



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Hibridinės saulės elektrinės su šilumos siurbliu sistemos gyvenamajam namui tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Rokas Bačiulis

Projekto autorius

Prof. Gražina Startienė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Hibridinės saulės elektrinės su šilumos siurbliu sistemos gyvenamajam namui tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (kodas 6211EX073)

Rokas Bačiulis

Projekto autorius

Prof. Gražina Startienė

Vadovė

Dokt. Virginijus Vasylius

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Rokas Bačiulis

Hibridinės saulės elektrinės su šilumos siurbliu sistemos gyvenamajam namui tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Roko Bačiulio, baigiamasis projektas tema „Hibridinės saulės elektrinės su šilumos siurbliu sistemos gyvenamajam namui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Bačiulis, Rokas. Hibridinės saulės elektrinės su šilumos siurbliu sistemos gyvenamajam namui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. Gražina Startienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Saulės elektrinė, šilumos siurblys, hibridinė atsinaujinanti sistema, energijos poreikiai.

Kaunas, 2020. 67 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame darbe atliktas hibridinės sistemos, sudarytos iš saulės elektrinės ir šilumos siurblio, tyrimas. Šiame tyrime buvo nagrinėjamas hibridinės sistemos įrenginių parinkimas, jų veikimo principai ir esminiai parametrai. Sudaryta energijos poreikių nustatymo metodika ir atlikta ekonominė analizė. Didžiausią įtaką saulės elektrinės ir šilumos siurblio galios parinkimui turi elektros ir šiluminės energijos poreikių kitimas. Nagrinėjamam objektui energijos poreikiai priklauso nuo: pastato energetinio naudingumo klasės bei šildomo pastato tūrio. Taikant skirtingus saulės modulius, kurių nominalios galios nuvertėjimo charakteristika kasmet keičiasi, tiriamajam pastatui buvo nustatytas optimalus variantas. Pritaikius diskonto normą buvo apskaičiuoti atsiperkamumo parametrai ir įvertinta kokia įtaka turi elektros kainos kitimas minėtiems parametrams.

Baciulis, Rokas. Research of Hybrid Solar Power Station and Heat Pump System for a Residential House. Master's Final Degree Project / supervisor prof., Grazina Startiene; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): study field – energy engineering sciences, field group – engineering sciences.

Keywords: Solar energy plant, heat pump, hybrid renewable energy, energy needs.

Kaunas, 2020. 67.

Summary

In the final thesis was performed the research of a hybrid system consisting of a solar power plant and a heat pump. This study examined the selection of hybrid system equipment, their operating principles and essential parameters. A methodology for determining energy needs has been developed and economic analysis has been performed. The change of electricity and heat energy needs has the greatest impact on the choice of solar power plant and heat pump power. The energy needs of the building under investigation depend on: the energy efficiency class of the building and the volume of the heated building. Using different solar modules, whose rated power depreciation characteristics change every year, the most optimal option was found for the building under investigation. After applying the discount rate, the payback parameters were calculated and the impact of the change in the electricity price on the above parameters was estimated.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpos	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros analizė.....	12
1.1. Saulės energija ir jos potencialas – Lietuvoje ir pasaulyje.....	13
1.2. Šiluminės ir fotovoltinės saulės energijos sistemos	14
1.3. Saulės elektrinės	14
1.3.1. Saulės elektrinių komponentai	15
1.3.2. Saulės elektrinių tipai	17
1.3.3. Saulės modulių sandara, veikimo principas ir orientacija.....	19
1.4. Šilumos siurbliai.....	21
1.4.1. Šilumos siurbių tipai.....	21
1.4.2. Pagrindiniai šilumos siurbių parametrai.....	22
1.4.3. Šilumos siurblio oras-vanduo veikimo principas	23
1.5. Elektros energiją gaminančių vartotojų kainos Lietuvoje	24
1.6. Elektros energijos tiekimo liberalizavimas Lietuvoje	25
1.7. Hibridinės atsinaujinančios energijos sistemos tyrimų apžvalga	25
2. Hibridinės sistemos sudarančių įrenginių parinkimo metodika ir energijos poreikių nustatymas.....	27
2.1. Pastato šiluminės energijos poreikio nustatymas	27
2.2. Pastato elektros energijos poreikio nustatymas	29
2.3. Pastato energetinis naudingumas.....	30
2.4. Reikalingos šildymo sistemos galios radimas ir šilumos siurblio „oras-vanduo“ parinkimas. .	31
2.5. Elektros energijos poreikio svyravimai ir saulės elektrinės parinkimas	31
3. Tiriamojo objekto energijos poreikių nustatymas, energijos šaltinių ekonominė analizė .	33
3.1. Įrenginių parinkimo ir energijos poreikių analizė	33
3.1.1. Šiluminės energijos kiekio nustatymas	33
3.1.2. „Oras vanduo“ šilumos siurblio parinkimas.....	36
3.1.3. Elektros energijos poreikių nustatymas.....	37
3.1.4. Saulės elektrinės parinkimas	40
3.2. Saulės elektrinės atsiperkamumo tyrimas	42
3.2.1. Ekonomiškiausio mokėjimo būdo gaminančiam vartotojui parinkimas	42
3.2.2. Saulės modulių tipų ir galios nuvertėjimo ekonominis tyrimas	44
Išvados	54
Literatūros sąrašas	55
Priedai.....	59
1 priedas. Saulėtų valandų skaičius Lietuvoje [51]	59
2 priedas. Efektyvumo koeficientai [52]	59
3 priedas. VISSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 COP koeficiento ir šiluminės galios priklausomybė nuo išorinės lauko temperatūros esant skirtingoms šilumnešio temperatūromis [53]	60

4	priedas. VISSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 šilumos siurblio garso lygio priklausomybė nuo atstumo [53]	60
5	priedas. Įmonės UAB „Šildymas jums“ komercinis pasiūlymas šilumos siurbliui	61
6	priedas. VISSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 SCOP koeficiento reikšmė [53]	62
7	priedas. 12,09 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių simulatoriaus pagalba gauti rezultatai [45].....	63
8	priedas. 12,285 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių simulatoriaus pagalba gauti rezultatai [45].....	64
9	priedas. Fronius Symo 12.5-3-M įtampos keitiklio techniniai duomenys [54].....	65
10	priedas. „stiklas/plėvelė“ saulės modulio techniniai duomenys [55]	66
11	priedas. „stiklas/stiklas“ saulės modulio techniniai duomenys [56]	67
12	priedas. Komercinis UAB „Solet Technics“ pasiūlymas 12 kW pilnai sukomplektuotai saulės elektrinei su skirtingais saulės moduliais	67

Lentelių sąrašas

1 lentelė Gaminančių vartotojų atsiskaitymo būdai ir kainos [36]	24
2 lentelė STR 2.01.02:2016 Gyvenamųjų namų paskirties pastatų įvairių rodiklių vertės pastatų energinio naudingumo skaičiavimams [44].....	28
3 lentelė STR 2.01.02:2016 Reikalavimai A+ energinio naudingumo klasės pastatams [44].....	30
4 lentelė Projektinė išorės oro temperatūra pastato šildymui sistemos šilumos galiai skaičiuoti [44]	31
5 lentelė Mėnesių vidutinė oro temperatūra.....	33
6 lentelė Šiluminės energijos poreikis atskirais mėnesiais	34
7 lentelė Tiriamojo pastato nominali galia šildymo sistemai.....	36
8 lentelė VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 šilumos siurblio charakteristikos remiantis 3,4 ir 5 priedu.....	36
9 lentelė Tiriamo objekto suvartojamos elektros energijos kiekis per metus (mėnesiais).....	37
10 lentelė Šilumos siurblio VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 metinis elektros energijos poreikis, skaičiuojant 1 metodu	38
11 lentelė Šilumos siurblio VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 metinis elektros energijos poreikis, skaičiuojant 2 metodu	38
12 lentelė Mažiausia vidutinė paros oro temperatūra Klaipėdoje [47]	39
13 lentelė Saulės elektrinės generuojamos energijos naudingumo koeficiento priklausomybė nuo kampo	40
14 lentelė Nagrinėjamo namo saulės modulių pagrindiniai parametrai.....	42
15 lentelė Skaičiavimams naudojami tiriamojo pastato saulės elektrinės parametrai	43
16 lentelė Optimalaus mokėjimo būdo parinkimo rezultatai už sugeneruotos saulės jėgainės elektros energijos kiekį, kuris tiekiamas į elektros tinklus „pasaugojimui“ – (neatsižvelgiant į likutinę saulės modulių nominalios galios mažėjimą kasmet) [36].....	44
17 lentelė Ekonomiškiausio mokėjimo plano skaičiavimo duomenys, už įsigytą elektros energiją [49]	44
18 lentelė Saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių apskaičiuoti atsiperkamumo tyrimo rezultatai tiriamam pastatui	46
19 lentelė Saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių apskaičiuoti atsiperkamumo tyrimo rezultatai tiriamajam pastatui	48
20 lentelė Nagrinėjamo pastato 12 kW saulės jėgainės atsiperkamumo rezultatai, taikant dviejų skirtingų saulės modulių tipus	50
21 lentelė Nagrinėjamo pastato 12 kW saulės jėgainės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių atsiperkamumo rezultatų priklausomybė keičiantis elektros kainai	52
22 lentelė Nagrinėjamo pastato 12 kW saulės jėgainės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių atsiperkamumo rezultatų priklausomybė keičiantis elektros kainai	53

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Pasaulinių elektros energijos gamybos apimčių 2017 m. ir prognozuojamų 2040 m. palyginimas, % [3].....	12
1.2 pav. Energijos gamybos Europoje 2005-2017 metais, GW [3]	12
1.3 pav. Vidutinis metinis AEŠ augimas, % [3]	13
1.4 pav. Saulės energijos potencialas Europoje, kWh/m ² [7]	13
1.5 pav. Skirtingų tipų saulės moduliai [13]	15
1.6 pav. Skirtingų tipų elektros srovės keitikliai [13]	16
1.7 pav. Skirtingų tipų akumuliatoriai [13].....	16
1.8 pav. Dvipusė elektros energijos apskaitos fiksavimo prietaisas [15].....	17
1.9 pav. „Off grid“ principinė sistemos schema [17].....	17
1.10 pav. „On grid“ sistemos principinė schema [17]	18
1.11 pav. Hibridinės saulės elektrinės principinė schema [19].....	18
1.12 pav. Saulės modulio sandara [21]	19
1.13 pav. Principinė fotoelemento veikimo schema [22].....	19
1.14 pav. Saulės modulio orientacija į saulę [8]	20
1.15 pav. Optimalus saulės modulių posvyrio kampas [23]	21
1.16 pav. Pagrindiniai šilumos siurblių tipai (a – oras/vanduo, b – vanduo/vanduo, c – žemė/vanduo) [17].....	22
1.17 pav. SEER ir SCOP temperatūriniai taškai [30]	23
1.18 pav. Šilumos siurblio veikimo principinė schema [34].....	24
2.1 pav. Principinė saulės elektrine ir šilumos siurbliu „oras-vanduo“ schema [42].....	27
2.2 pav. Saulės elektrinės ir šilumos siurblio „oras vanduo“ pasirinkimo algoritmas.....	29
3.1 pav. Tiriamasis objektas.....	33
3.2 pav. Nagrinėjamo pastato šiluminės energijos poreikis atskirais mėnesiais, kWh.....	35
3.3 pav. Nagrinėjamo pastato reikalingas energijos kiekis šildymui ir karšto vandens ruošimui atskirais mėnesiais, kWh	35
3.4 pav. Nagrinėjamo gyvenamojo pastato suvartojamas vidutinis elektros energijos kiekis, atskirais mėnesiais, neįvertinant šilumos siurblio darbo, kWh.....	37
3.5 pav. Šilumos siurblio VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 elektros energijos sunaudojamas kiekis, pridėdant papildomą kaitinimo elemento darbą, kWh	39
3.6 pav. Tiriamojo namo elektros energijos poreikis skirtingais mėnesiais, kWh.....	40
3.7 pav. 12,09 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių generuojama elektros energija atskirais mėnesiais, kWh.....	41
3.8 pav. 12,285 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių generuojama elektros energija atskirais mėnesiais, kWh.....	41
3.9 pav. Fronius Symo 12.5-3-M įtampos keitiklio funkcinė schema [48]	42
3.10 pav. Tiriamojo pastato elektros energijos poreikio ir saulės elektrinių su skirtingais moduliais generacijų dinamikos, kWh	43
3.11 pav. Elektros energijos ekonomiškiausio mokėjimo plano parinkimas pagal metinį elektros energijos suvartojimą, Eur.....	45
3.12 pav. Dviejų tipų saulės modulių generuojamas elektros energijos sumažėjimas skirtingu laikotarpiu, kWh	50

Santrumpos

Santrumpos:

AEŠ – atsinaujinantys energijos šaltiniai;

PV – fotovoltinis (angl. photovoltaic);

PSH – saulės apšvieta piko valandomis (angl. peak sun hours);

ES – Europos Sąjunga;

EER – Energijos efektyvumo koeficientas;

COP – Energijos transformavimo koeficientas (angl. coefficient of performance);

SCOP – Sezoninis energijos transformavimo koeficientas (angl. seasonal coefficient of performance);

SEER – Sezoninis energijos efektyvumo koeficientas;

VERT – Valstybinė energetikos reguliavimo taryba;

ESO – Energijos skirstymo operatorius;

DC – Nuolatinė srovė (angl. direct current);

AC – Kintanti srovė (angl. alternating current);

MPPT – Maksimalios galios sekiklis (angl. maximum power point tracking).

Įvadas

Nuo industrializacijos atsiradimo pasaulio gyventojų skaičius sparčiai auga. Maisto gamybos, medicinos inovacijų ir kitų infrastruktūrų pažangos derinys lėmė tai, kad žmonių gimimas gerokai viršijo mirčių skaičių precedento neturiniu žmonijos istorijoje lygiu. Dėl spartaus visuomenės vystymosi technologiškai, eksponentiškai auga ir individų energijos poreikis, dėl ko visuomenė tampa priklausoma nuo elektros energijos. Ši priklausomybė jau 2050 m. gali būti šoktelėjusi net kelis kartus lyginant su dabartine situacija [1].

Spartaus pasaulio gyventojų skaičiaus augimo padariniai yra labai svarbūs pasaulio ekonomikai, politikai ir, be abejo, aplinkos tvarumui. Paminėtų padarinių priežastys daro įtaką visuotiniam atšilimui, oro taršai, rūgštiesiems krituliams, ozono sluoksnio ardymui, miškų naikinimui bei radioaktyviųjų medžiagų išmetimui. Norint sumažinti minėtų veiksnių žalą ir norint matyti šviesią energijos ateitį su minimaliu poveikiu aplinkai, šios problemos turi būti sprendžiamos.

Energijos išgavimas iš atsinaujinančių šaltinių yra viena iš priemonių, kaip sumažinti neigiamą poveikį aplinkai. Šiuo metu populiariausi AEŠ yra saulės energija, vėjo energija, bioenergija, geoterminė energija. Priklausomai nuo vietovės ir joje vyraujančių geologinių ir meteorologinių sąlygų, galima naudoti vieną ar net kelis kombinuotus AEŠ, kurie generuotų šilumos ar elektros energiją, padarydami ženkliai mažesnę žalą aplinkai, siekiant mažinti iškastinio kuro naudojimą, anglies dvideginio (CO₂) ir kitų, šiltnamio efektą sukeliančių, dujų koncentracijas atmosferoje. Dar didesnis sistemos efektyvumas pasiekiamas AEŠ derinant kartu su šilumos siurbliais. Tokios sistemos yra patrauklios ne tik tuo, jog daro menką neigiamą poveikį aplinkai, tačiau taip pat valstybės skatina jų naudojimą ir dalinai tai finansuoja, mažindama sistemos atsipirkimo periodą. Taip pat verta paminėti, jog įsigaliojus elektros energijos rinkos liberalizavimui, atsiras galimybė, esant elektros energijos, tiekiamos iš atsinaujinančių energijos šaltinių, trūkumui, įsigyti elektros energiją iš tiekėjo pigiau lyginant su dabartine situacija [2]. Dėl skirtingų atsinaujinančios energijos elektrinės ir šilumos siurblio charakteristikų ir priklausomybės nuo aplinkos veiksnių, prieš kombinuojant tokią sistemą būtina numatyti išsamią įrenginių parinkimo ir energijos poreikių nustatymo metodiką.

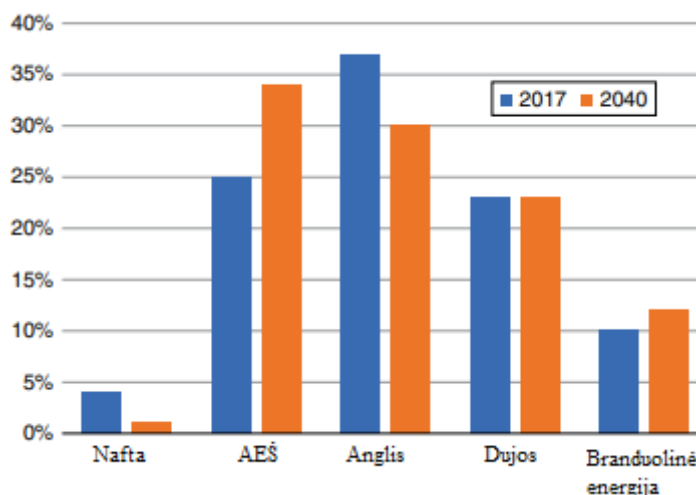
Remiantis aukščiau paminėtų problemų aktualumu, suformuotas šio darbo tikslas — ištyrus hibridinę atsinaujinančią energijos sistemą, parinkti optimalų saulės elektrinės su šilumos siurbliu gyvenamajam namui variantą

Darbo uždaviniai:

1. išnagrinėti hibridinės atsinaujinančios energijos sistemos komponentus, jų veikimo principus ir esminius parametrus;
2. sudaryti energijos poreikių nustatymo ir hibridinės sistemos sudarančių įrenginių parinkimo metodiką gyvenamiesiems namams Lietuvos regione ir numatyti jiems keliamus energinio efektyvumo reikalavimus;
3. iširti projektuojamos hibridinės sistemos, sudarytos iš saulės elektrinės ir šilumos siurblio „oras – vanduo“, darbo charakteristikas, bei pagal nustatytus kriterijus rasti optimalų variantą analizuojamam namui;
4. atlikti gyvenamajam namui parinktos saulės elektrinės sudarytos iš skirtingų saulės modulių „stiklas – stiklas“ ir „stiklas – plėvelė“ ekonominę analizę.

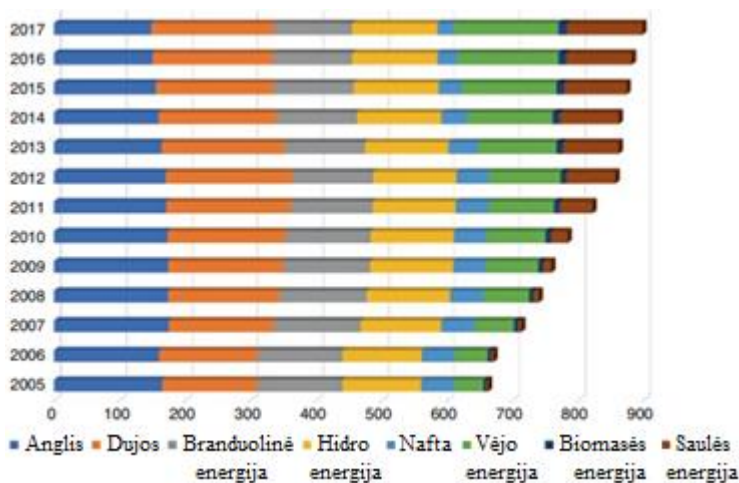
1. Literatūros analizė

Dabartinės energetikos sistemos yra centralizuotos ir pagrįstos iškastinio kuro deginimu. Tačiau susiduriama su problema, kadangi iškastinis kuras neatsinaujina ir naudojant jį išmetama daugybė šiltnamio efektą sukeliančių junginių, kurie daro neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Be to, kintančios iš iškastinio kuro gaminamų degalų kainos ir politiniai konfliktai padarė didelę įtaką energetiniam saugumui ir sukūrė papildomą pretekstą ieškoti neišsemiamų ir ekologiškesnių energijos šaltinių [3].

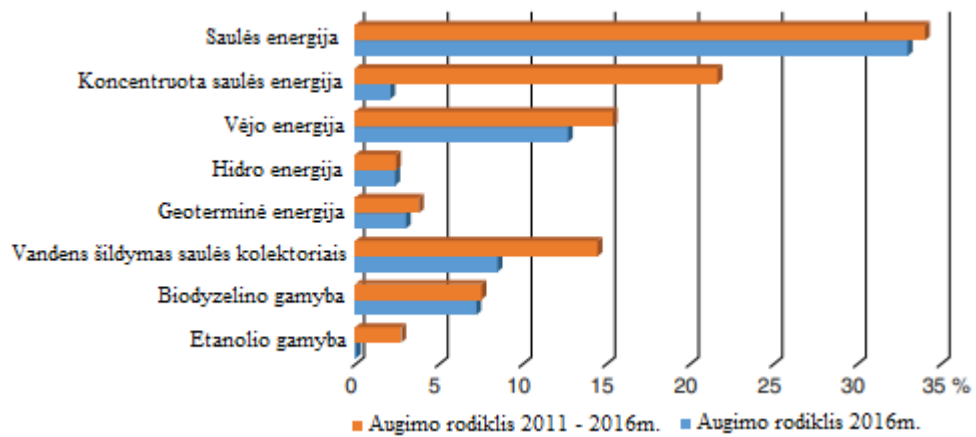


1.1 pav. Pasaulinių elektros energijos gamybos apimčių 2017 m. ir prognozuojamų 2040 m. palyginimas, % [3]

Atsinaujinantys energijos šaltiniai (AEŠ) visame pasaulyje sulaukia vis daugiau dėmesio kaip švarūs ir tvarūs energijos šaltiniai dabartinėms ir būsimoms žmonių kartoms. Manoma, kad 2030 m. elektros energijos pagaminamas kiekis iš AEŠ aplenkis iš anglies pagamintą elektros energijos kiekį ir 2040 m. taps didžiausias elektros energijos šaltinis, kuris sudarys apie 35 % visos pagamintos energijos (1.1 paveikslas) [4]. AEŠ panaudojimo augimo tempai pavaizduoti 1.2 ir 1.3 paveiksluose.



