



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

## **Saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo analizė**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Modestas Mitkus**

Projekto autorius

**doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

## **Saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo analizė**

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

---

**Modestas Mitkus**

Projekto autorius

**doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė**

Vadovė

**Prof. dr. Saulius Gudžius**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Modestas Mitkus

## **Saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo analizė**

### **Akademinio sąžiningumo deklaracija**

Patvirtinu, kad mano, Modesto Mitkaus, baigiamasis projektas tema „Saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Mitkus, Modestas. Saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: gyvavimo ciklo analizė, saulės elektrinės vertinimas, energijos atsipirkimo skaičiavimas, šiltnamio efektą sukeliančių dujų balansas.

Kaunas, 2019. 73 p.

### **Santrauka**

Darbe yra vertinamas ir lyginamas 1013 kWp saulės elektrinių viso gyvavimo ciklas, kurios įrengtos Lietuvos ir Australijos teritorijose. Taip pat darbe yra apskaičiuojamas saulės elektrinių energijos atsipirkimo laikotarpis (EPBT) bei skaičiuojamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ekv. CO<sub>2</sub>) balansas (GHG<sub>rate</sub>).

Probleminės srities analizės dalyje yra išsiaiškinama kaip keičiasi šiltnamio dujų emisijos pasaulio mastu ir kaip jos yra vertinamos organizacijų. Toliau yra aptariama kaip yra vertinamos atsinaujinančių šaltinių išmetamos emisijos į aplinką gaminant, transportuojant, eksploatuojant ir utilizuojant technologiją.

Taip pat darbe yra aiškinama gyvavimo ciklo vertinimo metodika, pateikiama atliktų rezultatų interpretacija bei palyginami tarpusavyje duomenys.

Mitkus, Modestas. Life Cycle Assessment of Photovoltaic Power Plants / Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Study field – Engineering of Energy, study field group – Engineering Sciences.

Keywords: life cycle assessment, solar power plant assessment, energy payback time calculations, greenhouse gases balance.

Kaunas, 2019. 73.

### **Summary**

In this thesis comparex life cycle of 1013kWp solar power plant which is located in Lithuania and Australia. Additionally, assessment of Energy payback time (EPBT) and greenhouse gas emissions balance ( $\text{GHG}_{\text{rate}}$ ) are included in final calculations of life cycle assessment.

Areas of concern analysis explains greenhouse gas emissions on a global scale and describes how these emissions are assessed by various organization. Furthermore, details are provided on emission of renewable energy plants which are produced as a result of manufacturing process, transportation, operation and decommissioning.

Finally, thesis explains life cycle assessment methodology and includes comparison analysis as well as result interpretation.

## TURINYS

Įvadas .....	10
1. Probleminė srities analizė .....	11
1.1. Šiltnamio dujų įtaka ir tendencijos .....	11
1.2. Atsinaujinančios energijos ištekliai .....	14
1.3. Elektros gamybos technologijų šiltnamio efektą sukeliančių dujų palyginimas .....	16
1.4. Apibendrinimas .....	18
2. Gyvavimo ciklo vertinimo metodika .....	19
2.1. „Life cycle assessment“ metodo etapų variantai .....	20
2.2. „Life cycle assessment“ metodikos vertinimo ypatumai .....	22
3. Gyvavimo ciklo analizės metodikos parinkimas .....	24
3.1. Tikslų ir sričių apibrėžimas .....	25
3.2. Gyvavimo ciklo aprašas (LCI) .....	26
3.2.1. Įrenginių gamybos duomenys .....	28
3.2.2. Saulės modulių gamybos ribos .....	28
3.2.3. Inverterio gamybos ribos .....	30
3.2.4. Saulės elektrinės konstrukcijų gamybos ribos .....	31
3.2.5. Saulės elektrinės kabelių gamybos ribos .....	31
3.2.6. Transportavimo etapų ribos .....	32
3.2.7. Saulės elektrinės statybos ribų apibrėžimas .....	33
3.2.8. Saulės elektrinės eksploatavimas .....	34
3.2.9. Elektros energijos skaičiavimo ribos .....	34
3.2.10. Parko demontavimas ir įrenginių sunaikinimas (utilizavimas) .....	35
3.3. ŠESD emisijų skaičiavimas .....	35
4. Poveikio analizė .....	37
4.1. Saulės elektrinių pagamintos energijos skaičiavimai .....	37
4.1.1. Modulių techninės specifikacijos .....	40
4.1.2. Inverterio techninės specifikacijos .....	40

4.1.3. Saulės elektrinės nuostolių įvertinimas .....	43
4.1.4. Įrenginių kiekių skaičiavimas .....	44
4.1.5. Moduliavimo rezultatai.....	44
4.2. Saulės modulių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai .....	47
4.3. Saulės elektrinės įrenginių (BOS) energijos skaičiavimai .....	49
4.3.1. Inverterių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai .....	49
4.3.2. Konstrukcijų gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai .....	50
4.3.3. Kabelių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai .....	52
4.4. Transportavimo metu sunaudotos energijos skaičiavimai .....	54
4.5. Parko statybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai.....	56
4.6. Parko demontavimo ir perdirbimo metu sunaudotos energijos skaičiavimai.....	57
4.7. EPBT skaičiavimai .....	58
4.8. ŠESD skaičiavimai .....	60
5. Palyginamoji Rezultatų analizė .....	63
5.1. Energijos atsipirkimo laikotarpio rodiklio palyginimas .....	63
5.2. Saulės elektrinės generacijos bei modulių palyginimas .....	64
5.3. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų palyginimas .....	65
5.4. Rekomendacijos .....	67
Išvados .....	68
Literatūros sąrašas .....	69
Priedai .....	74
1 priedas. „Canadian Solar“ MAXPOWER CS6U-335P saulės modulių specifikacijos .....	74
2 priedas. „Canadian Solar“ MAXPOWER CS6U-335M saulės modulių specifikacijos .....	75
3 priedas. „Huawei“ SUN2000-60KTL-M0 inverterių specifikacijos .....	76
4 priedas. „PVsyst“ programos ataskaita (Lietuva, poly-Si moduliai).....	77
5 priedas. „PVsyst“ programos ataskaita (Lietuva, mono-Si moduliai) .....	81
6 priedas. „PVsyst“ programos ataskaita (Australija, poly-Si moduliai) .....	85
7 priedas. „PVsyst“ programos ataskaita (Australija, mono-Si moduliai) .....	89

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Europos žemyno MtCO <sub>2</sub> emisijos nuo 1960 iki 2015 metų (5 m. intervalais) [4] .....	12
2 lentelė. Vertinamų saulės elektrinių pagrindiniai parametrai .....	25
3 lentelė. Saulės modulio gamybos etapais sunaudota energija [37] .....	29
4 lentelė. Sunaudojama energija išgauti reikalingoms medžiagoms modulių gamybai [37] .....	29
5 lentelė. Reikalingas energijos kiekis inverterio pagaminimui [43] .....	30
6 lentelė. Reikalingas energijos kiekis konstrukciniam elementui pagaminimui [32] .....	31
7 lentelė. Reikalingas energijos kiekis kabelių pagaminimui .....	32
8 lentelė. Transporto sunaudotas energijos kiekis vienam kilometrui [39] .....	33
9 lentelė. Saulės elektrinės statymo metu sunaudota energija, MJ [34] .....	33
10 lentelė. Inverterių rekonstrukcijos metu sunaudotas energijos kiekis .....	34
11 lentelė. Saulės modulių sunaikinimo sąnaudos ir ekv. CO <sub>2</sub> emisijos [33] .....	35
12 lentelė. Išmetamos CO <sub>2</sub> emisijos saulės elektrinės gyvavimo ciklo dalyse [57] .....	36
13 lentelė. Skirtingų regionų vidutinis CO <sub>2</sub> kiekis per kilovatvalandę [57] .....	36
14 lentelė. Saulės modulių galios pokyčiai .....	40
15 lentelė. Saulės modulių ir inverterio jungimo skaičiavimų rezultatai .....	42
16 lentelė. Saulės elektrinės nuostolių reikšmės ir paaiškinimai .....	43
17 lentelė. Saulės elektrinių perskaičiuota galia .....	44
18 lentelė. Saulės elektrinių kasmetinės generacijos .....	45
19 lentelė. Saulės elektrinių pagaminta elektros energija per 25 metus .....	47
20 lentelė. Vienam saulės moduliui pagaminti reikalinga energija .....	48
21 lentelė. Vienam inverteriui pagaminti reikalinga energija .....	50
22 lentelė. Saulės elektrinės konstrukcijos komplektas .....	51
23 lentelė. Konstrukcijų sunaudotos energijos skaičiavimai .....	52
24 lentelė. Kabelių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai .....	54
25 lentelė. Transportavimo metu sunaudotos energijos skaičiavimų rezultatai .....	55
26 lentelė. Parko statybos metu sunaudotos energijos skaičiavimų rezultatai .....	57
27 lentelė. Saulės elektrinių metiniai energijos srautai (MJ) .....	59
28 lentelė. Energijos laiko atsipirkimo skaičiavimo rezultatai .....	59
29 lentelė. Saulės elektrinių LCE skaičiavimo rezultatai (kg ekv. CO <sub>2</sub> ) .....	60
30 lentelė. $LCE_{system}$ ir $GHG_{rate}$ skaičiavimo rezultatai .....	61



## TERMINŲ, SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

Lietuviškas terminas arba santrumpa	Originalus terminas	Aprašymas
AC	<i>angl. alternate current</i>	Kintama srovė
AEI	<i>atsinaujinantieji energetikos ištekliai</i>	Energijos ištekliai, kurių atsiradimą gamtoje įtakoja savaime atsinaujinantys veiksniai
BOS	<i>angl. balance of system</i>	Papildomi saulės elektrinės komponentai
DC	<i>angl. direct current</i>	Nuolatinė srovė
ekv. CO <sub>2</sub>	<i>Anglies dioksido dujų ekvivalentas</i>	ŠESD perskaičiuotos į anglies dioksido ekvivalentą
EPBT	<i>angl. energy payback time</i>	Energijos atsipirkimo laiko rodiklis
ES	<i>Europos Sąjunga</i>	Europos valstybių ekonominė ir politinė bendrija
IEA	<i>angl. International Energy Agency</i>	Tarptautinė energetikos agentūra
Inverteris (keitiklis)	<i>angl. inverter</i>	Įrenginys, kuris keičia nuolatinę srovę į kintamą
LCA	<i>angl. life cycle assessment</i>	Gyvavimo ciklo vertinimas – produkto ar paslaugos viso gyvavimo etapų ciklo vertinimas
LCE	<i>angl. Life Cycle Emissions</i>	Gyvavimo ciklo emisijos
LCI	<i>angl. life cycle inventory</i>	Gyvavimo ciklo aprašas
Mtoe	<i>angl. million tons of oil equivalent</i>	Naftos tonos ekvivalentas
ŠESD	<i>angl. greenhouse gases (GHG)</i>	Šiltnamio efektą sukeliančios dujos

## **ĮVADAS**

Šiame amžiuje be elektros, elektros prietaisų išsiversti būtų sunku, kadangi šiuolaikinė visuomenė yra susitelkus ties šia sritimi. Todėl elektros energija yra vienas iš svarbių šaltinių palaikyti visuomenės gyvavimą.

Ši paklausa skatina žmoniją tobulinti elektros technologijas, t.y. senas keisti naujomis, labiau efektyvesnėmis, kurios ne tik daugiau pagamintų elektros energijos, bet ir gamavimo proceso metu į aplinką išmestų mažiau teršalų. Taip pat yra žymiai labiau plėtojamos atsinaujinančių šaltinių technologijos, kurios sąlygoja šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų mažėjimą (pavyzdžiui, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O [1]).

Tačiau gaminant šias technologijas arba plėtojant kitas, kurios gamina elektros energiją, į aplinką taip pat yra išmetamos aukščiau išvardintos dujos, kurios didina „šiltnamio“ efektą. Todėl yra svarbu iširti šių elektros gamybos technologijų poveikį aplinkai.

Šiam poveikiui vertinti yra sukurta daug įvairių modelių. Vienas iš jų – įrenginio gyvavimo ciklo vertinimas. Viso gyvavimo ciklo metu, nuo įrenginio pagaminimo iki sunaikinimo, yra surinkami duomenys apie išmetamųjų teršalų faktorius, pavyzdžiui, kg CO<sub>2</sub>/MWh ir po to lyginami su kitomis technologijomis ar vertinama daroma įtaka aplinkai.

Tuo pačiu Europos sąjunga bei Lietuva yra pasiryžusi iki 2020 metų sumažinti bent 20 % išmetamų šiltnamių dujų lyginant su 1990 m. nustatytu lygiu. O pasiekus šį tikslą nesustoti ir mažinti oro taršą bei CO<sub>2</sub> dujų emisijas dar labiau.

### **Darbo tikslas**

Pagrindinis darbo tikslas yra išanalizuoti gyvavimo ciklo metodus, jų taikymo galimybes ir atlikti saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo vertinimą.

### **Uždaviniai:**

1. išanalizuoti atsinaujinančių energijos išteklių įtaką šiltnamio efekto mažinimui;
2. išnagrinėti gyvavimo ciklo vertinimo metodiką;
3. atlikti saulės elektrinės viso gyvavimo ciklo vertinimą;
4. atlikti gyvavimo ciklo vertinimo rezultatų palyginamąją analizę.

## 1. PROBLEMINĖ SRITIES ANALIZĖ

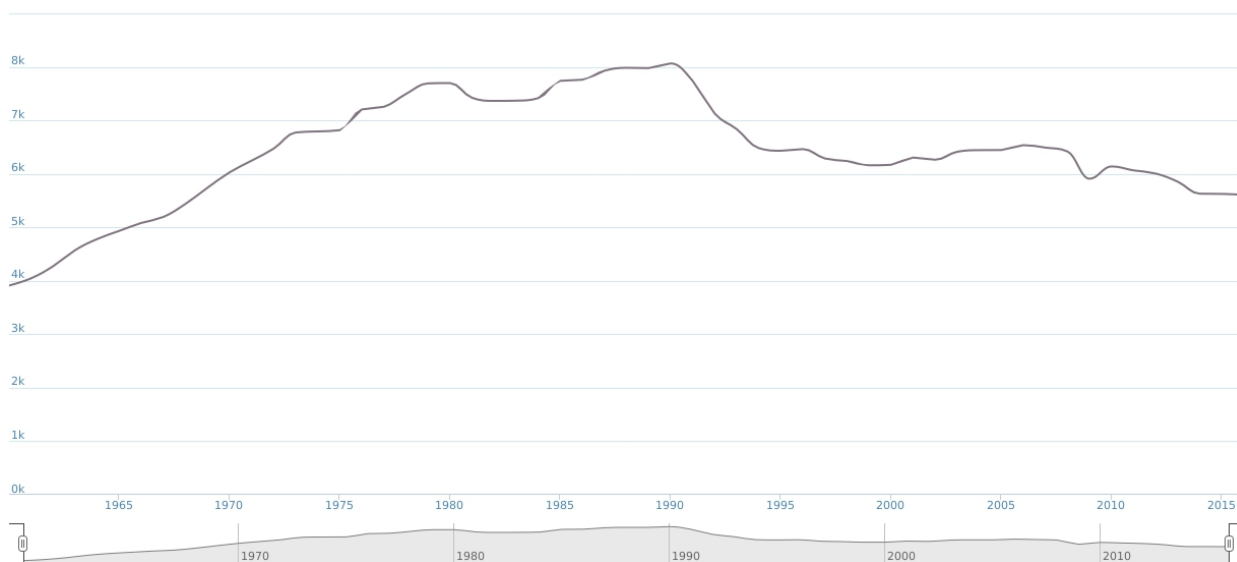
Pagrindinis analizės tikslas – išanalizuoti ir įvertinti šiltnamio dujų sukeliama įtaką Europos mastu, išsiaiškinti kaip keičiasi šiltnamio dujų emisijos ir koks atsinaujinančių energijos išteklių indėlis.

### 1.1. Šiltnamio dujų įtaka ir tendencijos

Šiltnamio dujos, klimato kaita, temperatūros bei vandens lygio kilimas – vienos iš pagrindinių dabartinio pasaulio problemų. Įvairios organizacijos vieningai kviečia mažinti ir stabdyti šį procesą, todėl yra keičiamos politikos kryptys, technologijos bei žmonių veiksmai.

Šiltnamio efektą sukelia Žemės troposferoje besikaupiančios dujos, kurios absorbuodamos saulės spindulius išlaiko Žemės paviršiuje temperatūrą. Be šio reiškinio temperatūra Žemėje būtų apie  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  [12]. Tačiau žmogaus daroma veikla smarkiai sustiprina šiltnamio efektą ir be natūraliai susidariusių šiltnamio dujų prisideda prie temperatūros didinimo Žemėje.

Pagrindinės šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra anglies dioksidas ( $\text{CO}_2$ ), metanas ( $\text{CH}_4$ ), azoto oksidas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorangliavandeniliai (HFC) ir kt. Dėl šių dujų sukeliama skirtingo visuotinio atšilimo potencialo šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija (toliau – ŠESD) yra perskaičiuojama į anglies dioksido (ekv.  $\text{CO}_2$ ) ekvivalentą [3].



1.1 pav. Europos teritorijos ŠESD emisijos  $\text{MtCO}_2$  nuo 1960 iki 2016 metų [4]

Pateiktame 1.1 grafike matyti, kad iki 1990 metų Europos teritorijoje smarkiai didėjo išmetamos ŠESD anglies dioksido (MtCO<sub>2</sub>) emisijos. Tačiau priėmus tarptautinius įsipareigojimus (JTBKKK konvencijai, Kioto protokolui, Paryžiaus susitarimas ir kt.), kurie riboja ir skatina mažinti šiltnamio išmetamąsias dujas, emisijos pradėjo mažėti.

Jungtinių Tautų bendroji klimato kaitos konvencija (angl. „*United Nations Framework Convention on Climate Change*“) yra tarptautinė 197 šalių sutartis, kurios pagrindinis tikslas yra pasiekti stabilizuotą šiltnamio dujų kiekį atmosferoje, kad būtų klimato kaitos nesukeliamame lygyje. Sutartis įsigaliojo 1994 m. kovo 21 dieną [10].

Kioto protokolas – tai šalių susitarimas, kurio siekiama kovoti su visuotiniu atšilimu. Pagal bendrą, bet diferencijuotą atsakomybę buvo pripažinta, kad labiau išsivysčiusios šalys yra atsakingos už dabartinį aukštą šiltnamio efektą sukeliančių dujų atmosferoje kiekį, kuris atsirado dėl ilgų pramoninių veiklų. Protokolas buvo priimtas 1997 metais, tačiau įsigaliojo 2005 vasario 16 d. [9].

Paryžiaus susitarimas – 2015 metų gruodžio 12 d. įvykusi visuotinė konvencija dėl klimato kaitos. Susitikimo metu buvo nustatytas siektinas ilgalaikis tikslas, kuris numato, kad vidutinės temperatūros kilimas viso pasaulio mastu būtų ne didesnis nei 2 °C bei užtikrinti, kad nebūtų lygis didesnis nei 1,5 °C lyginant su pramoniniu laikotarpiu [11].

MtCO<sub>2</sub> matavimo vienetai yra metrinė priemonė, naudojama palyginti skirtingų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, atsižvelgiant į jų klimato atšilimo potencialą (angl. *global warming potential*) [5].

Tačiau numatoma tendencija, kuri buvo iki pasaulyje bei Europos Sąjungoje įsigaliojusių reglamentų keičiasi ir 2016 m. duomenimis Europa į aplinką „išmetė“ apie 5608,242 MtCO<sub>2</sub> dujų emisijų. Palyginus 1960 ir 2016 metų duomenis skirtumas yra 1695,999 MtCO<sub>2</sub>.

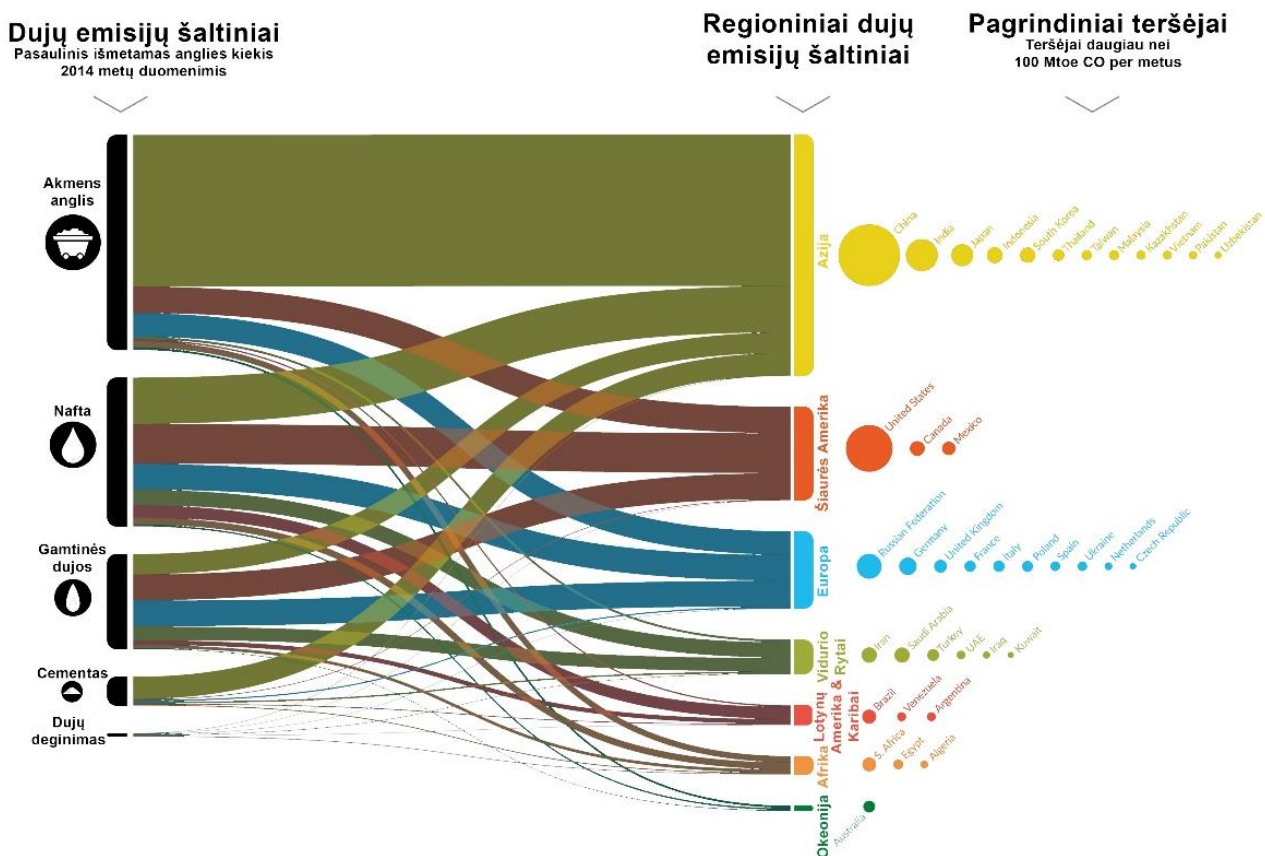
Šiltnamio dujų emisijų duomenis surinkti yra sunku dėl didelio reikiamo resursų kiekio, ilgo laikotarpio bei dėl įvairių metodų galimybių, todėl 1 lentelės duomenys yra apibendrinti. Šie duomenys pateikti įvairių institucijų, pavyzdžiui, „Carbon Dioxide Information Analysis Center“, „BP“ ir kitų organizacijų [4].

1 lentelė. Europos žemyno MtCO<sub>2</sub> emisijos nuo 1960 iki 2015 metų (5 m. intervalais) [4]

<b>Metai</b>	1960	1965	1970	1975	1980	1985
<b>Emisijos</b>	3 912,243	4 934,272	6 028,634	6 815,730	7 696,562	7 737,765
<b>Metai</b>	1990	1995	2000	2005	2010	2015
<b>Emisijos</b>	8 064,703	6 432,230	6 167,862	6 444,605	6 137,364	5 624,014

Iš 1.1 grafiko bei 1 lentelės duomenų iki 1990 m. vidutiniškai kas metus didėjo po 138,415 MtCO<sub>2</sub> anglies dioksido ekvivalentinės emisijos. Tai buvo dėl to, kad pagrindinė kuro rūšis vis dar vyravo iškastinis kuras (kietoji anglis, nafta, gamtinės dujos), ne visur buvo eksportuojamos efektyvios technologijos ar naudojami taršos mažinimo filtrai. Be to, nebuvo taip skatinamas energijos taupymas bei alternatyvūs energijos šaltiniai palyginus su šiais laikais.

1.2 paveiksle pateikta 2015 metų surinkta informacija, kuri parodo, kurios šalys daugiausia „skleidžia“ CO<sub>2</sub> emisijų ir kokie emisijų pagrindiniai šaltiniai.



1.2 pav. 2015 m. gruodžio mėn. CO<sub>2</sub> emisijų atsiradimo vietovių infografikas [4]

Daugiausia prie šiltnamio efekto didinimo prisideda Azijos valstybės, o pagrindinė to priežastis – kietosios anglies deginimo padariniai.

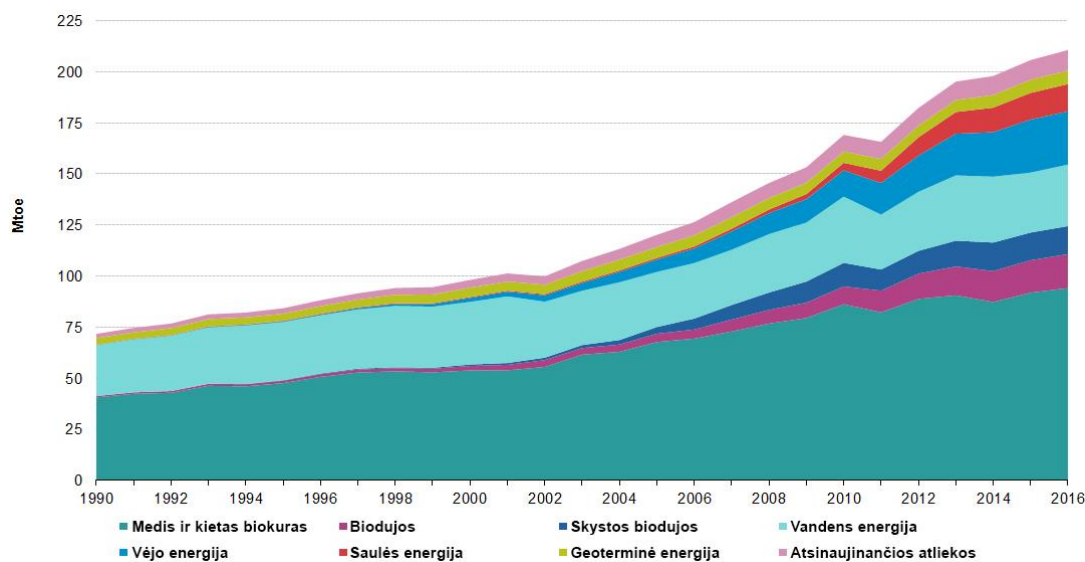
Toliau ekv. CO<sub>2</sub> emisijos vidutiniškai mažėjo po 94,479 MtCO<sub>2</sub> per metus. Tai vyko dėl to, kad įsigaliojo įstatymai su iškastinio kuro ribojimais, taršalų mažinimu bei atsinaujinančios energetikos sektoriaus plėtojimu.

## 1.2. Atsinaujinančios energijos ištekliai

AEI politikos pradžia Europos Sąjungoje prasidėjo nuo 1997 metų. Šiais metais buvo pristatyta „Baltoji knyga“ (angl. „*Energy for the future: Renewable sources of energy – White Paper for a Community Strategy and Action Plan*“ [13]).

Šio dokumento pagrindinis tikslas, dabartinėms ir vėliau prisijungiančioms ES šalims, padidinti atsinaujinančių energijos išteklių sektoriaus dalį (nuo 6 % padidinti iki 12 % 2010 metais).

Šiam tikslui įgyvendinti buvo paruoštos Direktyvos: 2001/77/EB [14], 2003/30/EB [15], po to pakeista į 2009/28/EB [16]. Šių Direktyvų pagrindiniai nurodymai skatinti elektros gamybą iš AEI, aprašytos rėmimo schemos, biodegalų skatinimas bei paskirstomas bendras planinis rodiklis tarp Europos sąjungos šalių narių. Visa tai iliustruoja 1.3 paveikslas. Iš grafiko matosi didėjanti pirminės energijos atsinaujinančių energijos šaltinių tendencija.



1.3 pav. ES narių šalių pirminė energija iš AEI<sup>1</sup>

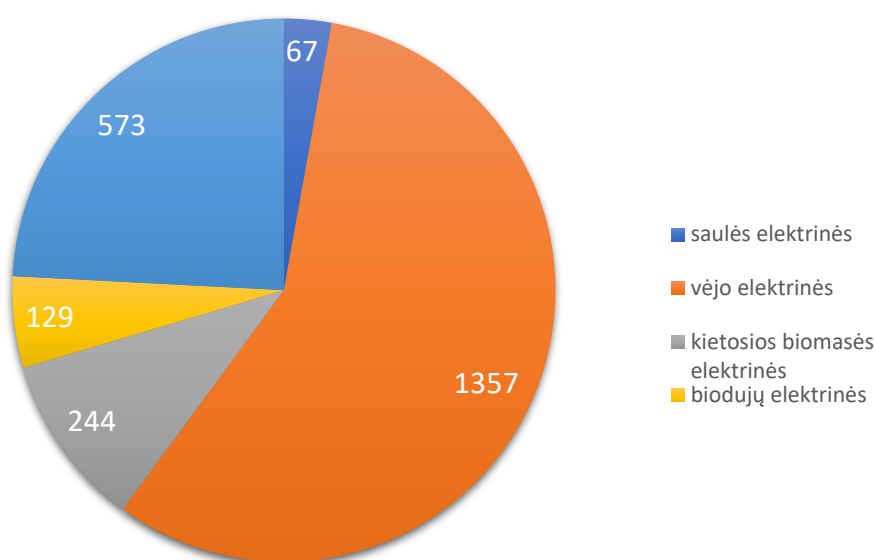
Remiantis duomenimis, aukščiau minėtoje Direktyvoje, Lietuvos tikslas 2020 m. yra, kad elektros suvartojimas daugiausia būtų gaunamas iš AEI – 23 %. Tačiau remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis, Lietuva jau 2014 metais (vertinant bendrąjį galutinį energijos suvartojimą) apie 24 % energijos gaudavo iš AEI.

