



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Mantas Grišmanauskas**

Projekto autorius

**Lekt. Dainius Slušnys**

Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

---

**Mantas Grišmanauskas**

Projekto autorius

**Lekt. Dainius Slušnys**

Vadovas

**Lekt. Aistija Vaišnorienė**

Recenzentė

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Mantas Grišmanauskas

## **Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Manto Grišmanausko, baigiamasis projektas tema „Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Grišmanauskas, Mantas. Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Dainius Slušnys. Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: saulės elektrinė, gaminantys vartotojai, investavimo alternatyvos, svertiniai elektros energijos gamybos kaštai, investicijų atsipirkimas, vidinė gražos norma, grynoji dabartinė vertė.

Kaunas, 2020. 92 p.

### **Santrauka**

Baigiamojo magistrinio darbo užduotis yra įvertinti ir palyginti skirtingus gaminančių vartotojų skatinimo modelius įsirengiant saulės elektrines, namų ūkių elektros energijos poreikiui patenkinti. Įvade pateikiama informacija apie temos aktualumą, pateikiamas darbo tikslas ir uždaviniai.

Tiriamąjį projektą dalyje yra pateikiami du skirtingi analizuojami atvejai su skirtingais elektros energijos poreikiais. Abiem atvejams parenkamos reikalingos galios saulės elektrinės ir apskaičiuojamos prognozuojamos saulės elektrinių elektros energijos generacijos. Kiekvienam atvejui apskaičiuojami ekonominiai rodikliai visoms siūlomoms alternatyvoms (elektrinei ant namo stogo su valstybės teikiama parama; nutolusio saulės parko dalies pirkimas; nutolusio saulės parko nuoma). Atlikus visus skaičiavimus, alternatyvos palyginamos tarpusavyje. Visiems atvejams taip pat atliekama jautrumo analizė, norint nustatyti didžiausią įtaką darančius kriterijus.

Grišmanauskas Mantas. Study of Cost-Effectiveness of Different Investment Models for Solar Power Plants for Producing Consumers. Master's Final Degree Project / supervisor lekt. Dainius Slušnys. Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): study field - power engineering, study field group – engineering science

Keywords: Solar Plant, Producing Consumer, Investment Alternatives, Levelized Cost of Energy, Payback Period, Internal Rate of Return, Net Present Value.

Kaunas, 2020. 92 p.

### **Summary**

The final master's thesis aims to evaluate and compare different investment models for solar power plants for producing consumers to cover household electricity demand. The review part of the research provides information on the relevance of the topic, the purpose and objectives of the work.

In the part of the research project, two different analyzed cases with different electricity needs presented. In both cases, the required power solar power plants chosen and the predicted electricity generation of the solar power plants calculated. Economic indicators calculated for each case for all proposed alternatives (solar plant on the roof with state support; purchase of a part of a solar power plant; rent of a part of the solar park. After all the calculations, the alternatives compared with each other. A sensitivity analysis is also performed for all cases to identify the criteria that have the greatest impact on projects.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas</b> .....	<b>7</b>
<b>Paveikslų sąrašas</b> .....	<b>8</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas</b> .....	<b>9</b>
<b>Įvadas</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Atsinaujinančiosios energetikos perspektyvos Lietuvoje ir pasaulyje.</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Teorinė dalis</b> .....	<b>14</b>
2.1. Saulės energijos potencialas Lietuvoje.....	14
2.2. Saulės elementų technologijos .....	16
2.3. Elektros energiją gaminančių vartotojų skatinimas.....	17
<b>3. Tiriamasis objektas</b> .....	<b>19</b>
3.1. Tiriamojo objekto aprašymas .....	19
3.2. Tyrimo metodologija .....	19
<b>4. Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas</b> .....	<b>22</b>
4.1. 3 kW saulės elektrinė.....	22
4.1.1. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos mokant už patiektos į tinklą ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh).....	24
4.1.2. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos mokant už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW).....	30
4.1.3. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos atsiskaitant mišriu būdu .....	32
4.1.4. 3 kW saulės elektrinės ant gyvenamojo namo be paramos atsiskaitymo būdų palyginimas	35
4.1.5. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo su parama.....	36
4.1.6. Jautrumo analizė 3 kW saulės elektrinei ant gyvenamojo namo .....	37
4.1.7. 3 kW saulės parko dalies pirkimas. ....	41
4.1.8. Jautrumo analizė 3 kW saulės parko pirkimo atveju.....	45
4.1.9. 3 kW saulės parko nuoma.....	48
4.1.10. Jautrumo analizė 3 kW saulės parko nuomos atveju.....	49
4.1.11. Skirtingų investavimo galimybių į 3 kW galios saulės elektrines palyginimas .....	51
4.2. 9 kW saulės elektrinė.....	52
4.2.1. 9 kW saulės elektrinės ant gyvenamojo namo atsiskaitymo būdų palyginimas.....	53
4.2.2. Jautrumo analizė 9 kW saulės elektrinei ant gyvenamojo namo.....	55
4.2.3. 9 kW saulės parko dalies pirkimas .....	58
4.2.4. Jautrumo analizė 9 kW saulės parko pirkimo atveju.....	60
4.2.5. 9 kW saulės parko nuoma.....	64
4.2.6. Jautrumo analizė 9 kW saulės parko nuomos atveju.....	65
4.2.7. Skirtingų investavimo galimybių į 9 kW galios saulės elektrines palyginimas .....	66
<b>Išvados</b> .....	<b>68</b>
<b>Literatūros sąrašas</b> .....	<b>69</b>
<b>Priedai</b> .....	<b>72</b>
1 priedas. 3 kW saulės elektrinės ant namo stogo generacija.....	73
2 priedas. 3 kW saulės parko generacija.....	79
3 priedas. 9 kW saulės elektrinės ant namo stogo generacija.....	82
4 priedas. 9 kW saulės parko generacija.....	88

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija Lietuvoje [15].....	14
2 lentelė. Optimalus saulės modulių kampas [18]. .....	15
3 lentelė. Difuzinės ir visuminės apšvitos santykis [18]. .....	16
4 lentelė. 3 kW saulės elektrinės investicijos. ....	23
5 lentelė. 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai mokant už instaliuotą galią.....	31
6 lentelė. 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai atsiskaitant mišriu būdu.....	32
7 lentelė. 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai atsiskaitant pagaminta elektros energija....	34
8 lentelė. 3 kW saulės elektrinės, visų keturių būdų ekonominiai rodikliai.....	35
9 lentelė. 3 kW saulės elektrinės investicijos su parama. ....	36
10 lentelė. 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai su valstybės teikiama parama.....	37
11 lentelė. 3 kW saulės elektrinės modulių kainos įtaka ekonominiams rodikliams. ....	38
12 lentelė. Diskonto normos įtaka NPV 3 kW saulės elektrinės projektui. ....	38
13 lentelė. Elektros kainos įtaka NPV ir investicijų atsipirkimui 3 kW saulės elektrinės projektui.	39
14 lentelė. 3 kW saulės parko investicijos ir metiniai mokesčiai be paramos.....	41
15 lentelė. 3 kW saulės parko ekonominiai rodikliai. ....	44
16 lentelė. 3 kW saulės parko ekonominiai rodikliai. ....	45
17 lentelė. 3 kW saulės parko elektros kainos įtaka ekonominiams rodikliams. ....	46
18 lentelė. 3 kW saulės parko išlaikymo kaštų įtaka ekonominiams rodikliams. ....	48
19 lentelė. 3 kW saulės parko nuomos kaštai. ....	48
20 lentelė. 3 kW saulės parko nuomos ekonominiai rodikliai.....	49
21 lentelė. 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai visoms alternatyvoms.....	51
22 lentelė. 9 kW saulės elektrinės investicijos. ....	53
23 lentelė. 9 kW saulės elektrinės visų atsiskaitymo būdų palyginimas be paramos.....	54
24 lentelė. 9 kW saulės elektrinės visų atsiskaitymo būdų palyginimas su parama.....	54
25 lentelė. 9 kW saulės elektrinės modulių kainos įtaka ekonominiams rodikliams. ....	55
26 lentelė. Diskonto normos įtaka NPV 9 kW saulės elektrinės projektui. ....	56
27 lentelė. Elektros kainos įtaka NPV ir investicijų atsipirkimui 9 kW saulės elektrinės projektui.	57
28 lentelė. 9 kW saulės parko investicijos ir metiniai mokesčiai.....	58
29 lentelė. 9 kW saulės parko ekonominiai rodikliai. ....	59
30 lentelė. 9 kW saulės parko diskonto normos įtaka NPV. ....	60
31 lentelė. 9 kW saulės parko elektros kainos įtaka ekonominiams rodikliams. ....	61
32 lentelė. 9 kW saulės parko išlaikymo kaštų įtaka ekonominiams rodikliams. ....	63
33 lentelė. 3 kW saulės parko nuomos kaštai. ....	64
34 lentelė. 9 kW saulės parko nuomos ekonominiai rodikliai.....	64
35 lentelė. 9 kW investavimo alternatyvų palyginimas.....	67

## Paveikslų sąrašas

1 pav. Saulės modulių 1 Vato kaina 1980–2018 m [17].	16
2 pav. Gaminančių vartotojų skatinimo etapai [22].	18
3 pav. Elektros energijos suvartojimas pirmuoju analizuojamu atveju.	22
4 pav. Elektros energijos pasiskirstymas su 3 kW saulės elektrine.	24
5 pav. Išlaidos už trūkstamą elektros energiją visam 25 metų laikotarpiui.	25
6 pav. Išlaidos už patiektą ir vėliau susigrąžintą elektros energiją.	26
7 pav. Elektros energijos išlaidų palyginimas.	27
8 pav. 3kW saulės elektrinės pinigų srautai , kai mokama už kWh.	29
9 pav. 3 kW saulės elektrinės pinigų srautai, kai mokama už kW.	31
10 pav. 3 kW saulės elektrinės pinigų srautai, kai mokama mišriu būdu.	33
11 pav. 3 kW saulės elektrinės pinigų srautai atsiskaitant pagaminta elektros energija.	35
12 pav. 3 kW saulės elektrinės investicijų struktūra.	37
13 pav. Diskonto normos įtaka NPV.	39
14 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV.	40
15 pav. Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.	40
16 pav. 3 kW saulės parko pinigų srautai be paramos.	44
17 pav. 3 kW saulės parko pinigų srautai su parama.	45
18 pav. Diskonto normos įtaka NPV.	46
19 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV.	47
20 pav. Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.	47
21 pav. Diskonto normos įtaka NPV.	49
22 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV.	50
23 pav. Saulės parko nuomos kainos įtaka NPV.	50
24 pav. Elektros energijos suvartojimas.	52
25 pav. Elektros energijos pasiskirstymas su 9 kW saulės elektrine.	53
26 pav. 9 kW saulės elektrinės investicijų struktūra.	55
27 pav. Diskonto normos įtaka NPV.	56
28 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV.	57
29 pav. Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.	58
30 pav. 9 kW saulės parko pinigų srautai be paramos.	59
31 pav. 9 kW saulės parko pinigų srautai su parama.	60
32 pav. Diskonto normos įtaka NPV.	61
33 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV.	62
34 pav. Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.	62
35 pav. Išlaidų kaštų įtaka NPV.	63
36 pav. Diskonto normos įtaka NPV.	65
37 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV.	65
38 pav. Saulės parko nuomos kainos įtaka NPV.	66



## Santrumpų ir terminų sąrašas

BVP – bendrasis vidaus produktas;

CO<sub>2</sub> – anglies dioksidas;

AEŠ – atsinaujinantys energijos šaltiniai;

PVGIS – Fotovoltinė geografinė informacijos sistema;

ESO – Energijos skirstymo operatorius;

NPV – grynoji dabartinė vertė;

IRR – vidinė grąžos norma;

LCOE – svertiniai energijos gamybos kaštai;

PP – investicijų atsipirkimo laikas;

PPD – diskontuotų investicijų atsipirkimo laikas;

VERT – valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba;

WACC – vidutinė svertinė kapitalo kaina.

## Įvadas

**Temos aktualumas.** Sparčiai augantis gyventojų skaičius taip pat gerėjanti ekonominė situacija pasaulyje sudarė sąlygas milžiniškam elektros energijos suvartojimui, dėl to yra sparčiai naudojamas iškastinis kuras, kuris teršia aplinką. Šalių valdžioms susirūpinus kaip būtų galima sumažinti iškastinio kuro sunaudojimą ir mažiau teršti aplinką daugumos žvilgsniai nukrypo į atsinaujinančią energetiką. Ši švari energijos rūšis gali išspręsti kelias dideles problemas, visų pirma būtų sumažintas CO<sub>2</sub> išmetimas, taip pat iškastinis kuras yra nebegalintis, jis kažkada pasibaigs ir anksčiau ar vėliau vis tiek reikėtų rasti alternatyvą iškastiniam kurui. Atsinaujinantys energijos šaltiniai tokioms šalims kaip Lietuva, kuri nėra turtinga nafta ar anglimi gali tapti energetiškai nepriklausomos nuo kitų šalių. Atsinaujinančius energijos šaltinius galima įrengti vietovėse, kuriose nėra elektros tinklų ir taip aprūpinti elektros energija net sunkiausiai pasiekiamas vietoves.

**Temos problematika.** Atsinaujinančios energetikos svarba yra neabejojama ir tai yra plačiai aptarinėjama įvairiais aspektais: politiniais, ekonominiais ir socialiniais. Kalbama apie atsinaujinančių energijos šaltinių ekonominę naudą valstybei, energetinę nepriklausomybę, regioninę plėtrą ir socialinę naudą. Tačiau mažiau dėmesio skiriama paprastiems namų ūkiams, nekalbama apie tai, kokią ekonominę naudą gautų gyventojai įsirengę atsinaujinančius energijos šaltinius savo elektros energijos poreikiams patenkinti.

**Darbo tikslas** – įvertinti ir palyginti gaminančių vartotojų skirtingų skatinimo modelių ir skirtingų galių saulės elektrinių ekonominį efektyvumą.

### **Darbo uždaviniai:**

- išnagrinėti užsienio ir Lietuvos mokslinę literatūrą apie atsinaujinančiosios energetikos ekonomines perspektyvas;
- atlikti saulės elektrinių potencialo analizę Lietuvoje;
- atlikti gaminančių vartotojų investavimo alternatyvų palyginamąjį tyrimą;
- atlikti naudingiausių modelių jautrumo analizę.

## 1. Atsinaujinančiosios energetikos perspektyvos Lietuvoje ir pasaulyje.

R. Shahnazio ir Z. D. Shabanio atliktame tyrime nustatė, kad šalyse, kurios sėkmingai įgyvendina atsinaujinančios energetikos šaltinių projektus, aplinkinės kaimyninės šalys seka jų pavyzdžiu ir taip pat įgyvendina daugiau atsinaujinančios energetikos projektų. Tam įtakos turi gera kitų valstybių patirtis panaudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, panašios klimatinės sąlygos, stengiamasi pasinaudoti kitų šalių jau veikiančiais metodais, ar patobulinti jau išbandytus. Taip pat atsinaujinančios energetikos plitimui įtakos turi moksliniai tyrinėjimai, didėjanti iškastinio kuro kaina, taip pat didėjantys taršos mokesčiai [1].

N. Bamačis ir A. Raofis savo tyrime pateikia išsamią atsinaujinančios energijos gamybos analizę, panaudodami technologinių, ekonominių ir aplinkos veiksnių kintamuosius dviem išsivysčiusių ir besivystančių šalių grupėms. Jų darbe nustatyta, kad technologiniai veiksniai ir bendrasis vidaus produktas (BVP) daugiausia skatina atsinaujinančios energijos naudojimą išsivysčiusiose šalyse (JAV, Vokietija, Kanada, Japonija). Tuo metu, BVP ir CO<sub>2</sub> kiekis atsinaujinančių išteklių gamybą skatina besivystančiose šalyse (Indija, Turkija, Bulgarija, Pietų Afrika ir kitos šalys). Naftos kaina turi mažiausią įtaką atsinaujinančios energijos plėtrai abiem grupėms [2].

Jordanija per pastaruosius du dešimtmečius susidūrė su dviem didelėmis energetikos krizėmis: 2003 m. Irako naftos krizė ir 2011 Egipto gamtinių dujų krizė. Po šių įvykių Jordanijos energijos tiekimo sistemos pertvarkymas tapo nacionaline būtinybe užtikrinant pastovią elektros energiją už priimtina kaina. Šiame tyrime sudarytas 100 % atsinaujinančios elektros energijos tiekimo scenarijus ir palygintas su trimis alternatyviais scenarijais: gamtinių dujų, branduolinės energetikos ir skalūnų bei atsinaujinančios energetikos. Visi scenarijai buvo pagrįsti ekonomiškai. Norint patenkinti 100 % reikalingą energijos poreikį naudojant atsinaujinančią energetiką reikėtų apie 10,6 GW koncentruotos saulės energijos, 4,5 GW vėjo ir 25 GW saulės elektrinių. Pagamintos energijos pasaugojimo problemą išspręstų 90 GWh elektros energijos pasaugojimo sistema (43 stotys, po 250 MW talpyklą). Įgyvendinus šį projektą iki 2050 m. būtų panaikinta priklausomybė nuo importo, taip pat gerokai sumažėtų CO<sub>2</sub> išmetimas [3].

Saulės energijos suvartojimas pastaraisiais metais sparčiai išaugo. Tai sąlygojo technologijos, kurios leido sumažinti kainą, taip pat įvairūs įstatymai, remiantys atsinaujinančios energetikos plėtrą. G. R. Timilsina, L. Kurdgelašvili ir P. A. Narbelis savo tyrime pabrėžė, kad nors saulės energijos kainą sparčiai mažėja, tačiau ji vis tiek išlieka didesnė, nei kitų energijos šaltinių. Saulės energetika turi didžiulį potencialą, tačiau plataus masto plėtra turi įveikti nemažai techninių, ekonominių ir politinių kliūčių. Saulės energetikai teikiamos įvairios paramos rūšys: lengvatos įsirengiant saulės elektrines, geresni elektros tarifai, lengvatinės palūkanų normos ir pan. Tačiau norint matyti saulės energetikos augimą išsivysčiusiose ir besivystančiose šalyse ir toliau šalių valdžios turės tęsti paramų programas ir ateinančius dešimtmečius, kad tokie projektai nebūtų nuostolingi juos įgyvendinantiems žmonėms [4].

Yan Heng'as, Chao-Lin Lu'as, Luqing Yu'as ir Zhifeng Gao'as savo darbe tyrė, kokie aspektai lėmė JAV gyventojus įsirengti saulės elektrines nuosavuose namuose. Gauti rezultatai parodė, kad gyventojams svarbiausia finansinė parama įsirengiant tokio tipo elektrines. Demografiniai rodikliai, požiūris į klimato pokyčius taip pat turi įtaką pasirenkant atsinaujinančią energetiką. Tyrimo rezultatai patvirtino, kad vyriausybės turėtų veiksmingiau skatinti įvairiomis subsidijomis saulės ir kitų atsinaujinančių šaltinių energetiką [5].

A. Adenle savo straipsnyje rašo, kad atsinaujinantys energijos šaltiniai, tokie kaip saulės energija, vaidina svarbų vaidmenį įgyvendinant 2030 m. Jungtinių Tautų iškeltiems darnaus vystymosi tikslams įgyvendinimo Afrikoje. Atsinaujinanti energetika nebuvo laikoma viena iš Tūkstantmečio vystymosi tikslų, tačiau ji netiesiogiai prisidėjo prie namų ūkių, sveikatos, švietimo ir skurdo mažinimo Afrikoje. Tyrime nustatyta, kad aiškių politikos krypčių nebuvimas atsinaujinančios energetikos sektoriuje yra pagrindinė saulės energetikos pramonės kliūtis Afrikoje. Taip pat investicijos į mokslinius tyrimus yra labai svarbus rinkos konkurencingumui ir saulės energijos įsisavinimui Afrikoje [6].

Autorių komanda straipsnyje „*Re-considering the economics of photovoltaic power*“ pastebi, kad vis dar dažnai manoma, kad saulės moduliai yra brangūs ir nepasiekė konkurencingos ribos. Straipsnio autoriai mano, kad analitinis lyginimas su kitais energijos ištekliais sukelia daug painiavos. Šiame straipsnyje siekiant išsklaidyti klaidingas nuostatas skaičiavimuose yra pateikiamos tam tikros prielaidos ir parametrai. Visas straipsnis skirtas informuoti politikus ir investuotojus, kurie turi įtakos priiminėjant atsinaujinančios energetikos projektus, ypač besivystančiose šalyse, kuriose žinios ir technologijos nėra tiek pažengusios kaip kitose šalyse [7].

Jianjun Jin'o, Xinyu Wan'o, Yongsheng Lin'o, Foyuan Kuang'o ir Jing Ning'o straipsnyje aptariami Pekino gyventojų apklausos rezultatai apie gyventojų norą investuoti į atsinaujinančių šaltinių tyrimus. Pekinas – vienas labiausiai nuo taršos kenčiančių miestų pasaulyje. Tyrime buvo apklausti 760 respondentų ar jie sutiktų papildomai prie elektros energijos sąskaitos mokėti už atsinaujinančios energetikos mokslinius tyrimus. Rezultatai rodo, kad Pekino gyventojai yra pasirengę mokėti po 0,8 USD kiekvieną mėnesį. Tai parodo, kad gyventojai yra išsilavinę ir rūpinasi juos supančia aplinka. Rezultatų duomenimis kasmet būtų surenkama po 3,71 mln. USD, kurie padėtų plėtoti atsinaujinančią energetiką [8].

Abdul Wahab'o, Ali Hassan'o, Muhammad Arslan Qasim'o, Hafiz Muhammad Ali, Hamza Babar'o, Muhammad Usman Sajid'o publikuotame straipsnyje „*Solar energy systems – Potential of nanofluids*“ kalbama apie veiksmingą saulės energijos pavertimą šilumine ir elektros energija. Vis garsiau kalbant apie globalinį atšilimą, daugiau dėmesio skiriama moksliniams tyrinėjimams, kaip būtų galima sumažinti taršą. Šio straipsnio tikslas yra pateikti išsamią informaciją apie nanofluidų panaudojimo galimybes saulės kolektoriuose ar šiluminės energijos kaupimui. Tyrimai rodo, kad nanofluidas turi didžiulį poveikį šilumos perdavimui ir sistemos efektyvumui, lyginant su kitais baziniais skysčiais [9].

M. Musard'as atliko tyrimą, kaip saulės elektrinės veikia atšiauriausiomis klimatinėmis sąlygomis. Straipsnyje apžvelgiamos saulės energijos pagrindu pagamintos technologijos ir moksliniai tyrimai, atlikti šalto klimato sąlygomis, kur žiemą temperatūra yra žemiau nulio laipsnių. Straipsnyje aprašoma saulės energijos panaudojimas įvairiuose aspektuose: pastatuose, šiltnamiuose, šilumos siurbliuose ir panašiai. Tekste nagrinėjami aplinkos ir ekonominiai aspektai. Analizė parodė, kad daugumoje šaltų klimatinė zonų tam tikroms reikmėms verta įgyvendinti saulės energetikos projektus, tačiau prieš tai svarbu atidžiai įvertinti daugelį parametrų, kurie gali turėti įtakos galutiniams rezultatams [10].

Yan Li ir Chunlu Liu 2017 m. atliktame tyrime kalbama apie šlaitinių stogų panaudojimą saulės elektrinių įrengimui ir koks tokių stogų saulės energijos potencialas. Tyrimui buvo pasirinktas konkretus namas Australijoje turintis devynis skirtingus stogo šlaitus. Atlikus matematinius

skaičiavimus buvo gauti saulės spinduliuotės žemėlapiai, kurie parodo apšvitos pasiskirstymą. Šis tyrimas naudingas investuotojams, gyventojams ir miestų planuotojams, kurie galės efektyviai panaudoti atsinaujinančią energetiką, tiksliai įvertinus apšvitą virš kurių šlaitinių stogų ji yra didžiausia. Tokiu būdu būtų pasiekama didesnė saulės elektrinių generacija, o tai pagreitintų saulės elektrinių atsipirkimo laikotarpį [11].

Socialinės ir demografinės savybės, rūpestis aplinka, asmenybės bruožai ir ekonominiai veiksniai (investicijų sąnaudos ir pajamos) yra pagrindiniai aspektai lemiantys investicijas į atsinaujinančius šaltinius sakoma A. Džeksono, P. Grosčio, K. Rehdanzės ir C. Šrioderės straipsnyje „*Drivers of renewable technology adoption in the household sector*“. Autorių atliktame tyrime gauti rezultatai rodo, kad namų ūkių sprendimus investuoti į saulės elektrines ar saulės kolektorius daugiausiai lemia ekonominiai veiksniai. Kiekvienas norintis investuoti į atsinaujinančią energetiką pirmiausia paskaičiuoja ar gaus finansinės naudos. Rūpestis aplinka, asmenybės bruožai turi palyginti mažai reikšmės [12].

2013 m. Erikos Matulionytės-Jarašūnės atliktame darbe apie atsinaujinančios energetikos plėtrą siekiama apžvelgti ne tik iš ekonominės ir aplinkosaugos pusės, tačiau ir socialinės pusės. Autorės teigimu atsinaujinančių energijos išteklių darnaus vystymosi politika turi apimti daug platesnį problemos sprendimą, nei vien tik konkrečių išteklių plėtros galimybių analizę. Atsinaujinančios energetikos plėtra negali būti padrika ir begalinė, plėtros intensyvumas ir pasiskirstymas geografinė prasme turi būti planuojami, kad plėtra atneštų didžiausią naudą. Autorė teigia, kad atsinaujinančių išteklių vystymasis yra dinamiškas procesas ir globaliu mastu nėra vieno pritaikomo modelio [13].

Dominykas Vasarevičius savo 2011 m. straipsnyje apžvelgia atsinaujinančių šaltinių panaudojimo galimybes Lietuvoje. Straipsnyje analizuojami esami teisės aktai, kuriais siekiama skatinti atsinaujinančių energijos išteklių gamybą ir naudojimą. Autoriaus duomenimis panaudojus Lietuvos namų stogus būtų įmanoma sugeneruoti 170000 GWh saulės energijos, tačiau valstybė nepakankamai skatina saulės energijos panaudojimą privačiame sektoriuje [14].

**Apibendrinimas.** Saulės energetika pastaruoju metu plėtojama vis labiau. Įvairūs moksliniai tyrinėjimai leidžia daryti prielaidą, kad artimiausiu metu saulės energetika pasaulyje ir Lietuvoje bus plėtojama dar labiau. Daugelyje nagrinėtų straipsnių kalbama, kad atsinaujinanti saulės energetika ne tik prisideda prie CO<sub>2</sub> emisijų mažinimo, tačiau taip pat atlieka svarbų vaidmenį šalių energetiniam nepriklausomumui ir socialinei raidai. Norint, kad saulės energetika plėtotųsi ir toliau svarbus politikų indėlis priiminėjant palankius atsinaujinančios energetikos įstatymus. Daugumoje straipsnių taip pat užsimenama, kad gyventojams norintiems įsirengti atsinaujinančius saulės šaltinius yra būtinas vyriausybės prisidėjimas finansiškai. Šiame magistriniame darbe bus atliekama lyginamoji analizė gaminančių vartotojų skirtingų skatinimo modelių ekonominio efektyvumo nustatymui.

## 2. Teorinė dalis

### 2.1. Saulės energijos potencialas Lietuvoje

Saulės energija, taip pat ir kiti atsinaujinantys energijos šaltiniai kiekvienais metais užima vis didesnę ir svarbesnę energetikos sektoriaus dalį ne tik pasaulyje, bet ir Lietuvoje. Tam įtakos turi riboti iškastinio kuro resursai, politiniai įsipareigojimai mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą į aplinką, taip pat žmonių noras gamintis elektrą nepriklausomai ir taip sutaupyti savo finansus.

Saulės energija – didžiausią potencialą turintis atsinaujinantis energijos šaltinis (AEŠ) Žemėje. Saulės energiją galima panaudoti įvairiai: elektros energijos gamybai, gyvenamųjų namų ir kitokios paskirties pastatų šildymui ir vėdinimui, vandens šildymui, elektromobilių įkrovimui ir kitoms reikmėms.

Saulės apšvita ( $W/m^2$ ) ir saulės ekspozicija ( $Wh/m^2$ ) matavimo dydžiai, kurie apibūdina saulės energijos potencialą. Apšvita įvertina šviesos spindulių momentinę galią, tenkančią plokštumos, į kurią ji krinta, ploto vienetui ir yra matuojama vatais kvadratiniam metrui ( $W/m^2$ ). Saulės ekspozicija yra energijos kiekis, gautas per tam tikrą laiką iš saulės spindulių veikiant kintamai saulės apšvitai. Apšvita matuojama vatvalandėmis kvadratiniam metrui ( $W/m^2$ ). Saulės ekspozicija Žemėje pasiskirsčiusi netolygiai, Lietuvoje ji siekia apie 950-1050  $kWh/m^2$ . Visuminė horizontaliosios plokštumos saulės ekspozicija Lietuvoje pateikta 1 lentelėje [15].

**1 lentelė.** Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija Lietuvoje [15]

Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija Lietuvoje, $kWh/m^2$									
	Nida	Kaunas	Vilnius	Telšiai	Klaipėda	Šiauliai	Utena	Lazdijai	Varėna
Sausis	14	16	16	14	12	13	15	19	11
Vasaris	31	33	34	32	31	31	33	37	31
Kovas	72	70	69	69	67	68	67	74	68
Balandis	108	99	93	104	102	100	96	103	94
Gegužė	155	146	142	154	155	154	145	150	147
Birželis	171	155	146	168	168	163	151	159	152
Liepa	165	150	142	156	161	153	147	153	147
Rugpjūtis	148	138	136	141	147	142	133	142	142
Rugsėjis	97	90	84	96	94	94	84	94	85
Spalis	54	52	50	55	53	53	50	56	48
Lapkritis	17	16	17	19	16	17	16	20	11
Gruodis	10	9	10	11	8	9	8	13	3
<b>Metinė suma</b>	<b>1042</b>	<b>976</b>	<b>939</b>	<b>1018</b>	<b>1013</b>	<b>996</b>	<b>946</b>	<b>1021</b>	<b>939</b>

Iš lentelės matyti, kad didžiausi energijos išteklių Lietuvoje yra vakarinėje šalies dalyje (Nida, Telšiai, Klaipėda). Mažiausi energijos išteklių – šiaurės rytinėje ir rytinėje dalyje (Utena, Vilnius).

Lietuva yra pakankamai geroje geografinėje zonoje, todėl ir toliau pingant saulės elektrinėms susidaro vis geresnės sąlygos panaudoti saulės energijos potencialą elektros gamybai ir mūsų šalyje.

Saulės elektrinių pagamintos energijos kiekį padidinti galima saulės modulius nukreipus optimaliu kampu į saulę. Optimalus kampas, tai toks modulių pakreipimo kampas, kai saulės spinduliai kaip įmanoma didesnę laiko tarpą krenta statmenai. Norint padidinti saulės elektrinių generaciją yra

nustatomi metiniai arba mėnesiniai optimalūs saulės modulių kampai. Šešių didžiausių Lietuvos miestų optimalūs modulių pakreipimo kampai, naudojantis Europos Komisijos Jungtinių Tyrimų Centro Energetikos ir Transporto Instituto Fotovoltinės Geografinės Informacijos Sistemos (PVGIS) duomenimis pateikiami 2 lentelėje [18].

**2 lentelė.** Optimalus saulės modulių kampas [18]

Optimalus saulės modulių kampas						
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	65	66	71	68	68	66
Vasaris	58	60	65	61	60	58
Kovas	50	52	55	54	53	51
Balandis	38	39	41	39	39	37
Gegužė	24	25	26	25	25	24
Birželis	16	16	18	17	17	15
Liepa	19	19	22	21	20	18
Rugpjūtis	33	33	35	34	34	33
Rugsėjis	45	46	50	48	47	45
Spalis	54	54	61	58	57	55
Lapkritis	61	60	68	66	65	61
Gruodis	65	66	72	69	67	65
<b>Metinė suma</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>35</b>

Remiantis 2 lentelės duomenimis matyti, kad saulės modulių optimalus kampas su horizontu labai skiriasi vasaros ir žiemos mėnesiais. Žinant, kad daugiausiai elektros energijos generuojama vasarą ir atsizvelgus į lentelėje gautus duomenis Lietuvoje nustatytas optimalus kampas yra apie 36 laipsnius.

Kitas svarbus dydis apibūdinantis saulės potencialą yra saulės apšvita. Šis dydis yra kintamas ir skaidomas į dvi dalis: tiesioginę saulės apšvitą ir difuzinę saulės apšvitą. Tiesioginę apšvitą sudaro į saulės modulių stačiu kampu krintantys saulės spinduliai, o atsispindėję spinduliai (perėję per debesis ar atsispindėję nuo vandens) vadinami difuzine apšvita. Difuzinė ir tiesioginė apšvita sudaro visuminę apšvitą.

Apšvitos potencialui įvertinti taip pat naudojama PVGIS sistema, kurios pagalba galima gauti visuminės ir difuzinės apšvitos rezultatus įvairioms vietovėms. 3 lentelėje pateikiami šešių didžiųjų Lietuvos miestų difuzinės ir visuminės apšvitos santykis kiekvienam metų mėnesiui [18].

Kuo santykis mažesnis, tuo svarbiau yra saulės modulių nukreipti optimaliu kampu, kad būtų pasiekama didesnė generacija.

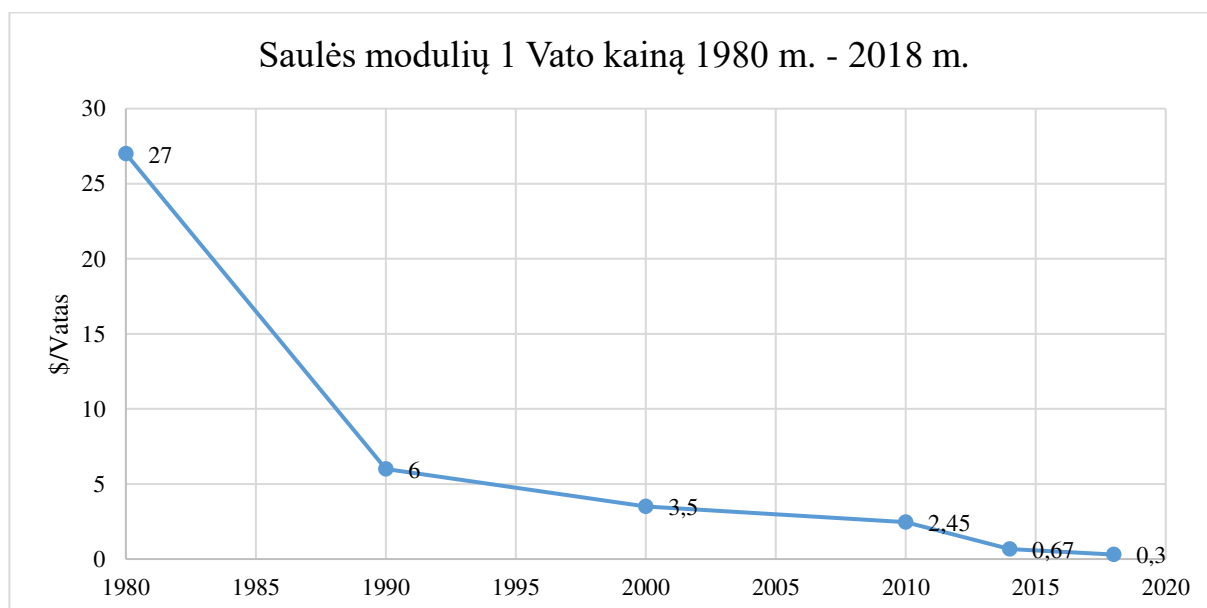
### 3 lentelė. Difuzinės ir visuminės apšvitos santykis [18]

Difuzinės ir visuminės apšvitos santykis						
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	0,79	0,77	0,72	0,76	0,77	0,77
Vasaris	0,80	0,82	0,62	0,72	0,77	0,80
Kovas	0,66	0,65	0,45	0,60	0,65	0,66
Balandis	0,65	0,65	0,32	0,55	0,56	0,65
Gegužė	0,45	0,42	0,37	0,38	0,43	0,47
Birželis	0,44	0,46	0,35	0,43	0,45	0,43
Liepa	0,65	0,60	0,42	0,54	0,58	0,59
Rugpjūtis	0,55	0,53	0,44	0,52	0,56	0,53
Rugsėjis	0,62	0,55	0,49	0,51	0,56	0,56
Spalis	0,69	0,72	0,63	0,73	0,72	0,71
Lapkritis	0,93	0,85	0,84	0,76	0,85	0,86
Gruodis	0,86	0,82	0,81	0,75	0,80	0,82
<b>Metinis vidurkis</b>	<b>0,58</b>	<b>0,57</b>	<b>0,43</b>	<b>0,53</b>	<b>0,56</b>	<b>0,57</b>

Iš gautų duomenų matyti, kad saulės apšvita vasaros mėnesiais yra labiau tiesioginė, o žiemos mėnesiais labiau difuzinė.