1.2 pav. Energijos gamybos Europoje 2005-2017 metais, GW [3]

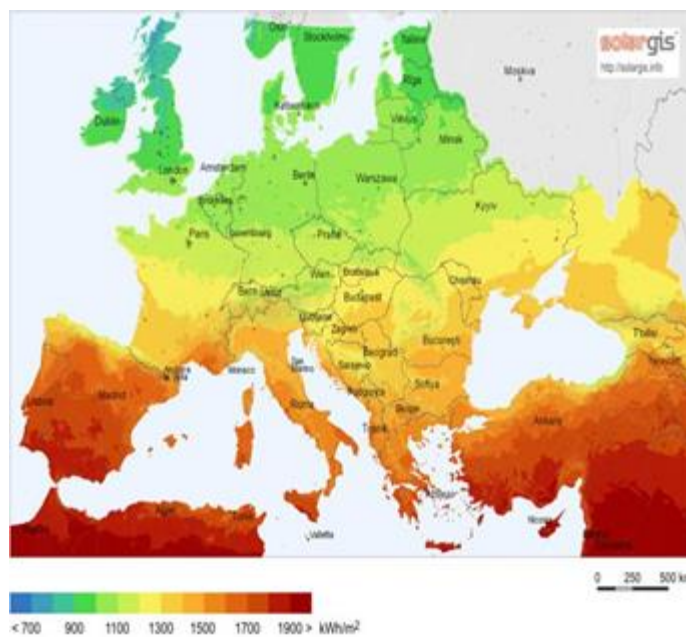


1.3 pav. Vidutinis metinis AES augimas, % [3]

Remiantis 1.2 paveikslu galime pastebėti, kad saulės ir vėjo energijos augimo potencialai buvo didžiausi. Atsižvelgiant į 1.3 paveiksle pateiktus duomenis saulės energijos augimo rodiklis 2016 metais minimaliai skyrėsi lyginant su 2011-2016 m. laikotarpiu.

1.1. Saulės energija ir jos potencialas – Lietuvoje ir pasaulyje

Saulės energija yra pats pajėgiausias atsinaujinantis energijos šaltinis. Ši energija žemę pasiekė nuo pat jos susiformavimo. Saulės energijos dydis yra kelis tūkstančius kartų didesnis lyginant su kitais atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Sakoma, kad teorinis metinis pasaulio saulės energijos potencialas yra apie 100 kartų didesnis už vėjo energijos potencialą ir apie 12 000 kartų – už hidroenergijos potencialą [5], tačiau saulės energijos potencialas išnaudojamas mažiausiai. 1.4 paveiksle pavaizduotas fotovoltinės saulės energijos potencialas, krentantis į Europą. Kaip matoma, Lietuvos geografinė padėtis nėra tokia palanki išgauti energijos iš saulės kaip šalyse, esančiose arčiau ekvatoriaus. Saulės energija, kuri krenta į žemės paviršių Lietuvoje, išsisklaido didesniame plote nei geografinėse platumose, kuriose vidurdienį saulė stovi zenite. Lietuvoje metinis saulės energijos kiekis, tenkantis 1 m², kiek didesnis nei 1000kwh[6].



1.4 pav. Saulės energijos potencialas Europoje, kWh/m² [7]

Saulėje vykstančių termobranduolinių reakcijų sukeltas optinis-energinis reiškinys dažniausiai vadinamas saulės spinduliuote. Saulės spinduliuotė skirstoma į tris tipus: tiesioginė, sklaidžioji, visuminė. Kiekybiškai saulės spindėjimas, naudojamas saulės energetikoje, įvertinamas apšvieta. Ji įvertinama kaip saulės spinduliuotės galios tankis ir matuojama vatais kvadratiniam metrui (W/m^2). Apytiksliai apšvieta proporcinga apšviestumui, vadinasi kuo didesnė apšvieta, tuo didesnis apšviestumas. Saulės apšvieta viršutiniame atmosferos sluoksnyje sudaro $1360 W/m^2$.

Lietuvos ir kitų šalių hidrometeorologijos stotys matuoja saulės spindėjimo trukmę, kuri išreiškiama valandomis per dieną (dekadą, mėnesius, metus). Naudojantis šiais duomenimis, galima tiksliai nustatyti vietovės saulės energetinius išteklius. Vidutinės daugiametės saulės spindėjimo trukmės įvairiuose Lietuvos vietose pateiktos 1 priede [8].

1.2. Šiluminės ir fotovoltinės saulės energijos sistemos

Yra du pagrindiniai saulės energijos sistemų tipai:

- Šiluminės saulės energijos sistemos;
- Fotovoltinės saulės energijos sistemos.

Tiesioginis saulės šilumos naudojimas šildymui yra labai sena ir nebrangi technologija. Šiluminės saulės energijos sistemos yra ypatingo tipo šilumokaičiai, naudojami absorbuoti gaunamą saulės energiją, paversti ją šiluma ir pernešti į saulės kolektoriaus darbinį skystį. Saulės kolektoriaus darbinis skystis neša surinktą saulės energiją į įrenginį arba į šiluminės energijos kaupimo baką, kuris bus naudojamas dienos, nakties ar debesuotumo poreikiams patenkinti. Saulės kolektoriaus šiluminės savybės labai prisideda prie bendros šiluminės saulės energijos sistemos eksploatacijos, todėl saulės kolektoriai yra pagrindiniai bet kurios saulės sistemos komponentai. Įvairių tipų saulės kolektoriai, įskaitant plokščiuosius, stiklinius vamzdinius taip pat ir U formos yra naudojami šiluminėse saulės energijos sistemose [9].

Fotovoltinės (PV) saulės energijos sistemos yra kietojo kūno įtaisai, kurie saulės energiją, tiesiogiai paverčia elektra be šilumos variklio ar besisukančios įrangos. Fotoelektriniai elementai yra pagaminti iš įvairių puslaidininkių, kurie yra tik vidutiniškai geri elektros laidininkai. Dažniausiai naudojamos medžiagos yra silicis (Si) ir kadmio sulfido (CdS), vario sulfido (Cu_2S) ir galio arsenido (GaAs) junginiai. Šie sudedamieji elementai yra supakuoti į modulius, kurie apšviečiami gamina tam tikros įtampos srovę. PV sistemos yra priklausomos nuo saulės spinduliuotės, neturi judančių dalių, yra modulinės, kad atitiktų bet kokio masto galios reikalavimus, yra patikimos, ilgai tarnauja. Fotovoltinės sistemos gali būti naudojamos atskirai arba kartu su kitais elektros energijos šaltiniais. Fotoelektrinės sistemos gali tiekti elektros energiją nuotolinio maitinimo, nuotolinio stebėjimo, apšvietimo, vandens siurbimo įrenginiams, taip pat gali būti naudojamos baterijų įkrovimui [10]. Fotovoltinė atsinaujinanti energija teikia milžinišką naudą, nes yra neišsenkantis energijos šaltinis, kuris padeda užtikrinti energetinį saugumą, stabilias energijos rinkos kainas, sukuria naujas darbo vietas ir kitą ekonominę naudą.

1.3. Saulės elektrinės

Saulės elektrinių standartizuotas veikimas kartu su elektros tinklu yra svarbus metodas, kadangi tai optimizuoja pastato energijos balansą, pagerina saulės elektrinės sistemos ekonomiškumą, sumažina eksploatacinius kaštus, vartotojui sukuria didesnę pridėtinę vertę [11]. Visos saulės elektrinės veikia

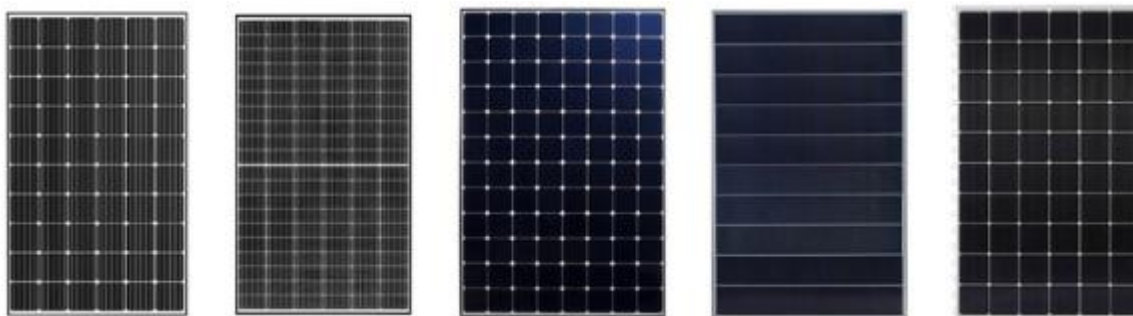
tais pačiais pagrindiniais principais. Pirmiausia apšvietus saulės modulius jie saulės energiją konvertuoja į nuolatinės srovės energiją ir tai yra vadinama fotovoltiniu efektu. Nuolatinės srovės energiją galima laikyti akumuliatoriuose arba saulės keitiklio pagalba paversti į kintamos srovės energiją, kuri gali būti naudojama elektros energijos reikalaujantiems prietaisams. Atsižvelgiant į sistemos tipą, pagaminta perteklinė saulės energija gali būti tiekiami į elektros tinklą pardavimui arba „pasaugojimui“.

1.3.1. Saulės elektrinių komponentai

Daugelis saulės fotoelektrinių sistemų yra sudarytos iš kintančio modulių skaičiaus. Tai leidžia vartotojui bet kuriuo metu kontroliuoti sistemos galią pagal esamus poreikius. Be minėtų modulių, fotoelektrinėms sistemoms įtaką daro taip pat ir kitos sudedamosios dalys, kurios saugiai ir efektyviai paskirsto, kaupia elektrą [12]. Pagrindinės minėtos sudedamosios saulės elektrinės dalys:

- saulės moduliai;
- keitiklis;
- baterijos;
- dvipusė elektros energijos apskaita.

Daugelį saulės modulių sudaro silicio turintys fotoelektriniai elementai, kurie iš saulės energijos generuoja nuolatinės srovės (DC) elektrą. Pavieniai elementai yra sujungti tarpusavyje kabeliais. Saulės moduliai yra montuojami eilėmis, kad būtų sukurtas vadinamasis saulės kolektorius. Sunaudotos saulės energijos kiekis priklauso nuo daugelio veiksnių, įskaitant saulės kolektorių orientaciją ir pasvirimo kampą, saulės kolektoriaus efektyvumą, taip pat visus nuostolius, atsirandančius dėl šešėlio, nešvarumų ir aplinkos temperatūros. 1.5 paveiksle pateikti skirtingų tipų saulės moduliai.



1.5 pav. Skirtingų tipų saulės moduliai [13]

Saulės moduliai geba generuoti energiją debesuotu ir apsiniaukusiu oru, tačiau energijos kiekis priklauso nuo debesų „storio“ ir aukščio, o tai lemia, kiek išsklaidytos šviesos gali praeiti. Šviesos energijos kiekis yra žinomas kaip saulės spinduliuotė. Paprastai apskaičiuojamas visos dienos vidurkis, naudojant terminą PSH. Saulės apšvietos piko valandomis (PSH) kiekis arba vidutinės saulės šviesos valandos per metus gali labai skirtis, atsižvelgiant į lokaciją.

Saulės moduliai generuoja nuolatinę elektros srovę (DC), kurią reikia pakeisti į kintamos srovės elektrą (AC), kad ją būtų galima naudoti pagal paskirtį. Tai yra pagrindinis keitiklio vaidmuo. Keitiklių sistemoje saulės kolektorių plokštės yra sujungtos nuosekliai, o kolektorių generuojama nuolatinė elektros srovė tiekiami į keitiklį, kuris paverčia nuolatinę elektros srovę į kintamą. Mikro keitiklių sistemoje kiekvienas modulis turi savo keitiklį, pritvirtintą prie galinės modulio pusės.

Kolektorius gamina nuolatinę srovę, tačiau ji yra paverčiama į kintamąją ir tiekiamą tiesiai į elektros skirstomąjį skydą.



1.6 pav. Skirtingų tipų elektros srovės keitikliai [13]

Taip pat yra sudėtingesnių elektros srovės keitiklių sistemų, naudojančių mažos galios optimizavimo įtaisus, pritvirtintus prie kiekvieno saulės kolektoriaus galo. Galios optimizavimo įtaisai gali stebėti ir valdyti kiekvieną modulį atskirai ir užtikrinti, kad kiekvienas iš jų veiktų maksimaliu efektyvumu bet kokiomis sąlygomis [13].

Saulės energiją kaupiantys akumulatoriai yra dviejų pagrindinių rūšių: švino-rūgšties (AGM ir gelis) ir ličio jonų. Yra keletas kitų tipų, tokių kaip redokso srauto baterijos ir natrio jonų, tačiau daugumoje šiuolaikinių energijos kaupimo sistemų naudojamos daugkartinio įkrovimo ličio jonų baterijos. Jos yra įvairių formų ir dydžių, taip pat minėtas baterijas galima konfigūruoti. Skirtingų tipų akumulatoriai pavaizduoti 1.7 paveiksle.



1.7 pav. Skirtingų tipų akumulatoriai [13]

Baterijų talpos yra matuojamos ampervalandėmis (Ah) arba kilovatvalandėmis atitinkamai pagal tipą. Tačiau ne visa akumuliatorių talpa gali būti panaudojama iškart. Ličio jonų baterijos gali tiekti iki 90% turimos energijos per dieną, kai tuo tarpu švino rūgšties akumulatoriai - 30-40%. Švino rūgštiniai akumulatoriai gali būti iškrauti visiškai norint atstatyti baterijų talpą [13].

Įprastoje saulės kolektorių sistemoje kintama elektros srovė iš saulės keitiklio yra siunčiama į skirstomąjį skydą, kur toliau ši energija yra suvartojama pagal vartotojo poreikius. Perteklinė energija yra kaupiama akumuliatoriuose arba siunčiama į tinklą ir tai yra vadinama dvipusė elektros energijos apskaita (net metering) [14]. Minėtos apskaitos fiksavimo prietaisas pavaizduotas 1.8 paveiksle. Yra šalių kurios naudoja bendrąją apskaitą (gross metering), kur visa pagaminta saulės energija yra tiekiamą į elektros tinklą.



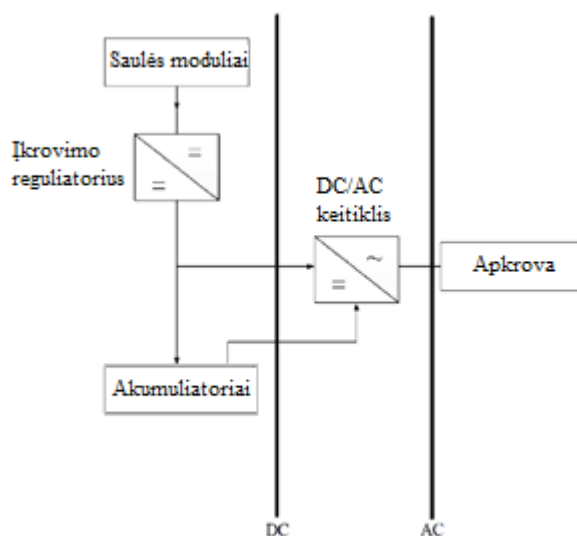
1.8 pav. Dvipusė elektros energijos apskaitos fiksavimo prietaisas [15]

1.3.2. Saulės elektrinių tipai

Pagal parinktus saulės elektrinės komponentus ir priklausomai ar saulės sistema prijungta prie tinklo ar ne yra išskiriami 3 saulės elektrinių tipai:

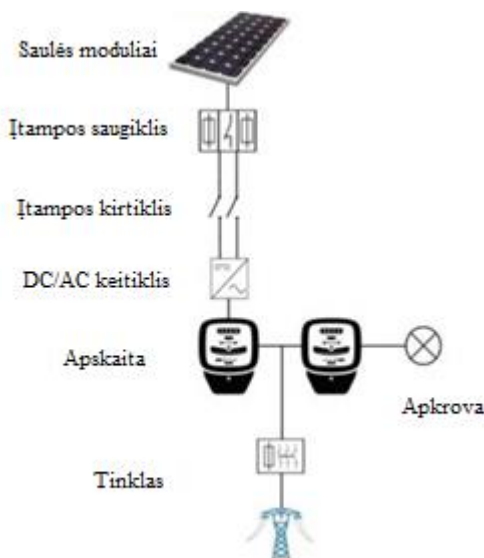
1. „Off grid“ saulės jėgainė;
2. „On grid“ saulės jėgainė;
3. Hibridinė saulės jėgainė.

„Off grid“ tipo saulės jėgainės - tai prie elektros tinklo neprijungtos elektrinės. Tokios sistemos žinomos kaip nepriklausomos nuo tinklo, tačiau jos turi būti projektuojamos taip, kad patenkintų vartotojo metinius energetinius poreikius net ir esant mažai saulės spinduliutei. Principinė technologinė „off grid“ sistemos schema pavaizduota 1.9 paveiksle. Dėl minėtos priežasties tokio tipo sistemos reikalauja akumuliatorių arba papildomų elektros generavimo šaltinių (elektros generatorių). Dėl šių savybių „off grid“ sistemos tampa brangesnės, sudėtingesnės projektavimo atžvilgiu, tačiau nesant galimybei prisijungti prie elektros tinklo, tai gali būti vienintelė išeitis aprūpinti vartotojus elektros energija [16].



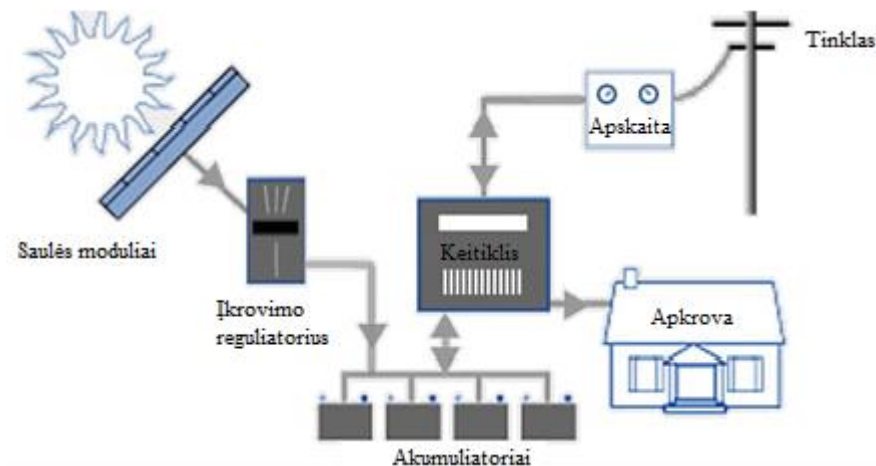
1.9 pav. „Off grid“ principinė sistemos schema [17]

Saulės energijos sistemos, kurios generuoja elektros energiją naudodamos saulės energiją ir yra tiesiogiai prijungtos prie komunalinių energijos tinklų, vadinamos „on grid“ sistemomis (1.10 pav.). Šios sistemos perduoda saulės energijos sistemos generuojamą perteklinę elektros energiją į komunalinių paslaugų tinklą jos „pasaugojimui“. Šios sistemos veikia bendradarbiaujant su elektros tinklais. Tuo atveju, kai nėra pakankamai saulės šviesos ir saulės elektrinė nėra pajėgi generuoti reikiamo kiekio elektros energijos, kad būtų patenkinti vartotojo poreikiai, elektra yra perkama tiesiogiai iš elektros tiekėjo. „On grid“ sistemos gali būti montuojamos su dvipuse elektros energijos apskaita arba be jos. Nutrūkus elektros energijos tiekimui iš komunalinių elektros energijos tinklų, šios sistemos veikimas sustoja [18].



1.10 pav. „On grid“ sistemos principinė schema [17]

Šiuolaikinės hibridinės saulės energijos sistemos apjungia „on grid“ ir „off grid“ saulės jėgaines ir gali būti įvairių formų bei konfigūracijų. Dėl mažėjančių akumuliatorių rinkos kainų, sistemos, kurios yra prijungtos prie elektros energijos tinklo, gali pradėti naudotis akumuliatoriais kaupiti saulės jėginių sugeneruotai perteklinei energijai. Kai perteklinė energija, kuri kaupiama akumuliatoriuose, suvartojama ir saulės jėginė nesugeneruoja reikiamo kiekio elektros energijos atitinkamu momentu, elektra pradeda vartoti tiesiogiai iš tinklo. Principinė hibridinės saulės energijos sistemos schema pavaizduota 1.11 paveiksle [19].



1.11 pav. Hibridinės saulės elektrinės principinė schema [19]

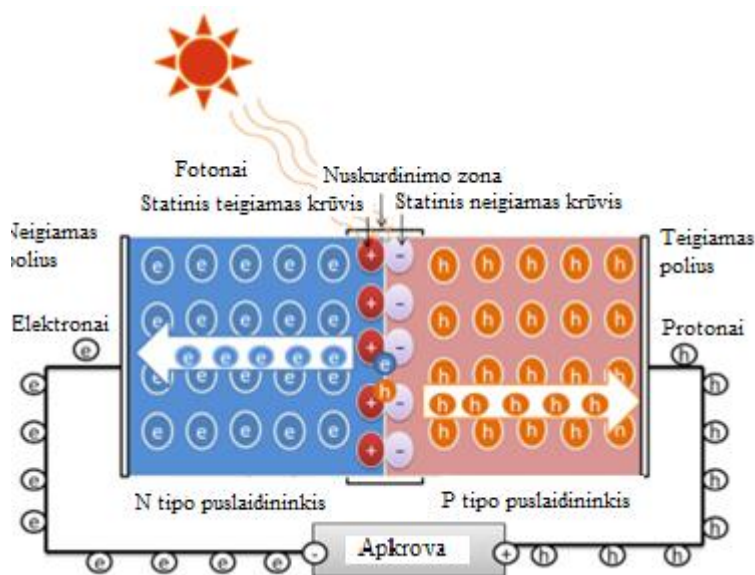
1.3.3. Saulės modulių sandara, veikimo principas ir orientacija

Rinkoje yra įvairiausių saulės modulių, kurie yra sudaryti iš skirtingų medžiagų, tačiau pati sandara išlieka beveik visiems moduliams vienoda. Trumpai tariant, saulės moduliai yra sudaryti iš fotoelektrinių elementų, kurie yra apsaugoti stiklu priekyje ir plastikumu gale. Visa tai yra patalpinta vakuume ir padengta kuo skaidresniu polimeru [20]. Saulės modulio sandara pateikta 1.12 paveiksle.



1.12 pav. Saulės modulio sandara [21]

Fotoelektrinis reiškinys yra procesas, kuriuo metu absorbuota saulės energija PV elemente yra paverčiama elektros energija. Šio proceso metu nėra išskiriama šiltnamio efektą sukeliančių dujų, taip saugant aplinką. Fotono energija yra absorbuojama nano dalelėmis ir yra perduodama atomo elektronams. Principinis PV elemento veikimo principas parodytas 1.3 paveiksle.



1.13 pav. Principinė fotoelemento veikimo schema [22]

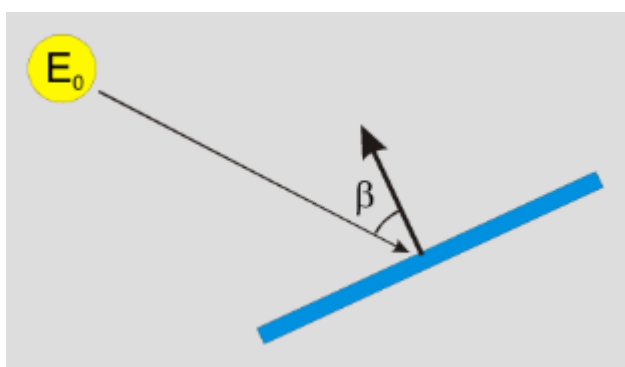
Kai du p ir n tipo puslaidininkiai yra sujungiami, tarp jų atsiranda elektrinis potencialas, kuris yra sukuriamas, kai iš n tipo puslaidininkio elektronai „bėga“ į p tipo puslaidininkį palikdami neigiamą statinį krūvį n tipo puslaidininkyje, o protonai atvirkščiai. Susijungę n ir p tipo puslaidininkių krūviai išnyksta ir tam tikrame taške sukuria nuskurdinimo sluoksnį. Šis sluoksnis sukuria elektrinį lauką, kuriam įveikti yra reikalinga saulės energija. Gavus atitinkamą dydį saulės energijos, elektronai įveikia nuskurdinimo sluoksnį ir pateka į laidumo zoną, taip palikdami „skylę“

valentinėje zonoje. Pradedą tekėti srovė, priešinga elektronų judėjimo kryptiai, kuri gali būti panaudojama energijos poreikiams patenkinti.

