



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Erikas Pleškys

**ELEKTROS ENERGIJOS TIEKIMO IR SAULĖS ELEKTRINĖS
PROJEKTAS GYVENAMAJAM NAMUI VILNIAUS MIESTE**

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas:

Doc. dr. Pranas Smolskas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**ELEKTROS ENERGIJOS TIEKIMO IR SAULĖS ELEKTRINĖS
PROJEKTAS GYVENAMAJAM NAMUI VILNIAUS MIESTE**

Baigiamasis bakalauro projektas

Atsinaujinačioji energetika (612E33001)

Vadovas

Doc. dr. Pranas Smolskas

Recenzentas

Lekt. dr. Vytautas Sučila

Projektą atliko

Erikas Pleškys

KAUNAS, 2015

BAKALAURO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**Išduota studentui:** Erikui Pleškiui

Grupė EAE 1/3

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Elektros energijos tiekimo ir saulės elektrinės projektas gyvenamajam namui Vilniaus mieste

Anglų kalba: Project of Electrical Supply and Solar Power Plant for Residential Building in Vilnius

Patvirtinta 2015 m. balandžio mėn. 7 d. dekanų potvarkiu Nr. ST18-F-03-1

2. Darbo tikslas:

Suprojektuoti centralizuotą elektros energijos sistemą, paremtą saulės elektrinės generavimu gyvenamajam namui Vilniaus mieste.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Bakalaurinis darbas turi atitikti baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodinius reikalavimus patvirtintus KTU Elektros ir elektronikos fakulteto dekanų 2015 m. balandžio 7 d. potvarkiu Nr. ST18-F-03-1.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį, pateiktą Metodinių reikalavimų 14 ir 15 punktuose.

1. Įvadas. 2. Objekto charakteristika (situacijos planas, vartotojo apibūdinimas). Saulės elektrinės suprojektavimas (elektros vartotojo apkrovos, saulės elektrinės generacija, saulės elektrinės sistemos įrenginių parinkimas, laidininkų parinkimas, elektros linijų trumpųjų jungimų skaičiavimas, įtampos ir galios nuostolių skaičiavimas, apsaugos įrenginių parinkimas bei apsaugos nuo viršįtampių parinkimas, įžeminimo skaičiavimai. 3. Objekto specifikacijos sudarymas. 4. Išvados. 5. Literatūros sąrašas.

5. Ekonominė dalis. Jei reikia ekonominio pagrindimo; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

Saulės elektrinės atsiperkamumas, ekonominė analizė.

6. Grafinė dalis. Jei reikia, pateikiama schemas, algoritmai ir surinkimo brėžiniai; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

Topografinis pavaizdavimas, saulės elektrinės išdėstymas ant objekto, saulės elektrinės prijungimo schema, elektros tiekimo schema gyvenamojo namo elektriniams įrenginiams, žaibosaugos ir įžeminimo pavaizdavimas.

7. Ši užduotis yra neatskiriama bakalauro baigiamojo projekto dalis**8. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas**

iki 2015-05-30

(data)

Užduotį gavau: Erikas Pleškys

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: doc.dr Pranas Smolskas

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Erikas Pleškys

(Studento vardas, pavardė)

Atsinaujinančioji energetika, (612E33001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Elektros energijos tiekimas ir saulės elektrinės projektas gyvenamajam namui Vilniaus mieste“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. ____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Eriko Pleškio** baigiamasis projektas tema „Elektros energijos tiekimas ir saulės elektrinės projektas gyvenamajam namui Vilniaus mieste“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Erikas Pleškys. Elektros energijos tiekimo ir saulės elektrinės projektas gyvenamajam namui Vilniaus mieste, atsinaujinančiosios energijos inžinerijos bakalauras / vadovas doc. dr. Pranas Smolskas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 50 psl.

SANTRAUKA

Suprojektuota prie tinklo prijungta saulės elektrinė ant individualaus gyvenamojo namo. Sistema paremta dvipusės apskaitos principu. Šiame darbe išanalizuoti name gyvenančių vartotojų poreikiai, paskaičiuota elektros energijos generacija, parinkti sistemos įrenginiai. Apskaičiuoti galimi energijos nuostoliai. Parinkti kabeliniai laidininkai, apskaičiuotos trumpojo jungimo srovės, parinkti apsaugos nuo trumpojo jungimo bei viršįtampių įrenginiai. Suprojektuota apsaugos nuo žaibo sistema bei įžemiklių sistema. Atliktas sistemos ekonominis įvertinimas. Gauta išvada, kad projektuojamos sistemos atsiperkamumo laikotarpis – 14 metų.

Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): saulės elektrinė, dvipusė apskaita.

Erikas Pleškys. Elektros energijos tiekimo ir saulės elektrinės projektas gyvenamajam namui Vilniaus mieste. Final bachelor project of *renewable energy engineering* / supervisor doc. dr. Pranas Smolskas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power Systems.

Kaunas, 2015. 50 pages

SUMMARY

The aim of this work is to design an on-grid solar power system for a residential building. The system uses net energy metering. The analysis consist of household consumers electricity demands, annual solar power energy production, photovoltaic system components, determination of possible energy losses. Short-circuit current calculation, conductor sizing, protection from overcurrent devices, surge protection, design of lightning protection and grounding system are a part of this work bases as well. Moreover, a system economic evaluation has been done, it was concluded that the payback period is 14 years of the photovoltaic solar system.

Keywords (up to 8 words): solar power plant, net energy metering.

Turinys

ILIISTRACIJŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
SANTRUMPOS	10
ĮVADAS	11
1. DVIPUSĖ APSKAITA	12
2. OBJEKTO PROJEKTAVIMAS	12
2.1. Situacijos planas	12
2.2. Apkrovų skaičiavimas	13
2.3. Suvartojamos elektros energijos poreikių skaičiavimas.....	14
2.4. Saulės elektrinės generacija.....	22
2.5. Saulės elektrinės šėšėliavimo skaičiavimas.....	26
2.6. Saulės elektrinės įrenginiai.....	26
2.7. Konstrukcija	28
2.8. Laidininkų parinkimas.....	29
2.9. Įtampos ir galios nuostoliai.....	31
2.10. Trumpųjų jungimų skaičiavimas	35
2.11. Automatinių jungiklių parinkimas.....	38
2.12. Viršįtampių apsaugos	39
2.13. Apsauga nuo žaibo	39
3. EKONOMINIS ĮVERTINIMAS	44
IŠVADOS.....	46
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	48
PRIEDŲ SĄRAŠAS.....	50

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

- 2.1 pav.** Projektuojamosios saulės elektrinės pastato palydovinė nuotrauka namo Balsiuose, Vilniuje.
- 2.2 pav.** Suminis šalčiausio mėnesio darbo dienos (paros) ir savaitgalio dienos (paros) apkrovos grafikas.
- 2.3 pav.** Sausio mėnesio savaitgalio dienos (paros) pikinių apkrovų grafikas.
- 2.4 pav.** Elektros energijos suvartojimas per metus.
- 2.5 pav.** Energijos balanso grafikas.
- 2.6 pav.** Trumpųjų jungimų ekvivalentinė schema.
- 3.1 pav.** Saulės elektrinės atsipirkimo grafikas.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 2.1 lentelė.** Atitinkamai naudojamų buitinių prietaisų kiekis, galia, veikimo trukmė ir suvartojama energija darbo dieną.
- 2.2 lentelė.** Buitinių prietaisų atitinkamai galia, veikimo trukmė ir suvartojama energija sausio mėn. savaitgalio dieną.
- 2.3 lentelė.** Metiniai suvartojimo energijos poreikiai.
- 2.4 lentelė.** Saulės spindėjimo trukmė Vilniuje HMS, h/mėn.
- 2.5 lentelė.** Daugiametė vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija kWh/m², tenkanti horizontaliam paviršiui kiekvieną mėnesį ir per visus metus Vilniuje HMS.
- 2.6 lentelė.** Suvartojamos buityje ir SE generuojamos elektros energijos kiekis kiekviena mėnesį.
- 2.7 lentelė.** Solitek 250W saulės fotomodulio mechaniniai ir elektriniai parametrai.
- 2.8 lentelė.** Solaredge SE10K keitiklio pagrindiniai parametrai.
- 2.9 lentelė.** Optimizatoriaus P300 pagrindiniai parametrai.
- 2.10 lentelė.** Parinktų laidininkų parametrai.
- 2.11 lentelė.** 1 aukšto apskaičiuotų ir parinktų patalpų elektros imtuvų laidininkų parametrai.
- 2.12 lentelė.** 2 aukšto apskaičiuotų ir parinktų patalpų elektros imtuvų laidininkų parametrai
- 2.13 lentelė.** Įtampos ir galios nuostoliai laidininkuose.
- 2.14 lentelė.** 1 aukšto patalpų laidininkų įtampos ir galios nuostolių skaičiavimo rezultatai.
- 2.15 lentelė.** 2 aukšto patalpų laidininkų įtampos ir galios nuostolių skaičiavimo rezultatai.
- 2.16 lentelė.** Trumpųjų jungimų skaičiavimo rezultatai.
- 2.17 lentelė.** 1 aukšto instaliacinių laidininkų trumpųjų jungimų skaičiavimo rezultatai
- 2.18 lentelė.** 2 aukšto instaliacinių laidininkų trumpųjų jungimų skaičiavimo rezultatai
- 2.19 lentelė.** Trifazio įvadinio automatinio jungiklio atkabiklio didžiausios vardinės srovės priklausomybė nuo leistinosios naudoti galios.
- 2.20 lentelė.** AC viršįtampių ribotuvų parametrai.
- 2.21 lentelė.** DC viršįtampių ribotuvų parametrai.
- 2.22 lentelė.** Dviejų stiebų apsaugos zonos matmenų skaičiavimas.
- 3.1 lentelė.** Preliminarios investicijos į saulės elektrinės sistemos įrenginius.

SANTRUMPOS

AEI	– atsinaujinantys energijos ištekliai
SE	– saulės elektrinė
SFM	– saulės fotomodulis
FEM	– fotoelektros modulis
DAS	– dvipusės apskaitos skaitiklis
EI	– elektros imtuvas
STR	– statybos techninis reglamentas
HMS	– hidrometeorologinė stotis
DC	– nuolatinė srovė
AC	– kintamoji srovė

IVADAS

Pastarąjį dešimtmetį ypač suaktyvėjus atsinaujinančios energetikos plėtrai Lietuvoje ir pasaulyje, randama vis daugiau būdų, kaip atsinaujinančią energiją pritaikyti kasdieniniame gyvenime. Tam įtaką daro palanki investicijų kaina, sumažėję eksploatavimo kaštai, sistemos įrenginių ilgaamžiškumo rodikliai. Pasaulyje autonomines sistemas pakeičia naujos centralizuotos sistemos su dvipuse apskaita. Tinkamai suderinta dvipusė elektros energijos apskaitos politika suteikia tokių sistemų abipusę naudą – tiek skirstomajam tinklui, tiek elektros energiją gaminančiam vartotojui. Skirstomieji tinklai gauna elektros energiją, kurios nereikia papildomai gaminti ar pirkti rinkoje. Tuo tarpu, akivaizdi nauda vartotojui – gauti ilgalaikes garantijas dėl mažesnių elektros energijos sąnaudų sąskaitų.

Pagrindinis darbo tikslas: suprojektuoti centralizuotą elektros energijos sistemą, paremtą saulės elektrinės generavimu, numatyti energijos poreikį, perteklių bei deficitą, parinkti ir sukomponuoti elektros sistemos įrenginius ir įvertinti sistemos ekonominį atsiperkamumą Lietuvos (Vilniaus miesto) geografinės padėties atžvilgiu.

Pasirinktas tiriamasis objektas – saulės elektrinė ant individualaus gyvenamojo namo stogo.

1. DVIPUSĖ APSKAITA

1970 metais populiariausia saulės jėgainių technologija buvo taikoma autonominėms sistemoms, tačiau šiandien daugiau nei 95 % instaliuojamos galios pasaulyje yra saulės elektrinės, prijungtos prie tinklo naudojant dvipusius skaitiklius. Taip daug pigiau ir patogiau saugoma sugeneruota elektros energija, nei naudojant elektros kaupiklius. Lietuvoje keičiantis požiūriui į atsinaujinančius energijos išteklius, tobulinami įstatymai, siekiant gerinti situaciją. Dvipusės apskaitos prietaisas skirtas tinklo vartotojams, kurie yra ir gamintojai, ir vartotojai. Prie skaitiklio jungiasi tiek tinklas, tiek vartotojo saulės elektrinė. Kuomet yra elektros energijos perteklius, energija perduodama į tinklą „sandėliavimui“. Esant energijos trūkumui – sandėliuota elektros energija grąžinama vartotojui už sandėliavimo mokestį. Abipusė apskaita saulės energiją gaminantiems vartotojams (toliau – gaminantis vartotojas) – tai žingsnis išmaniųjų tinklų link.

Problemos, kylančios naudojantis dvipuse apskaita, yra šios:

- skirstomieji tinklai patiria nuostolius imdami iš gaminančių vartotojų energiją dieną, kuomet elektros energija yra pigiausia ir jos vartojimas yra mažiausias. O ją atiduoda piko valandomis, kada elektros energijos suvartojimas yra didžiausias;
- skirstomieji tinklai ima mokestį už tinklo eksploatavimą ir priežiūrą. Gaminantis vartotojas tinklui tiekia tik energiją, kurią reikia perduoti, o perdavimo kaštus turi sumokėti patys tinklai arba branginti elektros energiją kitiems vartotojams. Tai sudaro didelę dalį kainos. Gaminantis vartotojas, turintis prieigą prie elektros tinklo, turi apmokėti tai, kas didintų elektros kainą.