## 2.2. Saulės elementų technologijos

Ženkliai išaugusį saulės elektrinių įrengimą įtakoja gerėjanti ekonominė situacija, valstybės skiriamos paramos tokioms elektrinėms įsirengti, taip pat mažėjanti saulės modulių kaina. Jei 1980 metais saulės modulio kaina vienam vatui siekė apie 27 JAV dolerius, tai 2018 metais vieno vato kaina siekia 0,3 JAV dolerius. Duomenys apie saulės modulių kainas 1980-2018 metais pateikta 1 paveikslėlyje [16]. Saulės modulių kainos mažėjimo tikimasi ir ateityje. “Wood Mackenzie Power & Renewables“ atlikto tyrimo duomenimis per ateinančius penkis metus saulės modulių kainą turėtų sumažėti dar apie 40 % ir vieno vato kaina pasieks apie 0,18 JAV dolerio ribą, dėl toliau intensyviai vykdomų mokslinių tyrimų ir konkurencijos šioje srityje [17].



1 pav. Saulės modulių 1 Vato kaina 1980–2018 m [17]



Saulės moduliai sudaro didžiausią finansinę dalį norint įsirengti saulės elektrinę, todėl nenuostabu, kad jų tyrimams skiriama daugiausia dėmesio. Daugiausiai yra naudojamos dviejų tipų saulės modulių celės: monokristalinės ir polikristalinės. Rinkoje galima rasti įvairių gamintojų siūlomų saulės modulių, kurie yra skirtingos galios, kokybės ir kainos. Todėl natūralu, kad pirkėjai nori įsigyti geriausios kokybės modulius už mažiausią kainą. Čia atsiranda poreikis palyginti polikristalinius ir monokristalinius saulės modulius.

Tiek polikristaliniai, tiek monokristaliniai moduliai yra gaminami iš tos pačios medžiagos – silicio. Silicis yra cheminė medžiaga, kuri apdirbama technologiniais procesais, kol tampa saulės modulio cele. Pirmiausia silicis yra išvalomas, kol tūrio vienetu gaunama 99 % silicio. Tuomet šį medžiaga lydoma ir tik išlydžius yra pastebimi technologiniai skirtumai.

Monokristalinėse silicio celėse, silicio plokštelė yra idealiai orientuota viena kryptimi aplink vieną bazinį monokristalą, o polikristalinės celės atveju silicio plokštelė sudaroma aplink kelis kristalus [20].

Toks kristalų išsidėstymas aiškiai matomas ir ant pačių saulės modulių. Monokristaliniai moduliai yra vientisos spalvos, o polikristaliniai turi raštuotą paviršių. Kristalų orientacija yra esminis skirtumas tarp šių dviejų silicio celių. Pagrindinis skirtumas yra naudingumo koeficientas. Kadangi monokristalinio silicio struktūra ne tokia padrika, jo naudingumo koeficientas šiek tiek didesnis. Tačiau monokristalinių celių gamyba yra sudėtingesnis procesas, dėl to išauga savikaina, polikristalinės celės gamyba yra daug paprastesnė, nors abiejų celių ilgaamžiškumas vienodas [21].

Monokristaliniai silicio fotovoltiniai elementai sudaro beveik trečdalį visų pagaminamų saulės elementų. Polikristaliniai silicio saulės elementai yra labiausiai paplitę, jie sudaro daugiau nei pusę visų pagaminamų elementų rinkos.

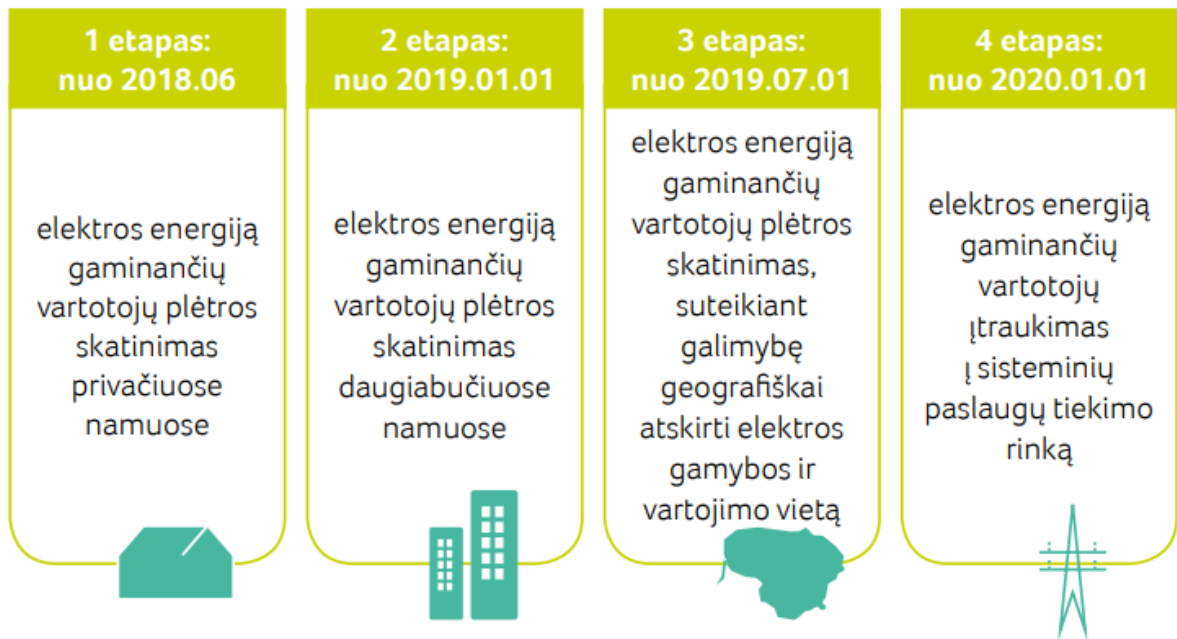
### **2.3. Elektros energiją gaminančių vartotojų skatinimas**

Prieš dešimtmetį pasaulyje prasidėjęs gaminančių vartotojų judėjimas įgauna pagreitį ir Lietuvoje. Tikima, kad netolimoje ateityje gali ateiti laikas, kai pačių pasigaminta elektros energija iš atsinaujinančių energijos šaltinių bus pigesnė, nei perkant iš tradicinių elektros tinklų. Saulės elektrinės nuo 2010 m. iki 2017 m. atpigo 83 %. Ekspertų skaičiavimais iki 2023 m. saulės elektrinės turėtų atpigti dar 27 %. Visi šie pokyčiai sukuria naujas galimybes tiek vartotojams, tiek valstybei.

Decentralizuotos energijos gamybos nauda vartotojams būtų mažesnės sąskaitos už elektros energiją, galimybė būti energetiškai nepriklausomais, taip pat skatinama „žalia“ gyvensena ir kuriamas teigiamas įvaizdis visuomenėje.

Taip pat nepamirštama ir nauda valstybei. Įgyvendinus decentralizaciją būtų skatinama vietinė elektros energijos gamyba, šiuo metu 2/3 elektros energijos yra importuojama iš kaimyninių šalių. Būtų didinamas šalies energetinis saugumas. Prisidedama prie tarptautinių įsipareigojimų stabdyti klimato kaitą. Taip pat teigiamai veikiama šalies ekonomika.

Šiems tikslams įgyvendinti yra numatyti keturi etapai, kurie pavaizduoti 2 paveikslėlyje.



**2 pav.** Gaminančių vartotojų skatinimo etapai [22]

Taip pat išskirtos 5 svarbiausios sritys elektros energiją gaminančių vartotojų skatinimui:

- Teisinių apribojimų mažinimas ir galimybių išplėtimas;
- Administracinės naštos sumažinimas;
- Kainodara. Gamintojas sumoka tik už į elektros tinklus patiektą ir vėliau susigrąžintą elektros energiją. Suteikiama galimybė pasirinkti skirtingus mokėjimo planus, atsižvelgiant į jo elektros energijos suvartojimo įpročius.
- Finansavimo modelis. Skiriami 3 finansavimo modeliai: visos investicijos sumokėjimas nuosavu kapitalu (su daline investicijų kompensavimo galimybe); lizingas; nuoma. Šiuo metu Lietuvoje galima įsigyti saulės elektrines išsimokėtinai. Taip pat iki 2021 m. skirta 20 mln. Eur. paramos įsirengti saulės elektrinę.
- Vartotojų informavimas. Tikslas sukurti informacinę platformą, kurioje būtų gaunama visa reikalinga informacija apie galimybes fiziniams ir juridiniams asmenims pradėti gaminti elektros energiją savo reikmėms [22].

### 3. Tiriamasis objektas

#### 3.1. Tiriamojo objekto aprašymas

Šiuo metu jaučiamas didelis susidomėjimas gaminti elektros energiją savo reikmėms panaudojant saulės potencialą. Tam įtakos turi noras mokėti mažiau už elektros energiją, gerėjanti ekonominė padėtis, taip pat įvairios lengvatos įgyvendinant gaminančių vartotojų projektus. Valstybė taip pat yra interesuota skatinti gyventojus gamintis elektros energiją patiems. Lietuva, kaip ir kitos šalys, yra įsipareigojusi sumažinti CO<sub>2</sub> išmetimą į aplinką. Decentralizuotas elektros energijos gaminimas gali užtikrinti mažesnę priklausomybę nuo importuojamos elektros energijos, taip būtų didinamas šalies energetinis saugumas.

#### 3.2. Tyrimo metodologija

Šiame darbe yra atliekama lyginamoji ekonominė analizė dviem skirtingų galių saulės elektrinėms, lyginant šiuo metu teikiamas tris alternatyvas siūlomas gaminantiems vartotojams:

- Saulės elektrinės įrengimas ant gyvenamojo namo su valstybės teikiama 323 Eur. parama 1 kW įrengtajai saulės elektrinės galiai [24]:
  - Privalumai:
    - Saulės elektrinė įrengiama šalia vartotojo;
    - Dalį pagamintos elektros energijos galima suvartoti iš karto.
  - Trūkumai:
    - Reikalingi stogai pritaikyti saulės elektrinėms arba sklypo dalis;
    - Ateityje bus reikalinga saulės modulių utilizacija.
- Nutolusio saulės parko pirkimas [25]:
  - Privalumai:
    - Galima įsigyti saulės parko dalį gyvenant bute;
    - Nereikalinga saulės modulių utilizacija.
  - Trūkumai:
    - Papildomos išlaidos elektrinės priežiūrai ateityje gali labai išaugti;
    - Pasibaigus sutarčiai saulės parkas atitenka projekto vystytojams.
- Nutolusio saulės parko nuoma [25]:
  - Privalumai:
    - Nereikalingos didelės pradinės investicijos;
    - Ekonominė nauda gaunama jau pirmaisiais metais.
  - Trūkumai:
    - Nuomos ir išlaikymo kaštai ateityje gali augti labiau nei sutaupymai;
    - Pasibaigus sutarčiai saulės parkas atitenka projekto vystytojui.

Atlikus ekonominę analizę ir parinkus ekonomiškai naudingiausias projektus jiems bus atlikta jautrumo analizė pagal įvairius kintamuosius: elektros energijos kainą, diskonto normą, saulės elektrinės nuomos kainą, bei modulių kainą.

Visiems projektams taikomas toks pats gyvavimo laikotarpis – 25 metai.

Darbe atliekami skaičiavimai įvertinant skirtingus elektros energijos suvartojimus ir pagal tai parenkamos dvi skirtingų galių saulės elektrinės, kurios bus įrengtos ant konkretaus gyvenamojo namo stogo ir „Ignitis saulės parkai“ [25] siūlomos nutolusios saulės elektrinės, kuri yra statoma Elektrėnų raj. Kietaviškių sen. Obenių kaime [28].

Gyvenamasis namas parenkamas vakarų Lietuvoje, Plungės mieste. Namas yra su šlaitiniu 45 laipsnių stogu, namo orientacija į pietūs +19 laipsnių.

Pirmuoju analizuojamu atveju metinis elektros energijos suvartojimas yra 3000 kWh, šiuo atveju elektros energija suvartojama įvairiems namų poreikiams tenkinti. Didžioji dalis pagamintos elektros energijos yra tiekama į elektros energijos tinklus ir po to susigrąžinama.

Antruoju analizuojamu atveju metinis elektros suvartojimas yra 8840 kWh, kurią sudaro elektros poreikis namuose, taip pat įrengtos nedidelės medienos dirbtuvės, kuriose yra dirbama kiekvieną darbo dieną. Šiuo atveju daugiau elektros yra suvartojama tiesiogiai, nei pirmuoju atveju, todėl į tinklus atiduodama mažiau elektros energijos.

Priimama, kad per visą saulės elektrinės veikimo laiką elektros energijos suvartojimas nepakis. Lietuvoje iš vieno įrengto saulės elektrinės kilovato (kWp) per metus yra gaunama apie 1000 kWh elektros energijos. Norint patenkinti elektros energijos poreikius būtų tikslinga naudoti 3 kW ir 9 kW saulės elektrines, kurios sugeneruotu reikalingą elektros energijos kiekį pasirinktiems atvejams. Savo reikmėms tiesiogiai nepanaudota sugeneruota elektros energija būtų tiekama į elektros tinklus, kuri vėliau būtų susigrąžinama, kai saulės elektrinė negalėtų patenkinti elektros energijos suvartojimo poreikio.

Šiuo metu „Energijos Skirstymo Operatorius“ (ESO) siūlo keturis atsiskaitymo už pagamintą elektros energiją būdus:

- atsiskaitymas už atgautą energiją. Mokama už patiektos į tinklą ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh). Kaina žemoje įtampoje yra 0,05203 Eur/kWh;
- atsiskaitymas už elektrinės instaliuotą galią. Mokama už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW). Kaina žemoje įtampoje yra 2,6378 Eur/kW/mėn;
- atsiskaitymas mišriu būdu. Mokama už patiektos į elektros tinklus ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh) ir už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW). Kaina žemoje įtampoje yra 0,02662 Eur/kWh ir 1,3189 Eur/kW/mėn;
- atsiskaitymas kilovatvalandėmis. Atsiskaitymas kilovatvalandėmis: nustatytas procentas nuo patiektos į tinklus energijos kiekio (kWh) paliekamas operatoriui už naudojimosi tinklais paslaugas klientas galės neatlygintinai atgauti nustatytą procentą nuo savo pagaminto ir patiekto į tinklą kiekio. „ESO“ pasilieka 36%, o gaminančiam vartotojui lieka 64% elektros energijos [27].

Norint nustatyti kuris atsiskaitymo būdas yra priimtinausias visoms saulės elektrinėms atliekami skaičiavimai su kiekvienu atsiskaitymo būdu ir gauti rezultatai palyginami tarpusavyje.

Kaip alternatyva saulės elektrinei ant nuosavo namo stogo parenkama „Ignitis saulės parkai“ [25] siūloma nutolusi saulės elektrinė, kuri statoma Elektrėnų raj. Kietaviškių sen. Obenių kaime [28].

Atsižvelgiant į anksčiau įgyvendintus projektus, saulės parkas statomas pietų kryptimi su 25 laipsnių modulių pakreipimu, taip siekiant gauti geriausią saulės elektrinės generaciją ir ekonomiškiausią konstrukciją.

„Ignitis saulės parkai“ platforma leidžia visiems nekilnojamo turto savininkams tapti gaminančiais vartotojais ir taip sumažinti elektros energijos sąskaitas. Galima pasirinkti du parko pirkimo metodus:

- saulės parko pirkimas 25 metams
- saulės parko nuoma, kurią bet kada galima nutraukti.

Visi skaičiavimai atliekami 3 kW ir 9 kW nutolusioms saulės elektrinėms.

Generacijos skaičiavimams naudojama „*PVsys*“ [23] programa. Visiems projektams parenkami tokie patys „*Canadian Solar CS3K-300P P4*“ 300 Wp galios saulės moduliai, turintys 10 metų produkto garantiją ir 25 metų 80 % efektyvumo garantiją. Moduliai privalo turėti CE ženklą ir turėti pakankamą apsaugą nuo dulkių ir drėgmės (bent IP 65). Atitinkamai parenkami reikiamos galios inverteriai: 3 kW „*Huawei SUN2000L-3KTL*“ ir 8 kW „*Huawei SUN2000L-8KTL*“ inverteriai. Inverteris turi turėti 5 metų garantiją ir apsaugą nuo dulkių ir drėgmės (bent IP 65) [24]. Šie reikalavimai reikalingi, kad būtų galima gauti paramą saulės elektrinėms įsirengti [24].

Lyginamoji analizė atliekama pagal šiuos pagrindinius ekonominius kriterijus:

- NPV – grynoji dabartinė vertė. Dabartinė visų pinigų srautų, įskaitant ir pradinę investiciją vertė. NPV nustato dabartinę būsimų pajamų bei išlaidų vertę naudojant diskontuotų pinigų metodą. Teigiama NPV vertė parodo, kad investicinis projektas yra patrauklus.
- IRR – vidinė grąžos norma. Diskontavimui naudojama palūkanų norma, kuriai esant iš projekto gaunamų pinigų srautų suma lygi investicijoms. IRR naudojamas projektų atsipirkimui ar pelningumui vertinti.
- LCOE – svertiniai elektros energijos gamybos kaštai. Parodo pagamintos elektros energijos vienos kilovatvalandės kaštus.
- PP – investicijų atsiperkamumas – parodo, kaip greitai atsiperka investicijos.
- PPD – investicijų atsiperkamumas pritaikius diskonto normą, parodo, kaip greitai atsiperka investicijos pritaikius diskontavimą.

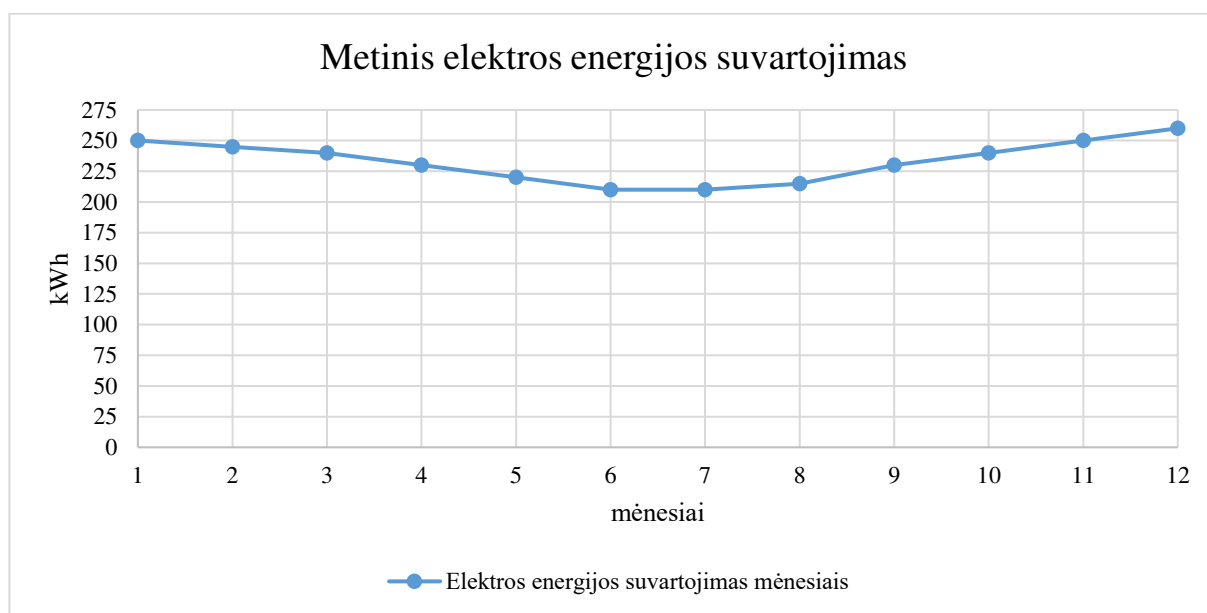
#### 4. Gaminančių vartotojų skirtingų investavimo modelių į saulės elektrines ekonominio efektyvumo tyrimas

Saulės elektrinių generacija skaičiuojama visiems 25 metams. Pagal modulių gamintojų įsipareigojimus per visus veiklos metus saulės modulių generacija negali nukristi žemiau 80 % ribos, nei pirmaisiais metais.

Lyginamos skirtingų tipų ir galių saulės elektrinės (elektrinės ant namo stogo ir nutolę saulės elektrinės parkai) reikalinga visų saulės elektrinių generaciją. Generacijos atliekamos jau minėtos „PVsyst“ programos pagalba, kuria galima pasirinkti skirtingas vietas, modulių pakreipimo kampą ir orientaciją, taip pat galima įvertinti tiesiogiai suvartojamos elektros energijos poreikius, bei įvairius sistemos nuostolius. „PVsyst“ programos skaičiavimams naudojama „Meteonorm 7.2“ duomenų bazė [26], kuri turi vienus tiksliausių ir daugiausiai įvairių vietovių daugiamečius apšvitos duomenis. Gauti rezultatai pateikiami prieduose (Priedas 1 - Priedas 4).

##### 4.1. 3 kW saulės elektrinė

Pirmuoju analizuojamu atveju per metus tiriamas objektas suvartoja 3000 kWh elektros energijos. 3 paveikslėlyje pateikiamas metinis elektros energijos suvartojimo grafikas.



3 pav. Elektros energijos suvartojimas pirmuoju analizuojamu atveju

Iš pateikto grafiko matyti, kad elektros suvartojimas žiemos mėnesiais yra didžiausias, o vasarą elektros energijos poreikis sumažėja. Bendras suvartotas elektros kiekis yra 3000 kWh. Lietuvoje saulės ekspozicija yra apie 1000 kWh/m<sup>2</sup>, todėl rekomenduojamas saulės elektrinės dydis gaunamas elektros energijos poreikius padalinant iš 1000. Kad būtų galima padengti analizuojamo atvejo metinius elektros energijos poreikius reikalinga 3 kW galios saulės elektrinė.

Pirmiausia yra paskaičiuojamos reikalingos investicijos saulės elektrinei. 4 lentelėje pateikiamos saulės elektrinės komponentų ir įrengimo reikalingos investicijos 3 kW saulės elektrinei.

**4 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės investicijos

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
„Canadian Solar CS3K-300P“ [29]	10	133	1330
„Huawei SUN2000L-3KTL“ [30]	1	1150	1150
Kabėliai, apsaugos įrenginiai ir konstrukcija	1	430	430
Montavimo darbai	1	390	390
Viso:			3300

Brangiausi komponentai šioje elektrinėje yra „Canadian Solar“ 300 Wp saulės moduliai, kurių reikės 10 vienetų, bendra jų kaina 1330 Eur. 1150 Eur kainuoja „Huawei SUN2000-3KTL“ 3 kW galios inverteris. Kabėliai, apsaugos įrenginiai ir konstrukcija kainuoja 430 Eur. Montavimo darbai ir reikalingų dokumentų sutvarkymas kainuoja dar 390 Eur.

Programos „PVsyst“ pagalba yra sumodeliuojama 3 kW galios saulės elektrinė. Priede (Priedas.1 3 kW saulės elektrinės ant namo stogo generacija) pateikiama saulės elektrinės generacija įvertinant elektros energijos suvartojimą. Elektros energijos pasiskirstymas laiko momentu (t) apskaičiuojamas:

$$E_{GE_t} = E_{TS_t} + E_{AT_t} \quad (4.1)$$

čia,  $E_{TS_t}$  – tiesiogiai suvartota pagaminta elektros energija (kWh/metus) gauta „PVsyst“ simuliacijos metu;  $E_{AT_t}$  – atiduota į tinklą elektros energija (kWh/metus) gauta „PVsyst“ simuliacijos metu.

Saulės elektrinės nepagamintas trūkstamas elektros energijos kiekis apskaičiuojamas:

$$E_{TR_t} = E_{ES_t} - E_{GE_t} \quad (4.2)$$

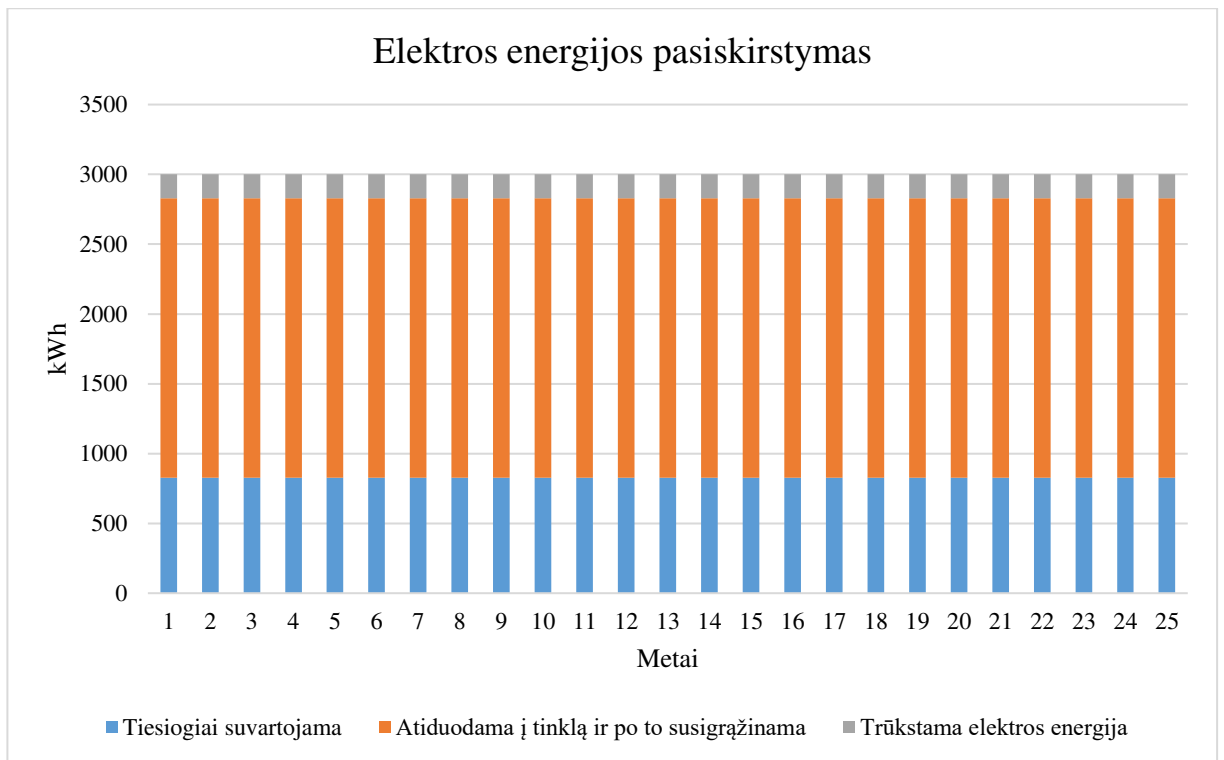
čia,  $E_{ES_t}$  – elektros energijos poreikis (kWh/metus), kuris yra pastovus ir sudaro 3000 kWh/metus;

Atliekami skaičiavimai pirmiesiems saulės elektrinės veikimo metams naudojantis „PVsyst“ duomenimis:

$$E_{GE_1} = 827 + 2001 = 2828 \text{ kWh};$$

$$E_{TR_1} = 3000 - 2828 = 172 \text{ kWh}.$$

Analogiškai atliekami skaičiavimai visam 25 metų saulės elektrinės veikimo laikotarpiui. 4 paveikslėlyje pateikiamas elektros energijos pasiskirstymas visam 25 metų laikotarpiui.



4 pav. Elektros energijos pasiskirstymas su 3 kW saulės elektrine

Trūkstamas elektros energijos kiekis susidaro dėl saulės elektrinės įrengimo kampo, modulių pasvirimo kampo, bei sistemos nuostolių.

Šie duomenys reikalingi tolimesniuose skaičiavimuose, pagal juos apskaičiuojamos išlaidos už nepasigamintą elektros energiją, išlaidos už pasinaudojimą elektros tinklais, bei sutaupymai įsirengus saulės elektrinę.

#### 4.1.1. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos mokant už patiektos į tinklą ir vėliau atgautos elektros energijos kilovatvalandę (kWh)

Šiame skyriuje atliekami ekonominiai skaičiavimai norint įvertinti „ESO“ siūlomą atsiskaitymo būdą už į tinklą patiektos ir vėliau atgautos elektros energiją, kai mokama už kiekvieną patiektą į tinklą kilovatvalandę.

Išlaidos nepasigamintai elektros energijai laiko momentu (t) apskaičiuojama formule:

$$C_{TR_t} = E_{TR_t} * p_{EK} \quad (4.3)$$

čia,  $E_{TR_t}$  – saulės elektrinės nepagamintas trūkstamas elektros energijos kiekis (kWh/metus);  $p_{EK}$  – elektros kaina, perkama iš elektros tinklų.

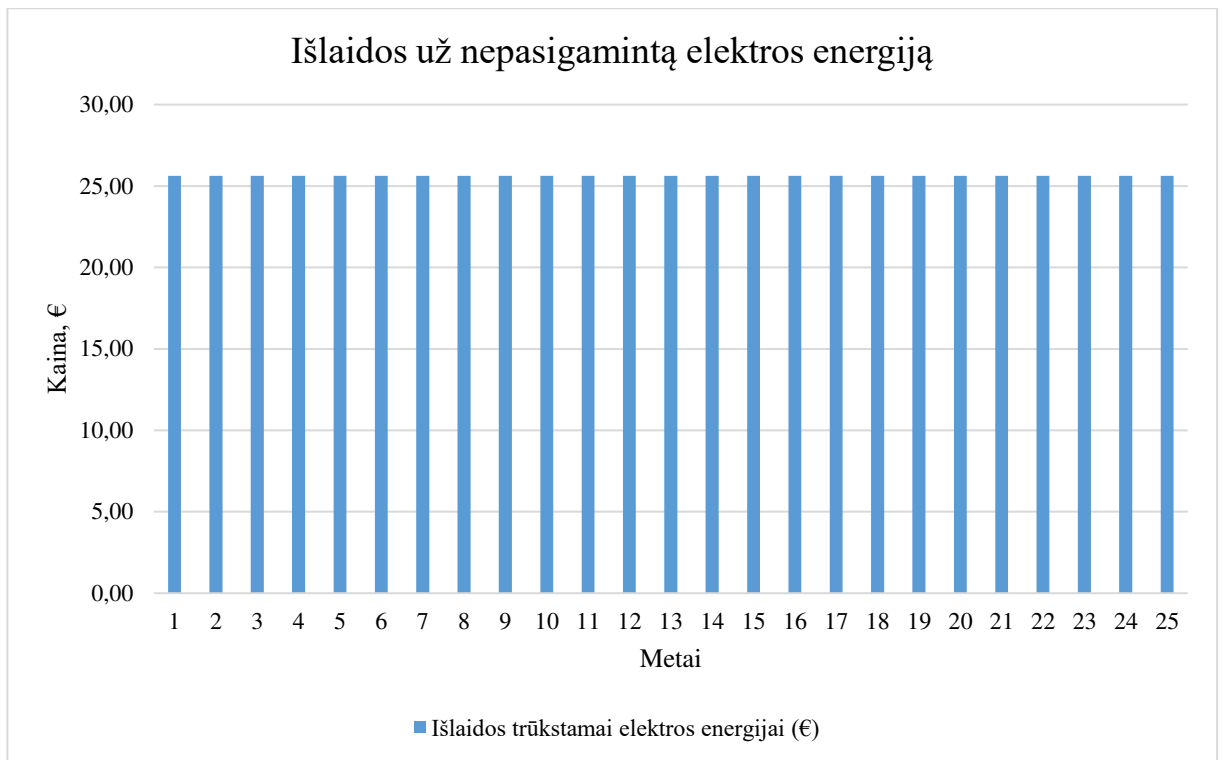
Nuo 2020 m. sausio 1 dienos elektros energijos kaina vienos laiko zonos yra 0,149 Eur. [31].

Išlaidos nepasigamintai elektros energijai pirmaisiais metais:

$$C_{TR_1} = 172 * 0,149 = 25,63 \text{ Eur.}$$

Analogiškai atliekami skaičiavimai visiems 25 metams. Gauti rezultatai pateikti 5 paveikslėlyje.





**5 pav.** Išlaidos už trūkstamą elektros energiją visam 25 metų laikotarpiui

Toliau apskaičiuojamos išlaidos elektros energijos pasaugojimui elektros tinkluose. Išlaidos elektros energijos pasaugojimui laiko momentu (t) apskaičiuojamos formule:

$$C_{AT_t} = E_{AT_t} * p_{PK} \quad (4.4)$$

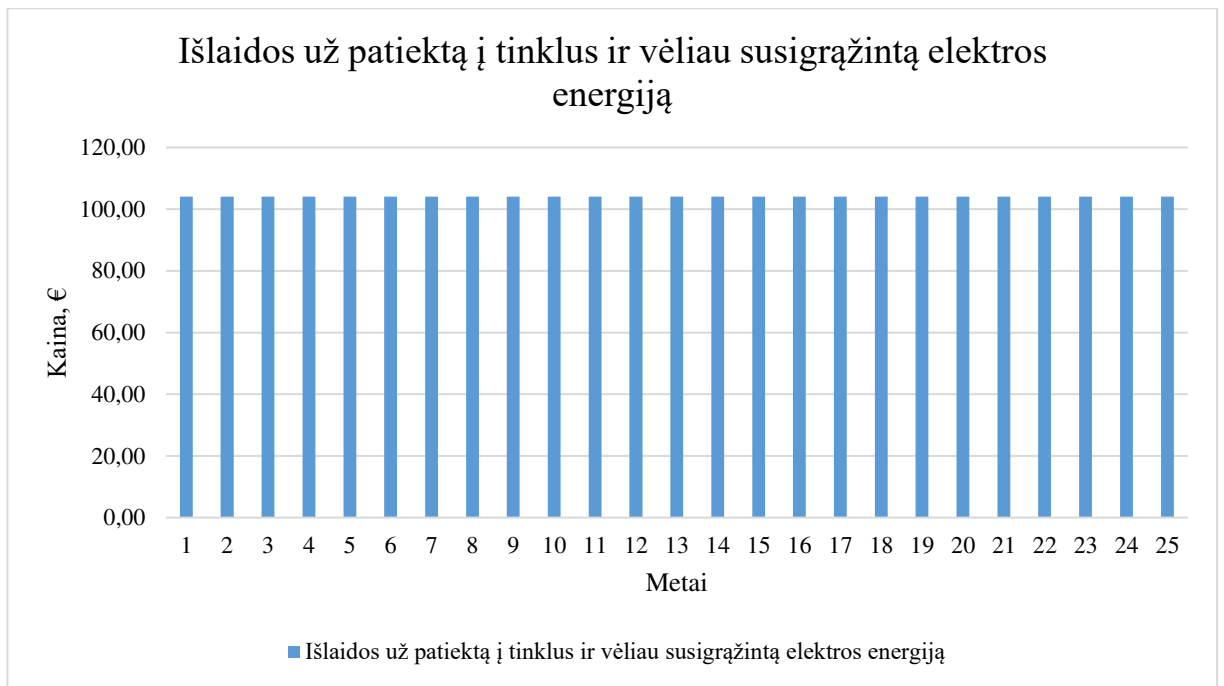
čia,  $E_{AT_t}$  – atiduota į tinklą elektros energija (kWh/metus);  $p_{PK}$  – elektros energijos kaina mokama už patiektos į tinklą ir vėliau susigrąžintos elektros energijos, Eur/kWh.

Nuo 2020 m. sausio 1 dienos gaminantiems vartotojams kaina už patiektą elektros energiją žemos įtampos tinkle yra 0,05203 Eur/kWh [27].

Išlaidos už į tinklus patiektą elektros energiją pirmaisiais metais:

$$C_{AT_1} = 2001 * 0,05203 = 104,11 \text{ Eur.}$$

6 paveikslėlyje pateikiamos išlaidos už į tinklus patiektą elektros energiją visiems 25 metams:



**6 pav.** Išlaidos už patiektą ir vėliau susigražintą elektros energiją

Žinant išlaidas nepagamintai elektros energijai ir kiek kainuoja elektros energijos pasinaudojimo elektros tinklais mokestis galima apskaičiuoti elektros energijos išlaidas įsirengus saulės elektrinę.

Išlaidos elektros energijai įsirengus saulės elektrinę laiko momentu (t) apskaičiuojamas formule:

$$C_{IEK_t} = C_{TR_t} + C_{AT_t} \quad (4.5)$$

čia,  $C_{TR_t}$  – išlaidos trūkstamai elektros energijai įsigyti iš elektros tinklo (Eur);  $C_{AT_t}$  – išlaidos už patiektą ir vėliau atgautą elektros energiją (Eur).

Išlaidos už elektros energiją pirmaisiais metais:

$$C_{IEK_1} = 25,63 + 104,11 = 129,74 \text{ Eur.}$$

Toliau apskaičiuojama kokios būtų elektros išlaidos, jei visa elektros energija būtų perkama iš elektros tinklų. Skaičiavimai elektros išlaidoms be saulės elektrinės laiko momentu (t) apskaičiuojami:

$$C_{ESO_t} = E_{ES_t} * p_{EK} \quad (4.6)$$

čia,  $E_{ES_t}$  – elektros energijos poreikis (kWh/metus), kuris yra pastovus ir sudaro 3 000 kWh/metus;  $p_{EK}$  – elektros kaina, perkama iš elektros tinklų [31].