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure\\_3-Primary\\_production\\_of\\_energy\\_from\\_renewable\\_sources\\_EU-28\\_1990-2016.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_3-Primary_production_of_energy_from_renewable_sources_EU-28_1990-2016.png)

Kiti Lietuvos užsibrėžti tikslai (iki 2020 m.): didinti vėjo elektrinių suminę galią iki 500 MW, saulės elektrinių iki 10 MW, hidroelektrinių – 141 MW, biokuro elektrinių – 355 MW [17].

Kad būtų pasiektas mažas šiltnamio dujų kiekis Europos Sąjunga ir jos šalys narės ir toliau skatina tvarią plėtrą (dabartinių poreikių tenkinimas neatimant galimybės ateities kartoms taip pat tenkinti poreikius), t.y. atsižvelgia į aplinkosaugos reikalavimus, oro taršos mažinimą, šiltnamio efekto mažinimą.

Ši nutarta politikos kryptis nurodo, kad reikia imtis visų prevencinių priemonių ar veiksmų, kur aplinkai padaryta žala būtų atitaisoma ir padaryta žala būtų atlyginama teršėjų [2].



1.4 pav. Lietuvos AEI elektros gamyba pagal išteklius (MW), 2017 metų duomenys [17]

Remiantis tuo, Europos Sąjunga, taip pat ir Lietuva, yra pasiryžusi iki 2020 metų sumažinti bent 20 % išmetamųjų šiltnamio dujų (lyginant su 1990 metų nustatyto lygiu). Kitas ES pasiūlytas tikslas 2030 metams – sumažinti bent 40 % teršalų kiekio [3].

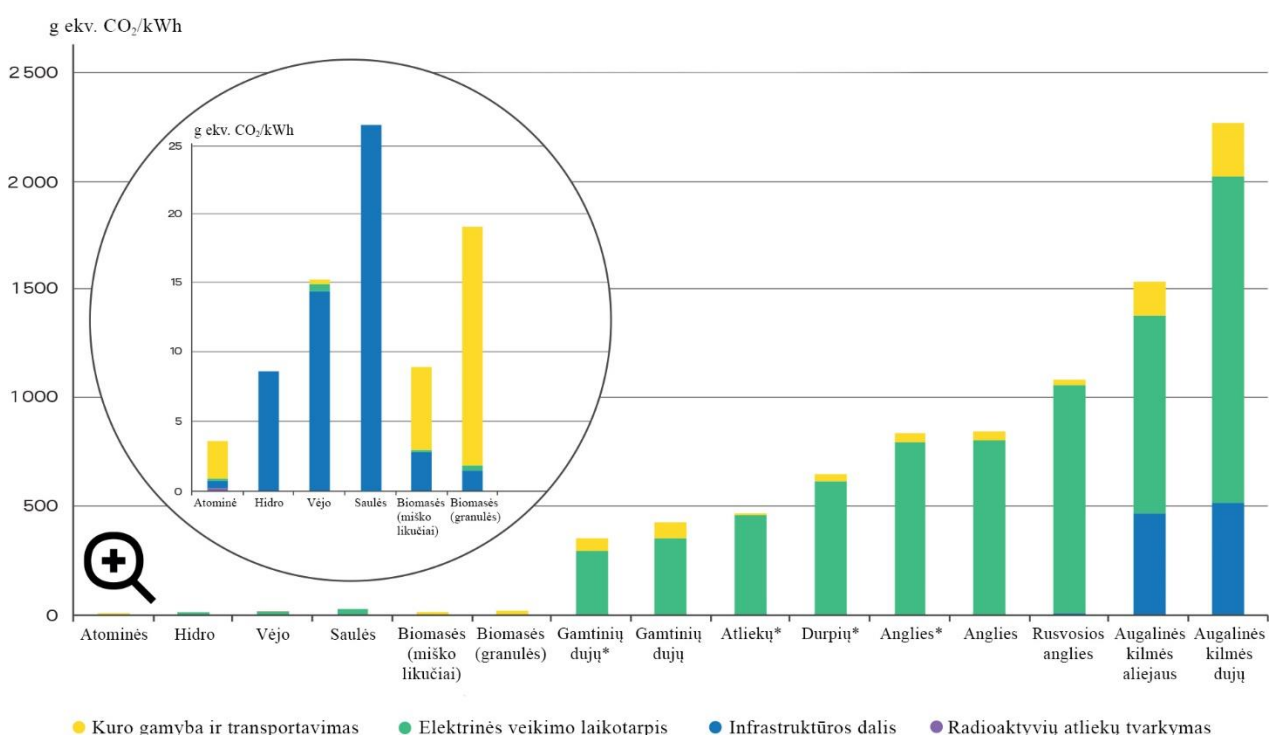
Lietuvos statistikos departamentas paskelbė 2017 metų duomenis ir parodė kokius rezultatus pavyko pasiekti. Atsinaujinančių išteklių pagaminta energija bendrame šalies energijos balanse sudarė 25,8 %, elektros sektoriuje – 18,3 %, transporto – 3,69 % ir šildymo (aušinimo) sektoriuje – 46,5 %. Elektros energijos gamyba iš AEI pavaizduota 1.4 paveiksle. [17].

### 1.3. Elektros gamybos technologijų šiltnamio efektą sukeliančių dujų palyginimas

Vis labiau skatinant elektros gamybos sektorių iš AEI reikia atitinkamai įvertinti ir šio sektoriaus daromą žalą gamtai. Kadangi šio tipo elektros gamybos procese nėra išmetama ŠESD emisijų, tai jų poveikį yra sunku įvertinti.

Vienas iš vertinimo būdų yra technologijos viso gyvavimo ciklo vertinimas, kai yra analizuojama energija bei išmestos emisijos į aplinką ruošiant, transportuojant, eksploatuojant ir utilizuojant šią technologiją [8].

Apžvelgtų elektros gamybos technologijų gyvavimo ciklo analizių rezultatai pateikti 1.5, 1.6 ir 1.7 grafikuose.



1.5 pav. Elektros gamybos technologijų gyvavimo ciklo analizių ekv. CO<sub>2</sub> emisijos [58]

1.5 grafike yra pateikta skirtingų elektros gamybų technologijų ekv. CO<sub>2</sub> apibendrintos emisijos iš surinktų gyvavimo ciklo analizių. Šie grafikai sudaryti iš keturių dalių: kuro gamybos ir transportavimo, elektrinės veikimo laikotarpio, infrastruktūros, kai yra įvertinti statybos, aptarnavimo ir demontavimo etapai, bei radioaktyvių atliekų tvarkymo. Žvaigždute pažymėti elementai yra kombinuoto ciklo šilumos ir elektros jėgainės.

Iš rezultatų matoma, kad elektros gamybos technologijos, naudojančios iškastinį kurą, į aplinką išmeta žymiai daugiau emisijų, nei palyginus su kitomis AEI technologijomis.

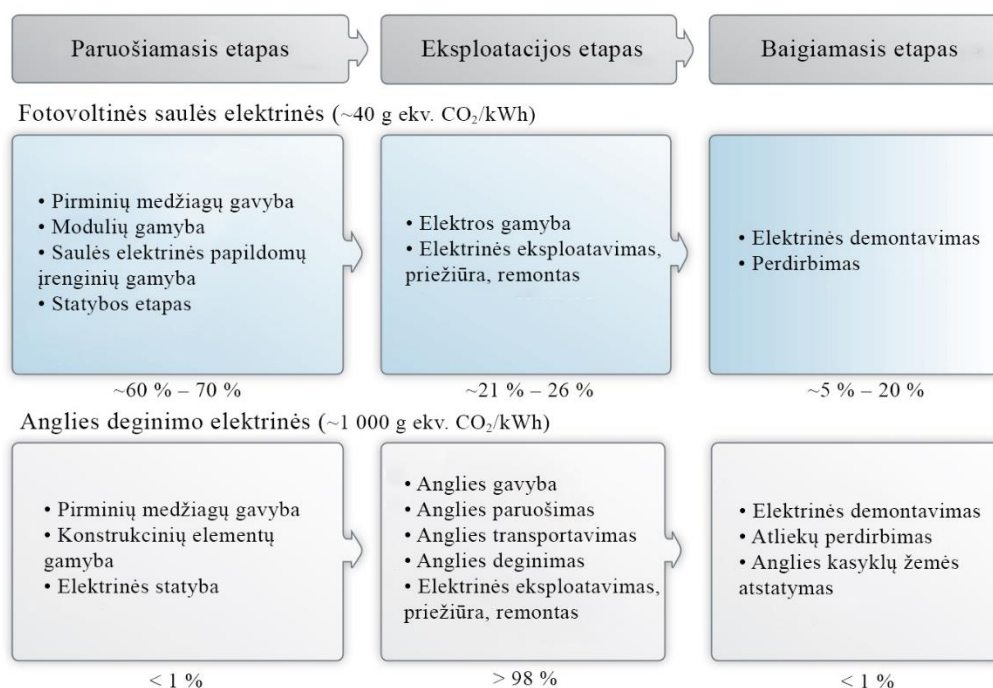


Iškastinio kuro elektrinėse daugiausiai emisijų į aplinką patenka elektrinės eksploatavimo laikotarpiu. Palyginus gamybos technologijas iš AEI sektoriaus – didžiausia emisijų dalis atsiranda infrastruktūros etapu.

Pažvelgus detaliau į fotovoltinių saulės elektrinių gyvavimo ciklo analizes, matoma, kad daugiausia, apie 60 – 70 % ekv. CO<sub>2</sub> emisijų į aplinką yra išmetama prieš pradėdant eksploatuoti elektrinę (žr. 1.6 pav.).

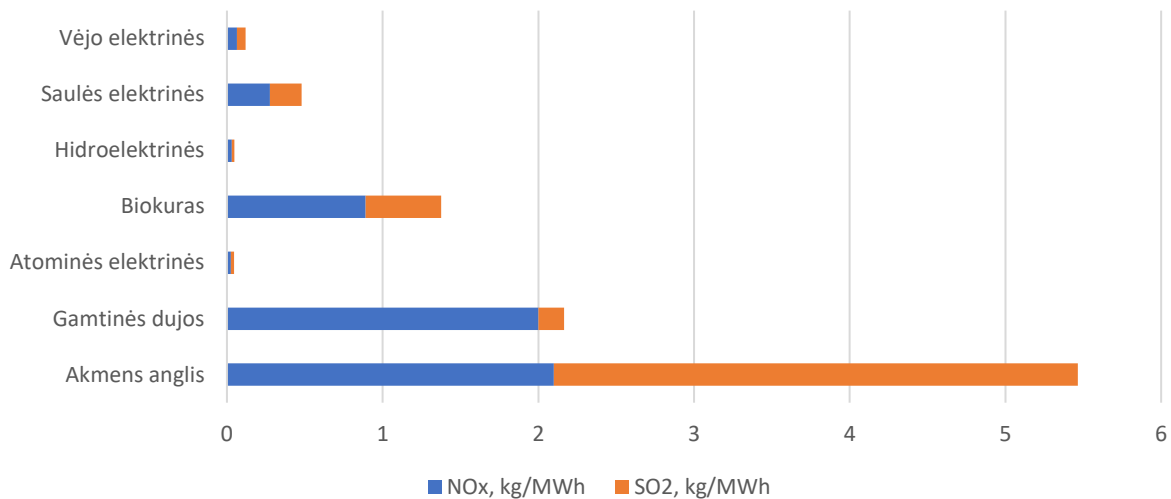
Saulės elektrinės eksploatavimo etapu bendros ekv. CO<sub>2</sub> emisijos siekia tarp 21 ir 26 %. Šios emisijos skaičiuojamos dėl saulės elektrinės papildomų eksploatavimo metu atsiradusių remonto darbų.

Palyginus su anglies deginimo elektros gamybos technologijomis, matoma, kad 98 % emisijų į aplinką patenka eksploatacijos etape, o paruošimo etape apie 1 %, kai saulės elektrinėse šiame etape susidaro daugiausia emisijų [59].



1.6 pav. CO<sub>2</sub> emisijų išskirstymas gyvavimo ciklo etapais [59]

Lyginant azoto oksido (NO<sub>x</sub>) ir sieros dioksido (SO<sub>2</sub>) gyvavimo ciklo vertinimų apibendrintus rezultatus daugiausia į aplinką išmeta gamtinių dujų ir anglies pagrindu veikiančios elektrinės. Mažiausiai – vėjo, saulės, atominės ir hidroelektrinės (žr. 1.7 grafiką) [8].



1.7 pav. Elektros gamybos technologijų vidutinės NO<sub>x</sub> ir SO<sub>2</sub> emisijos [8]

Šie duomenys rodo, kad elektros gamyba iš AEI sektoriaus palyginus su kitomis yra mažiau teršianti, tačiau nėra visiškai švari.

#### 1.4. Apibendrinimas

Europoje šiltnamio dujų sukeliama įtaka nuo 1990 m. vidutiniškai didėjo po 138,415 MtCO<sub>2</sub> anglies dioksido ekvivalentinės emisijos kas metus. Tai buvo dėl to, kad pagrindinė kuro rūšis vis dar buvo iškastinis kuras. Jei ši tendencija tęstųsi, tai Žemėje prasidėtų negrįžtami gamtos pasikeitimo procesai.

Pasaulyje daugiausia prie šiltnamio efekto didėjimo prisideda Azijos valstybės, nes čia daugiausia susitelkta į industrinę pramonę. Tačiau suvienijus jėgas ir priėmus įvairius susitarimus, (pavyzdžiui, Kioto protokolas, Paryžiaus susitarimas ir kt.) buvo nutarta siekti bendrų tikslų, kurie duotų realių rezultatų – pasiekti stabilizuotą šiltnamio dujų kiekį atmosferoje, kad būtų klimato kaitos nesukeliančiame lygyje.

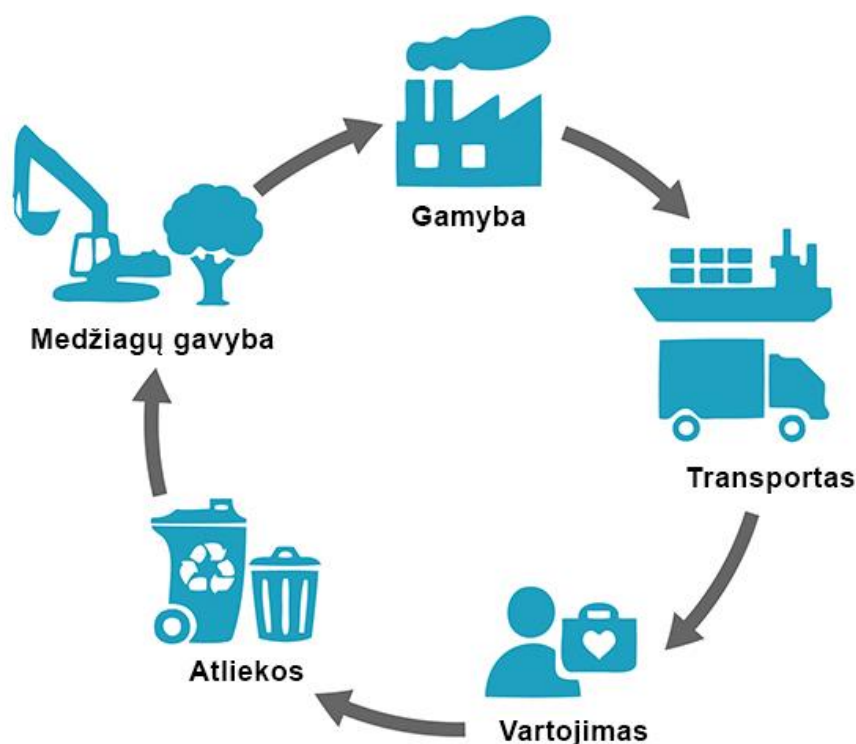
ES ir jos šalys narės taip pat įsitraukia į ŠESD mažinimą ir skatina tvarią plėtrą. Ši nutarta politikos kryptis nurodo, kad reikia imtis visų prevencinių priemonių ar veiksmų, kur aplinkai padaryta žala būtų atitaisoma, todėl ES narėms yra numatyti siektini tvarios plėtros tikslai, vienas iš jų – skatinti elektros gamybą iš AEI.

Elektros gamyba iš atsinaujinančių šaltinių nėra visiškai švari. Technologijos gamybos etape, elektrinės eksploatavimu metu bei technologijos utilizavimo eigoje yra į aplinką išmetamos ŠESD emisijos bei kiti teršalai, todėl skatinant šią elektros gamybos kryptį reikia į tai atsižvelgti. Šią įtaką įvertinti galima analizuojant technologijas viso gyvavimo ciklo vertinimu.

## 2. GYVAVIMO CIKLO VERTINIMO METODIKA

„Life cycle assessment“ (toliau angl. *LCA*) metodika, tai gyvavimo ciklo vertinimas, lemiantis produktų, procesų ar paslaugų poveikį aplinkai, nuo produkto ar proceso gyvavimo pradžios iki pabaigos t.y. nuo pagaminimo, naudojimo ir sunaikinimo ar perdirbimo.

Kitaip tariant, metodika pagrįsta lyginant energijos sąnaudų ir naudingo atlikto darbo rezultatus bei su šių procesų vykimu susijusių poveikių aplinkai vertinimas viso įrenginio ar proceso gyvavimo periodu.



2.1 pav. Produkto gyvavimo ciklas<sup>2</sup>

Yra įvairių LCA metodikų, tačiau pagrinde susidaro iš keturių dalių:

- Tikslų apibrėžimas ir ribų nustatymas (kas yra neįtraukiama į tyrimą);
- Gyvavimo ciklo aprašas (angl. *life cycle inventory*, toliau – LCI) su susijusių procesų žaliavų sąnaudomis ir rezultatais;
- Galimo aplinkai poveikio analizė, vertinama pagal gyvavimo ciklo aprašą;

---

<sup>2</sup> <https://thelcacentre.com/wp-content/uploads/sites/10/2016/03/wat-is-ean-lca-en-1280-500.png>

- Tobulinimo analizė, kuri parodo tobulinimo galimybes sumažinti žaliavas ar energijos kaštus. Taip pat rezultatų interpretacija atsižvelgiant į poveikio etapus bei kitus rezultatus.

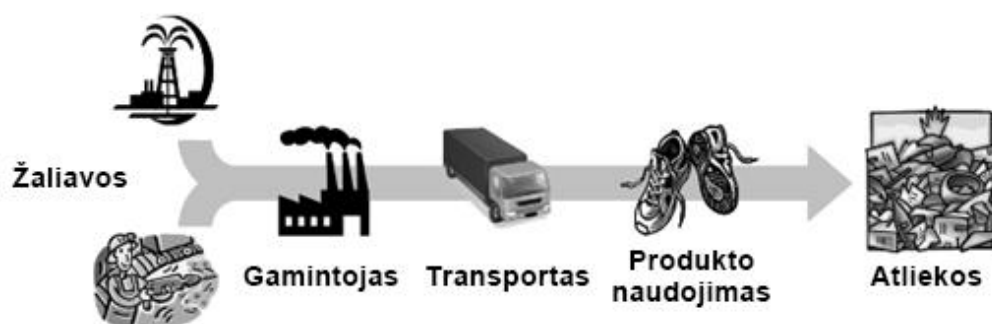
Gyvavimo ciklo vertinimas tapo vertingu sprendimų priėmimo įrankiu, tiek politinėms jėgoms, tiek pramonės sektoriui, nes vyriausybės reglamentai pereina „gyvavimo ciklo atskaitomybės“ kryptimi t.y., kad gamintojas yra atsakingas ne tik už tiesioginį gamybos poveikį aplinkai, bet ir apie poveikį, susijusį su produkto sąnaudomis, naudojimu, transportavimu ir šalinimu arba perdirbimu.

Be to verslas dalyvauja savanoriškose iniciatyvose, kuriose yra LCA ir produktų valdymo komponentai. Pavyzdžiui, standartas ISO 14040:2006 (ISO 14044 ir kitos standartų ISO 14040 serijos), kurie apibūdina gyvavimo ciklo vertinimo struktūrą ir principus, apibūdina santykį tarp LCA etapų ir elementų naudojimo sąlygų verčių pasirinkimo [18].

Taip pat, ekologinė pirmenybė tapo kriterijumi tiek vartotojų rinkose, tiek viešųjų pirkimų gairėse. Kartu šie pokyčiai davė pagrindinį vaidmenį LCA metodikai kaip priemonės, leidžiančios identifikuoti tiek gaminių, tiek medžiagų, iš kurių jie pagaminti, padarinius [6].

## 2.1. „Life cycle assessment“ metodo etapų variantai

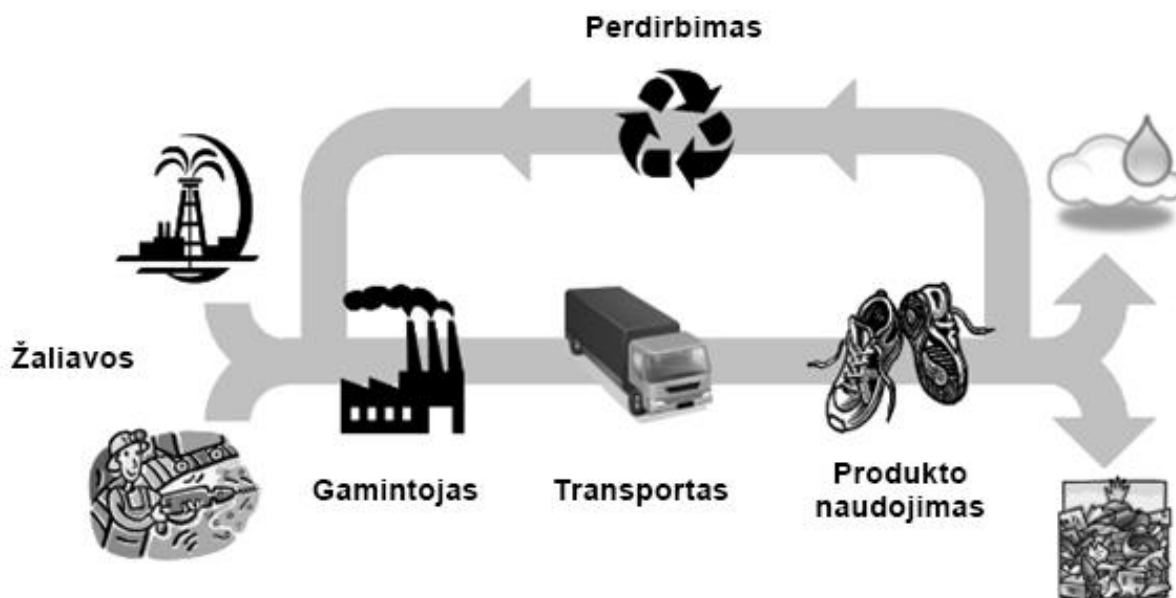
Yra įvairių LCA metodologijų, kurie taikomi skirtingiems produktams ar procesams pagal jų savybes. Pavyzdžiui, „nuo lopšio iki kapo“ (angl. *cradle-to-grave*) vertinimo metodas skirtas produktams, kuriuos nuo išgavimo (angl. *cradle*) ir po panaudojimo etapo produktas tampa atliekų dalimi arba yra sudeginamas (angl. *grave phase*) (žr. pav. 2.2) [7].



2.2 pav. „Nuo lopšio iki kapo“ vertinimo metodo eigos pavyzdys<sup>3</sup>

<sup>3</sup> [http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA\\_review.pdf](http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.pdf)

„Nuo lopšio iki lopšio“ (angl. *cradle-to-cradle*) arba uždaro rato metodika skirta produktams, kurie po panaudojimo yra perdirbami ir gaminant naujai tą patį produktą yra papildoma medžiagomis iš perdirbimo proceso (žr. pav. 2.3). Pavyzdžiui, asfaltas, stiklo tara ar kiti produktai, kurie po perdirbimo yra pakartotinai naudojami [19].



2.3 pav. „Nuo lopšio iki lopšio“ metodikos schemos pavyzdys<sup>4</sup>

„Nuo lopšio iki vartų“ (angl. *cradle-to-gate*) metodika yra dalinis produkto gyvavimo ciklo vertinimas nuo medžiagų išgavimo iki stadijos, kai yra pasiekiamas vartotojas. Kitaip tariant, nėra vertinamos naudojimo ir sunaikinimo dalys. Ši metodika dažnai taikoma norint įvertinti įtaką aplinkai B2B (angl. *business-to-business*) sektoriui [23].

„Nuo vartų iki vartų“ (angl. *gate-to-gate*) metodika yra dalinis LCA vertinimas, nes vertinama viena produkto ar proceso sudedamoji vertė iš viso proceso eigos. Dažnai šis būdas taikomas norint įvertinti vieno proceso įtaką. Po šios analizės rezultatus galima prijungti prie kito metodikos vertinimo [24].

„Nuo šulinio iki ratų“ (angl. *well-to-wheel*), tai specifinis metodas pritaikytas vertinti įtaką aplinkai susijusią su transporto priemonėms ir transporto priemonių kuro rūšimis. Šia analize dažniausiai vertinama norint palyginti skirtingą kuro rūšių energijos suvartojimą, energijos konversijos efektyvumus bei išmestus teršalų kiekius [20].

<sup>4</sup> [http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA\\_review.pdf](http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.pdf)

Ekonominis sąnaudų–rezultatų gyvavimo ciklo vertinimas (angl. *Economic input–output LCA*, sutrumpintai *EIO-LCA*), tai modelis skirtas ekonominio sektoriaus analizei, patikrinti kokią poveikį aplinkai galima priskirti atskiriems ekonomikos sektoriams ir nustatyti kaip jie siejasi. EIO–LCA analizė atskleidžia įvairius ekonominius sandorius, išteklių poreikius ir išmetamų teršalų kiekius (įskaitant įvairius gamybos, transportavimo, kasybos ir susijusias kitas dalis), reikalingus konkrečiam produktui ar paslaugai gaminti. Tokia analizė gali būti labai detali, turėti ilgus ryšius, kol bus pasiektas galutinis produktas [21].

LCA ekologijos pagrindu (angl. *ecologically based LCA*, sutrumpintai *ECO-LCA*), tai metodas pagrįstas labiau ekologiniu požiūriu. Šis metodas taikomas, norint iširti žmogaus tiesioginį ir netiesioginį poveikį naudingiems ištekliams ir ekosistemoms (dirvožemio erozija, potvynių prevencija ir kt.) [22].

Taip pat yra ir daug kitų, neaprašytų vertinimo etapų variantų. Jie yra parenkami atitinkamai pagal išsikeltą tikslą bei priklauso nuo tiriamo produkto tipo ar proceso.

## **2.2. „Life cycle assessment“ metodikos vertinimo ypatumai**

ISO 14040 šeimos standartai reikalauja aiškaus aprašytų produkto ar paslaugos „Life cycle assessment“ tyrimo tikslų ir nurodymų kokius rezultatus norima apžvelgti.

Iš gyvavimo ciklo metodologijos vertinimo pusės, svarbiausias aspektas, turintis rezultatų nuoseklumui ir skaidrumui, yra funkcinio vieneto apibrėžimas. Jį reikia pasirinkti tokį, kad būtų galima palyginti su kitais turimais duomenimis ir atspindėtų norimus rezultatus.

Taip pat didelę reikšmę turi pasiskirstymo principas ir naudojamos sistemos ribų išplėtimas. Tai reiškia, kad prieš darant gyvavimo ciklo vertinimą, reikia apibrėžti ciklo ribas ir vertinti parinktas produkto ar paslaugos etapus.

Kitas svarbus aspektas, neteisingi arba netikslūs duomenys vertinant gyvavimo ciklo metodikoje gali duoti blogus rezultatus bei išvadas. Yra rekomenduojama, kad naudojant LCA metodikos vertinimą, reikia apibrėžti aiškius duomenų panaudojimo tikslus ir tikslingai juos surinkti.

Atsižvelgiant į individualaus tyrimo apimtį, reikia taikyti tinkamus gyvavimo ciklo aprašų (LCI) duomenų rinkinius, kurie atspindėtų vietos sąlygas ir studijų laiko apimtį. Todėl supaprastintiems kriterijams, kad duomenys sutaptų tyrimuose, yra naudojami du metodai:

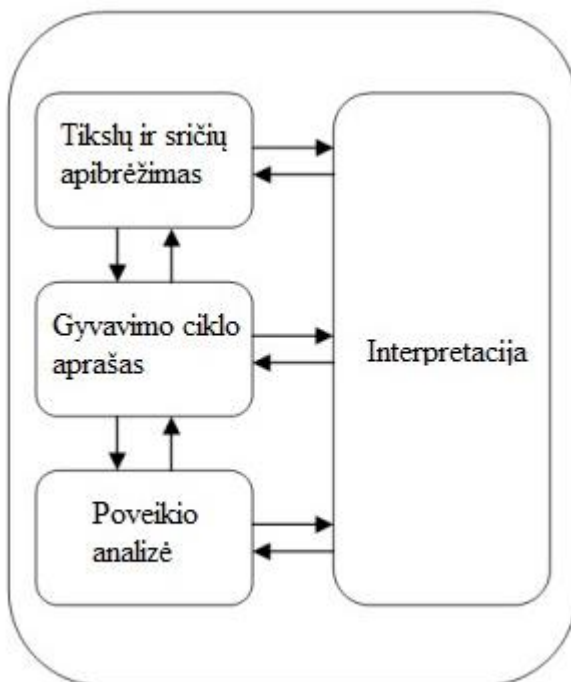
1. Grandininė procesų analizė (angl. *process chain analysis*, toliau – PCA);
2. Sąnaudų ir rezultatų analizė (angl. *input-output analysis*).

Sąnaudų ir rezultatų analizės metodas yra „kylantis“ metodas (kai einama nuo smulkesnių iki stambesnių detalių) imant duomenis tiesiogiai iš elektros gamybos vietovių. Palyginus su PCA metodu, ši analizė yra tikslesnė, bet tuo pačiu užima ilgesnį laiko tarpą surinkti duomenims. Tuo tarpu, grandinės procesų analizės metode dažnai išimamos nereikalingos grandys, kad rezultate būtų supaprastintas modelis.

