



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Martynas Andriejovas**

**SAULĖS ELEKTRINIŲ GYVAVIMO CIKLO POVEIKIO**  
**APLINKAI VERTINIMO TYRIMAS**

**Baigiamasis magistro projektas**

Vadovas:

Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**SAULĖS ELEKTRINIŲ GYVAVIMO CIKLO POVEIKIO**  
**APLINKAI VERTINIMO TYRIMAS**

**Baigiamasis magistro projektas**  
**Energijos technologijos ir ekonomika (621E30004)**

**Vadovas**

Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė

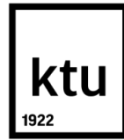
**Recenzentas**

Doc. dr. Almantas Bandza

**Projektą atliko**

Martynas Andriejovas

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Martynas Andriejovas

(Studento vardas, pavardė)

Energijos technologijos ir ekonomika, 621E30004

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Saulės elektrinių gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 25 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Martyno Andriejavo**, baigiamasis projektas tema „*Saulės elektrinių gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo tyrimas*“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Andriejovas, Martynas. Saulės elektrinių gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *saulė, gyvavimo ciklas, poveikis aplinkai, saulės energija, atsinaujinančioji energija.*

Kaunas, 2017. 65 p.

## **SANTRAUKA**

Šiandien visas pasaulis susiduria su globalinio klimato atšilimo problema, didėjančiu vartojimu ir augančiais šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimais. Europos sąjunga viena pirmųjų ėmėsi spręsti šią problemą ir vienas iš sprendimo būdų – atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas.

Baigiamajame darbe nagrinėjami gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodai, juos pritaikant skirtingiems saulės fotoelektros moduliams. Darbe lyginami mono-silicio ir poli-silicio fotoelektros moduliai, taikant skirtingus vertinimo metodus.

Vertinant elektros energijos atsipirkimo laiko metodu, mono-silicio fotoelektros moduliai atsiperka per 14,57 metų, o poli-silicio moduliai atsiperka per 11,51 metų. Naudojant šiltnamio efektą sukeliančių dujų atsipirkimo laiko metodiką, poli-silicio moduliai atsiperka, taip pat, greičiau.

Darbe pateikiami skirtingų saulės elektrinės sistemų ekonominiai vertinimai. Skaičiavimai atlikti taikant 3 % diskonto normą. Išnagrinėjus gautus rezultatus pateikiamos darbo išvados ir pasiūlymai.

Andriejavas, Martynas. Investigation of Life Cycle Impact Assessments of Photovoltaic Systems: *Master's thesis in Energy Technologies and Economics* / supervisor assoc. prof. Inga Konstantinavičiūtė, Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electric Power Systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: solar energy, life cycle, photovoltaics, environmental estimate, renewable energy sources.

Kaunas, 2017, 65 p.

## **SUMMARY**

Today the whole world faces global warming, consumption and greenhouse gas emissions rising. European Union is the one, who has taken to deal with this problem and one of the solutions for that is – renewable energy sources.

The main analysis of this conclusive work is to determine the evaluation methods for life cycle assessment while adapting it to different modules of photo electricity. This work compares mono-si and poli-si photo electric modules while applying different methods of evaluation.

This work provides research using the method of renewable energy payback time which revealed that mono-si photo electric modules have a payback period of 14.57 years, at the same time, poli-si modules payback period is 11.51 years. Using the payback time method of greenhouse effect that emits gas, poli-si payback period faster compared to mono-si.

This work presents different economic evaluations of solar electric systems. Calculations were made by applying a 3% discount. After analysing the results a conclusion and suggestions are presented.

## **SANTRUMPŲ SĄRAŠAS**

1. AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai
2. SE – saulės elektrinė;
3. ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;
4. ES – Europos sąjunga;
5. GCV – gyvavimo ciklo vertinimas;
6. FEM – fotoelektros moduliai;

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 3.1 lentelė.** Funkcinių vienetų pavyzdžiai;
- 4.1 lentelė.** CO<sub>2</sub> išmetimai gaminant elektros energiją skirtingais būdais;
- 5.1 lentelė.** Mono-silicio fotovoltinių modulių gamybos energijos sąnaudos;
- 5.2 lentelė.** Poli-silicio fotovoltinių modulių gamybos energijos sąnaudos;
- 5.3 lentelė.** Sistemos komponentų energijos sąnaudos;
- 5.4 lentelė.** Hyundai HiS-S280RG 280 W pagrindiniai parametrai;
- 5.5 lentelė.** Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W pagrindiniai parametrai;
- 5.6 lentelė.** Mono-silicio saulės elektrinės generuojama elektros energija kiekvieną mėnesį;
- 5.7 lentelė.** Poli-silicio saulės elektrinės generuojama elektros energija kiekvieną mėnesį;
- 5.8 lentelė.** Mono-silicio saulės elektrinės gamybos sąnaudos;
- 5.9 lentelė.** Poli-silicio saulės elektrinės gamybos sąnaudos;
- 6.1 lentelė.** Mono-silicio saulės elektrinės projekto sąmata;
- 6.2 lentelė.** Iš mono-silicio SE gautų pajamų suma per mėnesį ir metus;
- 6.3 lentelė.** Prognozuojami pinigų srautai esant 3 % diskonto normai;
- 6.4 lentelė.** Mono-silicio saulės elektrinės projekto sąmata;
- 6.5 lentelė.** Iš poli-silicio SE gautų pajamų suma per mėnesį ir metus;
- 6.6 lentelė.** Prognozuojami pinigų srautai esant 3 % diskonto normai;
- 6.7 lentelė.** Mono-silicio/ poli-silicio SE projektų ekonominio vertinimo rezultatai.

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav.** Šiltnamio efektą sukeliančių dujų struktūra 2015 m., %;
- 1.2 pav.** ŠESD išmetimų tendencijos energetikos sektoriuje Lietuvoje 1990-2014 m.;
- 1.3 pav.** AEI dalis Lietuvoje, pagal sektorius 2012 – 2015 m., %;
- 1.4 pav.** Europos sąjungos ŠESD išmetimai [22];
- 2.1 pav.** Saulės apšvita Lietuvoje;
- 2.2 pav.** Metinis elektros energijos gamybos potencialas Europoje;
- 2.3 pav.** Metinis saulės energijos, krentančios į horizontalų paviršių, pasiskirstymas Lietuvos centrinėje dalyje;
- 2.4 pav.** Saulės elemento konstrukcija ir veikimas;
- 3.1 pav.** Gyvavimo ciklo vertinimo principinė schema;
- 3.2 pav.** Gyvavimo ciklo vertinimo struktūra;
- 3.3 pav.** Produkto sistema ir jos ribos;
- 5.1 pav.** Gyvavimo ciklo vertinimo atlikimo schema
- 5.2 pav.** Mono-silicio fotovoltinių modulių sistemos gamybos energijos sąnaudos;
- 5.3 pav.** Mono-silicio fotovoltinių modulių sistemos komponentų energijos sąnaudos;
- 5.4 pav.** Mono-silicio visos sistemos ir komponentų bendri kaštai;
- 5.5 pav.** Mono-silicio SE projekto atsipirkimas, vertinant skirtingais metodais;
- 5.6 pav.** Poli-silicio fotovoltinių modulių sistemos gamybos energijos sąnaudos;
- 5.7 pav.** Poli-silicio fotovoltinių modulių sistemos komponentų energijos sąnaudos;
- 5.8 pav.** Poli-silicio visos sistemos ir komponentų bendri kaštai;
- 5.9 pav.** Poli-silicio SE projekto atsipirkimas, vertinant skirtingais metodais;
- 5.10 pav.** Skirtingų fotomodulių saulės elektrinių sistemų atsipirkimas, EPBT metodu;
- 5.11 pav.** Skirtingiems fotomoduliams skirto silicio išgavimo kaštai;
- 5.12 pav.** Skirtingų fotomodulių saulės elektrinių sistemų atsipirkimas, ŠESD atsipirkimo laiko metodu;
- 6.1 pav.** Skirtingų SE projektų pinigų srautai.



## TURINYS

ĮVADAS .....	11
1. ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ NAUDOJIMĄ SKATINANČIOS PRIEŽASTYS.....	13
2. SAULĖS ENERGIJA .....	17
2.1 Saulės apšvita.....	18
2.2 Saulės elemento veikimo principas bei konstrukcija.....	19
3. GYVAVIMO CIKLO VERTINIMAS .....	21
3.1 Gyvavimo ciklo vertinimo samprata.....	21
3.2 Tyrimo tikslo ir apimties apibrėžimas .....	25
3.3 Funkcinis vienetas.....	26
3.4 Sistemos ribos .....	28
3.5 Inventorinė analizė.....	28
3.6 Poveikio paskirstymas .....	29
4. ENERGETIKOS TECHNOLOGIJŲ GYVAVIMO CIKLO VERTINIMO METODINIAI PRINCIPAI .....	31
4.1 Energijos atsipirkimo laiko metodas.....	31
4.2 ŠESD išmetimų atsipirkimo laiko metodas .....	32
5. SAULĖS ELEKTRINIŲ GYVAVIMO CIKLO POVEIKIO APLINKAI VERTINIMO ANALIZĖ .....	35
5.1 Mono-silicio fotovoltiniai saulės elementai.....	37
5.2 Poli-silicio fotovoltiniai saulės elementai.....	37
5.3 Mono-silicio saulės elektrinės projektavimas.....	38
5.4 Poli-silicio saulės elektrinės projektavimas.....	40
5.5 Mono-silicio saulės elektrinės gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas.....	41
5.5.1 Mono-silicio saulės elektrinės pagaminimo ir instaliavimo energijos sąnaudos .....	41
5.5.2 Mono-silicio saulės elektrinės energijos atsipirkimo laikas .....	46
5.5.3 Mono-silicio saulės elektrinės ŠESD išmetimų atsipirkimo laikas .....	46
5.6 Poli-silicio saulės elektrinės gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas.....	47
5.6.1 Poli-silicio saulės elektrinės pagaminimo ir instaliavimo energijos sąnaudos .....	48
5.6.2 Poli-silicio saulės elektrinės energijos atsipirkimo laikas .....	49
5.6.3 Poli-silicio saulės elektrinės ŠESD išmetimų atsipirkimo laikas .....	50

5.7 Gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodų ir skirtingų SE sistemų palyginimas .....	51
6. SAULĖS ELEKTRINIŲ EKONOMINIS VERTINIMAS.....	54
6.1 Mono-silicio saulės elektrinės projekto ekonominis vertinimas.....	54
6.2 Poli-silicio saulės elektrinės projekto ekonominis vertinimas.....	57
6.3 Ekonominio projektų vertinimo rezultatų palyginimas .....	60
IŠVADOS .....	61
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	63
Priedas nr. 1 .....	66
Priedas nr. 2 .....	67

## IVADAS

Šiandieninėje visuomenėje, klimato kaitos mažinimas, yra vienas svarbiausių šio šimtmečio klausimų. Neatsiejamas nuo šios problemos yra energetikos sektorius, kuriame, labai svarbų vaidmenį atlieka atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas. Siekiant darnios energetikos plėtros, reikėtų akcentuoti efektyvų energijos vartojimą, taip pat, iškastinio kuro naudojimo mažinimą, stengtis jį pakeisti atsinaujinančiais energijos išteklių, tokiais kaip saulė, vėjas, biokuras, geoterminė energija.

Efektyvus elektros energijos vartojimas bei atsinaujinančiųjų energijos išteklių technologijų integracija į tinklą padėtų gerinti ekonominius ir aplinkosauginius rodiklius, nes atsinaujinančių energijos šaltinių technologijų panaudojimas leidžia sumažinti CO<sub>2</sub> emisijų išmetimus. Sparčiai tobulėjant AEI technologijoms, atsiveria galimybės ekonomiškai naudingai panaudoti švarią energiją.

Pasaulinė energijos rinka per pastaruosius kelis dešimtmečius pasikeitė neatpažįstamai. Mažėjantys iškastinio kuro išteklių, augantis susirūpinimas klimato kaita ir, netgi 21 amžiuje pasitaikančios katastrofos, pavyzdžiui, Fukushimos atominėje elektrinėje yra tik nedaugelis priežasčių, kurios skatina naudoti saugesnę ir švaresnę elektros energiją.

Tačiau net ir atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas turi įtakos mus supančiai aplinkai. Kiekvieno elektros įrenginio gamybos, transportavimo, prijungimo prie sistemos metu, į aplinką yra išmetamos CO<sub>2</sub> emisijos. Tokie, netiesioginiai CO<sub>2</sub> išmetimai šiandien yra vertinami labai retai, tam skiriama nedaug dėmesio. Visa tai galima įvertinti atliekant gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą, kuris padeda nustatyti, ar naujai planuojama gaminti elektros energija yra švaresnė elektros energiją pagamintą deginant iškastinį kurą.

Šio darbo tema yra aktuali, nes pastaruosiu metu, prieš pradėdami vystyti bet kokį energetinį projektą, investuotojai vis daugiau dėmesio skiria ne tik ekonominiam tokio projekto naudingumui, bet ir aplinkosauginiams faktoriams – ar tokia investicija prisidės prie švaresnės aplinkos kūrimo.

Šiame darbe nagrinėjami elektros energijos gamybos technologijų gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo būdai, naujausi tokio vertinimo metodai ir kokią įtaką daro atsinaujinantys energijos išteklių viso gyvavimo ciklo eigoje.

**Darbo tikslas** – išanalizuoti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodiką ir atlikti skirtingų tipų saulės elektrinių poveikio vertinimą.

### **Darbe nagrinėjami uždaviniai:**

1. išanalizuoti AEI technologijų naudojimą skatinančias priežastis;
2. išnagrinėti saulės elektrinių technologijas ir jų pritaikomumą;
3. išanalizuoti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai metodiką;
4. atlikti skirtingų tipų saulės elektrinės gyvavimo ciklo poveikio aplinkai įvertinimą pagal energijos atsipirkimo laiko ir ŠESD išmetimų atsipirkimo laiko metodus;
5. atlikti skirtingų tipų saulės elektrinių projektų ekonominį vertinimą.

### **Tyrimo metodai:**

Literatūros analizė; gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodai: energijos atsipirkimo laiko ir ŠESD išmetimų atsipirkimo laiko; skirtingo tipo saulės elektrinių palyginamoji rezultatų analizė.

### **Darbo struktūra:**

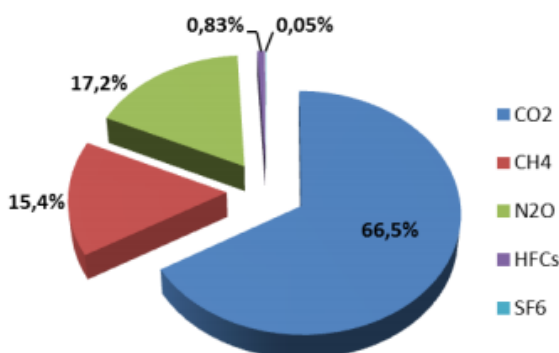
Darbą sudaro trys pagrindinės dalys. Pirmojoje dalyje išanalizuota bendra AEI naudojimo tendencija, skatinimo priežastys, saulės energijos privalumai, technologijos. Antrojoje darbo dalyje išnagrinėta gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodika, galimi sistemos ribų variantai, apžvelgiamos pagrindinės vertinimo metodikos – energijos atsipirkimo laiko ir ŠESD išmetimų atsipirkimo laiko metodai, jų privalumai bei trūkumai. Trečiojoje darbo dalyje atliktas dviejų tipų saulės elektrinių gyvavimo ciklo poveikio vertinimas skaičiavimai, atliktas rezultatų apibendrinimas ir palyginimas bei pateiktos rekomendacijos.

Darbo apimtis – 65 puslapiai, magistro darbe pateikiama 18 lentelių, 24 paveikslai, 26 literatūros šaltiniai ir 2 priedai.

# 1. ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ NAUDOJIMĄ SKATINANČIOS PRIEŽASTYS

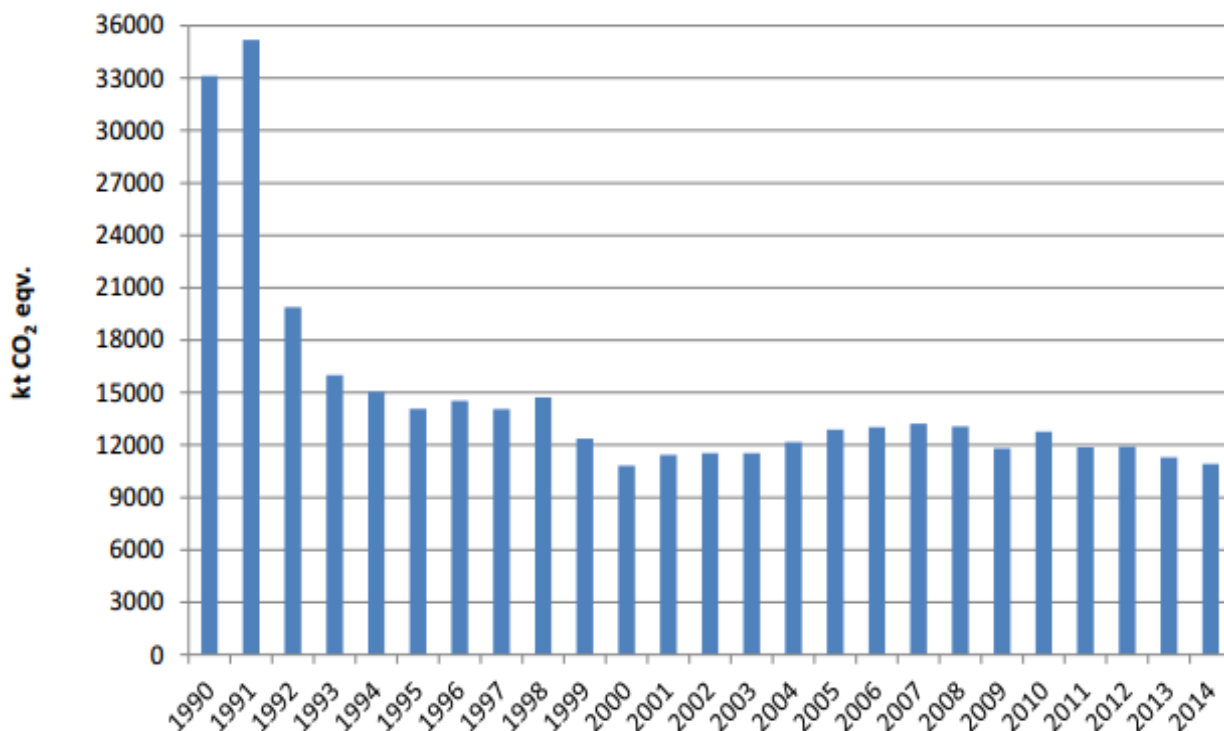
Viena didžiausių šių dienų problemų, su kuria susiduria žmonija – klimato atšilimas. Per paskutinius dešimtmečius fiksuojamas žemės atmosferos prie paviršiaus ir vandenynų vidutinės temperatūros didėjimas. Vienas pagrindinių šios problemos sukėlėjų yra ŠESD (šiltnamio efektą sukeliančios dujos), kurių pagrindinė sudedamoji dalis – CO<sub>2</sub>.

Svarbu paminėti, kad energetikos sektorius sukuria beveik 62 % visų ŠESD išmetimų Lietuvoje, todėl saulės elektrinės yra puikus energijos gamybos būdas, galintis padėti sumažinti aplinkos taršą. Pagrindinės antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra: anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>), metanas (CH<sub>4</sub>), azoto suboksidas (N<sub>2</sub>O), sieros heksafluoridas (SF<sub>6</sub>), perfluoroangliavandeniliai (PFC), hidrofluoroangliavandeniliai (HFC). 2015 m. anglies dioksidas sudarė 66,5 %, azoto suboksidas - 17,2 %, metanas - 15,4 % bendro nacionalinio ŠESD kiekio. Perfluoroangliavandeninių, hidrofluoroangliavandeninių ir sieros heksafluorido bendras kiekis sudarė 0,9 % visų Lietuvoje į atmosferą išmetamų ŠESD kiekio 2015 metais. (1.1 pav.) [1]



1.1 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų struktūra 2015 m., % [1]

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas energetikos sektoriuje per 1990-2014 m. laikotarpį sumažėjo beveik 3 kartus, t.y. nuo 33124 kt CO<sub>2</sub> ekv. 1990 m. iki 10916 kt CO<sub>2</sub> ekv. 2014 m. (1.2 pav.). 1991 m. matomas smarkus sumažėjimas siejamas su 1991-1995 m. ekonomine krize. Atsigavus ekonomikai stebimas ŠESD kiekio didėjimas, kasmet energetikos sektoriuje ŠESD išmetimas padidėdavo apie 2,5%, tačiau dėl 2008 m. prasidėjusios pasaulinės ekonominės krizės, ŠESD kiekis sumažėjo 10%. Ignalinos atominės elektrinės uždarymas 2010 m. prisidėjo prie ŠESD kiekio padidėjimo 7,5%. Siekiant vykdyti ŠESD mažinimo įsipareigojimus ir numatytas priemones nuo 2012 m. stebimas, nors ir nedidelis, patenkančio į atmosferą ŠESD kiekio mažėjimas [2].



