



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Ernestas Skrickas

SAULĖS ELEKTRINIŲ PLĖTRA PANEVĖŽIO REGIONE
2012 – 2014 METAIS

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas

Doc. dr. Robertas Staniulis

KAUNAS, 2015

Skrickas, E. Saulės elektrinių plėtra Panevėžio regione 2012 – 2014 m. Bakalauro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Robertas Staniulis; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 53 psl.

SANTRAUKA

Tikslas – surinkti visų veikiančių saulės elektrinių Panevėžio regione duomenis, atlikti jų analizę ir juos pritaikyti elektrinės atsiperkamumo skaičiavimui, kuri yra projektuojama Panevėžio mieste.

Šiam tikslui pasiekti darbo pradžioje buvo susipažinta su saulės elektrinėmis, atlikta jų plėtros analizė iki 2015 metų pradžios. Gauta, kad didžiąją dalį saulės elektrinių sudaro 30 kW galios 109 elektrinės, kurių bendra galia – 3,27 MW. Iš viso yra 150 elektrinių, kurių bendra galia – 4,14 MW. Pagal 109 elektrinių duomenis buvo sudaryta saulės elektrinės metinė elektros energijos generacijos charakteristika, iš kurios matoma, kad 30 kW saulės elektrinė pagamins apie 30 712,6 kWh elektros energijos per metus. Tyrimo metu nustatyta, kad pagal dabartines sąlygas, kai 30 kW saulės elektrinės kapitalinės investicijos – 40 624 Eur, metinės elektrinės eksploatavimo sąnaudos – 2 031 Eur, pelno mokestis – 5 %, diskonto norma – 5 %, elektrinės įrengimas atsiperks tik po 15 metų, kai metinės pajamos – 4 361 Eur. Todėl šis projektas yra neefektyvus ir mažai pelningas.

Reikšminiai žodžiai : saulės elektrinė, metinė elektros energijos generacija, atsiperkamumas.

Skrickas, Ernestas. Solar Power Plants` Development in the region of Panevėžys in 2012 – 2014. Final project of Bachelor`s degree / supervisor doc. dr. Robertas Staniulis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electric power systems.

Kaunas, 2015. 53 pg.

SUMMARY

Purpose of the work – to collect data from all operating solar power plants` in the region of Panevėžys, analyze it and use it in calculation of project payback time.

To achieve it, in the beginning it was acquainted with solar power plants, performed analysis of it till 2015 beginning. It was revealed that most of the solar power plants consist of 30 kW 109 power plants which capacity reaches 3.27 MW. There are 150 power plants at all which capacity – 4.14 MW. From 109 power plants data were set up solar power plant annual electricity generation characteristics which shows that 30 kW power plant produces about 30 712.6 kWh energy per year. Results show that in current conditions when the 30 kW solar power plants capital investments are 40 624 Eur, annual electric operating expenses – 2 031 Eur, the profit tax and discount rate – 5 %, power plants payback time is more than 15 years. So this project is ineffective and not worth it to invest in it because the profit is too low.

Keywords: solar power plant, annual electricity generation, payback time.

TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS.....	8
ĮVADAS.....	9
1. SAULĖS ELEKTRINĖS	11
1.1. Saulės energija Lietuvoje	11
1.2. Saulės elektrinėms teikiamos lengvatos ir energijos supirkimo tarifai.....	13
1.3. Saulės elektrinių tipai.....	14
1.4. Saulės elektrinės naudingumas pagal fotoelektros modulių tvirtinimo tipą	16
2. SAULĖS ELEKTRINIŲ PLĖTRA PANEVĖŽIO REGIONE	18
2.1. Pradiniai saulės elektrinių duomenys.....	18
2.2. 2012-2015 m. detali saulės elektrinių analizė	22
2.3. Saulės elektrinės pagal galią.....	29
2.3.1. 10kW saulės elektrinė	30
2.3.2. 30kW saulės elektrinė	31
2.3.3. 30kW saulės elektrinė metinė elektros energijos generacijos charakteristika	33
3. SAULĖS ELEKTRINĖS PROJEKTAVIMAS	34
3.1. Parenkami fotoelektros moduliai.....	34
3.2. Parenkamas keitiklis	35
3.3. Fotovoltinių modulių prijungimas prie keitiklio	36
3.4. Parenkamos saulės elementų tvirtinimo konstrukcijos	37
3.5. Kabelių parinkimas. Įtampos ir galios nuostolių apskaičiavimas.....	41
3.6. Apsaugos aparatų parinkimas.....	46
3.7. Įžeminimo kontūro ir žaibosaugos parinkimas.....	47
3.8. Saulės elektrinės prijungimas prie elektros tinklo	52
4. SAULĖS ELEKTRINĖS EKONOMINIS ĮVERTINIMAS	53
IŠVADOS.....	58
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	59
PRIEDAI	61

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

Baigiamajame darbe naudojamos santrumpos ir jų paaiškinimai:

EES – elektros energetikos sistema;

ES – Europos Sąjunga ;

SE – saulės elektrinė;

MSE – mažos galios saulės elektrinė;

KAS – komercinė apskaitos spinta;

PP – paskirstymo punktas;

VEI – Valstybinė energetikos inspekcija.

IVADAS

Darbo aktualumas. Atsinaujinančių išteklių energetika pasaulyje plėtojama bene sparčiausiai iš visų energetikos sričių ir ypač ši tendencija matoma saulės energetikos srityje. 1995 m. įrengtoji fotoelektrinių galia Europos Sąjungoje siekė 30 MW, o pagal ES planus, 2010 metais suminė įrengtų saulės elektrinių galia turėjo siekti 3 000 MW, t. y. šimtą kartų didesnę galia, tačiau atėjus 2010 metų pabaigai paaiškėjo, kad faktiškai įrengtoji suminė SE (saulės elektrinių) galia pasiekė net 10 000 MW. Tai rodo, kad fotoelektros plėtros tempai gerokai pralenkia optimistiškiausias prognozes bei planus. Planuojama, kad 2040 metais saulės elektrinėse bus gaminama 25 % visos sunaudojamos elektros energijos ES, o iš visų atsinaujinančių energijos išteklių kartu - 82 %.

Vien Lietuvoje didelė dalis žmonių yra girdėję, pastebėję ar net susidūrę su tuo, kad mūsų šalyje per pastaruosius keletą metų labai sparčiai plėtėsi saulės elektrinių statyba Lietuvoje, kurios pagrindinės priežastys yra:

- Valstybės parama saulės elektrinėms įrengti per fotoelektros supirkimo tarifą.
- Pakankamas ir gana tolygus saulės energijos išteklių pasiskirstymas Lietuvoje.
- Didelis laisvas plotas ant daugiabučių namų stogų, kurį galima išnaudoti.
- Pinganti ir tobulėjanti įranga, skirta saulės elektrinėms.

Siekiant iširti saulės elektrinių plėtros tendenciją Lietuvoje per pastaruosius keletą metų, pasirinktas Panevėžio regionas ir atliktas tyrimas. Kokia ši SE plėtros tendencija buvo per 2012 – 2014 metus pasirinktame Lietuvos regione ir numatyti galimas prognozes ateityje, ar jos pasiteisins ir 2040 metais saulės elektrinėse bus gaminama 25 % visos sunaudojamos elektros energijos ES, remiantis atliktu tyrimu.

Tyrimo objektas – Panevėžio regione veikiančių saulės elektrinių, prijungtų prie elektros energetikos sistemos tinklo, plėtra 2012 – 2014 metais.

Tikslas – atlikti išsamią saulės elektrinių plėtros Panevėžio regione analizę ir, sudarius metinę SE elektros energijos generacijos charakteristiką pagal išanalizuotus duomenis, ją pritaikyti projektuojamai saulės elektrinei bei atlikti jos ekonominį įvertinimą.

Uždaviniai:

- Susipažinti su saulės energija ir saulės elektrinėmis.
- Atlikti saulės elektrinių plėtros analizę.
- Išskirti saulės elektrines pagal galią.
- Sudaryti metinę saulės elektrinės elektros energijos generacijos charakteristiką.
- Suprojektuoti saulės elektrinę, parenkant SE įrenginius (fotoelektros modulių, keitiklių, tvirtinimo konstrukcijas, kabelius, apsaugos aparatus).
- Suprojektuoti elektrinės fotoelektros modulių išdėstymą bei SE prijungimą prie EES tinklo.
- Parinkti įžeminimo kontūrą ir žaibosaugą.
- Atlikti SE ekonominį įvertinimą.

1. SAULĖS ELEKTRINĖS

1.1. Saulės energija Lietuvoje

Saulės energijos išteklių Lietuvoje yra pakankamai geri saulės energetikai plėtoti. Nuolat pingant fotoelektros moduliams ir fotoelektros sistemoms, susidaro vis geresnės sąlygos naudoti šį atsinaujinančiosios energijos šaltinį elektros energijai gaminti.

Lietuva buvo įsipareigojusi remti SE įrengimą per skatinamąjį fotoelektros supirkimo tarifą iki 10 MW bendrosios įrengtosios SE galios. Palyginti su kitomis šalimis, tai yra labai menka galia, kadangi, pavyzdžiui, Belgijoje, kurios saulės energijos išteklių lygiai tokie pat kaip ir Lietuvoje, per pastaruosius 3-4 metus įrengtų saulės elektrinių bendroji galia priartėjo prie 3 000 MW. Pagal naujai pastatytų elektrinių bendrąją suminę galią, SE 2009 m. Europos Sąjungoje buvo trečioje vietoje po vėjo ir gamtinių dujų elektrinių, o 2011 m. įsitvirtino pirmoje vietoje ir šios pozicijos jau laikosi trečius metus iš eilės.

Pagrindiniai saulės energijos išteklių pasiskirstymo Lietuvos teritorijoje dėsninukai yra šie:

- Didžiausi saulės energijos išteklių yra vakarinėje šalies dalyje – prie jūros (maksimali metinė ekspozicija horizontalioje plokštumoje Nidoje 1042 kWh/m²);
- Mažiausi saulės energijos išteklių yra šiaurės rytinėje ir rytinėje šalies dalyje (minimali metinė ekspozicija horizontalioje plokštumoje Biržuose 926 kWh/m²);
- Vidutinė metinė ekspozicija horizontalioje plokštumoje Lietuvoje apytiksliai sudaro 1 000 kWh/m² (984 kWh/m²);
- Didžiausia vidutinės metinės ekspozicijos horizontalioje plokštumoje nuokrypa nuo šalies vidurkio bet kuriame Lietuvos teritorijos taške sudaro ne daugiau kaip 5,9 %.

Detalesnė vidutinė metinė ekspozicija horizontalioje plokštumoje skirtinguose Lietuvos miestuose pateikiama 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Metinė ekspozicija horizontalioje plokštumoje skirtinguose Lietuvos miestuose

Eil. Nr.	Vietovė	Mėnesiai												Per metus
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1.	Šilutė	15	33	72	106	154	169	161	143	96	55	16	9	1029
2.	Nida	14	31	72	108	155	171	165	148	97	54	17	10	1042
3.	Kaunas	16	33	70	99	146	155	150	138	90	52	16	9	976
4.	Vilnius	16	34	69	93	142	146	142	136	84	50	17	10	939
5.	Telšiai	14	32	69	104	154	168	156	141	96	55	19	11	1018
6.	Šiauliai	13	31	68	100	154	163	153	142	94	53	17	9	996
7.	Klaipėda	12	31	67	102	155	168	161	147	94	53	16	8	1013
8.	Vėžaičiai	13	32	67	104	153	154	155	140	94	53	14	8	988
9.	Utena	15	33	67	96	145	151	147	133	84	50	16	8	946
10.	Biržai	8	27	65	96	148	156	151	135	83	46	9	2	926
11.	Dotnuva	10	29	70	103	154	164	158	145	92	50	11	3	989
12.	Dūkštas	9	28	65	97	150	157	153	137	84	47	10	1	938
13.	Kybartai	20	37	74	103	148	157	152	140	93	56	21	14	1015
14.	Lazdijai	19	37	74	103	150	159	153	142	94	56	20	13	1021
15.	Varėna	11	31	68	94	147	152	147	142	85	48	11	3	939

Palyginimui su kitomis šalimis, kaip pasiskirsčiusi saulės spinduliuotės metinė ekspozicija Žemėje, pateikiamos gerai žinomų šalių statistikos:

- Estijoje, Danijoje – $950 \div 1\,000$ kWh/m²;
- Olandijoje, Belgijoje, Lietuvoje, Latvijoje – $950 \div 1\,050$ kWh/m²;
- Lenkijoje – $950 \div 1\,100$ kWh/m²;
- Čekijoje – $1\,000 \div 1\,100$ kWh/m²;
- Vokietijoje – $950 \div 1\,200$ ($1\,350$ – Alpių kalnuose) kWh/m²;
- Ukrainoje – $1\,100 \div 1\,380$ kWh/m²;
- Rumunijoje – $1\,150 \div 1\,400$ kWh/m²;
- Italijoje – $1\,100 \div 1\,800$ (Sicilijoje) kWh/m²;
- Vidurinėje Azijoje – $1\,400 \div 2\,000$ kWh/m².

Nesunku apskaičiuoti, kad Lietuvos pastatų potencialas gaminti elektrą, naudojant SE, yra labai didelis. Jeigu visi stogai, kurių bendras plotas sudaro apie 150 km², būtų panaudoti šiam tikslui, tada galima būtų pagaminti elektros energijos daugiau negu šiuo metu sunaudojama visoje šalyje. Suprantama, kad tokie skaičiavimai parodo tik saulės elektrinių galimybes. Teoriškai išsiversti vien tik su saulės elektrinėmis gal būtų ir įmanoma, tačiau praktiškai sunku ir ekonomiškai visiškai netikslinga, nes reikėtų sukaupti labai didelius elektros energijos kiekius žiemai. Geriausias variantas – optimalus įvairių atsinaujinančiųjų energijos išteklių elektrinių derinys.

1.2. Saulės elektrinėms teikiamos lengvatos ir energijos supirkimo tarifai

Dabartinė Lietuvos elektros energetikos sistema sukurta 1960 – 1990 metais. Sistemoje vyrauja stambios elektrinės, naudojančios atvežtinį kurą. Visų veikiančių elektrinių įrengtoji galia 2011 metais pasiekė 4 200,6 MW. Didžiausia naudojamoji elektros galia Lietuvoje 2000 – 2011 metais svyravo apie 2 000 MW ir tik 2003 m. ši riba buvo šiek tiek viršyta (2 015 MW). Atsinaujinančiųjų išteklių elektrinių šalies energetikos sistemoje kol kas yra nedaug. Iš jų pagrindinė yra Kauno hidroelektrinė (100 MW). Suminė vėjo elektrinių įrengtoji galia Lietuvoje 2011 m. pabaigoje padidėjo iki 364,71 MW, o įrengtų saulės elektrinių suminė galia kol kas sudarė tik 1,002 MW. Tačiau 2012 m. LESTO gavo tūkstančius paraiškų naujoms saulės elektrinėms įrengti. Dauguma jų – SE iki 30 kW galios, kadangi LIETUVOS RESPUBLIKOS ATSINAUJINANČIŲ IŠTEKLIŲ ENERGETIKOS ĮSTATYME numatyta, jog iki 30 kW galios saulės energijos elektrinėms įrengti yra taikomi supaprastinti reikalavimai:

- saulės šviesos energijos elektrinėms netaikomi žemės paskirties atitikties reikalavimai, poveikio aplinkai vertinimo procedūra, nereikalingas leidimas statyti ir poveikio visuomenės sveikatai vertinimas;
- teisės aktų nustatyta tvarka šie įrenginiai gali būti perkelti į kitą vietą;
- ant pastatų statomos ar į pastatus integruojamos saulės šviesos energijos elektrinės įrengiamos be statybą leidžiančio dokumento;
- netaikoma kvotų sistema;
- visa pagaminta elektros energija superkama už fiksuotą tarifą, suteikiamą ne aukciono tvarka;
- prijungimas prie elektros tinklų atliekamas nemokamai.

Dėl šios priežasties susidarė palankesnės sąlygos SE plėtrai ir Lietuvoje. Pagal LESTO duomenis 2013 metais Lietuvoje prijungtų SE prie skirstomojo tinklo skaičius siekė jau 1 646 vnt., kurių suminė bendra galia 55,6 MW, o pagal LITGRID – 2014 metų pradžioje bendra galia pasiekė 68 MW, kai 2011 metais Lietuvoje SE prijungtų prie skirstomojo elektros tinklo galia buvo tik 1,22 MW, kuriuos sudarė 17 saulės elektrinių. Tokį didelį susidomėjimą mažosiomis saulės elektrinėmis paskatino Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos SE pagamintos energijos supirkimo tarifas.

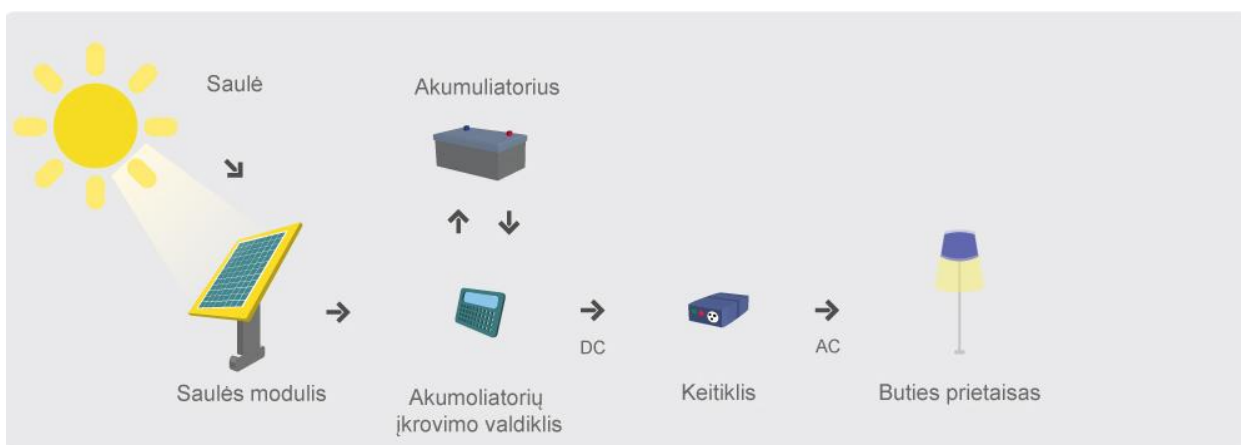
Fiksuotų tarifų tendencija (be PVM), kuomet saulės elektrinė integruota į EES tinklą ir ji nėra integruota į pastatą bei galia neviršija 30 kW:

- 2012 m. – 1,44 Lt/kWh (0,417 Eur/kWh);
- 2013 m. – 1,25 Lt/kWh (0,362 Eur/kWh);
- 2014 m. I ketvirtis – 0,52 Lt/kWh (0,151 Eur/kWh);
- 2014 m. II ketv. – 2015 m. II ketv. – 0,49 Lt/kWh (0,142 Eur/kWh).