Palyginus šiuos du metodus yra žinoma, kad kuo sudėtingesnis metodas, tuo didesnis rezultatų skirtumas gali būti tarp šių dviejų analizių [8].

### 3. GYVAVIMO CIKLO ANALIZĖS METODIKOS PARINKIMAS

Kaip minėta 2 skyriuje LCA metodika susidaro iš keturių dalių: tikslų ir sričių apibrėžimo, gyvavimo ciklo aprašo, poveikio analizės, rezultatų interpretacijos. Šių keturių dalių sąryšis pavaizduotas 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Gyvavimo ciklo blokinė schema<sup>5</sup>

Pirmoje gyvavimo ciklo dalyje – tikslų ir sričių apibrėžime (angl. *goal and scope definition*) – reikia apibrėžti produktą ar procesą, aprašyti jo kontekstą, kurio pagrindu bus atlikta analizė ir nurodyti proceso ribas bei aprašyti kokius aplinkosaugos aspektus bus nagrinėjami.

Taip pat, šioje dalyje yra apibrėžiamas funkcinis vienetas, t.y. kokia kryptimi bus orientuota analizė ir kas rezultate bus lyginama.

Antroje dalyje – gyvavimo ciklo apraše (angl. *inventory analysis*, toliau – LCI) – reikia nustatyti ir kiekybiškai įvertinti energiją, naudojamą medžiagas ir apibrėžti aplinkos poveikį įtakančius padarinius, pavyzdžiui, dujų emisijos, kietosios atliekos, vandens užterštumas ir kt.

Taip pat, reikia apibrėžti matavimo vienetus, nes pagal juos analizei yra ruošiami duomenys bei nepamiršti nurodyti renkamų duomenų laikotarpį.

---

<sup>5</sup> <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/lifeCyclePhases4.jpg>



Trečia dalis – poveikio analizė (angl. *impact assessment*). Šiame etape, iš surinktų duomenų, yra vertinamas žmogaus ir ekologinis poveikis aplinkai, energijai, sunaudotam vandeniui, medžiagoms ir kt. [25].

Kitaip tariant, šis etapas paaiškina ką kiekvienas elementas iš LCI daro ir kokia yra jo įtaka išvesties parametrui. Pavyzdžiui, gaminant elektrą deginant dujas yra vertinamos ŠESD emisijos nuo sudegintų dujų kiekio.

Taip pat šiame etape yra interpretuojami rezultatai pagal nustatytą funkcinį vienetą, bei kokius sąryšius turi tarpusavyje tarp antrame žingsnyje aprašytų elementų [26].

Ketvirtoji dalis yra rezultatų interpretacija (angl. *interpretation*). Kadangi, LCA metodika yra iteracinė, tai pirmas šio etapo žingsnis būtų patikrinti ar pagal surinktus duomenis nereiktų redaguoti bei papildyti išsikelta tikslo.

Kitas žingsnis – interpretuojant rezultatais apibendrinti įžvalgas, išvadas, nurodyti skaičiavimo prielaidas ir suformuoti rekomendacijas [25].

### 3.1. Tikslų ir sričių apibrėžimas

Kaip anksčiau minėta, prieš darant gyvavimo ciklo vertinimą, reikia apibrėžti ciklo ribas ir įvertinti parinktas produkto ar paslaugos etapus. Tai atliekama 3.2 skyriuje.

Pagrindinis gyvavimo ciklo vertinimo analizės tikslas yra nustatyti skirtingų vietovių saulės elektrinių įtaką aplinkai pagal parinktus kriterijus ir apskaičiuoti energijos atsipirkimo laiko rodiklį (angl. *energy payback time*, toliau – EPBT).

Parinktos dvi skirtingose vietovėse įrengtos saulės elektrinės, kurių pagrindiniai skirtumai yra apšvieta ir naudojamų modulių technologijos (žr. 2 lentelę). Šiuo pasirinkimu norima įvertinti technologijų įtaką skirtingose vietovėse.

2 lentelė. Vertinamų saulės elektrinių pagrindiniai parametrai

Vietovės numeris	Vietovė	Parko galia	Tipas	Modulių technologija	Apšvieta
1.	Lietuva	~1 MWp	Pastatytas ant žemės, fiksuota struktūra, prijungta prie tinklo	poly-Si ir mono-Si	~1000 kWh/m <sup>2</sup>
2.	Australija	~1 MWp	Pastatytas ant žemės, fiksuota struktūra, prijungta prie tinklo	poly-Si ir mono-Si	~1700 kWh/m <sup>2</sup>

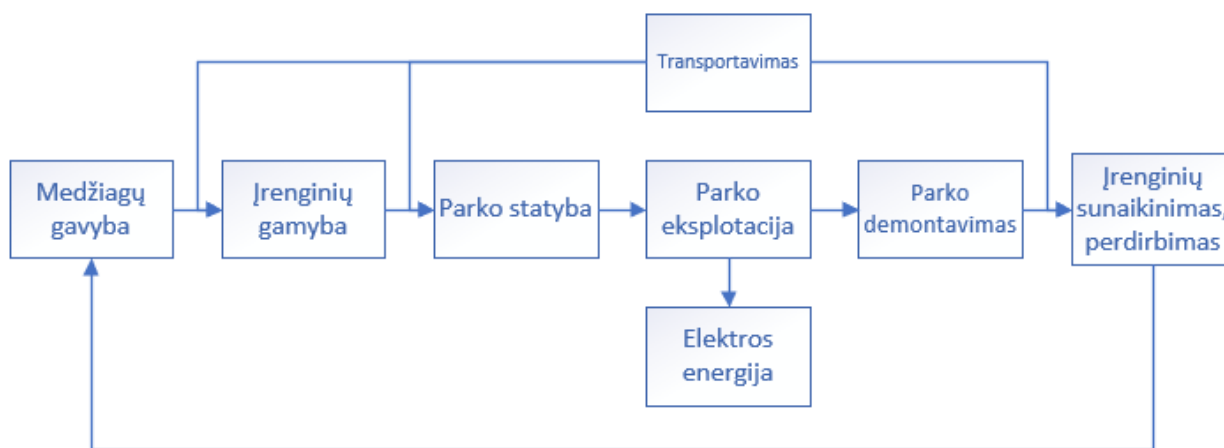
Kadangi, kai kurios saulės elektrinės įrenginių medžiagos gali būti perdirbtos ir vėl panaudotos, tai yra pasirenkama „nuo lopšio iki lopšio“ (angl. *cradle-to-cradle*) gyvavimo ciklo vertinimo metodologija (žr. 2.1 skyrių). Pavyzdžiui, perdirbti ir dar kartą panaudoti galima aliuminio konstrukcijas, kabelių laidininkus bei kitas medžiagas [33].

Parinktas funkcinis vienetas – pirminė energija išreikšta megadžauliais (MJ), kuria bus vertinamas EPBT (žr. 3.1 formulę). Taip pat bus skaičiuojamos gyvavimo ciklo metu išmestos dujų emisijos (ekv. CO<sub>2</sub>).

LCA metodo ribos dėl duomenų trūkumo gali būti susiaurintos ir paliktos vertinimui tik pagrindinės įrenginių medžiagos, kurios aprašytos ir pavaizduotos blokinėmis schemomis sekančiame skyriuje.

### 3.2. Gyvavimo ciklo aprašas (LCI)

Kaip anksčiau minėta, vertinant objekto gyvavimo ciklą yra svarbu apibrėžti visas ciklo ribas, t.y. nurodant cikle vertinamus etapus. Nuo kiekvieno papildomo gyvavimo etapo gali priklausyti LCA vertinimo rezultatai, todėl į saulės elektrinių vertinimą yra įtraukti 3.2 blokinėje schemoje pavaizduoti etapai.



3.2 pav. Gyvavimo ciklo vertinimo etapų ribos

Nemažiau yra svarbu apibrėžti atskirai kiekvieną ciklo etapą. Reikia nurodyti kokie elementai gali turėti įtakos energijos suvartojimui ar šiltnamio dujų emisijose bei nepamiršti įvertinti ir transportavimo, saulės parko statybos bei demontavimo darbų energijos suvartojimus.

Apibrėžus saulės elektrinės gyvavimo ciklą jį įvertinti galima apskaičiuojant energijos atsipirkimo laiką (EPBT):

$$EPBT = \frac{E_{PV} + E_{BOS} + E_{trans} + E_{stat} + E_{demont}}{E_{output}} \quad (3.1)$$

čia:  $E_{PV}$  – PV modulių pirminė energija gyvavimo ciklo metu, MJ;

$E_{BOS}$  – kitų saulės elektrinės įrenginių gyvavimo ciklo energija, MJ;

$E_{trans}$  – transportavimo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{stat}$  – saulės parko statymo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{demont}$  – saulės parko demontavimo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{output}$  – saulės elektrinės pagaminta metinė elektros energija, MJ.

$EPBT$  indikatorius yra apibrėžtas kaip laikotarpis, kuro reikia saulės elektrinei sugeneruoti tam tikrą pirminės energijos kiekį, kuris buvo suvartotas per elektrinės gyvavimo laikotarpį, apimančią modulių gamybą, surinkimą, transportavimą, eksploataciją ir kitus etapus [27].

Elektros gamyba iš atsinaujinančios energetikos sektoriaus nėra 100 % švari, kaip anksčiau jau aptarta, kai kuriais gyvavimo etapais taip pat yra išmetamos į aplinką šiltnamio dujos. Saulės elektrinėse šiltnamio dujų emisijos faktoriai priklausomai svyruoja tarp 13 – 190 kg ekv. CO<sub>2</sub>/MWh, azoto oksidai (NO<sub>x</sub>) svyruoja tarp 0,15 – 0,4 kg/MWh, sieros dioksidas (SO<sub>2</sub>) tarp – 0,12 ir 0,29 kg/MWh [8].

Šiam įvertinimui darbe skaičiuojamas ŠESD emisijų „sutaupymai“ –  $GHG_{rate}$  (3.2 formulė). Ši vertė parodo, kiek yra sutaupoma ekv. CO<sub>2</sub> emisijų lyginant su kitais aplinką teršiančiais elektros generavimo šaltiniais.

$$GHG_{rate} = E_{output} \cdot LCE_{grid} - LCE_{system} \quad (3.2)$$

čia:  $E_{output}$  – pagamintos elektros energijos kiekis per saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį, MWh;

$LCE_{grid}$  – vidutinis CO<sub>2</sub> kiekis, tenkantis vienam vienetui elektros energijos, kurią gamina tinklas, kg ekv. CO<sub>2</sub>/kWh;

$LCE_{system}$  – bendros ekvivalentinės emisijos išskirtos saulės elektrinės įrenginių gamybos ir transportavimo metu, kg ekv. CO<sub>2</sub> [57].

### 3.2.1. Įrenginių gamybos duomenys

Pilnam, efektyviam saulės parkui pastatyti ir eksploatuoti reikia nemažai įrenginių, tačiau dėl ribotų duomenų kiekio bei labai didelio modelio yra parenkami pagrindiniai įrenginiai, kurie sudaro ir atstoja pagrindines saulės parko dalis.

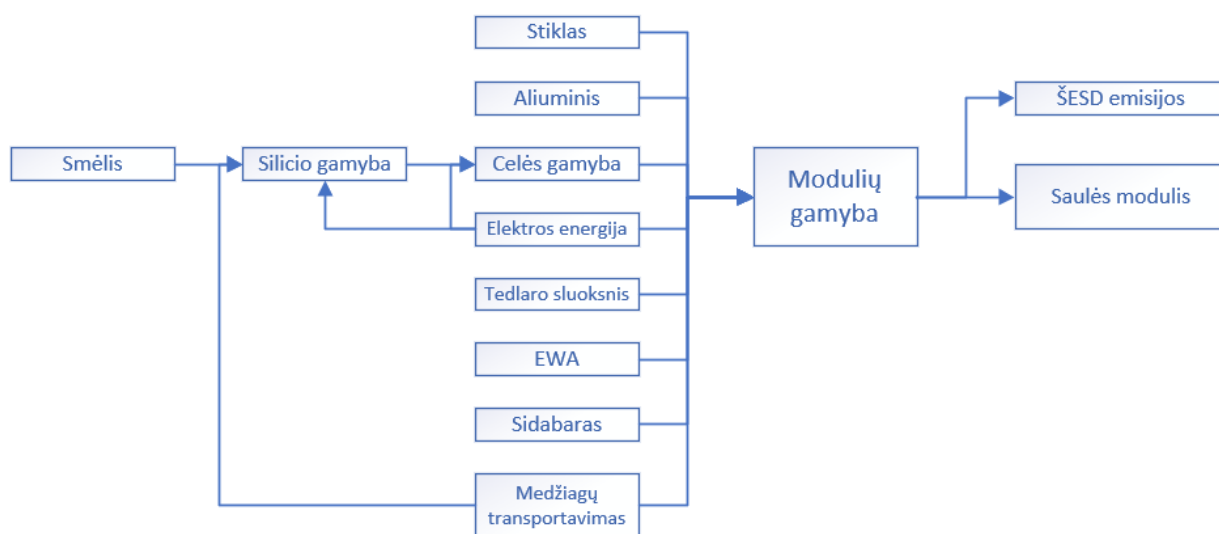
Papildomi saulės elektrinės eksploatavimui reikalingi komponentai yra vadinami sistemos balansu (angl. *balance of system*, toliau – BOS) [27].

Pagrindiniai papildomi įrenginiai: inverteriai, konstrukciniai elementai, kabeliai. Kadangi saulės elektrinės yra prijungtos prie žemos įtampos tinklo, tai transformatorius bei baterijų sistemos nėra reikalingos.

Apibrėžtos saulės elektrinės įrenginių ribos pavaizduotos 3.3, 3.4, 3.5 ir 3.6 schemose.

### 3.2.2. Saulės modulių gamybos ribos

Polikristalinių ir monokristalinių saulės modulių gamybos technologijos yra ganėtinai panašios, pagrindinis skirtumas – silicio kristalo auginimo technologija.



3.3 pav. Modulių gamybos principinė schema

Išgautas iš smėlio ir išaugintas silicio luitas yra supjaustomas į plonas plokšteles, kurios dažniausiai būna 156 x 156 mm<sup>2</sup> ploto, tačiau dėl skirtingų silicio apdorojimo būdo šie matmenys gali būti ir kitokie.

Toliau, yra silicio plokštelių apdorojimo etapas, kurio metu yra nuvalomi plokštelių mikro pažeidimai padaryti pjaustymo metu, sudaroma PN sandūra bei plokštelės padengiamos

atspindžius mažinančia danga, kurio dėka padidėja celių efektyvumas. Šie procesai yra sutraukti 3.3 schemos celės gamybos bloke.

Toliau, modulio gamybos etape plonais sidabro kontaktais yra sujungiamos celės į grupes, dažniausiai po 60-72 celes. Ir šis sluoksnis iš abiejų pusių yra uždengiamas etileno vinilacetato medžiaga (angl. *ethyl-vinylacetate*, sutrumpintai EWA).

Sekančiame etape modulio priekis yra uždengiamas stiklu, o galas – polyvinilo fluoridu (angl. *Tedlar film*). Visi šie sluoksniai yra suspaudžiami ir šonai užglaistomi, tada uždedamas aliumininis rėmelis, kuris sutvirtina, apsaugo modulį nuo pažeidimų ir palengvina modulio tvirtinimą prie kitų konstrukcijų [27].

Energijos sunaudojimas skirtingais modulio gamybos etapais pavaizduotas 3 lentelėje.

3 lentelė. Saulės modulio gamybos etapais sunaudota energija [37]

Etapas	Gamybos etapas	Vertė
1	Silicio dioksido išgavimas	0,2 kWh <sub>th</sub> /kg mg-Si
2	Silicio išgavimas	51,3 kWh/kg mg-Si
3	Silicio gryninimas	106 kWh <sub>th</sub> /kg sog-Si
4	Celių gamyba	0,19 kWh/celė
5	Cheminis apdorojimas	–
6	n sluoksnio formavimas	0,11 kWh/celė
7	Elektrinių kontaktų dėjimas	0,11 kWh/celė
8	Saulės modulio surinkimas	3,8 kWh/celė

Metalurginis silicis (angl. *metallurgic silicon*, toliau – mg-Si) yra 98 % grynumo silicis, kuris nėra pakankamas saulės celėms gaminti, todėl yra papildomas gamybos etapas, kurio metu silicis yra dar labiau išgryninamas (angl. *solar-grade silicon*, toliau – sog-Si) [37].

5 etape elektros ir terminės energijos nėra naudojamos. Toliau, norint įvertinti medžiagų gavybos metu sunaudotą energiją yra sudaromas pagrindinių medžiagų sąrašas su reikalingu energijos kiekiu išgavimo ar medžiagos paruošimo metu (4 lentelė). Svoriai pateikti vertinant 72 modulio celes.

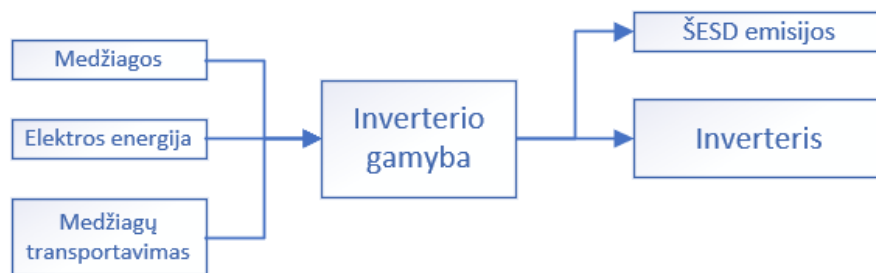
4 lentelė. Sunaudojama energija išgauti reikalingoms medžiagoms modulių gamybai [37]

Medžiaga	Medžiagų svoris	Išgavimo metu sunaudota energija
Smėlis	3,874 kg/modulis	0,22 MJ/kg [42]
mg-Si	1,152 kg/modulis	(žr. 3 lentelę)
sog-Si	1,152 kg/modulis	(žr. 3 lentelę)
Stiklas	4,7 kg/modulis	20,08 MJ/kg [42]
Aliuminis	1,2 kg/modulis	41,7 kWh <sub>th</sub> /kg [32]

Polyvinilo fluorida sluoksnis	0,6 kg/modulis	317 MJ/kg [44]
EWA	0,091 kg/modulis	35,4 MJ/kg [45]
Sidabras	0,0634 kg/modulis	128,2 MJ/kg [42]

### 3.2.3. Inverterio gamybos ribos

Kita saulės elektrinės pagrindinė dalis, tai inverteris, kurio pagrindinė funkcija yra keisti nuolatinę srovę į kintamą. Tai yra daroma tam, kad elektrinę būtų galima prijungti prie kintamos srovės perdavimo tinklo ir elektra pasiektų buitinius vartotojus [36].



3.4 pav. Inverterio gamybos principinė schema

Dėl inverteryje esančių smulkių elektronikos dalių ir ilgo gamybos proceso – blokinė schema yra supaprastinta (žr. 3.4 paveikslas).

Inverterio gamybos metu yra naudojama kelių skirtingų rūšių energija: elektros energija – surenkant elektronikos schemas bei šiluminė energija – išgaunant medžiagas, gaminant korpusą ir kitas inverterio dalis.

Energijos suvartojimas skirtingais inverterio gamybos etapais yra pateiktas bendrai. Taip pat, pirminiai duomenys yra perskaičiuoti į gyvavimo cikle vertinamo inverterio nominalią galią (žr. 5 lentelę).

Kaip ir saulės moduliai, taip ir inverteriai turi atlaikyti apibrėžtą laikotarpį (apie 25 metus), tačiau šiems įrenginiams kas 10 metų reikia papildomos priežiūros bei kai kurių detalių keitimo, kuris yra vertinamas 10 % nuo bendros įrenginio masės (žr. 10 lentelę) [35].

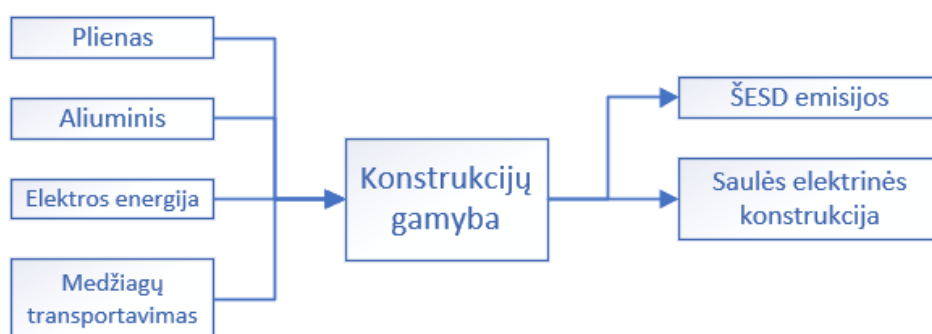
5 lentelė. Reikalingas energijos kiekis inverterio pagaminimui [43]

Energijos tipas / Medžiaga	Medžiagų svoris	Sunaudota energija
Elektros energija	–	130,2 kWh
Šiluminė energija	–	53,528 MJ
Varis	23,7 kg	19,44 kWh <sub>th</sub> /kg [32]

Aliuminis	61,5 kg	41,7 kWh <sub>th</sub> /kg [32]
Geležis	11,1 kg	24,62 MJ/kg [42]

### 3.2.4. Saulės elektrinės konstrukcijų gamybos ribos

Kadangi, saulės parko gyvavimo laikotarpis yra apie 25 metus, tai reikia patikimų konstrukcijų, kurios atlaikytų visos elektrinės gyvavimo metu vykstančią koroziją bei tuo pačiu būtų tvirta ir patikima. Šias technines savybes turi cinkuotas plienas bei aliuminis, kurie ir plačiausiai naudojami saulės elektrinėse.



3.5 pav. Saulės parko konstrukcijos principinė schema

Dėl konstrukcijų įvairovės, kurių reikia saulės elektrinės parkui pastatyti ant žemės, yra supaprastinamas modelis ir yra skaičiuojama sunaudota energija per reikalingos medžiagos svorį (žr. 6 lentelę) [32].

Taip pat šias medžiagas nesunkiai galima perdirbti, todėl gyvavimo ciklo vertinimui pasirinkta, kad 30 % naujų konstrukcijų yra iš perdirbtų medžiagų.

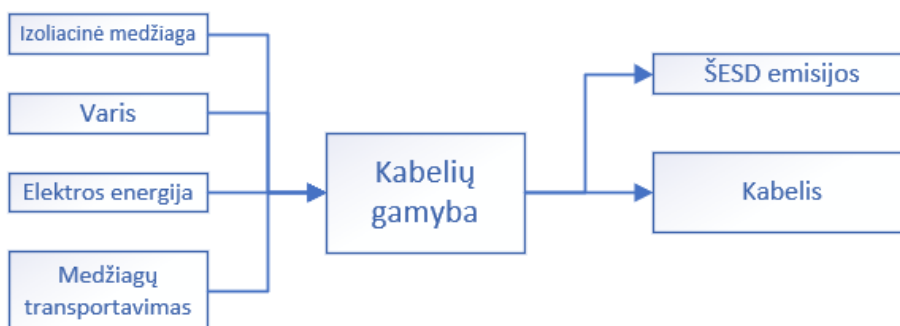
6 lentelė. Reikalingas energijos kiekis konstrukciniam elementui pagaminimui [32]

Medžiaga	Naujų medžiagų gamybos energija	Perdirbtų medžiagų gamybos energija
Cinkuotas plienas	9,72 kWh <sub>th</sub> /kg	2,5 kWh <sub>th</sub> /kg
Aliuminis	41,7 kWh <sub>th</sub> /kg	2,08 kWh <sub>th</sub> /kg

### 3.2.5. Saulės elektrinės kabelių gamybos ribos

Saulės elektrinėse būna dviejų tipų kabeliai: nuolatinės ir kintamos srovės. Pagrindinės kabelių sudedamosios medžiagos yra laidininkas, kuris pernešą elektros srovę. Dažiausiai jie būna

aliumininiai ir variniai. Kadangi, varinių kabelių mažesnė varža, tai bus mažesni ir įtampos bei galios nuostoliai, todėl jie bus ir parinkti modeliuojant saulės parką [30].



3.6 pav. Saulės elektrinės kabelio gamybos principinė schema

Kita pagrindinė kabelio medžiaga, tai izoliacija. Jų yra įvairių rūšių: PVC, PE, XLPE ir kt. Kiekviena izoliacinė medžiaga turi savo teigiamas bei neigiamas puses, todėl saulės elektrinės eksploatavimui parinkti plačiausiai naudojami kabeliai [31].

Taip pat, gyvavimo ciklo vertinimui pasirinkta, kad 30 % kabelių gamybai reikalingo vario yra iš perdirbtų medžiagų. Energijos suvartojimo duomenys pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Reikalingas energijos kiekis kabelių pagaminimui

Medžiaga	Naujų medžiagų gamybos energija	Perdirbtų medžiagų gamybos energija
Varis	19,44 kWh <sub>th</sub> /kg [32]	13,9 kWh <sub>th</sub> /kg [32]
Izoliacinė medžiaga	23,083 kWh <sub>th</sub> /kg [42]	–

### 3.2.6. Transportavimo etapų ribos

Transportavimo metu sunaudota energija bei emisijos priklauso nuo medžiagų gavybos vietovių, įrenginių gamyklų bei saulės parko statymo aikštelės. Šie atstumai apibrėžti sekančiuose skyriuose.

Taip pat ŠESD emisijos ir energija priklauso ir nuo transportavimo rūšies: keliais, geležinkeliais, vandeniu ar oru [28]. Šiame etape analizuojant transporto sektorių visada galima rekomenduoti ekonomišką ir aplinkai draugišką transportavimo būdą.

Tarpusavyje vertinami standartiniai transportavimo būdai. Jų sunaudotas energijos kiekis per kilometrą pateiktas 8 lentelėje. Oro transportavimas gyvavimo ciklo vertiname nėra naudojamas, todėl nėra ir lyginamas.



8 lentelė. Transporto sunaudotas energijos kiekis vienam kilometrui [39]

<b>Transporto tipas</b>	<b>Transporto priemonė</b>	<b>Sunaudojamas energijos kiekis</b>
Keliais	Sunkvežimis (20 t)	0,69 MJ/t km
Geležinkeliu	Elektrinis traukinys	0,18 MJ/t km
Vandeniui	Laivas	0,19 MJ/t km

Iš pateiktų duomenų galima teigti, kad mažiausiai energijos naudojantis transportas yra geležinkeliai, tačiau ne visur yra prieinamų tokio tipo susisiekimo. Dažniausiai esant ilgiems atstumams yra kombinuojamas gabenimas vandeniui su medžiagų gabenimu keliais ar geležinkeliais.

### 3.2.7. Saulės elektrinės statybos ribų apibrėžimas

Saulės elektrinės statymo etapu energija yra vartojama technikos eksploatavimo metu ir žmogiškaisiais ištekliais (darbo valandos).

Vidutiniškai 2 MW parką pastatyti reikia 8 žmonių, kurie dirbtų 80 valandų. Pagal šiuos duomenis yra perskaičiuota į esamas parkų galias (žr. 9 lentelę) [34].

Pilna aktyvios veiklos darbo diena darbininkui vidutiniškai reikalauja 16,42 MJ (3 925 kcal) energijos [38].

Parko statybos metu dažniausiai yra reikalingos kuolų kalimo mašinos bei transporto priemonės skirtos gabenti saulės modulius bei konstrukcinius elementus. Šių įrenginių eksploatacija ir yra vertinama.

Vienas galonas (3,785 litro) benzino išskiria vidutiniškai 130 MJ energijos [40]. Sunkių svorio kilnojimo ar panašaus darbo pobūdžio transporto priemonės vidutiniškai sunaudoja 2,6 litro kuro per darbo valandą [41]. Pagal šiuos duomenis yra perskaičiuota sunaudota energija (žr. 9 lentelę).

9 lentelė. Saulės elektrinės statymo metu sunaudota energija, MJ [34]

<b>Įrenginio rūšis</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Darbo valandos</b>	<b>Sunaudota energija</b>
Darbininkai	8	40	2,053 MJ/h
Kuolų kalimo mašina	1	16	89,3 MJ/h
Transportavimo mašina	2	40	89,3 MJ/h

Bendra energija, reikalinga saulės parko statybai yra suskaičiuota 4.4. skyriuje.

### 3.2.8. Saulės elektrinės eksploatavimas

Svarbu apsibrėžti saulės elektrinės eksploatavimo laikotarpį. Modulių gamintojai dažniausiai duoda 25–30 metų garantiją bei bent po 20 metų 80 % našumo išlaikymą. Detalesni gamintojo specifikuojami galios išlaikymai bei skaičiavimai pateikiami sekančiuose skyriuose.

Kiti sistemos balanso įrenginiai: elektros kabeliai, konstrukcijos tarnauja panašų laikotarpį. Tačiau inverteriai turi trumpesnę veikimo laiką po kurio reikia įrenginius rekonstruoti. Per šį etapą reikia įvertinti jo metu sunaudotą energiją.

Rekonstrukcijos planuojamos kas 10 metų, kurių metu bus atliekama papildoma inverterių priežiūra bei detalių keitimas, kuris yra vertinamas 10 % nuo bendros įrenginio masės (žr. 10 lentelę) [35].

10 lentelė. Inverterių rekonstrukcijos metu sunaudotas energijos kiekis

<b>Eksploatavimo laikotarpis</b>	<b>Papildoma reikalinga energija</b>
10	10 %
20	10 %
25	5 %

Iš 10 lentelės duomenų matoma, kad 25 metų laikotarpiui papildomai reikės 25 % daugiau energijos, kuri suvartojama atnaujinant saulės elektrinės inverterius.

Eksploatuojant saulės elektrinę reikia įvertinti, kad valdymo įrenginiai savo reikmėms taip pat suvartos elektros energiją, todėl galutiniame elektros gamybos rezultate reiktų atimti šią suvartotą energiją iš pagamintos elektros energijos. Šis skaičiavimas įtrauktas modeliuojant saulės elektrinių metines generacijas.