Išlaidos už elektros energiją įsigyjama tik iš elektros tinklų:

$$C_{ESO_1} = 3000 * 0,149 = 447 \text{ Eur.}$$

Žinant kokios yra išlaidos elektros energijai be saulės elektrinės ir su ja, galima apskaičiuoti metinius sutaupymus įsirengus saulės elektrinę pagal formulę:

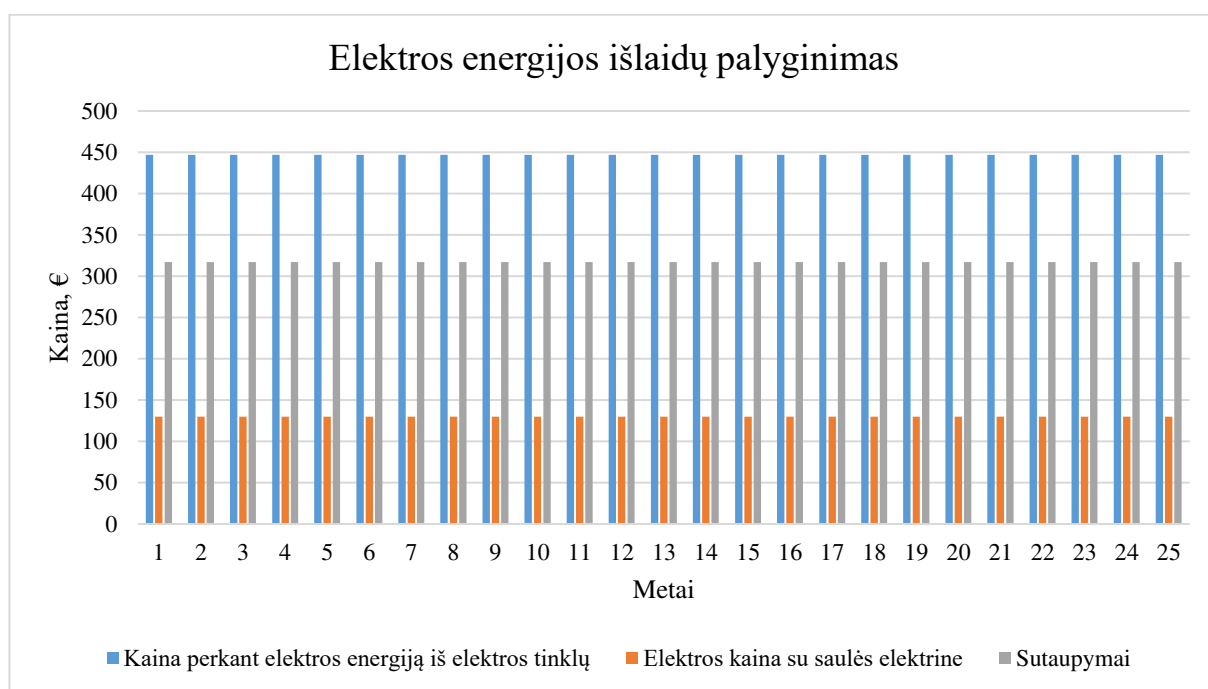
$$R_{SU_t} = C_{ESO_t} - C_{IEK_t} \quad (4.7)$$

čia,  $C_{ESO_t}$  – kaina išleista perkant visą elektros energiją iš elektros tinklų (Eur);  $C_{IEK_t}$  – išlaidos elektros energijai įsirengus saulės elektrinę (Eur).

Sutaupymai pirmaisiais metais:

$$R_{SU_1} = 447 - 129,74 = 317,26 \text{ Eur.}$$

Analogiški skaičiavimai atliekami visiems saulės elektrinės veikimo metams. Gauti rezultatai pateikiami 9 paveikslėlyje.



7 pav. Elektros energijos išlaidų palyginimas

7 paveikslėlyje stulpeline diagrama mėlynos spalvos stulpelis vaizduoja kokia būtų elektros kaina, jei visa elektros energija būtų perkama iš elektros tinklų. Oranžinis stulpelis parodo kiek yra mokama už elektros energiją įsirengus saulės elektrinę. Pilkas stulpelis vaizduoja kokia suma yra sutaupoma kasmet įsirengus saulės elektrinę.

Pinigų srautai laiko momentu (t) apskaičiuojami formule 4.8:

$$CF_{PS_t} = R_{SU_t} - I_{INV_t} \quad (4.8)$$

čia,  $I_{INV_t}$  – investicijos į saulės elektrinę, kurios pateiktos 4 lentelėje (Eur);  $R_{SU_t}$  – sutaupymai įsirengus saulės elektrinę (Eur).

Pinigų srautai pirmaisiais metais:

$$CF_1 = 317,26 - 3300 = -2982,74 \text{ Eur.}$$

Apskaičiuoti grynajai dabartinei vertei (NPV) reikalingi diskontuoti pinigų srautai. Grynosios dabartinės vertės tikslas yra nustatyti kokia būtų dabartinė būsimų pajamų, bei išlaidų vertė per visą projekto gyvavimo laikotarpį.

„Valstybinės Energetikos Reguliavimo Tarnybos“ (VERT) diskonto norma yra nustatyta kaip vidutinė svertinė kapitalo kaina (WACC), kuri lygi 3,2 % [32].

Diskontuoti pinigų srautai laiko momentu (t) apskaičiuojami formule 4.9:

$$DCF_t = \frac{CF_t}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t} \quad (4.9)$$

čia,  $CF_t$  – pinigų srautai (Eur);  $r$  – diskonto norma (%);  $t$  – elektrinės veikimo metai (m).

Diskontuoti pinigų srautai pirmaisiais metais:

$$DCF_1 = \frac{-2982,74}{\left(1 + \frac{3,2}{100}\right)^1} = -2982,74 \text{ Eur}$$

Pirmaisiais metais pinigai nepatiria nuvertėjimo, todėl pinigų vertė nepakinta.

Grynoji dabartinė vertė apskaičiuojama:

$$NPV = \sum_{t=0}^n DCF_t \quad (4.10)$$

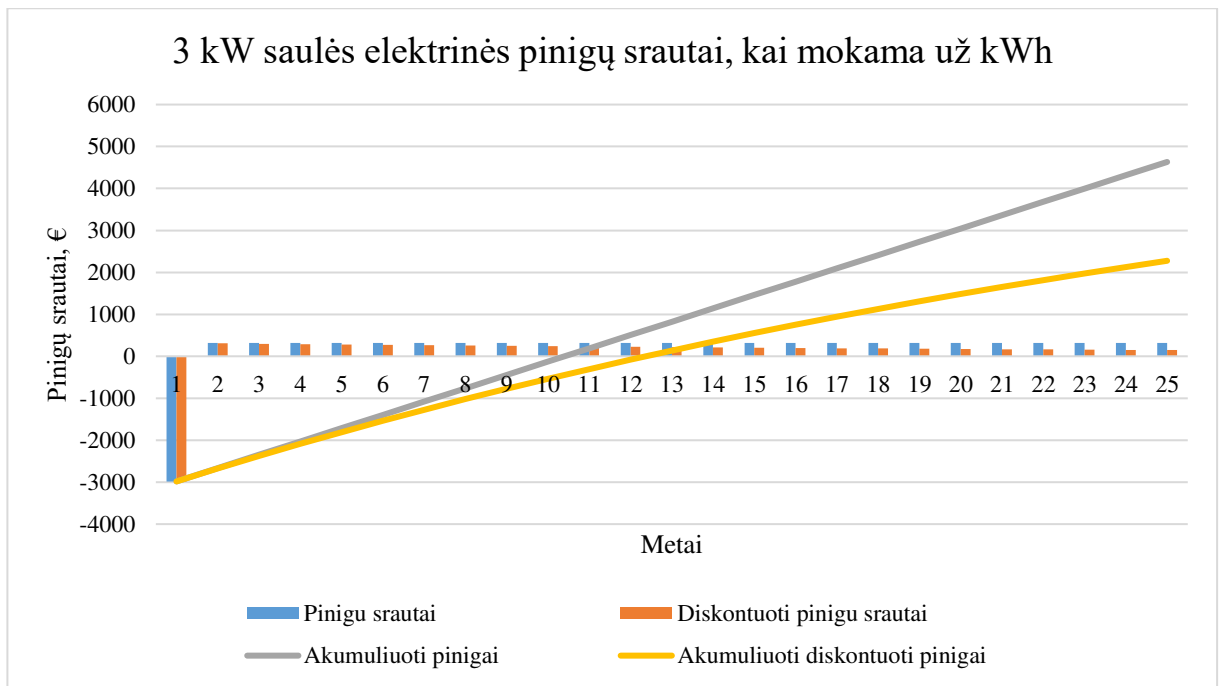
čia,  $DCF_t$  – diskontuoti pinigų srautai (Eur);  $t$  – metai.

$$NPV = 2276,28 \text{ Eur}$$

Projektas laikomas priimtiniu, kai grynoji dabartinė vertė  $NPV > 0$ , jei  $NPV < 0$  projektas laikomas nuostolingu, jei  $NPV = 0$  projektas laikomas ribiniu ir negaunama nei pelno, nei patiriami nuostoliai.

Grynoji dabartinė vertė priklauso nuo diskonto normos, kuo diskonto norma didesnė, tuo NPV vertė mažesnė ir atvirkščiai, kuo diskonto norma mažesnė, tuo didesnė NPV vertė gaunama.

8 paveikslėlyje pateikiami saulės elektrinės pinigų srautai.



**8 pav.** 3kW saulės elektrinės pinigų srautai , kai mokama už kWh

Pilka linija rodo investicijų atsipirkimą, kuris yra tarp 10 ir 11 metų. Geltona linija rodo diskontuotų pinigų atsipirkimą, kuris būtų apie 13 metus. Žinant, kad projektas vykdomas 25 metų laikotarpiui, projektą vykdyti būtų ekonomiškai naudinga.

Norint kuo tiksliau palyginti visus „ESO“ siūlomus atsiskaitymo būdus tikslinga žinoti tikslias investicijų ir diskontuotų pinigų atsipirkimo vertes.

Investicijų atsipirkimas apskaičiuojamas 4.11 formule:

$$PP_{Inv} = A + \frac{AP_t}{R_{SU_{t+1}}} \quad (4.11)$$

čia – A paskutiniai metai, kai akumuliuoti pinigai neigiami (m);  $AP_t$  – suminė pinigų srauto vertė A metų pabaigoje (Eur);  $R_{SU_{t+1}}$  – sutaupymai (Eur); t metai.

$$PP_{Inv} = 10 + \frac{127,40}{317,26} = 10,40 m$$

Tokiu pat principu apskaičiuojamas ir diskontuotų pinigų atsipirkimas:

$$PP_{DInv} = A + \frac{AP_{Dt}}{R_{SU_{t+1}}} \quad (4.12)$$

$$PP_{DInv} = 12 + \frac{173,48}{217,40} = 12,37 m$$

Kitas kriterijus pagal kurį analizuojami saulės elektrinių projektai yra vidinė pelno norma (IRR), kuri sulygina išlaidų ir pajamų srautų dabartines vertes. IRR laikoma diskonto koeficiento reikšmė  $r$ , prie kurios projektų pinigų srautų dabartinė grynoji vertė lygi 0.

$$IRR = r_1 + [(r_2 - r_1) \left( \frac{NPV_1}{NPV_2 - NPV_1} \right)] \quad (4.13)$$

čia –  $r_1$  žemesnė diskonto norma;  $r_2$  – aukštesnė diskonto norma;  $NPV_1$  – grynoji dabartinė vertė prie žemesnės diskonto normos;  $NPV_2$  – grynoji dabartinė vertė prie aukštesnės diskonto normos.

$$IRR = 9,41 \%$$

IRR parodo, kad projektas būtų nei nuostolingas, nei pelningas prie 9,41 % diskonto normos. Skaiciavimuose priimta 3,2% diskonto norma, todėl tokį projektą vykdyti ekonomiškai tikslinga.

Ketvirtas kriterijus yra svertiniai elektros energijos gamybos kaštai (LCOE):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_{INV_t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E}{(1+r)^t}} \quad (4.14)$$

$I_{INV_t}$  – investicijos į saulės elektrinę (Eur);  $E$  – pagamintas elektros energijos kiekis  $t$  metais (kWh).

$$LCOE = 0,066 \text{ Eur.}$$

Šiuo metu elektros energijos kaina yra 0,149 Eur/kWh [31], o pagamintos saulės elektrinės elektros energijos savikaina yra 0,066 Eur/kWh. Tai parodo, kad saulės elektrinė veikia nenuostolingai.

#### **4.1.2. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos mokant už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW)**

Toliau įvertinama ekonominė nauda gamintojui, jei pasirenkamas atsiskaitymas už instaliuotos elektrinės generuojamos galios kilovatą. “ESO” pateiktais duomenimis kaina žemoje įtampoje yra 2,6378 Eur/kW/mėn. [27].

3 kW galios saulės elektrinės išlaidos per metus sudarytų:

$$C_{IG_t} = P * p_{IG} * m \quad (4.15)$$

čia,  $P$  – saulės elektrinės galia (kW);  $p_{IG}$  – kaina mokama už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (Eur/kW/mėn.);  $m$  – mėnesiai.

Saulės elektrinės išlaidos pirmaisiais metais:

$$C_{IG_1} = 3 * 2,6378 * 12 = 94,96 \text{ Eur.}$$

Bendros išlaidos už elektros energiją su saulės elektrine apskaičiuojamos:

$$C_{IEG_t} = C_{TR_t} + C_{IG_t} \quad (4.16)$$

čia,  $C_{TR_t}$  – išlaidos trūkstamai elektros energijai įsigyti iš elektros tinklo (Eur);  $C_{IG_t}$  – išlaidos už instaliuotą elektrinės galią per metus (Eur).

Išlaidos pirmaisiais metais:

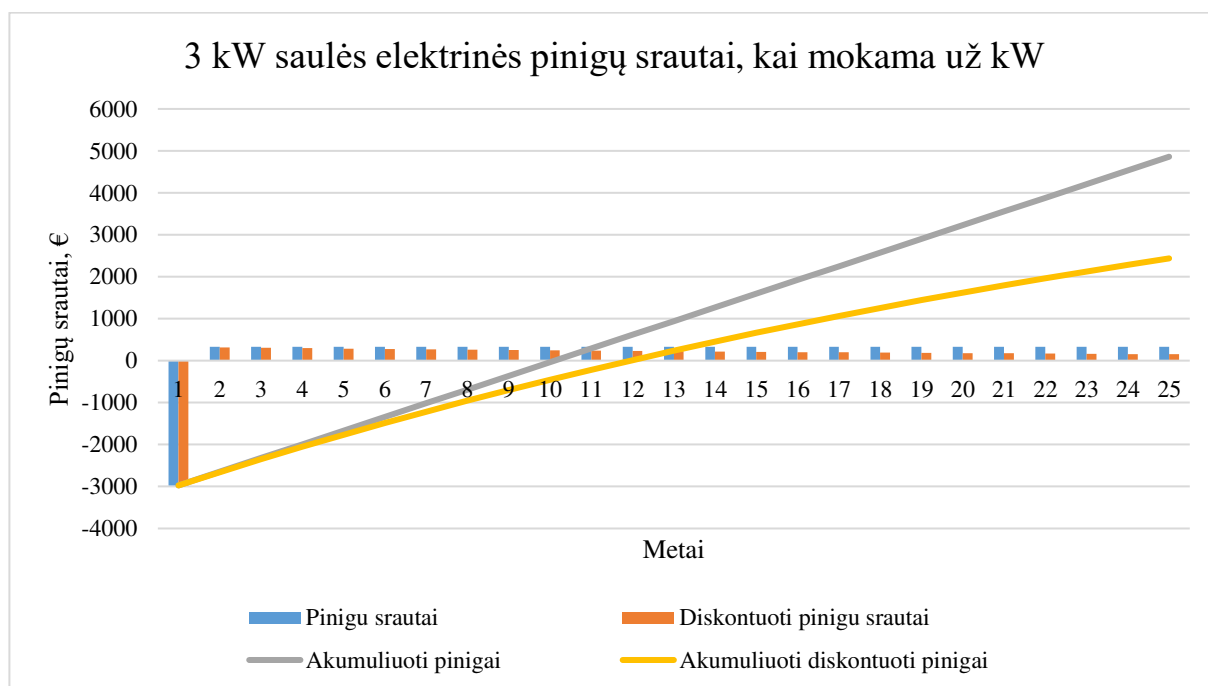
$$C_{IEG_1} = 25,63 + 94,96 = 120,59 \text{ Eur.}$$

Analogiškai atliekami likę skaičiavimai formulėmis 4.1-4.16. Gauti rezultatai pateikti 5 lentelėje ir 9 paveikslėlyje.

**5 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai mokant už instaliuotą galią

Nr.	Rodikliai	Rezultatas	Vienetai
1	NPV	2437,12	Eur.
2	IRR	9,82	%
3	LCOE	0,066	Eur/kWh
4	PP	10,11	m.
5	PPD	11,94	m.

Grynoji dabartinė vertė (NPV) yra 2437,12 Eur., tai parodo, kad projektas yra pelningas. IRR taip pat parodo, kad projektas būtų pelningas su 9,82 % diskonto norma. Įrengtos saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kaina yra mažesnė, nei elektros energijos kaina parduodama elektros tinkluose.



**9 pav.** 3 kW saulės elektrinės pinigų srautai, kai mokama už kW

Iš grafiko matyti, kad tiek akumuliuoti pinigai, tiek akumuliuoti diskontuoti pinigai pasiekia teigiamą vertę. Atlikus tikslus skaičiavimus gaunama, kad investicijos atsiperka po 10,11 metų, o pritaikius diskontavimą su 3,2% diskonto norma projektas atsiperka po 11,94 metų.

#### 4.1.3. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos atsiskaitant mišriu būdu

Pasirinkus šį mokėjimo būdą yra mokama tiek už patiektos elektros energijos kilovatvalandes, tiek už elektrinės instaliuotą galią. „ESO“ duomenimis mokesčiai už elektros energijos kilovatvalandę yra 0,02662 Eur/kWh ir 1,3189 Eur/kW/mėn už instaliuotą elektrinės galią. [27].

Norint atlikti ekonominius skaičiavimus reikia apskaičiuoti kokios išlaidos elektros energijai būtų per metus pasirinkus tokį atsiskaitymo būdą.

Išlaidos laiko momentu (t) apskaičiuojamos formule:

$$C_{MB_t} = (P * p_{IGm} * m) + (E_{AT_t} * p_{PKm}) \quad (4.17)$$

čia,  $P$  – saulės elektrinės galia (kW);  $p_{IGm}$  – kaina mokama už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą mišriu būdu (Eur/kW/mėn.);  $m$  – mėnesiai;  $E_{AT_t}$  – atiduota į tinklą elektros energija (kWh/metus);  $p_{PKm}$  – kaina mokama už patiektos į tinklą ir vėliau susigražintos elektros energijos mišriu būdu.

Saulės elektrinės išlaidos elektros energijai pirmaisiais metais:

$$C_{MB_1} = (3 * 1,3189 * 12) + (2001 * 0,02662) = 100,75 \text{ Eur.}$$

Bendros išlaidos už elektros energiją su saulės elektrine apskaičiuojamos:

$$C_{IEM_t} = C_{TR_t} + C_{MB_t} \quad (4.18)$$

čia,  $C_{TR_t}$  – išlaidos trūkstamai elektros energijai įsigyti iš elektros tinklo (Eur);  $C_{MB_t}$  – išlaidos atsiskaitant mišriu būdu (Eur).

Išlaidos pirmaisiais metais:

$$C_{IEG_1} = 25,63 + 100,75 = 126,38 \text{ Eur.}$$

Analogiškai atliekami ekonominiai skaičiavimai formulėmis 4.3-4.16. Gauti rezultatai pateikti 6 lentelėje ir 10 paveikslėlyje.

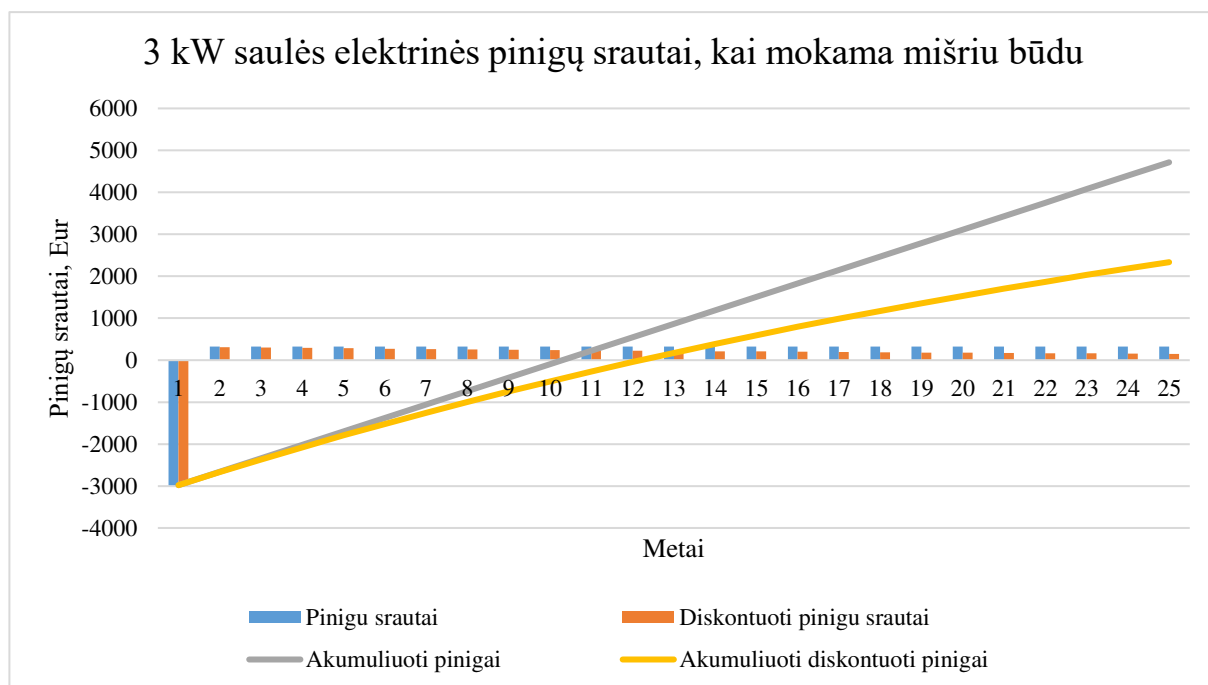
**6 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai atsiskaitant mišriu būdu

Nr.	Rodikliai	Rezultatas	Vienetai
1	NPV	2 335,43	Eur
2	IRR	9,56	%
3	LCOE	0,066	Eur/kWh



6 lentelė (tęsinys)

Nr.	Rodikliai	Rezultatas	m
4	PP	10,29	m
5	PPD	12,21	m



10 pav. 3 kW saulės elektrinės pinigų srautai, kai mokama mišriu būdu

Atlikus ekonominius skaičiavimus NPV gaunama 2335,43 Eur. Tokia ekonominė nauda būtų gaunama pasirinkus atsiskaitymą mišriu būdu. Apskaičiavus tikslius investicijų ir diskontuotų pinigų atsipirkimo laikus, gauta, kad investicijos atsipirktų po 10,29 metų, o pritaikius diskontavimą po 12,21 metų.

### 1.1.1. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo be paramos atsiskaitant pagamintomis elektros energijos kilovatvalandėmis

Pasirinkus šį mokėjimo būdą, gaminantis vartotojas gali atsiskaityti pagaminta elektros energiją ir papildomai nereikia mokėti nei už patiektą elektros energiją, nei už instaliuotą saulės elektrinės galią. Šiuo metu elektros energiją tiekiant į žemos įtampos tinklus vartotojas gali susigrąžinti 64 % patiektos elektros energijos, o likę 36 % atitenka operatoriui už naudojimosi tinklais paslaugas [27].

Norint apskaičiuoti kiek elektros energijos atitenka operatoriui ir kiek lieka gaminančiam vartotojui laiko momentu (t) galima pagal formules:

$$E_{OP_t} = E_{AT_t} * 0,36 \quad (4.19)$$

$$E_{GV_t} = E_{AT_t} * 0,64 \quad (4.20)$$

čia,  $E_{OP_t}$  – elektros energija liekanti operatoriui (kWh);  $E_{GV_t}$  – elektros energija liekanti gaminančiam vartotojui;  $E_{AT_t}$  – atiduota į tinklą elektros energija (kWh/metus).

Pirmaisiais metais elektros energijos pasiskirstymas:

$$E_{OP_1} = 2001 * 0,36 = 720,36 \text{ kWh};$$

$$E_{GV_1} = 2001 * 0,64 = 1280,64 \text{ kWh}.$$

Atlikus skaičiavimus gaunama, kad gaminantis vartotojas susigražina 1280,64 kWh elektros energijos už kurią nereikia sumokėti operatoriui už pasinaudojimą tinklais, tačiau visas elektros energijos trūkumas, kurį sudaro elektros energija pasiimta operatoriaus ir elektros energijos trūkumas, kurio nepagamina saulės elektrinė, reikės įsigyti iš elektros tinklų operatoriaus.

Bendras elektros energijos trūkumas laiko momentu (t) apskaičiuojamas:

$$E_{BT_t} = E_{TR_t} + E_{OP_t} \quad (4.21)$$

čia,  $E_{OP_t}$  – elektros energija liekanti operatoriui (kWh);  $E_{TR_t}$  – elektros energijos trūkumas nepagamintas saulės elektrinės.

Pirmaisiais metais bendras elektros energijos trūkumas:

$$E_{BT_1} = 172 + 720,36 = 892,36 \text{ kWh}.$$

Išlaidos elektros energijai laiko momentu (t) apskaičiuojamos:

$$C_{EE_t} = E_{BT_t} * p_{EK}. \quad (4.22)$$

čia,  $E_{BT_t}$  – bendras elektros trūkumas (kWh);  $p_{EK}$  – elektros energijos kaina perkant iš elektros tinklų operatoriaus.

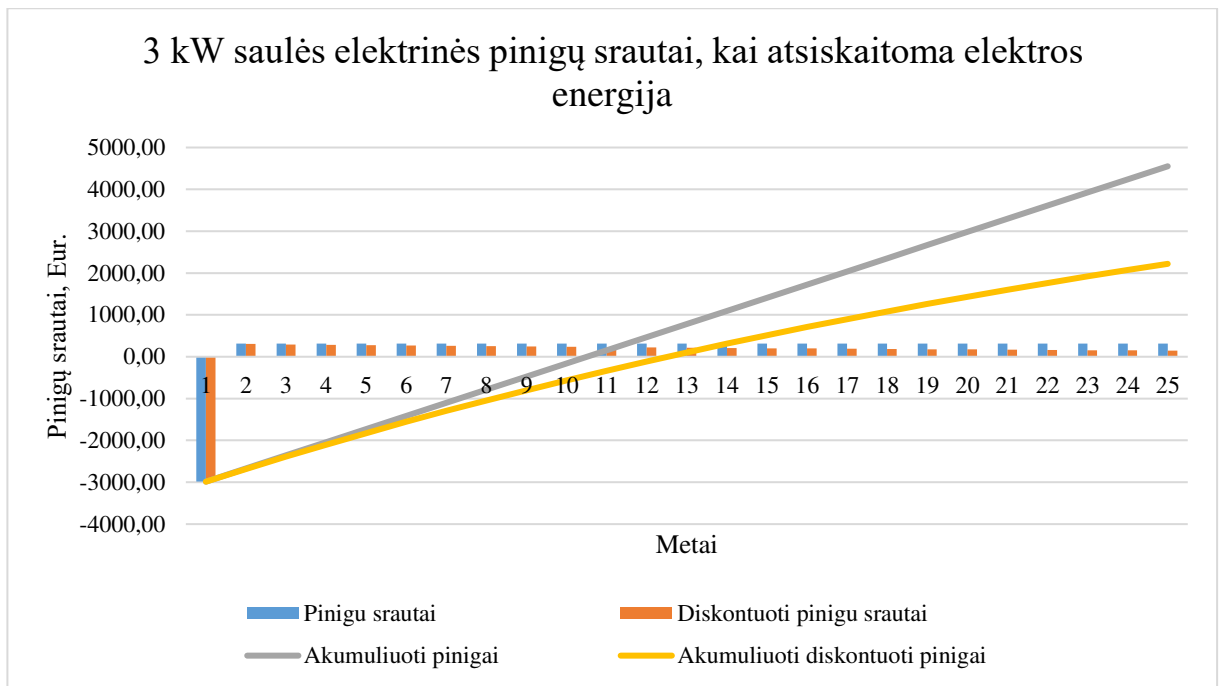
Išlaidos pirmisiais metais lygios:

$$C_{EE_t} = 892,36 * 0,149 = 132,96 \text{ Eur}.$$

Pagal formules 4.3-4.16 apskaičiuojami ekonominiai rodikliai, kurie pateikiami 7 lentelėje ir 11 paveikslėlyje.

**7 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai atsiskaitant pagaminta elektros energija

Nr.	Rodikliai	Rezultatas	Vienetai
1	NPV	2219,66	Eur
2	IRR	9,26	%
3	LCOE	0,066	Eur/kWh
4	PP	10,51	m
5	PPD	12,51	m



**11 pav.** 3 kW saulės elektrinės pinigų srautai atsiskaitant pagaminta elektros energija

Apskaičiuota NPV yra lygi 2219,66 Eur, tokią naudą gautų gaminantis vartotojas po 25 metų saulės elektrinės veiklos. Pasirinkus šį atsiskaitymo būdą investicijos atsipirktu po 10,51 metų, o pritaikius 3,2 % diskonto normą, projektas atsipirktu po 12,51 metų.

#### 4.1.4. 3 kW saulės elektrinės ant gyvenamojo namo be paramos atsiskaitymo būdų palyginimas

8 lentelėje pateikiami apskaičiuoti ekonominiai rodikliai visiems atsiskaitymo būdams pasinaudojus valstybės teikiama parama saulės elektrinėms įsirengti.

**8 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės, visų keturių būdų ekonominiai rodikliai

Nr.	Rodikliai	Už kWh	Už kW	Mišrus	Elektra
1	NPV, Eur	2276,28	2437,12	2335,43	2219,66
2	IRR, %	9,41	9,82	9,56	9,26
3	LCOE, Eur/kWh	0,66	0,066	0,066	0,066
4	PP, m	10,40	10,11	10,29	10,51
5	PPD, m	12,37	11,91	12,21	12,51

Pagal gautus rezultatus didžiausia grynoji dabartinė vertė (NPV) gaunama pasirinkus atsiskaitymą už instaliuotos saulės elektrinės generuojamos galios kilovatą (kW), kuris lygus 2437,12 Eur. Tai reiškia, kad po 25-erių saulės elektrinės veikimo metų būtų gaunama tokia ekonominė nauda. Tokį rezultatą galima paaiškinti tuo, kad didžioji dalis elektros energijos yra suvartojama vakare, kuomet saulės elektrinės generacija sumažėja, o dieną beveik visa elektros energija yra patiekama į elektros tinklus, dėl to išauga atsiskaitymo už patiektos į elektros tinklus kilovatvalandes atsiskaitymo išlaidos. Mažiausias NPV gautas pasirinkus atsiskaitymą elektros energija. Didžioji dalis elektros energijos yra atiduodama į elektros tinklą, o tai reiškia, kad elektros tinklų operatoriui, taip pat atitenka daugiau elektros energijos, o visą trūkstamą elektros energiją gaminančiam vartotojui reikia įsigyti iš elektros tinklų operatoriaus, už nustatytą elektros energijos kainos tarifą.

Pagal vidinės gražos normą (IRR) atsiskaitant už instaliuotos galios kilovatą taip pat gaunama didžiausia 9,82 % reikšmė. Tai parodo, kad esant tokiai diskonto normai projektas būtų nenuostolingas.

Visų atsiskaitymo būdų svertiniai elektros energijos kaštai yra vienodi, kadangi visais atvejais investicijos ir saulės elektrinės generacijos yra vienodos.

Investuoti pinigai greičiausiai atsipirktų pasirinkus atsiskaitymą už instaliuotą galią, kadangi šiuo atveju NPV ir IRR apskaičiuotos vertės didžiausios.

Tačiau visais atvejais atsipirkimo laikas skiriasi labai nežymiai ir skiriasi vos keliais mėnesiais. NPV verčių didžiausias skirtumas tarp atsiskaitymo už instaliuotą saulės elektrinės galią ir atsiskaitymo už elektros energiją siekia 9,80 %.

Jei pagamintos elektros energijos suvartojamas kiekis tiesiogiai būtų didesnis, tuomet priimtinausia būtų pasirinkti atsiskaitymą už patiektos ir vėliau susigrąžintos elektros energijos kilovatvalandes (kWh).

#### 4.1.5. 3 kW saulės elektrinė ant gyvenamojo namo su parama

Šiame skyriuje pateikiami ekonominiai skaičiavimai įvertinus valstybės teikiamą paramą, kuri sudaro 323 Eur už vieną instaliuotos saulės elektrinės galios kilovatą (kW) [24]. Pasirinkta saulės elektrinė yra 3 kW galios, bendra paramos suma yra lygi 969 Eur. Žinant komponentų kainas ir paramą, galima apskaičiuoti kokios yra bendros projekto investicijos.

3 kW saulės elektrinės investicijos su parama pateiktos 9 lentelėje.

**9 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės investicijos su parama

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
Canadian Solar CS3K-300P	10	133	1330
Huawei SUN2000L-3KTL	1	1150	1150
Kabėliai, apsaugos įrenginiai ir konstrukcija	1	430	430
Montavimo darbai	1	390	390
Valstybės parama [24]	3	-323	-969
Viso:			2 331

Pasinaudojus valstybės teikiama parama saulės elektrinei įsirengti būtų sutaupomi 969 Eur, reikalinga bendra investicijų suma lygi 2331 Eur.

Pagal formules 4.1-4.22 atliekami ekonominiai skaičiavimai su valstybės teikiama paramą visiems atsiskaitymo būdams. Gauti rezultatai pateikiami 10 lentelėje.

**10 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai su valstybės teikiama parama

Nr.	Rodikliai	Už kWh	Už kW	Mišrus	Elektra
1	NPV, Eur	3245,28	3406,12	3304,43	3188,66
2	IRR, %	15,23	15,80	15,44	15,03
3	LCOE, Eur/kWh	0,047	0,047	0,047	0,047
4	PP, m	7,35	7,14	7,27	7,42
5	PPD, m	8,21	7,92	8,11	8,32

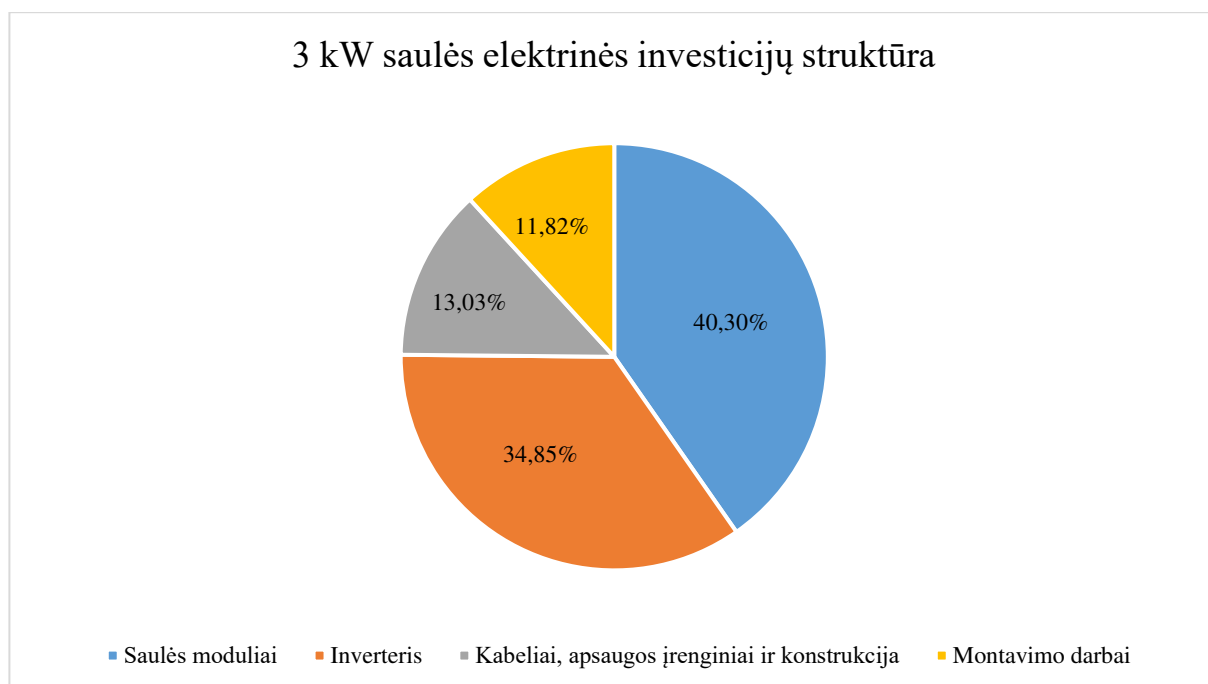
Atlikus ekonominius skaičiavimus, gauta, kad ekonomiškai naudingiausia parinkti atsiskaitymo būdą už instaliuotos galios kilovatą. Grynoji dabartinė vertė, po 25 metų būtų 3406,12 Eur. Vidinė grąžos norma siekia 15,80 %. Esant tokiai diskonto normai, projektas būtų nenuostolingas, skaičiavimuose priimta diskonto norma 3,2 %. Saulės elektrinės investicijos atsipirktų po 7,14 metų, o diskontuoti pinigai atsipirktų po 7,92 metų. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai yra 0,047 Eur/kWh.

**4.1.6. Jautrumo analizė 3 kW saulės elektrinei ant gyvenamojo namo**

Nustačius, kad tiek be paramos, tiek su valstybės parama ekonomiškai priimtinausia pasirinkti atsiskaitymą už instaliuotos galios kilovatą (kW), šiems atsiskaitymo būdams galima atlikti jautrumo analizę.

