



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Skirtingų saulės modulių gyvavimo ciklo lyginamasis tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Ugnė Venckūnaitė

Projekto autorė

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Skirtingų saulės modulių gyvavimo ciklo lyginamasis tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Ugnė Venckūnaitė

Projekto autorė

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Lekt. Aistija Vaišnorienė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Ugnė Venckūnaitė

Skirtingų saulės modulių gyvavimo ciklo lyginamasis tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Ugnė Venckūnaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Venckūnaitė, Ugnė. Skirtingų saulės modulių gyvavimo ciklo lyginamasis tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Saulės moduliai; Gyvavimo ciklas; Lyginamasis tyrimas

Kaunas, 2022. 80 p.

Santrauka

Darbe nagrinėjamos šių laikų aktualiausios energetikos aplinkosaugos problemos, iš kurių pagrindinė- energijos tiekimo užtikrinimo ir klimato kaitos mažinimo suderinamumas. Šią problemą, kaip buvo pastebėta, efektyviausiai gali išspręsti sparčiai augantis saulės energetikos sektorius, tačiau ar saulės modulių gyvavimo ciklas, neturės didesnės įtakos klimato kaitai, bei kuri technologija šią problemą išspręstų efektyviausiai, bus vertinama šiame rašto darbe.

Darbe sudaromi ir vertinami stiklas/stiklas ir standartinio tipo saulės modulių viso gyvavimo ciklai nuo žaliavų gamybos iki saulės modulio utilizacijos proceso. Visas gyvavimo ciklas lyginamas trimis kriterijais: efektyvumo, aplinkosaugos bei ekonomiškumo. Skaičiuojami tokie rodikliai kaip: santykinė generacija, saulės modulių energijos atsipirkimo laikas, šiltnamio efektą sukeliančių dujų atsipirkimo laikas, CO₂ indeksas, energijos investicijų grąža, grynoji dabartinė vertė, vidinės grąžos norma, atsipirkimo laikotarpis bei elektros energijos gamybos svertiniai kaštai. Pagal gautus rezultatus palyginama, kurio tipo saulės modulio gyvavimo ciklas daro mažiausią poveikį aplinkai ir turi didesnę pranašumą efektyvumo bei ekonomiškumo vertinimu.

Venckūnaitė, Ugnė. Comparative Life Cycle Assessment of Different Types of Solar Modules. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Photovoltaic modules; Life cycle assessment; Comparative research.

Kaunas, 2022. 80 pages.

Summary

The work deals with the most pressing energy environmental problems of our time, the main of which are the compatibility of ensuring energy supply and reducing climate change. This problem, as has been noted, can be solved most effectively by the fast-growing solar energy sector, but whether the life cycle of solar modules will have a greater impact on climate change, and which technology would solve this problem most effectively, will be assessed in this paper.

This work consists of glass/glass and standard type solar modules life cycle analysis, from production of raw materials to the process of solar module utilization. The entire life cycle is compared by three criteria: efficiency, environmental and cost-effectiveness. Indicators such as: relative generation, solar module energy payback time, greenhouse gas payback time, CO₂ index, return of energy investment, net present value, internal rate of return, payback period and weighted costs of electricity generation are calculated. Based on the results obtained, it's compared which type of solar module has the least impact on the environment and has a greater advantage in terms of efficiency and cost-effectiveness.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Energetikos aplinkosaugos problemos.....	14
1.2. ES energetikos politikos nuostatos sprendžiant aplinkosaugos problemas	21
1.3. Klimato kaitos mažinimo priemonės	23
1.4. AEI panaudojimo plėtros problemos	25
1.5. Saulės modulių rinka	26
1.5.1. Pagal tipą skirstomi saulės moduliai	26
1.5.2. Pagal technologiją skirstomi saulės moduliai.....	28
1.5.3. Modulių palyginimas.....	32
2. Metodologija	35
2.1. Tyrimo metodika.....	35
2.2. Tyrimo objektas	39
2.3. Saulės modulių gamybos procesas	40
2.4. Skirtingų saulės modulių vertinimas pagal pasirinktus kriterijus.....	42
2.4.1. Efektyvumo vertinimas	42
2.4.2. Aplinkosaugos vertinimas	42
2.4.3. Ekonominis vertinimas	44
3. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių gyvavimo ciklo palyginamasis vertinimas.....	45
3.1. Saulės modulių gamyba SoliTek įmonėje	45
3.2. Saulės modulių pirminių žaliavų gamyba, utilizacija bei transportavimas.....	47
3.3. Elektros energijos gamyba.....	50
3.4. Aplinkosauginiai rodikliai	51
3.5. Ekonominiai skaičiavimai.....	55
3.6. Apibendrinantis vertinimas	59
Išvados	60
Literatūra	61
Priedai.....	65
1 priedas. SoliTek Standard M.60 365W modulio specifikacija.....	65
2 priedas. SoliTek Bifacial B.60 355W modulio specifikacija	66
3 priedas. 2021 metų modulių gamybos utilizacijos duomenys.....	67
4 priedas. Kiekvienos žaliavos energijos bei CO ₂ dujų sąnaudos	67

5 priedas. Kiekvieno atskyrimo metu gauto produkto energijos bei CO ₂ dujų sąnaudos rezultatai 14 lentelė. Kiekvieno atskyrimo metu gauto produkto energijos bei CO ₂ dujų sąnaudos rezultatai	68
6 priedas. Atskirų komponentų transportavimo bei saulės elektrinės priežiūros metu išmetami CO ₂ dujų kiekiai 15 lentelė. Celių transportavimo metu išmetami CO ₂ dujų kiekiai	68
7 priedas. Stiklo/stiklo tipo saulės modulių generacijos ataskaita.....	71
8 priedas. Standartinio tipo saulės modulių generacijos ataskaita.....	75
9 priedas. Saulės modulių gyvavimo ciklo cash flow.	79

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Standartinių ir stiklas/stiklas modulių palyginimas.....	27
2 lentelė. Modulių technologijų techninis palyginimas.....	33
3 lentelė. Modulių technologijų ekonominis palyginimas (atliktas remiantis technologijų techniniu palyginimu).....	34
4 lentelė. Gamybos linijos įrenginiai ir jų darbinės galios.....	41
5 lentelė. Gamybos linijos vartojama elektros energija, 1 modulio gamybai	46
6 lentelė. Santykiniai utilizacijos kiekiai tenkantys 1 moduliuui	47
7 lentelė. Energijos ir CO2 sąnaudos STD ir GG modulių žaliavų gamybos proceso metu	47
8 lentelė. Energijos ir CO2 sąnaudos STD ir GG modulių perdirbimo proceso metu	48
9 lentelė. Transportavimo išmetamas CO2 kiekis, tenkantis 1 moduliuui	49
10 lentelė. Aplinkosauginiai skaičiavimai.....	51
11 lentelė. Ekonominiai skaičiavimai.....	56
12 lentelė. 2021 metų modulių gamybos utilizacijos duomenys.....	67
13 lentelė. Žaliavų gamybos energijos ir CO2 dujų sąnaudos	67
14 lentelė. Kiekvieno atskyrimo metu gauto produkto energijos bei CO2 dujų sąnaudos rezultatai	68
15 lentelė. Celių transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai	68
16 lentelė. Sujungimo dėžučių transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai	68
17 lentelė. Ribonų transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai	69
18 lentelė. Backsheet transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai.....	69
19 lentelė. Stiklo transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai.....	69
20 lentelė. Aliuminio rėmų transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai	69
21 lentelė. Plėvelių transportavimo metu išmetami CO2 dujų kiekiai	70
22 lentelė. Elektrinės priežiūros metu išmetami CO2 dujų kiekiai	70

Paveikslų sąrašas

1 pav. Kilingo kreivė	15
2 pav. MLO (Mauna Loa, Hawaii) statistiniai metano koncentracijos ore duomenys	16
3 pav. Pasaulinės pirminės energijos sąnaudų tendencijos	17
4 pav. Pasaulinių pirminių energijos sąnaudų procentinė išraiška	18
5 pav. Lietuvos pirminės energijos gavyba iš pirminių energijos šaltinių 2018-2020 metais	19
6 pav. 2019 m. ŠESD struktūra Lietuvoje	19
7 pav. Lietuvoje susidaręs ŠESD kiekis (%) pagal sektorius 2019 m.	20
8 pav. Lietuvoje susidaręs ŠESD (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	20
9 pav. Statistinės pasaulinės apžvalgos duomenys	23
10 pav. Elektros energijos gamybos struktūra pagal energijos išteklių rūšį 2019 m.	24
11 pav. Pagal technologiją skirstomi saulės moduliai	28
12 pav. Monokristalinis saulės modulis	29
13 pav. Polikristalinis saulės modulis	29
14 pav. Plonasluoksnės plokštelės saulės modulis	31
15 pav. Gyvavimo ciklo analizės struktūra	35
16 pav. Saulės elektrinių gyvavimo ciklo analizė	36
17 pav. Saulės modulių gyvavimo ciklo struktūra	38
18 pav. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių gyvavimo ciklo vertinimo struktūra	39
19 pav. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių sandara	39
20 pav. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių gamybos procesas	40
21 pav. Standartinis medžiagų atvežimo maršrutas	48
22 pav. Išmetamo CO ₂ dujų kiekio pasiskirstymas modulio gyvavimo ciklo metu	50
23 pav. Vidutinė GG ir STD tipo saulės modulių elektros energijos generacija gyvavimo laikotarpio metu	51
24 pav. EPBT priklausomybė nuo santykinės elektros energijos generacijos	52
25 pav. EPBT priklausomybė nuo energijos reikalingos modulio gamybai	52
26 pav. EROI priklausomybė nuo santykinės generacijos	53
27 pav. EROI priklausomybė nuo energijos reikalingos modulio gamybai	53
28 pav. GPBT priklausomybė nuo modulio degradacijos koeficiento	54
29 pav. CO ₂ rodiklio priklausomybė nuo modulio degradacijos koeficiento	54
30 pav. GPBT priklausomybė nuo žaliavų transportavimo atstumo	55
31 pav. CO ₂ rodiklio priklausomybė nuo žaliavų transportavimo atstumo	55
32 pav. NPV priklausomybė nuo diskonto normos	56
33 pav. NPV priklausomybė nuo elektros energijos rinkos kainos	56
34 pav. PBT priklausomybė nuo elektros energijos kainos augimo	57
35 pav. PBT priklausomybė nuo eksploatacinių išlaidų	57
36 pav. PBT priklausomybė nuo santykinės elektros energijos generacijos	58
37 pav. IRR priklausomybė nuo elektros energijos rinkos kainos	58
38 pav. IRR priklausomybė nuo saulės modulio kainos	59

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

ES – Europos Sąjunga;

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

CO₂ – anglies dioksidas;

CH₄ – metanas;

N₂O - azoto oksidas;

CFC – chlorfluorangliavandeniliai;

HFC- fluorinti angliavandeniliai;

PFC - perfluorangliavandeniliai;

SF₆ - sieros heksafluoridai;

NOAA (angl. National Oceanic and Atmospheric Administration) - Nacionalinė vandenynų ir atmosferos tyrimų administracija;

AAA- aplinkos apsaugos agentūra;

JT BKKK- Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija;

APVA- Aplinkos Apsaugos Valdymo Agentūra;

VTD (angl. vapor transport deposition)- greitasis garų nusodinimo procesas;

a-Si - amorfinis silicis;

CdTe - kadmio teluridas;

CIS - vario indžio galio selenidas;

IRR (angl. Internal rate of return)- vidinė grąžos norma;

NPV (angl. Net present value)- grynoji dabartinė vertė;

PBT (angl. Pay Back Time)- atsipirkimo laikotarpis;

LCOE (ang. Levelized Cost of Energy)- elektros energijos gamybos svertiniai kaštai;

LCA (angl. life cycle assessment)- gyvavimo ciklo vertinimo metodika;

EPBT (angl. Energy pay back time)- saulės modulio energijos atsipirkimo laikas;

GPBT (angl. Greenhouse emissions pay back time)- šiltnamio efektą sukeliančių dujų atsipirkimo laikas metais;

EROI (angl. Energy return of investment)- energijos investicijų (energijos) grąža;

GG modulis (angl. Glass/Glass)- stiklas/stiklas tipo saulės modulis;

STD modulis (angl. Standard) – standartinio stipo saulės modulis;

POE- poliolefino elastomeras;

EVA- etileno vinilacetatas;

Terminai:

Atsinaujinantys ištekliai – elektros energijos gamybos šaltiniai, kurių kiekis yra nesibaigiantis, o jų panaudojimui į aplinką išmetamas minimalus kiekis ŠESD (vėjo energija, kietasis biokuras, biodujos, hidroenergija, saulės energija, geoterminė energija);

Gyvavimo ciklo vertinimo metodika – metodika, kuri analizuoja galutinio produkto viso gyvavimo laikotarpio, nuo pirminių iškastinių žaliavų surinkimo, apdirbimo ir transportavimo iki galutinio produkto perdirbimo, poveikį aplinkai;

Fotoelementai - elementai, kuriuose esantys elektronai, gaudami fotonų energijos sukuria elektros srovę.

Santykinė generacija - santykinis saulės elementų sugeneruojamos elektros energijos kiekis, išreikštas kilovatvalandėmis per kilovatą per metus.

Ivadas

Aktualiausia šių laikų globalinė problema- klimato atšilimas. Statistiniais duomenimis vidutinis CO₂ dujų koncentracija atmosferoje vis didėja, nuo 2019 iki 2020 metų jis padidėjo 2,58 milijonų dalelių kiekiu [1]. Pagrindinis šią problemą įtakojantis veiksnys yra energetikos sektorius, kuriame elektrai bei šilumai gaminti yra deginimas iškastinis kuras. Tačiau bandoma aktyviai spręsti šią problemą, keičiant tradicines elektrines į atsinaujinančius energijos išteklius naudojančias elektrines, kurių įrengimui skiriamos milijoninės paramos iš Europos Sąjungos (ES) lėšų. Žaliosios energijos gamybos metu į aplinką neišskiriamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD), tačiau visos elektrinės gaminimo, eksploatavimo ir perdirbimo procesai turi nemažą įtaką klimato kaitai. Vien iki pačio saulės modulio gaminimo proceso yra naudojama daugybė MWh elektros energijos pagaminti moduliams reikalingas sudedamąsias dalis tokias kaip: stiklas, silicio plokštelės, plastikas, aliuminio rėmas ir kt. kas lemia ne tik ŠESD išsiskyrimo masiškus kiekius, bet ir brokuotų medžiagų bei atliekų šalinimo ar perdirbimo procesus, kurių įgyvendinimui taip pat reikalinga elektros energija. Todėl labai svarbu įvertinti skirtingų saulės modulių poveikį aplinkai, išanalizuoti ar saulės modulio gyvavimo ciklas, bei pagaminama elektros energija kompensuoja per pagaminimo, eksploatavimo ir perdirbimo procesus padarytą žalą aplinkai bei į aplinką išmestus ŠESD kiekius. Tokia vertinimo metodika leistų išanalizuoti ar visos saulės baterijos teikia daugiau naudos nei žalos aplinkai bei įvertinti kurios iš jų aplinkosauginiu aspektu yra efektyviausios. Vertinant saulės elektrines bei jų modulius gyvavimo ciklo tyrimu, yra skaičiuojami tokie rodikliai kaip: šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos atsipirkimo terminas, energijos investicinės grąžos indeksas ir kt., kurie parodo saulės elektrinės teikiamą naudą ar žalą aplinkai nuo pat žaliavų moduliui pagaminti gavybos iki jo šalinimo proceso. Tai labai svarbu analizuojant saulės modulių poveikį aplinkai bei žmogui, kadangi tokio tyrimo metu galima išanalizuoti ar fotovoltinės energijos generatoriai per savo eksploatacinį periodą sutaupys ŠESD, lyginant su ŠESD kurios buvo išmestos per visą modulių gyvavimo ciklą ir ar tikrai verta investuoti į atsinaujinančius išteklius. Todėl šiame darbe analizuojant skirtingų technologijų saulės modulius bus atliktas tyrimas, kuriuo numatyta nustatyti, kurie iš analizuojamų saulės modulių labiausiai prisideda prie klimato atšilimo stabdymo ir daro mažiausią poveikį žmonių sveikatai bei ekosistemai.

Darbo tikslas – atlikti skirtingų saulės modulių viso gyvavimo ciklo palyginamąjį vertinimą siekiant identifikuoti mažiausią poveikį aplinkai darančius saulės modulius.

Uždaviniai:

- Išanalizuoti energetikos aplinkosaugos problemas ir saulės energijos panaudojimo galimybes klimato kaitos mažinimui;
- Išanalizuoti techninius ir ekonominius saulės modulių skirtumus;
- Parinkti skirtingų tipų saulės modulių gyvavimo ciklo vertinimo palyginamąją metodiką;
- Atlikti skirtingų saulės modulių viso gyvavimo ciklo palyginamąjį vertinimą bei jautrumo analizę.

Tyrimo metodai: Tyrime taikoma saulės modulių gyvavimo ciklo palyginamoji metodika. Sudaromi skirtingų saulės modulių gyvavimo ciklai nuo žaliavų gamybos iki galutinio produkto utilizavimo, apskaičiuojami elektros energijos resursai kiekvienos žaliavos ir galutinio produkto gamybai bei

utilizavimui, įvertinami išmetami CO₂ dujų kiekiai žaliavų, galutinio produkto, utilizavimo ir transportavimo metu bei atliekama palyginamoji jautrumo analizė, apskaičiuojant sugeneruojamą elektros energijos kiekį, saulės modulio energijos atsipirkimo laiką, CO₂ dujų atsipirkimo laiką, energijos investicijų (energijos) grąžą, grynąją dabartinę vertę, vidinę grąžos normą, atsipirkimo laikotarpį ir elektros energijos gamybos svertinius kaštus, įvertinus visą saulės modulių gyvavimo ciklą.

Magistro darbo struktūra: magistrinis darbas susideda iš įvado, 3 pagrindinių darbo skyrių, išvadų ir priedų. Darbą sudaro: 80 puslapių, 38 paveikslai ir 22 lentelės, 9 priedai. Naudotos literatūros sąrašė yra 49 šaltiniai.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Energetikos aplinkosaugos problemos

Energija yra mūsų kasdienio gyvenimo būtinybė, skirta ne tik visuomenės buities poreikiams tenkinti ir gyvenimo kokybei gerinti, bet ir ekonomikos augimo spartinimui ir produktyvinimui, todėl kasmet elektros energijos poreikiai pasaulyje didėja. Kiekviena valstybė turi reikalavimus, kad energijos paslaugos atitiktų pagrindinius žmogaus poreikius, tokius kaip: sveikata, apšvietimas, maisto gaminimas, komfortas erdvėje, mobilumas ir bendravimas. Didėjantis gyventojų bei energijos poreikis pasaulyje, dažnai lemia iškastinio kuro pagrindu pagamintų energijos šaltinių naudojimą (anglis, nafta ir dujos). Naudojant išvardintus energijos šaltinius, kyla visuotinės problemos, tokios kaip: iškastinio kuro atsargų išsekvojimas, ŠESD išmetimas (kuris daro neigiamą įtaką klimato kaitai), geopolitiniai ir kariniai konfliktai bei nuolatiniai kuro kainų svyravimai. Tačiau kaip būtų galima įgyvendinti energijos tiekimo užtikrinimo ir energijos indėlio į klimato kaitos mažinimą, kurie yra du svarbiausi energetikos sektoriaus tikslai kelyje į tvarią ateitį, kai energijos gamyba ir ŠESD išmetimo į aplinką mažinimas, gali pasirodyti iš pirmo žvilgsnio, kaip tarpusavyje visai nesuderinami iššūkiai, turintys tiesioginę priklausomybę vienas nuo kito. Todėl šios problemos sprendimo ieškojimas ir aplinkosauginis vystymasis tapo daugelio šalių naujausios nacionalinės politikos, strategijos ir plėtros planų centru.

Pagrindinė aplinkosaugos problema- šiltnamio efekto didėjimas, dėl kurio Žemėje kyla vidutinė metinė temperatūra. To priežastis yra ŠESD, kurios yra laikomos, bet kurios atmosferos dujos, sugeriančios ir skleidžiančios energiją šiluminio infraraudonųjų spindulių diapazone.

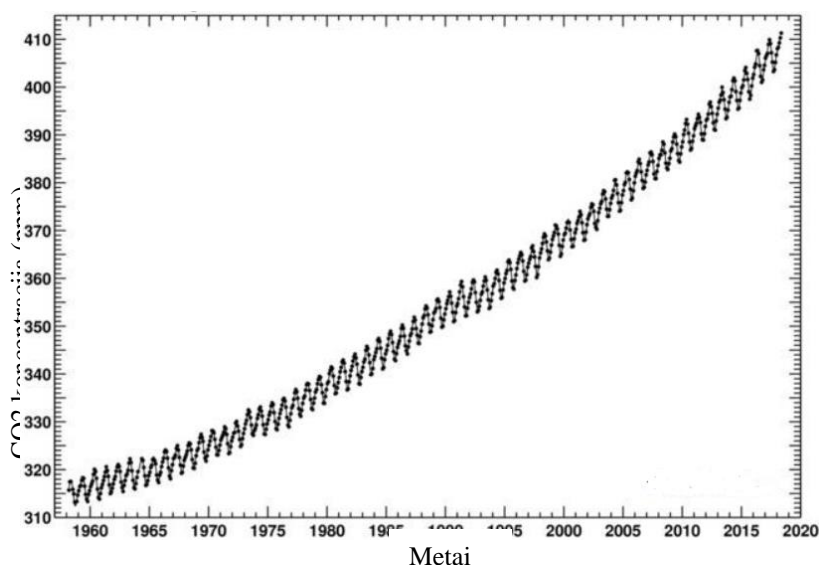
Šiltnamio efektas atsiranda, kai dujos pasiekia Žemės paviršių. Kai trumpųjų bangų energija kaitina planetos paviršių, dalis ilgesnių bangų energijos sklinda į atmosferą. ŠESD sugeria dalį tos sklindančios energijos ir sulaiko ją šalia Žemės paviršiaus, tai reiškia, kad mažiau šilumos yra atiduodama į atmosferą, todėl arčiau Žemės paviršiaus tampa vis šilčiau. Remiantis Richard Tuckett, Birminhemo universiteto studento, 2019 m. moksliniu darbu „Greenhouse gases“ [2], šiltnamio efektą sudaro pagrindinės dvi dalys. Pirmą dalį- pagrindinis poveikis, kuris, pasak autoriaus egzistuoja tūkstančius metų ir suteikia Žemei vidutinę oro temperatūrą, kuri lygi 17°C. Ir antra dalis- antrinis poveikis, kuris egzistuoja 250–300 metų ir kurį sukelia padidėjusi ŠESD koncentracija ore. Didžiąją šių dujų padidėjimo dalį daugiausia lemia žmonijos veikla. Būtent todėl vidutinė Žemės oro temperatūra, per pastarąsias kelias dešimtis metų, padidėjo 1°C, tačiau laikantis Paryžiaus 2015 m. COP21 sutarties, tikimasi, kad iki šio amžiaus pabaigos padidėjimas gali būti apribotas iki 1,5–2,0°C.

Dauguma šiltnamio efektą sukeliančių dujų Žemės atmosferoje atsiranda natūraliai pavyzdžiui: anglies dioksidas (toliau- CO₂), metanas (toliau- CH₄), vandens garai ir azoto oksidas (toliau- N₂O). Kitos, dujos, tokios kaip chlorfluorangliavandeniliai (CFC), fluorinti angliavandeniliai (HFC), perfluorangliavandeniliai (PFC) ir sieros heksafluoridai (SF₆), atsiranda dirbtiniu būdu, pagaminant žmogui [3].

Vandens garai yra daugiausiai šiltnamio efektą sukeliančios dujos Žemės atmosferoje, kurios kontroliuoja oro temperatūrą Žemėje. Vandens garų koncentracijos pokyčiai mūsų atmosferoje yra tiesiogiai susiję su klimato atšilimu susijusiais grįžtamaisiais ryšiais.

„Dvi reikšmingiausios antrinės šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra CO₂ ir CH₄, o kartu jos prisideda 80–85% prie antrinio efekto“, pasak Richard Tuckett. Nors šis procentas, kaip teigiama, nepakito per pastaruosius 20–30 metų, tačiau bendra dujų koncentracija, dėl kurios kyla planetos temperatūra, per šį laiką nuolat didėjo. Todėl dauguma pasaulio mokslininkų pritaria, kad visuotinis atšilimas yra realus ir turės pražūtingą poveikį mūsų ekosistemai bei aplinkai, jei nesiimsime atitinkamų veiksmų, jo stabdymui.

CO₂ dujos yra plačiausiai tiriamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Amerikiečių mokslininkas dr. Charles Keeling pradėjo registruoti anglies dvideginio matavimus Mauna Loa observatorijoje Havajuose dar 1958 m. [4]. Jo tyrimai pirmieji ir perspėjo pasaulį apie antropogeninį indėlį į globalinį atšilimą. Garsioji „Kilingo kreivė“, kurios duomenys pateikti 1 paveiksle, atlikus jo išplėstinius tyrimus, matavo CO₂ dujų kaupimąsi Žemės atmosferoje.



1 pav. Kilingo kreivė

(<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/keeling-curve/>)

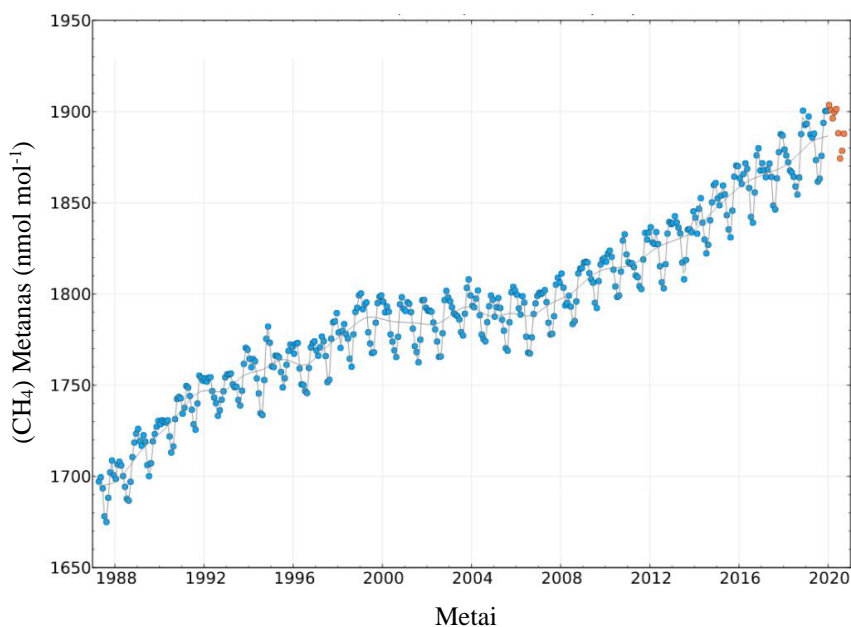
Kilingo duomenys taip pat parodė didelius sezoninius CO₂ kiekio pokyčius. Didžiausias šių dujų lygis būna žiemos pabaigoje, o žemiausias - pavasarį ir vasaros pradžioje. Tačiau vis tai galima paaiškinti augalijos gyvavimo proceso periodais. Kadangi augalija pradeda žydėti tik pavasarį ir vasaros pradžioje, fotosintezės proceso dėka sumažėja CO₂ kiekis atmosferoje, žiemą augalams numetus lapus, atmosferos CO₂ kiekis padidėja.

Anglies dioksido koncentracija ore daugiausia didėja daugiausia dėl iškastinio kuro, kurį žmonės degina norėdami gauti energijos. Iškastiniame kure, kaip pavyzdžiui Akmens anglyje ir naftoje, yra anglies, kurią augalai sugėrė iš atmosferos fotosintezės būdu per daugelį milijonų metų, o tą anglį į atmosferą grąžiname vos per kelis šimtus metų. Pasak Nacionalinės vandenynų ir atmosferos tyrimų administracijos (toliau- NOAA, angl. National Oceanic and Atmospheric Administration) ir

Amerikos meteorologų draugijos [5], 2019 m. Pasaulinis atmosferos anglies dvideginio kiekis buvo $409,8 \pm 0,1$ ppm (angl. parts per million), kuris pripažintas kaip aukščiausias kiekis istorijoje. Nuo 2018 m. jis padidėjo $2,5 \pm 0,1$ ppm. Toks pats padidėjimas buvo fiksuojamas ir nuo 2017 iki 2018 metų. Tačiau 2009–2017 m. metinis augimo tempas siekė dar 2,3 ppm per metus. Per pastaruosius 60 metų CO_2 kiekio metinis padidėjimas yra maždaug 100 kartų didesnis, lyginant su natūraliu padidėjimu, kuris buvo prieš 11 000–17 000 metų.