Galutinę kainą sudaro ne tik elektros įsigijimo, bet ir elektros perdavimo ir skirstomųjų tinklų kaina, tiekimo kaina, VIAP (viešuosius interesus atitinkančių paslaugų) dalis [8]. Gaminančiųjų vartotojų energija pateks į tinklą tik tuo atveju, jeigu bus perteklius, o elektra per skirstomuosius tinklus keliaus tik šalia esantiems vartotojams. Pagal įstatymo projektą [20] bendra individualių saulės jėgainių instaliuota galia būtų ne didesnė nei 10 MW, taigi jos gamintų iki 0,01 % visos Lietuvoje suvartojamos elektros. Todėl individualių saulės jėgainių, vadinamųjų gaminančiais vartotojais, atsiradimas tik nedidele dalimi sumažintų skirstomųjų tinklų pajamas.

2. OBJEKTO PROJEKTAVIMAS

2.1. Situacijos planas

Projektuojamoji saulės elektrinė išdėstyta ant pasirinkto namo, kurio šlaitinis stogas orientuotas į pietvakarius, o terasos stogas – į pietų pusę. Geografinė prasme šis namas priklauso šiaurės platumai ir rytų ilgumai. Jo apytikslės vietos koordinatės atitinkamai – 54.7746°;

25.3527°. Vietovės reljefo forma – lyguma. Vietovėje namo stogo niekas neužstoja, aukštų medžių nėra, todėl palanku įrengti saulės elektrinę.



2.1 pav. Projektuojamosios saulės elektrinės pastato palydovinė nuotrauka namo Balsiuose, Vilniuje

Gyvenamasis namas yra dviejų aukštų, 191.5 m² bendrojo ploto, susideda iš šių patalpų: tambūras 5,04 m², holas 6,19 m², darbo kabinetas 11,6 m², svečių kambarys 9,9 m², svetainė 36,9 m², virtuvė 12,53 m², katilinė 3,61 m², pirmojo aukšto tualetas 1,04 m², vonios kambarys 4,07 m², pirmojo aukšto koridorius 4,87 m², antrojo aukšto koridorius 7,72 m², gyvenamasis kambarys 15,26 m², gyvenamasis kambarys 16,6 m², gyvenamasis kambarys 25,68 m², gyvenamasis kambarys 15,68 m², antrojo aukšto tualetas 4,25 m², pirties kambarys 6,21 m².

Pastatas yra prijungtas prie skirstomųjų elektros tinklų ir taip yra aprūpinamas elektros energija. Gyvenamojo namo savininkas siekia sumažinti išlaidas už elektros energiją, tuo tikslu savo reikmėms įsirengiant saulės elektrinę.

Šiame name gyvena du darbingo amžiaus ir trys mokyklinio amžiaus asmenys, atitinkantys standartinius buityje keliamus energijos poreikius. Projektuojamojo gyvenamojo namo saulės elektrinės energijos kaupimo sistema yra centralizuota. Energija pagaminta iš (SE) pirmiausia patenkina vartotojo poreikius, kadangi sistema prijungta prie skirstomojo tinklo elektros perteklius rezervuojamas tinkle. Ši sistema bus parenkama detaliai išanalizavus prognozuojamą energijos vartojimo poreikį kas mėnesį metų bėgyje.

2.2. Apkrovų skaičiavimas

Projektuojamame gyvenamajame name skaičiuojamąsias apkrovas sudaro gyvenamųjų patalpų apšvietimas, buitiniai elektros energijos prietaisai, patalpų šildymo, karšto vandens

ruošimo buities reikmėms tenkinti bei vėdinimo įrenginiai. Bendru atveju, kiekvienas elektros įrenginys dirba preliminarai nustatytu laiku, o prietaiso suvartota elektros energija lygi jo momentinei galiai, imamai iš tinklo, ir įrenginio veikimo laiko sandaugai. Įrenginio apkrovai nustatyti ir įvertinti naudojamas apkrovos grafikas, kuris atvaizduojamas kaip galios funkcija nuo laiko:

$$P_i = f(t); \quad (2.2.1)$$

čia P_i – i -tojo elektros įrenginio galia, W arba kartotiniais jų dydžiais – kW. Laikas t atitinkamai gali būti išreikštas sekundėmis (s) bei valandomis (h). Suminis apkrovos grafikas gaunamas sumuojant visų elektros įrenginių apkrovos grafikus pagal laiką, t. y.:

$$P_{\Sigma}(t) = \sum_{n=1}^i P_i(t); \quad (2.2.2)$$

čia $P_{\Sigma}(t)$ – suminis įrenginių apkrovos grafikas nuo laiko t ; $P_i(t)$ – i -tojo elektros prietaiso apkrovos grafikas nuo laiko t .

Suminiai elektros apkrovų grafikai atvaizduojami ir skaičiuojami siekiant nustatyti skaičiuojamąsias ir didžiausias (pikines) apkrovų reikšmes. Pagal kompleksines šių reikšmių charakteristikas projektuojama elektros generavimo sistema apkrovų elektros energijos poreikiams tenkinti. Turėdami suminį elektros apkrovos grafiką, galime suskaičiuoti suvartojamos elektros energijos kiekį per laiko vienetą:

$$E_{\Sigma} = \int_{t_1}^{t_2} P_{\Sigma}(t) dt; \quad (2.2.3)$$

čia E_{Σ} – suminis elektros energijos kiekis, Wh arba kartotiniais dydžiais – kWh; t_1 ir t_2 atitinkamai pradinis ir galutinis laiko momentai.

2.3. Suvartojamos elektros energijos poreikių skaičiavimas

Suvartojamas elektros energijos poreikis priklauso nuo elektros įrenginių vardinės galios bei veikimo laiko. Bendru atveju, kai kurie elektros prietaisai dirba budėjimo režimu ir taip pat vartoja santykinai nedidelį elektros energijos kiekį, kuomet tiesiogiai nėra naudojami. Šiame darbe priimame, kad darbo dienos (paros) ir savaitgalio dienos (paros) sausio mėn

apkrovos yra didžiausios. Siekiant didesnio suminio apkrovos grafiko tikslumo, kiekvieno prietaiso suvartojamos energijos kiekis buvo apskaičiuojamas, pateiktas prietaiso darbo veikimo laikas. Naudojantis pateiktomis įrenginių galios charakteristikomis bei jų veikimo laiku, skaičiuojama imtuvų suvartojama elektros energija. Suminė įrenginio vartojama elektros energija lygi jo vardinės galios veikimo metu bei veikimo laiko sandaugos ir budėjimo metu naudojamos galios bei budėjimo trukmės sandaugos sumai, ir išreiškiama (2.3.1) formule:

$$E_{\Sigma,i} = (P_{N,i} \cdot t_{N,i} + P_{B,i} \cdot t_{B,i}) \cdot k \quad (2.3.1)$$

čia $E_{\Sigma,i}$ – i -tojo įrenginio suminė vartojama elektros energija, Wh; $P_{N,i}$ ir $P_{B,i}$ atitinkamai i -tojo įrenginio vardinė ir budėjimo režimo galios W; $t_{N,i}$ ir $t_{B,i}$ – atitinkamai i -tojo įrenginio veikimo ir budėjimo trukmės, h. k – veikiančių prietaisų skaičius. Kai kurie prietaisai (pvz. plaukų džiovintuvas) po naudojimo išjungiami iš tinklo. Tokiu atveju jų $P_{i,B} = 0$. Darbo dienos (paros) prietaisų veikimo laikas ir energijos sąnaudos:

1. Rekuperatorius nepertraukiamai veikia visą parą ($0:00 < t \leq 24:00$) 2,8 W vardine galia.
2. Televizorius naudojamas 1 val. ($7:00 < t \leq 8:00$) ir 4 val. ($18:00 < t \leq 22:00$) per parą vardine 600 W galia. Veikdamas budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 0,9 W galią.
3. DVD grotuvas naudojamas 1,5 val. ($20:00 < t \leq 21:30$) veikia per parą vardine 100 W galia. Veikdamas budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 0,8 W galią.
4. 4 elektroniniai laikrodžiai veikia nepertraukiamai visą parą ($0:00 < t \leq 24:00$) 2 W vardine galia.
5. 2 personaliniai kompiuteriai naudojami po 4 val. ($17:00 < t \leq 21:00$) per parą vardine 400 W galia. Veikdamas budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 1,1 W galią.
6. 3 stalinės lempos naudojamos po 2 val. ($20:00 < t \leq 22:00$) per parą vardine 4 W galia.
7. Skalbimo mašina naudojama 1,5 h kartą per savaitę vardine galia 2500 W, veikdama budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 0,8 W galią.
8. Plaukų džiovintuvas naudojamas 10 min. ($7:00 < t \leq 7:15$) per parą vardine 1000 W galia.
9. Dujinis katilas veikia cikliška pagal automatinio valdiklio duomenis (pvz. palaiko kambario temperatūrą 20°C), veikimas 1 h laiko intervalais vardine 80 W galia. Veikdamas budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 2 W galią.

10. Elektrinė pirtis naudojama kartą per mėnesį 5 kW galingumo ($19:00 < t \leq 21:00$) Budėjimo režimu vartoja 200 W.

11. Elektrinis virdulys veikia 5 kartus per parą 2 min. laiko intervalais ($7:30 < t \leq 7:32$) $\cup$ ($15:30 < t \leq 15:32$) $\cup$ ($17:00 < t \leq 17:02$) $\cup$ ($19:30 < t \leq 19:32$) $\cup$ ($21:00 < t \leq 21:02$) vardine 2200 W galia. Veikdamas budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 0,2 W galią.

12. Šaldytuvas veikia visą parą cikliškai 10 min. per valandą arba 4 val. per parą, t. y. periodiškai dirbdamas ($0:00 < t \leq 0:10$) $\cup$ ($1:00 < t \leq 1:10$) $\cup$... $\cup$ ($23:00 < t \leq 23:10$) laiko intervalais vardine 100 W galia. Veikdamas budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 1 W galią.

13. Mikrobangų krosnelė naudojama 20 min. ($7:30 < t \leq 7:36$) per parą vardine 800 W galia. Veikdama budėjimo režimu, iš tinklo vartoja 0,3 W galią.

14. Elektrinė viryklė naudojama 3 kartus per parą po valandą laiko ($6:30 < t \leq 7:30$) $\cup$ ($15:00 < t \leq 16:00$) $\cup$ ($18:00 < t \leq 19:00$). Kadangi viryklė naudojama ne visu pajėgumu iš karto, įvertinau vardinę galią – 2000 W. Budėjimo režimu veikia 0,4 W.

15. Elektrinė orkaitė veikia 1 h per parą ($18:00 < t \leq 19:00$). Vardinė galia 1700 W. Budėjimo režimu veikia 0,2 W.

16. Skrudintuvė naudojama ryte po 2 minutes, 3 kartus ($6:30 < t \leq 6:36$), vardinė galia 300 W. Budėjimo režime 0,1 W.

17. Telefono įkroviklis veikia 5 kartus per parą su 35 W vardine galia, veikimo trukmė 2 h.

18. Du nešiojamieji kompiuteriai naudojami 2 valandas per parą. ($17:00 < t \leq 19:00$). Vardinė galia 20 W.

19. Kadangi apšvietimo sistema jau įrengta, todėl papildomų skaičiavimų nereikėjo atlikti. Bendra vidaus patalpų apšvietimo vardinė galia 300 W. Kadangi šaltuoju metų laikotarpiu ryte švinta vėliau, o vakare temsta greičiau, priimta, kad apšvietimas yra naudojamas laiko intervalais ($6:00 < t \leq 8:00$) bei ($17:00 < t \leq 23:00$) per parą, o tai sudaro aštuonias valandas per parą.

Suvartojamos energijos poreikių skaičiavimai, likusieji įrenginių poreikių skaičiavimai pateikti 2.1 lentelėje:

$$E_{\Sigma,1} = (2,8 \cdot 24 + 0 \cdot 0) \cdot 5 = 336 \text{ Wh};$$

$$E_{\Sigma,2} = 600 \cdot 5 + 0,9 \cdot 19 = 3071,1 \text{ Wh};$$

$$E_{\Sigma,19} = 300 \cdot 8 = 2400 \text{ Wh};$$

Bendru atveju, suminis suvartojamas elektros energijos kiekis per parą nustatomas susumavus visų tą parą veikiančių įrenginių suminę vartojamą elektros energiją ir apskaičiuojamas:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_{\Sigma,i} = E_{\Sigma,1} + E_{\Sigma,2} + E_{\Sigma,3} + \dots + E_{\Sigma,n}; \quad (2.3.2)$$

Galiausiai apskaičiuojame suminį sausio mėn. darbo dienos (paros) suvartojamos elektros energijos poreikį gyvenamajam namui:

$$E_{\Sigma,d.d.} = \sum_{i=1}^{19} E_{\Sigma,i} = 336 + 3071,1 + 167,2 + \dots + 2400 = 32074,95 \text{ Wh} = 32,1 \text{ (kWh)}$$

Visų prietaisų atitinkamai galia, veikimo trukmė ir suvartojama energija šaltuoju metų laiku (sausio mėn.) darbo dieną (parą) pateikiama žemiau esančioje 2.1 lentelėje:

2.1 lentelė. Atitinkamai naudojamų buitinių prietaisų kiekis, galia, veikimo trukmė ir suvartojama energija darbo dieną

Prietaiso Nr.	Prietaisai	Prietaisų kiekis, n	$P_{N,i}$, W	$t_{N,i}$, h	$P_{B,i}$, W	$t_{B,i}$, h	$E_{\Sigma,i}$, Wh
1.	Rekuperatorius	5	2,8	24	0	0	336
2.	Televizorius	2	600	5	0,9	19	3071,1
3.	DVD grotuvas	1	100	2	0,8	22	167,2
4.	Elektroninis laikrodis	4	2	24	0	0	192
5.	Personalinis kompiuteris	2	500	4	1,1	20	3244
6.	Stalinė lempa	3	4	2	0	0	24
7.	Skalbimo mašina	1	2500	1,5	0,8	22,5	3768
8.	Plaukų džiovintuvas	1	1000	0,1	0	0	100
9.	Dujinis katilas	1	80	20	2	4	984
10.	Elektrinė krosnis (pirtis)	1	5000	0	200	24	4800
11.	Elektrinis virdulys	1	2200	0,1	0,2	23,9	1123,9
12.	Šaldytuvas	1	100	4	1	20	420