### 3.2.9. Elektros energijos skaičiavimo ribos

Elektros energijos skaičiavimai atliekami pasitelkiant „PVsyst“ saulės elektrinių generacijos prognozavimo programą, kuri pagal suprojektuotą sistemą suskaičiuoja kasmetinę elektros energijos gamybą pasirinktam laikotarpiui.

Ši programa skirta naudoti architektams, inžinieriams bei tyrėjams. Taip pat yra labai naudinga švietimo priemonė dėl programos lanksčių galimybių vertinant saulės elektrinių įvairius parametrus ir gaunant jų rezultatus. „PVsyst“ programoje yra išsamus kontekstinis pagalbos meniu, kuriame paaiškinamos naudojamos procedūros ir modeliai.

Be to, programa turi meteorologinių duomenų importavimo funkciją, dideles modulių ir inverterių duomenų bazes [29].

Programos įvesties duomenys ir skaičiavimai pateikti 4.1. skyriuje.

### 3.2.10. Parko demontavimas ir įrenginių sunaikinimas (utilizavimas)

Saulės elektrinės, kai dauguma modulių tampa pažeisti ir kiti įrenginiai tampa neefektyvūs arba pasibaigus saulės modulių tarnavimo laikui, parkai yra išardomi, o buvęs užimtas žemė plotas pakeičiamas į kitą paskirtį.

LCA vertinimo metu yra svarbus etapas išanalizuoti įrenginių sunaikinimą bei galimų medžiagų perdirbimo metu sunaudotą energiją.

Kadangi saulės modulių tarnavimo laikas yra gan didelis ir svyruoja tarp 25–30 metų, tai dar šiomis dienomis nėra iki galo paruošta standartų ir procesų kaip mažiau teršiant aplinką utilizuoti panaudotus saulės elektrinės įrenginius. Tačiau žiūrinti į ilgalaikes perspektyvas ši problema ateityje taps vis aktualesnė.

Atliktame inovatyvaus fotovoltinių modulių perdirbimo tyrime buvo suskaičiuota kiek energijos yra suvartojama perdirbant saulės modulius. Rezultatai pateikti 11 lentelėje [33].

11 lentelė. Saulės modulių sunaikinimo sąnaudos ir ekv. CO<sub>2</sub> emisijos [33]

Saulės modulių atliekų svoris	Suvartota energija	CO <sub>2</sub> emisijos
1 000 kg	2 780 MJ	370 kg ekv. CO <sub>2</sub>

Kitų pagrindinių saulės parkų įrenginių (inverteriai, konstrukciniai elementai, kabeliai) perdirbimas yra įvertinamas tokiu pat energijos dydžiu, kokio reikėjo juos pagaminti.

Reikia nepamiršti, kad prie saulės parko išrinkimo prisideda papildomas technikos eksploatavimas, žmogiškieji ištekliai bei medžiagų transportavimas iki perdirbimo punktų. Gyvavimo ciklo vertinime yra priimama, kad demontavimo metu sunaudotas energijos kiekis yra toks pat, kaip ir statymo metu sunaudota energija.

### 3.3. ŠESD emisijų skaičiavimas

Dėl duomenų trūkumo ŠESD emisijos yra skaičiuojamos apibendrintai naudojant „PVsyst“ programos anglies dioksido skaičiavimo įrankį (angl. *carbon balance tool*) bei programos duomenų bazę.

Šis programos įrankis įvertina CO<sub>2</sub> kiekio sumažėjimą įrengus atitinkamą saulės elektrinę. Gyvavimo ciklo emisijos (angl. *Life Cycle Emissions*, toliau – LCE) yra išreiškiamos visos saulės elektrinės gyvavimo ciklo metu sutaupytų CO<sub>2</sub> emisijų kiekiu (t ekv. CO<sub>2</sub>) [57].

LCE vertinime yra įtrauktos dalys: saulės modulių, konstrukcijų, inverterių ir kabelių gamybos metu išskirtos emisijos. Taip pat programoje yra įvertinta įtaka aplinkai modulių transportavimo bei demontavimo metu. Šios emisijos pateiktos 12 lentelėje.

12 lentelė. Išmetamos CO<sub>2</sub> emisijos saulės elektrinės gyvavimo ciklo dalyse [57]

<b>Etapas</b>	<b>CO<sub>2</sub> emisijos, kg ekv. CO<sub>2</sub></b>
Saulės modulių gamyba (Kanada)	397
Saulės modulių gamyba (Indonezija)	1 591
Saulės modulių transportavimas keliais	0,035
Saulės modulių transportavimas vandeniu	0,060
Konstrukcijų gamyba (Lietuva)	1,12
Konstrukcijų gamyba (Australija)	5,65
Inverterių gamyba (Olandija)	281
Inverterių gamyba (Kinija)	522
Kabelių gamyba (Lietuva)	3,14
Kabelių gamyba (Australija)	15,8
Saulės modulių utilizavimas	8,288 [33]

Kadangi saulės elektrinės elektros gamybos etapu nėra generuojamos ŠESD emisijos, tai yra priimtas palyginamasis koeficientas.

Tarptautinė energetikos agentūra (angl. *International Energy Agency*, toliau – IEA) yra paskelbusi vidutinės CO<sub>2</sub> emisijos vertes per kilovatvalandę skirtingiems regionams. Šios vertės ir bus naudojamos ŠESD emisijų balansui skaičiuoti. Vertės pateiktos 13 lentelėje [57].

13 lentelė. Skirtingų regionų vidutinis CO<sub>2</sub> kiekis per kilovatvalandę [57]

<b>Vietovė</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/kWh</b>
Lietuva	0,168
Australija	0,847

## 4. POVEIKIO ANALIZĖ

Kaip anksčiau aprašyta, šiame skyriuje yra skaičiuojama viso gyvavimo ciklo metu sunaudota energija bei į aplinką išmestos ŠESD emisijos.

Kadangi, energija gali būti išreikšta keliomis formomis: šiluminė, elektros energija, tai apibrėžtas funkcinis vienetas yra pasirinktas pirminė energija išreikšta megadžauliais (MJ).

### 4.1. Saulės elektrinių pagamintos energijos skaičiavimai

Kaip anksčiau minėta, saulės elektrinių pagaminta elektros energija skaičiuojama vykdant parinktų įrenginių moduliavimą. Prognozė daroma viso saulės fotovoltinių modulių tarnavimo laikotarpiui. Kadangi, metalinės konstrukcijos, kabeliai turi didesnę tarnavimo laikotarpį, o inverteriai – remontuojami jiems sugedus, todėl atsižvelgiama į saulės modulių tarnavimo laikotarpį. Pasibaigus šiam laikotarpiui PV moduliai yra utilizuojami ir saulės elektrinė yra išrenkama.

Tarptautinė energetikos agentūra (IEA) yra nurodžiusi standartinius saulės elektrinių našumo parametrus, kurie yra vertinamai norint sužinoti išankstines saulės elektrinės galimybes. Šie pagrindiniai parametrai yra vertinami ir „PVsyst“ programoje. Žemiau pateikti pagrindiniai parametrai bei jų skaičiavimo formulės [46].

Bendras produkcijos kiekis (angl. *reference yield*) – tai bendras produkcijos kiekis, kai sistema veikia vardiniais parametrais. Matematiškai išreikštas kaip horizontalios ir bendros apšvietos santykiu [46]:

$$Y_r = \frac{H_t}{G_0} \quad (4.1.1)$$

čia:  $Y_r$  – bendras produkcijos kiekis, kWh/m<sup>2</sup>/diena;

$H_t$  – bendra apšvieta į horizontalią plokštumą, kWh/m<sup>2</sup>/diena;

$G_0$  – standartinių bandymo sąlygų bendra apšvieta, kWh/m<sup>2</sup>/diena.

Grandinės produkcija (angl. *array yield*) – tai vienos, nuolatinės srovės, elektros grandinės pagamintas energijos kiekis. Ši vertė išreiškiama modulių elektrinės grandinės energijos santykiu su fotovoltinės sistemos nominalios galios verte [46]:

$$Y_a = \frac{E_{DC}}{P_0} \quad (4.1.2)$$

čia:  $Y_a$  – bendras el. grandinės energijos kiekis, kWh;

$E_{DC}$  – el. grandinės nuolatinės srovės kiekis, kWh;

$P_0$  – nominali modulių grandies galia, kW;

El. grandinės nuolatinės srovės kiekis apskaičiuojamas (4.1.3) formule [46]:

$$E_{DC} = V_{DC} \cdot I_{DC} \cdot t \quad (4.1.3)$$

čia:  $V_{DC}$  – bendra el. grandinės įtampa, V;

$I_{DC}$  – bendra el. grandinės srovė, A;

$t$  – laiko dedamoji, valandos.

Galutinė sistemos produkcija (angl. *final system yield*) – tai galutinis energijos kiekis perduotas į elektros tinklą. Ši vertė apskaičiuojama kaip fotovoltinės sistemos kintamos srovės produkcijos santykiu su fotovoltinės grandinės maksimalia galia [46]:

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_p} \quad (4.1.4)$$

čia:  $Y_f$  – galutinė sistemos produkcija, kWh/kWp/diena;

$E_{AC}$  – fotovoltinės sistemos kintamos srovės produkcija, kWh;

$P_p$  – fotovoltinės grandinės maksimali galia, kW.

Be aprašytų produkcijos parametrų yra svarbus ir nuostolių įvertinimas, kurie turi įtakos fotovoltinės sistemos našumui. Nuostoliai elektrinėje sistemoje atsiranda kiekvienoje sistemos sudedamoje dalyje, tačiau galima išskirti kelis pagrindinius: el. grandinės įsisavinimo nuostoliai ir sistemos nuostoliai [46].

Taip pat šie ir papildomi nuostoliai yra įvertinti ir „PVsyst“ programoje. Nuostolių priimtos vertės aprašytos sekančiame skyriuje.

Grandinės įsisavinimo nuostoliai (angl. *array capture losses*) – tai skirtumas tarp bendro produkcijos kiekio ir grandinės produkcijos. Pagrindė šie nuostoliai atsiranda dėl temperatūros

svyravimų modulio celėje, dalinio modulio šėšėliavimo, dulkių sluoksnio ant modulio paviršiaus ir kitų faktorių [46].

$$L_C = Y_r - Y_a \quad (4.1.5)$$

čia:  $L_C$  – grandinės įsisavinimo nuostoliai, kWh.

Sistemos nuostoliai (angl. *system losses*) – tai skirtumas tarp grandinės produkcijos ir galutinės sistemos produkcijos. Šiuos nuostolius lemia į tinklą integruoti įrenginiai, pavyzdžiui, inverteriai [46].

$$L_S = Y_a - Y_f \quad (4.1.6)$$

čia:  $L_S$  – sistemos nuostoliai, kWh.

Našumo santykis (angl. *performance ratio*) – tai santykis tarp galutinės sistemos produkcijos ir bendros produkcijos kiekio. Našumo santykis taip pat gali būti apskaičiuotas kaip perduotos energijos santykis su spinduliuotės kiekiu tenkanti generuojančiai plokštumai [46]:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{E_{grid}}{GlobInc} \quad (4.1.7)$$

čia:  $E_{grid}$  – perduota kintamos srovės energija į elektros tinklą, kWh;

$GlobInc$  – spinduliuotė tenkanti generuojančiai plokštumai.

Kadangi šie skaičiavimai yra gan sudėtingi ir turi būti kuo tikslesni, todėl jie bus suskaičiuoti su „PVsyst“ programa.

Modeliavimui įvykdyti reikia nustatyti vietovę ir pagal ją yra sugeneruoti meteorologinius duomenis (apšvieta, temperatūra ir kt.). Skaičiavimuose naudojama „Meteonorm“ 7.2 (1991-2010) meteorologiniai duomenys.

Kitas žingsnis yra aprašyti saulės modulių ir inverterių jungimą ir dėl tikslesnės prognozės nurodyti saulės elektrinėje esančius nuostolius.

#### 4.1.1. Modulių techninės specifikacijos

Viso gyvavimo ciklo vertinimui parenkami vieni iš populiariausių saulės modulių, Kanados įmonės, saulės moduliai – „Canadian Solar“. Aukštus modulio kokybės standartus užtikrina 15 metų patirtis saulės modulių gamybos srityje. Šio gamintojo moduliai turi griežtus kokybės reikalavimus, todėl užtikrina 25 metų linijinės galios garantiją [47] [48].

Ši garantija reiškia, kad metinis saulės modulio galios praradimas bus ne didesnis nei numatytas specifikacijose ir 25-taisiais metais modulio galia nebus mažesnė už nurodytą lyginant su nominalia galia. Saulės modulių specifikacijos ir galios praradimai yra pateikti 14 lentelėje [49].

14 lentelė. Saulės modulių galios pokyčiai

Saulės modulių pavadinimas	Tipas	Galia, W	Efekt yvumas, %	Garantijos laikotarpis	Pirmų metų faktinė galia, %	Metinis galios mažėjimas, %	Faktinė galia garantijos laikotarpio pabaigoje, %
CS6U-335P	Poly-Si	335W	17,23	25	< 97,5	< 0,7	< 80,7
CS6U-335M	Mono-Si	335W	17,23	25	< 97	< 0,7	< 80,2

Saulės modulių pilnos gamintojo teikiamos specifikacijos yra pateiktos 1 ir 2 prieduose.

#### 4.1.2. Inverterio techninės specifikacijos

Kitas svarbus saulės parko elementas yra inverteris, dar kitaip vadinamas keitikliu. Šio prietaiso pagrindinė funkcija yra keisti nuolatinę į kintamą srovę. Šiuo atveju parinktas tinklas yra trijų fazių, tai srovė keičiama į trifazę, kintamą srovę. Inverteriai taip pat papildomai atlieka apsaugos, valdymo bei matavimo funkcijas.

Kadangi parkų dydžiai yra iki 10 MW, tai yra parenkami juostiniai inverteriai (angl. *string inverter*). Šių aptarnavimas, įrengimas bei transportavimas nuo gamyklos iki saulės parko yra paprastesnis lyginant su centrinio tipo inverteriais. Be to, jungiant modulių grandines į inverterį nereikia papildomų jungimų spintų kombinuojant grandines.

Šios išvardintos priežastys ir lemia juostinių inverterių pasirinkimą numatytų saulės parkų viso gyvavimo ciklo vertinime [50].

LCA vertinime yra parenkami „Huawei“ įmonės juostiniai „SUN2000-60KTL-M0“ inverteriai. Jie pasižymi 98,5 % efektyvumu, turi 6 maksimalios galios taško stebėjimus (angl.



*maximum power point tracking*, sutrumpintai MPPT) bei galimybę prijungti 12 atskirų modulių grandinių [51].

Saulės parko optimalių elektrinių parametrų parinkimas vykdomas anksčiau aprašyta „PVsyst“ programa. Programos aplinkoje yra sumodeliuojamas saulės parko modulių ir inverterių jungimas.

Nuosekliai jungtų modulių grandys yra parenkamos pagal inverterio įtampos veikimo režius prie skirtingų temperatūrų ir apšvietos. Šiuo atveju inverterio veikimo įtampa yra tarp 200 – 1000 V.

Parinktų modulių parametrai yra gan panašūs (žr. 1 ir 2 priedai), pagrindinis skirtumas – celių gamybos technologija. Todėl toliau skaičiavimai abiem variantams yra analogiški:

$$U_{mp} = n \cdot V_{mp(t)} \quad (4.1.2.1)$$

čia:  $U_{mp}$  – apskaičiuota įtampa;

$n$  – nuosekliai sujungtų modulių skaičius;

$V_{mp(t)}$  – modulio darbinė arba atviros grandinės įtampa prie atitinkamos temperatūros.

Pavyzdžiui, prie standartinių sąlygų (1000 W/m<sup>2</sup> apšvietos ir 25°C temperatūros), polikristalinių modulių įtampa su 18 modulių nuoseklia grandine apskaičiuota 4.1.2.1 formule:

$$U_{mp} = n \cdot V_{mp(t)} = 18 \cdot 37,4 = 673,2 \text{ V}$$

Toliau skaičiavimai yra analogiški su kitomis skirtingo elektrinės darbo režimo temperatūromis. „PVsyst“ programa taip pat perskaičiuoja ar nėra peržengiamos inverterio įtampos veikimo ribos.

Sekančiame žingsnyje yra skaičiuojamas inverterio gebėjimas atlaikyti maksimalias sroves. Iš inverterio specifikacijų (žr. 3 priedą) matome, kad maksimali darbinė bei trumpojo jungimo srovės atitinkamai yra 22 A ir 30 A vienam MPPT blokui.

Kaip anksčiau minėta, „SUN2000-60KTL-M0“ inverteris turi 6 MPPT blokus ir 2 jungtis per vieną bloką. Jungiant lygiagrečias grandines reikia patikrinti ar lygiagrečiai sujungtų modulių grandinių srovės nėra peržengtos. Tai patikrinama apskaičiuojant srovę 4.1.2.2 formule:

$$I_{mp} = l \cdot I_{mp(sc)} \quad (4.1.2.2)$$

čia:  $I_{mp}$  – apskaičiuota srovė;

$l$  – lygiagrečiai sujungtų modulių grandinių skaičius per MPPT bloką;

$I_{mp(sc)}$  – modulio darbinė arba trumpojo jungimo srovė.

Pavyzdžiui, polikristalinių (CS6U-335P) modulių darbinė srovė skaičiuojama:

$$I_{mp} = l \cdot I_{mp(t)} = 2 \cdot 8,96 = 17,92 \text{ A}$$

Visi kiti skaičiavimo rezultatai pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Saulės modulių ir inverterio jungimo skaičiavimų rezultatai

Skaičiuojamas parametras	Polikristaliniai moduliai (CS6U-335P)	Monokristaliniai moduliai (CS6U-335M)	Inverterio maksimalios reikšmės
Modulių galia, W	335	335	–
Nuosekliai sujungtų modulių skaičius, n	18	18	–
Darbinė įtampa ( $V_{mp}$ ), V	37,4	37,8	–
Darbinė srovė ( $I_{mp}$ ), A	8,96	8,87	–
Trumpojo jungimo srovė ( $I_{sc}$ ), A	9,54	9,41	–
$U_{mp}$ (60 °C), V	573	578	200–1000
$U_{mp}$ (25 °C), V	673,2	680,4	
$U_{oc}$ (-10 °C), V	920	926	
$I_{mp}$ , A	17,92	17,74	22
$I_{sc}$ , A	19,08	18,82	30
Lygiagrečiai sujungtų modulių skaičius, n	12	12	12 (6 MPPT po 2 jungtis)
Prijungta galia, kW	72,36	72,36	–
$P_{nom}$ santykis	1,21	1,21	1,25

Iš suskaičiuotų rezultatų lentelėje matome, kad inverteris pajungtas optimaliai, neperžengiant leistinų rėžių.

Paskutinėje 15 lentelės eilutėje yra suskaičiuotas inverterio perkrovimo koeficientas. Tai inverterio savybė, kai santykinai yra apkraunama daugiau DC pusė (daugiau saulės modulių) nei aprašyta specifikacijose inverterio nominali galia. Tai yra daroma dėl to, kad generacija būtų pasiekta didesnė, o išlaidos už inverterius būtų mažesnės. Naujesni keitikliai turi gebėjimą atlaikyti iki 125 % ir daugiau nominalios galios [52].

Šis faktorius apskaičiuojamas 4.1.2.3 formule:

$$P_{nom} = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \quad (4.1.2.3)$$

čia:  $P_{nom}$  – apskaičiuotas perkrovos faktorius;

$P_{DC}$  – nominali saulės modulių galia, kWp;

$P_{AC}$  – inverterio nominali galia, kVA.

#### 4.1.3. Saulės elektrinės nuostolių įvertinimas

Paskutiniai duomenys reikalingi atlikti saulės elektrinės elektros gamybos prognozę yra aprašyti nuostolius. Vieni jų jau paminėti 4.1 skyriuje, tačiau programa geba suskaičiuoti ir pasirinktinai papildomus nuostolius, kad galutinis rezultatas būtų tikslesnis.

Jų vertės ir paaiškinimai surašyti žemiau esančioje lentelėje [53].

16 lentelė. Saulės elektrinės nuostolių reikšmės ir paaiškinimai

Pavadinimas	Reikšmė	Paaiškinimas
DC grandinės kabelių nuostoliai	1,5 %	Įvertinami nuostoliai dėl nuolatinės srovės kabelio varžos.
AC grandinės kabelių nuostoliai	1,5 %	Įvertinami nuostoliai dėl kintamos srovės kabelio varžos.
Modulių efektyvumo nuostoliai	-0,4 %	Modulio efektyvumo nukrypimas nuo gamintojo specifikacijų.
Šviesos atspindžių sukeltas nuvertėjimas (angl. <i>light induced degradation</i> )	1,2 %	Nuostoliai atsiradę dėl atspindėjusių saulės spindulių į modulio paviršių.
Modulių nesutapimo nuostoliai	1,0 %	Nuostoliai daugiausia priklauso nuo to, kad modulių nuoseklioje grandinėje mažiausia srovė sumažina visos grandinės srovę.
Įtampos nesutapimo nuostoliai	0,1 %	Nuostoliai dėl modulių šiek tiek skirtingų parametrų bei modulių grandinės nevienodos įtampos.
Užterštumo nuostoliai	1,0 %	Nuostoliai atsiradę dėl modulio paviršiaus atsiradusių nešvarumų.

„PVsyst“ programa įvertina šiuos nuostolius galutiniame rezultate, todėl toliau skaičiavimuose šie duomenys ir bus naudojami (4 – 7 priedai).

#### 4.1.4. Įrenginių kiekių skaičiavimas

Abiejų tiriamų parkų galios yra apie 1 MWp, todėl norint sužinoti kiek saulės modulių ir inverterių reiktų sujungti, norint pasiekti norimą galią, reikia saulės elektrinės galią padalinti iš pajungto inverterio (apkrautos DC pusės apskaičiuotos galios, žr. 15 lentelę).

$$n_{inv} = \frac{P}{P_{DC}} \quad (4.1.4.1)$$

čia:  $n_{inv}$  – apskaičiuotas inverterių keikis;

$P$  – saulės parko galia, kWp;

$P_{DC}$  – nominali saulės modulių galia prijungta prie inverterio, kWp.

$$n_{inv} = \frac{P}{P_{DC}} = \frac{1\,000}{72,36} = 13,82 \approx 14$$

Norint pasiekti reikiamą saulės elektrinės galią reikia 14 inverterių. Visi kiti skaičiavimo rezultatai pateikti 17 lentelėje.

17 lentelė. Saulės elektrinių perskaičiuota galia

Varianto nr.	Reikalingas modulių kiekis	Modulių bendra galia, kWp	Reikalingas inverterių kiekis	Inverterių bendra galia, kVA
1.	3 024	1 013,04	14	840
2.	3 024	1 013,04	14	840

#### 4.1.5. Moduliavimo rezultatai

Visos aukščiau apskaičiuotos vertės yra surašomos į „PVsyst“ programos darbinis langus. Taip pat, yra nustatoma moduliavimo režiai 25 metų laikotarpiui pateikiant rezultatus kas metus. Moduliavime yra įvertinta ir inverterių elektros energijos suvartojimas savosioms reikmėms.

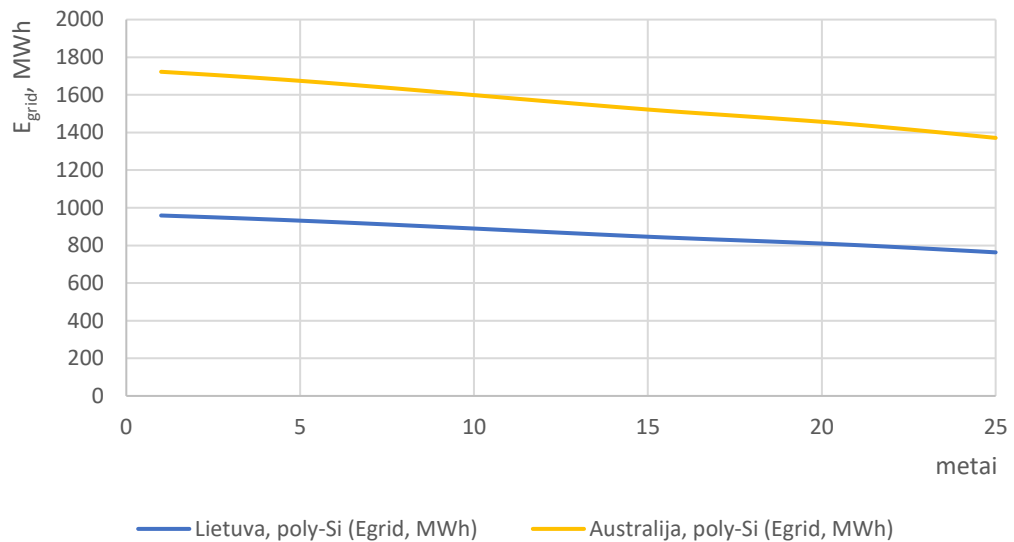
Kasmetiniai rezultatai pateikiami 18 lentelėje.

18 lentelė. Saulės elektrinių kasmetinės generacijos

Vietovė:	Lietuva (1 variantas)		Lietuva (2 variantas)		Australija (3 variantas)		Australija (4 variantas)	
Modulių technologija:	poly-Si		mono-Si		poly-Si		mono-Si	
Metai	<i>E<sub>grid</sub></i> , MWh	Pokytis, %	<i>E<sub>grid</sub></i> , MWh	Pokytis, %	<i>E<sub>grid</sub></i> , MWh	Pokytis, %	<i>E<sub>grid</sub></i> , MWh	Pokytis, %
1	958,9	0	960,6	0	1722,7	0	1724,5	0
2	952,6	0,657	954,3	0,656	1711,7	0,639	1713,5	0,638
3	945,9	0,703	947,6	0,702	1700,0	0,684	1701,8	0,683
4	938,9	0,740	940,6	0,739	1687,6	0,729	1689,4	0,729
5	931,5	0,788	933,2	0,787	1674,5	0,776	1676,3	0,775
6	923,7	0,837	925,4	0,836	1660,5	0,836	1662,3	0,835
7	915,5	0,888	917,2	0,886	1645,6	0,897	1647,4	0,896
8	907,0	0,928	908,7	0,927	1630,3	0,930	1632,1	0,929
9	898,3	0,959	900,0	0,957	1614,6	0,963	1616,5	0,956
10	889,6	0,968	891,2	0,978	1598,8	0,979	1600,7	0,977
11	880,7	1,000	882,4	0,987	1583,1	0,982	1585,0	0,981
12	871,9	0,999	873,5	1,009	1567,5	0,985	1569,4	0,984
13	863,1	1,009	864,8	0,996	1552,1	0,982	1553,9	0,988
14	854,5	0,996	856,1	1,006	1536,9	0,979	1538,8	0,972
15	846,1	0,983	847,7	0,981	1522,1	0,963	1524,0	0,962
16	838,4	0,910	840,0	0,908	1508,4	0,900	1510,3	0,899
17	831,3	0,847	833,0	0,833	1495,8	0,835	1497,6	0,841
18	824,3	0,842	826,0	0,840	1483,2	0,842	1485,0	0,841
19	817,2	0,861	818,8	0,872	1470,2	0,876	1472,1	0,869
20	809,8	0,906	811,4	0,904	1456,8	0,911	1458,6	0,917
21	801,6	1,013	803,2	1,011	1441,7	1,037	1443,5	1,035
22	792,5	1,135	794,0	1,145	1424,9	1,165	1426,7	1,164
23	782,9	1,211	784,5	1,196	1407,5	1,221	1409,3	1,220
24	773,1	1,252	774,7	1,249	1389,6	1,272	1391,4	1,270
25	763,1	1,293	764,6	1,304	1371,3	1,317	1373,1	1,315

Iš rezultatų matome, kad pagamintos elektros kiekis skiriasi dėl skirtingos apšvietos Lietuvoje ir Australijoje. Toliau, elektrinių generacijos pokyčiai yra panašūs, nes polikristaliniai ir monokristaliniai moduliai turi panašias nusidėvėjimo charakteristikas.

18 lentelės poly-Si modulių duomenys pavaizduoti grafiškai (žr. 4.1 iliustraciją):



4.1 pav. Saulės elektrinių kasmetinės generacijos

$E_{output}$  yra saulės elektrinės pagaminta elektros energija per visą saulės elektrinės gyvavimo laikotarpį (4.1.5.1 formulė).

$$E_{output} = \sum_{i=1}^{25} E_{grid,i} + E_{grid,i+1} \quad (4.1.5.1)$$

čia:  $E_{grid,i}$  – elektros energija perduota į tinklą, MWh.

Suskaičiuoti  $E_{output}$  rezultatai pateikti 18 lentelėje. Kadangi pasirinktas pagrindinis LCA metodikos funkcinis vienetas yra megadžauliai (MJ), tai suskaičiuoti rezultatai perskaičiuojami iš MWh priimant 35 % naudingumo koeficientą [32].

Perskaičiuotas konversijos koeficientas pateiktas 4.1.5.2 formulėje:

$$k = \eta \cdot 1 MJ \quad (4.1.5.2)$$

čia:  $\eta$  – naudingumo koeficientas;

1 MJ – vienas megadžaulis yra 1/3,6 kWh.

$$k = \eta \cdot 1 MJ = 0,35 \cdot \frac{1}{3,6} = 0,0972 kWh$$

Įvertinus naudingumo koeficientą yra gaunama, kad 1 MJ (0,278 kWh<sub>th</sub>) atitinka 0,0972 kWh elektros energijos, o 1 kWh elektros energijos atitinka 10,288 MJ pirminės energijos.

19 lentelė. Saulės elektrinių pagaminta elektros energija per 25 metus

Vietovė:	Lietuva (1 variantas)	Lietuva (2 variantas)	Australija (3 variantas)	Australija (4 variantas)
Modulių technologija:	poly-Si	mono-Si	poly-Si	mono-Si
$E_{output}, \text{MWh}$	21 612,4	21 653,5	38 857,4	38 903,2
$E_{output}, \text{MJ}$	222 348 371	222 771 208	399 764 931	400 236 122

„PVsyst“ programos sugeneruotos ataskaitos pateiktos 4 – 7 prieduose.