**1.2 pav.** ŠESD išmetimų tendencijos energetikos sektoriuje Lietuvoje 1990-2014 m. [2]

Siekiant sumažinti klimato kaitą, viena pirmųjų politinių iniciatyvų buvo Kioto protokolas, pasirašytas 1997 metais [3]. Be jokios abejonės, viena iš kovos su klimato kaita priemonių yra AEI naudojimo skatinimas. Ši pasaulinė iniciatyva buvo tik pradžia ir nuo to laiko buvo priimta daugybė įvairių sprendimų tiek pasaulio, tiek ES mastu. ES mastu priimtose energetikos ir klimato kaitos strategijose labai aiškiai apibrėžti strateginiai tikslai siekiant spręsti klimato kaitos problemas,:

1. 20-20-20:
  - šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti bent 20 %, lyginant su 1990 metais;
  - 20 % energijos išgauti iš atsinaujinančių išteklių;
  - 20 % padidinti energijos vartojimo efektyvumą;
  
2. 30-30-30:
  - 40 % sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį;
  - bent 27 % energijos išgauti iš atsinaujinančių energijos išteklių;
  - 27 – 30 % padidinti energijos vartojimo efektyvumą;
  - pasiekti 15 % elektros energijos tinklų sujungimo lygį (t.y. 15 % ES pagamintos elektros energijos turėtų būti galima eksportuoti į kitas ES šalis);

### 3. 2050:

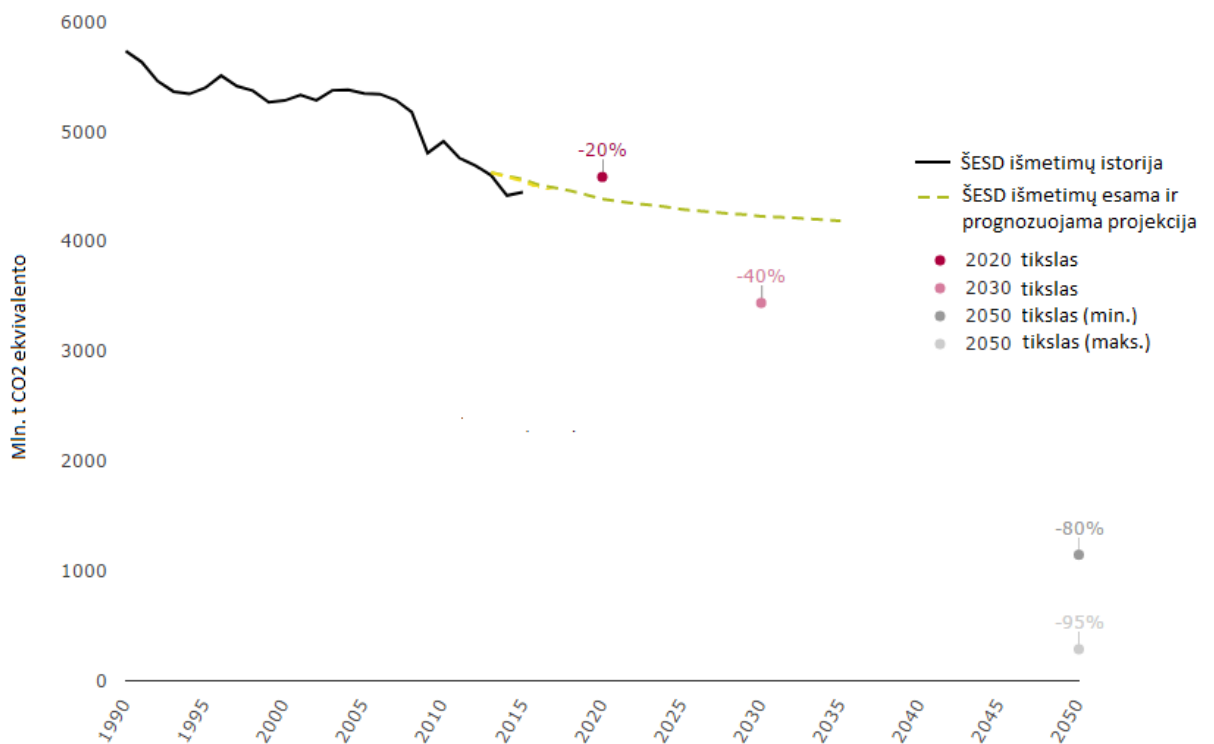
- ilgalaikis tikslas yra bent 80 – 95 % sumažinti išmetamų teršalų kiekį, lyginant su 1990 metais. [4]

Šie bendri strateginiai tikslai tapo neatsiejama visų ES valstybių, energetikos politikos dalimi. To buvo imtasi, nes didėjantis energijos vartojimas, mažėjantis efektyvumas vedė prie neišvengiamų klimato atšilimo problemų. Visa tai spręsti galima tik globaliai, visoms šalims prisidedant prie švaresnės energijos gamybos, efektyvesnio vartojimo, CO<sub>2</sub> išmetimų mažinimo. Žinoma, neatsiejama viso to dalis yra AEI integracija į energetikos sektorių. Kiekvienais metais AEI naudojimas Lietuvoje auga (1.1 pav.) 2012 – 2015 metais bendra AEI energijos suvartojimo dalis augo 4,13 %, daugiausiai padidėjo šildymo – aušinimo dalis, net 5,54 % [5].



**1.3 pav.** AEI dalis Lietuvoje, pagal sektorius 2012 – 2015 m., % [5]

Esant dabartinėms tendencijoms, pagal 30-30-30 ES direktyvą, 2030 metų tikslą įgyvendinti bus sunku, jeigu ES narės nedidins sunaudojamos AEI energijos kiekio, t.y. nediegs daugiau galios. Lyginant su 1990 metais, Europos sąjunga jau dabar sumažino ŠESD išmetimus 20 %, tačiau išliekant tai pačiai tendencijai, iki 2030 metų sumažinti išmetimus 40 % nepavyks.



**1.4 pav.** Europos sąjungos ŠESD išmetimai [6]

Ne ką mažiau svarus argumentas skatinti naudoti AEI yra tai, kad sparčiai tobulėjančios technologijos leidžia gaminti elektros energiją konkurencingomis kainomis, lyginant su tradiciniais energijos gamybos būdais. Taigi norint kurti geresnę aplinką, neišvengiamai teks didinti AEI pajėgumus.



## 2. SAULĖS ENERGIJA

Saulės energetika šiandien yra bene labiausiai besivystanti atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) sritis. Planuojama, kad 2040 m. saulės elektrinėse bus gaminama 25%, o iš visų AEI rūšių – 82% visos sunaudojamos elektros energijos. [7] Įrengiamų saulės elektrinių (SE) galia gali būti labai įvairi. Mažiausiųjų fotoelektros energijos šaltinių galia gali būti matuojama vatais arba net milivatais, o galingiausiųjų – gigavatais. SE pranašumai:

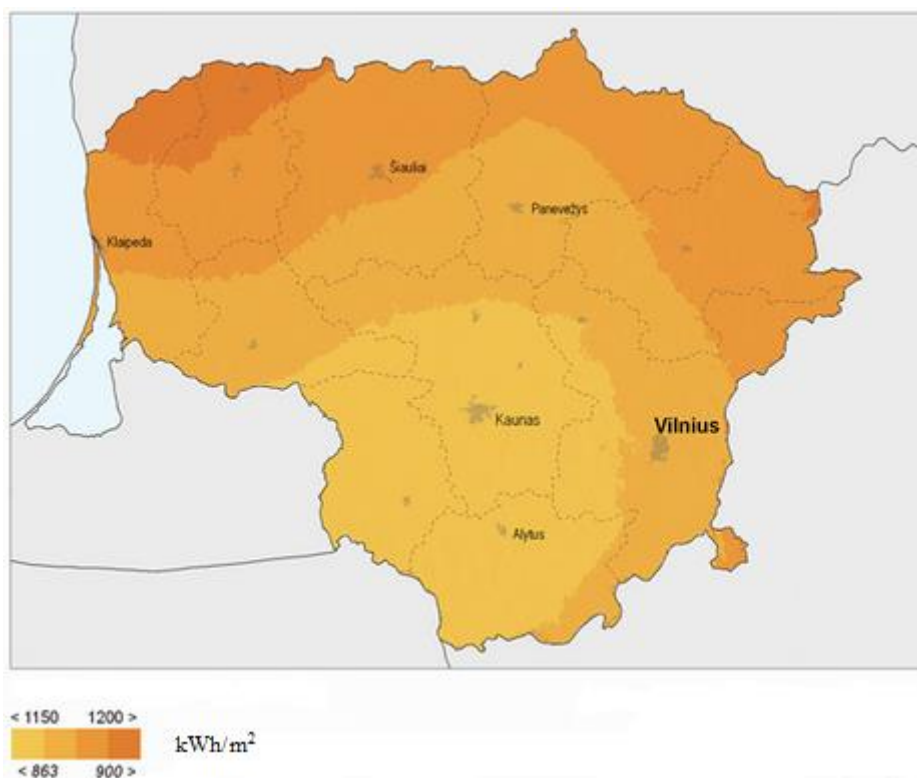
- mažųjų SE mobilumas – jos yra lengvai pergabamos iš vienos vietos į kitą,
- didelis patikimumas – SE gali ilgą laiką patikimai tarnauti be papildomos priežiūros,
- nedidelė eksploatacijos kaina – nereikia jokio kuro, nėra judančių dalių,
- ekologiškumas – neteršia aplinkos (išskyrus akumuliatorių gamybą, jeigu jie naudojami sistemoj),
- galimybė dirbti nuo elektros tinklo nutolusiose vietovėse autonominiu režimu,
- moduliškumas – SE galia gali būti didinama arba mažinama keičiant fotoelektros modulių skaičių,
- darbo saugumas – nėra lengvai užsidegančių dalių,
- tinkamumas bet kokiam klimatui.

Vienas iš SE trūkumų, tai yra jų nepastovumas ir dideli energinių parametru pokyčiai priklausomai nuo laiko ir nuo vietovės geografinių koordinatų. Nepastovumas truputį apsunkina SE naudojimą, tačiau nuolat tobulėjančios technologijos padeda spręsti šią problemą. Praeityje didžiausias jų trūkumas buvo didelė elementų kaina, tačiau, šiandien saulės elementų kainos nuolat mažėja. Kasmet SE kainos vidutiniškai sumažėja apie 5%, jau dabar tampa aišku, kad dar po kelerių metų SE bus pajėgios konkuruoti elektros energijos gamybos rinkoje be jokios paramos per elektros energijos supirkimo tarifą ar kitais būdais. [7]

Skiriami trys saulės spinduliuotės tipai: tiesioginė, sklaidžioji ir visuminė. Tiesioginę spinduliuotę sudaro tiesioginiai saulės spinduliai. Sklaidžiąją spinduliuotę sudaro nuo atmosferos debesų, dulkių, aerosolių, molekulių, pastatų, žemės paviršiaus ir kitų objektų atsispindėję spinduliai. Visuminę spinduliuotę sudaro tiesioginės ir sklaidžiosios spinduliuočių suma.

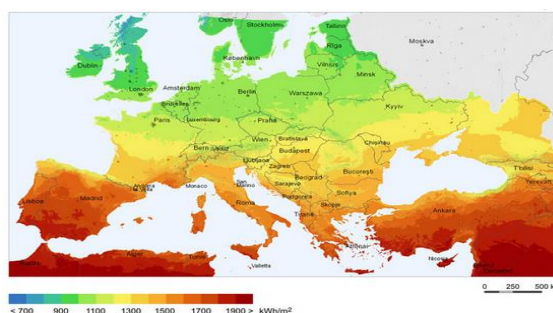
## 2.1 Saulės apšvita

Saulės energetikoje naudojama sąvoka - apšvita. Apšvita įvertina šviesos spindulių akimirkinę galią, tenkančią plokštumos, į kurią ji krinta, ploto vienetui. Kitaip saulės apšvitą būtų galima pavadinti saulės spinduliuotės galios tankiu. Saulės apšvita įprastai matuojama vatais kvadratiniam metrui [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. Giedrą vasaros dieną plokštumoje, statmenoje saulės spinduliui, apšvita gali viršyti  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ . Saulės švietimo laikas yra ilgiausias pajūryje ir trumpėja rytinės sienos link (1.1 pav.) [8].



2.1 pav. Saulės apšvita Lietuvoje [8]

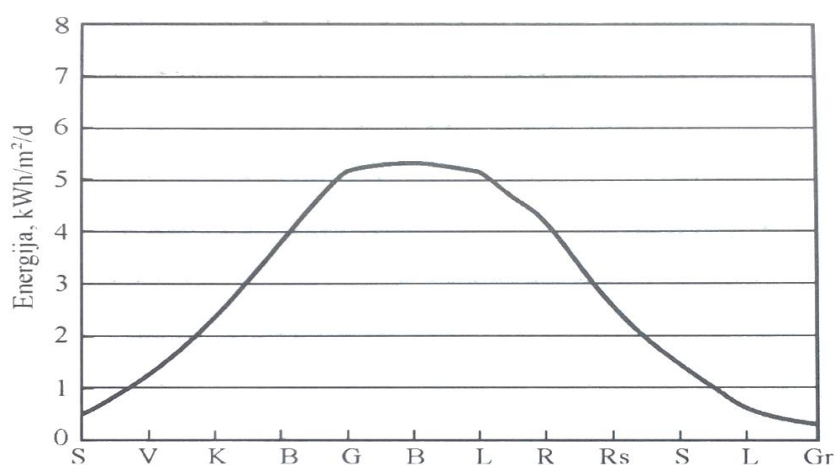
Saulės apšvita nuolatos keičiasi priklausomai nuo debesuotumo, dienos laiko ir metų laiko. Energijos kiekis, gautas per tam tikrą laiką iš saulės spindulių veikiant kintančiai saulės apšvitai, yra vadinama saulės ekspozicija, kuri dažniausiai matuojama kilovatvalandėmis kvadratiniam metrui arba džauliais kvadratiniam metrui ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ,  $\text{J}/\text{m}^2$ ). Apšvita, bei saulės ekspozicija gali būti tiesioginė, sklaidžioji ir visuminė.



2.2 pav. Metinis elektros energijos gamybos potencialas Europoje [8]

Lietuva patenka į ganėtinai palankią saulės energijos spinduliuojamą zoną, metinė saulės spinduliuojama energija vienam kvadratiniam metrui yra tokia pati kaip ir šalyse, kurios saulės energetikos plėtrai skiria labai daug dėmesio, pavyzdžiui, Vokietija, Olandija. Situacija yra geresnė negu daugelyje šiaurinės Europos valstybių, tokių kaip Latvija, Estija, Suomija, Švedija, taip pat, Airija (2.2 pav.).

Saulės energetiką plėtoti apsunkina ir tai, kad skirtingais metų laikais saulės intensyvumas skiriasi (2.3 pav.). Taip pat didelę įtaką turi ir klimato sąlygos, skirtinguose regionuose yra skirtingas debesuotumas. Meteorologų išvados rodo, kad saulėtų dienų skaičius Lietuvoje skiriasi priklausomai nuo vietovės daugiausiai saulėtų valandų per metus Nidoje – 1900, mažiausiai rytiniame šalies pakraštyje – 1650.



**2.3 pav.** Metinis saulės energijos, krentančios į horizontalų paviršių, pasiskirstymas Lietuvos centrinėje dalyje [9]

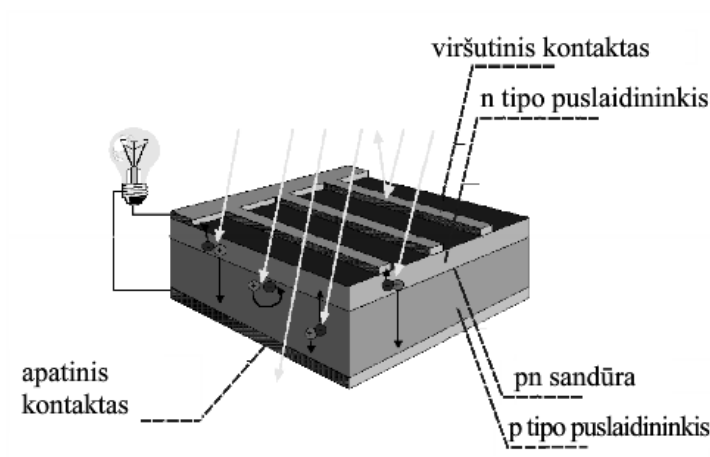
## 2.2 Saulės elemento veikimo principas bei konstrukcija

Šiandien, rinkoje esančių saulės elementų pasirinkimas yra, iš tiesų, nemažas. Tačiau didžiausią rinkos dalį - daugiau negu pusę rinkos užima polikristaliniai silicio elementai, antra vieta rinkoje – trečdalis visų montuojamų SE yra monokristaliniai silicio elementai. Likusią dalį sudaro amorfiniai silicio, kadmio telurido ir daugiasluoksniai vario indžio selenito saulės elementai.

Beveik visų šiuo metu gaminamų saulės elementų pagrindinė naudojama medžiaga yra silicis (Si). Silicis sudaro beveik 27% visos žemės plutos masės ir yra antras pagal gausumą žemės elementas, tačiau gryno silicio žemėje nėra aptikta, jis yra išgaunamas laboratorijoje. Silicis yra randamas kristalų pavidalu smėlyje, granite bei smiltainyje, tačiau kartais jo galima rasti ir kitose uolienose bei dirvoje.

Priešasčių, kodėl SE gaminti naudojamas silicis yra keletas – bene svarbiausia, kad tai yra puslaidininkinė medžiaga, nemažiau svarbu ir tai, kad jo elektrinės savybės yra lengvai keičiamos įdėjus į jį atitinkamų priemaišų.

Į vieną silicio plokštelės pusę įterpus boro, o į kitą fosforo priemaišų, susiformuoja *pn* sandūra, sudaranti pastovų elektrinį lauką. Elektrinis laukas nukreipia elektronus viena, o skylės kita kryptimi, toks silicis turi elektronų perteklių ir tampa *n* tipo puslaidininkiu. Sudarius uždara grandinę, saulės elementu tekės srovė. Viršutinis kontaktas paprastai būna šukų arba tinklelio pavidalo, kad pro jį praeitų fotonai, o apatinis – vientisas metalo sluoksnis.



**2.4 pav.** Saulės elemento konstrukcija ir veikimas [7]

Saulės šviesai krentant į saulės elementą, jonizuojasi silicio atomai. Šie, veikiami *p-n* sandūros jungties potencialų skirtumo, poliarizuojasi į dvi priešingo krūvio zonas. Laisvieji elektronai kaupiasi prie viršutinio kontakto *n*-sluoksnyje, atomai, netekę elektrono, kaupiasi prie apatinės kontaktinės plokštelės, t.y. *p* sluoksnyje. Šiuos sluoksnius sujungus išorine grandine, laisvieji elektronai keliauja į *p*-silicio sluoksnį ir ten sąveikauja su skylėmis, išlaisvindami savo krūvio energiją (2.4pav.). Kitaip tariant, elektronų srautas, kuris yra išorinėje grandinės dalyje yra elektros srovė [7].

