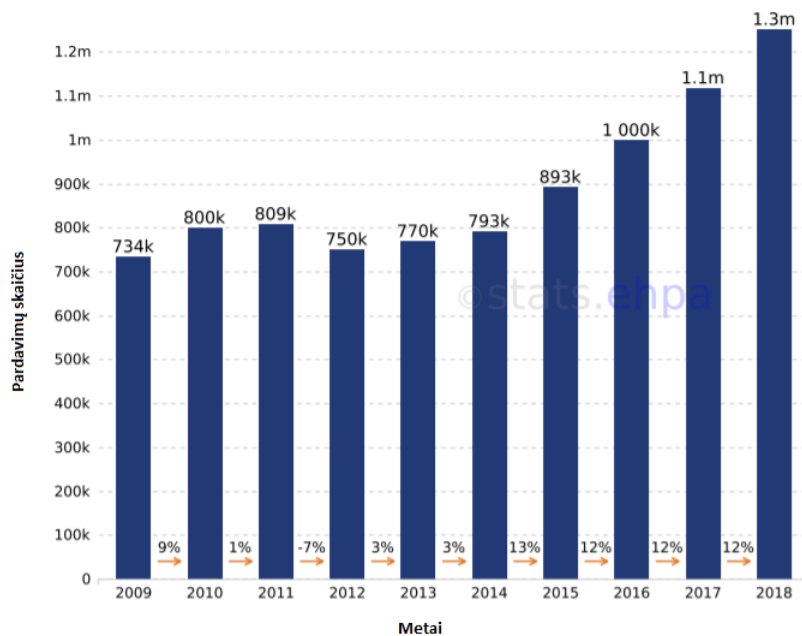
Šilumos siurblių statistika Lietuvoje pradėta sekėti nuo 2009 metų. Per 2009-2017 periodą, įrengtų įvairaus tipo šilumos siurblių kiekis padidėjo nuo 554 iki 8938 vienetų [28]. Šilumos siurblių rinka sparčiai plečiasi ir populiarėja dėl keliamų reikalavimų naujai statomiems pastatams, kad suvartojama energija būtų padengiama iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių. Taip pat, valstybės skiriamos subsidijos ir paramos skatina energijos vartotojus rinktis šilumos siurblius kaip šildymo šaltinį. Tačiau šiai rinkai dar labiau trukdo augti tai - kad daugiau nei 60 % Lietuvos gyventojų gyvena senos statybos daugiabučiuose namuose, kurie yra prijungti prie centrinio šildymo sistemos[32]. Dėl šios priežasties, lyginant su kitomis Europos šalimis, Lietuvoje šildymui yra sunaudojama 1,8 karto daugiau energijos.



16 pav. Šilumos siurblių sektoriaus augimas (parduotų šilumos siurblių skaičius) 2009-2013 metų laikotarpiu [28]

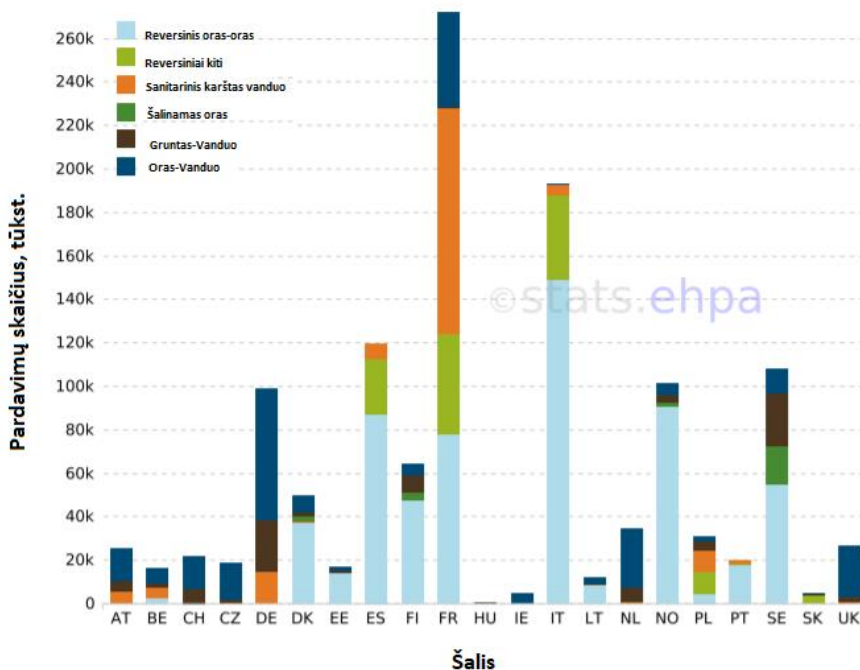
Europoje pardautų šilumos siurblių statistika pavaizduota 17 pav. Kaip matome iš pateiktų statistinių duomenų, 2009-2018 metų laikotarpiu šilumos siurblių pardavimai padidėjo nuo 734 tūkst. iki 1,3

mln. vienetų per metus. 2018 metų duomenimis pagal daugiausiai įrengtų šilumos siurblių skaičių pirmauja – Prancūzija, Italija, Ispanija, Švedija, Norvegija ir Vokietija[36]. Remiantis EHPA (*European Heat Pumps Association*) duomenimis [36] Europoje iki 2018 metų, iš viso yra instaliuota daugiau kaip 11,8 mln. šilumos siurblių, kurių suminė pagaminama šilumos energija iš atsinaujinančiųjų šaltinių siekia 128 TWh.



17 pav. Bendras šilumos siurblių pardavimo kiekis Europoje 2009-2018 metų laikotarpiu [36]

18 pav. pavaizduotas 2018 metų šilumos siurblių pardavimų kiekis Europoje pagal šilumos siurblio tipą.



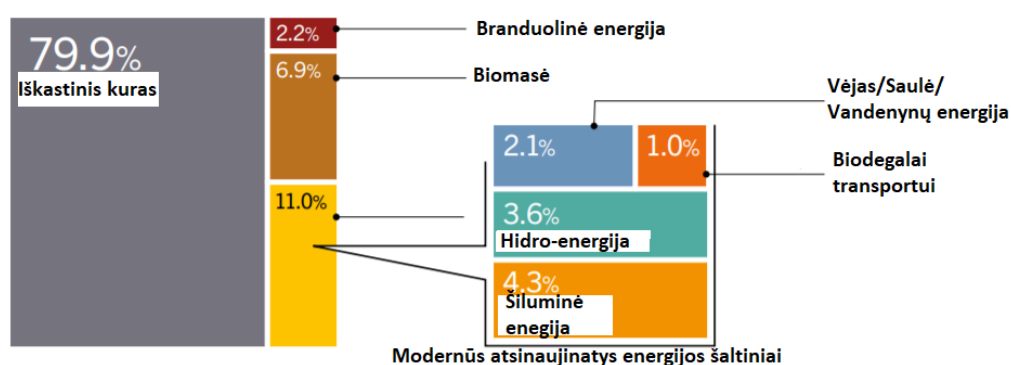
18 pav. Kasmetinis šilumos siurblių pardavimų kiekis Europoje pagal šilumos siurblio tipą 2018 metais [36]

Naudodamiesi nagrinėtais statistiniais duomenimis galima teigti, kad šilumos siurblių rinka kiekvienais metais vis auga ir plečiasi. Iš 18 pav. duomenų matoma, kad labiausiai paklausūs yra

šilumos siurbliai, kurių šilumos šaltinis yra oras. Jų pasirinkimą lemia mažesnė įrenginio kaina lyginant su kito tipo šilumos siurbliais.

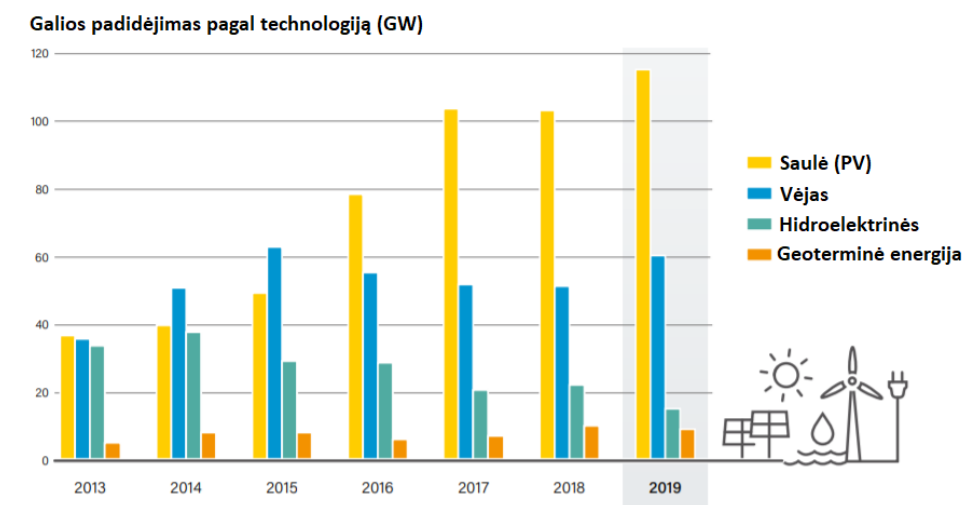
1.4. Atsinaujinantieji energijos ištekliai

Per 2018 metus bendras energijos suvartojimas padidėjo 2.3 % - tai buvo didžiausias pakilimas per pastarąjį dešimtmetį. Visa tai lėmė stiprus pasaulinės ekonomikos augimas (3,7%) ir padidėjusi šildymo ir vėsinimo paklausa kai kuriose šalyse (pvz.: Kinija, JAV, Indija). Dėl šių priežasčių padidėjo ir iškastinio kuro suvartojimas, kas nulėmė 1,7% CO₂ emisijų padidėjimą per 2018 metus. Apskaičiuota, kad 2018 metais atsinaujinančios energijos išteklių dalis sudarė tik 11% viso energijos suvartojimo[41]. Žemiau pateiktame paveikslėlyje pavaizduotas atsinaujinančios energijos pasiskirstymas bendrame energijos suvartojime.



19 pav. Atsinaujinančios energijos pasiskirstymas bendrame energijos suvartojime pasaulyje 2018 metais [41]

Nepaisant to, kad sąlyginai maža dalis energijos padengiama iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių, kiekvienais metais jų instaliuojama galia didėja. Per 2019 metus iš viso buvo instaliuota daugiau nei 200 GW galios iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių, tai net 8% daugiau nei 2018 metais [41]. Skaičiuojama, kad visame pasaulyje 2019 metų pabaigoje bendra AEŠ galia siekė 2 588GW [41]. Ateityje numatoma dar labiau didinti AEŠ apimtį, kad būtų sumažinta energijos gamyba iš iškastinio kuro ir CO₂ išmetamų teršalų kiekis.



20 pav. Metinis galios padidėjimas iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių pagal technologijos rūšį 2013-2019 metais [41]

2. Tyrimo objektas

Tiriamąo projekto nagrinėjamas objektas – poilsio namai „Ažuolynas“. Šis poilsio namų kompleksas yra įsikūręs Juodkrantėje. Pastatas yra šildomas kietuoju kuru, tačiau katilinės ir joje esančių įrenginių tarnavimo laikas baigiasi, todėl yra reikalingas efektyvus ir ekonomiškai patrauklus sprendimas šilumos gavimui. Apžvelgus išorinę pastato būklę, pastebimas ir nusidėvėjęs stogas, kurį greitai metu taip pat reikėtų renovuoti. Svarstomos galimybės elektros energijos sąnaudų padengimui, ant stogo įrengti saulės elektrinę.

Žemiau esančiame paveikslėlyje pateikiamos poilsio namų „Ažuolynas“ fotofiksacijos.



21 pav. Tiriamąo objekto - poilsio namų „Ažuolynas“ rytinio fasado esama būklė

2.1. Tyrimo objekto šildymo sistemos esama būklė

Poilsio namų „Ažuolynas“ šildymo sistemą sudaro: skystomis dujomis kūrenamas 314kW vandens šildymo katilas „Veromat“ su degikliu WEISHAUPT WG30F/1-C ir rezerviniai - du vienetai 45kW galios „Dakon“ DOR 45 (nebeveikiantys) ir 158,4kW „Viadrus“ EIV N briketais kūrenami špižiniai kietojo kuro katilai. Esama tyrimo objekto katilinės būklė pavaizduota 22 paveikslėlyje.



22 pav. Poilsio namų „Ažuolynas“ katilinės esama būklė.

1 - 158,4kW „Viadrus“ EIV N briketais kūrenamas špižinis kietojo kuro katilas, 2 - 45kW galios „Dakon“ DOR 45 briketais kūrenamas kietojo kuro katilas, 3 - skystomis dujomis kūrenamas 314kW vandens šildymo katilas „Veromat“ su degikliu WEISHAUP T WG30F/1-C.

Sprendžiant iš fotofiksacijose pavaizduotos katilinės būklės, tyrimo objektui reikalinga šildymo sistemos rekonstrukcija. Planuojama demontuoti du 45 kW galios „Dakon“ kietojo kuro katilus, taip pat ieškoma alternatyva kitam 158,4kW „Viadrus“ EIV N briketais kūrenamam špižiniam kietojo kuro katilui.

Kadangi Juodkrantė yra paskelbta istoriniu-urbanistiniu draustiniu, o čia įsikūrę poilsio namai „Ažuolynas“, todėl šildymo sistemai tikslinga pasirinkti šildymo įrenginius, kurie būtų kuo „draugiškesni“ aplinkai ir taip būtų sumažinamas išmetamų CO₂ emisijų kiekis. Dėl šios priežasties, sistemos šildymui bus svarstomi šilumos siurblių variantai.

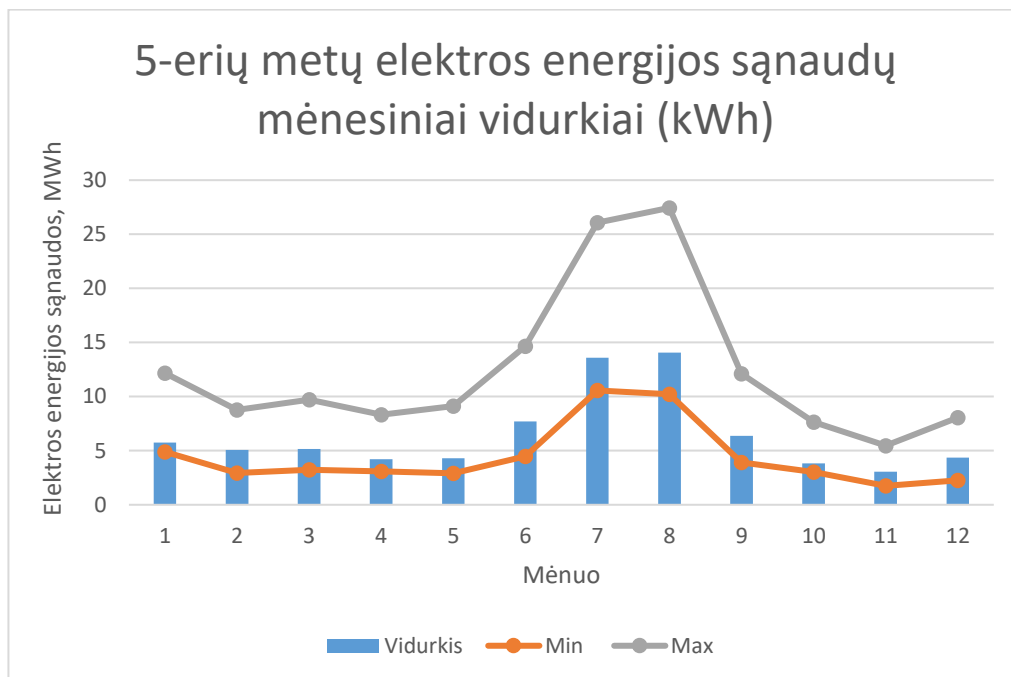
2.2. Tyrimo objekto karšto vandens ir elektros energijos poreikiai, kuro sąnaudos

Poilsio namų „Ažuolynas“ kurortinis sezonas prasideda nuo gegužės mėnesio ir tęsiasi iki rugsėjo mėnesio pabaigos. Šaltuoju sezonu poilsio namų didžioji dalis komplekso yra nešildoma, o tik palaikoma plusinė temperatūra dėl sistemos užšalimo galimybės. Iš viso šildoma yra 11 kambarių ir restorano patalpos, kur palaikoma +19°C temperatūra. Elektros ir karšto vandens didžiausias poreikis yra fiksuojamas šiltuoju metų sezonu, kadangi karštas vanduo reikalingas 70 kambarių aptarnavimui, vandens pramogų erdvėms, virtuvei ir kitų patalpų naudojimui. Metiniai elektros energijos ir karšto vandens poreikių grafikai pateikiami 23 ir 24 paveikslėliuose.

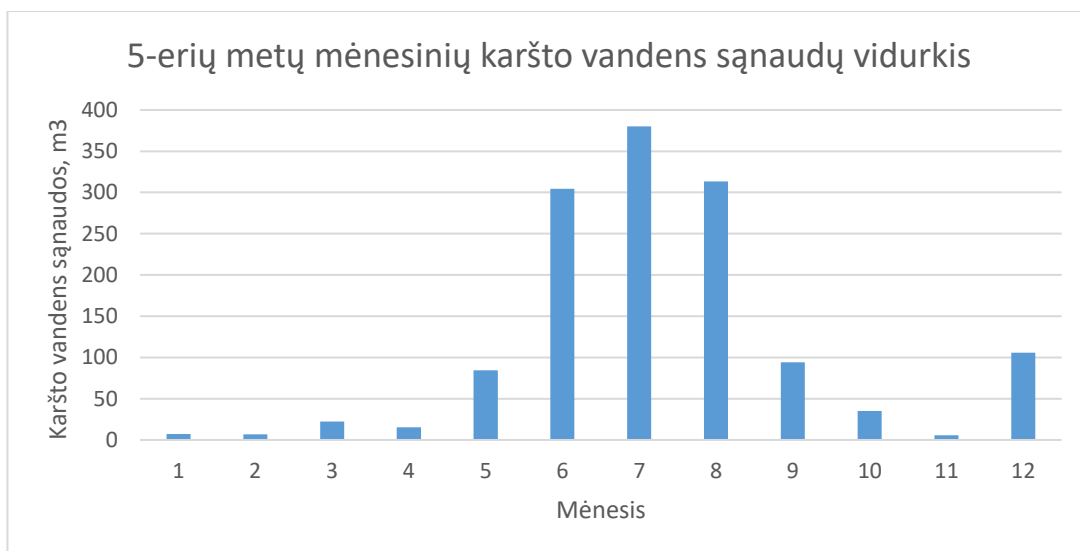
Tyrimo objekto patalpos šildomos naudojant kietąjį kurą – briketus. Pagal pateiktus poilsio namų „Ažuolynas“ duomenis, gegužės – rugsėjo mėnesiais per parą yra sunaudojama 200 kg briketų, o spalio – balandžio mėnesiais nuo 180 kg iki 270 kg per parą, priklausomai nuo palaikomos temperatūros patalpose (+19°C arba +14°C) ir karšto vandens poreikio. Bendrosios kietojo kuro sąnaudos gegužės – rugsėjo mėnesiais yra apie 36,6 tonų briketų, o spalio – balandžio mėnesiais nuo 39,78 iki 57,24 tonų briketų.

Pagrindinė užduotis: pagal turimus tiriamojo objekto duomenis, taikant energetiškai efektyvius ir ekonomiškai pagrįstus sprendimus, rasti optimaliausią variantą komplekso karšto vandens ruošimui

ir šildymui panaudojant šilumos siurblius. Taip pat, nustatyti saulės elektrinės galią, montavimo sistemą, kuri sugebėtų padengti didžiausią kiekį elektros energijos suvartojimo bei būtų patraukli ekonominiu požiūriu.



23 pav. 5-erių metų mėnesinių elektros energijos sąnaudų vidurkis



24 pav. 5-erių metų mėnesinių karšto vandens sąnaudų vidurkis

3. Tyrimo metodologija

Norint rasti optimaliausią sistemą elektros ir šilumos poreikiams padengti, reikalinga žinoti metinį energijos sąnaudų kiekį. Tuomet pagal šiuos rezultatus yra preliminariai apskaičiuojamos saulės elektrinės ir šilumos siurblių sistemos, kurios modeliuojamos „Pvsyst“ ir „Geo T*SOL“ programiniais paketais. Labai svarbu, prieš pradėdant modeliuoti apibrėžti tiriamojo objekto pradines sąlygas ir aplinkybes, tokias kaip: kur bus montuojama saulės elektrinė (ant stogo ar ant žemės), koks galimas didžiausias plotas jos įrengimui, kokios galimybės skirtingų tipų šilumos siurblių įrengimui (pvz.: ar yra pakankamai vietos „gruntas-vanduo“ šilumos siurbliui), vidaus patalpų pageidaujama temperatūra, lauko oro temperatūros. Įvertinus šias aplinkybes yra atliekamas modeliavimas kraštutinėmis sąlygomis, pavyzdžiui: ant stogo sudedamas maksimalus kiekis saulės modulių ir tikrinama ar tokia sistema padengia elektros energijos suvartojimo poreikius. Jei pagaminamos energijos kiekis viršija sąnaudas, sistema yra mažinama, kol randamas optimaliausias variantas, jei sistema padengia tik dalį suvartojamos energijos yra ieškomi būdai kaip padidinti tokios sistemos efektyvumą (pasirenkami kiti moduliai su didesne galia, ieškoma geriausia montavimo sistema ir t.t.). Analogiški sprendimai priimami ir modeliuojant šilumos siurblių sistemas. Prie nustatytų aplinkos sąlygų tikrinimas šilumos siurblių efektyvumo rodiklis ir ieškomas optimaliausias variantas tiriamajam objektui. Toliau yra analizuojamos įvairios alternatyvos šių sistemų įrengimui, kurios būtų ekonominiu požiūriu patraukliausios.

Tyrimui ir modeliavimo atlikimui yra naudojamos „PVsyst“ ir „Geo T*SOL“ programinės įrangos. Saulės elektrinių projektavime, „PVsyst“ programa - pagrindinis įrankis, leidžiantis analizuoti skirtingas konfigūracijas, įvertinti gautus rezultatus bei nustatyti geriausią įmanomą sprendimą suprojektuotai sistemai. Šio programinio paketo pagalba galima sumodeliuoti saulės elektrinę ir atliekant simuliacijas nustatyti sistemos elektros energijos generaciją, įvertinti šėšėliavimo įtaką jai. Taip pat, yra galimybė nustatyti ir modulių efektyvumo kritimą viso tarnavimo laikotarpiu ir patikrinti kokį energijos kiekį elektrinė sugeneruos po penkerių, dešimties ar dvidešimt metų [38].

„Geo T*SOL“ yra pagrindinė saulės šiluminėje energetikoje naudojama modeliavimo programa. Jos pagalba, galima lengvai sumodeliuoti šilumos siurblių ir saulės kolektorių sistemas. Priskyrus pagrindines charakteristikas pastatui ir įrenginiams yra apskaičiuojamas energijos poreikis šildymui ir karšto vandens ruošimui bei šilumos įrenginių efektyvumo rodiklis [39].

3.1. Šilumos siurblių tyrimo metodika

Šilumos siurblių tyrimas ir modeliavimas bus atliekamas „Geo T*SOL“ programiniu paketu. Toliau yra pateikiami nuoseklūs tyrimo eigos žingsniai.

1. „Geo T*SOL“ programoje apibrėžiamos tiriamojo objekto pagrindinės charakteristikos: pastato lokacija, pastato šildomas plotas, nustatomos į šildymo sistemą paduodamoji ir grįžtamoji temperatūra, išorės temperatūra, nustatoma pageidaujama vidaus temperatūra ir jos ribos, įvedamos šiluminės energijos sąnaudos.
2. Nurodomos mėnesinės karšto vandens sąnaudos bei jo reikalaujama temperatūra, pagal šiuos duomenis, programa sumodeliuos šiluminės energijos poreikį karšto vandens ruošimui. Jei šie duomenys yra nežinomi, juos galima apskaičiuoti, naudojantis statybos techniniame

reglamente: STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ pateikta metodika.

3. Pagal pateiktas pastato charakteristikas bei pridėjus energijos sąnaudas karšto vandens ruošimui, programinis paketas nustato modeliuojamos sistemos metinį šilumos energijos poreikį. Jas taip pat, galima apskaičiuoti naudojantis STR 2.01.02:2016 nurodyta metodika.
4. Toliau yra parenkamas šilumos šaltinis, šio tyrimo atveju – šilumos siurblys. Nurodomas jo tipas, vieta, kurioje jis bus instaliuojamas, parenkama siurblio galia, šilumos šaltinis.
5. Su priskirtomis charakteristikomis paleidžiama simuliacija ir gaunami sumodeliuotos sistemos rezultatai: šildymo ir karšto vandens ruošimui sunaudotas energijos kiekis, kWh/metus, elektros energijos kiekis sunaudotas šildymo sistemos veikimui, kWh/metus, sistemos efektyvumo rodiklis.
6. Išanalizavus gautus rezultatus, simuliacija yra pakartojama pakeičiant šilumos siurblio parametrus, jo tipą. Tokiu būdu, ieškoma aukščiausią efektyvumo rodiklį turinti sistema, šilumos sąnaudoms padengti.

3.2. Saulės elektrinių tyrimo metodika

Saulės elektrinių modeliavimas atliekamas su „PVsyst“ programa. Žemiau pateikta metodika, kuria naudojantis bus analizuojami sistemų variantai.

1. Iš tyrimo objekto, gaunamos elektros energijos metinės sąnaudos, prie šių sąnaudų yra pridodamas metinis elektros energijos kiekis sunaudotas šildymo sistemos veikimui, kuris buvo gautas sumodeliavus šilumos siurblio sistemą pagal 3.1 skyriaus 5 punktą. Sudaromas bendras mėnesinis elektros energijos suvartojimo grafikas.
2. Pagal turimas tiriamojo objekto stogo charakteristikas, sumodeliuojamas maksimaliai telpantis saulės modulių kiekis ant stogo. „PVsyst“ programoje suvedamos pagrindiniai saulės elektrinei reikalingi parametrai: įrengimo lokacija (nuo jos priklauso apšvietos dydis), modulių orientacija, pasvirimo kampas, modulių skaičius, naudojami inverteriai ir modulių pajungimo konfigūracija į inverterius, įvertinami galimi sistemos nuostoliai. Tikslesniam sistemos generuojamos energijos kiekiui nustatyti, gali būti sukuriama 3D modelis, kuris įvertina saulės elektrinės nuostolius dėl šešėliavimo. Tuomet yra pradėdama simuliacija ir gaunamas sumodeliuotos sistemos generuojamos elektros energijos kiekis. Šiuo žingsniu yra nustatoma didžiausia galima elektros energijos generacija, iš viso panaudojimui skirto ploto. Pagal gautą rezultatą, apsprendžiami tolimesni tyrimo eigos žingsniai. Jei generuojamos energijos kiekis nepakankamas, tada taikomi ir ieškomi papildomi sprendimai, kurie galėtų padidinti generaciją: pasirenkami galingesni moduliai, efektyvesnės montavimo sistemos parinkimas. Jei elektrinės generacija yra pakankama ar didesnė už sąnaudas, ieškomas optimalus modulių skaičius, jei nenorima atiduoti perteklinės energijos į elektros tinklą.
3. Kai jau turima apibrėžta saulės elektrinę, yra palyginamos galimos jos įrengimo sistemos: kai saulės moduliai montuojami vietoje stogo dangos arba saulės moduliai montuojami ant stogo dangos. Abiem atvejais atliekamos saulės elektrinių simuliacijos su „PVsyst“ programiniu paketu ir įvertinama montavimo sistemos įtaka generacijai.