Jautrumo analizė yra atliekama tam, kad būtų galima nustatyti, kokį poveikį projektui turi vieno iš pasirinktų rodiklių pokytis, kitus rodikliu paliekant tokius pat.

Pirmiausia atliksime jautrumo analizę pagal elektrinės kainą. Brangiausias saulės elektrinės komponentas yra saulės moduliai, kurie sudaro 40 % viso projekto investicijų. 12 paveikslėlyje pateikiama procentinė investicijų struktūra.



**12 pav.** 3 kW saulės elektrinės investicijų struktūra

Saulės modulių technologijos sparčiai vystosi, todėl šis rodiklis yra labiausiai kintantis, lyginant su kitais saulės elektrinės komponentais. Įvertinsime, kad saulės elektrinės modulių kaina

mažėja 10 % ir 20 %. Atlikus pakartotinius skaičiavimus su pasikeitusia saulės modulių kaina 11 lentelėje pateikiama saulės modulių kainos įtaka ekonominiams rodikliams.

**11 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės modulių kainos įtaka ekonominiams rodikliams

Rodikliai	Modulių kaina -10 %		Modulių kaina -20 %		Esama modulių kaina	
	Be paramos	Su parama	Be paramos	Su parama	Be paramos	Su parama
Investicijos, Eur	3167	2198	3034	2065	3300	2331
NPV, Eur	2570,21	3539,12	2703,12	3672,12	2437,12	3406,12
IRR, %	10,43	17,04	11,09	18,45	9,82	15,8
LCOE, Eur/kWh	0,064	0,044	0,061	0,042	0,066	0,047
PP, m	9,70	6,73	9,30	6,33	10,11	7,27
PPD, m	11,37	7,44	10,80	6,93	11,91	7,92

Iš gautų rezultatų matyti, jog saulės elektrinės modulių kainoms sumažėjus 10 % NPV vertė projektui be paramos padidėja apie 5 %, o su parama apie 4 % . Taip pat matyti, kad investicijų atsipirkimo laikas taip pat nežymiai sumažėja.

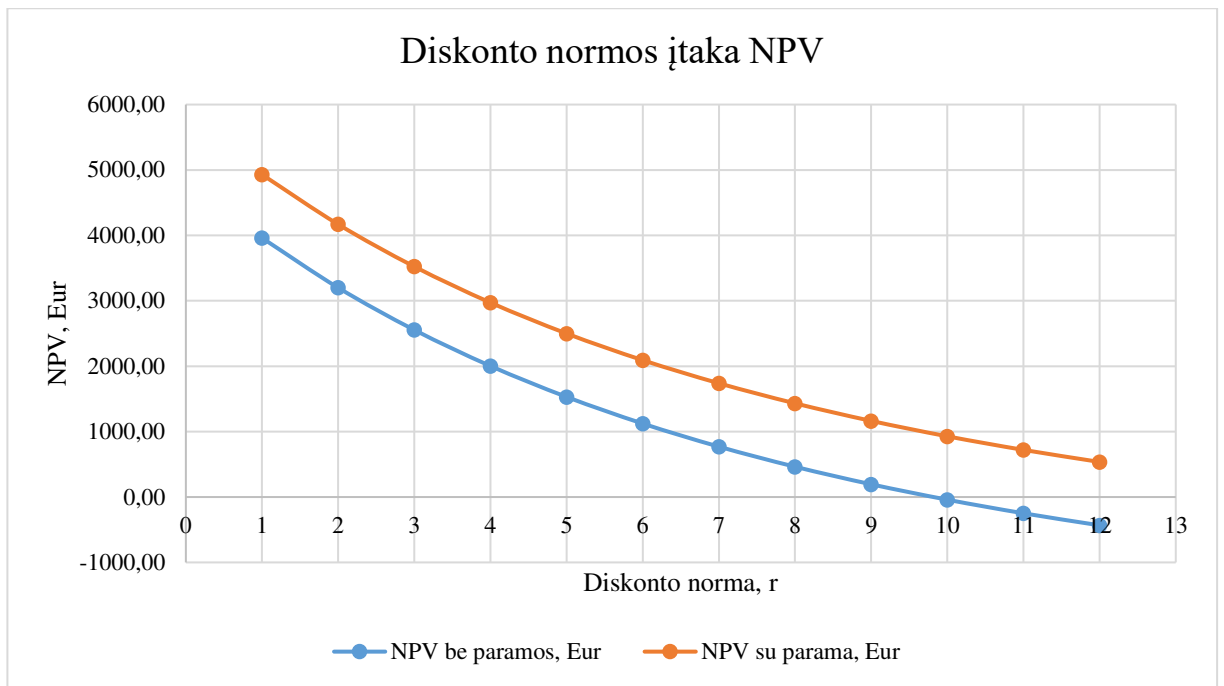
Įvertinus modulių kainą galima daryti išvadą, kad projekto ekonominiams rezultatams mažesnė modulių kaina didelės įtakos nedaro.

Toliau įvertinama diskonto normos įtaka projektui, kai diskonto norma keičiasi nuo 1 % iki 12 %. Gauti rezultatai pateikti 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Diskonto normos įtaka NPV 3 kW saulės elektrinės projektui

Diskonto norma, %	NPV be paramos, Eur	NPV su parama, Eur
1	3960,49	4929,49
2	3200,12	4169,12
3	2554,36	3523,36
4	2003,19	2972,19
5	1530,44	2499,44
6	1122,99	2091,99
7	770,13	1739,13
8	463,11	1432,11
9	194,76	1163,76
10	-40,87	928,13
11	-248,67	720,33
12	-432,70	536,30

Iš gautų rezultatų matyti, kad kuo mažesnė diskonto norma, tuo didesnė NPV vertė gaunama. Jei diskonto norma būtų 1 % tuomet projekte be paramos NPV siektų 3960,49 Eur, o pritaikius paramą 4929,49 Eur. Prie 10 % diskonto normos projektas be paramos tampa nuostolingas, o esant 12 % diskonto normai, tačiau gaunant paramą projektas vis tiek atneštų 536,30 Eur pelno. 13 paveikslėlyje grafiškai atvaizduojama diskonto normos įtaka NPV vertei.



**13 pav.** Diskonto normos įtaka NPV

Taigi diskonto normos įtaka turi didelės įtakos projekto finansiniams rezultatams. Didesnė diskonto norma projektą gali padaryti nuostolingą, o mažesnė gerokai padidinti grynąją dabartinę vertę.

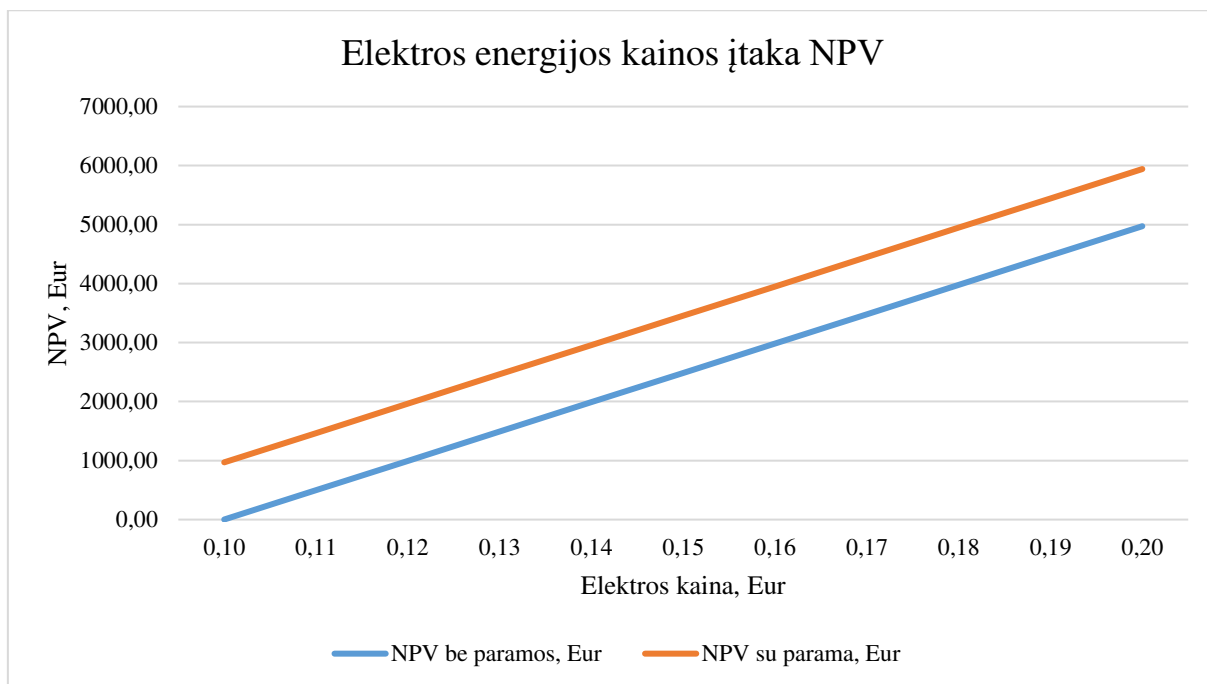
Elektros energijos kaina tikėtina ateityje tik brangs, todėl svarbu įvertinti, kokią įtaką projektui daro elektros energijos kaina. Skaičiavimams priimama, kad elektros energijos kaina kinta nuo 0,10 Eur/kWh iki 0,20 Eur/kWh. 13 lentelėje pateikiami gauti rezultatai.

**13 lentelė.** Elektros kainos įtaka NPV ir investicijų atsipirkimui 3 kW saulės elektrinės projektui

Elektros kaina, Eur/kWh	NPV be paramos, Eur	Investicijų atsipirkimas be paramos, m	NPV su parama, Eur	Investicijų atsipirkimas su parama, m
0,10	1,53	17,57	970,53	12,41
0,11	498,59	15,27	1467,59	10,79
0,12	995,65	13,50	1964,65	9,54
0,13	1492,71	12,10	2461,71	8,55
0,14	1989,77	10,96	2958,77	7,75
0,15	2486,83	10,02	3455,83	7,08
0,16	2983,89	9,23	3952,89	6,52
0,17	3480,95	8,55	4449,95	6,04
0,18	3978,01	7,97	4947,01	5,63
0,19	4475,07	7,46	5444,07	5,27
0,20	4972,13	7,01	5941,13	4,95

Iš gautų rezultatų matyti, kad prie 0,10 Eur/kWh kainos grynoji dabartinė vertė projektui be paramos yra tik 1,53 Eur (970,53 Eur su parama), o prie 0,20 Eur/kWh NPV yra 4972,13 Eur (5941,13 Eur su parama).

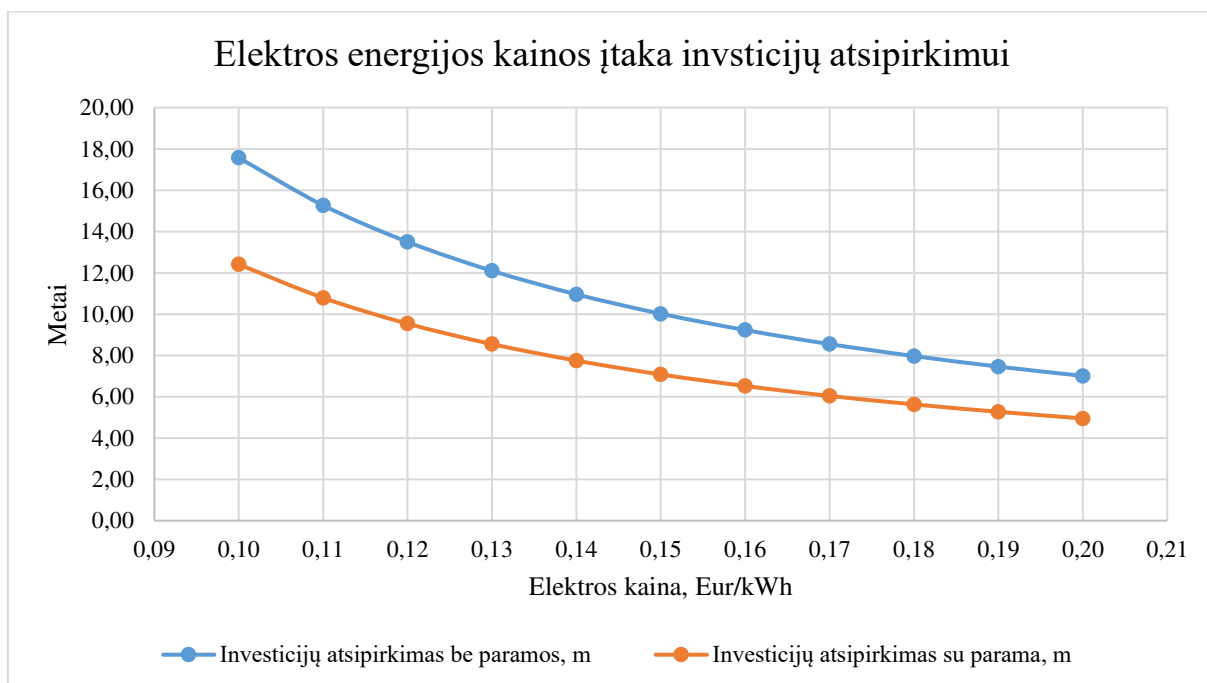
14 paveikslėlyje grafiškai atvaizduota elektros energijos kainos įtaka NPV rodikliui.



**14 pav.** Elektros energijos kainos įtaka NPV

Iš grafiko matyti, kad elektros kaina turi didelę įtaką projekto grynajai dabartinei vertei. Kuo elektros energijos kaina didesnė tuo didesnė NPV vertė gaunama.

15 paveikslėlyje grafiškai pavaizduota elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.



**15 pav.** Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui

Matyti, kad elektros kainai sumažėjus iki 0,10 Eur/kWh saulės elektrinės investicijos be paramos atsipirktų po 17,57 metų, o su parama po 12,41 metų. Tačiau elektros kainoms išaugus



iki 0,20 Eur/kWh saulės elektrinės be paramos investicijos atsipirktų po 7 metų, o su parama vos po 5 metų.

Apibendrinant gautus rezultatus, galima teigti, kad saulės modulių kaina didelės įtakos projektų ekonominiams rezultatams neturi. Saulės modulių kainai sumažėjus 10 %, NPV padidėja apie 5 %. Didesnę įtaką projekto NPV vertei turi diskonto norma ir elektros energijos kaina, kurių pasikeitimas gali daryti reikšmingos įtakos projekto ekonominiams rodikliams.

#### 4.1.7. 3 kW saulės parko dalies pirkimas.

Gyventojams, kurie neturi galimybės įsirengti savo namuose saulės elektrinės, šiuo metu gali pasinaudoti alternatyva ir įsigyti dalį saulės parko, kurios pagamintą elektros energiją galima panaudoti savo namų ūkiuose ir taip ne tik sumažinti elektros energijos sąskaitas, bet ir tapti dalimi, kuri kuria švaresnę ir šviesesnę ateitį ateities kartoms.

Šiuo metu maksimali galia, kurią galima įsigyti vienam namų ūkiui yra 10 kW. Sutartys pasirašomos 25 metų laikotarpiui. Perkant saulės elektrinės dalį yra sumokama saulės elektrinės statybų kaina ir po to kas metus mokamas saulės elektrinės išlaikymo mokestis. Skaičiavimams pasirinktas pirmasis toks pasiūlytas parkas Elektrėnų rajone, Obenių kaime. Elektrinės galia 1 MW. Perkant saulės elektrinės dalį galima pretenduoti į valstybės teikiamą paramą saulės elektrinei įsirengti, todėl įvertinsime kokią ekonominę naudą galima gauti be paramos ir su parama perkant nutolusį saulės parką. 14 lentelėje pateikiamos saulės elektrinės pradinės investicijos ir išlaikymo kaštai [25].

**14 lentelė.** 3 kW saulės parko investicijos ir metiniai mokesčiai be paramos

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
1 kW pradinės investicijos	3	925	2 775
Pasinaudojimo tinklu mokestis per metus	3	31,65	94,95
Saulės elektrinės priežiūra per metus	3	23	69
Parama saulės elektrinei	3	-239	-969

Skaičiavimams reikalinga saulės elektrinės generacija, kadangi projekte nėra pateikiami nei modulių gamintojai, nei kokie inverteriai bus naudojami, todėl naudosime tuos pačius komponentus, kaip ir 3 kW saulės elektrinės projekte ant namo stogo. Darant prielaidą, kad saulės parkas bus statomas tiesiai pietų kryptimi, o modulių pasvyrimo kampas bus optimalus, kuris yra 25 laipsniai „PVsyst“ programos pagalba yra sumodeliuojama šio parko generacija, kuri pateikta prieduose (Priedas 2. 3 kW saulės parko generacija).

Įvertinus sistemos nuostolius ir saulės elektrinės įrengimo vietovę, bei padėtį gaunama, kad per metus bus sugeneruojama apie 2856 kWh elektros energijos, kuri beveik padengtų visą elektros energijos poreikį.

Trūkstamas elektros energijos kiekis apskaičiuojamas:

$$E_{TR_t} = E_{ES_t} - E_{GE_t} \quad (4.23)$$

čia,  $E_{ES_t}$  – elektros energijos poreikis (kWh), kuris yra pastovus ir sudaro 3000 kWh;  $E_{GE_t}$  – saulės parko dalies elektros energijos generacija (kWh).

Kaina išleista trūkstamos elektros energijos pirkimui laiko momentu (t) apskaičiuojama formule:

$$C_{TR_t} = E_{TR_t} * p_{EK} \quad (4.24)$$

čia,  $E_{TR_t}$  – saulės parko nepagamintas trūkstamas elektros energijos kiekis (kWh/metus);  $p_{EK}$  – elektros kaina, perkama iš elektros tinklų (Eur/kWh) [31].

3 kW galios saulės parko išlaidos per metus už pasinaudojimą elektros tinklais laiko momentu (t):

$$C_{IG_t} = P * p_{IG} * m \quad (4.25)$$

čia,  $P$  – saulės elektrinės galia (kW);  $p_{IG}$  – kaina mokama už instaliuotą elektrinės generuojamos galios kilovatą (Eur/kW/mėn.) [27];  $m$  – mėnesiai (mėn.).

Bendros saulės parko išlaidos laiko momentu (t):

$$C_{BK_t} = C_{TR_t} + C_{IG_t} \quad (4.26)$$

čia,  $C_{TR_t}$  – išlaidos už trūkstamą elektros energiją (Eur);  $C_{IG_t}$  – pasinaudojimo tinklais mokestis (Eur).

Elektros išlaidos, jei visa elektros energija būtų perkama iš elektros tinklų laiko momentu (t) apskaičiuojama:

$$C_{ESO_t} = E_{ES_t} * p_{EK} \quad (4.27)$$

čia,  $E_{ES_t}$  – elektros energijos poreikis (kWh/metus), kuris yra pastovus ir sudaro 3 000 kWh/metus;  $p_{EK}$  – elektros kaina, perkama iš tinklo [31].

Žinant kokios yra išlaidos elektros energijai be saulės parko ir su ja, apskaičiuojami metiniai sutaupymai įsigijus saulės parką laiko momentu (t) pagal formulę:

$$R_{SUP_t} = C_{ESO_t} - C_{BK_t} \quad (4.28)$$

čia,  $C_{ESO_t}$  – kaina išleista perkant visą elektros energiją iš elektros tinklų (Eur);  $C_{BK_t}$  – bendri saulės parko kaštai (Eur).

Išlaidos už saulės parko priežiūrą per metus:

$$C_{PR_t} = P * p_{PR} \quad (4.29)$$

čia,  $P$  – saulės elektrinės galia (kW);  $p_{PR}$  – išlaidos už saulės parko priežiūrą (Eur) [25].

Pinigų srautai laiko momentu (t) apskaičiuojami:

$$CF_{PSP_t} = R_{SUP_t} - I_{INVP_t} - C_{PR_t} \quad (4.30)$$

čia,  $I_{INVP_t}$  – pradinės investicijos į saulės elektrinę, kurios pateiktos 14 lentelėje (Eur);  $R_{SUP_t}$  – sutaupymai įsirengus saulės elektrinę (Eur);  $C_{PR_t}$  – išlaidos už saulės parko dalies priežiūrą (Eur).

Diskontuoti pinigų srautai laiko momentu (t) apskaičiuojami formule 4.31:

$$DCF_t = \frac{CF_{PSP_t}}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t} \quad (4.31)$$

čia,  $CF_{PSP_t}$  – saulės parko pinigų srautai; r – diskonto norma; t – elektrinės veiklos metai.

Grynoji dabartinė vertė apskaičiuojama:

$$NPV = \sum_{t=0}^n DCF_t \quad (4.32)$$

čia,  $DCF_t$  – diskontuoti pinigų srautai (Eur); t – metai.

$$PP_{Inv} = A + \frac{AP_t}{R_{SUP_{t+1}}} \quad (4.33)$$

čia – A paskutiniai metai, kai akumuliuoti pinigai neigiami (m);  $AP_t$  – suminė pinigų srauto vertė A metų pabaigoje (Eur);  $R_{SUP_{t+1}}$  – sutaupymai (Eur); t metai.

Tokiu pat principu apskaičiuojamas ir diskontuotų pinigų atsipirkimas:

$$PP_{DInv} = A + \frac{AP_{D_t}}{R_{SUP_{t+1}}} \quad (4.34)$$

čia – A paskutiniai metai, kai akumuliuoti pinigai neigiami (m);  $AP_{D_t}$  – suminė pinigų srauto vertė A metų pabaigoje (Eur);  $R_{SUD_{t+1}}$  – sutaupymai (Eur); t metai.

Vidinė gražos norma apskaičiuojama:

$$IRR = r_1 + [(r_2 - r_1) \left( \frac{NPV_1}{NPV_2 - NPV_1} \right)] \quad (4.35)$$

čia –  $r_1$  žemesnė diskonto norma;  $r_2$  – aukštesnė diskonto norma;  $NPV_1$  – grynoji dabartinė vertė prie žemesnės diskonto normos;  $NPV_2$  – grynoji dabartinė vertė prie aukštesnės diskonto normos.

Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai paskaičiuojami:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_{INVP_t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E}{(1+r)^t}} \quad (4.36)$$

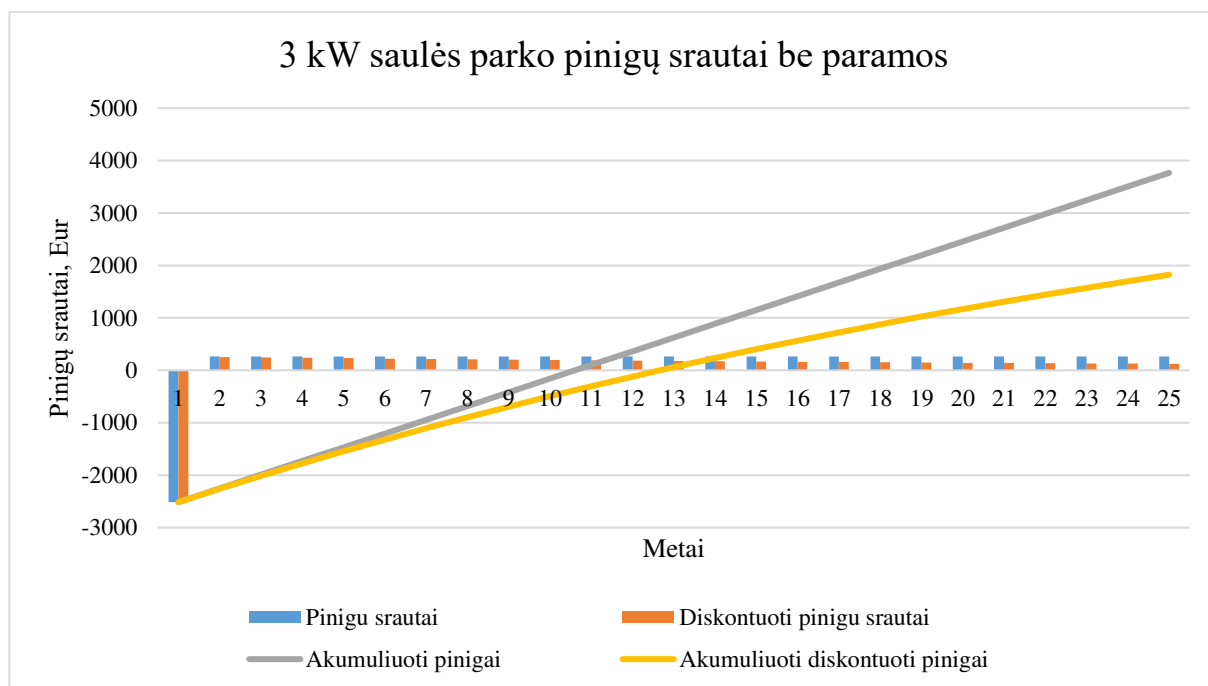
$I_{INVP_t}$  – investicijos į saulės elektrinę (Eur); E – bendras pagamintas elektros energijos kiekis (kWh).

Atlikus šiuos skaičiavimus gauti ekonominiai rodikliai pateikti 15 lentelėje.

**15 lentelė.** 3 kW saulės parko ekonominiai rodikliai

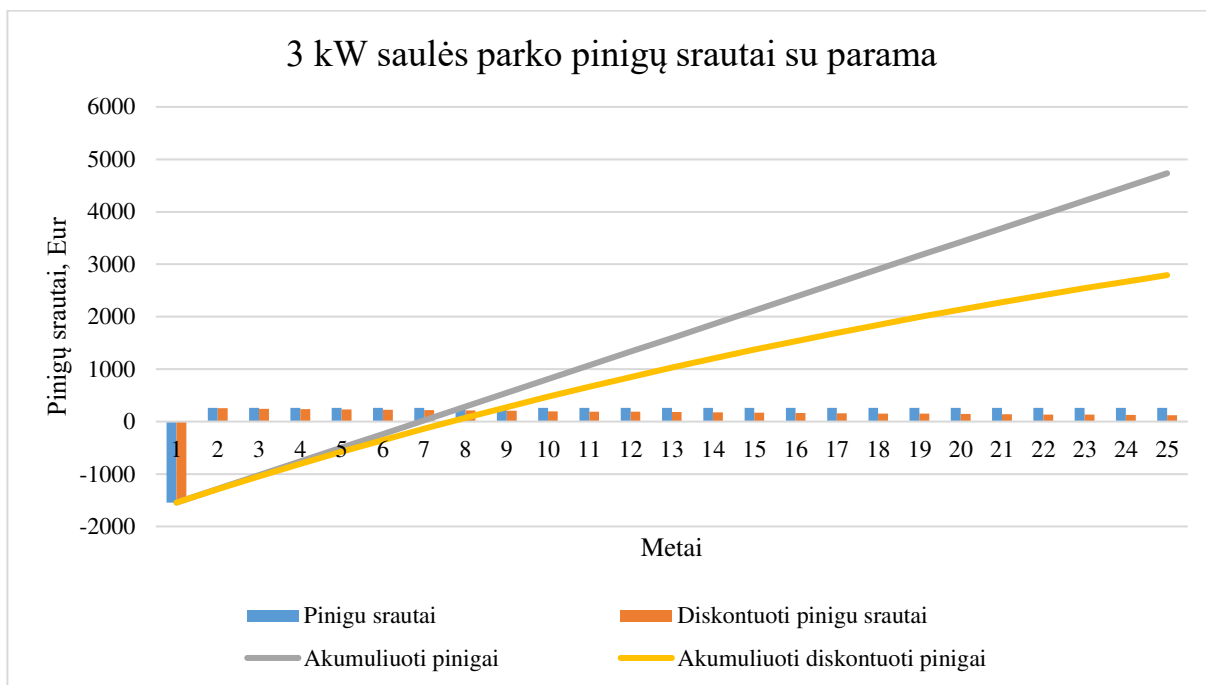
Nr.	Rodikliai	Be paramos	Su parama
1	NPV, Eur	1822,69	2791,69
2	IRR, %	9,13	16,50
3	LCOE, Eur/kWh	0,079	0,060
4	PP, m	10,61	6,90
5	PPD, m	12,67	7,65

Pirmuoju atveju, kai saulės parkas perkamas be paramos grynoji dabartinė vertė yra 1 822,69 Eur. Vidinė gražos norma yra 9,13 %, o vienos pagamintos elektros energijos kilovatvalandės kaina siekia 0,079 Eur. Investuoti pinigai atsipirktų po 10,61 metų, o diskontuoti po 12,67 metų. 16 paveikslėlyje grafiškai pateikiami pinigų srautai 3 kW saulės parkui be paramos.



**16 pav.** 3 kW saulės parko pinigų srautai be paramos

Dar geresni rezultatai gaunami pasinaudojus valstybės teikiama parama, NPV lygi 2 791,69 Eur, IRR 16,50, tai parodom kad esant net tokiai didelei diskonto normai, projektas vis dar būtų nenuostolingas. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai lygus 0,060 Eur/kWh, o projekto investicijos atsipirktų greičiau nei per 7 metus. Pritaikius diskonto normą, diskontuoti pinigai atsipirktų per 7,65 metus. 17 paveikslėlyje pateikiami 3 kW saulės parko pinigų srautai su parama.



17 pav. 3 kW saulės parko pinigų srautai su parama

Toliau abiem atvejams atliksime jautrumo analizę ir pažiūrėsime kokį poveikį projekto rezultatams daro diskonto norma, elektros energijos kaina ir išlaikymo kaštai.

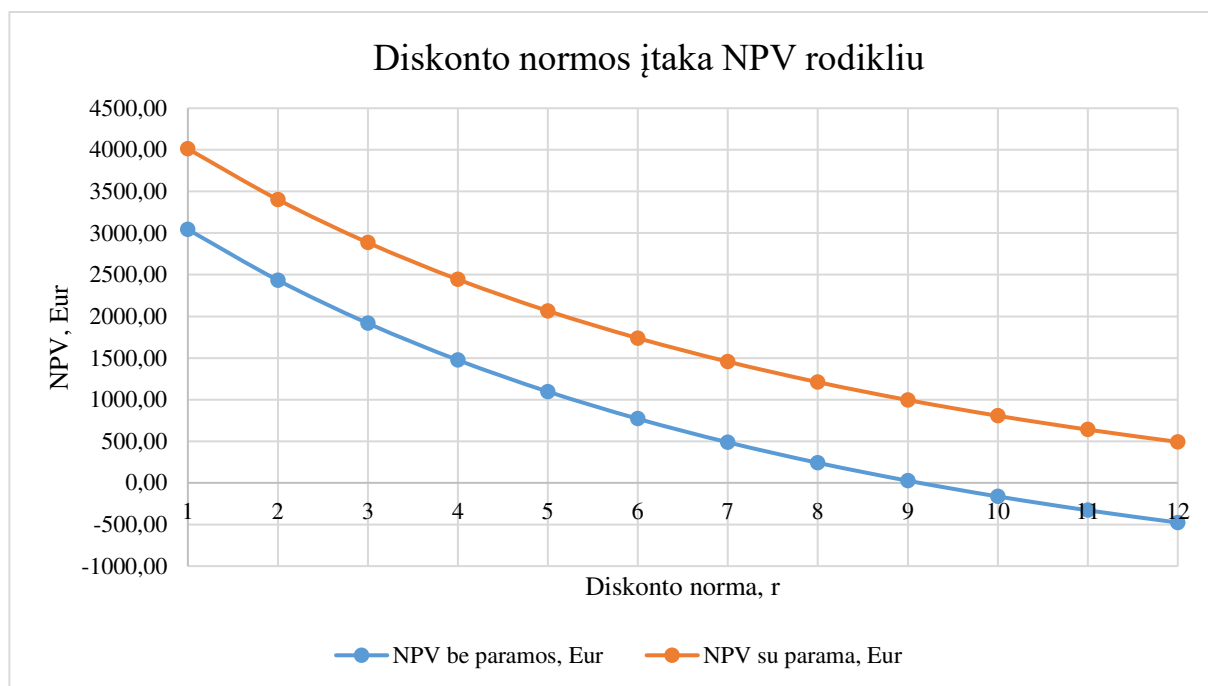
#### 4.1.8. Jautrumo analizė 3 kW saulės parko pirkimo atveju

Pirmiausia įvertinama kokią įtaką grynajai dabartinei vertei daro diskonto norma, kai ji kinta nuo 1 % iki 12 %. 16 lentelėje pateikti gauti rezultatai abiem atvejams.

16 lentelė. 3 kW saulės parko ekonominiai rodikliai

Diskonto norma, %	NPV be paramos, Eur	NPV su parama, Eur
1	3043,50	4012,50
2	2434,15	3403,15
3	1916,64	2885,64
4	1474,93	2443,93
5	1096,08	2065,08
6	769,55	1738,55
7	486,77	1455,77
8	240,73	1209,73
9	25,67	994,67
10	-163,16	805,84
11	-329,68	639,32
12	-477,17	491,83

Iš gautų rezultatų matyti, kad diskonto norma turi didelę įtaką projekto ekonominiams rezultatams, diskonto normai padidėjus vos vienu procentu NPV vertė ženkliai sumažėja. 18 paveikslėlyje pateikiamas grafikas su NPV priklausomybe nuo diskonto normos.



18 pav. Diskonto normos įtaka NPV

Saulės parką perkant be paramos ir diskonto normai esant 10 % projektas tampa ekonomiškai nuostolingas. Tačiau su parama ir prie 12 % diskonto normos projektas vis dar būtų sąlyginai pelningas.

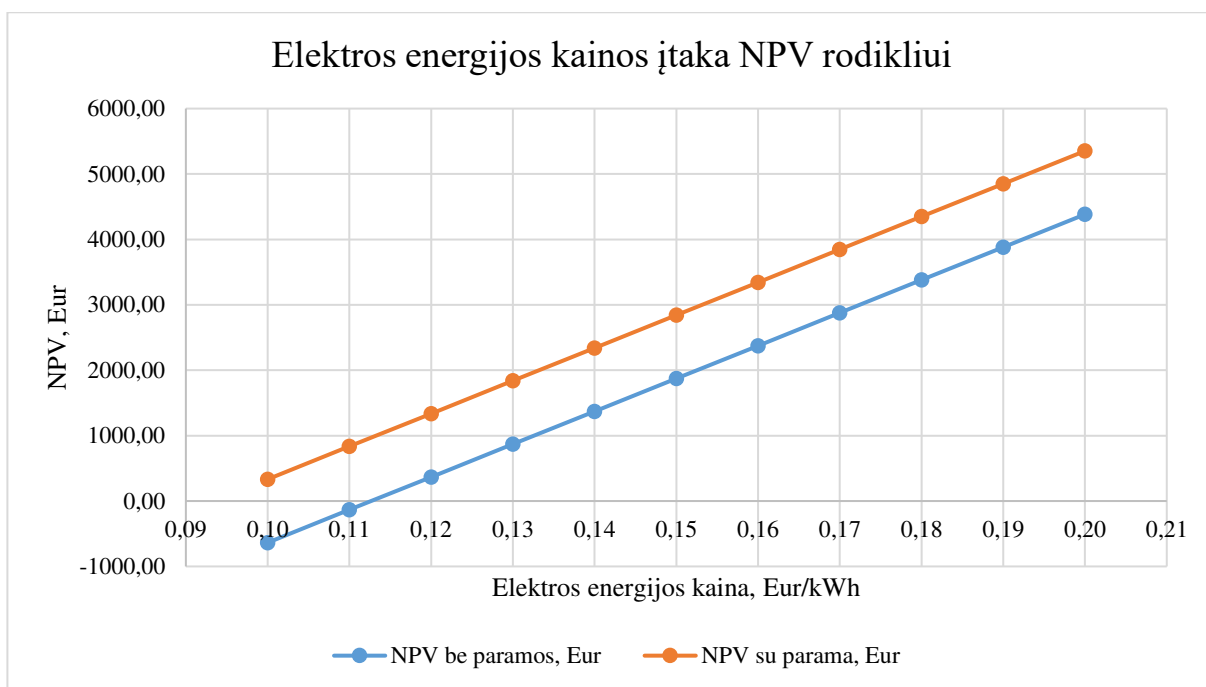
Elektros energijos kainos įtaką projekto grynajai dabartinei vertei ir investicijų atsipirkimui pateikiama 17 lentelėje.