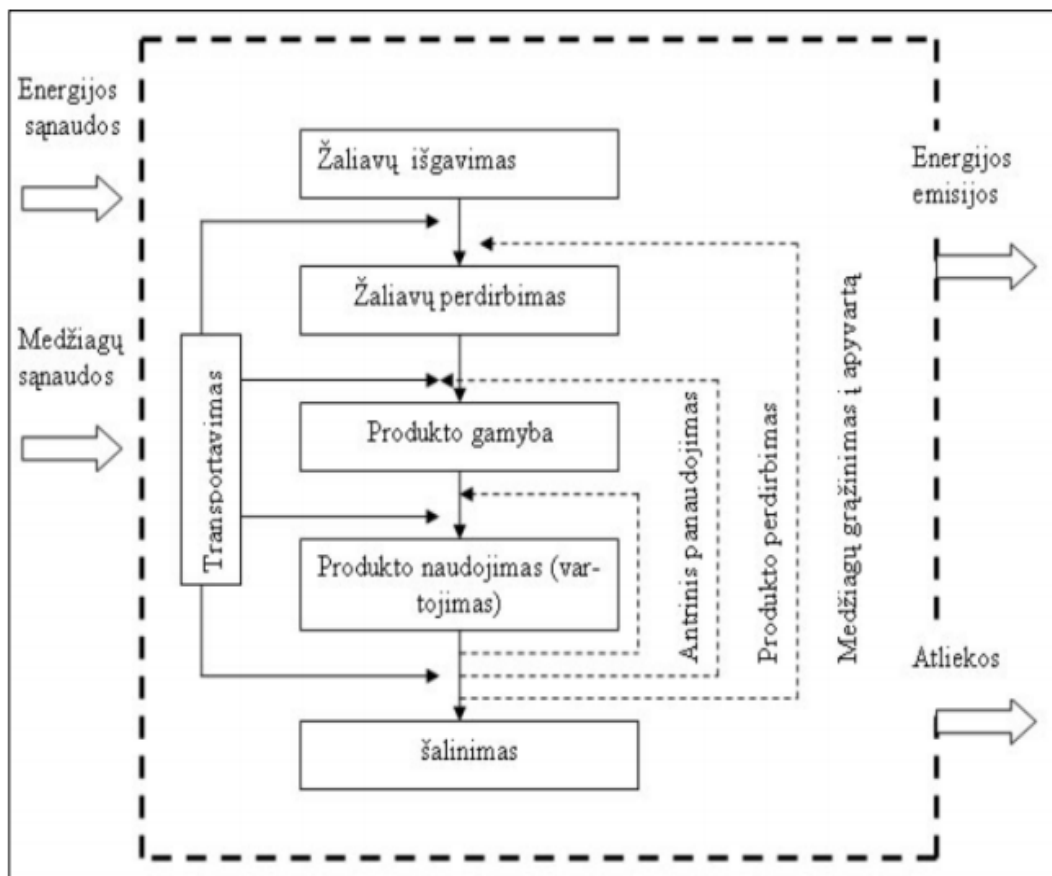
Saulės elementai naudojimui yra komplektuojami į modulius. Modulį sudaro keletas lygiagrečiai ir nuosekliai sujungtų saulės elementų pagal norimą ar reikalaujamą įtampą ir srovę. Taip surinkti elementai laminuojami ir dedami į aliuminio ar nerūdijančio plieno rėmą. Tuomet moduliai pagal reikiamus įtampos ir srovės dydžius yra surenkami į saulės elementų laukus.

Modulis, kaip ir SE, apibūdinamas pikinės galios reikšme  $W_p$ . Modulio pikinė galia – tai galia, kurią jis gali išvystyti esant vardiniam saulės šviesos intensyvumui ( $1000W/m^2$ ) ir nustatytoms darbo sąlygoms.

### 3. GYVAVIMO CIKLO VERTINIMAS

#### 3.1 Gyvavimo ciklo vertinimo samprata

Gyvavimo ciklo analizė (ang. life cycle assessment) yra naudojama įvairių gamybos produktų ir technologinių sistemų poveikio aplinkai kiekybinių ir kokybinių rodiklių vertinimui. Ši analizė apima įvairių duomenų rinkimą, jų vertinimą ir poveikio aplinkai nustatymą viso produkto gyvavimo ciklo metu (nuo fizinio atsiradimo iki pat išnykimo). Į gaminio gyvavimo ciklą įeina tokie komponentai: žaliavų paruošimas, energijos išgavimas, pervežimas, pirminis apdirbimas, gaminio gamyba, pakuotė, paskirstymas, vartojimas, atliekų surinkimas ir galutinis pašalinimas.



3.1 pav. Gyvavimo ciklo vertinimo principinė schema [10]

Šis vertinimo metodas leidžia apjungti visas produkto gyvavimo ciklo grandis į vieną grandinę ir nustatyti pasekmes šiam ciklui pasibaigus. Be to jis leidžia palyginti įvairias žaliavos panaudojimo ir produkto gamybos ar panaudojimo alternatyvas. Pavyzdžiui, svarstant kokią energijos rūšį gaminti iš biomasės, galimos įvairios alternatyvos – kietasis biokuras, skystieji degalai ar biodujos. Vienokį rezultatą gautume šias alternatyvas vertindami ekonominiais metodais ir visai kitokį – vertinant gyvavimo ciklo rodikliais.

Poveikis aplinkai gali būti labai įvairus, toks kaip atsinaujinančių ir neatsinaujinančių išteklių eikvojimas; klimato kaita; ozono nykimas; smogo formavimasis; eutrofikacija; biologinės įvairovės mažėjimas. Norint objektyviai įvertinti technologijų daromą poveikį aplinkai pastaruoju metu naudojamas viso produktų gyvavimo ciklo vertinimas. Todėl vykdant bet kokią veiklą labai svarbu suprasti, kaip produktai gali veikti aplinką per įvairius savo gyvavimo ciklo etapus ir nustatyti tinkamus aplinkos apsaugos aspektus, būdingus produktui.

Priklausomai nuo gaminio sudėtingumo ar prigimties, aplinkos apsaugos aspektai ir poveikis aplinkai galimi įvairiuose gaminio gyvavimo ciklo etapuose. Pagrindiniai gaminio gyvavimo ciklo aplinkosauginiai aspektai remiasi „įvediniais“ ir „išvediniais“ (kitai dar vadinami įėjimo ir išėjimo srautai), kurie gali būti nustatomi apskaičiuojant medžiagų ir energijos sąnaudas, vandens išteklių sąnaudas, emisijas, nuotekas, atliekų kiekius bei gaminio transportavimą ir pakavimą. Gyvavimo ciklo vertinimas (GCV) leidžia palyginti gaminius pagal poveikį aplinkai ir spręsti, kuriose gaminio gyvavimo ciklo stadijose gaminys labiausiai veikia aplinką. Į gyvavimo ciklo vertinimo rezultatus dažniausiai žiūrima kaip į palyginamuosius, o ne absoliutinius, todėl jie labiau tinkami vidiniam vertinimui ir produktų tobulinimui.

Gyvavimo ciklo vertinimas gali padėti šiais atvejais:

- identifikuojant galimybes gerinti produktų aplinkos aspektus įvairiose jų gyvavimo ciklo vietose;
- pramonei, vyriausybinėms ir nevyriausybinėms organizacijoms priimant sprendimus (pvz., strateginio planavimo, prioritetų nustatymo, produktų ar procesų projektavimo ar perprojektavimo);
- parenkant atitinkamus sąveikos su aplinka veiksmingumo rodiklius, įskaitant matavimo metodus;
- rinkodarai (pvz., aplinkosauginis pareiškimas, ekologinio ženklavimo schema ar produkto nekenksmingumo aplinkai deklaravimas) [11].

Gyvavimo ciklo vertinimo metodika nurodo, kad produkto ar paslaugos sąvoka apima:

- paslaugas (pvz. transportas);
- programinę įrangą (pvz. kompiuterinės programos);
- techninę įrangą (pvz. mechanizmai, detalės);
- gaminamos medžiagos [10].

Gyvavimo ciklo vertinimo tyrimai turėtų apibūdinti ir dokumentais patvirtinti duomenų šaltinius bei būti aiškiai ir tinkamai pateikti:

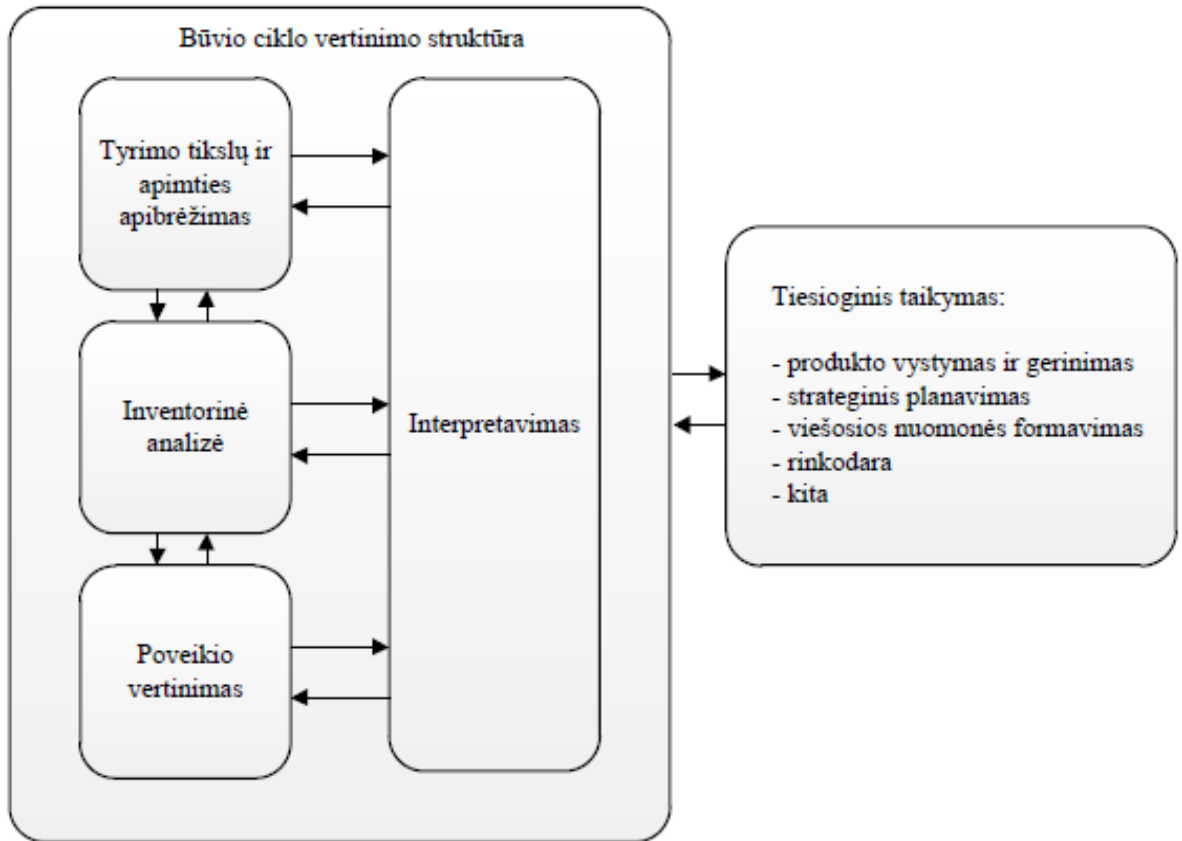
- atsižvelgiant į numatomą gyvavimo ciklo vertinimo tyrimo taikymą, turėtų būti suformuluotos konfidencialumo užtikrinimo ir nuosavybės apsaugos nuo-status;
- gyvavimo ciklo vertinimo metodika turėtų būti pajėgi naudoti naujus mokslo duomenis ir šiuolaikinių technologijų patobulinimus;
- specialūs reikalavimai taikomi gyvavimo ciklo vertinimo tyrimams, naudojamiems visuomenei skelbiamam lyginamajam pareiškimui daryti;
- nėra mokslinio pagrindo iš gyvavimo ciklo vertinimo rezultatų gauti vieną bendrą rezultatą ar skaičių, nes skirtingais gyvavimo ciklo tarpsniais analizuojamoms sistemoms daromi kompromisiniai sprendimai, taip pat pačios sistemos yra sudėtingos;
- nėra vieno gyvavimo ciklo vertinimo tyrimų metodo. Įgyvendinant gyvavimo ciklo vertinimą praktiškai, organizacijoms reikėtų lanksčiai veikti pagal konkretaus taikymo ir vartotojo reikalavimus [11].

Tarptautinė standartizacijos organizacija pateikė tokius pagrindinius gyvavimo ciklo vertinimo principus:

- produkto ar jo sistemos aplinkos aspektai nagrinėjami per visą gaminio gyvavimo ciklą, t.y. nuo žaliavų išgavimo iki galutinio atliekų tvarkymo;
- gyvavimo ciklo vertinimo tyrimo apimtis gali keistis, atsižvelgiant į tikslo ir apimties apibrėžimą;
- gyvavimo ciklo vertinimo tyrimo apimtis, prielaidos, duomenų kokybės aprašymas, metodikos ir tyrimų rezultatai turėtų būti skaidrūs ir aiškiai aprašyti;
- gyvavimo ciklo vertinimo metodologija turėtų remtis naujausiais moksliniais duomenimis ir šiuolaikinėmis technologijomis;
- nėra mokslinio pagrindo iš gyvavimo ciklo vertinimo rezultatų gauti vieną bendrą rezultatą ar skaičių, nes analizuojamos produkto sistemos yra sudėtingos ir tarpusavyje susijusios;
- nėra vienintelio gyvavimo ciklo vertinimo tyrimo metodo, todėl įgyvendinant gyvavimo ciklo vertinimą praktiškai reikia atsižvelgti į konkretų taikymo atvejį ir gyvavimo ciklo vertinimui užsakovo reikalavimus.

Pagal ISO 14040 standartą, gyvavimo ciklo vertinimą sudaro keturi tarpusavyje susiję etapai (3.2 pav.):

1. tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas;
2. inventorinė analizė;
3. poveikio vertinimas;
4. rezultatų interpretavimas.



**3.2 pav.** Gyvavimo ciklo vertinimo struktūra [12]

Tikslo bei apimties apibrėžimo etapas daugiausia susijęs su kuo tikslesnių klausimų į kuriuos reikia atsakyti, suformulavimu. Inventorinėje analizėje susitelkiama ties analizuojamo gaminio funkcijos procesu struktūra ir tarpusavio priklausomybe. Poveikio įvertinimo etape siekiama apjungti ir interpretuoti inventorinės analizės rezultatus. Interpretacija suteikia įvairių tyrimo rezultatų pasekmių analizės galimybių. Šis etapas apima neapibrėžtumo ir jautrio analizę, palyginimą su ankstesniais rezultatais ir t.t.

Dažnai projektuojant gaminius nebūtina atlikti detalaus gyvavimo ciklo vertinimo, nes tai sudėtingi, daug laiko ir išteklių reikalaujančios studijos. Produktų poveikio aplinkai vertinimas dažniausiai atliekamas programine įranga bei duomenų bazėmis, kuriose sukaupti jau atliktų tyrimų duomenys [13].

Pagal taikymo sritį, gyvavimo ciklo vertinimo tyrimus galima skirstyti į pramoninės ir visuomeninės paskirties. Visuomeninės paskirties gyvavimo ciklo vertinimo tyrimai atliekami siekiant palyginti kelis panašius gaminius ar paslaugas rinkoje. Šiuo atveju gyvavimo ciklo



vertinimo rezultatai naudojami formuojant visuomenės nuomonę ar rengiant kriterijus aplinkai mažiau kenksmingų produktų ženklavimui ar sertifikavimui. Gyvavimo ciklo vertinimo tyrimų naudotojai gali būti įvairios suinteresuotos šalys.

### **3.2 Tyrimo tikslo ir apimties apibrėžimas**

Šiame etape formuluojamas analizės tikslas ir prielaidos, kuriomis remsis tolimesnis vertinimas. Tyrimo tikslas ir taikymo srities apibrėžimas yra orientyras, kuris padeda užtikrinti atliekamo gyvavimo ciklo vertinimo seką. Tikslas ir tyrimo apimtis yra svarbiausi punktai, nes jie paaiškina:

- gyvavimo ciklo vertinimo vykdymo priežastis ir klausimus, į kuriuos reikia atsakyti;
- tikslų produkto apibrėžimą, jo gyvavimo ciklą ir atliekamas funkcijas;
- kai produktai turi būti palyginti tarpusavyje, palyginimo pagrindas yra apibrėžtas funkcinis vienetas;
  - sistemos ribų aprašymą ir apibrėžimą;
  - paskirstymo problemų nagrinėjimo būdus;
  - duomenis ir duomenų kokybės reikalavimus;
  - prielaidas ir apribojimus;
  - reikalavimus inventorinės analizės atlikimui ir naudojamus interpretacijos būdus;
  - numatomą auditoriją ir rezultatų pateikimo būdą;
  - tyrimo ataskaitos reikalingą tipą ir formatą.

Nagrinėjamos sistemos ribos ir funkcinis vienetas priklauso nuo tyrimo tikslų, todėl turi būti tiksliai apibrėžiama, kas ir kokiais tikslais naudos planuojamą gyvavimo ciklo vertinimą.

ISO standarte yra keletas ypatingų reikalavimų tikslo apibrėžimui:

- taikymo sritis ir tikslinė auditorija turi būti konkrečiai aprašyti, kad nebūtų dviprasmiškumo. Tai yra svarbu, nes tyrimas, kurio tikslas - pateikti duomenis taikomus įmonės viduje, gali būti gana skirtingai išdėstytas palyginus su tyrimu, kuriuo siekiama pateikti visuomenei dviejų produktų palyginimą. Pavyzdžiui, pastaruoju atveju ISO nurodo, kad svarinis vertinimas neturėtų būti naudojamas poveikio vertinime, o tarpusavio peržiūros procedūra yra būtina. Todėl yra svarbu bendrauti su suinteresuotosiomis šalimis tyrimo vykdymo metu.

- tyrimo atlikimo priežastys turi būti aiškiai aprašytos. Nes vieni specialistai bando kažką įrodyti, o kiti – tik ketina pateikti informaciją.

Gyvavimo ciklo vertinimo tikslu, pavyzdžiui, gali būti dviejų alternatyvių produktų poveikio aplinkai palyginimas. Tokiu atveju reikia:

- žinoti, kokie produktai bus vertinami;
- išsiaiškinti, ar šie gaminiai pagal savo funkcijas yra palyginami;
- numatyti, kas ir kaip naudosis vertinimo rezultatais;
- tiksliai nustatyti, pagal kokius parametrus produktai bus palyginami;
- nustatyti priežastis, kodėl būtent šie parametrai labiausiai tinka produktams palyginti;
- nustatyti gaminio paskirtį ir funkcinį vertinimo vienetą;
- nustatyti vertinimo detalumo lygį, t.y. nustatyti nagrinėjamos sistemos ribas [13].

Gyvavimo ciklo įvertinime pagrindinės analizės objektai yra produktų funkcijos ir su jomis susiję pramonės ar kiti procesai. Pavyzdžiui: kambario apšvietimo funkcija gali būti įvykdyta naudojant šviestuvą, lempą, laidus ir elektros energiją, tačiau sistema apima anglies gabenimo iš kasyklų į elektrines, elektros laidų ir stiklo gamybą, iškastinio kuro ir metalų kasyba, panaudotų lempų pašalinimą, varinių vijų perdirbimą ir t.t. Taigi iš pateikto pavyzdžio aišku, kad gyvavimo ciklo vertinimas yra sudėtingas procesas:

- gyvavimo ciklas lengvai apima šimtus procesų;
- šie procesai išskiria daug įvairių cheminių medžiagų, nuo CO<sub>2</sub> iki gyvsidabrio ir nuo fenolio iki SO<sub>2</sub>;
- procesai naudoja daug įvairių gamtinių išteklių, nuo geležies rūdos iki naftos ir nuo medžių iki ariamos žemės;
- procesai vyksta per ilgą laiko tarpą (gali praeiti dešimtmečiai tarp mašinų gamybos ir galutinio perdirbto stiklo šalinimo);
- procesai vyksta didelėje geografinėje aplinkoje (nors dalis gyvavimo ciklo gali būti lokalizuota vienoje šalyje ar regione, tačiau daugelis išteklių naudojama iš viso pasaulio).

### **3.3 Funkcinis vienetas**

Dviejų ar daugiau produktų palyginime ypač svarbus klausimas yra funkcinis vienetas arba palyginimo pagrindas. Daugeliu atvejų negalima paprasčiausiai palyginti A ir B produktų, nes jie gali turėti skirtingas charakteristikas.

Gaminio paskirtis leidžia nustatyti gaminio funkcinį vienetą. Funkcinis vienetas - bet koks gaminio ar paslaugos funkcijos matavimo vienetas ir jo kiekis. Funkcinis vienetas yra pagrindas tolimesniems gyvavimo ciklas vertinimo skaičiavimams. Visa informacija, surinkta inventorizacijos ir poveikio vertinimo metu, išreiškiama naudojant funkcinį vienetą [12]. Tai

atskaitos taškas, su kuriuo matematiškai susiejami produkto sistemos įvedimai ir išvedimai srautais bei tarnauja kaip atskaitos vienetas poveikio aplinkai vertinime.

Funkcinį vieneta nėra paprasta apibrėžti, nes daugelis gaminių ar paslaugų atlieka keletą funkcijų. Tyrimui funkcija turi būti pasirinkta, pagal tyrimo tikslą ir apimtį. Kai gyvavimo ciklo vertinimas taikomas lyginant panašius gaminius ar paslaugas yra ypač svarbu, kad palyginami produktai atliktų ta pačia ar panašią funkciją, nes kitaip vertinimas būtų logiškai nepagrįstas.