Labai didelę įtaką sugeneruojamam elektros energijos kiekiui turi saulės modulių pasvirimo kampas į saulę. Didžiausias naudingumo koeficientas gaunamas tada, kai saulės krintantis spindulys sudaro 90° (1.14 paveikslas) kampą (β) su fotoelektriniais moduliais. Kitu atveju saulės moduliui tenkantis energijos kiekis sumažėja [8]:

$$E = E_0 \times \cos\beta; \quad (1)$$

čia E_0 — didžiausias saulės spindulinės energijos kiekis, kai fotoelektrinio modulio plokštuma su kryptimi į saulę sudaro statųjį kampą $\beta=90^\circ$ ($\cos 90^\circ=1$).



1.14 pav. Saulės modulio orientacija į saulę [8]

Norint turėti maksimalų fotoelektrinių modulių naudingumą, reikia jį keisti atitinkamai pagal saulę. Fotoelektrinių modulių kampas turi keistis ir išlikti toks, kad sudarytų 90° laipsnių kampą su saulės krintančiais spinduliais. Tai pasiekti yra įmanoma pasitelkiant modernias technologijas, kurios geba sekti saulę ir pagaminti daugiau elektros energijos, tačiau tokios sistemos yra brangios. Siekiant sumažinti saulės elektrinės kaštus ir remiantis „Solet technics“ įmonės rekomendacijomis, dažniausiai yra parenkamas fiksuotas kampas, pagal maksimalų elektros energijos generavimą.

Optimalų saulės fotoelektrinių modulių kampą su horizontu lemia šie veiksniai:

- metų laikas;
- paros valanda;
- geografinė platumą.

Modeliuojant saulės elektrinę ir norint generuoti maksimalų energijos kiekį, jei nėra naudojamos brangios technologijos saulės sekimui, turi būti parinktas optimalus kampas į horizontą. Parenkant šį kampą yra atsižvelgiama tik į tiriamo pastato geografinę platumą. Remiantis 1.15 paveiksle pateikta informacija, galima spręsti, kad orientuotų į pietus saulės modulių optimalus kampas su horizontu yra $35-45^\circ$.

		Azimutas												
		Rytai			Pietūs							Vakarai		
		90	115	140	150	160	170	180	190	200	210	220	245	270
		-90	-65	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+65	+90
Pasvirimas (laipsniais nuo horizontalios padėties)	Horiz.	0	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%
	10	82%	85%	88%	89%	90%	90%	90%	90%	90%	89%	88%	85%	82%
	15	81%	87%	91%	92%	93%	93%	93%	93%	93%	92%	90%	86%	81%
	20	80%	87%	93%	94%	95%	96%	96%	96%	95%	94%	92%	87%	80%
	25	79%	88%	94%	96%	97%	98%	98%	97%	96%	95%	93%	87%	78%
	30	78%	88%	95%	97%	98%	99%	99%	99%	98%	96%	94%	86%	77%
	35	77%	87%	95%	97%	99%	100%	100%	99%	98%	96%	94%	86%	75%
	40	75%	86%	95%	97%	99%	100%	100%	99%	98%	96%	94%	85%	74%
	45	73%	85%	94%	97%	98%	99%	100%	99%	98%	96%	93%	83%	72%
	50	71%	83%	93%	96%	97%	98%	99%	98%	97%	94%	91%	82%	70%
	55	69%	82%	91%	94%	96%	97%	97%	96%	95%	93%	90%	80%	67%
60	67%	79%	89%	92%	94%	95%	95%	94%	93%	90%	87%	77%	65%	
70	61%	74%	83%	86%	88%	89%	89%	88%	87%	84%	81%	72%	60%	
80	55%	67%	76%	78%	80%	81%	80%	80%	79%	76%	74%	65%	54%	
Vert.	90	48%	59%	67%	69%	70%	71%	70%	70%	69%	67%	65%	57%	48%

1.15 pav. Optimalus saulės modulių posvyrio kampas [23]

1.4. Šilumos siurbliai

Šilumos siurbliai yra labai efektyvūs įrenginiai taikomi gyvenamųjų namų šildymui. Šilumos siurbliai yra ypač efektyvūs, tuo atveju, kai šildymo sistemai nėra reikalinga aukšta temperatūra, pavyzdžiui būsto grindinis šildymas, žemos temperatūros radiatoriai ir panašiai, kadangi į šias sistemas šiluma yra tiekama nepertraukiamai [24].

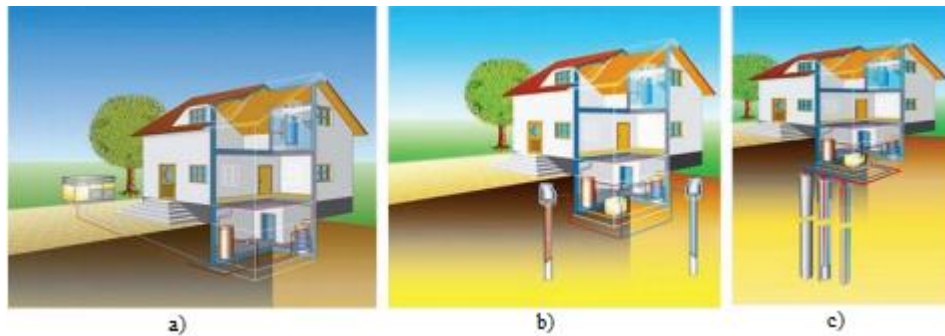
Statybos (pastatų) sektorius sunaudoja 40% visos pagaminamos energijos, o anglies dioksido (CO₂) išmetimas Lietuvoje ir kitose ES šalyse siekia 36% [25]. Apie 26% visos pagamintos energijos sunaudojama pastatų šildymui ir karšto vandens ruošimui [26]. Pastaraisiais metais EK išskėlė naują tikslą - statybos sektoriuje išmetamo anglies dioksido kiekį iki 2050m sumažinti 90% [27]. Kaip pranešama 2014/15 m. Europos darbo programoje, daugiau nei 17% ES pirminės energijos taupymo potencialo iki 2050 m. yra susiję su pastatų modernizavimo programa.

Šilumos siurblio sistemos yra nekenksmingos aplinkai, paremtos atsinaujinančios energijos technologija, kuri naudoja šilumos energiją iš žemės, oro arba vandens. Natūralus žemos temperatūros srautas yra paverčiamas į aukštesnę naudojimui tinkamą temperatūrą. Elektros energiją naudojančių šilumos siurblių pagamintas šiluminis kiekis gali būti kelis kartus didesnis nei suvartotos energijos [28].

1.4.1. Šilumos siurblių tipai

Šilumos siurbliai dažniausiai klasifikuojami pagal energijos šaltinį, funkciją, energijos tipą ir pritaikymą:

- Energijos šaltinis: oras, geoterminis, vandens, saulės šilumos, nuotekų vandens;
- Funkcija: vėsinimas, šildymas, vėsinimas ir šildymas, karšto vandens ruošimas;
- Energijos tipas maitinant šilumos siurbli: elektra, mechaninis, termiškai varomas (natūralios dujos, saulės šildomas vanduo, geoterminis vanduo);
- Pritaikymas: gyvenamasis, komercinis, pramoninis, centralizuotas šildymas [29].



1.16 pav. Pagrindiniai šilumos siurblių tipai (a – oras/vanduo, b – vanduo/vanduo, c – žemė/vanduo) [17]

1.16 paveiksle pavaizduoti pagrindiniai trys šilumos siurblių tipai. Oras - vanduo šilumos siurblys naudoja energiją iš oro, kad šildytų vandenį šildymo sistemoje. Vanduo - vanduo šilumos siurblių sistemose naudojami paviršiniai ir požeminiai vandens šaltiniai šiluminei energijai gauti. Grunto - vandens sistemos naudoja šilumą iš žemės paviršiaus, tiekdamas ją į šildymo sistemą. Gruntas - vanduo šilumos siurbliai dar kitaip vadinami geoterminiais šilumos siurbliais [17].

1.4.2. Pagrindiniai šilumos siurblių parametrai

Pagrindiniai charakteristiniai šilumos siurblių parametrai apima:

- Šilumos siurblio efektyvumo koeficientus;
- Šilumos siurblio sezoninio efektyvumo koeficientus.

Efektyvumo koeficientas – tai santykis tarp tiekiamo į patalpą arba priimamo iš patalpos šilumos srauto ir suteikiamos energijos galios. Šilumos siurblių gamintojai apibrėžia du pagrindinius efektyvumo koeficientus: EER ir COP, kurie apskaičiuojami:

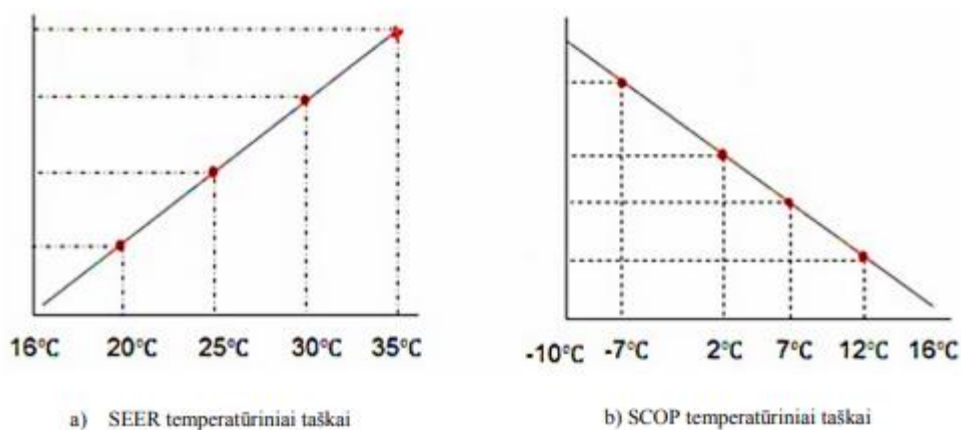
$$COP = \frac{Q_v}{W}; \quad (2)$$

$$EER = \frac{Q_{\dot{s}}}{W}; \quad (3)$$

COP – koeficientas, kuris skaičiuojamas šildymo režime. Q_v – šildymo galia, matuojama vatais (W), W – elektros sąnaudos, kurios taip pat matuojamos vatais (W). Gamintojai dažniausiai COP įrenginių koeficientą matuoja prie $+7^{\circ}\text{C}$. EER koeficientas skaičiuojamas vėsinimo režime. $Q_{\dot{s}}$ – vėsinimo galia, matuojama vatais (W). Gamintojai EER įrenginių koeficientą matuoja prie $+35^{\circ}\text{C}$. [30] Šilumos siurblio vidutinis efektyvumo koeficientas vyrauja tarp 3,7-3,9 [31].

Sezoninis veiksmingumo koeficientas SCOP vadinamas bendru įrenginio veiksmingumo koeficientu, kuris atitinka visą vertinamą šildymo sezoną. Jis skaičiuojamas norminį šildymo poreikį (metinį) dalijant iš elektros sąnaudų šildymui (metinių). Sezoninis energijos vartojimo efektyvumo koeficientas SEER vadinamas bendru įrenginio energijos vartojimo efektyvumo koeficientu. Jis skaičiuojamas metinį norminį vėsinimo poreikį dalijant iš metinių elektros energijos sąnaudų vėsinimui. 2 priede pateikti koeficientai, pagal kuriuos nustatoma šilumos siurblio energijos klasė.

Sezoniniai šilumos siurblių efektyvumo koeficientai – SCOP ir SEER yra skaičiuojami keturiuose temperatūriniuose taškuose (1.17 pav) [30].



1.17 pav. SEER ir SCOP temperatūriniai taškai [30]

1.4.3. Šilumos siurblio oras-vanduo veikimo principas

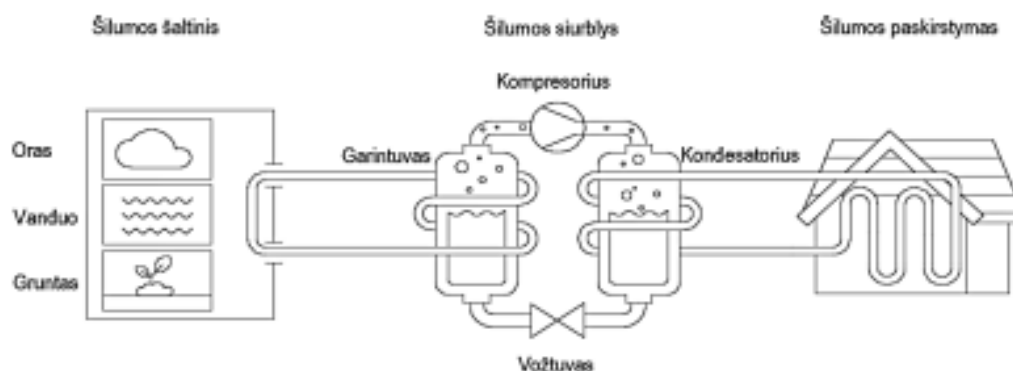
Šilumos siurblio veikimo principas yra paremtas antruoju termodinamikos dėsniu. Minėtas dėsnis sako, jog karštesnis kūnas atiduoda šilumą šaltesniam, ir ne atvirkščiai. Remiantis šiuo dėsniu, tam kad būtų galima „siurbti“ šilumą iš žemos temperatūros šaltinio, šiluma visų pirma turi būti sugerta žemos temperatūros medžiagos, kuri vėliau perduodama aukštesniam temperatūros lygiui. Bendrai šilumos siurblys apibūdinamas kaip įrenginys, kuris sutraukia šilumą iš aplinkos ir perduoda į aukštesnę temperatūrą tinkamą naudojimui- oro ar vandens šildymui.

Yra trys šilumos siurblio veikimo ciklai:

- Šildymo ciklas;
- Šaldymo ciklas;
- Atšildymo ciklas [32].

Pagrindinės šilumos siurblio dalys: kompresorius, šilumokaitis, išsiplėtimo vožtuvas ir garintuvas. Uždaroje sistemoje cirkuliuoja šaldymo agentas, kitaip žinomas kaip freonas (f-dujos).

Šilumos siurblio oras - vanduo veikimo principas pavaizduotas 1.18 paveiksle. Kompresorius suslegia dujas, kurios dėl aukšto slėgio įkaista ir keliauja į šilumokaitį. Jame atiduoda savo šilumą vandeniui ar aplinkai. Dujoms atidavus savo energiją (šilumą) jų temperatūra ženkliai sumažėja ir jos atvėsta, tačiau jos yra vis dar yra aukšto slėgio, todėl toliau dujos keliauja į išsiplėtimo vožtuvą. Jame yra sumažinamas dujų slėgis ir jos virsta skysčiu. Tokios būsenos freono dujos patenka į garintuvą esantį lauke, kur, paimdamas aplinkos temperatūros energiją, sušyla, taip pradėdamas garuoti ir vėl virsta dujomis. Šis šildymo ciklas kartojamas nuolatos, o elektros energijos, naudojamos kompresoriui suslėgti dujas, šilumos siurblys pagamina 3-5 kartus daugiau šilumos, nei jos sunaudoja kompresoriaus darbui. Šilumos siurbliui veikiant šaldymo režimui šis procesas ketureigio vožtuvo pagalba vyksta atvirkštine kryptimi [33].



1.18 pav. Šilumos siurblio veikimo principinė schema [34]

1.5. Elektros energiją gaminančių vartotojų kainos Lietuvoje

Kiekvienas asmuo, nesvarbu fizinis ar juridinis, gali gamintis elektros energiją pats ir būti energetiškai nepriklausomu. Tokie asmenys savarankiškai įsirengia elektrines pagal poreikius. Esant perteklinei energijai ją galima tiekti į tinklus, o atsiradus energijos stygiui susigražinti už tam tikro dydžio mokestį. Tokie energetiškai nepriklausomi asmenys vadinami gaminančiais vartotojais. Atsiskaitymo būdai ir įkainiai už susigražintą elektros energija pateikti 1 lentelėje [35].

1 lentelė Gaminančių vartotojų atsiskaitymo būdai ir kainos [36]

Nr.	Atsiskaitymo būdas	Mokama už	Kaina žemoje įtampoje be PVM	Kaina vidutinėje įtampoje be PVM
1	Atsiskaitymas už atgautą energiją	Už patiektos į tinklą ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh)	0,043 Eur/kWh	0,022 Eur/kWh
2	Atsiskaitymas už elektrinės instaliuotą galią	Už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW)	2,18 Eur/kWh/mėn	1,12 Eur/kWh/mėn
3	Atsiskaitymas mišriu būdu	Atsiskaitymas mišriu būdu, t.y. už patiektos į elektros tinklus ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh) ir už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW)	0,022 Eur/kWh	0,0011 Eur/kWh
			1,09 Eur/kW/mėn	0,56 Eur/kW/mėn
4	Atsiskaitymas kilovatvalandėmis	Atsiskaitymas kilovatvalandėmis: nustatytas procentas nuo patiektos į tinklus energijos kiekio (kWh) paliekamas operatoriui už naudojimosi tinklais paslaugas klientas galės neatlygintinai atgauti nustatytą procentą nuo savo pagaminto ir patiekto į tinklą kiekio	36% (gaminančiam vartotojui lieka 64%)	21% (gaminančiam vartotojui lieka 79%)

Remiantis 1 lentele galime pastebėti, kad žemoje įtampoje ir vidutinėje įtampoje kainų santykis siekia iki 2 kartų.

1.6. Elektros energijos tiekimo liberalizavimas Lietuvoje

Šiuo metu dauguma buitinių elektros energijos vartotojų ją perka naudodamiesi UAB „Ignitis“ (anksčiau „Lietuvos energijos tiekimo“) paslaugomis. Minėtos energijos kainos reguliuojamos ir nustatomos apytiksliai kas pusę metų VERT nutarimu [37]. Tam, kad būtų įdiegti laisvosios rinkos principai energetikos sektoriuje ir įgyvendintas visiškas rinkos liberalizavimas elektros energijos tiekimui namų ūkiams, Lietuvos Respublikos energetikos ministerija teikia siūlymą mažmeninės elektros energijos tiekimo rinkos namų ūkių vartotojams liberalizavimui. Šio siūlymo tikslas – visuomeninio elektros energijos tiekimo nutraukimas ir mažmeninės tiekimo rinkos pakeitimas į konkurencija pagrįstą atvirą rinką. Jis siūlomas įgyvendinti trimis etapais [38].

Pirmuoju etapu – nuo 2021 m. sausio 1 d. būtų atsisakyta galutinės elektros energijos kainos reguliavimo tiems buitiniams vartotojams, kurių faktinis elektros energijos suvartojimas nuo 2019 m. birželio 1 d. iki 2020 m. gegužės 31 d. bus didesnis nei 5 000 kWh, taip pat visiems buitiniams vartotojams, kurių objektai prijungti prie vidutinės įtampos elektros tinklų ir atitinkamoms bendrijoms bei bendruomeninėms organizacijoms ir asociacijoms. Tai negaliojantį pažeidžiamais vartotojams, tai yra tiems, gyventojams, kurie gauna socialinę paramą.

Antruoju etapu – nuo 2022 m. sausio 1 d. būtų atsisakyta galutinių elektros energijos kainų reguliavimo visiems buitiniams vartotojams, kurių faktinis elektros energijos suvartojimas nuo 2020 m. birželio 1 d. iki 2021 m. gegužės 31 d. bus daugiau nei 1 000 kWh, išskyrus pažeidžiamus vartotojus.

Trečiuoju etapu – nuo 2023 m. sausio 1 d. galutinės elektros energijos kainos būtų nebereguliuojamos visiems buitiniams vartotojams ir jie turėtų pasirinkti nepriklausomą elektros energijos tiekėją [2].

Įgyvendinus minėtus tris etapus, gyventojai galės lengvai ir greitai keisti ir rinktis elektros energijos tiekėjus, taip pat jiems patogiu būdu atsiskaityti už suteiktas paslaugas. Bus sukurtos sąlygos sudaryti konkurencingai ir aktyviai mažmeninei elektros energijos tiekimo rinkai [39].

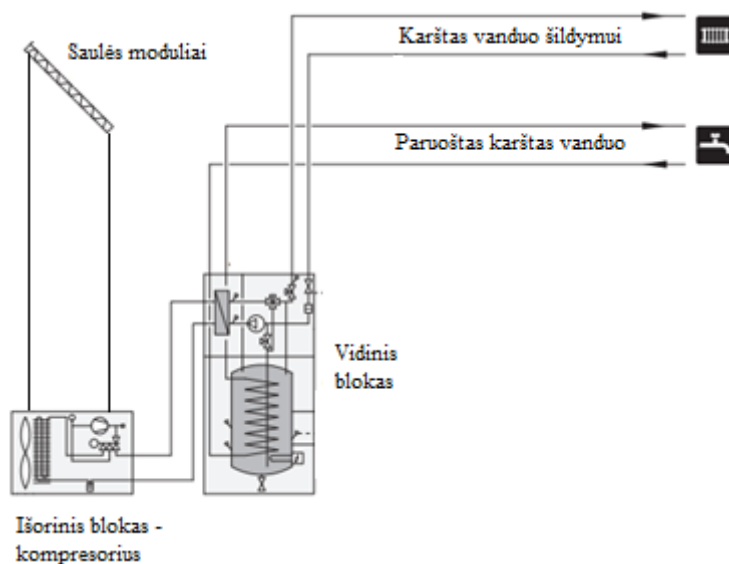
1.7. Hibridinės atsinaujinančios energijos sistemos tyrimų apžvalga

Hibridinės atsinaujinančios energijos sistemos sudarytos iš šilumos siurblio ir saulės elektrinės yra plačiai naudojamos pastatų šildymui, vėsinimui ar buitinio karšto vandens ruošimui. Tačiau yra įvairių konfigūracijų, parametrų ir veikimo kriterijų, kurie lemia skirtingų sistemų palyginimo ir diegimo sudėtingumą. Trūkstant lyginamosios literatūros apžvalgos ir siekiant įvertinti hibridinės sistemos, sudarytos iš skirtingo veikimo pagrindo energijos šaltinių, tokių kaip saulės kolektorių sistemos, fotovoltinės saulės elektrinės, ar pastarųjų kombinuoto varianto, remiantis mokslinėmis publikacijomis apžvelgti veikimo rodikliai, sistemos konfigūracijos, ribinės sąlygos, tyrimų metodika ir sistemos veikimas. Gauti rezultatai, rodo, kad fotovoltinė saulės elektrinė su šilumos siurbliu pasižymi geriausiais techno-ekonomiais (techno-economic) rodikliais, kurie našiausi, kai šilumos siurblio COP – 3,75, tačiau su vidutiniais pradiniais kaštais ir atsipirkimo laikotarpiu. Saulės kolektorių sistemos su šilumos siurbliu ar fotovoltinė saulės elektrinė kombinuota su saulės kolektoriu ir šilumos siurbliu, našumas yra mažesnis, o vidutinė COP vertė atitinkamai 2,9 ir 3,03. Kombinuoto varianto atveju hibridinės sistemos pradiniai kaštai didžiausi ir atsipirkimo periodas ilgiausias, kai saulės kolektorių su šilumos siurblio sistemos minėtos vertės žemiausios [40].