Prietaiso Nr.	Prietaisai	Prietaisų kiekis, n	$P_{N,i}$ W	$t_{N,i}$ h	$P_{B,i}$ W	$t_{B,i}$ h	$E_{\Sigma,i}$ Wh
13.	Mikrobangų krosnelė	1	800	0,17	0,3	23,9	143,15
14.	Elektrinė viryklė	1	2000	3	0,4	21	6008,4
15.	Elektrinė orkaitė	1	1700	1	0,2	23	1704,6
16.	Skrudintuvė	1	300	0,03	0,1	23,97	29,4
17.	Mobiliojo telefono įkroviklis	1	35	2	0	0	70
18.	Nešiojamas kompiuteris	2	20	2	0	0	40
19.	Apšvietimas		300	8	0	0	2400
							$E_{\Sigma,d.d.} =$ 32,1 kW

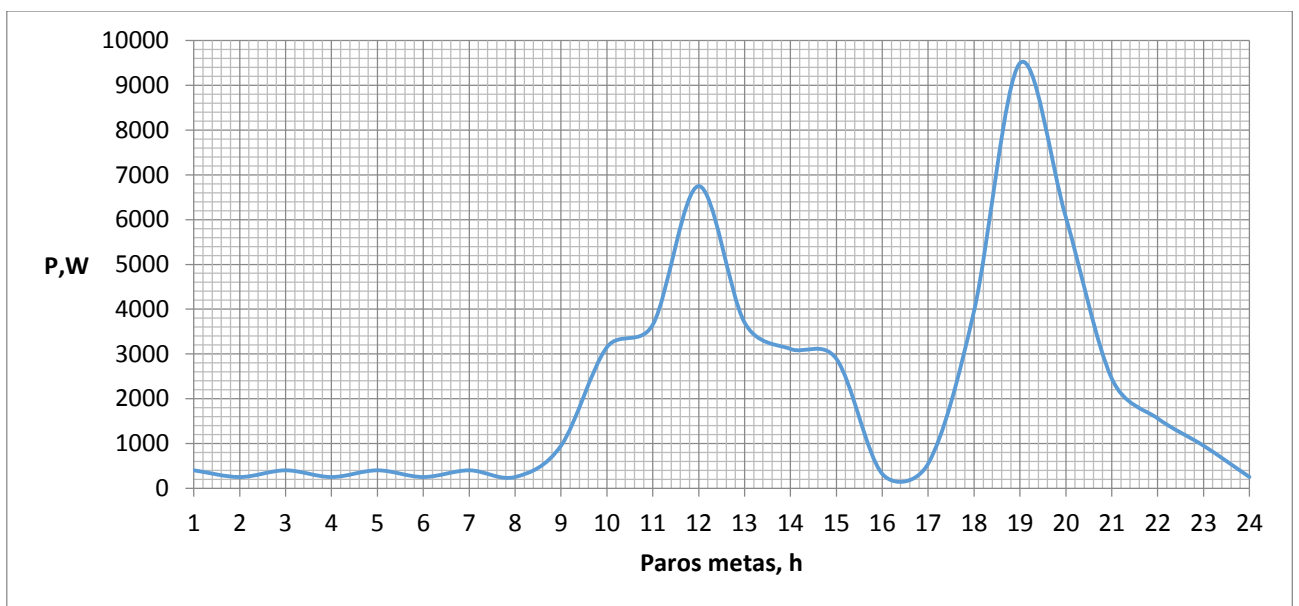
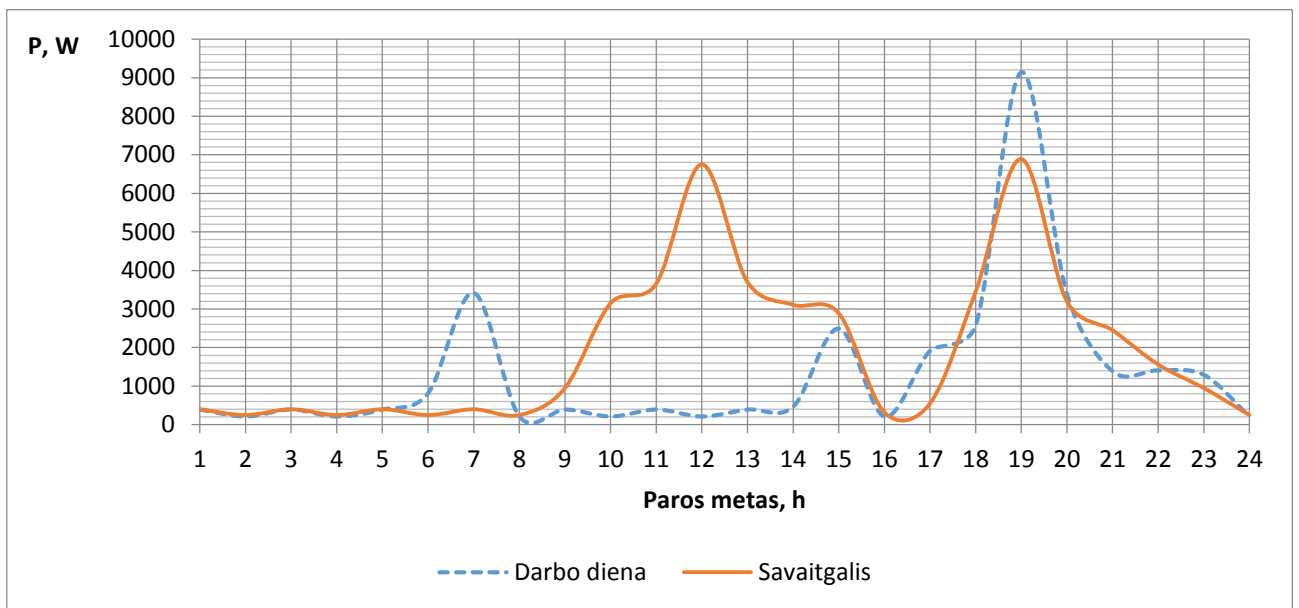
Atitinkama tvarka atliekami sausio mėnesio savaitgalio dienos (paros) suvartojamos elektros energijos poreikio gyvenamajam namui skaičiavimai. Visų prietaisų atitinkamai galios, veikimo laikai ir suvartojama energija sausio mėnesio savaitgalio dieną (parą) pateikiama 2.2 lentelėje:

2.2 lentelė. Buitinių prietaisų atitinkamai galia, veikimo trukmė ir suvartojama energija sausio mėnesio savaitgalio dieną

Prietaiso Nr.	Prietaisai	Prietaisų kiekis, n	$P_{N,i}$ W	$t_{N,i}$ h	$P_{B,i}$ W	$t_{B,i}$ h	$E_{\Sigma,i}$ Wh
1.	Rekuperatorius	5	2,8	24	0	0	336
2.	Televizorius	2	600	5	0,9	19	3071,1
3.	DVD grotuvas	1	100	3	0,8	21	316,8
4.	Elektroninis laikrodis	4	2	24	0	0	192
5.	Personalinis kompiuteris	2	500	3	1,1	21	3046,2
6.	Stalinė lempa	3	4	1	0	0	12
7.	Skalbimo mašina	1	2500	2	0,8	22	5017,6
8.	Plaukų džiovintuvas	1	1000	0,33	0	0	330

Prietaiso Nr.	Prietaisai	Prietaisų kiekis, n	$P_{N,i}$ W	$t_{N,i}$ h	$P_{B,i}$ W	$t_{B,i}$ h	$E_{\Sigma,i}$ Wh
9.	Dujinis katilas	1	80	20	2	4	984
10.	Elektrinė krosnis (pirtis)	1	5000	2	200	22	14400
11.	Elektrinis virdulys	1	2200	0,2	0,2	23,8	2223,8
12.	Šaldytuvas	1	100	4	1	20	420
13.	Mikrobangų krosnelė	1	800	0,33	0,3	23,67	271,1
14.	Elektrinė viryklė	1	2000	3	0,4	21	6008,4
15.	Elektrinė orkaitė	1	1700	2	0,2	22	3404,4
16.	Skrudintuvė	1	300	0,03	0,1	23,97	34,2
17.	Mobiliojo telefono įkroviklis	1	35	2	0	0	70
18.	Nešiojamas kompiuteris	2	20	2	0	0	40
19.	Dulkių siurblys	1	2000	1	0	0	2000
20.	Virtuvinis kombainas	1	1300	1	0	0	1300
21.	Apšvietimas	n	300	8	0	0	2400
							$E_{\Sigma,s.d.} =$ 42.86 kW

Susumuojamos visų butyje naudojamų atskirų elektros įrenginių galios charakteristikos laike. Pateikiami suminis sausio mėnesio darbo dienos (paros) ir savaitgalio dienos (paros) apkrovos grafikas 2.2 pav. ir sausio mėnesio savaitgalio dienos (paros) pikinis apkrovos grafikas 2.3 pav.:



Iš pateiktų grafikų matome:

- savaitgalio dienomis elektros suvartojimas yra 30 % didesnis, nei darbo dienos metu;
- numatomas galios pikas (didžiausia momentinė galios reikšmė) fiksuojamas savaitgalio dienomis, kuomet atsiranda poreikis elektrinei krosnei, 19 val. vakaro ir siekia beveik 9,5 kW ;
- pikinei apkrovai didžiausią įtaką daro elektrinės krosnelės, virtuvės elektros įrenginių ir kompiuterinės technikos suvartojimo poreikis vienu metu.

Turėdami paros meto suvartojimo poreikiui reikalingą energiją, apskaičiuojamas metinis elektros energijos suvartojimas. Skaičiavimai pateikiami 2.3 lentelėje ir pavaizduoti grafiškai 2.4 pav.:

$$E_i = E_{s.d} \cdot n_{s.d} + E_{d.d} \cdot n_{d.d}; \quad (2.3.3)$$

čia E_i – suvartotos energijos poreikis per mėnesį, $E_{s.d} / E_{d.d}$ – energija, suvartota savaitgalio dieną (per parą), darbo dieną (per parą), kWh. $n_{s.d}/n_{d.d}$ – savaitgalio dienų skaičius per mėnesį / darbo dienų skaičius per mėnesį.

2.3 lentelė. Metiniai suvartojimo energijos poreikiai

Mėnesiai	Suvargota energija, kWh:
1. Sausis	936,7
2. Vasaris	550,04
3. Kovas	523,5
4. Balandis	477,81
5. Gegužė	411,15
6. Birželis	364,85
7. Liepa	363
8. Rugpjūtis	298,19
9. Rugsėjis	488,93
10. Spalis	470,41
11. Lapkritis	524,11
12. Gruodis	725,2
ΣMetinės apkrovos	6133,9



2.4 pav. Elektros energijos suvartojimas per metus

2.4 Saulės elektrinės generacija

Apskaičiuojant metinius gyvenamojo namo elektros energijos poreikius E_m , būtina parinkti pakankamą FEM skaičių. Jų bendras plotas privalo užtikrinti, kad SE per metus pagaminamas elektros energijos kiekis viršytų metinius ūkio energijos poreikius:

Viso FEM plotas:

$$S_M = n \cdot a \cdot b = 40 \cdot 1.7 \cdot 1 = 68 \text{ (m}^2\text{)};$$

Norint apskaičiuoti sugeneruotą iš saulės energijos elektros kiekį, skaičiavimuose reikia įvertinti pilnutinę vidutinę daugiametę visų metų mėnesių saulės ekspoziciją elektrinės fotomoduliams pasirinktoje saulės energinės erdvės plokštumoje [kWh / m²]; saulės fotomodulių naudingumo koeficientą η_f 15,08 [%], bendrą viso fotomodulyno užimamą plotą S [m²] ir konversijos grandžių bendrąjį naudingumo koeficientą, kuris $\eta_s \approx 0,8\%$.

$$E_{m\bar{e}n} = E_v \times \eta_f \times \eta_s \times S_M; \quad (2.4.1)$$

Siekiant gauti didžiausią saulės elektrinės generaciją, saulės fotomodulius derėtų išdėstyti taip, kad jie būtų orientuoti į pietų pusę. Dėl esamo namo išsidėstymo nėra galimybių visus FEM patalpinti ant pietinio terasos stogo, todėl didžioji dalis fotomodulių projektuojami ant pietvakarinio namo stogo šlaito, kurio posvyrio kampas su horizontaliu paviršiumi sudaro 21°. Terasos stogas su horizontaliu paviršiumi sudaro 11° kampą. Nors optimalus kampas su horizontaliu paviršiumi yra 37°, tačiau įvertinus nuostolius, papildomos konstrukcijos kaštus ir modulyno šešėliavimą (2.5,2.7 skyrius), moduliai projektuojami lygiagrečiai namo terasos ir šlaitiniui stogui. Turint apskaičiuotus duomenis ir remiantis literatūra [17] galima rasti kitus projektuojamąją SE apibūdinančius parametrus, t.y. vidutinę jos galią P_V ir įrengtosios galios panaudojimo koeficientą k_n :

$$P_V = \frac{E}{\tau_k} \cdot \eta_f \cdot \eta_s \cdot S_M; \quad (2.4.2)$$

$$k_n = \frac{P_V}{P_N}; \quad (2.4.3)$$

čia τ_k – vietovės, kurioje įrengiama SE, vidutinė metinė saulės spindėjimo trukmė, h. Pagal 2.4 lentelėje pateiktus duomenis τ_k reikšmė Vilniuje per metus lygi 1690 valandoms. Nagrinėjamu

atveju, saulės FEM orientuojami į pietų pusę ir su horizontu sudaro kampą, tad vidutinės galios ir SE pagaminamos elektros energijos skaičiavimai bus atliekami įvedus atitinkamus pakeitimus:

2.4 lentelė. Saulės spindėjimo trukmė Vilniuje HMS, h/mėn

Vietovė (HMS)	01 mėn	02 mėn	03 mėn	04 mėn	05 mėn	06 mėn	07 mėn	08 mėn	09 mėn	10 mėn	11 mėn	12 mėn	Metai
Vilnius	41	70	126	165	243	250	243	234	150	96	42	30	1690