#### 4.2. Saulės modulių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Skaičiuojant sunaudotą energiją saulės modulio gamybos metu yra suskaičiuojama skirtinguose etapuose išnaudotos energijų suma (žr. 4.2.1 formulę).

$$E_{PV1} = \sum_{i=1}^n E_{PV,i} + E_{PV,i+1} \quad (4.2.1)$$

čia:  $n$  – gamybos etapų skaičius;

$E_{PVI}$  – reikalingas energijos kiekis vienam moduliuui pagaminti, MJ;

$E_{PV,i}$  – elektros energija perduota į tinklą, MJ.

Kadangi polikristalinių ir monokristalinių modulių esminiai gamybos skirtumai nėra dideli, todėl pradiniai duomenys yra vertinami vienodai. Gyvavimo ciklo vertinime parinkti saulės moduliai yra sudaryti iš 72 celių (žr. 1 ir 2 priedus).

Medžiagų gamybos metu sunaudota energija ( $E_m$ ) skaičiuojama dauginant sunaudotos medžiagos svorį iš reikalingos energijos išgaunant medžiagą (4 lentelės duomenys).

$$E_m = m \cdot E \quad (4.2.2)$$

čia:  $m$  – modulio gamybos metu sunaudotos medžiagos svoris, kg;

$E$  – medžiagos išgavimo metu sunaudota energija, MJ.

Suskaičiuota vienam saulės moduliui pagaminti reikalinga energija gamybos etapuose pateikta 20 lentelėje.

20 lentelė. Vienam saulės moduliui pagaminti reikalinga energija

Gamybos etapas	Gamybos etapu sunaudota energija	Sunaudota energija, MJ/modulis
1	0,2 kWh <sub>th</sub> /kg mg-Si	0,829
2	51,3 kWh/kg mg-Si	607,996
3	106 kWh <sub>th</sub> /kg sog-Si	439,603
4	0,19 kWh/celė	140,740
5	–	–
6	0,11 kWh/celė	81,481
7	0,11 kWh/celė	81,481
8	3,8 kWh/celė	39,094
Suma:		1 391,224
Medžiaga	Medžiagų svoris	Sunaudota energija, MJ/modulis
Smėlis	3,874 kg/modulis	0,852
Stiklas	4,7 kg/modulis	94,376
Aluminis	1,2 kg/modulis	180,144
Polyvinylo fluorido sluoksnis	0,6 kg/modulis	190,200
EWA	0,091 kg/modulis	3,221
Sidabras	0,0634 kg/modulis	8,128
Suma:		476,921
Bendra suma:		1 868,145

Bendra energija reikalinga visiems saulės moduliams pagaminti yra skaičiuojama 4.2.3 formule:

$$E_{PV} = n \cdot E \quad (4.2.3)$$

čia:  $E$  – modulio gamybos metu sunaudota bendra energija, MJ;

$n$  – modulių kiekis.

Gyvavimo ciklo saulės elektrinių vertinime norint pasiekti reikiamą galią reikia 3 024 vnt. saulės modulių (335 Wp galios). Tai bendra sunaudota energija modulių gamybos metu apskaičiuojama taip:

$$E_{PV} = n \cdot E = 3\,024 \cdot 1\,868,145 = 5\,649\,270,48 \text{ MJ}$$



Saulės parkui reikalingų modulių gamybos metu visa sunaudota energija  $E_{PV} = 5\,649\,270,48$  MJ.

#### 4.3. Saulės elektrinės įrenginių (BOS) energijos skaičiavimai

Skaičiuojant bendrą saulės elektrinės įrenginių viso gyvavimo ciklo metu sunaudotą energiją yra sudedamos atskiroms dalims pagaminti ir eksploatuoti reikalingas energijos dedamosios (žr. 4.3.1 formulę).

$$E_{BOS} = E_{inv} + E_{kosnt} + E_{kabel} \quad (4.3.1)$$

čia:  $E_{inv}$  – inverterių gamybos ir eksploatavimo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{kosnt}$  – saulės parko konstrukcijų gamybos metu sunaudota energija, MJ;

$E_{kabel}$  – saulės parko kabelių gamybos metu sunaudota energija, MJ.

Sekančiuose skyriuose yra apskaičiuojamos  $E_{BOS}$  dedamosios. Sunaudota energija saulės elektrinės įrenginių gamybos metu pateikta žemiau:

$$\begin{aligned} E_{BOS} &= E_{inv} + E_{kosnt} + E_{kabel} = 219\,753,048 + 1\,149\,178,953 + 357\,351,527 \\ &= 1\,726\,283,528 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Apskaičiuota saulės elektrinės įrenginių energija  $E_{BOS} = 1\,726\,283,528$  MJ.

##### 4.3.1. Inverterių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Pagal apibrėžtą inverterio gamybos schemą (žr. 3.4 iliustraciją) į sunaudotą energiją gamybos metu įeina medžiagų apdorojimas bei sunaudota elektros energija inverterio surinkimo metu (žr. 5 lentelę).

Atitinkamai pavertus duomenis į pirminius energijos vienetus (MJ) gauname rezultatų lentelę:

21 lentelė. Vienam inverteriui pagaminti reikalinga energija

Energijos tipas	Medžiagų svoris	Sunaudota energija	Sunaudota energija, kWh <sub>th</sub>	Perskaičiuota sunaudota energija, MJ
Elektros energija	–	130,2 kWh	–	1 339,506
Šiluminė energija	–	53,528 MJ	–	53,528
Varis	23,7 kg	19,44 kWh <sub>th</sub> /kg	460,728	1 658,621
Aliuminis	61,5 kg	41,7 kWh <sub>th</sub> /kg	2 564,550	9 232,380
Geležis	11,1 kg	24,62 MJ/kg	–	273,282
			Suma:	12 557,317

Iš ankstesnio skyriaus yra apskaičiuota, kad saulės parkams reikės 14 inverterių (žr. 17 lentelę) bei gyvavimo ciklo apraše apibrėžta, kad papildomai reikės 25 % daugiau energijos inverterių rekonstrukciniam etapui. Todėl galutinė sunaudota energija apskaičiuojama 4.3.1.1 formule.

$$E_{inv} = n \cdot 1,25 \cdot E \quad (4.3.1.1)$$

čia:  $E$  – inverterių gamybos metu sunaudota energija, MJ;

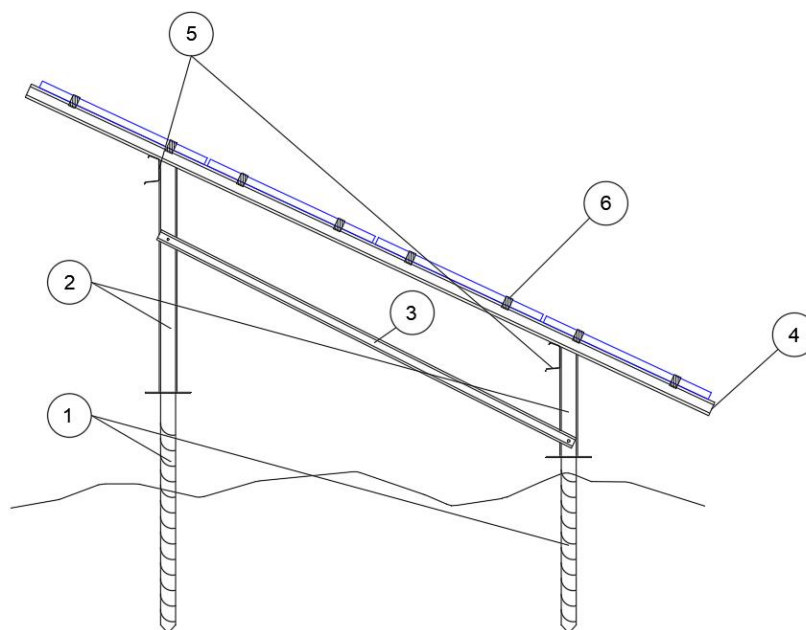
$n$  – inverterių kiekis.

$$E_{inv} = 14 \cdot 1,25 \cdot 12\,557,317 = 219\,753,048 \text{ MJ}$$

Saulės parkui reikalingų inverterių gamybos metu visa sunaudota energija  $E_{inv} = 219\,753,048$  MJ.

#### 4.3.2. Konstrukcijų gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Kad nustatyti reikiamą saulės parkui pastatyti konstrukcijų kiekį, reikia sumodeliuoti modulių grupes, kurios būtų ne tik patogios saulės parko statymo metu, bet ir lengvai aptarnaujamos saulės elektrinės eksploatavimo eigoje. Pagal šiuos kriterijus yra pasirenkama pilnos grandies ilgio modulių grupė (18 modulių ilgio). Toliau, pagal standartines konstrukcijas yra daromas 4 gulsčių eilių modulių grupė su 25 laipsnių pasvirimu kampu su horizontu (žr. 4.2 iliustraciją).



4.2 pav. Sudarytos modulių grupės konstrukcijos vaizdas iš šono

Gyvavimo ciklo vertinime yra naudojami įgręžimo tipo poliai ant kurių yra statoma visa kita saulės elektrinės konstrukcija. Ant surinktos konstrukcijos yra dedami moduliai ir prie konstrukcijos yra užfiksuojami su tvirtinimo elementais [54].

Iš sudaryto saulės elektrinės modelio (žr. 4.3 iliustraciją) yra žinoma, kad reikalingos 42 sukomplektuotos saulės elektrinės konstrukcijos.

Vienos pilnos konstrukcijos duomenys bei svoriai surašyti į 22 lentelę.

22 lentelė. Saulės elektrinės konstrukcijos komplektas

Detalės numeris	Pavadinimas	Medžiaga	Kiekis	Vieneto svoris, kg	Bendras svoris, kg
1	Įgręžiamas polis	Cinkuotas plienas	18	15,73	283,14
2	Tvirtinamasis polis	Cinkuotas plienas	18	5,76	103,68
3	Atraminė sija	Cinkuotas plienas	9	5,40	48,60
4	Montavimo sija	Cinkuotas plienas	19	12,63	239,97
5	Horizontali sija	Cinkuotas plienas	2	135,38	270,76
6	Tvirtinimo elementas	Aliuminis	152	0,1	15,2
Cinkuoto plieno bendras svoris:					946,15
Aluminio bendras svoris:					15,2
Bendras svoris:					961,35

Toliau yra apskaičiuojama saulės parko konstrukcijos gamybos metu sunaudota energija:

$$E_{konst} = k \cdot n \cdot (E_{cp} \cdot m_{cp} + E_{al} \cdot m_{al}) \quad (4.3.2.1)$$

čia:  $k$  – santykinis koeficientas;

$n$  – sukomplektuotų konstrukcijų kiekis;

$E_{cp}$ ,  $E_{al}$  – atitinkamai konstrukcinio (cinkuoto plieno ar aliuminio) elemento gamybos metu sunaudojamas energijos kiekis, kWh<sub>th</sub>/kg (6 lentelė);

$m$  – bendras svoris, kg.

Kadangi LCI apraše yra apibrėžta, kad yra naudojama konstrukcijų gamybai 30 % perdirbtų medžiagų, tai į 4.3.2.1 formulę yra įtrauktas  $k$  koeficientas su atitinkamomis reikšmėmis: 0,3 ir 0,7.

Pavyzdžiui, skaičiuojamas iš naujų medžiagų pagaminto cinkuoto plieno konstrukcijos:

$$\begin{aligned} E_{konst} &= k \cdot n \cdot (E_{cp} \cdot m_{cp} + E_{al} \cdot m_{al}) = 0,7 \cdot 42 \cdot (9,72 \cdot 946,15 + 41,7 \cdot 15,2) \\ &= 289\,014,289 \text{ kWh}_{th} \end{aligned}$$

Toliau rezultatai perskaičiuojami į pirminę energiją (MJ). Visi kiti skaičiavimai pateikti 23 lentelėje.

23 lentelė. Konstrukcijų sunaudotos energijos skaičiavimai

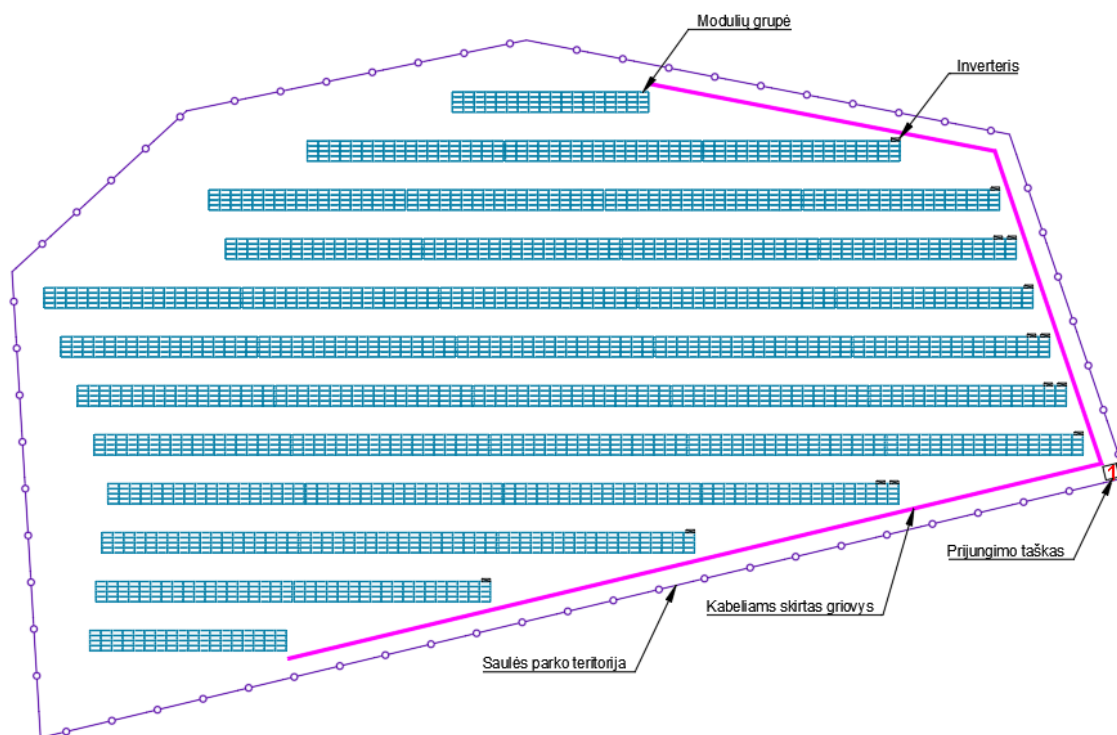
Medžiaga	$E_{konst}$ , kWh <sub>th</sub>	$E_{konst}$ , MJ
Naujų medžiagų gamybos energija	289 014,289	1 040 451,440
Perdirbtų medžiagų gamybos energija	30 202,087	108 727,513
Bendra suma:	319 216,376	1 149 178,953

Saulės elektrinės reikalingų konstrukcijų gamybos visa sunaudota energija  $E_{konst} = 1\,149\,178,953$  MJ.

#### 4.3.3. Kabelių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Saulės elektrinių viso ciklo gyvavimo metu yra vertinamos dvi pagrindinės kabelių rūšys: nuo saulės modulių grandinių einantys nuolatinės srovės kabeliai iki inverterių ir nuo inverterių einantys kintamos srovės kabeliai iki pajungimo taško. Kitos rūšies kabelių, pavyzdžiui

monitoringui, nėra vertinama, nes santykinai palyginus su pagrindiniais naudojamais kabeliais, nesudaro didelės reikšmės.



4.3 pav. Saulės elektrinės modelio vaizdas iš viršaus

Kabelių ilgiai yra suskaičiuojami suprojektuojant realų saulės elektrinės modelį (žr. 4.3 iliustraciją) ir suskaičiuojant bendrus sunaudotų kabelių ilgius. Rezultatai pateikti 23 lentelėje.

Saulės parko kabelių gamybos metu sunaudota energija yra apskaičiuojama žemiau pateikta formule:

$$E_{kabel} = k \cdot (E_l \cdot l \cdot m_l + E_{iz} \cdot l \cdot m_{iz}) \quad (4.3.3.1)$$

čia:  $k$  – santykinis koeficientas;

$E_l$ ,  $E_{iz}$  – laidininko, izoliacinės medžiagos gamybos metu sunaudojamas energijos kiekis, kWh<sub>th</sub>/kg (7 lentelė);

$l$  – kabelio ilgis, km;

$m$  – bendras kabelio svoris, kg/km.

Taip pat, LCI apraše yra apibrėžta, kad yra naudojama kabelių gamybai 30 % perdirbtų medžiagų, todėl į 4.3.3.1 formulę yra įtrauktas  $k$  koeficientas su atitinkamomis reikšmėmis (0,3 ir

0,7). Be to, perdirbamas yra tik varis, todėl izoliacinės medžiagos gamybos metu sunaudota energija yra imama nauja (7 lentelė).

Kabelių diametrai preliminariai parenkami atsižvelgiant į maksimalias kabelių leistinas ribas bei galimas maksimalias tekančias sroves.

Nuolatinės srovės kabelis tarp modulių grandinių ir inverterių yra parenkamas „Helukable“ SOLARFLEX-X PV1-F 2x1x4 mm<sup>2</sup>, kurio svoris: laidininko – 76,8 kg/km, izoliacinės medžiagos – 43,2 kg/km [55]. Kintamos srovės – „Polycab“ 4x1x35 mm<sup>2</sup>, kurio svoris: laidininko – 1 401,6 kg/km, izoliacinės medžiagos – 788,4 kg/km [56].

Pavyzdžiui, apskaičiuojamas nuolatinės srovės kabelis iš naujų medžiagų:

$$E_{kabel} = k \cdot (E_l \cdot l \cdot m_l + E_{iz} \cdot l \cdot m_{iz}) = 0,7 \cdot (19,44 \cdot 28 \cdot 76,8 + 23,083 \cdot 28 \cdot 43,2) \\ = 48\,807,481 \text{ kWh}_{th}$$

Visi kiti skaičiavimo rezultatai surašyti į žemiau pateiktą lentelę:

24 lentelė. Kabelių gamybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Kabelio tipas	Kabelio ilgis, km	Kabelio bendras svoris, kg/km	Bendras svoris, kg	$E_{kabel}$ , kWh <sub>th</sub>	$E_{kabel}$ , MJ
2x1x4 mm <sup>2</sup> (DC)	28	120	3 360,0	66 151,008	238 143,629
4x1x35 mm <sup>2</sup> (AC)	0,768	2 190	1 681,92	33 113,305	119 207,898
		Suma:	5 041,92	99 264,312	357 351,527

Saulės elektrinei reikalingų kabelių gamybos metu visa sunaudota energija  $E_{kabel} = 357\,351,527$  MJ.

#### 4.4. Transportavimo metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Transportavimas preliminariai yra vertinamas vežant pirmines medžiagas, kurie yra įtraukti į ankstesnius skaičiavimus bei yra įvertintas užbaigtų įrenginių gabenimas iš gamyklų į statybos aikštes.

Sunaudotos energijos skaičiavimas transportavimu metu apskaičiuojamas žemiau pateikta formule:

$$E_{trans} = E_{tr} \cdot m \cdot l \quad (4.4.1)$$

čia:  $E_{trans}$  – transportavimo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{tr}$  – sunaudojamas energijos kiekis pagal transporto tipą, MJ/t km (8 lentelė);

$m$  – transportuojama masė;

$l$  – transportuojamas atstumas.

Pavyzdžiui, apskaičiuota inverterių transportavimo metu sunaudota energija į Lietuvą:

$$E_{trans} = E_{tr1} \cdot m \cdot l_1 + E_{tr2} \cdot m \cdot l_2 = 0,69 \cdot 1,036 \cdot 643 + 0,19 \cdot 1,036 \cdot 640 = 585,620 \text{ MJ}$$

Kadangi transportuojamus atstumus yra įvertinti yra gan sunku, dėl trūkstamų tikslių vietovės duomenų bei galimų transportavimo kelių, tai pateikti atstumai yra preliminarūs. Šie atstumai yra įvertinti pasirinkus trumpiausią kelią iš pasirinktos įmonės gamyklos iki saulės parko vietovės. Skaičiavimų rezultatai pateikti 25 lentelėje.

Saulės modulių artimiausios gabenimo vietos parinktos iš Kanados į Lietuvą ir iš Indonezijos į Australiją. Inverterių – iš Olandijos į Lietuvą ir iš Kinijos į Australiją. Konstrukcijos bei kabeliai imami iš vietinės teritorijos ir yra priimamas 200 km atstumas.

25 lentelė. Transportavimo metu sunaudotos energijos skaičiavimų rezultatai

Medžiaga, įrenginys	Transporto tipai	Energijos kiekis, MJ/t km	Svoris, t	Atstumas, km	$E_{trans}$ , MJ
<b>Lietuva (1 ir 2 variantai)</b>					
Pirminių medžiagų transportavimas	Keliais	0,69	78,726	200	10 864,188
Moduliai	Keliais; vandeniui	0,69; 0,19	67,738	251; 6819	99 493,574
Inverteriai	Keliais; vandeniui	0,69; 0,19	1,036	643; 640	585,620
Konstrukcijos	Keliais	0,69	40,377	200	5 572,026
Kabeliai	Keliais	0,69	5,0419	200	695,782
Perdirbimas	Keliais	0,69	114,193	400	31 517,268
Suma:					148 728,458
<b>Australija (3 ir 4 variantai)</b>					
Pirminių medžiagų transportavimas	Keliais	0,69	78,726	200	10 864,188
Moduliai	Keliais; vandeniui; geležinkeliu	0,69; 0,19; 0,18	67,738	215; 1918; 3247	74 324,166

Inverteriai	Keliais; vandeniu; geležinkeliu	0,69; 0,19; 0,18	1,036	258; 4167; 2840;	1 534,264
Konstruktijos	Keliais	0,69	40,377	200	5 572,026
Kabeliai	Keliais	0,69	5,0419	200	695,782
Perdirbimas	Keliais	0,69	114,193	400	31 517,268
Suma:					124 507,694

Pastabos:

1. Medžiagų transportavimas įvertintas bendra suma reikalingų pirminių medžiagų įrenginių gamybai. Priimtas atstumas 200 km;
2. Saulės modulių ir inverterių svoriai paimti iš specifikacijų pateiktų prieduose;
3. Perdirbimo punktų vietovės nuo saulės elektrinių parkų yra priimtas 400 km atstumas.

Transportavimo metu sunaudota energija į Lietuvos teritoriją  $E_{trans} = 148\,728,458$  MJ, Australijos –  $E_{trans} = 124\,507,694$  MJ.

#### 4.5. Parko statybos metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Kaip ankstesniame skyriuje minėta, saulės elektrinės statymo eigoje energija yra vartojama technikos eksploatavimo metu ir žmogiškaisiais ištekliais. Ši energija yra apskaičiuojama 4.5.1 formule.

$$E_{stat} = E_{st} \cdot n \cdot h \quad (4.5.1)$$

čia:  $E_{stat}$  – statybos metu sunaudota energija, MJ;

$E_{st}$  – sunaudojamas energijos kiekis per valandą, MJ/h;

$n$  – kiekis;

$h$  – valandų skaičius, h.

Naudojantis 9 lentelės duomenimis, pavyzdžiui, yra apskaičiuojama darbininkų bendra sunaudota energija saulės parko statybos metu.

$$E_{stat} = E_{st} \cdot n \cdot h = 2,053 \cdot 8 \cdot 40 = 656,960 \text{ MJ}$$

Kiti skaičiavimai atliekami analogiškai. Rezultatai pateikiami 26 lentelėje.



26 lentelė. Parko statybos metu sunaudotos energijos skaičiavimų rezultatai

Įrenginio rūšis	Kiekis	Darbo valandos, h	Sunaudota energija, MJ/h	$E_{stat}$ , MJ
Darbininkai	8	40	2,053	656,96
Kuolų kalimo mašina	1	16	89,3	1 428,8
Transportavimo mašina	2	40	89,3	7 144,0
			Suma:	9 229,76

Saulės elektrinės statymo eigoje visa sunaudota energija  $E_{stat} = 9\,229,76$  MJ.

#### 4.6. Parko demontavimo ir perdirbimo metu sunaudotos energijos skaičiavimai

Saulės modulių perdirbimo metu sunaudota energija apskaičiuojama 4.6.1 formule.

$$E_{dPV} = m_{PV} \cdot E_{mPV} \quad (4.6.2)$$

čia:  $m_{PV}$  – saulės modulių bendras svoris, t;

$E_{mPV}$  – sunaudota energija 1 t saulės modulių perdirbimui, MJ.

Parinktų polikristalinių ir monokristalinių modulių bendras svoris yra toks pat (žiūrėti 1 ir 2 priedus). Apskaičiuota bendra energija reikalinga perdirbti 67,738 tonų saulės modulių:

$$E_{dPV} = m_{PV} \cdot E_{mPV} = 67,738 \cdot 2\,780 = 188\,311,640 \text{ MJ}$$

Kaip anksčiau minėta, pagrindinių saulės parkų įrenginių: inverterių, konstrukcinių elementų, kabelių perdirbimas yra įvertinamas tokio pat energijos dydžiu, kokio reikėjo juos pagaminti.

Taip pat išrenkant saulės parką yra įvertinama ir darbo energija. Saulės parko demontavimo metu sunaudota energija apskaičiuojama 4.6.2 formule.

Saulės elektrinių įrenginių transportavimo metu sunaudota energija iki atliekų aikštelių yra įvertinta bendrai su kitais transportavimo energijos skaičiavimais.

$$E_{demont} = E_{dPV} + E_{stat} + E_{BOS} \quad (4.6.2)$$

čia:  $E_{dPV}$  – saulės modulių perdirbimo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{stat}$  – statybos metu sunaudota energija, MJ;

$E_{BOS}$  – saulės elektrinės papildomų įrenginių gamybos metu sunaudota energija, MJ.

$$\begin{aligned} E_{demont} &= E_{dPV} + E_{stat} + E_{BOS} = 188\,311,64 + 9\,229,76 + 1\,726\,283,528 \\ &= 1\,923\,824,928 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Parko demontavimo ir perdirbimo metu sunaudota energija  $E_{demont} = 1\,923\,824,928$  MJ.

#### 4.7. EPBT skaičiavimai

Suskaičiavus visas reikiamas energijos atsipirkimo laiko dedamąsias, galima apskaičiuoti per kiek laiko išsilygins sunaudota energija įrengiant saulės elektrinę su elektrinės pagaminta elektros energija.

3.1 formulėje  $E_{ouput}$  dedamoji kas metus yra vis skirtinga, dėl modulių galios mažėjimo, todėl yra sudaroma energijos srautų lentelė (žr. 27 lentelę) pagal kurią galima nustatyti atsipirkimo laiką.

Toliau, 4.7.1 formule yra suskaičiuojama bendra sunaudota energija (0 metai):

$$\sum E = E_{PV} + E_{BOS} + E_{trans} + E_{stat} + E_{demont} \quad (4.7.1)$$

čia:  $E_{PV}$  – PV modulių pirminė energija gyvavimo ciklo metu, MJ;

$E_{BOS}$  – kitų saulės elektrinės įrenginių gyvavimo ciklo energija, MJ;

$E_{trans}$  – transportavimo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{stat}$  – saulės parko statymo metu sunaudota energija, MJ;

$E_{demont}$  – saulės parko demontavimo metu sunaudota energija, MJ.

Pavyzdžiui, apskaičiuojama 1 varianto Lietuvos teritorijoje įrengtos saulės elektrinės sunaudota visa gyvavimo ciklo energija:

$$\begin{aligned} \sum E &= E_{PV} + E_{BOS} + E_{trans} + E_{stat} + E_{demont} \\ &= 5\,649\,270,480 + 1\,726\,283,528 + 148\,728,458 + 9\,229,76 \\ &+ 1\,923\,824,928 = 9\,457\,337,154 \text{ MJ} \end{aligned}$$

27 lentelė. Saulės elektrinių metiniai energijos srautai (MJ)

Varianto nr.	Metai:	0	1	2
1 var. (poly-Si)	Apskaičiuota energija	-9 457 337,154	9 865 163,200	9 800 348,800
	Energijos balansas	-9 457 337,154	407 826,046	10 208 174,846
2 var. (mono-Si)	Apskaičiuota energija	-9 457 337,154	9 882 652,800	9 817 838,400
	Energijos balansas	-9 457 337,154	425 315,646	10 243 154,046
3 var. (poly-Si)	Apskaičiuota energija	-9 433 116,390	17 723 137,600	17 609 969,600
	Energijos balansas	-9 433 116,390	8 290 021,210	25 899 990,810
4 var. (mono-Si)	Apskaičiuota energija	-9 433 116,390	17 741 656,000	17 628 488,000
	Energijos balansas	-9 433 116,390	8 308 539,610	25 937 027,610

Iš 27 lentelės duomenų galima teigti, kad visų variantų elektrinės atsiperka per nepilnai 1 metus. 4.7.2 formule yra apskaičiuojama tikslus atsipirkimo laikotarpis ( $T$ ).

$$T = t + \frac{E_b}{E_{ap+1}} \quad (4.7.2)$$

čia:  $t$  – laikotarpis per kurį pasiekiamas balansas, metai;

$E_b$  – energijos balanso dedamoji, MJ;

$E_{ap+1}$  – apskaičiuotos energijos sekancios eilės dedamoji, MJ.

Pavyzdžiui, apskaičiuojama 1 varianto tikslus atsipirkimo laikotarpis:

$$T = t + \frac{E_b}{E_{ap+1}} = 0 + \frac{9\,457\,337,154}{9\,865\,163,200} = 0,959 \text{ metai}$$

Visi apibendrinti rezultatų duomenys pateikti 28 lentelėje.

28 lentelė. Energijos laiko atsipirkimo skaičiavimo rezultatai

	$E_{PV}$ , MJ	$E_{BOS}$ , MJ	$E_{trans}$ , MJ	$E_{stat}$ , MJ	$E_{demon}$ , MJ	$\Sigma E$ , MJ	EPBT
1 var. (poly-Si)	5 649 270,480	1 726 283,528	148 728,458	9 229,76	1 923 824,928	9 457 337,154	0,959
2 var. (mono-Si)						9 457 337,154	0,957

3 var. (poly-Si)			124 507,694			9 433 116,390	0,532
4 var. (mono-Si)						9 433 116,390	0,532

#### 4.8. ŠESD skaičiavimai

Kaip anksčiau minėta, dėl duomenų trūkumo ŠESD skaičiavimai bus atliekami su „PVsyst“ programos anglies dioksido skaičiavimo įrankiu.