Atlikus energetinę ir ekonominę analizę naudojant skirtingą saulės modulių ir akumuliatorių kiekį, maksimalus ekonominis sistemų taupymas nustatomas naudojant optimizavimo algoritmą, pagrįstą mišraus sveikąjo skaičiaus linijinio programavimo metodu. Rezultatai rodo, kad hibridinė sistema, turinti didžiausią bendrą akumuliatorių talpą, pasiekia aukščiausius energetinius rodiklius, t. y. 77% pirminės energijos sutaupymo, palyginti su tradiciniu kieto kuro katilu. Mažiausios eksploataavimo išlaidos ir didžiausias ekonominis taupymas gaunamas naudojant įprastą šilumos siurblių „oras – vanduo“ be elektros energijos kaupimo akumuliatoriuose, nes sutaupoma 31% pradinių kaštų, lyginant su sistema, kuri kaupia energiją akumuliatoriuose [41].

2. Hibridinės sistemos sudarančių įrenginių parinkimo metodika ir energijos poreikių nustatymas

Vienas svarbiausių aspektų, kurį reikia įvertinti analizuojant šiluminės ir elektros energijos poreikius pastatui, bei minėtų energijų generavimą pasitelkiant saulės elektrinę ir šilumos siurblių „oras-vanduo“, yra šiluminės ir elektros energijos poreikių metinis svyravimas. Principinė pastato su saulės elektrine ir šilumos siurbliu „oras-vanduo“ schema pateikiama 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Principinė saulės elektrinė ir šilumos siurbliu „oras-vanduo“ schema [42]

Norint tinkamai parinkti „on-grid“ saulės elektrinę su dvipuse apskaita ir šilumos siurbliu „oras-vanduo“ gyvenamajam namui, svarbu įvertinti pastato šiluminės ir elektros energijos poreikius.

2.1. Pastato šiluminės energijos poreikio nustatymas

Norint apskaičiuoti šildymo sistemos galią pastatui, vienas iš vertinamų kriterijų gali būti šalčiausio penkiadienio temperatūra arba vietos šalčiausios paros temperatūra. Gali būti vertinamas ir minėtų temperatūrų vidurkis (Statybinė klimatologija RSN 156-94, 1995). Metinė šiluminės energijos poreikio dinamika pastato šildymui nustatoma, pagal metodiką, aprašomą statybos techninio reglamento str. 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“. Skaičiuojant mėnesinius šilumos nuostolius, vertinimui naudojama vietovės vidutinė mėnesio temperatūra. Remiantis statybos techniniu reglamentu, naudojamos vidutinės mėnesio temperatūros vertės pateikiamos pagal 1961-1990 metų meteorologinius stebėjimus (Lietuvos Respublikos Statybos ir urbanistikos ministerija, 1995) [43].

Dažnu atveju ta pati viena sistema šildo visą pastato plotą bei ruošia karštą vandenį naudojimui. Parenkant šildymo sistemą gyvenamajam namui reikia atsižvelgti į minėtą momentą. Tiriamuoju atveju, parenkamas šilumos siurblys atliks tiek vandens šildymo, tiek šilumnešio funkciją. Remiantis 2 lent. pateiktomis vertėmis, apskaičiuojamas metinis šiluminių poreikių svyravimas karšto vandens ruošimui [44].

2 lentelė STR 2.01.02:2016 Gyvenamųjų namų paskirties pastatų įvairių rodiklių vertės pastatų energinio naudingumo skaičiavimams [44]

Eil. Nr.	Pastato paskirtis	Vidaus temperatūra šildymo sezono metu, θ_{IH} , °C	Vidaus temperatūra vasarą, θ_{IH} , °C	Plotas vienam žmogui*, A_0 , m ²	Žmonių buvimo patalpoje laikas per parą (vidutinis mėnesio), t, h/(para)	Metinis elektros energijos suvartojimas pastato ploto vienetai*, ψ E, kWh	Elektros dalis, sunaudojama pastato šildomose patalpose, f_E	Išorės oro kiekis 1 m ² pastato vėdinimui*, V_0 , m ³ /(hm ²)	Metinis šiluminės energijos poreikis karštam vandeniui gaminti 1 m ² pastato*, ψ_{hw} , kWh/(m ² ·metai)
1	Gyvenamosios paskirties vieno ir dviejų butų pastatai (namai)	20	24	60	12	20	0,9	0,7	10
2	Kiti gyvenamieji pastatai (namai)	20	24	40	12	30	0,9	0,7	20

Priimant tai, kad karšto vandens suvartojamas kiekis bus vienodas visais metų mėnesiais, tai ir suvartojamos papildomos šiluminės energijos kiekis kiekvieną mėnesį bus toks pats. Mėnesinis šilumos kiekis, remiantis 2 lentelėje pateiktomis reikšmėmis, karšto vandens ruošimui bus apskaičiuojamas pagal šią formulę [44]:

$$Q_{KV} = \frac{\psi_{hw} \times S}{12}; \quad (4)$$

čia: Q_{KV} – mėnesis šilumos poreikis karšto vandens ruošimui, kWh; ψ_{hw} – metinis šiluminės energijos poreikis karštam vandeniui gaminti 1 m² pastato, kWh/(m²*metai); S – pastato plotas, m².

Apskaičiavus energijos kiekį reikalingą karšto vandens ruošimui, bendras šiluminis energijos kiekis pastatui apskaičiuojamas pagal 5 formulę [44]:

$$Q_h = Q_{\xi} + Q_{KV}; \quad (5)$$

čia: Q_h – bendras šiluminės energijos poreikis namo šildymui ir karšto vandens gamyba, kWh; Q_{ξ} – šiluminės energijos poreikis pastato šildymu, kWh

Pastato šiluminės energijos poreikio įvertinimas atliekama remiantis šiais žingsniais:

1. Remiantis vietovės vidutinėmis lauko oro temperatūromis atskirais mėnesiais randama pastato šiluminės energijos poreikio metinė dinamika.

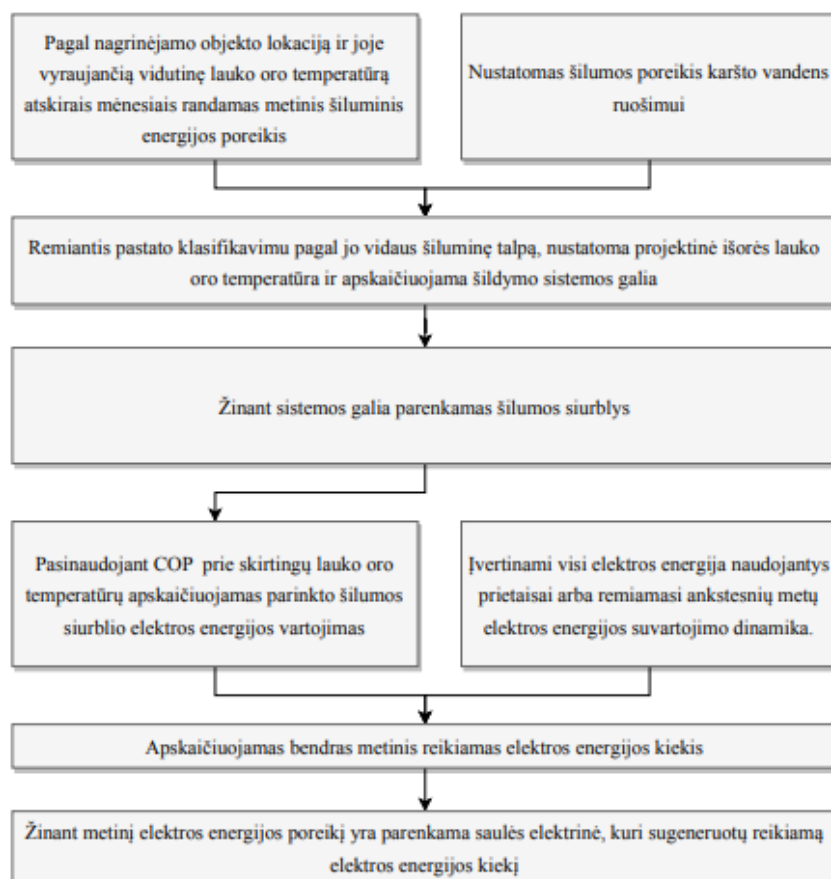
2. Įvertinamas pastato gyventojams reikalingas karšto vandens kiekis, kuris paverčiamas pastoviu papildomu šiluminės energijos poreikiu.
3. Remiantis pastatų klasifikavimu pagal jų šiluminę talpą parenkama žemiausia temperatūra, pagal kurią skaičiuojama nominali šildymo sistemos galia.
4. Žinant reikiamą šildymo sistemos galią, parenkamas šilumos siurblys „oras-vanduo“.

2.2. Pastato elektros energijos poreikio nustatymas

Pastato elektros energijos poreikio nustatymas atliekama tokiai seka:

1. Pirmiausiai įvertinami visi elektriniai prietaisai naudojami pastate bei jų elektros sąnaudų dinamika metų bėgyje.
2. Žinodami parinkto šilumos siurblio COP koeficientus prie atitinkamų temperatūrų, įvertinama šilumos siurblio elektros energijos poreikio dinamika metų bėgyje.
3. Sumuojama bendra elektros energijos poreikio dinamika per metus.
4. Turint metinį reikalingą elektros energijos kiekį, galima parinkti saulės elektrinę, kuri per metus priklausomai nuo lokacijos sugebėtų pagaminti pastatui reikiamą elektros energijos kiekį.

2.2 paveiksle pavaizduotas supaprastintas algoritmas, kuriuo remiantis bet kokio tipo pastatui galima parinkti saulės jėgainę kartu su šilumos siurbliu „oras-vanduo“. Tokia sistema gali būti pritaikyta veikti su dvipusės apskaitos planu, kuris šiuo metu lengvai pasirenkamas Lietuvoje.



2.2 pav. Saulės elektrinės ir šilumos siurblio „oras vanduo“ pasirinkimo algoritmas

2.3. Pastato energetinis naudingumas

Kiekvieno pastato naudotojų ar gyventojų poreikiams patenkinti reikalingas skirtingas kiekis elektros energijos. Minėtas energijos kiekis, kurio reikia konkrečiam gyvenamojo namo energetiniams poreikiams patenkinti, nevertinant individualaus poreikių skirtumų, priklauso nuo parametrų:

- šiluminės varžos;
- naudojamų elektrinių prietaisų skaičiaus bei jų parametrų;
- šildymo sistemos tipo;
- šildomo ploto.

Pastato energinis naudingumas - tai apskaičiuotas energijos kiekis, kuris yra reikalingas patenkinti visą energijos poreikį. Toks energijos poreikis apima [44]:

- pastato šildymą;
- karšto vandens ruošimą;
- vėsinimą ir vėdinimą;
- pastato apšvietimą.

Pastaraisiais metais statomi gyvenamieji namai įstatymiškai privalo būti projektuojami, o vėliau statomi taip, kad energijos poreikis būtų kuo minimalesnis. To priežastis ta, jog minimalaus energijos suvartojimo pastatai daro mažesnę neigiamą poveikį aplinkai. Taip prisidedama prie Europos Sąjungos vieno iš svarbiausių tikslų, sumažinti taršą energetikos sektoriuje. Visas minėtas procesas įstatymiškai Lietuvoje reguliuojamas Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos. Visos šiuo momentu galiojančios nuostatos statomiems namams pateiktos įsakyme dėl statybos techninio reglamento STR. 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [44].

Pastatai pagal energinį naudingumą klasifikuojami į 9 klases (iš dešinės į kairę pagal naudingumą): A++, A+, A, B, C, D, E, F, G. A++ energetinio naudingumo klasė pastatuose laikoma aukščiausia, ji rodo tokį pastatą, kuris galima sakyti visiškai nevartoja energijos [44].

Analizuojant statybos techninio reglamento straipsnį 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ septintame jo skyriuje matoma, jog pastatų energinio naudingumo reikalavimai įpareigoja nuo 2018 m. sausio 1 d. statyti ir projektuoti pastatus, kurių energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip A+ [44]. 3 lentelėje pateikti reikalavimai A+ energetinio naudingumo klasės pastatams.

3 lentelė STR 2.01.02:2016 Reikalavimai A+ energetinio naudingumo klasės pastatams [44]

A+ klasės pastatai (jų dalys)	Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklių C_1 ir C_2 vertės turi atitikti reikalavimus: $0,25 \leq C_1 < 0,375$ ir $C_2 \leq 0,80$.
	Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi atitikti Reglamento 2 priedo 87 punkto reikalavimus:
	3. Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,75, o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti $0,55 \text{ Wh/m}^3$.
	4. Pastato (jo dalių) pertvarų ir tarpaukštinių perdangimų šiluminės savybės turi atitikti

	Reglamento IX skyriaus reikalavimus.
	5. Pastato (jo dalies) sandarumas turi atitikti Reglamento X skyriaus reikalavimus.
	6. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus.
	7. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus.

2.4. Reikalingos šildymo sistemos galios radimas ir šilumos siurblio „oras-vanduo“ parinkimas

Reikalinga šildymo sistemos galia apibrėžiama kaip pagrindinis parametras parinkti šilumos siurbliui. Šis parametras priklauso nuo parinktos projektinės lauko oro temperatūros, kuri priklauso nuo pastato vidaus šiluminės talpos. Pastatai yra klasifikuojami pagal jų vidaus šiluminę talpą. Minėtos projektinės išorės oro temperatūros ryšys su pastatų klase pagal vidaus šiluminę talpą pateikiamas statybos techninio reglamento straipsnyje 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ (4 lentelė).

4 lentelė Projektinė išorės oro temperatūra pastato šildymui sistemos šilumos galiai skaičiuoti [44]

Eil. Nr.	Pastatų klasifikavimas pagal jų vidaus šiluminę talpą	Temperatūra $\theta_{e.ds}$ (°C)
1	Labai lengvas pastatas	-30
2	Lengvas pastatas	-30
3	Vidurinio masyvumo pastatas	-27
4	Masyvus pastatas	-24
5	Labai masyvus pastatas	-24

Dėl šilumos siurblių „oras-vanduo“ nesugebėjimo į sistemą perduoti nominalios savo šildymo galios, o kartais net išsijungimo esat didelei minusinei temperatūrai, renkant tokį siurblių svarbu atsižvelgti į gamintojo pateiktas siurblio charakteristikas. Svarbus aspektas yra ir kaitinimo elementas, prieš renkant svarbu įvertinti, kad jo galingumo užtektų šildymo sistemos poreikiams.

2.5. Elektros energijos poreikio svyravimai ir saulės elektrinės parinkimas

Apskaičiuoti šilumos siurblio suvartojamą energijos kiekį galima dviem metodais:

1. Panaudojant šilumos siurblio specifikacijoje pateiktą SCOP vertę ir prieš tai apskaičiuotą bendrą šiluminės energijos kiekį karšto vandens ruošimui ir pastato šildymui.
2. Panaudojant šilumos siurblio specifikacijoje pateikiamas COP koeficiento vertes, bendrą šiluminės energijos kiekį ir kiekvieno mėnesio vidutinę lauko oro temperatūrą.

Šilumos siurbliui reikalingas bendras elektros energijos kiekis apskaičiuojamas pagal 6 formulę:

$$E_h = E_{\xi} + E_{KV}; \quad (6)$$

čia: E_{ξ} – elektros energijos poreikis šilumos siurbliui, tik šildymui, kWh; E_{KV} – elektros energijos poreikis šilumos siurbliui, tik karšto vandens ruošimui, kWh; E_h – bendras elektros energijos poreikis šilumos siurbliui, kWh.

Įvertinus pastato elektros energijos, šilumos siurblio poreikį, bendras pastato elektros energijos poreikis per metus apskaičiuojamas pagal 7 formulę:

$$E = E_h + E_N; \quad (7)$$

čia: E_N – metinis elektros energijos poreikis pastatui, nevertinant šilumos siurblio darbo, kWh; E_h – metinis elektros energijos poreikis šilumos siurbliui, kWh; E – metinis viso pastato elektros energijos poreikis, kWh.

Saulės elektrinės sistemą tiriamajame pastate priimama integruoti į ESO planą su dvipuse apskaita. Saulės elektrinės galia bus parenkama, kad elektrinė per metus būtų pajėgi gaminti elektros energijos kiekį – E . Šis kiekis yra reikalingas visam pastato elektros energijos poreikiui padengti ir apskaičiuojamas pagal 7 formulę.

Remiantis aukščiau pateiktais duomenimis (1.15 paveikslu) matoma, jog Lietuvoje per metus didžiausią elektros energijos kiekį sugeneruoja saulės elektrinės, kurių moduliai montuojami į horizontalią plokštumą $35-45^\circ$ ir yra orientuoti į pietus. Pagal tiriamojo objekto vietovę optimaliausias modulių pasvirimo kampas nustatomas eksperimentiškai, pasitelkiant „Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps“ [45] projektavimo simulatorių.

3. Tiriamojo objekto energijos poreikių nustatymas, energijos šaltinių ekonominė analizė

Remiantis pateikta metodika ir algoritmu, kuris pateiktas 2.2 poskyryje tiriamajam pastatui parenkame saulės elektrinę ir šilumos siurblių „oras-vanduo“.

3.1 paveiksle pateikta tiriamojo objekto nuotrauka. Nagrinėjamo gyvenamojo namo šildomas plotas yra 118,9 m². Šią vasarą planuojama atlikti renovacijos darbus, kad pastato energetinė naudingumo klasė siektų A+.



3.1 pav. Tiriamasis objektas

3.1. Įrenginių parinkimo ir energijos poreikių analizė

3.1.1. Šiluminės energijos kiekio nustatymas

Nagrinėjamas pastatas stovi Tauragės apskrityje, Klaipėdos regione. Remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 5 lentelėje antrame stulpelyje pateikiamos vidutinės mėnesio išorės oro temperatūros. Trečiame stulpelyje pateikiamos vidutinės mėnesio išorės oro temperatūros nagrinėjamo pastato zonoje remiantis, Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos „Vidutinės klimatinių rodiklių reikšmės Lietuvoje 1981-2010m.“ [46].

5 lentelė Mėnesių vidutinė oro temperatūra

Mėnesis	Vidutinė oro temperatūra (pagal STR 2.01.02:2016), °C	Vidutinė oro temperatūra (pagal pastato lokacija), °C
Sausis	-5,1	-3
Vasaris	-4,4	-2,9
Kovas	-0,7	0,4
Balandis	5,5	5,4

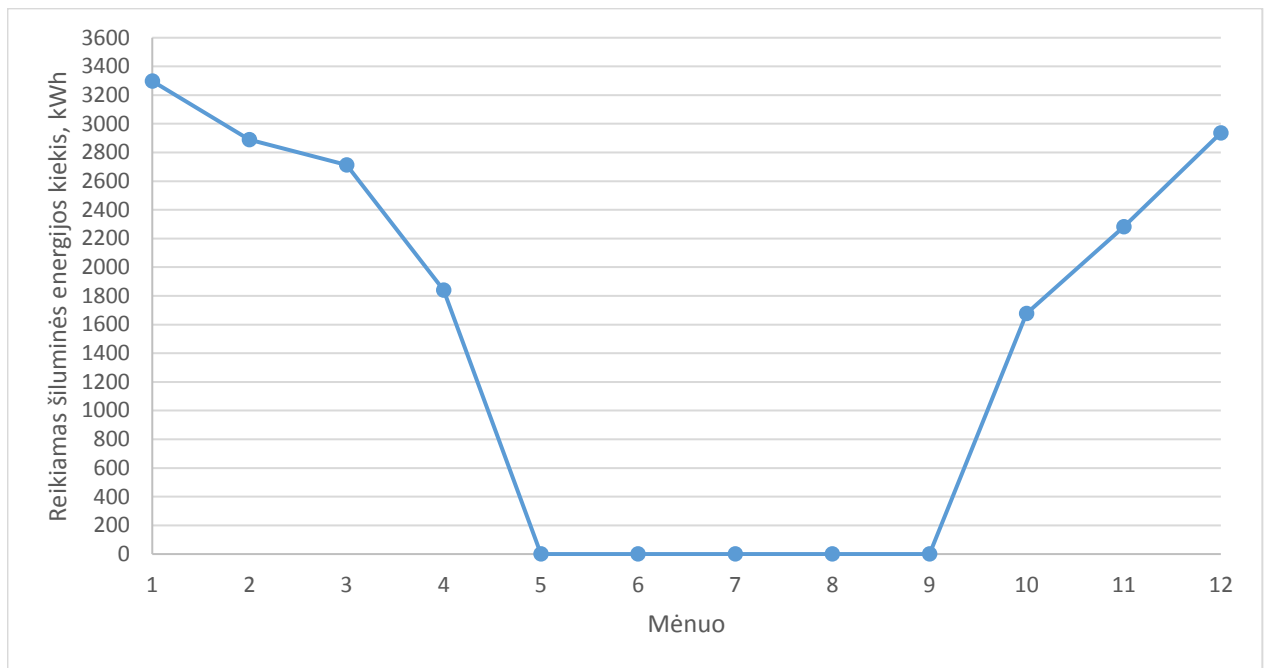
Gegužė	11,9	11
Birželis	15,4	14,7
Liepa	16,7	16,7
Rugpjūtis	16,2	16,9
Rugsėjis	11,9	13,2
Spalis	7,2	8,8
Lapkritis	2	3,8
Gruodis	-2,4	-0,3

Išanalizavus pastato energetinius nuostolius ir remiantis 5 lentelėje pateiktomis vidutinėmis oro temperatūromis atskirais mėnesiais, 6 lentelėje pateikiamos apskaičiuotos vertės, kurios parodo kiekvieno mėnesio šiluminės energijos poreikį nagrinėjamam 118,9 m² ploto pastatui.

6 lentelė Šiluminės energijos poreikis atskirais mėnesiais

Mėnesis	Apskaičiuotas šiluminės energijos poreikis, kWh	Realus šiluminės energijos poreikis, kWh
Sausis	3297,97	3297,97
Vasaris	2888,49	2888,49
Kovas	2713,03	2713,03
Balandis	1839,13	1839,13
Gegužė	1061,62	0
Birželis	583,45	0
Liepa	432,51	0
Rugpjūtis	498,04	0
Rugsėjis	1027,37	0
Spalis	1677,62	1677,62
Lapkritis	2283,05	2283,05
Gruodis	2935,84	2935,84
Iš viso:	21238,11	17635,12

Pateiktoje 6 lentelėje galima matyti, kad šiluminės energijos skaičiuojamas poreikis yra reikalingas gegužės, vasaros ir rugsėjo mėnesiais. Priimant tai, kad paminėtais mėnesiais Lietuvoje dėl klimato sąlygų pastatai dažniausiai nėra šildomi, tai turi įtakos galutiniam metiniam šiluminės energijos poreikiui. Atsižvelgus į tai 3.2 paveiksle pateikiama nagrinėjamo namo šiluminės energijos poreikis atskirtais mėnesiais.