CH_4 į atmosferą išleidžia tiek natūralūs, tiek antropogeniniai šaltiniai. Jis išsiskiria mažai deguonies turinčiose aplinkose, tokiose kaip pelkės ir kūdros, bei per kai kurių augalų šaknis. Antropogeniniai šaltiniai padidino metano išmetimą dėl didesnio gamtinių dujų naudojimo ir kasybos. Pagrindinė metano funkcija, kartu su CO, kontroliuoti hidroksido kiekį troposferoje.

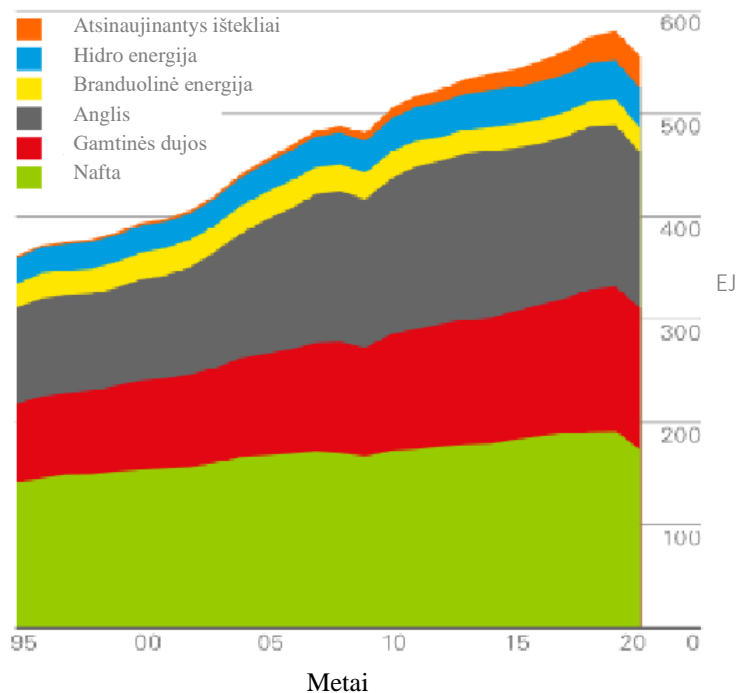
Remiantis Donald J Wuebbles ir Katharine Hayhoe moksliniu darbu „Atmospheric methane and global change“ [6], tiesioginis CH_4 matavimas atmosferoje prasidėjo aštuntojo dešimtmečio pabaigoje. Ir buvo įrodyta, kad sparčiai auganti žmogaus veikla, ypač žemės ūkio, iškastinio kuro naudojimo ir atliekų šalinimo srityse, metano išmetimą į aplinką padidino daugiau nei dvigubai ir kaip tikėtina vis didins. Skaičiuojant kiekį vienai molekulei, metanas pripažintas, kaip efektyvesnės ŠESD, nei CO_2 ir turi daugiausia organinių pėdsakų atmosferoje, tačiau, vertinant pagal didžiausią ŠESD kiekį troposferoje, metanas užima 3-iąją vietą po vandens garų ir CO_2 . Pagal Situ Observatorijos, MLO (Mauna Loa, Hawaii, US), CH_4 koncentracijos mėnesinių vidurkių pateiktą diagramą (2 pav.), galime matyti, kad vidutinė metano koncentracija ore 2020 m. siekė ~ 1885 nmol mol^{-1} .



2 pav. MLO (Mauna Loa, Hawaii) statistiniai metano koncentracijos ore

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825201000629?casa_token=5xGD2P03_74AA:AAA:RALYbjfm5b8513iRWQ0enNfeo_ZTCirSqEkNI8uYtiMcZWXFCSqhK07Gow736yBvtuPe5qe

Analizuojant ŠESD išmetimą į aplinką svarbu apžvelgti pasaulines pirminės energijos sąnaudų tendencijas, kadangi būtent elektros gamyba iš pirminių energijos šaltinių yra pagrindinė ŠESD sukėlėja. 3 paveikslėlyje pateiktos pirminės energijos suvartojimo kitimo tendencijos (1995-2020 metų laikotarpyje) eksadžiauliais, pagal skirtingą energijos rūšį.

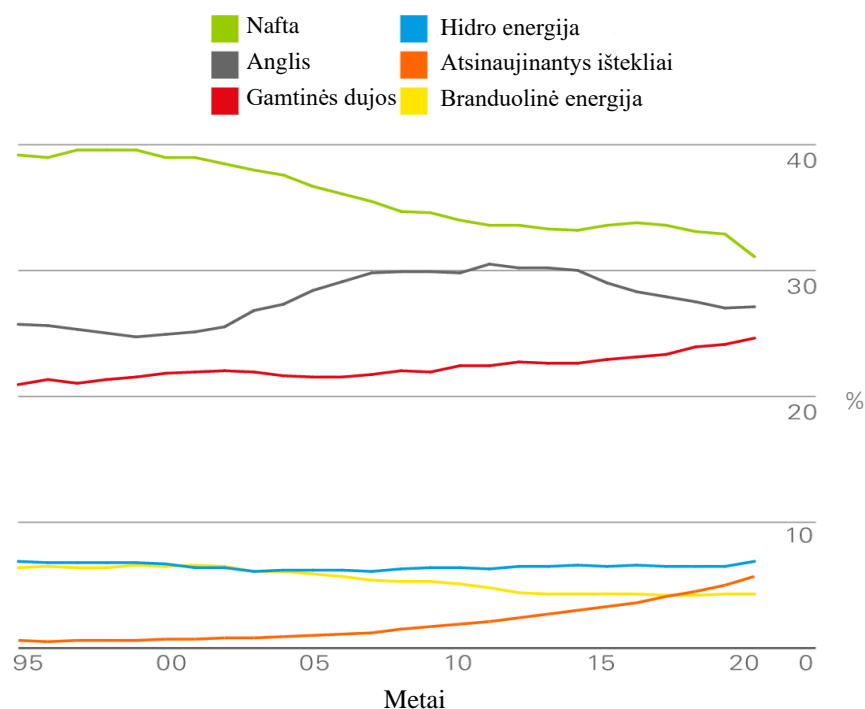


3 pav. Pasaulinės pirminės energijos sąnaudų tendencijos

(<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>)

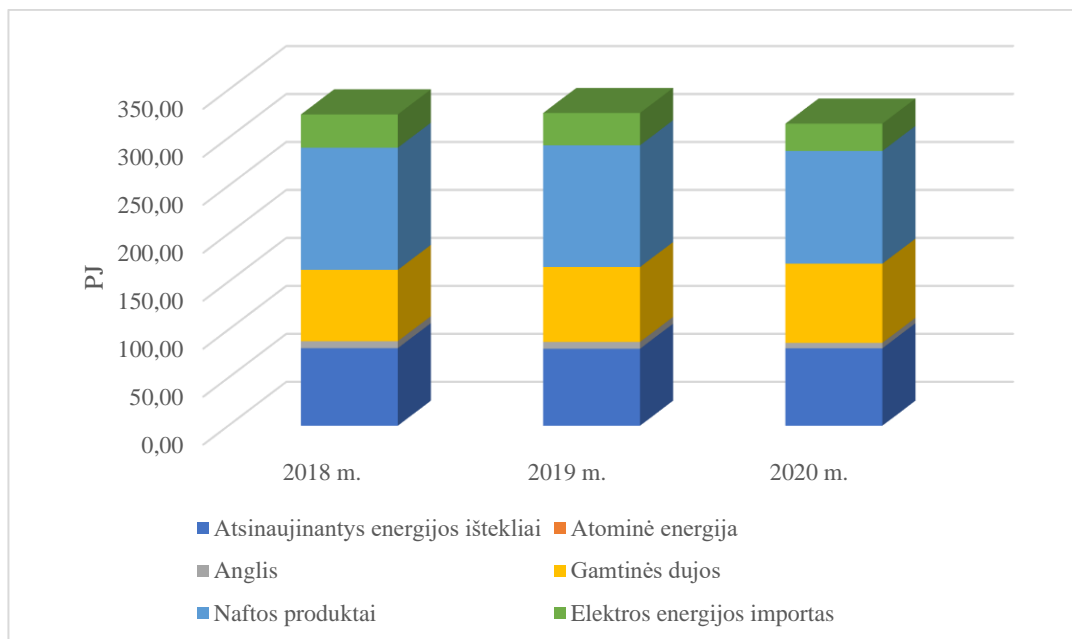
Naftai ir toliau dominuoja pasaulinėje rinkoje ir ji sudaro 31,2% visos pirminės energijos (4 pav.). Akmens anglis yra antras pagal dydį kuras, kurios 2020 metais sudarė 27,2% visų pirminės energijos sąnaudų, o tai 0,1% daugiau lyginant su 2019 metais. Tiek gamtinių dujų, tiek atsinaujinančių energijos išteklių dalis išaugo iki rekordinės - atitinkamai 24,7% ir 5,7% dalies [7].

Atsinaujinantys energijos šaltiniai jau aplenkė branduolinę energiją, kuri sudaro tik 4,3% energijos rūšių. Hidro energijos dalis pernai padidėjo 0,4% procentinio punkto iki 6,9% - tai pirmas padidėjimas nuo 2014 metų.



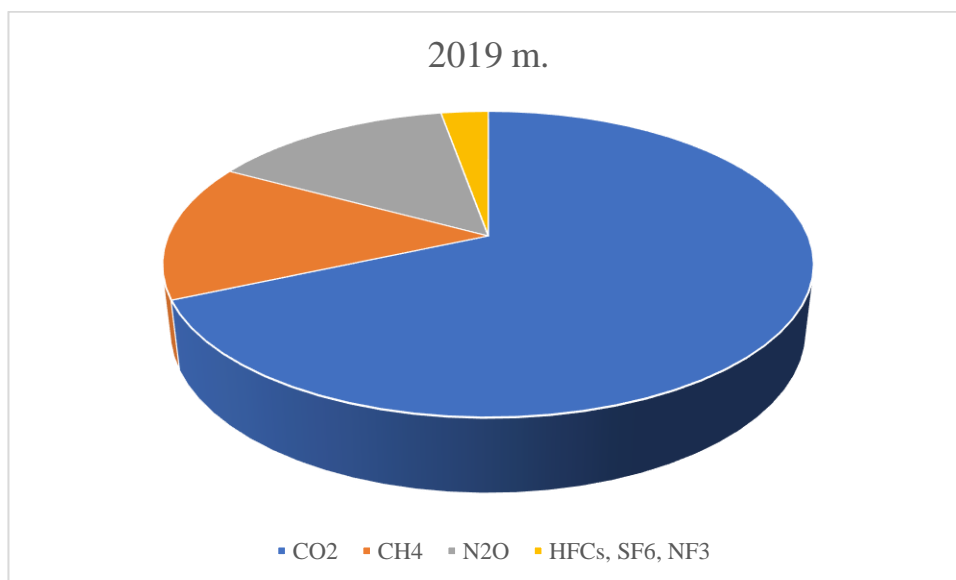
4 pav. Pasaulinių pirminių energijos sąnaudų procentinė išraiška
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>

Lietuvos pirminės energijos sąnaudos 2018-2020 metų laikotarpyje tendencingai mažėjo vertinant bendrą pirminių energijos šaltinių kiekį, kuris 2018 metais siekė 84 449 TJ, 2019 metais – 83 854 TJ, o 2020 metais – 83 563 TJ. Tačiau sunku būtų lyginti Lietuvos pirminės energijos šaltinių kitimą su pasauliniu, kadangi Lietuva nenaudoja pasaulyje plačiai paplitusios anglies ir gamtinių dujų, hidro energijai potencialo Lietuvoje taip pat nėra, o nafta sudaro tik nedidelę dalį bendro pirminių energijos šaltinių kiekio. Nepaisant to, galime pastebėti, kad atsinaujinančių išteklių, atliekų bei biodujų naudojimas kaip pirminis šaltinis vis didėja ir turi nemažą potencialą Lietuvoje. Žiūrint 2020 metų statistikos duomenis (5 pav.) didžiausią dalį pirminės energijos šaltinių sudarė malkos, kuriai skirtos medienos ir žemės ūkio atliekos iš kurių buvo pagaminta 52 460 TJ energijos, kas sudaro 62,78% visos energijos gautos iš pirminių energijos šaltinių. Toliau seka Atominė, hidroenergija, vėjo, geoterminė, saulės ir cheminių procesų energija. Kartu jie sudarė 18,3% nuo bendro 2020 metų TJ kiekio gauto iš pirminių energijos šaltinių. Biodujos ir skystasis biokuras (bioetanolis, bio-ETBE (etilercijobutylesteris)), biodyzelinas (metilo esteris), sudarė 10,16%, o likę 8,76% susideda iš žaliosios naftos ir kitų pradinių produktų naftą perdirbančiai įmonei, pramoninių, komunalinių atliekų ir durpių kurui [8].



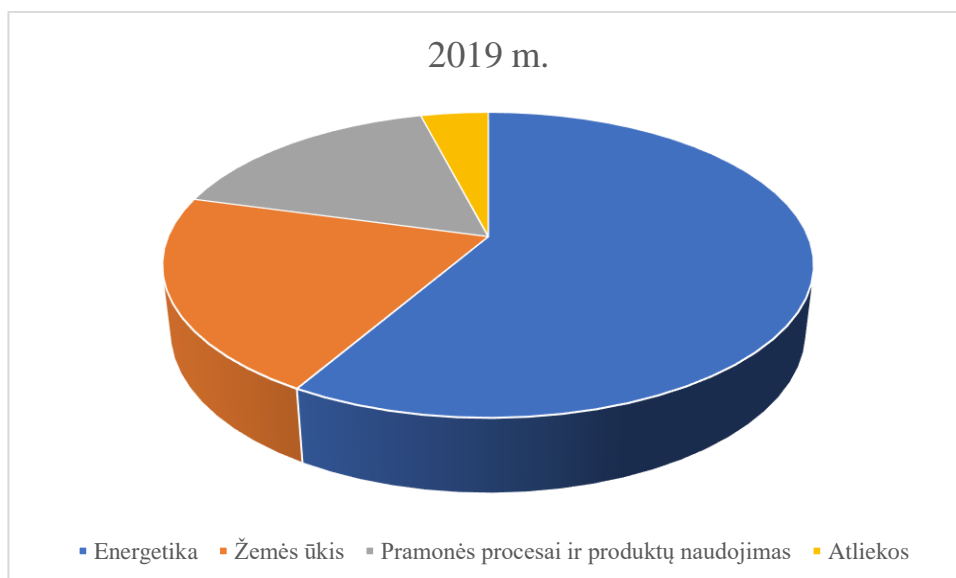
5 pav. Lietuvos pirminės energijos gavyba iš pirminių energijos šaltinių 2018-2020 metais (Lietuvos Statistikos departamento duomenų bazė <https://osp.stat.gov.lt/>)

Analizuojant Lietuvoje išmetamų ŠESD kieki, galima remtis Lietuvos aplinkos apsaugos agentūros (toliau- AAA) pateikta 2021 m. nacionaline ŠESD apskaitos ataskaita 1990-2019 metais [9], kurioje pateikiami kasmetiniai skirtingų ŠESD kiekiai atskiruose ūkio sektoriuose.



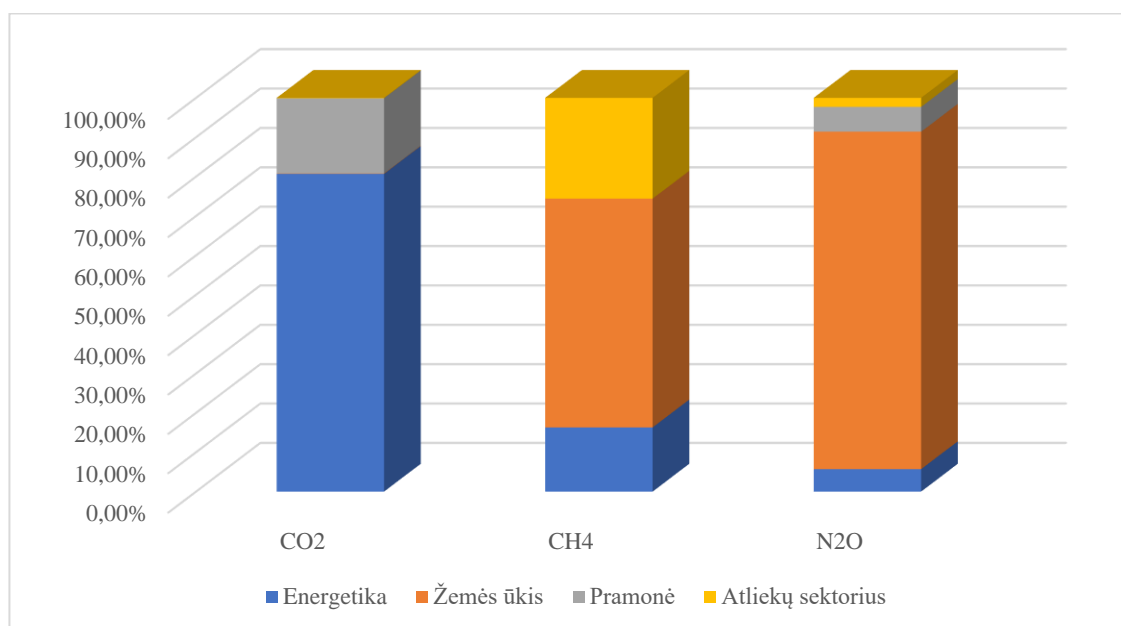
6 pav. 2019 m. ŠESD struktūra Lietuvoje (sudaryta autoriaus)

Vertinant paskutinius ataskaitinius metus (2019), galima pastebėti, kad daugiausia Lietuvoje į aplinką buvo išmetama CO₂ dujų, kas sudaro beveik 68,4% visų ŠESD dujų, nemažą dalį sudaro ir CH₄ (14,5%), bei N₂O (14,3%) dujos. Kitos ŠESD- HFCs, SF₆ ir NF₃ kartu siekia apie 2,8% nuo visų ŠESD (6 pav.).



7 pav. Lietuvoje susidaręs ŠESD kiekis (%) pagal sektorius 2019 m.
https://aaa.lrv.lt/uploads/aaa/documents/files/Tendencijos_1990-2019.pdf

Vertinant statistinius, 2019 metų duomenis Lietuvoje, daugiausia ŠESD kiekio į aplinką išskiria energetikos sektorius (58,3%). Toliau, beveik perpus mažiau atitenka žemės ūkio sektoriui (20,9%), o likusi dalis- pramonės procesams ir produktų naudojimui (16,7%) ir atliekų sektorius (4,0%) (7 pav.).



8 pav. Lietuvoje susidaręs ŠESD (CO₂, CH₄, N₂O) kiekis (%) skirtinguose sektoriuose, 2019 m.

https://aaa.lrv.lt/uploads/aaa/documents/files/Tendencijos_1990-2019.pdf

Iš 8 pav. matyti, kad CO₂ emisijų, daugiausia, net 80,7% buvo išmesta energetikos sektoriuje, iš kurių 44,6% išskyrė transporto sektorius ir 15,9% energetikos pramonė, pramonės sektoriui atiteko 19,1%, o žemės ūkio ir atliekų sektorius bendrai išmetė tik 0,2% bendro CO₂ kiekio.

CH₄ dujų, kaip parodyta paveiksle, daugiausia išskyrė žemės ūkio sektorius (58,1%), taip pat didelė dalis metano dujų į atmosferą pateko iš atliekų (25,6%), bei energetikos (16,3%) sektorių.

N₂O dujų, net 85,7% dalis buvo gauta iš žemės ūkio sektoriaus, pramonės, energetikos bei atliekų sektorius šių dujų atitinkamai išskyrė 6,3%, 5,7% ir 2,3%.

Tačiau vertinant paskutinius pastaruosius metus, galima teigti, kad ŠESD išmetimo į aplinką kiekis mažėja, todėl galima daryti prielaidą, kad koreliacija tarp elektros energijos gamybos iš pirminių energijos šaltinių bei ŠESD išmetimo į aplinką yra stipri ir sumažinus elektros energijos gamybą ne iš atsinaujinančių išteklių, ženkliai sumažėtų ir ŠESD kiekis.

1.2. ES energetikos politikos nuostatos sprendžiant aplinkosaugos problemas

Europos Sąjunga aktyviai sprendžia klimato kaitos problemas, rodydama pavyzdį ir kitoms pasaulio valstybėms. Ji kelia aukštus reikalavimus valstybėms narėms siekiant sumažinti ŠESD kiekį, padidinti energijos vartojimo efektyvumą, bei sugriežtinti aplinkosauginius reikalavimus. „Bendras ES prisitaikymo prie klimato kaitos tikslas – veiksmingai prisidėti didinant

Europos atsparumą klimato kaitos poveikiui. Ypatingas dėmesys skiriamas tarpvalstybiniam klausimams ir sektoriams, kurie ES lygmeniu yra glaudžiai integruoti bendrosiomis politikos kryptimis“ [10]. Pasaulyje yra 2 tarptautinio lygio dokumentai, kurie reguliuoja klimato kaitą ir yra ratifikuoti Lietuvos Respublikos Seimo: Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija (JT BKKK), bei Kioto protokolas.

JT BKKK pasirašė 197 šalys ir tai yra pagrindinė 2015 m. Paryžiaus sutarimo sutartis. Pagrindinis Paryžiaus susitarimo tikslas - išlaikyti pasaulinį vidutinį temperatūros kilimą iki 1,5 °C, iki šio amžiaus pabaigos. JT BKKK taip pat yra 1997 m. Kioto protokolo pagrindinė sutartis. Galutinis visų susitarimų pagal JT BKKK tikslas yra stabilizuoti šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją atmosferoje iki tokio lygio, kuris neturėtų pavojingos žmonių veiklos sąveikos su klimatu [11]. JT BKKK sekretoriatas buvo įsteigtas 1992 metais, kuomet šalys ir pasirašė konvenciją. Pirmasis sekretoriatas buvo įsikūręs Ženevoje, tačiau nuo 1995 m. jis persikėlė į Boną, Vokietijoje.

Kioto protokolas yra tarptautinė sutartis įpareigojanti valstybes JT BKKK nares mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, remiantis moksliniais tyrimais, kad vyksta visuotinis atšilimas ir, kad žmogiškųjų išteklių sukurtas CO₂ dujų išmetimas sukėlė šį atšilimą [12]. Kioto protokolas buvo priimtas Kiote, Japonijoje 1997 m. gruodžio 11 d., tuo metu dalyvavo daugiau nei 150 šalių- JT BKKK narių. Kioto protokolas įpareigoja ekonomiškai išsivysčiusias šalis, kurių bendras CO₂ dujų išmetimas į aplinką sudaro ne mažiau nei 55% visų šalių narių bendro išmetimo, per 2008-2012 metų laikotarpį sumažinti ŠESD išmetimus 5%, lyginant su 1990 m. statistika, o besivystančių šalių, buvo paprašyta savanoriškai laikytis reikalavimų. Tačiau protokolas įsigaliojo tik 2005 metų, vasario 16 d., kuomet Rusija ratifikavo šį protokolą, kadangi šios šalies CO₂ dujų kiekio išmetimas į aplinką sudaro 17,4% viso pasaulio kiekio. 2012 metais, šio protokolo galiojimas buvo pratęstas iki 2020 metų [12] [13].

Antrajame etape, ES narės (įskaitant ir Lietuvą) 2013-2020 metų laikotarpyje, pagal Kioto protokolą, įsipareigojo sumažinti išmetamų ŠESD kiekį šalyje 20%, lyginant su 1990 metų duomenimis [14].

Iki 2017 m. ES šalys, savo valstybėse sumažino ŠESD kiekį beveik 22% (lyginant su 1990 metų duomenimis) ir trejais metais ankščiau pasiekė 2020 metų ŠESD tikslą. 2020 metais, gruodžio mėn. vykusiame ES vadovų susirinkime buvo patvirtintas naujas tikslas- iki 2030 metų sumažinti ŠESD kiekį Europos Sąjungoje iki 55%, lyginant su 1990 metų išmetimu [15]. Dėl šio ambicingo siekio planuojama pertvarkyti ES pramonę, tačiau tai:

- Skatins tvarų ekonomikos vystymąsi;
- Sukurs daugiau darbo vietų;
- Prisdės prie ekonomikos konkurencijos pasaulyje, tobulėjant atsinaujinančių energijos išteklių technologijų srityse.

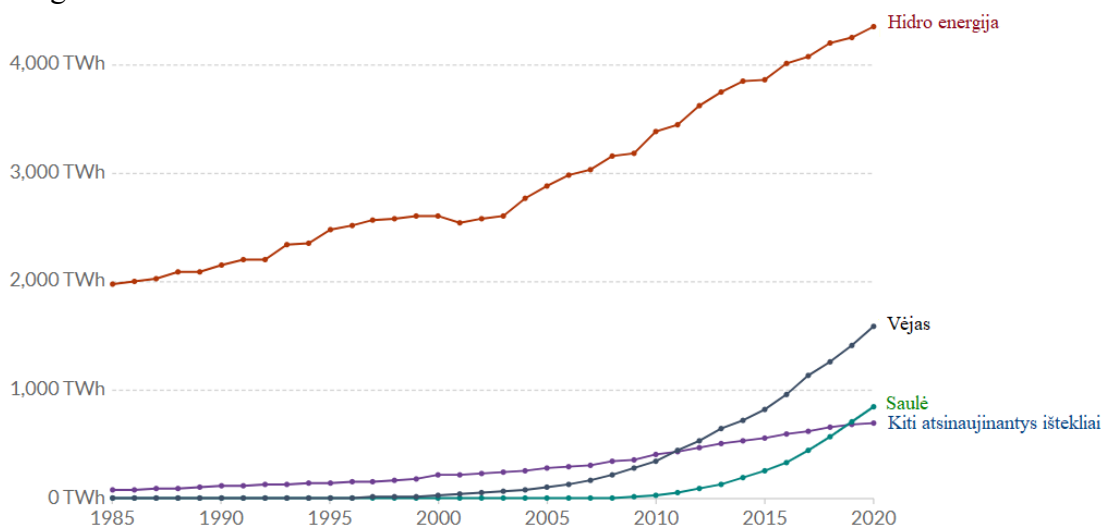
2021 m. gegužės 24–25 d. ES vadovų susitikime, buvo dar kartą patvirtinti 2020 metų susitikimo iškelti tikslai 2030 metams. ES vadovai „paprastė Komisijos greitai pateikti pasirengimo įgyvendinti 55 % tikslą priemonių rinkinį ir kartu nuodugnai išnagrinėti poveikį aplinkai ir ekonominę bei socialinę poveikį valstybių narių lygmeniu. Jie susitarė vėl svarstyti šį klausimą po to, kai bus pateiktas Komisijos pasiūlymas.“ [15] 2021 m. birželio 10 d. vykusiame ES, bei Europos Vadovų Tarybos susitikime, buvo patvirtinta naujoji ES prisitaikymo prie klimato kaitos strategija [16]. Taryba priėmė strategiją- iki 2050 m. ES tapti „klimato kaitos poveikiui atsparia visuomene, visiškai prisitaikiusia prie neišvengiamų klimato kaitos padarinių.“ Taryba išskyrė tai, kad visų šalių ekonomikai atsigaunant po pasaulinės COVID-19 pandemijos yra labai svarbu kovoti su klimato kaita. ES parengė tikslą, pagal 2021-2027 m. finansinę programą, bent 30% kaštų skirti klimato politikos veiksams ir mažiausiai 37% išlaidų skirti tokiems veiksams pagal ekonomikos atkūrimo ir atsparumo didinimo priemonę [17].

Kadangi klimato kaitos ir aplinkos būklės blogėjimas pradėjo kelti egzistencinę grėsmę Europai ir pasauliui, Europos komisija 2019 metais pristatė Europos žaliąjį kursą- plačiausio masto priemonių rinkinį, kuris padės Europos fiziniams ir juridiniams asmenims pereiti prie žaliosios ekonomikos ir suteiks galimybę iki 2050 metų Europai tapti pirmuoju pasaulyje neutralaus poveikio klimatui žemynu [18]. Žalioji kursas užtikrins, kad:

- Iki 2050 metų ŠESD kiekis būtų lygus nuliui;
- Statomi ir renovuoti pastatai efektyviai bei taupiai vartotų energiją;
- Pramonė bus sutelkta švariai ir perdirbimo procesus skatinančiai ekonomikai vystyti;
- Maisto sistema būtų „Nuo ūkio iki šakutės“ sveika, draugiška aplinkai ir nereikalaujanti papildomų kenksmingų medžiagų;
- Ekosistemų ir biologinės įvairovės atkūrimą ir išsaugojimą.