2.5 lentelė. Daugiametė vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija kWh/m², tenkanti horizontaliam paviršiui kiekvieną mėnesį ir per visus metus Vilniuje HMS

Vietovė (HSM)	01 mėn	02 mėn	03 mėn	04 mėn	05 mėn	06 mėn	07 mėn	08 mėn	09 mėn	10 mėn	11 mėn	12 mėn	Per metus
Vilnius	16	34	69	93	142	146	142	136	84	50	17	10	939

$$P_V = \frac{E}{\tau_k} \cdot \eta_F \cdot \eta_S \cdot S_M = \frac{E_H}{\tau_k} \cdot \eta_F \cdot \eta_S \cdot S_M \cdot \cos \alpha; \quad (2.4.4)$$

čia E_H – vietovės, kurioje įrengta saulės elektrinė, pilnutinė vidutinė daugiametė saulės ekspozicija fotoelementų modulyno horizontalioje saulės energinės erdvės plokštumoje. Vidutinės daugiametės saulės ekspozicijos vertės Lietuvoje, Vilniaus mieste i -tajam mėn. ir per visus metus pateikiamos 2.5 lentelėje. Kadangi elektrinės fotomoduliai projektuojami ne horizontalioje plokštumoje, o yra orientuoti kampu, tai modulyno plotas, tenkantis horizontaliam paviršiui, gaunamas mažesnis ir šis plotas išreiškiamas kaip modulyno projekcija į horizontalią plokštumą – $S_M \cdot \cos \alpha$, kur $\alpha_1 = 11^\circ$, o $\alpha_2 = 21^\circ$. Taigi, iš (3.5) išraiškos gauname:

$$P_{V1} = \frac{939}{1690} \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 18 \cdot 1,67 \cdot 0,99 \cdot \cos(11) = 2,00 \text{ (kW)}$$

$$P_{V2} = \frac{939}{1690} \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 22 \cdot 1,67 \cdot 0,99 \cdot \cos(21) = 2,33 \text{ (kW)}$$

$$P_V = P_{V1} + P_{V2} = 4,33 \text{ (kW)};$$

Tuomet iš išraiškos gauname įrengtos SE galios panaudojimo koeficientą:

$$k_n = \frac{4,33}{10} = 0,433$$

Instaliuotos saulės elektrinės vidutinis potencialas per metus apytiksliai lygus 40 % instaliuotos elektrinės vardinės galios. Tačiau tokia galia reikalinga padengti pikinius vartotojo poreikius bei, panaudojant dvipusę apskaitą, apsirūpinti elektros energija mėnesiais, kuomet vartojimo poreikiai didesni už sugeneruotąją energiją.

Saulės elektrinės generuojama elektros energija priklauso nuo metų laiko, saulės apšvietos, modulyno ploto, FEM naudingumo koeficiento ir kt. Fotomodulių naudingumą lemia tiek saulės apšvieta, tiek fotomodulio temperatūra. Kai fotomodulis įkaista virš nurodytosios temperatūros, jo naudingumo koeficientas mažėja. Šiuo konkrečiu atveju, sistemos kiekybinį naudingumo faktorių atspindi energinė saulės ekspozicija E_h , kuri nurodo, koks energijos kiekis gali būti sugeneruotas ploto vienetu per laiko vienetą. Vidutinis saulės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis i -tajį mėnesį užrašomas formule:

$$E_{s,i} = E_{h,i} \cdot S_M \cdot \eta_F \cdot \eta_S; \quad (2.4.5)$$

čia $E_{h,i}$ – daugiametė vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija kWh/m², tenkanti horizontaliam paviršiui kiekvieną mėnesį. Kadangi saulės elektrinės fotomoduliai orientuoti į pietų ir pietvakarių plokštumas kampu, įvedant pagal (2.4.5) išraišką atitinkamus pakeitimus ir perrašoma formulė:

$$E_{s,i} = E_{h,i} \times S_M \times \eta_F \times \eta_S \times \cos(\alpha) \quad (2.4.6)$$

Vidutinė saulės elektrinės generuojama energija kiekvieną mėnesį atskiruose saulės elektrinės blokuose lygi:

$$E_{s11} = 16 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 18 \cdot 1,67 \cdot 0,99 \cdot \cos(11) = 57,673 \text{ (kWh)}$$

$$E_{s12} = 16 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 22 \cdot 1,67 \cdot 0,99 \cdot \cos(21) = 67,039 \text{ (kWh)}$$

$$E_{s21} = 34 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 18 \cdot 1,67 \cdot 0,99 \cdot \cos(11) = 122,554 \text{ (kWh)}$$

$$E_{s22} = 34 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 22 \cdot 1,67 \cdot 0,99 \cdot \cos(21) = 142,457 \text{ (kWh)}$$

Tuomet suminis prognozuojamas generuojamos energijos kiekis per metus gaunamas sumuojant kiekvieno mėnesio per metus SE sugeneruojamą elektros energiją pagal formulę:

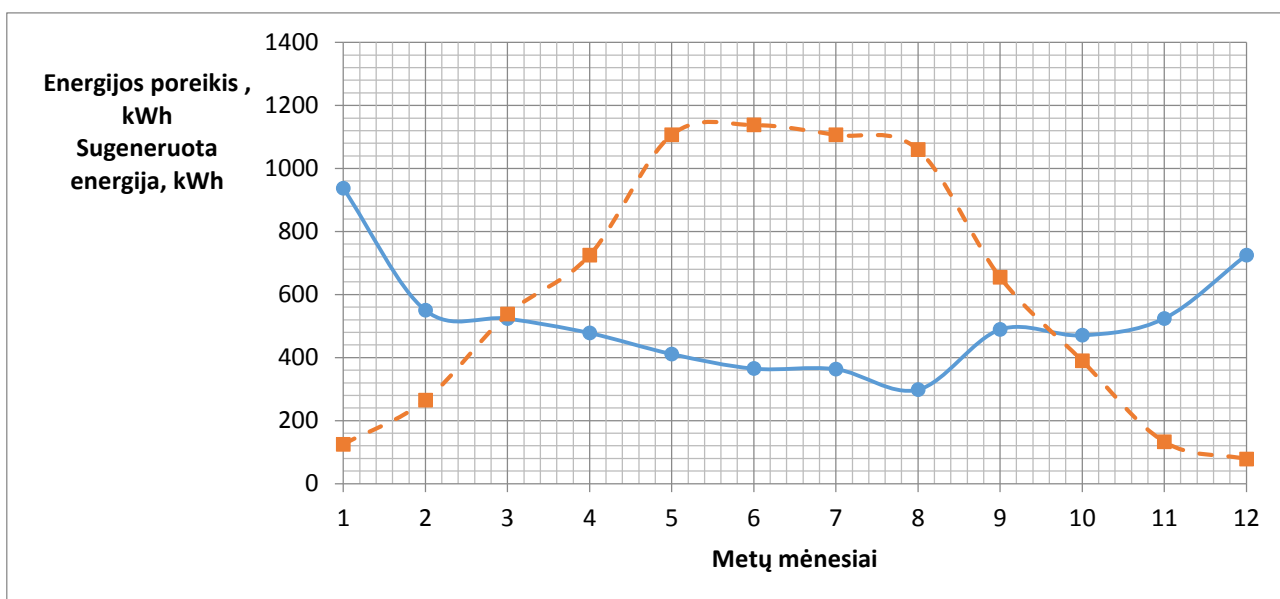
$$E_{s,m} = \sum_{i=1}^n E_{s,i} = (E_{s,11} + E_{s,12}) + (E_{s,21} + E_{s,22} + \dots + (E_{s,n1} + E_{s,n2})); \quad (2.4.7)$$

Siekiant kiekybiškai įvertinti kiekvieno mėnesio per metus suvartojamos ir pagaminamos energijos srautus, sudaroma 2.6 lentelė energijos poreikių ir saulės elektrinės generuojamos energijos kiekiams nustatyti:

2.6 lentelė. Suvartojamos buityje ir SE generuojamos elektros energijos kiekis kiekviena mėnesį.

Mėnesiai	Suvartojama energija E_i , kWh	SE pagaminama energija $E_{s,i}$ kWh	Energijos balansas ΔE_i , kWh
Sausis	936,7	124,712	-811,988
Vasaris	550,04	265,011	-285,029
Kovas	523,5	537,855	14,355
Balandis	477,81	724,935	247,125
Gegužė	411,15	1106,89	695,74
Birželis	364,85	1138,07	773,22
Liepa	363	1106,89	743,89
Rugpjūtis	298,19	1060,12	761,93
Rugsėjis	488,93	654,78	165,85
Spalis	470,41	389,75	-80,66
Lapkritis	524,11	132,515	-391,595
Gruodis	725,2	77,95	-647,25
	$E_m = 6133,9$	$E_{sm} = 7319,478$	$\Delta E = 1185,588$

Energijos balansas yra SE sugeneruotos energijos ir suvartojamos energijos skirtumas buityje. Teigiamas balanso skaičius reiškia mėnesinį energijos perteklių, perduodamą į skirstomąjį tinklą. „Minus“ ženklas reiškia, kad skirtumas yra neigiamas, t.y. prognozuojamas suvartojamas yra didesnis, negu generacija. Būtent šį minėtą energijos deficitą privalu padengti iš skirstomojo tinklo susigražinta išsaugota energija. Iš pateikto energijos balanso grafiko 2.5 pav. galima pastebėti, kad vartotojas kovo mėnesį gali visiškai padengti savo elektros poreikius, o visais vasaros mėnesiais užtektinai prikaupiti elektros energijos žiemos mėnesiams.



2.5 pav. Energijos balanso grafikas

2.5. Saulės elektrinės šešėliavimo skaičiavimas

Projektuojant saulės elektrinę labai svarbu įvertinti saulės spindulių kritimo ant SFM kampus nuo saulėtekio iki saulėlydžio. Konkretizuojant objektą, vieninteliai objektai užstojančys SE nuo tiesioginių saulės spindulių yra ant namo esantys kaminai. Kadangi projektuojamoji konstrukcija yra nejudanti, dienos metu ant namo šlaito šešėlis, krentantis nuo kaminų, juda 180° kampu, todėl būtina nustatyti atstumus tarp kamino, nuo kurio dienos metu krenta šešėlis, ir FEM eilių, tam kad būtų sugeneruotas potencialiai didžiausias elektros energijos kiekis. Lietuvoje Vilniaus platumoje saulės aukštis virš horizonto kinta 46,6° intervalu. Didžiausias jis birželio 22 d. (58,4°), mažiausias – gruodžio 21 d. (11,8°). Kaip žinoma, didžiausias šešėliavimas gaunamas, kai kampas, krintantis į horizontą, yra mažiausias, šiuo atveju Vilniaus platumoje – 11,8°, t.y. $\beta = 10,5^\circ$. Taigi, randame šešėlio ilgį, kurie krenta nuo namo kamino pagal (2.5.1) išraišką:

$$\operatorname{tg} \beta = a/l_x; \quad (2.5.1)$$

čia β – saulės kritimo kampas gruodžio 20 d., a – objekto aukštis, l_x – nuo objekto krentančio šešėlio ilgis.

Išsireiškę iš formulės, randame ieškomą šešėlio ilgį:

$$l_x = \frac{0,51}{\operatorname{tg} 11,8} = 2,44 \text{ m}$$

2.6. Saulės elektrinės įrenginiai

2.6.1. Fotomoduliai

Projekte naudojami standartinio dydžio polikristaliniai moduliai stiklas-stiklas SoliTek Prime 250. Vieno modulio galia 250 W. Pasirinkto modulio gamybos technologija su apsaugota „kraštų sandarinimo“ technologija, užtikrina apsaugą nuo neigiamų atmosferos reiškinių ir drėgmės, galinis stiklas apsaugo nuo neigiamą poveikį turinčių UV spindulių, yra geresnis šilumos laidininkas nei plastikas, dėl ko, esant geresnei ventiliacijai, užtikrinamas didesnis efektyvumas prie aukštesnės aplinkos temperatūros, taip pat prailginamas saulės modulio ilgaamžiškumas. Projektuojami 18 modulių ant namo terasos stogo iš pietinės pusės ir 22 – ant namo pietvakarinės stogo pusės. Bendra instaliuota stiklas-stiklas modulių parko galia 10 kW.

Montavimo būdas parenkamas nejudančioje konstrukcijoje. Pokrypio kampai į horizontą 11° ir 21°, orientuota kryptis – pietų/pietvakarių. Esminiai fotovoltinių modulių parametrai pateikiami 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė. Solitek 250W saulės fotomodulio mechaniniai ir elektriniai parametrai

Celės, [mm]	Poly 156x156
Svoris, [kg]	20,5
Išmatavimai (ilgis, plotis, aukštis), [mm]	1673 x 991 x 5,4
Celių skaičius/išdėstymas (eilė, stulpeliai)	60 (10x6)
Priekinis/galinis stiklo storis, [mm]	2,1/2,1
Sujungimo dėžė	SolarEdge j-box
Didžiausia galia STC, [Wp]	250
Didžiausios galios įtampa, V_{mp} [V]	30,70
Tuščiosios veikos įtampa, V_{oc} [V]	37,90
Trumpojo jungimo srovė, I_{sc} [A]	8,60
Didžiausios galios srovė, I_{mp} [A]	8,10
Modulio efektyvumas, [%]	15,08
Galios nuostoliai, [%]	3
Temperatūrinis srovės koeficientas, %/°C	+0,05
Temperatūrinis įtampos koeficientas, %/°C	-0,34
Temperatūrinis didžiausios galios koeficientas, %/°C	-0,42
Didžiausia sistemos įtampa, DC [V]	1000
Darbinė temperatūra, °C	~ -40..+85
Nurodytoji darbinė celių temperatūra, °C	43,6

2.6.2. Keitiklio parinkimas

Parenkant įtampos ir srovės keitiklį elektros sistemai, suderinami nurodytieji parametrai su kitais energijos konversijos sistemų grandžių parametrais. Vardinę inverterio galią $P_{Inv,N}$ galima parinkti pagal SFM galią bei didžiausią elektros imtuvų momentinę galią. Renkantis keitiklį projektuojamai sistemai atsižvelgta į tai, kad SEJ padalinta į dvi dalis ir saulės fotomoduliai orientuoti skirtingai. Pasirinktas Solaredge SE10K įtampos ir srovės keitiklis su prijungiamais optimizatoriais (DC/DC keitikliai) OPJ P300, kurie pagerina modulio efektyvumą, ieškant didžiausios galios taško kiekviename saulės fotomodulyje įskaitytinai, nemažinant visos

SFM grandinės galios, sugedus ar užšešėliavus vienam grandinės elementui. Esminiai inverterio ir optimizatoriaus parametrai pateikiami 2.8, 2.9 lentelėse.