1.3 Saulės elektrinių tipai

Saulės elektrinės yra skiriamos į 2 tipus:

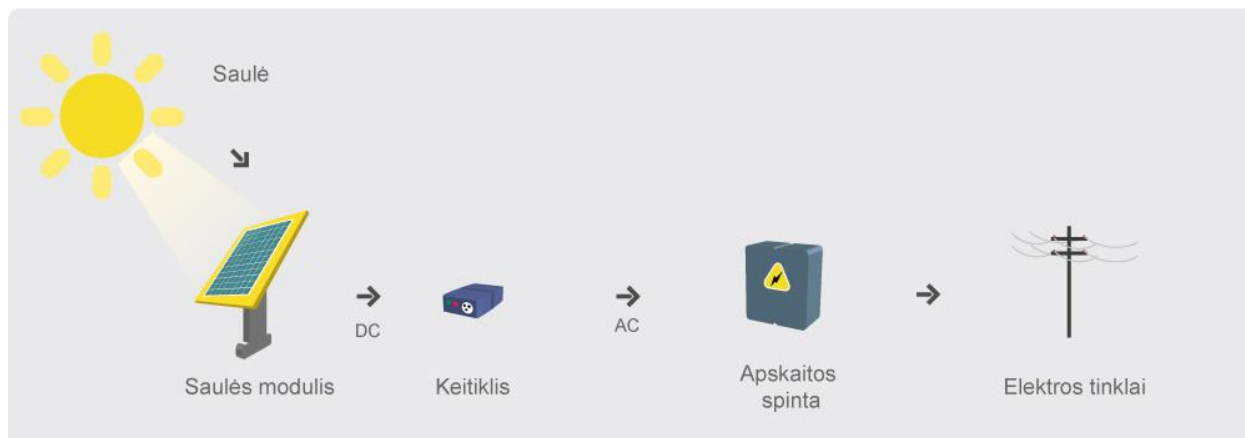
- Autonomines saulės elektrines,
- Integruotas į EES tinklą elektrines.



1.1 pav. Autonominė saulės elektrinė

Autonominės saulės elektrinės energiją tiekia tiesiogiai vartotojui, arba, jei elektros energija vartotojui tuo metu nereikalinga, ji tiekama į energijos kaupiklį (akumuliatorių bateriją). Šios elektrinės yra skirtos naudoti atokiose vietovėse, t. y. vietovėse, kurios yra nutolusios nuo elektros tiekimo. Lietuvoje tokių vietovių yra ganėtinai nedaug. Jos yra bendros paskirties, skirtos elektrai gamintai (pavyzdžiui, sodyboje), arba specializuotos (pavyzdžiui, vandens siurbliui, telekomunikacijos sistemos, švyturiams, avariniam apšvietimui ar kitoms reikmėms). Pagrindinės autonominės saulės elektrinės sudedamosios dalys yra šios: fotoelektros modulynas, akumuliatorių baterija, įkrovos reguliatorius. Jeigu vartotojui reikia kintamosios

elektros srovės, saulės elektrinėje naudojamas keitiklis, kuris nuolatinę įtampą ir srovę keičia į reikiamo dažnio kintamąją įtampą ir srovę.

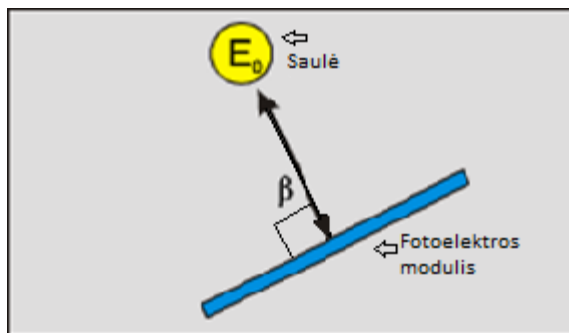


1.2 pav. Integruota į EES tinklą saulės elektrinė

Integruotos į elektros energetikos sistemos tinklą saulės elektrinės energiją tiekia į tinklą, kuris perduoda ją vartotojams ir sudaro sąlygas saulės elektrinėje apsieiti be elektros kaupiklio. Integruotose į tinklą SE reikalingas tik keitiklis, kuris generuojamą nuolatinę SE srovę pakeičia į kintamąją ir reikiamo dažnio bei įtampos srovę, ir apskaitos spinta, kuri suprojektuojama ir įrengiama LESTO įmonės. Ši energija yra superkama pagal nustatytą Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos SE pagamintos energijos supirkimo tarifą, kuris yra aptartas ankstesnėje darbo dalyje.

1.4 Saulės elektrinės naudingumas pagal fotoelektros modulių tvirtinimo tipą

Saulės elektrinėse pagaminamos elektros energijos kiekis labai priklauso nuo fotoelektros modulių orientacijos į saulę. Didžiausias saulės spindulinės energijos kiekis pasiekiamas, kuomet fotoelektros modulio plokštuma su kryptimi į saulę sudaro statųjį kampą ($\beta = 90^\circ$).



1.3 pav. Kampas tarp saulės krypties ir fotoelektros modulio plokštumos

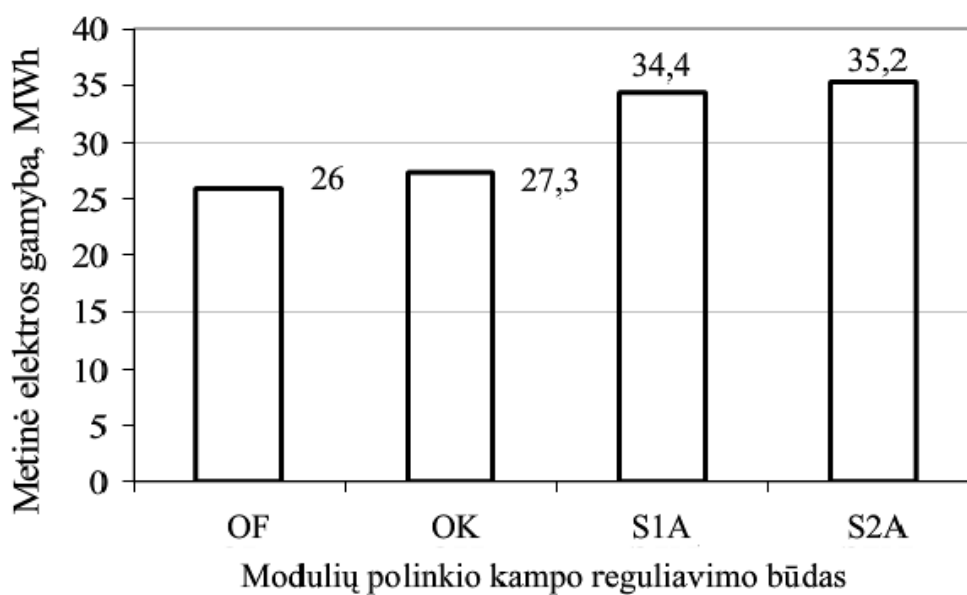
Jei fotoelektros moduliai įtvirtinti nejudamai, kampas β laikui bėgant nuolat keisis. Optimalų fotoelektros modulių orientacijos į saulę kampą lems trys veiksniai: geografinė platumą, metų laikas, paros valanda.

Projektuojant saulės elektrinę su fiksuotu optimaliu fotoelektros modulių polinkio į horizontalią plokštumą kampu, atsižvelgiama tik į vietovės geografinę platumą. Pavyzdžiui, Kaunui optimalus modulių polinkio į horizontalią plokštumą kampas yra 38° . Nedidelių nukrypimų nuo optimalaus modulių polinkio kampo įtaka SE per metus pagamintam elektros energijos kiekiui yra maža.

Norint, kad SE pagamintų daugiau elektros energijos, galima numatyti rankinį fotoelektros modulių polinkio į horizontalią plokštumą kampo reguliavimą priklausomai nuo metų laiko, vasaros sezonu nustatomas $32\div 40$ laipsnių kampas, o žiemos sezonu – $60\div 78$ laipsnių kampas. Keičiant šį kampą rankiniu būdu, galima SE pagaminamą elektros energijos dydį padidinti iki $5\div 8$ %.

Norint, kad SE pagamintų dar daugiau elektros energijos, reikia nuolat orientuoti fotoelektros modulius statmenai saulės spinduliams. Šiam tikslui naudojamos vienos arba dviejų koordinatinių saulės sekos sistemos. Šių tipų įrenginiai yra gana brangūs, todėl reikia įvertinti, ar papildomas elektros energijos kiekis padengs vienos ar kitos sekos sistemos įrengimo išlaidas.

Palyginimui, pridedamas grafikas (1.4 pav.), kuriame matyti SE elektros energijos pagaminimas, kai modulių tvirtinimo konstrukcija yra optimaliu kampu fiksuota, kai optimalus kampas yra keičiamas rankiniu būdu ir kai konstrukcija yra vienašės arba dviašės sekos sistema.



1.4 pav. Elektros gamyba 30kW SE priklausomai nuo modulių polinkio reguliavimo būdo

OF – optimalus fiksuota,

OK – optimalus keičiamas,

S1A – vienašė sekos sistema,

S2A – dviašė sekos sistema.

2 SAULĖS ELEKTRINIŲ PLĖTRA PANEVĖŽIO REGIONE

2.1. Pradiniai saulės elektrinių duomenys

Saulės energetikoje šios energijos rūšies vartotojus ar potencialus vartotojus domina įvairios saulės energinių parametrų priklausomybės nuo laiko ar vienas nuo kito. Šios priklausomybės dažniausiai išreiškiamos lentelėmis arba grafikais. Praktikoje dažniausios šios priklausomybės:

- Akimirkinės ir daugiametės vidutinės saulės apšvitos priklausomybė nuo paros laiko;
- Vidutinės daugiametės saulės spindėjimo trukmės priklausomybė nuo metų mėnesio;
- Vidutinės daugiametės saulės ekspozicijos įvairiose saulės energinės erdvės plokštumose priklausomybė nuo metų mėnesio ar metų dienos.

Šiuo atveju analizuojamos visos veikiančios saulės elektrinės Panevėžio regione, kai turimi surinkti duomenys, kuriuose atsispindi visų skirtingų galių fotoelektrinių, prijungtų prie skirstomojo tinklo, generuojama elektros energija kiekvieną mėnesį. Jau minėtu tikslu, pasinaudojant turimais duomenimis ir juos analizuojant, sudaroma priklausomybė: *vidutinės daugiametės elektros energijos generacijos priklausomybė nuo metų mėnesio, esant konkrečiam saulės elektrinės galingumui.*

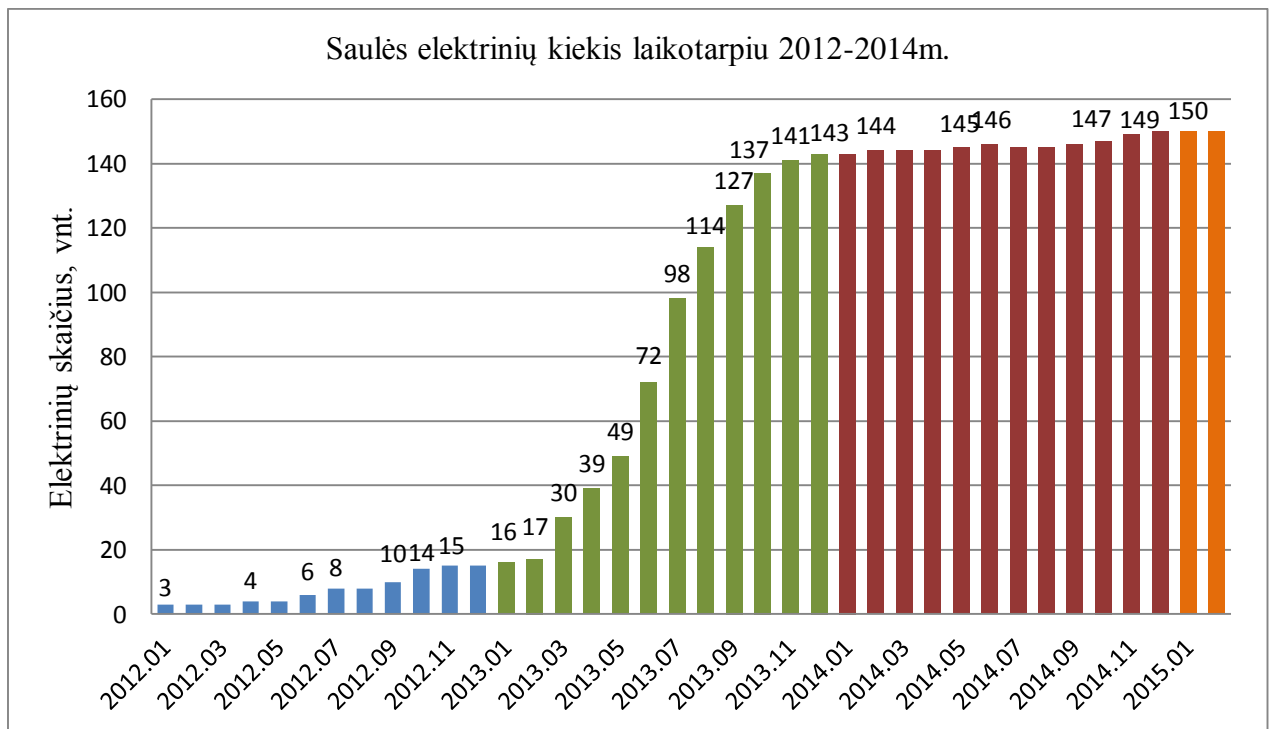
2.1 lentelė. Saulės elektrinių el. energijos generavimas per 2014 m.

30kW elektrinės	2014. 01	2014. 02	2014. 03	2014. 04	2014. 05	2014. 06	2014. 07	2014. 08	2014. 09	2014. 10	2014. 11	2014. 12
El. energija	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
SE 3	223	963	2 608	4 402	4 397	3 863	4 837	3 618	2 954	1 725	484	199
SE 5	651	821	2 633	5 715	5 572	4 832	6 360	4 707	3 748	2 325	560	101
SE 6	1 064	1 184	3 093	3 525	3 521	3 012	4 065	3 078	2 790	1 714	555	292
SE 9	381	1 145	2 990	4 683	4 309	3 737	5 002	3 725	3 363	2 163	629	285
SE 10	733	1 105	2 809	4 393	4 097	3 560	4 735	3 541	3 203	2 027	627	276
SE 11	731	1 109	2 842	4 465	4 149	3 594	4 798	3 589	3 242	2 041	638	283
SE 12	1 384	1 051	3 403	5 937	5 646	4 866	5 049	2 767	3 730	2 308	727	234
SE 15	707	987	2 588	4 121	3 829	3 178	4 359	3 264	2 978	1 896	578	237
SE 17	1 217	1 131	2 941	4 684	4 370	3 735	5 086	3 720	3 384	2 111	661	331
SE 18	224	1 021	2 588	4 499	4 161	3 611	4 778	3 608	3 247	2 086	549	192
SE 21	915	1 126	2 843	4 346	4 142	3 015	4 800	3 680	3 285	2 156	627	346

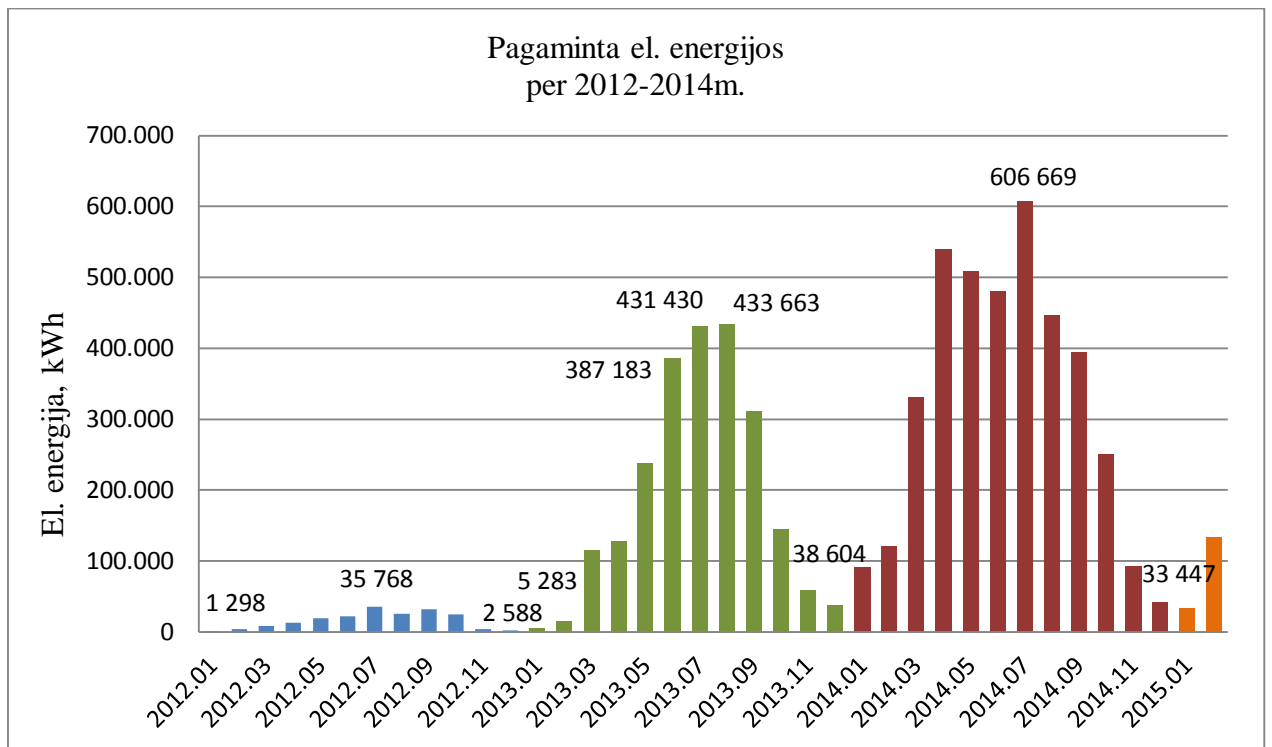
Pradiniai duomenys buvo sudaryti lentelės pagrindu (pvz.: 2.1 lentelė), kurioje matyti nuo 2012 iki 2015m. pradžios kiekvieno mėnesio laikotarpiu veikiančių elektrinių skaičius ir kiek kiekviena iš jų tą mėnesį sugeneravo elektros energijos. Turint šiuos duomenis, buvo suvedama statistika ir ji atvaizduojama diagramoje (2.1 pav.), kurioje matoma saulės elektrinių plėtra per visą laikotarpį, kuomet 2012 metų pradžioje veikė tik 3 elektrinės, o 2015 metų pradžioje – 150 saulės elektrinių Panevėžio regione. Antroje diagramoje (2.2 pav.) atvaizduojama, kiek visos saulės elektrinės kartu sugeneravo elektros energijos per šį laikotarpį. Grafike matomas didėjimas, kurio priežastis yra elektrinių skaičiaus augimas, kas ir lėmė elektros energijos gamybos išaugimą.

Skirtingomis spalvomis išskiriami skirtingi metai. Atitinkamai:

- 2012m.- mėlyna, 2013m.- žalia, 2014m.-raudona , 2015m.- oranžinė.

