



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Elektros energijos kaupimo sistemų dydžio priklausomybės nuo skirtingų tipų saulės elektrinių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Gytis Kazakevičius

Projekto autorius

Doc. Tomas Deveikis

Vadovas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Elektros energijos kaupimo sistemų dydžio priklausomybės nuo skirtingų tipų saulės elektrinių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (6211EX010)

Gytis Kazakevičius

Projekto autorius

Doc. Tomas Deveikis

Vadovas

Doc. Povilas Marčiulionis

Recenzentas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Gytis Kazakevičius

Elektros energijos kaupimo sistemų dydžio priklausomybės nuo skirtingų tipų saulės elektrinių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Gytis Kazakevičius

Patvirtinta elektroniniu būdu

Kazakevičius, Gytis. Elektros energijos kaupimo sistemų dydžio priklausomybės nuo skirtingų tipų saulės elektrinių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Tomas Deveikis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): studijų kryptis – elektros inžinerija, studijų kryptių grupė – inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: elektra, saulės elektrinė, elektros energijos kaupiklis.

Kaunas, 2026. 68 p.

Santrauka

Baigiamasis magistro projektas yra skirtas ištirti elektros energijos kaupimo sistemos dydžio priklausomybę nuo skirtingų konstrukcijų tipų saulės elektrinių. Darbe apžvelgiama ir išnagrinėjama panašaus tipo tyrimų rezultatai iš kurių kyla problema, kad nėra atlikta išsamių tyrimų, kaip skirtingų konstrukcijų tipų saulės elektrinės įtakoja elektros energijos kaupiklio dydį.

Modeliavimo tyrimas atliekamas naudojant „Python“ programinę įrangą remiantis realiais metiniais aplinkos duomenimis ir elektros energijos suvartojimu. Tiriamos trys skirtingų darbo režimų įmonės su skirtingo dydžio elektros energijos poreikiu. Pagal turimą energijos suvartojimą apskaičiuojama reikalingo dydžio saulės elektrinė, apskaičiuota galia pritaikoma fiksuoto 35 ° kampo, vienos ašies sekimo ir dviejų ašių sekimo saulės elektrinių modeliavimui. Spinduliuotei į modulio paviršių suskaičiuoti pritaikomas Liu – Jordan modelis. Pagal turimą generacijos profilį ir atliktus modeliavimo skaičiavimus parenkamas reikiamo dydžio elektros energijos kaupiklis siekiant užtikrinti gegužės – rugsėjo mėnesiais vienos dienos apkrovos padengimą. Remiantis literatūros analize, kad geriausiai generacijos mėnesiais Europoje prasideda generacijos ribojimai arba baudos, priimta sąlyga, kad modeliuojama sistema perteklinės energijos netiekia į elektros tinklus ir iš jų nekrauna elektros energijos kaupiklių.

Atliekamo modeliavimo tyrimo metu nustatoma, kaip skirtingų konstrukcijų saulės elektrinės įtakoja reikalingą elektros energijos kaupiklio dydį atsižvelgiant į realius skirtingus energijos vartojimo profilius.

Kazakevičius, Gytis. Study of Energy Storage System Size Dependence on Different Types of Solar Power Plants. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Tomas Deveikis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): study field - electrical engineering, study field area – engineering sciences.

Keywords: electricity, solar power plant, battery energy storage system.

Kaunas, 2026. 68 p.

Summary

The final master's project is intended to investigate the dependence of energy storage system size on different construction types of solar power plants. The paper reviews and analyzes the results of similar studies, which raise the problem that there is no detailed study of how different construction types of solar power plants affect the size of the battery energy storage system.

The modeling study is carried out using the Python software based on real annual environmental data and electricity consumption. Three companies with different operating modes and different electricity needs are studied. The required size of the solar power plant is calculated based on the energy consumption, the calculated power is applied to the modeling of fixed 35 ° angle, single-axis tracking and dual-axis tracking solar power plants. The Liu-Jordan model is applied to calculate the irradiance on the module surface. Based on the generation profile and the modelling calculations performed, the required size of the battery energy storage system is selected in order to ensure coverage of a single day's load during the months of May to September. Based on literature analysis indicating that generation curtailments or penalties occur in Europe during the best generation months, a condition was adopted that the modelled system does not supply excess energy to the power grids and does not charge the energy storage systems from them.