2.8 lentelė. Solaredge SE10K keitiklio pagrindiniai parametrai [7]

Didžiausia galia įėjime (esant standartinėms sąlygoms), kW	12,5
Didžiausia įėjimo įtampa, V	900
Vardinė įtampa įėjime, V	750
Naudingumo koeficientas, %	97,6
Didžiausia galia išėjime, kW	10
Didžiausia srovė išėjime (per fazę), A	16
Vardinė įtampa išėjime, V	400; 380

Remiantis ekspertų paskaičiavimais, didžiausią įėjimo įtampą $U_{IN,N,in,MAX} = 900$ Vdc leistina perkrauti iki 30 %. Taip pat svarbu suderinti kintamosios srovės išėjimo įtampos amplitudę su tinklo įtampos amplitude, kad iš inverterio išeinanti elektros srovė pirmiausiai aptarnautų AEI gamintojo poreikius. Šis inverteris turi pranašumą prieš kitus Europos gamintojų inverterius savo stebėjimo ir valdymo galimybėmis, tokiomis kaip: RS485 jungtis, integruota stebėjimo sistema ir problemų identifikavimas modulio lygmenyje, interneto prieiga, mobilio ryšio platforma bei apsaugos priemonėmis: srovės nuotekio rėle, atvirkštinio poliškumo apsauga, grandinės nutraukėju avarijos atveju, aukšta apsauga nuo drėgmės ir dulkių patekimo į inverterio korpusą.

2.9 lentelė. Optimizatoriaus P300 pagrindiniai parametrai [7]

Vardinė galia įėjime, W	300
Didžiausia įėjimo įtampa, V	48
Didžiausios galios taško darbo diapazonas, V	8–48
Naudingumo koeficientas, %	98,8
Didžiausia srovė išėjime, A	15
Didžiausia įtampa išėjime, V	60

2.7. Konstrukcija

Svarbi užduotis projektuojant SE, yra tvirtinimo konstrukcija. Pasirinkta bėginė konstrukcija, kuri pritaikyta montavimui ant nuožulnaus stogo. Konstrukcija susideda iš bėgių, tarpmodulinių gnybtų ir galinių gnybtų (spaustuvų). Prieš montuojant SE konstrukciją svarbu

įsitikinti, ar stogo danga yra paruošta atlaikyti nesuplanuotas apkrovas. Parinkta stogo danga susideda iš šių elementų: šiferio danga, skiedrinė danga, 25 cm akmens vatos danga ir 10 cm betono danga, susijungianti su namo siena. Paskaičiuota, kad esama šlaitinio stogo danga išlaiko projektuojamus SFM su konstrukciniais elementais. Terasa taip pat turi metalines konstrukcijas, pagal paskaičiavimus galinčias išlaikyti papildomus 400 kg. Bėginės konstrukcijos elementai projektuojami horizontaliai ant stogo dangos paviršiaus su vieno metro tarpais. SFM tvirtinamas prie bėgių taip, kad turėtų du sąlyčio taškus su bėgine konstrukcija. Tarpmodulinių gnybtų konstrukcijos elementai tvirtinami tarp dviejų horizontaliai arba dviejų vertikalčiai sujungtų SFM. Tarpmodulinių gnybtų konstrukcijos plotis yra 17 mm, todėl projektuojant SFM ant stogo svarbu atsižvelgti ir į smulkias konstrukcines elementų dalis.

2.8. Laidininkų parinkimas

Siekiant teisingai parinkti laidininkus (kabelius) būtina žinoti: ilgalaikę leistiną srovę (sistemos darbinė srovė) ir didžiausią srovę, kurią viršijus galimas elektros sistemos gedimas. Teisingas laidininkų parinkimas mažina instaliuojamos saulės elektrinės kaštus, ko negalima tikėtis parinkus platesnio skersmens kabelį, ir apsaugo nuo galimo gedimo, priešingai nei parinkus siauresnio skersmens kabelį.

Remiantis literatūra [4], trifazinės linijos srovė skaičiuojama pagal formulę:

$$I_{3f} = \frac{S_A}{\sqrt{3} \cdot U_V \cdot \cos \phi}; \quad (2.8.1)$$

čia:

I_{3f} – srovė tekanti kabeliui [A]; S_A – pilnutinė galia [VA]; U_V – vardinė įtampa [V];

$\cos \phi$ – galios faktorius, {0,8; 1}. Vienfazinės linijos srovė skaičiuojama pagal formulę:

$$I_{1f} = \frac{P_A}{U_V}; \quad (2.8.2)$$

čia:

I_{1f} – srovė tekanti kabeliu [A];

Naudojantis „Elektros įrenginių įrengimo bendrosiose taisyklėse“ [10] pateiktais duomenimis, iki 1000 V įtampos elektros dalyje parinkti variniai $S_N = 4 \text{ mm}^2$ kabeliniai laidininkai su PVC izoliacija nuolatinės srovės dalyje, ir variniai $S_N = 2,5 \text{ mm}^2$ kabeliniai laidininkai kintamosios srovės dalyje. Laidininkai parinkti su atsarga dėl galimų atsitiktinių trumpojo jungimo tikimybių.

2.10 lentelė. Parinktų laidininkų parametrai

Linijos	Laidininko tipas	Gyslų skaičius (n) ir skerspjūvio plotas (s), $n \times s$ mm ²	r_0 , Ω/km	Linijos srovė, A
1. Saulės elektrinė ant šlaitinio namo stogo – inverteris	MCMK 5 CORE	5 x 4	7,41	8,14
2. Saulės elektrinė ant terasos stogo – inverteris	MCMK 5 CORE	5 x 4	7,41	8,14
3. Inverteris – saulės elektrinės skydas	MCMK 5 CORE	5 x 4	8,87	14,43
4. Įvadinis paskirstymo skydas – komercinės apskaitos spinta	MCMK 4 CORE	4 x 4	8,87	14,43
5. Saulės elektrinės skydas – įvadinis paskirstymo skydas	MCMK 5 CORE	5 x 4	8,87	14,43

Projektuojama gyvenamojo namo elektros sistema pagal įrenginių įžeminimo ir apsaugos nuo viršįtampių tipą yra trifazė TN-S, kurios kabelius sudaro vienas penkiagyslis laidininkas, susidedantis iš trijų fazinių laidų (L1,L2,L3), tinklo neutralės (N) ir apsauginio laido (PE). Tačiau name veikiantys imtuvai gali būti ir vienfaziai. Vienfazė sistema yra trifazės sistemos dalis. Kabeliniai laidininkai parinkti su atsarga nenumatytiems galios imtuvams.

2.11 lentelė. 1 aukšto apskaičiuotų ir parinktų patalpų elektros imtuvų laidininkų parametrai

Patalpos	Elektros imtuvų suminė galia, W	Vardinė įtampa, U_N , V	i -tojo laidininko srovė, I_i , A	Laidų leistinoji ilgalaikė srovė, I_N , A	Laidininko skersmuo, mm
Tambūras	2000	230	9,65	18,5	2,5
Tambūras	2000	400	3,21	18,5	2,5
Holas	2400	230	10,43	25	2,5
Darbo kabinetas	2900	230	12,6	25	2,5
Darbo kabinetas	2900	230	12,6	25	2,5
Darbo kabinetas	2900	230	12,6	25	2,5
Svečių kambarys	2500	230	10,87	25	2,5
Svečių kambarys	2100	230	9,13	25	2,5
Svetainė	4000	230	17,4	25	2,5
Svetainė	1900	230	8,26	25	2,5
Svetainė	2350	230	10,22	25	2,5
Svetainė	3100	230	13,48	25	2,5
Virtuvė	4720	230	20,52	25	2,5

Patalpos	Elektros imtuvų suminė galia, W	Vardinė įtampa, U_N, V	i-tojo laidininko srovė, I_i, A	Laidų leistinoji ilgalaikė srovė, I_N, A	Laidininko skersmuo, mm
Virtuvė	4000	400	6,42	25	2,5
Virtuvė	2200	230	9,57	25	2,5
Katilinė	984	400	1,56	25	2,5
Katilinė	2100	230	9,13	25	2,5
Vonia	5500	230	15,21	25	2,5
Koridorius	2150	230	9,35	25	2,5

2.12 lentelė. 2 aukšto apskaičiuotų ir parinktų patalpų elektros imtuvų laidininkų parametrai

Patalpos	Elektros imtuvų suminė galia, W	Vardinė įtampa, U_N, V	i-tojo laidininko srovė, I_i, A	Laidų leistinoji ilgalaikė srovė, I_N, A	Laidininko skersmuo, mm
Koridorius	2200	230	9,57	25	2,5
I Miegamasis	3350	230	14,57	25	2,5
II Miegamasis	3400	230	14,78	25	2,5
III Miegamasis	3400	230	14,78	25	2,5
III Miegamasis	3600	230	15,65	25	2,5
IV Miegamasis	3300	230	14,35	25	2,5
Pirtis	5000	400	13,83	25	2,5
Pirtis	3000	230	13,04	25	2,5
Vonios kambarys	3000	230	14,32	25	2,5

2.9. Įtampos ir galios nuostoliai

Remiantis literatūra [3], 0,4 kV įtampos tinkle suminiai įtampos nuostoliai neturi viršyti 5 %. Remiantis literatūra [14], įtampos nuostoliai skaičiuojami pagal formules:

$$R_{L,i} = \rho_{Cu} \cdot \frac{l_i}{S_i}; \quad (2.9.1)$$

čia: ρ_{Cu} – laidininko savitoji varža ($\Omega \cdot m$); l_i – laidininko ilgis, (m); S_i – laidininko skerspjūvis, (m^2).

Įtampos nuostoliai linijoje skaičiuojami pagal formulę:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_i \cdot R_L; \quad (2.9.2)$$

čia: ΔU – įtampos nuostoliai (V); I_i – darbinė didžiausia srovė (A).

Įtampos nuostoliai išreikšti procentais skaičiuojami pagal formulę:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_v} \cdot 100 \%; \quad (2.9.3)$$

čia: U_v – įtampos nuostoliai (V); $\Delta U_{\%}$ – įtampos nuostoliai išreikšti procentais (%).

Skaičiuojami įtampos nuostoliai pirmajam laidininkui:

$$R_L = 1,724 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{19,4}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,0836 \Omega$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 8,14 \cdot 0,1438 = 1,179 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{1,179}{675,4} \cdot 100\% = 0,002 \%$$

Analogiškai apskaičiuojami įtampos nuostoliai kituose laidininkuose. Įtampos nuostolių skaičiavimo rezultatai pateikiami 2.13, 2.14 ir 2.15 lentelėse. Galios nuostoliai linijose atsiranda dėl laidininko aktyviosios varžos R juo tekant elektros srovei I . Kuomet elektros tinklas yra neapkrautas, aktyvioji varža R artėja į begalybę, o srovė I , pagal Omo dėsnį, praktiškai lygi 0, tad galios nuostoliai linijoje taip pat lygūs 0. Jungiant apkrovą teka elektros srovė, dėl to linijoje gaunami galios nuostoliai. Šie nuostoliai, kai elektros linija apibūdinama tik aktyviaja varža R , yra šiluminės prigimties ir charakterizuoja laidininko šilimu juo tekant elektros srovei I . Remiantis literatūra [16], galios nuostoliai linijoje išreiškiami procentais ir skaičiuojami tokia tvarka:

$$P_{i,\%} = \frac{\Delta P_i}{P_{\Sigma,i}} \cdot 100\%; \quad (2.9.4)$$

čia: $P_{i,\%}$ – aktyviosios galios nuostoliai i -joje linijoje, %; W , ΔP_i – aktyviosios galios nuostoliai i -joje linijoje, W , $P_{\Sigma,i}$ – galios srautas, tenkantis i -ąja linija, W . Galios srautas $P_{\Sigma,i}$, tekantis i -ąja linija išreiškiamas:

$$P_{\Sigma,i} = P_i + \Delta P_i; \quad (2.9.5)$$

čia: P_i – suminė aktyvioji galia įrenginių, vartojančių elektros energiją, W ; atitinkamai ΔP_i išreiškiama:

$$\Delta P_i = I_i^2 \cdot R_{L,i}; \quad (2.9.6)$$

čia: I_i – srovė, tekanti i -ąja elektros linija, kai ši apkraunama galia P_i , A; $R_{L,i}$ – i -osios elektros linijos aktyvioji varža, Ω . Skaičiuojami pirmojo laidininko galios nuostoliai:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_N} = \frac{5500}{675,4} = 8,14 \text{ (A)}$$

$$\Delta P_1 = I_1^2 \cdot R_{L1} = 8,14^2 \cdot 0,0836 = 5,539 \text{ (W)}$$

$$P_{\Sigma 1} = P_1 + \Delta P_1 = 5,539 + 5500 = 5505,54 \text{ (W)}$$

$$P_{i,\%} = \frac{\Delta P_i}{P_{\Sigma,i}} \cdot 100\% = \frac{5,539}{5505,54} \cdot 100\% = 0,1 \text{ (\%)}$$

Analogiškai pateikti skaičiavimų rezultatai 14, 15 ir 16 lentelėse.