1.3. Klimato kaitos mažinimo priemonės

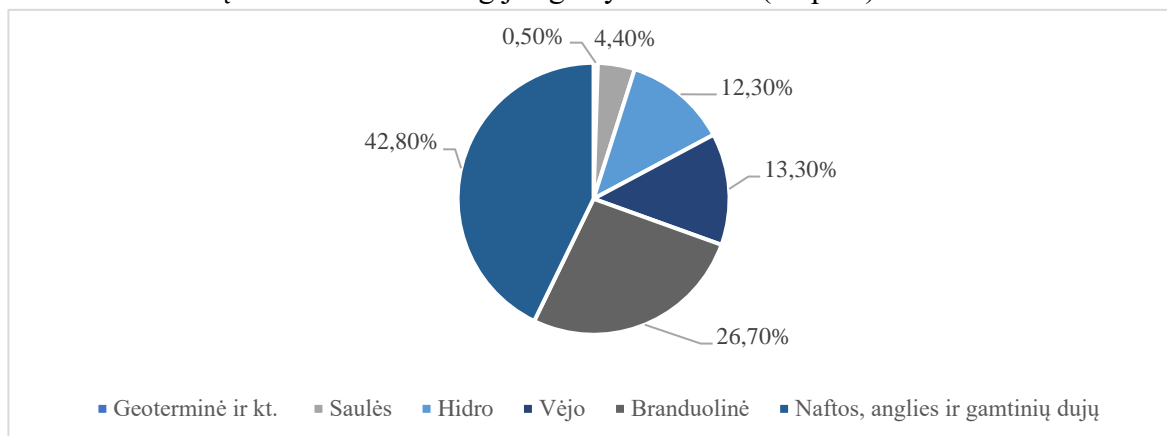
Alternatyvių energijos išteklių tyrimai buvo atlikti dar 90-ųjų pabaigoje, kai pasaulis pradėjo patirti naftos produktų šoką kainų kilimo požiūriu. Akivaizdu, kad iškastinio kuro pagrindu pagamintų energijos šaltinių pakeitimas atsinaujinančiais energijos šaltiniais, į kuriuos įeina: biokuras, saulės energija, geoterminė energija, hidroenergija, vėjo ir vandenyno energija (potvynių ir bangų), palaiapsniui padėtų pasauliui įgyvendinti pagrindinius aplinkosauginius tikslus. Vyriausybės, tarpvyriausybinių agentūros, suinteresuotos šalys ir asmenys šiandien tikisi įgyvendinti minėtus tikslus dėl pastaraisiais dešimtmečiais sukurtų galimybių pakeisti iš naftos ir iškastinio kuro pagamintas medžiagas atsinaujinančių energijos šaltinių alternatyvomis [26]. Pagal statistinės pasaulinės apžvalgos duomenis [27], kurie pateikti 9-ame paveikslėlyje, galime būtent ir pastebėti, kad visi atsinaujinančios energetikos sektoriai pasaulyje plečiasi ir pagaminamas elektros kiekis iš jų sparčiai auga.



9 pav. Statistinės pasaulinės apžvalgos duomenys (<https://ourworldindata.org/renewable-energy>)

Vertinant 2016 m. saulės energijos pajėgumų augimas buvo didesnis nei bet kurios kitos AEI rūšies, kadangi vartotojų išlaidos įsigijus saulės elektrinę, palyginus su jų išlaidomis tradicinei elektros energijai, buvo kur kas mažesnės vertinant elektrinės eksploatacinį laikotarpį. Nuo 2010 m. saulės modulių kaina sumažėjo net 70% [28]. O ateinančiame dešimtmetyje technologijos tobulėjimas užtikrins, kad saulės energija taps dar pigesnė, bei efektyvesnė. Prognozuojama, kad iki 2030 m. Saulė taps svarbiausiu atsinaujinančios energijos ištekliu elektros gamyboje visame pasaulyje. Tai taip pat turės didžiulį teigiamą poveikį aplinkai bei klimato kaitai. Lietuvoje saulės energetika sparčiai plečiasi ir jau užima svarbią dalį elektros energijos gamybos sektoriuje, o naujos technologijos, garantuos šalyje saulės energetikai dar greitesnę plėtrą.

2019 m. „Eurostat“ duomenimis [25], Europoje, elektros energijos gamyba iš atsinaujinančių išteklių sudarė beveik trečdalį visos elektros energijos gamybos rinkos (10 pav.).



10 pav. Elektros energijos gamybos struktūra pagal energijos išteklių rūšį 2019 m., Eurostat duomenys, 2019 ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_production_by_source,_EU-27,_2019_\(%25\).png&oldid=494073#filehistory](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_production_by_source,_EU-27,_2019_(%25).png&oldid=494073#filehistory))

Tam, kad būtų vykdomi Kioto protokolo nustatyti tikslai, kiekviena valstybė ėmėsi ieškoti sprendimų, kurie padėtų stabilizuoti išmetamų teršalų kiekį ne tik energetikos sektoriuje, iš kurio transportas ir sudaro didžiausią dalį išmetamų ŠESD kiekį, bet taip pat ir žemės ūkio, pramonės ir atliekų sektoriuose.

Žemės ūkio sektorius labai problematiška sritis. Čia atmosferos tarša ypač didėja dėl ariamos žemės, kenksmingų cheminių trąšų naudojimo ir netvarios gamybos technologijų naudojimo grūdininkystei. Todėl Žemės ūkio Ministerija skatina darnų ūkininkavimą, pievų plotų didinimą, sėjomainą, nuolat didinti dirvožemio derlingumą, taikyti biodujų gamybą, bei inovatyvias technologijas žemdirbystei ir gyvulininkystei, gerinti sintetines trąšas, naudojant mažiau kenksmingų cheminių medžiagų, gerinti gyvulių pašarų sudėtį, nuolat organizuoti ūkininkams edukacines paskaitas apie įvairias naujas technologijas, skirti įvairias lengvatas ir subsidijas [19].

Kas liečia transporto sektorių, Aplinkos ministerija aktyviai organizuoja Klimato kaitos programos priemones, skirtas išmetamo CO₂ mažinimui. Viena tokių buvo 2020 metų gegužės mėnesį paskelbtas Aplinkos Apsaugos Valdymo Agentūros (APVA) kvietimas „Visuomeninio transporto ir kitų alternatyvių mažiau taršių judumo priemonių fiziniams asmenims skatinimas“. Pasinaudoję šia subsidija fiziniai asmenys, pridavę seną taršų automobilį, galėjo gauti iki 310 eurų išmoką už metinį viešojo transporto bilietą, iki 1 tūkst. eurų už elektrinį motociklą ar mopedą, iki 700 eurų kompensaciją už elektrinį dviratį, ar iki 400 eurų už elektrinį paspirtuką ar paprastą dviratį [20]. Kitas ministerijos išsikeltas uždavinys- elektromobilių infrastruktūros plėtra. „Viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros tikslas – kuriant ir plėtojant viešai prieinamą elektromobilių įkrovimo priegų tinklą Lietuvoje, skatinti naudotis elektromobiliais, siekiant sumažinti naftos produktų vartojimą transporto sektoriuje ir sušvelninti transporto neigiamą poveikį aplinkai.“ [21]. Iki 2030 m. Lietuvoje numatyta įrengti apie 60 tūkst. elektromobilių įkrovimo stotelių. Parengtas plėtros planas numato, kad nuo 2023 m. sausio 1 d. visose naujai statomose arba rekonstruojamose degalinėse bei autobusų, geležinkelio stotyse, oro bei jūrų uostuose turi būti įrengta viešoji

elektromobilių įkrovimo prieiga. Taip pat neseniai buvo įgyvendintas reikalavimas šalyje turėti viešųjų elektromobilių įkrovimo stotelių informacinę prieigą. Šiuo metu informacija apie elektromobilių įkrovimo stočių tipą, užimtumą ir būseną yra teikiama interaktyviojoje nuorodoje: www.eismoinfo.lt [21].

Tačiau visų šalių dėmesys šiuo metu yra nukreiptas į atsinaujinančių energijos išteklių (toliau- AEI) panaudojimą, bei energijos vartojimo efektyvumą, kadangi numatoma, jog išmetamųjų ŠESD kiekio didėjimui, daugiausia įtakos turės elektros energijos poreikio augimas. Jau daug metų Europos Sąjungos lėšos kasmet yra skiriamos daugiabučių namų renovacijos bei modernizavimo projektams, siekiant užtikrinti pastatų elektros energijos vartojimo efektyvumą, bei sumažinti šiluminius nuostolius žiemos periodu [19]. Taip pat APVA kasmet skelbia kvietimus tiek fiziniams, tiek juridiniams asmenims pildyti paraiškas subsidijoms, įsirengiant AEI elektrines, gauti. 2020 metų duomenimis, APVA skyrė iki 80% finansavimą visuomeninėms įstaigoms, bei religinėms bendruomenėms [22], 30% paramą gamybinės paskirties pastatams bei kitos paskirties inžineriniams statiniams, pakeičiant iškastinio kuro naudojimą [23] ir daug kitų subsidijų, saulės bei kitų AEI elektrinių įrengimui. Bendra projektų finansavimui skiriama lėšų suma, kiekvienam kvietimui siekia apie 15 mln. Eur. Tam, kad kiekvienam iš mūsų būtų prieinama galimybė gaminti elektros energiją iš atsinaujinančių išteklių yra skiriamos subsidijos net ir nuotolinėms elektrinėms (jeigu gyventojas neturi techninių galimybių AEI įsidiesti pas save būste arba tiesiog gyvena daugiabutyje), o socialiai remtini gyventojai, pagal 2021 metų kvietimą, gali gauti paramą net iki 85% [24]. Būtent iš šių kvietimų galima suprasti, kad Lietuva, kaip ir kitos Europos Sąjungos valstybės stipriai įsitraukusi vykdyti pagrindinius ES žaliojo kurso tikslus ir į aplinką išmesti kuo mažiau ŠESD.

1.4. AEI panaudojimo plėtros problemos

Kadangi patikimas energijos tiekimas yra būtinas visose srityse nuo ekonomikos iki pramonės, atsinaujinančioji energetika susiduria su pagrindine problema- nepastovia gamyba. Kaip žinoma, atsinaujinančios energijos išteklių gaunami dėl įvairių energijos srautų mūsų aplinkoje, kurių intensyvumo mes negalime reguliuoti, gaminamas elektros energijos kiekis būtent ir priklauso nuo sezoniškumo ir oro sąlygų. Atsižvelgiant į šią problemą, didelę įtaką daro kiekvienos valstybės politika bei jos įsipareigojimai vykdyti atsinaujinančios energetikos tikslus. Būtent politika skiria paskatas atsinaujinančių išteklių technologijų vystymui, bei plėtrai, tam, kad „žalioji“ energija būtų išgaunama kuo efektyviau, o galimybė ja naudotis būtų prieinama kiekvienam. Daugelis pasaulio valstybių, vieną kaip ateities perspektyvų mato 100% elektros energijos išgavimą iš atsinaujinančių išteklių ir jį apibūdina kaip pagrindiniu XXI a. tikslu, tačiau tai kol kas tėra siekiai, kurie šiuo metu neįmanomi įgyvendinti, dėl nepakankamo technologijų išsivystymo, bei prijungimo prie šalies elektros tinklo galimybių. Pavyzdžiui, net Kinija, pirmaujanti atsinaujinančios energijos pajėgumų srityje, negali šiuo metu maksimaliai padidinti elektros energijos vartojimo pagaminto iš atsinaujinančių energijos išteklių būtent dėl tinklo prijungimo problemų ir mažo efektyvumo technologijų. Tam, kad judėtume teisinga linkme ir efektyvintume atsinaujinančių išteklių išgavimą, visos valstybės turėtų prisidėti investuojant į atsinaujinančios energijos technologijos plėtrą ir mokslinius tyrimus šioje srityje [30].

Taip pat nemažiau svarbūs sunkumai kurie kyla prisitaikant prie atsinaujinančių energijos išteklių integracijos į šalies energetikos rinką yra: kainodaros (signalų) realiuoju laiku nebuvimas, arba nepakankamai efektyvus jos taikymas, kaip pavyzdžiui - orų prognozavimo paklaidos, didmeninės ir mažmeninės prekybos nepakankamai glaudus tarpusavio ryšys vykdant elektros energijos prekybą, nepakankamas energijos mainų, perdavimo sistemos operatorių ir paskirstymo operatorių koordinavimas bei bendrų energijos prekybos platformų nebuvimas. Būtent tokių platformų nebuvimas lemia neefektyvų perkrovos valdymą, o pasekmės yra ypač akivaizdžios pavyzdžiui Vokietijos atveju. Kadangi šalis yra geografiškai didelė, o atsinaujinančios energetikos (šiuo atveju - vėjo) sektorius yra koncentruotas šalies šiaurinėje dalyje, sugeneruotos energijos perteklius perduodamas pietinei šalies daliai tinklais, kurie eina per kaimynines valstybes. Tokie elektros energijos srautai sumažina ne tik perdavimo pajėgumus pačioje šalyje, bet ir už jos ribų. Tačiau jei atsirastų tarpvalstybinės atsinaujinančių išteklių prekybos platformos, sugeneruotos energijos perviršis galėtų būti perduodamas vartotojams, esantiems arčiau elektrinių, nesvarbu ar juos skiria šalies siena ar ne. Taip būtų sumažinami ne tik energijos nuostoliai tinkluose, bet ir elektros energijos kaina vartotojams. Šiaurės Vokietijos perteklinio vėjo gamybos pavyzdžiu sumažėtų elektros kainos Nyderlanduose ir Lenkijos šiaurėje. Taigi atsinaujinančios energetikos tikslus būtų galima dar efektyviau pasiekti sukūrus vieną bendrą Europos atsinaujinančios energetikos prekybos platformą, kuri padėtų sukurti efektyvesnę bei integruotą perkrovos valdymą glaudžiau bendradarbiaujant su kaimyninėmis šalimis [31].

1.5. Saulės modulių rinka

Kadangi technologijos saulės energetikos sritis sparčiai tobulėja, laboratorijose, jau yra sukurti aukštesnio efektyvumo moduliai, kurie gali sugeneruoti 1,5 karto daugiau elektros energijos nei dabartiniai panašaus dydžio moduliai, esantys rinkoje. Mokslininkai kasmet atranda naujų gaminių technologijų, padedančių didinti generuojamos elektros energijos kiekį. Šiuo metu moduliai rinkoje skirstomi pagal tipą, technologiją ir pritaikomumą (rėminiai, berėminiai ir integruojami) . Taip pat neseniai yra išrastos tokios modulių technologijos kaip: dvipusiai moduliai (angl. *bifacial*), kurie leidžia elektros energiją generuoti ne tik iš priekinės modulio pusės, bet ir iš galinės, Saulės sekimo sistema (angl. *trackers*), kuri pasuka sukinėja modulius tokiu kampu, kad saulės spinduliai krintantys į modulį, sudarytų 90 laipsnių kampą. Abi šios technologijos leidžia pasiekti žymiai didesnę elektros energijos generavimo kiekį. Be to, atsiranda tokių inovacijų gamybos srityje, kurios sumažins brangių medžiagų naudojamų modulių gamybai, tokių kaip sidabras ir silicis, kainą [29]. Mokslininkai taip pat tobulina pačių modulių efektyvumo procentą, kuris šiuo metu nesiekia nei 30%, bei jų patvarumą ir ilgaamžiškumą, kas skatins žmones vis labiau investuoti į Saulės elektrines.

1.5.1. Pagal tipą skirstomi saulės moduliai

- Standartiniai;
- Stiklas/stiklas.

Stiklas/stiklas tipo moduliai yra gaminami naudojant aukštos atsparumo klasės medžiagas. Šio tipo moduliai dažnai yra laminuojami pasitelkiant poliolefino plėvelę (POE). Ji gaminama polietileno

pagrindu, jai priskiriamas gyvavimo laikotarpis 50 metų. Ji pasižymi labai geru atsparumu drėgmei ir turi geriausias spektrines savybes. Skirtingai nuo EVA tipo plėvelės, su kuria laminuojami standartiniai moduliai, poliolefino plėvelė savo sudėtyje neturi acto rūgšties, kuri bėgant metams išsiskiria veikiant moduliui ir ẽsdina sidabro kontaktus esančius ant saulės elemento, to pasekoje standartiniai moduliai turi didesnę galios degradaciją. Stiklas/stiklas tipo modulių galinė dalis apsaugota galinio stiklo, kuris yra daug atsparesnis senėjimui ir cheminėms medžiagoms nei standartinės polimerinės dangos.

Lyginant standartinio tipo modulius su stiklas/stiklas tipo moduliais būtina pastebėti didesnį stiklo/stiklo tipo modulių efektyvumo procentą, taip pat šie moduliai turi mažesnę metinę degradaciją vertinant visą modulių eksploatacinį laikotarpį, jiems teikiama didesnė gamintojo garantija. Taip pat didelis privalumas, kad stiklas/stiklas tipo moduliai, lyginant su standartiniais yra atsparesni didelėms vėjo bei sniego apkrovoms, bei nereikalauja papildomų eksploatacinių išlaidų (kadangi standartiniai moduliai rekomenduojama nuplauti bent kartą metuose, o stiklo/stiklo tipo nebūtina). Todėl, nors ir standartinių modulių kaina yra šiek tiek žemesnė, stiklas/stiklas tipo moduliai, turės didesnį ilgaamžiškumą, pagamins daugiau elektros energijos, kurios kilovatvalandės kainą per visą elektrinės gyvavimo laikotarpį bus mažesnė.

1 lentelė. Standartinių ir stiklas/stiklas modulių palyginimas

	Standartiniai moduliai	Stiklas/stiklas moduliai
Metinė degradacija, % P_{max}/m	0,8	0,43
Produkto ilgaamžiškumas, m	20-25*	30-50**
Integracija	Sunki	Lengva

*20- tikėtinas;

25- teorinis maksimumas.

**30- garantuotas gyvavimo laikotarpis;

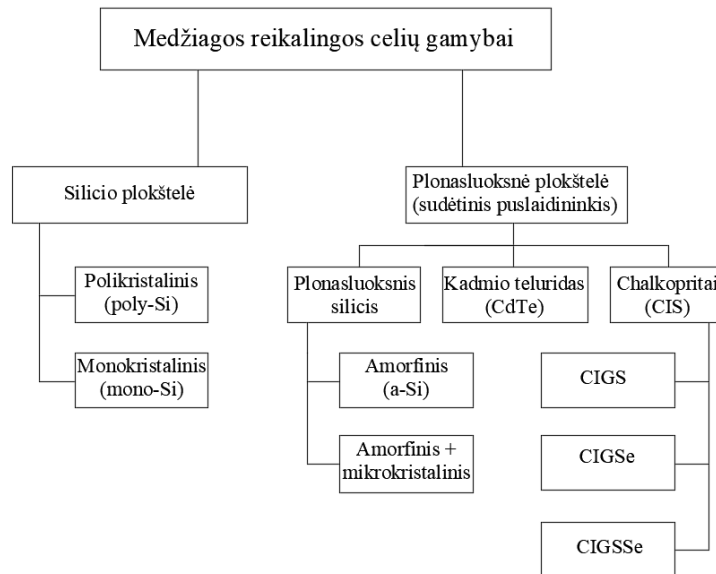
50- teorinis maksimumas.

Gamintojai moduliams suteikia nuo 10 iki 30 metų produkto garantinį laikotarpį. Produkto garantinis laikotarpis drastiškai keičiasi nuo modulio gamyboje panaudotų medžiagų. Kuo ilgaamžiškesnės ir aplinkai atsparesnės medžiagos, tuo ilgesnis produkto garantinis laikotarpis.

Saulės fotomodulių rinkoje taip pat nusistovėjo papildoma garantija – fotomodulio efektyvumo garantija. Ji teigia, kad modulis, pradirbęs tam tikrą metų kiekį, vis dar išlaikys didžiąją dalį savo galios. Standartiškai šios garantijos yra 80 % modulio vardinės galios po 25 metų, tačiau panaudojus pažangias technologijas šis degradacijos procesas gali būti sulėtintas. Pavyzdžiui, stiklas/stiklas tipo moduliams efektyvumo garantija dažnai siekia 87-90 % fotomodulio vardinės galios po 30 metų. Efektyvumo garantija tikrinama vežant norimus patikrinti fotomodulius į sertifikuotą tyrimų centrą, ten atliekami testai, tačiau ne visi gamintojai pripažįsta šių testų patikimumą, todėl prisiima testuoti fotomodulius savo gamyklose, dėl ko kyla dalinis interesų konfliktas, nes testuojanti įmonė testuoja savo produkciją. Verta pažymėti, jog efektyvumo garantija galioja tik tuomet kai produktas yra sveikas, vadinasi modulio apibrėžiama reali garantija yra produkto garantinis laikotarpis, o ne efektyvumo garantija.

1.5.2. Pagal technologiją skirstomi saulės moduliai

- Kristalinio silicio;
- Plonaplėveliniai.



11 pav. Pagal technologiją skirstomi saulės moduliai (sudaryta autoriaus)

1.5.2.1. Silicio plokštelės moduliai

Moduliai gaminami iš silicio plokštelės gali būti dviejų tipų- polikristaliniai ir monokristaliniai.

Monokristaliniai saulės moduliai pasižymi didžiausiu efektyvumu (kuris gali svyruoti iki 25%) ir galia iš visų tipų saulės baterijų. Didesnis monokristalinių saulės modulių efektyvumas reiškia, kad norint pasiekti tam tikrą didesnę galią, jiems užtenka mažiau ploto. Kitaip tariant, užtektų mažiau monokristalinių saulės modulių elektrinėje, kad ši sugeneruotų tą patį energijos kiekį, kaip, didesnis skaičius polikristalinių ar plonasluoksnių saulės modulių [31]. Būtent dėl savo efektyvumo bei ilgo eksploatacijos periodo, šių modulių ekonominiai rodikliai, tokie kaip IRR (angl. *Internal rate of return*) ir NPV (angl. *Net present value*) yra geriausi lyginant su kitų tipų saulės moduliais

Monokristalinės celės išgaunamos iš vienalyčio silicio, kuris būna auginamas ir tuomet supjaustomas į reikiamas plokšteles. Būtent dėl šios priežasties, elektronai turi daugiau laisvos vietos judėti ir modulio efektyvumas būna aukštesnis.

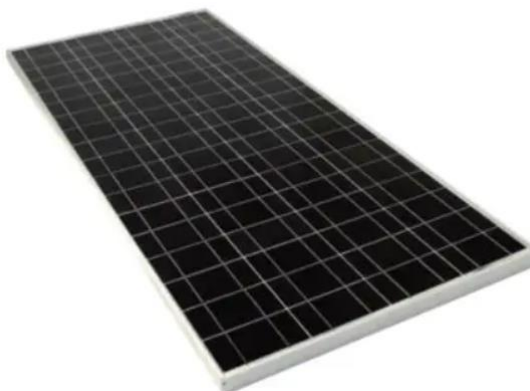


12 pav. Monokristalinis saulės modulis (<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>)

O kalbant apie polikristalines celes, jų gamyba susideda iš daugybės silicio kristalų, kurie yra ištirpdomi į blokelius ir tik tuomet pjaustomos celės. Kadangi polikristalinės celės turi daugybę kristalų, čia elektronai gali mažiau judėti ir to pasekoje sumažėja pačio modulio efektyvumas, kuris šiomis dienomis svyruoja nuo 15% iki 17%. Dėl celių gamybos būdo, jos dažniausiai būna mėlynos spalvos, o kampai nebūna nupjaustomi, todėl pačiame modulyje nėra tokių didelių tarpų tarp celių, lyginant su monokristaliniais moduliais [32] [33].

Ekonominiai rodikliai panašūs į monokristalinių modulių, galbūt šiek tiek blogesni, tačiau vertinant tai, kad polikristalinių modulių investicijos kur kas mažesnės, jie turės mažesnę (o šiuo atveju tai yra geriau) atsipirkimo laikotarpio rodiklį ROI (angl. *Return of investment*).

Šiomis dienomis daugelis modulių gamintojų net nebegamina polikristalinių modulių, dėl jų mažesnio efektyvumo, rinką yra užvaldę monokristaliniai moduliai. O bendrai silicio moduliai užima pirmąją poziciją modulių gamyboje ir apima apie 70–90% visos rinkos dalies.



13 pav. Polikristalinis saulės modulis (<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>)

1.5.2.2. Plonasluoksnės plokštelės moduliai

Plonos plėvelės saulės moduliai visiškai skiriasi nuo monokristalinių ir polikristalinių saulės modulių.

Jie yra visiškai juodi, be įprastų silicio elementų kontūrų, kuriuos galima išvelgti ant kiekvieno kristalinio silicio saulės modulio. Paprastai plonos plėvelės saulės moduliai yra lengvi ir labai lankstūs, todėl juos lengva montuoti. Tačiau būtent šios savybės, juos daro mažiau efektyvius, lyginant su kristalinio silicio moduliais.

Plonos plėvelės saulės kolektoriai gaminami ant kieto paviršiaus, pavyzdžiui, stiklo, nusodinant ploną fotoelektrinės medžiagos sluoksnį. Fotoelektrinės medžiagos dažniausiai naudojamos:

- Amorfinis silicis (a-Si)
- Kadmio teluridas (CdTe)
- Vario indžio galio selenidas (CIS)

Kiekviena iš šių medžiagų sukuria skirtingą saulės modulių „tipą“, tačiau visos jos patenka į plonasluoksnių saulės modulių grupę. Kai kurie populiarūs plonasluoksnių modulių gamintojai pasaulyje yra „Sanyo“, „Kaneka“ ir „First Solar“.

Dar prieš keletą metų plonos plėvelės efektyvumas buvo iki 10%. Tyrėjai neseniai pasiekė 23,4% efektyvumo naudojant plonų plėvelių ląstelių prototipus, tačiau plonasluoksnių modulių, kurie yra visiems prieinami, efektyvumas paprastai yra 10–13% [34].

Mažas efektyvumas reiškia, kad reikia įdiegti daugiau plonasluoksnių modulių, kad pagaminti tą patį elektros energijos kiekį, kaip monokristalinis ar polikristalinis saulės modulis.

Dėl šios priežasties plonos plėvelės saulės kolektoriai nėra prasmingi fiziniams asmenims, kurie turi ribotą kiekį elektrinės diegimui. Šiuos modulių dažniausiai renkasi didesnio masto projektams, pavyzdžiui, pramoniniuose saulės elektrinių projektuose, nes energijos poreikiams patenkinti galima sumontuoti daugiau plokščių už nedidelę kainą. Tai pat esant nestandartinei pastato formai, moduliai puikiai prisitaiko prie užapvalintų pastato formų bei kampų, kas yra pranašumas prieš kitus modulių tipus.

Plonos plėvelės plokščių gyvenimo trukmė taip pat yra trumpesnė nei kitų tipų saulės baterijų. Kadangi jie greitai suyra, gali tekti juos dažniau pakeisti.



14 pav. Plonasluoksnės plokštelės saulės modulis (<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>)

Visi plonasluoksnės plokštelės moduliai turės santykinai vienodus ekonominius rodiklius. Jie ekonomiškai pranašiausi, tarp visų modulių, būtų lyginant LCOE (angl. *levelized cost of energy*) bei ROI rodiklius, kadangi šių modulių, lyginant su kitais tipais, santykinė elektros energijos kaina yra mažiausia, eksploatacijos periodas trumpas ir investicijos ganėtinai žemos [35] [36]. Būtent tai jiems duoda pranašumą, jei kalbam apie žemesnę kainą ir su ja susijusius rodiklius. Jei lyginti, tokius kaip NPV, IRR, jie bus kur kas žemesni nei polikristalinių ir monokristalinių modulių, nes šiems rodikliams apskaičiuoti pasitelkiamas eksploatacijos periodas, bei kokią finansinę naudą per jį atneša saulės moduliai.

1.5.2.2.1. CdTe moduliai

CdTe modulių investicijų ir energijos išlaidos yra palyginti žemos. Kadangi puslaidininkiniai sluoksniai yra vos kelių mikronų storio, jų gamyba kainuoja vos kelis centus už vatą. Paprastai šių modulių gamyba yra tiesioginis procesas, kai stiklas patenka į gamyklą ir išeina kaip sukomplektuotas saulės kolektorius per kelias valandas. Kadmio telurido fotoelementai gaminami naudojant greitą garų nusodinimo (VTD angl. *vapor transport deposition*) procesą. Nebrangus kalkių natrio stiklas yra pagrindas, ant kurio „sodinamas“ modulis. Jis turi alavo oksido dangą, kuri yra skaidrus laidus kontaktas. Puslaidininkiniai sluoksniai yra naudojami šiam kontaktui per VTD. Kiekvienas sluoksnis yra nusodinamas lazeriu, kad modulyje susidarytų elektriniai kanalai. $CdCl_2$ yra išsklaidomas į polikristalinę matricą, kad pagerėtų elektrinės modulio savybės. Tada užpurškiamas galinis kontaktas. Galutinis lazerio naudojimas užbaigia grandinės kanalus ir atskiria celes modulyje. Tada modulis yra laminuojamas polimeriniais klijais ir kitu stiklo sluoksniu kartu su krašto sandarikliu, prieš termiškai užsandarinant [32]. Bendros CdTe modulių siuntos 2020 metais siekė 25 GW.