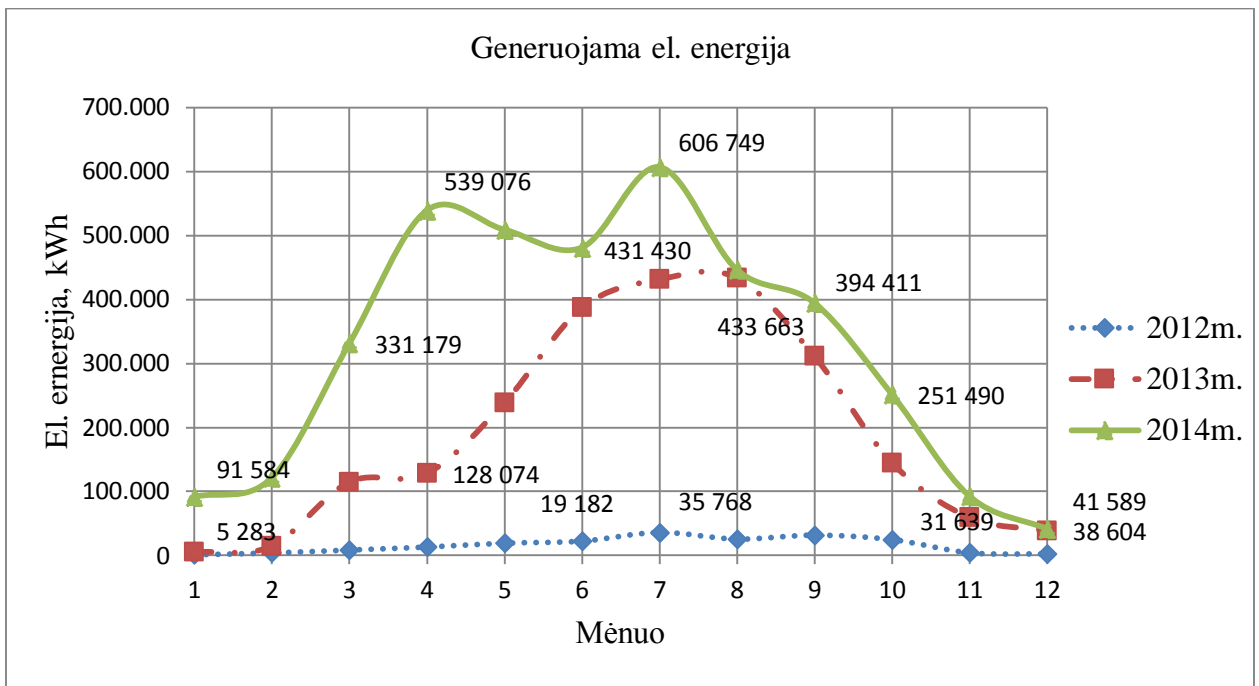


2.1 pav. Saulės elektrinių augimas 2012-2014 m. laikotarpiu

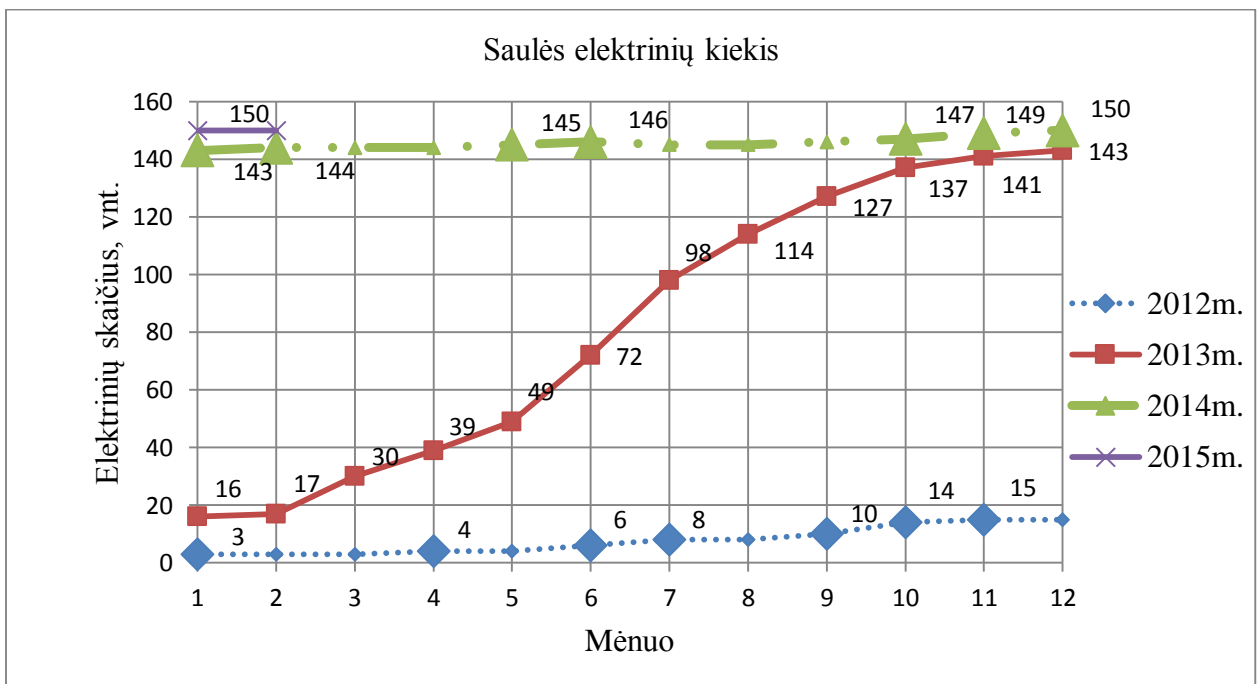


2.2 pav. Saulės elektrinių generuojama el. energija

Dėl patogumo, analizuojant pokyčius skirtingais metais, pateikiami detalesni grafikai (2.3 pav.) ir (2.4 pav.), kuriuose SE augimas ir energijos gamyba išskaidomi į atskirus metus. Grafikai sudedami lygiagrečiai vienas kito taip, kad, žiūrint į juos, būtų lengva susieti, kiek kuriais metais ir kurį mėnesį buvo veikiančių elektrinių ir, kiek kartu jos pagamino elektros energijos.



2.3 pav. Saulės elektrinių generuojama el. energija skirtingais metais



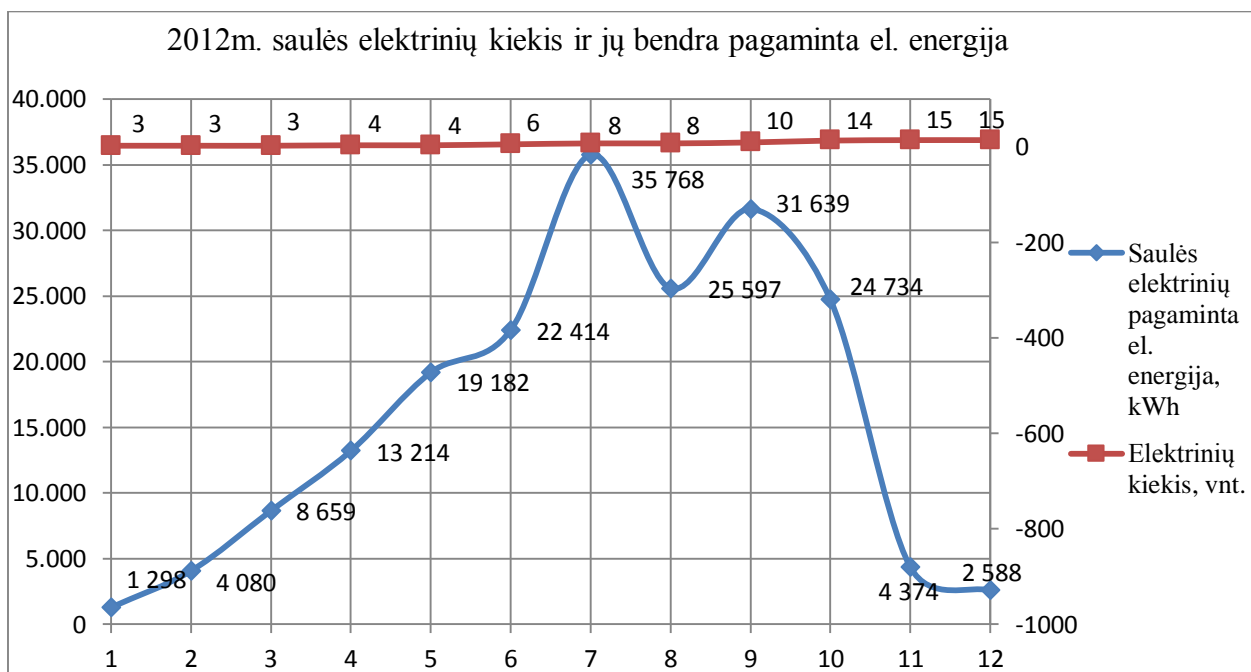
2.4 pav. Saulės elektrinių augimas skirtingais metais

Galima pastebėti, kad 2013 ir 2014 metų rugpjūčio mėnesiais pagamintos elektros energijos dydis buvo ganėtinai panašus (2013 m. – 433 663 kWh, o 2014 m. – 446 221 kWh), kuomet veikiančių elektrinių atitinkamai buvo 127 ir 146. Gaunasi, kad papildomos 19 elektrinių rugpjūčio mėnesį pagamino tik 12 558 kWh elektros energijos, kas vasaros metu yra labai mažai,

kai 2012 metais rugpjūčio mėnesį veikiančios aštuonios SE pagamino 31 639 kWh. Tai galėjo įtakoti 2014 metais didesnis debesuotumas, mažesnis saulėtų dienų skaičius palyginus su praėjusiais 2013 metais ir neaiškus elektrinių galingumas, kas ir lėmė visų elektrinių našumo sumažėjimą 2014 metais. Norint išsiaiškinti, kiek vidutiniškai viena saulės elektrinė pagamino elektros energijos nuo 2012 iki 2015 metų pradžios kiekvieną mėnesį, atliekama detali kiekvienų metų analizė bei tuo pačiu palyginami konkrečių metų duomenys.

2.2. 2012-2015 m. detali saulės elektrinių analizė

Pagal turimus skirtingų metų duomenis (2.3 pav. ir 2.4 pav.), apskaičiuojama kiek vidutiniškai viena saulės elektrinė pagamina elektros energijos kiekvieną mėnesį ir gauti rezultatai atvaizduojami grafikuose, atitinkamų metų charakteristikose.



2.5 pav. 2012 m. saulės elektrinių bendri duomenys

Vienos saulės elektrinės mėnesio vidutinė elektros energijos generacija apskaičiuojama tą mėnesį visų elektrinių sugeneruotos el. energijos kiekį padalijant iš to mėnesio veikiančių elektrinių skaičiaus:

$$E = E_{\Sigma} / n \quad (2.1)$$

Čia n – elektrinių skaičius, vnt.; E_{Σ} – suminė visų elektrinių el. energija, kWh.

Pvz. sausio mėn.:

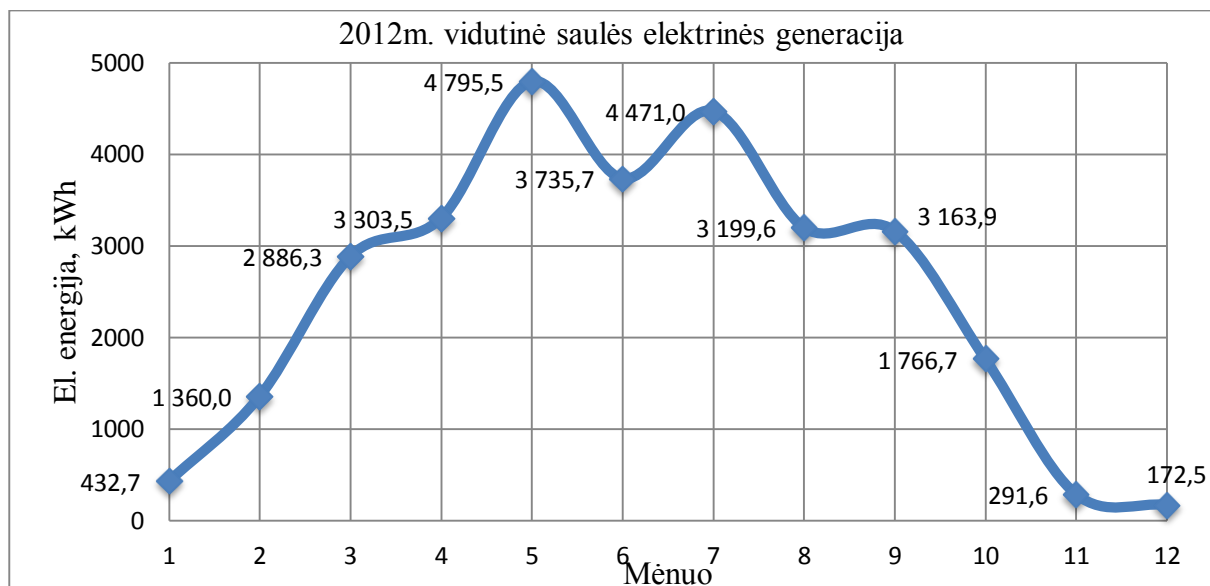
$$1) E = 1.298 / 3 = 432,67 \text{ kWh}$$

Apskaičiavus visų mėnesių el. energijos generaciją, sudaroma gautų duomenų lentelė (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. 2012 m. vienos saulės elektrinės vidutinė el. energijos generacija

Mėnuo	Generuojama el. energija, kWh
Sausis	432,67
Vasaris	1 360
Kovas	2 886,33
Balandis	3 303,50
Gegužė	4 795,50
Birželis	3 735,67
Liepa	4 471
Rugpjūtis	3 199,63
Rugsėjis	3 163,90
Spalis	1 766,71
Lapkritis	291,60
Gruodis	172,53

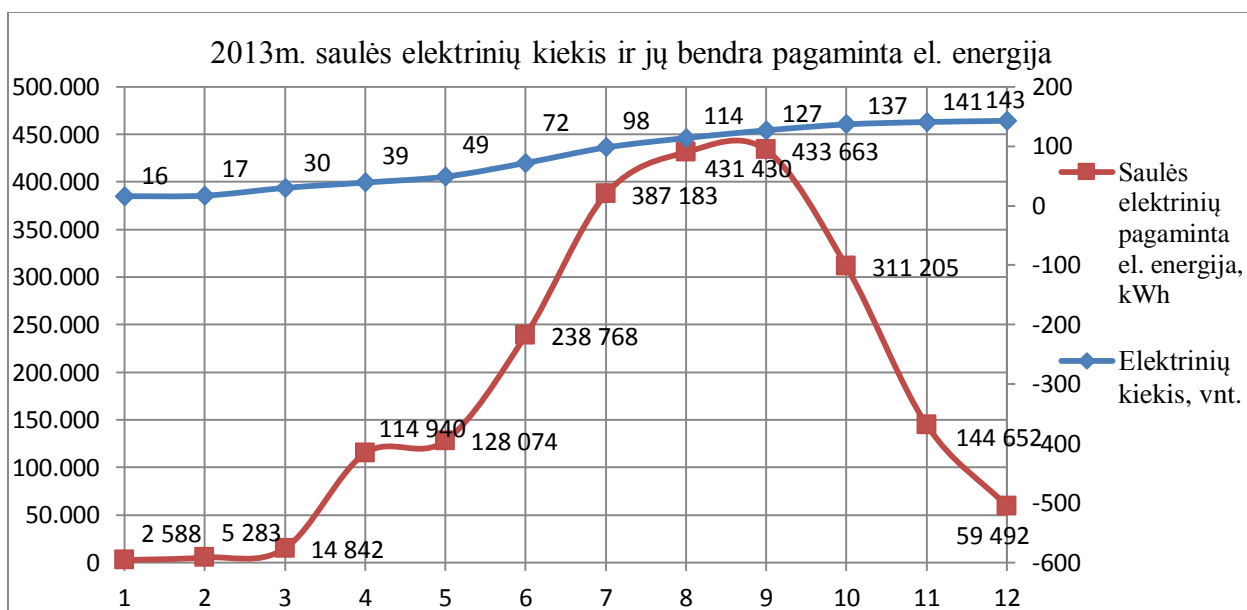
Pagal 2.2 lentelę brėžiama metinė vidutinė vienos saulės elektrinės charakteristika, kurioje matoma, kiek per 2012 metų laikotarpį kiekvieną mėnesį viena saulės elektrinė vidutiniškai pagamino elektros energijos Panevėžio regione.



2.6 pav. 2012 m. saulės elektrinių bendra charakteristika

Analogiškai pagal 2012 m. sudaromos charakteristikos 2013 bei 2014 metams.

2013 metų charakteristika



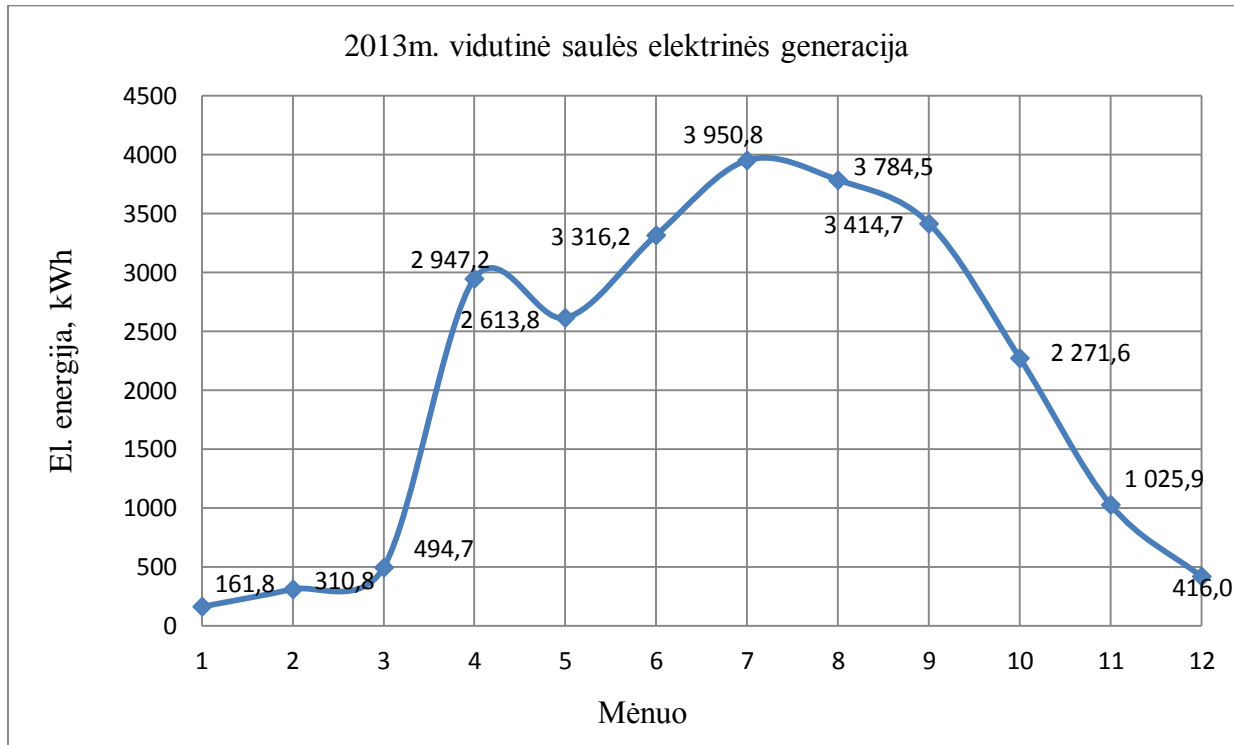
2.7 pav. 2013 m. saulės elektrinių bendri duomenys

2.3 lentelės duomenys skaičiuojami analogiškai kaip ir 2012 metams, naudojantis formule (2.1).