2.13 lentelė. Įtampos ir galios nuostoliai laidininkuose

Laidininko Nr.	Laidininko ilgis, m	Laidininko varža, R_L , Ω	Įtampos nuostoliai, V	Įtampos nuostoliai išreikšti procentais, %	ΔP_i , W	$P_{\Sigma,i}$, W	$P_{i,\%}$, %
1	19,4	0,0836	1,179	0,002	5,539	5505,54	0,1
2	14,3	0,0616	0,868	0,29	4,083	4504,08	0,09
3	0,7	0,003	0,075	0,019	0,625	10000,63	0,006
4	15,9	0,0685	1,712	0,428	14,263	10014,26	0,14
5	0,7	0,043	1,07	0,27	8,974	10008,97	0,09

2.14 lentelė. 1 aukšto patalpų laidininkų įtamos ir galios nuostolių skaičiavimo rezultatai

Patalpų laidininkai	Laidininko ilgis, l , m	Laidininko varža, R_L , Ω	Vardinė įtampa, U_N , V	Įtamos kritimas ΔU , V	Įtamos santykinis kritimas $\Delta U_{\%}$, %	ΔP_i , W	$P_{\Sigma,i}$, W	$P_{i,\%}$, %
Tambūras	0,91	0,01	400	0,18	0,045	0,9	2000,9	0,05
Tambūras	0,88	0,01	230	0,204	0,089	0,93	2000,93	0,05
Holas	2,18	0,02	230	0,45	0,197	2,17	2402,17	0,09
Darbo kabinetas	9,63	0,07	230	1,79	0,78	11,11	2911,11	0,38
Darbo kabinetas	13,46	0,1	230	2,50	1,087	15,876	2915,88	0,54
Darbo kabinetas	6,48	0,05	230	1,21	0,526	7,94	2907,94	0,27
Svečių kambarys	10,92	0,08	230	2,03	0,883	6,67	2106,67	0,31
Svečių kambarys	8,27	0,06	230	1,54	0,671	7,09	2507,09	0,28
Svetainė	20,26	0,14	230	7,36	3,203	9,55	1909,6	0,5
Svetainė	7,2	0,05	230	2,23	0,970	15,138	4015,14	0,38
Svetainė	6,8	0,05	230	1,69	0,735	5,22	2355,22	0,2
Svetainė	10,6	0,08	230	2,62	1,141	14,53	3114,5	0,46
Virtuvė	12,45	0,09	400	1,45	0,631	9	4009	0,22
Virtuvė	13	0,06	230	3,51	1,525	25,26	4745,26	0,53
Virtuvė	17,1	0,12	230	2,12	0,922	10,9	2210,9	0,49
Katilinė	17	0,2	400	0,19	0,0477	1,21	985,21	0,12
Katilinė	14,9	0,17	230	1,39	0,605	14,17	2114,2	0,67
Vonia	9	0,06	230	2,23	0,970	13,88	5513,88	0,25
Koridorius	6,26	0,04	230	1,16	0,508	3,49	2153,49	0,16

2.15 lentelė. 2 aukšto patalpų laidininkų įtamos ir galios nuostolių skaičiavimo rezultatai

Patalpų laidininkai	Laidininko ilgis, l , m	Laidininko varža, R_L , Ω	Vardinė įtampa, U_N , V	Įtamos kritimas ΔU , V	Įtamos santykinis kritimas $\Delta U_{\%}$, %	ΔP_i , W	$P_{\Sigma,i}$, W	$P_{i,\%}$, %
Koridorius	7,6	0,052	230	0,862	0,37	4,76	2204,76	0,22
I Miegamasis	6,75	0,047	230	1,186	0,52	9,98	3359,98	0,3
II Miegamasis	12,6	0,087	230	2,227	0,97	19	3419	0,56

Patalpų laidininkai	Laidininko ilgis, l , m	Laidininko varža, R_L , Ω	Vardinė įtampa, U_N , V	Įtampos kritimas ΔU , V	Įtampos santykinis kritimas $\Delta U_{\%}$, %	ΔP_i , W	$P_{\Sigma, i}$, W	$P_{i, \%}$, %
III Miegamasis	13,7	0,094	230	2,548	1,11	20,53	3420,53	0,6
III Miegamasis	17	0,12	230	3,072	1,34	29,39	3629,39	0,86
IV Miegamasis	20,7	0,14	230	3,480	1,51	28,83	3328,83	0,87
Pirtis	17,5	0,12	400	1,74	0,44	22,95	5022,95	0,46
Pirtis	17,7	0,12	230	2,71	1,18	20,4	3020,4	0,68
Vonios kambarys	12,9	0,089	230	2,66	1,16	15,13	3015,13	0,5

Susumavus visus gyvenamojo namo i -tųjų patalpų aktyviosios galios nuostolius, susidarancius kabeliniuose laidininkuose gauname, kad ΔP_{Σ} ir $P_{\Sigma \%}$:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^8 \Delta P_i = 0,08 + \dots + 20,4 + 15,13 = 345,18 \text{ (W)}$$

$$P_{\Sigma \%} = \sum_{i=1}^8 P_{i, \%} = 0,004 + \dots + 0,68 + 0,5 = 5,95 \text{ (\%)}.$$

Apskaičiuoti suminiai gyvenamojo namo i -tųjų patalpų aktyviosios galios nuostoliai, išsiskiriantys laidininkuose, apytiksliai sudaro tik 6 % ir yra lygūs 345,18 W. Žinoma, kad iki 1000 V kintamosios srovės elektros sistemose rekomenduojama kabelinius laidininkus parinkti taip, kad suminiai procentiniai galios nuostoliai tenkintų intervalą $P_{\Sigma \%} = (4 \div 7)\%$.

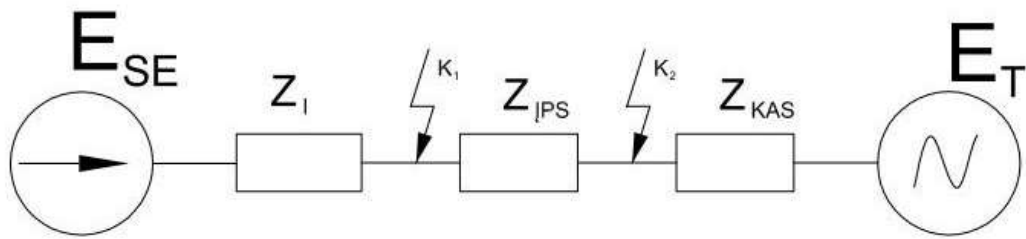
2.10. Trumpųjų jungimų skaičiavimas

Trumpųjų jungimų skaičiavimai naudojami, norint surasti trumpojo jungimo metu susidariusios srovės dydžius. Pagal minėtos srovės reikšmę parenkami automatiniai jungikliai. Trumpojo jungimo srovė apskaičiuojama pagal (2.10.1) išraiškoje pateiktą formulę:

$$I_K = \frac{U_N}{Z_L}; \quad (2.10.1)$$

čia: I_K – trumpojo jungimo srovės dydis, kA ; U_N – vardinė įtampa, V; Z_L – linijos suminė varža, Ω .

Projektuojamu atveju sudaroma ekvivalentinė schema:



2.6 pav. Trumpųjų jungimų ekvivalentinė schema

čia: E_{SE} – saulės elektrinės įtampa, V ; E_T – skirstomojo tinklo įtampa, V ; Z_{IPS} – suminė varža įvadiniamie paskirstymo skyde, Ω ; Z_{KAS} – suminė varža komercinės apskaitos skyde, Ω .

Aktyviųjų ir reaktyviųjų laidininkų suminės varžos skaičiuojamos trumpojo jungimo taškuose pagal pateiktas išraiškas (2.10.2), (2.10.3), (2.10.4):

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}; \quad (2.10.2)$$

$$X_L = X_o \cdot l; \quad (2.10.3)$$

$$R_L = R_o \cdot l; \quad (2.10.4)$$

Apskaičiuojama smūgio srovė:

$$i_{sm,K} = I_K \cdot k_{sm} \cdot \sqrt{2}; \quad (2.10.5)$$

Sudaroma lentelė, kurioje pateikti skaičiavimų rezultatai:

2.16 lentelė. Trumpųjų jungimų skaičiavimo rezultatai

Trumpojo jungimo taškas	R_L, Ω	X_L, Ω	Z_L, Ω	U_N	I_K, kA	k_{sm}	i_{sm}, kA
K1	0,04	0,015	0,043	400	9,36	1,8	23,8
K2	0,18	0,03	0,18	400	2,19	1,8	5,57

2.17 lentelė. 1 aukšto instaliacinių laidininkų trumpųjų jungimų skaičiavimo rezultatai

Trumpojo jungimo taškas	R_L, Ω	X_L, Ω	Z_L, Ω	U_N	I_K, kA	k_{sm}	i_{sm}, kA
Tambūras	0,01	0,002	0,010	400	3,78	1,8	9,62
Tambūras	0,01	0,002	0,010	230	2,92	1,8	7,43
Holas	0,02	0,004	0,020	230	2,79	1,8	7,12
Darbo kabinetas	0,07	0,018	0,072	230	3,19	1,8	8,12
Darbo kabinetas	0,1	0,027	0,106	230	2,17	1,8	5,52
Darbo kabinetas	0,05	0,013	0,052	230	4,42	1,8	11,25
Svečių kambarys	0,08	0,022	0,083	230	2,77	1,8	7,05
Svečių kambarys	0,06	0,017	0,062	230	3,71	1,8	9,45
Svetainė	0,14	0,040	0,146	230	1,58	1,8	4,02
Svetainė	0,05	0,014	0,052	230	4,42	1,8	11,25
Svetainė	0,05	0,014	0,052	230	4,42	1,8	11,25
Svetainė	0,08	0,021	0,083	230	2,77	1,8	7,05
Virtuvė	0,09	0,025	0,093	400	4,3	1,8	10,94
Virtuvė	0,06	0,026	0,065	230	3,54	1,8	9,01
Virtuvė	0,12	0,034	0,125	230	1,84	1,8	4,68
Katilinė	0,2	0,034	0,203	400	1,97	1,8	5,02
Katilinė	0,17	0,03	0,173	230	1,33	1,8	3,39
Vonia	0,06	0,018	0,063	230	3,65	1,8	9,29

Trumpojo jungimo taškas	R_L, Ω	X_L, Ω	Z_L, Ω	U_N	I_K, kA	k_{sm}	i_{sm}, kA
Koridorius	0,04	0,013	0,042	230	5,48	1,8	13,95

2.18 lentelė. 2 aukšto instaliacinių laidininkų trumpųjų jungimų skaičiavimo rezultatai

Trumpojo jungimo taškas	R_L, Ω	X_L, Ω	Z_L, Ω	U_N	I_K, kA	k_{sm}	i_{sm}, kA
Koridorius	0,052	0,015	0,054	230	4,26	1,8	10,85
I Miegamasis	0,047	0,014	0,049	230	4,69	1,8	11,94
II Miegamasis	0,087	0,025	0,091	230	2,53	1,8	6,44
III Miegamasis	0,094	0,027	0,098	230	2,35	1,8	5,98
III Miegamasis	0,12	0,034	0,125	230	1,84	1,8	4,68
IV Miegamasis	0,14	0,041	0,146	230	1,58	1,8	4,02
Pirtis	0,12	0,035	0,125	400	3,2	1,8	8,15
Pirtis	0,12	0,035	0,125	230	1,84	1,8	4,68
Vonios kambarys	0,089	0,026	0,093	230	2,47	1,8	6,29

2.11. Automatinių jungiklių parinkimas

Automatinis jungiklis yra įtaisas, kuris atjungia elektros grandinę atsiradus gedimui, taip apsaugodamas elektros imtuvą ir maitinimo grandinę [2]. Dažniausi gedimai – perkrovos ir trumpieji jungimai, todėl jungikliai taip pat sugeba apsaugoti nuo fazinės įtampos patekimo ant įžemintų elektros įrenginio dalių. Pasirenkant automatinį jungiklį, svarbu atsižvelgti į tris faktorius: vardinę srovę, suveikimo charakteristiką ir didžiausią atjungimo srovę. Pagal tai parenkami visi automatiniai jungikliai (žr. 6 priedą). Remiantis literatūra [10], įvadinis automatinis jungiklis parenkamas pagal 2.19 lentelėje pateiktus duomenis.

2.19 lentelė. Trifazio įvadinio automatinio jungiklio atkabiklio didžiausios vardinės srovės priklausomybė nuo leistinosios naudoti galios [10]

Leistinoji naudoti galia, P, kW	Įvadinio automatinio jungiklio atkabiklio didžiausioji vardinė srovė I_{at} , A
10–11	20

2.12. Viršįtampių apsaugos

Viršįtampių ribotuvai pagal IEC 61643-1 standartą skirstomi į keturias klases. Remiantis literatūra [16], parenkamos OVR T2 3N 40 440 P TS U ir V25B+C kombinuotos viršįtampių apsaugos, kadangi projektuojama III kategorijos žaibosauga. Parenkami B+C ir D kategorijų viršįtampių ribotuvai kintamosios srovės dalyje. Viršįtampių ribotuvų parametrai pateikiami 21 lentelėje.