3.3. Saulės elektrinių montavimo sistemų pirminė analizė

3.3.1. Saulės elektrinių montavimo sistemos

Saulės elektrinės generacija ir galutinė kaina priklauso, ne tik nuo modulių, bet ir nuo pasirinktos montavimo sistemos. Pagrindiniai būdai įsirengti elektrinę ant šlaitinio stogo yra:

- Modulių integravimas į stogą;
- Jų įrengimas naudojant tvirtinimo konstrukcijas ant stogo dangos;
- Stogo čerpės su integruotais fotovoltiniais elementais.

Saulės modulių integravimas į stogą

Šiuo atveju stogo danga arba jos dalis, yra pakeičiama į saulės modulius, kurie generuoja elektros energija ir kartu atlieka stogo funkciją. Pagrindinis tokių sistemų plusas - inovatyvus dizainas, nėra reikalingos papildomos montavimo konstrukcijos, sumažinamo stogo apkrova. Taip pat, šis sprendimas sutaupo kaštus stogo dangos keitimui ir gali būti įvardijamas kaip ilgalaikė investicija. Tačiau į stogą integruojamos saulės elektrinės yra mažiau ventiliuojamos, todėl yra didesnė tikimybė, kad celių temperatūra kils ir tokiu atveju padidės temperatūriniai nuostoliai, kurie mažins generuojamą galią. Į šį aspektą labiau atsižvelgti reikia rengiant elektrinę vietovėse, kur yra didelis apšvietos kiekis, ties pusiauju, kur saulės spinduliai krenta statmenai į modulių paviršių.



25 pav. Saulės elektrinė integravama į stogo dangą

Saulės elektrinės įrengimas naudojant tvirtinimo konstrukcijas ant stogo dangos

Tai populiariausia ir dažniausiai naudojama saulės elektrinių montavimo sistema. Čia moduliai specialiomis konstrukcijomis yra pritvirtinami ant stogo. Priklausomai nuo stogo dangos, yra taikomi skirtingi montavimo elementai: bėgeliai, specialūs prisukamieji varžtai, o jei stogas čerpinis – užkabinamosios konstrukcijos už čerpių. Šis montavimo metodas yra efektyvesnis, nei saulės modulių integravimas į stogo dangą, kadangi moduliai yra montuojami ant tvirtinimo elementų, o ne tiesiogiai ant stogo ir tokiu būdu yra užtikrinama oro cirkuliacija aplink visą modulių plotą, todėl yra mažesnė tikimybė foto elemento perkaitimui. Taip pat, šios sistemos nereikalauja papildomų investicijų stogo keitimui, kadangi nėra pažeidžiama stogo danga.



26 pav. Saulės elektrinė įrengta naudojant tvirtinimo konstrukcijas ant stogo dangos

Stogo čerpės su integruotais fotovoltiniais elementais

Šis būdas labai panašus į jau minėtą modulių integravimą į stogo dangą, tačiau šiuo atveju stogas dengiamas ne moduliais, o čerpėmis, kuriose yra jau įmontuoti fotovoltiniai elementai. Savo išvaizda ir dydžiu niekuo neišsiskiria nuo įprastinių čerpių, todėl nepakeičia pastato estetinio vaizdo. Dažniausiai fotovoltinėse čerpėse yra naudojama plonaplėvių celių technologija, kurios efektyvumas tesiekia 12%, tačiau yra gamintojų, kurie naudoja ir monokristalines silicio celes, kurių efektyvumas gali siekti ir iki 20% [43]. Tačiau toks variantas dar nėra tiek populiarus kaip įprastas modulių montavimas ant stogo, kadangi daugeliu atvejų yra reikalingas naujo stogo projektavimas, kas padidina visos instaliacijos bendrą kainą, todėl renkamsi pigesnė ir celių efektyvumo rodiklio atžvilgiu efektyvesnė sistema.



27 pav. Saulės elektrinė su integruotomis fotovoltinėmis celėmis į čerpes

3.3.2. Saulės elektrinių montavimo sistemų ekonominė analizė

Remiantis atlikta apžvalga, toliau saulės elektrinių sistemos bus nagrinėjamos ir palyginamos pagal įrengimo kaštus, tyrimo objekte – poilsio namai „Ažuolynas“. Pirminė ekonominė analizė bus atliekama apibrėžtai 10kW saulės elektrinei su skirtingomis montavimo sistemomis ant šlaitinio stogo.

Išskiriami trys scenarijai:

I variantas - Įmontuojama 10kW saulės elektrinė, pakeičiant stogo dangą;

II variantas - 10 kW saulės elektrinės įrengimas naudojant tvirtinimo konstrukcijas ant stogo dangos + naujo stogo pakeitimo kaštai;

III variantas - Stogo pakeitimas naudojant čerpes su integruotais fotovoltiniais elementais – 10kW sistema.

Norint kuo geriau įvertinti ir palyginti sistemas ekonominiu požiūriu, tikslinga naudoti tokio pat gamintojo komponentus – modulius, inverterius ir montavimo sistemą, jei gamintojas turi pasiūloje abu įrengimo variantus. Tačiau dažnu atveju, tie patys moduliai ant skirtingos montavimo sistemos ne visada gali būti montuojami dėl savo techninių savybių (netinkamas dydis arba storis). I ir II variantų montavimo palyginimui buvo pasirinkti „Solitek“ gamintojo skirtingi moduliai, kurie yra pritaikyti atskiroms sistemoms bei vienodus „Fronius SYMO“ 10kW inverterius [44]. Į abiejų variantų bendrą kainą įeina ir skirtingos montavimo sistemos, dėl kurių galutinė saulės elektrinės kaina skiriasi. Taip pat, prie antrojo varianto pridedami naujo stogo pakeitimo kaštai. Priimama, kad senoji stogo danga bus keičiama į čerpinį skardinį stogą. Jo kaina apskaičiuojama pagal modulių užimamą bendrą plotą. Trečiojo varianto bendra sistemos kaina apskaičiuojama pagal [43] šaltinyje pateiktą „CertainTeed Apollo II“ čerpių su integruotais fotovoltiniais elementais 1 W kainą (su visa reikalinga įranga ir stogo pakeitimu) padauginus iš 10kW. Kiekvienos varianto įrengimo kainų rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė. Skirtingų saulės elektrinių montavimo sistemų įrengimo kaštai

	I variantas	II variantas	III variantas
Moduliai	SoliTek Solfri-W-305	SoliTek Standard M.60-W-310	CertainTeed Apollo II
Modulių galia, W	305	310	63
Modulių užimamas plotas, m ²	63,04	58,57	85,16
Modulių kiekis	35	36	160
Bendra sistemos galia	10,96kWp	10,85kWp	10,08kWp
Inverteriai	Fronius Symo 10.0-M	Fronius Symo 10.0-M	–
Montavimo sistema	Integruota į stogą	Konstrukcijos ant stogo	Integruota į stogą
Kaina, €	16 700,00 €	10 600,00 €	4,34€/W
Stogo dangos kaina 1m ²	–	7,00 €	–
Bendra stogo dangos kaina	–	409,99 €	–
Bendra sistemos kaina	16 700,00 €	11 009,99 €	43 747,20 €

Pagal atliktus pirminius sistemų kaštų skaičiavimus, galime pastebėti, kad brangiausias 10kW saulės elektrinės įrengimo variantas yra trečiasis. Ne tik kainos, bet ir modulių užimamo ploto atžvilgiu, ši sistema yra didžiausia. Tai yra vienas iš pagrindinių minusų, nes lyginat su kitomis sistemomis tokiai pat galiai pasiekti, reikia daugiau ploto, o tai reiškia, kad ši saulės elektrinės sistema yra mažiau efektyvi. Taip pat, iš gautų rezultatų matome, kad pigiausias 10kW saulės elektrinės variantas, kai yra keičiama stogo danga ir įrengimui naudojamos tvirtinimo konstrukcijos prie stogo. Tačiau šiuo atveju buvo vertinamas tik 10kW elektrinei reikalingos stogo dangos plotas, o ne visas pastato stogas, kas gerokai padidintų bendros sistemos kainą. Todėl tikslesnei kainai nustatyti yra reikalingi pastato stogo matmenys, montuojamų modulių skaičius ir pagal tai perskaičiuojami bendri sistemų įrengimui reikalingi kaštai.

3.3.3. Saulės elektrinių modeliavimas su skirtingomis montavimo sistemomis

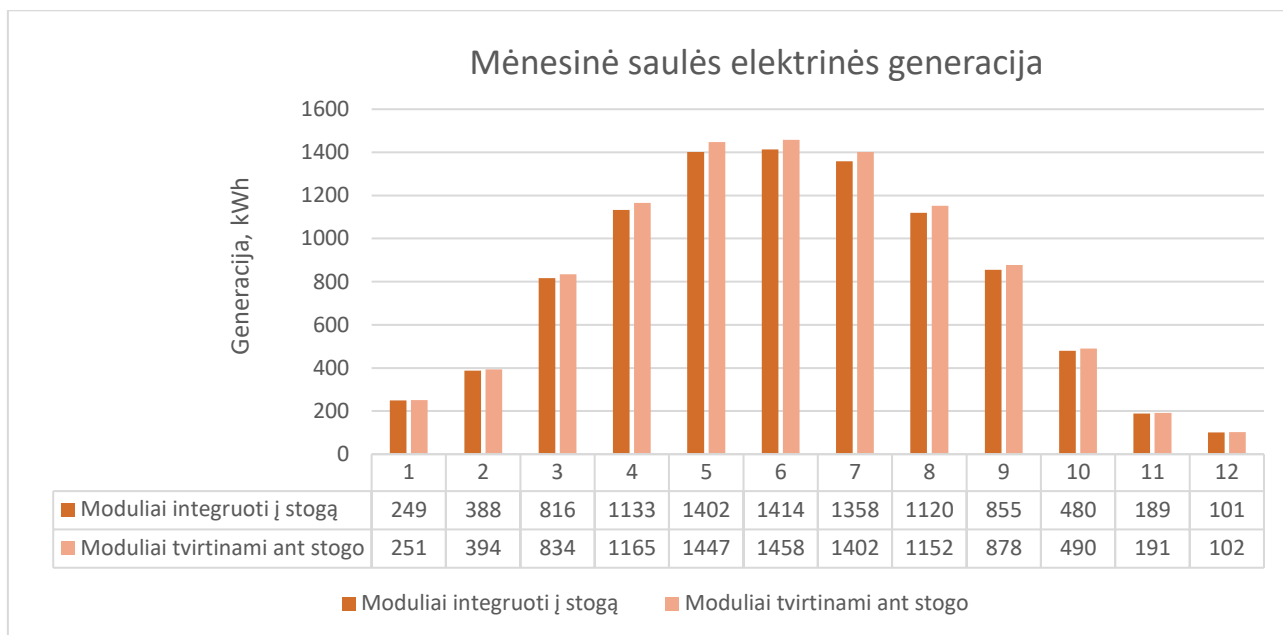
Saulės elektrinių montavimo sistemas galima įvertinti ne tik ekonominiu aspektu. Nuo pasirinkto modulių įrengimo būdo, priklauso ir bendras generacijos kiekis. Jis kinta dėl šiluminių nuostolių, kurie atsiranda, esant aukštomis temperatūroms modulio paviršiuje. Programinio paketo „PVsyst“ pagalba bus atliekamas pirminis saulės elektrinių modeliavimas esant integruotų modulių į stogą atveju bei kai moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis montuojami ant stogo dangos. Pagrindinis modeliavimo tikslas: nustatyti kokią įtaką elektros generacijai turi elektrinių montavimo sistema ir koks jos prarandamas kiekis dėl šiluminių nuostolių.

Modeliavimo pradžioje apibrėžiame sistemą ir jai naudojamus parametrus. Abiem atvejais pasirenkame vienodus „TrinaSolar“ gamintojo modulius bei ABB PVI-10.0-TL inverterius ir sumodeliuojame 10.5 kW saulės elektrinę, neįvertinant šešėliavimo nuostolių. Priskyrus pradinius duomenis, atliekamos sistemų simuliacijos, kai saulės moduliai yra integruoti į stogą ir kai montuojami ant stogo dangos. Daugiau pradinių sistemos parametrų pateikiama 4 lentelėje.

4 lentelė. 10,5 kW saulės elektrinės pradiniai parametrai

Lokacija	Kaunas
Moduliai	TrinaSolar TS335DE06M(II)
Modulių galia	335 W
Modulių skaičius	30 vnt.
Modulių pasvirimo kampas	30°
Modulių orientacija	Pietūs
Inverteris	ABB PVI-10.0-TL
Sistemos galia	10.5 kW

Atlikus abiejų sistemų modeliavimus prie tų pačių parametrų, buvo gauta, kad metinė saulės elektrinės generacija bus didesnė, įrengiant modulius ant esamos stogo dangos su tvirtinimo konstrukcijomis. Bendras metinės pagaminamos elektros energijos kiekis skiriasi per 260 kWh. Mėnesiniai sumodeliuotų sistemų generacijos duomenys pateikiami 28 pav. Remiantis šiuo grafiku, galima pastebėti, kad modulių įrengimo su tvirtinimo konstrukcijomis atveju, vasaros laikotarpiu elektros generacijos kiekis yra vidutiniškai 45kWh didesnis. Šis skaičius parodo, kad būtent tokia dalis energijos yra prarandama dėl terminių nuostolių, kai moduliai yra integruojami į stogą ir šiltuoja metų periodu nėra užtikrinamas pakankamas jų vėdinimas nuo perkaitimo.



28 pav. Mėnesinis 10.5 kW saulės elektrinės generacijos grafikas su skirtingomis montavimo sistemomis

Atlikto pirminio tyrimo rezultatai parodo, kad įrengiant 10kW saulės elektrinę ir montuojant modulius su tvirtinimo konstrukcijomis ant stogo yra gaunama 260kWh didesnė generacija, nei integruojant juos į stogą. Didesnis generuojamas kiekis, yra gaunamas, dėl mažesnių terminių nuostolių, nes yra užtikrinama oro cirkuliacija tarp modulių ir taip neleidžiama jiems perkaisti. Taip pat, remiantis analizės rezultatais ir ekonominiu požiūriu, ši sistema yra pigesnė, jei stogo keitimas yra nereikalingas. Tiksliesniam ekonominiam montavimo sistemų vertinimui reikalinga žinoti saulės elektrinės dydį, stogo dangos būklę bei išmatavimus.

4. Tyrimas

4.1. Saulės elektrinės

4.1.1. Monokristalinių ir polikristalinių modulių pagaminamos energijos skaičiavimas

Atlikus pirminę saulės elektrinių analizę apibrėžtai 10kW sistemai, toliau tyrimas tęsiamas nagrinėjant poilsio namų „Ažuolynas“ atvejį. Poilsio kompleksą sudaro trys korpusai su bendrinėmis patalpomis. Naudojantis poilsio namų atstovų pateikta informacija ir „Google Earth“ programinio paketo satelitinių fotofiksacijų duomenimis, buvo atlikta pirminė analizė, kuriuos stogus galima ir tikslinga panaudoti saulės elektrinių įrengimui.

Įvertinus, kad aplink poilsio namų kompleksą yra daug aukštų medžių, taip pat pačius stogų aukščių skirtumus bei stengiantis sumažinti šešėliavimo poveikį saulės elektrinei, buvo pasirinkta naudoti pirmojo ir antrojo korpuso pietinės pusės stogą. Šio stogo orientacija: -2° nuo pietų pusės, o pasvirimo kampas - 30° .

Pagrindinis projektuojamos saulės elektrinės tikslas – rasti optimaliausią variantą, kuris padengtų didžiausią suvartojamos energijos kiekį, todėl yra reikalingas maksimalus modulių skaičius, telpantis ant pasirinktų stogų bei didžiausia saulės elektrinės generacija, kuri priklauso nuo modulių gamintojų technologijos ir montavimo sistemos. Maksimalaus modulių skaičiaus išdėstymas ant pirmojo ir antrojo korpusų pietinių stogų pavaizduotas 29 paveikslėlyje.



29 pav. Saulės modulių išdėstymas ant poilsio namų „Ažuolynas“ pirmojo ir antrojo korpusų pietinės stogo dalies

Ant pasirinktų pastatų stogų saulės elektrinę sudaro 162vnt. modulių. Saulės elektrinės pagaminamos energijos kiekiui nustatyti, pasirenkami tos pačios serijos „Canadian Solar“ gamintojo 440W polikristaliniai ir monokristaliniai saulės moduliai. Pagrindinės modulių charakteristikos pateikiamos 5 lentelėje. Modulių specifikacijos pateikiamos 1 ir 2 prieduose.

5 lentelė. „Canadian Solar“ tos pačios serijos, monokristalinių ir polikristalinių modulių charakteristikos

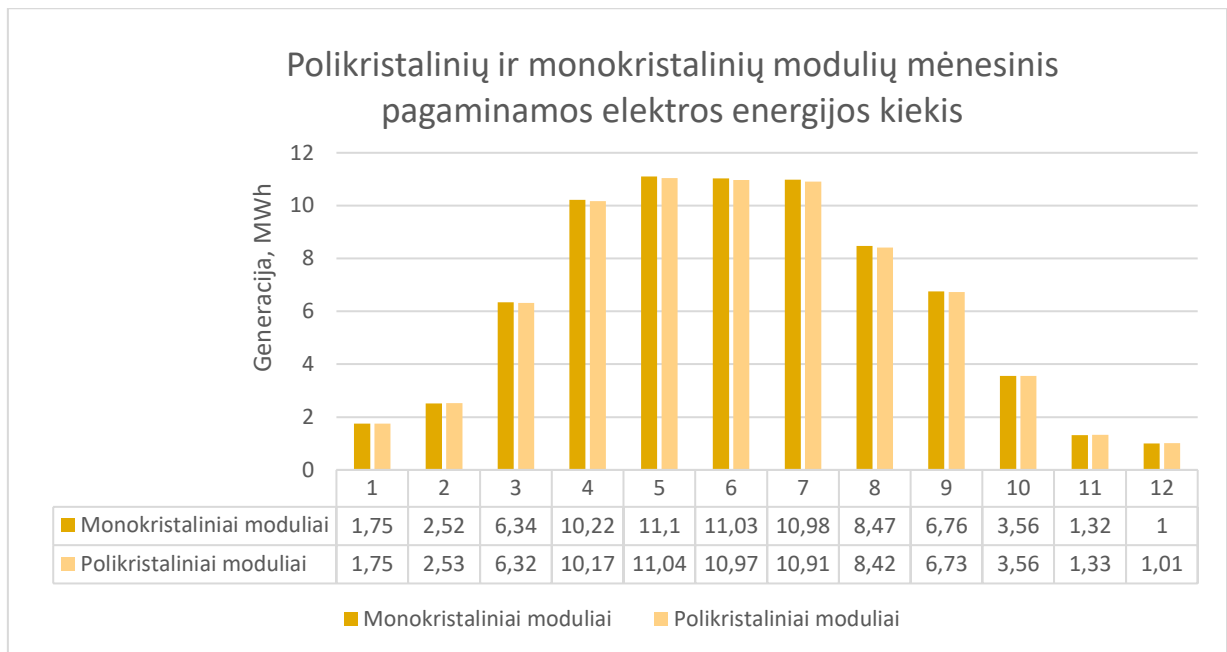
Modulis	Hiku CS3W-440MS	Hiku CS3W-440P
Modulio galia, W	440W	440W
Modulio efektyvumas, %	19.9%	19.9%
Temperatūrinė charakteristika, Pmax	-0.35%/°C	-0.36%/°C

Suprojektuotos saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos skaičiavimai atliekami su „PVsyst“ programiniu paketu, naudojant viršuje aptartus polikristalinius ir monokristalinius saulės modulius. Atliekant skaičiavimus, programa įvertina modulių efektyvumo rodiklius, temperatūrines charakteristikas bei modeliuojamos sistemos nuostolius dėl modulių šėšėliavimo. Pagrindiniai sistemos duomenys pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Pagrindiniai modeliuojamos sistemos duomenys

Moduliai	Hiku CS3W-440MS Hiku CS3W-440P
Modulio galia, W	440 W
Modulio dydis	2108 x 1048 x 40 mm
Efektyvumas	19,9%
Lokacija	Juodkrantė
Modulių skaičius	162 vnt.
Modulių pasvirimo kampas	30°
Modulių orientacija	-2°
Inverteris	Huawei SUN2000-60KTL
Sistemos galia	71,28 kW

Atlikus sistemų skaičiavimus, buvo gauta, kad metinis elektros energijos generacijos kiekis yra didesnis su monokristaliniais moduliais ir siekia 75 000 kWh, o su polikristaliniais 74 800 kWh per metus. Suprojektuotų sistemų pagaminamos elektros energijos kiekis skiriasi tik 0,4% . Tačiau, kaip matoma iš 30 grafiko duomenų - vasario, lapkričio ir gruodžio mėnesiais polikristalinių modulių generacija, nors ir nežymiai, bet buvo didesnė, nei monokristalinių modulių. Daugiau simuliacijų rezultatų galima rasti „PVsyst“ ataskaitose 3 ir 4 priede.



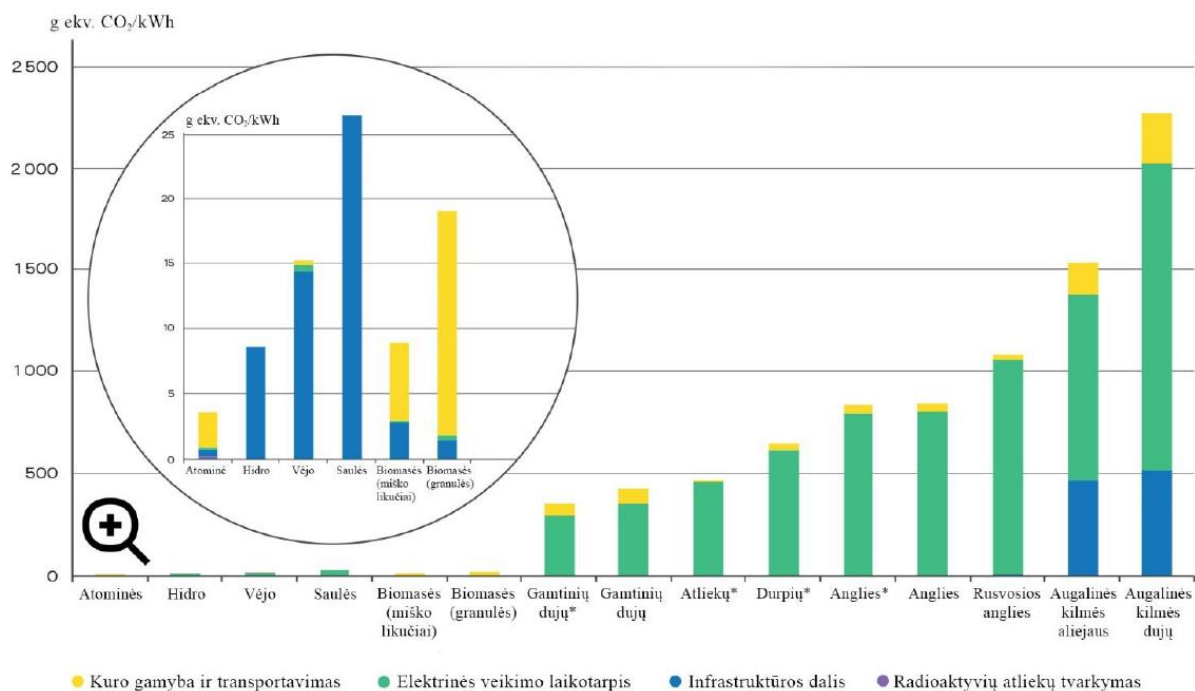
30 pav. Polikristalinių ir monokristalinių modulių mėnesinis pagaminamos elektros energijos kiekis

4.1.2. Monokristalinių ir polikristalinių modulių išskiriamų CO₂ emisijų skaičiavimas

Skatinant visame pasaulyje elektros energijos gamybą iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių, taip pat reikia atsižvelgti ir į šio sektoriaus gamtai daromą žalą. Nors saulės elektrinės neturi tiesioginio poveikio aplinkai ir elektros gamybos metu nėra išskiriamos šiltnamio efektą skatinančios dujos, tačiau tai galima įvertinti viso saulės elektrinės gyvavimo ciklo metu, pasinaudojant gyvavimo ciklo analizės metodu. (toliau angl. *LCA – Life Cycle assesment*).

LCA – metodas, kuomet yra įvertinama procesų ar produktų poveikis aplinkai jų viso gyvavimo ciklo metu, t.y nuo produktų ar paslaugų pagaminimo, vartojimo bei panaudojimo iki perdirbimo ar utilizavimo [48].

Žemiau esančiame grafike pateikiamos ekv. CO₂ emisijos vienai elektros kWh, pagamintai naudojant skirtingą elektros gavimo technologiją bei taikant gyvavimo ciklo analizę. Kiekvienas grafiko stulpelis yra išskaidytas ir apima keturis etapus visame gyvavimo cikle: kuro gamybos ir transportavimo, elektrinės eksploatacija, įskaitant atliekų tvarkymą, infrastruktūra, kur įvertinama elektrinės statyba, aptarnavimas esant gedimams bei jos demontavimas ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo [49].



31 pav. CO₂ emisijų kiekis taikant gyvavimo ciklo analizės metodą, skirtingoms elektros gamybos technologijoms[49]

Remiantis 31 grafiko duomenimis, didžiausia dalis CO₂ emisijų yra išskiriama saulės elektrinės statybos, transportavimo, priežiūros ir demontavimo metu, o ne jos eksploatacijos laikotarpiu. Taip pat, lyginant su kitais elektros gamybos būdais, saulė - viena „švariausių“ technologijų visam gyvavimo ciklo periode.