ŠESD skaičiavimai atlikti remiantis 12 lentelėje pateikta informacija. Saulės modulių utilizavimo CO<sub>2</sub> emisijos (11 lentelė) yra perskaičiuotos vienam moduliui.

Suskaičiuoti saulės elektrinės išmestų į aplinką emisijų rezultatai pateikti žemiau esančioje lentelėje. Pilnos vertinamų projektų atskaitos pateiktos 4 – 7 prieduose.

29 lentelė. Saulės elektrinių LCE skaičiavimo rezultatai (kg ekv. CO<sub>2</sub>)

Var.	Saulės moduliai	Transport. keliais	Transport. vandeniui	Konstrukcijos	Inverteriai	Kabeliai	Utilizavimas
1 ir 2	401 918	16 167	1 015	45 245	3 932	15 840	24 192
3 ir 4	1 612 063	4 547	14 000	228 109	7 308	79 860	24 192

Toliau yra apskaičiuojamos bendros sistemos emisijos, kurios į aplinką išmetamos įrenginių gamybos bei transportavimu metu (žr. 4.8.1 formulę).

$$LCE_{system} = \sum E_{ekv. CO_2} \quad (4.8.1)$$

čia:  $LCE_{system}$  – bendros sistemos emisijos, kg ekv. CO<sub>2</sub>;

$E_{ekv.CO_2}$  – įrenginių gamybos ar transportavimu metu emisijos (žr. 29 lentelę), kg ekv. CO<sub>2</sub>.

Pavyzdžiui, apskaičiuota 1 ir 2 varianto bendros sistemos emisijos:

$$\begin{aligned} LCE_{system} &= 401\,918 + 16\,167 + 1\,015 + 45\,245 + 3\,932 + 15\,840 + 24\,192 \\ &= 508\,309 \text{ kg ekv. CO}_2 \end{aligned}$$

Suskaičiavus bendrus emisijų duomenis yra gaunamos bendros LCE sistemos ( $LCE_{system}$ ) vertės. 1 ir 2 varianto atvejais  $LCE_{system} = 508,31$  t ekv. CO<sub>2</sub>, 3 ir 4 varianto – 1 970,079 t ekv. CO<sub>2</sub>. Toliau yra apskaičiuojamas  $GHG_{rate}$  abejais vietovės atvejais (žr. 3.2 formulę). Pavyzdžiui, apskaičiuojamas pirmo varianto ŠESD „sutaupymai“. Visi rezultatai pateikti 30 lentelėje.

$$GHG_{rate} = E_{output} \cdot LCE_{grid} - LCE_{system} = 21\,653,5 \cdot 0,168 - 508,31$$

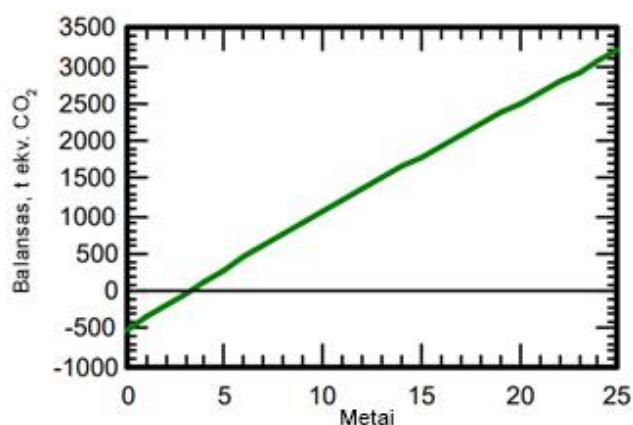
$$= 3\,129,478 \text{ t ekv. CO}_2$$

30 lentelė.  $LCE_{system}$  ir  $GHG_{rate}$  skaičiavimo rezultatai

Variantas	$LCE_{system}$ , t ekv. CO <sub>2</sub>	$GHG_{rate}$ , t ekv. CO <sub>2</sub>
1 (Lietuvos teritorija)	508,31	3 129,478
2 (Lietuvos teritorija)	508,31	3 122,573
3 (Australijos teritorija)	1 970,079	32 442,700
4 (Australijos teritorija)	1 970,079	32 403,908

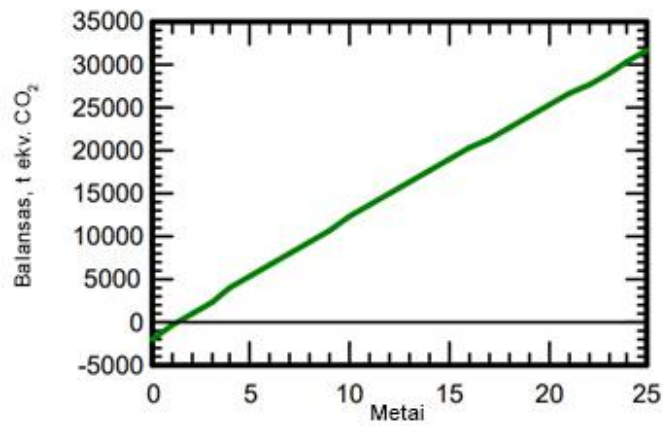
Remiantis skaičiavimo rezultatais sudaryti grafikai, iš kurių galima nustatyti per kiek laiko išsilygins išmestos emisijos saulės elektrinės gamybos ir statymo metu su sutaupytais, kai elektrinė generuoja žalią elektros energiją.

Polikristalinių ir monokristalinių modulių emisijos yra įvertintos tokios pačios, todėl rezultatai skiriasi tik nuo vietovės duomenų. 1 ir 2 varianto rezultatų grafikas pateiktas 4.4 paveiksle, o 3 ir 4 varianto – 4.5 paveiksle.



4.4 pav. Lietuvos vietovėje sutaupytos CO<sub>2</sub> emisijos per visą elektrinės gyvavimo laikotarpį

Iš 4.4 grafiko matyti, kad balansas tarp išmestų ir sutaupytų emisijų yra pasiekiamas po vidutiniškai 3 metų.



4.5 pav. Australijos vietovėje sutaupytos CO<sub>2</sub> emisijos per visą elektrinės gyvavimo laikotarpį

Iš 4.5 grafiko matyti, kad balansas tarp išmestų ir sutaipytų emisijų yra pasiekiamas po vidutiniškai 1,5 metų.

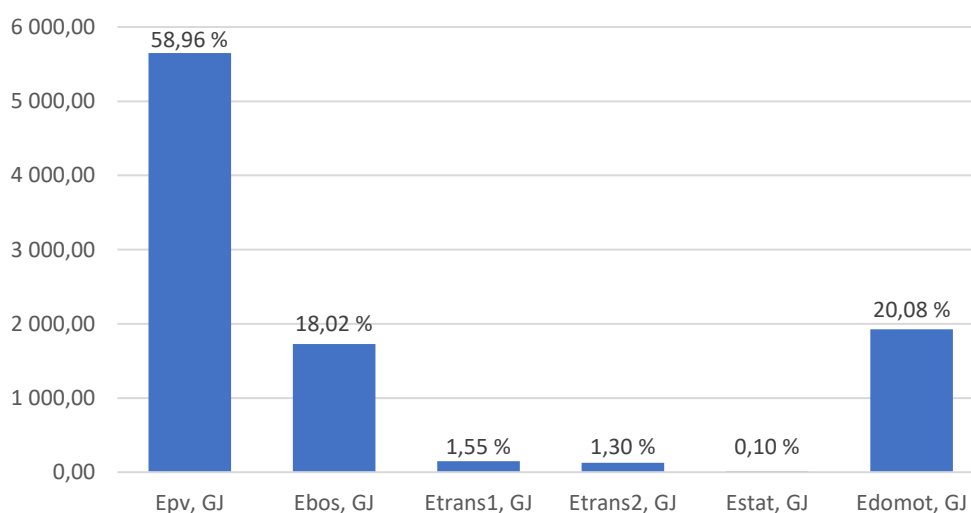
Bendros sutaupytos emisijos Lietuvoje per saulės elektrinės 25 gyvavimo metus siekia vidutiniškai apie 3 122 – 3 129 t ekv. CO<sub>2</sub>, priklausomai kokia saulės modulių technologija yra naudojama. Australijai – vidutiniškai apie 32 403 – 32 442 t ekv. CO<sub>2</sub>.

## 5. PALYGINAMOJI REZULTATŲ ANALIZĖ

Atlikus gyvavimo ciklo analizę užsibrėžtas tikslas yra pasiektas, nes nustatyta skirtingų vietovių saulės elektrinių įtaka aplinkai bei pagal parinktus kriterijus yra apskaičiuotas energijos atsipirkimo rodiklis (EPBT).

### 5.1. Energijos atsipirkimo laikotarpio rodiklio palyginimas

Toliau yra atliekama palyginamoji rezultatų analizė. 5.1 grafike yra pateikta saulės elektrinių skirtingų etapų sunaudota energija.



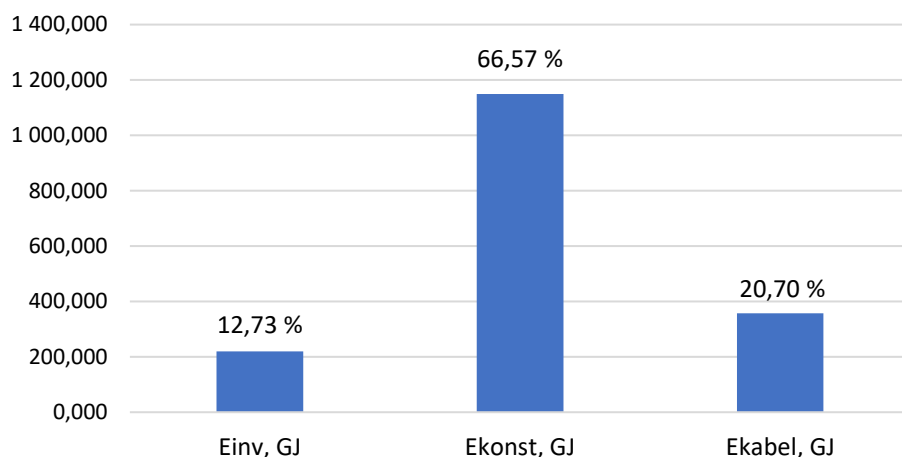
5.1 pav. Energijos atsipirkimo rodiklio dedamosios

Daugiausia energijos sunaudota saulės elektrinės viso gyvavimo ciklo metu saulės modulių gamybai. Tai sudaro iš viso 59 % sunaudotos energijos. Toliau, daugiausia energijos sunaudota demontavimo ir perdirbimo etape – apie 20 %.

Mažiausiai energijos sunaudota statybos metu (0,1 %) bei saulės elektrinės įrenginių transportavimo eigoje ( $E_{trans1}$  – Lietuvos teritorijai,  $E_{trans2}$  – Australijos teritorijai).

Saulės elektrinės papildomų įrenginių, vadinamų sistemos balansu ( $E_{BOS}$ ), gamybos metu sunaudota energija palyginama 5.2 grafike.

Daugiausia energijos sunaudojama gaminant konstrukcijas (67 %), tai yra todėl, kad santykinai pagaminti konstrukcijoms reikia išgauti daugiausia medžiagų bei jas apdirbti ir paruošti naudojimui.



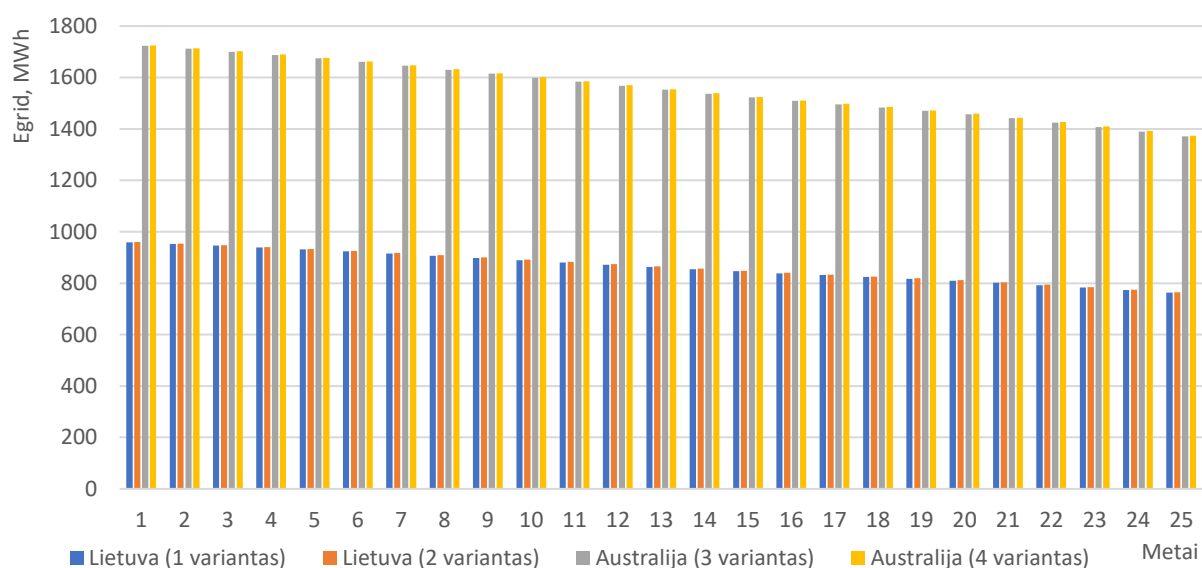
5.2 pav. BOS įrenginių gamybos metu sunaudota energija

Lyginant tarpusavyje BOS įrenginius, kabelių gamybos metu sunaudota energija viso gyvavimo ciklo metu sudaro apie 21 %, o inverterių – 13 %.

## 5.2. Saulės elektrinės generacijos bei modulių palyginimas

Kadangi viso saulės elektrinių gyvavimo ciklo metu yra vertinamos vienodos saulės elektrinės sistemos (konstrukcijų pasvirimo kampas, įrenginiai ir kt.), tai pagrindinis lemiantis faktorius pagamintai elektros energijai ( $E_{grid}$ ) yra apšvieta.

Kaip anksčiau minėta, Lietuvos teritorijoje vyrauja apie 1000 kWh/m<sup>2</sup>, o Australijos – 1700 kWh/m<sup>2</sup>. Apskaičiuotų 4 variantų rezultatai pateikti 5.3 grafike.



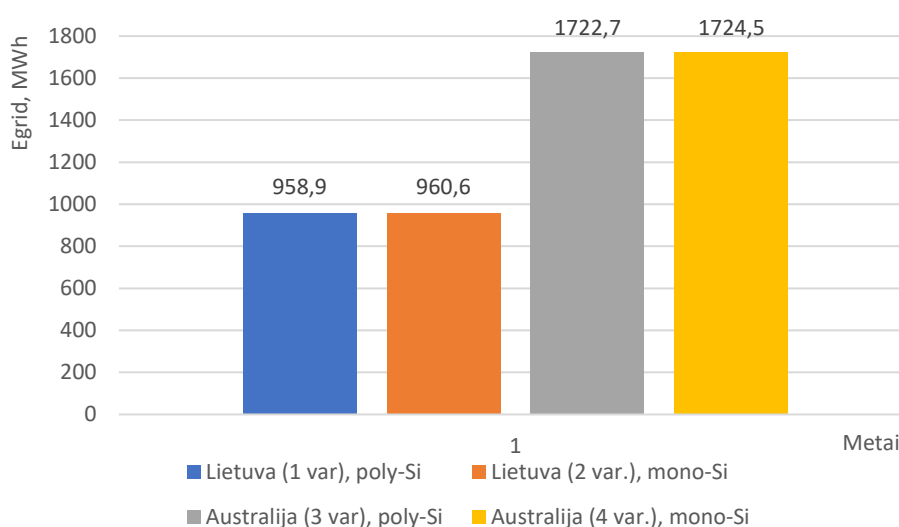
5.3 pav. Saulės elektrinių pagaminta elektros energija



1 ir 3 variantuose yra naudojama polikristalinių (poly-Si) modulių technologija, o 2 ir 4 naudojami monokristaliniai (mono-Si) moduliai.

Daugiausia energijos pagaminama pirmaisiais metais, dėl nominalios modulio galios, kuri kiekvienais metais vis mažėja (iki 0,7 % per metus). Taip pat, pagamintos energijos skirtumas tarp Lietuvos ir Australijos pirmaisiais metais yra apie 764 MWh, tai lemia geresnės oro sąlygos ir ilgesnės saulės valandos Australijos teritorijoje.

Iš 5.3 grafiko matosi, kad naudojant monokristalinius saulės modulių yra pagaminama šiek tiek daugiau elektros energijos. 5.4 grafike yra palyginama pirmų metų saulės elektrinių generacijos.



5.4 pav. Saulės elektrinių pirmų metų elektros generacijos

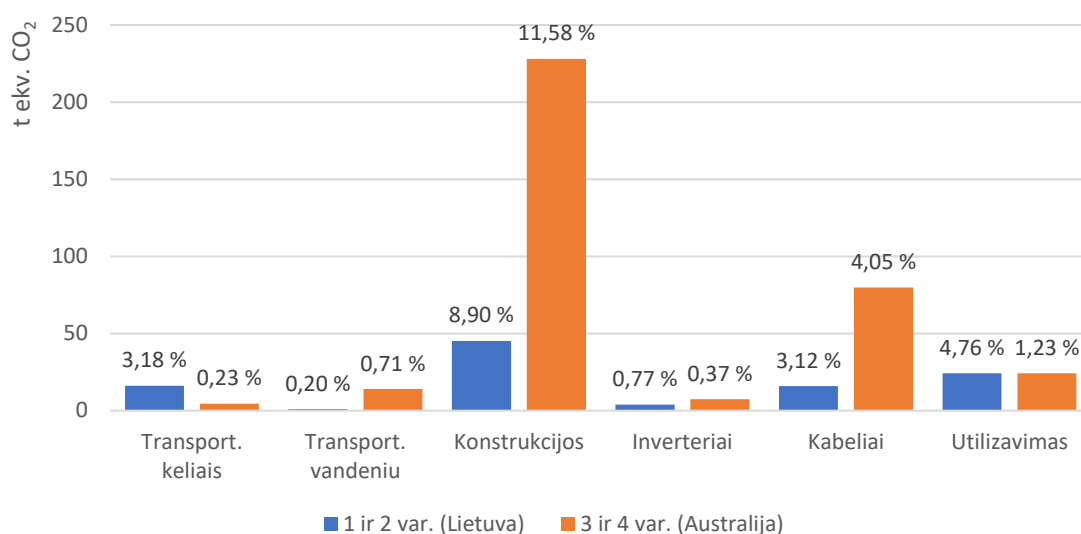
Skirtumas tarp poly-Si ir mono-Si modulių technologijų yra nežymus. Lietuvos teritorijoje siekia apie 1,7 MWh daugiau pagamintos elektros energijos, o Australijos – 1,8 MWh.

Vertinant 25 metų laikotarpį susidaro atitinkamai – 41,1 ir 45,8 MWh daugiau pagamintos elektros energijos.

### 5.3. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų palyginimas

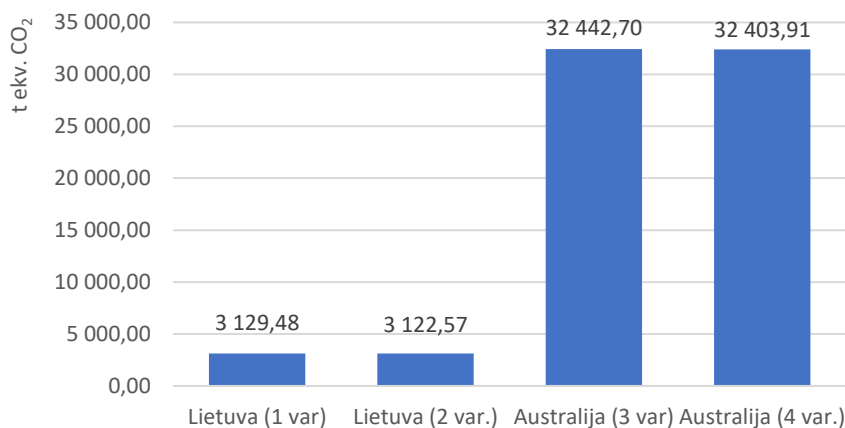
Didžiausią dalį ŠESD emisijų išmetama saulės modulių gamybos metu. Pagal 29 lentelės rezultatus, į Lietuvą importuotų modulių iš Kanados sudaro 401,918 t ekv. CO<sub>2</sub> emisijų, o tai yra apie 79 % visų bendrų išmestų ŠESD dujų. Australijos teritorijai moduliai gaminami Indonezijoje ir tai sudaro apie 82 % visų bendrų išmestų emisijų.

Kitų etapų rezultatai su bendromis ŠESD emisijomis pateikti 5.5 grafike.



5.5 pav. Saulės elektrinių išmetamos ŠESD emisijos skirtinguose etapuose

Per metus sutaupoma Lietuvos teritorijoje – 125,02, Australijos teritorijoje – 1 296,9 t ekv. CO<sub>2</sub> ŠESD emisijų. Bendros sutaupytos emisijos per 25 saulės elektrinės gyvavimo metus atitinkamai vidutiniškai siekia 3 125,5 ir 32 422,5 t ekv. CO<sub>2</sub> dujų. Šie duomenys pateikti 5.6 grafike (30 lentelės duomenys).



5.6 pav. Bendros sutaupytos emisijos per 25 saulės elektrinės gyvavimo metus

Pagrindinis faktorius, kuris lemia didelį skirtumą tarp išmestų į aplinką emisijų yra tai, kad Indonezijos gamykloje gaminant saulės modulius į aplinką yra išmetama daugiausia emisijų – 1,591 t ekv. CO<sub>2</sub>/kWp. Palyginus su gamykla Kanadoje yra teršiama apie 25 % mažiau.

#### **5.4. Rekomendacijos**

Išanalizavus rezultatus grafiškai galima teigti, kad energijos atsipirkimo laiką galima mažinti gerinant saulės modulių gamybos procesą t.y. didinant gamybos proceso efektyvumą bei mažinant energijos suvartojimą silicio išgavimo metu.

Energijos atsipirkimo laikas priklauso ir nuo pagamintos elektrinių elektros energijos kiekio. Jeigu elektrinė veiktų dar efektyviau arba saulės modulių galia kristų mažesniu tempu bei saulės moduliai tarnautų ilgiau nei 25 metus, tai atsipirkimo laikas būtų žymiai mažesnis.

Norint sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį technologijos metu reikia pasirinkti ekologiškesnes gamyklas bei rinktis kuo arčiau statybos aikštelės, kad transportavimo metu išmestos emisijos būtų kuo mažesnės.

Taip pat, reikia apgalvoti daugiau saulės elektrinės parko demontavimo ir perdirbimo situacijų, kuriuose būtų naudojama mažiau energijos, nes ateityje tai gali tapti didelė ekologinė problema.

## IŠVADOS

1. Remiantis apžvelgtais straipsniais nustatyta, kad ES narės yra įsipareigojusios mažinti išmetamą ŠESD emisijų kiekį, kad šiltnamio dujų koncentracija būtų klimato kaitos nesukeliamame lygyje. Lietuva iki 2020 metų turi sumažinti bent 20 % išmetamų šiltnamių dujų lyginant su 1990 metų nustatytu lygiu. Vienas iš šių tikslų pasiekimo būdų yra elektros gamybos iš AEI plėtojimas, nes elektros gamyba iš AEI palyginus su kitomis kieto iškastinio kuro yra žymiai mažiau teršianti aplinką.

2. Išanalizavus gyvavimo ciklo metodikas, nustatyta, kad elektros gamyba iš atsinaujinančių energijos šaltinių nėra visiškai švari. Technologijos gamybos etape, elektrinės eksploatavimu metu bei technologijos utilizavimo eigoje yra į aplinką išmetamos ŠESD emisijos (13 – 190 kg ekv. CO<sub>2</sub>/MWh) bei kiti teršalai (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>).

3. Atlikus saulės elektrinių viso gyvavimo ciklo analizę gauti rezultatai parodė, kad energijos atsipirkimo laikas (EPBT) Lietuvos teritorijoje 0,957 – 0,959 metų, Australijos – 0,532 metų. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų balansas (GHG<sub>rate</sub>) pasiekiamas Lietuvoje po vidutiniškai 3 metų, o Australijos teritorijoje – 1,5 metų.

4. Atlikta gyvavimo ciklo palyginamoji analizė parodė, kad daugiausia energijos sunaudojama saulės modulių gamybos metu, kuri sudaro 59 % sunaudotos visos energijos, toliau demontavimo metu sunaudota energija – 20 %. Daugiausia šiltnamio efektą sukeliančių emisijų yra išmetama saulės modulių gaminimo metu, kuri sudaro vidutiniškai 79 – 82 % bendrų emisijų kiekio. Norint turėti daugiau elektros energijos, kas metus papildomai galima pagaminti 1,74 MWh naudojant monokristalinius saulės modulius.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

- [1] Greenhouse Gas Emissions [žiūrėta 2018-05-27]. Prieiga internetu: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- [2] Sutarties dėl Europos Sąjungos veikimo suvestinė redakcija [žiūrėta 2018-05-27]. Prieiga internetu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A12012E%2FTXT>
- [3] Kaip ES institucijos ir įstaigos apskaičiuoja, mažina ir kompensuoja išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį? [žiūrėta 2018-05-27]. Prieiga internetu: [http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014\\_2019/documents/cont/dv/sr\\_14\\_/sr\\_14\\_lt.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/cont/dv/sr_14_/sr_14_lt.pdf)
- [4] CO2 Emissions | Global Carbon Atlas [žiūrėta 2018-05-27]. Prieiga internetu: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
- [5] Metric tons of carbon dioxide equivalent (MTCO2 Eq.) [žiūrėta 2018-05-27]. Prieiga internetu: [https://www.archibus.net/ai/abizfiles/v21.1\\_help/archibus\\_help/Subsystems/webc/webc.htm#gloss/carbon\\_footprint/carbon\\_diox\\_equiv\\_def.htm](https://www.archibus.net/ai/abizfiles/v21.1_help/archibus_help/Subsystems/webc/webc.htm#gloss/carbon_footprint/carbon_diox_equiv_def.htm)
- [6] Defining Life cycle Assessment [žiūrėta 2018-05-06]. Prieiga internetu: <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>
- [7] The Life Cycle Assessment - Cradle to Grave Sustainability [žiūrėta 2018-05-07]. Prieiga internetu: <http://www.hpcorporategroup.com/the-life-cycle-assessment-cradle-to-grave-sustainability.html>
- [8] Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations [žiūrėta 2018-05-08]. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113005534?via%3Dihub>
- [9] KP Introduction [žiūrėta 2018-05-30]. Prieiga internetu: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>
- [10] What is the United Nations Framework Convention on Climate Change? [žiūrėta 2018-05-30]. Prieiga internetu: <https://unfccc.int/process/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>
- [11] Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos [žiūrėta 2018-06-02]. Prieiga internetu: <http://www.consilium.europa.eu/lt/policies/climate-change/timeline/>
- [12] Solar Radiation and the Earth's Energy Balance. [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <http://eesc.columbia.edu/courses/ees/climate/lectures/radiation/>

- [13] Energy for the future: Renewable sources of energy – White Paper for a Community Strategy and Action Plan [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: [http://europa.eu/documents/comm/white\\_papers/pdf/com97\\_599\\_en.pdf](http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf)
- [14] EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2001/77/EB, 2001 m. rugsėjo 27 d., dėl elektros, pagamintos iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių, skatinimo elektros energijos vidaus rinkoje [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0077&from=EN>
- [15] EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2003/30/EB, 2003 m. gegužės 8 d., dėl skatinimo naudoti biokurą ir kitą atsinaujinantį kurą transporte [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0030&from=LT>
- [16] PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2009/28/EB, 2009 m. balandžio 23 d., dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, iš dalies keičianti bei vėliau panaikinanti Direktyvas 2001/77/EB ir 2003/30/EB [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009L0028-20130701&from=EN>
- [17] Atsinaujinantys energijos ištekliai [žiūrėta 2019-01-26]. Prieiga internetu: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai>
- [18] ISO 14040:2006, Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- [19] Cradle-to-Cradle [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <http://www.ecomii.com/ecopedia/cradle-to-cradle>
- [20] FULL FUEL CYCLE ASSESSMENT: WELL-TO-WHEELS ENERGY INPUTS, EMISSIONS, AND WATER IMPACTS [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <http://www.energy.ca.gov/2007publications/CEC-600-2007-004/CEC-600-2007-004-REV.PDF>
- [21] Limitations of the EIO-LCA Method and Models [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <http://www.eiolca.net/Method/Limitations.html>
- [22] Eco-LCA Adds Ecosystem Services to Life Cycle Assessment [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://www.greenbiz.com/news/2010/05/26/eco-lca-adds-ecosystem-services-to-life-cycle-assessment>
- [23] Glossary of Life Cycle Terms [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://www.lifecycleinitiative.org/resources/life-cycle-terminology-2/>
- [24] Methodology for developing gate-to-gate Life cycle inventory information [žiūrėta 2018-06-03]. Prieiga internetu: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978615>

- [25] US EPA Life Cycle Assessment: Principles and Practice [žiūrėta 2019-01-20]. Prieiga internetu: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P1000L86.TXT>
- [26] LCA, LCI, LCIA, LCC: What's the Difference? [žiūrėta 2019-01-23]. Prieiga internetu: <http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/whats-the-difference/>
- [27] Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems [žiūrėta 2019-01-22]. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112006478>
- [28] Five (5) Modes of Transport (Types of Transportation) [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: <http://www.jotscroll.com/forums/3/posts/192/modes-of-transport-five-5-types-of-transportation.html>
- [29] PVsyst photovoltaic software [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: <https://www.pvsyst.com/>
- [30] Resistivity and Temperature Coefficient at 20 C [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html>
- [31] Cable Insulation Materials [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: [http://www.idc-online.com/technical\\_references/pdfs/electronic\\_engineering/Cable\\_Insulation\\_Materials.pdf](http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Cable_Insulation_Materials.pdf)
- [32] Life cycle assessment study of a 4.2 kWp stand-alone photovoltaic system [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X09000590>
- [33] Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024816001227?via%3Dihub>
- [34] „Antaisolar“ Contact us [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: [https://www.antaisolar.com/contact-us\\_d2](https://www.antaisolar.com/contact-us_d2)
- [35] Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/IEA-PVPS\\_Task\\_12\\_LCI\\_LCA.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/IEA-PVPS_Task_12_LCI_LCA.pdf)
- [36] How solar power works, on-grid, off-grid and hybrid [žiūrėta 2019-01-27]. Prieiga internetu: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>
- [37] Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation [žiūrėta 2019-03-12]. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544207002137>
- [38] Energy requirements of adults [žiūrėta 2019-03-12]. Prieiga internetu: <http://www.fao.org/3/y5686e/y5686e07.htm#bm07.3>