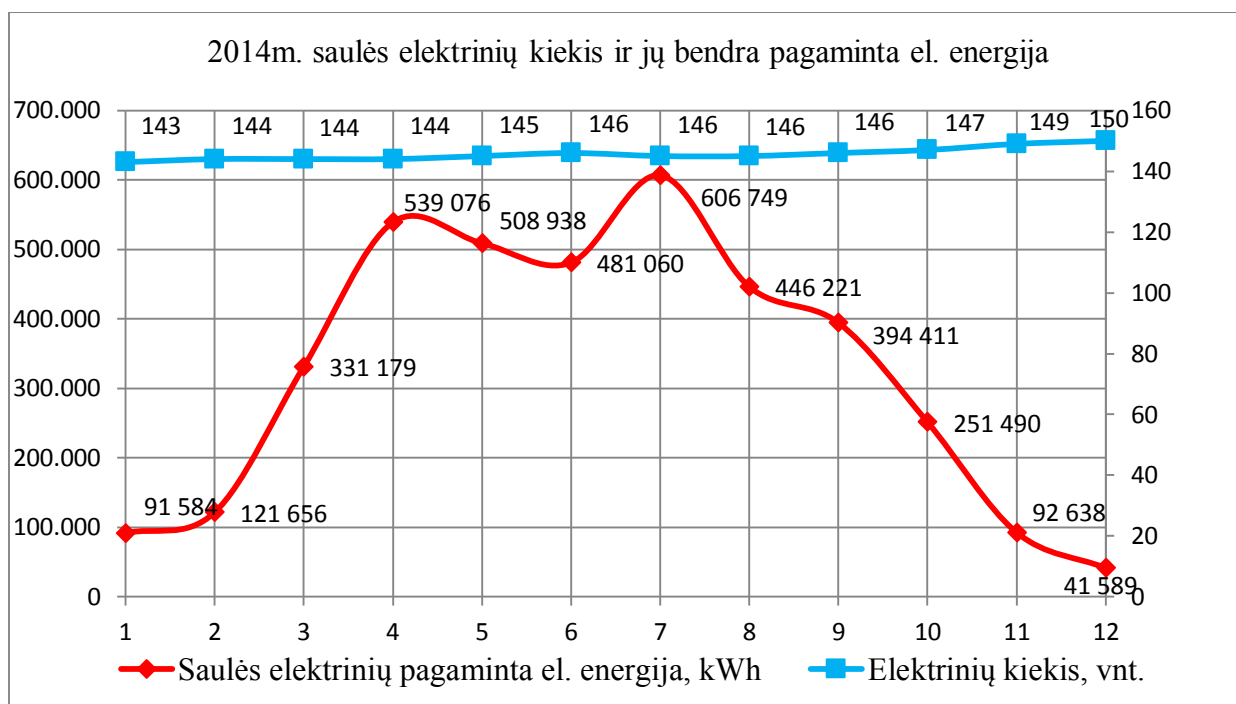
2.3 lentelė. 2013 m. vienos saulės elektrinės vidutinė el. energijos generacija

Mėnuo	Generuojama el. energija, kWh
Sausis	161,75
Vasaris	310,76
Kovas	494,73
Balandis	2 947,18
Gegužė	2 613,76
Birželis	3 316,22
Liepa	3 950,85
Rugpjūtis	3 784,47
Rugsėjis	3 414,67
Spalis	2 271,57
Lapkritis	1 025,90
Gruodis	416,03

Pagal apskaičiuotus duomenis (2.3 lentelė), brėžiama 2013 metų vidutinė vienos saulės elektrinės elektros energijos gamybos charakteristika.



2.8 pav. 2013 m. saulės elektrinių bendra charakteristika

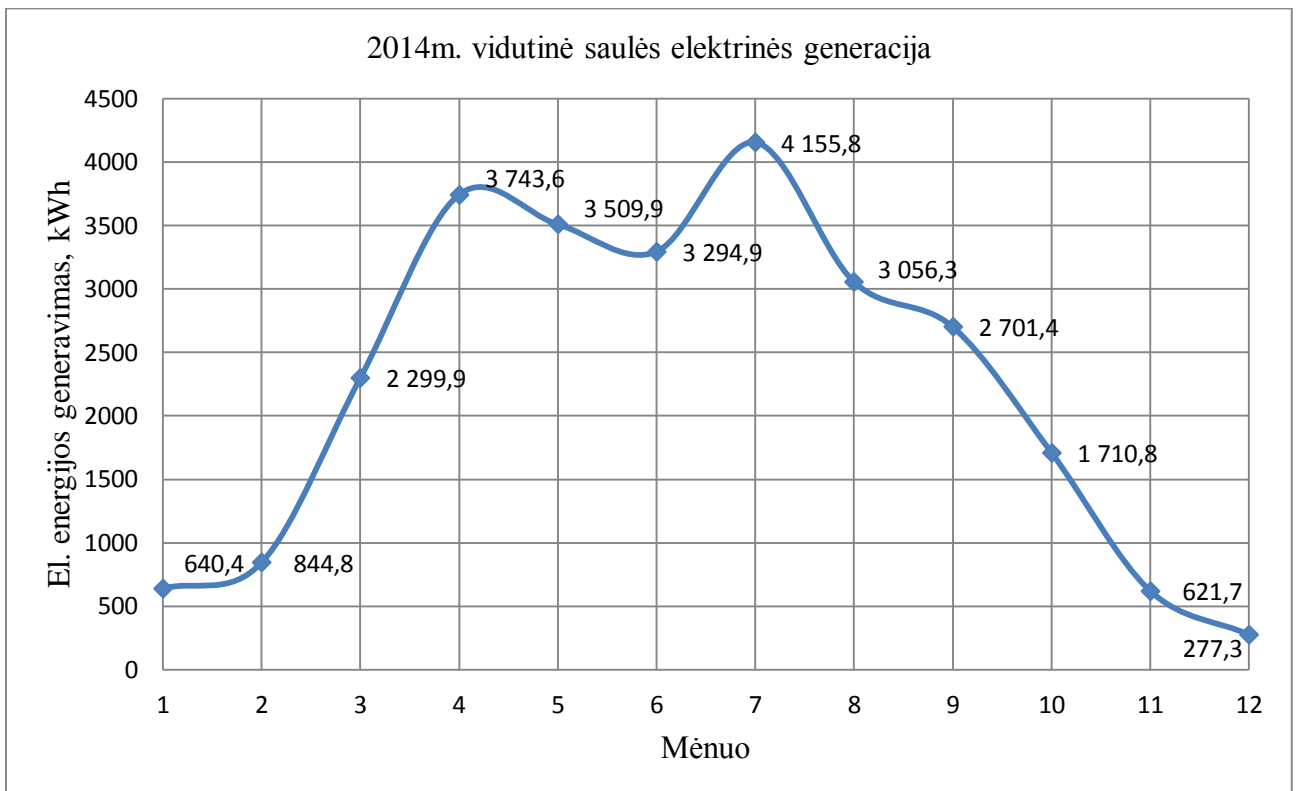


2.9 pav. 2014 m. saulės elektrinių bendri duomenys

2.4 lentelė. 2014 m. vienos saulės elektrinės vidutinė el. energijos generacija

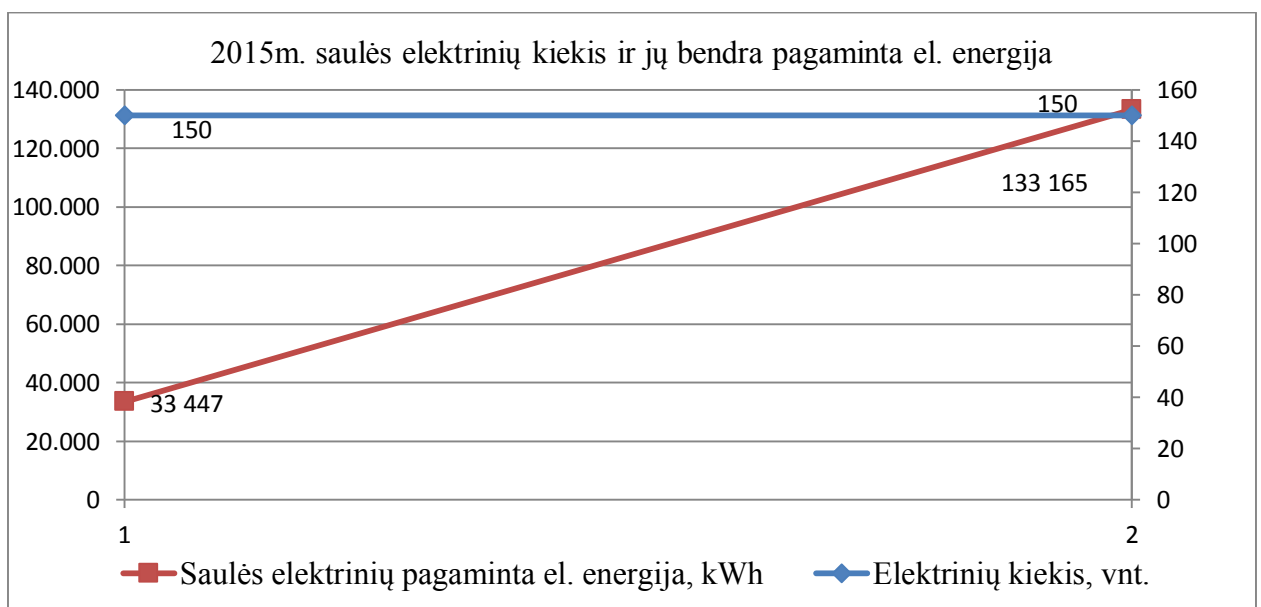
Mėnuo	Generuojama el. energija, kWh
Sausis	640,45
Vasaris	844,83
Kovas	2 299,85
Balandis	3 743,58
Gegužė	3 509,92
Birželis	3 294,93
Liepa	4 155,82
Rugpjūtis	3 056,31
Rugsėjis	2 701,45
Spalis	1 710,82
Lapkritis	621,73
Gruodis	277,26

2.4 lentelėje apskaičiuoti duomenys pasinaudojant formule (2.1).



2.10 pav. 2014 m. saulės elektrinių bendra charakteristika

2015 metų statistika

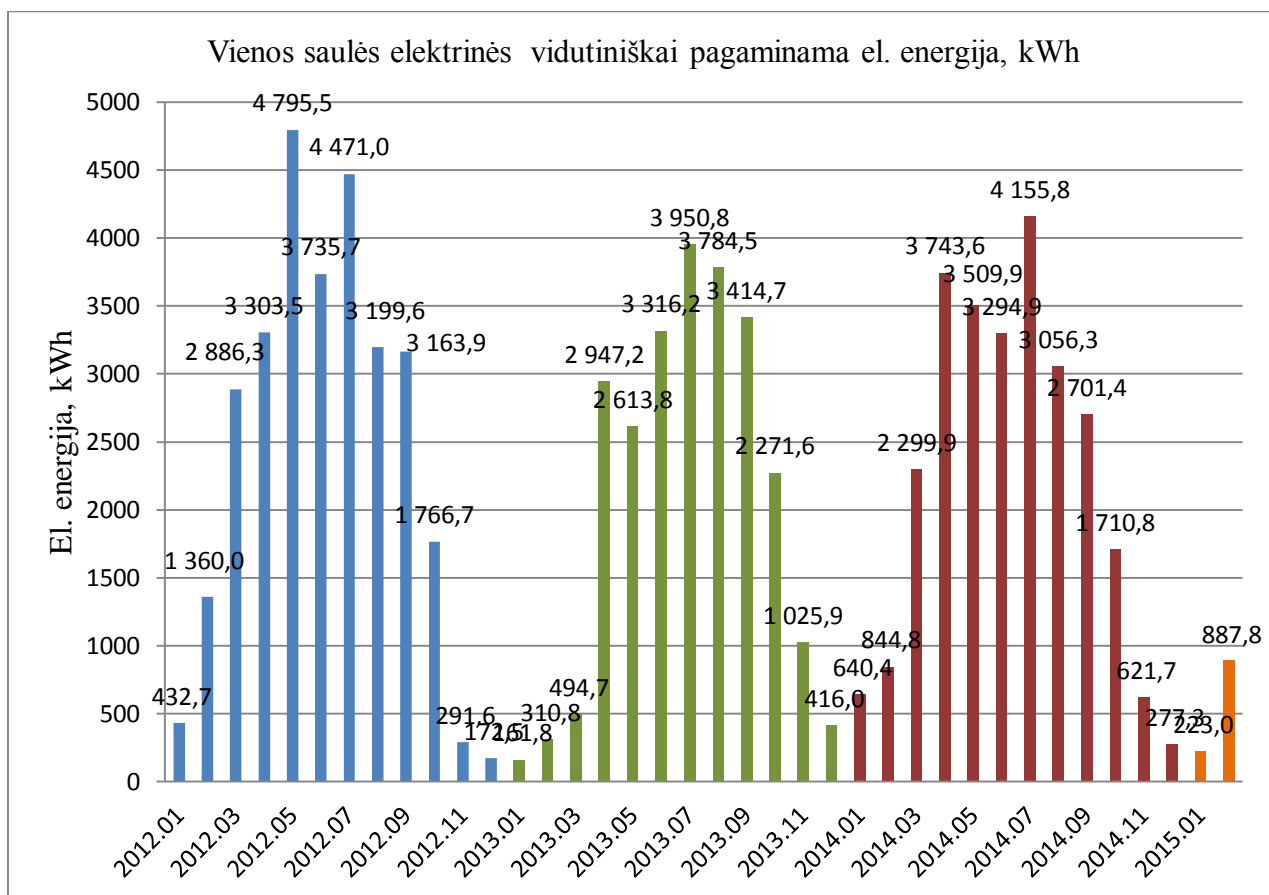


2.11 pav. 2015 m. saulės elektrinių bendri duomenys

2.5 lentelė. 2015 m. vienos saulės elektrinės vidutinė el. energijos generacija

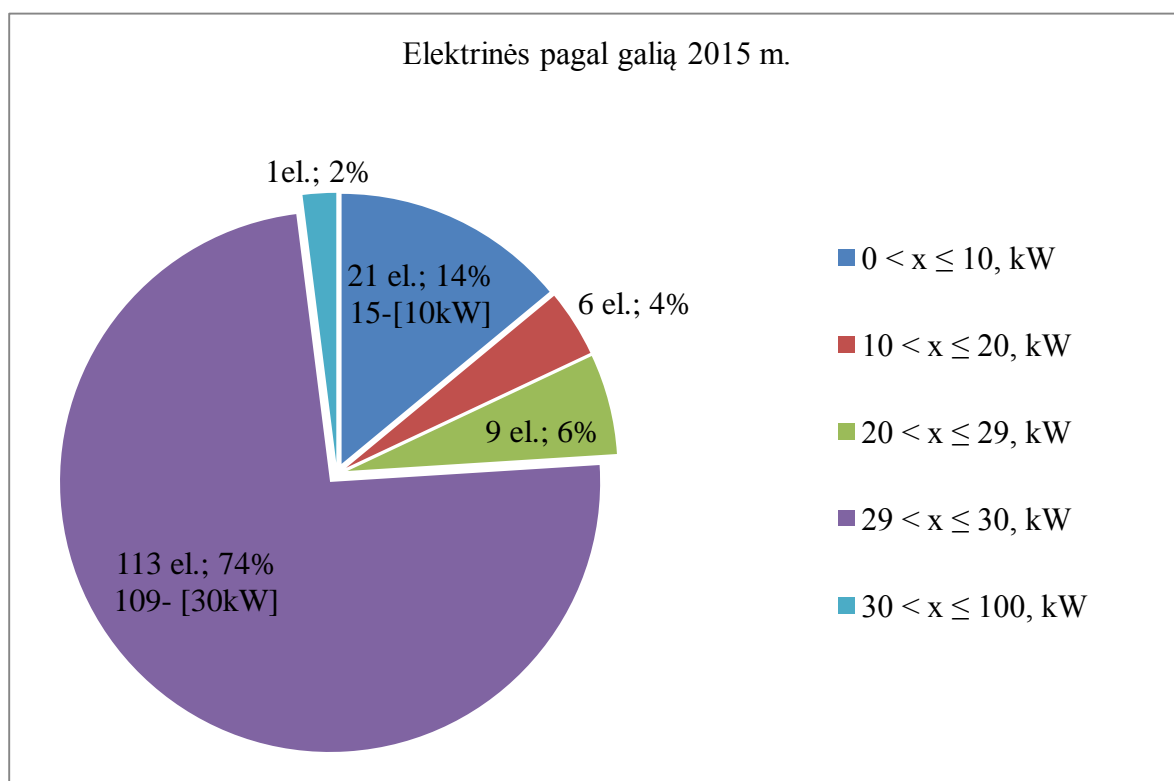
Mėnuo	Generuojama el. energija, kWh
Sausis	222,98
Vasaris	887,77

Skirtingų metų grafikai (2.6 pav., 2.8. pav., 2.10 pav.) atvaizduojami viename (2.12 pav.) grafike.



2.12 pav. 2012 – 2014 metų vienos saulės elektrinės vidutinė el. energijos generacija

2.3.Saulės elektrinės pagal galią



2.13 pav. Elektrinių pasiskirstymas pagal galią

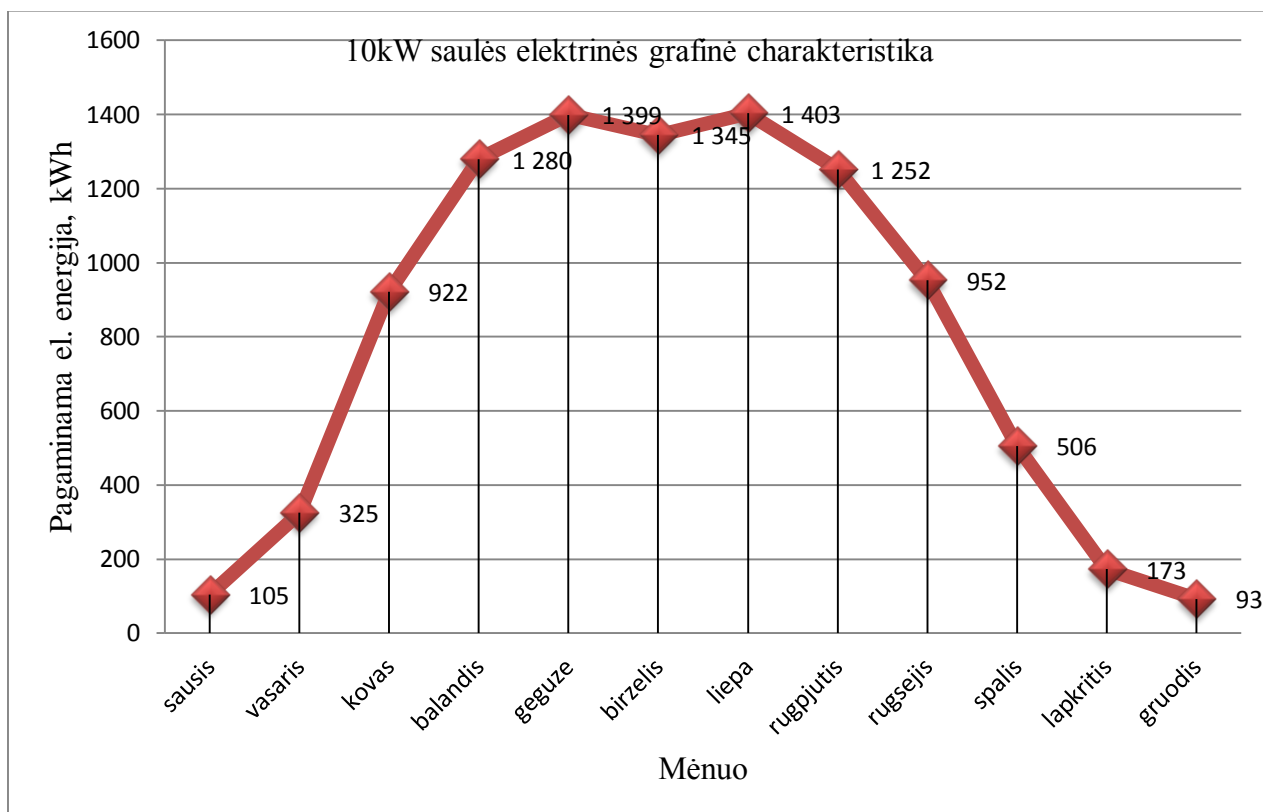
Šioje darbo dalyje saulės elektrinės išskirstomos pagal galingumą ir sudaroma diagrama (2.13 pav.), kurioje matyti kokio galingumo SE yra daugiausiai, bei sudaroma lentelė (2.6 lentelė), kurioje surašomas šių elektrinių bendras ir vidutinis galingumas.