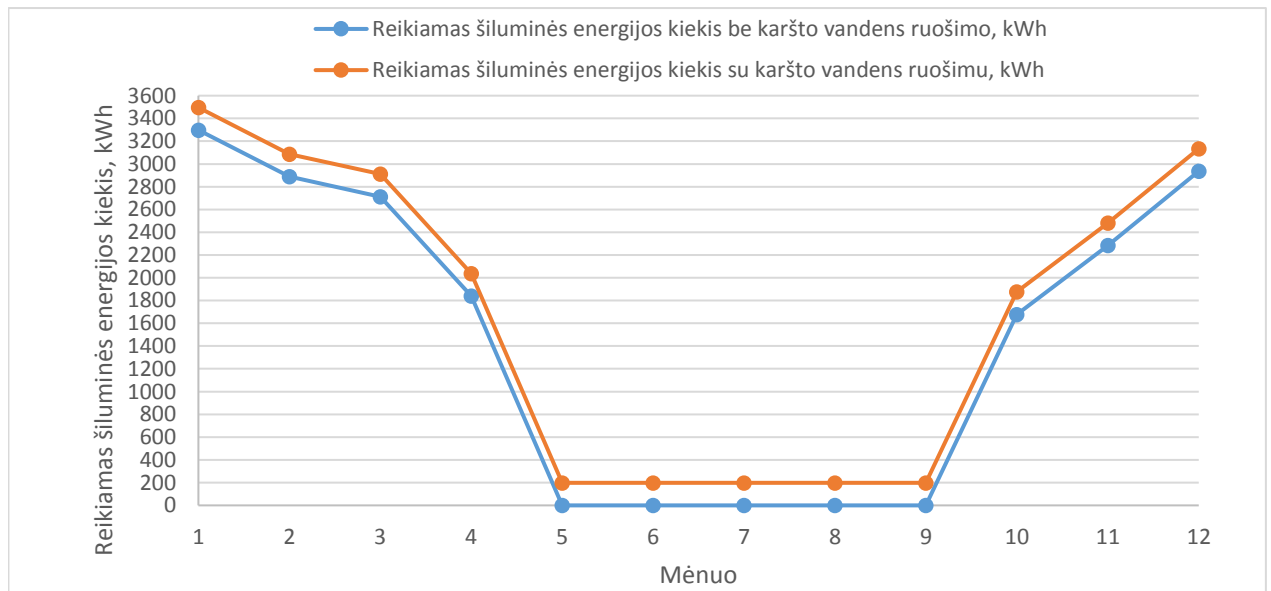


3.2 pav. Nagrinėjamo pastato šiluminės energijos poreikis atskirais mėnesiais, kWh

Karšto vandens paruošimui bus reikalingas papildomas šiluminės energijos kiekis, jis yra apskaičiuojamas pagal 2.1 poskyryje pateikta 4 formulę. Taigi, bendras šiluminės energijos kiekis, dėl karšto vandens ruošimo kiekvieną mėnesį, padidės:

$$Q_{KV} = 198,17 \text{ kWh};$$

Žemiau 3.3 paveiksle pateikiama gyvenamojo namo šiluminės energijos kiekis su karšto vandens paruošimu ir be jo.



3.3 pav. Nagrinėjamo pastato reikalingas energijos kiekis šildymui ir karšto vandens ruošimui atskirais mėnesiais, kWh

3.1.2. „Oras vanduo“ šilumos siurblio parinkimas

Pagal 2.4 poskyryje numatytą metodiką ir pasirinktą išorės oro temperatūrą nagrinėjama pastatui yra apskaičiuojama šilumos sistemos reikalinga galia. Apskaičiuota projektinė šilumos šaltinio galia pateikiama 7 lentelėje.

7 lentelė Tiriamojo pastato nominali galia šildymo sistemai

Šildymo sistemos projektinė galia P_h , W	Suminis metinis šiluminės energijos kiekis Q_h , kWh	Sąlyginis suminis metinis šiluminės energijos kiekis, kWh/m ²
5760,65	20013,12	168,32

Iš 7 lentelėje gautų rezultatų galime teigti jog nagrinėjama pastatui reikės bent 6kW šiluminės galios sistemos.

Parentamas VISSSMANN gamintojo 8 kW „oras-vanduo“ šilumos siurblys VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 su integruota 210 l vandens talpa ruošti karštam vandeniui ir 9 kW kaitinimo elementu. Reikiamos temperatūros šilumnešį šilumos siurblys tiekis į nagrinėjamo pastato šildomas grindis. Šilumos siurblio kainos ir specifikacija pateikiama 8 lentelėje.

8 lentelė VISSSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 šilumos siurblio charakteristikos remiantis 3,4 ir 5 priedu.

Šilumos siurblio modelis	VISSSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08					
Darbinė šilumos siurblio kompresoriaus temperatūra, °C	-20 / 35					
Kompresoriaus skleidžiamas garso lygis už 1, 2, 6 metrų, dB(A)	1 m		2 m		6 m	
	42		36		26	
COP koeficientas ir galia prie skirtingų temperatūrų, kai šilumnešio temperatūra siekia 35 °C (pastato šildymui)	-7 °C		2 °C		7 °C	
	P , kW	COP	P , kW	COP	P , kW	COP
	6,67	2,89	6,99	3,96	7,54	4,71
COP koeficientas ir galia prie skirtingų temperatūrų, kai šilumnešio temperatūra siekia 55 °C (karšto vandens ruošimui)	-7 °C		2 °C		7 °C	
	P , kW	COP	P , kW, kW	COP	P , kW	COP
	6,64	2,12	6,72	2,23	6,82	2,75
SCOP, Vidutinio klimato zona, kada šilumnešio temperatūra 35 °C	4,46					

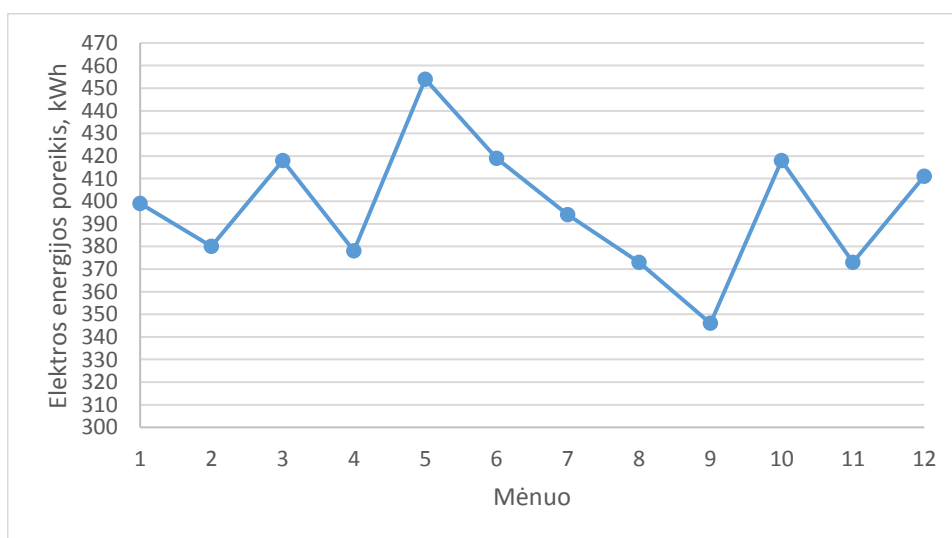
Įrenginio kaina su PVM	Įrengimo sąmata	Visos šilumos siurblio sistemos įrangos kaina
	726 Eur	6600 Eur
Iš viso	7326 Eur	

3.1.3. Elektros energijos poreikių nustatymas

Remiantis 9 lentelėje pateiktais dviejų metų turimais duomenimis apie elektros sunaudojimą tiriamajame name, vidutinis elektros energijos kiekis atskirais mėnesiais neįvertinus šilumos siurblio suvartojamo energijos kiekio pateikiamas 3.4 paveiksle.

9 lentelė Tiriamo objekto suvartojamos elektros energijos kiekis per metus (mėnesiais).

Mėnuo	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2018 elektros energijos suvartojimas, kWh	379	399	397	397	431	440	374	392	329	355	354	432
2019 elektros energijos suvartojimas, kWh	419	361	439	359	477	398	414	354	363	391	392	390
Vidurkis, kWh	399	380	418	378	454	419	394	373	346	418	373	411



3.4 pav. Nagrinėjamo gyvenamojo pastato suvartojamas vidutinis elektros energijos kiekis, atskirais mėnesiais, neįvertinant šilumos siurblio darbo, kWh

Pasirinkus šilumos siurblių ir žinant jo darbo charakteristiką, galime apskaičiuoti kiek elektros energijos suvartos šilumos siurblys kuris pagamins reikiamą šiluminės energijos kiekį. Remiantis 2.5 poskyryje pateiktais metodais yra apskaičiuojamas elektros energijos poreikis šilumos siurblio darbui. Skaičiavimui yra naudojama šilumos siurblio SCOP ir COP koeficiento duomenys, kurie yra pateikti 3 ir 6 prieduose.

Skaičiuojant supaprastintu pirmuoju metodu, jo rezultatai yra pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė Šilumos siurblio VISSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 metinis elektros energijos poreikis, skaičiuojant 1 metodu

Bendras metinis šiluminės energijos poreikis Q_h , kWh	SCOP *35 °C	Apskaičiuotas metinis elektros energijos poreikis E_{h1} , kWh
20013,12	4,46	4487,25

Skaičiavimo rezultatai antruoju metodu pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė Šilumos siurblio VISSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 metinis elektros energijos poreikis, skaičiuojant 2 metodu

		Pastato šildymui (tiekiamo šilumnešio temperatūra 35 °C)			Karšto vandens gamybai (tiekiamo šilumnešio temperatūra 55 °C)		
Mėnuo	Vidutinė mėnesio oro temperatūra, °C	Šiluminės energijos poreikis $Q_{\dot{s}}$, kWh	COP 35	Gautas elektros energijos poreikis $E_{\dot{s}}$, kWh	Šiluminės energijos poreikis $Q_{\dot{s}}$, kWh	COP 55	Gautas elektros energijos poreikis $E_{\dot{s}}$, kWh
Sausis	-3	3297,97	3,35	984,47	198,17	2,2	90,07
Vasaris	-2,9	2888,49	3,36	859,67	198,17	2,21	89,67
Kovas	0,4	2713,03	3,65	743,29	198,17	2,22	89,26
Balandis	5,4	1839,13	4,45	413,26	198,17	2,6	76,22
Gegužė	11	0	0	0	198,17	3,1	63,92
Birželis	14,7	0	0	0	198,17	3,3	60,05
Liepa	16,7	0	0	0	198,17	3,4	58,28
Rugpjūtis	16,9	0	0	0	198,17	3,4	58,28
Rugsėjis	13,2	0	0	0	198,17	3,1	63,92
Spalis	8,8	1677,62	4,9	342,25	198,17	2,8	70,77
Lapkritis	3,8	2283,05	4,2	543,57	198,17	2,23	88,86
Gruodis	-0,3	2935,84	3,7	793,24	198,17	2,21	89,67
Iš viso:		17635,12		4679,74	2378,04		899,00

Apskaičiavus dvejais metodais elektros energijos poreikį, reikalingą šilumos siurbliui pagaminti reikiamą šiluminės energijos kiekį, buvo pastebėta, kad antru metodu skaičiavimo rezultatai gavosi

tikslesni ir išsamesni, lyginant su pirmu. Taip yra, kadangi yra atsižvelgiama į skirtingas vidutines mėnesių temperatūras ir yra vertinamas vandens ruošimui suvartojamas energijos kiekis prie skirtingos šilumnešio temperatūros, lyginant su šildymui skirtu šilumnešio temperatūra. Visas metinis elektros energijos poreikis, reikalingas šilumos siurblio darbui, yra randamas pagal 6 formulę.

$$E_{h2} = 5578,74 \text{ kWh};$$

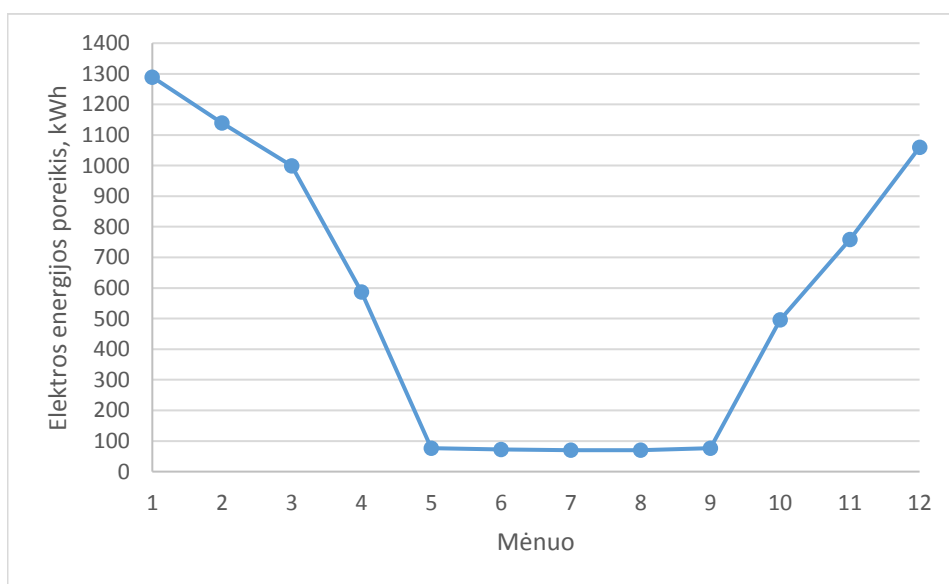
Galutiniam šilumos siurblio „oras-vanduo“ elektros energijos suvartojimui apskaičiuoti reikia įvertinti papildomo kaitinimo elemento darbą.

12 lentelė Mažiausia vidutinė paros oro temperatūra Klaipėdoje [47]

Mažiausia vidutinė paros temperatūra, °C galima vieną kartą per:				
2 metus	5 metus	10 metų	20 metų	50 metų
-14,5	-18,6	-20,9	-22,6	-24,8

Remiantis 8 lentele galima pastebėti, kad pasirinktam šilumos siurbliui kritinė darbinė temperatūra yra -20 °C. Taip pat remiantis 12 lentele Klaipėdoje -20,9 °C vidutinė paros oro temperatūra pasiekama tik vieną kartą per 10 metų. Taigi kritinės darbinės temperatūros pasiekimo, kuris sustabdytų šilumos siurblio darbą, tikimybė yra labai maža ir tai reiškia, kad tik labai retais atvejais vienintelis šildymo šaltinis liktų elektrinis elementas. Tačiau iš praktikos žinoma, kad papildomas kaitinimo elementas veikia ir prie aukštesnių temperatūrų, tačiau specifikacijoje nėra apibrėžta tiksliai kada. Dėl šios priežasties elektros energijos poreikis šilumos siurblio darbui padidėja. Dėl papildomo kaitinimo elemento darbo, remiantis įmonės UAB „Šildymas jums“ patirtimi, galutiniam šilumos siurblio elektros energijos poreikiui pridėsime 20%. Elektros energijos poreikis reikalingas šilumos siurbliui yra:

$$E_h = E_{h2} \times 1,2 = 6694,49 \text{ kWh};$$

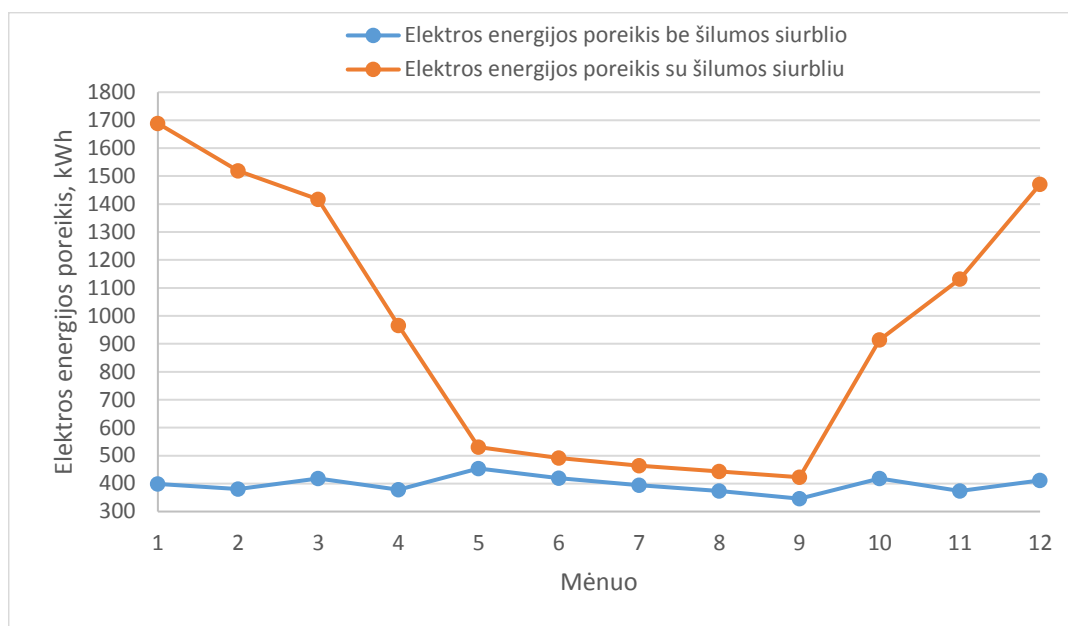


3.5 pav. Šilumos siurblio VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 elektros energijos sunaudojamas kiekis, pridėdam papildomą kaitinimo elemento darbą, kWh

Galutinis metinis tiriamojo namo elektros energijos poreikis apskaičiuotas pagal 7 formulę:

$$E = 11457,49 \text{ kWh};$$

Tiriamąo namo elektros energijos poreikis skirtingais mėnesiais pateiktas 3.6 paveiksle.



3.6 pav. Tiriamąo namo elektros energijos poreikis skirtingais mėnesiais, kWh

3.1.4. Saulės elektrinės parinkimas

Saulės elektrinės galia bus parenkama tokia, kad per metus jos sugeneruota energija atitiktų tą patį elektros energijos kiekį, kuris yra reikalingas patenkinti nagrinėjamo 118,9 m² ploto namo elektros energijos poreikį:

$$E = 11457,49 \text{ kWh};$$

Remiantis 1.3.3 skyrelyje pateikta informacija apie saulės modulių, orientuotų į pietus, posvyrio kampą į horizontą optimalaus kampo diapazonas Lietuvoje 35°-45°, tačiau norint išsiaiškinti optimalų kampą nagrinėjamo pastato lokacijoje buvo pasinaudota saulės elektrinių modeliavimo simulatoriumi „Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps“. Simuliatoriuje buvo keičiamas tik saulės modulių kampas, didžiausias sugeneruotos energijos kiekis yra prie 39° kampo. 13 lentelėje pateikiamas sugeneruotos saulės energijos naudingumo koeficiento priklausomybė nuo optimalaus kampo.

13 lentelė Saulės elektrinės generuojamos energijos naudingumo koeficiento priklausomybė nuo kampo

Laipsniai, °	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Naudingumo koeficientas, %	99,29	99,87	99,94	99,98	100	99,99	99,96	99,91	99,84	99,75	99,63

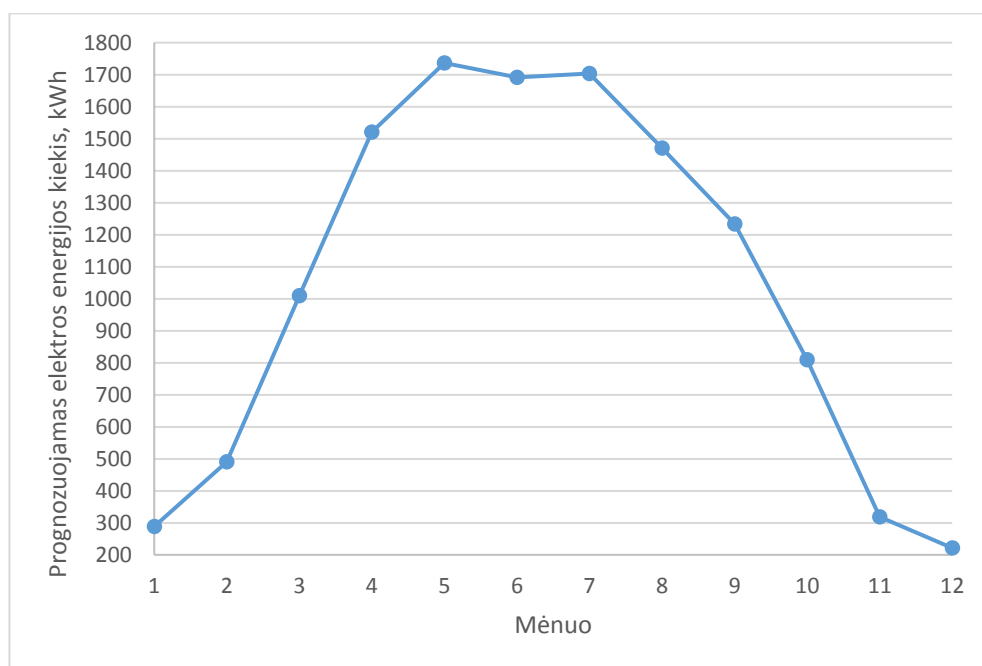
Tiriamąo pastato stogo šlaito kampas yra 34°, remiantis 13 lentelėje gautais rezultatais saulės modulių tvirtinimo konstrukcija bus surinkta taip, kad saulės moduliai būtų pasvirę į horizontą 39°.

Įvertinus saulės elektrinės nuostolius ir pasinaudojus „Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps“ buvo nustatyta, kad reikiamą elektros energijos kiekį, tiriamąo namo

lokacijoje sugeneruos 12 kW saulės elektrinė. Gauti rezultatai pateikti 7 ir 8 priede. 3.7 ir 3.8 paveiksluose pateikta skirtingų saulės jėgainių generuojamas elektros energijos kiekis atskirais mėnesiais.



3.7 pav. 12,09 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių generuojama elektros energija atskirais mėnesiais, kWh



3.8 pav. 12,285 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių generuojama elektros energija atskirais mėnesiais, kWh

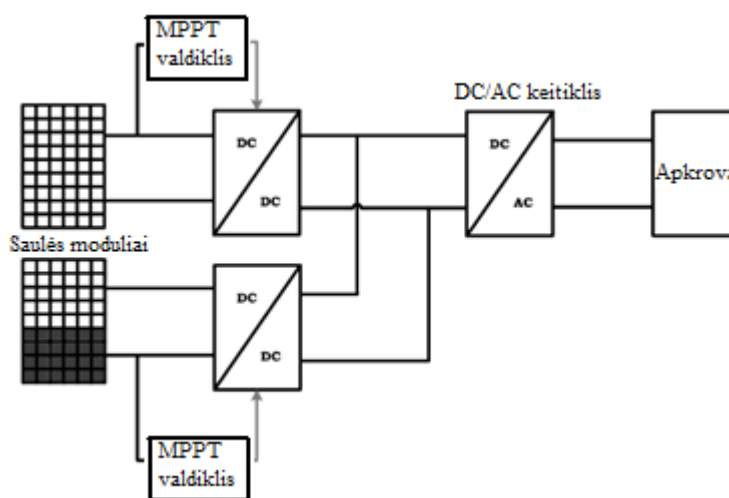
Šiame projekte bus naudojama 12 kW „on grid“ tipo saulės jėgainė, ji neturės baterijų, todėl perteklinę elektros energiją tiesiai į komunalinius elektros tinklus „pasaugojimui“. Saulės elektrinės modulių sugeneruota nuolatinės srovės energija bus konvertuojama į kintamos srovės energija įtampos keitikliu – Fronius Symo 12.5-3-M.