Išskiriamų CO₂ emisijų kiekis visame gyvavimo cikle priklauso ir nuo saulės modulių gamybos technologijos, kurios plačiau apžvelgtos 1.2.2 skyrelyje. Kaip ir pagaminamos energijos skaičiavimuose, taip ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų tyrime bus nagrinėjami polikristaliniai ir monokristaliniai moduliai.

Tyrimui atlikti naudojamas yra „PVsyst“ programinio paketo CO₂ emisijų skaičiavimo įrankis. Jis įvertina, kokia dalis CO₂ kiekio sumažėja aplinkoje, įrengus sumodeliuotą saulės elektrinę. Skaičiavimo rezultatas gaunamas gyvavimo ciklo emisijomis (angl. *Life Cycle Emissions*, toliau – LCE), kurios išreiškiamos visos saulės elektrinės gyvavimo ciklo metu sutaupytų CO₂ emisijų kiekiu (t ekv. CO₂) [50]. LCE skaičiavimuose ir vertinime įtraukiama visų saulės elektrinės elementų (inverterių, saulės modulių, kabelių, konstrukcijų) gamyboje, transportavime ir demontavime išskiriamų CO₂ emisijų kiekis.

7 lentelė. Išmetamų LCE emisijų kiekis saulės elektrinės gyvavimo ciklo etapuose [50]

Etapas	CO ₂ emisijos, kg ekv. CO ₂
Saulės modulių gamyba (JAV)	397
Saulės modulių gamyba (Filipinai)	1 591
Transportavimas keliais	0,035
Transportavimas vandeniui	0,060
Konstrukcijų gamyba (Australija)	5,65
Konstrukcijų gamyba (Latvija)	1,12

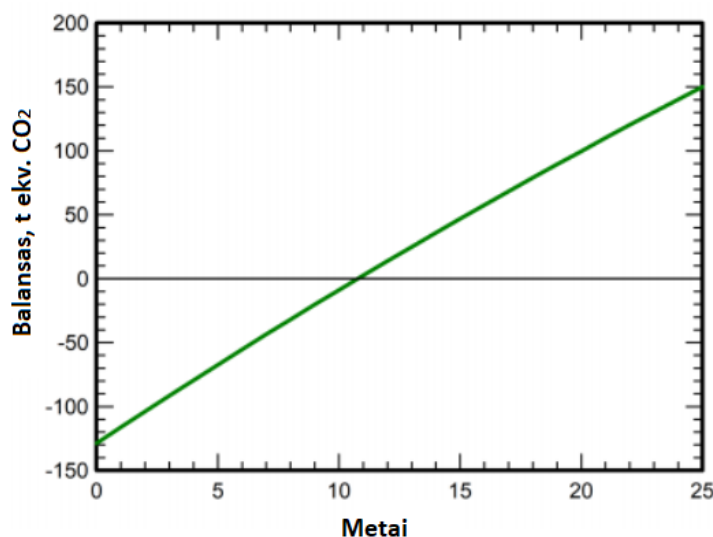
Etapas	CO ₂ emisijos, kg ekv. CO ₂
Inverterių gamyba (Lietuva)	111
Inverterių gamyba (Kinija)	522
Kabelių gamyba (Kinija)	15,8
Kabelių gamyba (Lietuva)	3,14
Modulių demontavimas ir utilizavimas	8,288

Kaip matoma iš 7 lentelėje pateiktų duomenų, CO₂ emisijų kiekis priklauso ir nuo vietovės, kurioje saulės elektrinės elementas yra pagamintas. Kad būtų galima įvertinti ir tarpusavyje palyginti saulės elektrines skirtingose vietovėse, tarptautinė energetikos agentūra yra priėmusi palyginamuosius koeficientus (vidutinės CO₂ emisijos per kilovatvalandę) skirtingiems regionams, kurie yra naudojami CO₂ emisijų balanso skaičiavimui. Lietuvoje šis palyginamasis koeficientas yra 0,168 kg CO₂/kWh [50]. Saulės elektrinės išmetamų į aplinką CO₂ emisijų skaičiavimo rezultatai su polikristaliniais ir monokristaliniais moduliais pateikiami žemiau esančioje lentelėje. Daugiau simuliacijų rezultatų galima rasti „PVsyst“ ataskaitose 3 ir 4 priede.

8 lentelė. LCE skaičiavimų rezultatai (kg. ekv. CO₂)

Variantas	Saulės moduliai	Transportavimas	Konstrukcijos	Inverteriai	Kabeliai
Polikristaliniai moduliai	122 083	3131	1 815	281	1 671
Monokristaliniai moduliai	122 083	3131	1 815	281	1 671

Kaip matoma iš lentelėje pateiktų duomenų polikristalinių ir monokristalinių modulių emisijos gaunamos vienodos, kadangi emisijų skaičiavimui yra naudojamas tas pats palyginamasis koeficientas, kuris priklauso nuo vietovės duomenų. Bendrosios, sumodeliuotos saulės elektrinės sistemos, išmetamos į aplinką įrenginių gamybos ir transportavimo metu, emisijos – 128 880 kg. ekv. CO₂, o per visą saulės elektrinės 25 metų gyvavimo laikotarpį, bendros sutaupytos emisijos – 150 137 kg. ekv. CO₂. Saulės elektrinės sistema pasieks balansą tarp išmetamų ir sutaupytų emisijų vidutiniškai po 10,5 metų (žr. 32 pav).



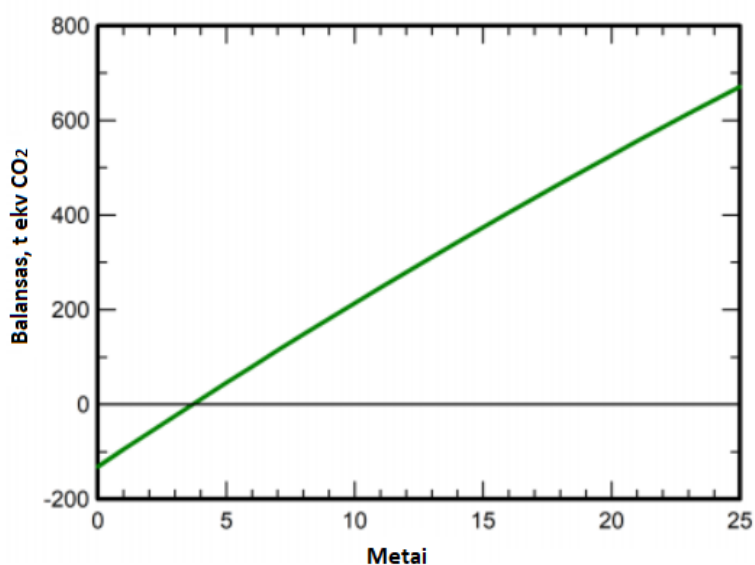
32 pav. Sutaupytas CO₂ emisijų kiekis Lietuvos teritorijoje per visą saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį

Ryškesniam rezultatų palyginimui, sumodeliuojama tokio pat dydžio saulės elektrinė Ispanijos vietovėje. Šioje vietovėje saulės apšvieta siekia – 1828,7 W/m² [37], o palyginamasis koeficientas – 0,287 kg CO₂/kWh [50]. Saulės elektrinės išmetamų į aplinką CO₂ emisijų skaičiavimo rezultatai pateikiami žemiau esančioje lentelėje.

9 lentelė. LCE skaičiavimų rezultatai Ispanijos vietovėje (kg. ekv. CO₂)

Saulės moduliai	Transportavimas	Konstrukcijos	Inverteriai	Kabeliai
122 083	3 131	3 101	522	2 683

Sumodeliuotos saulės elektrinės Ispanijoje, bendrosios išmetamos į aplinką emisijos siekia 131 520 kg. ekv. CO₂, o per visą saulės elektrinės 25 metų gyvavimo laikotarpį, bendros sutaupytos emisijos – 671 561 kg. ekv. CO₂. Saulės elektrinės sistema pasieks balansą tarp išmetamų ir sutaupytų emisijų vidutiniškai po 4 metų.



33 pav. Sutaupytas CO₂ emisijų kiekis Ispanijos teritorijoje per visą saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį

Palyginus tokio pat dydžio saulės elektrinių sistemas skirtingose vietovėse, buvo gauta, kad į aplinką išmetamų CO₂ emisijų kiekis yra 2% didesnis Ispanijos teritorijoje, tai lemia palyginamojo koeficiento dydis, kuris priklauso nuo saulės elektrinės vietovės. Tačiau, Ispanijoje, sutaupytų emisijų beveik 4,5 kartų daugiau negu Lietuvoje per visą saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį, ko pasėkoje per trumpesnę laiko tarpą yra pasiekiamas sistemos balansas tarp išmetamų ir sutaupytų CO₂ emisijų.

4.1.3. Saulės elektrinių modeliavimas su skirtingomis montavimo sistemomis

Atsižvelgiant į 4.1.1 ir 4.1.2 skyreliuose gautus rezultatus, tolimesnis saulės elektrinių modeliavimas su skirtingomis montavimo sistemomis atliekamas naudojant monokristalinius modulius. Saulės energetikos statistikos duomenimis, 2020 metų pirmoje pusėje, pagal modulių pardavimus buvo populiariausias „Jinko Solar“ modulių gamintojas [45], todėl tyrimui pasirenkamos šio gamintojo 380W galios P tipo monokristalinės saulės panelės. „Jinko Solar“ per pirmąjį ir antrąjį metų ketvirčius, bendrai pardavė daugiau nei 7,5 GW galios modulių [45]. Taip pat, atsižvelgiant į Kuršių

Nerijos regioninio parko reikalavimus, pasirinkti moduliai yra visiškai juodos spalvos dizaino, kad neišsiskirtų iš komplekso pastatų bendro vaizdo.

Lyginant pasirinktus visiškai juodus (angl. *all black*) modulius su įprastiniais polikristaliniais moduliais, pastarųjų naudingumo koeficientas yra šiek tiek žemesnis [46]. Taip yra todėl, jog monokristalinių modulių juodas paviršius, esant aukštesnei temperatūrai, įkaista labiau (dėl šviesos spindulių sugerties), o tai didžiausią įtaką daro įtampos kritimas celėse, kas lemia mažesnę modulio generaciją. Šis reiškinys yra apibūdinamas galios arba įtampos kritimo temperatūriniu koeficientu, kuris parodo, kiek galios yra prarandama pakilus temperatūrai 1°C nuo standartinių testavimo sąlygų STC (ang. *standard test conditions*). Taip pat, visiškai juoduose moduluose esantys tarpai tarp celių, yra juodos spalvos, kurie absorbuoja saulės spindulius ir taip priverčia modulio paviršių įkaisti dar labiau [47]. Lyginant tarpusavyje visiškai juodus ir polikristalinius modulius, turinčius tą patį galios kritimo temperatūrinį koeficientą, visiškai juodų modulių generacija vis tiek bus mažesnė, kadangi tamsus paviršius įkais labiau ir tai lems didesnę temperatūrą modulio paviršiuje nei polikristalinio modulio. Žemiau pateikiamas LG gamintojo tos pačios serijos, visiškai juodų ir polikristalinių modulių charakteristikų esminiai skirtumai [47].

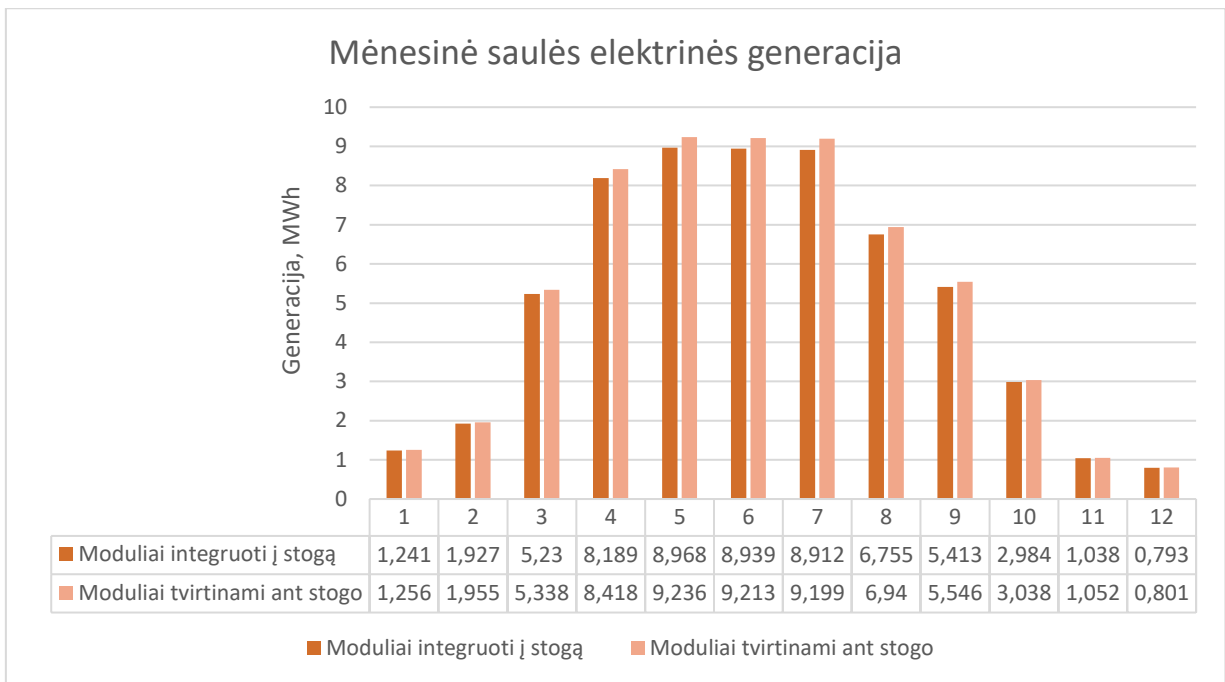
10 lentelė. LG gamintojo tos pačios serijos, visiškai juodų ir polikristalinių modulių charakteristikos

Modulis	LG N_eON₂ black	LG N_eON₂
Modulio galia, W	320W	320W
Modulio efektyvumas, %	18.7%	19.5%
Temperatūrinė charakteristika, Pmax	-0.37%/°C	-0.38%/°C

Ant pasirinktų pastatų stogų saulės elektrinę sudarys 162 vienetų 380W galios modulių, kurių bendra galia sieks 61,56 kW. Naudojantis atliktos pirminės analizės rezultatais, saulės elektrinės generacijos kiekis bus nustatinėjamas naudojantis „PVsyst” programiniu paketu - I var. atveju, kai saulės moduliai yra integruojami į stogą ir II var., kai saulės moduliai yra tvirtinami konstrukcijomis ant stogo dangos. III variantas, kai stogo danga pakeičiama naudojant čerpes su integruotais fotovoltiniais elementais, yra atmetamas ir tolimesniuose skaičiavimuose nenagrinėjamas dėl didelių įrengimo kaštų ir pačios sistemos nepopuliarumo. Pagrindinės nagrinėjamos saulės elektrinės charakteristikos, pateikiamos 11 lentelėje.

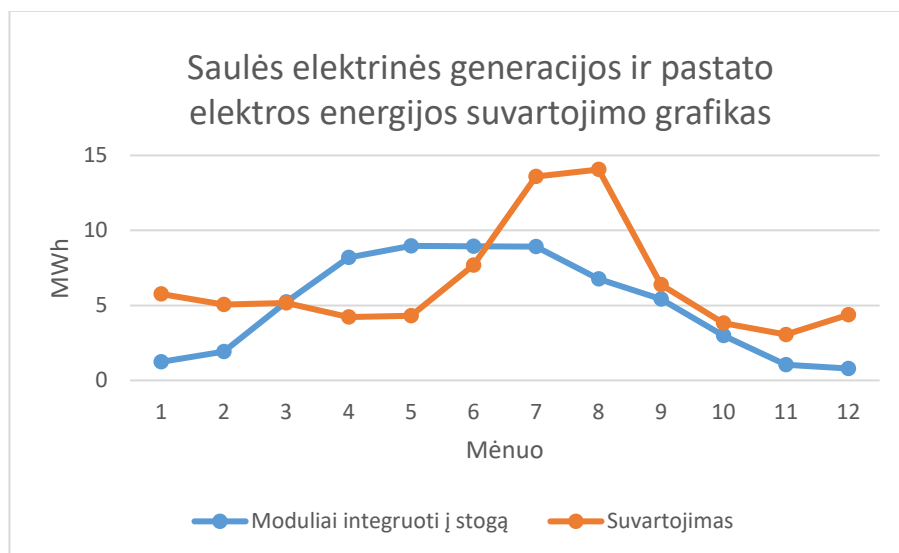
11 lentelė. 61,56 kW saulės elektrinės pagrindinės charakteristikos

Moduliai	JKM380M-6RL3-B
Modulio galia, W	380 W
Modulio dydis	1855×1029×30mm
Efektyvumas	19,91%
Lokacija	Juodkrantė
Modulių skaičius	162 vnt.
Modulių pasvirimo kampas	30°
Modulių orientacija	-2°
Inverteris	Huawei SUN2000-50KTL
Sistemos galia	61,56 kW



34 pav. Mėnesinis 61.56 kW saulės elektrinės generacijos grafikas su skirtingomis montavimo sistemomis

Atlikus abiejų sistemų saulės elektrinės generacijos modeliavimus, buvo gauta, kad didesnis elektros energijos generacijos kiekis bus didesnis, kai moduliai bus tvirtinami su konstrukcijomis ant stogo dangos. Iš viso per metus, saulės elektrinė pagamins 61 944 kWh elektros energijos, kai moduliai bus įrengiami ant stogo dangos, o integruojamos į stogą saulės elektrinės generacija sieks – 59 488 kWh. Bendras metinės elektros energijos pagaminamas kiekis skiriasi apie 4,03%. Mėnesiniai sumodeliuotų sistemų generacijos duomenys pateikiami paveikslėlyje (žr. 34 pav.).



35 pav. Saulės elektrinės generacijos ir pastato elektros energijos suvartojimo grafikas

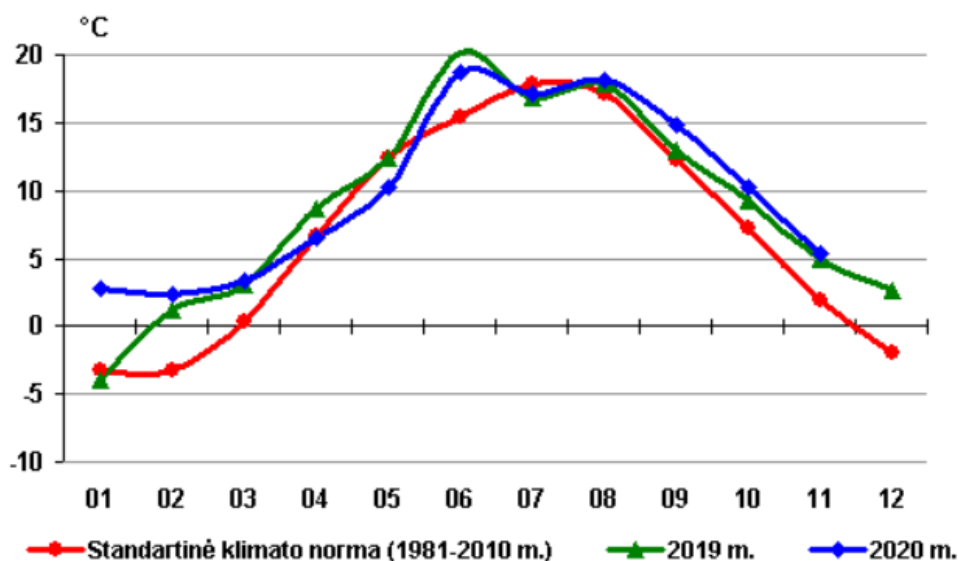
Atsižvelgiant į Kuršių Nerijos regioninio parko reikalavimus, kad saulės elektrinės konstrukcijos nebūtų iškilusios į paviršius, tolimesniems skaičiavimams naudoti pasirenkamas antrasis variantas – kai moduliai yra integruoti į stogą.

Naudojantis gautais “PVsyst” programinio paketo modeliavimo rezultatais, sudaromas saulės elektrinės metinis generacijos ir pastato elektros energijos suvartojimo grafikas (žr. 35 pav.). Per metus saulės elektrinė pagamins 59 488 kWh elektros energijos, kai pastato poreikiams suvartojama 77 475 kWh energijos. Atlikus skaičiavimus, gaunama, kad 61,56 kW saulės elektrinė sugebės padengti 76,8 % pastato elektros energijos suvartojimo poreikių.

4.2. Šilumos siurbliai

Kiekvienam pastatui yra reikalingas skirtingas energijos kiekis, kuris priklauso nuo pastato šildomo ploto, jo šildymo sistemos, būklės, atitvarų šiluminės varžos bei įrengtų elektrinių prietaisų kiekio. Bendrą pastatui reikalingą energijos kiekį sudaro – elektros energijos poreikis bei šiluminės energijos poreikis, kartu su energijos kiekiu karšto vandens ruošimui.

Vienas pagrindinių parametru, lemiančių šiluminės energijos poreikį – vietovė ir lauko oro temperatūra. Žinant vidutines mėnesių temperatūras galima apskaičiuoti preliminarias energijos sąnaudas pastato šildymui. Taip pat, įvertinti šilumos siurblio efektyvumą ir reikalingas elektros energijos sąnaudas šilumos siurblio darbui prie skirtingų aplinkos temperatūrų. Žemiau esančiame grafike (žr. 36 pav.) pateikiamos mėnesinės vidutinės oro temperatūros Lietuvoje. Vidutinė metinė oro temperatūra priklauso nuo vietovės, pajūrio zonoje ji siekia +7,5 °C, o rytų Lietuvoje – 6,5 °C [51]. Iš grafike pateiktų duomenų matyti, kad vidutinės mėnesinės oro temperatūros paskutiniais metais yra aukštesnės nei standartinės klimato normos, kas lemia mažesnes energijos sąnaudas.



36 pav. Vidutinė oro temperatūra Lietuvoje, 1981-2010, 2019 ir 2020 metais

Šildymo sistemos ir įrenginių parinkimui yra reikalinga žinoti šildymo sistemos galią, šiluminės energijos poreikį arba kuro sąnaudų kiekį. Šildymo sistemos galią, metinį šiluminės energijos poreikį bei energijos kiekį, reikalingą karšto vandens ruošimui, galima apskaičiuoti pagal STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo galia. Šilumos poreikis šildymui“ pateiktą metodiką [52]. Skaičiavimuose yra įvertinami savitieji šilumos nuostoliai, taip pat naudojamos vidutinės mėnesio oro temperatūros vertės.

Šiluminės energijos poreikį taip pat galima apskaičiuoti žinant bendrą kuro sąnaudų kiekį bei sistemos arba įrenginio naudingumo koeficientą. Jis randamas padauginus naudojamo kuro kaloringumą¹, išreikštą kWh/kg, iš kuro sąnaudų kiekio ir šildymo įrenginio naudingumo koeficiento.

4.2.1. Šilumos siurblio „oras – vanduo“ sezoninio naudingumo koeficiento skaičiavimas

Atlikus pirminę šilumos siurblių ir pastatų energijos poreikio analizę, toliau tyrimas tęsiamas nagrinėjant poilsio namų „Ažuolynas“ atvejį. Kaip buvo aptarta 2.2 skyrelyje pastato šildymui ir karšto vandens ruošimui naudojamas 158,4kW „Viadrus“ EIV N briketais kūrenamas špižinis kietojo kuro katilas. Jis naudojamas karšto vandens ruošimui ir poilsio komplekso 70 kambarių, restorano, virtuvės, vandens pramogų zonos ir pagalbinių patalpų aprūpinimui vasaros sezonu ir 11 kambarių, virtuvės karšto vandens ruošimui ir šių patalpų šildymui, palaikant +19°C laipsnių temperatūrą, žiemos sezonu. Žemiau esančioje lentelėje pateikiami pagrindiniai parametrai, reikalingi pastato energijos poreikio nustatymui. Komplekso karšto vandens suvartojimo duomenys imami iš 5-erių metų mėnesinių karšto vandens sąnaudų vidurkio grafiko (žr. 24 pav.)

12 lentelė. Pagrindiniai parametrai pastato energijos poreikio nustatymui

Bendras šildomas plotas, m²	342
Kuro (briketai) sąnaudos karšto vandens ruošimui vasaros sezonu, kg	36600
Kuro (briketai) sąnaudos karšto vandens ruošimui ir šildymui žiemos sezonu, kg	39780-57240 ²
Kuro kaloringumas, kWh/kg	4,200
Karšto vandens sąnaudos vasaros sezonu, m³	1176,3
Karšto vandens sąnaudos žiemos sezonu, m³	198,2
Kietojo kuro katilo naudingumo koeficientas, %	0,75
Patalpų viduje palaikoma temperatūra (žiemos sezonu), °C	+19

Remiantis 12 lentelėje pateiktais duomenimis gaunamas poilsio namų „Ažuolynas“ energijos poreikis šildymui, kuris lygus – 12 994 kWh . Pagal pateiktas karšto vandens sąnaudas programinio paketo „Geo T*SOL“ pagalba apskaičiuojamas reikalingas energijos kiekis karšto vandens paruošimui – 63 341 kWh.

Toliau šilumos siurblio „oras – vanduo“ sezoninio naudingumo koeficiento tyrimas atliekamas naudojantis „Geo T*SOL“ programiniu paketu, kur bus modeliuojamos sistemos su skirtingais šilumos siurbliais prie tų pačių parametrų. Pirmiausia, programoje apibrėžiamos tiriamojo objekto pagrindinės charakteristikos: pastato lokacija, pastato šildomas plotas, nustatomos į šildymo sistemą paduodamoji ir grįžtamoji temperatūra, išorės temperatūra, nustatoma pageidaujama vidaus temperatūra ir jos ribos, įvedamos šiluminės energijos sąnaudos. Toliau, nurodomos vidutinės per

¹ Kaloringumas – šilumos kiekis, išsiskiriantis, visiškai sudegus 1 kg kuro arba 1 m³ skystojo kuro [53].