2.6 lentelė. Elektrinių galios pasiskirstymas

Elektrinių galingumas, kW	Elektrinių kiekis, vnt.	Bendra elektrinių galia, kW	Vidutinė elektrinių galia, kW	Visų 150 elektrinių vidutinė galia, kW
$0 < x \leq 10$	21	178,90	8,52	27,59
$10 < x \leq 20$	6	99,0	16,50	
$20 < x \leq 29$	9	253,90	28,21	
$29 < x \leq 30$	113	3 507,93	29,98	
$30 < x < 100$	1	99,60	99,60	

Pagal grafiką (2.13 pav.) matoma, kad daugiausiai yra 30 kW (109 elektrinės) ir 10 kW (15 elektrinių) SE, todėl būtent šių galingumų ir sudaromos metinės elektros energijos generacijos charakteristikos.

2.3.1. 10kW saulės elektrinė



2.14 pav. 10 kW SE charakteristika

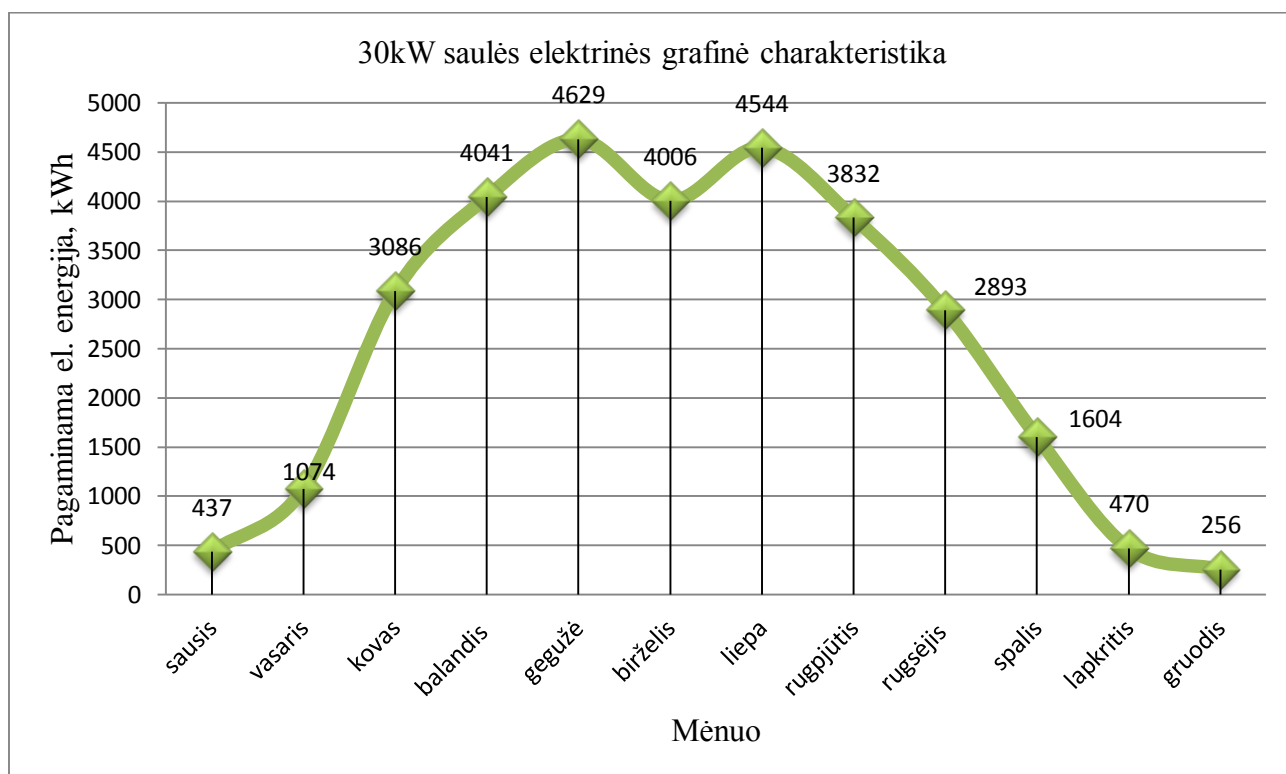
2.7 lentelė. 10 kW SE duomenys

vidurkis	811,75 kWh
suma	9 741 kWh

10kW galios saulės elektrinės grafinė (2.14 pav.) elektros energijos metinė generacija sudaroma vertinant 15 elektrinių, kurių kiekvienos galingumas yra lygiai 10 kW. Iš šio grafiko apskaičiuojama vidutinė mėnesio bei bendra dvylikos mėnesių elektros energijos generacija (2.7 lentelė).

2.3.2. 30kW saulės elektrinė

30 kW galios saulės elektrinės grafinė (2.15 pav.) charakteristika sudaroma, vertinant 109 elektrines, kurių kiekvienos galingumas yra 30 kW.

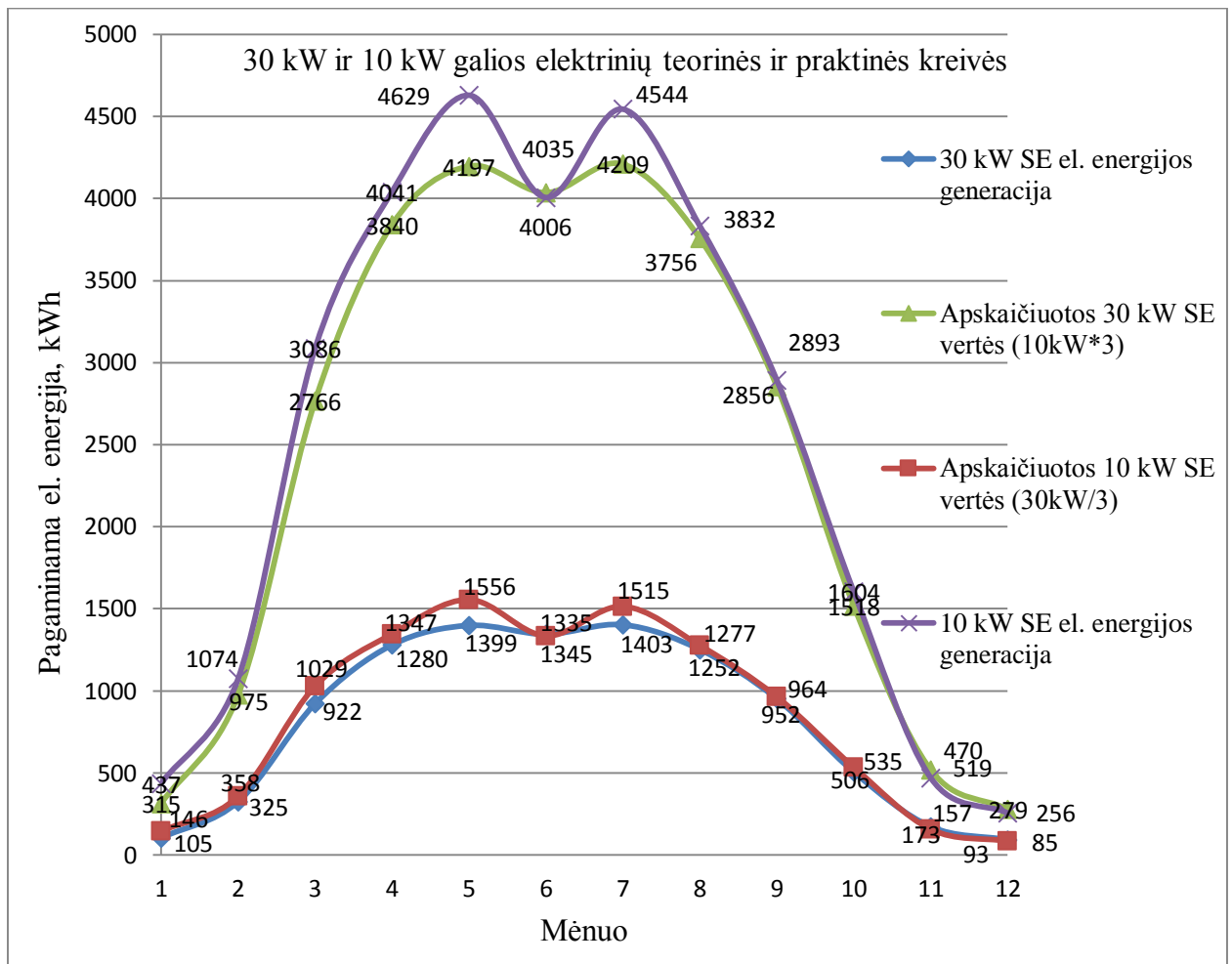


2.15 pav. 30 kW SE charakteristika

2.8 lentelė. 30 kW SE duomenys

Vidurkis	2 575,833 kWh
Suma	30,910 kWh

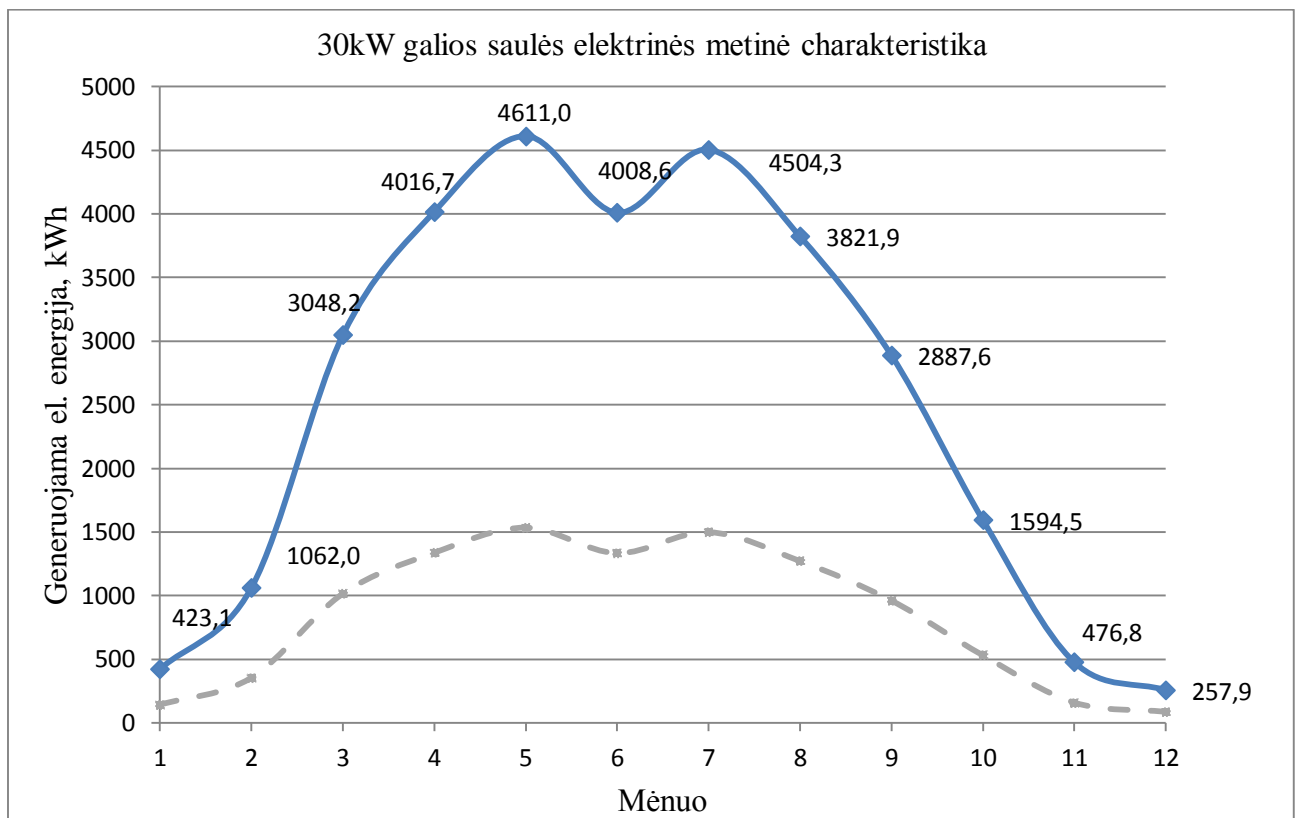
Palyginimui 10 kW ir 30 kW SE, sudaromos bendros jų charakteristikų kreivės, teorinės bei praktinės. Teorinės – kuomet 30 kW SE duomenys dalinami iš 3, taip gaunant teorinę 10 kW galios elektrinės kreivę, o 10 kW – dauginant iš 3 ir taip gaunant teorinę 30 kW elektrinės kreivę. Praktinės – tai jau sudarytų charakteristikų kreivės pagal praktinius, turimus veikiančių elektrinių duomenis.



2.16 pav. Teorinės ir praktinės 10 ir 30 kW galios SE charakteristikos

Pagal sudarytas kreives matoma, kad 10 kW galios SE pagamina virš 3 kartų mažiau elektros energijos nei 30 kW SE, nors jų galingumas skiriasi lygiai 3 kartais. Todėl sudaroma bendra 30 kW elektrinės charakteristika, kuri būtų lengvai pritaikoma bet kokio galingumo elektrinei (jei SE būtų 15 kW, tai duomenys būtų dalijami iš 2, jei 60 kW – dauginami iš 2 ir t.t.). Galutinė 30 kW elektrinės charakteristika sudaroma iš teorinių ir praktinių kreivių. Tai yra, charakteristiką (2.17 pav.) sudaro 12 % teorinės ir 88 % praktinės 30 kW SE kreivės, kadangi 10 kW elektrinių yra 15, o 30 kW – 109.

2.3.3. 30kW saulės elektrinė metinė elektros energijos generacijos charakteristika



2.17 pav. 30 kW SE elektros energijos gamybos charakteristika

2.9 lentelė. 30 kW SE elektros energijos gamyba

Metinis el. energijos pagaminimas, kWh	30 712,6 kWh
Vidutinis mėnesis el. energijos pagaminimas, kWh	2 559,38 kWh

Sudaryta 30 kW SE elektros energijos gamybos charakteristika (2.17 pav.) panaudojama skaičiuojant projektuojamos saulės elektrinės atsiperkamumą, pelną ir yra lengvai pritaikoma pasirinkto galingumo SE skaičiavimams.

3. SAULĖS ELEKTRINĖS PROJEKTAVIMAS

3.1. Parenkami fotoelektros moduliai

Plačiausiai paplitę yra monokristalinio, polikristalinio ir amorfinio silicio fotoelektros elementai, kurių kiekvienas turi savų privalumų ir trūkumų. Iš šių tipų 80 ÷ 90 % pardavimo rinkos sudaro monokristalinio ir polikristalinio silicio elementai. Todėl buvo renkama iš šių elementų.

Pasirinkti Lietuvoje pagaminti saulės polikristaliniai 250W fotovoltiniai moduliai *Solet P60.6 – 250*, kadangi nuspręsta rinktis iš lietuvišką produkciją iš siūlomų elementų, nes šių modulių charakteristika pagal kainą buvo priimtinausia.



3.1 pav. Saulės fotoelementas

3.1 lentelė. Elektriniai parametrai

Elektriniai parametrai:	P60.6-WF-250
maksimali galia*	250-255 WP
maksimali įtampa	30.9 V
maksimali srovė	8.06 A
atvirosios grandinės įtampa	38.4 V
užtrumpintos grandinės srovė	8.6 A
galios matavimo tolerancija	0+3 %

* apšvita 1000 W/m², modulio temperatūra 25°C, spektras kai AM (oro masė) 1.5.

3.2 lentelė. Mechaniniai parametrai ir veikimo sąlygos

Veikimo sąlygos:		Mechaniniai parametrai:	
didžiausia sistemos įtampa	DC 1000 V	saulės elementas (mm)	Poly 156 x 156
darbinė temperatūra	-40°C/+85° C	matmenys (l x w x h)	1662 x 997 x 42 1640 x 992 x 45
didžiausia atgalinė srovė	12 A	svoris (kg)	22

Pasirinktų saulės modulių kaina

Šiuos modulius pardavinėja ne viena Lietuvos įmonė, tačiau rinktasi, kuri šiuo metu siūlo optimaliausią kainą:

Pasirinktas pardavėjas UAB „Informacinių technologijų pasaulis“

- 1vnt. *Solet P60.6-WF-250 Poly* kainuoja 157 Eur be PVM.
- Reikalingas kiekis 120vnt., todėl suma už saulės modulius gaunasi: 18 840 Eur be PVM.

3.2. Parenkamas keitiklis

Fotoelektriniai moduliai generuoja nuolatinę srovę, todėl, norint elektros energiją tiekti į tinklą, reikalingas keitiklis. Jis nuolatinės srovės elektros energiją keičia į standartinės įtampos ir dažnio kintamosios srovės energiją.

Lietuvoje pagal statistiką, 30kW galios elektrinėje dažniausiai montuojamas vienas iš 2 tipų keitiklių: *KACO Powador 30.0* arba *Power-One Aurora Trio 27.6*. Atsižvelgiant į keitiklio kainą ir naudingumo koeficientą, parenkamas 3 fazių Power-One Aurora TRIO 27.6-TL-OUTD-S2X keitiklis su viršįtampių ribotuviu bei pateikiama jo charakteristika:

Techniniai parametrai:

Keitiklis - Power-One Aurora TRIO-27.6-TL-OUTD-S2 ;

Nuolatinės srovės maksimali įėjimo įtampa – 1 000 V ;

Nuolatinės srovės nominali įėjimo galia – 28 600 W ;

Nuolatinės srovės maksimali įėjimo galia – 32 000 W ;

Nuolatinės srovės maksimali įėjimo srovė – 64 A ;

Fazių skaičius - 3 ;

Kintamosios srovės nominali galia – 27 600 W ;

Kintamosios srovės maksimali išėjimo galia – 30 000 W ;

Kintamosios srovės sistemos įtampa – 400 V ;

Kintamosios srovės įtampos diapazonas – 320 - 480 V ;



3.2 pav. Keitiklis

Kintamosios srovės vardinis išėjimo dažnis – 50 Hz (reguliuojamas diapazonas 47-53 Hz) ;

Kintamosios srovės maksimali išėjimo srovė – 45 A ;

Kintamosios srovės maksimali apsauga nuo viršsrovių – 46 A ;

Maksimalus naudingumas (η_{\max}) - 98.2% ;

Matmenys - 1061x702x292 mm ;

Garantija - 10 metų (pratęsiama iki 15 - 20 metų).

- Pasirinkto keitiklio kaina dabartinėje rinkoje: 3 745,38 Eur (kaina be PVM).

3.3. Fotovoltinių modulių prijungimas prie keitiklio

Pagal keitiklio charakteristiką yra 2 nepriklausomi įėjimai. Viename nepriklausomame įėjime yra 3 jungtys atskiroms fotovoltinių modulių eilėms, kuri kiekviena yra apsaugota 12 A saugikliais, tačiau maksimali įėjimo srovė, visų 3 įėjimų – 32 A, t. y. apie 10,6 A vienam įėjimui.

Viso yra 120 modulių, kuriuos prijungsime prie keitiklio 3 eilėmis po 20 modulių prie kiekvieno nepriklausomo keitiklio įėjimo.

Vienos eilės fotovoltinių modulių skaičiavimas:

Nuolatinė įtampa tekanti į keitiklį:

$$U_{DC} = n_{mod} * U_{TV} \quad (3.1)$$

$$U_{DC} = 20 * 38,4 = 768 V$$

Čia n_{mod} – modulių skaičius eilėje; U_{TV} – modulio tuščiosios veikos įtampa.

Modulių eilės galia:

$$P_{sk} = n_{mod} * P_N \quad (3.2)$$

$$P_{sk} = 20 * 250 = 5000 W$$

Čia P_N – modulio nominali galia.