Saulės elektrinės sistemą sudarys dviejų skirtingų tipų saulės moduliai. Pirmu atveju sistema naudos „stiklas-plėvelė“ tipo modulius, kurių bendras kiekis - 39 vienetai ir vieno modulio galia sieks 310

W. Kitu atveju nominali galia 315 W ir bus naudojami „stiklas-stiklas“ tipo moduliai. Naudojami moduliai:

- „stiklas - plėvelė“ Solet monokristaliniai M60.6;
- „stiklas - stiklas“ Solet 315W.

Fronius Symo 12.5-3-M įtampos keitiklyje yra integruoti du maksimalios galios sekikliai (angl. MPPT). Dėl šios priežasties saulės moduliai yra jungiami dvejomis atskiromis eilėmis, taip siekiant išgauti daugiau energijos. Saulės modulių prijungimo prie įtampos keitiklio funkcinė schema pateikiama 3.9 paveiksle. Remiantis 9 priede pateikta įtampos keitiklio informaciją vienos saulės modulių eilės darbinė įtampa negali viršyti 1000 V. Pagal pateiktą informaciją prieduose 10 ir 11 darbinė saulės modulių įtampa – 32V. Pagrindiniai saulės modulių parametrai pateikti 14 lentelėje.



3.9 pav. Fronius Symo 12.5-3-M įtampos keitiklio funkcinė schema [48]

14 lentelė Nagrinėjamo namo saulės modulių pagrindiniai parametrai

Saulės elektrinės galia P_s , kW	Saulės modulio darbinė įtampa V_{MPP} , V	Nuosekliai vienoje grupėje sujungtų saulės modulių skaičius, vnt	Vienos grupės maksimali įtampa V_{S-MMP} , V	Vienos grupės maksimali srovė I_{MMP} , V
12	32	20	640	9,52

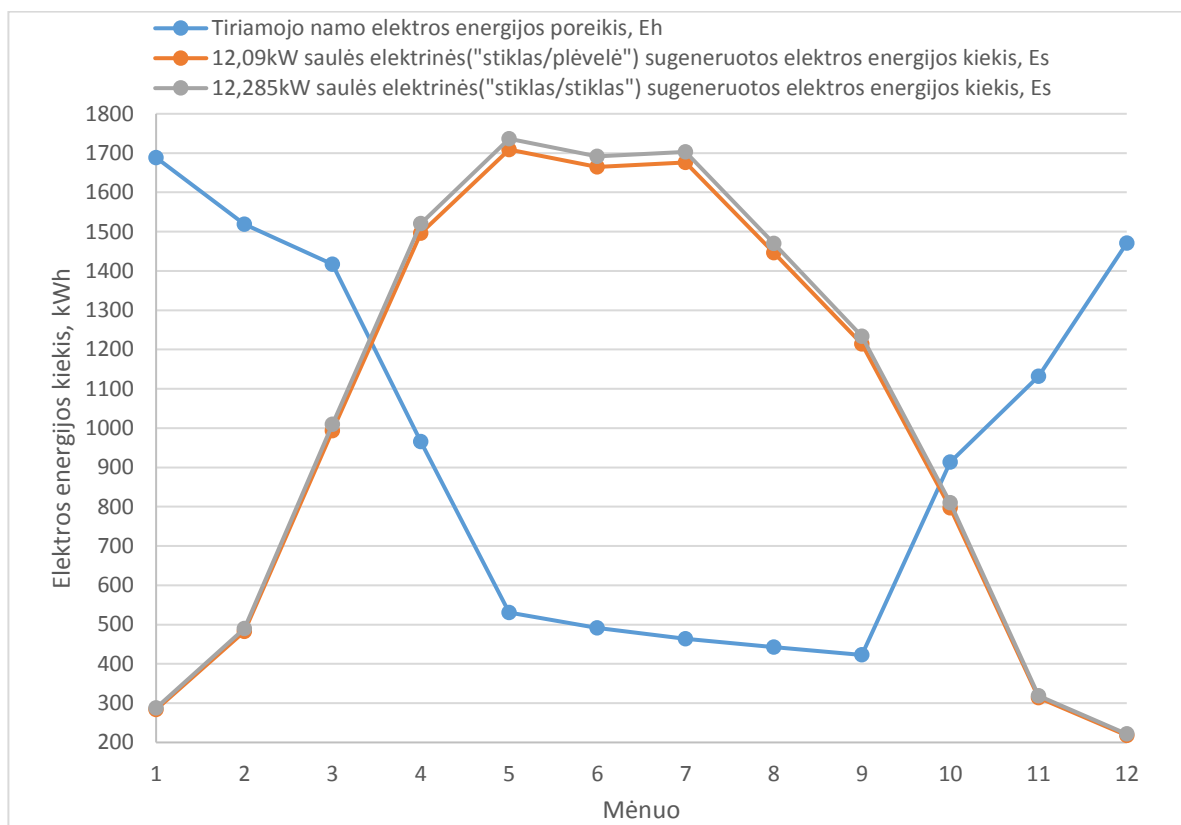
12 kW saulės elektrinės pilnai sukomplektuotos kainos pateikiamos 12 priede.

3.2. Saulės elektrinės atsiperkamumo tyrimas

3.2.1. Ekonomiškiausio mokėjimo būdo gaminančiam vartotojui parinkimas

Remiantis Lietuvoje taikoma teisine tvarka elektros energiją gaminantys vartotojai už jos „pasaugojimą“ gali mokėti 4 skirtingais variantais, kurie aprašyti 1.5 poskyryje. Norint pasirinkti ekonomiškiausią mokėjimo būdą nagrinėjamam objektui, visų pirmą reikia atlikti suvartojamos elektros energijos analizę. Tam reikia įvertinti, koks energijos kiekis yra suvartojamas tuo pačiu metu kaip kad ir sugeneruojama iš saulės elektrinės, ir kokia dalis yra tiekama į tinklą „pasaugojimui“ o vėliau susigražinama. Pagal tai galima išsirinkti optimalų variantą.

Pagal 3.10 paveiksle pateiktą informaciją apie nagrinėjamo objekto suvartojamus elektros energijos ir sugeneruotus saulės elektrinės kiekius skirtingais mėnesiais galima matyti, kad didžioji dalis energijos bus suvartojama šaltojo sezono metu. Skaičiuojant elektros energijos sunaudojimą akimirksniu (neapmokestinamos), sunaudojamos energijos kiekis - 55%, o sunaudojamos vėliau (apmokestinamos) - 45%. Tačiau 3.10 paveiksle matyti, kad saulės sugeneruojamos energijos didžiausi kiekiai yra vasaros laikotarpiu. Dėl šių priežasčių galima daryti prielaidą, kad momentinis (neapmokestinamas) energijos kiekis sudarys tik 1/3 visos energijos, o likusią 2/3 dalį sudarys apmokestinamoji dalis. Minėtu dalių elektros energijos kiekiai pateikiami 15 lentelėje.



3.10 pav. Saulės elektrinių su skirtingais saulės moduliais sugeneruojamas elektros energijos kiekiai ir nagrinėjamo pastato elektros energijos poreikiai, kWh

15 lentelė Skaičiavimams naudojami tiriamojo pastato saulės elektrinės parametrai

Saulės jėgainės galia, kW	12
Metinis elektros energijos poreikis nagrinėjamam pastatui E_h, kWh	11457,49
Neapmokestinamos sugeneruotos elektros energijos kiekis 33 %, kWh	3780.97
Apmokestinamos elektros energijos kiekis 67 %, kWh	7676.52

Remiantis 15 lentelėje pateiktais duomenimis galime apskaičiuoti - optimalų mokėjimo būdą. Įvertinus gautus rezultatus (žr. 16 lentelę), galime daryti išvadą, kad pats geriausias nagrinėjamo pastato mokėjimo būdas - taikant atsiskaitymą už elektrinės instaliuotą galią. Pasirinkus šį mokėjimo būdą metinis elektros energijos „pasaugojimo“ mokestis sudarytų – 379,84 eurų per metus. Ilgalaikėje perspektyvoje saulės modulių nominali galia atitinkamai mažėja. Atsižvelgus į saulės modulių galios mažėjimą sugeneruotos elektros energijos kiekis koreliuotai mažėja. Metam

bėgant tai daro įtaką optimalaus mokėjimo būdo parinkimui už „pasaugotą“ elektros energiją. Pasikeitus situacijai, būtina, būtina pasirinkti kitą mokėjimo būdą. Sekančiame skyriuje, kuriame nagrinėjamas saulės jėgainės atsiperkamumas, bus atsižvelgta į optimalaus mokėjimo būdo parinkimą skirtingais metais.

Atsiskaitymas kilovatvalandėmis nėra įtraukiamas kaip mokėjimo būdas, kadangi 36% sugeneruotos saulės elektros energijos atiduodama elektros tinklams, kaip mokestis už „pasaugojimą“, o likusi dalis 64% nepatenkintų nagrinėjamo pastato poreikių.

16 lentelė Optimalaus mokėjimo būdo parinkimo rezultatai už sugeneruotos saulės jėgainės elektros energijos kiekį, kuris tiekiamas į elektros tinklus „pasaugojimui“ – (neatsižvelgiant į likutinę saulės modulių nominalios galios mažėjimą kasmet) [36].

Nr.	Mokėjimo būdo pavadinimas		Kaina be PVM	Kaina su PVM	Namo išlaikymas per metus kainuos
1	Atsiskaitymas už atgautą energiją	Eur/kWh	0,043	0,05203	399,41
2	Atsiskaitymas už elektrinės instaliuotą galią	Eur/kW/mėn	2,18	2,6378	379,84
3	Asiskaitymas mišriu būdu	Eur/kWh	0,022	0,02662	394,27
		Eur/kW/mėn	1,09	1,3189	
4	Atsiskaitymas kilovatvalandėmis	36%	-	-	-

3.2.2. Saulės modulių tipų ir galios nuvertėjimo ekonominis tyrimas

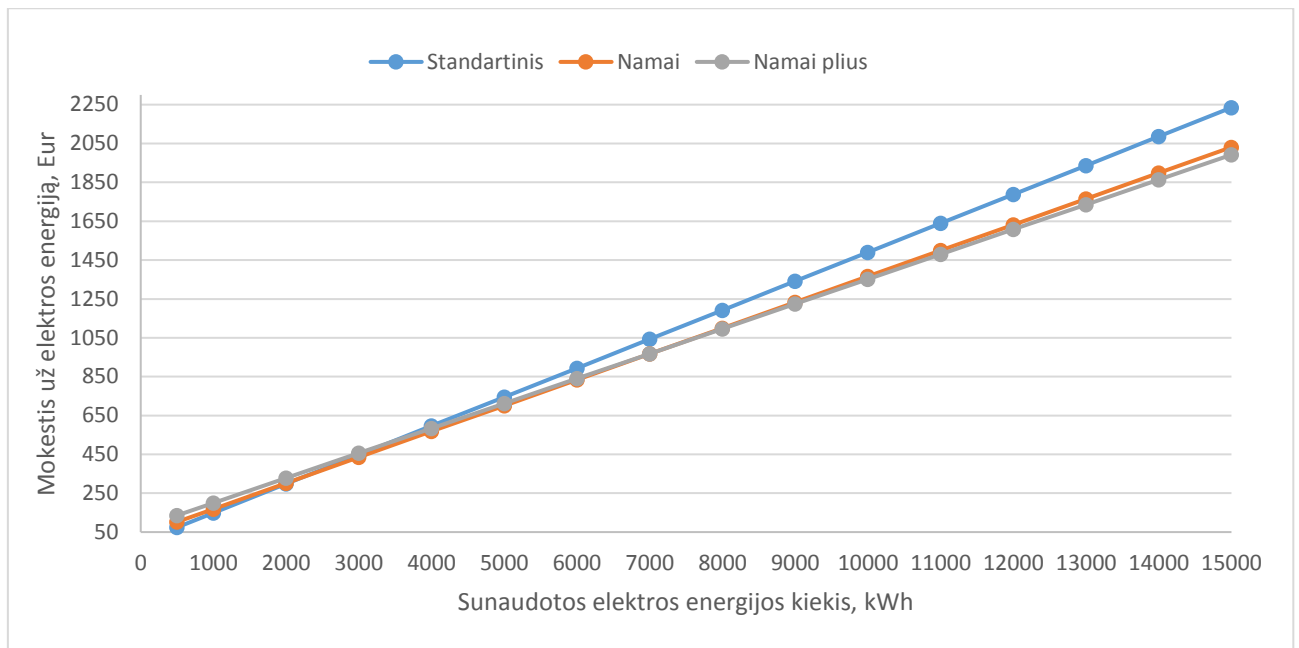
Tyrimas atliktas naudojant skirtingus saulės modulių tipus, „stiklas/plėvelė“ bei „stiklas/stiklas“.

Norint įvertinti saulės elektrinės atsiperkamumo laikotarpį, reikia taikyti ekonomiškiausią mokėjimo plano tarifą už metinį, vartotojo poreikius tenkinantį, elektros energijos kiekį. Skaičiavimo duomenys, nagrinėjamam pastatui, už elektros energijos įsigijimą iš elektros tinklų pateikiami 17 lentelėje.

17 lentelė Ekonomiškiausio mokėjimo plano skaičiavimo duomenys, už įsigytą elektros energiją [49]

Metinis sunaudojamas elektros energijos kiekis, kWh	Metiniai elektros energijos kaštai pasirenkant vieną iš vienos laiko zonos planų:					
	„Standartinis“	0,149 Eur/kWh	„Namai“	0,133 Eur/kWh	„Namai plus“	0,128 Eur/kWh
		0 Eur/mėn		3 Eur/mėn		6 Eur/mėn
11457,49	1707,17 Eur		1559,85 Eur		1538,56 Eur	

Remiantis 17 lentelėje gautais duomenimis matome, kad ekonomiškiausias planas – „namai plus“, pasirinkus šį mokėjimo planą metiniai elektros energijos kaštai siektų - 1538,56 Eur. Skaičiuojant saulės elektrinės atsiperkamumą bus naudojama pastaroji vertė. Paveiksle 3.11 pateikiamas geriausio mokėjimo plano parinkimas pagal suvartojamą elektros energijos kiekį.



3.11 pav. Elektros energijos ekonomiškiausio mokėjimo plano parinkimas pagal metinį elektros energijos suvartojimą, Eur

18 ir 19 lentelėse pateikti tyrimo rezultatai, kuriuose apskaičiuotas saulės elektrinės atsiperkamumas, naudojant skirtingus dviejų tipų saulės modulių. Atsiperkamumo skaičiavime pinigų srautai bus diskontuoti. Priimant, kad visas reikiamas saulės elektrinės įsirengimui kapitalas bus skolintas iš banko su palūkanų norma 3,61%, kuri ir bus lygi taikomai diskonto normai [50]. Šis tyrimas atliekamas naudojant skirtingų specifikacijų saulės modulių, techniniai duomenys yra pateikti 10 ir 11 prieduose.

18 lentelė Saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių apskaičiuoti atsiperkamumo tyrimo rezultatai tiriamam pastatui

Metai, n	Saulės elektrinės galios sumažėjimo tyrimas su „stiklas/stiklas“ saulės moduliais					Ekonomiškiausio mokėjimo plano parinkimas už „pasaugotą“ elektros energijos dalį, Eur ¹			Atsiperkamumo skaičiavimas ²			
	Metinis sunaudojama elektros energijos kiekis, kWh	Saulės elektrinės modulių liekamoji galia po n metų, %	Metinis generuojama elektros energijos kiekis po n metų, kWh	Reikiama elektros energijos kiekis per 1 metus, kWh	Mokestis už trūkstamą elektros energijos kiekį (0,149 eur/kWh), Eur	0,05203 Eur/kWh	0 Eur/kWh	0,02662 Eur/kWh	Susidarantys kaštai per 1 metus už „pasaugotos“ ir dėl trūkstamos elektros energijos dalies pirkimo iš ESO, Eur	Per 1 metus susidarantys elektros energijos kaštai perkant visą elektros energijos kiekį iš ESO, Eur	Pinigų balansas po n metų, Eur	Pinigų balansas po n metų (pasinaudojus parama), Eur
0	11457,49	100,00	12493,56	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	0,00	0,00	-12533,66	-9303,66
1	11457,49	98,00	12243,69	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	366,61	1484,95	-11415,32	-8185,32
2	11457,49	96,00	11993,82	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	353,84	1433,21	-10335,94	-7105,94
3	11457,49	95,25	11900,12	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	341,51	1383,28	-9294,17	-6064,17
4	11457,49	94,50	11806,41	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	329,61	1335,08	-8288,70	-5058,70
5	11457,49	93,75	11712,71	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	318,12	1288,56	-7318,26	-4088,26
6	11457,49	93,00	11619,01	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	307,04	1243,67	-6381,63	-3151,63
7	11457,49	92,25	11525,31	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	296,34	1200,34	-5477,63	-2247,63
8	11457,49	91,50	11431,61	25,89	3,86	398,06	379,84	393,58	288,92	1158,51	-4608,04	-1378,04

¹ Mėlyna spalva pažymėtas ekonomiškiausias mokėjimo planas už „pasaugotą“ elektros energijos dalį.

² Oranžine spalva žymi metus, kuriais saulės elektrinė atsipirks.

9	11457,49	90,75	11337,91	119,59	17,82	393,19	379,84	391,09	289,00	1118,15	-3778,90	-548,90
10	11457,49	90,00	11244,20	213,29	31,78	388,31	379,84	388,59	288,72	1079,19	-2988,43	241,57
11	11457,49	89,33	11160,91	296,58	44,19	383,98	379,84	386,38	287,07	1041,59	-2233,91	996,09
12	11457,49	88,67	11077,62	379,87	56,60	379,64	379,84	384,16	285,17	1005,30	-1513,79	1716,21
13	11457,49	88,00	10994,33	463,16	69,01	375,31	379,84	381,94	283,06	970,27	-826,58	2403,42
14	11457,49	87,33	10911,04	546,45	81,42	370,98	379,84	379,72	280,75	936,46	-170,87	3059,13
15	11457,49	86,67	10827,75	629,74	93,83	366,64	379,84	377,51	278,26	903,83	454,70	3684,70
16	11457,49	86,00	10744,46	713,03	106,24	362,31	379,84	375,29	275,60	872,34	1051,44	4281,44
17	11457,49	85,33	10661,17	796,32	118,65	357,98	379,84	373,07	272,79	841,95	1620,60	4850,60
18	11457,49	84,67	10577,88	879,61	131,06	353,64	379,84	370,86	269,84	812,61	2163,37	5393,37
19	11457,49	84,00	10494,59	962,90	143,47	349,31	379,84	368,64	266,77	784,30	2680,90	5910,90
20	11457,49	83,33	10411,30	1046,19	155,88	344,98	379,84	366,42	263,58	756,97	3174,30	6404,30

19 lentelė Saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių apskaičiuoti atsiperkamumo tyrimo rezultatai tiriamajam pastatui

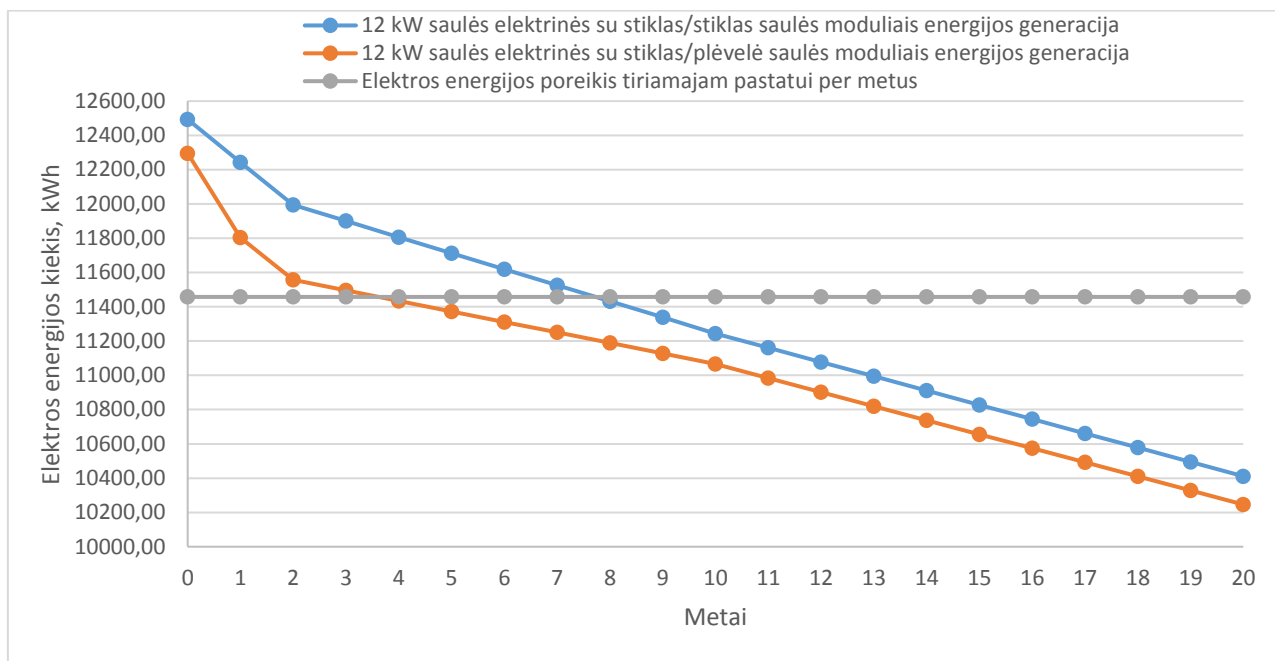
Metai, n	Saulės elektrinės galios sumažėjimo tyrimas su „stiklas/stiklas“ saulės moduliais					Ekonomiškiausio mokėjimo plano parinkimas už „pasaugotą“ elektros energijos dalį, Eur ³			Atsiperkamumo skaičiavimas ⁴			
	Metinis sunaudojama s elektros energijos kiekis, kWh	Saulės elektrinės modulių liekamoji galia po n metų, %	Metinis generuojamo s energijos kiekis po n metų, kWh	Reikiama s elektros energijos kiekis per 1 metus, kWh	Mokestis už trūkstamą elektros energijos kiekį (0,149 eur/kWh), Eur	0,05203 Eur/kWh	0 Eur/kWh	0,02662 Eur/kWh	Susidarantys kaštai per 1 metus už „pasaugotos“ ir dėl trūkstamos elektros energijos dalies pirkimo iš ESO, Eur	Per 1 metus susidarantys elektros energijos kaštai perkant visą elektros energijos kiekį iš ESO, Eur	Pinigų balansas po n metų, Eur	Pinigų balansas po n metų (pasinaudojus parama), Eur
0	11457,49	100,00	12295,26	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	0,00	0,00	-11860,23	-8630,23
1	11457,49	96,00	11803,45	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	366,61	1484,95	-10741,89	-7511,89
2	11457,49	94,00	11557,54	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	353,84	1433,21	-9662,51	-6432,51
3	11457,49	93,50	11496,07	0,00	0,00	399,41	379,84	394,27	341,51	1383,28	-8620,74	-5390,74
4	11457,49	93,00	11434,59	22,90	3.41	398,22	379,84	393,66	332,57	1335,08	-7618,23	-4388,23
5	11457,49	92,50	11373,12	84,38	12.57	395,02	379,84	392,02	328,65	1288,56	-6658,32	-3428,32
6	11457,49	92,00	11311,64	145,85	21.73	391,82	379,84	390,39	324,61	1243,67	-5739,26	-2509,26
7	11457,49	91,50	11250,16	207,33	30.89	388,62	379,84	388,75	320,44	1200,34	-4859,36	-1629,36
8	11457,49	91,00	11188,69	268,81	40.05	385,42	379,84	387,11	316,18	1158,51	-4017,03	-787,03
9	11457,49	90,50	11127,21	330,28	49.21	382,22	379,84	385,48	311,82	1118,15	-3210,69	19,31

³ Mėlyna spalva pažymėtas ekonomiškiausias mokėjimo planas už „pasaugotą“ elektros energijos dalį.