17 lentelė. 3 kW saulės parko elektros kainos įtaka ekonominiams rodikliams

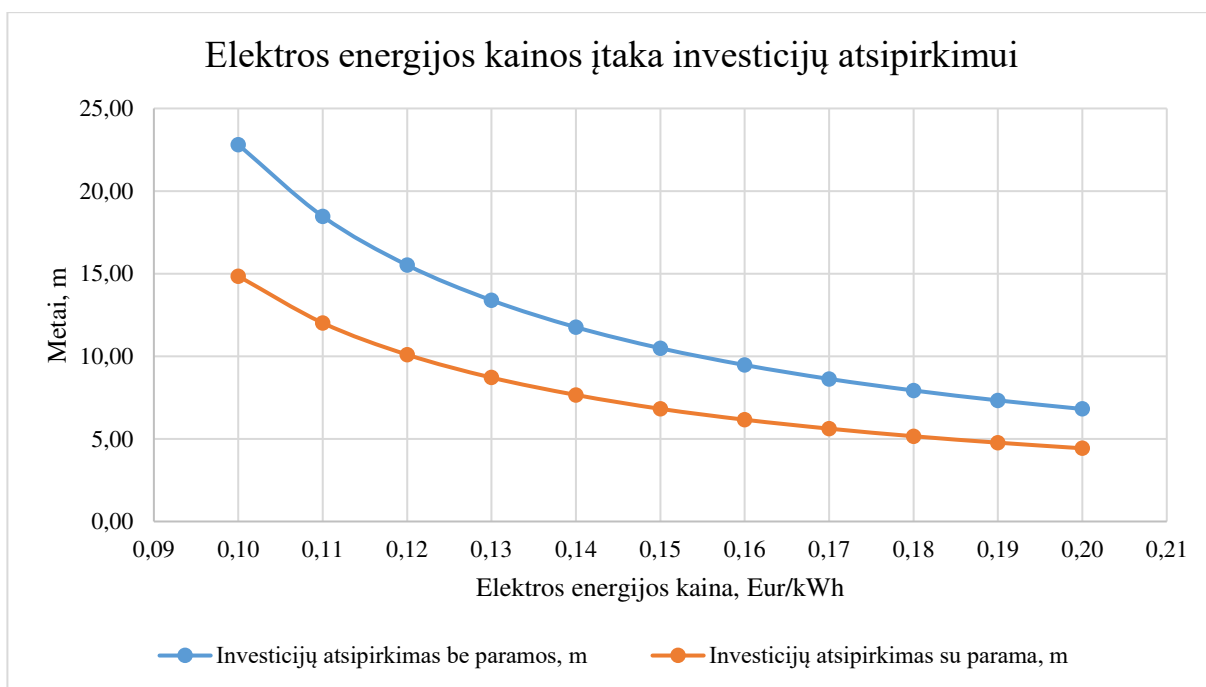
Elektros kaina, Eur/kWh	NPV be paramos, Eur	Investicijų atsipirkimas be paramos, m	NPV su parama, Eur	Investicijų atsipirkimas su parama, m
0,10	-637,02	22,81	331,98	14,85
0,11	-135,04	18,47	833,96	12,02
0,12	366,94	15,52	1335,94	10,10
0,13	868,92	13,39	1837,92	8,71
0,14	1370,90	11,76	2339,90	7,66
0,15	1872,88	10,49	2841,88	6,82
0,16	2374,87	9,47	3343,87	6,16
0,17	2876,85	8,63	3845,85	5,62
0,18	3378,83	7,93	4347,83	5,16
0,19	3880,81	7,33	4849,81	4,77
0,20	4382,79	6,81	5351,79	4,43

Iš gautų rezultatų taip pat matyti, kad elektros energijos kaina daro didelę įtaką projekto NPV ir investicijų atsipirkimui. Be paramos saulės parkas nuostolingas būtų prie 0,11 Eur/kWh elektros energijos kainos. Taip pat labai išaugtų investicijų atsipirkimo laikotarpis, kuris prie šios kainos siektų 18,47 metus. Elektros energijos kainai išaugus iki 0,20 Eur/kWh projekto be paramos NPV būtų 4 382,79 Eur, o investicijos atsipirktų per 6,81 metus. Atitinkamai su parama NPV lygi 5 351,79 Eur, o investicijos atsipirktų po 4,43 metų.

19 paveikslėlyje pateikiamas elektros energijos kainos įtaka NPV rodikliui grafikas, o 20 paveikslėlyje pateikiama elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.



**19 pav.** Elektros energijos kainos įtaka NPV



**20 pav.** Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui

Kitas analizuojamas kriterijus yra saulės elektrinės išlaikymo kaštai. Įvertinama, kokią įtaką projekto NPV ir investicijų atsipirkimui daro išlaikymo kaštai. 18 lentelėje pateikiami gauti rezultatai.

**18 lentelė.** 3 kW saulės parko išlaikymo kaštų įtaka ekonominiams rodikliams

Išlaikymo kaštai, Eur/kW/metus	NPV be paramos, Eur	Investicijų atsipirkimas be paramos, m	NPV su parama, Eur	Investicijų atsipirkimas su parama, m
23	1822,69	10,61	2791,69	6,91
24	1769,96	10,73	2738,96	6,98
25	1717,23	10,86	2686,23	7,07
26	1664,50	10,98	2633,50	7,15
27	1611,77	11,19	2580,77	7,24
28	1559,04	11,25	2528,04	7,32
29	1506,31	11,39	2475,31	7,41
30	1453,58	11,54	2422,58	7,51
31	1400,85	11,68	2369,85	7,60
32	1348,12	11,83	2317,12	7,70

Apskaičiavus grynąją dabartinę vertę ir investicijų atsipirkimą, keičiant išlaikymo kainą nuo 23 Eur/kW/metus iki 32 Eur/kW/metus matoma, kad gautiems rezultatams daroma mažesnis poveikis, nei keičiant elektros energijos kainą. Išlaikymo kainą padidinus 9 Eur/kW/metus investicijų atsipirkimo laikas išaugtų daugiau nei metais, o NPV vertė sumažėtų mažiau nei 500 Eur, abiem atvejais. Galima daryti išvadą, kad nedideli išlaikymo kaštų pokyčiai reikšmingos įtakos projekto ekonominiams rodikliams neturi.

#### 4.1.9. 3 kW saulės parko nuoma

„Ignitis saulės parkai“ neturintiems galimybių iš karto investuoti į visą saulės parką taip pat siūlo galimybę nuomotis saulės parko dalį ir kiekvieną mėnesį mokėti mėnesinę įmoką už saulės parką [25].

Skaiciavimams priimama, kad saulės parko nuoma truks visą 25 metų laikotarpį. Apskaičiuojama, kokią ekonominę naudą turėtų toks investavimo pasirinkimas. 19 lentelėje pateikiami saulės elektrinės nuomos kaštai.

**19 lentelė.** 3 kW saulės parko nuomos kaštai

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
1 kW nuomos kaina	3	91	273
Pasinaudojimo tinklu mokestis per metus	3	31,65	94,95
Viso:			367,95

1 kW galios nuoma saulės elektrinės parke yra 91 Eur, taip pat už kiekvieną saulės elektrinės instaliuotos galios kilovatą reikia sumokėti po 31,65 Eur, šis atsiskaitymo būdas priimtas todėl, kad visa pagaminta elektros energija tiekama į elektros tinklus ir jais pasieks gaminantį vartotoją.



Ekonominiams rodikliams apskaičiuoti naudojamos tokios pat formulės, kaip ir 4.1.9 skyriuje. Gauti rezultatai pateikiami 20 lentelėje.

**20 lentelė.** 3 kW saulės parko nuomos ekonominiai rodikliai

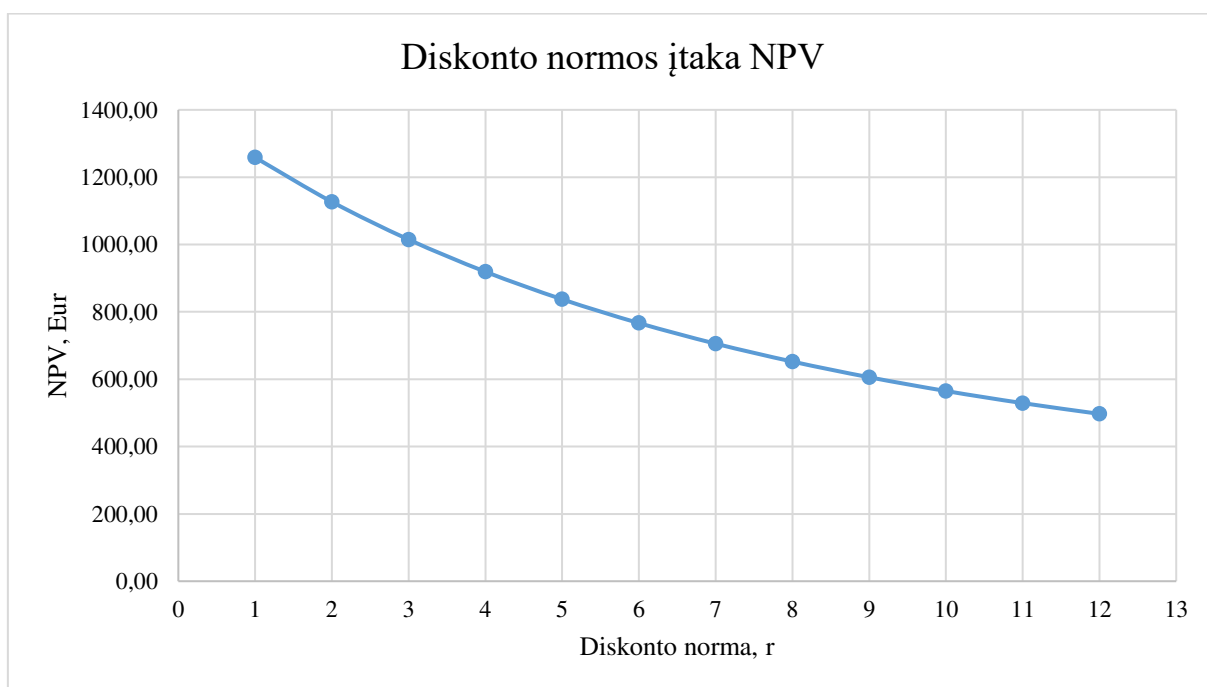
Nr.	Rodikliai	Nuoma
1	NPV, Eur	994,53
2	IRR, %	-
3	LCOE, Eur/kWh	0,096
4	PP, m	-
5	PPD, m	-

Per visą 25 metų laikotarpį grynoji dabartinė vertė būtų 994,53 Eur. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai 0,096 Eur/kWh. Vidinė grąžos norma ir atsipirkimas nebuvo apskaičiuoti, kadangi jau pirmaisiais metais būtų sutaupomos išlaidos elektros energijai.

Nuomojamai saulės parko daliai atliekama jautrumo analizę pagal diskonto normą, elektros energijos kainą ir nuomos kainą.

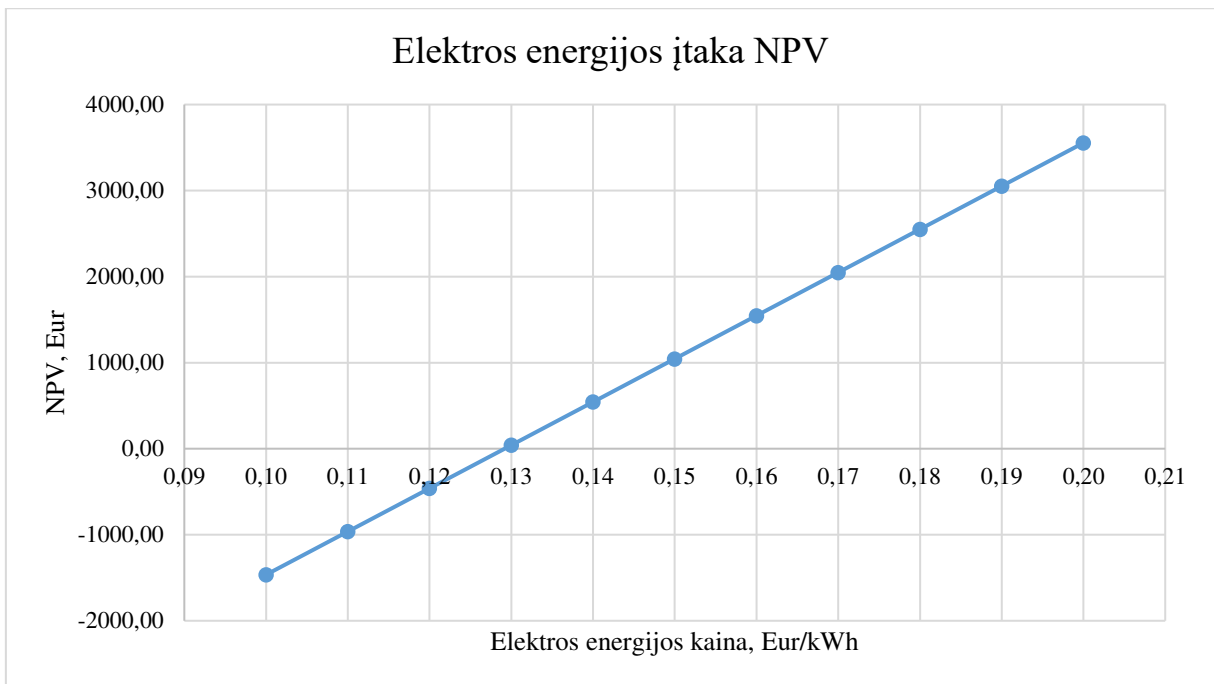
#### 4.1.10. Jautrumo analizė 3 kW saulės parko nuomos atveju

Pirmiausia įvertinama, kokią įtaką ekonominiams rodikliams daro diskonto norma kintanti nuo 1 % iki 12 %. Gauti rezultatai pateikiami 21 paveikslėlyje.



**21 pav.** Diskonto normos įtaka NPV

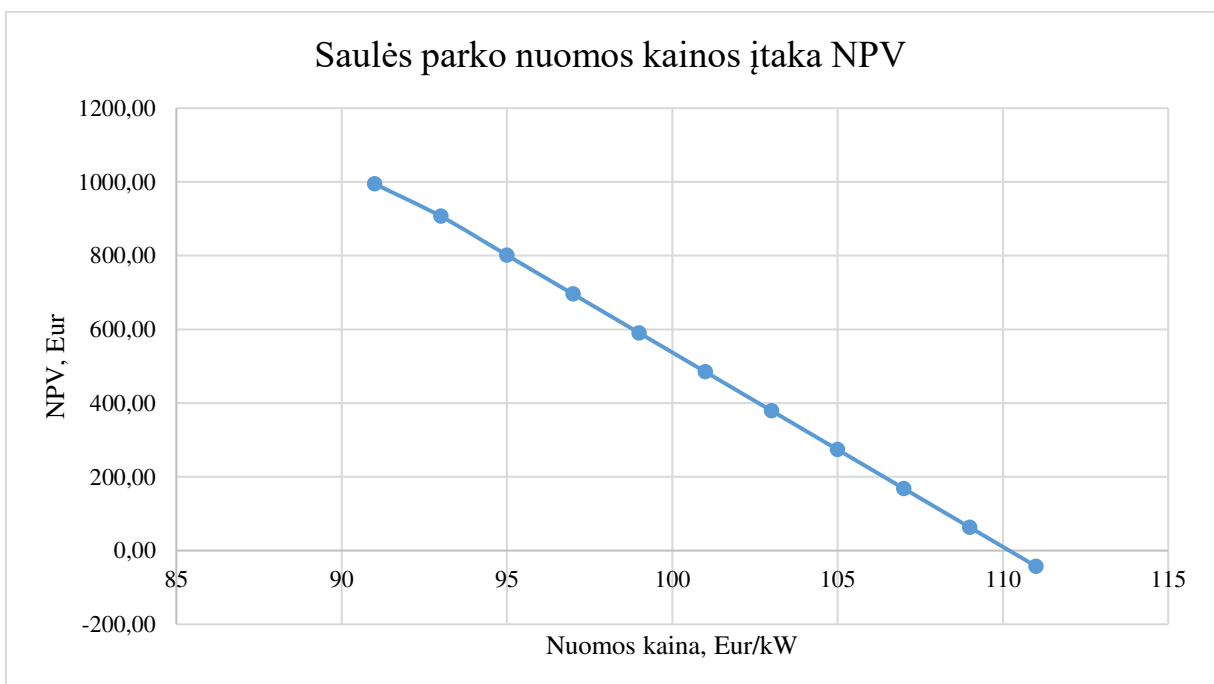
Iš pateikto grafiko matyti, kad diskonto normai padidėjus nuo 1 % iki 12 % NPV sumažėja beveik tris kartus. Diskonto normai esant 12 % grynoji dabartinė vertė siektų tik 497 Eur. Elektros energijos kainos pokytis grynajai dabartinei vertei pateiktas 22 paveikslėlyje.



**22 pav.** Elektros energijos kainos įtaka NPV

Jeigu elektros energijos kaina atpigėtų žemiau 0,13 Eur/kWh ribos, tuomet saulės parko nuoma taptų nuostolinga. Tačiau, jei elektros energijos kaina išaugtų iki 0,20 Eur/kWh (34 %), tuomet NPV išaugtų iki 3554,63 Eur. Taigi elektros energijos kaina stipriai įtakoja projekto ekonominius rezultatus.

Taip pat atliekama jautrumo analizė NPV rodikliui keičiant parko nuomos kainą. Saulės elektrinės kainą priimame, kad ateityje tikrai nemažės, todėl skaičiavimams priimama, kad nuomos kaina didės nuo 91 Eur/kW/metus iki 101 Eur/kW/metus. Gauti rezultatai pateikiami 23 paveikslėlyje.



**23 pav.** Saulės parko nuomos kainos įtaka NPV

Saulės parko nuomos kainai išaugus 11 % iki 101 Eur/kW, grynoji dabartinė vertė sumažėja per pusę iki 484,81 Eur. O Nuomos kainai išaugus 22 % iki 111 Eur/kW nuoma tampa nuostolinga, NPV - 42,48 Eur.

Didžiausią įtaką saulės parko nuomai daro elektros energijos kaina ir nuomos kaina. Mažiausią įtaką daro diskonto normos pasikeitimas.

#### 4.1.11. Skirtingų investavimo galimybių į 3 kW galios saulės elektrines palyginimas

Atlikus visus ekonominius skaičiavimus 3 kW saulės parkui ant gyvenamojo namo stogo ir 3 kW galios saulės parko dalies pirkimui ir nuomai, visi gauti rezultatai pateikiami 21 lentelėje.

**21 lentelė.** 3 kW saulės elektrinės ekonominiai rodikliai visoms alternatyvoms

Nr.	Rodikliai	Ant namo stogo		Saulės parkas		
		Atsiskaitant už kW, be paramos	Atsiskaitant už kW, su parama	Pirkimas be paramos	Pirkimas su parama	Parko nuoma
1	NPV, Eur	2 437,12	3 406,12	1 822,69	2 791,69	994,53
2	IRR, %	9,82%	15,80%	9,13%	16,50%	-
3	LCOE, Eur/kWh	0,066	0,047	0,079	0,060	0,096
4	PP, m	10,11	7,14	10,61	6,90	-
5	PPD, m	11,94	7,95	12,67	7,65	-

Pirmiausia visi skaičiavimai buvo atlikti su saulės elektrine įrengiama ant konkretaus namo stogo ir įvertinama, kuris iš keturių siūlomų atsiskaitymo būdų ekonomiškai priimtinausias gaminančiam vartotojui. Pagal užsiduotą elektros energijos suvartojimą ir saulės elektrinės generacijas apskaičiuota, kad geriausias būdas pasirinkti atsiskaitymą už instaliuotos elektrinės generuojamos galios kilovata, nes su šiuo atsiskaitymo būdu gaunama didžiausia grynoji dabartinė vertė, taip pat investicijų atsipirkimo laikas trumpiausias. Saulės elektrinę statant be paramos būtų gaunama 2437,12 Eur NPV vertė. Vidinė grąžos norma (IRR) lygi 9,82 %, tai parodo, kad prie tokios diskonto normos projektas būtų nenuostolinga. Šiuose skaičiavimuose diskonto norma priimta 3,2 % [32]. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai (LCOE) siekia 0,066 Eur/kWh, šiuo metu elektros kaina yra 0,149 Eur [28], taigi pagamintos elektros energijos savikaina yra mažesnė, nei elektros energijos parduodamos elektros tinkluose. Be paramos elektrinės investicijos atsipirktų per 10,11 metų, o diskontavus pinigų per 11,94 metus.

Pasinaudojus valstybės teikiama 323 Eur/kW parama [24] saulės elektrinės įrengtos ant namo stogo NPV padidėja 40% iki 3406,12 Eur. IRR iki 15,80 %, o LCOE sumažėja nuo 0,066 Eur/kWh iki 0,047 Eur/kWh. Saulės elektrinės investicijos atsipirktų po 7,14 metų, o diskontavus po 7,95 metų. Pasinaudojus parama investicijų atsipirkimo laikas sutrumpėja 3 metais.

Viena iš alternatyvų saulės parko įsirengimui savo namų ūkiuose yra saulės parko pirkimas. Šiuose skaičiavimuose taip pat įvertinta, kokie būtų ekonominiai rodikliai be paramos ir pasinaudojus parama.

Be paramos NPV yra 1822,69 Eur, IRR 9,13% LCOE 0,079 Eur/kWh, investicijos atsipirktų per 10,61 metus, o diskontavus per 12,67 metus. Su parama NPV padidėja 53 %, IRR išauga iki 16,50

%, svertiniai gamybos kaštai sumažėja iki 0,060 Eur/kWh, investicijos į parką atsipirktų po 6,90 metų, o diskontavus po 7,65 metų.

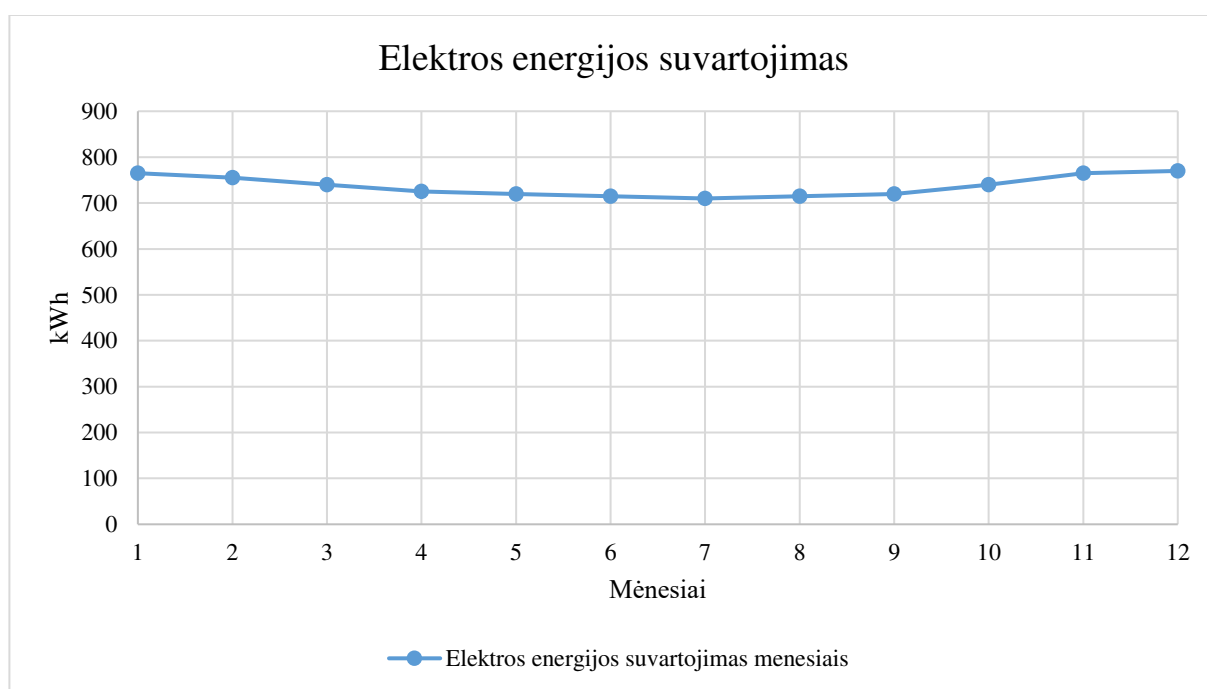
Kita alternatyva yra saulės parko dalies nuoma. Apskaičiuota NPV yra 994,53 Eur, o LCOE 0,096 Eur/kwh. IRR ir atsipirkimo vertės neapskaičiuotos, nes projektas jau pirmaisiais metais atneštų sutaupymus.

Lyginant visas šiuo metu galimas alternatyvas, didžiausia ekonominė nauda gaunama statant saulės elektrinę ant nuosavo namo, tačiau perkant saulės parko dalį gaunama 18 % mažesnė NPV, bet investicijų atsipirkimas šiek tiek greitesnis. Mažiausiai ekonominės naudos gaunama nusprendus nuomotis saulės parko dalį, NPV 994,53 Eur. Tačiau toks pasirinkimas leidžia iš karto taupyti elektros energijos sąskaitas, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje toks pasirinkimas atneša mažiausiai finansinės naudos.

Visiems atvejams atlikus jautrumo analizę nustatyta, kad saulės modulių kaina didesnės įtakos projekto ekonominiams rezultatams neturi. Diskonto norma, elektros energijos kaina ir saulės elektrinės nuomos kaina turi daug didesnę įtaką projekto ekonominiams rezultatams. Pasikeitus vienam ar kitam kriterijui projektas gali pelningesniu, arba tapti nuostolingiu.

#### 4.2. 9 kW saulės elektrinė

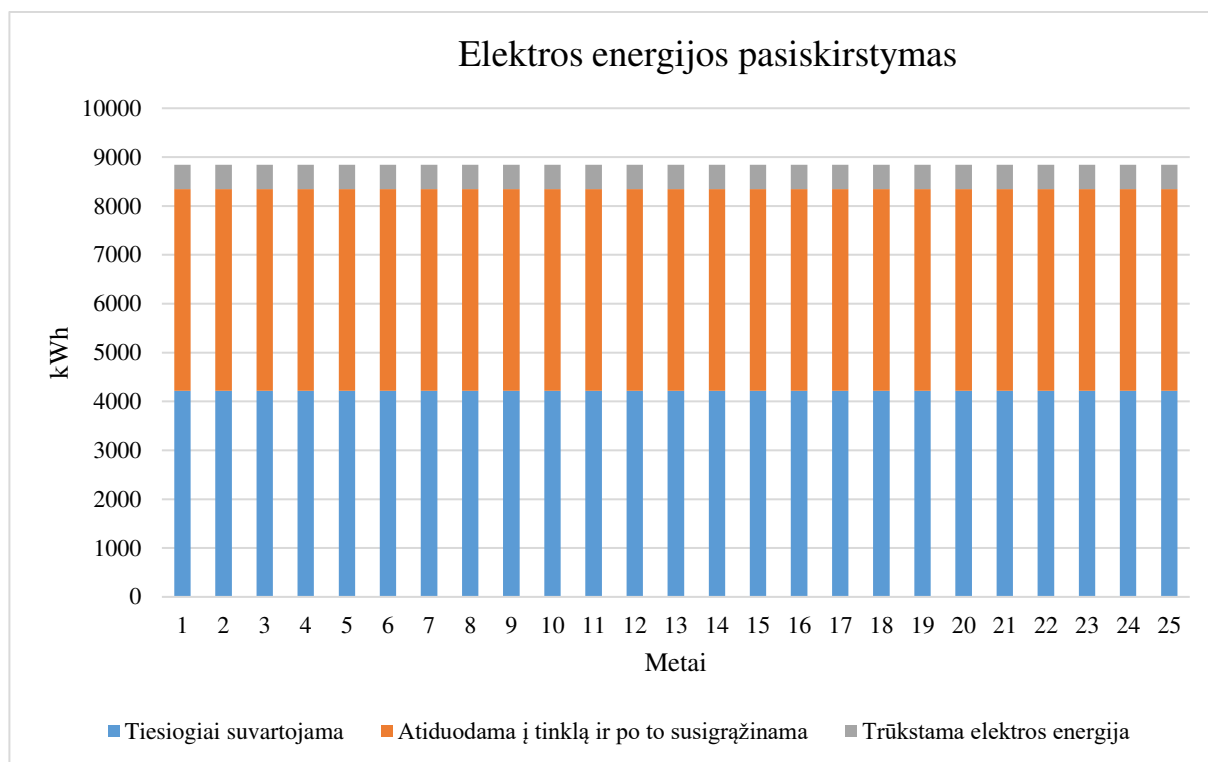
Antruoju analizuojamu atveju per metus suvartojama 8840 kWh elektros energijos, 24 paveikslėlyje pateikiamas metinis elektros energijos suvartojimo grafikas.



24 pav. Elektros energijos suvartojimas

Iš pateikto grafiko matyti, kad elektros poreikis kiek sumažėja vasarą, tačiau, dėl namuose vykdomos veiklos elektros energijos poreikis visus metus išlieka didelis ir svyruoja 710-770 kWh ribose. Bendras per metus sunaudotas elektros energijos kiekis yra 8840 kWh. Norint patenkinti tokį elektros energijos poreikį reikalinga 9 kW saulės elektrinė.

Elektros energijos pasiskirstymas įsirengus saulės elektrinę gautas „PVsyst“ programos simuliacijos metu pateikiamas 25 paveikslėlyje. Priede (Priedas 3. 9 kW saulės elektrinės ant namo stogo generacija) pateikiami detalūs simuliacijos rezultatai.



**25 pav.** Elektros energijos pasiskirstymas su 9 kW saulės elektrine

Saulės elektrinės kaina statant ant gyvenamojo namo pateikiama 22 lentelėje.

**22 lentelė.** 9 kW saulės elektrinės investicijos

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
Canadian Solar CS3K-300P [29]	30	133	3990
Huawei SUN2000L-8KTL [33]	1	1770	1770
Kabeliai, apsaugos įrenginiai ir konstrukcija	1	1590	1590
Montavimo darbai	1	1500	1500
Viso:			8850

Brangiausias komponentas saulės elektrinėje yra saulės moduliai, reikės 30 vienetų, kurių kaina 3990 Eur. 8 kW galios inverteris kainuoja 1770 Eur. Kabeliai, apsaugos įrenginiai ir konstrukcija kainuoja 1590 Eur. Montavimo darbai ir dokumentų sutvarkymas 1500 Eur.

#### 4.2.1. 9 kW saulės elektrinės ant gyvenamojo namo atsiskaitymo būdų palyginimas

9 kW saulės elektrinės ekonominiams skaičiavimams taikoma tokia pati skaičiavimo metodika, kaip ir 3 kW saulės elektrinės atveju, naudojantis formulėmis 4.1-4.22. 23 lentelėje pateikiami ekonominiai rodikliai atsiskaitymo būdams be paramos, o 24 lentelėje atsiskaitymo būdams su parama.

**23 lentelė.** 9 kW saulės elektrinės visų atsiskaitymo būdų palyginimas be paramos

Nr.	Rodikliai	Už kWh	Už kW	Mišrus	Elektra
1	NPV, Eur	9229,38	7999,97	8570,75	9112,48
2	IRR, %	12,35%	11,20%	11,73%	12,24%
3	LCOE, Eur/kWh	0,060	0,060	0,060	0,060
4	PP, m	8,60	9,23	8,93	8,66
5	PPD, m	9,85	10,71	10,29	9,93

Ekonomiškai apskaičiavus visus atsiskaitymo būdus saulės elektrinei be paramos didžiausią NPV vertę turi atsiskaitymas už patiekiamas į tinklą kilovatvalandes. Panaši NPV vertė gaunama pasirinkus atsiskaitymą elektros energija. Prasčiausi duomenys apskaičiuoti pasirinkus atsiskaitymą už instaliuotą galią. Projektui be paramos visais atvejais investicijos atsipirktų per 8,5 ar kiek daugiau nei per 9 metus, priklausomai nuo pasirinkto atsiskaitymo būdo. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai yra 0,060 Eur/kWh, kai elektros energijos kaina šiuo metu yra 0,149 Eur/kWh. Vidinė gražos norma visais atvejais nėra mažesnė nei 11,20 %, o atsiskaitymo už kilovatvalandes atveju siekia 12,35 %.

**24 lentelė.** 9 kW saulės elektrinės visų atsiskaitymo būdų palyginimas su parama

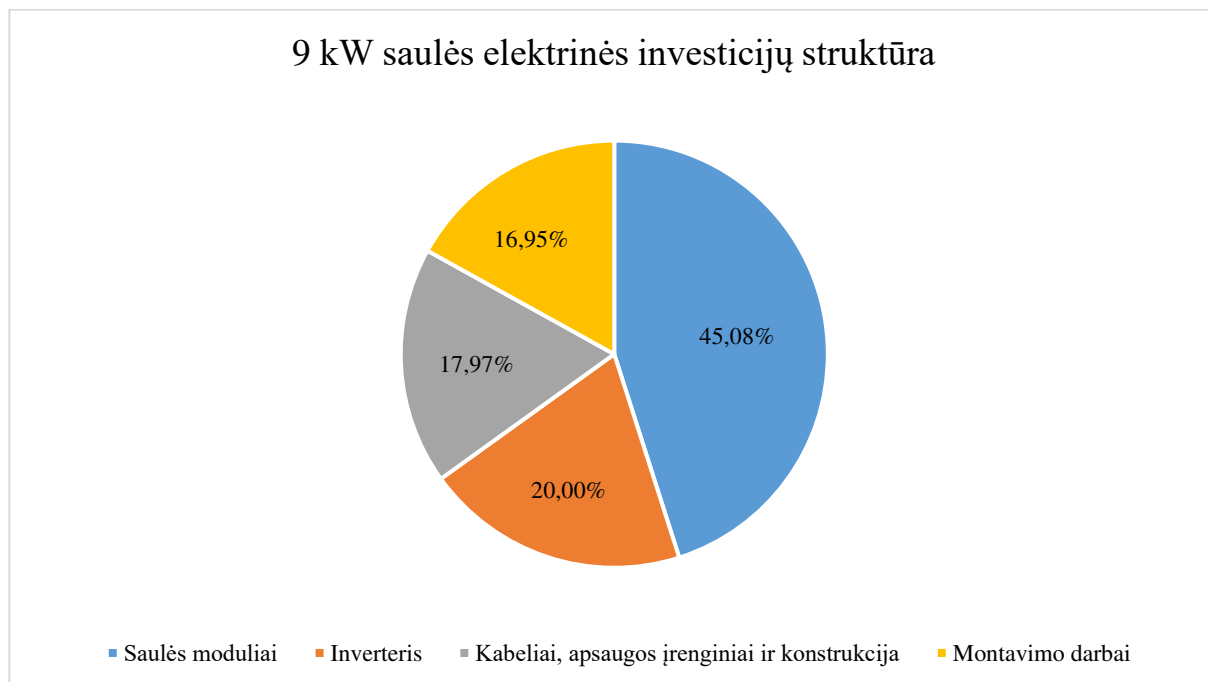
Nr.	Rodikliai	Už kWh	Už kW	Mišrus	Elektra
1	NPV, Eur	12136,38	10906,97	11477,75	12019,48
2	IRR, %	20,70%	18,93%	19,75%	20,53%
3	LCOE, Eur/kWh	0,041	0,041	0,041	0,041
4	PP, m	5,78	6,20	6,00	5,82
5	PPD, m	6,27	6,78	6,44	6,32

Pasinaudojant valstybės teikiama parama didžiausia NVP vertė – 12136,38 Eur gaunama pasirinkus atsiskaitymą už kilovatvalandes. IRR – 20,70%, LCOE – 0,041 Eur/kWh, o investicijos atsipirktų per 5,78 metų. Diskontuoti pinigai atsipirktų po 6,27 metų.

Atsiskaitymo būdai kilovatvalandėmis ar elektros energija šiuo konkrečiu analizuojamu atveju ekonomiškai pelningiausi, nes tiesiogiai suvartojama daugiau nei pusė pagamintos elektros energijos, o į elektros tinklus atiduodama mažesnė dalis.

#### 4.2.2. Jautrumo analizė 9 kW saulės elektrinei ant gyvenamojo namo

Saulės moduliai sudaro didžiausią dalį 9 kW saulės elektrinės kainos, 26 paveikslėlyje pateikiama saulės elektrinės investicijų struktūra.



26 pav. 9 kW saulės elektrinės investicijų struktūra

Šiuo atveju saulės modulių kaina sudaro 45 % visos saulės elektrinės kainos. Saulės modulių kaina turi didžiausią įtaką investicijoms. Priimama, kad saulės modulių kaina mažėja 10 % ir 20 %. Skaičiavimai atliekami ekonomiškai priimtinausiam atsiskaitymo būdui už kilovatvalandes. 25 lentelėje pateikiami ekonominių rodiklių skaičiavimai įvertinant saulės modulių kainos mažėjimą.