Modulių eilės skaičiuojamoji srovė:

$$I_{sk} = P_{sk}/U_{DC} \quad (3.3)$$

$$I_{sk} = 5000/768 = 6,51 \text{ A}$$

Keitiklio įėjimo parametrai: $U_{DC \max} = 1000 \text{ V}$, $I_{\max} = 10,6 \text{ A}$.

Sąlyga: $U_{DC} < U_{DC \max}$, $I_{sk} < I_{\max}$ yra tenkinama, todėl parinktas fotovoltinių modulių prijungimas prie keitiklio yra tinkamas.

3.4. Parenkamos saulės elementų tvirtinimo konstrukcijos

Saulės elementų tvirtinimo konstrukcijos bus parenkamos atsižvelgiant į realaus daugiabučio namo stogo plotį. Todėl pradžioje paskaičiuojamas SE užimamas plotas pagal pasirinktus saulės elementus ir sudaromas numatomas šių modulių sujungimas bei išdėstymas.

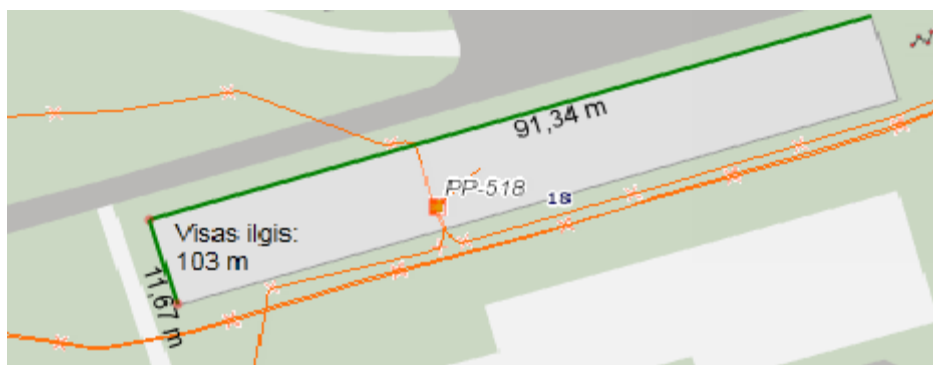


3.3 pav. Saulės moduliai

Visi 120 saulės fotoelementų bus išdėstyti išnaudojant visą plokščio stogo plotą. Sprendžiant koks bus išdėstymas, atliekami skaičiavimai, kai turimi duomenys:

- Namų ilgis: 91,34m ~ 90m *
- Namų plotis: 11,67m~ 11m *

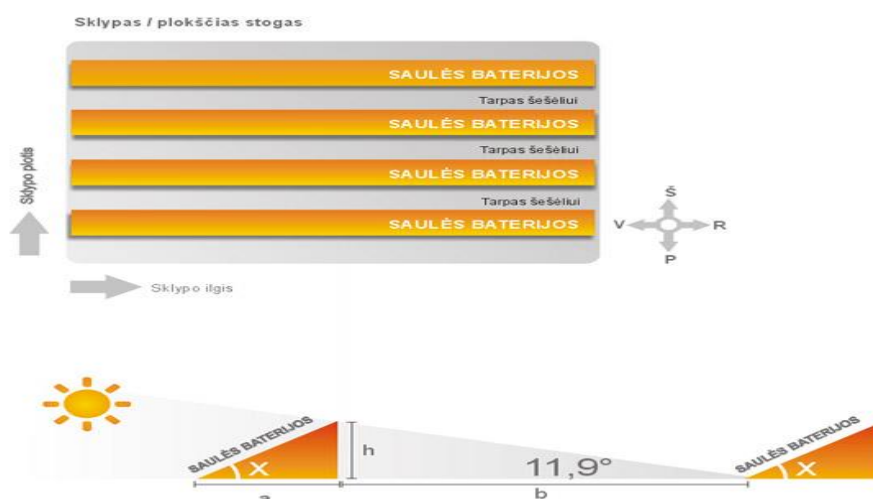
*(namo parametrai nėra tikslūs, kadangi matuota naudojant topografinį žemėlapi)



3.4 pav. Realaus daugiabučio namo stogo planas

Pasirinktų saulės elementų parametrai:

- Ilgis 1640 mm = 1,64 m
- Plotis 992 mm ~ 1 m



3.5 pav. Šešėliavimas

Dėl skaičiavimų supaprastinimo pasirenkama skaičiuoklė, kurios nuoroda pateikiama šaltiniuose. Joje įvedus stogo ir fotoelemento parametrus bei saulės kampą, esant trumpiausiam dienai metuose (gruodžio 21d.), gaunami dydžiai parodo, kiek saulės elementų maksimaliai tilptų ant stogo, keliomis eilėmis ir po kiek vienetų, kokie atstumai tarp jų, koks projektuojamas kampas tarp saulės krypties ir fotoelektros modulių plokštumos bei kokio galingumo elektrinė tilptų ant pasirinkto stogo.

3.3 lentelė. Skaičiuoklė

Įveskite sklypo plotį (m)	90
Įveskite sklypo ilgį (m)	11
Įveskite panelės galingumą (W)	250
Įveskite panelės plotį (m)	1,64
Įveskite panelės aukštį (m)	1
Saulės kampas (Gruodžio 21d) (⁰):	11,9
x (⁰)	35,4
a (m)	0,82
h (m)	0,58
b (m)	2,75
a + b (m)	3,57
Į vieną eilę telpa panelių:	54
Į sklypą telpa eilių:	3
Į sklypą telpa panelių (vnt.):	162
Bendras galingumas (kW):	40,6

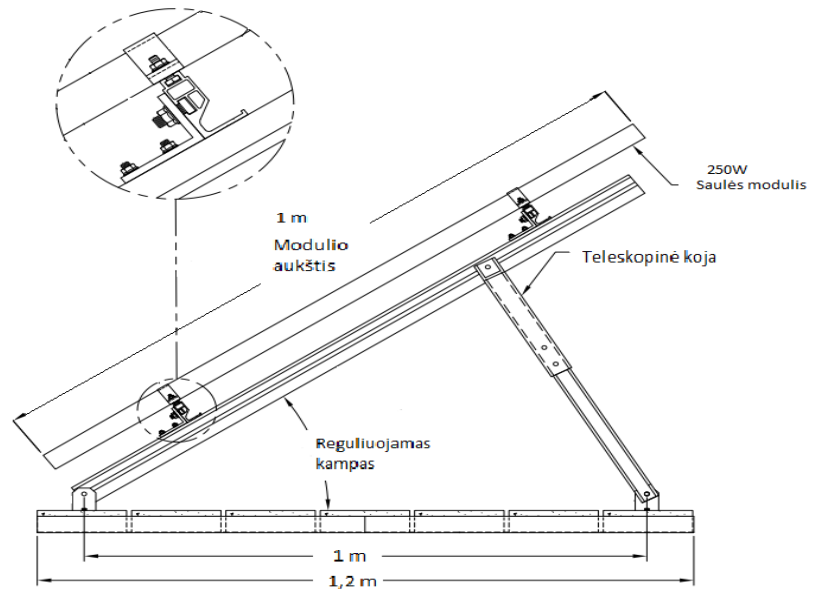
- Pagal šią skaičiuoklę 30 kW SE atitinkamai sudarys 3 eilės po 40 saulės elementų.

Saulės elektrinėse pagaminamos elektros energijos kiekis labai priklauso ir nuo fotoelektros modulių orientacijos į saulę. Didžiausias naudingumo faktorius pasiekiamas tada, kai fotoelektros modulio plokštuma su kryptimi į saulę sudaro 90 laipsnių kampą. Priešingu atveju, moduliui tenkantis spindulinės energijos kiekis mažėja. Jei fotoelektros moduliai įtvirtinti nejudamai, kampas tarp saulės krypties ir modulio plokštumos skirtingam paros ir metų laikui keisis, tačiau atsižvelgiant į konstrukcijų kainas, bus pasirenkamos pigesnės modulių tvirtinimo konstrukcijos su rankiniu modulių polinkio į horizontalią plokštumą kampo reguliatoriumi.

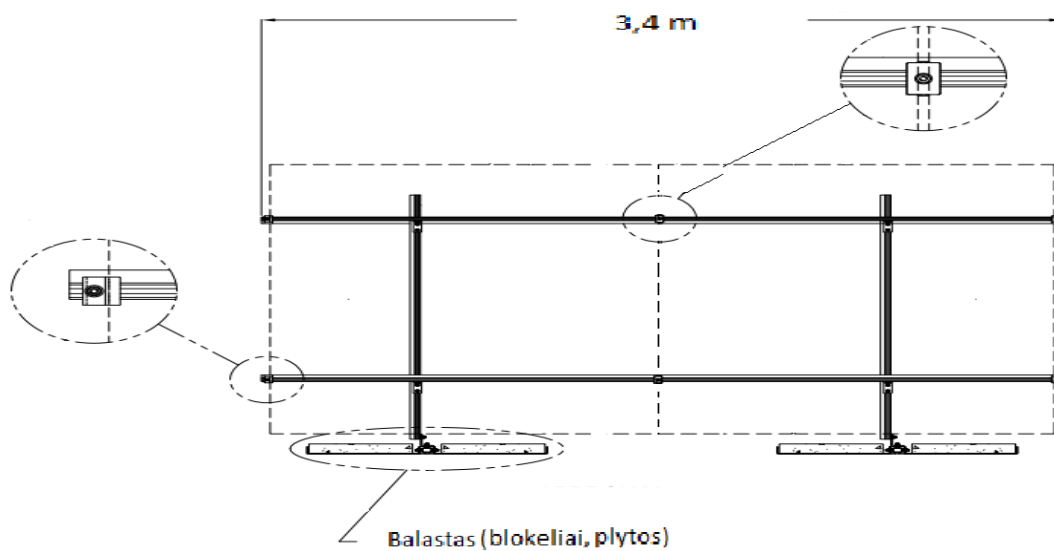
Pagal turimą stogo plotą, modulių dydžius, jų išdėstymą, parenkama POWER-FAB® (BRM) amerikiečių tipo saulės modulių tvirtinimo konstrukcija. Šios konstrukcijos tipas lengvai pagaminamas ir, norint pagerinti saulės elektrinės efektyvumą, lengvai yra keičiamas modulių pasvirimo kampas. Pasirinktoje konstrukcijoje galima sumontuoti dvi paneles, kurių aukštis 1m

ir ilgis iki 1,7m. Projektuojamoje elektrinėje bus viso 120 vnt. saulės modulių, todėl tokių tvirtinimo konstrukcijų viso reikės 60 vnt..

Suprojektuotas saulės elementų su konstrukcijomis išdėstymas ant daugiabučio stogo pridamas prie priedų (Priedas 1. Saulės elementų išdėstymas ant daugiabučio namo stogo).



3.6 pav. Modulių tvirtinimo konstrukcija (1)



3.7 pav. Modulių tvirtinimo konstrukcija (2)

Atlikus užklausą UAB „Metalistas LT“, pateikiant norimą projektuoti konstrukciją, buvo gautas atsakymas, kad vienos tokios tvirtinimo konstrukcijos kaina siektų iki 120 € (414,34 Lt) be PVM.

- Visų laikiklių kaina: $60 \times 120 = 7\,200$ Eur (24 860,16 Lt) be PVM.

3.5. Kabelių parinkimas. Įtampos ir galios nuostolių apskaičiavimas

Nuolatinės srovės kabelių parinkimas

Parentant nuolatinės srovės kabelius, įvertinamas jų ilgis, jungiantis saulės modulius ir inverterį. Taip pat siekiama užtikrinti galios nuostolius mažesnius nei 1 %, todėl laidų storis parenkamas pagal darbinės srovės.

Pasirinktas viengyslis kabelis su dviguba izoliacija Solar Will PV1-F 6.0mm². Kabelio leistinoji srovė – 50 A, varža – 3,39 Ω/km. Leistinoji kabelio srovė didesnė už skaičiuojamą srovę: $I_{leist} > I_{sk}$, todėl toliau atliekami skaičiavimai.

Priimama, kad viso kabelio ilgis, jungiantis vieną modulių eilę, susidedančią iš 20 elementų, ir keitiklį, bus lygus 80 metrų.

Skaičiuojami įtampos ir galios nuostoliai viename kabelyje:

Kabelio varža:

$$R_L = R_{kab} * L \quad (3.4)$$

$$R_L = 3,39 * 0,08 = 0,2712 \, \Omega$$

Čia $R_{kab} = 3,39 \, \Omega$ – pasirinkto kabelio varža; $L = 80 \, m$ – kabelio ilgis.

Įtampos nuostoliai:

$$\Delta U = I_{sk} * R_L \quad (3.5)$$

$$\Delta U = 6,51 * 0,2712 = 1,77 \, V$$

$$\Delta U_{\%} = \Delta U / U_{sk} * 100 \% \quad (3.6)$$

$$\Delta U_{\%} = 1,77/768 * 100\% = 0,23 \%$$

Čia $I_{sk} = 6,51 A$ – skaičiuojamoji darbo srovė, apskaičiuota ankstesnėje darbo dalyje;
 $U_{sk} = 768 V$ – modulių eilės skaičiuojamoji įtampa, apskaičiuota ankstenėje darbo dalyje.

Galios nuostoliai:

$$\Delta P = I_{sk}^2 * R_L \quad (3.7)$$

$$\Delta P = 6,51^2 * 0,2712 = 11,49$$

$$\Delta P_{\%} = \Delta P / P_{sk} * 100\% \quad (3.8)$$

$$\Delta P_{\%} = 11,49/5000 * 100\% = 0,23 \%$$

Kabelis parinktas teisingas, kadangi nuostoliai pasiekti mažesni nei 1 %.

Suminiai visų kabelių galios nuostoliai:

$$\Sigma \Delta P = \Delta P * n \quad (3.9)$$

$$\Sigma \Delta P = 11,49 * 6 = 68,94 W$$

Čia $n = 6$ – kabelių skaičius, jungiantys 6 atskiras saulės modulių eiles.

Efektyvi maksimali atiduodama galia į keitiklį: 29,931 kW.

Kintamosios srovės kabelių parinkimas

Parinkamas kintamosios srovės kabelis jungiantis keitiklį ir projektuojamą komercinę apskaitos spintą (KAS).

Parinktas aliuminis kabelis AXMK 4x50mm², kurio parametrai: $R_{kab} = 0,77 \Omega/km$,
 $X_{kab} = 0,1 \Omega/km$, $I_l = 125 A$, $I_{TJ} = 4,7 kA$.

Priimama, kad $\cos\varphi = 1$. Tuomet kabelio skaičiuojamoji srovė:

$$I_{sk} = P_{sk}/(\sqrt{3}U_N\cos\varphi) \quad (3.10)$$

$$I_{sk} = 27600/(\sqrt{3} * 400 * 1) = 39,84 \text{ A}$$

$$I_l > I_{sk}, \text{ sąlyga tenkinama.}$$

Čia $P_{sk} = 27,6 \text{ kW}$ – nominali keitiklio išeinamoji galia; $U_N = 400 \text{ V}$ – nominali keitiklio įtampa; $I_l = 125 \text{ A}$ – kabelio ilgalaikė leistinoji srovė.

Linijos aktyvioji varža, tenkanti fazei:

$$R_L = R_{kab} * L \quad (3.11)$$

$$R_L = 0,77 * 0,035 = 0,02695 \Omega$$

Čia $L = 0,035 \text{ m}$ – kabelio ilgis.

Linijos reaktyvioji varža, tenkanti fazei:

$$X_L = X_{kab} * L \quad (3.12)$$

$$X_L = 0,1 * 0,035 = 0,0035 \Omega$$

Ilgalaikio apkrovimo laidai apkrauti tik trečdaliu, todėl nebūtina atsižvelgti į įkaitusių laidų aktyviąją varžą.

Įtampos kritimas linijoje:

$$\Delta U = \sqrt{3}I_{sk}(R_L + X_L) \quad (3.13)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * 39,84(0,02695 + 0,0035) = 2,1 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\%} = \Delta U/U * 100\% \quad (3.14)$$

$$\Delta U_{\%} = 2,1/400 * 100\% = 0,525 \%$$

Aktyviosios galios nuostoliai:

$$\Delta P = 3I^2R_L \quad (3.15)$$

$$\Delta P = 3 * 39,84^2 * 0,02695 = 128,33 \text{ W}$$

Reaktyviosios galios nuostoliai:

$$\Delta Q = 3I^2X_L \quad (3.16)$$

$$\Delta Q = 3 * 39,84^2 * 0,0035 = 16,66 \text{ var}$$

Suminiai galios nuostoliai:

$$\Delta S = 3I^2\sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (3.17)$$

$$\Delta S = 3 * 39,84^2\sqrt{0,02695^5 + 0,0035^2} = 129,4 \text{ VA}$$

Pagal atliktus skaičiavimus, matoma, kad kabelis yra parinktas teisingas.

Parenkamas kintamosios srovės kabelis jungiantis projektuojamą komercinę apskaitos spintą (KAS) ir paskirstymo punktą (PP).

Parinktas aliuminis kabelis su plastikine izoliacija AXMK 4x120mm² SM, kurio parametrai: $R_{kab} = 0,253 \Omega/km$, $X_{kab} = 0,1 \Omega/km$, $I_l = 273 \text{ A}$.

Priimama, kad kabelio skaičiuojamoji srovė, pagal formulę (3.10) lygi:

$$I_{sk} = 40 \text{ A}, I_l > I_{sk}, \text{ sąlyga tenkinama.}$$

Linijos aktyvioji varža, tenkanti fazei:

$$R_L = R_{kab} * L \quad (3.18)$$

$$R_L = 0,253 * 0,004 = 0,001012 \Omega$$

Čia $L = 0,004 \text{ m}$ – kabelio ilgis.

Linijos reaktyvioji varža, tenkanti fazei:

$$X_L = X_{kab} * L \quad (3.19)$$

$$X_L = 0,1 * 0,004 = 0,0004 \Omega$$

Ilgalaikio apkrovimo laidai apkrauti tik trečdaliu, todėl nebūtina atsižvelgti į įkaitusių laidų aktyviają varžą.

Įtampos kritimas linijoje:

$$\Delta U = \sqrt{3}I_{sk}(R_L + X_L) \quad (3.20)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * 40(0,001012 + 0,0004) = 0,1 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\%} = \Delta U / U * 100\% \quad (3.21)$$

$$\Delta U_{\%} = 0,1/400 * 100\% = 0,025 \%$$

Aktyviosios galios nuostoliai:

$$\Delta P = 3I^2R_L \quad (3.22)$$

$$\Delta P = 3 * 40^2 * 0,001012 = 4,86 \text{ W}$$

Reaktyviosios galios nuostoliai:

$$\Delta Q = 3I^2X_L \quad (3.23)$$

$$\Delta Q = 3 * 40^2 * 0,0004 = 1,92 \text{ var}$$

Suminiai galios nuostoliai:

$$\Delta S = 3I^2\sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (3.24)$$

$$\Delta S = 3 * 40^2\sqrt{0,001012^2 + 0,0004^2} = 5,22 \text{ VA}$$

Pagal atliktus skaičiavimus, matoma, kad kabelis yra parinktas teisingas.

Komercinėje apskaitos spintoje parenkama šyna

0,4 kV šynos dalies didžiausią leistiną srovę apriboja kabelis AXMK-4x120mm², kurio didžiausia leistina srovė yra 273 A. Tai $I_{max} = 273 \text{ A}$.

Parenkama šyna, kurios parametrai: aukštis - $h = 50 \text{ mm}$; plotis - $b = 6 \text{ mm}$; ilgis - $l = 2 \text{ m}$, leistina srovė - $I_l = 740 \text{ A}$.