1.5.2.2.2. CIS moduliai

CIS (vario (C), indžio (I) ir seleno (S)) šiuo metu yra laikoma inovatiškiausia technologija, susijusi su saulės modulių serijine gamyba, ir teikia pranašumų energijos gamybos, efektyvumo ir poveikio

aplinkai požiūriu. Dėl pažangios pritaikymo technologijos, CIS moduliai generuoja daugiau elektros energijos esant šešėliui, debesuotam dangui, silpnai apšvietai ar aukštai temperatūrai, palyginti su įprastais kristalinio silicio moduliais.

[36] Kitas privalumas ne tik lyginant su kristaliniiais moduliais, bet ir su kitomis plonos plėvelės technologijomis, tokiomis kaip kadmio teluritas, yra nedidelis CIS technologijos poveikis aplinkai. Kadangi moduluose nėra švino ir kadmio, jie atitinka pavojingų medžiagų ribojimo direktyvos reikalavimus. Žymiai mažesnis žaliavų procentas, reikalingas šių modulių gamybai, pabrėžia ekologiškesnę technologijos gamybos procesą [32]. Daugelis mokslininkų, besispecializuojančių CIS technologijų vystyme, mano, kad tai labai perspektyvi technologija ir netolimoje ateityje bus pasiektas 25% efektyvumas.

1.5.2.2.3. Amorfinio silicio moduliai

Amorfinis silicis (a-Si) yra nekristalinė silicio forma, naudojama saulės elementams ir plonos plėvelės tranzistoriams skystųjų kristalų ekranuose.

[30] Naudojama kaip puslaidininkinė medžiaga a-Si plonasluoksniams silicio saulės moduliams, ji nusėda plonomis plėvelėmis ant įvairių lanksčių pagrindų, tokių kaip stiklas, metalas ir plastikas. Amorfinių silicio modulių efektyvumas paprastai yra mažas, tačiau tai yra viena iš ekologiškiausių fotovoltinių technologijų, nes jose nenaudojami toksiški sunkieji metalai, tokie kaip kadmio ar švinas.

Tikimasi, kad amorfinis silicis, kaip antrosios kartos plonos plėvelės saulės elementų technologija, taps vienu iš svarbiausių veiksnių sparčiai augančioje pasaulinėje fotoelektros rinkoje, tačiau savo mažesniu efektyvumu jis yra praradęs konkurencingumą tarp įprastų kristalinio silicio ir kitų plonasluoksnių modulių, tokių kaip CdTe ir CIS.

1.5.3. Modulių palyginimas

Kad būtų atliktas efektyvus saulės modulių vertinimas iš skirtingų perspektyvų, būtina įvertinti tiek techninius parametrus, tiek ekonominius. Iš techninių parametru patys svarbiausias- efektyvumas, kuris parodo, kiek procentų visos gautos saulės energijos fotoelementas fotovoltinių procesų metu gali paversti elektros energija. Taip pat labai svarbu saulės modulių storis, jei bus vertinami perdirbimo bei gaminimo procesai- didesnio storio moduliams reikės daugiau energijos įgyvendinant šiuos procesus. Taip pat svarbu įvertinti ir įpatumus, kadangi kai kurių saulės elementų medžiagų yra ribotas kiekis gamtoje, o tai taip pat prisideda prie perdirbimo ar naikinimo procesų metu daromo neigiamo poveikio aplinkai.

2 lentelė. Modulių technologijų techninis palyginimas

Medžiaga	Storis	Efektyvumas	Spalva	Įpatumai
Monokristalinis silicis	0,3 mm	23%	Tamsiai mėlyna, juoda	Lengva gamybos procedūra, didžiausias galios ir ploto santykis
Polikristalinis silicis	0,3 mm	17%	Mėlyna	Pigūs, neefektyvūs, estetiški
Kadmio teluridas (CdTe)	0,008 mm + 3 mm stiklas	20%	Tamsiai žalia, juoda	Pigi gamyba, nuodingos pirminės žaliavos, trumpas gyvavimo laikotarpis
Varis selenas inidis (CIS)	0,008 mm + 3 mm stiklas	19%	Juoda	Lankstus ir lengvas, ribotas inidžio kiekis gamtoje

Iš 2 lentelės galima pastebėti, kad lyginant kristalinio silicio modulius su plonasluoksnės plėvelės moduliais, skiriasi jų storis, kuris kristalinio silicio moduliams, yra net 37,5 karto didesnis. Kaip jau buvo minėta ankstesniuose skyriuose, taip pat didelis skirtumas yra ir modulių technologijų išsivystyme, kas lemia skirtingus efektyvumo koeficientus [32] [33] [34]. Šiomis dienomis rinkoje pastebime efektyviausius monokristalinius modulius, tačiau laikui bėgant, neaišku ar jie vis dar liks pirmaujantys rinkoje. Spalva visų modulių yra panaši- tamsios spalvos, tačiau kiekvienas turi savitą atspalvį, kuris būna mėlynas arba žalias. Jeigu reiktų išskirti kiekvieno modulio įpatumus, plonasluoksnės plėvelės moduliai išsiskirtų savo lengvumu, lankstumu, pigia žaliava bei trupu eksploatacijos periodo [35] [36]. Išskiriant CIS ir CdTe modulių skirtumus, būtų galima pastebėti tik vieną, kad gamybos technologijos CIS moduliams, daro mažesnę poveikį aplinkai, vertinant medžiagų iš kurių jie gaminami prieinamumą pasaulyje [37]. Kalbant apie kristalinio silicio modulio įpatumus, tai visų pirma, jie išsiskiria jau pažangia gamybos technologija, kuri užtikrina didesnę efektyvumą bei lengvesnę gamybos procedūrą. Išskiriant monokristalinius ir polikristalinius modulius, jų skirtumas yra skirtinga celių gamybos technologija, kas polikristaliniams moduliams suteikia estetinį pranašumą, tačiau tai nėra svarbus aspektas, kai monokristaliniai moduliai pasiekia didesnę generacijos kiekį, tokiam pačiame ploto vienetu.

Įvertinus kiekvieno modulio generacijos galimybes, galima atlikti ir ekonominių rodiklių, tokių kaip: NPV, IRR, ROI, LCOE ir PBT (*angl. Payback time*) analizę. Didžiausią NPV ir IRR reikšmę turės tie saulės moduliai, kurių efektyvumas ir gyvavimo laikotarpis bus didžiausi, nepaisant to, kad jų ROI bus ilgiausias. Vertinant ROI, geriausią reikšmę (mažiausią), turės tie fotoelementai, kurių pradinė investicija bus mažiausia, tačiau jiems dažniausiai suteikiamas trumpiausios garantijos t.y. trumpiausia eksploatacinė trukmė. Taip pat saulės moduliai kurie turi mažiausią ROI, LCOE reikšmę taip pat bus geriausia t.y. mažiausia (3 lentelė).

3 lentelė. Modulių technologijų ekonominis palyginimas (atliktas remiantis technologijų techniniu palyginimu)

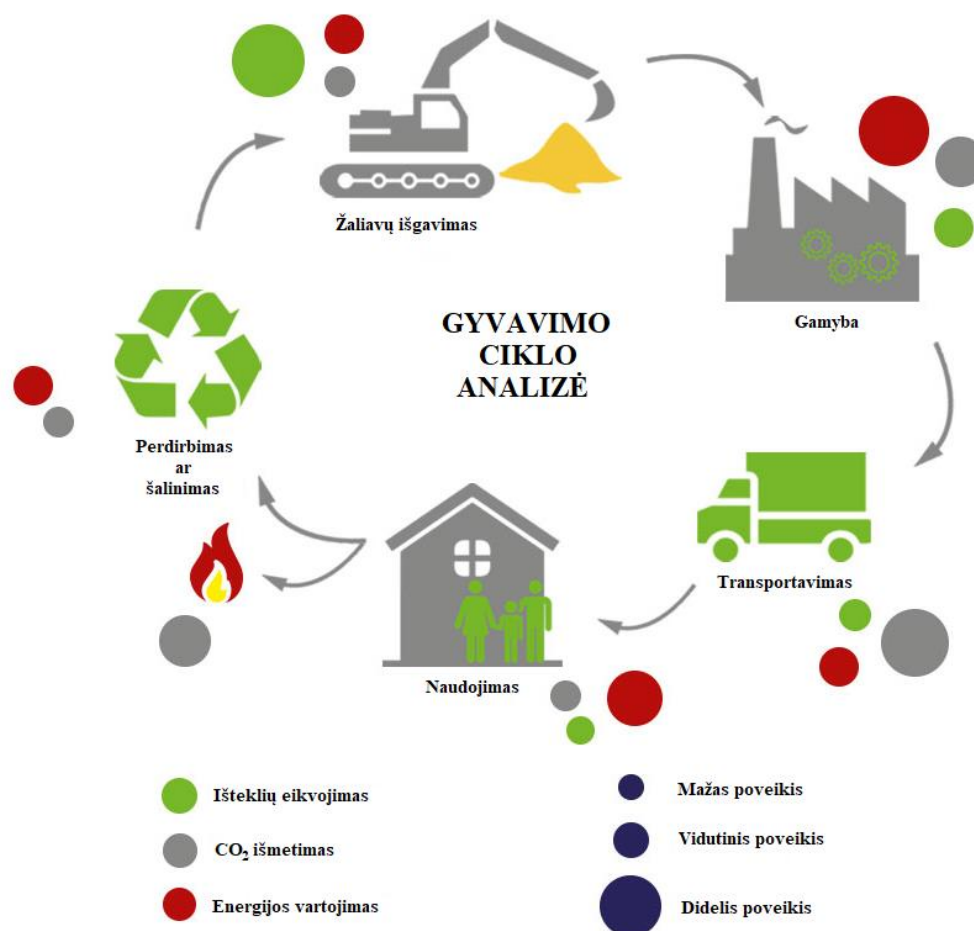
Saulės modulis	NPV	IRR	ROI	LCOE	PBT
Monokristalinio silicio	Didžiausias	Didžiausias	Ilgiausias	Didelė	Ilgiausias
Polikristalinio silicio	Didelis	Didelis	Ilgas	Didžiausia	Ilgas
Kadmio telurido (CdTe)	Mažas	Mažas	Trumpas	Maža	Trumpas
Vario seleno inidžio (CIS)	Mažas	Mažas	Trumpas	Maža	Trumpas

Kaip galima pastebėti skirtingų technologijų saulės moduliai turi labai skirtingus tiek techninius, tiek ekonominius parametrus. Tačiau iš jų negalima spręsti, kurie fotoelementai turėtų didžiausią neigiamą poveikį aplinkai ir visuomenei. Svarbu įvertinti ir pagal tipą skirstomų elementų (stiklo/stiklo ir standartinių) sudėtį bei gamybos procesus, kadangi šių dviejų tipų moduliai plačiausiai paplitę rinkoje, o jų gamybos procese yra naudojamas plastikas, stiklas bei įvairios rūgštys, kurios žaloja visą ekosistemą. Todėl, kad ir kaip „nekaltai“ atrodo visi saulės energijos generatoriai, svarbu suprasti, kad jų gaminimo, eksploatavimo ir perdirbimo procesai pareikalauja daug įvairių medžiagų ir atliekų šalinimo, iš kurių yra ir kenksmingų ne tik gamtai, bet ir žmonių sveikatai medžiagų. Taip pat visas gaminimo procesas pareikalauja daug elektros energijos, kuri gaunama dažniausiai ne iš atsinaujinančių išteklių, o iš iškastinio kuro, kuris yra pagrindinis ŠESD sukėlėjas. Todėl labai svarbu įvertinti ar gaminami fotoelektros generatoriai atsiperka vertinant ne finansines išlaidas, o aplinkosauginį poveikį t.y. ar jis pagamins daugiau elektros energijos, nei buvo sunaudota jam pagaminti, ar jo visas eksploatacinis periodas išmes į aplinką mažiau ŠESD, nei išmesta jo pagaminimui ir šalinimui. Būtent viso gyvavimo ciklo vertinimu galima atsakyti į klausimą ar tikrai verta rinktis atsinaujinančių išteklių (saulės) generatorius, ar jie padės žengti švarios energetikos linkme bei kurie iš jų greičiausiai padės tai padaryti ir turės mažiausią poveikį visai ekosistemai.

2. Metodologija

2.1. Tyrimo metodika

Tyrimas bus atliktas pasitelkiant gyvavimo ciklo vertinimo metodiką (angl. *life cycle assessment* (LCA)). Ši plačiai naudojama metodika leidžia analizuoti galutinio produkto viso gyvavimo ciklo, nuo pirminių iškastinių žaliavų surinkimo, apdirbimo ir transportavimo iki galutinio produkto perdirbimo, poveikį aplinkai. Gyvavimo ciklo metodika padeda įvertinti visų procesų bei atliekų daromą žalą aplinkai bei produkto energetinį bei ekonominį efektyvumą [38]. Gyvavimo ciklo sandara pavaizduota 15 pav.



15 pav. Gyvavimo ciklo analizės struktūra (<https://www.cea.fr/cea-tech/liten/english/Pages/Strategic-research/Circular-Economy/LCA-and-Technical-Economic-Analysis.aspx>)

Plačiai pripažintos LCA atlikimo procedūros yra įtrauktos į Tarptautinės standartizacijos organizacijos (ISO) aplinkosaugos vadybos standartų 14 000 seriją, konkrečiai į ISO 14040 ir ISO 14044. ISO 14040 [39] įvadinė dalis, LCA apibrėžia taip:

„LCA tiria aplinkos aspektus ir galimą poveikį per visą produkto gyvavimo ciklą (t. y. nuo lopšio iki kapo) nuo žaliavų išgijimo iki gamybos, naudojimo ir šalinimo. Bendrosios poveikio aplinkai kategorijos, į kurias reikia atsižvelgti, yra išteklių naudojimas, žmonių sveikata ir ekologinės pasekmės“ [39].

Dažniausiai LCA tyrimas susideda iš keturių etapų [40]:

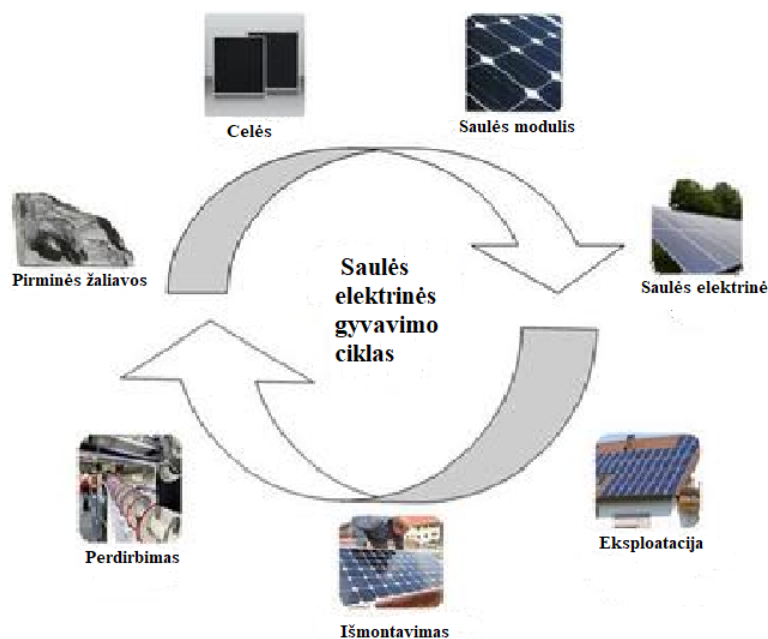
1 etapas. Tikslas ir apimtis. Šis etapas apibrėžia, kokia produkto gyvavimo ciklo dalis bus vertinama ir kokiam tikslui bus naudojamas įvertinimas. Šiame žingsnyje aprašomi sistemos palyginimo kriterijai ir konkretus laikas;

2 etapas. Medžiagų ir energijų srautai. Šiame etape aprašomi žaliavų ir energijos srautai reikalingi galutinio produkto gamybai bei jo šalinimui/utilizavimui, jų sąveika su aplinka, susidariusios atliekos bei emisijos;

3 etapas. Vertinimas. Išsami informacija iš 2-ojo etapo naudojama poveikio vertinimui. Šiame žingsnyje detalizuojami visų poveikio kategorijų rodiklių rezultatai, kiekvienos poveikio kategorijos svarba vertinama lyginamuoju metodu;

4 etapas. Rezultatų pateikimas. Paskutiniajame etape pateikiami rezultatai bei išvados į 1-ame etape išsikeltus uždavinius, dažnu atveju parengiama jautrumo analizė.

Analizuojant konkrečiai saulės elektrines, jų gyvavimo ciklas atrodo taip kaip pavaizduota 16 pav. Kadangi saulės elektrinės susideda iš daugybės komponentų, dažniausiai plačiausiai analizuojami būna celių ir pačio saulės modulio gamybos procesai.



16 pav. Saulės elektrinių gyvavimo ciklo analizė (<https://arpsolar.weebly.com/life-cycle-assessment.html>)

LCA lygiai [41]

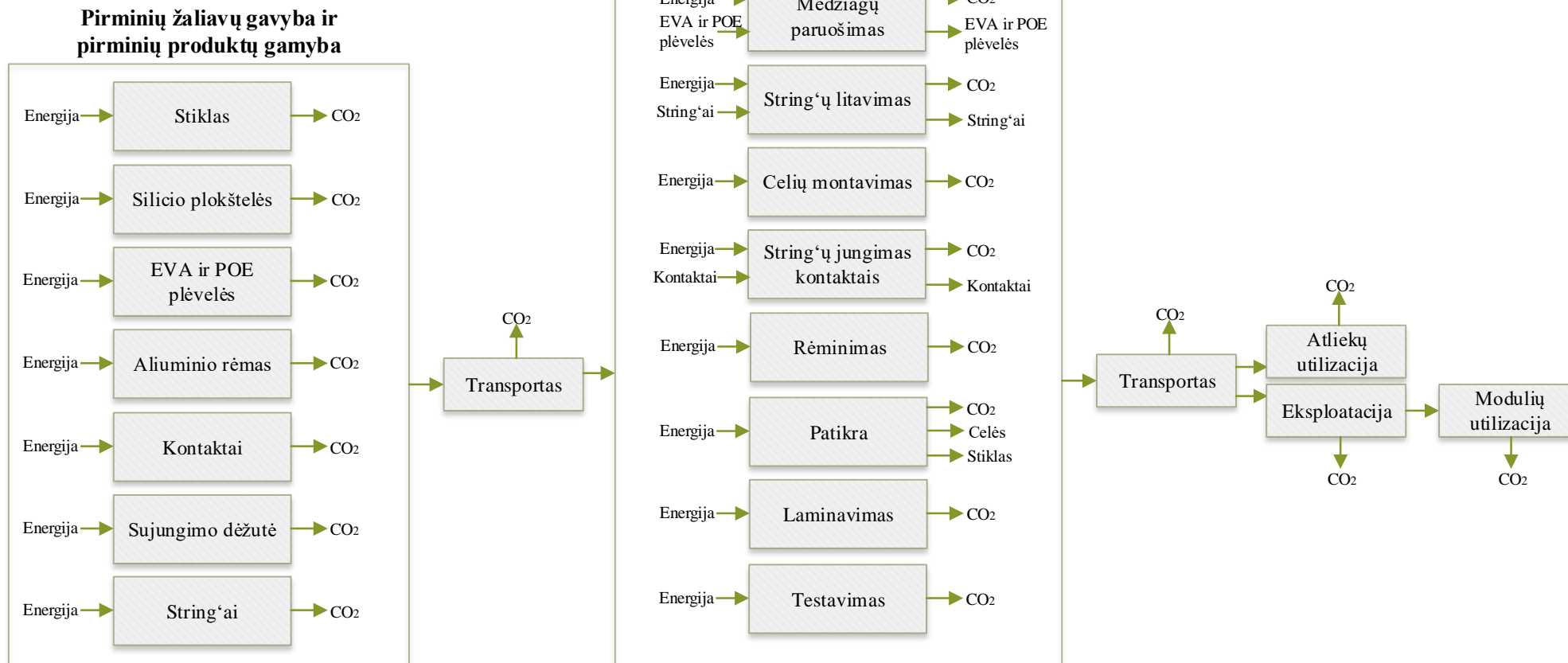
Remiantis technologinėmis detalėmis, LCA metodiką galima suskirstyti į tris lygius:

1. **Koncepcinis LCA** – pirmasis LCA lygis, pagrįstas kelių gyvavimo ciklo etapų aplinkosaugos aspektais. Rezultatai gali būti naudingi kokybinei vertinimo rezultatų ataskaitai, tačiau dėl savo primityvumo netinkami įmonių rinkodarai analizuoti ar detaliai LCA tyrimo publikavimui;
2. **Supaprastintas LCA** – tai išsamaus įvertinimo tipas, naudojant duomenis, apimančius visą produkto sistemos gyvavimo ciklą. Tai apima gyvavimo ciklo etapų analizę, konkrečiai analizuojamas kiekvienas gyvavimo ciklo etapas;
3. **Išsamus LCA** – šio tipo LCA visapusiškai atsižvelgia į kiekvieno gyvavimo ciklo etapo produktus, išanalizuoja atskirus jų gyvavimo ciklus ir išsamiai išanalizuoja visus tarpinius procesus, siekiant efektyvesnio tolimesnio proceso tobulinimo.

Tiriamajame darbe bus komponuojami 2 LCA lygiai. Koncepcinis LCA vertinimas bus atliekamas pirminių žaliavų gavybai, pirminių produktų gamybai bei utilizacijai. Visas darbas bus daugiau koncentruotas į pačio produkto- saulės modulio gamybos procesą, kuriam bus taikomas išsamus LCA vertinimas.

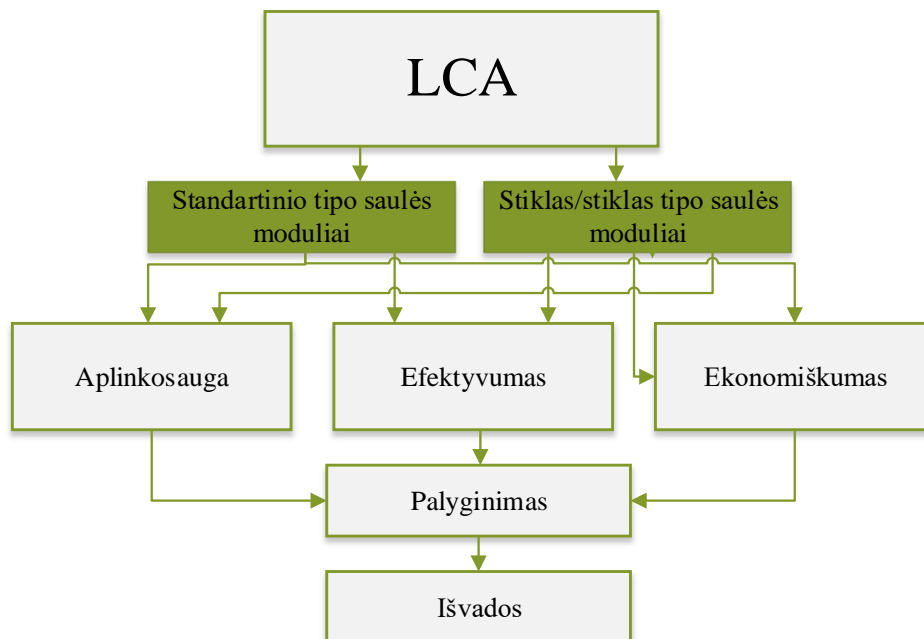
17 pav. pavaizduota viso gyvavimo ciklo etapai analizuojami tiriamajame darbe, juose naudojamos medžiagos ir procesai bei reikalingi ir šalinami išteklių ar medžiagos kiekvieno proceso ar medžiagos gaminimo metu. Apie patį gaminimo procesą plačiau aprašyta 2.3. skyriuje.

Gamybos proceso metu susidaranti atliekos (POE ir EVA plėvelės, stiklas, celės, kontaktai, string'ai) bus apskaičiuojamos naudojantis SoliTek įmonės statistiniais metiniais duomenimis, o išmetamas CO₂ kiekis apskaičiuojamas remiantis kiekvieno įrenginio galia, jo suvartojama elektros energija, bei kiek vienas saulės modulis praleidžia laiko kiekviename įrenginyje atskirai.



17 pav. Saulės modulių gyvavimo ciklo struktūra (sudaryta autoriaus)

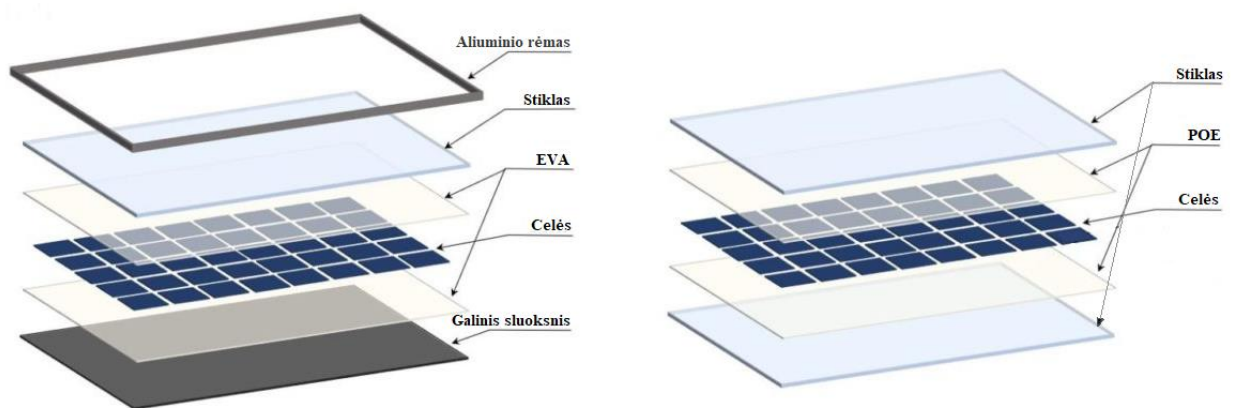
Viso gyvavimo ciklo tyrimo palyginimas bus atliekamas vertinant efektyvumo, aplinkosaugos ir ekonomiškumo aspektus (pav. 18)



18 pav. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių gyvavimo ciklo vertinimo struktūra (sudaryta autoriaus)

2.2. Tyrimo objektas

Darbe tiriami plačiausiai šiuolaikinėje rinkoje paplitę monokristaliniai saulės moduliai. Lyginami dviejų skirtingų tipų monokristaliniai saulės moduliai t.y. standartinio tipo ir stiklas/stiklas tipo. Konkrečiu atveju nagrinėjama bus SoliTek firmos Standard M.60 365W ir SoliTek SOLID Bifacial Glass/Glass 355W (specifikacijos pateiktos 1 ir 2 prieduose).



19 pav. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių sandara (sudaryta autoriaus)

Standartinio tipo saulės moduliai gaminami naudojant:

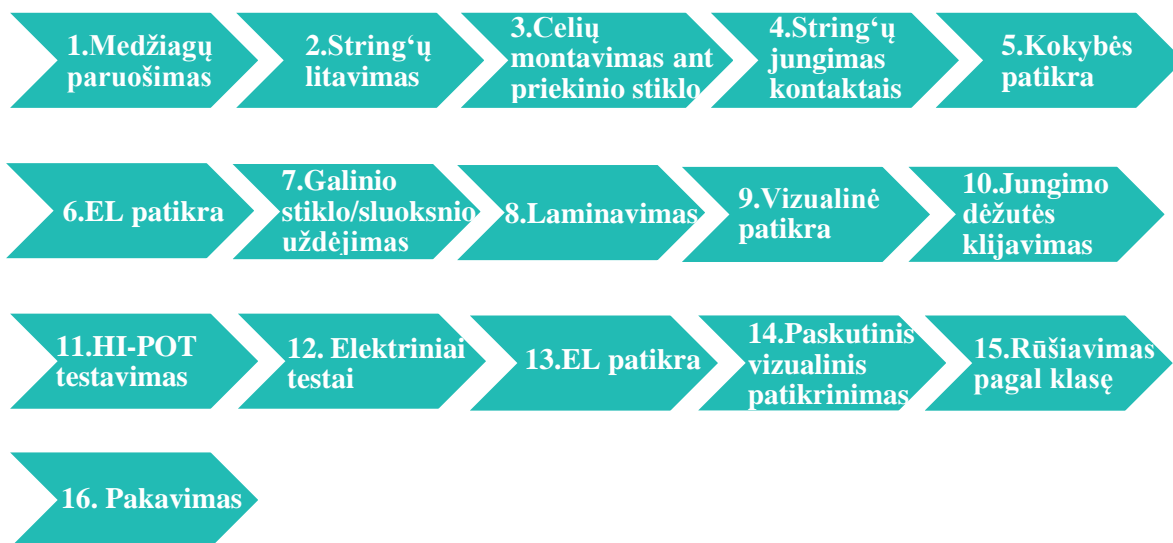
1. 60 vnt. silicio celių;
2. 2 lakštai 1045x1778mm EVA plėvelės;
3. 1 lakštas 1778x1057mm stiklo;
4. Galinis plastiko sluoksnio lakštą 1800x1060mm;
5. Aliuminio rėmas.