2.20 lentelė. AC viršįtampių ribotuvų parametrai [17]

	V-25 B+C	OVR T2 3N 40 440 P TS U
Didžiausia fazės darbinė įtampa	320 V	440
Impulsinė srovė (10/350)	7 kA	2 kA
Vardinė iškrovos srovė (8/20 μ s)	30 kA	20 kA
Didžiausia iškrovos srovė (8/20 μ s)	50 kA	40 kA
Apsaugos lygis	< 1,8 kV	1,4 kV
Reakcijos laikas	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Apsauga saugikliu	160gl/Gg	≤ 125 gl/Gg

Saulės elektrinės apsaugai parenkami A kategorijos viršįtampių ribotuvai ABB SPD OVR PV 40 1000. Pateikti techniniai įrenginio pagrindiniai parametrai:

2.21 lentelė. DC viršįtampių ribotuvų parametrai [21]

	ABB SPD OVR PV 40 1000
Didžiausia darbinė įtampa	1000 V
Trumpojo jungimo srovė	10 kA

2.13. Apsauga nuo žaibo

2.13.1. Dviejų stiebų žaibosaugos parinkimas ir skaičiavimai

Projektuojant apsaugą nuo žaibo, esminis uždavinys yra parinkti žaibolaidžio aukštį. Nuo žaibolaidžio aukščio priklauso žaibolaidžio apsaugos zona, į kurią turi patekti projektuojama saulės elektrinė bei kiti elektros įrenginiai. Žaibosaugos projektavimas paremtas metodika,

pateikta literatūroje [5]. Projektuojamos apsaugoti erdvės aukščiausias taškas – gyvenamojo namo stogo kamino viršūnė, esanti 7,8 m aukštyje. Priimama reikalinga apsaugoti erdvė, kurios aukštis – 8 m, plotis – 20 m, ilgis – 20 m. Pasirinkta dviejų stiebų žaibosauga su žaibolaidžiais iš lydyto aliuminio konstrukcijos, kurio apatinis skersmuo – 16 mm², o viršutinis – 10 mm². Projektuojami du 3 m žaibolaidžiai ant gyvenamojo namo šlaitinio stogo viršūnių. Skaičiavimai atlikti pagal III apsaugos nuo žaibo kategoriją. Pateikiami apsaugos zonų matmenų skaičiavimai:

2.22 lentelė. Dviejų stiebų apsaugos zonos matmenų skaičiavimas [5]

Apsaugos patikimumas	Žaibolaidžio aukštis h, m	L_{MAX} , m	L_C , m
0,99	Nuo 0 iki 30	$4,75 \cdot h$	$2,25 \cdot h$

Remiantis literatūroje [9] pateikta lentele, randame didžiausią atstumą tarp projektuojamų žaibolaidžių L_{MAX} ir L_C :

$$L_{MAX} = 4,75 \cdot h = 4,75 \times 10,24 = 48,64 \text{ (m)}$$

$$L_C = 2,25 \cdot h = 2,25 \times 10,24 = 23,04 \text{ (m)}$$

Skaičiuojamas minimalus apsaugos zonos aukštis tarp abiejų stiebų h_c :

$$h_c = \frac{L_{MAX} - L}{L_{MAX} - L_C} \cdot h_0 = \frac{7,24(48,64 - 8,05)}{48,64 - 23,04} = 11,48 \text{ (m)}$$

čia: L – realus atstumas tarp projektuojamų žaibolaidžių, [m]; h_0 – gyvenamojo namo aukštis žaibolaidžio projektuojamoje vietoje, [m]. Randamas apsaugos zonos spindulys prie žemės paviršiaus r_0 kai apsaugos patikimumas 0,99:

$$r_0 = \frac{h}{0,8} = \frac{10,24}{0,8} = 12,8 \text{ (m)}$$

Skaičiuojami horizontalūs apsaugos zonų spinduliai (t.y. saulės elektrinės apsaugos spindulys ant šlaitinių gyvenamojo namo ir terasos stogų):

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} = \frac{12,8(11,48 - 7)}{11,48} = 5 \text{ (m)}$$

čia: r_{cx} – horizontalusis apsaugos zonos spindulys, [m]; r_0 – žemės paviršiaus apsaugos spindulys, [m]; h_x – aukštis, kuriame yra išdėstyti saulės foto moduliai ant namo stogo, [m].

Analogiškai pritaikę formulę ant terasos stogo projektuojamiems moduliams, gautas horizontalus apsaugos spindulys lygus 8,9. Išvada – žaibolaidžiai visiškai padengs saulės elektrinės projektuojamus plotus.

2.13.2. Įžemiklių skaičiavimai

Apsaugos nuo žaibo sistemų, apsaugančių statinius nuo tiesioginių žaibų, įžeminimas įrengiamas pagal „Elektros įrenginių įrengimo taisyklės“ [11] ir kitus galiojančius normatyvus. Įžemiklio skaičiavimo metodika parinkta remiantis literatūra [10]. Leistinoji įžeminimo varža $R_{\Sigma} \leq 10 \Omega$.

Vertikalių įžemiklių skaičiavimas: grunto pobūdis – priemolis. Savitoji jo varža $100 \Omega\text{m}$. Įvertinus sezoniškumo koeficientą, skaičiuojama grunto varža vertikaliems įžemikliams:

$$\rho = k_v \cdot \rho_v; \quad (2.13.2.1)$$

čia:

ρ – grunto varža (Ωm);

k_v – sezoniškumo koeficientas vertikaliems įžemikliams;

ρ_v – vidutinė grunto varža (Ωm).

$$\rho = 1,6 \cdot 100 = 160 \Omega\text{m}.$$

Įžemikliu pasirenkamas įgilintas strypas. Tokio strypo įžemėjimo varža skaičiuojama pagal formulę:

$$r_{st} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t+l}{4t-1} \right) \right); \quad (2.13.2.2)$$

čia:

r_{st} – strypo įžemėjimo varža (Ω);

ρ – grunto varža (Ωm);

l – strypo ilgis (m);

t – atstumas nuo paviršiaus iki strypo vidurio (m);

d – strypo skersmuo (m).

Pasirenkamas cinkuoto plieno strypas, kurio skersmuo 0,020 m, ilgis 3 m. Įgilinimas 2,8 m. Suskaičiuota t reikšmė – 1,3 m. Duomenys paremti literatūra [19].

$$r_{st} = \frac{160}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,020} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4 \cdot 1,3 + 3}{4 \cdot 1,3 - 1} \right) \right) = 51,28 \, \Omega$$

Projektuojama sukalti įžemiklius giluminio įžeminimo kontūru. Kontūru sukaltų įžemiklių ekranavimo koeficientas $\eta_i = 0,5$. Patikslinamas strypų skaičius:

$$n = \frac{r_{st}}{\eta_i \cdot R_z}; \quad (2.13.2.3)$$

čia:

n – įžemiklių skaičius;

η_i – vertikaliųjų įžemiklių ekranavimo koeficientas;

R_z – leistinoji įžeminimo varža (Ω).

Skaičiuojamas įžemiklių skaičius:

$$n = \frac{51,28}{0,5 \cdot 10} = 10,26$$

Priimamas įžemiklių skaičius 11.

Įžemikliai grunte bus sujungiami horizontaliąja juosta, įkasta 0,8 m gylyje. Juostos skerspjūvis – 4x40 mm. Juosta pagaminta iš cinkuoto plieno.

Horizontaliosios apjungimo juostos skaičiavimas: grunto savitoji varža įkasimo gylyje (0,8 m), įvertinant sezoniškumo koeficientą, kuris yra lygus 2,5. Skaičiuojama grunto varža horizontaliesiems įžemikliams pagal formulę:

$$\rho = k_h \cdot \rho_v; \quad (2.13.2.4)$$

čia: k_h – sezoniškumo koeficientas horizontaliesiems įžemikliams.

$$\rho = 2,5 \cdot 100 = 250 \, \Omega \text{m}.$$

Priimama, kad įžemiklius jungianti juosta bus 68 m ilgio. Skaičiuojama juostos įžemėjimo varža:

$$r_{juost.} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{2l^2}{dt}; \quad (2.13.2.5)$$

čia: $r_{juost.}$ – juostos įžemėjimo varža (Ω); ρ – grunto varža (Ωm); l – juostos ilgis (m);

t – atstumas nuo paviršiaus iki įgilintos juostos vidurio (m); d – juostos plotis (m).

$$r_{juost.} = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 68} \ln \frac{2 \cdot 68^2}{0,04 \cdot 0,8} = 7,36 \Omega$$

Jungiančiosios juostos ekranavimo koeficientas, kai vertikaliųjų įžemiklių skaičius kontūre 11, $\eta_j = 0,34$. Juostos įžemėjimo varža, įvertinant ekranavimo koeficientą, skaičiuojama pagal formulę:

$$r_j = \frac{r_{juost.}}{\eta_j}; \quad (2.13.2.6)$$

čia:

r_j – juostos įžemėjimo varža (Ω);

η_j – juostos ekranavimo koeficientas.

$$r_j = \frac{7,36}{0,34} = 21,6 \Omega$$

Apskaičiuojama būtina strypų kontūro įžemėjimo varža:

$$r_k = \frac{r_j \cdot R_z}{r_j - R_z}; \quad (2.13.2.7)$$

$$r_k = \frac{21,6 \cdot 10}{21,6 - 10} = 18,62 \Omega$$

Skaičiuojama bendra visų įžemiklių atstojamoji varža pagal formulę:

$$r_z = \frac{r_{st}}{\eta_i \cdot n}; \quad (2.13.2.8)$$

čia r_z – įžemiklių atstojamoji varža (Ω).

$$r_z = \frac{51,28}{0,5 \cdot 11} = 9,32 \Omega$$

Visa įžeminimo kontūro varža apskaičiuojama remiantis formule:

$$R_K = \frac{r_z \cdot r_j}{r_z + r_j}; \quad (2.13.2.9)$$

čia R_K – bendra įžeminimo kontūro varža (Ω).

$$R_K = \frac{9,32 \cdot 21,6}{9,32 + 21,6} = 6,51 \Omega$$

Gautas rezultatas rodo, kad bendra įžemiklių varža neviršija leistinosios ribos. Todėl galima daryti išvadą, kad vertikalieji įžemikliai parinkti teisingai. Horizontaliosios juostos įžemėjimo varža yra pakankama ir atitinka reikalavimus. Remiantis literatūra [12], įžeminimo kontūras turi būti mažiausiai vieno metro atstumu nuo pastato, ant kurio projektuojami SFM. Įžeminimo kontūras pavaizduotas priede 9.

3. EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

Nustatant ekonominį projekto atsiperkamumą, pirmiausia reikia įvertinti projekto investicijas. Investicijų kainą sudaro saulės elektrinės sistemos įrenginių transportavimo ir montavimo kaštai. Sudaroma pradinė preliminarinių investicijų į saulės elektrinės sistemos įrenginius lentelė.

3.1 lentelė. Preliminarios investicijos į saulės elektrinės sistemos įrenginius

Investicija	Pavadinimas	Kaina, Eur
Poli-cryst saulės fotovoltiniai moduliai	Solitek Prime 250	6400
Inverteris	SolarEdge SE10K	1890
Galios optimizatoriai	SolarEdge OPJ300-LV	600
Kabeliai, saulės elektrinės skydas, automatinės apsaugos, viršįtampių ribotuvai, įžemikliai, įžemiklių juostos, žaibolaidžiai, DAS	–	1000
Konstrukcija, transportavimo, montavimo kaštai	–	2000
Viso		11890

Įvertinant ekonominį atsiperkamumą, apskaičiuojamos metinės sutaupytos vartotojo išlaidos, kurios gaunamos apsirūpinant elektros energija ir nesumokant skirstomajam tinklui (LESTO).

$$C_m = E_{SE,m} \cdot 0,155; \quad (3.1)$$

čia: C_m – sutaupytos vartotojo išlaidos per metus, Eur; koeficientas 0,155 – vartotojo mokamas tarifas už elektros energiją [18], Eur; $E_{SE,m}$ – saulės elektrinės per metus pagamintos energijos kiekis, kWh. Skaičiuojant sutaupytas vartotojo išlaidas, įvertinta kasmetinė saulės elementų degradacija ~1%/metus ir priimama, kad elektros energijos kaina išliks pastovi.

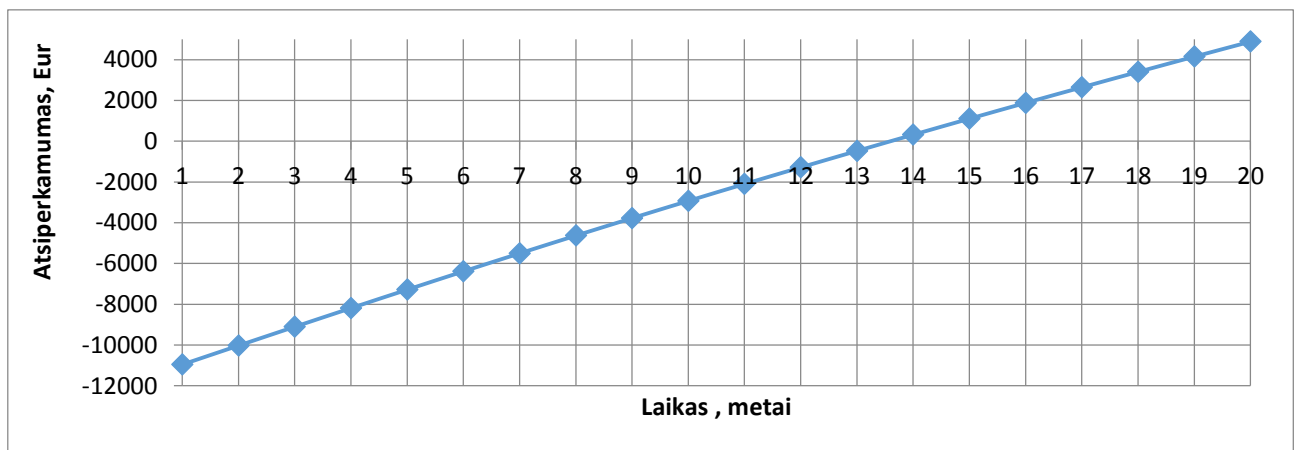
Priimama, kad kasmetiniai saulės elektrinės eksploataciniai ir draudimo kaštai lygūs 200 Eur/metus. Apskaičiuojama, kiek iš viso sutaupyta lėšų per metus:

$$P_m = C_m - C_{ed,m}; \quad (3.2)$$

čia: P_m – sutaupytos lėšos gaminant iš saulės elektros energiją, Eur; $C_{ed,m}$ – saulės elektrinės eksploataciniai ir draudimo kaštai, Eur/metus.