² Bendras kuro sąnaudų kiekis karšto vandens ruošimui ir šildymui žiemos sezonu, priklauso nuo vidaus patalpose palaikomos temperatūros (+14 °C arba +19 °C).

dieną sunaudojamo karšto vandens sąnaudos bei jo reikalaujama temperatūra. Pasirenkamas šilumos šaltinis, šiuo atveju – oras ir pasirenkamas šilumos siurblys. Su šiomis priskirtomis charakteristikomis atliekama sistemos simuliacija. Modeliavimui naudojami parametrai pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Pagrindiniai sistemos modeliavimo parametrai

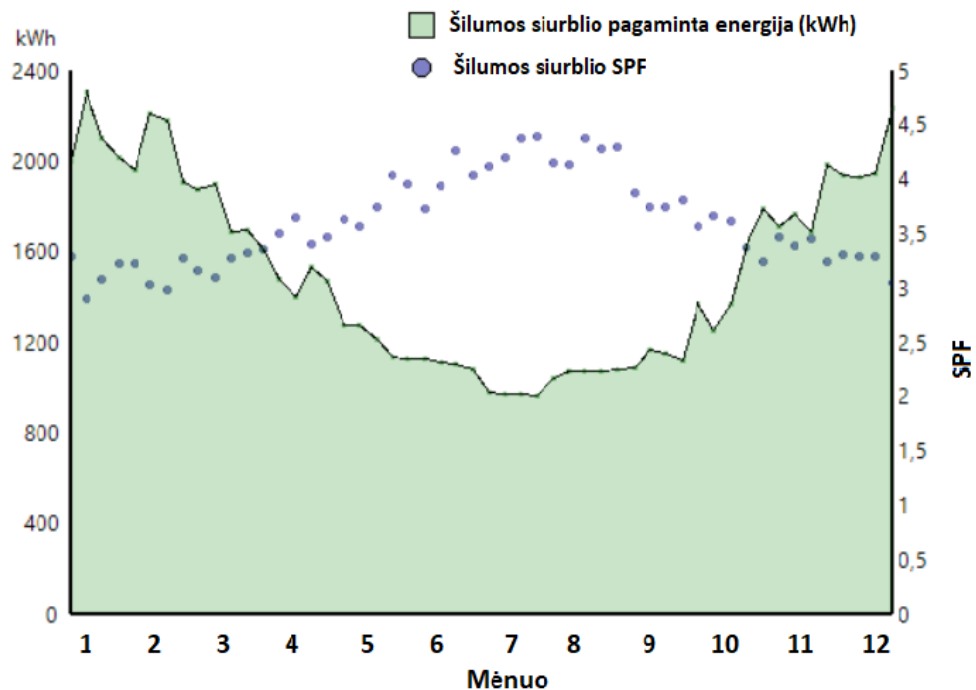
Lokacija	Juodkrantė
Bendras šildomas plotas, m²	342
Vidutinė lauko oro temperatūra (žiemos sezonu), °C	-3
Į šildymo sistemą paduodamo termofikato temperatūra, °C	35
Į šildymo sistemą grįžtančio termofikato temperatūra, °C	28
Vidutinės karšto vandens sąnaudos per dieną, l	1176,3
Karšto vandens temperatūra, °C	+50
Patalpų viduje palaikoma temperatūra (žiemos sezonu), °C	+19
Šilumos siurblio šilumos šaltinis	Oras
Šilumos siurblio tipas	Oras -Vanduo
Šilumos siurblio modelis	EcoTouch Air Kaskade 5060.5
Šilumos siurblio galia, kW	53,6
Šilumos siurblio COP	4,5

Atlikus simuliaciją su 13 lentelėje pateiktais parametrais buvo gauta, kad EcoTouch Air Kaskade 5060.5 šilumos siurblys per metus sugebės pagaminti 78 375 kWh energijos (žr. 37 pav). 19% (14 522 kWh) pagaminamos energijos bus panaudojama pastato šildymui žiemos sezonu, ir 81% (63 614 kWh) energijos karšto vandens ruošimui. Šilumos siurblys per metus suvartos 22 677 kWh elektros energijos, o jo sezoninis naudingumo koeficientas 3,46. Pilna modeliavimo ataskaita pateikiama 8 priede.

Toliau, modeliavimas atliekamas, pasirenkant kito gamintojo, panašios galios šilumos siurblius ir palyginamas šilumos siurblio SPF koeficiento, šilumos siurblio elektros energijos suvartojimo, pagaminamos energijos kiekio rezultatai, prie tų pačių sąlygų kaip pirmajame variante. Pagrindinės pasirinkto antrojo šilumos siurblio charakteristikos pateikiamos žemiau esančioje lentelėje.

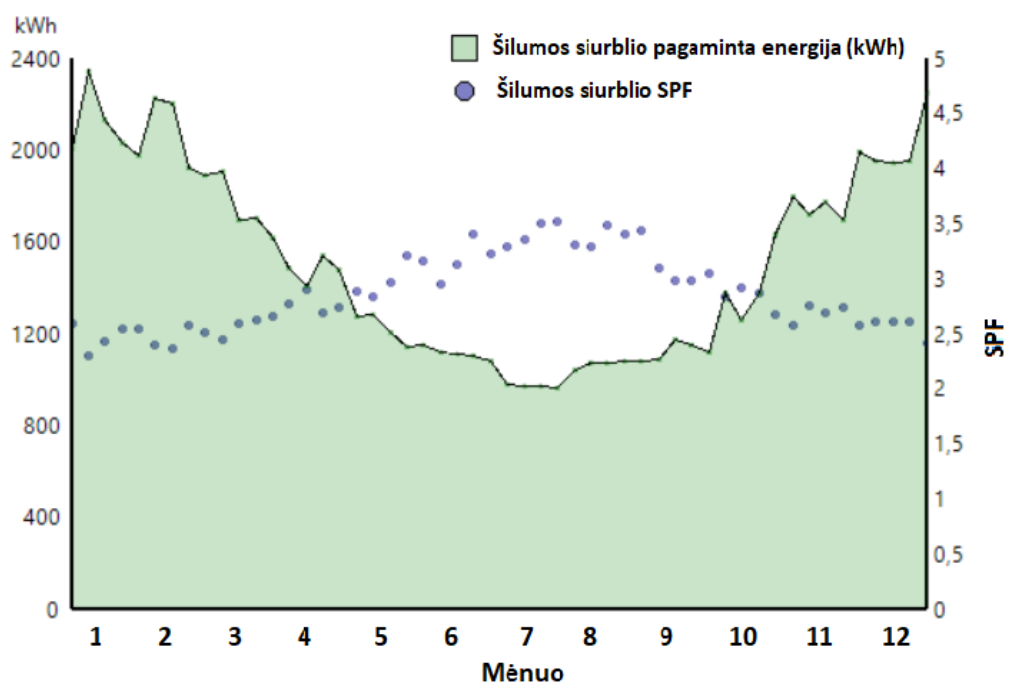
14 lentelė. II varianto šilumos siurblio charakteristikos

Šilumos siurblio šilumos šaltinis	Oras
Šilumos siurblio tipas	Oras -Vanduo
Šilumos siurblio modelis	Maxa – Advantix S.p.A i-HP 0270
Šilumos siurblio galia, kW	59,6
Šilumos siurblio COP	3,6



37 pav. Šilumos siurblio EcoTouch Air Kaskade 5060.5 mėnesinė generacija ir SPF koeficiento kitimas

Atlikus antrą simuliaciją su Maxa – Advantix S.p.A i-HP 0270 šilumos siurbliu, buvo gauta, kad šis šilumos siurblys per metus pagamins 78 810 kWh energijos, kur 14 548 kWh bus panaudojama pastato šildymui žiemos sezonu ir 64 023 kWh karšto vandens ruošimui. Šilumos siurblio elektros energijos suvartojimas – 28 769 kWh, sezoninis naudingumo koeficientas siekia tik 2,74. Mėnesinis pagaminamos energijos ir šilumos siurblio SPF priklausomybės grafikas pateikiamas apačioje (žr. 38 pav.), daugiau simuliacijos rezultatų pateikiama ataskaitoje 9 priede.



38 pav. Šilumos siurblio Advantix S.p.A i-HP 0270 mėnesinė generacija ir SPF koeficiento kitimas

Apibendrinti abiejų šilumos siurblių modeliavimo rezultatai pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Šilumos siurblių modeliavimo rezultatai

Šilumos siurblys	EcoTouch Air Kaskade 5060.5 (I var.)	Maxa – Advantix S.p.A i- HP 0270 (II var.)
Pagaminama energija, kWh	78 375	78 810
Šildymui suvartojama energija, kWh	14 522	14 548
Karšto vandens ruošimui suvartojama energija, kWh	63 614	64 023
Elektros energijos suvartojimas, kWh	22 677	28 769
Šilumos siurblio SPF	3,46	2,74

Iš gautų modeliavimo rezultatų matyti, kad beveik tam pačiam energijos kiekiui pagaminti, elektros energijos suvartojama 21% daugiau antrojo varianto atveju. Tai lemia šilumos siurblio transformacijos koeficientas COP, kuris parodo pagaminamos šilumos kiekio santykį su sunaudota elektros energija, t.y kiek kartų daugiau šilumos pagaminama, sunaudojus vieną kilovatvalandę. Antrojo varianto šilumos siurblio COP lygus 3,6, kai pirmojo varianto - 4,5, atitinkamai gaunamas ir mažesnis sezoninis naudingumo koeficientas SPF – 2,74.

5. Saulės elektrinės ekonominis vertinimas

5.1. Europos Sąjungos paramos fiziniams ir juridiniams asmenims

Skatinant elektros energijos gamybą iš atsinaujinančių energijos šaltinių Europos sąjunga ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūra (toliau APVA) šiuo metu yra paskelbusi konkursą, teikti paraiškas finansavimui gauti pagal „Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos mažos galios elektrinėse“ projektą [55].

Paraiškas gali teikti: atsinaujinančių išteklių bendrijos, labai mažos, mažos ir vidutinės įmonės, išskyrus pramonės įmones bei ūkininkai [56]. Paramos teikiama įsirengiant iki 500 kW saulės elektrinę. Iš viso projektui skirta 6 726 300 € finansavimas, kur maksimalus paramos dydis saulės elektrinės įrengimui - 369,00 €/kW be PVM [55]. Gavus finansavimą saulės elektrinės įrengimo projektas turi būti įgyvendintas per 18 mėnesių nuo sutarties pasirašymo.

5.2. 61,56 kW saulės elektrinės ekonominiai skaičiavimai

Prie esamų poilsio namų „Ažuolynas“ elektros energijos sąnaudų pridėjus papildomą elektros energijos kiekį, kurį per metus suvartoja ir „oras-vanduo“ šilumos siurblys, gaunama, kad iš viso per metus bus suvartojama 100 152 kWh elektros energijos, o šiuo atveju 61,56 kW saulės elektrinė sugebės padengti 59,4 % pastato elektros energijos suvartojimo poreikių.

Kuomet saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis yra momentiška nesuvaldomas, tuomet dažniausiai yra įrengiami dvipusės apskaitos skaitikliai, kurie nuskaito duomenis, kiek pagaminamos elektros energijos yra suvartojama momentiška, o kiek atiduodama į elektros tinklą ir kiek elektros energijos suvartojama iš elektros tinklo. Šiuo metu Lietuvoje gaminantys vartotojai gali pasirinkti vieną iš mokėjimo tarifų, kuris bus taikomas už „pasaugojimą“ elektros energijos tinkle. Remiantis saulės elektrinės generacijos ir pastato elektros energijos suvartojimo grafiku (žr. 33 pav.), kad beveik didžioji dalis elektros energijos suvartojama momentiška, todėl daroma prielaida, kad 80% elektros energijos suvartojama momentiška, o tik 20% bus atiduodama „pasaugoti“ į elektros skirstomąjį tinklą, kuri bus apmokestinama. 16 lentelėje pateikiama ekonominiams skaičiavimams naudojami saulės elektrinės parametrai.

16 lentelė. Ekonominiams skaičiavimams naudojami saulės elektrinės parametrai

Saulės elektrinės galia, kW	61,56
Pastato įvado galia, kW	100
Saulės elektrinės pagaminama elektros enegija, kWh	59 488
Iš karto sunaudojama (neapmokestinama) 80%, kWh	47 590,4
Iš karto sunaudojama (apmokestinama) 20%, kWh	11 897,6

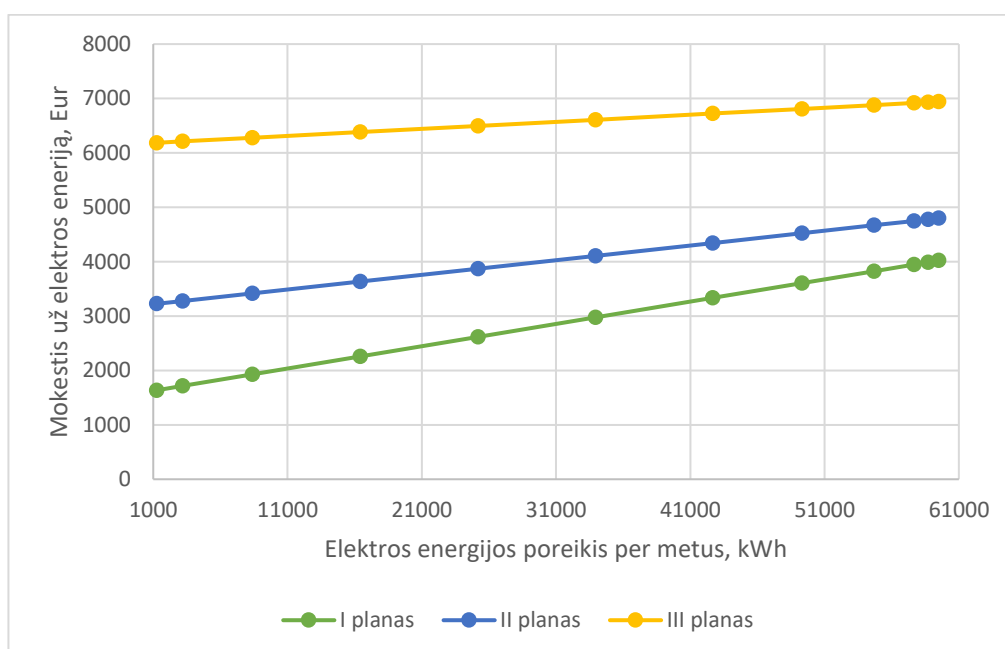
Žinodami perkamos iš tinklo elektros energijos tarifą ir „pasaugojimo“ tinkle tarifus, galima apskaičiuoti sumodeliuotos saulės elektrinės ekonominiu požiūriu geriausią variantą. Kadangi saulės elektrinės atsiperkamumas, tiesiogiai priklauso nuo elektros energijos kainos, todėl pirmiausia, apskaičiuojama, kokie būtų elektros energijos kaštai, jei visa elektros energija būtų imama iš tinklo. Verslo vartotojas, gali pats pasirinkti vieną iš trijų (vienos laiko zonos) planą jis mokės už suvartotą elektros energiją [54], todėl apskaičiuojama, kuris planas būtų ekonomiškai palankiausias verslo vartotojui. Skaičiavimo rezultatai pateikiami žemiau esančioje lentelėje ir grafike (žr. 39 pav.). Dėl

duomenų trūkumo priimama, kad pastato įvado galia yra 100 kW. Elektros energijos poreikis priimamas pirmų metų saulės elektrinės generacijos kiekis.

17 lentelė. Palankiausio mokėjimo už elektros energiją skaičiavimo rezultatai [54]

Elektros energijos poreikis per metus, kWh	Suma, kuri sumokama per metus, už elektros energiją pasirinkus vieną ir vienos laiko zonos planų:					
	I planas	0,041 €/kWh	II planas	0,027 €/kWh	III planas	0,013 €/kWh
		1,32 €/kW/mėn		2,66 €/kW/mėn		5,14 €/kW/mėn
59 488	4 023 €		4 798,18 €		6 941,34 €	

Atlikus skaičiavimus, buvo gauta, kad ekonomiškai palankiausias yra I planas, kur už suvartotą elektros energiją būtų sumokama 4 023 € per metus. Toliau saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimuose bus naudojama ši vertė.



39 pav. Skirtingų mokėjimo planų už elektros energiją metinis mokestis pagal elektros energijos poreikį

61,56 kW saulės elektrinės su visiškai juodais moduliais ir integruojamomis į stogą konstrukcijomis, įrengimo kaštai 913 €/kW, bendra suma - 56 204,28 €. Remiantis atliktos pirminės analizės rezultatais, 3.3.2 skyrelyje, saulės elektrinės sistemos kaina išauga dėl konstrukcijos sudėtingumo (kadangi moduliai montuojami į stogą) ir tyrimo objektui pageidaujamų visiškai juodų modulių. Įvertinus, kad suprojektuota saulės elektrinė gaus maksimalų finansavimo paramos dydį - 22 715,64€, gaunama, kad bendri saulės elektrinės įrengimo kaštai sumažėja iki 33 488,64 €.

Atliekant saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimus, būtina įvertinti ir saulės modulių metinį nusidėvėjimą, t.y koks pagaminamos elektros energijos kiekis kiekvienais metais vis prarandamas. Trūkstant elektros energijos dalis, sudarys papildomus kaštus, kadangi elektros energijos poreikiui padengti elektra bus imama iš tinklo ir bus apmokestinama standartiniu 0,072 €/kWh tarifu.

Dažniausiai, gamintojas saulės moduliams suteikia 25 metų tarnavimo laiką. „Pvsyt“ programinio paketo pagalba bus nustatomas kiekvienų metų elektros energijos gamyba.

18 lentelė. Mokėjimo planų už susigrąžintą elektros energiją iš tinko tarifai [54]

Nr.	Mokėjimo planas	Matavimo vienetai	Kaina
1	Mokama už patiektos į tinklą ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh)	€/kWh	0,054
2	Mokama už įrengtą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW)	€/kW/mėn	3,19
3	Mokama už patiektos į elektros tinklus ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh) ir už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW)	€/kWh	0,027
		€/kW/mėn	1,6

Taip pat, reikalinga įvertinti ir mokėjimo planus už susigrąžintą elektros energiją iš skirstomojo elektros tinklo, kadangi vartotojas kiekvienais metais turi galimybę pakeisti mokėjimo planą. Todėl žvelgiant į ilgalaikę perspektyvą, kiekvienais metais pasirenkant vis kitą planą, galima pasiekti ekonomiškai patrauklesnį variantą. Mokėjimo planų už susigrąžintą elektros energiją iš tinko tarifai pateikiami 18 lentelėje. Detalūs saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimų rezultatai pateikiami 19 lentelėje.

Geltonai lentelėje pažymėtas stulpelis indikuoja, ekonomiškai naudingiausią mokėjimo planą, kiekvienais metais už susigrąžintą elektros energiją iš skirstomojo elektros tinklo. Raudonas langelis žymi saulės elektrinės įrengimui reikalingus pradinius kaštus, O žalias langelis – kuriais metais saulės elektrinė atsiperks.

Atlikus saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimus buvo gauta, kad įsirengus 61,56 kW saulės elektrinę iš viso butų sutaupyta 85 622,43 € per visą jos gyvavimo laikotarpį. Įvertinus valstybės ir Europos sąjungos teikiamą paramą, sumodeliuota saulės elektrinės sistema atsiperks per 10 metų.

19 lentelė. 61,56 kW saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimai

Metai	Elektros energijos poreikis iš saulės elektrinės per metus, kWh	Generacija per metus, po n metų, kWh	Trūkstamos elektros energijos kiekis per metus, kWh	Mokestis už elektros energijos trūkumą (0,072 €/kWh), €	Geriausio mokėjimo plano pagal esamą situaciją už susigražintą elektros energiją parinkimas, €			Atsiperkamumo skaičiavimai				
					0,054 €/kWh	0 €/kWh	0,027 €/kWh	Metinis mokestis, gaminant elektrą saulės elektrinėje ir perkant trūkstamą jos dalį iš ESO, €	Metinis mokestis, perkant visą elektros energiją iš ESO, €	Sutaupymas, €	Pinigų balansas, €	
					0 €/kWh	3,19 €/kW/mėn	1,6 €/kW/mėn					
0	59488	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-33488,64	
1	59488	59488	0	0	642,4704	2356,5168	340,4352	340,4352	4023	3682,5648	-29806,08	
2	59488	59230	258	18,576	639,684	2356,5168	339,042	357,618	4023	3665,382	-26140,69	
3	59488	58970	518	37,296	636,876	2356,5168	337,638	374,934	4023	3648,066	-22492,63	
4	59488	58700	788	56,736	633,96	2356,5168	336,18	392,916	4023	3630,084	-18862,54	
5	59488	58410	1078	77,616	630,828	2356,5168	334,614	412,23	4023	3610,77	-15251,77	
6	59488	58120	1368	98,496	627,696	2356,5168	333,048	431,544	4023	3591,456	-11660,32	
7	59488	57820	1668	120,096	624,456	2356,5168	331,428	451,524	4023	3571,476	-8088,841	
8	59488	57810	1678	120,816	624,348	2356,5168	331,374	452,19	4023	3570,81	-4518,031	
9	59488	57190	2298	165,456	617,652	2356,5168	328,026	493,482	4023	3529,518	-988,5132	
10	59488	56850	2638	189,936	613,98	2356,5168	326,19	516,126	4023	3506,874	2518,361	
11	59488	56490	2998	215,856	610,092	2356,5168	324,246	540,102	4023	3482,898	6001,259	
12	59488	56110	3378	243,216	605,988	2356,5168	322,194	565,41	4023	3457,59	9458,849	
13	59488	55710	3778	272,016	601,668	2356,5168	320,034	592,05	4023	3430,95	12889,8	
14	59488	55320	4168	300,096	597,456	2356,5168	317,928	618,024	4023	3404,976	16294,77	
15	59488	54920	4568	328,896	593,136	2356,5168	315,768	644,664	4023	3378,336	19673,11	
16	59488	54550	4938	355,536	589,14	2356,5168	313,77	669,306	4023	3353,694	23026,8	
17	59488	54190	5298	381,456	585,252	2356,5168	311,826	693,282	4023	3329,718	26356,52	
18	59488	53830	5658	407,376	581,364	2356,5168	309,882	717,258	4023	3305,742	29662,26	
19	59488	53480	6008	432,576	577,584	2356,5168	307,992	740,568	4023	3282,432	32944,7	
20	59488	53130	6358	457,776	573,804	2356,5168	306,102	763,878	4023	3259,122	36203,82	
21	59488	52770	6718	483,696	569,916	2356,5168	304,158	787,854	4023	3235,146	39438,96	
22	59488	52410	7078	509,616	566,028	2356,5168	302,214	811,83	4023	3211,17	42650,13	
23	59488	52050	7438	535,536	562,14	2356,5168	300,27	835,806	4023	3187,194	45837,33	
24	59488	51660	7828	563,616	557,928	2356,5168	298,164	861,78	4023	3161,22	48998,55	
25	59488	51270	8218	591,696	553,716	2356,5168	296,058	887,754	4023	3135,246	52133,79	
								Viso:	14952,5652	4023	85622,4348	

Išvados

1. Tiek Lietuvoje, tiek visame pasaulyje yra didelis potencialas ir galimybės plėsti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą. Per 2019 metus iš viso buvo instaliuota daugiau nei 200 GW galios iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Skaičiuojama, kad visame pasaulyje 2019 metų pabaigoje bendra AEEŠ galia siekė 2 588GW. Taip pat, žvelgiant aplinkosauginiu aspektu, atsinaujinančių energijos sistemų įrengimas, sumažina iškastinio kuro sąnaudas elektros ir šiluminės energijos poreikio tenkinimui ir taip yra prisidedama prie CO₂ emisijų mažinimo.
2. Atlikus monokristalinių ir polikristalinių modulių tarpusavio palyginimą 61,56 kW saulės elektrinės pagaminamos energijos kiekiui, buvo gauta, jog monokristalinių modulių sugeneruojama energija yra 0,4 % didesnė, nei polikristalinių modulių analizuojamai saulės elektrinei.
3. Bendrosios, sumodeliuotos 61,56 kW saulės elektrinės sistemos, išmetamos į aplinką emisijos – 128 880 kg. ekv. CO₂, o per visą saulės elektrinės 25 metų gyvavimo laikotarpį, bendros sutaupytos emisijos – 150 137 kg. ekv. CO₂. Saulės elektrinės sistema pasieks balansą tarp išmetamų ir sutaupytų emisijų vidutiniškai po 10,5 metų, kai tuo tarpu Ispanijos vietovėje jis būtų pasiekiamas po 4 metų.
4. Atlikus skaičiavimus, buvo nustatyta, kad elektros energijos generacijos kiekis bus didesnis, kai moduliai bus tvirtinami su konstrukcijomis ant stogo dangos. Iš viso per metus, saulės elektrinė pagamins 61 992 kWh elektros energijos, kai moduliai bus įrengiami ant stogo dangos, o integruojamos į stogą saulės elektrinės generacija sieks – 59 488 kWh. Bendras metinės elektros energijos pagaminamas kiekis skiriasi apie 4,03%.
5. Apibendrinant šilumos siurblio sezoninio naudingumo koeficiento skaičiavimų rezultatus buvo gauta, kad pirmojo varianto 53,6 kW EcoTouch Air Kaskade 5060.5 šilumos siurblio sezoninis naudingumo koeficientas 3,46, o antrojo varianto 59,6 kW Maxa – Advantix S.p.A i-HP 0270 šilumos siurblio – 2,74. Remiantis modeliavimo rezultatais, nustatyta, kad tam pačiam energijos kiekiui pagaminti, elektros energijos suvartojama 21% daugiau antrojo varianto atveju.
6. Atlikus saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimus buvo gauta, kad įsirengus 61,56 kW saulės elektrinę iš viso būtų sutaupyta 85 622,43 € per visą jos gyvavimo laikotarpį. Įvertinus valstybės ir Europos sąjungos teikiamą paramą, sumodeliuota saulės elektrinės sistema atsiperks vidutiniškai per 10 metų.