Stiklas/stiklas tipo saulės moduliai gaminami naudojant:

1. 60 vnt. silicio celių;
2. 2 lakštai 1045x1778mm POE plėvelės;
3. 2 lakštai 1778x1057mm stiklo.

2.3. Saulės modulių gamybos procesas

Abiejų tipų saulės modulių gamybos procesas yra labai panašus. Pagrindinis skirtumas tas, kad stiklas/stiklas tipo saulės moduliams gaminti naudojamos iš abiejų pusių Si_3N_4 nusodintos ir kontaktuotos silicio plokštelės, o vietoj galinio sluoksnio montuojamas galinis stiklas. Visas gamybos procesas susideda iš 16 dalių.



20 pav. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių gamybos procesas (sudaryta autoriaus)

1. Medžiagų paruošimas. Celių rūšiavimas (standartiniais ir stiklas/stiklas tipo saulės moduliams), POE ir EVA plėvelių pjaustymas, priekinių stiklų uždėjimas ant įrangos, kontaktų juostos paruošimas ir įdėjimas į įrenginį;
2. String'ų litavimas. Celės įrenginio pagalba susstringuojamos;
3. Celių montavimas ant priekinio stiklo. Roboto ranka ant priekinio stiklo uždeda pirmąją POE plėvelės (arba EVA plėvelės, standartinių modulių gaminimo atveju) sluoksnį ir susstringuotas celių juostas;
4. String'ų jungimas kontaktais. Gamyklos operatoriai lygiagrečiai sujungia celių eiles pagal poliškumą ir padengia jas antruoju POE plėvelės (arba EVA plėvelės, standartinių modulių gaminimo atveju) sluoksniu;

5. Kokybės patikra. Operatoriai atlieka vizualinę apžiūrą, siekdami įsitikinti, kad nėra paliktų defektų (saulės elementų lūžimo, inkluzų ir pan.). Tamsios srovės matavimas parodo, ar celių string'ai buvo tinkamai prijungti;
6. EL patikra. EL (elektroliuminisencinis) matavimas leidžia nustatyti vidinius celių defektus, mikro įtrūkimus ir litavimo kokybę. Jei pastebimi defektai, saulės modulis pataisomas prieš sekantį žingsnį;
7. Galinio stiklo uždėjimas. Gamyklos operatoriai uždeda galinį stiklą ant saulės modulio (jeigu gaminamas standartinio tipo saulės modulis, uždedamas galinis plastiko sluoksnio lakštas), pritvirtina kontaktus ir paruošia modulį laminavimui;
8. Laminavimas. Gamyklos operatoriai pastato saulės modulius ant laminatoriaus juostos konvejerio ir paleidžia automatinį laminavimo procesą. Laminavimo procesas atliekamas specialioje kameroje su mažu vakuumu ir temperatūra apie 150°C. Šio proceso metu POE plėvelė (arba EVA plėvelė, standartinių modulių gaminimo atveju) tirpsta, tampa skaidri ir suklijuoja saulės modulių celes su stiklu;
9. Vizualinė patikra. Gamyklos operatorius po laminavimo atlieka vizualinį kokybės patikrinimą ir informuoja pamainos vadovą, jei kyla kokybės problemų;
10. Jungimo dėžutės klijavimas. Gamyklos operatoriai klijuoja jungiamąją dėžutę ir pritvirtina keturis išvesties kontaktus dėžutės viduje;
11. HI-POT testavimas. Saulės modulis automatiškai pereina į specialų testavimo įrenginį izoliacijos atsparumo ir aukštos įtampos matavimui;
12. Elektriniai testai. Gamybos operatoriai išmatuoja voltamperinės charakteristikos vertes, naudodami imitacinę saulės blyksnio šviesą;
13. EL patikra. EL (elektroliuminisencinio) matymo pagalba dar kartą peršviečiamas saulės modulis ir peržiūrima jis neturi vidinių defektų ar mikro įtrūkimų;
14. Paskutinis vizualinis patikrinimas. Gamyklos operatoriai nuvalo saulės modulį ir atlieka galutinę vizualinę apžiūrą pagal vidinį kokybės standartą;
15. Rūšiavimas pagal klasę. Gamybos operatoriai surūšiuoja saulės modulius pagal A, B ir C klases, įvertinus saulės modulio defektus, pagal kokybės standartą ir atitinkamai pažymi spalvotomis žalia, geltona ir raudona;
16. Pakavimas. Gamybos operatoriai ant paletės padeda apatinį dėžės dangtį ir sudeda 25 vnt. saulės modulių atskirdami juos plastikiniais, apsauginiais kampais.

4 lentelė. Gamybos linijos įrenginiai ir jų darbinės galios

Įrenginys	Kiekis, vnt.	Darbinė galia, kW
Stringer'is	1	19
Lay-Up	1	8
Konvejerių sistema prieš laminatorius	1	20
EL testeriai	2	1,75
Laminatorius	1	78
Konvejerių sistema po laminatorių	1	20
Buferiai	4	0,96
Modulio kraštų apipjovimo mašina	1	2
Modulio pavertimo 90 laipsnių kampu vizualinei inspekcijai įrenginys	1	0,96

Automatinis rėminimas	1	8,5
Stiklų uždėjimo įrenginiai	2	9
Plėvelių pjaustyklės	2	6

2.4. Skirtingų saulės modulių vertinimas pagal pasirinktus kriterijus

2.4.1. Efektyvumo vertinimas

Pagrindinis kriterijus, kuris bus svarbus vertinant poveikį aplinkai bei ekonominius rodiklius yra saulės modulių efektyvumas. Kadangi tiriami saulės moduliai bus analizuojami vienodomis klimato ir statinės būsenos sąlygomis, efektyvumo skirtumą lems tik stiklas/stiklas saulės modulių sąvybė generuoti elektros energiją iš abiejų saulės modulio pusių. Tai reiškia, kad būtina stiklas/stiklas tipo saulės moduliams, be tiesioginės saulės apšvietos į ploto vieneta, įvertinti ir atsispindėjusią nuo žemės paviršiaus apšvietą, kuri prisidės prie didesnio elektros energijos kiekio generavimo. Ji apskaičiuojama įvertinus tiesioginę saulės apšvietą į paviršiaus ploto vieneta, bei paviršiaus atsispindėjimo koeficientą- albedo:

$$H_{ats} = H \cdot a \quad (1)$$

Čia:

- a- albedo;
- b- H- į paviršių krintanti tiesioginė apšvietą, kWh/m².

Detalesniems skaičiavimams buvo pasitelktas programinis paketas „PVsyst“, kuris leidžia įvertinti saulės modulių efektyvumą, tam tikro regiono metinius meteorologinius duomenis ir pateikia prognozuojamą elektros energijos gamybą mėnesio ar net valandos tikslumu per metus.

2.4.2. Aplinkosaugos vertinimas

Aplinkosauginiam vertinimui svarbiausi skaičiuojamieji rodikliai yra – saulės modulio energijos atsipirkimo laikas (ang. *Energy pay back time* (EPBT)) ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų atsipirkimo laikas metais (ang. *Greenhouse emissions pay back time* (GPBT)).

Energijos atsipirkimo laikas yra matas, kuris parodo, kiek metų turėtų būti eksploatuojami saulės moduliai, kol jų suminė generacija būtų lygi energijos kiekiui, kurio reikėjo jų gamybai. Todėl atsipirkimo laikas priklauso ir nuo to, kaip ir kur saulės moduliai buvo pagaminti, kiek elektros energijos tam prireikė ir koks saulės modulio efektyvumas jo eksploataciniu periodu. Todėl energiją taupanti gamyba, didelis atsinaujinančios energijos naudojimas ir efektyviai veikianti sistema lemia mažas EPBT vertes [42].

EPBT (metų) skaičiavimo metodą galima išreikšti formule:

$$EPBT = \frac{CED}{E_{out}} \quad (2)$$

Čia:

CED- bendras energijos poreikis sistemos gamybai, kWh;

E_{out} - metinė saulės modulio sugeneruojama elektros energija, kWh/metus.

Norint apskaičiuoti GPBT rodiklį, pirmiausia būtina įvertinti, kasmet į aplinką išmetama CO₂ dujų kiekį, jei pasirinkta sistema nenaudoja saulės (ar bet kurios kitos atsinaujinančios) energijos. Šis kiekis apskaičiuojamas įvertinus priimtą elektros energijos suvartojimą padauginus iš elektros energijos gamybos CO₂ emisijų faktoriaus (kuris Lietuvoje siekia 0,42 tCO₂/MWh [43]):

$$CO_2 = E \cdot et_f \quad (3)$$

Čia:

E- elektros energijos suvartojimas, kWh/metus;

et_f - elektros energijos gamybos CO₂ emisijų faktorius, tCO₂/MWh.

Žinant į aplinką išmetamą CO₂ dujų kiekį kasmet ir saulės modulio gyvavimo ciklo metu išmesto CO₂ dujų kiekio į aplinką, galime apskaičiuoti GPBT rodiklį (ŠESD atsipirkimo laiką), pagal formulę:

$$GPBT = \frac{GHG_{emisijos}}{GHG_{sutaupymai \text{ per metus}}} \quad (4)$$

Čia:

GHG_{emisijos} – išmetamas CO₂ dujų kiekis, nustatytas taikant LCA, t;

GHG_{sutaupymai per metus} – išvengtas ŠESD emisijų kiekis, dėl įrengtų naujų elektros gamybos pajėgumų, per visą gyvavimo ciklą;

Kitas rodiklis, kuris bus analizuojamas vertinant saulės modulių gyvavimo ciklo aplinkosauginį aspektą yra energijos investicijų (energijos) graža (ang. *Energy return of investment* (EROI)), kuris kaip ekonominis rodiklis IRR parodo, kiek kartų elektros energijos saulės modulis sugeneruoja daugiau nei jos reikėjo saulės modulio pagaminimui. Jis apskaičiuojamas formule:

$$EROI = \frac{t}{EPBT} \quad (5)$$

Čia:

t- saulės modulio gyvavimo trukmė, metai;

EPBT- saulės modulio energijos atsipirkimo laikas, metai.

Dar vienas svarbus rodiklis, nagrinėjant aplinkosauginį aspektą yra CO₂ išmetimo rodiklis, kuris yra naudingas nustatant, ar saulės modulis yra efektyvus sprendžiant pasaulinio atšilimo problemą. Jis dažniausiai naudojamas norint palyginti generavimo technologijas. CO₂ išmetimo rodiklis skaičiuojamas pagal formulę:

$$CO_2rodiklis = \frac{CO_2(LCA)}{E_{gen} \cdot t} \quad (6)$$

Čia:

$CO_2(LCA)$ - išmetamas CO_2 dujų kiekis į aplinką, per visą saulės modulio gyvavimo ciklą, g CO_2 ;
 E_{gen} - metinė saulės modulio elektros energijos gamybos apimtis, kWh/metus;
 t - saulės modulio gyvavimo trukmė, metai;

2.4.3. Ekonominis vertinimas

Ekonominis vertinimas bus atliekamas įvertinus žaliavų pirkimo savikainą, transportavimo išlaidas, saulės modulių pagaminimui reikalingos elektros energijos išlaidas, darbuotojų užmokestį ir atliekų utilizavimo kaštus bei atlikus 2021 metų pardavimų analizę ir įvertinus vidutinę pardavimo kainą.

Taip pat sudarant metinius pinigų srautus, bus priimta, kad pradinei investicijai dalį lėšų padengė APVA, gavus paramą saulės moduliams (fiziniais asmenims), kuri sudaro 242,92 Eur už 1 kW [44].

Ekonominiam efektyvumui įvertinti, atsižvelgus į diskonto normą, skaičiuojami pagrindiniai keturi ekonominiai rodikliai- grynoji vertė (angl. *Net Present Value* (NPV)), vidinė gražos norma (angl. *Internal rate of return* (IRR)), atsipirkimo laikotarpis (angl. *Pay Back Time* (PBT)) ir elektros energijos gamybos svertiniai kaštai (ang. *Levelized Cost of Energy* (LCOE)).

Grynoji dabartinė vertė (NPV) įvertina kasmetinius pinigų srautus, sumuojant visas pajamas bei atimant išlaidas. Įvertinus NPV, galima nustatyti, ar projekto gauti pinigų srautai padengs pradines išlaidas. Saulės modulių dabartinė grynoji vertė apskaičiuojama pagal formulę:

$$NPV = \sum_{t=0}^n CF_t \quad (7)$$

Čia:

CF_t - pinigų srautai, Eur;

Vidinė gražos norma (IRR) yra diskonto normos vertė, prie kurios išlaidų ir pajamų srautų dabartinės vertės yra lygios. Vidinė gražos norma dar yra apibūdinama diskonto normos vertė, prie kurios NPV vertė yra lygi 0. Vidinė gražos norma (IRR) apskaičiuojama pagal formulę:

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (8)$$

Saulės modulio atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$PBT = \frac{W}{\sum CF_t} \quad (9)$$

Čia:

W- pradinės investicijos, Eur;

$\sum CF_t$ - kasmetiniai pinigų srautai, Eur;

Elektros energijos gamybos svartiniai kaštai (LCOE) yra santykinė saulės modulio pagaminamos elektros energijos kaina, įvertinus visas pradines išlaidas, eksploatacijos bei utilizavimo kainą. Kitaip dar apibūdinami kaip mažiausia kaina, už kurią turi būti parduota pagaminta elektros energija, kad nebūtų patirtas finansinis nuostolis. Šis rodiklis yra pagrindinis lyginant skirtingų saulės modulių ekonomiškumą– tai bendrų išlaidų santykis su bendru energijos gamybos kapitalu ekonominis vertinimas.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (10)$$

Čia:

I_t – investicijos, per t metus, Eur;

M_t – eksploatacinės ir kitos išlaidos per t metus, Eur;

E_t - metinė saulės modulio elektros energijos gamybos apimtis, kWh/metus;

r- diskonto norma;

n – saulės modulio eksploatacinis periodas.

3. Standartinio ir stiklas/stiklas tipo saulės modulių gyvavimo ciklo palyginamasis vertinimas

3.1. Saulės modulių gamyba SoliTek įmonėje

Tyrimui atlikti buvo pasirinkta Vilniuje, 12-tus metus veikianti SoliTek gamykla, kurioje kuriami, gaminami skirtingo energetinio efektyvumo bei technologinių tipų saulės moduliai, plačiai pritaikomi privačiuose namuose, viešos paskirties objektuose, pramonėje, saulės parkuose.

Ši gamykla pasirinkta dėl ŠESD mažinimo priemonių naudojimo, saulės modulių gamybos procesų metu. 2013 m. gamybos pastatų Vokietijos prekybos rūmai išrinko kaip energetiniu požiūriu

veiksmingiausių pramonės pastatų Europoje, kuris gamybos procesuose naudoja saulės energiją bei geoterminio šildymo ir vėsinimo sistemas. SoliTek R&D kartu su mokslo įstaigomis, universitetais ir tyrimų centrais iš viso pasaulio aktyviai vykdo saulės technologijų mokslinius tyrimus, padedančius kurti vis efektyviau energiją išnaudojančius saulės baterijas (modulius) ir ieško naujų būdų kaip efektyviau išnaudoti saulės energiją transporto sektoriuje (kur to labiausiai ir reikia). SoliTek dirba daug ties gaminamų saulės modulių efektyvumo, ilgaamžiškumo ir atsparumo išorės veiksniams didinimo. O stiklo/stiklo tipo saulės moduliai yra sertifikuoti kaip ekologiškiausi saulės moduliai pasaulyje.

SoliTek užtikrintai juda naujų inovacijų kryptimi ir jau 2021 m. vienintelė veikianti sertifikuotų lietuviškų saulės modulių SoliTek gamykla pasirašė jungtinės veiklos sutartį su „Avesta Battery & Energy Engineering“ (ABEE) (Belgija) ir „IMECAR Elektronik“ (Turkija) dėl baterijų gamyklos Vilniuje. Planuojama, kad autonomines elektros kaupimo sistemas kursianti gaminsianti gamykla pradės veikti 2023 m. sausio mėn.

UAB „Solitek Cells“ gamykloje, buvo atliktas tyrimas, kurio metu buvo matuojamas laikas per kurį įvyksta tam tikras procesas kiekviename įrenginyje, skirtas saulės modulio gamybai (visas gamybos procesas plačiau aprašytas 2.3. punkte).

5 lentelė. Gamybos linijos vartojama elektros energija, 1 modulio gamybai

Įrenginys	Kiekis, vnt	Darbo laikas/modulį, s	Darbinė galia, kW	Energija (STD moduliams), kWh	Energija (GG moduliams), kWh
EVA ir POE plėvelių pjaustyklės	2	10	6	0,03	0,03
Stiklų/backsheet uždėjimo įrenginiai	2	55	9	0,28	0,28
Stringeris	1	126	19	0,67	0,67
Lay-Up	1	252	8	0,56	0,56
Konvejerių sistema prieš laminatorių	1	55	20	0,31	0,31
EL testeriai	2	94	1,75	0,09	0,09
Laminatorius	1	375	78	8,13	8,13
Konvejerių sistema po laminatoriaus	1	60	20	0,33	0,33
Buferis	1	20	0,96	0,01	0,01
Modulio pavertimo 90 laipsnių kampu vizualinei inspekcijai įrenginys	1	25	0,96	0,01	0,01
Modulio kraštų apipjovimo mašina	1	15	2	0,01	0,00
Automatinio rėminimo įrenginys	1	31	8,5	0,07	0,00
				10,48	10,40

„SoliTek cells“ gamykla tai pat pasidalino 2021 metų gamybos bei utilizacijos kiekių rezultatais, tam, kad būtų galima apskaičiuoti, kiek saulės modulio gamybos proceso metu, utilizuojamos medžiagos tenka 1 vnt. saulės moduliu (rezultatai pateikti 6 lentelėje, o utilizacijos duomenys 3-iaame priede).

6 lentelė. Santykiniai utilizacijos kiekiai tenkantys 1 moduliu

--	--	--	--	--	--	--	--

Gamybos apimtys	Kiekis, vnt	Celių brokų kiekis (vnt) per 1 modulį	Backsheet brokų kiekis (m) per 1 modulį	EVA plėvelių brokų kiekis (m) per 1 modulį	POE plėvelių brokų kiekis (m) per 1 modulį	GG modulių stiklų brokų kiekis (vnt) per 1 modulį	STD modulių stiklų brokų kiekis (vnt) per 1 modulį
STD moduliai	38114	0,072	0,014	0,027	-	-	0,0002
360W STD	36388	0,072	0,014	0,027	-	-	0,0002
270W STD (seno dydžio)	1726	0,072	0,014	0,027	-	-	0,0002
GG moduliai	58960	0,072	-	-	0,036	0,0043	-
360W framed	28419	0,072	-	-	0,036	0,0043	-
355W frameless	25439	0,072	-	-	0,036	0,0043	-
360W Solrif ir SolidWall	5102	0,072	-	-	0,036	0,0043	-
VISO	97074						

3.2. Saulės modulių pirminių žaliavų gamyba, utilizacija bei transportavimas

Žaliavų gamybos apimtims bei energijos sąnaudoms įvertinti buvo apklaustos žaliavų gamybinės įmonės (bendradarbiaujančios su SoliTek įmone), kurios pasidalino gamybos procesų metu naudojamais energijos kiekiais arba išmetamais į aplinką CO₂ dujų kiekiais vertinimais. Pagal gautus duomenis buvo išskaičiuota, kiek energijos tenka kiekvienam komponentui, reikalingam saulės modulio gamybai pagaminti, bei jo gamybos metu išskiriamas CO₂ dujų kiekis. Rezultatai pateikti 7-oje lentelėje (kiekvienos žaliavos energijos bei CO₂ dujų sąnaudos pateiktos 4-ame priede).

7 lentelė. Energijos ir CO₂ sąnaudos STD ir GG modulių žaliavų gamybos proceso metu

Produktas	Energija reikalinga žaliavų gamybai, kWh	Išskiriamas CO ₂ dujų kiekis žaliavų gamybos proceso metu, kg
GG modulis	134,00	56,28
STD modulis	128,08	54,95

Saulės modulio smulkinimui ir atskyrimui bei gautų produktų (silicio, plastiko, stiklo ir aliuminio) utilizacijai ir perdirbimui reikalingos elektros energijos kiekiui apskaičiuoti, buvo remtasi moksliniais straipsniais [45], [46], [47], [48], [49]. Rezultatai pateikti 8-oje lentelėje (kiekvieno atskyrimo metu gauto produkto energijos bei CO₂ dujų sąnaudų rezultatai pateikti 5-ame priede).

8 lentelė. Energijos ir CO₂ sąnaudos STD ir GG modulių perdirbimo proceso metu

Produktas	Energija reikalinga utilizacijai, kWh	Išskiriamas CO ₂ dujų kiekis utilizacijos proceso metu, kg
GG modulis	8,24	2,02
STD modulis	8,83	2,27

Medžiagų transportavimas sualės modulių gamybai dažniausiai vyksta dviem būdais: laivu bei sunkvežimiu ir vyksta 4 etapais:

1. Sunkvežimiu konteineris pervežamas iš Jiangsu (Kinija) iki uosto Qingdao mieste (Kinija);
2. Kroviniu laivu konteineris pervežamas iš Qingdao miesto (Kinija) į Gdansk uostą (Lenkija);
3. Kroviniu laivu konteineris pervežamas iš Gdansk uosto (Lenkija) į Klaipėdos uostą (Lietuva);
4. Sunkvežimiu konteineris pervežamas iš Klaipėdos uosto (Lietuva) į gamyklą Vilniuje (Lietuva).



21 pav. Standartinis medžiagų atvežimo maršrutas (sudaryta autoriaus)

Standartiškai medžiagos transportuojamos 20'DC konteineriuose, tačiau gamykla užsakinėja medžiagas pilnais arba puspilniais konteineriais.

Pilnais 20'DC konteineriais yra užsakinėjami:

1. Stiklai – 2600vnt.;
2. Aliuminio rėmai- 5022vnt.;
3. Plėvelės (POE ir EVA) – 38000km;

Puspilniais 20'DC konteineriais yra užsakomi:

1. Celės- 42240vnt.;
2. Junction box – 2000vnt.;
3. Ribonai – 500kg;
4. Backsheet – 6000km.

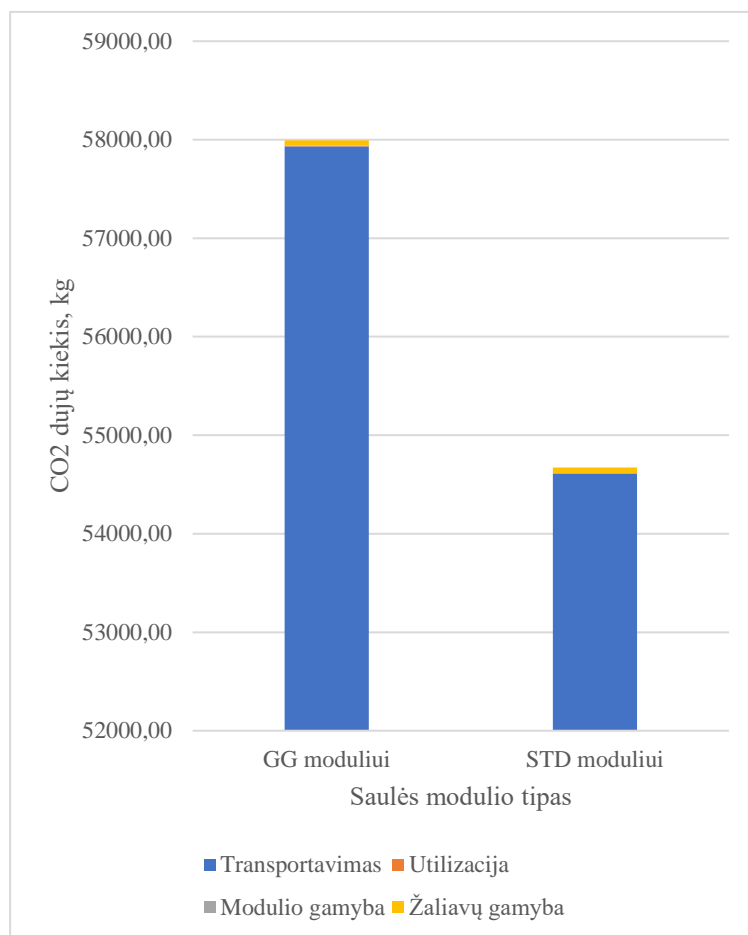
Standartinis krovininis laivas iš Kinijos talpina – 24000 vnt. 20'DC konteinerių. krovininis laivas iš Lenkijos – 13119 vnt. 20'DC konteinerių, o žeme, konteineriai yra vežami Kinijoje – po 4, Lietuvoje – po 2.

Eksploatacijai ir priežiūrai priimama, kad sumontuotos elektrinės galia yra 10kW, o ji įrengta 20km nuo Vilniaus. Benzininio automobilio, kuris vyksta į elektrinės eksploataciją kuro sąnaudos- 12,5 l/km. Eksploatacija vykdoma 1 kartą į metus. Transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai tenkantys 1 moduliiui, pateikti 9-oje lentelėje (atskirų komponentų transportavimo bei saulės elektrinės priežiūros metu išmetami CO₂ dujų kiekiai pateikti 6-ame priede).

9 lentelė. Transportavimo išmetamas CO₂ kiekis, tenkantis 1 moduliiui

Produktas	Transporto išmetamas t CO₂, tenkantis 1 modulio žaliavų atgabenimui ir eksploatacijai
GG moduliiui	57,7
STD moduliiui	54,2

Kaip galima pastebėti iš 22 pav. didžiausias CO₂ dujų kiekis per visą saulės modulių gyvavimo laikotarpį, išskiriamas jo žaliavų gabenimo metu. Lyginant GG tipo saulės modulio gyvavimo ciklą su STD tipo saulės modulio, išmetamas CO₂ dujų kiekis GG tipo saulės modulio gyvavimo ciklo metu yra 1,061 karto didesnis nei STD tipo saulės modulio.

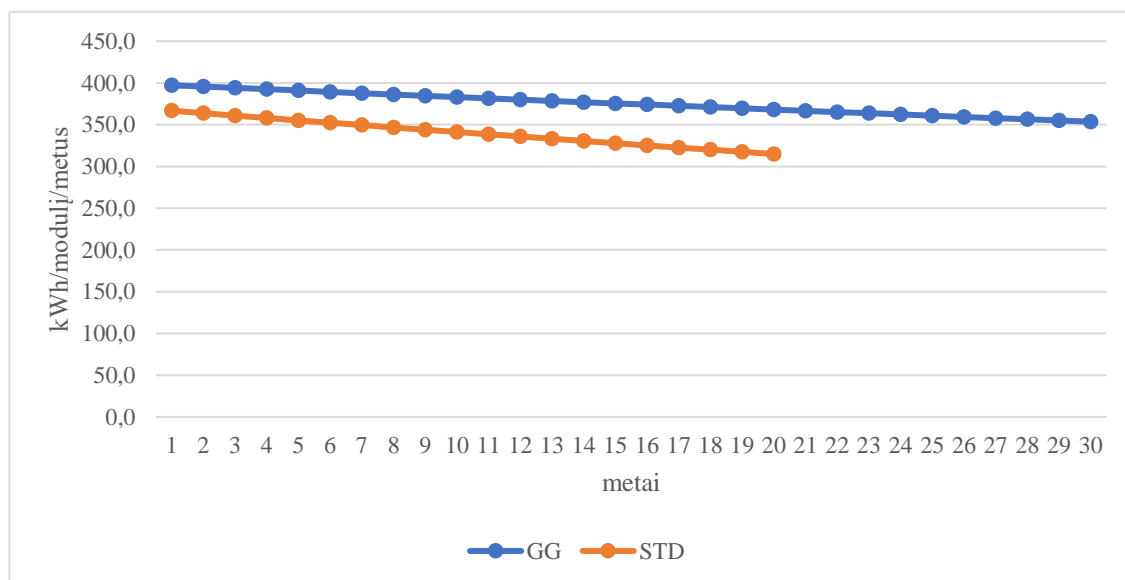


22 pav. Išmetamo CO2 dujų kiekio pasiskirstymas modulio gyvavimo ciklo metu (sudaryta autoriaus)

3.3. Elektros energijos gamyba

Pasinaudojus programinės įrangos paketu „PVsyst“ buvo apskaičiuotos, skirtingų saulės modulių, generacijos prognozės, priėmus prielaidą, kad saulės moduliai bus montuojami 35 laipsnių kampu orientuoti į saulę, atsukti 0-iniu azimutu ir montuojami Vilniuje (generacijos ataskaitos pateiktos 7 ir 8 prieduose).