25 lentelė. 9 kW saulės elektrinės modulių kainos įtaka ekonominiams rodikliams

Rodikliai	Modulių kaina -10 %		Modulių kaina -20 %		Esama modulių kaina	
	Be paramos	Su parama	Be paramos	Su parama	Be paramos	Su parama
Investicijos, Eur	8451	5544	8052	5145	8850	5943
NPV, Eur	9628,38	12535,38	10027,38	12934,38	9229,38	12136,38
IRR, %	13,14	22,61	14,02	24,87	12,35	20,70
LCOE, Eur/kWh	0,058	0,038	0,055	0,035	0,060	0,041
PP, m	8,22	5,39	7,83	5,00	8,60	5,78
PPD, m	9,34	5,69	8,83	5,30	9,85	6,27

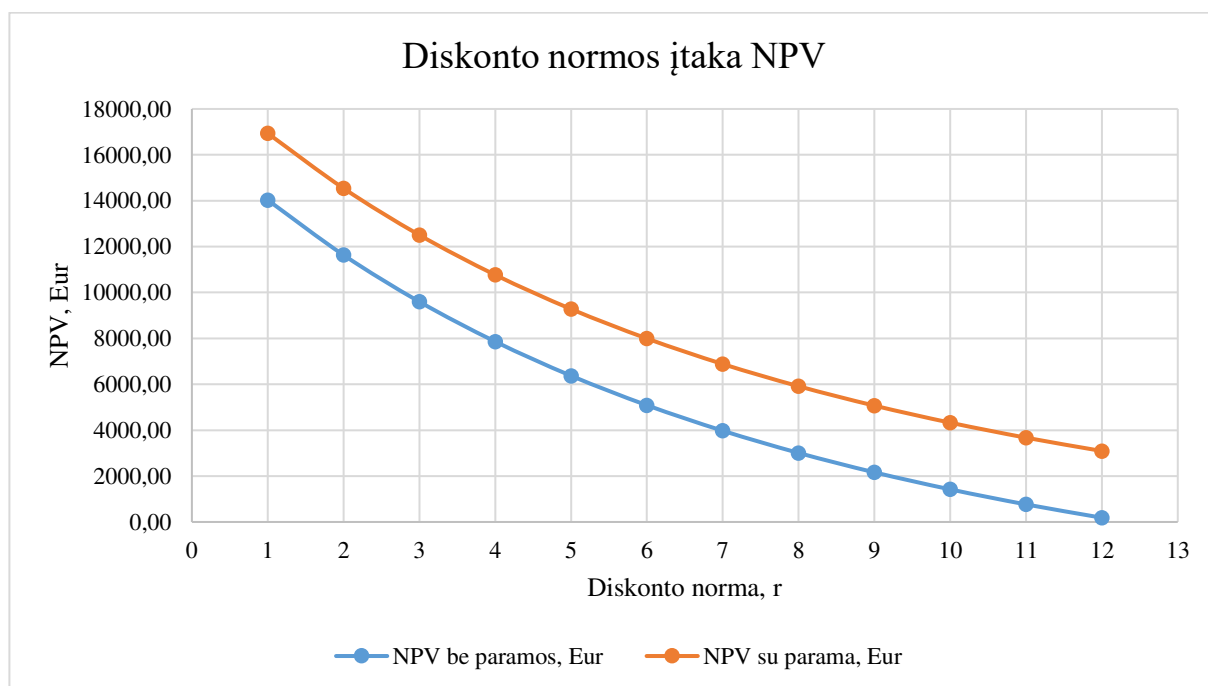
Saulės modulių kainai sumažėjus 10 % projektui be paramos NPV vertė padidėja apie 4 %, o projektui su parama 3 %, o investicijų atsipirkimo laikas sutrumpėja labai nežymiai. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai pasikeičia tik tūkstantosiomis dalimis ir didelės įtakos ekonominiams skaičiavimams neturi.

Abiem atvejais atliekama diskonto normos įtaka projekto ekonominiams rodikliams, diskonto normą keičiant nuo 1 % iki 12 %. Apskaičiuoti rezultatai pateikiami 26 lentelėje.

**26 lentelė.** Diskonto normos įtaka NPV 9 kW saulės elektrinės projektui

Diskonto norma, %	NPV be paramos, Eur	NPV su parama, Eur
1	14029,95	16936,95
2	11633,82	14540,82
3	9598,82	12505,82
4	7861,92	10768,92
5	6372,15	9279,15
6	5088,14	7995,14
7	3976,18	6883,18
8	3008,69	5915,69
9	2163,01	5070,01
10	1420,49	4327,49
11	765,66	3672,66
12	185,71	3092,71

Diskonto norma turi didelę įtaką NPV rodikliui, projektui be paramos prie 1 % diskonto normos NPV yra 14029,95 Eur, o diskonto normai išaugus iki 12 % NPV vertė sumažėja 76 kartus iki 185,71 Eur. Diskonto normai dar labiau padidėjus projektas gali tapti nuostolingas. Projektui su valstybės teikiama parama prie 1 % diskonto normos gaunama 16936,95 Eur, o prie 12 % 3092,71 Eur, NPV sumažėja 5,5 karto. Diskonto normos įtaka NPV pateikta 27 paveikslėlyje.



**27 pav.** Diskonto normos įtaka NPV

Kitas kriterijus pagal kurį atliekama jautrumo analizė yra elektros energijos kaina, kuri keičiama nuo 0,10 Eur/kWh iki 0,20 Eur/kWh ir apskaičiuojamą kokią įtaką kainos pokytis daro projekto NPV ir investicijų atsipirkimo laikui. Apskaičiuoti rezultatai pateikiami 27 lentelėje.



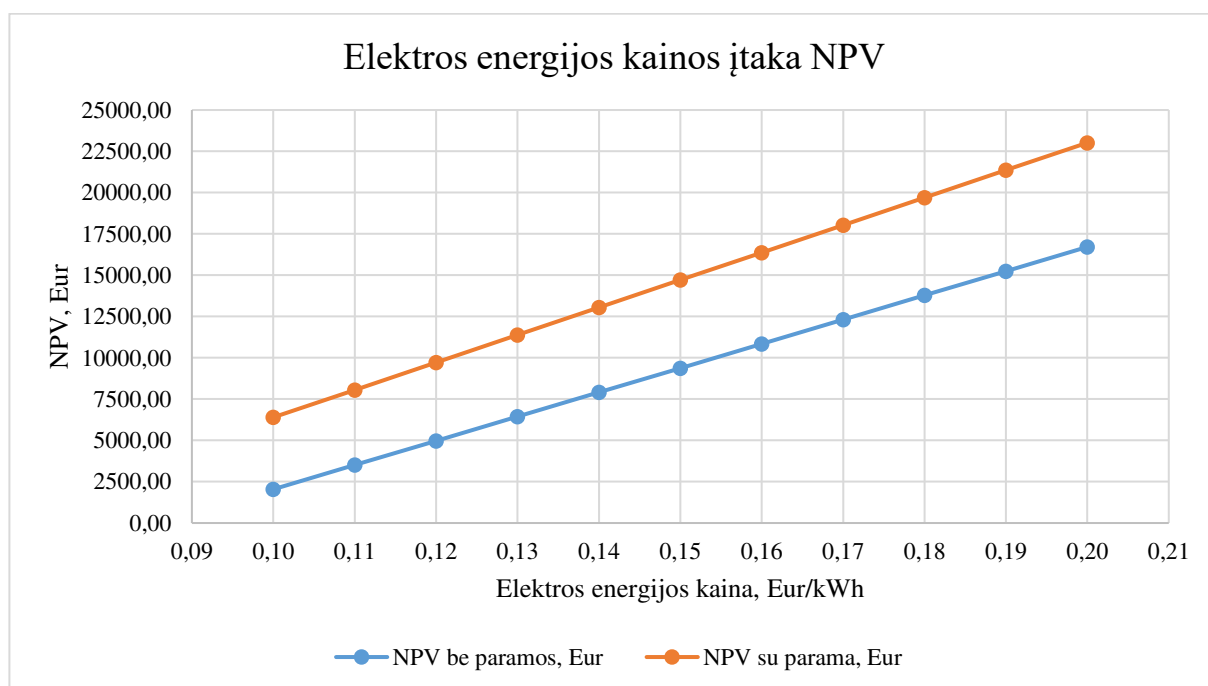
**27 lentelė.** Elektros kainos įtaka NPV ir investicijų atsipirkimui 9 kW saulės elektrinės projektui

Elektros kaina, Eur/kWh	NPV be paramos, Eur	Investicijų atsipirkimas be paramos, m	NPV su parama, Eur	Investicijų atsipirkimas su parama, m
0,10	2041,45	14,28	6396,94	9,59
0,11	3508,38	12,59	8058,96	8,45
0,12	4975,30	11,25	9720,98	7,56
0,13	6442,22	10,17	11382,99	6,83
0,14	7909,15	9,28	13045,01	6,23
0,15	9376,07	8,53	14707,03	5,73
0,16	10843,00	7,90	16369,04	5,31
0,17	12309,92	7,35	18031,06	4,94
0,18	13776,85	6,87	19693,07	4,62
0,19	15243,77	6,45	21355,09	4,34
0,20	16710,70	6,09	23017,11	4,09

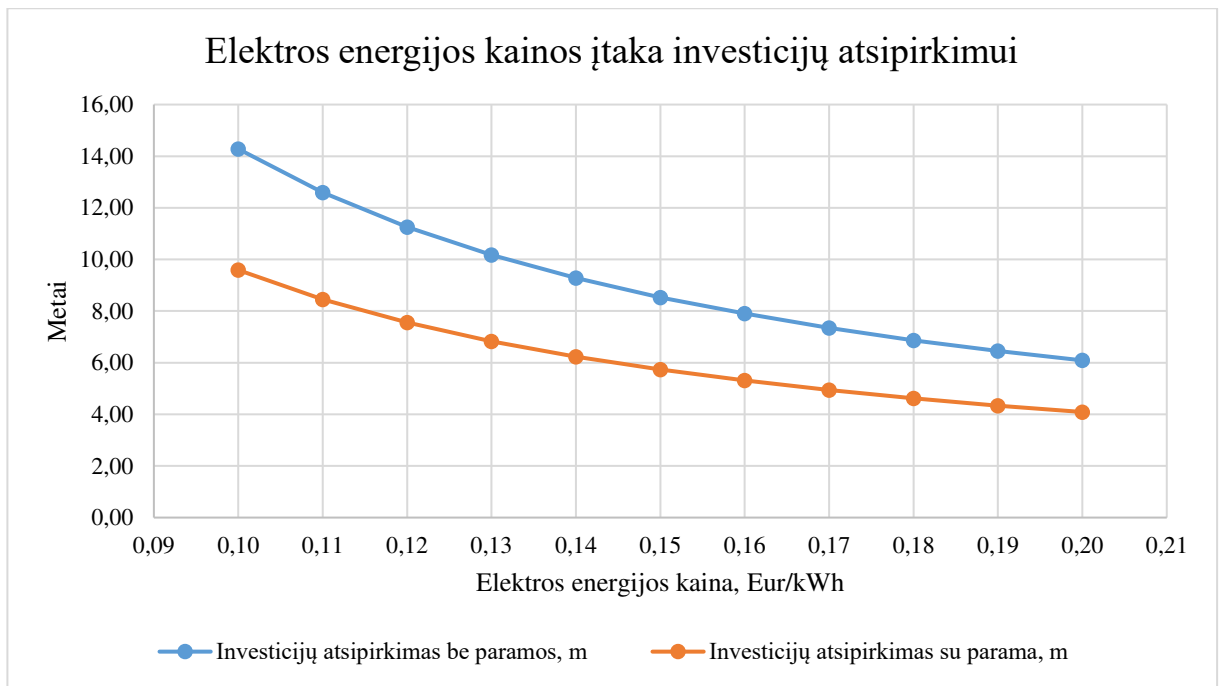
Elektros energijos kainai esant 0,10 Eur/kWh projektui be paramos NPV yra 2040,45 Eur, o investicijos atsipirktų po 14,28 metų. Kainai padidėjus iki 0,20 Eur/kWh NPV vertė išauga daugiau kaip 8 kartus iki 16710,70 Eur, o atsipirkimo laikas sutrumpėja 8 metais iki 6,09 metų.

Atveju su valstybės teikiama parama prie 0,10 Eur/kWh elektros energijos kainos NPV yra 6396,94 Eur, investicijų atsipirkimas 9,59 metai. Kainai padidėjus iki 0,20 Eur/kWh NPV išauga iki 23017,11 Eur, o investicijų atsipirkimas sumažėja iki 4,09 metų.

28 paveikslėlyje pateiktas NPV priklausomybės grafikas nuo elektros energijos kainos, o 29 paveikslėlyje investicijų atsipirkimo laikas nuo elektros energijos kainos.



**28 pav.** Elektros energijos kainos įtaka NPV



**29 pav.** Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui

Apibendrinant gautus jautrumo analizės rezultatus, galima teigti, kad nors saulės moduliai yra brangiausia visos saulės elektrinės sudedamoji dalis, tačiau modulių kainai sumažėjus 20 % tai didelės įtakos ekonominiams rodikliams nedaro. Modulių kainai sumažėjus 10 % NPV vertė padidėja 4 % projektui be paramos ir 3 % projektui su valstybės teikiama parama.

Didesnę įtaką ekonominiams rodikliams turi diskonto norma, kuri kuo mažesnė, tuo didesnę NPV vertę sukuria. Taip pat elektros energijos kaina, kurios padidėjimas smarkiai padidina NPV vertę ir sutrumpina investicijų atsipirkimo laiką.

#### 4.2.3. 9 kW saulės parko dalies pirkimas

Skaičiavimams pasirenkamas tas pats saulės parkas Elektrėnų rajone, Obenių kaime ir įvertinama kokią ekonominę naudą būtų galima gauti nusprendus įsigyti 9 kW galios saulės parko dalį. 28 lentelėje pateikiama saulės parko pradinės investicijos, išlaikymo kaštai ir valstybės teikiamos paramos dydis.

**28 lentelė.** 9 kW saulės parko investicijos ir metiniai mokesčiai

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
1 kW pradinės investicijos	9	925	8 325
Pasinaudojimo tinklu mokestis per metus	9	31,65	284,85
Saulės elektrinės priežiūra per metus	9	23	207
Parama saulės elektrinei	9	-323	-2 907

Saulės parko projekto informacija ir generacija nėra viešai pateikiama, todėl saulės parkui naudojami tokie patys komponentai, kaip saulės elektrinei ant namo. 9 kW saulės parko generacija pateikiama prieduose (Priedas 4. 9 kW saulės parko generacija).

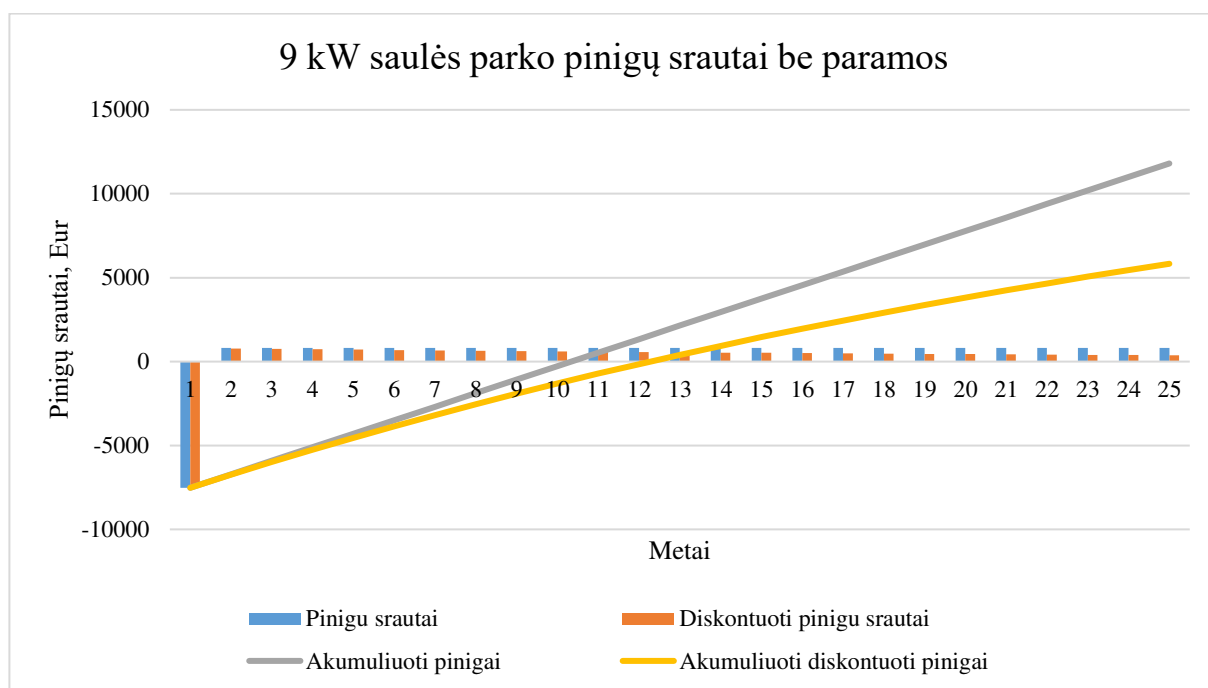
Įvertinus saulės parko vietą, modulių kampa ir sistemos nuostolius gaunama, kad per metus bus sugeneruojama apie 8346 kWh elektros energijos, reikalingas elektros energijos poreikis yra 8840 kWh.

Ekonominiai rodikliai apskaičiuojami formulėmis 4.23-4.36. Gauti rezultatai pateikiami 29 lentelėje.

**29 lentelė.** 9 kW saulės parko ekonominiai rodikliai

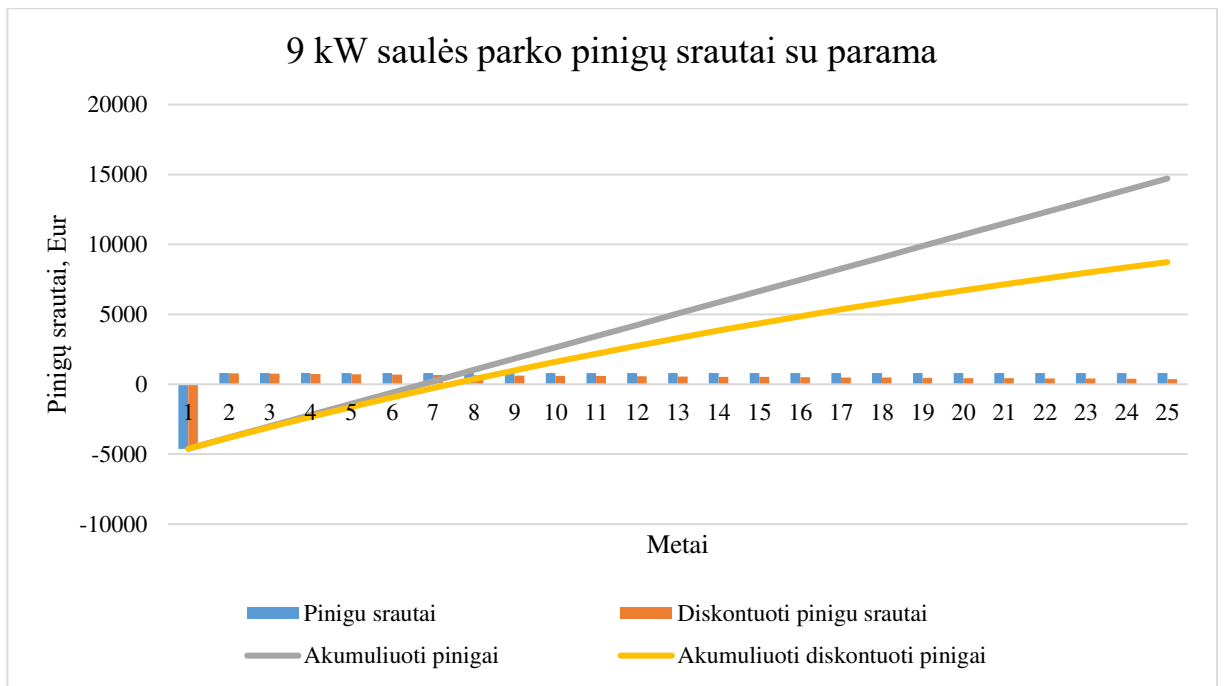
Nr.	Rodikliai	Be paramos	Su parama
1	NPV, Eur	5 826,84	8 733,84
2	IRR, %	9,49	17,06
3	LCOE, Eur/kWh	0,078	0,059
4	PP, m	10,34	6,73
5	PPD, m	12,28	7,43

Atveju, kai saulės parkas perkamas be paramos gaunama 5826,84 Eur grynoji dabartinė vertė. Vidinė gražos norma yra 9,49 %, o svertiniai elektros energijos gamybos kaštai 0,078 Eur/kWh. Saulės parko investicijos atsipirktų po 10,34 metų, o diskontuoti pinigai po 12,28 metų. 30 paveikslėlyje pateikiami pinigų srautai 9 kW saulės parkui be paramos.



**30 pav.** 9 kW saulės parko pinigų srautai be paramos

Saulės parkui su parama NPV vertė yra 8733,84 Eur, IRR 17,06 %, LCOE 0,059 Eur/kWh. Saulės parko investicijos atsiperka po 6,73 metų, o diskontuotos investicijos po 7,43 metų. Pinigų srautai atvejui su valstybės teikiama parama pateikti 31 paveikslėlyje.



**31 pav.** 9 kW saulės parko pinigų srautai su parama

Pasinaudojus valstybės teikiama parama NPV vertė padidėja 2907 Eur, IRR padidėja nuo 9,49 % iki 17,06 %, LCOE sumažėja beveik 2 centai iki 0,059 Eur/kWh. Investicijų atsipirkimas sutrumpėja 3,61 metais, o diskontuotų investicijų 4,85 metais.

#### 4.2.4. Jautrumo analizė 9 kW saulės parko pirkimo atveju

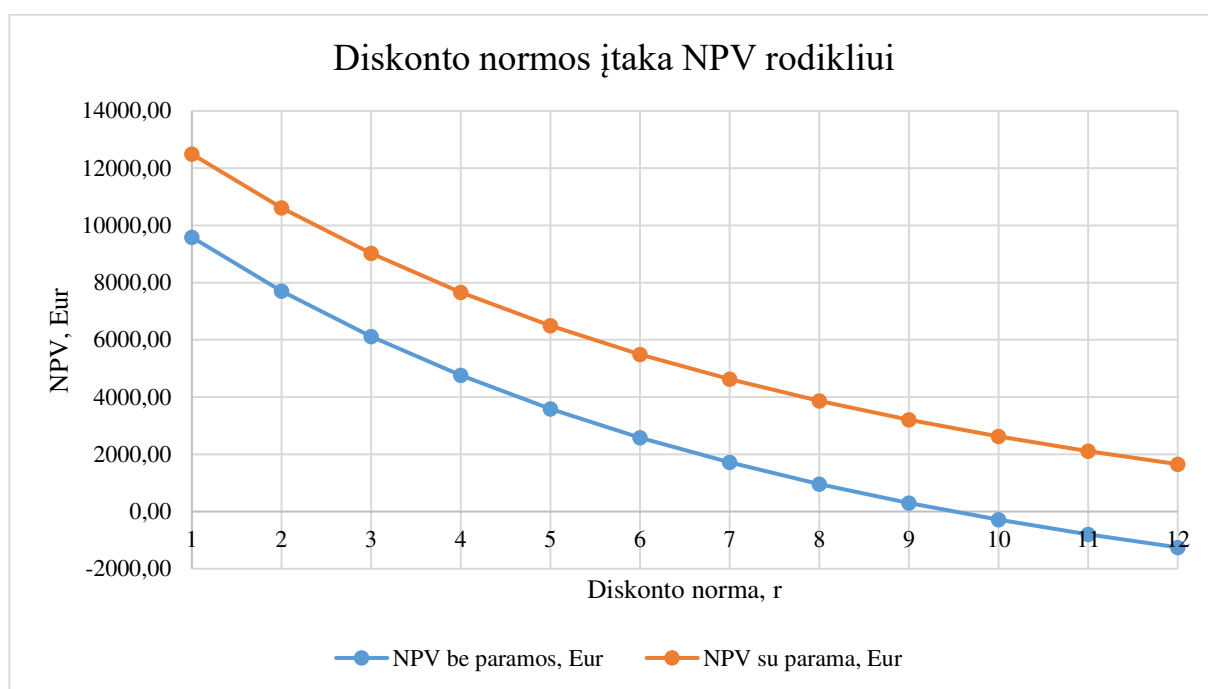
Diskonto normos įtaka NPV rodikliui pateikiama 30 lentelėje.

**30 lentelė.** 9 kW saulės parko diskonto normos įtaka NPV

Diskonto norma, %	NPV be paramos, Eur	NPV su parama, Eur
1	9584,54	12491,54
2	7708,95	10615,95
3	6116,03	9023,03
4	4756,45	7663,45
5	3590,31	6497,31
6	2585,24	5492,24
7	1714,84	4621,84
8	957,52	3864,52
9	295,56	3202,56
10	-285,66	2621,34
11	-798,23	2108,77
12	-1252,20	1654,80

Atveju be paramos diskonto normai esant 10 % gaunama neigiama NPV vertė, tai reiškia, kad diskonto normai pasiekus tokią ribą projektas taptų nuostolingų. Atveju su parama prie 12 % diskonto normos vis tiek gaunamas 1654,80 Eur NPV vertė. Tai parodo, kad projektas su parama prie

tokios diskonto normos vis tiek būtų ekonomiškai naudingas. Diskonto normos įtaka NPV pateikiama 32 paveikslėlyje.



32 pav. Diskonto normos įtaka NPV

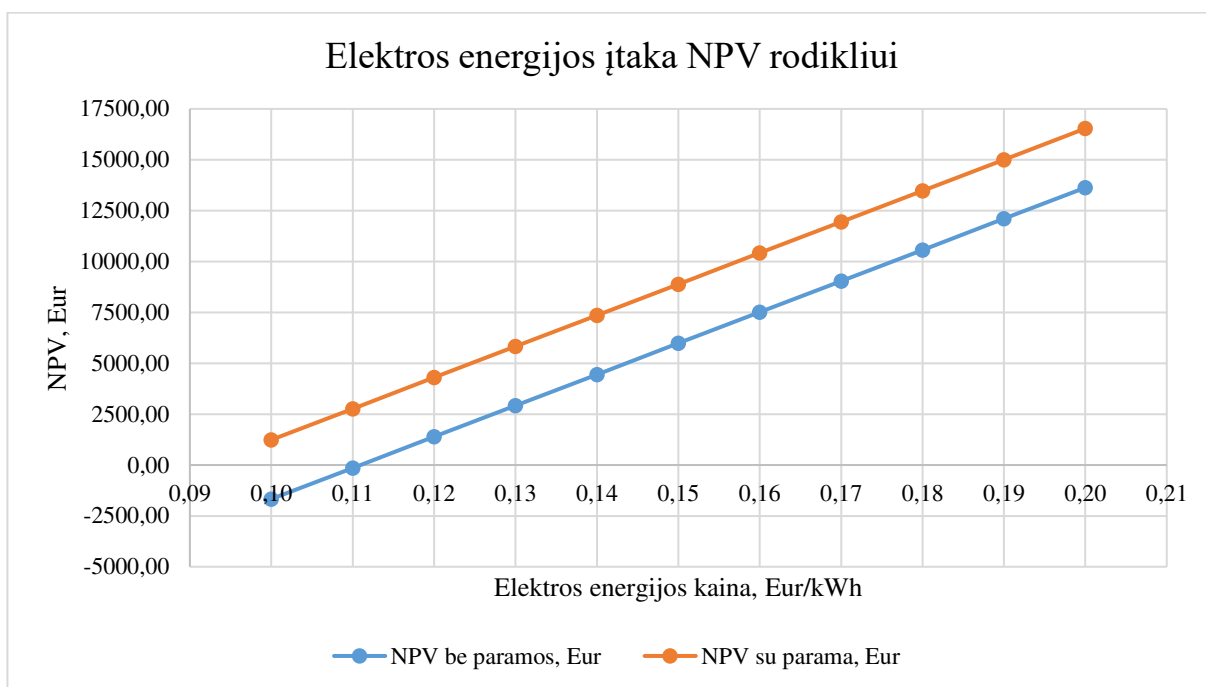
Trečias kriterijus, pagal kurį atliekama jautrumo analizė yra elektros energijos kainos įtaka NPV ir investicijų atsipirkimui. 31 lentelėje pateikiami gauti skaičiavimų rezultatai.

31 lentelė. 9 kW saulės parko elektros kainos įtaka ekonominiams rodikliams

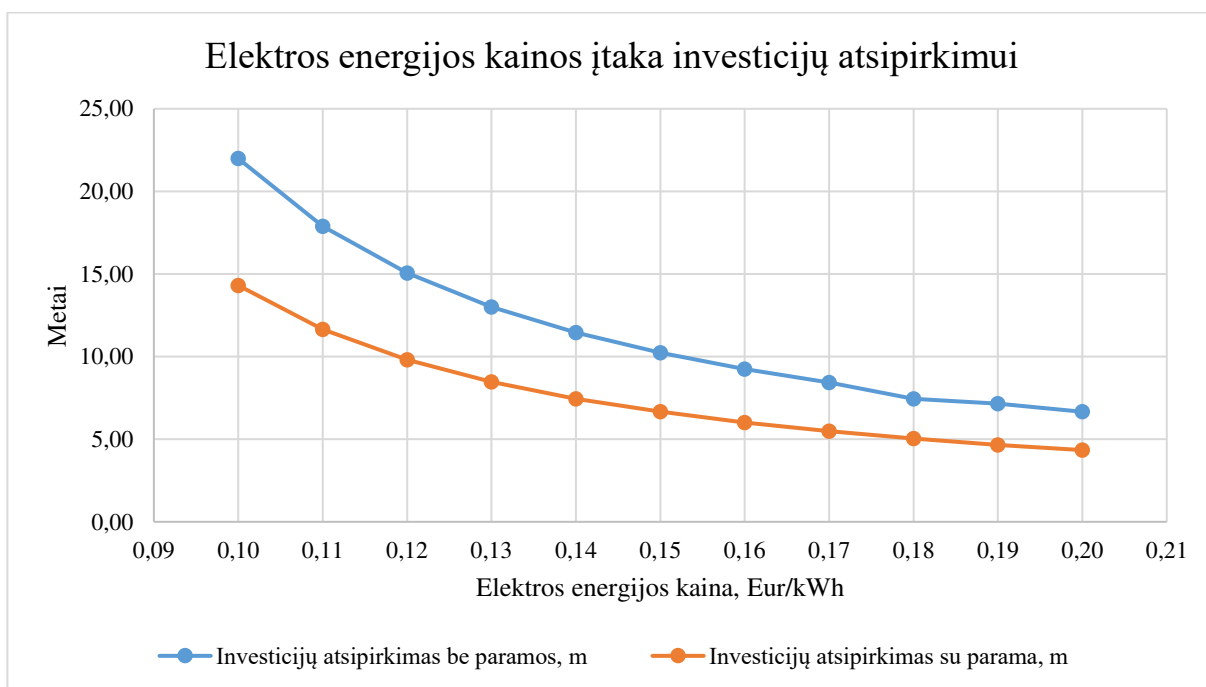
Elektros kaina, Eur/kWh	NPV be paramos, Eur	Investicijų atsipirkimas be paramos, m	NPV su parama, Eur	Investicijų atsipirkimas su parama, m
0,10	-1670,27	21,99	1236,73	14,31
0,11	-140,25	17,88	2766,75	11,65
0,12	1389,77	15,06	4296,77	9,80
0,13	2919,80	13,01	5826,80	8,47
0,14	4449,82	11,45	7356,82	7,45
0,15	5979,85	10,23	8886,85	6,66
0,16	7509,87	9,24	10416,87	6,01
0,17	9039,89	8,43	11946,89	5,48
0,18	10569,92	7,44	13476,92	5,04
0,19	12099,94	7,16	15006,94	4,66
0,20	13629,96	6,66	16536,96	4,34

Be paramos saulės parkas būtų nuostolingas, jei elektros energijos kaina sumažėtų iki 0,11 Eur/kWh, o investicijų atsipirkimas išaugtų iki 18 metų. O elektros energijos kainai padidėjus iki 0,20 Eur/kWh NPV būtų 13629,96 Eur, o investicijos atsipirktų po 6,66 metų. Projektui su parama, elektros energijos kaina sumažėjus iki 0,10 Eur/kWh būtų gaunama 1 236,73 Eur NPV, o investicijos atsipirktų po 14,31 metų. Kainai padidėjus iki 0,20 Eur/kWh NPV būtų 16536,96 Eur, o projekto

investicijos atsipirktų po 4,34 metų. 33 paveikslėlyje pateikiama elektros energijos kainos įtaka NPV rodikliui, o 34 paveikslėlyje elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui.



33 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV



34 pav. Elektros energijos kainos įtaka investicijų atsipirkimui

Iš grafikų matyti, kad elektros energijos kaina turi didelės įtakos projekto NPV vertei, bei investicijų atsipirkimo laikui. Elektros energijos kainai išaugus iki 0,20 Eur/kWh projektas su parama galėtų atsipirkti vos per 4 metus.

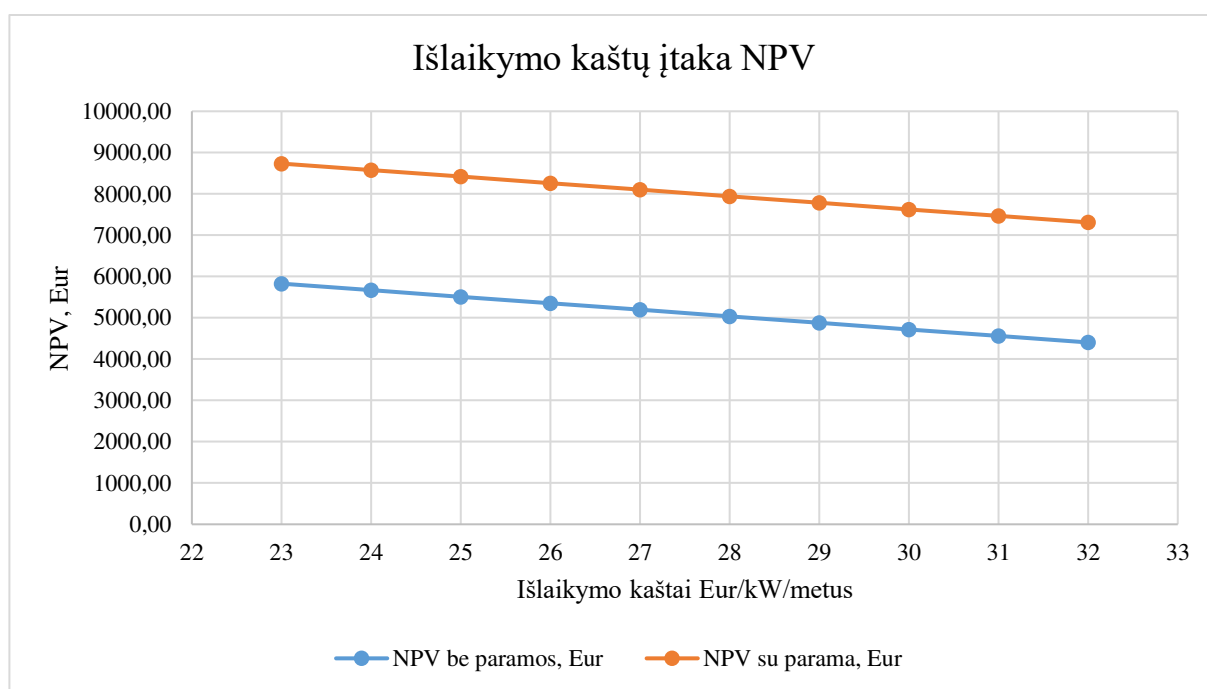
Ketvirtas kriterijus, pagal kurį atliekama jautrumo analizė yra saulės elektrinės išlaikymo kaštai, 32 lentelėje pateikiami apskaičiuoti NPV ir investicijų atsipirkimo laikai.

**32 lentelė.** 9 kW saulės parko išlaikymo kaštų įtaka ekonominiams rodikliams

Išlaikymo kaštai, Eur/kW/metūs	NPV be paramos, Eur	Investicijų atsipirkimas be paramos, m	NPV su parama, Eur	Investicijų atsipirkimas su parama, m
23	5826,84	10,34	8733,84	6,73
24	5668,66	10,46	8575,66	6,81
25	5510,47	10,58	8417,47	6,88
26	5352,28	10,70	8259,28	6,96
27	5194,09	10,82	8101,09	7,04
28	5035,91	10,95	7942,91	7,13
29	4877,72	11,08	7784,72	7,21
30	4719,53	11,22	7626,53	7,30
31	4561,34	11,35	7468,34	7,39
32	4403,16	11,50	7310,16	7,48

Saulės parko išlaikymo mokestis nedaro didelės įtakos projekto ekonominiams rezultatams. Kainai išaugus nuo 23 Eur/kWh iki 32 Eur/kWh NPV vertė sumažėja 1423,68 Eur, o investicijų atsipirkimas projektui be paramos išauga 1,16 metais, o su parama 0,75 metais.

Išlaikymo kaštams išaugus 39 % ekonominiai rodikliai reikšmingai nepasikeičia, todėl galima teigti, kad išlaikymo kaštų pasikeitimas didesnės įtakos projekto rezultatams nedaro. Išlaikymo kaštų įtaka NPV rodikliui pateikiama 35 paveikslėlyje.



**35 pav.** Išlaikymo kaštų įtaka NPV

#### 4.2.5. 9 kW saulės parko nuoma

Skaičiavimams priimama, kad saulės parkas bus išsinuomojamas 25 metų laikotarpiui. 33 lentelėje pateikiami 9 kW saulės parko nuomos kaštai.

**33 lentelė.** 3 kW saulės parko nuomos kaštai

Komponentas	Kiekis, vnt.	Vieneto kaina, Eur	Bendra kaina, Eur
1 kW nuomos kaina	9	91	819
Pasinaudojimo tinklu mokestis per metus	9	31,65	284,85
Viso:			1103,85

1 kW galios saulės parko nuoma per metus kainuoja 91 Eur, 9 kW galios saulės parkas per metus kainuos 819 Eur, dar 284,85 Eur teks mokėti už pasinaudojimą elektros tinklais. Ekonominiai rodikliai apskaičiuojami naudojantis 4.2.5 skyriaus formulėmis. Ekonominiai rodikliai pateikiami 34 lentelėje.