Literatūros sąrašas

1. D'AGOSTINO, D., CUNIBERTI, B. and BERTOLDI, P. Data on European Non-Residential Buildings. *Data in Brief* [interaktyvus], Oct, 2017, vol. 14, no. C. pp. 759-762. ISSN 2352-3409. Prieiga per: doi: 10.1016/j.dib.2017.08.043.
2. MIKUČIONIENĖ, R. and ŽĖKAS, V. Energijos Šaltinių Parinkimo Įtaka Pastato Energiniam Naudingumui / Impact of Energy Sources Selection for Energy Performance of Building. *Science Future of Lithuania* [interaktyvus], Jul 05, 2018, vol. 10. pp. 1-6. ISSN 2029-2341. Prieiga per: doi:10.3846/mla.2018.3248.
3. 2018/844. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva kuria iš dalies keičiama Direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo ir Direktyva 2012/27/ES dėl energijos vartojimo efektyvumo. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*, 153/13.
4. 2010/31/ES. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl pastatų energinio naudingumo. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*, 156/75.
5. 2010/31/ES. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl energijos vartojimo efektyvumo. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*, 315/1.
6. EUROPOS KOMISIJA. KOMISIJOS KOMUNIKATAS EUROPOS PARLAMENTUI, TARYBAI, EUROPOS EKONOMIKOS IR SOCIALINIŲ REIKALŲ KOMITETUI IR REGIONŲ KOMITETUI, *Energetikos veiksmų planas iki 2050 m.* (2011) Briuselis, KOM(2011) 885 galutinis.
7. MILAN, C., BOJESEN, C. and NIELSEN, M.P. A Cost Optimization Model for 100% Renewable Residential Energy Supply Systems. *Energy (Oxford)* [interaktyvus], Dec, 2012, vol. 48, no. 1. pp. 118-127. ISSN 0360-5442. Prieiga per: doi: 10.1016/j.energy.2012.05.034.
8. LU, Y., WANG, S. and SHAN, K. Design Optimization and Optimal Control of Grid-Connected and Standalone nearly/Net Zero Energy Buildings. *Applied Energy* [interaktyvus], Oct, 2015, vol. 155. pp. 463-477. ISSN 0306-2619. Prieiga per: doi: 10.1016/j.apenergy.2015.06.007.
9. STR 2.01.02:2016. Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas. Vilnius.
10. MIKUČIONIENĖ, R. Rodiklių Svorio Svarba BREEAM Ir 3E Pastatų Darnumo Vertinimo Sistemose / Importance of Criteria Weights in BREEAM in-use and 3E Building Sustainability Evaluation Systems. *Science Future of Lithuania* [interaktyvus], Oct 10, 2019, vol. 11. pp. 1-4. ISSN 2029-2252. Prieiga per: doi:10.3846/mla.2019.10580.
11. SHARAFI, M., ELMEKKAWY, T.Y. and BIBEAU, E.L. Optimal Design of Hybrid Renewable Energy Systems in Buildings with Low to High Renewable Energy Ratio. *Renewable Energy* [interaktyvus], Nov, 2015, vol. 83. pp. 1026-1042. ISSN 0960-1481. Prieiga per: doi:10.1016/j.renene.2015.05.022.
12. VALANCIUS, R., et al. *Solar Thermal Systems VS. Photovoltaic Systems. Case Study: Single Family Building in Lithuania.* International Solar Energy Society, 2018. Prieiga per: doi: 10.18086/eurosun2018.01.11.

13. XIAO, B., et al. Comparison and Analysis on Air-to-Air and Air-to-Water Heat Pump Heating Systems. *Renewable Energy* [interaktyvus], Feb, 2020, vol. 146. pp. 1888-1896. ISSN 0960-1481. Prieiga per: doi: 10.1016/j.renene.2019.08.033.
14. VALANCIUS, R., CERNECKIENE, J. and SINGH, R.M. *Review of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems Installations in Lithuanian Hospitals*. International Solar Energy Society, 2018. Prieiga per: doi:10.18086/eurosun2018.01.06.
15. ŠIUPŠINSKAS, G. and ADOMĖNAITĖ, S. Multi-Criteria Analysis of Alternative Energy Supply Solutions to Public nearly Zero Energy Buildings / Beveik Nulinio Energijos Balanso Visuomeninių Pastatų Aprūpinimo Energija Sprendimai, Daugiakriterė Analizė. *Science Future of Lithuania* [interaktyvus], Nov 25, 2013, vol. 5, no. 4. pp. 435-441. ISSN 2029-2341. Prieiga per: doi: 10.3846/mla.2013.68.
16. STASIULIENE, L., et al. Analysis of the Criteria for Selecting Heating Systems for Residential Buildings in Cold Climate. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* [interaktyvus], 2018, vol. 23, no. 2. pp. 69-78. ISSN 2029-9990. Prieiga per: doi: 10.5755/j01.sace.23.2.21359.
17. REZAIE, B., ESMAILZADEH, E. and DINCER, I. Renewable Energy Options for Buildings: Case Studies. *Energy and Buildings* [interaktyvus], 2011, vol. 43, no. 1. pp. 56-65. ISSN 0378-7788. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enbuild.2010.08.013.
18. HEGEDUS, S.S. and LUQUE, A. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, Apr 25, 2003 *Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics*, pp. 1-43. ISBN 9780471491965. Prieiga per: doi: 10.1002/0470014008.ch1.
19. Energy Market Authority and Building and Construction Authority, *Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems*. Singapore, 2009 ISBN: 978-981-08-4462-2
20. MASSON G., I. KAIZUKA. *IEA PVPS Trends 2019 in photovoltaic applications*. 2019. ISBN 978-3-906042-91-6.
21. TWIDELL John and Tony WEIR. *Renewable Energy Resources-Third edition*. Abingdon: by Routledge, 2015. ISBN: 978-1-315-76641-6.
22. SINGH, A., et al. Solar Photovoltaic Systems in the Built Environment: Today Trends and Future Challenges. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* [interaktyvus], 2018, vol. 23, no. 2. pp. 25-38. ISSN 2029-9990. Prieiga per: doi: 10.5755/j01.sace.23.2.21268.
23. SOLITEK, *Your solar journey starts here. The Northern-European Solar Energy Leader*. [interaktyvus], [žiūrėta 2020-05-29] Prieiga per internetą: https://www.solitek.eu/storage/app/media/atsisiuntimai/SoliTek_Glass_Glass_brochure.pdf
24. PETRAUKAS, Gytis ir Vytautas ADMOMAVIČIUS. *Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti*. Lietuva: Kauno technologijos universitetas, 2012. ISBN: 978-609-02-0752-9.

25. ESO , *Gaminančių vartotojų atsiskaitymo būdai* .[interaktyvus] [žiūrėta: 2020-05-29] Prieiga per internetą: https://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/tarifai-kainos-atsiskaitymai-ir-skolos/gaminanciu-vartotoju-kainos-verslas.html
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJOS APLINKOS PROJEKTŲ VALDYMO AGENTŪRA, *Saulės elektrinių įsirengimui*. [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-05-13]. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/norite-isirengti-saules-elektrine/>
27. GAIGALIS, V., SKEMA, R., MARCINAUSKAS, K. and KORSAKIENE, I. A Review on Heat Pumps Implementation in Lithuania in Compliance with the National Energy Strategy and EU Policy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus], Jan, 2016, vol. 53. pp. 841-858. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2015.09.029.
28. UAB “AF - TERMA”, “Požeminės šiluminės energijos panaudojimas pastatų šildymui ir vėsinimui šalyje galimybių įvertinimas ir rekomendacijų dėl šios energijos panaudojimo minėtiems tikslams parengimas. [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-05-13]. Prieiga per internetą: <https://remontogidas.lt/images/sildymas-kondicionavimas/Pozemines%20silumines%20energijos%20panaudojimas%20pastato%20sildymui%20ir%20vesinimui.%20www.remontogidas.lt.pdf>
29. THE ENGINEERING TOOLBOX, *Heat Pumps - Performance and Efficiency Ratings*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-13] Prieiga per internetą: https://www.engineeringtoolbox.com/heat-pump-efficiency-ratings-d_1117.html
30. PAKALKA, S. Šilumos Siurblio Darbo Režimų Analizė. *Pastatų inžinerinės sistemos/ Engineering systems for building* [interaktyvus]. VGTU Technika, -04, 2017. Prieiga per: doi: 10.3846/pinzs.2017.09.
31. VALANCIUS, R., SINGH, R.M., JURELIONIS, A. and VAICIUNAS, J. A Review of Heat Pump Systems and Applications in Cold Climates: Evidence from Lithuania. *Energies (Basel)* [interaktyvus], Nov 13, 2019, vol. 12, no. 22. pp. 4331. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi: 10.3390/en12224331.
32. SARBU, I.IntechOpen, Jan 01, 2016 *Using Ground-Source Heat Pump Systems for Heating/Cooling of Buildings* [interaktyvus]. ISBN 953512241X. Prieiga per: doi: 10.5772/61372.
33. MORKVĖNAS, T. *Šilumos siurblių "gruntas-vanduo" ir "oras-vanduo" analizė ir parinkimas: Magistro darbas*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2017. Prieiga per: eLABa – nacionalinė Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka.
34. CLEAN ENERGY REVIEWS, *Best Solar Battery Systems* [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-05-21]. Prieiga per internetą: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-solar-battery-systems>
35. NOWAK T., Heat Pump city of the year: Vienna, and other examples. *HRE4 meeting*, 2018.
36. ARAFA, M.I.A. and A. SAID, E.S. A Different Visions for Uninterruptible Load using Hybrid Solar-Grid Energy. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, Mar 01, 2019, vol. 10, no. 1. pp. 381. ISSN 2088-8694. Prieiga per: doi: 10.11591/ijpeds.v10.i1.pp381-38

37. PHOTOVOLTAIC SOFTWARE, *A full package for the study of your photovoltaic systems* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-30]. Prieiga per internetą: <https://www.pvsyst.com/>
38. GEO T*SOL, *The calculation and simulation software for heat pump systems* [interaktyvus] [žiūrėta:2020-12-06]. Prieiga per internetą: <https://valentin-software.com/en/products/geotsol/>
39. REN21. 2019. Renewables 2019 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818911-7-1
40. NOWAK Thomas, Heat Pumps, *Integrating technologies to decarbonise heating and cooling* [interaktyvus], European Copper Institute ,2018 [žiūrėta:2020-10-06]. Prieiga per internetą: https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03_Media/Publications/ehpa-white-paper-111018.pdf
41. REN21. 2020. Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-00-7
42. ARAFA, M.I.A. and A. SAID, E.S. A Different Visions for Uninterruptible Load using Hybrid Solar-Grid Energy. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)* [interaktyvus], Mar 01, 2019, vol. 10, no. 1. pp. 381.ISSN 2088-8694. Prieiga per: doi: 10.11591/ijpeds.v10.i1.pp381-387.
43. SOLAR MAGAZINE, *Solar Shingles: Make Your Roof Solar-Powered (5 Brands)* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-29] Prieiga per internetą: <https://solarmagazine.com/solar-roofs/solar-shingles/#Material-2>
44. GREENUP, *Produktų sąrašas.* [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-05-29]. Prieiga per internetą: <https://greenup.lt/produktas/i-stoga-integruota-saules-elektrine-10kw/>
45. SOLAR EDITION, *Top 10 PV Module Manufacturers during First Half of 2020, Shipment Scale* [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-10-25] Prieiga: per internetą: <https://solaredition.com/top-10-pv-module-manufacturers-during-first-half-of-2020-shipment-scale/>
46. CLEAN ENERGY REVIEW, *Most Efficient Solar Panels 2020*, [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-10-26] Prieiga: per internetą: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
47. SOLAR PANELS, *Black Solar Panels: Is Lower Efficiency Worth The Sexy?* [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-10-26] Prieiga: per internetą :<https://www.solarquotes.com.au/blog/black-solar-panels-efficiency/>
48. DEFINING LIFE CYCLE ASSESSMENT, [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-11-26]. Prieiga per internetą: <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>
49. VATTENFALL, *Life Cycle Assessment for Vattenfall's electricity generation*, [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-11-26] Prieiga per internetą: <https://group.vattenfall.com/de/siteassets/de/verantwortung/klima--umwelt/nachhaltigkeit/life-cycle-assessment---2019--lca.pdf>
50. PHOTOVOLTAIC SOFTWARE, Carbon Balance Tool.[interaktyvus] [žiūrėta: 2020-11-30]. Prieiga per internetą: http://files.pvsyst.com/help/index.html?carbon_balance_tool.htm

51. LIETUVOS HIDROMETEROLOGIJOS TARNYBA. Klimatas. *Oro temperatūra*. [interaktyvus]. [žiūrėta: 2020-12-06]. Prieiga per internetą: <http://www.meteo.lt/lt/oro-temperatura>
52. STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo galia. Šilumos poreikis šildymui“
53. ŠVENČIANAS Petras. *Kuro degimo teorijos pagrindai: vadovėlis*. Kaunas. Technologija, 2003. ISBN 9955-09-547-4
54. Energijos skirstymo operatorius. *Visuomeninės elektros energijos kainos ir tarifų planai*. [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-12-06]. Prieiga per internetą: <https://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/persiuntimo-paslaugos-kainos-2021.html>
55. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJOS APLINKOS PROJEKTŲ VALDYMO AGENTŪRA, *Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamyba mažos galios elektrinėse*. [interaktyvus] [žiūrėta: 2020-12-21]. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/parama-fiziniam-asmenims/>
56. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Įsakymas dėl elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos mažos galios elektrinėse projektų atrankos organizavimo tvarkos aprašo* [interaktyvus]. Nov 06, 2020 [žiūrėta: 2020-12-21]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/0159d8e0207511eb9604df942ee8e443?jfwid=uhh8shhq>

Priedai

1 priedas. „CanadianSolar“ Hiku CS3W-440MS modulių specifikacija



HiKu

HIGH POWER MONO PERC MODULE

435 W ~ 460 W

CS3W-435 | 440 | 445 | 450 | 455 | 460MS

MORE POWER



26 % more power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax):
-0.35 % / °C



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



Lower internal current,
lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*

* For detailed information, please refer to Installation Manual.



Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*



Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%

Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / MCS / INMETRO
FSEC (US Florida) / UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68
UN19177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way

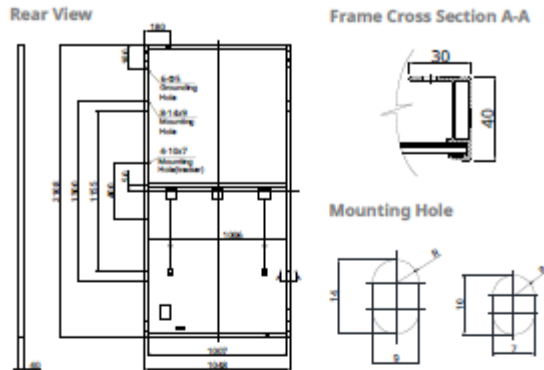


* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

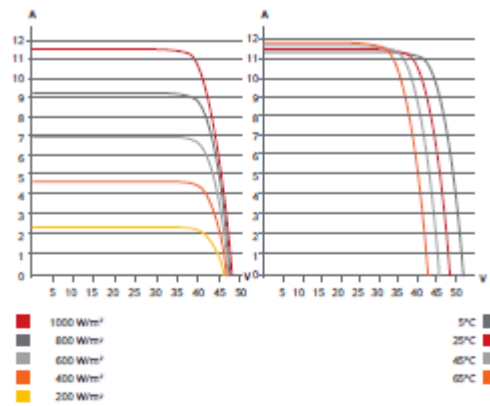
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 46 GW deployed around the world since 2001.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-435MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS	460MS
Nominal Max. Power (Pmax)	435 W	440 W	445 W	450 W	455 W	460 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.5 V	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.75 A	10.82 A	10.89 A	10.96 A	11.02 A	11.09 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.5 V	48.7 V	48.9 V	49.1 V	49.3 V	49.5 V
Short Circuit Current (Isc)	11.42 A	11.48 A	11.54 A	11.60 A	11.66 A	11.72 A
Module Efficiency	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%	20.6%	20.8%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of Irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS	460MS
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	328 W	332 W	336 W	339 W	343 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.8 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.59 A	8.65 A	8.71 A	8.76 A	8.82 A	8.87 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.6 V	45.8 V	46.0 V	46.2 V	46.4 V	46.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 A	9.26 A	9.31 A	9.36 A	9.41 A	9.45 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), Irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.csisolar.com, support@csisolar.com

2 priedas. „CanadianSolar“ Hiku CS3W-440P modulių specifikacija



HiKu

HIGH POWER POLY PERC MODULE

425 W ~ 450 W

CS3W-425 | 430 | 435 | 440 | 445 | 450P

MORE POWER



24 % higher power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax):
-0.36 % / °C



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



Lower internal current,
lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*

* For detailed information, please refer to Installation Manual.



Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*



Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%

Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / MCS / KS / INMETRO
CEC listed (US California) / FSEC (US Florida)
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way

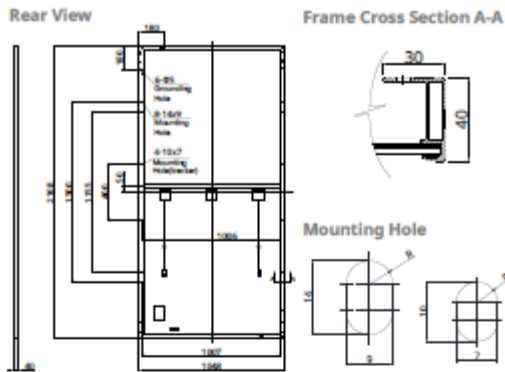


* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

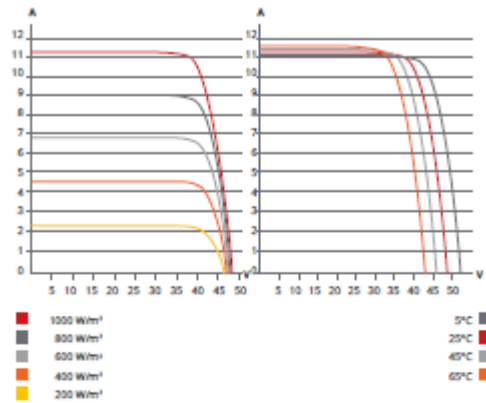
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 46 GW deployed around the world since 2001.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-430P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	425P	430P	435P	440P	445P	450P
Nominal Max. Power (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.7 V	39.9 V	40.1 V	40.3 V	40.5 V	40.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.71 A	10.78 A	10.85 A	10.92 A	10.99 A	11.06 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.2 V	48.4 V	48.6 V	48.7 V	48.8 V	49.0 V
Short Circuit Current (Isc)	11.29 A	11.32 A	11.35 A	11.4 A	11.45 A	11.53 A
Module Efficiency	19.2%	19.5%	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	425P	430P	435P	440P	445P	450P
Nominal Max. Power (Pmax)	317 W	320 W	324 W	328 W	331 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.9 V	37.1 V	37.3 V	37.5 V	37.7 V	37.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.57 A	8.62 A	8.68 A	8.74 A	8.79 A	8.85 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.3 V	45.5 V	45.6 V	45.7 V	45.8 V	46.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.11 A	9.13 A	9.16 A	9.20 A	9.24 A	9.30 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length	500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.36 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.28 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.csisolar.com, support@csisolar.com

October 2020. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.592_EN



Version 7.1.0

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Juodkrante

Variant: D0

No 3D scene defined, no shadings

System power: 71.3 kWp

Juodkrantė - Lithuania

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL



PVsyst V7,1,0
Simulation date:
29/11/20 22:09
with v7,1,0

Project: Juodkrante

Variant: D0

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Juodkrantė	Latitude 55.54 °N	Albedo 0.20
Lithuania	Longitude 21.12 °E	
	Altitude 0 m	
	Time zone UTC+2	
Meteo data		
Juodkrantė		
Meteonorm 7,3 (2001-2010), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth 30 / -2 °		
System information		
PV Array	Inverters	
Nb. of modules 162 units	Nb. of units 1 Unit	
Pnom total 71.3 kWp	Pnom total 60.0 kWac	
	Pnom ratio 1,188	

Results summary

Produced Energy 75,04 MWh/year	Specific production 1053 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 87,89 %
--------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7
CO ₂ Emission Balance	8



General parameters

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Models used	Horizon
Orientation	Transposition	Free Horizon
Fixed plane	Perez	
Tilt/Azimuth	Diffuse Perez, Meteonorm	
	Circumsolar separate	
Near Shadings	User's needs	
No Shadings	Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module	Generic	Inverter	Generic
Manufacturer		Manufacturer	
Model	CS-3W-440-MS	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	440 Wp	Unit Nom. Power	60,0 kWac
Number of PV modules	162 units	Number of inverters	1 Unit
Nominal (STC)	71,3 kWp	Total power	60,0 kWac
Array #1 - PV Array		Number of inverters	3 * MPPT 16% 0,5 units
Number of PV modules	78 units	Total power	28,9 kWac
Nominal (STC)	34,3 kWp	Operating voltage	200-1000 V
Modules	6 Strings x 13 In series	Max. power (=>30°C)	66,0 kWac
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1,19
Pmpp	31,3 kWp	Array #2 - Sub-array #2	
U mpp	477 V	Number of PV modules	84 units
I mpp	66 A	Nominal (STC)	37,0 kWp
		Modules	6 Strings x 14 In series
		At operating cond. (50°C)	
		Pmpp	33,8 kWp
		U mpp	514 V
		I mpp	66 A
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	71 kWp	Total power	60 kWac
Total	162 modules	Nb. of inverters	1 Unit
Module area	358 m²	Pnom ratio	1,19
Cell area	282 m²		

Array losses

Array Soiling Losses	Thermal Loss factor	LID - Light Induced Degradation
Loss Fraction	Module temperature according to irradiance	Loss Fraction
1,0 %	Uc (const) 20,0 W/m²K	1,3 %
	Uv (wind) 0,0 W/m²K/m/s	
Module Quality Loss	Module mismatch losses	Strings Mismatch loss
Loss Fraction	Loss Fraction	Loss Fraction
-0,8 %	1,0 % at MPP	0,1 %



PVsyst V7,1,0

Simulation date:
29/11/20 22:09
with v7,1,0

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1,000	0,998	0,991	0,948	0,862	0,776	0,636	0,403	0,000

DC wiring losses

Global wiring resistance 10 mΩ
Loss Fraction 0,5 % at STC

Array #1 - PV Array

Global array res. 40 mΩ
Loss Fraction 0,5 % at STC

Array #2 - Sub-array #2

Global array res. 43 mΩ
Loss Fraction 0,5 % at STC

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 400 Vac tri
Loss Fraction 0,7 % at STC

Inverter: SUN2000-60KTL-M0_400Vac

Wire section (One inverter) Copper 1 x 3 x 35 mm²
Wires length 31 m



Main results

System Production

Produced Energy

75.04 MWh/year

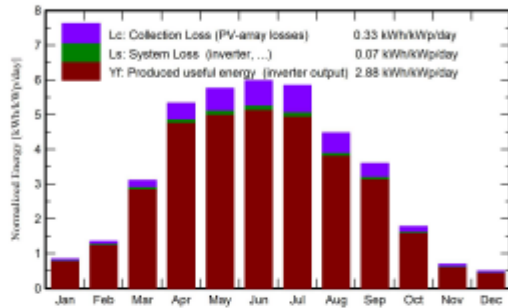
Specific production

1053 kWh/kWp/year

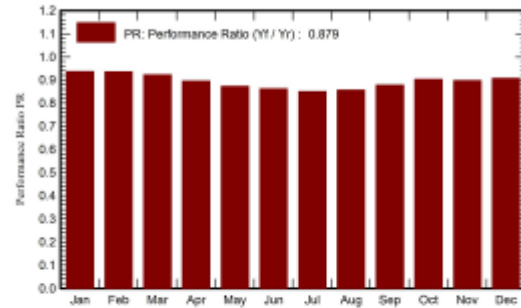
Performance Ratio PR

87,89 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	13,4	8,91	-1,80	26,2	25,1	1,80	1,75	0,936
February	25,5	17,43	-1,83	37,8	36,2	2,58	2,52	0,935
March	71,3	39,17	1,40	96,4	92,6	6,48	6,34	0,922
April	130,3	53,71	7,18	160,1	153,9	10,46	10,22	0,896
May	166,5	77,90	12,39	178,4	171,0	11,36	11,10	0,873
June	175,5	80,67	15,57	179,5	172,1	11,30	11,03	0,862
July	174,0	78,00	19,08	181,2	173,7	11,25	10,98	0,850
August	124,2	65,68	18,75	138,8	133,1	8,67	8,47	0,856
September	85,5	48,03	13,46	107,9	103,3	6,91	6,76	0,878
October	40,8	29,39	8,35	55,3	53,0	3,64	3,56	0,902
November	13,6	10,34	3,86	20,7	19,8	1,37	1,32	0,897
December	8,9	6,92	0,25	15,5	14,9	1,04	1,00	0,907
Year	1029,4	516,17	8,12	1197,9	1148,8	76,87	75,04	0,879

Legends

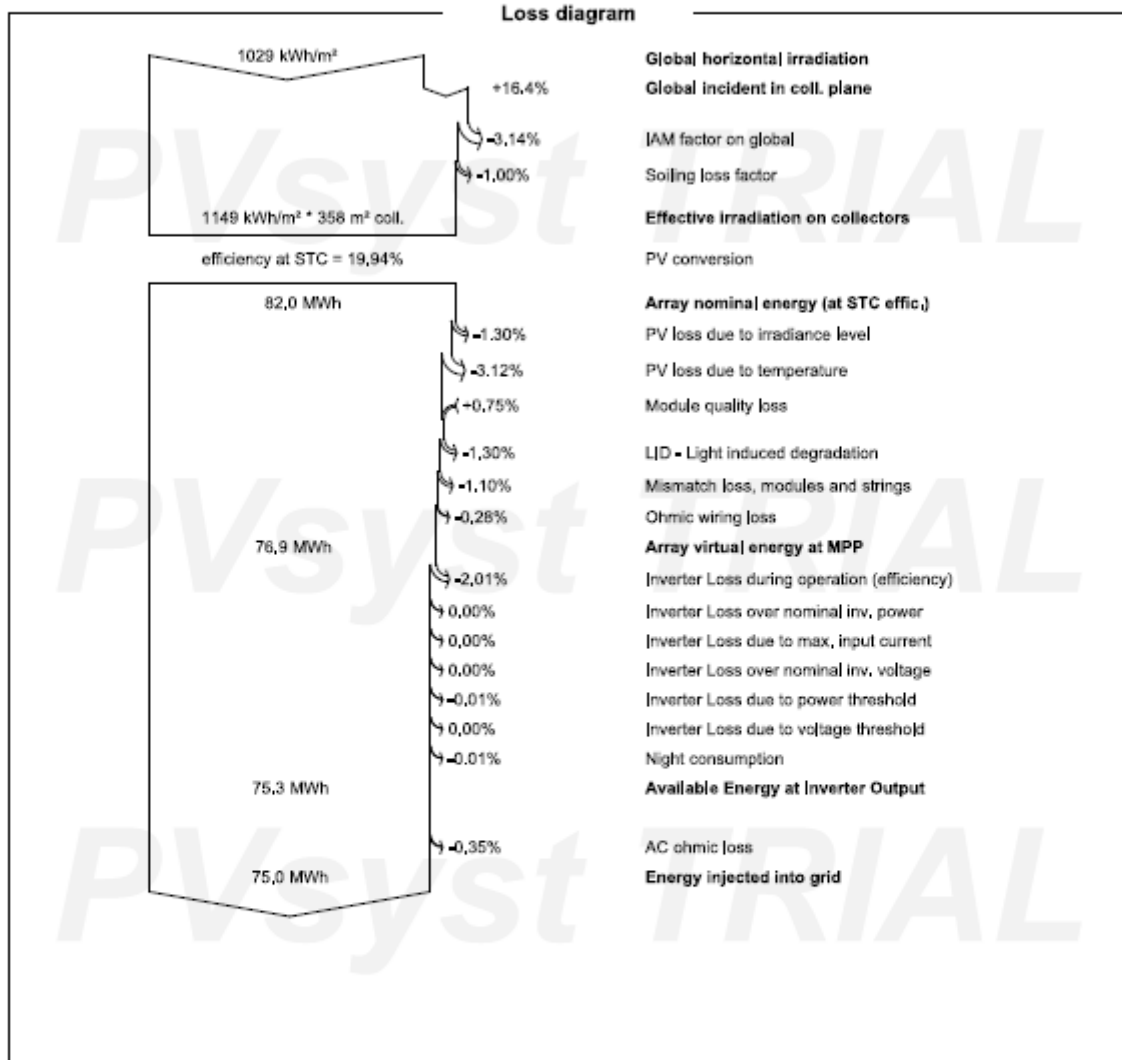
- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