Skaičiuojama šynos ilgalaikė leistina srovė:

$$I'_l = I_l * \sqrt{\vartheta_l - \vartheta_m / \vartheta_l - \vartheta_d} \quad (3.25)$$

$$I'_l = 740 * \sqrt{70 - 35 / 70 - 25} = 625,6 \text{ A}$$

Čia I'_l - ilgalaikė leistina šynų srovė; I_l -leistinoji ilgalaikė srovė iš katalogo; ϑ_l -leistinoji šynų įšilimo temperatūra; ϑ_m - maksimali šynų įšilimo temperatūra; ϑ_d - šynų darbo aplinkos temperatūra.

Sąlyga: $I_{sk} = 40 \text{ A} < I'_l = 625,6 \text{ A}$ yra tenkinama.

3.6. Apsaugos aparatų parinkimas

Automatiniai jungikliai – tai žemosios įtampos aparatai iki 1 kV, skirti elektros grandinių komutacijai ir apsaugai. Apsaugos nuo trumpojo jungimo elementai sumontuoti pačiame automatiniam jungiklyje. Šie jungikliai trifaziame tinkle parenkami naudojantis „Elektros energijos vartotojų ir gamintojų įvadinėse apskaitos spintose automatinių jungiklių rekomendacines parinkimo lenteles“. Siekiant išlaikyti selektivumą, komercinėje apskaitos spintoje prieš ir už apskaitos montuojamas 63 A automatinis jungiklis, o keitiklio įėjime – 50 A. Šie automatiniai jungikliai parenkami pagal leistinąją galią:

$$P_l = 23 \div 28 \text{ kW} - I_{at} = 50 \text{ A};$$

$$P_l = 29 \div 35 \text{ kW} - I_{at} = 63 \text{ A};$$

Sąlyga: $I_{keit.max} = 46 \text{ A} < I_{at} = 50 \div 63 \text{ A} < I_{kab.l.} = 125 \text{ A}$ yra tenkinama, todėl automatiniai jungikliai parinkti teisingi.

Duomenų nuskaitymo ir persiuntimo įranga apsaugoma 2 A automatinio jungikliu, kadangi šios įrangos galia yra mažesnė nei 500 W.

Nuolatinės srovės pusėje, apsaugai naudojami cilindriniai saugikliai gPV. Trumpojo jungimo srovė išeinanti iš modulių eilės: $I_{TJ} = 8,6 \text{ A}$. Pagal tai parenkami saugikliai, naudojantis formule:

$$I_{saug.} = 1,4 * I_{TJ} \quad (3.26)$$

$$I_{saug.} = 1,4 * 8,6 = 12 \text{ A}$$

Keitiklio apsaugai nuolatinės srovės pusėje, naudojami 12 A saugikliai prie kiekvieno keitiklio įėjimo.

Keitiklyje taip pat yra gamykliškai įrengti viršįtampių ribotuvai, todėl papildomas jų įrengimas nėra reikalingas.

Komercinės apskaitos skydo (KAS) apsaugai įrengiamas žemėnimasis, kurio varža turi būti nedidesnė kaip 10 Ω . Tam pasirenkamas 15 metrų ilgio, 20 mm skersmens žemėklis, kuris įgilinamas 0,5 metro iki žemės paviršiaus. Priimama, kad savitoji grunto varža: $\rho_{sk} = 100 \Omega m$.

Pagal tai, žemėklis varža:

$$r_z = \rho_{sk} / 2\pi l * \ln(4l(2t + l) / d(4t + l)) \quad (3.27)$$

$$r_z = 100/2\pi 15 * \ln(4 * 15(2 * 0,5 + 15)/0,02(4 * 0,5 + 15)) = 8,43 \Omega$$

Čia $l = 15 \text{ m}$ – pasirinkto įžemiklio ilgis; $d = 0,02 \text{ m}$ – įžemiklio skersmuo; $t = 0,5 \text{ m}$ – atstumas nuo žemės paviršiaus iki įkulto įžemiklio viršūnės; $\rho_{sk} = 100 \Omega \text{m}$ – savitoji grunto varža.

Parinktas įžemiklis yra tinkamas.

3.7. Įžeminimo kontūro ir žaibosaugos parinkimas

Norint užtikrinti saulės elektrinės saugų ir patikimą darbą, joje turi būti įrengta apsauga nuo tiesioginių žaibo išlydžių į saulės elektrinę ir jos įrenginius. Tam yra įrengiami žaibolaidžiai – įrengimai, priimančys žaibo smūgį ir nuvedantys jo srovę į žemę. Jie sudaryti iš atraminės dalies, žaibo priėmiklio, įžeminimo laidininko ir įžemintuvo. Žaibolaidžiai apsaugo tam tikras zonas nuo tiesioginio žaibo smūgio.

Metalinės dalys, esančios ant stogo, kaip saulės elementų metalinės konstrukcijos, sujungiamos ir įžeminamos, ir taip sudaromas įžeminimo kontūras. Dažniausiai šis tinklas daromas iš juostinio plieno, o įžeminimo įrenginio konstrukcijos formą nulemia elektros įrenginių išdėstymas teritorijoje. Viso šio įžeminimo kontūro paskirtis yra tam, kad suvienodinti potencialų skirtumą ir žaibo išlydis neturėtų galimybės iššokti iš savo kelio.

Tiek žaibosauga, tiek įžeminimo kontūras yra sutapatinami, sujungiami tarpusavyje ir kartu įžeminami.

Įrengiant išorinę statinių apsaugą nuo žaibo, pirmiausia nustatoma statinio apsaugos nuo žaibo kategorija, žaibolaidžių įrengimo vietos, įžeminimo įrenginių vietos bei tipai. Tai reglamentuoja: STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS (STR 2.01.06:2009), „STATINIŲ APSAUGA NUO ŽAIBO. IŠORINĖ STATINIŲ APSAUGA NUO ŽAIBO“

Projektuojama saulės elektrinė ant daugiabučio namo stogo priskiriama III apsaugos kategorijai, kurios patikimumas siekia 0,91. Vidutinis atstumas tarp įžeminimo laidininkų pagal III apsaugos klasę siekia iki 15 metrų, o įžemintuvo varža turi būti ne didesnė kaip 10Ω .

Pagal gruntą nustatoma savitoji grunto varža:

$$\rho_{sk} = k * \rho_{gr} \quad (3.28)$$

$$\rho_{sk} = 1,5 * 100 = 150 \Omega m$$

Čia $q_{gr} = 100 \Omega m$, priemolio savitoji specifinė varža; $k = 1,5$ – sezoniškumo koeficientas, įvertinantis grunto drėgmę, kai 2–3 metrų ilgio strypiniai įžemikliai įkalti 0,5-0,8 m gylyje.

Įrenginių apsaugai parenkami 3 m ilgio ir 20 mm skersmens strypiniai įžemikliai. Skaičiuojama viena įžemiklio varža:

$$r_z = \rho_{sk} / 2\pi l * \ln(4l(2t + l) / d(4t + l)) \quad (3.29)$$

$$r_z = 150 / 2\pi 3 * \ln(4 * 3(2 * 0,6 + 3) / 0,02(4 * 0,6 + 3)) = 48,9 \Omega$$

Čia $l = 3 m$ – pasirinkto įžemiklio ilgis; $d = 0,02 m$ – įžemiklio skersmuo; $t = 0,6 m$ – atstumas nuo žemės paviršiaus iki įkalto įžemiklio viršūnės.

Priimama, kad iš viso bus 20 įžemiklių, kurių varža:

$$R_z = r_z / \eta_i * n \quad (3.30)$$

$$R_z = 48,9 / 0,7 * 20 = 3,49 \Omega$$

Čia $\eta_i = 0,7$ – vertikalių įžemiklių ekranavimo koeficientas, kai įžemikliai išdėstomi kontūru, $n = 20$ – įžemiklių skaičius ir $a/l = 3$ – santykis tarp įžemiklių atstumo ir įžemiklio ilgio.

Skaičiuojama įžeminimo kontūro ir elektrodus jungiančios juostos varža:

$$r_j = \rho_{sk} / 2\pi l * \ln(2l^2 / bt) \quad (3.31)$$

$$r_j = 150 / 2\pi 700 * \ln((2 * 700^2) / (0,01 * 0,6)) = 0,65 \Omega$$

Čia $l = 700 \text{ m}$ – juostos ilgis; $b = 0,01 \text{ m}$ – pasirinktos juostos plotis; $t = 0,6 \text{ m}$ – juostos paklojimo gylis.

$\eta_j = 0,45$ – jungiančios juostos ekranavimo koeficientas, kai $n = 20$ – įžemiklių skaičius ir $a/l = 3$ – santykis tarp įžemiklių atstumo ir įžemiklio ilgio.

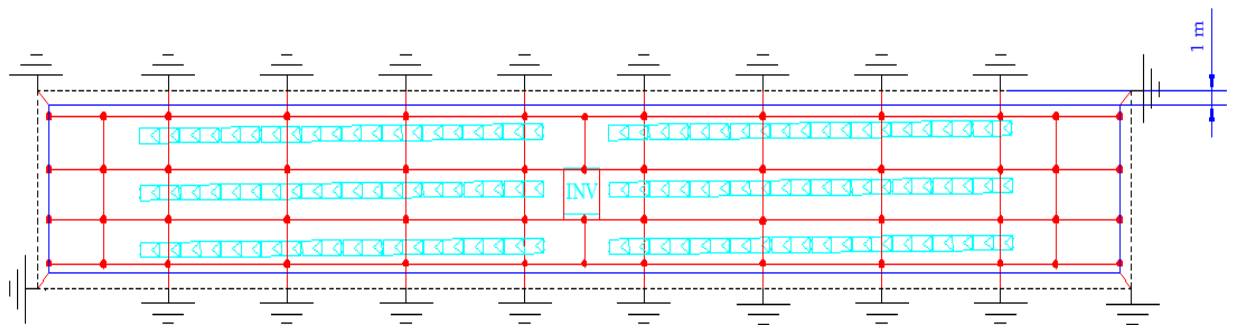
Tuomet atstojamoji įžeminimo kontūro varža:

$$R_k = (r_z/\eta_i * r_j/\eta_j)/(r_z/\eta_i + r_j/\eta_j) \quad (3.32)$$

$$R_k = (48,9/0,7 * 0,65/0,45)/(48,9/0,7 + 0,65/0,45) = 1,41 \Omega$$

Atstojamoji įžeminimo varža yra mažesnė už nustatytos leistinosios įžeminimo varžos (10Ω) dydį, todėl parinkti įžemikliai ir įžeminimo kontūras yra tinkami projektuojamos saulės elektrinės apsaugai. Kadangi gauta atstojamoji įžeminimo varža yra 7 kartais mažesnė už maksimalią leidžiamą, žaibosaugai naudojami tie patys įžemikliai. Parinkti žaibolaidžiai prijungiami prie įžeminimo kontūro, taip, kad kiekvieno žaibolaidžio prijungimo taškas būtų kuo arčiau įžemiklių.

Pagal atliktus skaičiavimus suprojektuojamas įžeminimo kontūras ir įžemikliai.



3.8 pav. Įžemintuvai ir įžeminimo kontūras

Skaičiuojamas žaibolaidžių skaičius ir jų išdėstymas:

Žaibo ėmiklių išdėstymui pasirinktas sferos metodas. Pasirinkti 3 metrų aukščio aliumininiai žaibolaidžiai J. PROPSTER gamintojo, kurie bus prijungiami prie įžeminimo kontūro įžemiklių. Priimama, kad atstumas tarp žaibolaidžių eilėje bus 15 metrų, o tarp eilių – 10 metrų.

Siekiant pilnai apsaugoti įrenginius esančius ant namo stogo, žaibo įsiskverbimo gylis turi būti nedidesnis nei 1 metras.

Žaibo įsiskverbimo gylis apskaičiuojamas naudojantis formule:

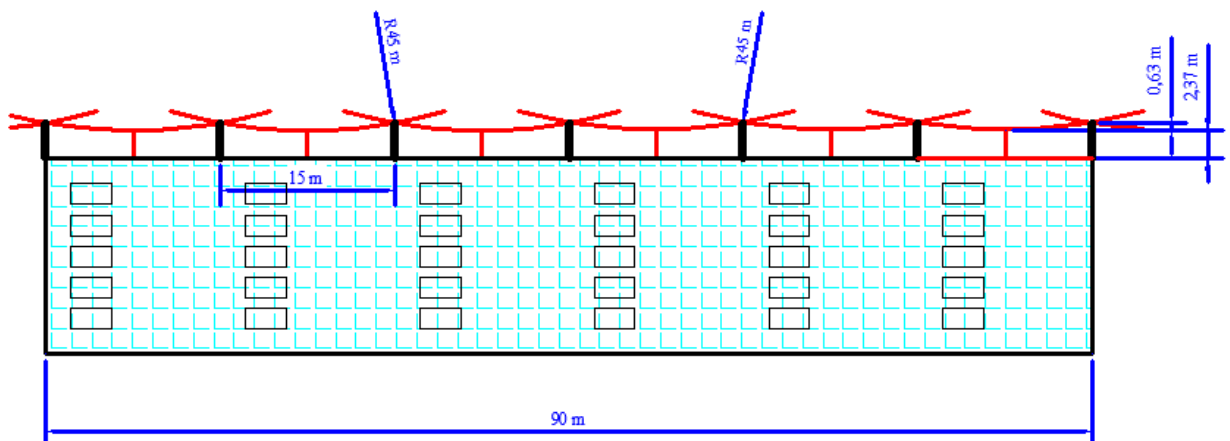
$$p = R - (R^2 - (d/2)^2)^{1/2} \quad (3.33)$$

$$p = 45 - (45^2 - (15/2)^2)^{1/2} = 0,63 \text{ m}$$

$$p = 45 - (45^2 - (10/2)^2)^{1/2} = 0,28 \text{ m}$$

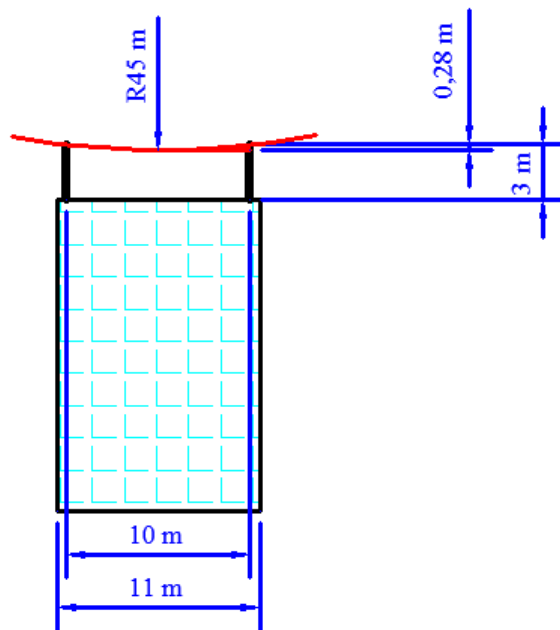
Čia p - įsiskverbimo gylis, m; R - sferos rutulys (III kategorija 45m), m; d - atstumas tarp žaibolaidžių, m.

Atlikus skaičiavimus, gaunama, kad tarp 3 metrų aukščio žaibolaidžių, kai atstumas tarp jų 15 metrų, įsiskverbimo gylis siekia 0,63 metro, o kai atstumas 10 metrų, įsiskverbimas 0,28 metro. Todėl parinkti atstumai yra tinkami.



3.9 pav. Žaibolaidžių įrengimas (1)

Pagal atliktus skaičiavimus, kad pilnai apsaugoti viso namo stogo plotą, reikės 14 žaibolaidžių, išdėstyti 2 eilėmis po 7 žaibolaidžius.



3.10 pav. Žaibolaidžių įrengimas (2)

Reikiamos medžiagos parenkamos iš parduotuvės UAB „SLO Lithuania“. Medžiagų, įrangos kainos pateikiamos šios įmonės internetinėje parduotuvėje, kurios adresas pateikiamas tarp šaltinių.

3.4 lentelė. SE apsaugos įrenginiai

Apsaugos įrenginiai	Kaina be PVM, Eur
Plieninė įžeminimo juosta/ viela (700 m)	983,47
Įžeminimo strypai (20 vnt.)	272,95
Juostų/ vielos laikikliai (100vnt.)	95,04
Potencialų išlyginimo šynos (36 vnt.)	253,79
Žaibolaidžiai (14 vnt.)	453,09
Žaibolaidžio pamatas (14 vnt.)	235,92
Antikorozinė juosta (500 m)	284,30
Viso suma:	2 578,56

- Saulės elektrinės suprojektuotas įžeminimo kontūras ir žaibosauga pridedama prie priedų (Priedas 2. SE įžeminimas ir žaibosauga).

3.8. Saulės elektrinės prijungimas prie elektros tinklo

Pagal suderintą elektrinės projektą su LESTO, ji įsipareigoja nemokamai pastatyti apskaitos dėžę (KAS) su apskaitos prietaisais. Nemokamai įrengiami tinklai iki nuosavybės ribos su gamintoju. Gamintojo riba skaitoma už apskaitos dėžės, t. y. nuo kabelio einančio į keitiklį.

Norint prisijungti prie LESTO tinklų, reikia įvykdyti šias sąlygas:

- Pirmas žingsnis – kreipimasis į LESTO dėl išankstinių 30 kW saulės elektrinės prisijungimo sąlygų.
- Antras žingsnis – Energetikos ministerijos leidimas plėtrai. Gavus leidimą plėtrai – fiksuojamas supirkimo kainos tarifas.
- Trečias žingsnis – gaunamos LESTO prisijungimo sąlygos.
- Ketvirtas žingsnis – projektas. Pagal LESTO prisijungimo sąlygas ruošiamas ir derinamas elektrinės projektas. Suderinus projektą su LESTO, pasirašoma sutartis dėl elektrinės prijungimo prie LESTO tinklo. Tuomet LESTO inicijuoja prijungimo darbus. Tai suteikia leidimą statyti elektrinę.
- Penktas žingsnis – elektrinės įrengimas, pridavimas energetikos inspekcijai.
- Šeštas žingsnis – leidimas gamybai. Gavus VEI pažymą – kreipiamasi į Energetikos ministeriją dėl Leidimo gaminti elektros energiją išdavimo. Gavus šį leidimą, su LESTO pasirašoma sutartis dėl elektros energijos pirkimo-pardavimo.

- LESTO prijungimo sąlygų pavyzdys pridedamas prie priedų (Priedas 3. SE prijungimo sąlygos).

Saulės elektrinės prijungimo prie skirstomojo elektros tinklo principinė schema susideda iš saulės modulių prijungimo prie keitiklio, šis prie projektuojamo KAS (komercinis apskaitos skydas, kurį nemokamai įrengia LESTO). Apskaitos skydas prijungiamas prie name esančio įrengto PP (paskirstymo skydo). Komerciniame apskaitos skyde įrengiama duomenų nuskaitymo įranga, kuri duomenis siunčia LESTO tinklams.

- SE prijungimo prie LESTO tinklų schema pridedama prie priedų (Priedas 4. SE prijungimo prie skirstomojo tinklo principinė schema).