**34 lentelė.** 9 kW saulės parko nuomos ekonominiai rodikliai

Nr.	Rodikliai	Nuoma
1	NPV, Eur	3 359,95
2	IRR, %	-
3	LCOE, Eur/kWh	0,094
4	PP, m	-
5	PPD, m	-

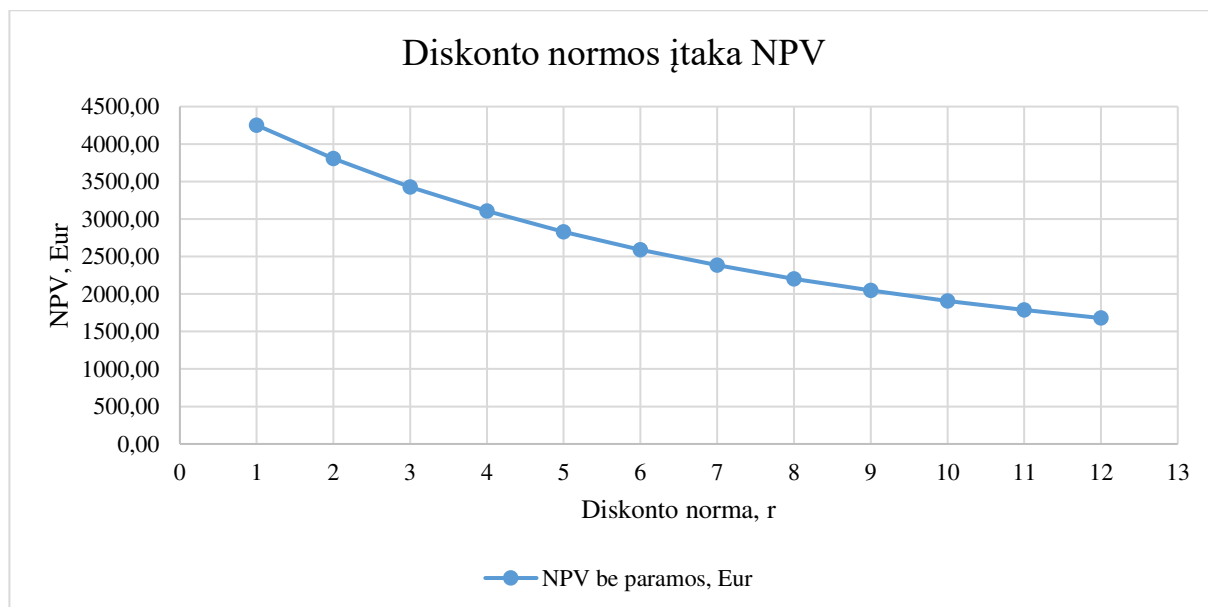
Nutarus nuomotis saulės parko dalį grynoji dabartinė vertė būtų 3359,95 Eur. Svertiniai elektros energijos gamybos kaštai būtų 0,094 Eur/kWh. Vidinė gražos norma ir investicijų atsipirkimas nėra apskaičiuojami, kadangi projektas jau pirmaisiais metais mažina išlaidas elektros energijai.



#### 4.2.6. Jautrumo analizė 9 kW saulės parko nuomos atveju

Jautrumo analizė 9 kW saulės parko nuomai atliekama pagal diskonto normą, elektros energijos kainą ir saulės parko nuomos kainą. Analizei atlikti keičiamas vienas kriterijus nustatytose ribose, kitus kriterijus išlaikant tokius pat. Gauti rezultatai palyginami ir nustatoma, kurie kintamieji daro didžiausią įtaką.

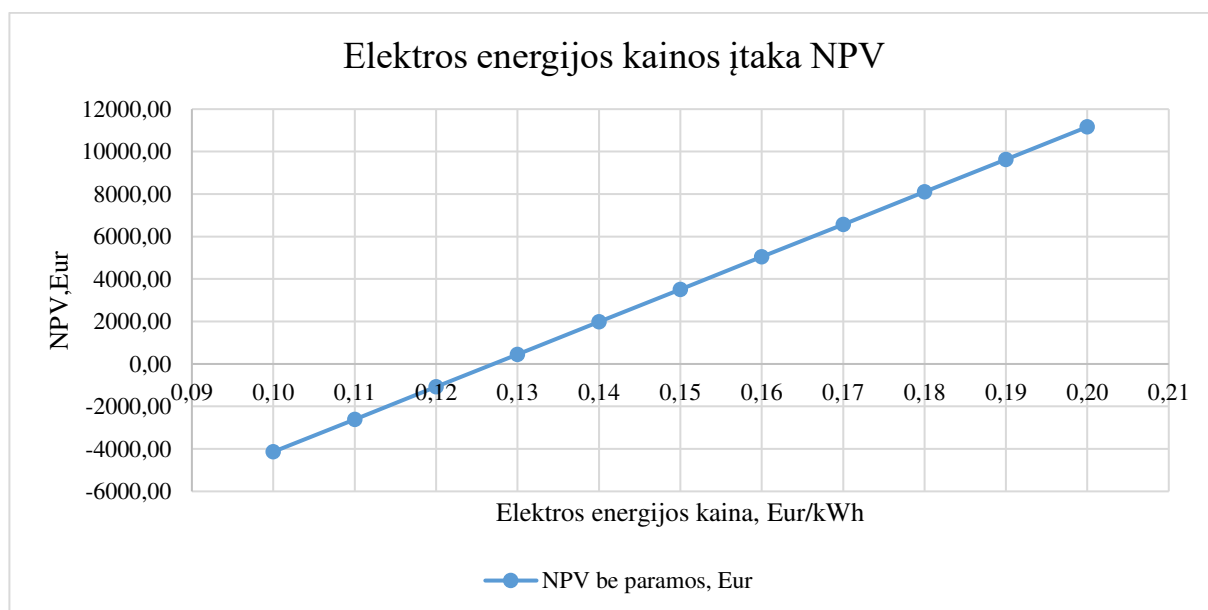
Diskonto normos įtaka NPV pateikiama 36 paveikslėlyje



36 pav. Diskonto normos įtaka NPV

Diskonto normai esant 1 % grynoji dabartinė vertė yra 4252,10 Eur. Diskonto normai išaugus nuo 1 % iki 12 % NPV vertė sumažėja 2,5 karto iki 1679,23 Eur. Nedidelis diskonto normos pasikeitimas turi didelės įtakos projekto finansiniams rezultatams.

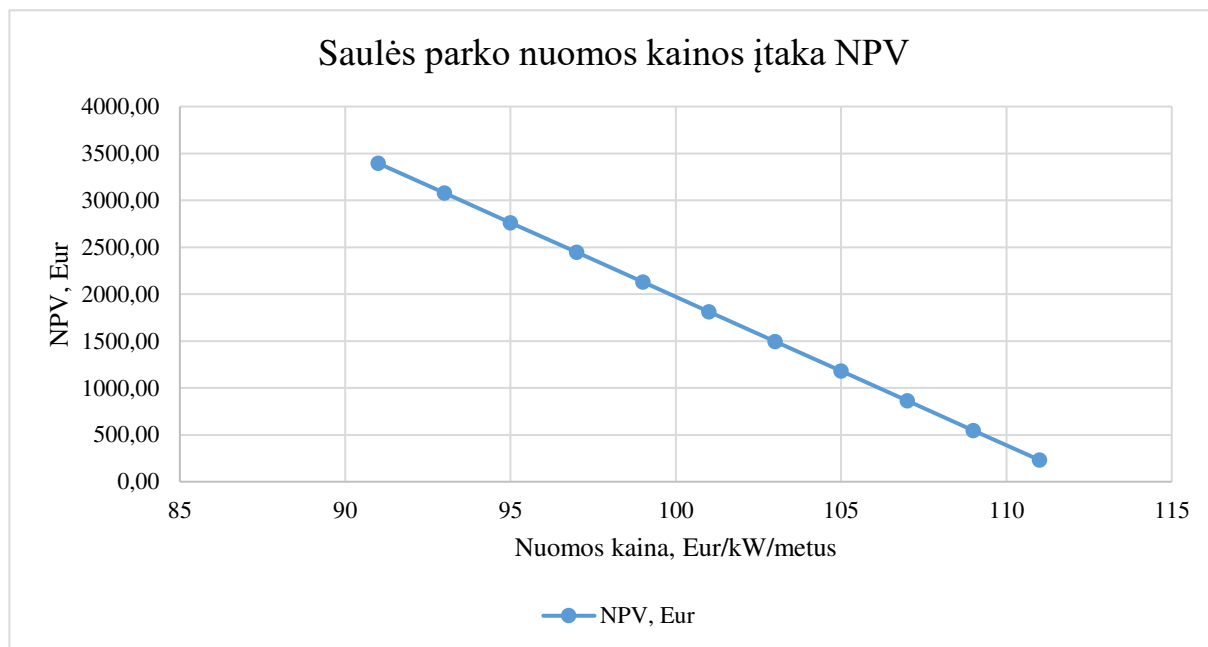
Elektros energijos kainos įtaka NPV pateikiama 37 paveikslėlyje.



37 pav. Elektros energijos kainos įtaka NPV

Elektros energijos kainai sumažėjus iki 0,13 Eur/kWh saulės parko nuoma taptų nuostolinga, saulės parko sutaupymai neatsvertų nuomos kainos ir pasinaudojimo tinklais mokesčio. Tačiau jei elektros energijos kaina išaugtų 34 % iki 0,20 Eur/kWh, grynoji dabartinė vertė būtų 11163,07 Eur. Elektros energijos kaina saulės parko nuomai daro didelę įtaką jos ekonominiams rezultatams.

Saulės parko nuomos kainos įtaka projekto NPV pateikta 38 paveikslėlyje.



**38 pav.** Saulės parko nuomos kainos įtaka NPV

Šiuo metu saulės parko nuomos kaina už 1 kW yra 91 Eur. Esant tokiai kainai NPV yra 3395,10 Eur. Nuomos kainai išaugus 11 % iki 101 Eur/kW/metus NPV sumažėja iki 1813,22 Eur. Nuomai pabrangus 22 % iki 111 Eur/kW/metus NPV būtų 231,35 Eur. Tokiu atveju reikėtų įvertinti ar projektas toliau finansiškai naudingas ir vertą jį tęsti.

Atlikus jautrumo analizę saulės parko nuomai, pastebima, kad didelę įtaką ekonominiams rodikliams daro visi trys parinkti kintamieji.

#### **4.2.7. Skirtingų investavimo galimybių į 9 kW galios saulės elektrines palyginimas**

Atlikus visus ekonominius skaičiavimus 9 kW saulės elektrinei ant gyvenamojo namo ir 9 kW saulės parko dalies pirkimui, bei nuomai gauti rezultatai pateikti 35 lentelėje.

**35 lentelė.** 9 kW investavimo alternatyvų palyginimas

Nr.	Rodikliai	Ant namo stogo		Saulės parkas		
		Atsiskaitant už kWh, be paramos	Atsiskaitant už kWh, su parama	Pirkimas be paramos	Pirkimas su parama	Parko nuoma
1	NPV, Eur	9 229,38	12 136,38	5 826,84	8 733,84	3 395,10
2	IRR, %	12,35%	20,70%	9,49%	17,06%	-
3	LCOE, Eur/kWh	0,060	0,041	0,078	0,059	0,094
4	PP, m	8,60	5,78	10,34	6,73	-
5	PPD, m	9,85	6,27	12,28	7,43	-

Saulės elektrinės ant namo atveju, atlikti skaičiavimai visiems atsiskaitymo būdams norint nustatyti, kuris būdas ekonomiškai naudingiausias gaminančiam vartotojui. Pagal žinomą elektros energijos suvartojimą, kai didelė elektros energijos dalis sunaudojama dienos metu, gauta, kad priimtinausias atsiskaitymo būdas yra už į tinklą tiekiamas elektros energijos kilovatvalandes. Pasirinkus šį atsiskaitymo būdą gauta didžiausia grynoji dabartinė vertė bei vidinė gražos norma. Įsirengiant saulės elektrinę be paramos būtų gaunama 9229,38 Eur NPV, IRR lygi 12,35 %, o LCOE siektų 0,060 Eur/kWh. Pasinaudojus valstybės teikiama parama NPV išauga 31 % iki 12136,38 Eur. IRR padidėja iki 20,70 %, o LCOE sumažėja beveik 2 centais iki 0,041 Eur/kWh. Investicijų atsipirkimas sutrumpėja 3 metais iki 5,78 metų, o diskontuotos investicijos atsipirktų per 6,27 metus.

Pasirinkus saulės parko pirkimo alternatyvą taip pat įvertinta kokia ekonominė nauda būtų gaunama be valstybės teikiamos paramos ir su parama. Projektui be paramos NPV yra 5826,84 Eur, IRR 9,49 %, LCOE 0,078 Eur/kWh, investicijos atsipirktų po 10,34 metų. Projektui su parama NPV vertė išaugtų 50 % iki 8733,84 Eur, IRR padidėtų iki 17,06 %, LCOE sumažėtų iki 0,059 Eur/kWh, o projekto investicijos atsipirktų po 6,73 metų.

Saulės parko nuomos atveju NPV siekia 3395,10 Eur. LCOE 0,094 Eur/kWh. Kiti ekonominiai rodikliai nebuvo apskaičiuoti, nes elektros išlaidos sumažinamos jau pirmaisiais metais ir papildomos investicijos šiuo atveju nereikalingos.

Iš visų siūlomų alternatyvų ekonomiškai naudingiausia pasirinkti saulės elektrinę ant gyvenamojo namo. Lyginant su saulės parko dalies pirkimu gaunam 39 % didesnė NPV vertė, IRR didesnė 3,64 %, LCOE mažesnė beveik dviem centais, o investicijos atsiperka metais greičiau. Pasirinkus saulės parko nuomą gaunama palyginti maža grynoji dabartinė vertė, o LCOE lyginant su saulės elektrinė ant gyvenamojo namo išauga daugiau nei du kartus iki 0,094 Eur/kWh.

Jautrumo analizė parodė, kad didžiausią įtaką ekonominiams rezultatams daro elektros energijos kaina, diskonto norma ir saulės parko nuomos kaina. Vienam ar keliems rodikliams pasikeitus projektas gali tapti nuostolinga arba atvirkščiai pelningu. Mažiausiai įtakos ekonominiams rodikliams turi saulės modulių kaina, moduliams atpigus 20 % ekonominiai rodikliai pasikeičia labai nežymiai.

## Išvados

1. Pirmuoju analizuojamu atveju, įgyvendinant projektą ant nuosavo namo su valstybės teikiama parama ir įvertinus visus atsiskaitymo būdus gauta, kad ekonomiškai naudingiausia pasirinkti atsiskaitymo būdą už elektrinės instaliuotą galią. Gauti ekonominiai rodikliai: NPV - 3406,12 Eur, IRR - 15,80 %, LCOE - 0,047 Eur/kWh, investicijos atsiperka per 7,14 metus, o diskontuotos investicijos po 7,95 metų. Pirmoji alternatyva 3 kW saulės elektrinei ant gyvenamojo namo yra saulės parko pirkimas su parama. NPV - 2791,69 Eur. IRR - 16,50 %, LCOE - 0,060 Eur/kWh, investicijos atsiperka po 6,90 metų, diskontuotos investicijos po 7,65 metų. Antroji alternatyva yra saulės parko nuoma. NPV - 994,53 Eur, LCOE - 0,096 Eur/kWh.
2. Atveju, kai elektros energijos poreikis yra apie 3000 kWh elektros energijos, tiek saulės elektrinė ant gyvenamojo namo, tiek saulės parko pirkimas teikia panašią ekonominę naudą. Abiem atvejais investicijos atsiperka per 7 metus. Elektrinės ant gyvenamojo namo atveju NPV gaunama 614,43 Eur didesnė, o LCOE mažesnė 0,013 Eur/kWh. Saulės parko nuoma gaminančiam vartotojui teikia mažiausiai ekonominės naudos. Tačiau sutaupymai elektros energijai gaunami iš karto ir nereikalingos didelės pradinės investicijos.
3. Antruoju analizuojamu atveju, įvertinus visus atsiskaitymo būdus gauta, kad ekonomiškai naudingiausias atsiskaitymo būdas yra atsiskaitymas už atgautos elektros energijos kilovatvalandes (kWh). Gauti ekonominiai rodikliai: NPV - 12136,38 Eur, IRR - 20,70 %, LCOE - 0,041 Eur/kWh, investicijos atsiperka per 5,78 metus, diskontuotos investicijos 6,27 metus. Pasirinkus saulės parko pirkimą gaunami tokie ekonominiai rodikliai: NPV - 8733,84 Eur, IRR - 17,06 %, LCOE - 0,059 Eur/kWh, investicijos atsiperka per 6,73 metus, diskontuotos investicijos per 7,43 metus. Saulės parko nuomos atveju NPV - 3395,10 Eur, LCOE - 0,094 Eur/kWh.
4. Atveju, kai elektros energijos poreikis yra 8840 kWh elektros energijos ir didžioji dalis elektros energijos suvartojama tiesiogiai, ekonomiškai naudingiausia saulės elektrinę statyti ant gyvenamojo namo, NPV didžiausia, o atsipirkimo laikas trumpiausias. Saulės parko pirkimo atveju NPV mažesnė 3402,54 Eur, LCOE didesnė 0,018 Eur/kWh, o investicijų atsipirkimas pailgėja vienais metais. Nusprendus nuomotis saulės parko dalį, gaunama mažiausiai ekonominės naudos, tačiau sutaupymai elektros energijai gaunami dar pirmaisiais metais, taip pat nereikalingos didelės pradinės investicijos.
5. Saulės parko dalį naudinga pirkti atveju, kai į tinklą tiekama daugiau nei 70 % pagamintos elektros energijos. Šiuo atveju ekonominiai rodikliai tarp elektrinės ant namo stogo ir saulės parko dalies skiriasi labai nežymiai. Jei tiesiogiai suvartojam apie 50 % elektros energijos, pelningiausia rinktis saulės elektrinę ant namo stogo.
6. Visiems atvejams atlikus jautrumo analizes nustatyta, kad didžiausią įtaką ekonominiams rodikliams turi elektros kaina, diskonto norma ir parko nuomos kaina. Mažiausiai įtakos turi saulės modulių kaina.

## Literatūros sąrašas

1. Shahnazi R., Shabani Z. D., (2019) Do renewable energy production spillovers matter in the EU? [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119319950>
2. Bamati N., Raoofi A. (2019). Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119317914>
3. Kiwan S., Al-Gharibeh E. (2018). Jordan toward a 100% renewable electricity system. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119313345>
4. Timilsina G. R., Kurdgelashvili L., Narbel P. A. (2011). Solarenergy: Markets,economics and policies [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111004199>
5. Yan Heng, Chao-Lin Lu, Luqing Yu, Zhifeng Gao (2019). The heterogeneous preferences for solar energy policies among US households. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519307736>
6. Adenle A. (2019). Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 agenda and sustainable development goals. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519307669>
7. Bazilian M., Onyeji I., Liebreich M., MacGill I., Chase J., Shah J., Gielen D., Arent D., Landfear D., Zhengrong S. (2013). Re-considering the economics of photovoltaic power. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112007641>
8. Jianjun Jin, Xinyu Wan, Yongsheng Lin, Foyuan Kuang, Jing Ning (2019). Public willingness to pay for the research and development of solar energy in Beijing, China. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151930549X>
9. Wahab A., Hassan A., Qasim M. A., Ali H. M., Babar H., Sajid M. U. (2019). Solar energy systems – Potential of nanofluids. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732219323645>
10. Mussard M. (2017). Solar energy under cold climatic conditions: A review [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117303258>
11. Yan Li, Chunlu Liu (2017). Estimating solar energy potentials on pitched roofs. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816320199>
12. Jacksohn A., Grosche P., Rehdanz K., Schroder C. (2019). Drivers of renewable technology adoption in the household sector. [Žiūrėta 2019-10-15] Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988319301070>

13. Matulionytė-Jarašūnė E. (2012). Atsinaujinančių energijos išteklių vystymas energetinio saugumo kontekste. [Žiūrėta 2020-01-22] Prieiga per internetą: <https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2012~1370506983207/>
14. Vasarevičius D. (2011). Atsinaujinančių šaltinių panaudojimo ir perspektyvų Lietuvoje analizė. [Žiūrėta 2020-01-22] Prieiga per internetą: <https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2011~1367175739466/>
15. Petrauskas, G., Adomavičius, V. (2012). Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti (pp. 21-28). Kaunas: Technologija. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2020-01-22] Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/999/saules-energijos-naudojimas-elektrai-gaminti/>
16. Why PV Costs Have Fallen So Far—and Will Fall Further. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2020-01-15] Prieiga per internetą: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/why-pv-costs-have-fallen-so-far-and-will-fall-further>
17. Austin, R. (2019). As Costs Fall, Global Solar Capacity Ramps Up. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2020-01-15] Prieiga per internetą: <https://solartribune.com/as-costs-fall-global-solar-capacity-ramps-up/>
18. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [Žiūrėta 2020-01-03] Prieiga per internetą: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
19. Polycrystalline vs Monocrystalline Solar Panels. [Žiūrėta 2020-01-03] Prieiga per internetą: <https://www.solarquotes.com.au/panels/photovoltaic/monocrystalline-vs-polycrystalline/>
20. Polycrystalline and Monocrystalline Structur. [Žiūrėta 2020-01-03] Prieiga per internetą: <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/atomic-scale-structure/intro.php>
21. Monocrystalline and polycrystalline solar panels: what you need to know. [Žiūrėta 2020-01-03] Prieiga per internetą: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
22. Gaminantys vartotojai Lietuvoje: ilgalaikė vizija. Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija (2018) [Žiūrėta 2020-01-03] Prieiga per internetą: [https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/ENMIN\\_gaminantys\\_vartotojai\\_vizija.pdf](https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/ENMIN_gaminantys_vartotojai_vizija.pdf)
23. PVsyst Photovoltaic Software. [Žiūrėta 2020-01-22] Prieiga per internetą: <https://www.pvsyst.com/>
24. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūra. Elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginių įrengimas namų ūkiuose (Gaminsiu ir vartosiu elektrą tame pačiam objekte) Nr. VP-EM-E02 [Žiūrėta 2020-01-22] Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/parama-fiziniam-asmenims/>
25. Ignitis. Saulės parkai. [Žiūrėta 2020-01-22] Prieiga per internetą: <https://www.saulesparkai.lt/projektai>
26. Meteororm 7.2 [Žiūrėta 2020-01-23] Prieiga per internetą: <https://meteororm.com/en/>

27. Gaminančių vartotojų atsiskaitymo būdai. [Žiūrėta 2020-01-23] Prieiga per internetą: <https://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/gaminanciu-vartotoju-kainos.html>
28. Valstybinė Energetikos Reguliavimo Tarnyba. Patvirtinti 2020 m. elektros energijos tarifai buitiniams vartotojams [Žiūrėta 2020-01-23] Prieiga per internetą: <https://www.regula.lt/Puslapiai/naujienos/2019-metai/2019-lapkritis/2019-11-28/patvirtinti-2020-m-elektros-energijos-tarifai-buitiniams-vartotojams.aspx>
29. Canadian Solar CS3K-300P moduliai [Žiūrėta 2020-04-11] Prieiga per internetą: <http://www.sauleselektros.lt/lt/saules-moduliai/canadian-solar-cs3k-300p-300w-poly>
30. Huawei SUN2000-3KTL inverteris [Žiūrėta 2020-04-11] Prieiga per internetą: <https://greenup.lt/produktas/itampos-keitiklis-huawei-sun2000-3ctl-m0/>
31. Elektros kaina nuo 2020 Sausio 1 d. [Žiūrėta 2020-04-13] Prieiga per internetą: <https://ignitis.lt/lt/elektros-energijos-kainos-namams-nuo-2020-sausio-1-dienos>
32. Valstybinė Energetikos Reguliavimo Tarnyba. Pažyma dėl didžiausios elektros energijos, pagamintos iš atsinaujinančių išteklių, kainos patvirtinimo 2019 m. gegužės 28 d. Nr O5E-141 Vilnius. [Žiūrėta internete 2020-04-13] Prieiga per internetą: [https://www.regula.lt/SiteAssets/posedziai/2019-05-30/1\\_dk\\_pazyma.pdf](https://www.regula.lt/SiteAssets/posedziai/2019-05-30/1_dk_pazyma.pdf)
33. Huawei SUN2000-8KTL inverteris. [Žiūrėta 2020-04-14] Prieiga per internetą: <https://greenup.lt/produktas/itampos-keitiklis-huawei-sun2000-8ctl-m0/>

## **Priedai**

1. 3 kW saulės elektrinės ant namo stogo generacija.
2. 3 kW saulės parko generacija.
3. 9 kW saulės elektrinės ant namo stogo generacija.
4. 9 kW saulės parko generacija.





## Grid-Connected System: Detailed User's needs

**Project :** 3 kW elektrine  
**Simulation variant :** 3 kW saules elektrine ant namo stogo

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>		
PV Field Orientation	tilt	45°	azimuth	19°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom	300 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total	<b>3000 Wp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-3KTL	Pnom	3000 W ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global	3000 kWh/year

### Daily household consumers, Seasonal modulation, average = 8.2 kWh/day

#### Summer (Jun-Aug)

	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	5 h/day	450 Wh/day
TV / PC / Mobile	3	100 W/app	5 h/day	1500 Wh/day
Domestic appliances	1	507 W/app	5 h/day	2535 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		1 Wh/day	1000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				7227 Wh/day

#### Autumn (Sep-Nov)

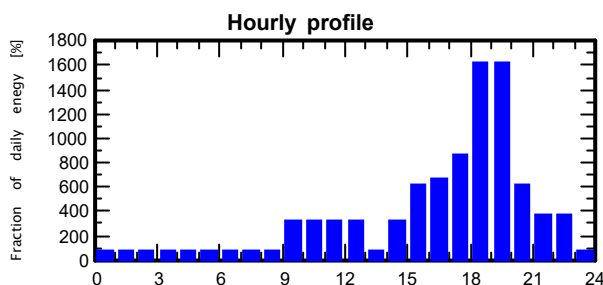
	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	6 h/day	600 Wh/day
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/day	1200 Wh/day
Domestic appliances	1	500 W/app	6 h/day	3000 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/day	2000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				8542 Wh/day

#### Winter (Dec-Feb)

	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	8 h/day	750 Wh/day
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/day	1200 Wh/day
Domestic appliances	1	500 W/app	7 h/day	3500 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/day	2000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				9192 Wh/day

#### Spring (Mar-May)

	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	5 h/day	500 Wh/day
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/day	1200 Wh/day
Domestic appliances	1	500 W/app	5 h/day	2500 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/day	2000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				7942 Wh/day



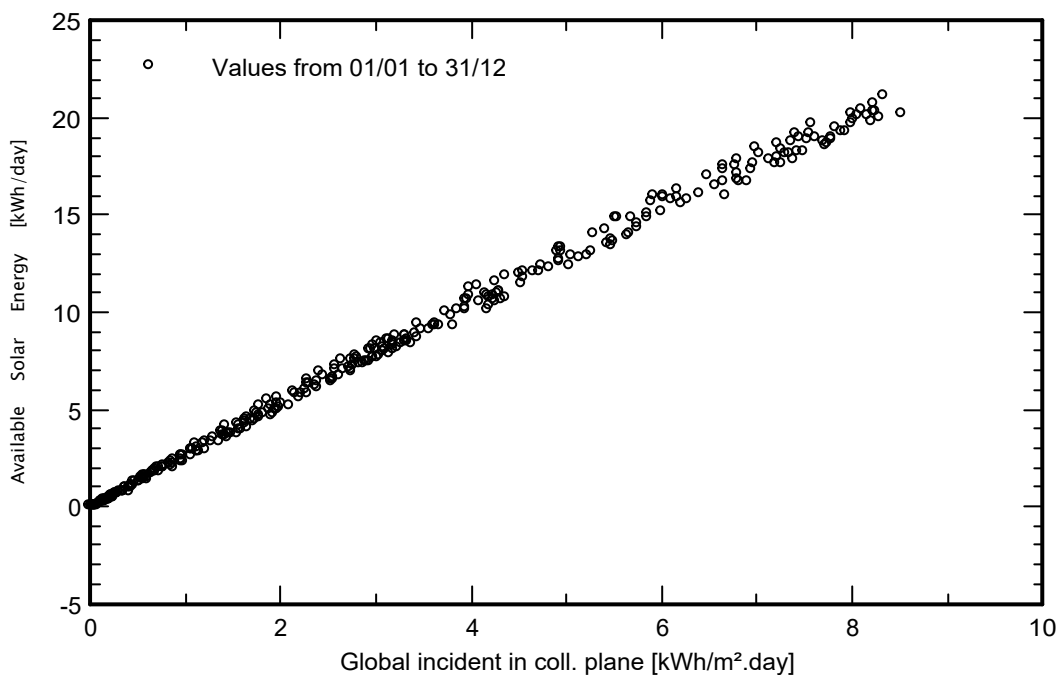


## Grid-Connected System: Special graphs

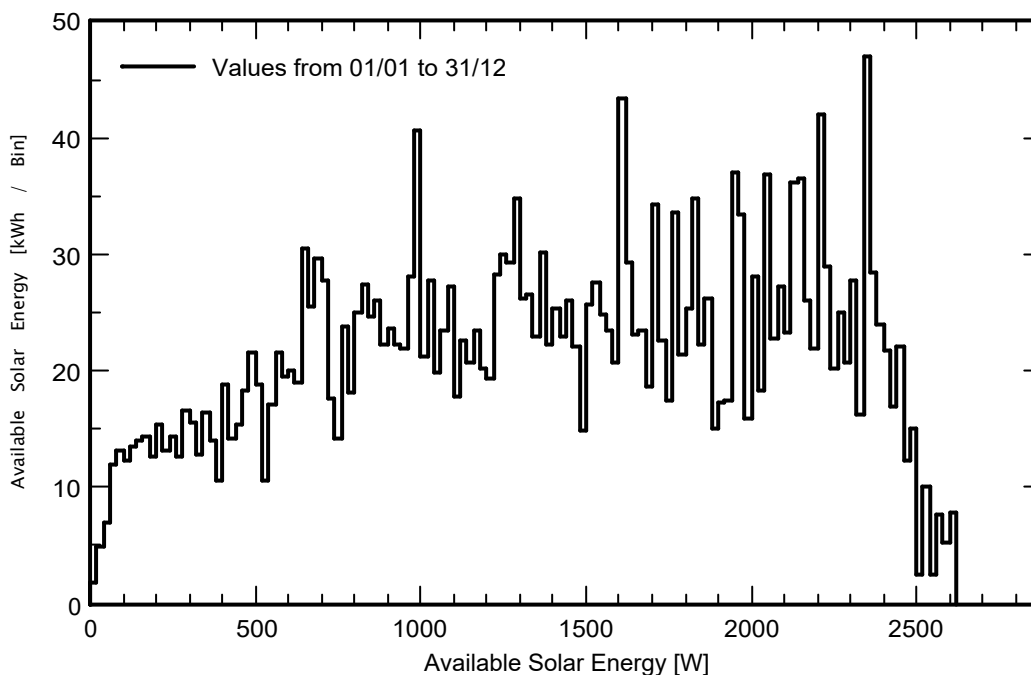
**Project :** 3 kW elektrine  
**Simulation variant :** 3 kW saules elektrine ant namo stogo

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	45°	azimuth 19°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total <b>3000 Wp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-3KTL	Pnom 3000 W ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global 3000 kWh/year

### Daily Input/Output diagram



### System Output Power Distribution

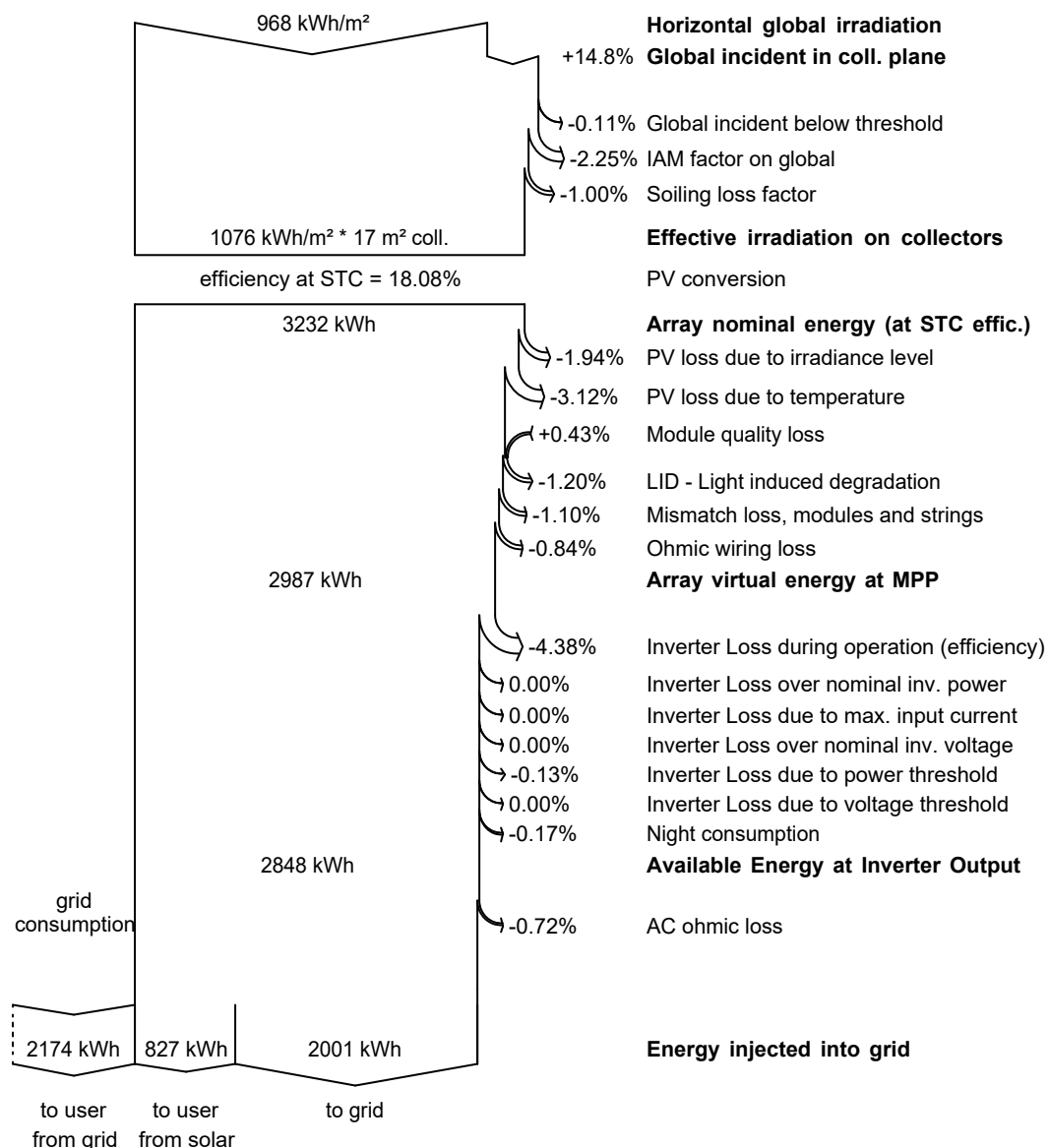


## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** 3 kW elektrine  
**Simulation variant :** 3 kW saules elektrine ant namo stogo

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	45°	azimuth 19°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total <b>3000 Wp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-3KTL	Pnom 3000 W ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global 3000 kWh/year

**Loss diagram over the whole year**





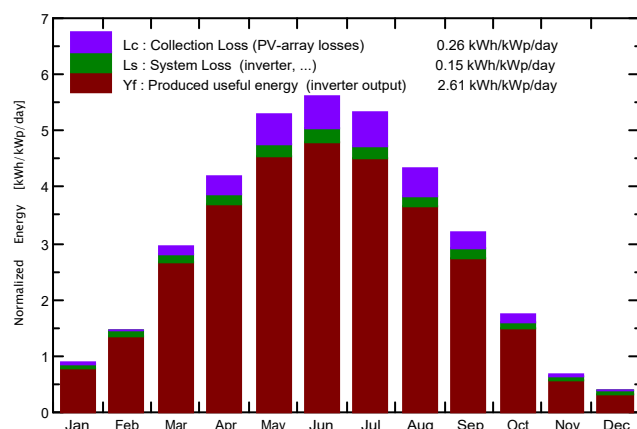
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** 3 kW elektrine  
**Simulation variant :** 3 kW saules elektrine

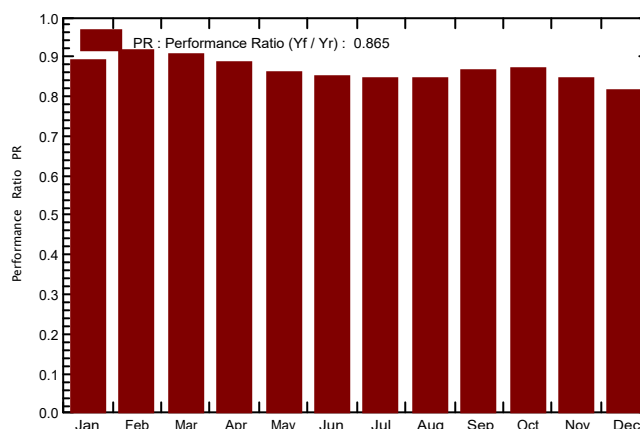
<b>Main system parameters</b>		System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation		tilt	25°	azimuth 0°
PV modules		Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array		Nb. of modules	10	Pnom total <b>3000 Wp</b>
Inverter		Model	SUN2000L-3KTL	Pnom 3000 W ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
 System Production **Produced Energy 2856 kWh/year** Specific prod. 952 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR 86.54 %