Pavyzdžiui, reikia įvertinti poveikį aplinkai, transportuojant 1 asmenį iš Kauno į Berlyną. Sistemos funkcija yra aiški: pervežti keleivį. Be to, pervežimas gali būti atliekamas skirtingais vežimo būdais, išskyrus laivą.

Energetikoje dažniausiai pasirenkamas 1 MJ naudingos energijos funkcinis vienetas. Šis pasirinkimas remiasi pagrindine funkcija - „naudingos energijos tiekimas“. Kadangi įvairios biokuro rūšys tenkina įvairius konkrečius tikslus - šilumos, elektros energijos gamybos ar transportavimo, todėl rezultatai taip pat gali būti išreiškiami vienetais, kurie išreiškia tokias funkcijas. 1 lentelėje išvardinti funkciniai vienetai, kurie gali būti naudojami kaip pavyzdys [13].

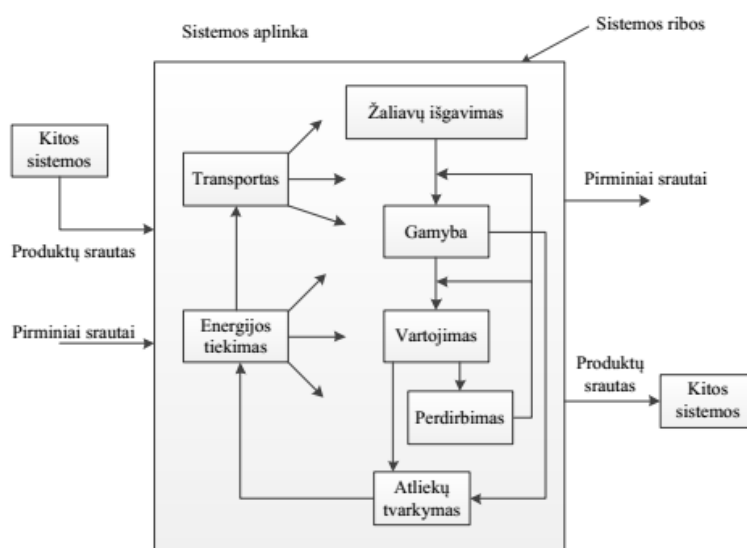
**3.1 lentelė.** Funkcinių vienetų pavyzdžiai [14]

<b>Kuro rūšys</b>	<b>Funkcinis vienetas</b>
Biomasės kuras elektros gamybai	1 kWh elektros energijos
Saulės energija elektros gamybai	1 kWh elektros energijos
<b>Kuro rūšys</b>	<b>Funkcinis vienetas</b>
Biomasė šilumai	1 MJ šiluminės energijos
Biodegalai transportui	1 km nuvažiuoto atstumo
Biodujos	1 MJ naudingos energijos (šiluminės ir elektros kartu)
Produktų transportavimas	tkm (1000 kg pervežta 1 km atstumu)
Keleivių transportavimas	žmogaus km (1 žmogus pervežtas 1 km)

Apibrėžti funkcinį vieneta gali būti gana sunku, nes gaminių funkcijas ne visada yra lengva apibūdinti. Pavyzdžiui, kokia yra tiksli valgomųjų ledų, automobilio nuomos paslaugos ar laisvalaikio funkcija.

### 3.4 Sistemos ribos

Produkto sistema gali neribotai išaugti, todėl gali tapti sunku efektyviai rinkti bei analizuoti duomenis, taigi būtina apibrėžti sistemos ribas. Gaminio gyvavimo ciklai yra kompleksiniai bei tarpusavyje susiję. Sudėtinga sistema gali tapti pernelyg plati, kad efektyviai būtų surinkti duomenys ir gaminio gyvavimo ciklo komponentai tarpusavyje palyginti. Tačiau nagrinėjama sistema neturi būti pernelyg siaura, kad nebūtų praleisti gaminio ciklo komponentai, reikšmingai veikiantys aplinką. Sistemos ribos - tai gaminio gyvavimo ciklo etapai ir komponentai, peržiūrimi ciklo vertinimo metu. Sistemos ribos nustato, kokios gyvavimo ciklo stadijos ir pavieniai procesai įtraukiami į modeliavimui numatytą sistemą (3.3 pav.).



3.3 pav. Produkto sistema ir jos ribos [11]

Atliekant gyvavimo ciklo vertinimą produktas nagrinėjamas ne kaip atskiras fizinis objektas, o kaip sistema, veikianti pagal tam tikrą modelį. Produkto sistema ISO 14040 standarte apibrėžiama kaip „medžiagų ir energijos požūrių sujungtų pavienių procesų visuma, vykdanči vieną ar daugiau apibrėžtų funkcijų“.

### 3.5 Inventorinė analizė

Inventorinė analizė - tai gyvavimo ciklo vertinimo etapas, skirtas kiekybiniams duomenims apie visą produkto gyvavimo ciklą surinkti. Inventorinė analizė apima duomenų rinkimo ir apskaičiavimo metodikas, taikomas kiekybiškai įvertinti atitinkamus produkto sistemos įvedinius ir išvedinius.

Gyvavimo ciklo vertinime įvediniais laikomos medžiagos ir energija. Medžiagų sąnaudos sukelia atsinaujinančių ir neatsinaujinančių išteklių išsekimą, prisideda prie atliekų susidarymo ir emisijų į atmosferą padidėjimo. Gyvavimo cikle susidarančius išvedinius apima

pats produktas, tarpiniai ir šalutiniai produktai, emisijos į atmosferą, nuotekos, atliekos ir kiti teršalai.

Inventorinės analizės metu turi būti renkami duomenys ir duomenų rinkimo lentelėse fiksuojami sistemos ribose esančio kiekvieno sistemos pavienio proceso kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai.

Duomenų rinkimas dažnai atima nemažai laiko, todėl gyvavimo ciklo vertinimo taikymas įmonėse tampa problemiškas, kadangi dažnai sprendimai versle turi būti priimami nedelsiant. Be to, gyvavimo ciklo vertinimo tyrimai nepateikia problemos sprendimo, o tik leidžia palyginti kelis variantus interpretuojant gyvavimo ciklo vertinimo tyrimų metu sukauptą informaciją.

Duomenų šaltiniai gal būti labai įvairūs: tiesioginiai matavimai, teoriniai medžiagų ir energijos balansai, statistinių duomenų bazės bei literatūra. Duomenų bazėse galima rasti daug informacijos, tačiau pasitaiko atvejų kai kelių procesų ar medžiagų negalima rasti arba turimi duomenys nėra patikimi.

Tyrimui naudojami duomenys turi būti dabartiniai ir atitinkami analizuojamą situaciją. Teršalų normos, saugos darbe reglamentai ir kiti veiksniai labai skiriasi laikui bėgant ir tarp skirtingų valstybių. Pageidavimas patenkinti šiuos poreikius sukuria duomenų rinkimo sunkumų. Tačiau, atsižvelgiant į tai, kad tyrimo tikslas yra pateikti kiek įmanoma tikslesnius duomenis, šių klausimų negalima ignoruoti. Pažymėtina, kad duomenys apie naujas technologijas gali greitai pasikeisti po jų instaliavimo. Be to neišvengiamai laikui bėgant technologijos yra tobulinamos. Pavyzdžiui, NOx emisijų rodikliai kombinuoto ciklo dujų turbinų jėgainėms yra daug mažesni, nei buvo rekomenduojami statybų metu.

### **3.6 Poveikio paskirstymas**

Daugelis procesų paprastai atlieka daugiau nei vieną funkciją ar duoda išvesties rezultatą. Įtaka aplinkai šiame procese turi būti paskirstoma skirtingoms funkcijoms ir rezultatams. Gaminio gyvavimo ciklo vieno etapo metu gali susidaryti keletas gaminių ar atliekų. Kartais būna sunku nustatyti, kokiam išvediniui ir kokiais kiekiais galima priskirti susidariusias atliekas ar sunaudotą energiją. Vienas iš pagrindinių inventorinės analizės uždavinių yra duomenų paskirstymas pagal sistemos įvedinius ir išvedinius.

Paskirstymas reikalingas šiais atvejais :

- kai vieno proceso metu gaminami keli produktai;
- kai yra keletas įvedinių analizuojamoje sistemoje (pvz.: keletas žaliavų rūšių);

- kai vienos sistemos išvedinys yra kitos sistemos įvedinys [12].

Siekiant spręsti su paskirstymu susijusius klausimus ISO rekomenduoja šią procedūrą:

- Vengti paskirstymo, padalijant procesą taip, kad jis būtų apibūdintas kaip du atskiri procesai – kiekvienas su vienu išvesties rodikliu. Dažnai tai nėra įmanoma, pavyzdžiui medinės lentos ir pjuvenos yra ekonominės išvesties rodikliai. Tačiau negalima šio proceso padalyti į du atskirus procesus – pjuvenų ir lentų procesus.

- Dar vienas būdas išvengti paskirstymo yra sistemos ribų išplėtimas įtraukiant procesus, kurie būtų reikalingi gauti panašius išvesties rodiklius. Pavyzdžiui, jei naudojamas garo kiekis, gaunamas kaip šalutinis produktas, naudojamas tokiu būdu, kad būtų išvengta garų gamybos tradicinėmis priemonėmis, galima atimti įtaką aplinkai išvengiant garų gamybos. Praktinė problema – dažnai ta, kad tai ne visada lengva pasakyti, kaip garas būtų gaminamas alternatyviai.

- Jei neįmanoma išvengti paskirstymo, ISO standartas siūlo paskirstyti įtaką aplinkai pagal fizinį priežastingumą, pavyzdžiui, per masės ar energijos kiekį išvesties rezultatuose. Pavyzdžiui, jei pjuvenos sudaro 40 % masės, galima skirti 40 % aplinkos apkrovos pjuvenoms.

- Jei aukščiau paminėta procedūra negali būti taikoma, ISO siūlo naudoti socialinį ir ekonominį paskirstymo pagrindą, tikį kaip ekonominė vertė. Pavyzdžiui, jei pjuvenos sudaro 20 % vertės, gautos lentpjūvėje, tai galima skirti 20 % šios produkcijos aplinkos apkrovai [15].

Energijos sąnaudos ir emisijos procesuose, kur gaminama daug produktų, turi būti paskirstomos atskiriems gaminiams. ISO 14040 pataria mažinti paskirstymo būtinybę išplečiant sistemos ribas. Taigi, lyginant dvi sistemas, abiejų jų sistemos ribos gali būti išplėstos taip, kad visi produktai iš abiejų sistemų būtų įtraukti į naują vieną praplėstą sistemą.

## 4. ENERGETIKOS TECHNOLOGIJŲ GYVAVIMO CIKLO VERTINIMO METODINIAI PRINCIPAI

Energetikos technologijų gyvavimo ciklo vertinimas

Pastaruoju metu išskiriami du pagrindiniai gyvavimo ciklo vertinimo metodai, skirti energijos sistemoms:

1) Pagal energijos atsipirkimo laiką (EPBT – ang. Energy payback time). Šis skaičiavimas parodo, kiek laiko turi veikti sistema, kad sugeneruotų tokį patį energijos kiekį, kuris buvo reikalingas sistemos gamybai. Atsipirkimo laikas priklauso nuo dviejų faktorių – a) kaip ir kur sistema buvo pagaminta; b) sistemos efektyvumas, energijos gamybos proceso metu. Maža sistemos gamybos tarša, naudojama AEI ir efektyviai veikianti sistema – užtikrina žemą EPBT rodiklio vertę.

2) Pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų atsipirkimą (GPBT – ang. greenhouse gas emissions payback time) arba taip vadinamą sutaupyto šiltnamio efektą sukeliančių dujų apskaičiavimu. Šis skaičiavimas parodo, kokį kiekį šiltnamio efektą sukeliančių dujų sutaupyta, lyginant su kitais energijos gamybos būdais. Čia, taip pat, reikia įvertinti ir tai, kiek CO<sub>2</sub> emisijų sukelia sistemos gamyba. [16]

Nagrinėjant atsinaujinančios energijos išteklių sistemas reikia vertinti išvengtą žalą aplinkai, jeigu vietoje AEI naudotume kitas, labiau aplinką teršiančias energijos rūšis. Poveikis aplinkai vertinimas priklauso ne tik nuo to, kiek sistema gali pagaminti elektros energijos, bet ir nuo energijos rūšies, kuri yra pakeičiama. Abu faktoriai priklauso nuo vietinių sąlygų, tai reiškia, kad du skirtingi vertinimai, atliki skirtingose vietose negali būti tiesiogiai lyginami.

### 4.1 Energijos atsipirkimo laiko metodas

Energijos atsipirkimo laikas supaprastintai apskaičiuojamas pagal (4.1) formulę:

$$EPBT = \frac{CED}{E_{out}} ; \quad (4.1)$$

Čia:

CED – visa energija sunaudota sistemai pagaminti [kWh];

E<sub>out</sub> – visa sistemos generuojama elektros energija per metus [kWh].

Reikėtų paminėti, kad CED susideda iš energijos sąnaudų, kurios susidaro:

1. žaliavų išgavimo metu;

2. sistemos gaminimo metu;
3. žaliavų ir sistemos transportavimo metu;
4. sistemos instaliavimo metu;
5. sistemos aptarnavimo bei viso veikimo laikotarpiu metu [16].

Tikslesni skaičiavimai turėtų apimti eksploatavimo ir priežiūros energijos sąnaudas, taip pat, įvertinti ir įrenginių nusidėvėjimą, tačiau, kad pamatuoti tokius kaštus, reikėtų kiekvieną atvejį nagrinėti praktiškai ir vien tik teorinių duomenų nepakanka. Taip pat, būtina paminėti, kad tokios skaičiavimo metodikos silpnoji vieta – nevertinamas eksploatacijos laikotarpis, tokiu atveju gautas rezultatas metais gali būti ilgesnis, negu pačios sistemos veikimo laikas. Tačiau šiam klausimui išspręsti galima naudoti pritaikytą investicinės gražos (ang. ROI - Return On Investment) (4.2) formulę:

$$EROI = \frac{L}{EPBT}; \quad (4.2)$$

Čia:

L – sistemos gyvavimo trukmė;

EPBT – energijos atsipirkimo laikas.

Jeigu EROI reikšmė mažiau už 1, tokiu atveju sistema nesugeneruos tiek energijos per savo gyvavimo laikotarpį, kad atpirktų visi sistemos energijos gamybos kaštai. Kad saulės elektrinės sistema būtų efektyvi, EROI reikšmė turi būti daugiau už 1.

#### 4.2 ŠESD išmetimų atsipirkimo laiko metodas

Atliekant skaičiavimus šiuo metodu, įprastai vertinami sistemos išmetimai, lyginant su kitais energijos gamybos būdais. Kiekvienas šaltinis, kuris naudojamas elektros energijos gamybai išskiria skirtingus CO<sub>2</sub> kiekius. Anglies dvideginio išmetami kiekiai naudojant skirtingas kuro rūšis pateikti 4.1 lentelėje [17].

4.1 lentelė. CO<sub>2</sub> išmetimai gaminant elektros energiją skirtingais būdais [17]

Elektros energijos gamybos būdas	Išmetimai, g CO <sub>2</sub> / kWh
Deginamos gamtinės dujos	204
Deginamos akmens anglys	339
Fotoelektros moduliai	40

Skaičiavimai atliekami pagal tokią formulę:

$$N_g = E \times f; \quad (4.3)$$



Čia:

$N_g$  – elektros energijos gamybos metu susidarantys CO<sub>2</sub> išmetimai;

$E$  – pagamintas elektros energijos kiekis;

$f$  – išmetamas CO<sub>2</sub> kiekis g / kWh.

Skaičiavimai yra atliekami kiekvienam energijos gamybos būdui atskirai, visi gauti rezultatai yra palyginami tarpusavyje. Naudojant šį metodą yra labai svarbu naudoti tikslius CO<sub>2</sub> išmetimų duomenis.

Taip pat vertinama kiek CO<sub>2</sub> išmetama sistemos gamybos ir instaliavimo metu pagal šią formulę:

$$N_s = E_s \times f; \quad (4.4)$$

Čia:

$N_s$  – sistemos gamybos ir instaliavimo metu susidarantys CO<sub>2</sub> išmetimai;

$E_s$  – energijos kiekis, reikalingas sistemai pagaminti ir instaliuoti;

$f$  – išmetamas CO<sub>2</sub> kiekis g / kWh.

Žinant CO<sub>2</sub> išmetimus tam pačiam energijos kiekiui pagaminti, naudojant skirtingus būdus, galima apskaičiuoti, kiek per metus CO<sub>2</sub> bus sutaupyta, naudojant SE sistemą.

$$N_{sf} = N_g - N_{SE}; \quad (4.5)$$

Čia:

$N_{sf}$  – sutaupytas CO<sub>2</sub> išmetimų kiekis, lyginant skirtingus gamybos būdus;

$N_g$  – CO<sub>2</sub> išmetimai per vienerius metus, gaminant tą patį energijos kiekį, deginant gamtines dujas;

$N_{SE}$  – elektros energijos gamybos metu susidarantys CO<sub>2</sub> išmetimai.

Pagal 4.5 formulę gautus rezultatus, galima įvertinti, per kiek laiko atsipirks sistemos gamybos ir instaliavimo metu susidarnatys ŠESD išmetimai, vertinant, kad per metus bus sutaupyta tam tikras kiekis CO<sub>2</sub> išmetimų.

Sistemos CO<sub>2</sub> atsipirkimo laikas:

$$GPBT = \frac{N_s}{N_{sf}}; \quad (4.6)$$

Čia:

GPBT – šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų atsipirkimo laikas, vertinant per metus sutaupytus CO<sub>2</sub> išmetimus;

N<sub>s</sub> – sistemos gamybos ir instaliavimo metu susidarę CO<sub>2</sub> išmetimai;

N<sub>sf</sub> – sutaupytas CO<sub>2</sub> išmetimų kiekis, lyginant skirtingus gamybos būdus.

Apskaičiuotą atsipirkimo laiką, pagal 4.6 formulę, reikėtų palyginti su energijos atsipirkimo laiku. Iš esmės, rezultatai gali būti visiškai skirtingi, jeigu lyginamas tikrai daug taršos sukeliantis energijos gamybos būdas, su beveik visiškai taršos nesukeliančiu, kaip šiuo atveju SE sistema [18].

## 5. SAULĖS ELEKTRINIŲ GYVAVIMO CIKLO POVEIKIO APLINKAI VERTINIMO ANALIZĖ

Norint tinkamai įvertinti gyvavimo ciklo poveikį, reikia atsižvelgti į tai, kokias sistemos ribas apims vertinimas. Ne visi, iki šiol atlikti skaičiavimai, buvo daromi atsižvelgiant į ISO standartą [19]. Dažniausia klaida, kuri kartojosi atliekant gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą, buvo sistemos komponentų gamybos neįtraukimas į vertinimą. O sistemos komponentų gamybos neįvertinimas gali rezultatams daryti sąlyginai didelę įtaką [20]. Taigi atliekant gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą, svarbu įtraukti ir sistemos komponentų duomenis, pavyzdžiui inverterio.

Skaičiavimai ir palyginimai darbe atlikti vertinant mono-silicio fotovoltinius saulės elementus ir poli-silicio fotovoltinius saulės elementus. Gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas atliktas remiantis žemiau lentelėse pateiktais saulės elektrinių duomenimis.