4. SAULĖS ELEKTRINĖS EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

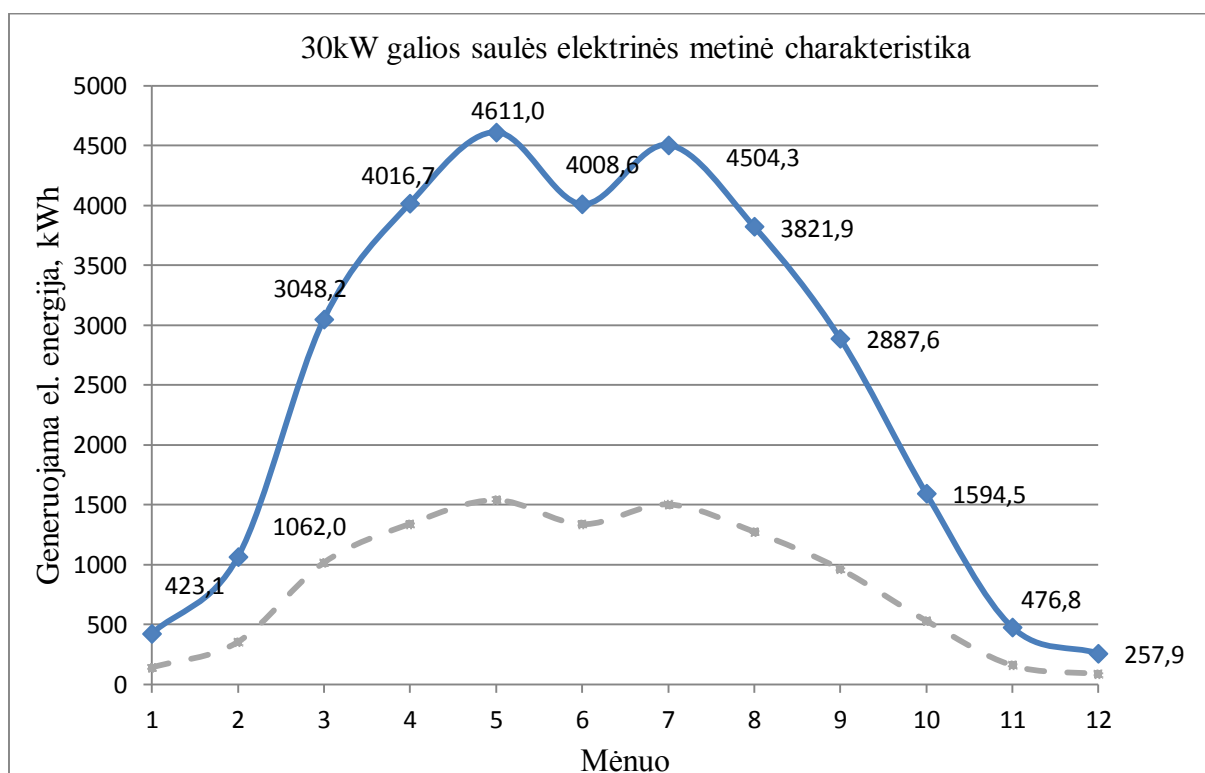
Skaičiuojant saulės elektrinės atsiperkamumą, įvertinamos visos išlaidos: įrengiant, suprojektuojant, apsaugant elektrinę nuo žaibo išlydžio bei atsižvelgiant į nenumatytas išlaidas.

Metinės pajamos apskaičiuojamos: į elektros sistemos tinklą atiduotos metinės elektros energijos kiekį dauginant iš elektrinės elektros energijos pardavimo kainos, kuri yra nustatyta Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos (4.1 lentelė).

4.1 lentelė. SE elektros energijos supirkimo tarifai 2015 m.

Saulės elektrinės galia	Kaina
Iki 30kW (neintegruotoms į stogą saulės elektrinėms)	0,49 Lt/kWh (0,142 Eur/kWh).

SE metinės pajamos skaičiuojamos naudojantis sudaryta metine 30 kW SE energijos gamybos charakteristika (4.1 pav.).



4.1 pav. 30 kW SE metinė elektros energijos gamybos charakteristika

Remiantis turimu grafiku, Panevėžio regione viena saulės elektrinė per metus pagamins apie 1 023,8 kWh iš 1 instaliuoto kW neintegruotoje saulės elektrinėje. Įvertinus elektros supirkimo tarifus, galime planuoti tokias pajamas 12 metų bėgyje:

4.2 lentelė. Planuojamos pajamos iš SE

Mėnuo	1kW SE pagaminami elektros kiekiai (kWh):	30 kW SE pagaminami elektros kiekiai (kWh):	Planuojamos pajamos iš pagaminamos elektros energijos (Eur):
Sausis	14,1	423,1	60,1
Vasaris	35,4	1 062,0	150,8
Kovas	101,6	3 048,2	432,8
Balandis	133,9	4 016,7	570,4
Gegužė	153,7	4 611,0	654,8
Birželis	133,6	4 008,6	569,2
Liepa	150,1	4 504,3	639,6
Rugpjūtis	127,4	3 821,9	542,7
Rugsėjis	96,3	2 887,6	410,0
Spalis	53,2	1 594,5	226,4
Lapkritis	15,9	476,8	67,7
Gruodis	8,6	257,9	36,6
Viso per metus:	1 023,8	30 712,6	4 361,2
Viso per 12 metų:	12 285,6	368 551,2	52 334,4
			(180 700,2 Lt)

4.3 lentelė. Visos planuojamos išlaidos

Prekės/paslaugos	Kaina, Eur be PVM
Fotoelektros moduliai	18 840
Keitiklis	3 745,38
Laikikliai fotoelektros moduliams	7 200
Leidimas elektros energijos gamybos pajėgumų plėtimui ir elektrotechninis projektas, suderintas su skirstomaisiais tinklais*	1 160
Elektrinės įrengimo ir pridavimo darbai*	3 000
Transporto išlaidos, medžiagos, įrengimai*	1 500
Nuotolinio duomenų nuskaitymo įranga*	600
Nenumatytos išlaidos*	2 000
Žaibosauga, įžeminimo kontūras	2 578,56
Viso be PVM, Eur	40 623,94
Viso be PVM, Lt	140 266,34

Prekių ar paslaugų pažymėtų „*“ kainos yra tik preliminarios, spėjamos. Tikslesnės kainos būtų žinomos tik realiai įrenginėjant saulės elektrinę. Kainos taipogi galėtų būti patikslinamos

konsultuojantis su SE įrengimu patirties turinčiomis įmonėmis. Dažniausiai įmonės siūlo visą saulės elektrinės paketą, į kurią įeina fotoelektros moduliai, keitiklis, modulių tvirtinimo konstrukcijos, projektavimas, įrengimo darbai.

30 kW į skirstomuosius elektros tinklus įjungtos saulės elektrinės statinis atsipirkimo laikas, nevertinant banko palūkanų, skaičiuojamas taip:

$$T_s = K / (W_a * c) \quad (4.1)$$

$$T_s = 40\,623,94 / (30\,712,6 * 0,142) = 9,3 \text{ metų}$$

T_s – statinis atsipirkimo laikas, K – saulės elektrinės kapitalinės investicijos, W_a – saulės elektrinės per metus pagamintos ir į elektros sistemos tinklą atiduotos energijos kiekis, kWh, c – saulės elektrinėje pagamintos elektros energijos supirkimo tarifas, Eur.

Projekto atsipirkimo trukmė – laikas, per kurį gaunamos grynosios pajamos iš įmonės veiklos padengia investicijai skirtas išlaidas. Kuo atsipirkimo periodas trumpesnis, tuo projektas yra pelningesnis. Projektas atsiperka tada, kai pradinės investicijos susilygina su gautais pinigų srautais. Projekto atsipirkimo laiką galima nustatyti grafiškai, pavaizdavus kiekvienų metų projekto esamąją vertę.

Projekto esamoji vertė apskaičiuojama naudojantis formule:

$$PV = -K + \sum_{t=1}^T (CFt / (1 + k)^t); \quad (4.2)$$

K - elektrinės kapitalinės investicijos siekia 40 623,94 Eur (4.3 lentelė); CFt – metinis pinigų srautas laikotarpiu t gaunamas:

$$CF = NP + Ca \quad (4.3)$$

NP – grynasis pelnas sumokėjus mokesčius:

$$NP = R - C \quad (4.4)$$

R - metinės elektrinės pajamos gaunamos iš 4.2 lentelės; C - metinės elektrinės eksploataavimo sąnaudos susideda iš nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudų bei techninės priežiūros sąnaudų:

$$C = Ca + Ctp \quad (4.5)$$

Ca - nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos gaunamos:

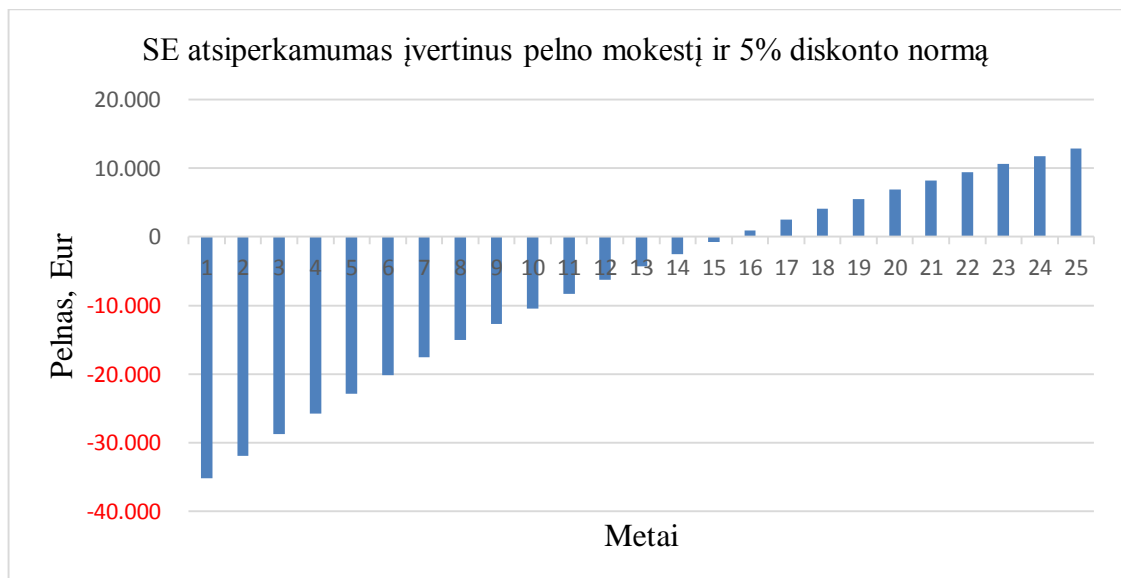
$$Ca = K / T \quad (4.6)$$

T - SE tarnavimo laikas, metai; Ctp – techninės priežiūros sąnaudos gaunamos:

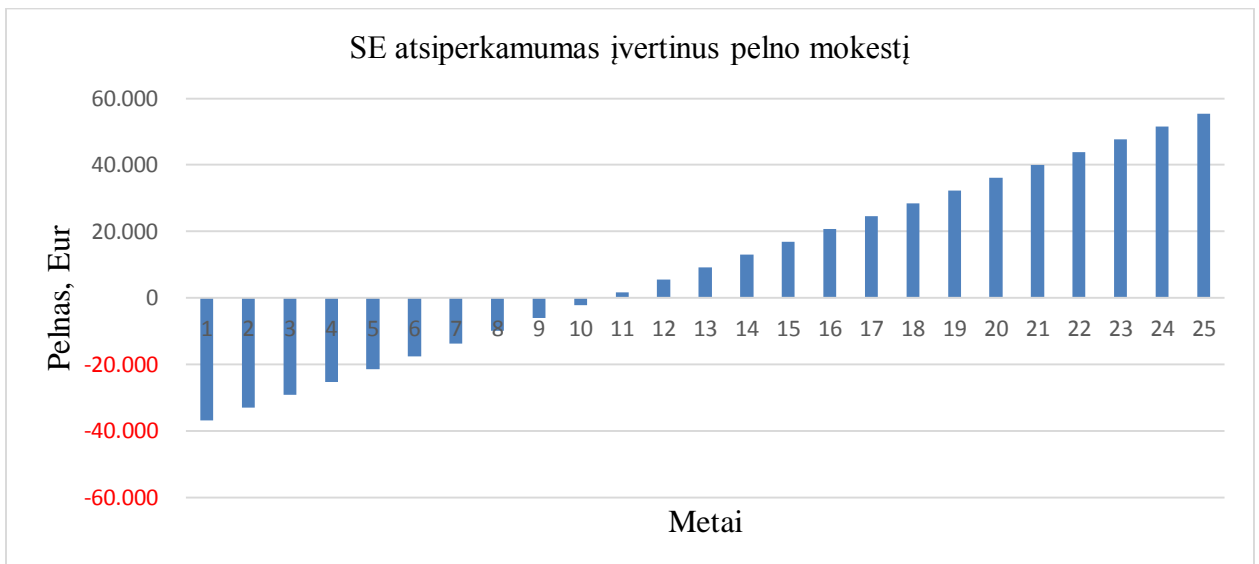
$$Ctp = 1\% \times K \quad (4.7)$$

Diskonto norma (k) priimama, kad yra 5%. Pelno mokestis taip pat - 5%. Tuomet pagal turimus duomenis ir formules, gaunamas grafikas (4.2 pav.), kuriame matyti, kad SE atsiperkamumas siektų virš 15 metų. O pelnas po 25 metų būtų tik 13 483,64 Eur, su prielaida, kad per 25 elektrinės veikimo metus, elektros energijos supirkimo kaina nepasikeis.

(4.3 pav.) grafike atvaizduojamas SE atsiperkamumas nevertinant diskonto normos. Čia elektrinės atsiperkamumas būtų virš 10 metų, o pelnas po 25 metų siektų 55 342 Eur.



4.2 pav. Saulės elektrinės atsiperkamumas



4.3 pav. Saulės elektrinės atsiperkamumas be diskonto normos

- Skaičiavimai atliekami naudojantis EXCEL programa, kurios pavyzdys pridedamas prie priedų (Priedas 5. Saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimas).

IŠVADOS

- 1) Susipažinus su saulės elektrinėmis ir atlikus saulės elektrinių plėtros Panevėžio regione analizę, išsiaiškinta, kad per 2012 – 2015 metų pradžios laikotarpį, elektrinių kiekis išaugo nuo 3 iki 150. Bendra jų galia – 4,14 MW. Iš kurių didžiąją dalį šių elektrinių sudaro 30 kW galios SE, kurių skaičius siekia 109 elektrines, o bendra jų galia – 3,27 MW.
- 2) Sudaryta 30 kW SE metinė elektros energijos atidavimo į elektros sistemos tinklą charakteristika, pagal kurią elektrinė per metus pagamins apie 30 712,6 kWh elektros energijos. Metinės elektrinės pajamos bus apie 4 361 Eur.
- 3) Projektuojant saulės elektrinę, parinkti polikristaliniai Solet P60.6-250 W fotoelektros moduliai. Power Aurora Trio 27,6kW keitiklis. Jie tarpusavyje sujungiami viengysliais kabeliais su dviguba izoliacija Solar Will PV1-F 6.0mm². Keitiklis prijungiamas prie tinklų naudojant aliuminį kabelį AXMK 4x50mm². Parenkamos apsaugos, įžeminimo kontūras, žaibosauga.
- 4) Projektuojant saulės elektrinę buvo atlikti skaičiavimai: įtampos ir galios nuostolių kabeliuose, optimalaus modulių prijungimo prie keitiklio, modulių išdėstymo, įžeminimo kontūro ir žaibosaugos skaičiavimai.
- 5) Suprojektavus 30 kW SE, parinkus visus elektrinės įrenginius, apsaugas, dokumentacijas, paskaičiuota, kad visos kapitalinės investicijos sudarys 40 624 Eur, o metinės elektrinės eksploatavimo sąnaudos sieks 406 Eur. Pagal tai, elektrinės atsiperkamumas, atsižvelgus į pelno mokestį, sąnaudas, gaunamas virš 11 metų.
- 6) Įvertinus diskonto normą ir ją parinkus lygią 5 %, saulės elektrinės atsiperkamumas pailgėja iki 15 metų.
- 7) Atpigus saulės elektrinės įrengimui, tačiau smarkiai sumažėjus elektros energijos supirkimo tarifui, išaugo elektrinės atsiperkamumo laikas. Tai ir buvo pagrindinė priežastis, kodėl nuo 2014 metų ženkliai krito elektrinių plėtra ir per daugiau nei metus, nuo to laiko naujai įrengtos tik 7 saulės elektrinės, kuomet per 2013 metus elektrinių įrengta – 128.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

- ADOMAVIČIUS, Vytautas. Mažosios atsinaujinančiųjų išteklių energijos sistemos. KTU leidykla „Technologija“, 2013. [žiūrėta 2015 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/1224/mazosios-atsinaujinanciuju-istekliu-energijos-sistemas/> ISBN 978-609-02-0945-5.
- DEKSNYS, Rimantas Pranas, Robertas STANIULIS ir Vaclovas MIŠKINIS. Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis. Kursinis projektavimas. KTU leidykla „Technologija“, 2007. [žiūrėta 2015 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/61/elektriniu-ir-pastociu-elektrine-dalis-kursinis-projektavimas/> ISBN 978-9955-25-265-8.
- LESTO. Elektrinių prijungimas, 2014. [žiūrėta 2015 m. balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lesto.lt/lt/verslui/energijos-gamintojams/elektriniu-prijungimas.html>
- LEVINSKAS, Tomas. Saulės elektrinės įdiegimo komercinis pasiūlymas. UAB „Informacinių technologijų pasaulis“, 2012 [žiūrėta 2015 m. balandžio 17 d.]. Prieiga per internetą: http://www.sauleselektines.lt/sites/default/files/10_kw_integruota_komercinis_pasiulymas_12_08_21.pdf
- LR Aplinkos Ministerija. Statybos techninis reglamentas STR 2.01.06:2009. Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo, 2009 [žiūrėta 2015 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.visainfo.lt/statiniu-apsauga-nuo-zaibo-zaibosaugos-irengimo-reikalavimai-997>
- MUSIAL, Edward. Elektros energetiniai įrengimai ir instaliacija. Vadovėlis aukštesniosioms ir profesinėms mokykloms. Vertimas į lietuvių kalbą, Kaunas „Šviesa“, 2001. ISBN 5-430-03255-7
- PETRAUSKAS, Gytis ir Vytautas ADOMAVIČIUS. Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti. KTU leidykla „Technologija“, 2012. [žiūrėta 2015 m. gegužės 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/999/saules-energijos-naudojimas-elektrai-gaminti/> ISBN 978-609-02-0752-9.
- SOLAR LOG. Map, 2015. [žiūrėta 2015 m. gegužės 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://home.solarlog-web.lt/map.html>
- STALTIKA. Saulės elektrinių įrengimo ypatumai, 2015. [žiūrėta 2015 m. gegužės 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.staltika.lt/saules-energijos-sistemas/fotovoltines-elektines/saules-elektriniu-irengimo-ypatumai-2/>

- SVINKŪNAS, Gytis ir Algimantas NAVICKAS. Elektros energetikos pagrindai. KTU leidykla „Technologija“, 2013. [žiūrėta 2015 m. gegužės 20d.]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/1260/elektros-energetikos-pagrindai/>. ISBN 978-609-02-1001-7
- ŠATAS, Jonas. Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai. Teorija, projektavimas, pavyzdžiai. Mokomoji knyga. Klaipėdos universitetas, Klaipėda, 2003. ISBN 9955-585-16-1.
- UAB „Informacinių technologijų pasaulis“. Elektrinės ploto skaičiuoklė, 2010. [žiūrėta 2015 m. balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://sauleselektrines.lt/lt/elektrin%C4%97s-ploto-skai%C4%8Diuokl%C4%97>
- UAB „Informacinių technologijų pasaulis“. Saulės moduliai, 2010. [žiūrėta 2015 m. balandžio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://sauleselektrines.lt/lt/saules-moduliai/solet-p606-wf-250-poly>
- UAB „SLO Lithuania“. Energijos perdavimas ir apsauga, 2014. [žiūrėta 2015 m. gegužės 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.slo.lt/ENERGIJOS-PERDAVIMAS-IR-APSAUGA/>

PRIEDAI