- [39] A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part I: Background and design [žiūrēta 2019-03-16]. Prieiga internetu: [https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-energy-consumption-from-different-transport-modes-17\\_fig4\\_264353036](https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-energy-consumption-from-different-transport-modes-17_fig4_264353036)
- [40] Energy Content of Fuels (in Joules) [žiūrēta 2019-03-17]. Prieiga internetu: <https://www.ocean.washington.edu/courses/envir215/energynumbers.pdf>
- [41] Engine powered forklift 1.5 - 3.5 ton [žiūrēta 2019-03-17]. Prieiga internetu: <https://qpsearch.bt-forklifts.com/PDFSearch/GetPDF.asp?artno=745562-040>
- [42] Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 1.6a [žiūrēta 2019-03-24]. Prieiga internetu: <http://www.organicexplorer.co.nz/site/organicexplore/files/ICE%20Version%201.6a.pdf>
- [43] Life cycle assessment of low power solar inverters [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga internetu: [http://treeze.ch/fileadmin/user\\_upload/downloads/Publications/Case\\_Studies/Energy/174-Update\\_Inverter\\_IEA\\_PVPS\\_v1.1.pdf](http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/174-Update_Inverter_IEA_PVPS_v1.1.pdf)
- [44] EPDLA Life Cycle Inventory of Polymer Dispersions [žiūrēta 2019-03-30]. Prieiga internetu: [https://hnlkg4f5wdw34kx1a1e9ygem-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/07/4\\_EPDLA-Life-Cycle-Assessment-LCA-Summary-Report.pdf](https://hnlkg4f5wdw34kx1a1e9ygem-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/07/4_EPDLA-Life-Cycle-Assessment-LCA-Summary-Report.pdf)
- [45] Environmental impacts of Tedlar PVF film for use in photovoltaic modules [žiūrēta 2019-03-30]. Prieiga internetu: [https://www.researchgate.net/publication/266371585\\_Environmental\\_impacts\\_of\\_Tedlar\\_PVF\\_film\\_for\\_use\\_in\\_photovoltaic\\_modules](https://www.researchgate.net/publication/266371585_Environmental_impacts_of_Tedlar_PVF_film_for_use_in_photovoltaic_modules)
- [46] Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool [žiūrēta 2019-03-10]. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217323287?via%3Dihub>
- [47] MAXPOWER CS6U-335M [žiūrēta 2019-02-04]. Prieiga internetu: [https://www.altestore.com/static/datafiles/Others/Canadian\\_SolarCS6U-Mono%20Datasheet.pdf](https://www.altestore.com/static/datafiles/Others/Canadian_SolarCS6U-Mono%20Datasheet.pdf)
- [48] MAXPOWER CS6U-335P [žiūrēta 2019-02-04]. Prieiga internetu: <https://www.canadiansolar.com/upload/9af6c207e648ca8f/eed96ea807d66b18.pdf>
- [49] Warranty [žiūrēta 2019-02-04]. Prieiga internetu: <https://www.canadiansolar.com/upload/cb01c7021824b3fc/acf817bd1c6384af.pdf>
- [50] String vs. Central Inverters: Choosing the Right Inverter for your Solar System [žiūrēta 2019-03-05]. Prieiga internetu: <http://cenerypower.com/blog/string-vs-central-inverters-choosing-right-inverter/>



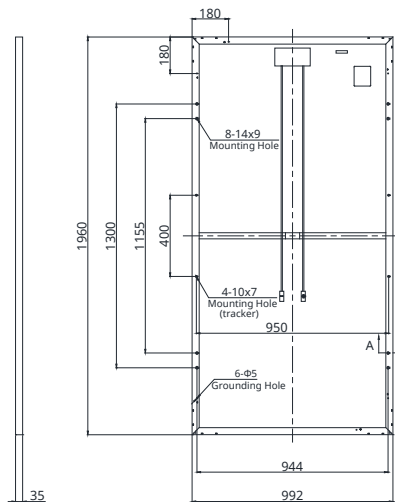
- [51] Smart String Inverter SUN2000-60KTL-M0 [žiūrėta 2019-02-04]. Prieiga internetu: <http://solar.huawei.com/en-GB/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2Feu%2Fdatasheet%2FSUN2000-60KTL-M0.pdf>
- [52] Why Oversizing Solar Panel Arrays Is A Smart Move [žiūrėta 2019-03-10]. Prieiga internetu: <https://www.solarquotes.com.au/blog/oversizing-solar-arrays/>
- [53] PVsyst 6 Help [žiūrėta 2019-03-10]. Prieiga internetu: <http://files.pvsyst.com/help/>
- [54] CG Alu-terrain ground mounting system [žiūrėta 2019-03-24]. Prieiga internetu: <https://www.antisolar.com/uploadfile/downloads/%E3%80%90RGB%E3%80%91CG%20Alu-terrain%20ground%20mounting%20system.pdf>
- [55] Helukable SOLARFLEX-X PV1-F [žiūrėta 2019-03-24]. Prieiga internetu: [http://www.ecosol-int.com/App\\_Themes/SiteEn/broucure/DCCablesData.pdf](http://www.ecosol-int.com/App_Themes/SiteEn/broucure/DCCablesData.pdf)
- [56] Polycab LT-XLPE Catalogue [žiūrėta 2019-03-24]. Prieiga internetu: <http://indiancables.net/wp-content/uploads/catalogues/LT-XLPE.pdf>
- [57] Carbon Balance Tool [žiūrėta 2019-04-28]. Prieiga internetu: [http://files.pvsyst.com/help/index.html?carbon\\_balance\\_tool.htm](http://files.pvsyst.com/help/index.html?carbon_balance_tool.htm)
- [58] Life Cycle Assessment for Vattenfall's electricity generation [žiūrėta 2019-05-28]. Prieiga internetu: [https://group.vattenfall.com/siteassets/corporate/who-we-are/sustainability/doc/life\\_cycle\\_assessment\\_2018.pdf](https://group.vattenfall.com/siteassets/corporate/who-we-are/sustainability/doc/life_cycle_assessment_2018.pdf)
- [59] Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics [žiūrėta 2019-05-28]. Prieiga internetu: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>

# PRIEDAI

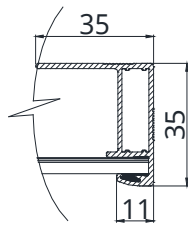
## 1 priedas. „Canadian Solar“ MAXPOWER CS6U-335P saulės modulių specifikacijos

### ENGINEERING DRAWING (mm)

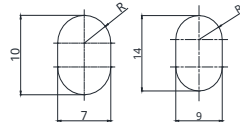
#### Rear View



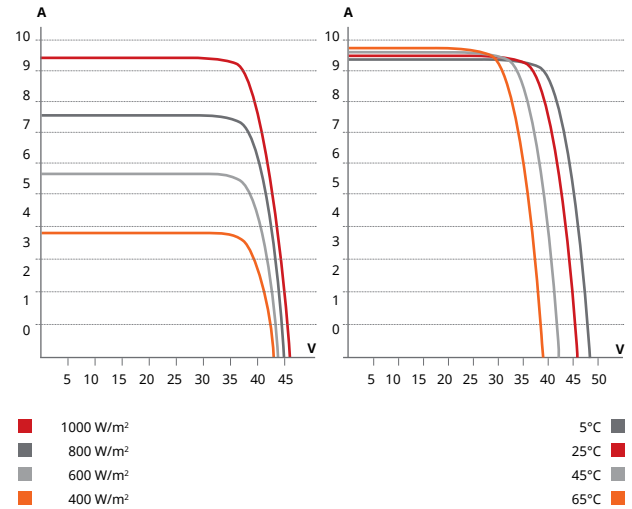
#### Frame Cross Section A-A



#### Mounting Hole



### CS6U-330P / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	243 W	247 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.03 A	7.10 A	7.17 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m<sup>2</sup> and 1000 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25°C).

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

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

### PARTNER SECTION

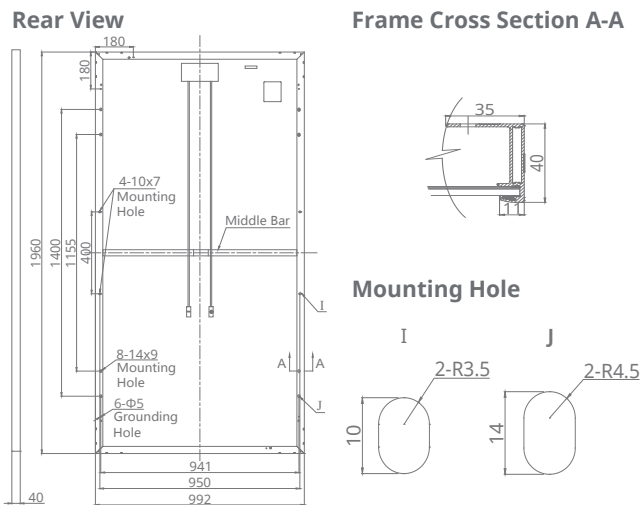


### CANADIAN SOLAR INC.

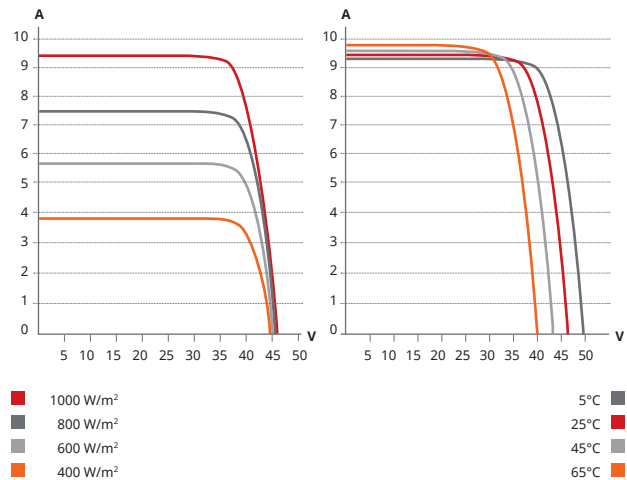
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

## 2 priedas. „Canadian Solar“ MAXPOWER CS6U-335M saulės modulių specifikacijos

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS6U-335M / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA / STC\*

CS6U	325 M	330 M	335 M
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.4 V	37.5 V	37.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.69 A	8.80 A	8.87 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	45.9 V	46.1 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 A	9.31 A	9.41 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

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

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Per Pallet	26 pieces
Per container (40' HQ)	572 pieces (40' HQ)

### ELECTRICAL DATA / NOCT\*

CS6U	325 M	330 M	335 M
Nominal Max. Power (Pmax)	235 W	238 W	242 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.1 V	34.2 V	34.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.88A	6.96 A	7.01 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.1 V	42.3 V
Short Circuit Current (Isc)	7.46 A	7.54 A	7.62 A

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

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

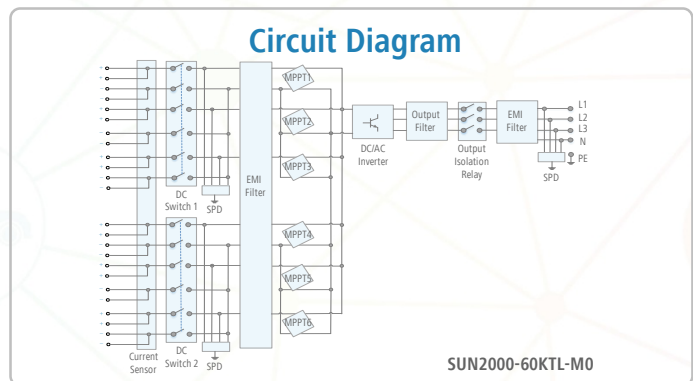
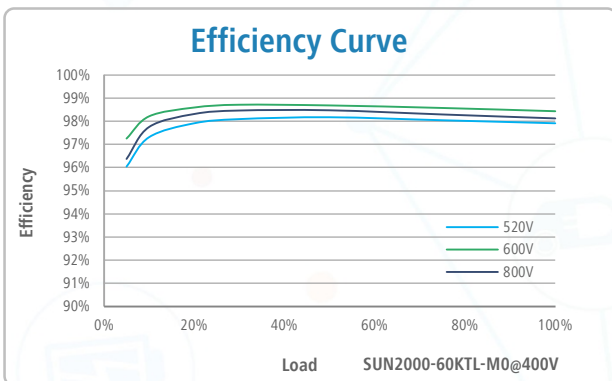
Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

### PARTNER SECTION



# Smart String Inverter (SUN2000-60KTL-M0)

Technical Specifications	SUN2000-60KTL-M0
<b>Efficiency</b>	
Max. Efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European Efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
<b>Input</b>	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
<b>Output</b>	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
<b>Protection</b>	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-Islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-Polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
<b>Communication</b>	
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
USB	Yes
Power Line Communication (PLC)	Yes
<b>General</b>	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + Terminal Clamp
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
<b>Standard Compliance (more available upon request)</b>	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Code	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11



The text and figures reflect the current technical state at the time of printing. Subject to technical changes. Errors and omissions excepted. Huawei assumes no liability for mistakes or printing errors. For more information, please visit solar.huawei.com. Version No.:01-(201807)

PVSYST V6.79		03/05/19	Page 1/6	
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>				
<b>Project :</b>	<b>Magistras v1</b>			
<b>Geographical Site</b>	<b>Kaunas</b>	<b>Country</b>	<b>Lithuania</b>	
<b>Situation</b>	Latitude	54.90° N	Longitude	23.91° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	75 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data:</b>	<b>Kaunas</b>	Meteonorm 7.1 (1994-2010), Sat=100% - Synthetic		
<b>Simulation variant :</b>	<b>Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE</b>			
	Simulation date	03/05/19 11h55		
	<b>Simulation for the</b>	<b>1st year of operation</b>		
<b>Simulation parameters</b>	System type	<b>Unlimited sheds</b>		
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	25°	Azimuth	0°
<b>Sheds configuration</b>	Nb. of sheds	35	Unlimited sheds	
	Sheds spacing	8.89 m	Collector width	4.03 m
Inactive band	Top	0.02 m	Bottom	0.02 m
Shading limit angle	Limit profile angle	18.1°	Ground cov. Ratio (GCR)	45.3 %
Shadings electrical effect	Cell size	15.6 cm	Strings in width	4
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	Mutual shadings of sheds	Electrical effect		
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>CS6U - 335P</b>	
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.		
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel	168 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3024	Unit Nom. Power	335 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>1013 kWp</b>	At operating cond.	909 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	601 V	I mpp	1513 A
Total area	Module area	<b>5880 m<sup>2</sup></b>	Cell area	5299 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>	Model	<b>SUN2000-60KTL-M0_400Vac</b>		
Custom parameters definition	Manufacturer	Huawei Technologies		
Characteristics	Operating Voltage	200-1000 V	Unit Nom. Power	60.0 kWac
			Max. power (=>30°C)	66.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	14 units	Total Power	840 kWac
			Pnom ratio	1.21
<b>PV Array loss factors</b>				
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.7 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
LID - Light Induced Degradation			Loss Fraction	1.2 %
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor	0.67 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year

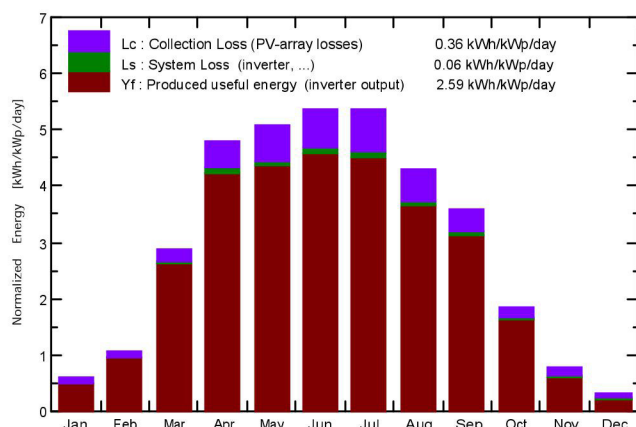
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** **Magistras v1**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

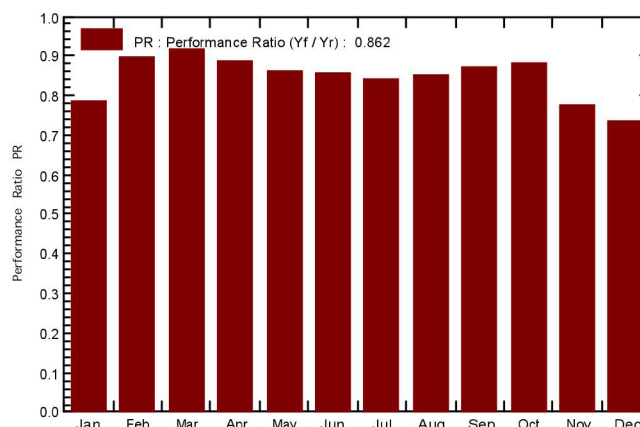
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6U - 335P	Pnom 335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total <b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total <b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
**System Production**      **Produced Energy** **958.9 MWh/year**      **Specific prod.** **947 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR** **86.17 %**

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1013 kWp**



**Performance Ratio PR**



### Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE Balances and main results

	<b>GlobHor</b> kWh/m²	<b>DiffHor</b> kWh/m²	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m²	<b>GlobEff</b> kWh/m²	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>January</b>	12.6	9.24	-2.64	19.5	16.9	15.9	15.5	0.786
<b>February</b>	22.8	17.40	-2.81	30.0	27.8	27.8	27.2	0.897
<b>March</b>	67.7	36.48	1.25	88.9	84.1	84.3	82.5	0.916
<b>April</b>	123.1	59.13	8.19	143.9	136.0	131.8	128.9	0.884
<b>May</b>	148.8	70.45	13.51	157.0	148.1	139.8	136.6	0.859
<b>June</b>	156.9	85.24	15.77	160.3	150.8	142.0	138.9	0.855
<b>July</b>	159.9	79.17	19.20	166.4	156.7	144.8	141.6	0.840
<b>August</b>	122.0	72.85	18.12	133.4	125.3	117.3	114.9	0.850
<b>September</b>	86.4	47.52	13.00	107.4	101.2	96.9	94.9	0.873
<b>October</b>	41.6	26.04	7.76	57.1	53.7	52.2	51.1	0.884
<b>November</b>	15.1	10.46	2.97	24.1	20.8	19.4	19.0	0.777
<b>December</b>	7.4	6.29	-0.76	10.4	8.6	8.0	7.7	0.736
<b>Year</b>	<b>964.4</b>	<b>520.28</b>	<b>7.86</b>	<b>1098.4</b>	<b>1030.1</b>	<b>980.2</b>	<b>958.9</b>	<b>0.862</b>

**Legends:**      **GlobHor**      Horizontal global irradiation      **GlobEff**      Effective Global, corr. for IAM and shadings  
                  **DiffHor**      Horizontal diffuse irradiation      **EArray**      Effective energy at the output of the array  
                  **T\_Amb**      Ambient Temperature      **E\_Grid**      Energy injected into grid  
                  **GlobInc**      Global incident in coll. plane      **PR**      Performance Ratio

## Grid-Connected System: CO2 Balance

**Project :** **Magistras v1**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

Main system parameters		System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U - 335P	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

**Produced Emissions** **Total: 508.31 tCO2**  
 Source: Detailed calculation from table below

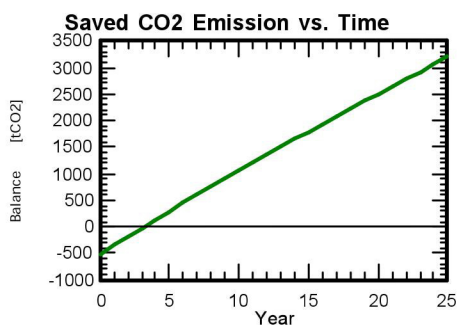
**Replaced Emissions** **Total: 4027.3 tCO2**  
 System production: 958.89 MWh/yr Lifetime: 25 years  
Annual Degradation: 0.7 %  
 Grid Lifecycle Emissions: 168 gCO2/kWh  
 Source: IEA List Country: Lithuania

**CO2 Emission Balance** **Total: 3198.2 tCO2**

### System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Transport1	Transport2
LCE	397 kgCO2/kWp	35.0 gCO2/km	59.7 gCO2/km
Quantity	1013 kWp	6819 km	251 km
Subtotal [kgCO2]	401918	16167	1015
Item	Supports	Inverters	Cabling
LCE	1.12 kgCO2/kg	281 kgCO2/units	3.14 kgCO2/kg
Quantity	40377 kg	14.0 units	5042 kg
Subtotal [kgCO2]	45245	3932	15840

Dismantling  
 8.00 kgCO2  
 3024 modu  
 24192



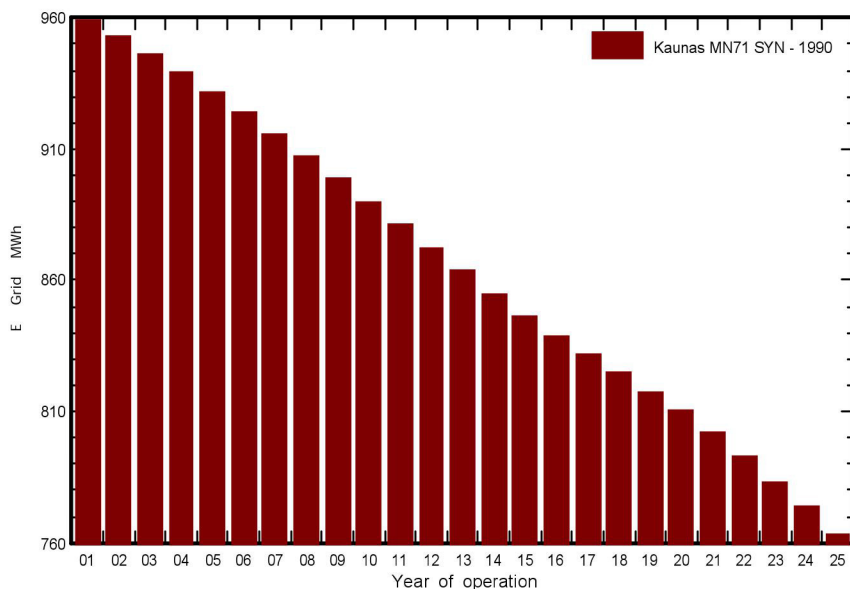
### Grid-Connected System: Ageing Tool

**Project :** Magistras v1  
**Simulation variant :** Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE  
 Simulation for the 1st year of operation

<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U - 335P	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

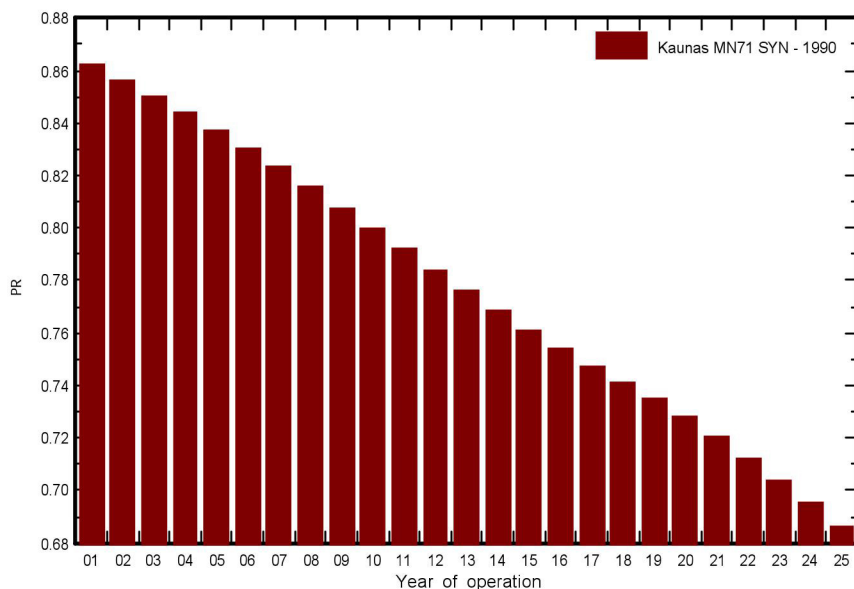
<b>Ageing Parameters</b>	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.67 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Kaunas MN71 SYN	Years	1990	Years simulated	1-25

**Energy injected into grid**



Year	#1	#1	#1
	E Grid MWh	PR	PR loss %
1	958.9	0.862	0%
2	952.6	0.856	-0.7%
3	945.9	0.85	-1.4%
4	938.9	0.844	-2.1%
5	931.5	0.837	-2.9%
6	923.7	0.83	-3.7%
7	915.5	0.823	-4.5%
8	907	0.815	-5.4%
9	898.3	0.807	-6.3%
10	889.6	0.799	-7.2%
11	880.7	0.791	-8.2%
12	871.9	0.784	-9.1%
13	863.1	0.776	-10%
14	854.5	0.768	-10.9%
15	846.1	0.76	-11.8%
16	838.4	0.753	-12.6%
17	831.3	0.747	-13.3%
18	824.3	0.741	-14%
19	817.2	0.734	-14.8%
20	809.8	0.728	-15.5%
21	801.6	0.72	-16.4%
22	792.5	0.712	-17.4%
23	782.9	0.704	-18.3%
24	773.1	0.695	-19.4%
25	763.1	0.686	-20.4%

**Performance Ratio**





PVSYST V6.79		03/05/19	Page 1/6
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Magistras v1</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Kaunas</b>	<b>Country</b>	<b>Lithuania</b>
<b>Situation</b>	Latitude	54.90° N	Longitude 23.91° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude 75 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data:</b>	<b>Kaunas</b>	Meteonorm 7.1 (1994-2010), Sat=100% - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE</b>		
	Simulation date	03/05/19 10h14	
	<b>Simulation for the</b>	<b>1st year of operation</b>	
<b>Simulation parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	25°	Azimuth 0°
<b>Sheds configuration</b>	Nb. of sheds	35	Unlimited sheds
	Sheds spacing	8.89 m	Collector width 4.03 m
Inactive band	Top	0.02 m	Bottom 0.02 m
Shading limit angle	Limit profile angle	18.1°	Ground cov. Ratio (GCR) 45.3 %
Shadings electrical effect	Cell size	15.6 cm	Strings in width 4
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	Mutual shadings of sheds	Electrical effect	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>CS6U-335M</b>
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.	
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel 168 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3024	Unit Nom. Power 335 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>1013 kWp</b>	At operating cond. 910 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	607 V	I mpp 1498 A
Total area	Module area	<b>5880 m²</b>	Cell area 5319 m²
<b>Inverter</b>	Model	<b>SUN2000-60KTL-M0_400Vac</b>	
Custom parameters definition	Manufacturer	Huawei Technologies	
Characteristics	Operating Voltage	200-1000 V	Unit Nom. Power 60.0 kWac
			Max. power (=>30°C) 66.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	14 units	Total Power 840 kWac
			Pnom ratio 1.21
<b>PV Array loss factors</b>			
Array Soiling Losses			Loss Fraction 1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.8 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
LID - Light Induced Degradation			Loss Fraction 1.2 %
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor 0.67 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

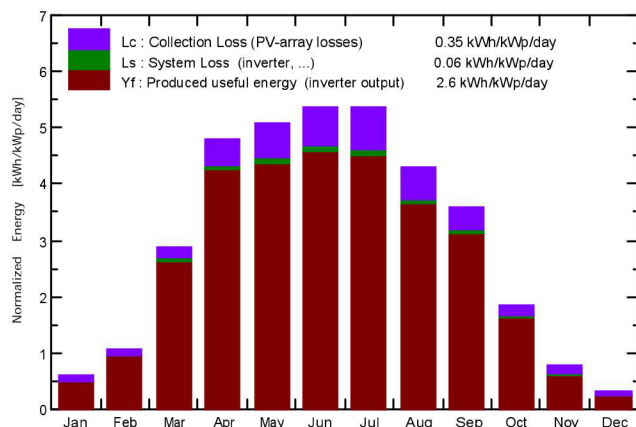
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** **Magistras v1**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

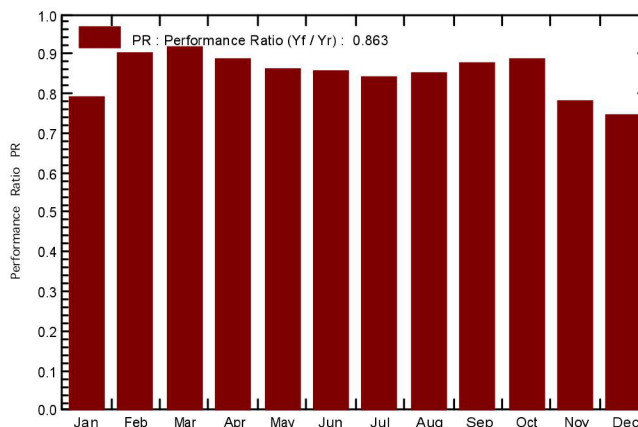
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6U-335M	Pnom 335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total <b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total <b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
**System Production**      **Produced Energy** **960.6 MWh/year**      **Specific prod.** **948 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR** **86.33 %**

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1013 kWp**



**Performance Ratio PR**



### Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE Balances and main results