**5.1 lentelė.** Mono-silicio fotovoltinių modulių gamybos energijos sąnaudos [20]

<b>1 Wp Mono-silicio fotovoltinio elemento gamybos energijos sąnaudos, kWh</b>					
Silicio išgavimas ir perdirbimas	Modulio elementų padengimas	Modulio gamyba	Rėmo gamyba	Modulio surinkimas	Iš viso, kWh
7,022	0,389	0,928	0,778	0,539	9,656

**5.2 lentelė.** Poli-silicio fotovoltinių modulių gamybos energijos sąnaudos [20]

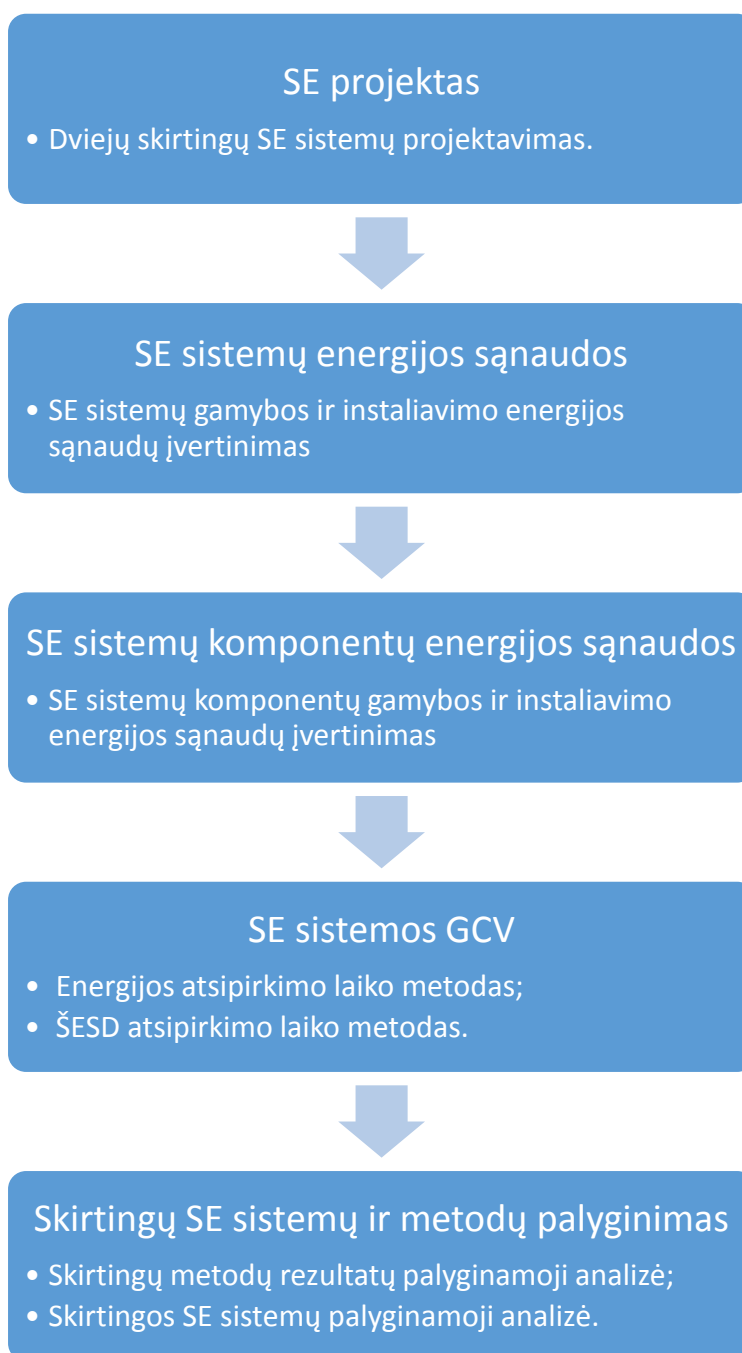
<b>1 Wp Poli-silicio fotovoltinio elemento gamybos energijos sąnaudos, kWh</b>					
Silicio išgavimas ir perdirbimas	Modulio elementų padengimas	Modulio gamyba	Rėmo gamyba	Modulio surinkimas	Iš viso, kWh
3,472	1,50	0,928	0,617	0,539	7,056

**5.3 lentelė.** Sistemos komponentų energijos sąnaudos [20]

<b>Sistemos komponentų energijos sąnaudos, kWh</b>					
Panelių montavimas ant stogo, 1 m <sup>2</sup>	Inverteris, 1 kW galios	Sistemos transportavimas, 1 m <sup>2</sup>	Sistemos paleidimas, 1 m <sup>2</sup>	Kitos operacijos, susijusios su komponentais, 1 m <sup>2</sup>	Iš viso, kWh
195,0	555,6	20,8	9,6	111,2	892,2

Norint atlikti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą būtina parengti saulės elektrinių projektus. Šiuo atveju bus nagrinėjami du projektai: mono-silicio ir poli-silicio saulės elektrinės. Siekiant atlikti rezultatų palyginimą pasirinkti to paties gamintojo skirtingo tipo saulės elementai.

Šiame darbe, gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas atliekamas pagal 5.1 paveiksle pavaizduotą schemą.



**5.1 pav.** Gyvavimo ciklo vertinimo atlikimo schema

## 5.1 Mono-silicio fotovoltiniai saulės elementai

*Monokristaliniai silicio fotovoltiniai elementai* - neseniai jie buvo gaminami iš 200-300  $\mu\text{m}$  storio p tipo silicio plokštelių. Šiuo metu naudojamos technologijos, kurios leidžia išpjauti 25  $\mu\text{m}$  storio plokšteles, todėl fotoelektros elementai atpigino nuo maždaug 4,7 €/W iki 1 €/W (gamintojo gamybos kaštai). Didžiausias tokių elementų teorinis bei praktiškai žinomas naudingumo koeficientas yra  $\eta = 24\%$  (iš 1 kW krintančios saulės šviesos energijos idealiomis sąlygomis pagamina 240 W energijos) [7].

Skaičiavimams parinktas mono-silicio fotovoltinis saulės elementas „Hyundai HiS-S280RG 280 W“, tokio modulio kaina – 203,47 Eur. (žr. priedas Nr. 1 Hyundai HiS-S280RG 280 W specifikacijos).

**5.4 lentelė.** Hyundai HiS-S280RG 280 W pagrindiniai parametrai

Parametras	Parametro reikšmė
Nominali galia $P_N$ , W	280
Nominali įtampa $U_N$ , V	31,7
Nominali srovė $I_N$ , A	8,8
Tuščiosios veikos įtampa $U_0$ , V	38,5
Trumpojo jungimo srovė $I_{t.j.}$ , A	9,4
Naudingumo koeficientas $\eta$ , %	17,1
Matmenys, mm	1640x998x35
Svoris, kg	18,7

## 5.2 Poli-silicio fotovoltiniai saulės elementai

*Polikristaliniai silicio fotoelektros elementai* - gaminant polikristalinius saulės elementus gamybos procese pakinta dalies silicio kristalų struktūra. Standartinis šių elementų storis, kaip ir monokristalinių elementų, yra 200-300  $\mu\text{m}$ . Geriausias tokių elementų naudingumo koeficiento pavyzdys laboratorijoje yra apie  $\eta = 17,8\%$  [7]. Polikristalinis saulės elementas sudarytas iš mažų monokristalinio silicio grūdelių. Vienas iš pagrindinių tokių elementų gamybos būdų yra išsilydyto monokristalinio silicio atidus liejimas į lydinį. Tuomet lydiniai yra mechaniškai pjaustomi į kvadratinius elementus ir toliau galutinis saulės elementas gaminamas kaip ir monokristalinio silicio saulės elementas. Polikristalinių silicio elementų gamybos kaštai yra mažesni, lyginant su monokristaliniais elementais, tai leidžia juos atpiginti, tačiau polikristalinių silicio fotoelektros elementų naudingumo koeficientas yra mažesnis.

Skaičiavimams parinktas poli-silicio fotovoltinis saulės elementas „Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W“, tokio modulio kaina – 167,65 Eur. (žr. priedas Nr. 2 Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W specifikacijos).

**5.5 lentelė.** Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W pagrindiniai parametrai

Parametras	Parametro reikšmė
Nominali galia $P_N$ , W	260
Nominali įtampa $U_N$ , V	31,1
Nominali srovė $I_N$ , A	8,4
Tuščiosios veikos įtampa $U_0$ , V	37,7
Trumpojo jungimo srovė $I_{t.j.}$ , A	8,9
Naudingumo koeficientas $\eta$ , %	15,9
Matmenys, mm	1640x998x35
Svoris, kg	18,5

### 5.3 Mono-silicio saulės elektrinės projektavimas

Šiame darbe parenkama saulės elektrinės galia - 3640 W (13 vienetų, 280 W galios fotovoltiniai moduliai), vertinant, kad SE eksploatuojama ant stogo, vieta kurioje planuojama įrengti SE vidutinė saulės spindėjimo trukmė  $t_s = 1751$  h, o daugiametė vidutinė saulės ekspozicija horizontaliai plokštumai  $E_s = 976$  kWh/m<sup>2</sup> (Kauno mieste) [21].

Pagal (5.1) formulę apskaičiuojama visos SE nominali galia  $P_{SE}$ :

$$P_{SE} = P_{vnt} \times n; \quad (5.1)$$

Čia:

$P_{vnt}$  – vieno saulės elementų nominali galia, W;  $n$  – saulės elementų skaičius;

$$P_{SE} = 280 \times 13 = 3640 \text{ W}.$$

Visų FEM užimamas plotas:

Vieno FEM ilgis  $l = 1,64$  m; plotis  $a = 0,998$  m;

Visų FEM užimamas plotas:

$$S_{viso} = l \times a \times n; \quad (5.2)$$

$$S_{viso} = 1,64 * 0,998 \times 13 = 21,28 \text{ m}^2.$$

Skaičiuojama vidutinė metinė generuojama galia:

$$P_{SE \text{ vid.}} = \left( \frac{E_s}{t_s} \right) \times \eta_F \times \eta_g \times S_{viso}; \quad (5.3)$$

Čia:

$E_s$  – vidutinis energijos kiekis gaunamas per metus;

$t_k$  – vidutinė saulės spindėjimo trukmė Kauno apskrityje (Kėdainiuose);

$\eta_F$  – pasirinkto saulės elemento naudingumo koeficientas;

$\eta_g$  – saulės elektrinės grandžių naudingumo koeficientas, priimamas  $\eta_g = 0,85$ ;

$S_{\text{viso}}$  – saulės elektrinės užimamas plotas [22];

$$P_{SE \text{ vid.}} = \left( \frac{976 \times 10^3}{1751} \right) \times 0,171 \times 0,85 \times 21,28 = 1,724 \text{ kW.}$$

Toliau darbe apskaičiuojamas kiekvieno mėnesio prognozuojamas pagaminti elektros energijos kiekis, atsižvelgiant į vidutinę saulės ekspoziciją vienam kvadratiniam metrui, Kauno regionui, kiekvienam mėnesiui:

$$E_{SE\text{sausio}} = E_{\text{sausio}} \times \eta_F \times \eta_g \times S_{\text{viso}}; \quad (5.4)$$

Čia:

$E_{\text{sausio}}$  – vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija sausio mėnesį, kWh/m<sup>2</sup>;

$$E_{SE\text{sausio}} = 16 \times 0,171 \times 0,85 \times 21,28 = 49,49 \text{ kWh.}$$

Naudojantis ta pačia skaičiavimo metodika apskaičiuotos kitų mėnesių prognozuojamos elektros energijos gamybos apimtys pateiktos (5.6) lentelėje.

**5.6 lentelė.** Mono-silicio saulės elektrinės generuojama elektros energija kiekvieną mėnesį

Mėnesis	Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija, kWh/m <sup>2</sup>	Pagaminta elektros energija, kWh
Sausis	16	49,49
Vasaris	33	102,07
Kovas	70	216,51
Balandis	99	306,21
Gegužė	146	451,59
Birželis	155	479,42
Liepa	150	463,96
Rugpjūtis	138	426,84
Rugsėjis	90	278,37
Spalis	52	160,84
Lapkritis	16	49,49
Gruodis	19	58,77
<b>Viso:</b>		<b>3043,56</b>

Iš lentelės matyti, kad iš viso per metus SE turėtų pagaminti 3043,56 kWh energijos, gautą rezultatą palyginus su interaktyvios skaičiuoklės rezultatu – 3052 kWh, priimta, kad skaičiavimai atlikti teisingai. Internetinė skaičiuoklė skaičiuoja atsižvelgiant į: saulės fotomodulių galią, vietovę, kokių kampu bus tvirtinami FEM, taip pat, kuria kryptimi bus nukreipta SE, skaičiuoklė įvertina vidutinę saulės ekspoziciją būtent pasirinktame regione konkretų mėnesį, metus [23].

#### 5.4 Poli-silicio saulės elektrinės projektavimas

Kaip ir mono-silicio elektrinės atveju, taip ir šiuo atveju, saulės elektrinės galia parenkama 3640 W (14 vienetų, 260 W galios fotovoltiniai moduliai), visi kiti parametrai išlieka tie patys, toliau pateikti skaičiavimai.

Pagal (5.1) formulę apskaičiuojame visos SE nominalią galią  $P_{SE}$ :

$$P_{SE} = 260 \times 14 = 3640 \text{ W.}$$

Visų FEM užimamas plotas (5.2) formulė:

$$S_{viso} = 1,64 * 0,998 \times 14 = 22,91 \text{ m}^2.$$

Pagal (5.3) skaičiuojame vidutinę metinę generuojamą galią:

$$P_{SE \text{ vid.}} = \left( \frac{976 \times 10^3}{1751} \right) \times 0,159 \times 0,85 \times 22,91 = 1,726 \text{ kW.}$$

Kaip ir mono-silicio SE atveju, taip ir šiuo, pagal (5.4) formulę apskaičiuojamas saulės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis kiekvieną mėnesį. Rezultatai pateikti 5.7 lentelėje.

$$E_{SEsausio} = 16 \times 0,159 \times 0,85 \times 22,91 = 49,54 \text{ kWh.}$$

**5.7 lentelė.** Poli-silicio saulės elektrinės generuojama elektros energija kiekvieną mėnesį

Mėnesis	Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija, kWh/m <sup>2</sup>	Pagaminta elektros energija, kWh
Sausis	16	49,54
Vasaris	33	102,18
Kovas	70	216,74
Balandis	99	306,53
Gegužė	146	452,06
Birželis	155	479,92
Liepa	150	464,44
Rugpjūtis	138	427,29
Rugsėjis	90	278,67
Spalis	52	161,01
Lapkritis	16	49,54
Gruodis	19	58,83
	Viso:	3046,75

Iš lentelės matyti, kad iš viso per metus SE turėtų pagaminti 3046,75 kWh energijos, tai yra tik 0,001 % daugiau energijos, lyginant su tokios pačios galios mono-silicio saulės elektrine.



## 5.5 Mono-silicio saulės elektrinės gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas

Darbe pasirinktos nagrinėti SE nominali galia – 3640 W. Saulės elektrinė projektuojama Kauno regione, atsižvelgiant į vietovės vidutinę saulės ekspoziciją, tokia elektrinė per metus turėtų generuoti 3043,56 kWh energijos.

Remiantis 5.1 lentelės duomenis, toliau skaičiuojama 3640 W galios, mono-silicio SE pagaminimo ir instaliavimo energijos kaštai.

### 5.5.1 Mono-silicio saulės elektrinės pagaminimo ir instaliavimo energijos sąnaudos

Silicio išgavimo ir perdirbimo sąnaudos:

$$E_{s.s.i} = E_{s.i} \times P_s; \quad (5.5)$$

Čia:

$E_{s.s.i}$  – sistemos silicio išgavimo ir perdirbimo sąnaudos;

$E_{s.i}$  – silicio išgavimo ir perdirbimo sąnaudos;

$P_s$  – sistemos nominali galia;

$$E_{s.s.i} = 7,022 \times 3640 = 25560,08 \text{ kWh}.$$

Sistemos modulių elementų padengimo sąnaudos:

$$E_{s.m.p} = E_{m.p} \times P_s; \quad (5.6)$$

Čia:

$E_{s.m.p}$  – sistemos modulių elementų padengimo sąnaudos;

$E_{m.p}$  – modulių elementų padengimo sąnaudos;

$P_s$  – sistemos nominali galia;

$$E_{s.s.i} = 0,389 \times 3640 = 1415,96 \text{ kWh}.$$

Sistemos modulių gamybos sąnaudos:

$$E_{s.m.g} = E_{s.m.g} \times P_s; \quad (5.7)$$

Čia:

$E_{s.m.g}$  – sistemos modulių gamybos sąnaudos;

$E_{m.g}$  – modulių gamybos sąnaudos;

$P_s$  – sistemos nominali galia;

$$E_{s.m.g} = 0,928 \times 3640 = 3377,92 \text{ kWh}.$$

Sistemos rėmų gamybos kaštai:

$$E_{s.r.g} = E_{r.g} \times P_s; \quad (5.8)$$

Čia:

$E_{s.r.g}$  – sistemos rėmų gamybos sąnaudos;

$E_{r.g}$  – rėmų gamybos sąnaudos;

$P_s$  – sistemos nominali galia;

$$E_{s.r.g} = 0,778 \times 3640 = 2628,02 \text{ kWh.}$$

Sistemos modulių surinkimo sąnaudos:

$$E_{s.m.s} = E_{r.g} \times P_s; \quad (5.9)$$

Čia:

$E_{s.m.s}$  – sistemos modulių surinkimo sąnaudos;

$E_{m.s}$  – modulių surinkimo sąnaudos;

$P_s$  – sistemos nominali galia;

$$E_{s.m.s} = 0,539 \times 3640 = 1961,96 \text{ kWh.}$$

Visos sistemos bendri gamybos sąnaudos:

$$E_{s.b} = E_{s.s.i} + E_{s.m.p} + E_{s.m.g} + E_{s.r.g} + E_{s.m.s}; \quad (5.10)$$

Čia:

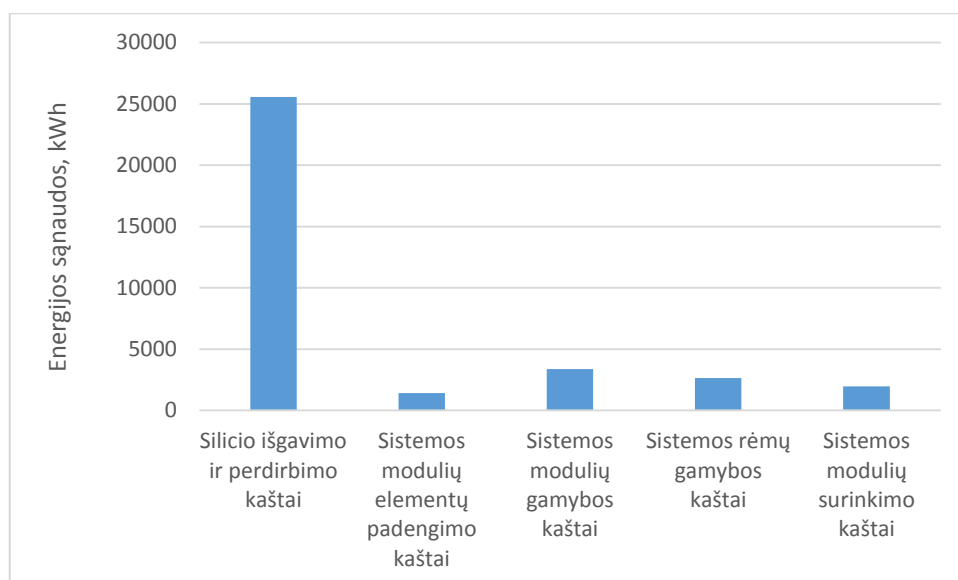
$E_{s.b}$  – visos sistemos bendri gamybos sąnaudos;

$$E_{s.b} = 25560,08 + 1415,96 + 3377,92 + 2628,02 + 1961,96 = 34943,94 \text{ kWh.}$$

Pagal gautus rezultatus matyti, kad net 73,15 % sistemos gamybos energijos sąnaudų sudaro silicio išgavimas, visa kita sudaro tik 26,85 %. Iš šių rezultatų galima daryti išvadą, kad norint mažinti energijos kaštus, reikėtų ieškoti alternatyvių silicio išgavimo būdų, kurie nereikalautų tokių energijos sąnaudų (žr. 5.1 pav.). Mono-silicio fotovoltinių modulių sistemos gamybos energijos sąnaudos.

**5.8 lentelė. Mono-silicio saulės elektrinės gamybos sąnaudos**

<b>3640 Wp Mono-silicio saulės elektrinės gamybos energijos sąnaudos, kWh</b>					
Silicio išgavimas ir perdirbimas	Modulio elementų padengimas	Modulio gamyba	Rėmo gamyba	Modulio surinkimas	Iš viso, kWh
25560,08	1415,96	3377,92	2628,02	1961,96	34943,94



**5.2 pav.** Mono-silicio fotovoltinių modulių sistemos gamybos energijos sąnaudos

Sistemos komponentų energijos sąnaudos vertinamos pagal 5.3 lentelėje pateiktus duomenis. Nagrinėjamai sistemai parenkamas 4 kW galios inverteris.