Iš gautų generacijų ataskaitų galima matyti, kad GG tipo saulės modulio santykinė generacija lygi 1119 kWh/kW/metuis, kai tuo tarpu tomis pačiomis sąlygomis įrengto STD tipo saulės modulio santykinė generacija – 1005 kWh/kW/metuis. Iš gautų rezultatų darome prielaidą, kad 1 GG tipo saulės modulis sugeneruos 397,2 kWh per pirmuosius metus, o STD tipo – 366,8 kWh. 23-ajame pav. galime matyti, kad skirtingi saulės modulių tipai lemia skirtingą eksploatacinį periodą bei degradacijos koeficientą, kuris, lyginant 1-ųjų ir 20-ųjų metų generacijų kiekių skirtumą padidina 1,75 karto, o lyginant visą gyvavimo laikotarpį, GG tipo saulės moduliai sugeneruos 1,65 karto daugiau elektros energijos.



23 pav. Vidutinė GG ir STD tipo saulės modulių elektros energijos generacija gyvavimo laikotarpio metu (sudaryta autoriaus)

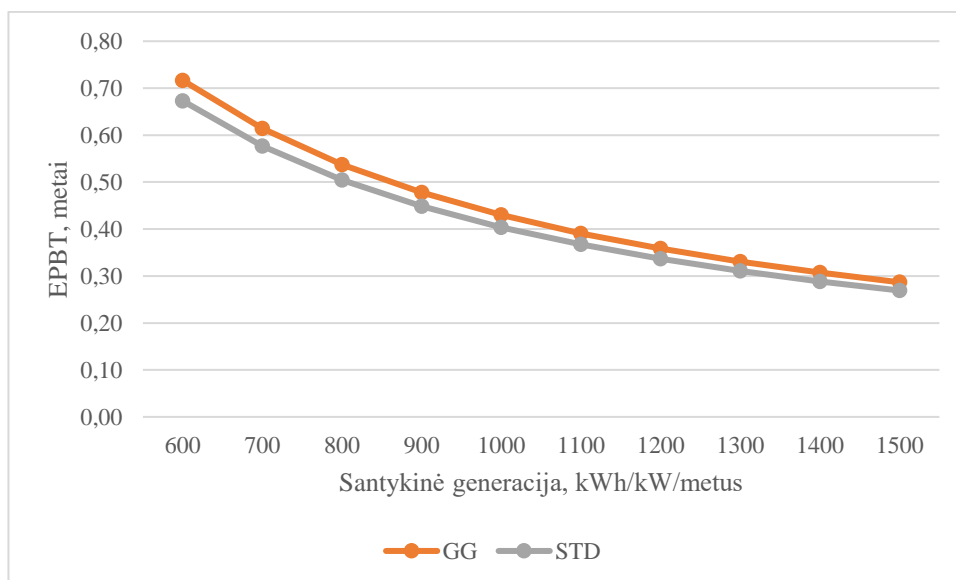
3.4. Aplinkosauginiai rodikliai

Įvertinus pačių saulės modulių gamybos procesą, žaliavų gamybos procesus, transportavimą bei utilizavimą buvo apskaičiuoti aplinkosauginiai rodikliai, taikant metodiką aprašytą 2-ajame skyriuje.

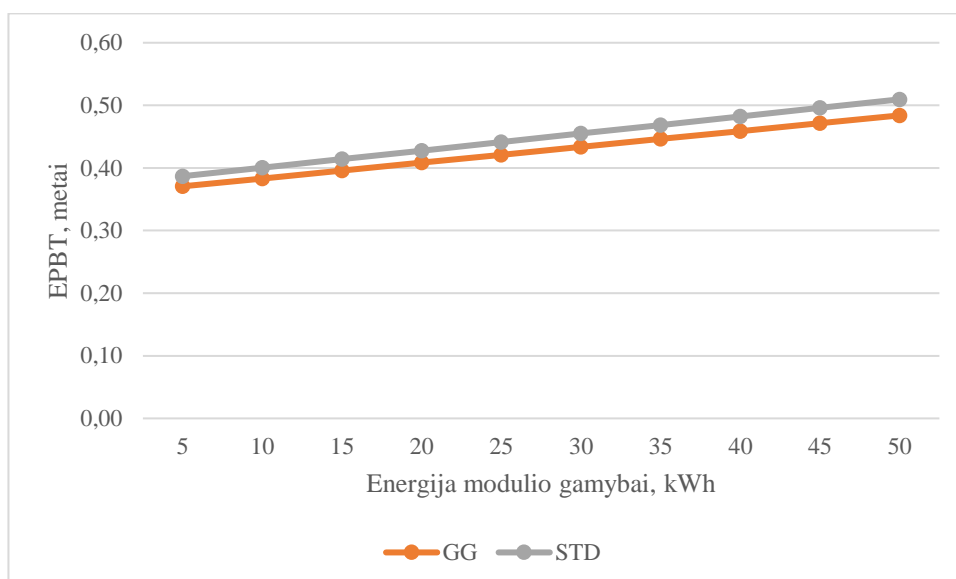
10 lentelė. Aplinkosauginiai skaičiavimai

	EPBT, metai	GPBT, metai	EROI, %	CO ₂ rodiklis, kg/kWh
GG modulis	0,38	12,22	78,07	5,13
STD modulis	0,40	18,99	49,78	7,98

Vertinant aplinkosauginių rodiklių jautrumo analizę, saulės modulių tipus vertėtų lyginti 2 aspektais: energijos bei CO₂ dujų išmetimo. Atlikus energijos atsipirkimo laikotarpio (EPBT) jautrumo analizę keičiant santykinę generaciją, galima išvelgti, kad generacijai padidėjus nuo 600 kWh/kW/metus iki 1500 kWh/kW/metus, GG tipo saulės modulio skirtumas nuo STD tipo saulės modulio sumažėja 2 kartus (24 pav.). Iš 25 pav. matyti, kad EPBT rodikliui įtakos turi ir energija reikalinga pačio modulio gamybai, kuriai didėjant, didėja ir skirtumas tarp skirtingų saulės modulių energijos atsiperkamumo rodiklio.

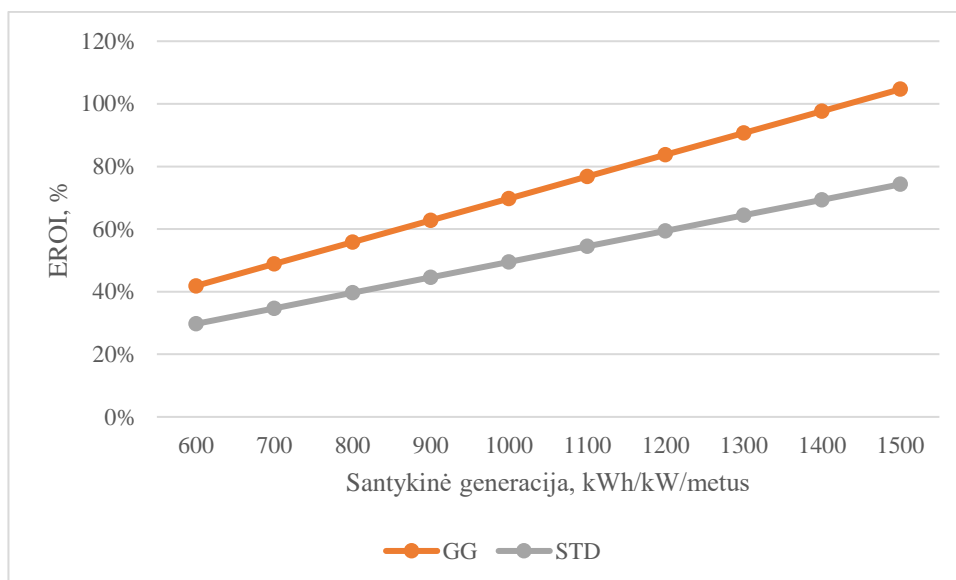


24 pav. EPBT priklausomybė nuo santykinės elektros energijos generacijos (sudaryta autoriaus)

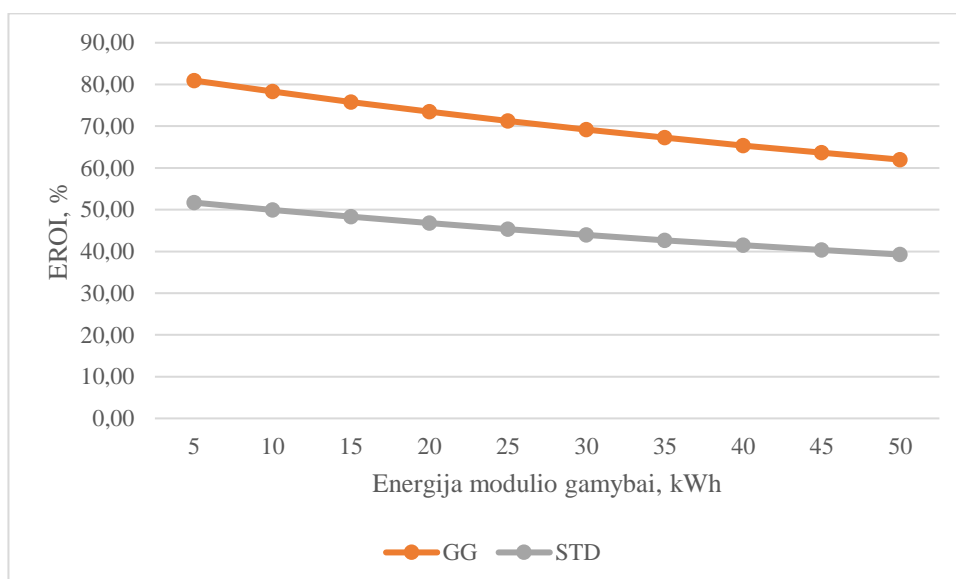


25 pav. EPBT priklausomybė nuo energijos reikalingos modulio gamybai (sudaryta autoriaus)

Taip pat energijos grąžos rodiklis (EROI) turi tokias pat priklausomybes nuo santykinės generacijos, kurį padidinus nuo 600 kWh/kW/metus iki 1500 kWh/kW/metus, GG tipo saulės modulių EROI padidėja 2,5 karto, lyginant su STD tipo saulės moduliais (26 pav.), o padidinus energijos kiekį reikalingą saulės modulio gamybai nuo 5 kWh iki 50 kWh GG tipo saulės modulio EROI sumažėja 1,29 karto, lyginant su STD tipo saulės modulių EROI (27 pav.).

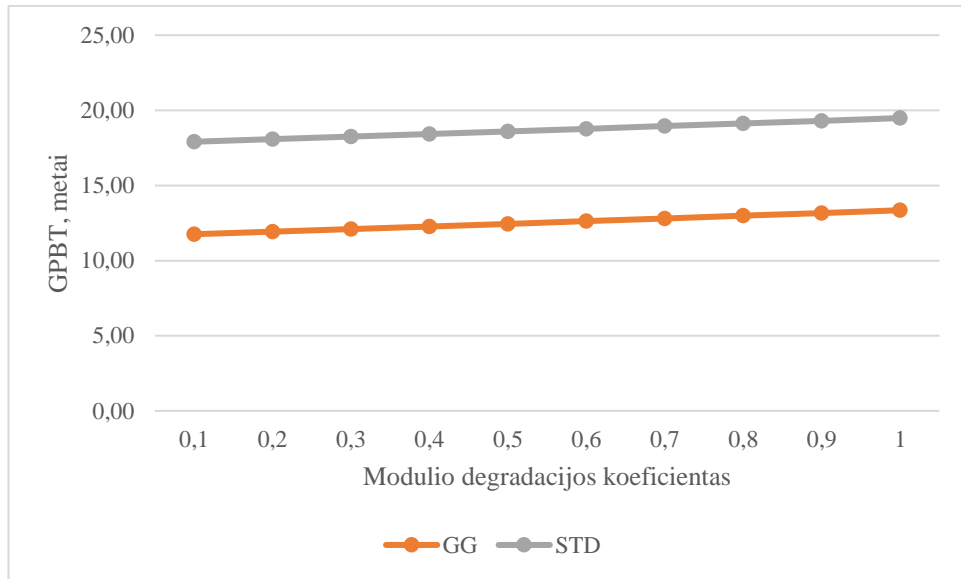


26 pav. EROI priklausomybė nuo santykinės generacijos (sudaryta autoriaus)

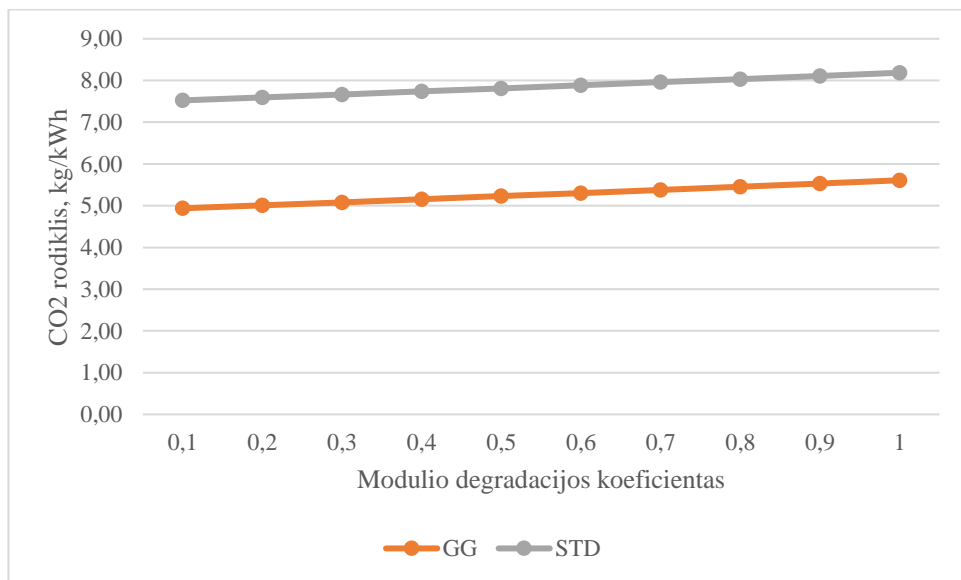


27 pav. EROI priklausomybė nuo energijos reikalingos modulio gamybai (sudaryta autoriaus)

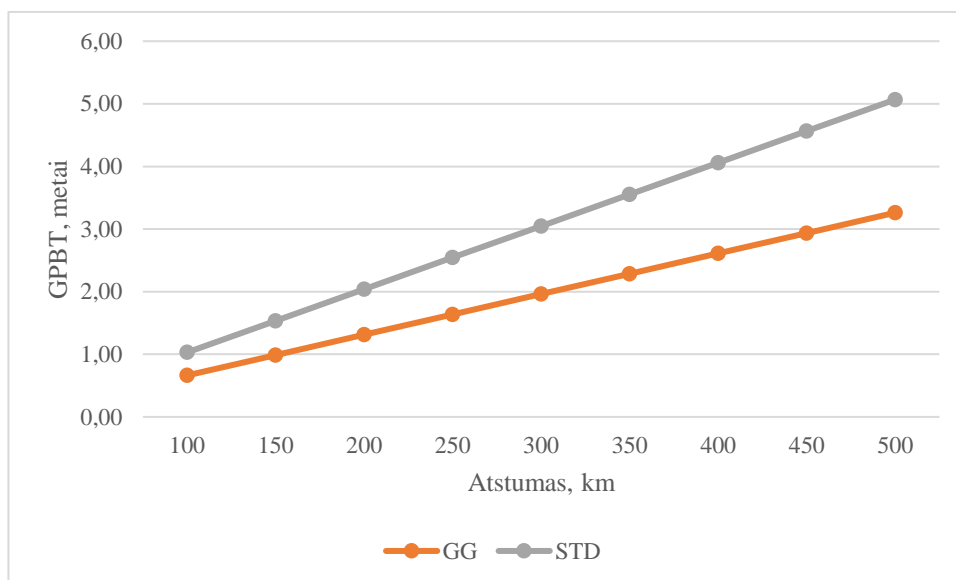
Iš CO₂ dujų išmetimo palyginamosios jautrumo analizės rezultatų, galima matyti, kad padidinus saulės modulio degradacijos koeficientą 0,1, tiek GG tipo, tiek STD tipo saulės modulių CO₂ dujų atsipirkimo laikotarpis (GPBT) proporcingai didėja po 0,17 metų (28 pav.), o CO₂ rodiklio reikšmė didėja po 0,07 kg/kWh (29 pav.), tačiau GPBT rodiklį stipriai įtakoja žaliavų transportavimo atstumas į gamyklą, kadangi daugiausia CO₂ dujų išmetimo susidaro būtent žaliavų transportavimo metu. Jeigu priimama prielaida, kad visos žaliavos būtų transportuojamos žeme, tai padidinus atstumą nuo 100 km iki 500 km, skirtumas tarp GG tipo ir STD tipo saulės modulių GPBT išauga net 4,23 karto, saulės modulių GPBT padidėja 4,92 karto (30 pav.), o CO₂ rodiklio skirtumas išauga net 9,81 karto (31 pav.)



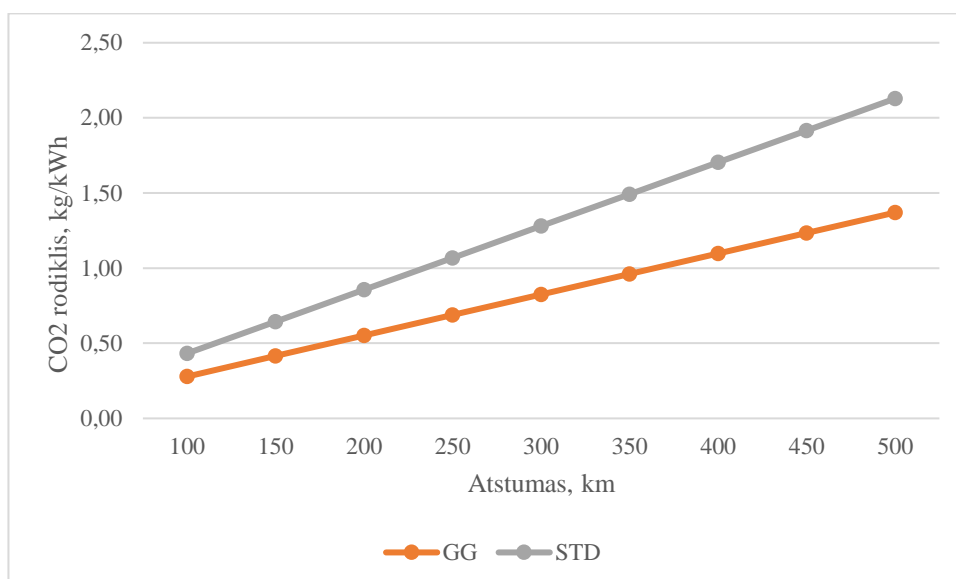
28 pav. GPBT priklausomybė nuo modulio degradacijos koeficiento (sudaryta autoriaus)



29 pav. CO2 rodiklio priklausomybė nuo modulio degradacijos koeficiento (sudaryta autoriaus)



30 pav. GPBT priklausomybė nuo žaliavų transportavimo atstumo (sudaryta autoriaus)



31 pav. CO2 rodiklio priklausomybė nuo žaliavų transportavimo atstumo (sudaryta autoriaus)

3.5. Ekonominiai skaičiavimai

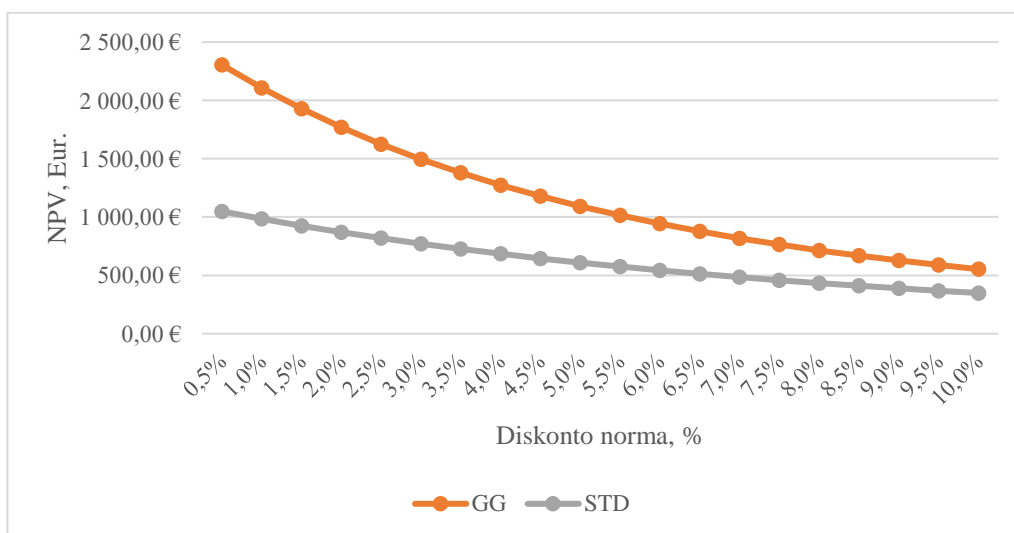
Lyginant skirtingų saulės modulių ekonominius rodiklius - grynoji dabartinė vertė (NPV) GG tipo saulės moduliui yra lygi – 1 624,87 Eur, o STD tipo saulės moduliui – 818, 98 Eur. Tai reiškia, kad GG tipo saulės modulis šiuo rodikliu lenkia STD tipo saulės modulį 1,98 karto. Vertinant kitus ekonominius rodiklius, GG tipo saulės modulis taip pat neženkliai pranašesnis lyginant vidinę grąžos normą (IRR) ir svertinius elektros energijos gamybos kaštus (LCOE), tačiau atsipirkimo terminas trumpesnis STD tipo saulės modulių (11 lentelė) (Saulės modulių gyvavimo laikotarpio cash flow pateiktas 9 priede). Ekonominiai skaičiavimai atlikti su prielaida, kad elektros energijos kainos

augimas kasmet siekia 3%, o diskonto norma – 2,5%. GG tipo saulės modulio savikaina - 158€, standartinio tipo saulės modulio savikaina - 139€.

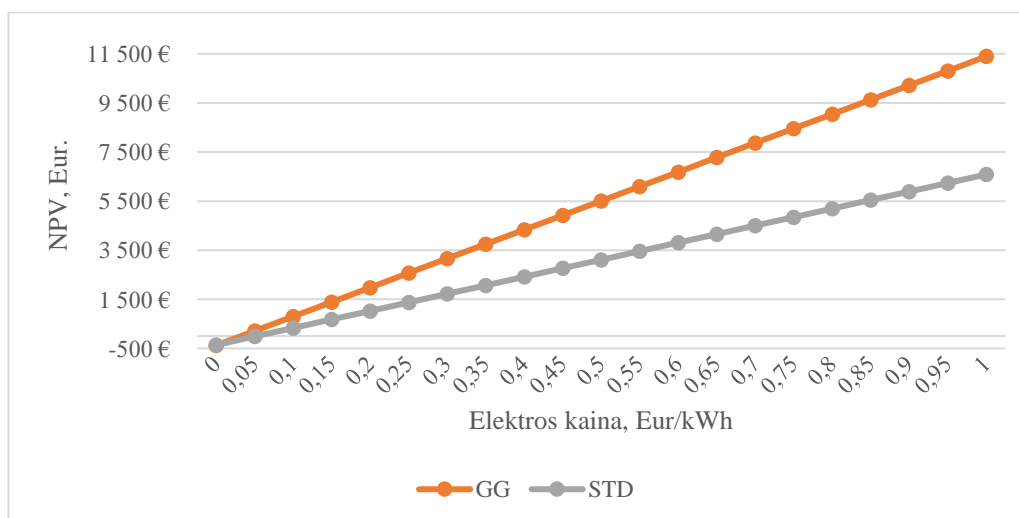
11 lentelė. Ekonominiai skaičiavimai

	NPV, €	IRR, %	LCOE, €	PBT, metai
GG modulis	1 624,87	38,63	0,04	2,78
STD modulis	818,98	38,61	0,06	2,75

Jei palyginimas daromas įvedant jautrumo analizę, galima pastebėti, kad NPV skaičiavimui didelę įtaką turi diskonto normos vertė, kurios reikšmei didėjant nuo 0,5% iki 10% skirtumas tarp GG tipo ir STD tipo saulės modulių NPV reikšmės, mažėja nuo 2,26 iki 1,58 karto (32 pav.). Taip pat tiesinę priklausomybę galima išvelgti ir vertinant NPV priklausomybę nuo elektros energijos rinkoje kainos, kuriai padidėjus 0,05 Eur/kWh, GG tipo saulės modulių NPV padidėja 588,63 Eur, o STD tipo – 347,33 Eur (33 pav.).

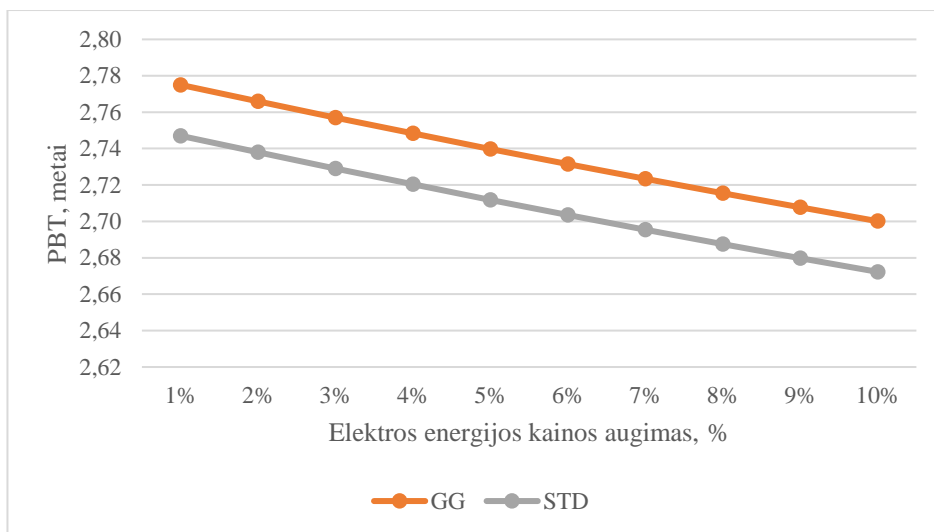


32 pav. NPV priklausomybė nuo diskonto normos (sudaryta autoriaus)

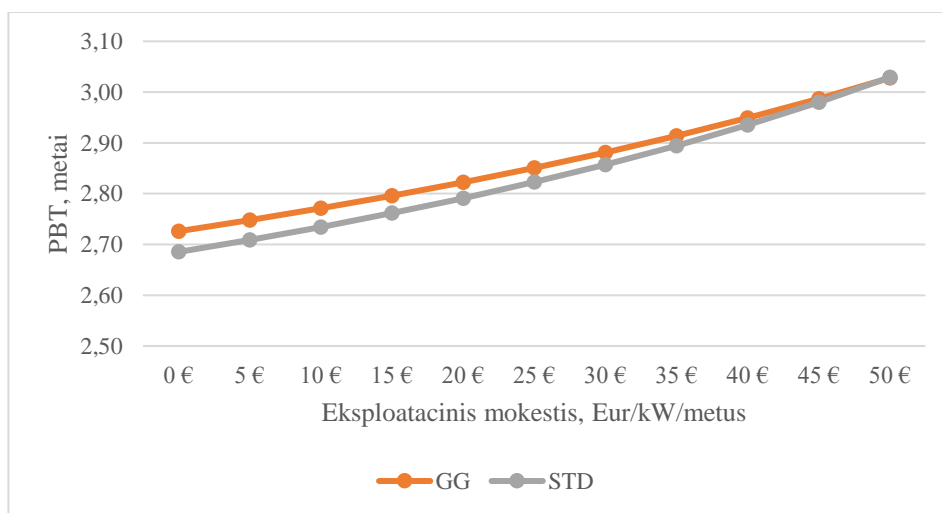


33 pav. NPV priklausomybė nuo elektros energijos rinkos kainos (sudaryta autoriaus)

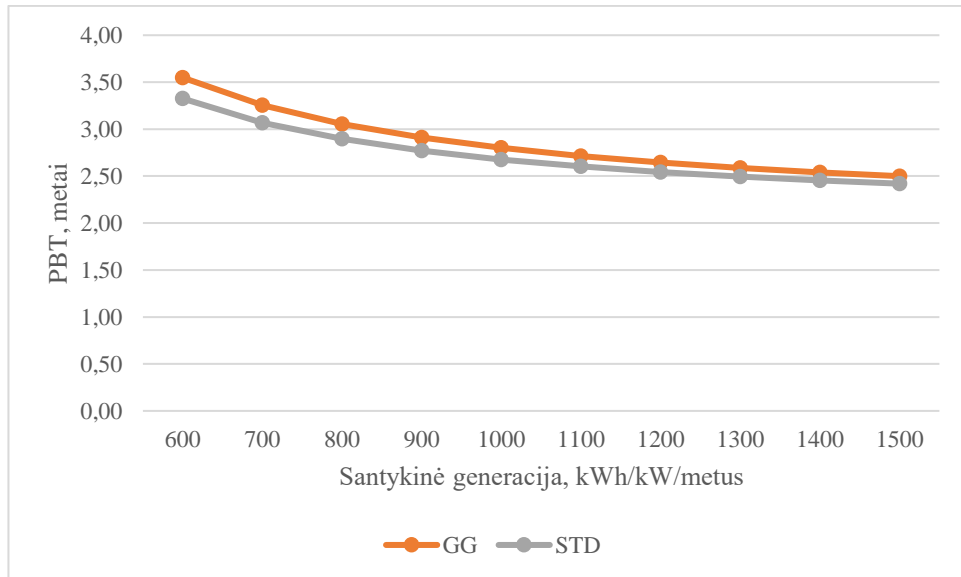
Vertinant PBT reikšmes pritaikius jautrumo analizę, galima pastebėti atsipirkimo termino atvirkštinę priklausomybę nuo elektros energijos kainos augimo, kuris sutrumpėja 0,01 metais, kainai didėjant 1% (34 pav.). Taip pat atsipirkimo terminas priklauso nuo: saulės modulių eksploatacinių išlaidų, kurioms padidinus iki 50 Eur/kW/metus, GG ir STD tipo saulės modulių atsipirkimo terminas tampa vienodas (35 pav.) ir santykinės generacijos, kurią padidinus abiem saulės modulių tipams nuo 600 kWh/kW/metus iki 1500 kWh/kW/metus, atsipirkimo termino skirtumas sumažėja nuo 0,22 metų iki 0,08 metų (36 pav.).