PVsyst V7.1.0
Simulation date:
29/11/20 22:09
with v7.1.0

Project: Juodkrante

Variant: D0



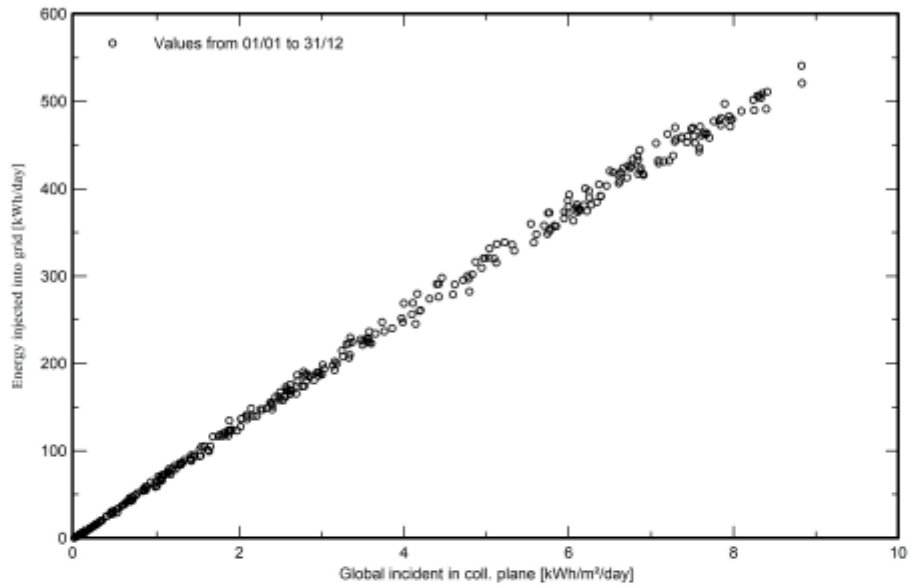


PVsyst V7.1.0

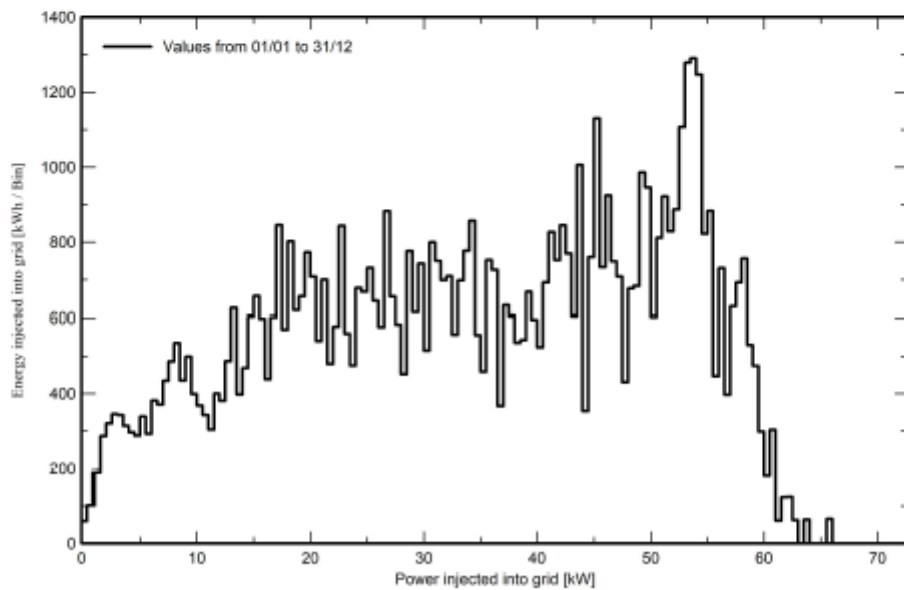
Simulation date:
29/11/20 22:09
with v7.1.0

Special graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution





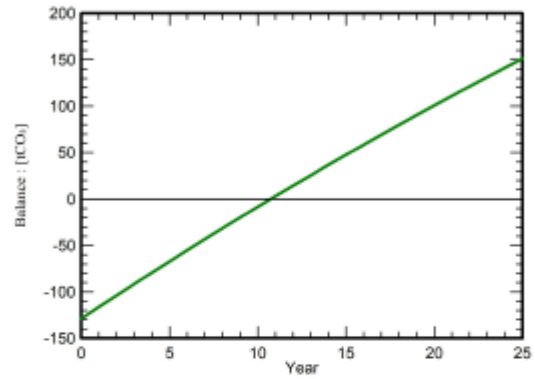
PVsyst V7,1,0
 Simulation date:
 29/11/20 22:09
 with v7,1,0

Project: Juodkrante
 Variant: D0

CO₂ Emission Balance

Total: 151,2 tCO₂
Generated emissions
 Total: 128,88 tCO₂
 Source: Detailed calculation from table below:
Replaced Emissions
 Total: 315,2 tCO₂
 System production: 75,04 MWh/yr
 Grid Lifecycle Emissions: 168 gCO₂/kWh
 Source: IEA List
 Country: Lithuania
 Lifetime: 25 years
 Annual degradation: 1,0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	71,3 kWp	122083
Transport2	59,7 gCO ₂ /km	13000 km	3131
Supports	1,12 kgCO ₂ /kg	1620 kg	1815
Inverters	281 kgCO ₂ /units	1,00 units	281
Wiring	3,14 kgCO ₂ /kg	500 kg	1571



Version 7.1.0

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Juodkrante

Variant: D1

No 3D scene defined, no shadings

System power: 71.3 kWp

Juodkrantė - Lithuania

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

| Author



PVsyst V7,1,0
Simulation date:
29/11/20 18:22
with v7,1,0

Project: Juodkrante

Variant: D1

Project summary

Geographical Site Juodkrantė Lithuania	Situation Latitude 55.54 °N Longitude 21.12 °E Altitude 0 m Time zone UTC+2	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Juodkrantė Meteonorm 7.3 (2001-2010), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 30 / -2 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Unlimited load (grid)
System information PV Array Nb. of modules 162 units Pnom total 71.3 kWp	Inverters Nb. of units 1 Unit Pnom total 60.0 kWac Pnom ratio 1,188	

Results summary

Produced Energy 74,75 MWh/year	Specific production 1049 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 87,54 %
--------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7
CO ₂ Emission Balance	8



PVsyst V7,1.0
Simulation date:
29/11/20 18:22
with v7,1.0

Project: Juodkrante

Variant: D1

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Horizon	
Orientation		Models used	Free Horizon
Fixed plane		Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	30 / -2 °	Diffuse	Perez, Meteorom
		Circumsolar	separate
Near Shadings		User's needs	
No Shadings		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	CS3W-440P	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	440 Wp	Unit Nom. Power	60,0 kWac
Number of PV modules	162 units	Number of inverters	1 Unit
Nominal (STC)	71,3 kWp	Total power	60,0 kWac
Array #1 - PV Array		Array #1 - PV Array	
Number of PV modules	78 units	Number of inverters	3 * MPPT 16% 0,5 units
Nominal (STC)	34,3 kWp	Total power	28,9 kWac
Modules	6 Strings x 13 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>30°C)	66,0 kWac
Pmpp	31,3 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1,19
U mpp	478 V		
I mpp	65 A		
Array #2 - Sub-array #2		Array #2 - Sub-array #2	
Number of PV modules	84 units	Number of inverters	3 * MPPT 17% 0,5 units
Nominal (STC)	37,0 kWp	Total power	31,1 kWac
Modules	6 Strings x 14 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>30°C)	66,0 kWac
Pmpp	33,7 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1,19
U mpp	515 V		
I mpp	65 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	71 kWp	Total power	60 kWac
Total	162 modules	Nb. of inverters	1 Unit
Module area	358 m²	Pnom ratio	1,19
Cell area	321 m²		

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		LID - Light Induced Degradation	
Loss Fraction	1,0 %	Module temperature according to irradiance		Loss Fraction	1,3 %
		Uc (const)	20,0 W/m²K		
		Uv (wind)	0,0 W/m²K/m/s		
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss	
Loss Fraction	-0,3 %	Loss Fraction	1,0 % at MPP	Loss Fraction	0,1 %



PVsyst V7,1,0

Simulation date:
29/11/20 18:22
with v7,1,0

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1,000	0,999	0,997	0,962	0,892	0,816	0,681	0,440	0,000

DC wiring losses

Global wiring resistance 10 mΩ
Loss Fraction 1,5 % at STC

Array #1 - PV Array

Global array res. 122 mΩ
Loss Fraction 1,5 % at STC

Array #2 - Sub-array #2

Global array res. 131 mΩ
Loss Fraction 1,5 % at STC

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 400 Vac tri
Loss Fraction 0,7 % at STC

Inverter: SUN2000-60KTL-M0_400Vac

Wire section (One inverter) Copper 1 x 3 x 35 mm²
Wires length 31 m



PVsyst V7,1,0

Simulation date:

29/11/20 18:22

with v7,1,0

Main results

System Production

Produced Energy

74.75 MWh/year

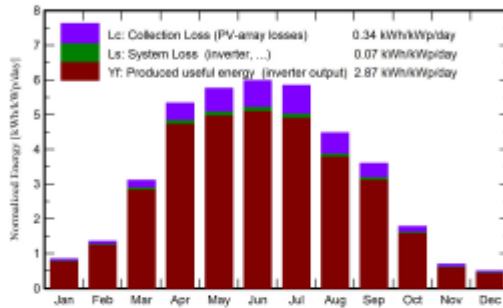
Specific production

1049 kWh/kWp/year

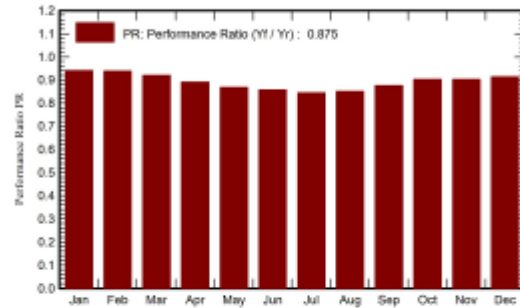
Performance Ratio PR

87,54 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	ratio
January	13,4	8,91	-1,80	26,2	25,3	1,80	1,75	0,940
February	25,5	17,43	-1,83	37,8	36,5	2,59	2,53	0,938
March	71,3	39,17	1,40	96,4	93,3	6,47	6,32	0,920
April	130,3	53,71	7,18	160,1	154,9	10,41	10,17	0,891
May	166,5	77,90	12,39	178,4	172,1	11,30	11,04	0,868
June	175,5	80,67	15,57	179,5	173,3	11,23	10,97	0,857
July	174,0	78,00	19,08	181,2	174,9	11,17	10,91	0,845
August	124,2	65,68	18,75	138,8	134,0	8,63	8,42	0,851
September	85,5	48,03	13,46	107,9	104,1	6,89	6,73	0,875
October	40,8	29,39	8,35	55,3	53,4	3,64	3,56	0,903
November	13,6	10,34	3,86	20,7	20,0	1,38	1,33	0,902
December	8,9	6,92	0,25	15,5	15,0	1,05	1,01	0,913
Year	1029,4	516,17	8,12	1197,9	1156,8	76,57	74,75	0,875

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

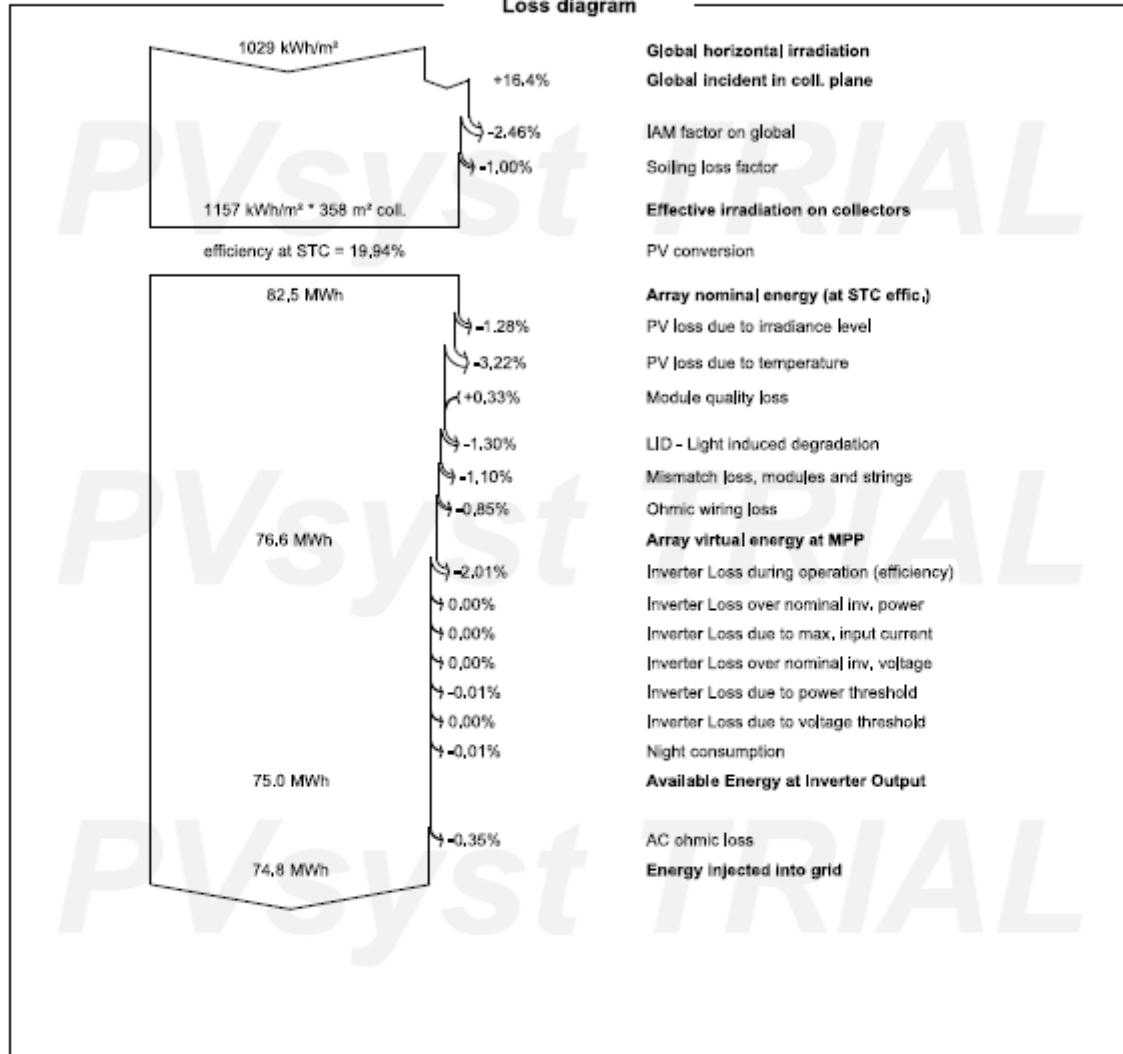


PVsyst V7.1.0
Simulation date:
29/11/20 18:22
with v7.1.0

Project: Juodkrante

Variant: D1

Loss diagram

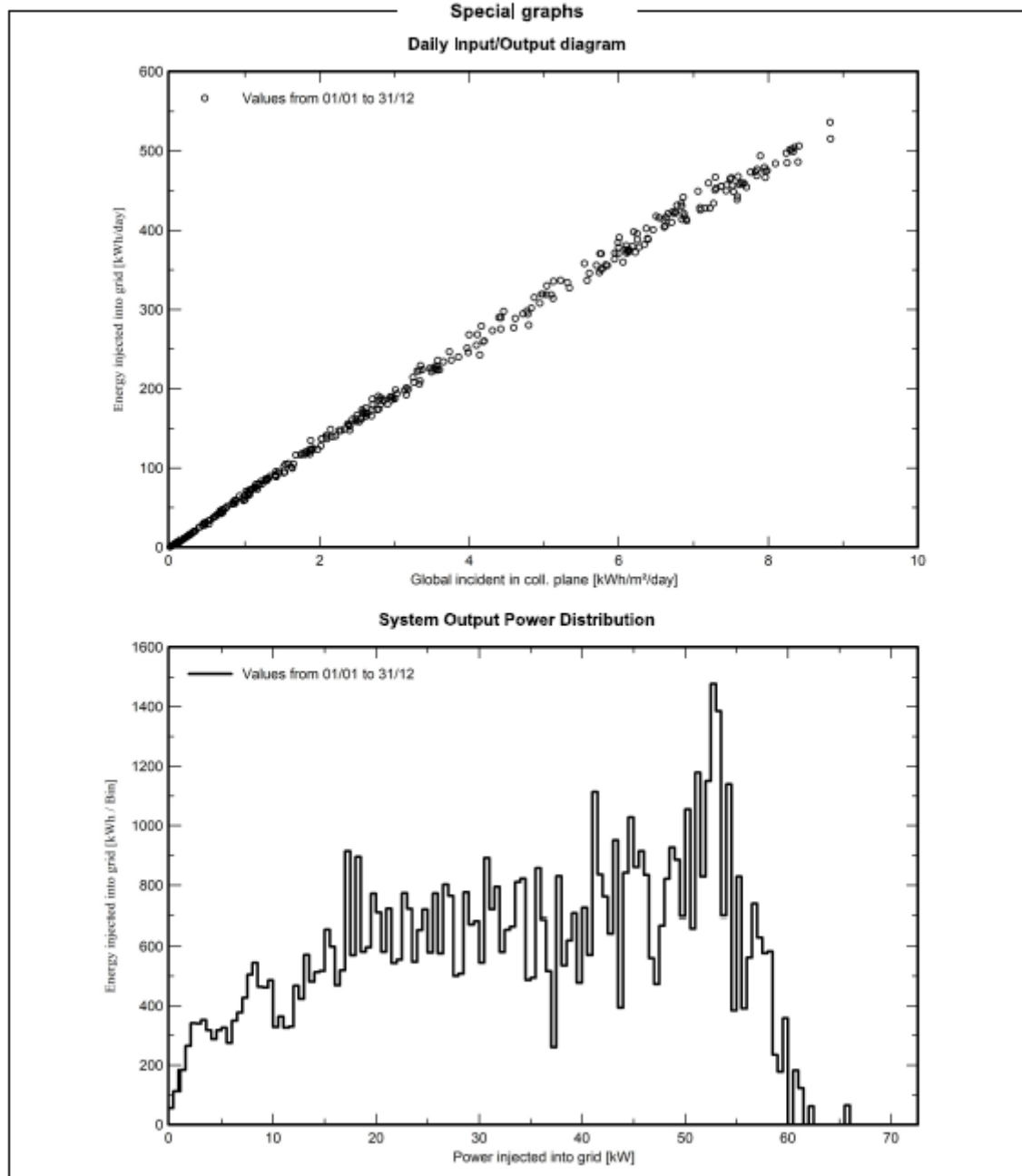




PVsyst V7,1,0
Simulation date:
29/11/20 18:22
with v7,1,0

Project: Juodkrante

Variant: D1





PVsyst V7,1,0

Simulation date:
29/11/20 18:22
with v7,1,0

CO₂ Emission Balance

Total: 150,1 tCO₂

Generated emissions

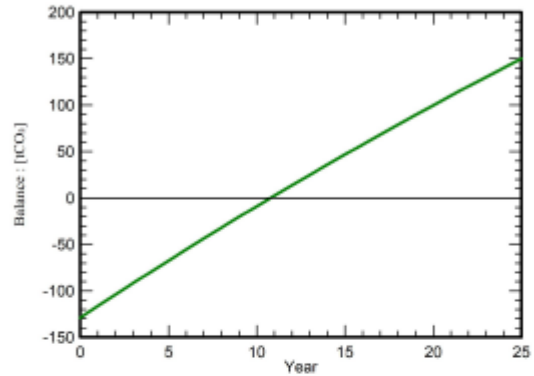
Total: 128,88 tCO₂

Source: Detailed calculation from table below:

Replaced Emissions

Total: 314,0 tCO₂
 System production: 74,75 MWh/yr
 Grid Lifecycle Emissions: 168 gCO₂/kWh
 Source: IEA List
 Country: Lithuania
 Lifetime: 25 years
 Annual degradation: 1,0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	71,3 kWp	122083
Transport2	59,7 gCO ₂ /km	13000 km	3131
Supports	1,12 kgCO ₂ /kg	1620 kg	1815
Inverters	281 kgCO ₂ /units	1,00 units	281
Wiring	3,14 kgCO ₂ /kg	500 kg	1571

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL



Version 7.1.1

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Azuolynas

Variant: D3

No 3D scene defined, no shadings

System power: 71.3 kWp

Roman Catholic Diocese of Málaga - Spain

Author
Etemia Solar (Lithuania)



PVsyst V7.1.1
Simulation date:
26/12/20 22:10
with v7.1.0

Project: Azuolynas

Variant: D3

Eternia Solar (Lithuania)

Project summary

Geographical Site Roman Catholic Diocese of Māaga Spain	Situation Latitude 36.72 °N Longitude -4.42 °W Altitude 31 m Time zone UTC+1	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Roman Catholic Diocese of Māaga Meteonorm 7.3 (1996-2010) - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 30 / -2 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Unlimited load (grid)	
System information		Inverters	
PV Array		Nb. of units	1 Unit
Nb. of modules	162 units	Pnom total	60.0 kWac
Pnom total	71.3 kWp	Pnom ratio	1.188

Results summary

Produced Energy	125.9 MWh/year	Specific production	1767 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	84.11 %
-----------------	----------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7
CO ₂ Emission Balance	8



PVsyst V7.1.1
Simulation date:
26/12/20 22:10
with v7.1.0

Project: Azuolynas

Variant: D3

Eternia Solar (Lithuania)

General parameters

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		Horizon
PV Field Orientation		Models used	Free Horizon
Orientation		Transposition	Perez
Fixed plane		Diffuse	Perez, Meteorom
Tilt/Azimuth	30 / -2 °	Circumsolar	separate
Near Shadings		User's needs	
No Shadings		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Canadian Solar Inc.	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	CS3W-440P	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vdc
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	440 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	162 units	Number of Inverters	1 Unit
Nominal (STC)	71.3 kWp	Total power	60.0 kWac
Array #1 - PV Array		Array #2 - Sub-array #2	
Number of PV modules	78 units	Number of Inverters	3 * MPPT 16% 0.5 units
Nominal (STC)	34.3 kWp	Total power	28.9 kWac
Modules	6 Strings x 13 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (→30°C)	66.0 kWac
Pmpp	31.3 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.19
U mpp	478 V		
I mpp	65 A		
Array #2 - Sub-array #2		Total inverter power	
Number of PV modules	84 units	Total power	60 kWac
Nominal (STC)	37.0 kWp	Nb. of Inverters	1 Unit
Modules	6 Strings x 14 In series	Pnom ratio	1.19
At operating cond. (50°C)			
Pmpp	33.7 kWp		
U mpp	515 V		
I mpp	65 A		
Total PV power			
Nominal (STC)	71 kWp		
Total	162 modules		
Module area	358 m ²		
Cell area	321 m ²		

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		LID - Light Induced Degradation	
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Loss Fraction	1.3 %
		Uc (const)	20.0 W/m ² K		
		Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s		
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss	
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	1.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %



PVsyst V7.1.1
Simulation date:
26/12/20 22:10
with v7.1.0

Project: Azuolynas

Variant: D3

Eternia Solar (Lithuania)

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

DC wiring losses

Global wiring resistance 10 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #1 - PV Array

Global array res. 122 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #2 - Sub-array #2

Global array res. 131 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 400 Vac tri
Loss Fraction 0.7 % at STC
Inverter: SUN2000-60KTL-M0_400Vac
Wire section (One Inverter) Copper 1 x 3 x 35 mm²
Wires length 31 m



PVsyst V7.1.1
Simulation date:
26/12/20 22:10
with v7.1.0

Project: Azuolynas

Variant: D3

Eternia Solar (Lithuania)

Main results

System Production

Produced Energy

125.9 MWh/year

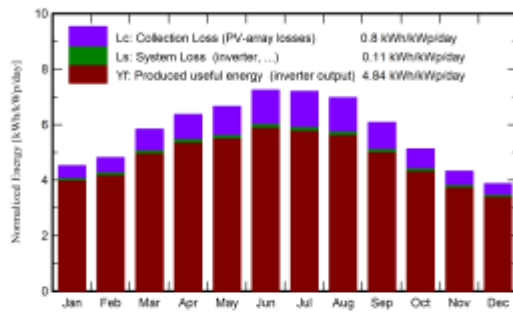
Specific production

1767 kWh/kWp/year

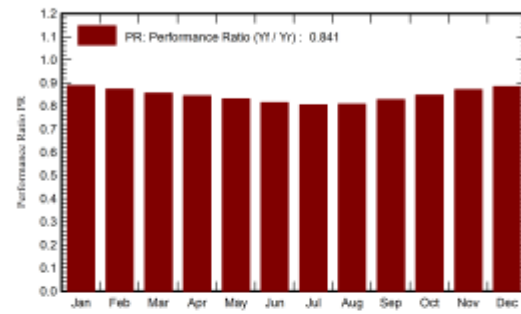
Performance Ratio PR

84.11 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	85.7	28.69	10.19	140.0	136.6	9.06	8.86	0.888
February	97.2	37.95	11.94	134.9	131.4	8.60	8.40	0.874
March	146.7	53.75	14.69	180.8	175.7	11.29	11.03	0.856
April	176.8	67.26	16.77	191.0	185.1	11.78	11.51	0.845
May	211.7	79.57	20.61	206.1	199.2	12.51	12.21	0.831
June	232.2	72.32	24.34	217.5	210.3	12.95	12.65	0.816
July	234.5	70.05	26.72	223.2	215.9	13.13	12.82	0.806
August	207.7	71.12	26.73	216.3	209.7	12.77	12.47	0.809
September	156.6	59.50	22.65	182.4	177.0	11.02	10.76	0.828
October	121.6	47.62	18.97	158.9	154.7	9.83	9.61	0.848
November	85.5	34.84	14.24	129.6	126.2	8.24	8.05	0.872
December	72.5	26.71	11.48	120.0	117.1	7.74	7.56	0.884
Year	1828.7	649.37	18.32	2100.7	2038.8	128.92	125.94	0.841