⁴ Oranžinė spalva žymi metus, kuriais saulės elektrinė atsiperks.

10	11457,49	90,00	11065,73	391,76	58.37	379,03	379,84	383,84	307,38	1079,19	-2438,88	791,12
11	11457,49	89,33	10983,77	473,73	70.59	374,76	379,84	381,66	304,94	1041,59	-1702,23	1527,77
12	11457,49	88,67	10901,80	555,70	82.80	370,50	379,84	379,48	302,29	1005,30	-999,22	2230,78
13	11457,49	88,00	10819,83	637,66	95.01	366,23	379,84	377,30	299,46	970,27	-328,41	2901,59
14	11457,49	87,33	10737,86	719,63	107.23	361,97	379,84	375,11	296,46	936,46	311,59	3541,59
15	11457,49	86,67	10655,89	801,60	119.44	357,70	379,84	372,93	293,31	903,83	922,12	4152,12
16	11457,49	86,00	10573,92	883,57	131.65	353,44	379,84	370,75	290,01	872,34	1504,45	4734,45
17	11457,49	85,33	10491,96	965,54	143.87	349,17	379,84	368,57	286,59	841,95	2059,81	5289,81
18	11457,49	84,67	10409,99	1047,51	156.08	344,91	379,84	366,39	283,06	812,61	2589,37	5819,37
19	11457,49	84,00	10328,02	1129,47	168.29	340,64	379,84	364,20	279,42	784,30	3094,25	6324,25
20	11457,49	83,33	10246,05	1211,44	180.51	336,38	379,84	362,02	275,69	756,97	3575,53	6805,53

18 ir 19 lentelėse gauti tyrimo rezultatai, kurie grafiškai pateikiami 3.12 paveiksle, parodo skirtingų dviejų tipų saulės modulių elektros energijos generaciją, kuriai turėjo įtakos modulių nominalios galios sumažėjimas skirtingais metais. Taip pat šiame paveiksle yra pateikiamas reikalingas elektros energijos kiekis nagrinėjamam pastatui. 20 lentelėje pateikiama 12 kW saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimo rezultatai naudojant skirtingų tipų saulės modulius.



3.12 pav. Dviejų tipų saulės modulių generuojamas elektros energijos sumažėjimas skirtingu laikotarpiu, kWh

20 lentelė Nagrinėjamo pastato 12 kW saulės jėgainės atsiperkamumo rezultatai, taikant dviejų skirtingų saulės modulių tipus

Saulės modulių tipas	„stiklas/stiklas“	„stiklas/plėvelė“
Saulės elektrinės įrengimo kaštai, Eur	12533,66	11860,23
Saulės elektrinės įrengimo kaštai pasinaudojus parama, Eur	9303,66	8630,23
Saulės modulių garantinis laikotarpis, metais	20	20
Per garantinį laikotarpį sutaupoma pinigų suma, Eur	3174,30	3575,53
Per garantinį laikotarpį sutaupoma pinigų suma pasinaudojus parama, Eur	6404,30	6805,53
Atsiperkamumo periodas, metais	15	14
Atsiperkamumo periodas pasinaudojus parama, metais	10	9
Saulės elektrinės pelningumo indeksas	1,25	1,30
Saulės elektrinės pelningumo indeksas pasinaudojus parama	1,69	1,79

Remiantis 20 lentelėje gautais duomenimis, galima pastebėti, kad 12 kW saulės elektrinės atsiperkamumo rezultatai gaunami geriausi pasirinkus „stiklas/plėvelė“ saulės modulius. Su šiais moduliais saulės elektrinės atsiperkamumo periodas, pasinaudojus parama, 9 metai, atsiperkamumas išreikštas kartais siekia 1,79, o sutaupomą pinigų sumą sudaro 6805,53 eur. Kai tuo tarpu saulės elektrinė sudaryta iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių atsiperkamumo rodikliai kiek

žemesni. Atsiperkamumo periodas pasinaudojus parama 10 metų, atsiperkamumas išreikštas kartais siekia 1,69, o sutaupoma pinigų suma, per saulės modulių garantinį laikotarpį, sudaro 6404,30 eur.

21 lentelė Nagrinėjamo pastato 12 kW saulės jėgainės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių atsiperkamumo rezultatų priklausomybė keičiantis elektros kainai

Saulės modulių tipas	„stiklas/stiklas“										
Saulės elektrinės įrengimo kaštai, Eur	12533,66										
Saulės elektrinės įrengimo kaštai pasinaudojus parama, Eur	9303,66										
Saulės modulių garantinis laikotarpis, metais	20										
Elektros energijos kainos pokytis, %	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Per garantinį laikotarpį sutaupoma pinigų suma, Eur	2388,90	2545,98	2703,06	2860,14	3017,22	3174,30	3331,38	3488,46	3645,54	3802,62	3959,70
Per garantinį laikotarpį sutaupoma pinigų suma pasinaudojus parama, Eur	5618,90	5775,98	5933,06	6090,14	6247,22	6404,30	6561,38	6718,46	6875,54	7032,62	7189,70
Atsiperkamumo periodas, metais	16	16	15	15	15	15	15	14	14	14	14
Atsiperkamumo periodas pasinaudojus parama, metais	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10
Saulės elektrinės pelningumo indeksas	1,19	1,2	1,22	1,23	1,24	1,25	1,27	1,28	1,29	1,30	1,32
Saulės elektrinės pelningumo indeksas pasinaudojus parama	1,6	1,62	1,64	1,65	1,67	1,69	1,71	1,72	1,74	1,76	1,77

22 lentelė Nagrinėjamo pastato 12 kW saulės jėgainės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių atsiperkamumo rezultatų priklausomybė keičiantis elektros kainai

Saulės modulių tipas	„stiklas/plėvelė“										
Saulės elektrinės įrengimo kaštai, Eur	11860,23										
Saulės elektrinės įrengimo kaštai pasinaudojus parama, Eur	8630,23										
Saulės modulių garantinis laikotarpis, metais	20										
Elektros energijos kainos pokytis, %	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Per garantinį laikotarpį sutaupoma pinigų suma, Eur	2803,74	2958,10	3112,46	3266,81	3421,17	3575,53	3729,89	3884,25	4038,60	4192,96	4347,32
Per garantinį laikotarpį sutaupoma pinigų suma pasinaudojus parama, Eur	6033,74	6188,10	6342,46	6496,81	6651,17	6805,53	6959,89	7114,25	7268,60	7422,96	7577,32
Atsiperkamumo periodas, metais	15	15	15	15	15	14	14	14	13	13	13
Atsiperkamumo periodas pasinaudojus parama, metais	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9
Saulės elektrinės pelningumo indeksas	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29	1,30	1,31	1,33	1,34	1,35	1,37
Saulės elektrinės pelningumo indeksas pasinaudojus parama	1,70	1,72	1,73	1,75	1,77	1,79	1,81	1,82	1,84	1,86	1,88

21 ir 22 lentelėse pateikti saulės elektrinių su skirtingais saulės moduliais atsiperkamumo rezultatai, keičiantis elektros kainai per 20 metų garantinį saulės modulių laikotarpį. Galime pastebėti tendencija, kad augant elektros kainai saulės elektrinės atsiperkamumo laikotarpis trumpėja, kai tuo tarpu saulės elektrinės pelningumo indeksas didėja.

Išvados

1. Atliekant literatūros analizę, buvo išnagrinėti hibridinės atsinaujinančios energijos sistemos komponentai. Saulės elektrinę sudarė šie pagrindiniai komponentai: saulės moduliai, įtampos keitiklis, dvipusės apskaitos fiksavimo prietaisas. Saulės moduliai yra sudaryti iš puslaidininkių, kurių sugeneruotos energijos kiekis priklauso nuo apšvietos. Norint išgauti maksimalų saulės elektrinės sugeneruotos energijos kiekį nagrinėjamam objektui yra būtina parinkti optimalų fiksuotą saulės modulių kampą. Šilumos siurblių „oras – vanduo“ sudaro vidinis ir išorinis blokai. Šilumos COP priklauso nuo išorinės lauko oro temperatūros. Krentant lauko oro temperatūrai šilumos siurblio COP atitinkamai mažėja.
2. Sudarytas hibridinės sistemos - saulės elektrinės ir šilumos siurblio „oras vanduo“ pasirinkimo algoritmas. Parengta metodika, pagal kurią galima įvertinti elektros ir šiluminės energijos poreikius metų laikotarpyje Lietuvos regione esantiems gyvenamiesiems namas. Pastatai Lietuvoje pagal energinį naudingumą klasifikuojami į 9 klases. Šiame projekte parengta metodika buvo taikoma 118,9 m² gyvenamo ploto nagrinėjamam pastatui, kuris atitiko +A energetinio naudingumo klasę.
3. Ištyrus projektuojamos hibridinės sistemos darbo charakteristikas, buvo parinktas optimalus variantas pagal nustatytus kriterijus. Pasirinktas 8 kW šilumos siurblys „oras – vanduo“ su papildomu 9 kW kaitinimo elementu, kuris patenkina nagrinėjamo gyvenamo namo šiluminius bei karšto vandens poreikius. Įvertinus COP prie skirtingų lauko oro temperatūrų, karšto vandens ruošimą bei papildomą kaitinimo elemento darbą gauta, jog šilumos siurblio metiniai elektros energijos poreikiai - 6694,49 kWh. Galutinis metinis elektros energijos poreikis, įvertinus paskutinių dviejų metų elektros energijos sunaudojimą, - 11457,49 kWh. Žinant galutinį metinį reikalingą elektros energijos kiekį nagrinėjamam pastatui pasirinkta 12 kW saulės elektrinė, kuri patenkina metinius poreikius. Saulės elektrinė, kurią sudaro skirtingi saulės moduliai, sugeneruoja skirtingą elektros energijos kiekį: „stiklas – stiklas“ - 12493,56 kWh, „stiklas – plėvelė“ - 12295,26 kWh. Skirtingais metais dėl saulės modulių liekamosios galios mažėjimo sugeneruotas elektros energijos kiekis mažėja, nepriklausomai nuo saulės modulių tipo.
4. Atlikus ekonominę analizę pasirinktai saulės elektrinei sudarytai iš skirtingų saulės modulių gauti rezultatai, rodo, kad saulės modulių „stiklas – stiklas“ atsiperkamumo laikotarpis 15 m., pritaikius paramą sutrumpėja iki 10 m. Viso garantinio laikotarpio metu tokia saulės elektrinė sutaupo 3174,30 Eur., o pelningumo indeksas siekia 1,25 karto. Pritaikius paramą sutaupoma suma padidėja iki 6404,30 Eur., o pelningumo indeksas siekia 1,69 karto. Saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas – plėvelė“ saulės modulių atsiperkamumo laikotarpis 14 m., pritaikius paramą sutrumpėja iki 9 m. Viso garantinio laikotarpio metu tokia saulės elektrinė sutaupo 3575,53 Eur., o pelningumo indeksas siekia 1,30 karto. Pritaikius paramą sutaupoma suma padidėja iki 6805,53 Eur., o pelningumo indeksas siekia 1,79 karto.

Literatūros sąrašas

1. GALINIS, Arvydas. Techninė ekonominė energetikos sektoriaus plėtros analizė. Kaunas, 2015.
2. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. *Elektros energijos tiekimo namų ūkiams liberalizavimo studija*. Vilnius, 2017.
3. BOSE, Bimal K. *Power Electronics in Renewable Energy Systems and Smart Grid*. Piscataway: 2019.
4. PRĀVĀLIE, R., PATRICHE, C., & BANDOC, G. Spatial assessment of solar energy potential at global scale. *Journal of Cleaner production*. 2019, 209, pp. 692-721.
5. Saulės energetika. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: https://smp2014ge.ugdome.lt/mo/9kl_visuomenine_geografija/GE_DE_20/teorine_medziaga_4_3.html.
6. Saulės elektrinių įrengimo ypatumai. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.staltika.lt/saules-energijos-sistemas/fotovoltines-elektrines/saules-elektriniu-irengimo-ypatumai-2/>.
7. Global horizontal irradiation. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/figure/Europe-average-annual-solar-radiation-Fig-4-Italy-average-annual-solar-radiation_fig2_266260208.
8. PETRAUSKAS, Gytis, ADOMAVIČIUS, Vytautas. *Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti*. Kaunas, 2012. ISBN 978-609-02-0752-9.
9. SHAFIEIAN, A., KHIADANI, M., NOSRATI, A. Strategies to improve the thermal performance of heat pipe solar collectors: A review. *Energy conversation and management*. 2019, 183, 307-331.
10. KALOGIROU, S. *Photovoltaic System*. *Solar Energy Engineering*. 2009, pp. 469-516.
11. NWAIGWE, K. N., Mutabilwa, P., & Dintwa, E. An overview of solar power (PV systems) integration into electricity. *Materials Science for Energy Technologies*. 2019, 2, pp. 629-633.
12. Components of a Photovoltaic System. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.fuelcellstore.com/blog-section/components-of-a-photovoltaic-system>.
13. How Solar Power Works - On-Grid, Off-Grid And Hybrid Systems. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>.
14. Dvipusė elektros energijos apskaita (Net metering). [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.reenpro.lt/dvipuse-elektros-energijos-apskaita-net-metering>.
15. The power grid as a storage device. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.solarwarrior.com/net-metering.html>.
16. ALGADDAFI, A., Alshahrani, J., Hussain, S., Elnaddab, K., Diryak, E., Daho, I. Comparing the impact of the off-grid system and on-grid system on a realistic load. 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. 2016, pp. 2144-2150. ISBN: 3-936338-41-8.
17. ŠLJIVAC, Damir ir kt. Renewable energy sources and energy efficiency for rural areas. MTA KRTK Institute for Regional Studies, 2018.
18. On-Grid Solar Power Systems vs Off-Grid Solar Power Systems: Their applications & advantages. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/productline/power-generation/on-grid->

- [solar-power-systems-vs-off-grid-solar-power-systems-their-applications-advantages/articleshow/69200840.cms?from=mdr](https://www.renewablesinafrica.com/advantages/articleshow/69200840.cms?from=mdr).
19. Energy Informative. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/>.
 20. How to inspect visually a solar PV panel? [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.renewablesinafrica.com/how-to-inspect-visually-a-solar/>.
 21. THE STRUCTURE OF A PHOTOVOLTAIC MODULE. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://ecoprogetti.com/the-structure-of-photovoltaic-module/>.
 22. HUSSAIN, C. M. Engineered Nanomaterials for Energy Applications. Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications. Newark, 2018, pp. 751-767.
 23. Solet Technics. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.solet.lt/technics/duk/#1527068472469-4cae152c-756d>.
 24. SALA LIZARRAGA, J. M. P., and PICALLO-PEREZ, A. Efficient buildings and the arguments for incorporating exergy. Exergy Analysis and Thermoeconomics of Buildings–Design and Analysis for Sustainable Energy Systems. Bilbao, 2019, pp. 3-66.
 25. Energy efficient buildings. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en?redir=1.
 26. BOSH, J., Johnson, F.X., MERTENS, R., ROUBANIS, N., LOESOENEN, P. GIKAS, A., GORTON, J. Panorama of Energy: Energy Statistics to Support EU Politics and Solutions. Luxembourg, 2008.
 27. Commission Communication. Roadmap to a Competitive Low Carbon Economy in 2050. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=EN>
 28. European Parliament. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently 242 Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, Belgium, 2009.
 29. VALANCIUS, R., SINGH, R. M., JURELIONIS, A., and VAICIUNAS, J. A Review of Heat Pump Systems and Applications in Cold Climates: Evidence from Lithuania. Kaunas, 2019.
 30. Šilumos siurblių veikimo principas. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.eko2siluma.lt/pagalbos-centras/veikimo-principas/>.
 31. ŽEKAS, V. Realiai veikiančio šilumos siurblio efektyvumo tyrimas. Mokslas – Lietuvos ateitis. Vilnius, 2009.
 32. Šilumos siurblio veikimo principas. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.klima.lt/silumos-siurblio-veikimo-principas>.
 33. Kas yra šilumos siurblys ir koks jo veikimo principas? [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.inoterma.lt/daznai-uzduodami-klausimai>.
 34. Šilumos siurblys. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.clivet.lt/kompleksiniai-sprendimai/silumos-siurblys/>.
 35. Elektros energija gaminantys vartotojai. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/elektros-energija-gaminantys-vartotojai>.

36. Tarifų planai ir kainos. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/gaminanciu-vartotoju-kainos.html>.
37. Mažmeninės elektros energijos tiekimo namų ūkiams rinkos visiškas liberalizavimas. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: http://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/20180620_Ma%C5%BEmenin%C4%97s_elektros_energijos_liberalizavimas_pataisymas_FINAL.PDF
38. Įstatymas NR. VIII-1881 2, 7, 9, 35, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 51, 52, 59, 60, 61, 67 IR 68
39. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Elektros energijos tiekimo namų ūkiams liberalizavimo studija. Vilnius, 2017.
40. Derinimui su visuomene teikiami įstatymo pakeitimai dėl mažmeninės elektros energijos tiekimo rinkos liberalizavimo. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/derinimui-su-visuomene-teikiami-istatymo-pakeitimai-del-mazmenines-elektros-energijos-tiekimo-rinkos-liberalizavimo>.
41. WANG, Xinru ir kt. A systematic review of recent air source heat pump (ASHP) systems assisted by solar thermal, photovoltaic and photovoltaic/thermal sources. *Renewable Energy*. 2020, 146, pp 2472-2487.
42. SIMONETTI, Ricardo ir kt. Energetic and economic optimization of the yearly performance of three different solar assisted heat pump systems using a mixed integer linear programming algorithm. *Energy Conversion and Management*. 2020, 206, pp 1-16.
43. Montavimo ir techninės priežiūros instrukcijos NIBE. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.nibeenergysystems.lt/nibedocuments/16269/331201-2.pdf>.
44. Černeckienė, J., Vėjo energijos naudojimo pastatui šildyti taikant hidraulinę sistemą tyrimas. Kaunas, 2017.
45. Dėl statybos techninio reglamento STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ patvirtinimo. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>.
46. Programa: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR.
47. Vidutinės klimatinių rodiklių reikšmės Lietuvoje 1981-2010 m. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: http://www.meteo.lt/documents/20181/103901/Lietuvos_klimatas_09_25.pdf/e307f875-d20b-4a4d-aa90-c66a4dd57885.
48. Statybinė klimatologija RSN 156-94 respublikinės statybos normos. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://remontogidas.lt/images/Kita/Statybine%20klimatologija%20RSN156-94.www.remontogidas.lt.pdf>.
49. Visuomeninės elektros energijos kainos. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.vert.lt/elektra/Puslapiai/tarifai/visuomeniniai-tarifai-eso-galiojantys.aspx>.
50. Diskontas. [Tinkle]. Available: <https://www.lb.lt/lt/paskolu-palukanu-normos>.

51. Saulėtos dienos. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.saulės baterija.lt/saulės-baterijos/sauletos-dienos-lietuvoje>.
52. Energy efficiency. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.cold-heat.co.uk/energy-efficiency>.
53. Projektavimo instrukcija. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: http://static.viessmann.com/resources/technical_documents/LT/lt/VPA/5798149VPA00005_1.PDF.
54. Technical data Fronius Symo (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M) [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: https://www.originenergy.com.au/content/dam/origin/residential/docs/solar/current-models/Fronius_Symo_Inverter_Brochure.pdf.
55. Fotovoltiniai monokristaliniai moduliai Solet M60.6-W(B)F-300/325. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.solet.lt/precizika/en/Downloads>.
56. Photovoltaic Module Polycrystalline Glass-glass 48 – 60 – 72 cell. [žiūrėta 2020 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.solet.lt/technics/wp-content/uploads/2018/08/Solet-Poly-Glass-glass.pdf>.