34 pav. PBT priklausomybė nuo elektros energijos kainos augimo (sudaryta autoriaus)

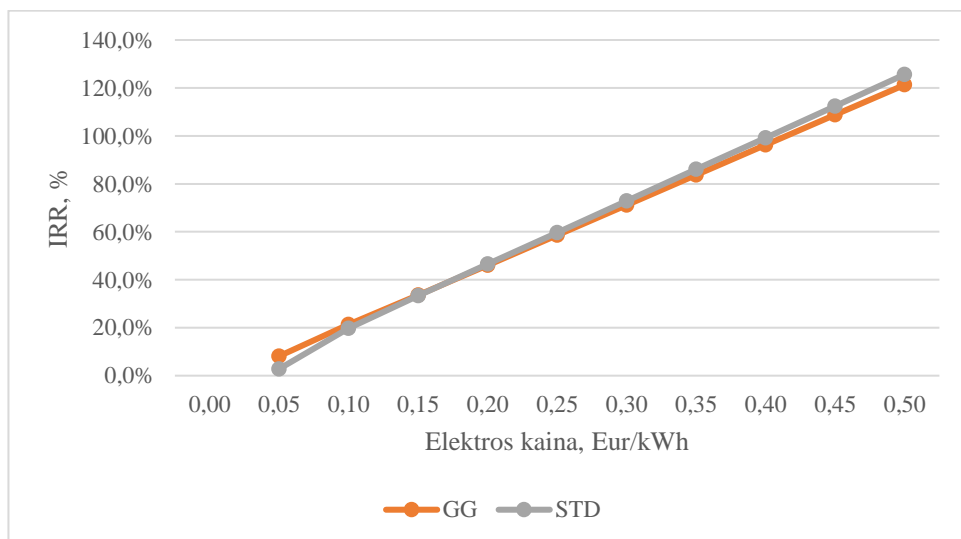


35 pav. PBT priklausomybė nuo eksploatacinių išlaidų (sudaryta autoriaus)

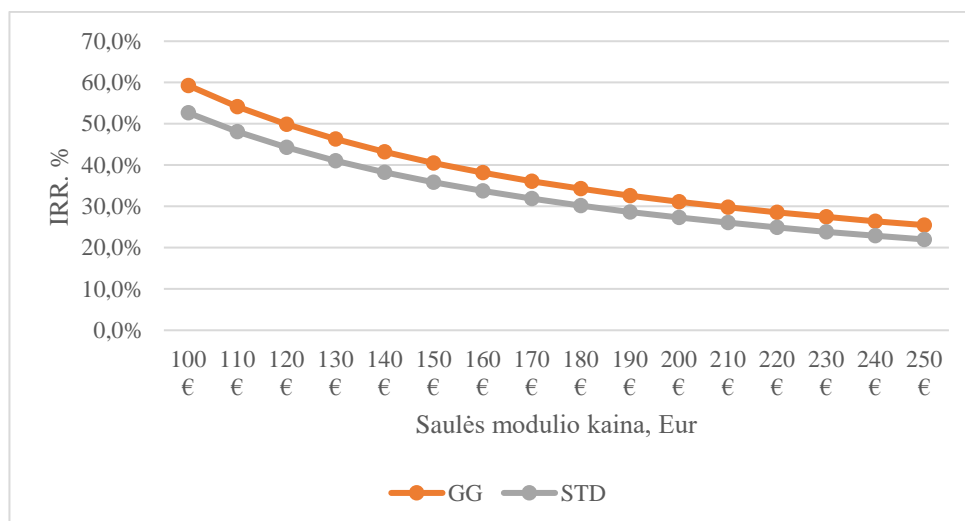


36 pav. PBT priklausomybė nuo santykinės elektros energijos generacijos (sudaryta autoriaus)

Lyginant vidinės grąžos normos (IRR) rezultatus pritaikius jautrumo analizę, galima matyti IRR tiesinę priklausomybę nuo elektros energijos rinkos kainos, kuriai augant nuo 0,05 Eur/kWh iki 0,5 Eur/kWh STD tipo saulės modulių IRR pralenkia GG tipo saulės modulių IRR 9,7%, o esant 0,18 Eur/kWh kainai, abiejų tipų saulės modulių IRR tampa vienodas (37 pav.). Taip pat IRR priklauso nuo saulės modulio kainos, kurią padidinus 150 Eur, skirtumas tarp GG ir STD tipo saulės modulių IRR reikšmių sumažėja 0,03 karto (38 pav.)



37 pav. IRR priklausomybė nuo elektros energijos rinkos kainos (sudaryta autoriaus)



38 pav. IRR priklausomybė nuo saulės modulio kainos (sudaryta autoriaus)

3.6. Apibendrinantis vertinimas

Atlikus gyvavimo ciklo palyginamąjį vertinimą, galima daryti išvadą, kad stiklas/stiklas tipo saulės moduliai yra pranašesni už standartinio tipo saulės modulius visais – efektyvumo, aplinkosaugos ir ekonomiško aspektais.

Vertinant efektyvumo rodiklį stiklas/stiklas tipo saulės modulis per pirmuosius metus sugeneruoja 30,42kWh daugiau elektros energijos nei standartinio tipo saulės modulis, o vertinant visą eksploatacinį laikotarpį, stiklas/stiklas saulės modulis sugeneruos 4446,5kWh daugiau nei standartinis saulės modulis, kas palyginus yra 1,65 karto didesnė elektros energijos generacija.

Lyginant aplinkosauginius rodiklius, stiklo/stiklo tipo saulės modulių: EPBT mažesnis 0,02 metų, GPBT mažesnis 6,77 metais, EROI didesnis 28,29%, o CO₂ rodiklis mažesnis 2,8 kg/kWh.

Išanalizavus ekonominę naudą, kuri atlikta priėmus prielaidą, kad diskonto norma siekia – 2,5%, o elektros energijos kainos pabrangimas kasmet – 3%, galima teigti, kad stiklo/stiklo tipo saulės moduliai, lenkia standartinio tipo saulės modulius pagal ekonominio efektyvumo rodiklius: NPV - 805,89€, IRR – 0,02%, LCOE – 0,02€, tačiau standartinio tipo saulės moduliai pranašesni PBT rodikliu, kuris yra 0,03 metais trumpesnis, kadangi šių modulių kaina yra žemesnė, o santykinė elektros energijos generacija pakankamai aukšta, kad atsipirktų greičiau nei GG tipo saulės moduliai.

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad stiklas/stiklas saulės modulių technologija yra pažangesnė, turinti didesnę garantinį terminą, mažesnę degradacijos koeficientą, ko pasėkoje galima pagaminti didesnę elektros energijos generacijos kiekį. Nors stiklas/stiklas saulės moduliai brangesni 19€, tačiau jų aplinkosauginė ir ekonominė nauda yra kur kas didesnė nei standartinio tipo saulės modulių.

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad pagrindinė energetikos aplinkosaugos problema-energijos tiekimo užtikrinimo ir klimato kaitos mažinimo suderinamumas, kurią efektyviausiai sprendžia AEI, iš kurių sparčiausiai augantis- saulės energetikos sektorius;
2. Įvertinus techninius ir ekonominius saulės modulių skirtumus, nustatyta, kad svarbiausias techninis skirtumas yra efektyvumo rodiklis, kuris šiuo metu yra didžiausias monokristalinio silicio moduliam (23%), o mažiausias polikristalinio silicio (17%), tačiau lyginant su plonos plėvelės saulės moduliais, kristalinio silicio turi ilgesnį eksploatacinį laikotarpį, ko pasekoje jų ekonominiai rodikliai, tokie kaip IRR ir NPV yra geresni. Nepaisant to, plonos plėvelės saulės moduliai pasižymi geresniais LCOE ir ROI rodikliais, kuriuos įtakoja žemos žaliavų kainos.
3. Išanalizavus gyvavimo ciklo metodiką nustatyta, kad stiklas/stiklas ir standartinio tipo saulės modulių gyvavimo ciklo vertinimą tikslinga atlikti taikant trijų skirtingų aspektų palyginimo metodiką: efektyvumo vertinimo, aplinkosauginio vertinimo, kuriame apskaičiuojami saulės modulių energijos atsipirkimo laikas, šiltnamio efektą sukeliančių dujų atsipirkimo laikas, CO₂ indeksas ir energijos investicijų grąža bei ekonominio vertinimo, kuris apima grynosios dabartinės vertės, vidinės grąžos normos, atsipirkimo laikotarpio bei elektros energijos gamybos svertinių kaštų palyginimą.
4. Palyginus stiklo/stiklo ir standartinio tipo saulės modulių gyvavimo ciklus, galima daryti išvadą, kad stiklo/stiklo tipo saulės moduliai, vertinant efektyvumo rodiklį, sugeneruoja 1,65 karto daugiau elektros energijos nei standartinio tipo saulės moduliai, juos montuojant tokiomis pačiomis sąlygomis. Aplinkosauginiai rodikliai, stiklo/stiklo tipo saulės modulių: EPBT mažesnis 0,02 metų, GPBT mažesnis 6,77 metais, EROI didesnis 28,29%, o CO₂ rodiklis mažesnis 2,85 kg/kWh. O vertinant ekonominę naudą, stiklo/stiklo tipo saulės moduliai, lenkia standartinio tipo saulės modulius NPV skaičiavimuose 805,89€, IRR – 0,02%, LCOE – 0,02€, tačiau standartinio tipo saulės moduliai pranašesni PBT rodikliu, kuris yra 0,03 metais trumpesnis, kadangi šių modulių kaina yra žemesnė, o santykinė elektros energijos generacija pakankamai aukšta.

Literatūra

- [1] Statista „Historic average carbon dioxide (CO₂) levels in the atmosphere worldwide from 1959 to 2020 (in parts per million)*“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-10] Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1091926/atmospheric-concentration-of-co2-historic/>
- [2] Richard Tuckett „Greenhouse Gases“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-10] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095472140314?via%3Dihub>
- [3] „Greenhouse Gases and Temperature“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-10] Prieiga per: http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp_ghgandtemp/
- [4] „The Keeling Curve“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-11] Prieiga per: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/keeling-curve/>
- [5] Rebecca Lindsey „Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-12] Prieiga per: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [6] Donald J Wuebbles, Katharine Hayhoe „Atmospheric methane and global change“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-12] Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825201000629?casa_token=5xGD2P03_74AAAAA:RALYbjfm5b8513iRWQ0enNfeo_ZTCirSqEkNl8uYtiMcZWXFCSqhK07Gow736yBvtuPe5qe
- [7] Primary Energy [interaktyvus] [žiūrėta 2020-09-11] Prieiga per: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>
- [8] Energijos balansas [interaktyvus] [žiūrėta 2020-09-11] Prieiga per: <https://osp.stat.gov.it/statistiniu-rodikliu-analize?hash=b2af59c4-32a1-436c-9bb3-35caf91c165d#/>
- [9] Aplinkos apsaugos agentūra „LITHUANIA’S NATIONAL INVENTORY REPORT 2020 GREENHOUSE GAS EMISSIONS 1990-2019“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-12] Prieiga per: https://aaa.lrv.lt/uploads/aaa/documents/files/Tendencijos_1990-2019.pdf
- [10] Europos komisija „Komisijos tarnybų darbinis dokumentas. Poveikio vertinimo santrauka“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-12] Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013SC0131&from=EN>
- [11] „About the Secretariat“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-12] Prieiga per: <https://unfccc.int/about-us/about-the-secretariat>
- [12] „Kyoto Protocol“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <https://www.plasseycollege.ac.in/studyMaterial/04913ENVIRONMENTAL-PROTOCOLS-17-04-2020.pdf>
- [13] CFI „Kyoto Protocol“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/other/kyoto-protocol/>
- [14] Fizinių ir technologijos mokslų centras „Mokslininkai skatina mažinti klimato kaitą“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <https://www.ftmc.lt/news/658/68/Mokslininkai-skatina-mazinti-klimato-kaita>
- [15] „Klimato kaita. Ką daro ES?“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/climate-change/>
- [16] ES taryba „Taryba patvirtino naująją ES prisitaikymo prie klimato kaitos strategiją“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per:

- <https://www.consilium.europa.eu/lt/press/press-releases/2021/06/10/council-endorses-new-eu-strategy-on-adaptation-to-climate-change/>
- [17] Council of the European Union „Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9419-2021-INIT/en/pdf>
- [18] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS „The European Green Deal“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-09-11] Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX%3A52019DC0640>
- [19] „ŠESD mažinimas Lietuvoje“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <http://klimatokaita.lt/klimato-kaitos-svelninimas/sesd-mazinimas-lietuvoje/>
- [20] APVA „NUO GEGUŽĖS VIDURIO PRIDAVUSIEMS SENĄ AUTOMOBILĮ – KOMPENSACIJA AUTOBUSO BILJETUI, DVIRAČIUI, PASPIRTUKUI AR MOPEDUI ĮSIGYTI“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-10] Prieiga per: <https://www.apva.lt/nuo-geguzes-vidurio-pridavusiems-sena-automobili-kompensacija-autobuso-bilietui-dviraciui-paspirtukui-ar-mopedui-isigyti/>
- [21] Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija „Elektromobilių infrastruktūros plėtra“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-06-13] Prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-infrastrukturos-pletra>
- [22] APVA „ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ (SAULĖS, VĖJO, GEOTERMINĖS ENERGIJOS, BOKURO AR KITŲ) PANAUDOJIMAS VISUOMENINĖS IR GYVENAMOSIOS (ĮVAIRIŲ SOCIALINIŲ GRUPIŲ ASMENIMS) PASKIRTIES PASTATUOSE“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-10] Prieiga per: <https://www.apva.lt/atsinaujinanciu-energijos-istekliu-saules-vejo-geotermines-energijos-biokuro-ar-kitu-panaudojimas-visuomenines-ir-gyvenamosios-ivairiu-socialiniu-grupu-asmenims-paskirties-past/>
- [23] APVA „ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ (SAULĖS, VĖJO, GEOTERMINĖS ENERGIJOS, BOKURO AR KITŲ) PANAUDOJIMAS PRIVAČIŲ JURIDINIŲ ASMENŲ VISUOMENINĖS, GAMYBINĖS PASKIRTIES PASTATUOSE, KITOS PASKIRTIES INŽINERINIUOSE STATINIUOSE (SĄVARTYNUOSE, NUOTEKŲ VALYKLŲ STATINIUOSE), PAKEIČIANT IŠKASTINIO KURO NAUDOJIMĄ“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-10] Prieiga per: <https://www.apva.lt/atsinaujinanciu-energijos-istekliu-saules-vejo-geotermines-energijos-biokuro-ar-kitu-panaudojimas-privaciu-juridiniu-asmenu-visuomenines-gamybines-paskirties-pastatuose-kitos-paskirties-inziner/>
- [24] APVA „KVIETIMAS SOCIALIAI REMTINIEMS GYVENTOJAMS TEIKTI PARAIŠKAS ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ PANAUDOJIMUI ELEKTROS ENERGIJOS REIKMĖMS IR IŠKASTINĮ KURĄ NAUDOJANČIŲ ŠILUMOS ĮRENGINIŲ PAKEITIMUI“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-09-12] Prieiga per: <https://www.apva.lt/kvietimas-socialiai-remtiniems-gyventojams-teikti-paraiskas-atsinaujinanciu-energijos-istekliu-panaudojimui-elektros-energijos-reikmems-ir-iskastini-kura-naudojanciu-silumos-irenginiu-pakeitimui/>
- [25] „Electricity production by source, EU 2019“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-28] Prieiga per: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_production_by_source,_EU-27,_2019_\(%25\).png&oldid=494073#filehistory](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_production_by_source,_EU-27,_2019_(%25).png&oldid=494073#filehistory)

- [26] Phebe Asantewaa Owusu and Samuel Asumadu-Sarkodie „A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-28] Prieiga per: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2016.1167990>
- [27] Hannah Ritchie and Max Roser „Renewable energy“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-28] Prieiga per: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
- [28] Diederik van der Hoeven „Perspective on renewable energy rapidly changing“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-28] Prieiga per: <https://www.biobasedpress.eu/2018/01/perspective-on-renewable-energy-rapidly-changing/>
- [29] Gerard Reid „The future looks bright for solar energy“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-02] Prieiga per: <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/the-future-looks-bright-for-solar-energy/>
- [30] Muhammad Indra al Irsyada, Anthony Halog, Rabindr Nepal „Renewable energy projections for climate change mitigation: An analysis of uncertainty and errors“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-02] Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118307341?casa_token=CI2M2bMaK8MAAAAA:tvqU2deoPB84hbrznoELsTkSKIaPU2itEFi94WjKKT8PEF8KZDD79J7Fb2Xsj4ktbY0H04A0
- [31] Laurens J. De Vries and Remco A. Verzijlbergh „How Renewable Energy is Reshaping Europe’s Electricity Market Design“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-02] Prieiga per: <http://www.iaee.org/en/publications/eeeparticle.aspx?id=227>
- [32] Nallapaneni Manoj Kumar, Juan M. Castañón „Solar PV module technologies“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-07] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/monocrystalline-silicon>
- [33] Tomislav Pavlovic, Dragana Milosavljevic, Lana Pantic, Aleksandar R Radivojevic, I. Radonjic 2011 „Application of solar cells of different materials in PV solar plants of 1 MW in Banjaluka“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-07] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/267407427_Application_of_solar_cells_of_different_materials_in_PV_solar_plants_of_1_MW_in_Banjaluka
- [34] Andrew Sendy „Types of solar panels: which one is the best choice?“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-07] Prieiga per: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>
- [35] Vasilis Fthenakis, Clement Athias, Alyssa Blumenthal, Aylin Kulur, Julia Magliozzo, David Ng „Sustainability evaluation of CdTe PV: An update“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-07] Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120300721?casa_token=V_FmL6_hA0YAAAAA:bkprrkGyQuUV3XZSgETdtHc9O6q_TxDGpri_1HtoaGoFTMjUDjgZWt2eqEQSlvtokLDLhXTwjJE
- [36] Amit H.Munshi, Nikhil Sasidharan, Subin Pinkayan, Kurt L.Barth, W.S. Sampath, Weerakorn Ongsakul „Thin-film CdTe photovoltaics – The technology for utility scale sustainable energy generation“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-08] Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18307552?casa_token=n4RaiPSr2skAAAAA:9BcSevhjJhWVOcKUTMZ-Opot-_dSTVwRWxuL5RWNdX3kSff1uiNV2Ex5hXiJv0FpRzVafvLaX9E
- [37] Lorelle M Mansfield and Billy J Stanbery „The 2020 photovoltaic technologies roadmap. CIGS“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-08] Prieiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/ab9c6a/pdf>

- [38] Abdulrahman H. Al-Kaabi, Hamish R.Mackey. „Life-Cycle Environmental Impact Assessment of the Alternate Subsurface Intake Designs for Seawater Reverse Osmosis Desalination“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-22] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128186343502617>
- [39] ISO 14040:2006 „Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-22] Prieiga per: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- [40] Iyyanki V. Muralikrishna Valli Manickam „Chapter Five - Life Cycle Assessment“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-22] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128119891000051>
- [41] Dr. Shahjadi Hisan Farjana, Dr.M. A. Parvez Mahmud, Dr.Nazmul Huda „Chapter 1 - Introduction to Life Cycle Assessment“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-22] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323854511000019>
- [42] Masakazu Ito „Life Cycle Assessment of PV systems“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-23] Prieiga per: <https://www.intechopen.com/chapters/17733>
- [43] LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS įsakymas „Dėl Klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ “ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-23] Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A2E8B0079BC9/asr>
- [44] APVA ”Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginių įrengimas namų ūkiuose 2021-04 Nr. VP-EM-EE01“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-23] Prieiga per: https://apvis.apva.lt/paskelbti_kvietimai/elektros-energijos-is-atsinaujinanciu-istekliu-gamybos-irenginiu-irengimas-namu-ukiuose-2021-04
- [45] V.M.Fthenakis H.C.Kim „Photovoltaics: Life-cycle analyses“ [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-23] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X09002345>
- [46] Anders Damgaard, Anna W. Larsen, Thomas H. Christensen „Recycling of metals: accounting of greenhouse gases and global warming contributions“ [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-23] Prieiga per: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X09346838>
- [47] Thomas Astrup, Thilde Fruergaard, Thomas H. Christensen „Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions“ [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-23] Prieiga per: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X09345868>
- [48] Anna W. Larsen, Hanna Merrild, Thomas H. Christensen „Recycling of glass: accounting of greenhouse gases and global warming contributions“ [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-23] Prieiga per: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242x09342148>
- [49] Andrea Mulazzani; Panagiotis Eleftheriadis; Sonia Leva „Recycling of c-Si PV Modules: an Energy Analysis and Further Improvements“ [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-30] Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9584572>

Priedai

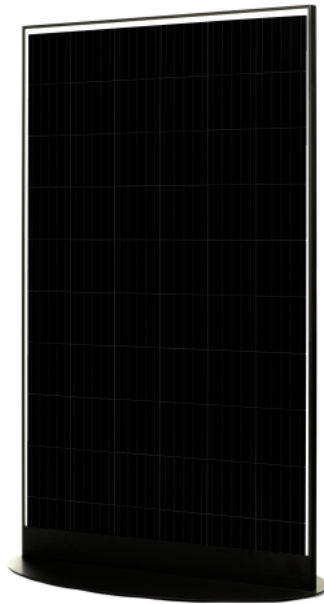
1

priedas. SoliTek Standard M.60 365W modulio specifikacija



SoliTek is a European manufacturer of top quality PV cells and modules with headquarters and production plant in Vilnius, Lithuania.

The company combines the most sophisticated technologies and 20 years of experience.



20

years product guarantee

25

80% max output guarantee

S032020-1

SoliTek Standard M.60-W-365

Standard 60 cell module with white backsheet

Working conditions	
Maximum system voltage	DC 1000 V (TUV)
Operating temperature	-40°C / +85°C
Maximum reverse current	15 A
Maximum wind /snow load	1600/3600Pa**
IP protection level	67
Safety class	II

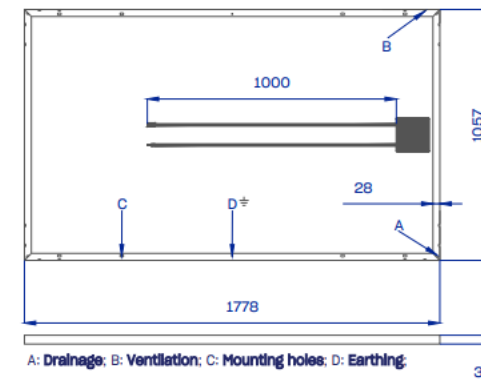
**Safety factor 1,5

Temperature coefficients	
Current temperature coefficient (α)	+0,060% /° C
Voltage temperature coefficient (β)	-0,34% /° C
Power temperature coefficient (δ)	-0,40% /° C
Nominal Operating Module Temperature	45±2°C

Electrical parameters			
Parameter		Unit	Value
Maximum power*	P _{max}	W	365
Maximum power point voltage	V _{mpp}	V	34,68
Maximum power current	I _{mpp}	A	10,55
Open circuit voltage	V _{oc}	V	40,39
Short circuit current	I _{sc}	A	11,16
Efficiency	η	%	19,42

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

Mechanical data	
Cell size (mm)	166x166
Number of cells	60 (6x10)
Front side glass	3,2 mm
Weight	20 kg
Dimensions (L x W x H)	1778x1057x35
J-box	IP67
Cable length	1 m
Cable cross section size	4 mm ²
Number of diodes	3
Plug-in connection	MC4 compatible
Frame	Black anodized aluminium frame
Packaging per pallet	30 modules



A: Drainage; B: Ventilation; C: Mounting holes; D: Earthing;



Certificates and memberships



Mokslininku str. 6A,
Vilnius 08412, Lithuania
Tel. +370 5 263 8774
info@solitek.eu
www.solitek.eu

SOLID Bifacial
Glass / Glass

60 Cell

Electrical data (STC*)	
Maximum Power	355
Cell Technology	Bifacial
Open circuit voltage (V _{oc} /V)	39,95
Short circuit Current (I _{sc} /A)	11,09
Max Power Voltage (V _{mpp} /V)	34,03
Max Power Current (I _{mp} /A)	10,45
Module Efficiency (η)	19,11%
Max System Voltage (V)	1500
Max Current (A)	20
Power Tolerance	0V±0W

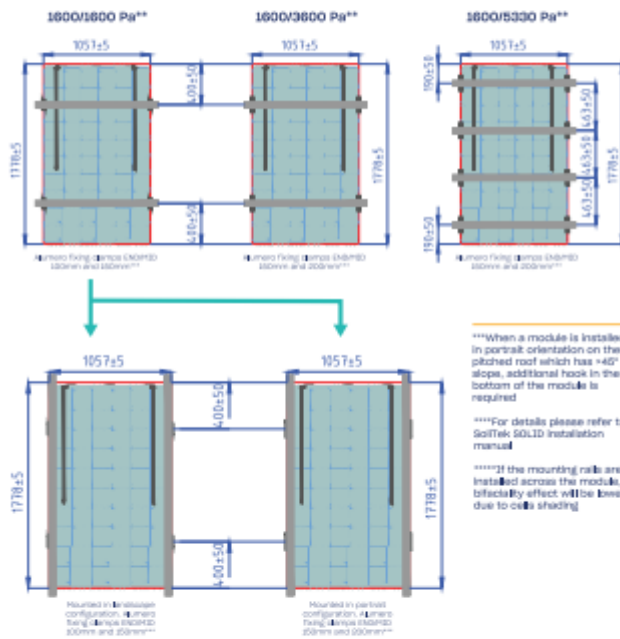
*Under standard test conditions (STC) of irradiance of 1000W/m², spectrum AM1.5 and cell temperature of 25°C. Post testing measurement accuracy of +/- 0%. All transparency values are approximate +/- 0%

Additional power gain	5%	10%	20%	25%
Total Module Power (Wp)	372	390	426	444

Temperature ratings	
Current temperature coefficient (α)	+0,04% /°C
Voltage temperature coefficient (β)	-0,36% /°C
Power temperature coefficient (k)	-0,47% /°C
Nominal Operating Module Temperature	46°C

Mechanical data	
Dimensions (LxWxH) (mm)	1770x1049x7,1mm
Dimensions with edge sealing (LxWxH) (mm)	1778x1057x7,1
Weight (kg)	30
Front / Back glass (mm)	3 mm
Cell Type	Bifacial
Cell Size (mm)	166x166
Busbars	9
Transparency %	30
Cell configuration	6x10
Frame	Frameless
Operating Temperature (°C)	-40 + +85
Max Load (wind/snow) (Pa)	1600/5330**
Junction Box / IP Class	Split junction box / IP68
Cable Cross Section Size (mm ²)	4
Cable length	1,2 m
Bypass Diodes	3
Connector	MC4 compatible

Dimensions & Mounting



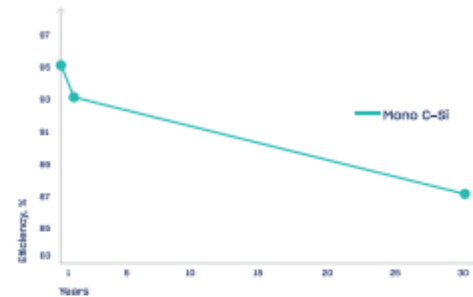
***When a module is installed in portrait orientation on the pitched roof which has >40° slope, additional hook in the bottom of the module is required

****For details please refer to SoliTek SOLID installation manual

*****If the mounting rails are installed across the module, bifaciality effect will be lower due to cells shading

**Safety factor 1,5

Power output warranty



Attention

- Always check if your system is compatible with local environmental conditions (wind/snow load, temperatures) on your site to ensure safety and long-term energy production.
- Do not connect differently orientated PV panels in the same string / MPPT of the inverter (unless optimizers are used).
- Do not connect strings with an unequal amount of PV panels in one MPPT (unless optimizers are used).
- Use PV panels of same electrical parameters in one string/MPPT (unless optimizers are used).
- Always ensure that your inverter is equipped with DC disconnecter. If not it is recommended to install it externally.
- Never let different metals come in contact with each other. Use bi-metallic plates or plastic separators to eliminate galvanic corrosion.
- It is highly recommended to install SPD's in both AC and DC circuits because overvoltages void the warranty for inverters and also panels if they are harmed.
- It is highly recommended to ground PV panels mounting system and to install lightning protection in site.