Sistemos inverterio energijos sąnaudos:

$$E_{i,s} = E_i \times P_i; \quad (5.11)$$

Čia:

$E_{i,s}$  – sistemos inverterio sąnaudos;

$E_i$  – inverterio 1 kW galios sąnaudos;

$P_i$  – sistemos inverterio galia;

$$E_{i,s} = 555,6 \times 4 = 2222,4 \text{ kWh}.$$

Sistemos panelių montavimo ant stogo sąnaudos:

$$E_{s,p,m} = E_{1p} \times S; \quad (5.11)$$

Čia:

$E_{s,p,m}$  – sistemos panelių montavimo sąnaudos;

$E_{1p}$  – 1 m<sup>2</sup> panelių montavimo sąnaudos;

$S$  – visos sistemos užimamas plotas;

$$E_{s,p,m} = 195 \times 21,28 = 4149,6 \text{ kWh}.$$

Sistemos transportavimo sąnaudos:

$$E_{s,t} = E_{1t} \times S; \quad (5.12)$$

Čia:

$E_{s,t}$  – sistemos transportavimo sąnaudos;

$E_{1t}$  – 1 m<sup>2</sup> transportavimo sąnaudos;

$S$  – visos sistemos užimamas sąnaudos;

$$E_{s,p,m} = 20,8 \times 21,28 = 442,63 \text{ kWh.}$$

Sistemos paleidimo sąnaudos:

$$E_{s,p} = E_{1p} \times S; \tag{5.12}$$

Čia:

$E_{s,p}$  – sistemos paleidimo sąnaudos;

$E_{1p}$  – 1 m<sup>2</sup> paleidimo sąnaudos;

$S$  – visos sistemos užimamas plotas;

$$E_{s,p} = 9,6 \times 21,28 = 204,29 \text{ kWh.}$$

Kitų operacijų, susijusių su sistemos paleidimu sąnaudos:

$$E_{s,kt} = E_{kt} \times S; \tag{5.13}$$

Čia:

$E_{s,kt}$  – kitų operacijų, susijusių su sistemos paleidimu sąnaudos;

$E_{kt}$  – 1 m<sup>2</sup> kitų operacijų susijusių su sistemos paleidimu sąnaudos;

$S$  – visos sistemos užimamas plotas;

$$E_{s,kt} = 111,2 \times 21,28 = 2366,37 \text{ kWh.}$$

Bendri sistemos komponentų sąnaudos:

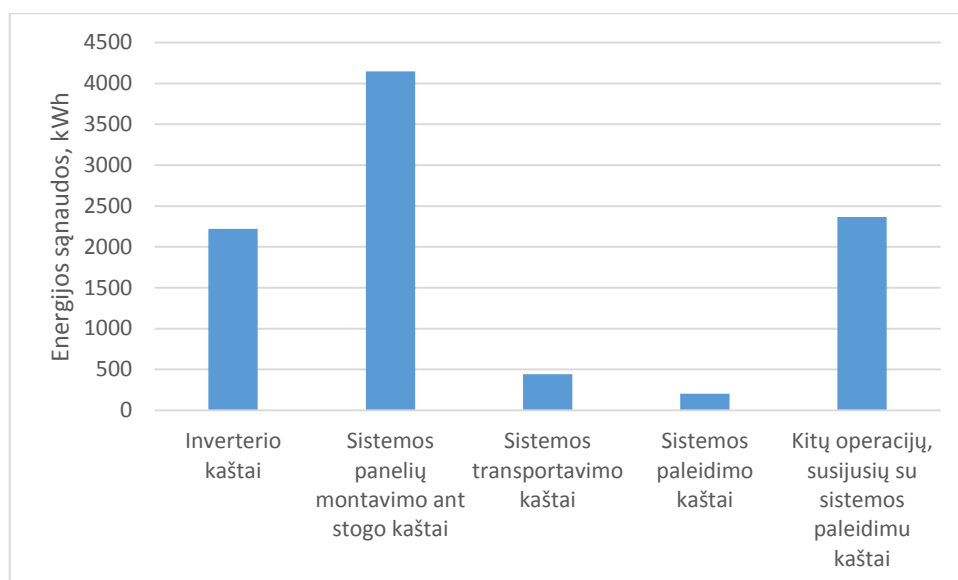
$$E_{s,k,b} = E_{i,s} + E_{s,p,m} + E_{s,t} + E_{s,p} + E_{s,kt}; \tag{5.14}$$

Čia:

$E_{s,k,b}$  – bendri sistemos komponentų sąnaudos;

$$E_{s,k,b} = 2222,4 + 4149,6 + 442,63 + 204,29 + 2366,37 = 9385,29 \text{ kWh.}$$

Atlikus sistemos komponentų energijos sąnaudų skaičiavimą, matyti, kad didžiausią dalį, 44,21 % sudaro sistemos panelių montavimo ant stogo kaštai, taip pat, nemaži inverterio bei kitų operacijų susijusių su sistemos paleidimu kaštai, atitinkamai 23,68 % ir 25,21 %. Žiūrėti paveikslą nr. 5.2 mono-silicio fotovoltinių modulių sistemos komponentų energijos sąnaudos.



**5.3 pav.** Mono-silicio fotovoltinių modulių sistemos komponentų energijos sąnaudos

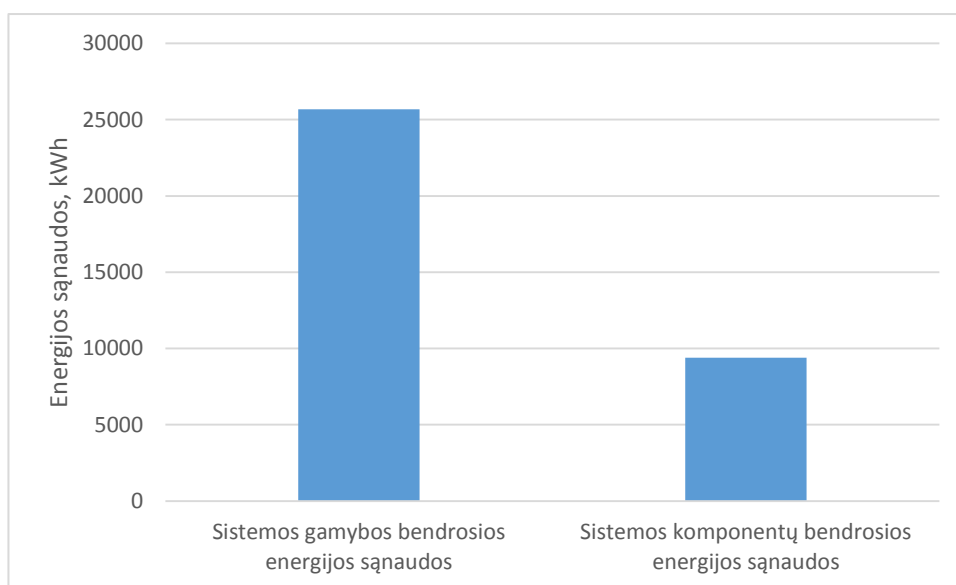
Visos sistemos ir komponentų bendri sąnaudos:

$$CED = E_{s,b} + E_{s,k,b}; \quad (5.15)$$

Čia:

$CED$  – visa energija, reikalinga sistemai ir komponentams pagaminti bei instaliuoti;

$$CED = 34943,94 + 9385,29 = 44329,23 \text{ kWh}.$$



**5.4 pav.** Mono-silicio visos sistemos ir komponentų bendrosios energijos sąnaudos

Iš 5.3 paveikslo matyti, kad didžiausią energijos sąnaudų dalį – 78,83 % (34943,94 kWh) sudaro sistemos gamybos kaštai, likusius 21,17 % sudaro sistemos komponentai.

Teoriškai sistemos komponentai turėtų sudaryti apie 1/5 visų sistemos energijos sąnaudų [17].  
Gauti rezultatai pagrindžia šį teorinį teiginį.

### 5.5.2 Mono-silicio saulės elektrinės energijos atsipirkimo laikas

Skaičiavimai atliekami pagal 4.1 formulę:

$$EPBT = \frac{44329,23}{3043,56} = 14,57 \text{ metų}$$

Skaičiuojant šiuo metodu, tokia SE sistema, pagal energijos atsipirkimo laiką turėtų atsipirkti per 14 metų ir 8 mėnesius. Tai yra ganėtinai ilgas laiko tarpas, tačiau vertinant tai, kad pati sistema turėtų tarnauti iki 25 metų, sistema savo gamybos sąnaudas atperka, tai paskaičiuojama pagal 4.2 formulę:

$$EROI = \frac{25}{14,57} = 1,72.$$

Pagal gautus duomenis matome, kad EROI yra daugiau už 1, taigi tokia sistema pati save atperka ir projektas, žiūrint iš gyvavimo ciklo perspektyvos yra energetiškai efektyvus.

### 5.5.3 Mono-silicio saulės elektrinės ŠESD išmetimų atsipirkimo laikas

Skaičiavimus atliekame remiantis 4.1 lentele ir pagal 5.15 formulę gautu CED 44329,23 kWh - energijos sąnaudos reikalingos visai sistemai ir komponentams pagaminti bei instaliuoti, taip pat, 4.3 – 4.7 formulėmis.

$$N_s = 44329,23 \times 40 = 1773169,2 \text{ g}$$

Per metus, tokia sistema sugeneruos 3043,56 kWh energijos, taigi energijos gamybos metu, sistemos per metus į aplinką išskirtą CO<sub>2</sub> kiekį apskaičiuojame pagal formulę:

$$N_{SE} = 3043,56 \times 40 = 121742,4 \text{ g}$$

CO<sub>2</sub> išmetimai, gaminant tą patį energijos kiekį, deginant gamtines dujas:

$$N_g = 3043,56 \times 203 = 617842,68 \text{ g}$$

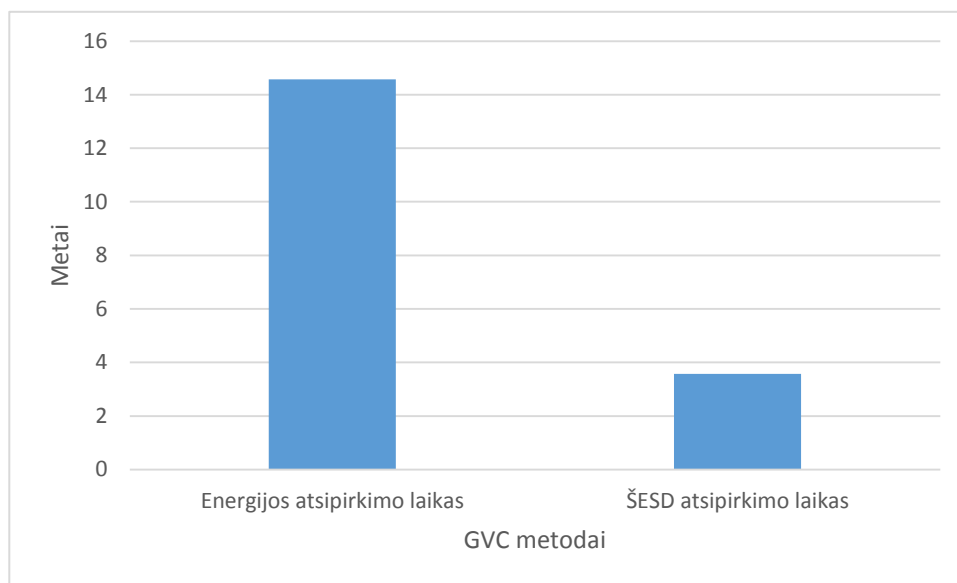
Jeigu tokį patį energijos kiekį gamintų elektrinė, deginanti šiuo metu Lietuvoje populiarias gamtines dujas, per metus į aplinką išskirtų 617842,68 g CO<sub>2</sub>.

$$N_{sf} = 617842,68 \times 121742,4 = 496100,28 \text{ g}.$$

Lyginant su gamtiniu dujų deginimu, tokia sistema per metus sutaupo beveik pusę tonos CO<sub>2</sub> išmetimų per metus. Tačiau reikia nepamiršti fakto, kad sistemos gamybos ir instaliavimo metu, į aplinką būtų išskirta nemažas kiekis ŠESD.

$$GPBT = \frac{1773169,2}{496100,28} = 3,57 \text{ metų}.$$

Atlikus skaičiavimus pagal ŠESD išmetimo laiko metodiką, galima daryti išvadą, kad toks vertinimas nėra objektyvus, nes nėra žinoma tiksli informacija, kokia energijos rūšis buvo naudojama gamybai ir instaliavimui. Vertinimas yra atliekamas darant prielaidą, kad naudojama elektros energija buvo gaminama deginant gamtines dujas. Kaip V.M. Fthenakis mini savo darbe, energijos atsipirkimo metodas yra tikslesnis ir objektyvesnis metodas, nes skaičiuojant energijos atsipirkimo laiką yra tiesiogiai palyginama kiek sunaudota energijos sistemai pagaminti ir instaliuoti bei kiek tokia sistema pagamina energijos per metus [20].



**5.5 pav.** Mono-silicio SE gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas

Iš 5.4 paveikslo matyti, kad pagal energijos atsipirkimo laiką sistema atsiperka per 14,57 metų, arba 4 kartus ilgiau, negu pagal ŠESD atsipirkimo laiką. Todėl, galima sutikti su V.M Fthenakio nuomone, kad nežinant tikslios pirminės energijos kilmės, energijos atsipirkimo laiko metodas yra tikslesnis už GPBT metodą. Tačiau ŠESD atsipirkimo laiko įvertinimas labai naudingas atliekant technologijų tarpusavio palyginimą.

### **5.6 Poli-silicio saulės elektrinės gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimas**

Kaip ir mono-silicio elektrinės atveju, darbe pasirinktos nagrinėti SE nominali galia – 3640 W. Saulės elektrinė projektuojama Kauno regione, atsižvelgiant į vietovės vidutinę saulės ekspoziciją, tokia elektrinė per metus turėtų generuoti 3046,75 arba 3,19 kWh energijos daugiau, negu mono-silicio SE sistema.

Remiantis 5.2 lentelės duomenis, toliau skaičiuojama 3640 W galios, poli-silicio SE pagaminimo ir instaliavimo energijos kaštai.

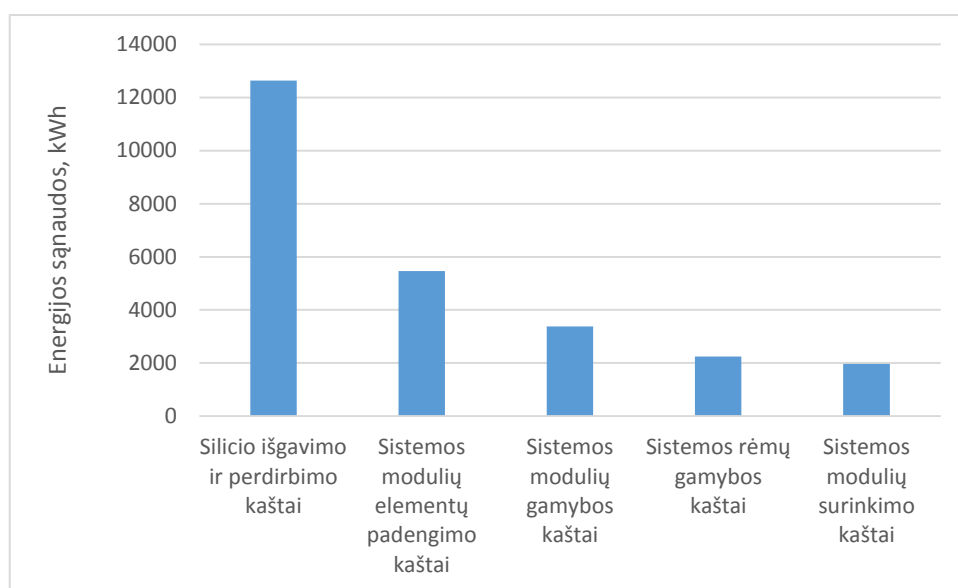
### 5.6.1 Poli-silicio saulės elektrinės pagaminimo ir instaliavimo energijos sąnaudos

Skaičiavimai atliekami remiantis 5.5 – 5.10 formulėmis. Gauti duomenys pateikti 5.9 lentelėje

**5.9 lentelė.** Poli-silicio saulės elektrinės gamybos sąnaudos

<b>3640 Wp Poli-silicio saulės elektrinės gamybos energijos sąnaudos, kWh</b>					
Silicio išgavimas ir perdirbimas	Modulio elementų padengimas	Modulio gamyba	Rėmo gamyba	Modulio surinkimas	Iš viso, kWh
12638,08	5460	3377,92	2245,88	1961,96	25683,84

Gauti duomenys pateikti grafiškai 5.5 paveiksle.



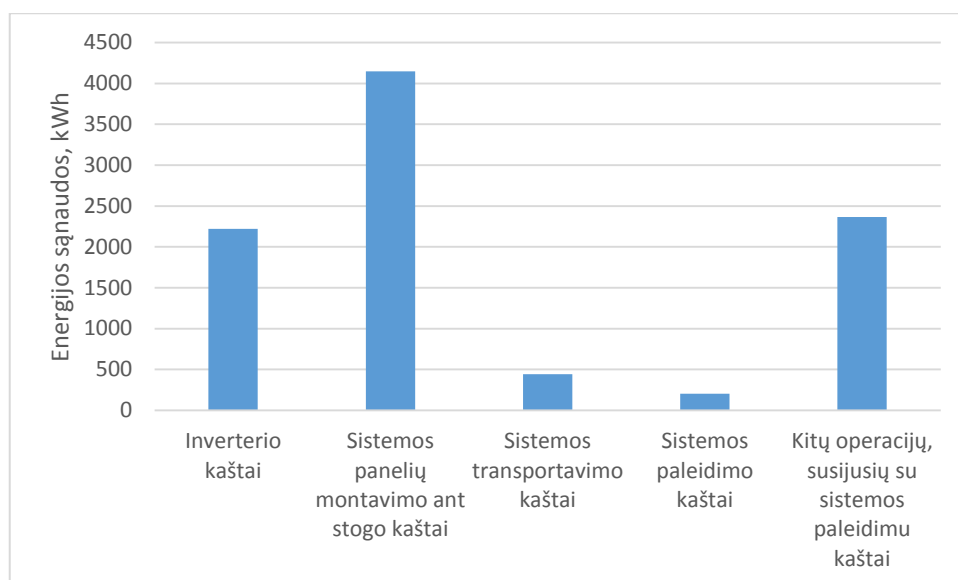
**5.6 pav.** Poli-silicio fotovoltinių modulių sistemos gamybos energijos sąnaudos

Kaip ir mono-silicio atveju, poli-silicio saulės elektrinės sistemos gamyboje didžiąją dalį energijos sąnaudų sudaro silicio išgavimas – 49,20 %. Tačiau, tuo pačiu šis skaičius yra ženkliai mažesnis, bendroje dalyje mažiau 24 %, o lyginant tik silicio išgavimą, rezultatas mažesnis per pus – 100 %.

Sistemos komponentų energijos sąnaudos yra tokios pačios, kaip ir mono-silicio saulės elektrinės sistemos atveju:

$$E_{s.k.b} = 9385,29 \text{ kWh.}$$

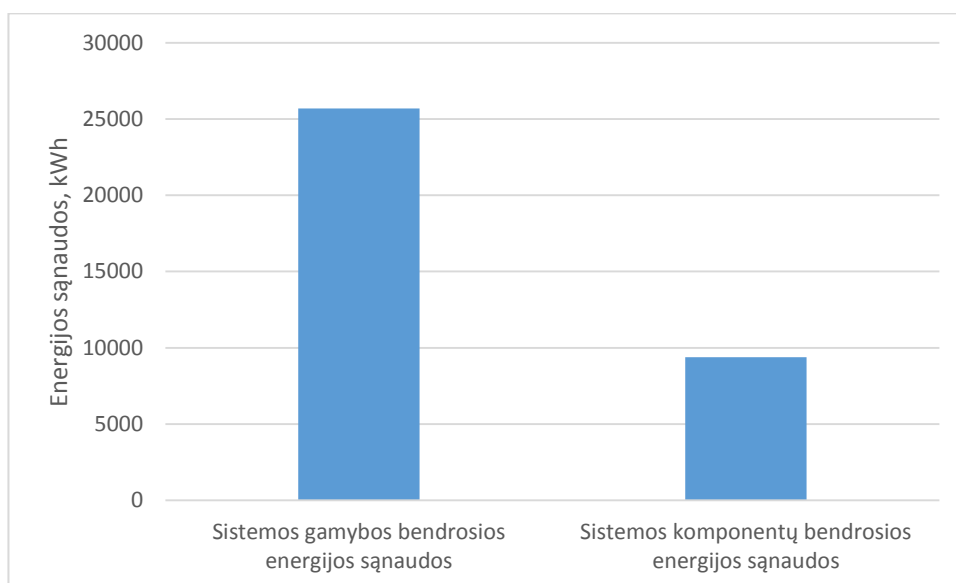




**5.7 pav.** Poli-silicio fotovoltinių modulių sistemos komponentų energijos sąnaudos

Visos sistemos ir komponentų bendri kaštai:

$$CED = 35069,13 \text{ kWh.}$$



**5.8 pav.** Poli-silicio visos sistemos ir komponentų bendri kaštai

Iš 5.7 paveikslo matyti, kad kaip ir pirmuoju atveju, didžiausią energijos sąnaudų dalį – 73,24 % (25683,84 kWh) sudaro sistemos gamybos kaštai, likusius 26,76 % sudaro sistemos komponentai. Šiuo atveju sistemos komponentai sudaro 1/4 visų sistemos energijos kaštų.