Priedai

1 Priedas. Saulėtų valandų skaičius Lietuvoje [51]

Eil. Nr.	Vietovė	Mėnesiai												Per metus
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1.	Šilutė	39	68	131	185	263	287	274	264	169	103	41	30	1836
2.	Nida	37	65	131	189	265	290	281	254	171	102	42	30	1857
3.	Kaunas	40	68	128	175	251	265	256	238	160	99	41	30	1751
4.	Vilnius	41	70	126	165	243	250	243	234	150	96	42	30	1690
5.	Telšiai	37	66	126	182	263	286	266	242	169	104	45	32	1818
6.	Šiauliai	36	65	125	176	263	277	261	243	167	100	42	29	1784
7.	Klaipėda	34	65	122	180	264	285	274	252	167	100	40	28	1811
8.	Vėžaičiai	35	66	123	182	262	263	265	241	166	101	38	28	1790
9.	Utena	39	68	123	170	248	259	252	229	151	95	40	28	1702
10.	Biržai	28	59	119	170	254	266	258	233	149	89	29	16	1670
11.	Dotnuva	31	62	128	180	263	279	269	249	163	96	32	20	1772
12.	Dūkštai	29	60	120	171	256	268	261	236	151	90	30	17	1689
13.	Kybartai	47	75	134	180	254	268	260	241	165	105	48	38	1815
14.	Lazdijai	46	74	134	181	257	271	262	244	166	105	47	36	1823
15.	Varėna	32	64	125	167	252	260	252	243	151	92	33	20	1691

2 Priedas. Efektyvumo koeficientai [52]

Energijos klasė	Efektyvumo koeficientas	
	Vėsinimo režimas (SEER)	Šildymo režimas (SCOP)
A+++	SEER \geq 8,50	SCOP \geq 5,10
A++	6,10 \leq SEER $<$ 8,50	4,60 \leq SCOP $<$ 5,10
A+	5,60 \leq SEER $<$ 6,10	4,00 \leq SCOP $<$ 4,60
A	5,10 \leq SEER $<$ 5,60	3,40 \leq SCOP $<$ 4,00
B	4,60 \leq SEER $<$ 5,10	3,10 \leq SCOP $<$ 3,40
C	4,10 \leq SEER $<$ 4,60	2,80 \leq SCOP $<$ 3,10
D	3,60 \leq SEER $<$ 4,10	2,50 \leq SCOP $<$ 2,80
E	3,10 \leq SEER $<$ 3,60	2,20 \leq SCOP $<$ 2,50
F	2,60 \leq SEER $<$ 3,10	1,90 \leq SCOP $<$ 2,20
G	SEER $<$ 2,60	SCOP $<$ 1,90

3 Priedas. VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 COP koeficiento ir šiluminės galios priklausomybė nuo išorinės lauko temperatūros esant skirtingoms šilumnešio temperatūromis [53]

Eksploatacijos taškas	W A	°C °C	35							
			-20	-15	-7	2	7	10	20	30
Maks. šiluminė galia		kW	3,77	4,35	5,53	5,54	6,30	6,86	8,11	9,26
Vardinė šiluminė galia		kW	3,77	4,35	5,53	3,10	4,75	5,00	6,11	7,58
Elektr. imamoji galia		kW	1,89	1,95	1,96	0,84	1,03	1,00	0,98	0,94
Energijos transformavimo koeficientas ϵ (COP)			1,99	2,23	2,82	3,67	4,60	5,00	6,23	8,06
Min. šiluminė galia		kW	1,58	1,79	1,85	2,42	3,01	3,29	4,10	5,15

Eksploatacijos taškas	W A	°C °C	45							
			-20	-15	-7	2	7	10	20	30
Maks. šiluminė galia		kW	3,88	4,38	5,41	5,43	5,06	6,65	7,85	8,93
Vardinė šiluminė galia		kW	3,88	4,38	5,41	3,05	4,49	4,76	5,85	7,27
Elektr. imamoji galia		kW	2,21	2,29	2,40	1,06	1,28	1,26	1,25	1,22
Energijos transformavimo koeficientas ϵ (COP)			1,76	1,91	2,25	2,88	3,51	3,78	4,68	5,96
Min. šiluminė galia		kW	1,64	1,88	2,29	2,28	2,82	3,09	3,90	4,84










Eksploatacijos taškas	W A	°C °C	55							
			-20	-15	-7	2	7	10	20	30
Maks. šiluminė galia		kW		4,47	5,56	5,07	5,79	6,16	7,57	8,58
Vardinė šiluminė galia		kW		4,47	5,56	2,88	4,10	4,53	5,58	6,95
Elektr. imamoji galia		kW		2,67	2,84	1,33	1,51	1,57	1,57	1,55
Energijos transformavimo koeficientas ϵ (COP)				1,67	1,96	2,17	2,72	2,89	3,55	4,48
Min. šiluminė galia		kW		1,83	2,37	2,68	3,14	3,42	4,28	5,30

Eksploatacijos taškas	W A	°C °C	60							
			-20	-15	-7	2	7	10	20	30
Maks. šiluminė galia		kW			5,12	5,15	5,75	6,06	7,41	8,16
Vardinė šiluminė galia		kW			5,12	3,01	4,14	4,44	5,48	6,81
Elektr. imamoji galia		kW			2,89	1,49	1,75	1,76	1,77	1,76
Energijos transformavimo koeficientas ϵ (COP)					1,77	2,02	2,36	2,52	3,09	3,88
Min. šiluminė galia		kW			2,46	3,02	3,38	3,60	4,49	5,32

4 Priedas. VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 šilumos siurblio garso lygio priklausomybė nuo atstumo [53]

Ventiliatoriaus apsuokų skaičius	Garso galios lygis L_w , dB (A) ^{*17}	Krypties faktorius Q	Atstumas nuo išorinio mazgo, m						
			1	2	4	5	6	8	10
			Garso slėgio lygis L_p , dB(A) ^{*18}						
Naktis	50	2	42	36	30	28	26	24	22
		4	45	39	33	31	29	27	25
		8	48	42	36	34	32	30	28
Maks.	58	2	50	44	38	36	34	32	30
		4	53	47	41	39	37	35	33
		8	56	50	44	42	40	38	36

5 Priedas. Įmonės UAB „Šildymas jums“ komercinis pasiūlymas šilumos siurbliui

Paveikslėlis	Pavadinimas	Prekės kodas	Kiekis	Vieneto kaina	Iš viso
	Šilumos siurblys oras-vanduo VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08, 8 kW 230/400 V su integruotu 210 l karšto vandens talpa, su el. 9 kW tenu Z015357	Z015357	1  	6,146.80€	6,146.80€
	Hidraulikos pajungimai į viršų ZK02960	ZK02960	1  	230.38€	230.38€
	Konsolė išorinės dalies montavimui ant žemės (tinka Vitocal 200/222-S modeliams) ZK02929	ZK02929	1  	133.58€	133.58€

Tarpinė suma:	5,380.80€
PVM (21%):	1,129.97€
Iš viso:	6,510.77€

Įranga su papildoma nuolaida 6100eur su pvm
Pajungimo detales(pagal fakta) 500eur su pvm

Viso įranga 6600eur su pvm

Darbai;
Freoninės dalies montavimas 150eur
Paleidimas, derinimas 150eur
Santechnines dalies montavimas 300eur

Viso darbai 600eur be pvm.(pvm suma 126eur) viso 726eur su pvm

Viso 7326eur su pvm

6 Priedas. VIESSMANN VITOCAL 222-S AWBT-M-E 221.C08 SCOP koeficiento reikšmė [53]

Tipas AWBT-M/AWBT-M-E/AWBT-M-E-AC	221.C08	221.C08	221.C08	221.C10	221.C13	221.C16
Vidinio mažo mažmenys						
Bendras ilgis mm	681	681	681	681	681	681
Bendras plotis mm	600	600	600	600	600	600
Bendras aukštis mm	1874	1874	1874	1874	1874	1874
Bendras svoris						
Išorinis maugas kg	94	94	99	137	137	137
Vidinis maugas						
- Tipas AWBT-M kg	168	168	168	169	169	169
- Tipas AWBT-M-E/AWBT-M-E-AC kg	169	169	169	170	170	170
Laidžiamasis darbinis slėgis antriniame pusėje						
bar	3	3	3	3	3	3
MPa	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Antrinio apytakos rato jungtys (su prijungimo priedais, vidinis slėgis)						
Padaudamasis šildymo vanduo G	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Grįžtamasis šildymo vanduo G	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Karštas vanduo G	%	%	%	%	%	%
Šaltas vanduo G	%	%	%	%	%	%
Cirkuliacija G	%	%	%	%	%	%
Šiluminio linijų jungtys						
Šiluminė linija						
- Varnudis \varnothing mm	8 x 1	8 x 1	10 x 1	10 x 1	10 x 1	10 x 1
- Vidinis maugas UNF	%	%	%	%	%	%
- Išorinis maugas UNF	%	%	%	%	%	%
Karštųjų dujų linija						
- Varnudis \varnothing mm	12 x 1	12 x 1	16 x 1	16 x 1	16 x 1	16 x 1
- Vidinis maugas UNF	%	%	%	%	%	%
- Išorinis maugas UNF	%	%	%	%	%	%
Šiluminės linijos, karštųjų dujų linijos ilgiai						
- Šildymo nušėlis m	3 iki 30	3 iki 30	3 iki 30	3 iki 30	3 iki 30	3 iki 30
- Vėsinimo nušėlis m	3 iki 30	3 iki 30	3 iki 25	3 iki 30	3 iki 30	3 iki 30
Išorinio maugo garso galia prie vardinės šiluminės galios (matavimas remiantis EN 12102/EN ISO 9814-2)						
Koreguotas garso slėgio suminis lygis						
- Taisė A7 ^{dB} / W35 ^{dB} (maks.) dB(A)	56	56	56	60	61	61
- Taisė A7 ^{dB} / W35 ^{dB} (maks.) dB(A)	50	50	50	55	55	55
Energijos efektyvumo klasė pagal ES Reglamentą Nr. 813/2013						
Šildymas, vidutinės klimato sąlygos						
- Žematemperatūrinės taikmenos (W35)	A ⁺⁺	A ⁺⁺	A ^{+++?}	A ^{+++?}	A ^{+++?}	A ^{+++?}
- Vidutinės temperatūros taikmenos (W35)	A ⁺	A ⁺⁺	A ⁺⁺	A ⁺⁺	A ⁺⁺	A ⁺⁺
Geriamojo vandens šildymas, vandens vartojimo profilis (L)						
	A	A	A	A	A	A
Šildymo galios duomenys pagal ES Reglamentą Nr. 813/2013 (vidutinės klimato sąlygos)						
Žematemperatūrinės taikmenos (W35)						
- Energetinis efektyvumas $\eta_{s,h}$ %	173	172	175	176	175	175
- Vardinė šiluminė galia $P_{s,h,d}$ kW	5,38	5,59	6,82	9,32	9,99	10,61
- Sezoninis energijos transformavimo koeficientas (SCOP)	4,40	4,38	4,46	4,47	4,46	4,46
Vidutinės temperatūros taikmenos (W35)						
- Energetinis efektyvumas $\eta_{s,h}$ %	124	125	127	129	130	130
- Vardinė šiluminė galia $P_{s,h,d}$ kW	5,23	5,59	6,41	6,35	10,07	10,72
- Sezoninis energijos transformavimo koeficientas (SCOP)	3,18	3,21	3,25	3,29	3,32	3,34
- Karšto vandens ruošimo energetinis efektyvumas $\eta_{s,h}$ %	107,8	107,8	107,8	104,9	104,9	104,9

7 Priedas. 12,09 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/plėvelė“ saulės modulių simulatoriaus pagalba gauti rezultatai [45]

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

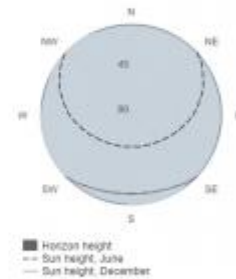
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 55.108, 22.036
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 12.09 kWp
 System loss: 10 %

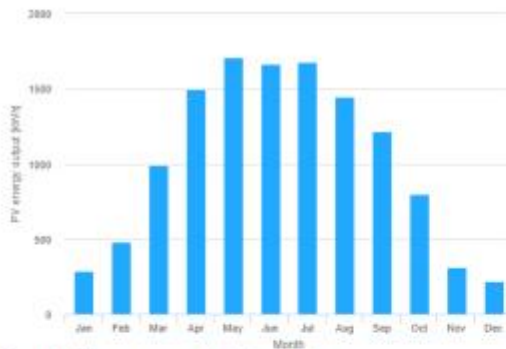
Simulation outputs

Elopc angle: 30 °
 Azimuth angle: 0 °
 Yearly PV energy production: 12295.26 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1205.35 kWh/m²
 Year-to-year variability: 584.08 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.96 %
 Spectral effects: 1.59 %
 Temperature and low irradiance: -4.91 %
 Total loss: -15.63 %

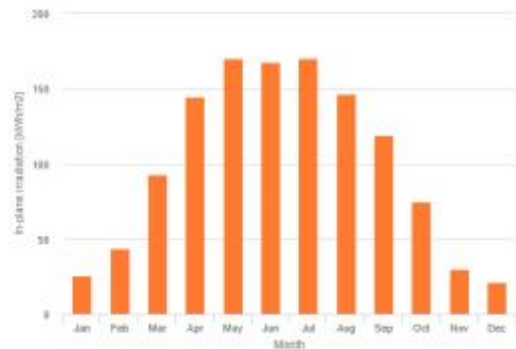
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	283.5	25.4	91.6
February	482.4	43.6	116.0
March	993.7	93.1	257.5
April	1496.4	144.5	197.1
May	1708.9	169.8	180.6
June	1664.6	167.9	152.6
July	1676.0	170.3	210.1
August	1448.8	148.1	216.9
September	1214.4	118.9	185.4
October	796.9	74.9	220.8
November	313.6	29.7	76.2
December	217.9	21.1	42.7

E_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

8 Priedas. 12,285 kW saulės elektrinės sudarytos iš „stiklas/stiklas“ saulės modulių simulatoriaus pagalba gauti rezultatai [45]

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

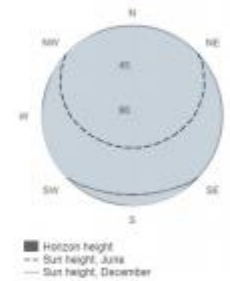
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 55.106, 22.036
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 12.285 kWp
 System loss: 10 %

Simulation outputs

Slope angle: 39 °
 Azimuth angle: 0 °
 Yearly PV energy production: 12493.58 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1206.35 kWh/m²
 Year-to-year variability: 593.50 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.96 %
 Spectral effects: 1.59 %
 Temperature and low irradiance: -4.91 %
 Total loss: -15.63 %

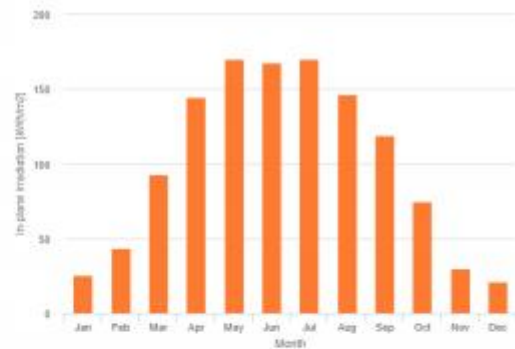
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	288.1	25.4	93.1
February	490.2	43.6	117.9
March	1009.8	93.1	261.7
April	1520.6	144.5	200.2
May	1736.5	169.8	183.6
June	1691.4	167.9	155.0
July	1703.1	170.3	213.4
August	1470.1	146.1	220.4
September	1234.0	118.9	188.3
October	809.8	74.9	224.3
November	318.7	29.7	77.4
December	221.4	21.1	43.4

E_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].

H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

9 Priedas. Fronius Symo 12.5-3-M įtampos keitiklio techniniai duomenys [54]

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

INPUT DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Number MPP trackers	2				
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$)	27.0 A / 16.5 A ¹⁾		33.0 A / 27.0 A		
Max. usable input current total ($I_{dc\ max\ 1} + I_{dc\ max\ 2}$)	43.5 A		51.0 A		
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂)	40.5 A / 24.8 A		49.5 A / 40.5 A		
DC input voltage range ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	200 - 1000 V				
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)	200 V				
Usable MPP voltage range	200 - 800 V				
Number of DC connections	3+3				
Max. PV generator output ($P_{dc\ max}$)	15.0 kW _{peak}	18.8 kW _{peak}	22.5 kW _{peak}	26.3 kW _{peak}	30.0 kW _{peak}
OUTPUT DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	10,000 W	12,500 W	15,000 W	17,500 W	20,000 W
Max. output power	10,000 VA	12,500 VA	15,000 VA	17,500 VA	20,000 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	14.4 A	18.0 A	21.7 A	25.3 A	28.9 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Total harmonic distortion	1.8 %	2.0 %	1.5 %	1.5 %	1.3 %
Power factor ($\cos\ \phi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.				
GENERAL DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensions (height x width x depth)	725 x 510 x 225 mm				
Weight	34.8 kg		43.4 kg		
Degree of protection	IP 66				
Protection class	1				
Overtoltage category (DC / AC) ²⁾	2 / 3				
Night time consumption	< 1 W				
Inverter design	Transformerless				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation (DIN rail)	Indoor and outdoor installation (106 x 90 x 66 mm)				
Ambient temperature range	-40 - +60 °C				
Permitted humidity	0 - 100 %				
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)				
DC connection technology	6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²				
AC connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²				
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097				

10 Priedas. „stiklas/plėvelė“ saulės modulių techniniai duomenys [55]

Fotovoltiniai monokristaliniai moduliai Solet M60.6-W(B)F-300/325

Solet
PHOTOVOLTAICS

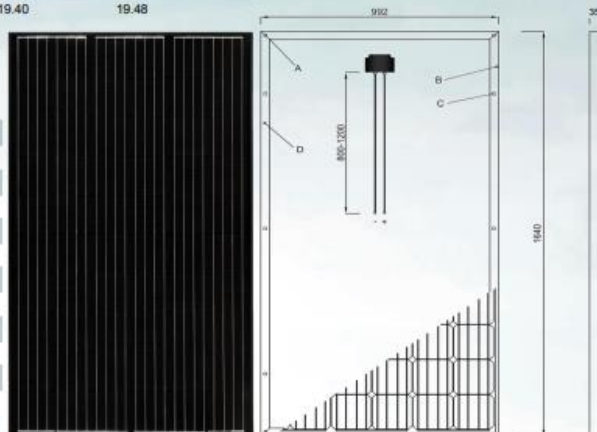
Elektriniai parametrai

Tipas	Solet M60.6-300	Solet M60.6-310	Solet M60.6-315	Solet M60.6-325
Maksimali galia* (PMPP)	300.1 – 305.0 Wp	310.1 – 315.0 Wp	315.1 – 320.0 Wp	325.1 – 330.0 Wp
Maksimali įtampa (UMPP)	32.30 V	32.63 V	32.93 V	33.47 V
Maksimali srovė (IMPP)	9.35 A	9.52 A	9.60 A	9.73 A
Atviros grandinės įtampa (UOC)	39.54 V	40.31 V	40.57 V	41.09 V
Trumpojo jungimo srovė (ISC)	9.90 A	10.00 A	10.07 A	10.21 A
Galios matavimo tolerancija	0±5Wp	0±5Wp	0±5Wp	0±5Wp
Efektyvumas, %	18.44	19.05	19.40	19.48

* Apšvieta 1000 W/m², modulių temperatūra 25°C, spektras AM 1.5.

Mechaniniai parametrai

Saulės elementas	156.75 x 156.75 mm (300-315W) 158.75 x 158.75 mm (325W)
Saulės elementų skaičius	6 x 10
Grūdintas stiklas	3,2 mm
Svoris	18,2 kg
Matmenys (L x W x H)	1640 x 992 x 35 mm
Jungties dėžutė	IP67 arba IP65 ventiliuojama
Kabelio ilgis	1,0 m
Kabelio skerspjūvio plotas	4 mm ²
Diodų skaičius	3
Sujungimas	MC4
Rėmas	Anoduotas Al (sidabrinis/juodas)
Pakavimas	30 vnt./paletėje



A: Drenažas; B: Ventiliacija;
C: Montavimo angos; D: Įžeminimas;

M60.6-W(B)F-300-325 200513 L Solet

Fotovoltiniai monokristaliniai moduliai Solet M60.6-W(B)F-300/325

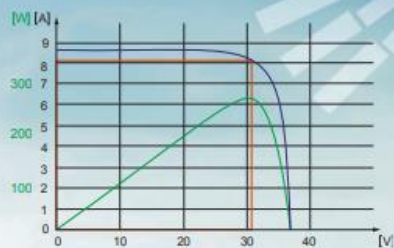
Solet
PHOTOVOLTAICS

Veikimo sąlygos

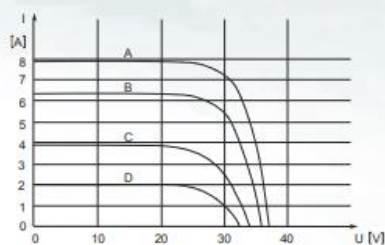
Didžiausia sistemos įtampa	DC 1000V (TUV)
Darbinė temperatūra	-40°C / +85°C
Didžiausia atgalinė srovė	15 A
Didžiausias vėjo/sniego apkrova	2400 Pa / 5400 Pa
IP kodas	67
Saugumo klasė	II

Temperatūriniai koeficientai

Įtampos temperatūrinis koeficientas (β)	- 0,36 %/K
Srovės temperatūrinis koeficientas (α)	+ 0,07 %/K
Galios temperatūrinis koeficientas (δ)	- 0,38 %/K



Charakteristikos



A: 1000 W / m² I
B: 800 W / m² I
C: 600 W / m² I
D: 450 W / m² I
E: 200 W / m²

Modulio garantija



12 metų

Modulio veikimo garantija



90 % maks. galios




80 % maks. galios



Žirmūnų g. 139, LT-09120, Vilnius, Lietuva
Tel. +370 (5) 2 363 680, Faks. +370 (5) 2 363 690

El. paštas: office@precizika.com
www.solet.lt

11 Priedas. „stiklas/stiklas“ saulės modulių techniniai duomenys [56]



Photovoltaic Module Polycrystalline Glass-glass 48 – 60 – 72 cell

Electrical Parameters			
Parameters	48 cell module	60 cell module	72 cell module
Solar cell efficiency range	17.80% - 17.80%		
Maximum Power* (PMPP)	200 W	250 W	300 W
Rated Voltage (VMPP)	25.82 V	32.28 V	38.74 V
Rated Current (IMPP)	8.04 A		
Open Circuit Voltage (VOC)	30.48 V	38.1 V	45.72 V
Short Circuit Current (ISC)	8.5 A		
Power tolerance	0±3 %		

* Irradiance 1000 W/m², module temperature 25°C, spectrum at air-mass AM 1.5

Specifications**	
Solar cell	Polycrystalline, 56x156 mm
Glass thickness (front or back)	2.0, 3.2, 4.0, 5.0 mm
Front glass	High transmission, low iron, heat strengthened glass
Back glass	Heat strengthened glass
Glass type	Float or matt
J-box	J-box or edge connection IP 65
Cable cross section size	4 mm ²
Construction	Framed or frameless
Plug-in connection	MC4 or equivalent
Operating temperature	-40°C / +85°C
Maximum System Voltage	1000 V DC

** Actual specifications and/or product features may vary according the project



Dimensions				
Type	Length	Width	Distance between cells	Distance from glass edge to cells
48 cell	1398 mm			
60 cell	1730 mm	1066 mm	10 mm	40 mm
72 cell	2062 mm			





Zirnu str. 139, LT-09120, Vilnius, Lithuania
 Phone: +370 5 2363680 Fax: +370 5 2363690

E-mail: office@precizika.com
 www.solet.lt

12 Priedas. Komercinis UAB „Solet Technics“ pasiūlymas 12 kW pilnai sukomplektuotai saulės elektrinei su skirtingais saulės moduliais

Saulės moduliai	Solet monokristaliniai M60.6 310w WF		Solet monokristaliniai M60.6 310w BF		Solet 315w stiklas-stiklas		Solet monokristaliniai M60.6 325w WF	
Garantija	20 metų							
Keitikliai	Fronius Symo 12.5-3-M	HuaweiSUN 2000 12KTL	Fronius Symo 12.5-3-M	HuaweiSUN 2000 12KTL	Fronius Symo 12.5-3-M	HuaweiSUN 2000 12KTL	Fronius Symo 12.5-3-M	HuaweiSUN 2000 12KTL
Garantija	7 metai	10 metų	7 metai	10 metų	7 metai	10 metų	7 metai	10 metų
Kaina su PVM	11,860.23	11,245.70	12,057.71	11,443.19	12,533.66	11,919.14	12,138.71	11,524.17
Kaina pasinaudojus parama	8,630.23	8,015.70	8,827.71	8,213.19	9,303.66	8,689.14	8,908.71	8,294.17