Tips for Better Power Output

- Better module ventilation and shorter connection cables increase electrical energy production.
- Always observe object/mutual shading in site. Shading can drastically cut electrical energy generation output.
- Increase PV panel height from the ground so that more light can travel beneath the module and then reflect.
- The Albedo value increases significantly if modules are installed above white, lightreflecting surfaces.

3 priedas. 2021 metų modulių gamybos utilizacijos duomenys

12 lentelė. 2021 metų modulių gamybos utilizacijos duomenys

Utilizuojamas produktas	Kiekis	
	vnt	m
Celės	6985	
Backsheet		530,65
EVA plėvelė		1025,75
POE plėvelė		2102,75
GG modulių priekinis stiklas	26	
GG modulių galinis stiklas	230	
STD modulių stiklas	8	

4 priedas. Kiekvienos žaliavos energijos bei CO₂ dujų sąnaudos

13 lentelė. Žaliavų gamybos energijos ir CO₂ dujų sąnaudos

Produktas	Gamybos apimtis/mėn	Energija/mėn, kWh	Energija 1 rinkiniui, kWh	CO ₂ kiekis, kg
Celės GG			118,33	49,70
Celės STD			121,67	51,10
Junction box	1000000	300000	0,30	0,13
Stiklas	323149	1500001,11	4,64	1,95
Aliuminio rėmas	150000	13000	0,09	0,04
Ribonai			0,34	0,14
Backsheet			0,57	0,24
POE			5,75	2,41
EVA			3,80	1,60

5 priedas. Kiekvieno atskyrimo metu gauto produkto energijos bei CO₂ dujų sąnaudos rezultatai

14 lentelė. Kiekvieno atskyrimo metu gauto produkto energijos bei CO₂ dujų sąnaudos rezultatai

	Utilizacija GG, g	Utilizacija STD, g	Utilizacijos GG g CO ₂	Utilizacijos STD g CO ₂	Utilizacijos GG kWh	Utilizacijos STD kWh
POE plėvelė	2,449		1,470		0,003	
EVA plėvelė		1,359		0,815		0,002
Aliuminio rėmas		3000,000		157,800		0,376
Ribonai	190,000	190,000	9,994	9,994	0,024	0,024
Celės	720,863	720,863	1,440	1,440	3,429	3,429
Stiklas	18039,077	9001,889	1262,735	630,132	3,007	1,500
Backsheet		1500,023		900,014		2,143
Atskyrimas	18952,390	14414,134	748,240	569,070	1,782	1,355
			2023,879	2269,265	8,240	8,828

6 priedas. Atskirų komponentų transportavimo bei saulės elektrinės priežiūros metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

15 lentelė. Celių transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

CELĖS	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂
žemė	679	54320	6790	9,64
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	0,006
vanduo	264,84	2277,62	0,17	0,0002
žemė	300	24000	12000	17,045
				26,7

16 lentelė. Sujungimo dėžučių transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

JBOX	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂
žemė	679	54320	6790	3,40
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	0,002
vanduo	264,84	2277,62	0,1736126	8,68063E-05
žemė	300	24000	12000	6
				9,40

17 lentelė. Ribonų transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

Ribonai	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂
žemė	679	54320	6790	2,58
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	0,002
vanduo	264,84	2277,62	0,17	6,59622E-05
žemė	300	24000	12000	4,56
				7,14

18 lentelė. Backsheet transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

Backsheet	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂
žemė	679	54320	6790	0,002
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	1,30629E-06
vanduo	264,84	2277,62	0,17	5,12157E-08
žemė	300	24000	12000	0,004
				0,006

19 lentelė. Stiklo transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

Stiklas	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂ STD	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂ GG
žemė	679	54320	6790	2,61	5,22
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	0,002	0,003
vanduo	264,84	2277,62	0,17	6,67741E-05	0,0001
žemė	300	24000	12000	4,62	9,23
				7,23	14,46

20 lentelė. Aliuminio rėmų transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

Aliuminio rėmai	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂
žemė	679	54320	6790	1,35
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	0,0009
vanduo	264,84	2277,62	0,17	3,45704E-05
žemė	300	24000	12000	2,39
				3,74

21 lentelė. Plėvelių transportavimo metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

Plėvelės	km	t CO ₂	1 20'DC konteineris, t CO ₂	Moduliui reikalingo kiekio produkto t CO ₂
žemė	679	54320	6790	0,0003
vanduo	24714,94	212548,48	4,43	2,06256E-07
vanduo	264,84	2277,62	0,17	8,08669E-09
žemė	300	24000	12000	0,0006
				0,0009

22 lentelė. Elektrinės priežiūros metu išmetami CO₂ dujų kiekiai

Eksplotacija	g, CO ₂ per eksploatacinį periodą
GG moduliui	23,80
STD moduliui	16,46



PVsyst V7.2.11
 VCO, Simulation date:
 15/04/22 16:11
 with v7.2.11

Project: MBP Ugnė Venckūnaitė GG modules

Variant: New simulation variant

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

Project summary

Geographical Site		Situation		Project settings	
Vilnius		Latitude	54.69 °N	Albedo	0.20
Lithuania		Longitude	25.28 °E		
		Altitude	93 m		
		Time zone	UTC+2		
Meteo data					
Vilnius					
Meteonorm 8.0 (2007-2017), Sat=100% - Synthetic					

System summary

Grid-Connected System		Unlimited sheds		User's needs	
PV Field Orientation		Near Shadings		Unlimited load (grid)	
Sheds		Mutual shadings of sheds			
tilt	35 °				
azimuth	0 °				
System information					
PV Array					
Nb. of modules		5 units		Inverters	
Pnom total		1775 Wp		Nb. of units	0.5 unit
				Pnom total	1500 W
				Pnom ratio	1.183

Results summary

Produced Energy	1986 kWh/year	Specific production	1119 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	92.33 %
-----------------	---------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Special graphs	6



Project: MBP Ugnė Venckūnaitė GG modules

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.2.11

VC0, Simulation date:
15/04/22 16:11
with v7.2.11

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

General parameters

Grid-Connected System		Unlimited sheds			
PV Field Orientation		Sheds configuration		Models used	
Orientation				Transposition Perez	
Sheds				Diffuse Perez, Meteororm	
tilt	35 °			Circumsolar separate	
azimuth	0 °				
Horizon		Near Shadings		User's needs	
Free Horizon		Mutual shadings of sheds		Unlimited load (grid)	
Bifacial system					
Model	2D Calculation				
	unlimited sheds				
Bifacial model geometry				Bifacial model definitions	
Sheds spacing	10.00 m	Ground albedo	0.30		
Sheds width	3.04 m	Bifaciality factor	71 %		
Limit profile angle	13.1 °	Rear shading factor	5.0 %		
GCR	30.4 %	Rear mismatch loss	10.0 %		
Height above ground	1.50 m	Shed transparent fraction	0.0 %		

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	SoliTek	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	Solid Bifacial 355 W B60	Model	SUN2000-3KTL-M1
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	355 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	5 units	Number of inverters	1 * MPPT 50% 0.5 unit
Nominal (STC)	1775 Wp	Total power	1.5 kWac
Modules	1 String x 5 In series	Operating voltage	140-980 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>60°C)	3.30 kWac
Pmpp	1632 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	1.18
U mpp	154 V		
I mpp	11 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	2 kWp	Total power	1.5 kWac
Total	5 modules	Nb. of inverters	1 unit
Module area	8.9 m ²		0.5 unused
Cell area	7.4 m ²	Pnom ratio	1.18

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		LID - Light Induced Degradation	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	239 mΩ	Loss Fraction	0.5 %
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s				
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss	
Loss Fraction	-0.8 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %
IAM loss factor					
ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cos(i) - 1)					
bo Param.	0.05				



Project: MBP Ugnė Venckūnaitė GG modules

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.2.11
 VCO, Simulation date:
 15/04/22 16:11
 with v7.2.11

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

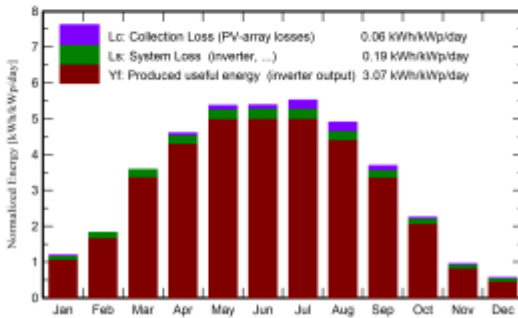
Main results

System Production

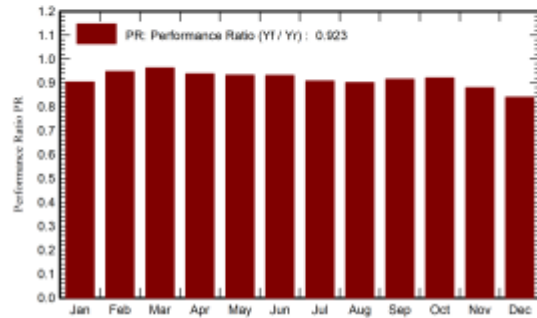
Produced Energy 1986 kWh/year

Specific production 1119 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR 92.33 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	16.2	8.90	-4.44	37.1	36.1	65.3	59.4	0.904
February	31.3	19.76	-3.50	49.8	48.7	90.9	83.8	0.947
March	78.0	43.96	0.76	109.0	106.8	197.3	186.2	0.963
April	115.9	55.35	7.52	138.1	135.5	242.8	230.0	0.938
May	159.8	78.56	13.34	166.5	163.3	290.5	275.5	0.932
June	163.9	82.01	16.11	161.5	158.2	282.1	267.0	0.931
July	165.2	74.64	18.76	171.3	168.2	291.0	275.9	0.908
August	134.6	63.04	17.71	152.0	149.0	257.1	243.4	0.902
September	85.7	45.59	12.40	110.7	108.4	191.1	180.0	0.916
October	45.4	26.06	6.69	69.8	68.3	122.9	114.2	0.921
November	17.3	13.03	2.55	28.5	27.8	50.3	44.5	0.880
December	10.4	8.39	-1.41	17.4	16.9	30.8	25.9	0.840
Year	1023.5	519.29	7.27	1211.7	1187.3	2112.2	1985.9	0.923

Legends

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



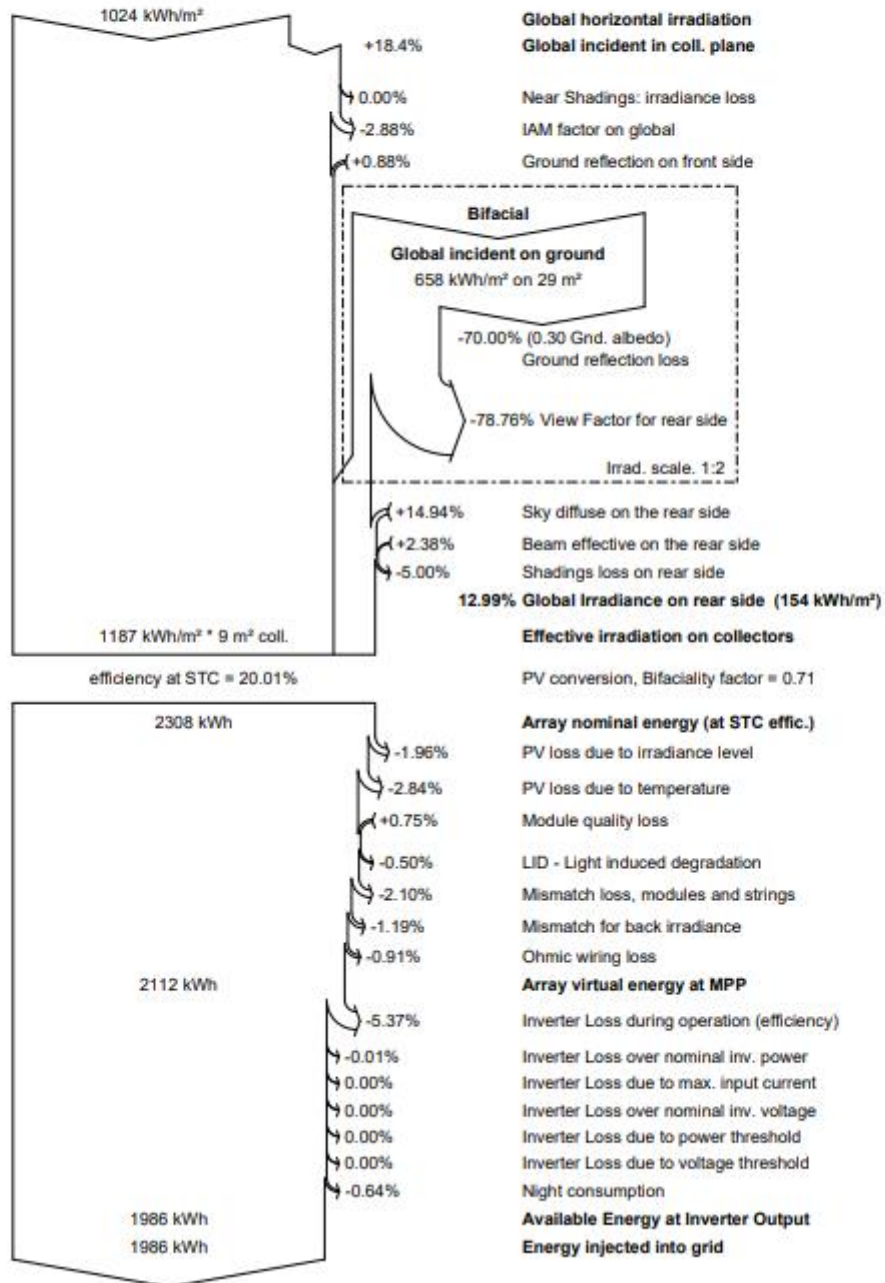
PVsyst V7.2.11
 VCO, Simulation date:
 15/04/22 16:11
 with v7.2.11

Project: MBP Ugnė Venckūnaitė GG modules

Variant: New simulation variant

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

Loss diagram



**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:
15/04/22 16:09
with v7.2.11

Project: MBP Ugnė Venckūnaitė STD modules

Variant: New simulation variant

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Vilnius	Latitude 54.69 °N	Albedo 0.20
Lithuania	Longitude 25.28 °E	
	Altitude 93 m	
	Time zone UTC+2	
Meteo data		
Vilnius		
Meteonorm 8.0 (2007-2017), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth 35 / 0 °		
System information		
PV Array	Inverters	
Nb. of modules 5 units	Nb. of units 0.5 unit	
Pnom total 1825 Wp	Pnom total 1500 W	
	Pnom ratio 1.217	

Results summary

Produced Energy 1835 kWh/year	Specific production 1005 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 82.96 %
-------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Special graphs	6



Project: MBP Ugnė Venckūnaitė STD modules

Variant: New simulation variant

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

PVsyst V7.2.11

VC0, Simulation date:
15/04/22 16:09
with v7.2.11

General parameters

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Sheds configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteorom
Tilt/Azimuth 35 / 0 °		Circumsolar separate
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Soli Tek	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	Standard M.60-W-365	Model	SUN2000-3KTL-M1
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	365 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	5 units	Number of inverters	1 * MPPT 50% 0.5 unit
Nominal (STC)	1825 Wp	Total power	1.5 kWac
Modules	1 String x 5 In series	Operating voltage	140-980 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>60°C)	3.30 kWac
Pmpp	1637 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	1.22
U mpp	154 V		
I mpp	11 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	2 kWp	Total power	1.5 kWac
Total	5 modules	Nb. of inverters	1 unit
Module area	9.4 m ²		0.5 unused
Cell area	8.3 m ²	Pnom ratio	1.22

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		LID - Light Induced Degradation	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	243 mΩ	Loss Fraction	0.6 %
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s				
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss	
Loss Fraction	-0.8 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %
IAM loss factor					
ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi - 1)					
bo Param.	0.05				



Project: MBP Ugnė Venckūnaitė STD modules

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.2.11

VC0, Simulation date:
15/04/22 16:09
with v7.2.11

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

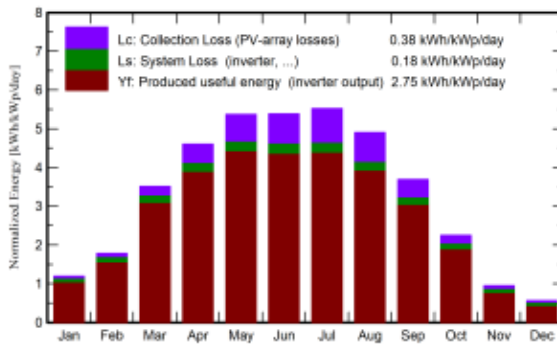
Main results

System Production

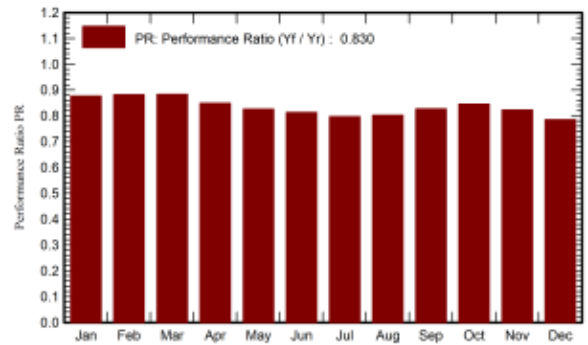
Produced Energy 1835 kWh/year

Specific production 1005 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 82.96 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	16.2	8.90	-4.44	37.1	36.0	65.1	59.3	0.877
February	31.3	19.76	-3.50	49.8	48.5	87.2	80.2	0.882
March	78.0	43.96	0.76	109.0	106.1	186.5	175.7	0.884
April	115.9	55.35	7.52	138.1	134.3	226.4	214.1	0.849
May	159.8	78.56	13.34	166.5	161.6	265.3	251.1	0.826
June	163.9	82.01	16.11	161.5	156.3	253.9	239.7	0.813
July	165.2	74.64	18.76	171.3	166.3	263.7	249.3	0.798
August	134.6	63.04	17.71	152.0	147.6	235.8	222.7	0.802
September	85.7	45.59	12.40	110.7	107.6	177.9	167.1	0.827
October	45.4	26.06	6.69	69.8	67.9	116.3	107.8	0.846
November	17.3	13.03	2.55	28.5	27.7	48.5	42.8	0.824
December	10.4	8.39	-1.41	17.4	16.9	29.7	24.9	0.785
Year	1023.5	519.29	7.27	1211.7	1176.9	1956.4	1834.6	0.830

Legends

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



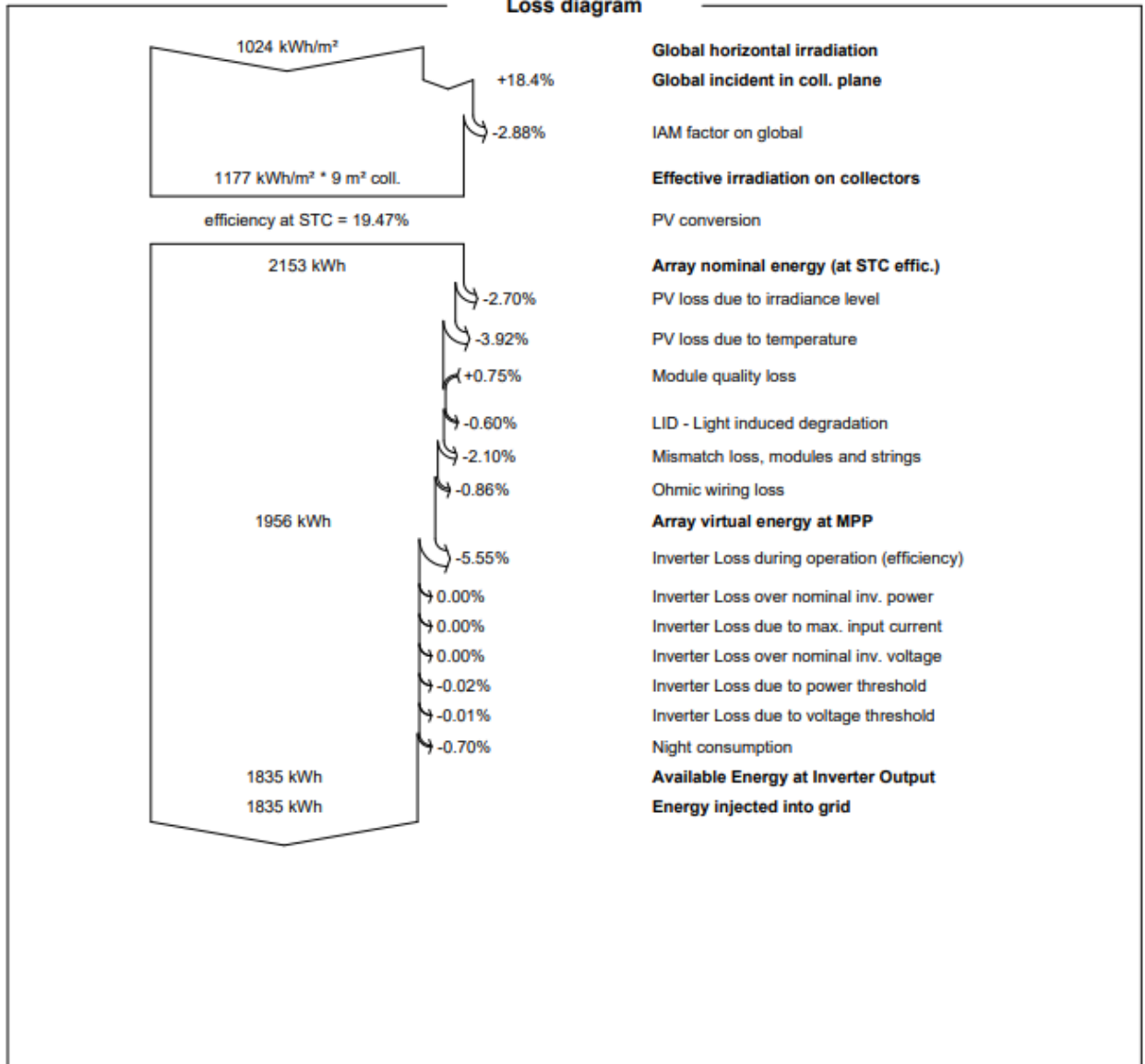
PVsyst V7.2.11
VC0, Simulation date:
15/04/22 16:09
with v7.2.11

Project: MBP Ugnė Venckūnaitė STD modules

Variant: New simulation variant

UAB "Solitekas LT" (Lithuania)

Loss diagram



9 priedas. Saulės modulių gyvavimo ciklo cash flow.

22 lentelė. Saulės modulių gyvavimo ciklo cash flow

Metai	GENERACIJA, KWH		ELEKTROS ENERGIJOS KAINA EUR/KWH	PAJAMOS, EUR		EKSPLOATACIJOS, PRIEŽIŪROS IR PASAUGOJIMO MOKESTIS, EUR		PAJAMOS - MOKESČIAI, EUR	
	GG	STD		GG	STD	GG	STD	GG	STD
0								-158,0	-138,7
1	397,2	366,8	0,1700	67,5	62,4	11,3	12,4	56,2	50,0
2	395,7	363,9	0,1751	69,3	63,7	11,3	12,4	57,9	51,3
3	394,1	361,0	0,1804	71,1	65,1	11,3	12,4	59,7	52,7
4	392,5	358,1	0,1858	72,9	66,5	11,3	12,4	61,6	54,1
5	390,9	355,2	0,1913	74,8	68,0	11,3	12,4	63,5	55,6
6	389,4	352,4	0,1971	76,7	69,4	11,3	12,4	65,4	57,1
7	387,8	349,6	0,2030	78,7	71,0	11,3	12,4	67,4	58,6
8	386,3	346,8	0,2091	80,8	72,5	11,3	12,4	69,4	60,1
9	384,7	344,0	0,2154	82,8	74,1	11,3	12,4	71,5	61,7
10	383,2	341,2	0,2218	85,0	75,7	11,3	12,4	73,6	63,3
11	381,6	338,5	0,2285	87,2	77,3	11,3	12,4	75,8	64,9
12	380,1	335,8	0,2353	89,4	79,0	11,3	12,4	78,1	66,6
13	378,6	333,1	0,2424	91,8	80,7	11,3	12,4	80,4	68,3
14	377,1	330,5	0,2497	94,1	82,5	11,3	12,4	82,8	70,1
15	375,6	327,8	0,2571	96,6	84,3	11,3	12,4	85,2	71,9
16	374,1	325,2	0,2649	99,1	86,1	11,3	12,4	87,7	73,7
17	372,6	322,6	0,2728	101,6	88,0	11,3	12,4	90,3	75,6
18	371,1	320,0	0,2810	104,3	89,9	11,3	12,4	92,9	77,5
19	369,6	317,4	0,2894	107,0	91,9	11,3	12,4	95,6	79,5
20	368,1	314,9	0,2981	109,7	93,9	11,3	12,4	98,4	81,5
21	366,6	0	0,3070	112,6	0	11,3	0	101,2	-18,0
22	365,2	0	0,3163	115,5	0	11,3	0	104,1	0,0
23	363,7	0	0,3257	118,5	0	11,3	0	107,1	0,0
24	362,3	0	0,3355	121,5	0	11,3	0	110,2	0,0
25	360,8	0	0,3456	124,7	0	11,3	0	113,3	0,0
26	359,4	0	0,3559	127,9	0	11,3	0	116,6	0,0
27	357,9	0	0,3666	131,2	0	11,3	0	119,9	0,0
28	356,5	0	0,3776	134,6	0	11,3	0	123,3	0,0
29	355,1	0	0,3889	138,1	0	11,3	0	126,8	0,0
30	353,7	0	0,4006	141,7	0	11,3	0	130,3	0,0
30	0,0	0	0,4126	0	0	0	0	-18	0

	KAUPIAMOSIOS PAJAMOS - MOKESČIAI, EUR		INVESTICIJA - KAUPIAMOSIOS PAJAMOS - MOKESČIAI, EUR		ATSIPIRKIMO TERMINAS, METAI		
	Metai	GG	STD	GG	STD	GG	STD
0							
1	56,2	50,0	101,8	88,7	2,78	2,75	
2	114,1	101,3	43,9	37,4			
3	173,8	154,0	-15,9	-15,3			
4	235,4	208,1	-77,4	-69,4			
5	298,9	263,7	-140,9	-125,0			
6	364,3	320,7	-206,3	-182,0			
7	431,6	379,3	-273,7	-240,6			
8	501,0	439,4	-343,1	-300,7			
9	572,5	501,1	-414,6	-362,4			
10	646,2	564,4	-488,2	-425,7			
11	722,0	629,3	-564,1	-490,6			
12	800,1	696,0	-642,2	-557,3			
13	880,6	764,3	-722,6	-625,6			
14	963,3	834,4	-805,4	-695,7			
15	1048,6	906,3	-890,6	-767,6			
16	1136,3	980,0	-978,3	-841,3			
17	1226,6	1055,6	-1 068,6	-916,9			
18	1319,5	1133,2	-1 161,5	-994,5			
19	1415,1	1212,6	-1 257,2	-1 073,9			
20	1513,5	1294,1	-1 355,5	-1 155,4			
21	1614,7	1276,1	-1 456,8	-1 137,4			
22	1718,9	1276,1	-1 560,9	-1 137,4			
23	1826,0	1276,1	-1 668,0	-1 137,4			
24	1936,2	1276,1	-1 778,2	-1 137,4			
25	2049,6	1276,1	-1 891,6	-1 137,4			
26	2166,1	1276,1	-2 008,2	-1 137,4			
27	2286,0	1276,1	-2 128,0	-1 137,4			
28	2409,3	1276,1	-2 251,3	-1 137,4			
29	2536,0	1276,1	-2 378,1	-1 137,4			
30	2666,4	1276,1	-2 508,4	-1 137,4			
30	2648,4	1276,1	-2 490,4	-1 137,4			