Atsipirkamumo laikotarpis skaičiuojamas iš pradinės investicijos atimant kasmetines sutaupytas lėšas. Skaičiavimų rezultatai pateikti 2 priede ir 6 pav.

$$T_a = 11890 - \sum P_m \leq 0; \quad (3.3)$$



3.1 pav. Saulės elektrinės atsipirkimo grafikas

Išanalizavus pateiktus rezultatus galima teigti, kad saulės elektrinė atsipirks per keturiolika metų. Tai yra pakankamai palankus rodiklis, žinant, kad saulės elektrinės sistemos tarnavimo laikas yra dvidešimt penkeri metai.

IŠVADOS

1. Pasirinktas dviejų aukštų gyvenamasis namas, kuriame yra instaliuota elektrinė galia – 10 kW, o leistina naudoti galia – 20 kW. Apskaičiuotas elektros energijos vartotojo didžiausias poreikis darbo dieną lygus 32,1 kWh, savaitgalio dieną – 42,86 kWh. Savaitgalio dienomis elektros suvartojama 30 % daugiau nei darbo dienomis. Momentinės galios pikas siekia beveik 9,5 kW. Apskaičiuotas metinis vartotojo poreikis 6133,9 kWh.

2. Patenkinti vartotojo poreikius suprojektuota 10 kW centralizuota saulės elektrinės sistema su dvipusės apskaitos skaitikliu.

3. Parinkti sistemos komponentai: Solitek Prime 250 polikristaliniai saulės fotomoduliai, Solaredge SE10K įtampos ir srovės keitiklis, optimizatoriai OPJ P300.

4. Išanalizuota metinė suminė saulės elektrinės generacija 2014 metų duomenimis lygi 7319,47 kWh. Instaliuotos saulės elektrinės vidutinis potencialas per metus apytiksliai lygus 40 % instaliuotos elektrinės vardinės galios. Tačiau tokia galia reikalinga padengti pikinius vartotojo poreikius bei, panaudojant dvipusę apskaitą, apsirūpinti elektros energija mėnesiais, kuomet vartojimo poreikiai didesni už sugeneruotąją energiją. Paskaičiuotas metinis energijos balansas tarp vartotojo poreikių ir generacijos lygūs 1185,59 kWh. Daroma išvada, kad to pakanka patenkinti vartotojo poreikius, kuomet saulės elektrinės generacija yra mažesnė.

5. Parinkti kabeliniai laidininkai patalpos instaliacijai HULT(FLEX) LSOH FB30/60 (Cu 3x2,5, 5x2,5) tipo bei saulės elektrinės sistemos komponentams sujungti – MCMK 5 CORE ir MCMK 4 CORE variniai 4 mm² kabeliai. Paskaičiuoti įtampos nuostoliai, kurie neviršija 5 %, ir suminiai galios nuostoliai, sudarantys 6 % arba 345,18 W.

6. Apskaičiuota trumpojo jungimo srovė įvadiniame paskirstymo skydelyje (9,36 kA) bei komercinės apskaitos skydelyje (2,19 kA).

7. Parinkti B ir C klasės Hager MCB MTN 6kA automatiniai jungikliai. Išlaikytas selektyvumas.

8. Parinkti OVR T2 3N 40 440 P TS U ir OBO Bettermann V-25 viršįtampių ribotuvai B+C ir D kategorijų kintamosios srovės dalyje. Nuolatinės srovės dalyje parinkti ABB SPD OVR PV 40 1000 A kategorijos viršįtampių ribotuvai. Suprojektuota dviejų stiebų žaibosauga saulės elektrinės apsaugai. Parinkti du 3 m aukščio aliuminio lydinio žaibolaidžiai ROD 16/10/3000. Paskaičiuoti apsaugos zonos parametrai: vieno žaibolaidžio apsaugos zonos spindulys prie žemės 12,8 m. Rastos horizontalių apsaugos zonos spindulių 3,5 m ir 7 m aukščiuose reikšmės, atitinkamai lygios 8,9 m ir 5 m.

9. Suprojektuotas įžeminimo kontūras. Parinkti vertikalieji įžemikliai – cinkuoto plieno strypai, kurių skersmuo – 0,02 m, ilgis – 3 m. Formuojamas įžeminimo kontūras iš 11

vertikaliųjų strypų ir tuos strypus jungiančios 68 m ilgio juostos, kurios skerspjūvis 40 x 4 mm. Kontūro juosta, jungianti įžemiklius, įgilinta 0,8 m gylyje. Atstojamoji kontūro varža – 6,51 Ω ir neviršija leistinos 10 Ω varžos.

10. Paskaičiuota, kad tokio tipo saulės elektrinės įrengimas vartotojui atsipirks per keturiolika metų. Vertinant sistemos tarnavimo laikotarpį, lygų dvidešimt penkeriems metams, suprojektuota saulės elektrinė yra ekonomiškai patraukli.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. “Saulės energijos panaudojimo tyrimas“ [interaktyvus] [žiūrėta 2015 03 29] Prieiga per internetą: http://www.saulėsvejoenergija.lt/Fotoelektra/Istekliai/&Language=lt_LT
2. Automatinių jungiklių tipai bei jų parinkimas [interaktyvus] [žiūrėta 2015 03 16] Prieiga per internetą: <http://www.mysimpleautomation.com/kas-yra-automatinis-jungiklis/>
3. Algimantas Navickas, Gytis Svinkūnas „Elektros energetikos pagrindai“, 2011, 978-609-02-1001-7 Kaunas; p.: 99 – 103, 120 – 131, 172 – 177, 192.
4. Gytis Petrauskas, Vytautas Adomavičius „Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti“, 2012, 978-609-02-0752-9 Kaunas; p.: 69 – 76.
5. R. Miliūnė, Žaibosaugos parinkimas, paskaitų konspektas, Kaunas, 2014 m.
6. Elektros linijų ir instaliacijos įrengimo taisyklės, patvirtinta LRŪM 2005 m. [interaktyvus] [žiūrėta 04 24] Prieiga per internetą: http://www.smail.lt/~edvardas.smilgevicius/downloads/literatura/ELEKTROS_LINIJU_IR_INSTALIACIJOS_IRENGIMO_TAISYKLES.pdf
7. Solaredge produkcijos įtampos ir srovės keitiklio techniniai duomenys [interaktyvus] [žiūrėta 2015 03 15]. Prieiga per internetą: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/inverters/se-three-phase-inverter-datasheet.pdf>
8. Dvipsūs apskaitos nauda [interaktyvus] [žiūrėta 2015 04 06] Prieiga per internetą: <http://bod.lt/lt/apie-mus/naujienos/1785/>
9. Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai: mokomoji knyga. Autorius: Šatas, J., Klaipėda, 2006; p.: 111 – 118, 127
10. Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės [interaktyvus] [žiūrėta 2015 04 20]. Prieiga per internetą: <http://www.elektrosauga.lt/Elektrosaugos-laboratorija/Publikacijos-ir-norminiai-aktai/Elektros-irenginiu-irengimo-bendrosios-taisykles>
11. Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo, STR 2.01.06:2009: 2009 m. lapkričio 17 d., patvirtinta įsakymu Nr. D1-693, Vilnius. p.: 6
12. Pasyvusis Franklino žaibolaidis su konstrukcija [interaktyvus] [žiūrėta 2015 04 25]. Prieiga per internetą: http://www.erico.com/public/library/fep/LT0780_2.pdf
13. A. Jonaitis, paskaitų konspektas, Kaunas 2014 m.
14. Saulės fotomodulių tvirtinimo prie stogo dangos konstrukcija [interaktyvus] [žiūrėta 2015 04 17]. Prieiga per internetą: http://www.schletter.de/files/addons/docman/solarmontage/prospekte/Component_Overview_-_Brochures_V21_I400003GB.pdf

15. Apsauga nuo viršįtampių žemos įtampos grandinėse parinkimo ir instaliavimo instrukcija, OBO Betterman [interaktyvus] [žiūrėta 2014 05 01]. Prieiga per internetą: http://www.lanza.lt/docs/Virsit_montav_INSTRUKCIJA.pdf
16. OBO Betterman, V-25 B+C 1 [interaktyvus] [žiūrėta 2014 05 04]. Prieiga per internetą: http://www.transela.lt/index.php?option=com_content&view=article&id=74:etimat-10-1p-b-6&catid=3:virtampi-ribotuvai&Itemid=14
17. Adomavičius V. Balčiūnas P. Atsinaujinančių šaltinių panaudojimas sodyboms aprūpinti elektros energija// Kaunas. Technologija. 2000. p. 23-29.
18. Siemens srovės nuotekio rėlės [interaktyvus] [žiūrėta 2014 05 01]. Prieiga per internetą: http://www.slo.lt/ELEKTROS-PASKIRSTYMAS/Moduliniai-automatikos-komponentai/Reles/Srove-nuotekio-rele-4P-25A-30mA-AC.html?force_sid=3a5597ed43063c72d7701b00132d8c3d
19. Įžeminimo konturo parinkimas [interaktyvus] [žiūrėta 2014 05 04]. Prieiga per internetą: http://obo-bettermann.by/downloads/lt/kataloge/tbs_erdung_lt.pdf
20. Įstatyminis projektas dėl elektros energiją gaminančių vartotojų, elektros energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių [interaktyvus] [žiūrėta 2014 05 12]. Prieiga per internetą: http://www.lrs.lt/pls/proj/dokpaieska.showdoc_l?p_id=1020816&p_fix=n&p_gov=n
21. ABB viršįtampių parinkimas [interaktyvus] [žiūrėta 2014 05 12]. Prieiga per internetą: [http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/97106428ad07f870c1257a37002d175c/\\$file/Solar%20energy_Lightning%20and%20overvoltage%20protection_1TXH%20000%20118%20B0202.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/97106428ad07f870c1257a37002d175c/$file/Solar%20energy_Lightning%20and%20overvoltage%20protection_1TXH%20000%20118%20B0202.pdf)

PRIEDŲ SĄRAŠAS

Medžiagų žiniaraštis.....	1 priedas
10 kW saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimo lentelė.....	2 priedas
Topografinis brėžinys.....	3 priedas
Gyvenamojo namo statybinis brėžinys.....	4 priedas
Elektros instaliacijos išvedžiojimo brėžinys.....	5 priedas
Saulės elektrinės išdėstymas ant gyvenamojo namo stogų.....	6 priedas
Daugialinijinė saulės elektrinės prijungimo schema.....	7 priedas
Vienalinijinė saulės elektrinės prijungimo schema	8 priedas
Žaibosauga ir įžeminimas.....	9 priedas

1 priedas. Medžiagų žiniaraštis

Eilės Nr.	Pavadinimas	Vienetai
Elektros sistemos įrenginiai		
1	Solitek Prime 250 saulės fotomoduliai	40
2	Įtampos keitiklis SolarEdge SE10K	1
3	Optimizatoriai OPJ P300	40
Kištukiniai lizdai		
4	Vienfaziai kištukiniai lizdai	32
5	Trifaziai kištukiniai lizdai	4
Automatiniai jungikliai		
6	Hager MCB MTN 6kA B 10A 1p	1
7	Hager MCB MTN 6kA B 16A 1p	25
8	Hager MCB MTN 6kA B 20A 1p	2
9	Hager MCB MTN 6kA B 25A 1p	3
10	Hager MCB MTN 10kA C 16A 3p	4
11	Hager MCB MTN 10kA C 20A 3p	2
12	Hager MCB MTN 10kA C 25A 3p	2
Srovės nuotėkio relės		
13	„Siemens“ 2p 16A 30mA AC	9
14	„Siemens“ 4p 25A 30mA AC	2
Viršįtampių ribotuvai		
15	Viršįtampių ribotuvas LEITAI B+C klasė	4
16	ABB SPD OVR PV 40 1000 A klasė	2
17	ABB SPD OVR T2 3N 40 440 P TS U D klasė	1
Žaibosauga		
18	3 m aliuminio lydinio žaibolaidis ROD 16/10/3000	2
19	3 m, 20 mm skersmens vertikalūs įžemikliai	11
20	OBO BETTERMAN(plieninė cinkuota) horizontali juosta 4x40 mm 68 m ilgio	-
Konstrukcija		
21	„Schletter“ bėginės konstrukcijos tvirtinimo detalė	20
22	„Schletter“ tarpmoduliniai gnybtai Profi wide 9–14 mm kit	35
23	„Schletter“ stogo krašto gnybtai Profi wide 9–14 mm kit	8
24	„Schletter“ bėginė konstrukcija 12 m ir 9 m ilgio	10

Laidai		
25	HULT(FLEX) LSOH FB30/60 Cu 2,5 mm ² skerspjūvio 313,75 m ilgio	-
26	MCMK 4 CORE ir MCMK 5 CORE Cu 4 mm ² skerspjūvio 17,3 m ilgio	-
27	MC4 nuolatinės srovės kabeliai 4 mm ² skerspjūvio 33,7 m ilgio	-

2 priedas. 10 kW saulės elektrinės atsiperkamumo skaičiavimo lentelė

10 kW saulės jėgainės pinigų srautai

Pinigų srautai															
Periodas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Metai	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Investicijos, Eur	-11 890														
Saulės elektrinės galia, kWp	10														
Vartojamos elektros kaina, Eur	0,155														
Sugeneruojama metinė energija, kWh/kWp		731,9	728,2	724,6	719,2	713,8	706,6	699,6	690,9	682,2	673,7	665,3	655,3	648,7	642,3
Sutaupyti kaštai (nesumokama LESTO), Eur		1134,445	1128,71	1123,1	1114,8	1106,4	1095,2	1084,4	1070,9	1057,4	1044,2	1031,2	1015,7	1005,5	995,57
Eksploatacinės ir draudimo išlaidos, Eur		-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200
SUTAUPYTA VISO, Eur		934,445	928,71	923,13	914,76	906,39	895,23	884,38	870,9	857,41	844,24	831,22	815,72	805,49	795,57
Investuotojo savųjų lėšų atsipirkimas, Eur	-11 890	-10 956	-10 027	-9 104	-8 189	-7 283	-6 387	-5 503	-4 632	-3 775	-2 930	-2 099	-1 283	-478	318