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadngs		



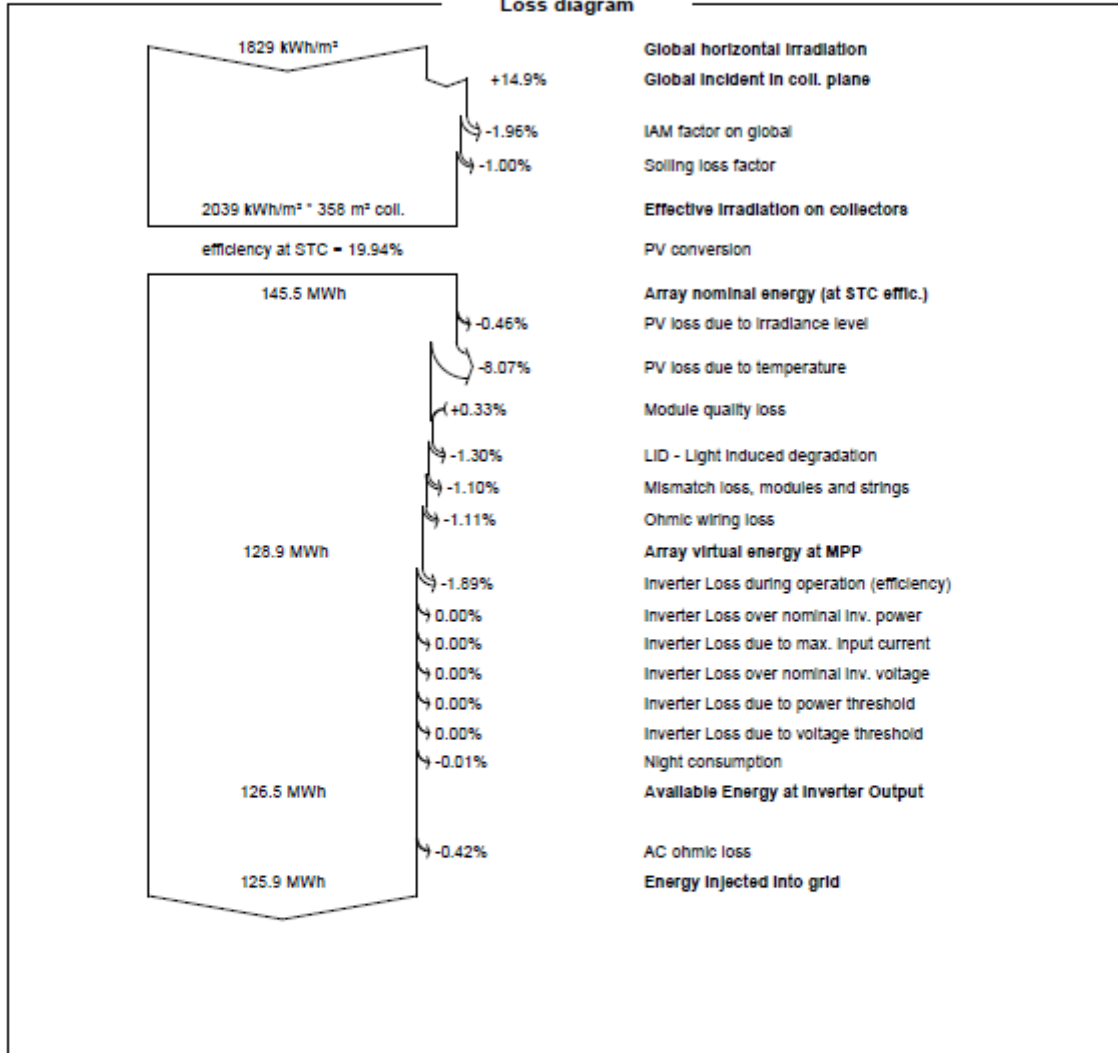
PVsyst V7.1.1
Simulation date:
26/12/20 22:10
with v7.1.0

Project: Azuolynas

Variant: D3

Eternia Solar (Lithuania)

Loss diagram





PVsyst V7.1.1
Simulation date:
26/12/20 22:10
with v7.1.0

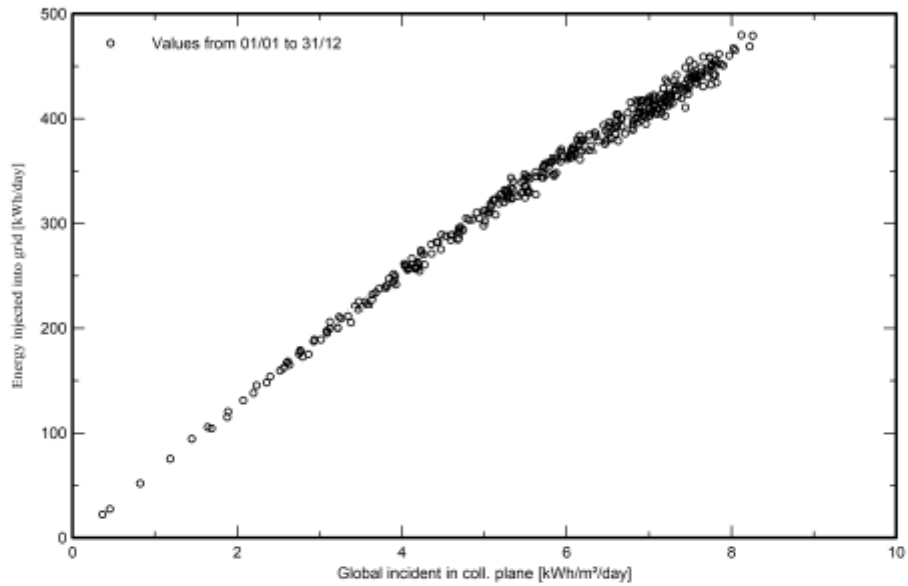
Project: Azuolynas

Variant: D3

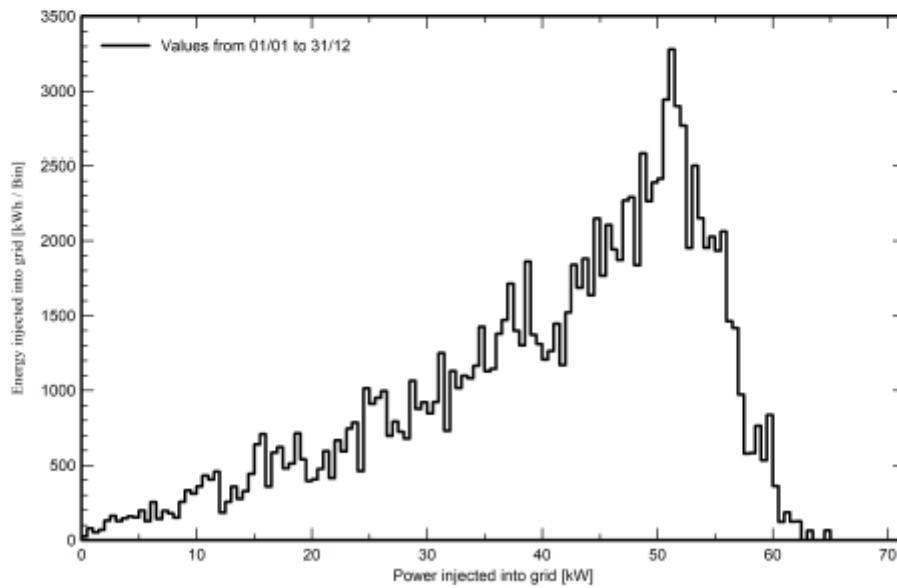
Eterna Solar (Lithuania)

Special graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution





PVsyst V7.1.1
 Simulation date:
 26/12/20 22:10
 with v7.1.0

Project: Azuolynas

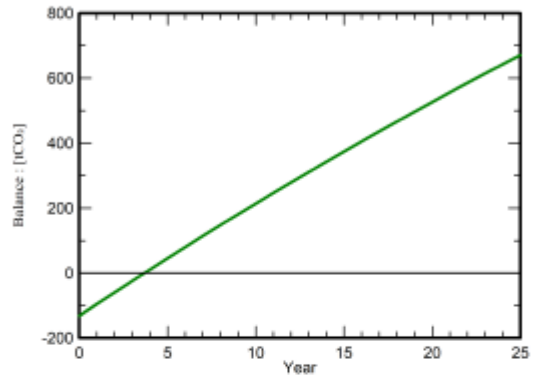
Variant: D3

Eternia Solar (Lithuania)

CO₂ Emission Balance

Total: 671.6 tCO₂
Generated emissions
Total: 131.52 tCO₂
 Source: Detailed calculation from table below:
Replaced Emissions
Total: 903.6 tCO₂
 System production: 125.94 MWh/yr
 Grid Lifecycle Emissions: 287 gCO₂/kWh
 Source: IEA List
 Country: Spain
 Lifetime: 25 years
 Annual degradation: 1.0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal [kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	71.3 kWp	122083
Transport2	59.7 gCO ₂ /km	13000 km	3131
Supports	1.91 kgCO ₂ /kg	1620 kg	3101
Inverters	522 kgCO ₂ /units	1.00 units	522
Wiring	5.37 kgCO ₂ /kg	500 kg	2683



Version 7.1.0

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Azuolynas

Variant: Integruoti į stogą

No 3D scene defined, no shadings

System power: 61.6 kWp

Juodkrantė - Lithuania

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

| Author



PVsyst V7,1,0
 Simulation date:
 07/12/20 03:15
 with v7,1,0

Project: Azuolynas
 Variant: Integruoti i stoga

Project summary

Geographical Site Juodkrantė Lithuania	Situation Latitude 55.54 °N Longitude 21.12 °E Altitude 23 m Time zone UTC+2	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Juodkrantė Meteonorm 7.3 (2001-2010), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System Simulation for year no 1	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 30 / -2 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Unlimited load (grid)
System information PV Array Nb. of modules 162 units Pnom total 61,6 kWp	Inverters Nb. of units 1 Unit Pnom total 50,0 kWac Pnom ratio 1,231	

Results summary

Produced Energy	61,21 MWh/year	Specific production	994 kWh/kWp/year	Perf, Ratio PR	82,42 %
-----------------	----------------	---------------------	------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7
Aging Tool	8



PVsyst V7,1,0
Simulation date:
07/12/20 03:15
with v7,1,0

Project: Azuolynas

Variant: Integruoti i stoga

General parameters

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Models used	Horizon
Orientation	Transposition	Free Horizon
Fixed plane	Perez	
Tilt/Azimuth	Diffuse Perez, Meteorom Circumsolar separate	
Near Shadings	User's needs	
No Shadings	Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM380M-6RL3-B	Model	SUN2000-50KTL-M0_400Vac
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	380 Wp	Unit Nom. Power	50,0 kWac
Number of PV modules	162 units	Number of inverters	1 Unit
Nominal (STC)	61,6 kWp	Total power	50,0 kWac
Array #1 - PV Array		Number of inverters	2 * MPPT 15% 0,3 units
Number of PV modules	48 units	Total power	14,8 kWac
Nominal (STC)	18,24 kWp	Operating voltage	200-1000 V
Modules	4 Strings x 12 In series	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Pmpp	16,55 kWp	Number of inverters	1 * MPPT 16% 0,2 units
U mpp	401 V	Total power	8,0 kWac
I mpp	41 A	Operating voltage	200-1000 V
Array #2 - Sub-array #2		Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
Number of PV modules	26 units	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Nominal (STC)	9,88 kWp	Number of inverters	1 * MPPT 17% 0,2 units
Modules	2 Strings x 13 In series	Total power	8,6 kWac
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	200-1000 V
Pmpp	8,97 kWp	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
U mpp	435 V	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
I mpp	21 A	Number of inverters	1 * MPPT 19% 0,4 units
Array #3 - Sub-array #3		Total power	18,5 kWac
Number of PV modules	28 units	Operating voltage	200-1000 V
Nominal (STC)	10,64 kWp	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
Modules	2 Strings x 14 In series	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
At operating cond. (50°C)		Number of inverters	2 * MPPT 19% 0,4 units
Pmpp	9,66 kWp	Total power	18,5 kWac
U mpp	468 V	Operating voltage	200-1000 V
I mpp	21 A	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
Array #4 - Sub-array #4		Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Number of PV modules	60 units	Operating voltage	200-1000 V
Nominal (STC)	22,80 kWp	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
Modules	4 Strings x 15 In series	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	200-1000 V
Pmpp	20,69 kWp	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
U mpp	501 V	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
I mpp	41 A		



PVsyst V7,1,0
 Simulation date:
 07/12/20 03:15
 with v7,1,0

PV Array Characteristics

Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	62 kWp	Total power	50 kWac
Total	162 modules	Nb. of inverters	1 Unit
Module area	309 m ²	Pnom ratio	1.23
Cell area	532 m ²		

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		LID - Light Induced Degradation				
Loss Fraction	2,0 %	Module temperature according to irradiance		Loss Fraction	1,3 %			
		Uc (const)	20,0 W/m ² K					
		Uv (wind)	0,0 W/m ² K/m/s					
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss				
Loss Fraction	-0,8 %	Loss Fraction	1,0 % at MPP	Loss Fraction	0,1 %			
Module average degradation								
Year no	1							
Loss factor	0,4 %/year							
Mismatch due to degradation								
Imp RMS dispersion	0,4 %/year							
Vmp RMS dispersion	0,4 %/year							
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1,526, n(AR)=1,290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1,000	0,999	0,987	0,962	0,892	0,816	0,681	0,440	0,000

DC wiring losses

Global wiring resistance	10 mΩ		
Loss Fraction	1,5 % at STC		
Array #1 - PV Array		Array #2 - Sub-array #2	
Global array res.	161 mΩ	Global array res.	349 mΩ
Loss Fraction	1,5 % at STC	Loss Fraction	1,5 % at STC
Array #3 - Sub-array #3		Array #4 - Sub-array #4	
Global array res.	376 mΩ	Global array res.	201 mΩ
Loss Fraction	1,5 % at STC	Loss Fraction	1,5 % at STC

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	0,5 % at STC
Global System	
Wire section	Copper 3 x 25 mm ²
Wires length	18 m



PVsyst V7.1.0
Simulation date:
07/12/20 03:15
with v7.1.0

Main results

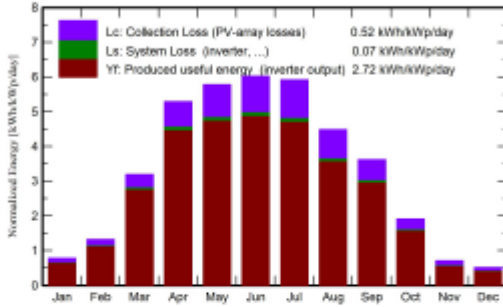
System Production

Produced Energy 61.21 MWh/year

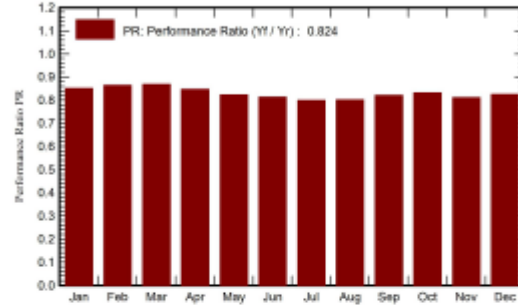
Specific production
Performance Ratio PR

994 kWh/kWp/year
82.42 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	13,3	9,59	-1,89	24,1	23,1	1,300	1,265	0,851
February	25,4	17,99	-1,98	36,8	35,3	2,010	1,960	0,864
March	71,3	40,34	1,32	99,2	94,8	5,419	5,299	0,868
April	130,2	58,82	7,14	158,9	152,0	8,472	8,279	0,846
May	166,6	73,08	12,40	179,1	171,0	9,289	9,073	0,823
June	175,7	79,93	15,53	180,6	172,7	9,284	9,048	0,814
July	174,0	74,55	19,25	183,3	175,4	9,241	9,025	0,800
August	124,2	70,82	18,90	139,0	132,8	7,018	6,857	0,801
September	85,4	47,04	13,47	108,6	103,7	5,622	5,494	0,821
October	40,9	26,92	8,31	59,3	56,8	3,111	3,036	0,832
November	13,6	10,42	3,79	21,2	20,3	1,094	1,060	0,811
December	8,8	6,82	0,12	15,9	15,2	0,836	0,810	0,825
Year	1029,3	516,31	8,09	1206,3	1153,1	62,675	61,206	0,824

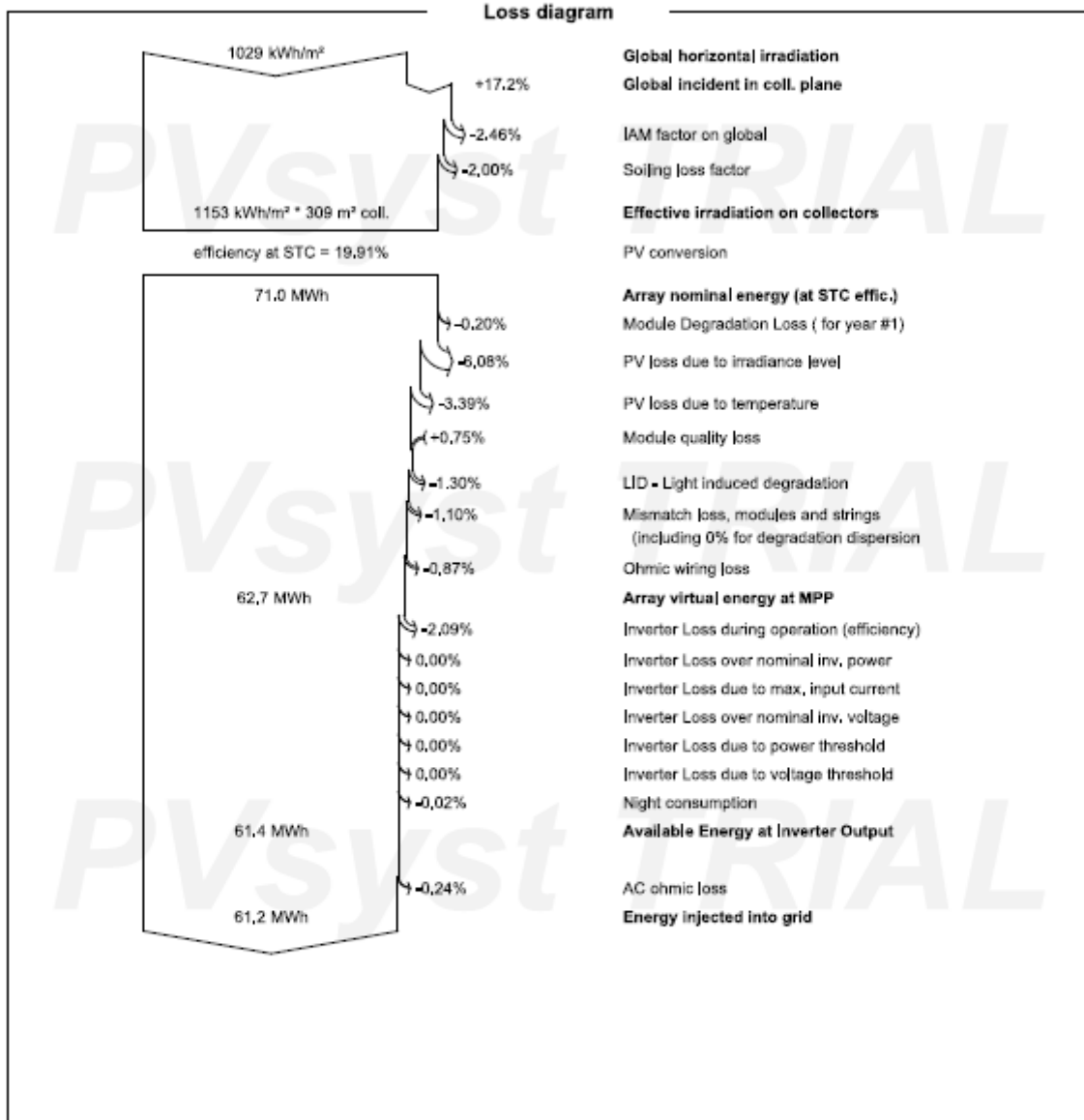
Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		



PVsyst V7.1.0
Simulation date:
07/12/20 03:15
with v7.1.0

Project: Azuolynas
Variant: Integruoti i stoga



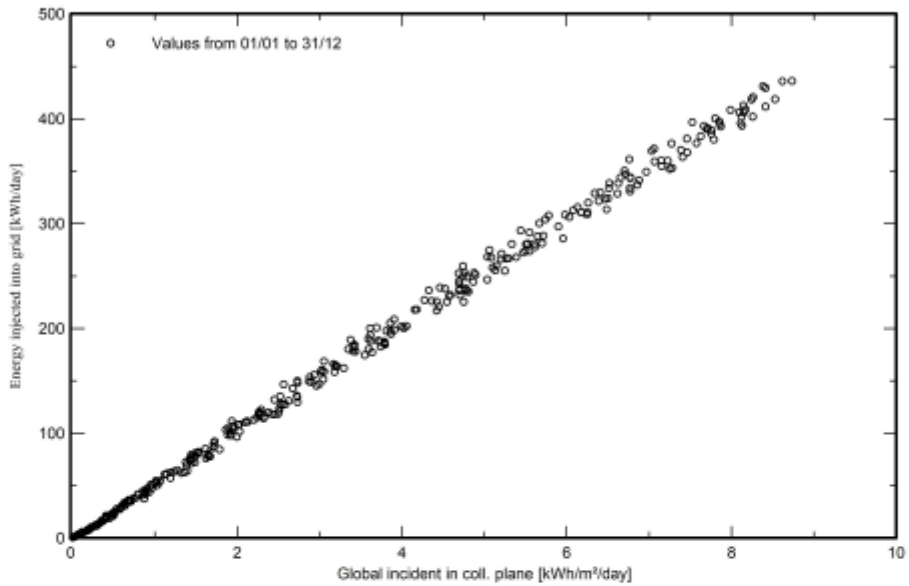


PVsyst V7.1.0
Simulation date:
07/12/20 03:15
with v7.1.0

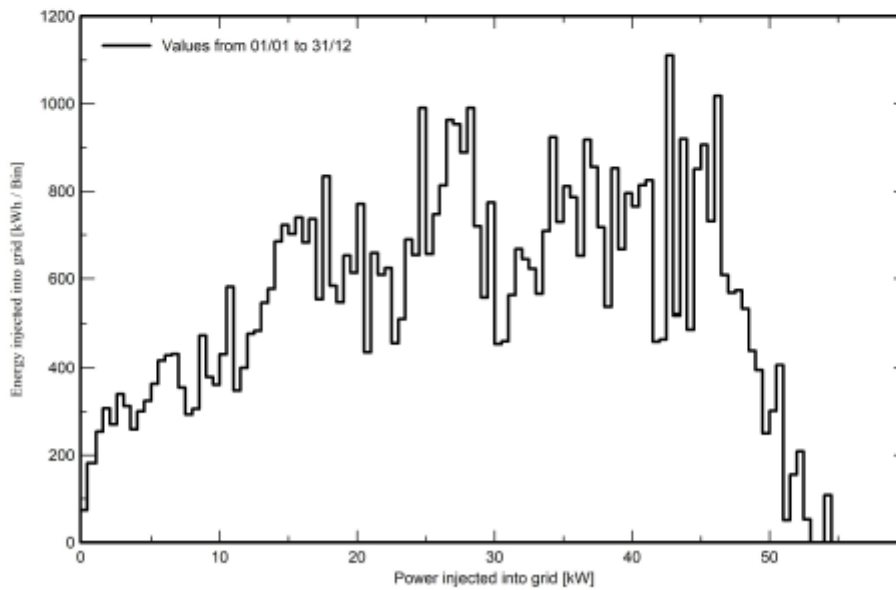
Project: Azuolynas
Variant: Integruoti i stoga

Special graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution





PVsyst V7.1.0
Simulation date:
07/12/20 03:15
with v7.1.0

Project: Azuolynas
Variant: Integruoti i stoga

Aging Tool

Aging Parameters

Time span of simulation 25 years

Module average degradation

Loss factor 0.4 %/year

Mismatch due to degradation

Imp RMS dispersion 0.4 %/year

Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

Meteo used in the simulation

#1 Juodkrant MN73 SYN

Years 1990 (reference year)

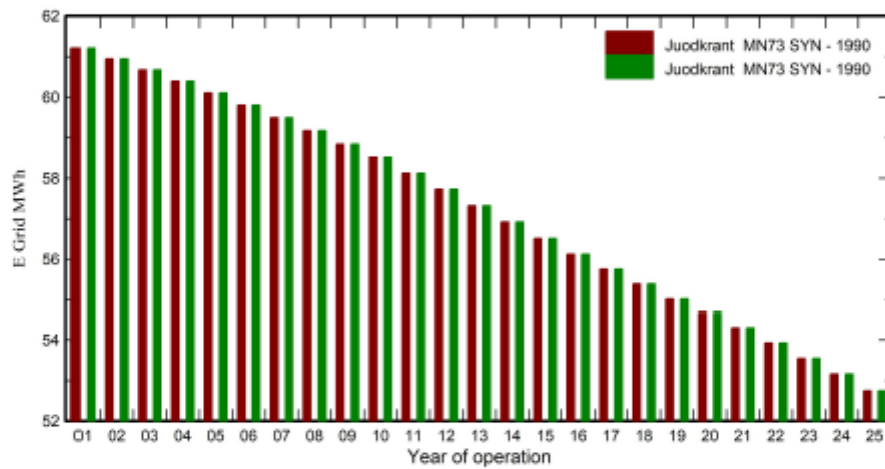
Years simulated 1-25

#2 Juodkrant MN73 SYN

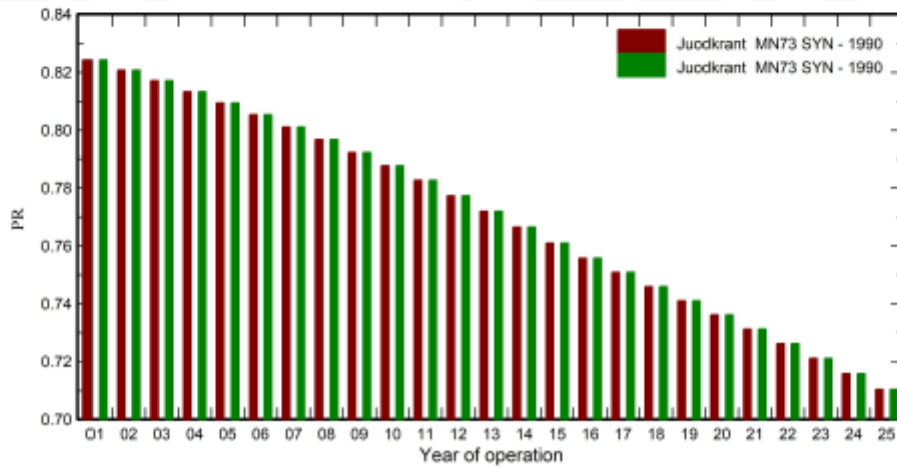
Years 1990 (reference year)