### 5.6.2 Poli-silicio saulės elektrinės energijos atsipirkimo laikas

Skaičiavimai atliekami pagal 4.1 formulę:

$$EPBT = \frac{35069,13}{3046,75} = 11,51 \text{ metų}$$

Skaičiuojant šiuo metodu, tokia SE sistema, pagal energijos atsipirkimo laiką turėtų atsipirkti per 11 metų ir 6 mėnesius. Nors tai yra ganėtinai ilgas laiko tarpas, tačiau tai trimis metais trumpiau, negu mono-silicio SE atveju. Taip pat, vertinant tai, kad pati sistema turėtų tarnauti iki 25 metų, sistema savo gamybos kaštus atperka, tai paskaičiuojama pagal (5.30) formulę:

$$EROI = \frac{25}{11,51} = 2,17.$$

Pagal gautus duomenis matome, kad EROI yra daugiau už 1, taigi tokia sistema pati save atperka ir projektas, žiūrint iš gyvavimo ciklo perspektyvos yra energetiškai efektyvus.

### 5.6.3 Poli-silicio saulės elektrinės ŠESD išmetimų atsipirkimo laikas

Darbe skaičiavimai atliekami remiantis 4.1 lentele ir pagal 5.28 formulę gautu CED 35069,13 kWh - energijos sąnaudos reikalingos visai sistemai ir komponentams pagaminti bei instaliuoti.

Toliau, skaičiavimai atliekami pagal 4.3 – 4.7 formules:

$$N_s = 35069,13 \times 40 = 1402765,20 \text{ g}$$

Per metus, tokia sistema sugeneruos 3046,75 kWh energijos, taigi energijos gamybos metu, sistemos per metus į aplinką išskirtas CO<sub>2</sub> kiekis yra lygus:

$$N_{SE} = 3046,75 \times 40 = 121870 \text{ g}$$

CO<sub>2</sub> išmetimai, gaminant tą patį energijos kiekį, deginant akmens anglis:

$$N_g = 3046,75 \times 204 = 621537 \text{ g}$$

Jeigu tokį patį energijos kiekį gamintų elektrinė, deginanti gamtines dujas, per metus į aplinką išskirtų 621537 g CO<sub>2</sub>.

Per metus sutaupyta CO<sub>2</sub> išmetimų kiekis:

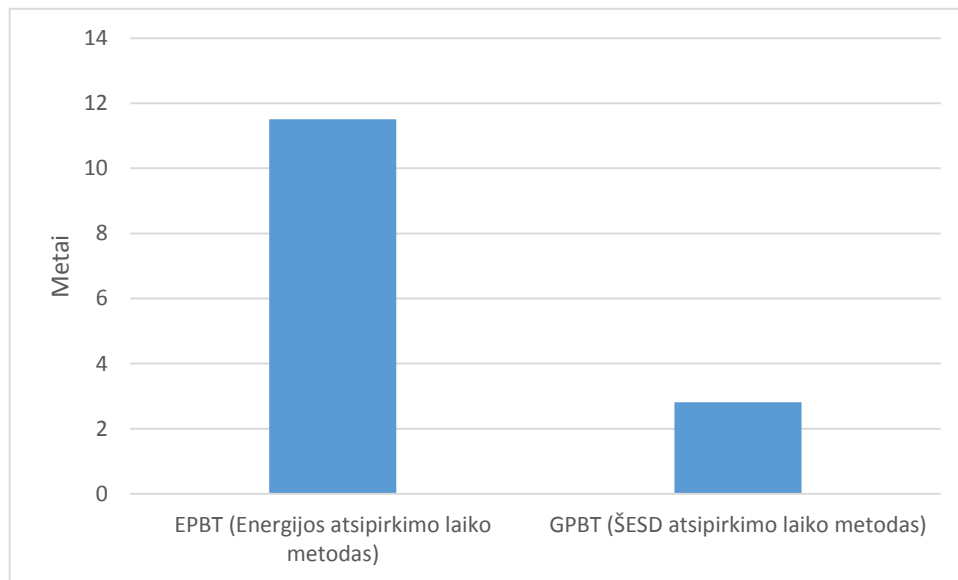
$$N_{sf} = 621537 - 121870 = 499667 \text{ g}.$$

Kaip ir pirmuoju atveju, lyginant su gamtiniu dujų deginimu, tokia sistema per metus sutaupo beveik pusę tonos CO<sub>2</sub> išmetimų per metus.

Sistemos CO<sub>2</sub> atsipirkimo laikas:

$$GPBT = \frac{1402765,2}{499667} = 2,81 \text{ metų}.$$

Poli-silicio atveju, kaip ir mono-silicio, ŠESD atsipirkimo laiko metodu sistema atsiperka per labai trumpą laiką, beveik 2 metus ir 10 mėnesių, tačiau abiem atvejais negalima vienareikšmiškai vadovautis gautais duomenimis, nes nėra tikslų duomenų, kokia energija buvo naudojama sistemai gaminti. Taip pat, svarbu paminėti, kad darbe sutaupyti ŠESD išmetimai lyginami su deginamomis gamtinėmis dujomis – tai yra vienas populiariausių energijos gamybos būdų Lietuvoje, tačiau tuo pačiu tai ir mažiau taršos sukeliantis būdas, negu akmens anglių deginimas.

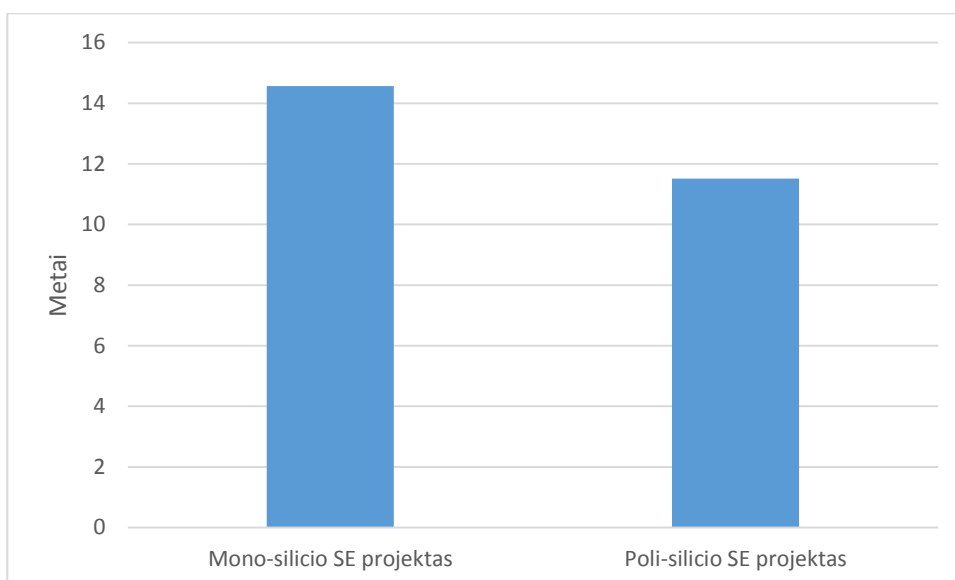


**5.9 pav.** Poli-silicio SE projekto atsipirkimas, vertinant skirtingais metodais

Iš 5.8 paveikslo matyti, kad skaičiuojant energijos atsipirkimo laiko metodu, sistema atsiperka per 11,51 metų, arba, kaip ir pirmuoju atveju - 4 kartus ilgiau, negu vertinant ŠESD atsipirkimo laiko metodu. Todėl, dar skaičiavimai dar kartą parodo, kad nežinant tikslios pirminės energijos kilmės, energijos atsipirkimo laiko metodas yra tikslesnis už GPBT metodą.

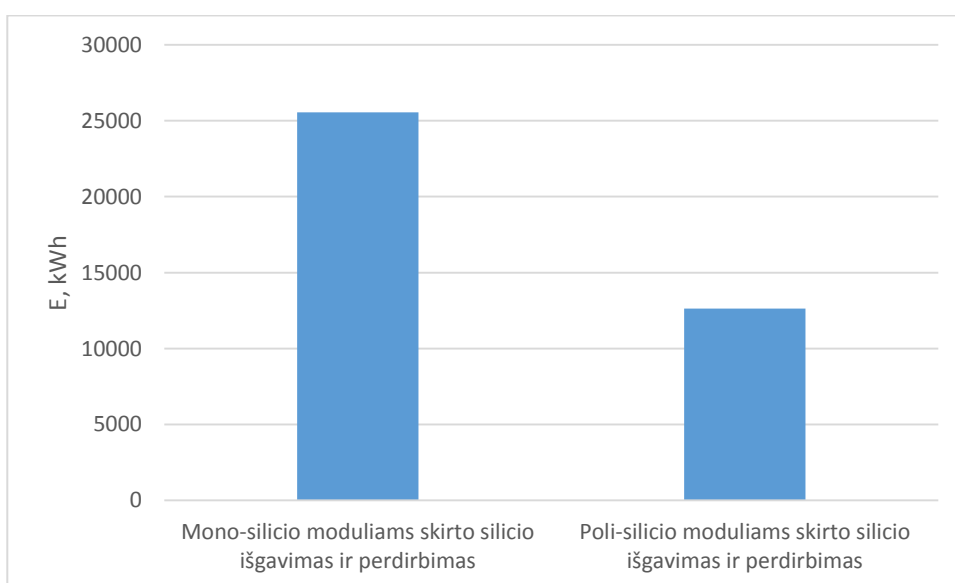
### **5.7 Gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodų ir skirtingų SE sistemų palyginimas**

Darbe du gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo metodai pritaikyti mono-silicio ir multi-silicio fotomodulių saulės elektrinių sistemoms. Atliktas rezultatų palyginimas vertinant skirtingas SE sistemas.



**5.10 pav.** Skirtingų fotomodulių saulės elektrinių energijos atsipirkimo laikas

Iš 5.9 paveikslo galima daryti išvadą, kad poli-silicio saulės elektrinės projekto energijos atsipirkimo laikas yra 3 metais mažesnis, lyginant su mono-silicio SE projektu. Taip yra todėl, kad ženkliai skiriasi silicio išgavimo ir perdirbimo energijos sąnaudos (5.10 pav.).

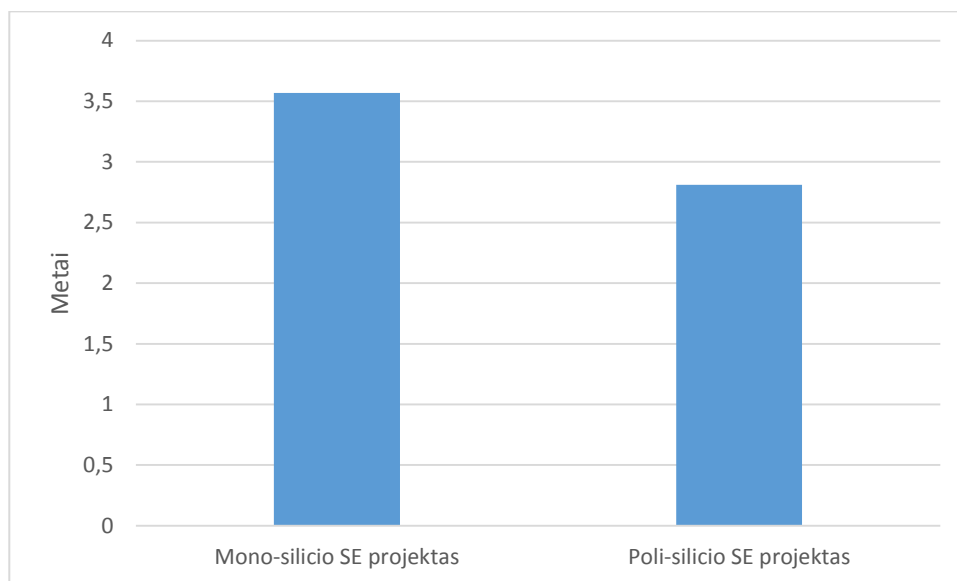


**5.11 pav.** Skirtingų fotomodulių saulės elektrinių silicio išgavimo energijos sąnaudos

Iš 5,10 pav. matyti, kad mono-silicio fotomoduliams skirto silicio išgavimo ir perdirbimo kaštai yra dvigubai didesni, lyginant su poli-silicio fotomoduliais. Bendrai, visos sistemos mono-silicio SE projekto kaštuose, silicio išgavimas ir perdirbimas sudaro net 73,15 %, tuo tarpu poli-silicio SE projekte, silicio išgavimas ir perdirbimas sudaro tik 49,20 %. Taip yra todėl, kad taikomos skirtingos silicio perdirbimo technologijos.

Lyginant SE projektų atsipirkimą šiltnamio efektą sukeliančių dujų atsipirkimo laiko metodu, skirtumas nėra toks didelis, nes skaičiavimai atliekami skaičiuojant pagamintos

energijos per metus sutaupytus išmetimus, lyginant su tuo pačiu energijos kiekiu, gaminant kitais energijos būdais. Žinoma, skaičiuojant vertinama ir sistemos gamybos bei instaliavimo metu sunaudota energija bei jos sukelti išmetimai. Pirmuoju, mono-silicio saulės elektrinės atveju, sistema per metus generuoja 3043,56 kWh energijos, antruoju, poli-silicio SE atveju - 3046,75 kWh energijos. Skirtumas yra tik 1 % per metus, bėgant laikui ir mažėjant FEM efektyvumui, skirtumas tik mažėtų. Tačiau, atliekant skaičiavimus šiuo metodu, vertinama ir sistemos gamybos bei instaliavimo metu sunaudota energija bei jos sukelti išmetimai. Todėl, atsipirkimo laikas šiek tiek skiriasi (5.11 pav.).



**5.12 pav.** Skirtingų fotomodulių saulės elektrinių ŠESD atsipirkimo laikas

Šiuo atveju, ŠESD atsipirkimo laikas skiriasi 9 mėnesiais, arba 0,76 metų. Tai yra mažesnis skirtumas, lyginant su energijos atsipirkimo laiko metodu, nes skaičiavimuose atsižvelgiama į pagamintą energijos kiekį. Taigi, skirtumas nedidelis, nes energijos pagaminamas kiekis panašus abiem atvejams.

Apibendrinant galima teigti, kad norint atlikti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą taikytinas tiek energijos atsipirkimo laiko metodas, tiek ir ŠESD atsipirkimo laiko metodas, kuris darant tą pačią prielaidą apie energijos pakeičiamumą leidžia atlikti skirtingų technologijų tarpusavio palyginimą. Lyginant mono-silicio ir poli-silicio sistemas, rekomenduojama rinktis poli-silicio, nes šios sistemos yra greitesnis tiek energijos atsipirkimo laikas, tiek ir ŠESD atsipirkimo laikas, taip pat, tokia sistema generuoja daugiau elektros energijos.

## 6. SAULĖS ELEKTRINIŲ EKONOMINIS VERTINIMAS

Gauti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo rezultatai leidžia daryti išvadą, kad poli-silicio saulės elektrinės sistema veikia efektyviau ir vertinant skirtingais metodais, energijos sąnaudas atsiperka greičiau. Tačiau siekiant susieti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimo rezultatus su ekonominiu vertinimu tikslinga atlikti ir analizuotų dviejų skirtingų tipų (mono-silicio ir poli-silicio) saulės elektrinių ekonominio efektyvumo įvertinimą.

### 6.1 Mono-silicio saulės elektrinės projekto ekonominis vertinimas

Ekonominiam vertinimui atlikti sudaryta įrengimų sąmata pateikta 6.1 lentelėje.

6.1 lentelė. Mono-silicio saulės elektrinės projekto sąmata

Eil. nr.	Pavadinimas	Matas	Kiekis	Kaina, €	Visa kaina, €
1.	Fotoelektros moduliai Hyundai HiS-S280RG 280 W	Vnt.	13	203,47	2.645,11
2.	SE komponentų komplektas (kabeliai, inverteris, viršįtampių ribotuvai, laikikliai)	Vnt.	1	1.000,00	1.000,00
3.	SE montavimo darbai	Vnt.	1	730,00	730,00
				Suma, viso:	4.375,11

Daroma prielaida, kad montavimo darbai sudaro apie 20 % visos projekto sąmatos. Skaičiavimai atliekami pagal visos pagamintos elektros energijos pardavimo scenarijų. Šiuo metu, integruotos ant pastato stogo SE pagaminama elektros energija superkama 0,124 Eur/kWh [24]. Taip pat, daroma prielaida, kad saulės elektrinės eksploatacinės išlaidos sudaro 5 % nuo visų metinių pajamų.

Apskaičiuojamos gautos pajamos  $A$  per mėnesį pagal (6.1) formulę:

$$A = E_{SE} \times A_{supirkimo}; \quad (6.1)$$

Čia:

$A_{supirkimo}$  – integruotos ant pastato stogo SE pagamintos elektros energijos supirkimo tarifas,  $A_{supirkimo} = 0,124$  € .

Skaičiavimų duomenys pateikti 6.2 lentelėje.

**6.2 lentelė.** Iš mono-silicio SE gautų pajamų suma per mėnesį ir metus

Mėnuo	Pagaminama elektros energija, kWh	Gauta pajamų suma, €	Iš viso gauta pajamų suma per metus, €	Iš viso gauta pajamų suma per metus, įvertinus eksploatacines išlaidas, €
1	49,49	6,14	377,40	358,53
2	102,07	12,66		
3	216,51	26,85		
4	306,21	37,97		
5	451,59	55,99		
6	479,42	59,45		
7	463,96	57,53		
8	426,84	52,93		
9	278,37	34,52		
10	160,84	19,94		
11	49,49	6,14		
12	58,77	7,28		

Pagal gautus rezultatus matyti, kad per metus toks projektas generuoja 358,53 € pajamų.

Atsipirkimo laiko įvertinimas yra vienas iš paprasčiausių ir plačiausiai naudojamų būdų projekto vertei nustatyti. Atsipirkimo laikas – tai laiko periodas reikalingas pirminei investicijai vertei atstatyti.

Statinis atsipirkimo laikas  $T_S$  skaičiuojamas pagal (6.2) formulę:

$$T_S = \frac{K}{A}; \quad (6.2)$$

Čia:

$K$  – investicijos, €.

$$T_S = \frac{4.375,11}{358,53} = 12,20 \text{ metų.}$$

Apskaičiavus statinį atsipirkimo laiką, daroma išvada, kad toks projektas turėtų atsipirkti per 12,20 metų, tačiau skaičiuojant  $T_S$  yra nevertinama diskonto norma, todėl skaičiavimus reikėtų atlikti naudojant sumažinimo koeficientą.

Naudojant sumažinimo koeficientą apskaičiuojama dabartinė išlaidų vertė, diskontuotos pajamos ir diskontuotas pelnas per 25 metus, vertinama, kad projekto rengimo metai yra nuliniai, diskonto norma 3 %.

Sumažinimo koeficientas randamas pagal (6.3) formulę:

$$S = \frac{1}{(1+i)^n}; \quad (6.3)$$

Čia:

i – diskonto norma, i = 0,03;

n – laikas, metais.

Naudojantis sumažinimo koeficientu apskaičiuoti duomenys pateikti 8.2 lentelėje.