	<b>GlobHor</b> kWh/m²	<b>DiffHor</b> kWh/m²	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m²	<b>GlobEff</b> kWh/m²	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>January</b>	12.6	9.24	-2.64	19.5	16.9	16.0	15.6	0.790
<b>February</b>	22.8	17.40	-2.81	30.0	27.8	27.9	27.3	0.900
<b>March</b>	67.7	36.48	1.25	88.9	84.1	84.5	82.7	0.918
<b>April</b>	123.1	59.13	8.19	143.9	136.0	131.9	129.1	0.886
<b>May</b>	148.8	70.45	13.51	157.0	148.1	140.0	136.8	0.860
<b>June</b>	156.9	85.24	15.77	160.3	150.8	142.2	139.1	0.856
<b>July</b>	159.9	79.17	19.20	166.4	156.7	145.0	141.8	0.841
<b>August</b>	122.0	72.85	18.12	133.4	125.3	117.5	115.1	0.851
<b>September</b>	86.4	47.52	13.00	107.4	101.2	97.1	95.1	0.874
<b>October</b>	41.6	26.04	7.76	57.1	53.7	52.3	51.2	0.886
<b>November</b>	15.1	10.46	2.97	24.1	20.8	19.5	19.0	0.780
<b>December</b>	7.4	6.29	-0.76	10.4	8.6	8.1	7.8	0.743
<b>Year</b>	964.4	520.28	7.86	1098.4	1030.1	982.0	960.6	0.863

**Legends:**      **GlobHor**      Horizontal global irradiation      **GlobEff**      Effective Global, corr. for IAM and shadings  
                  **DiffHor**      Horizontal diffuse irradiation      **EArray**      Effective energy at the output of the array  
                  **T\_Amb**      Ambient Temperature      **E\_Grid**      Energy injected into grid  
                  **GlobInc**      Global incident in coll. plane      **PR**      Performance Ratio

## Grid-Connected System: CO2 Balance

**Project :** **Magistras v1**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

Main system parameters		System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U-335M	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

**Produced Emissions** **Total: 508.31 tCO2**  
 Source: Detailed calculation from table below

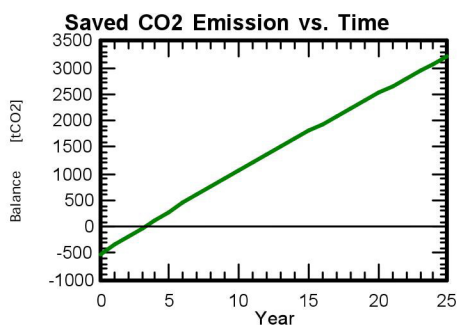
**Replaced Emissions** **Total: 4034.6 tCO2**  
 System production: 960.62 MWh/yr Lifetime: 25 years  
Annual Degradation: 0.7 %  
 Grid Lifecycle Emissions: 168 gCO2/kWh  
 Source: IEA List Country: Lithuania

**CO2 Emission Balance** **Total: 3204.9 tCO2**

### System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Transport1	Transport2
LCE	397 kgCO2/kWp	35.0 gCO2/km	59.7 gCO2/km
Quantity	1013 kWp	6819 km	251 km
Subtotal [kgCO2]	401918	16167	1015
Item	Supports	Inverters	Cabling
LCE	1.12 kgCO2/kg	281 kgCO2/units	3.14 kgCO2/kg
Quantity	40377 kg	14.0 units	5042 kg
Subtotal [kgCO2]	45245	3932	15840

Dismantling  
 8.00 kgCO2  
 3024 modu  
 24192



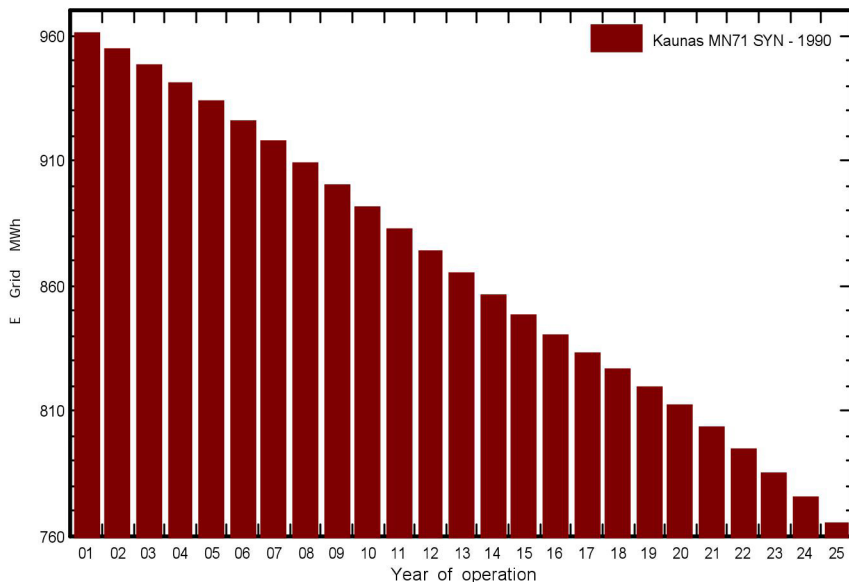
### Grid-Connected System: Ageing Tool

**Project :** Magistras v1  
**Simulation variant :** Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE  
 Simulation for the 1st year of operation

<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U-335M	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

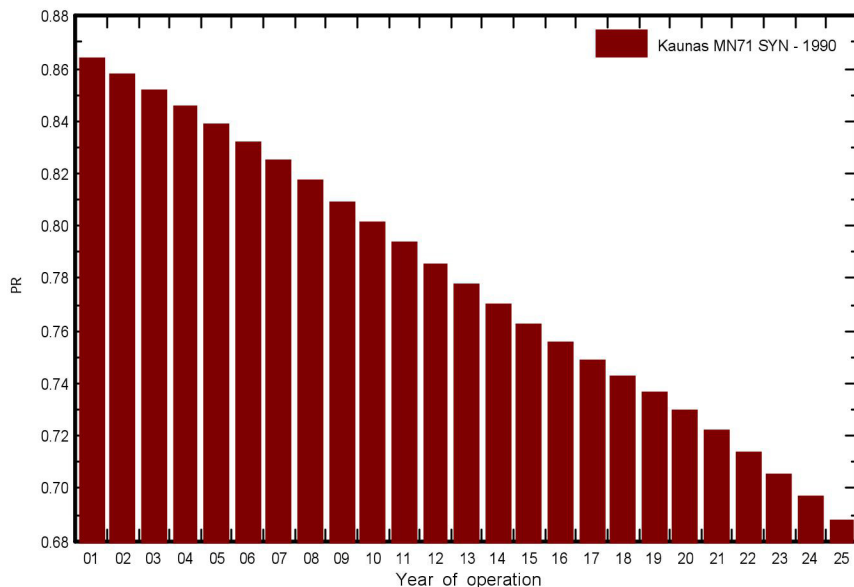
<b>Ageing Parameters</b>	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.67 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Kaunas MN71 SYN	Years	1990	Years simulated	1-25

**Energy injected into grid**



Year	#1	#1	#1
	E Grid	PR	PR loss
	MWh		%
1	960.6	0.863	0%
2	954.3	0.858	-0.7%
3	947.6	0.852	-1.4%
4	940.6	0.845	-2.1%
5	933.2	0.839	-2.8%
6	925.4	0.832	-3.7%
7	917.2	0.824	-4.5%
8	908.7	0.817	-5.4%
9	900	0.809	-6.3%
10	891.2	0.801	-7.2%
11	882.4	0.793	-8.1%
12	873.5	0.785	-9.1%
13	864.8	0.777	-10%
14	856.1	0.769	-10.9%
15	847.7	0.762	-11.8%
16	840	0.755	-12.6%
17	833	0.749	-13.3%
18	826	0.742	-14%
19	818.8	0.736	-14.8%
20	811.4	0.729	-15.5%
21	803.2	0.722	-16.4%
22	794	0.714	-17.3%
23	784.5	0.705	-18.3%
24	774.7	0.696	-19.4%
25	764.6	0.687	-20.4%

**Performance Ratio**



PVSYST V6.79		03/05/19	Page 1/6
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Magistras v2</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Canberra</b>	<b>Country</b>	<b>Australia</b>
<b>Situation</b>	Latitude -35.28° S	Longitude	149.13° E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+10	Altitude	554 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data:</b>	<b>Canberra</b>	Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=79% - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE</b>		
	Simulation date	03/05/19 12h04	
	<b>Simulation for the</b>	<b>1st year of operation</b>	
<b>Simulation parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	25°	Azimuth 0°
<b>Sheds configuration</b>	Nb. of sheds	35	Unlimited sheds
	Sheds spacing	8.89 m	Collector width 4.03 m
Inactive band	Top	0.02 m	Bottom 0.02 m
Shading limit angle	Limit profile angle	18.1°	Ground cov. Ratio (GCR) 45.3 %
Shadings electrical effect	Cell size	15.6 cm	Strings in width 4
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	Mutual shadings of sheds	Electrical effect	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>CS6U - 335P</b>
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.	
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel 168 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3024	Unit Nom. Power 335 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>1013 kWp</b>	At operating cond. 909 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	601 V	I mpp 1513 A
Total area	Module area	<b>5880 m<sup>2</sup></b>	Cell area 5299 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>	Model	<b>SUN2000-60KTL-M0_400Vac</b>	
Custom parameters definition	Manufacturer	Huawei Technologies	
Characteristics	Operating Voltage	200-1000 V	Unit Nom. Power 60.0 kWac
			Max. power (=>30°C) 66.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	14 units	Total Power 840 kWac
			Pnom ratio 1.21
<b>PV Array loss factors</b>			
Array Soiling Losses		Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.7 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
LID - Light Induced Degradation			Loss Fraction 1.2 %
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor 0.67 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

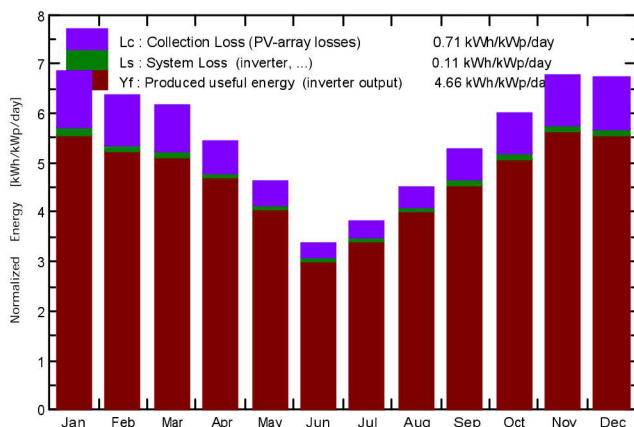
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** **Magistras v2**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

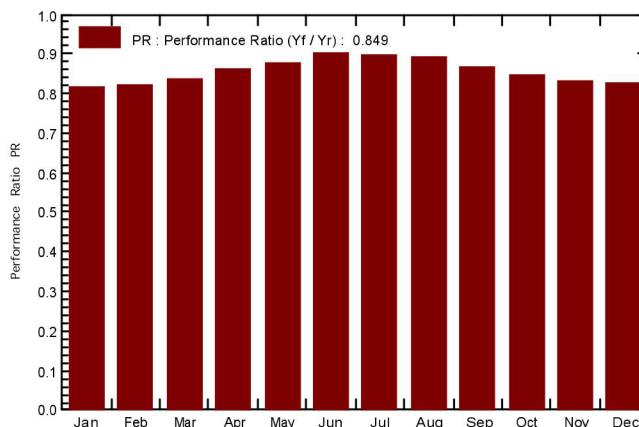
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6U - 335P	Pnom 335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total <b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total <b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
**System Production**      **Produced Energy** **1723 MWh/year**      **Specific prod.** **1700 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR** **84.93 %**

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1013 kWp**



**Performance Ratio PR**



### Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE Balances and main results

	<b>GlobHor</b> kWh/m²	<b>DiffHor</b> kWh/m²	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m²	<b>GlobEff</b> kWh/m²	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>January</b>	220.9	71.75	21.21	212.3	201.2	179.5	174.9	0.814
<b>February</b>	172.3	61.25	20.26	178.7	169.5	152.0	148.2	0.819
<b>March</b>	166.6	53.63	17.93	190.5	181.6	164.9	160.8	0.833
<b>April</b>	123.9	36.37	13.41	163.3	156.4	146.0	142.5	0.861
<b>May</b>	96.0	29.42	9.53	143.1	136.7	130.4	127.4	0.878
<b>June</b>	67.0	27.31	7.02	100.8	96.4	94.1	92.1	0.902
<b>July</b>	77.9	27.46	5.96	118.0	112.5	109.8	107.3	0.898
<b>August</b>	103.4	40.04	7.45	139.9	133.4	129.3	126.4	0.892
<b>September</b>	132.6	51.36	10.67	157.9	150.4	141.8	138.5	0.866
<b>October</b>	175.0	62.65	13.63	186.0	176.4	163.4	159.5	0.846
<b>November</b>	207.3	69.03	16.96	203.2	192.6	175.4	171.0	0.831
<b>December</b>	221.4	82.64	19.52	208.6	197.1	178.4	174.0	0.823
<b>Year</b>	<b>1764.1</b>	<b>612.90</b>	<b>13.59</b>	<b>2002.2</b>	<b>1904.2</b>	<b>1764.9</b>	<b>1722.7</b>	<b>0.849</b>

**Legends:**    GlobHor    Horizontal global irradiation      **GlobEff**    Effective Global, corr. for IAM and shadings  
                  DiffHor    Horizontal diffuse irradiation      **EArray**    Effective energy at the output of the array  
                  T\_Amb    Ambient Temperature                    **E\_Grid**    Energy injected into grid  
                  GlobInc    Global incident in coll. plane          **PR**        Performance Ratio

## Grid-Connected System: CO2 Balance

**Project :** **Magistras v2**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

Main system parameters		System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U - 335P	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

**Produced Emissions** **Total: 1970.08 tCO2**  
 Source: Detailed calculation from table below

**Replaced Emissions** **Total: 36477.2 tCO2**  
 System production: 1722.65 MWh/yr Lifetime: 25 years  
Annual Degradation: 0.7 %

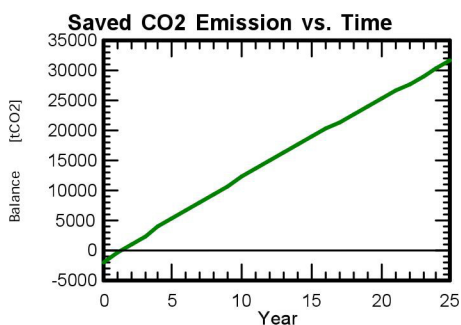
Grid Lifecycle Emissions: 847 gCO2/kWh  
 Source: IEA List Country: Australia

**CO2 Emission Balance** **Total: 31601.3 tCO2**

### System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Transport1	Transport2
LCE	1591 kgCO2/kWp	35.0 gCO2/km	59.7 gCO2/km
Quantity	1013 kWp	1918 km	3462 km
Subtotal [kgCO2]	1612063	4547	14000
Item	Supports	Inverters	Cabling
LCE	5.65 kgCO2/kg	522 kgCO2/units	15.8 kgCO2/kg
Quantity	40377 kg	14.0 units	5042 kg
Subtotal [kgCO2]	228109	7308	79860

Dismantling  
 8.00 kgCO2  
 3024 modu  
 24192



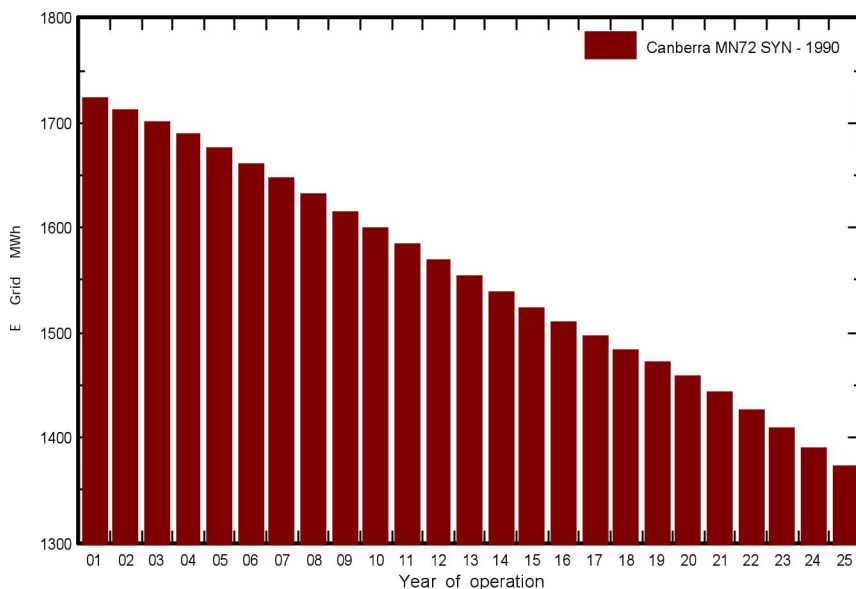
### Grid-Connected System: Ageing Tool

**Project :** Magistras v2  
**Simulation variant :** Huawei 60KTL-M0 + CS poly 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE  
 Simulation for the 1st year of operation

<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6U - 335P	Pnom 335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total <b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total <b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

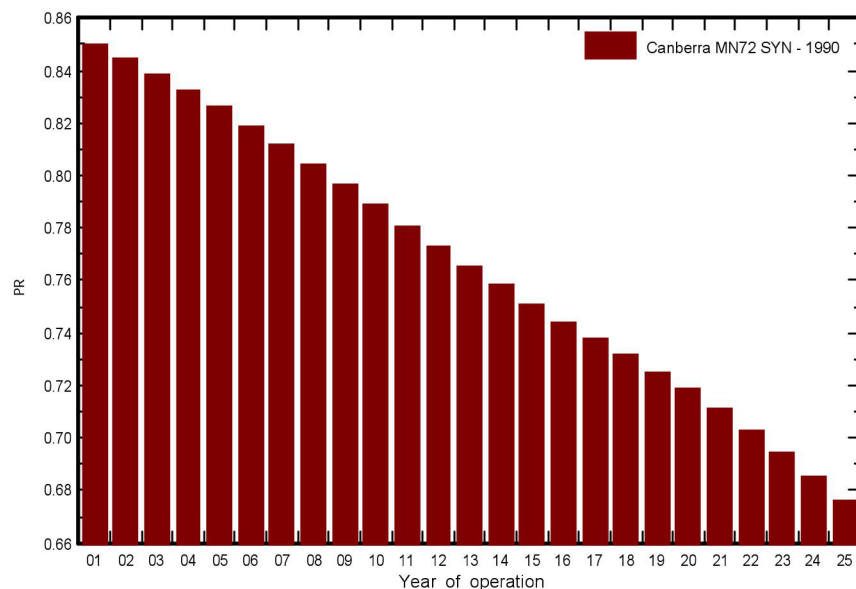
<b>Ageing Parameters</b>	Time span of simulation	25 years	
Module average degradation	Loss factor	0.67 %/year	
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion 0.4 %/year
Meteo used in the simulation			
#1 Canberra MN72 SYN	Years	1990	Years simulated 1-25

**Energy injected into grid**



Year	#1	#1	#1
	E Grid MWh	PR	PR loss %
1	1722.7	0.849	0%
2	1711.7	0.844	-0.6%
3	1700	0.838	-1.3%
4	1687.6	0.832	-2%
5	1674.5	0.826	-2.8%
6	1660.5	0.819	-3.6%
7	1645.6	0.811	-4.5%
8	1630.3	0.804	-5.4%
9	1614.6	0.796	-6.3%
10	1598.8	0.788	-7.2%
11	1583.1	0.78	-8.1%
12	1567.5	0.773	-9%
13	1552.1	0.765	-9.9%
14	1536.9	0.758	-10.8%
15	1522.1	0.75	-11.6%
16	1508.4	0.744	-12.4%
17	1495.8	0.737	-13.2%
18	1483.2	0.731	-13.9%
19	1470.2	0.725	-14.7%
20	1458.8	0.718	-15.4%
21	1441.7	0.711	-16.3%
22	1424.9	0.703	-17.3%
23	1407.5	0.694	-18.3%
24	1389.6	0.685	-19.3%
25	1371.3	0.676	-20.4%

**Performance Ratio**





PVSYST V6.79		03/05/19	Page 1/6
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Magistras v2</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Canberra</b>	<b>Country</b>	<b>Australia</b>
<b>Situation</b>	Latitude -35.28° S	Longitude	149.13° E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+10	Altitude	554 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data:</b>	<b>Canberra</b>	Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=79% - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE</b>		
	Simulation date	03/05/19 11h58	
	<b>Simulation for the</b>	<b>1st year of operation</b>	
<b>Simulation parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	25°	Azimuth 0°
<b>Sheds configuration</b>	Nb. of sheds	35	Unlimited sheds
	Sheds spacing	8.89 m	Collector width 4.03 m
Inactive band	Top	0.02 m	Bottom 0.02 m
Shading limit angle	Limit profile angle	18.1°	Ground cov. Ratio (GCR) 45.3 %
Shadings electrical effect	Cell size	15.6 cm	Strings in width 4
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	Mutual shadings of sheds	Electrical effect	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>CS6U-335M</b>
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.	
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel 168 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	3024	Unit Nom. Power 335 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>1013 kWp</b>	At operating cond. 910 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	607 V	I mpp 1498 A
Total area	Module area	<b>5880 m<sup>2</sup></b>	Cell area 5319 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>	Model	<b>SUN2000-60KTL-M0_400Vac</b>	
Custom parameters definition	Manufacturer	Huawei Technologies	
Characteristics	Operating Voltage	200-1000 V	Unit Nom. Power 60.0 kWac
			Max. power (=>30°C) 66.0 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	14 units	Total Power 840 kWac
			Pnom ratio 1.21
<b>PV Array loss factors</b>			
Array Soiling Losses		Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	6.8 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
LID - Light Induced Degradation			Loss Fraction 1.2 %
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Module average degradation	Year no	1	Loss factor 0.67 %/year
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

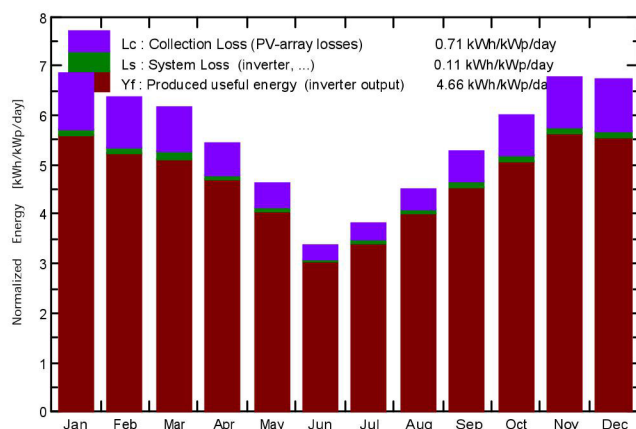
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** **Magistras v2**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

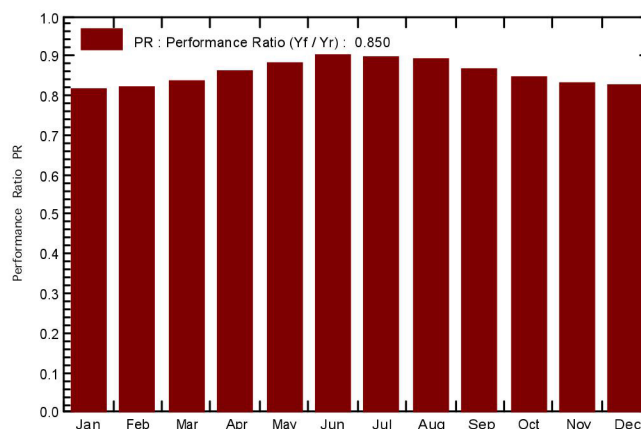
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS6U-335M	Pnom 335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total <b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total <b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
**System Production**      **Produced Energy** **1724 MWh/year**      **Specific prod.** **1702 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR** **85.02 %**

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1013 kWp**



**Performance Ratio PR**



### Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE Balances and main results

	<b>GlobHor</b> kWh/m²	<b>DiffHor</b> kWh/m²	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m²	<b>GlobEff</b> kWh/m²	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>January</b>	220.9	71.75	21.21	212.3	201.2	179.6	175.1	0.814
<b>February</b>	172.3	61.25	20.26	178.7	169.5	152.1	148.4	0.820
<b>March</b>	166.6	53.63	17.93	190.5	181.6	165.1	161.0	0.834
<b>April</b>	123.9	36.37	13.41	163.3	156.4	146.1	142.6	0.862
<b>May</b>	96.0	29.42	9.53	143.1	136.7	130.5	127.5	0.879
<b>June</b>	67.0	27.31	7.02	100.8	96.4	94.2	92.2	0.903
<b>July</b>	77.9	27.46	5.96	118.0	112.5	109.9	107.5	0.899
<b>August</b>	103.4	40.04	7.45	139.9	133.4	129.4	126.6	0.893
<b>September</b>	132.6	51.36	10.67	157.9	150.4	142.0	138.6	0.867
<b>October</b>	175.0	62.65	13.63	186.0	176.4	163.6	159.6	0.847
<b>November</b>	207.3	69.03	16.96	203.2	192.6	175.5	171.2	0.832
<b>December</b>	221.4	82.64	19.52	208.6	197.1	178.5	174.2	0.824
<b>Year</b>	1764.1	612.90	13.59	2002.2	1904.2	1766.6	1724.5	0.850

**Legends:**  
 GlobHor      Horizontal global 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

## Grid-Connected System: CO2 Balance

**Project :** **Magistras v2**  
**Simulation variant :** **Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE**  
**Simulation for the 1st year of operation**

Main system parameters		System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U-335M	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

**Produced Emissions** **Total: 1970.08 tCO2**  
 Source: Detailed calculation from table below

**Replaced Emissions** **Total: 36515.9 tCO2**  
 System production: 1724.48 MWh/yr Lifetime: 25 years  
Annual Degradation: 0.7 %

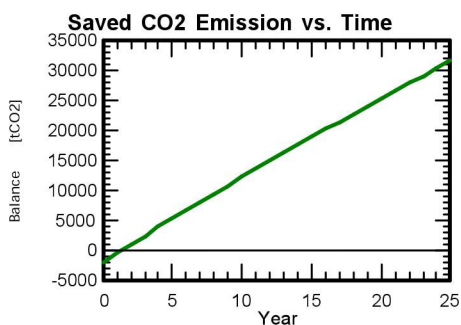
Grid Lifecycle Emissions: 847 gCO2/kWh  
 Source: IEA List Country: Australia

**CO2 Emission Balance** **Total: 31637.0 tCO2**

### System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Transport1	Transport2
LCE	1591 kgCO2/kWp	35.0 gCO2/km	59.7 gCO2/km
Quantity	1013 kWp	1918 km	3462 km
Subtotal [kgCO2]	1612063	4547	14000
Item	Supports	Inverters	Cabling
LCE	5.65 kgCO2/kg	522 kgCO2/units	15.8 kgCO2/kg
Quantity	40377 kg	14.0 units	5042 kg
Subtotal [kgCO2]	228109	7308	79860

Dismantling  
 8.00 kgCO2  
 3024 modu  
 24192



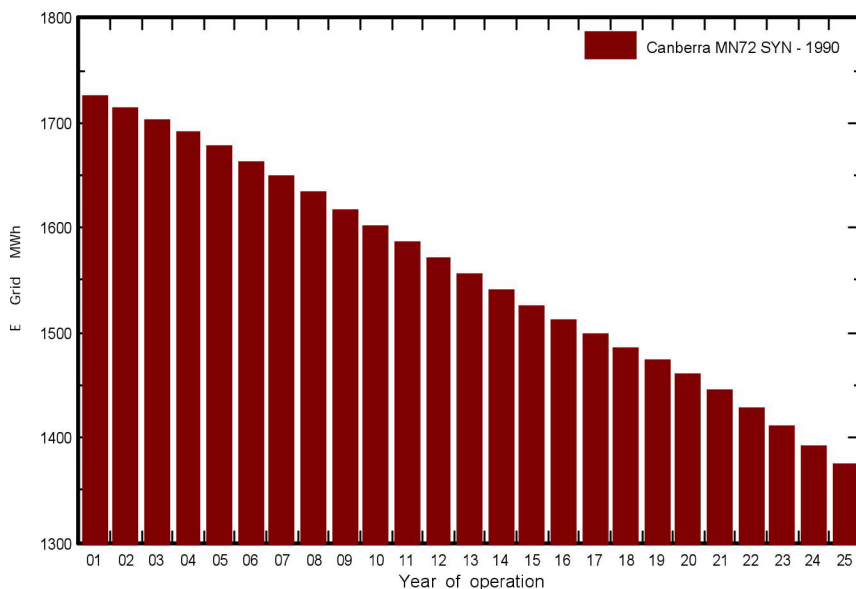
### Grid-Connected System: Ageing Tool

**Project :** Magistras v2  
**Simulation variant :** Huawei 60KTL-M0 + CS mono 335Wp + auxiliaries + ageing + LCE  
 Simulation for the 1st year of operation

<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Unlimited sheds</b>	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	25°	azimuth	0°
PV modules	Model	CS6U-335M	Pnom	335 Wp
PV Array	Nb. of modules	3024	Pnom total	<b>1013 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000-60KTL-M0_400Vac		60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	14.0	Pnom total	<b>840 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

<b>Ageing Parameters</b>	Time span of simulation	25 years		
Module average degradation	Loss factor	0.67 %/year		
Mismatch due to degradation	Imp RMS dispersion	0.4 %/year	Vmp RMS dispersion	0.4 %/year
Meteo used in the simulation				
#1 Canberra MN72 SYN	Years	1990	Years simulated	1-25

**Energy injected into grid**



Year	#1 E Grid MWh	#1 PR	#1 PR loss %
1	1724.5	0.85	0%
2	1713.5	0.845	-0.6%
3	1701.8	0.839	-1.3%
4	1689.4	0.833	-2%
5	1676.3	0.826	-2.8%
6	1662.3	0.82	-3.6%
7	1647.4	0.812	-4.5%
8	1632.1	0.805	-5.4%
9	1616.5	0.797	-6.3%
10	1600.7	0.789	-7.2%
11	1585	0.781	-8.1%
12	1569.4	0.774	-9%
13	1553.9	0.766	-9.9%
14	1538.8	0.759	-10.8%
15	1524	0.751	-11.6%
16	1510.3	0.745	-12.4%
17	1497.6	0.738	-13.2%
18	1485	0.732	-13.9%
19	1472.1	0.726	-14.6%
20	1458.6	0.719	-15.4%
21	1443.5	0.712	-16.3%
22	1426.7	0.703	-17.3%
23	1409.3	0.695	-18.3%
24	1391.4	0.686	-19.3%
25	1373.1	0.677	-20.4%

**Performance Ratio**