Years simulated 1-25

Energy injected into grid



Performance Ratio





PVsyst V7.1.0
Simulation date:
07/12/20 03:15
with v7.1.0

Project: Azuolynas
Variant: Integruoti i stoga

Aging Tool

Aging Parameters

Time span of simulation 25 years

Module average degradation

Loss factor 0.4 %/year

Mismatch due to degradation

Imp RMS dispersion 0.4 %/year

Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

Meteo used in the simulation

#1 Juodkrant MN73 SYN

Years 1990 (reference year)

Years simulated 1-25

#2 Juodkrant MN73 SYN

Years 1990 (reference year)

Years simulated 1-25

#1 Juodkrant MN73 SYN

Year	#1	#1	#1
	E Grid MWh	PR	PR loss %
1	61,21	0,824	0%
2	60,95	0,821	-0,4%
3	60,67	0,817	-0,9%
4	60,39	0,813	-1,3%
5	60,10	0,809	-1,8%
6	59,80	0,805	-2,3%
7	59,49	0,801	-2,8%
8	59,17	0,797	-3,3%
9	58,84	0,792	-3,9%
10	58,49	0,788	-4,4%
11	58,12	0,783	-5%
12	57,73	0,777	-5,7%
13	57,32	0,772	-6,3%
14	56,92	0,766	-7%
15	56,51	0,761	-7,7%
16	56,12	0,756	-8,3%
17	55,75	0,751	-8,9%
18	55,39	0,746	-9,5%
19	55,03	0,741	-10,1%
20	54,66	0,736	-10,7%
21	54,30	0,731	-11,3%
22	53,93	0,726	-11,9%
23	53,55	0,721	-12,5%
24	53,16	0,716	-13,2%
25	52,75	0,71	-13,8%

#2 Juodkrant MN73 SYN

Year	#2	#2	#2
	E Grid MWh	PR	PR loss %
1	61,21	0,824	0%
2	60,95	0,821	-0,4%
3	60,67	0,817	-0,9%
4	60,39	0,813	-1,3%
5	60,10	0,809	-1,8%
6	59,80	0,805	-2,3%
7	59,49	0,801	-2,8%
8	59,17	0,797	-3,3%
9	58,84	0,792	-3,9%
10	58,49	0,788	-4,4%
11	58,12	0,783	-5%
12	57,73	0,777	-5,7%
13	57,32	0,772	-6,3%
14	56,92	0,766	-7%
15	56,51	0,761	-7,7%
16	56,12	0,756	-8,3%
17	55,75	0,751	-8,9%
18	55,39	0,746	-9,5%
19	55,03	0,741	-10,1%
20	54,66	0,736	-10,7%
21	54,30	0,731	-11,3%
22	53,93	0,726	-11,9%
23	53,55	0,721	-12,5%
24	53,16	0,716	-13,2%
25	52,75	0,71	-13,8%

PVsyst TRIAL



Version 7.1.0

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Azuolynas

Variant: Moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis

No 3D scene defined, no shadings

System power: 61.6 kWp

Juodkrantė - Lithuania

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

| Author



PVsyst V7,1,0
Simulation date:
13/12/20 02:06
with v7,1,0

Project: Azuolynas

Variant: Moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Juodkrantė	Latitude 55,54 °N	Albedo 0.20
Lithuania	Longitude 21,12 °E	
	Altitude 23 m	
	Time zone UTC+2	
Meteo data		
Juodkrantė		
Meteonorm 7,3 (2001-2010), Sat=100% – Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	User's needs
PV Field Orientation	Near Shadings	Unlimited load (grid)
Fixed plane	No Shadings	
Tilt/Azimuth 30 / -2 °		
System information		
PV Array		
Nb. of modules 162 units	Inverters	Nb. of units 1 Unit
Pnom total 61,6 kWp	Nb. of units	Pnom total 50,0 kWac
	Pnom ratio	1,231

Results summary

Produced Energy 61,94 MWh/year	Specific production 1006 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 83,42 %
--------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7



PVsyst V7,1,0
Simulation date:
13/12/20 02:06
with v7,1,0

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Horizon	
Orientation		Models used	Free Horizon
Fixed plane		Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	30 / -2 °	Diffuse	Perez, Meteonom separate
		Circumsolar	
Near Shadings		User's needs	
No Shadings		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM380M-6RL3-B	Model	SUN2000-50KTL-M0_400Vac
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom, Power	380 Wp	Unit Nom, Power	50,0 kWac
Number of PV modules	162 units	Number of inverters	1 Unit
Nominal (STC)	61,6 kWp	Total power	50,0 kWac
Array #1 - PV Array		Number of inverters	2 * MPPT 15% 0,3 units
Number of PV modules	48 units	Total power	14,8 kWac
Nominal (STC)	18,24 kWp	Operating voltage	200-1000 V
Modules	4 Strings x 12 In series	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Pmpp	16,55 kWp	Array #2 - Sub-array #2	
U mpp	401 V	Number of inverters	1 * MPPT 16% 0,2 units
I mpp	41 A	Total power	8,0 kWac
Array #2 - Sub-array #2		Operating voltage	200-1000 V
Number of PV modules	26 units	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
Nominal (STC)	9,88 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Modules	2 Strings x 13 In series	Array #3 - Sub-array #3	
At operating cond. (50°C)		Number of inverters	1 * MPPT 17% 0,2 units
Pmpp	8,97 kWp	Total power	8,6 kWac
U mpp	435 V	Operating voltage	200-1000 V
I mpp	21 A	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
Array #3 - Sub-array #3		Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Number of PV modules	28 units	Array #4 - Sub-array #4	
Nominal (STC)	10,64 kWp	Number of inverters	2 * MPPT 19% 0,4 units
Modules	2 Strings x 14 In series	Total power	18,5 kWac
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	200-1000 V
Pmpp	9,66 kWp	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
U mpp	468 V	Pnom ratio (DC:AC)	1,23
I mpp	21 A	Array #4 - Sub-array #4	
Array #4 - Sub-array #4		Number of inverters	2 * MPPT 19% 0,4 units
Number of PV modules	60 units	Total power	18,5 kWac
Nominal (STC)	22,80 kWp	Operating voltage	200-1000 V
Modules	4 Strings x 15 In series	Max. power (=>49°C)	55,0 kWac
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1,23
Pmpp	20,69 kWp		
U mpp	501 V		
I mpp	41 A		



Project: Azuolynas

Variante: Moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis

PVsyst V7,1,0

Simulation date:
13/12/20 02:06
with v7,1,0

PV Array Characteristics

Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	62 kWp	Total power	50 kWac
Total	162 modules	Nb. of inverters	1 Unit
Module area	309 m ²	Pnom ratio	1.23
Cell area	532 m ²		

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		LID = Light Induced Degradation				
Loss Fraction	2,0 %	Module temperature according to irradiance		Loss Fraction	1,3 %			
		Uc (const)	29,0 W/m ² K					
		Uv (wind)	0,0 W/m ² K/m/s					
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss				
Loss Fraction	-0,8 %	Loss Fraction	1,0 % at MPP	Loss Fraction	0,1 %			
JAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1,526, n(AR)=1,290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1,000	0,999	0,997	0,962	0,892	0,816	0,681	0,440	0,000

DC wiring losses

Global wiring resistance	10 mΩ		
Loss Fraction	1,5 % at STC		
Array #1 = PV Array		Array #2 = Sub-array #2	
Global array res.	161 mΩ	Global array res.	349 mΩ
Loss Fraction	1,5 % at STC	Loss Fraction	1,5 % at STC
Array #3 = Sub-array #3		Array #4 = Sub-array #4	
Global array res.	376 mΩ	Global array res.	201 mΩ
Loss Fraction	1,5 % at STC	Loss Fraction	1,5 % at STC

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	1,5 % at STC
Global System	
Wire section	Copper 3 x 25 mm ²
Wires length	53 m



Project: Azuolynas

Variant: Moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis

PVsyst V7,1,0

Simulation date:
13/12/20 02:06
with v7,1,0

Main results

System Production

Produced Energy 61.94 MWh/year

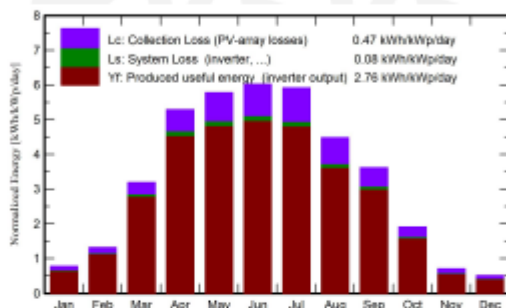
Specific production

1006 kWh/kWp/year

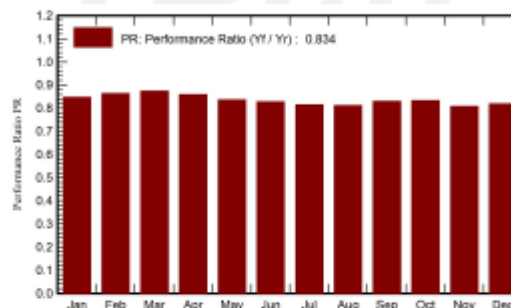
Performance Ratio PR

83,42 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	13,3	9,59	-1,89	24,1	23,1	1,296	1,258	0,846
February	25,4	17,99	-1,98	36,8	35,3	2,012	1,956	0,863
March	71,3	40,34	1,32	89,2	94,8	5,474	5,330	0,873
April	130,2	58,82	7,14	158,9	152,0	8,642	8,399	0,859
May	166,6	73,08	12,40	179,1	171,0	9,494	9,221	0,836
June	175,7	79,93	15,53	180,6	172,7	9,475	9,201	0,827
July	174,0	74,55	19,25	183,3	175,4	9,466	9,192	0,814
August	124,2	70,82	18,90	139,0	132,8	7,140	6,942	0,811
September	85,4	47,04	13,47	108,6	103,7	5,700	5,545	0,829
October	40,9	26,92	8,31	59,3	56,8	3,126	3,041	0,833
November	13,6	10,42	3,79	21,2	20,3	1,091	1,055	0,807
December	8,8	6,82	0,12	15,9	15,2	0,831	0,804	0,819
Year	1029,3	516,31	8,09	1206,3	1153,1	63,748	61,944	0,834

Legends

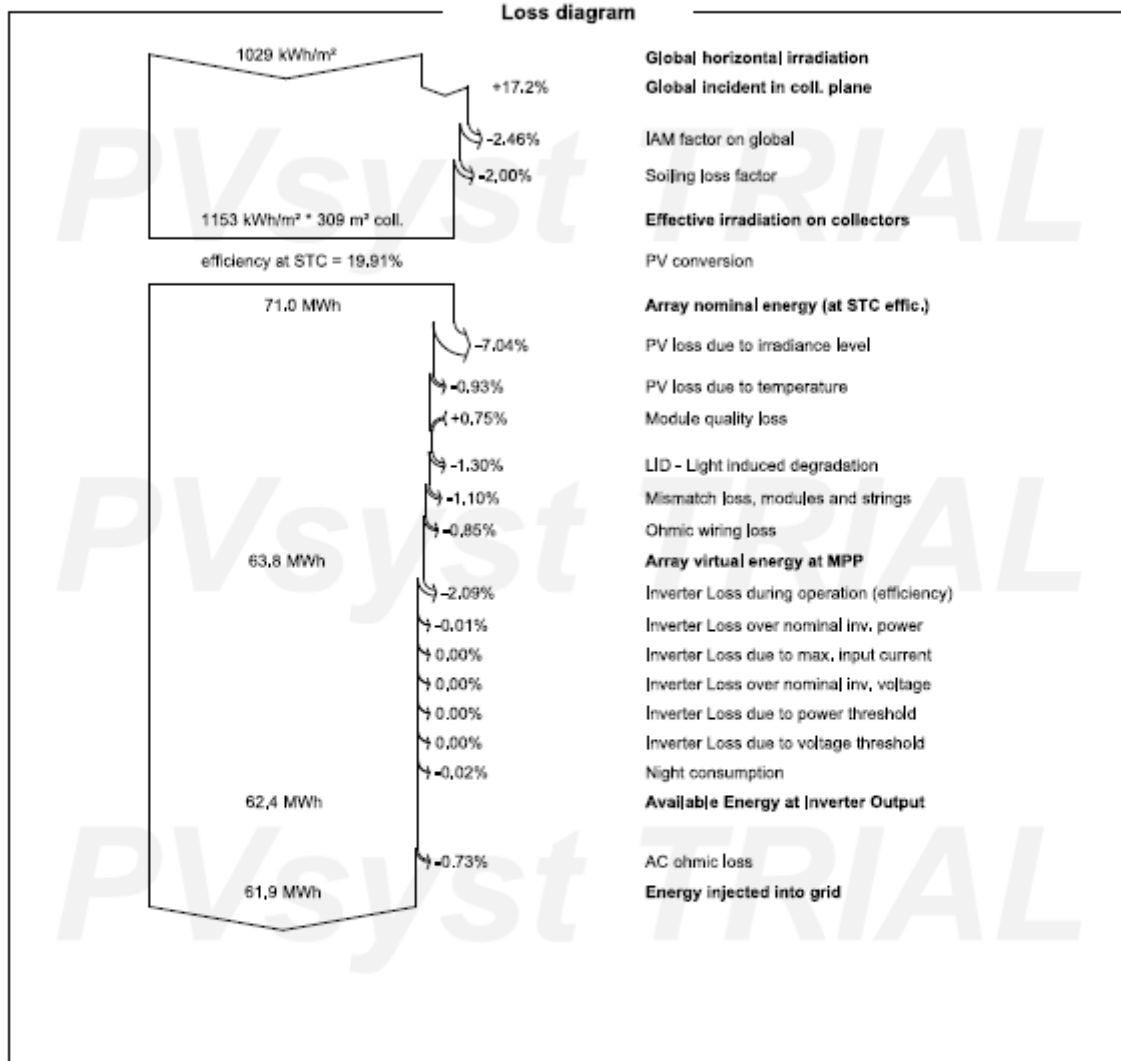
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		



PVsyst V7,1,0
Simulation date:
13/12/20 02:06
with v7,1,0

Project: Azuolynas

Variants: Moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis





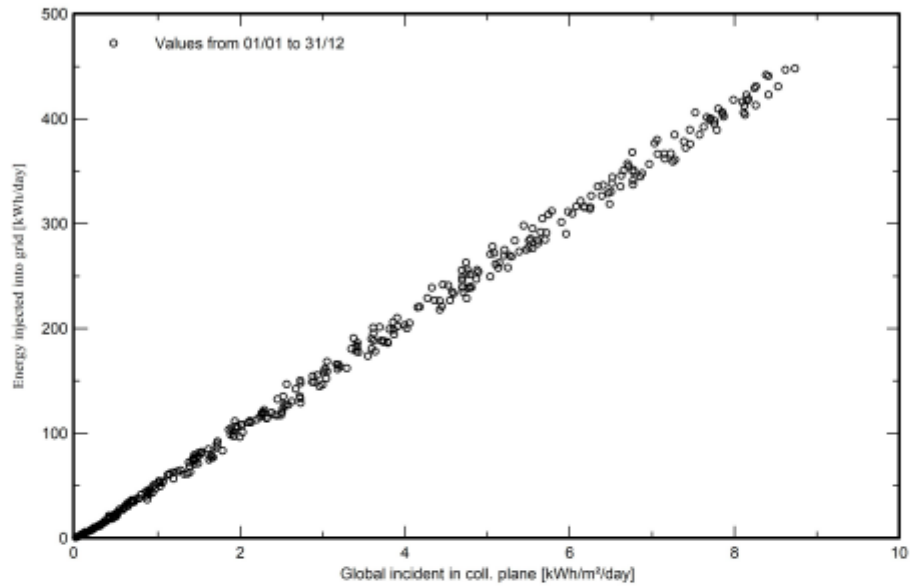
PVsyst V7.1.0
Simulation date:
13/12/20 02:06
with v7.1.0

Project: Azuolynas

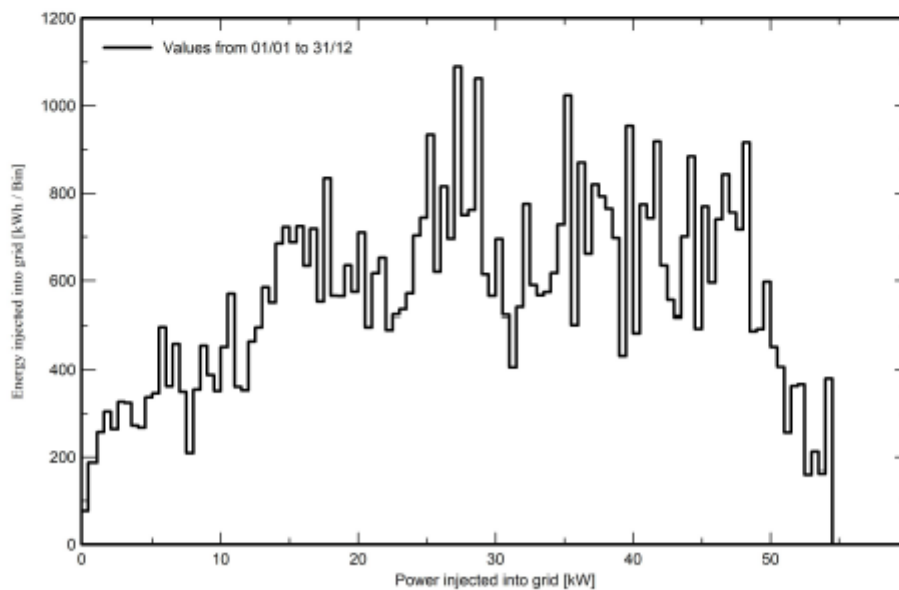
Variant: Moduliai su tvirtinimo konstrukcijomis

Special graphs

Daily Input/Output diagram



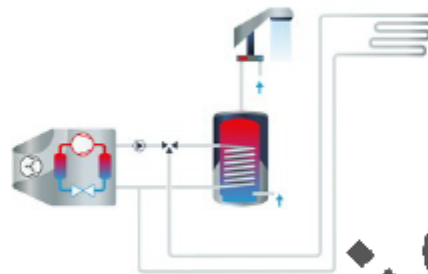
System Output Power Distribution



8 priedas. „Geo T*SOL“ modeliavimo ataskaita naudojant 53,6 kW EcoTouch Air Kaskade 5060.5 šilumos siurblių

Šilumos siurblys "oras-vanduo" 1variantas

System:HP system with space heating and DHW



Results of the annual simulation

Utilized energy / Year

Space Heating:	14 522 kWh
Domestic hot water:	63 614 kWh

Energy generated / Year

Supplied by heat pump:	78 375 kWh
------------------------	------------

Seasonal Heat Performance Factors (from simulation)

SPF of heat pump:	3,5
SPF of heat pump system:	3,5

Power consumption / Year

Heat pump:	22 677 kWh
Auxiliary energy:	0 kWh

Losses / Year

GeoT*SOL 2020 (R1) (Trial version)

2020-12-05

Valentin Software GmbH

Page 2 of 7

Šilumos siurblys "oras-vanduo" 1variantas

Tank losses: 838 kWh

Primary energy savings and CO2 prevention

Primary energy savings: 64 200 kWh

CO2 emissions avoided: 15 890 kg

Trial version

Site data

Climate data

Climate data record:	Juodkrante
Annual sum of global irradiation:	1 029 kWh/m ²
Longitude:	-21,12 ° E
Latitude:	55,54 ° N

Domestic Hot Water

Average daily usage:	3 765 l
Target temperature:	50 °C
Cold water temperature in February:	5,0 °C
Cold water temperature in August:	11,0 °C
Circulation:	none

Space Heating

Heated useable area:	342 m ²
Indoor temperature:	19,0 °C
Heating limit temperature:	12 °C
Low temperature loop proportion:	100,0 %
Feed/Return of low temperature loop:	35,0/28,0 °C
Requirement type:	Heating load
Heating load:	11,4 kW
Resulting heating output (yearly total):	12 994 kWh

System components

Heat pump

Manufacturer:	WATERKOTTE GmbH
Model:	EcoTouch Air Kaskade 5060.5
Construction type:	Air/Water
Nominal heating power:	53,6 kW
Electr. nominal output:	11,9 kW
Mode of operation:	monovalent

Off-periods

No off-periods defined.

Ventilator

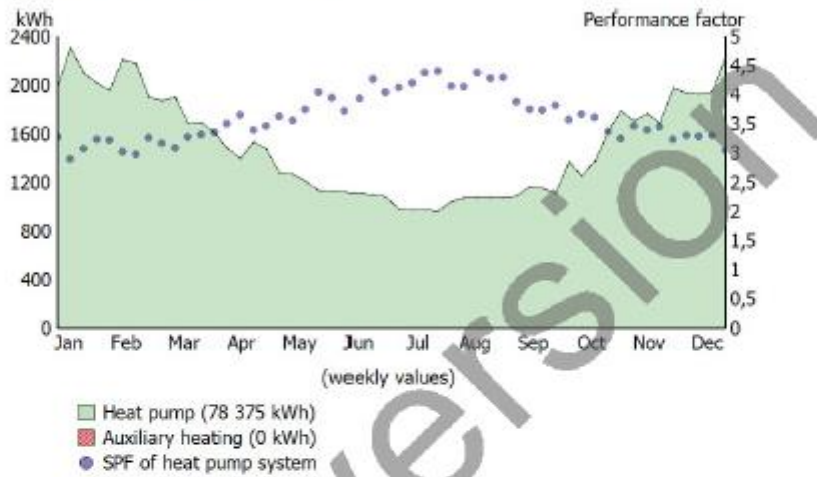
Nominal output:	0,100 kW
Flow rate:	20 336 m ³ /h

DHW tank

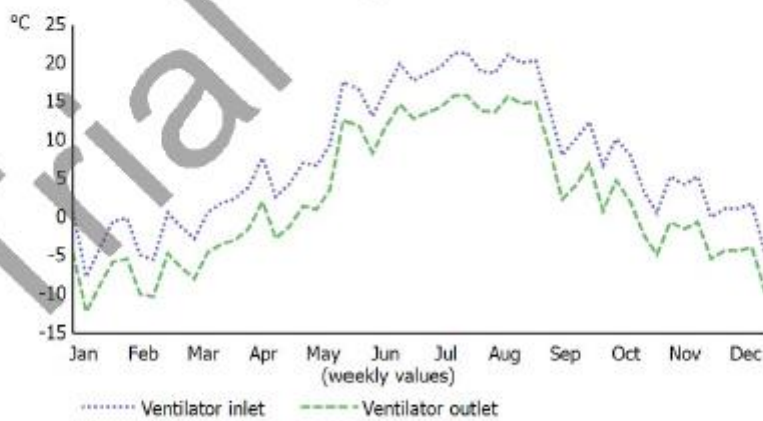
Volume:	700 l
Insulation thickness:	100 mm

Diagrams

Generated energy and performance factor



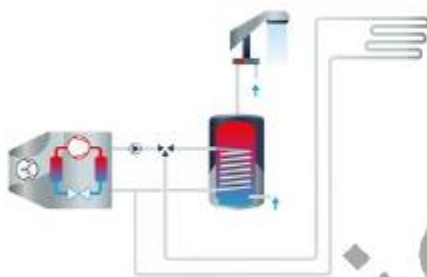
Air temperatures



9 priedas. „Geo T*SOL“ modeliavimo ataskaita naudojant 59,6 kW Maxa – Advantix S.p.A šilumos siurblių

Šilumos siurblys "oras-vanduo" 2variantas

System:HP system with space heating and DHW



Results of the annual simulation

Utilized energy / Year

Space Heating:	14 548 kWh
Domestic hot water:	64 023 kWh

Energy generated / Year

Supplied by heat pump:	78 810 kWh
------------------------	------------

Seasonal Heat Performance Factors (from simulation)

SPF of heat pump:	2,7
SPF of heat pump system:	2,7

Power consumption / Year

Heat pump:	28 769 kWh
Auxiliary energy:	0 kWh

Losses / Year

GeoT*SOL 2020 (R1) (Trial version)

2020-12-05

Valentin Software GmbH

Page 2 of 7

Šilumos siurblys "oras-vanduo" 2variantas

Tank losses: 842 kWh

Primary energy savings and CO2 prevention

Primary energy savings: 49 044 kWh

CO2 emissions avoided: 12 138 kg

Site data

Climate data

Climate data record:	Juodkrante
Annual sum of global irradiation:	1 029 kWh/m ²
Longitude:	-21,12 ° E
Latitude:	55,54 ° N

Domestic Hot Water

Average daily usage:	3 765 l
Target temperature:	50 °C
Cold water temperature in February:	5,0 °C
Cold water temperature in August:	11,0 °C
Circulation:	none

Space Heating

Heated useable area:	342 m ²
Indoor temperature:	19,0 °C
Heating limit temperature:	12 °C
Low temperature loop proportion:	100,0 %
Feed/Return of low temperature loop:	35,0/28,0 °C
Requirement type:	Heating load
Heating load:	11,4 kW
Resulting heating output (yearly total):	12 994 kWh

System components

Heat pump

Manufacturer:	MAXA - Advantix S.p.A.
Model:	i-HP 0270 (V.415)
Construction type:	Air/Water
Nominal heating power:	59,6 kW
Electr. nominal output:	16,6 kW
Mode of operation:	monovalent

Off-periods

No off-periods defined.

Ventilator

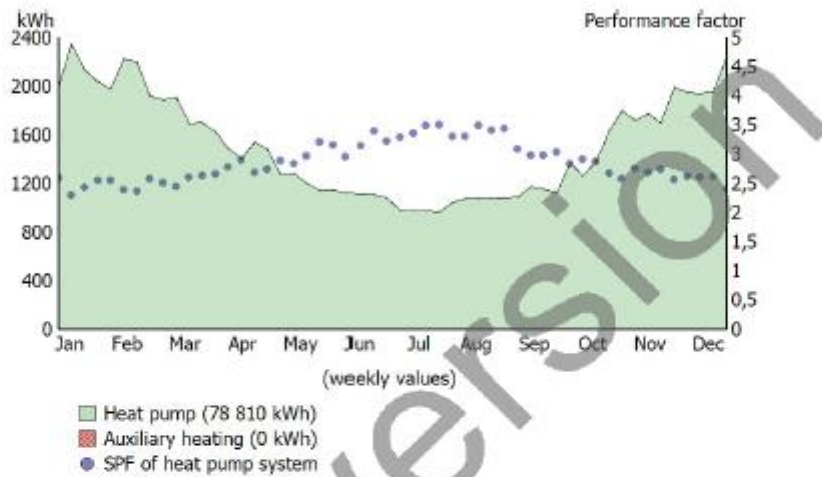
Nominal output:	0,100 kW
Flow rate:	21 001 m ³ /h

DHW tank

Volume:	700 l
Insulation thickness:	100 mm

Diagrams

Generated energy and performance factor



Air temperatures