**6.3 lentelė.** Prognozuojami pinigų srautai esant 3 % diskonto normai

Metai	Kapitalinė investicija, €	Eksploataciniai kaštai, €	Sumažinimo koeficientas	Dabartinė išlaidų vertė, €	Diskontuotos pajamos, €	Diskontuotas pelnas, €
0	4.375,11	0,00	0,00	4.375,11	0,00	0,00
1	0,00	18,87	0,97	18,32	348,09	-4.045,34
2	0,00	18,87	0,94	17,79	337,95	-3.725,18
3	0,00	18,87	0,92	17,27	328,11	-3.414,34
4	0,00	18,87	0,89	16,77	318,55	-3.112,56
5	0,00	18,87	0,86	16,28	309,27	-2.819,57
6	0,00	18,87	0,84	15,80	300,26	-2.535,11
7	0,00	18,87	0,81	15,34	291,52	-2.258,93
8	0,00	18,87	0,79	14,90	283,03	-1.990,80
9	0,00	18,87	0,77	14,46	274,78	-1.730,48
10	0,00	18,87	0,74	14,04	266,78	-1.477,74
11	0,00	18,87	0,72	13,63	259,01	-1.232,36
12	0,00	18,87	0,70	13,24	251,47	-994,13
13	0,00	18,87	0,68	12,85	244,14	-762,84
14	0,00	18,87	0,66	12,48	237,03	-538,29
15	0,00	18,87	0,64	12,11	230,13	-320,27
16	0,00	18,87	0,62	11,76	223,42	-108,61
17	0,00	18,87	0,61	11,42	216,92	96,89
18	0,00	18,87	0,59	11,08	210,60	296,41
19	0,00	18,87	0,57	10,76	204,46	490,11
20	0,00	18,87	0,55	10,45	198,51	678,17
21	0,00	18,87	0,54	10,14	192,73	860,76
22	0,00	18,87	0,52	9,85	187,11	1.038,02
23	0,00	18,87	0,51	9,56	181,66	1.210,13
24	0,00	18,87	0,49	9,28	176,37	1.377,22
25	0,00	18,87	0,48	9,01	171,24	1.539,44
<b>Iš viso:</b>				4.703,70	6.243,14	1.539,44

Iš (6.3) lentelės duomenų taikant 3 % diskonto normą, pagal (6.4) formulę randama dabartinė projekto grynąjoji vertė NPV.



$$NPV = PVB - PVC; \quad (6.4)$$

Čia:

$PVB$  – diskontuotos pajamos, €;

$PVC$  – dabartinė išlaidų vertė, €.

$$NPV = 6.243,14 - 4.703,70 = 1.539,44 \text{ €}.$$

Toliau, pagal 6.5 formulę apskaičiuojamas įplaukų ir išlaidų santykis  $B/C$ , arba kitaip vadinamas investicijų rentabilumo indeksas  $R$ :

$$R = \frac{PVB}{PVC}; \quad (6.5)$$

$$R = \frac{6.243,14}{4.703,70} = 1,33.$$

Apskaičiavus dabartinę projekto grynąją vertę ir rentabilumo indeksą 25 metų laikotarpiui, galima daryti išvadas, kad investicijos atsiperka. Norint, kad projektas atsipirktų, rentabilumo indeksas turi tenkinti sąlygą  $R > 1$ , šiuo atveju sąlyga tenkinama  $1,33 > 1$ .

Atsipirkimo laikas nėra labai tikslus projekto vertės nustatymo matas, kadangi nenumato galimybės apskaičiuoti pajamas po investicijų atsipirkimo periodo bei neatsižvelgia į laiko faktoriaus įtaką pinigų srautams, todėl norint atlikti investicinio projekto objektyvų vertinimą būtina taikyti diskontavimu pagrįstą metodiką [25]. Iš gautų rezultatų matyti, kad paprastas atsipirkimo laikas yra  $T_s=12,20$  (projektas atsiperka tryliktais metais), tačiau pritaikius diskontavimo metodiką nustatyta, kad SE projektas turėtų atsipirkti tik septynioliktais eksploatacijos metais.

## 6.2 Poli-silicio saulės elektrinės projekto ekonominis vertinimas

Skaičiavimams atlikti, reikalinga projekto sąmata, priimta, kad komponentų ir instaliavimo kaštai, tokie patys, kaip ir mono-silicio elektrinės atveju (6.4 lentelė).

**6.4 lentelė.** Mono-silicio saulės elektrinės projekto sąmata [26]

Eil. nr.	Pavadinimas	Matas	Kiekis	Kaina, €	Visa kaina, €
1.	Fotoelektros moduliai Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W	Vnt.	14	167,65	2.347,10
2.	SE komponentų komplektas (kabeliai, inverteris, viršįtampių ribotuvai, laikikliai)	Vnt.	1	1.000,00	1.000,00
3.	SE montavimo darbai	Vnt.	1	730,00	730,00
				Suma, viso:	4.077,10

Apskaičiuojamos gautos pajamos A per mėnesį pagal (6.1) formulę, gauti duomenys pateikti 6.5 lentelėje.

**6.5 lentelė.** Iš poli-silicio SE gautų pajamų suma per mėnesį ir metus

Mėnuo	Pagaminama elektros energija, kWh	Gauta pajamų suma, €	Iš viso gauta pajamų suma per metus, €	Iš viso gauta pajamų suma per metus, įvertinus eksploatacines išlaidas, €
1	49,54	6,13676	377,80	358,91
2	102,18	12,6567		
3	216,74	26,8472		
4	306,53	37,97		
5	452,06	55,9972		
6	479,92	59,4481		
7	464,44	57,531		
8	427,29	52,9282		
9	278,67	34,5179		
10	161,01	19,9442		
11	49,54	6,13676		
12	58,83	7,28748		

Statinis atsipirkimo laikas randamas pagal 6.2 formulę:

$$T_S = \frac{4.077,10}{358,91} = 11,36 \text{ metų.}$$

Apskaičiavus statinį atsipirkimo laiką, daroma išvada, kad toks projektas turėtų atsipirkti per 11,36 metų (0,84 metų greičiau, negu mono-silicio elektrinės atveju) tačiau skaičiuojant  $T_S$  yra nevertinama diskonto norma, todėl, kaip ir pirmuoju atveju, skaičiavimus reikėtų atlikti naudojant sumažinimo koeficientą.

Kaip ir mono-silicio SE projekto atveju, naudojant sumažinimo koeficientą apskaičiuojama dabartinė išlaidų vertė, diskontuotos pajamos ir diskontuotas pelnas per 25 metus, vertinama, kad projekto rengimo metai yra nuliniai, diskonto norma 3 %.

Sumažinimo koeficientas randamas pagal (6.3) formulę, rezultatai pateikti 6.6 lentelėje.

**6.6 lentelė.** Prognozuojami pinigų srautai esant 3 % diskonto normai

Metai	Kapitalinė investicija, €	Eksploataciniai kaštai, €	Sumažinimo koeficientas	Dabartinė išlaidų vertė, €	Diskontuotos pajamos, €	Diskontuotas pelnas, €
0	4077,10	0,00	0,00	4.077,10	0,00	0,00
1	0,00	18,89	0,97	18,34	348,46	-3.746,98
2	0,00	18,89	0,94	17,81	338,31	-3.426,48
3	0,00	18,89	0,92	17,29	328,45	-3.115,32
4	0,00	18,89	0,89	16,78	318,89	-2.813,21
5	0,00	18,89	0,86	16,29	309,60	-2.519,91
6	0,00	18,89	0,84	15,82	300,58	-2.235,15
7	0,00	18,89	0,81	15,36	291,83	-1.958,68
8	0,00	18,89	0,79	14,91	283,33	-1.690,26
9	0,00	18,89	0,77	14,48	275,07	-1.429,67
10	0,00	18,89	0,74	14,06	267,06	-1.176,66
11	0,00	18,89	0,72	13,65	259,28	-931,02
12	0,00	18,89	0,70	13,25	251,73	-692,54
13	0,00	18,89	0,68	12,86	244,40	-461,00
14	0,00	18,89	0,66	12,49	237,28	-236,21
15	0,00	18,89	0,64	12,12	230,37	-17,96
16	0,00	18,89	0,62	11,77	223,66	193,93
17	0,00	18,89	0,61	11,43	217,15	399,64
18	0,00	18,89	0,59	11,10	210,82	599,37
19	0,00	18,89	0,57	10,77	204,68	793,28
20	0,00	18,89	0,55	10,46	198,72	981,54
21	0,00	18,89	0,54	10,15	192,93	1.164,32
22	0,00	18,89	0,52	9,86	187,31	1.341,77
23	0,00	18,89	0,51	9,57	181,86	1.514,06
24	0,00	18,89	0,49	9,29	176,56	1.681,32
25	0,00	18,89	0,48	9,02	171,42	1.843,72
<b>Iš viso:</b>				4.406,03	6.249,75	1.843,72

Iš (6.5) lentelės duomenų taikant 3 % diskonto normą, pagal (6.4) formulę randama dabartinė projekto grynoji vertė NPV.

$$NPV = 6.249,75 - 4.406,03 = 1.843,72 \text{ €}.$$

Toliau, pagal 6.5 formulę apskaičiuojamas investicijų rentabilumo indeksas R:

$$R = \frac{6.249,75}{4.406,06} = 1,42.$$

Apskaičiavus dabartinę projekto grynąją vertę ir rentabilumo indeksą po 25 metų, galima daryti išvadas, kad investicijos atsiperka. R koeficientas turi būti daugiau už 1, šiuo atveju sąlyga tenkiama  $1,33 > 1$ . Toks projektas atsiperka šešioliktais tarnavimo metais.

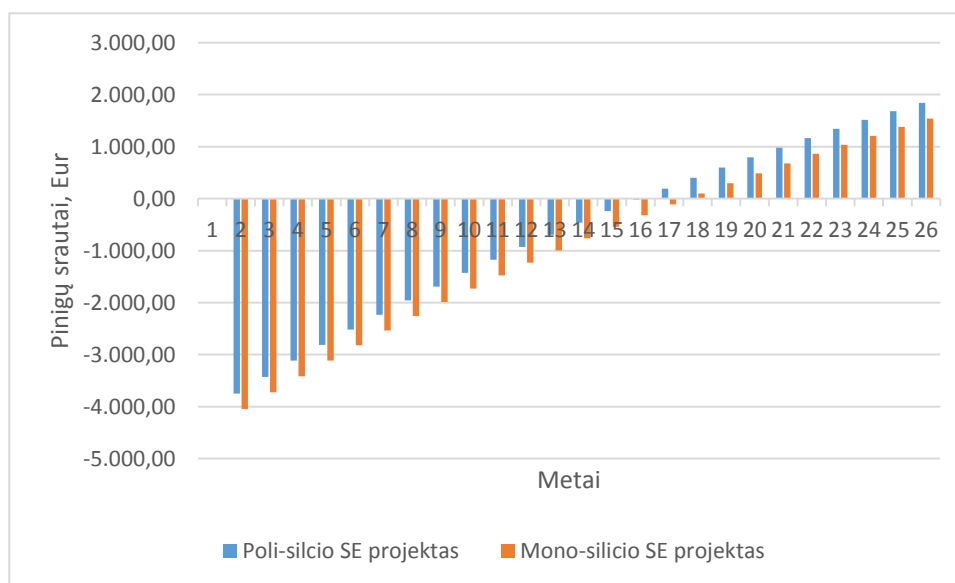
### 6.3 Ekonominio projektų vertinimo rezultatų palyginimas

Atliktų SE projektų ekonominio vertinimo rezultatų palyginimas pateiktas 6.7 lentelėje.

**6.7 lentelė.** Mono-silicio/ poli-silicio SE projektų ekonominio vertinimo rezultatai [26]

	Statinis atsipirkimo laikas, m	Dabartinė projekto grynoji vertė (NPV), Eur	Rentabilumo indeksas	Diskontuotas atsipirkimo laikas, m
Mono-silicio projektas	12,2	1.539,44	1,33	17
Poli-silicio projektas	11,36	1.843,72	1,42	16

Atlikta palyginamoji analizė parodė, kad poli-silicio SE projektas yra ekonomiškai naudingesnis, nes visi ekonominio vertinimo rodikliai, lyginant su mono-silicio SE projektu yra geresni. Nustatyta, kad poli-silicio SE diskontuotas atsipirkimo laikas yra vieneriais metais trumpesnis, tai rodo, kad poli-silicio SE projektas ekonomiškai efektyvesnis. Abiejų analizuotų SE projektų balansai pateikti 6.1 paveiksle, kurie parodo, koks grynujų pinigų kiekis yra susietas su vienu ar kitu investiciniu projektu kiekvienu laiko momentu.



**6.1 pav.** Skirtingų SE projektų pinigų srautai

Iš 6.1 paveikslo matome, kad poli-silicio SE projekto NPV yra 304,28 Eur didesnis, lyginant su mono-silicio SE projektu. Atliktas ekonominis vertinimas leidžia daryti išvadą, kad poli-silicio SE projektai užtikrina ne tik mažesnę neigiamą poveikį aplinkai viso gyvavimo ciklo metu, bet yra ir ekonomiškai efektyvesni.

## IŠVADOS

1. Viena svarbiausių, atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą skatinančių priežasčių, yra globalinė klimato kaita. Šiandien visas pasaulis susiduria su klimato kaitos problemomis. Pagrindinis šios problemos šaltinis – šiltnamio efektą sukeliančios dujos, kurių pagrindinė sudedamoji dalis yra CO<sub>2</sub>. Visa tai spręsti galima tik globaliai, visoms šalims prisidedant prie švaresnės energijos gamybos, efektyvesnio vartojimo, CO<sub>2</sub> išmetimų mažinimo. Sprendžiant šią problemą ir siekiant įgyvendinti užsibrėžtus tikslus tiek ES mastu, tiek pasaulio mastu, reikšmingą vaidmenį vaidina AEI naudojimo didinimas bei AEI integracija į energetikos sektorių.

2. Šiandien labiausiai rinkoje paplitę yra mono-silicio ir poli-silicio kristalų saulės elementai. Svarbus aspektas yra nuolatinis technologijų tobulėjimas ir tuo pačiu investicinių kaštų mažėjimas. Saulės energetika tampa vis labiau patraukli dėl savo privalumų, kurių vienas pagrindinių – SE gali ilgą laiką patikimai tarnauti be jokios papildomos priežiūros. Taip pat, tokia energija yra ekologiška ir prisideda prie klimato kaita mažinimo tikslų įgyvendinimo.

3. Išanalizavimus gyvavimo ciklo poveikio aplinkai metodikas nustatyta, kad tikslinga taikyti du pagrindinius metodus:

1) energijos atsipirkimo laiko metodą, kuris parodo, kiek laiko turi veikti sistema, kad sugeneruotų tokį patį energijos kiekį, kuris buvo reikalingas sistemos gamybai.

2) šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų atsipirkimo laiko metodas arba taip vadinamas sutaupytų šiltnamio efektą sukeliančių dujų įvertinimas.

Galima teigti, kad norint atlikti gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą taikytinas tiek energijos atsipirkimo laiko metodas, tiek ir ŠESD atsipirkimo laiko metodas, kuris darant tą pačią prielaidą apie energijos pakeičiamumą leidžia atlikti skirtingų technologijų tarpusavio palyginimą.

4. Atlikus gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą dviem skirtingoms saulės elektrinių sistemoms (mono-silicio ir poli-silicio fotoelektros moduliams) pagal du GCV metodus nustatyta, kad mono-silicio sistemos energijos atsipirkimo laikas 14,57 metų, o poli-silicio sistemos energijos atsipirkimo laikas 11,51 metų. Skirtumas atsiranda dėl skirtingų sistemų gamybos energijos sąnaudos: mono-silicio SE sistemos gamybos ir instaliavimo kaštai 34943,94 kWh, poli-silicio SE sistemos – 25683,84 kWh. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų atsipirkimo laiko metodas parodė, kad mono-silicio atsipirkimo laikas 3,57 metų, poli-silicio - 2,17 metų. Lyginant mono-silicio ir poli-silicio sistemas, rekomenduojama rinktis poli-silicio, nes šios sistemos yra greitesnis tiek energijos atsipirkimo laikas, tiek ir ŠESD atsipirkimo laikas.

5. Darbe atlikus ekonominę skirtingų SE projektų vertinimą, taikant 3 % diskonto normą, nustatyta, kad mono-silicio elektrinė atsiperka septynioliktais eksploataavimo metais, tuo tarpu poli-silicio – šešioliktais eksploataavimo metais. Mono-silicio SE sistemos rentabilumo indeksas  $R=1,33$ , poli-silicio  $R=1,42$ . Atliktos analizės rezultatai rodo, kad poli-silicio fotoelektros modulių rekomenduojama rinktis ne tik atsižvelgiant į gyvavimo ciklo poveikio aplinkai vertinimą, bet ir dėl ekonominio efektyvumo.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. *Šiltnamio efektą sukeliančių dujų tendencijos Lietuvoje* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-01-04]. Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/files/%C5%A0ESD%20Trendai%20AAA%20svetainei.pdf>
2. *Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis Lietuvoje 2014 m. ir tendencijos 1990 – 2014 m.* [interaktyvus] [žiūrėta 2017-04-20]. Prieiga per internetą: <http://klimatas.gamta.lt/files/Tendencijos1467296845041.pdf>
3. Darmani, A., Ardvissan, N., Hidalgo, A., Albros, J. *What drives the development of renewable energy technologies? Toward a typology for the systemic driver.* October, 2014, Royal Institute of technology. Stockholm, Sweden.
4. Europos komisija. Klimato kaita. Europos Sąjunga. 2012
5. *Atsinaujinančių išteklių energetikos tikslai ir esama padėtis. LR Energetikos ministerija 2017.* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-20]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai>
6. „EU total greenhouse gas emissions trends and projections“ *European Enviroment Agency, 2017.* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-04-05]. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment>
7. Petrauskas, G., V. Adomavičius. *Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti.* Kaunas: Technologija, 2012. 120 p. ISBN 9786090207529 *Saulės apšvita* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-06-12]. Prieiga per internetą: <http://energijadykai.lt/faktai.htm>
8. *Saulės apšvita* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-06-12]. Prieiga per internetą: <http://energijadykai.lt/faktai.htm>
9. *Saulės energijos pasiskirstymas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-06-12]. Prieiga per internetą: <http://straipsniai.org/atsinaujinantys-energijos-saltiniai/>
10. *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara* (ISO 14040:2006). LST EN ISO 14040:2007.
11. *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas: Reikalavimai ir nurodymai* (ISO 14044:2006). LST EN ISO 14044:2007.
12. Varžinskas, V., Uselytė, R. *Gaminių ekologinio projektavimo vadovas* Kaunas: Technologija, 2006.
13. Davidavičius, E. *Aplinkos apsaugos vadyba ISO 14000* Vilnius: Litimo, 1999.

14. *Bioenergy for Europe: Which ones fit best ? - A comparative analysis for the Community Final report*, Heidelberg, Germany 2000.
15. Navickas, K., Venslauskas, K. *Biomassės būvio ciklo analizė* Kaunas: Aleksandro Stulginskio universitetas. Akademija, 2012
16. Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., Yu, X. *Review of R&D progress and practical application of solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies*. *Renew Sustain Energy Rev*, 2012.
17. „Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo“. *Valstybės žinios* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-01-04]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A2E8B0079BC9>
18. Raugei, M., Fullana, I., Palmer, P., Fthenakis, V. *The energy return on energy investment (EROI) of photovoltaics: methodology and comparisons with fossil fuel lifecycles*. *Energy Policy*, 2012.
19. Jinqing, P., Lin, L., Hongxing, Y. *Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems*. Hong Kong, 2013.
20. Fthenakis, V.M., Kim, H.C. *Photovoltaics: Life – cycle analyses*. New York, 2010.
21. *Saulės ekspozicija* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-15]. Prieiga per internetą: <http://www.saulėsvejoenergija.lt/Fotoelektra/Istekliai/>
22. Adomavičius, V., P. Balčiūnas ir N. Ždankus. *Atsinaujinančių šaltinių panaudojimas sodyboms aprūpinti elektros energija = Employment of renewable sources for farmsteads electric energy supply*. Kaunas: Technologija, 2000. 176 p. ISBN 9986138213.
23. *PVWatts Calculator* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-15]. Prieiga per internetą: <http://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
24. *Elektros energijos gamintojams, naudojantiems atsinaujinančius energijos išteklius, fiksuoti tarifai*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-04-06]. Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/tarifai.aspx>
25. *Gronskas, V. Ekonominė analizė*. Kaunas: Technologija, 2005. 195 p. ISBN 9955098708.
26. *Saulės fotoelektros modulių ir elektros prietaisų elektroninė parduotuvė* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-04-10]. Prieiga per internetą: <http://store.affordable-solar.com>





**Priedas nr. 1** Hyundai HiS-S280RG 280 W specifikacijos**HiS-S280RG**

		280
Nominal output (Pmpp)	W	280
Voltage at Pmax (Vmpp)	V	31.7
Current at Pmax (Impp)	A	8.8
Open circuit voltage (Voc)	V	38.5
Short circuit current (Isc)	A	9.4
Output tolerance	%	+3/-0
No. of cells & connections	pcs	60 in series
Cell type	-	
Module efficiency	%	17.1
Temperature coefficient of Pmpp	%/K	-0.45
Temperature coefficient of Voc	%/K	-0.33
Temperature coefficient of Isc	%/K	0.032

## Electrical Characteristics

### HiS-M260RG

		260
Nominal output (Pmpp)	W	260
Voltage at Pmax (Vmpp)	V	31.1
Current at Pmax (Impp)	A	8.4
Open circuit voltage (Voc)	V	37.7
Short circuit current (Isc)	A	8.9
Output tolerance	%	
No. of cells & connections	pcs	
Cell type	-	
Module efficiency	%	15.9
Temperature coefficient of Pmpp	%/K	-0.43
Temperature coefficient of Voc	%/K	-0.32
Temperature coefficient of Isc	%/K	0.048