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 3000 Wp**



**Performance Ratio PR**



### 3 kW saules elektrine Balances and main results

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> kWh	<b>E_Grid</b> kWh	<b>PR</b>
<b>January</b>	15.6	9.78	-2.72	27.9	26.9	81.3	74.8	0.894
<b>February</b>	29.1	20.10	-2.88	41.5	40.1	122.2	114.5	0.919
<b>March</b>	69.7	38.32	1.23	91.5	88.4	262.4	249.5	0.909
<b>April</b>	108.3	60.45	8.26	125.5	121.0	349.2	332.8	0.884
<b>May</b>	153.6	73.82	13.52	163.7	158.0	443.2	422.5	0.861
<b>June</b>	165.0	75.49	15.89	168.5	162.8	452.6	431.0	0.853
<b>July</b>	158.8	85.61	19.21	165.1	159.5	439.4	418.6	0.845
<b>August</b>	121.9	68.14	18.09	133.9	129.1	358.2	340.6	0.848
<b>September</b>	78.2	45.44	12.88	95.5	92.2	261.1	247.6	0.864
<b>October</b>	39.9	25.85	7.70	53.7	51.9	150.3	140.6	0.872
<b>November</b>	14.2	11.23	2.77	20.4	19.7	58.1	51.9	0.847
<b>December</b>	8.2	6.43	-1.00	12.7	12.3	36.5	31.2	0.818
<b>Year</b>	962.5	520.64	7.81	1099.9	1061.7	3014.6	2855.5	0.865

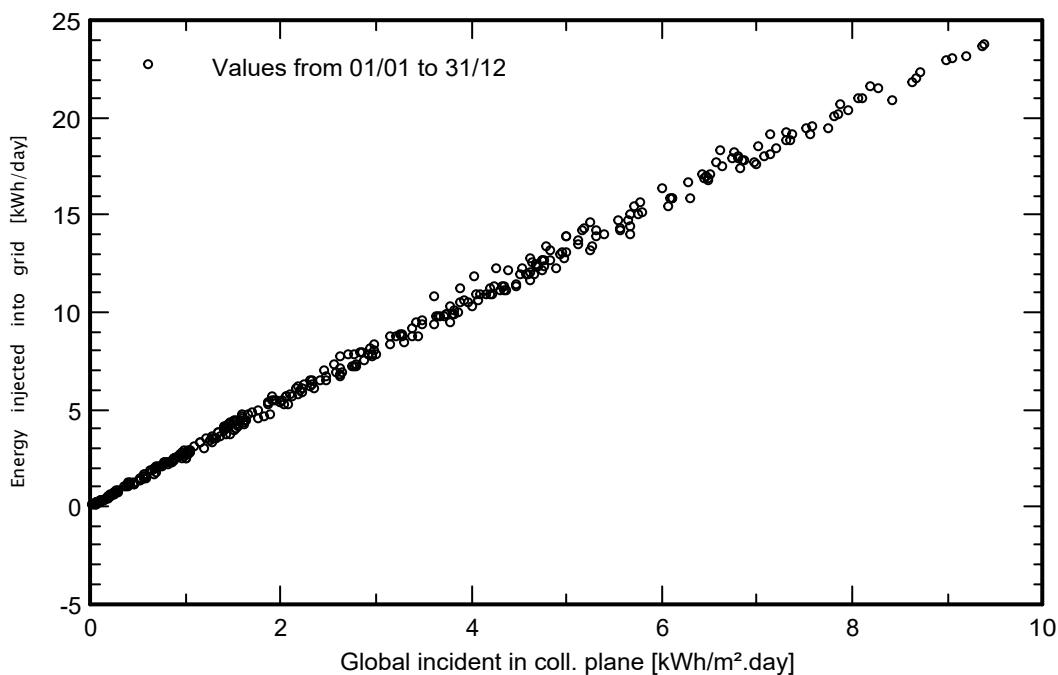
Legends:	GlobHor Horizontal global irradiation	GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor Horizontal diffuse irradiation	EArray Effective energy at the output of the array
	T_Amb T amb.	E_Grid Energy injected into grid
	GlobInc Global incident in coll. plane	PR Performance Ratio

## Grid-Connected System: Special graphs

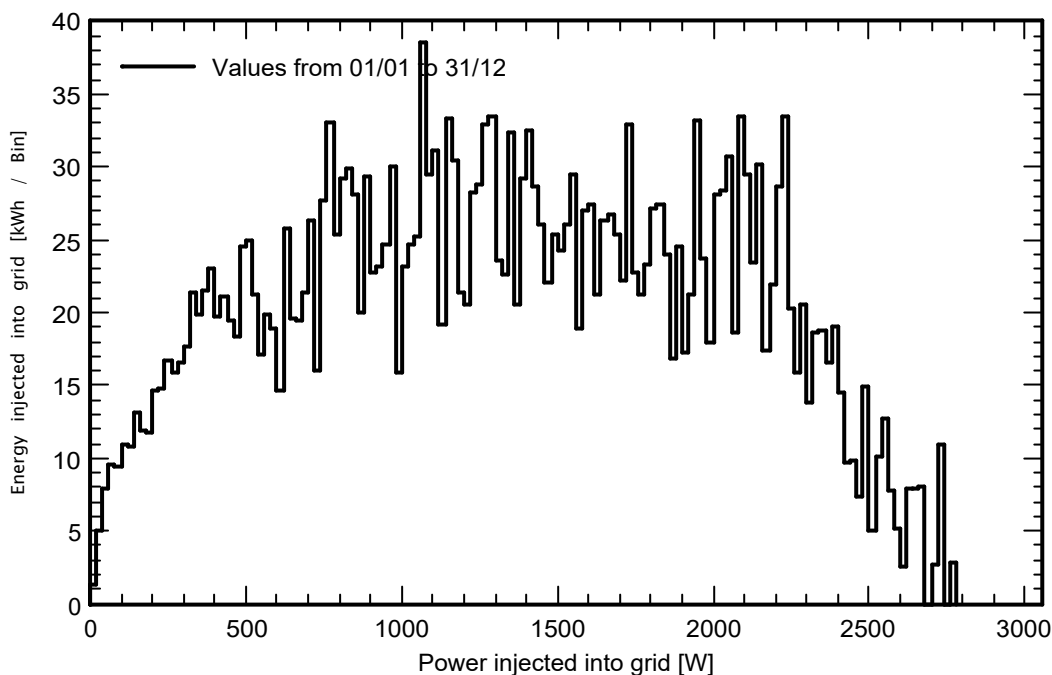
**Project :** 3 kW elektrine  
**Simulation variant :** 3 kW saules elektrine

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total <b>3000 Wp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-3KTL	Pnom 3000 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

### Daily Input/Output diagram



### System Output Power Distribution



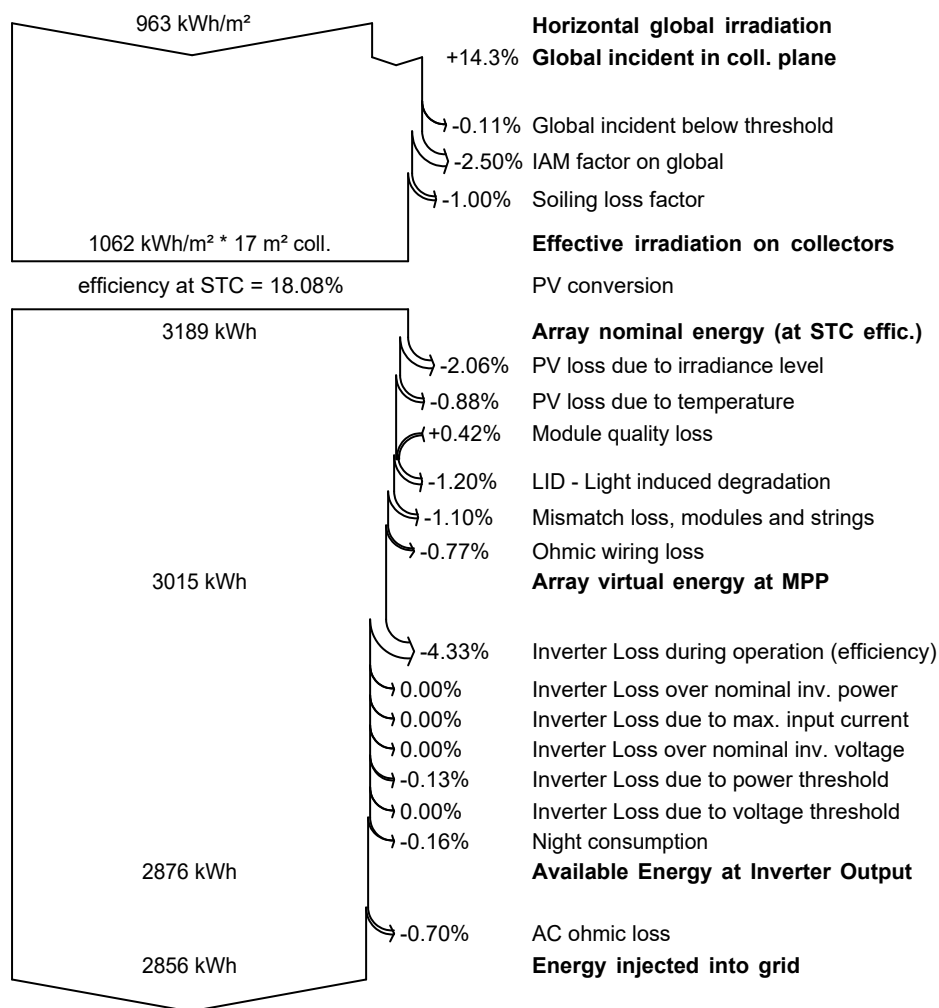


## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** 3 kW elektrine  
**Simulation variant :** 3 kW saules elektrine

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	10	Pnom total <b>3000 Wp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-3KTL	Pnom 3000 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Loss diagram over the whole year**



## Grid-Connected System: Simulation parameters

**Project :** 9 kW elektrine

**Geographical Site** **Obeniai** Country **Lithuania**

**Situation** Latitude 54.77° N Longitude 24.63° E  
 Time defined as Legal Time Time zone UT+2 Altitude 89 m

**Meteo data:** **Obeniai** Meteonorm 7.2 (1994-2010), Sat=100% - Synthetic

**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine ant namo stogo

Simulation date 27/04/20 21h37

<b>Simulation parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	45° Azimuth 19°
<b>Models used</b>	Transposition	Perez Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon	
<b>Near Shadings</b>	No Shadings	
<b>User's needs :</b>	Daily household consumers average	Seasonal modulation 24.2 kWh/Day

**PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)**

<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>CS3K-300P P4</b>
Original PVsyst database	Manufacturer	Canadian Solar Inc.	
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>			
Number of PV modules	In series	8 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	16	Unit Nom. Power 300 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>4800 Wp</b>	At operating cond. 4360 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	238 V	I mpp 18 A
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>			
Number of PV modules	In series	7 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	14	Unit Nom. Power 300 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>4200 Wp</b>	At operating cond. 3815 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	208 V	I mpp 18 A
<b>Total</b> Arrays global power	Nominal (STC)	<b>9 kWp</b>	Total 30 modules
	Module area	<b>49.8 m²</b>	Cell area 44.2 m²

<b>Inverter</b>	Model	<b>SUN2000L-8KTL-M0</b>	
Custom parameters definition	Manufacturer	Huawei Technologies	
Characteristics	Operating Voltage	90-500 V	Unit Nom. Power 8.00 kWac
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>	Nb. of inverters	1 * MPPT 50 %	Total Power 4.0 kWac
			Pnom ratio 1.20
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>	Nb. of inverters	1 * MPPT 50 %	Total Power 4.0 kWac
			Pnom ratio 1.05
<b>Total</b>	Nb. of inverters	1	Total Power 8 kWac

**PV Array loss factors**

Array Soiling Losses		Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1	217 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Array#2	190 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction 1.5 % at STC

## Grid-Connected System: Simulation parameters

LID - Light Induced Degradation

Loss Fraction 1.2 %

Module Quality Loss

Loss Fraction -0.4 %

Module Mismatch Losses

Loss Fraction 1.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction 0.10 %

Incidence effect (IAM): User defined profile

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

### System loss factors

Wires: 2x2.5 mm<sup>2</sup> 18 m

Loss Fraction 4.5 % at STC

## Grid-Connected System: Detailed User's needs

**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine ant namo stogo

<b>Main system parameters</b>		System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation		tilt	45°	azimuth 19°
PV modules		Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array		Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter		Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global	8840 kWh/year

### Daily household consumers, Seasonal modulation, average = 24.2 kWh/day

#### Summer (Jun-Aug)

	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	5 h/day	450 Wh/day
TV / PC / Mobile	3	100 W/app	5 h/day	1500 Wh/day
Domestic appliances	1	507 W/app	5 h/day	2535 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		1 Wh/day	1000 Wh/day
Workshop	1	2000 W tot	8 h/day	16000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				23227 Wh/day

#### Autumn (Sep-Nov)

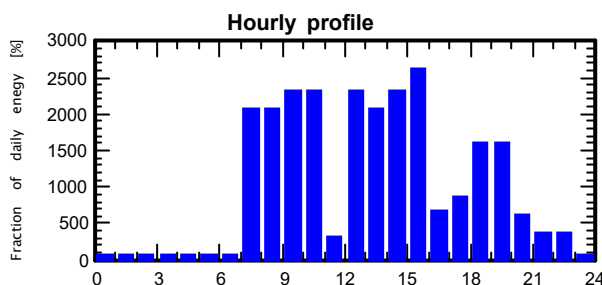
	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	6 h/day	600 Wh/day
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/day	1200 Wh/day
Domestic appliances	1	500 W/app	6 h/day	3000 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/day	2000 Wh/day
Workshop	1	2000 W tot	8 h/day	16000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				24542 Wh/day

#### Winter (Dec-Feb)

	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	8 h/day	750 Wh/day
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/day	1200 Wh/day
Domestic appliances	1	500 W/app	7 h/day	3500 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/day	2000 Wh/day
Workshop	1	2000 W tot	8 h/day	16000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				25192 Wh/day

#### Spring (Mar-May)

	Number	Power	Use	Energy
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lamp	5 h/day	500 Wh/day
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/day	1200 Wh/day
Domestic appliances	1	500 W/app	5 h/day	2500 Wh/day
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/day	1598 Wh/day
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/day	2000 Wh/day
Workshop	1	2000 W tot	8 h/day	16000 Wh/day
Stand-by consumers			24 h/day	144 Wh/day
Total daily energy				23942 Wh/day



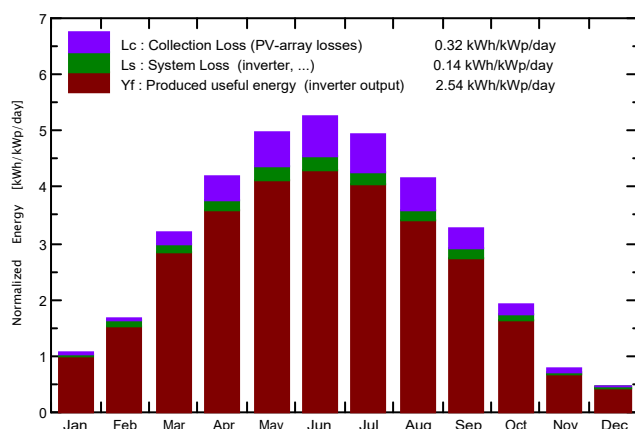
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine ant namo stogo

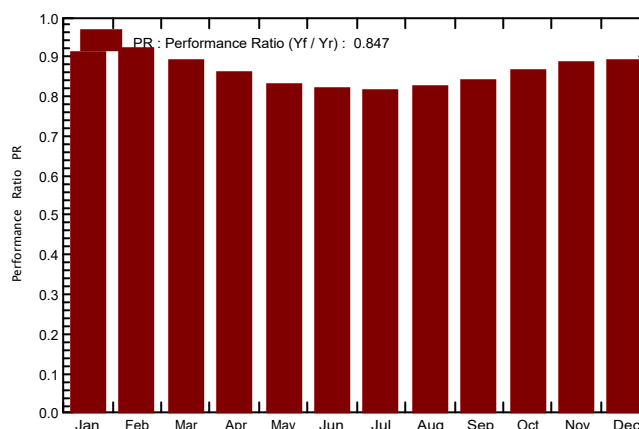
<b>Main system parameters</b>		System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation		tilt	45°	azimuth 19°
PV modules		Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array		Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter		Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global	8840 kWh/year

**Main simulation results**  
 System Production **Produced Energy 8.35 MWh/year** Specific prod. 927 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR 84.71 % Solar Fraction SF 47.68 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 9.00 kWp



Performance Ratio PR



### 9 kW saules elektrine ant namo stogo Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
<b>January</b>	15.6	9.78	-2.72	33.8	32.9	0.293	0.781	0.172	0.105	0.608
<b>February</b>	29.1	20.10	-2.88	47.1	45.7	0.411	0.705	0.247	0.143	0.458
<b>March</b>	69.7	38.32	1.23	99.0	96.1	0.834	0.742	0.386	0.406	0.356
<b>April</b>	108.3	60.45	8.26	125.6	121.4	1.021	0.718	0.478	0.493	0.240
<b>May</b>	153.6	73.82	13.52	154.2	149.0	1.215	0.742	0.531	0.622	0.211
<b>June</b>	165.0	75.49	15.89	157.2	151.8	1.227	0.697	0.524	0.640	0.173
<b>July</b>	158.8	85.61	19.21	153.4	148.1	1.190	0.720	0.533	0.597	0.187
<b>August</b>	121.9	68.14	18.09	128.8	124.4	1.006	0.720	0.470	0.486	0.250
<b>September</b>	78.2	45.44	12.88	98.1	95.0	0.783	0.736	0.392	0.351	0.344
<b>October</b>	39.9	25.85	7.70	59.2	57.5	0.487	0.761	0.266	0.195	0.495
<b>November</b>	14.2	11.23	2.77	23.4	22.7	0.199	0.736	0.130	0.057	0.606
<b>December</b>	8.2	6.43	-1.00	15.2	14.8	0.131	0.781	0.085	0.037	0.696
<b>Year</b>	962.5	520.64	7.81	1094.7	1059.4	8.798	8.840	4.215	4.131	4.625

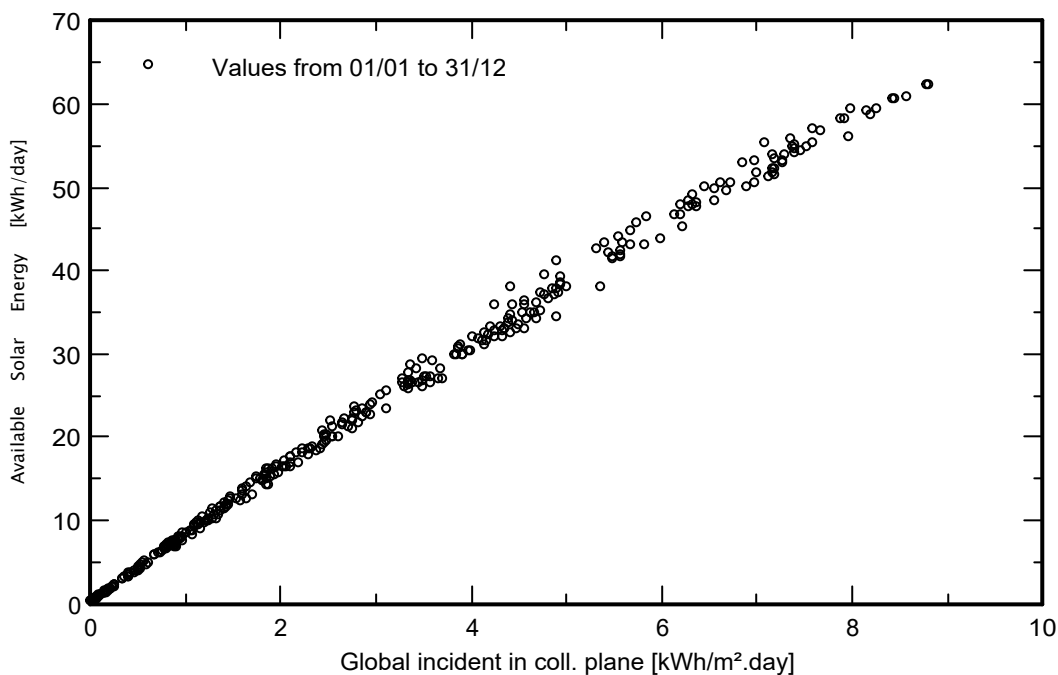
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
 T\_Amb T amb.  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_User Energy supplied to the user  
 E\_Solar Energy from the sun  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 EFrGrid Energy from the grid

## Grid-Connected System: Special graphs

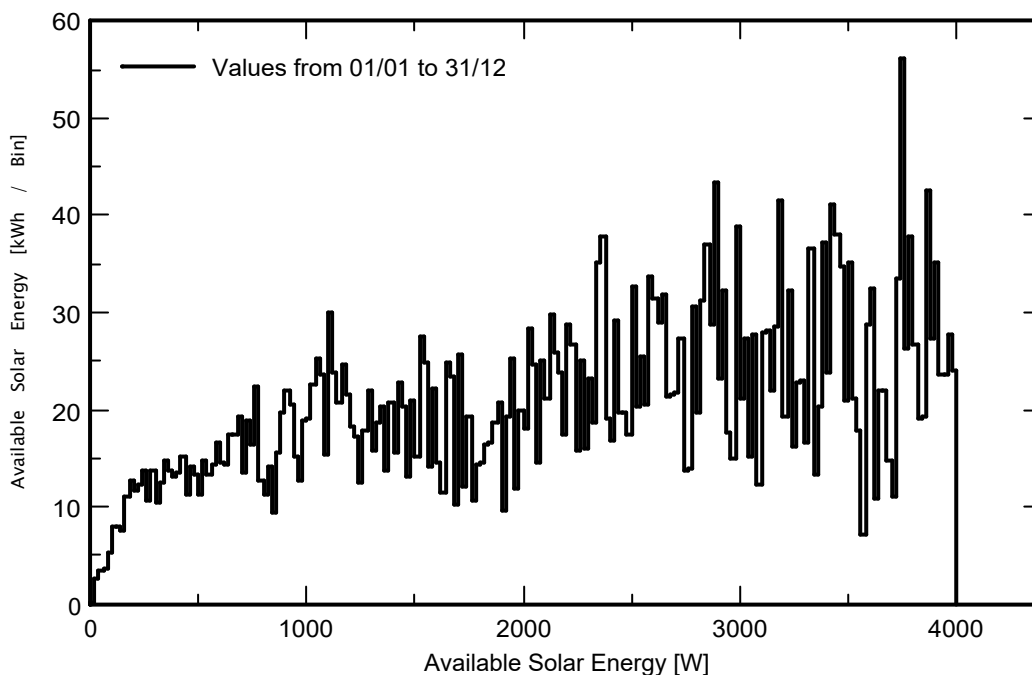
**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine ant namo stogo

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	45°	azimuth 19°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global 8840 kWh/year

### Daily Input/Output diagram



### System Output Power Distribution

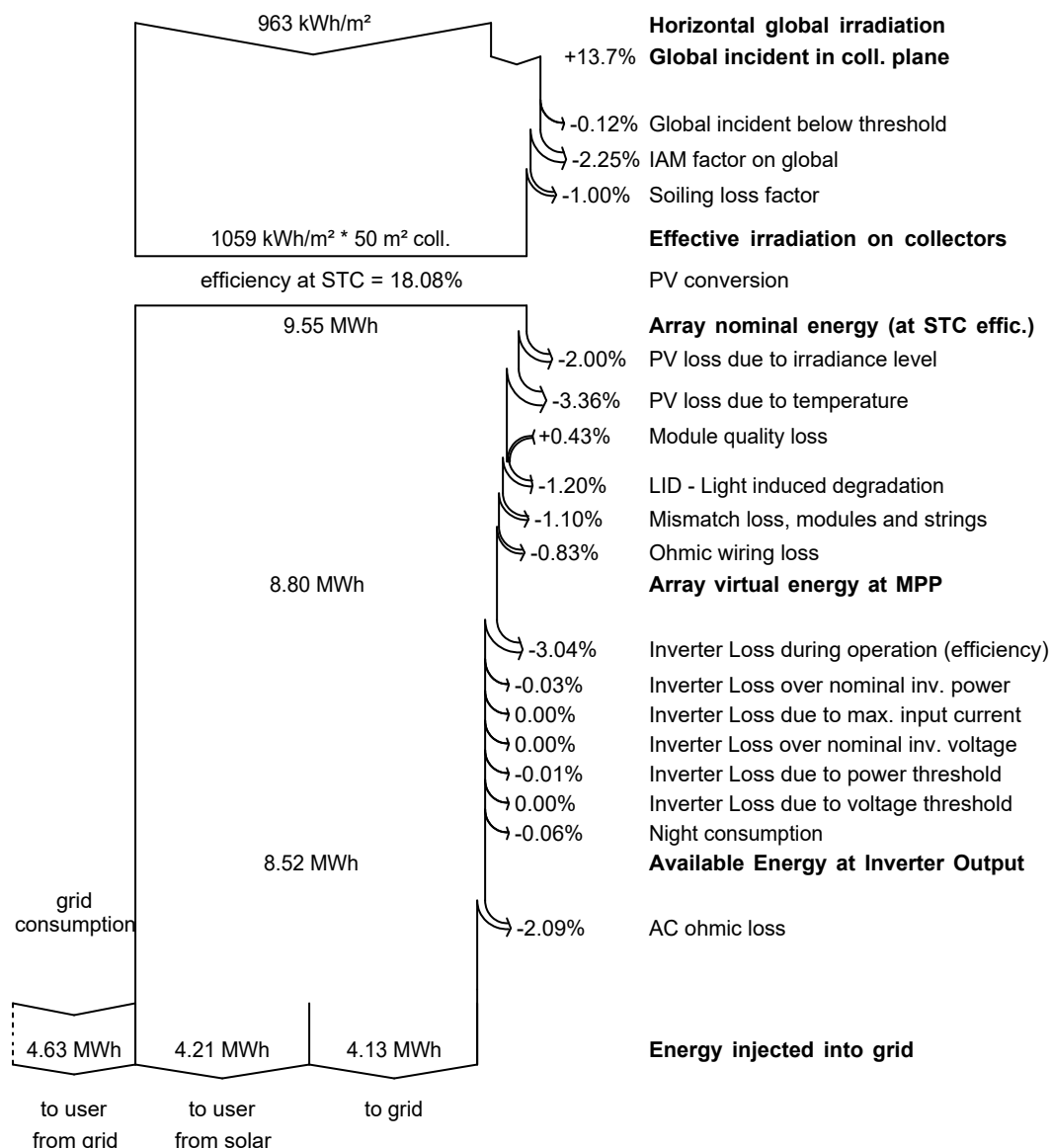


## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine ant namo stogo

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	45°	azimuth 19°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs	Daily household consumers	Seasonal modulation	Global 8840 kWh/year

**Loss diagram over the whole year**



## Grid-Connected System: Simulation parameters

**Project :** 9 kW elektrine

**Geographical Site** Obeniai Country Lithuania

**Situation** Latitude 54.77° N Longitude 24.63° E  
Time defined as Legal Time Time zone UT+2 Altitude 89 m

Albedo 0.20

**Meteo data:** Obeniai Meteonorm 7.2 (1994-2010), Sat=100% - Synthetic

**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine

Simulation date 27/04/20 21h25

<b>Simulation parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	25°	Azimuth 0°
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		

### PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)

**PV module** Si-poly Model **CS3K-300P P4**  
Original PVsyst database Manufacturer Canadian Solar Inc.

#### Sub-array "Sub-array #1"

Number of PV modules	In series	8 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	16	Unit Nom. Power	300 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>4800 Wp</b>	At operating cond.	4360 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	238 V	I mpp	18 A

#### Sub-array "Sub-array #2"

Number of PV modules	In series	7 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	14	Unit Nom. Power	300 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>4200 Wp</b>	At operating cond.	3815 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	208 V	I mpp	18 A

<b>Total</b> Arrays global power	Nominal (STC)	<b>9 kWp</b>	Total	30 modules
	Module area	<b>49.8 m<sup>2</sup></b>	Cell area	44.2 m <sup>2</sup>

**Inverter** Model **SUN2000L-8KTL-M0**  
Custom parameters definition Manufacturer Huawei Technologies

Characteristics Operating Voltage 90-500 V Unit Nom. Power 8.00 kWac

<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>	Nb. of inverters	1 * MPPT 53 %	Total Power	4.3 kWac
			Pnom ratio	1.12

<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>	Nb. of inverters	1 * MPPT 47 %	Total Power	3.7 kWac
			Pnom ratio	1.13

<b>Total</b>	Nb. of inverters	1	Total Power	8 kWac
--------------	------------------	---	-------------	--------

### PV Array loss factors

Array Soiling Losses		Loss Fraction	1.0 %
Thermal Loss factor	Uc (const) 29.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Array#1 217 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Array#2 190 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Global	Loss Fraction	1.5 % at STC



## Grid-Connected System: Simulation parameters

LID - Light Induced Degradation

Loss Fraction 1.2 %

Module Quality Loss

Loss Fraction -0.4 %

Module Mismatch Losses

Loss Fraction 1.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction 0.10 %

Incidence effect (IAM): User defined profile

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

### System loss factors

Wires: 2x2.5 mm<sup>2</sup> 6 m

Loss Fraction 1.5 % at STC

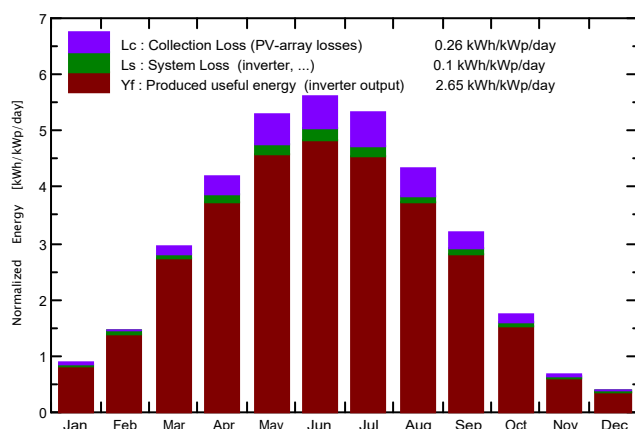
## Grid-Connected System: Main results

**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine

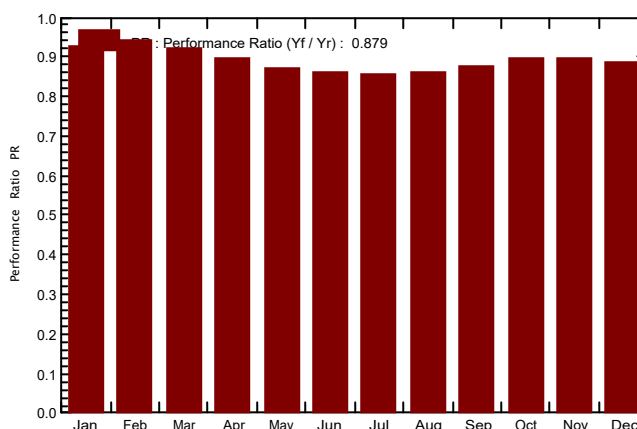
<b>Main system parameters</b>		System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation		tilt	25°	azimuth 0°
PV modules		Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array		Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter		Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs		Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
 System Production **Produced Energy 8.71 MWh/year** Specific prod. 967 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR 87.94 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 9.00 kWp



Performance Ratio PR



### 9 kW saules elektrine Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
<b>January</b>	15.6	9.78	-2.72	27.9	26.9	0.244	0.233	0.929
<b>February</b>	29.1	20.10	-2.88	41.5	40.1	0.367	0.352	0.943
<b>March</b>	69.7	38.32	1.23	91.5	88.4	0.787	0.760	0.923
<b>April</b>	108.3	60.45	8.26	125.5	121.0	1.048	1.012	0.896
<b>May</b>	153.6	73.82	13.52	163.7	158.0	1.328	1.281	0.870
<b>June</b>	165.0	75.49	15.89	168.5	162.8	1.357	1.308	0.862
<b>July</b>	158.8	85.61	19.21	165.1	159.5	1.318	1.271	0.855
<b>August</b>	121.9	68.14	18.09	133.9	129.1	1.074	1.036	0.860
<b>September</b>	78.2	45.44	12.88	95.5	92.2	0.783	0.755	0.878
<b>October</b>	39.9	25.85	7.70	53.7	51.9	0.451	0.432	0.894
<b>November</b>	14.2	11.23	2.77	20.4	19.7	0.174	0.165	0.895
<b>December</b>	8.2	6.43	-1.00	12.7	12.3	0.110	0.102	0.889
<b>Year</b>	962.5	520.64	7.81	1099.9	1061.7	9.041	8.705	0.879

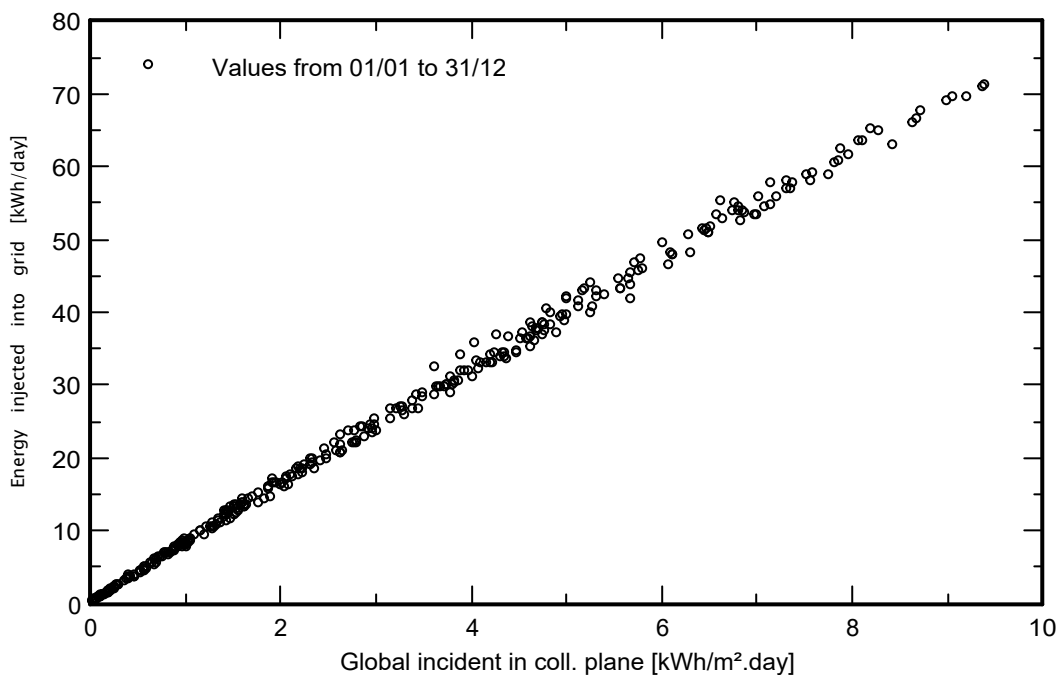
Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T_Amb	T amb.	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

## Grid-Connected System: Special graphs

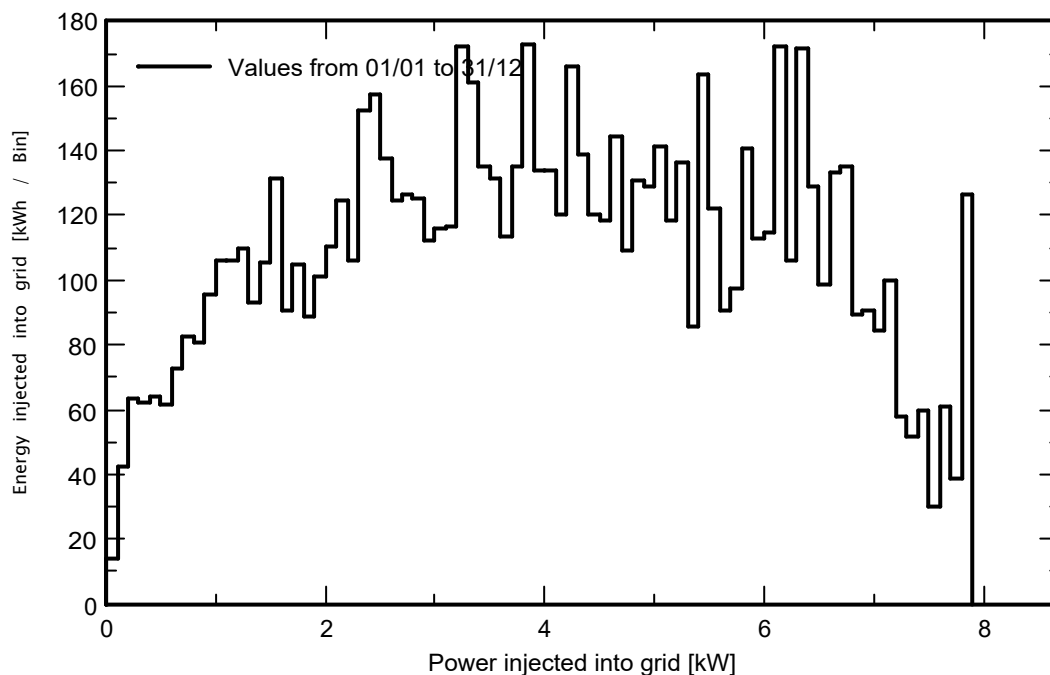
**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

### Daily Input/Output diagram



### System Output Power Distribution



## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** 9 kW elektrine  
**Simulation variant :** 9 kW saules elektrine

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 0°
PV modules	Model	CS3K-300P P4	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	30	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter	Model	SUN2000L-8KTL-M0	Pnom 8.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

### Loss diagram over the whole year