The simulation study determines how different designs of solar power plants affect the required size of the battery energy storage system, taking into account different real energy consumption profiles.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros šaltinių analizė.....	13
1.1. Skirtingų tipų saulės elektrinių konstrukcijų sistemos	13
1.1.1. FV elektrinių sekimo sistema	13
1.1.2. Fiksuoto kampo antžeminė saulės elektrinė	13
1.1.3. Antžeminė saulės elektrinė su vienos ašies sekimo mechanizmu	13
1.1.4. Antžeminė saulės elektrinė su dviejų ašių sekimo mechanizmu.....	14
1.2. Elektros energijos kaupikliai	14
1.3. Elektros tinklų apribojimai dėl saulės elektrinių generacijos.....	16
1.4. Tyrimų apie elektros energijos kaupiklius kartu su skirtingomis saulės elektrinėmis apžvalga 16	
1.5. Tyrimų apie saulės elektrinių ir EEK pritaikymą skirtingiems vartojimo profiliams analizė..	17
1.6. Atliktos analizės apibendrinimas.....	18
2. Skirtingų tipų saulės elektrinių su kaupimo sistema modeliavimo tyrimui atlikti sukurtas modelis.....	19
2.1. Modeliui naudojami metrologiniai duomenys.....	19
2.2. Saulės elektrinių su elektros energijos kaupikliais matematinis modelio pagrindimas	19
2.3. „Python“ programinė įranga saulės elektrinių su elektros energijos kaupikliais modeliavimui atlikti.....	21
3. Skirtingų tipų saulės elektrinių su elektros energijos kaupikliais modeliavimas ir rezultatai.....	22
3.1. „A“ įmonės modeliavimo pradiniai duomenys	22
3.1.1. Fiksuoto 35 ° kampo 180,6 kW galios antžeminės saulės elektrinės su EEK modeliavimo rezultatai	22
3.1.2. 180,6 kW saulės elektrinės su vienos ašies sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai	27
3.1.3. 180,6 kW saulės elektrinės su dviejų ašių sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai	32
3.1.4. Įmonės „A“ gautų rezultatų apibendrinimas	36
3.2. „B“ įmonės modeliavimo pradiniai duomenys.....	37
3.2.1. Fiksuoto 35 ° kampo 215 kW antžeminės saulės elektrinės su EEK modeliavimo rezultatai	37
3.2.2. 215 kW saulės elektrinės su vienos ašies sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai	42
3.2.3. 215 kW saulės elektrinės su dviejų ašių sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai 47	
3.2.4. „B“ įmonės gautų rezultatų apibendrinimas.....	51
3.3. „C“ įmonės modeliavimo pradiniai duomenys.....	52
3.3.1. Fiksuoto 35 ° kampo 391,3 kW antžeminės saulės elektrinės su EEK modeliavimo rezultatai 52	
3.3.2. 391,3 kW saulės elektrinės su vienos ašies sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai	57

3.3.3. 391,3 kW saulės elektrinės su dviejų ašių sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai	62
3.3.4. „C“ įmonės gautų rezultatų apibendrinimas.....	66
Išvados	68
Literatūros sąrašas	69
Priedai.....	73
1 priedas. Fotovoltinių modulių duomenų lapas	73
2 priedas. Elektros energijos kaupiklio „Livoltek“ duomenų lapas	75
3 priedas. Elektros energijos kaupiklio „Huawei“ LUNA2000 duomenų lapas	76
4 priedas. „A“ įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimo rezultatai.....	81
5 priedas. „B“ įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimo rezultatai.....	87
6 priedas. „C“ įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimo rezultatai.....	93

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skirtingų EEK tipai, jų privalumai ir trūkumai [10][11].....	15
2 lentelė. Skirtingų technologijų ličio jonų baterijų palyginimas [15][16].....	15
3 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis kiekvieną mėnesį	22
4 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su fiksuoto kampo 180,6 kW galios saulės elektrine	23
5 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su vienos ašies sekimo 180,6 kW galios saulės elektrine.....	28
6 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su dviejų ašių sekimo 180,6 kW galios saulės elektrine.....	32
7 lentelė. Modeliuotų skirtingų sistemų pritaikytų „A“ įmonės apkrovai rezultatai.....	36
8 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis kiekvieną mėnesį.....	37
9 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su fiksuoto kampo 215 kW galios saulės elektrine	38
10 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrine.....	43
11 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su dviejų ašių sekimo 215 kW galios saulės elektrine.....	47
12 lentelė. Modeliuotų skirtingų sistemų pritaikytų „B“ įmonės apkrovai rezultatai.....	51
13 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis kiekvieną mėnesį	52
14 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su fiksuoto kampo 391,3 kW galios saulės elektrine.....	53
15 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su vienos ašies sekimo 391,3 kW galios saulės elektrine.....	58
16 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su dviejų ašių sekimo 391,3 kW galios saulės elektrine.....	62
17 lentelė. Modeliuotų skirtingų sistemų pritaikytų „C“ įmonės apkrovai rezultatai.....	66

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Gegužės 13 dienos „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine.....	23
2 pav.	Birželio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	24
3 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	24
4 pav.	Gegužės savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	25
5 pav.	Birželio savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	25
6 pav.	Liepos savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	26
7 pav.	Rugpjūčio savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	26
8 pav.	Rugsėjo savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK.....	27
9 pav.	Gegužės 13 dienos „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine.....	27
10 pav.	Birželio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK .	28
11 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	29
12 pav.	Gegužės savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK ...	29
13 pav.	Birželio savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	30
14 pav.	Liepos savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	30
15 pav.	Rugpjūčio savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	31
16 pav.	Rugsėjo savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	31
17 pav.	Gegužės 13 dienos „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine.....	32
18 pav.	Birželio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK ...	33
19 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	33
20 pav.	Gegužės savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	34
21 pav.	Birželio savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	34
22 pav.	Liepos savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	35
23 pav.	Rugpjūčio savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK ..	35
24 pav.	Rugsėjo savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK.....	36
25 pav.	Gegužės 13 dienos „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine.....	38
26 pav.	Birželio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	39
27 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK.....	39
28 pav.	Gegužės savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	40
29 pav.	Birželio savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	40
30 pav.	Liepos savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	41
31 pav.	Rugpjūčio savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	41
32 pav.	Rugsėjo savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK.....	42
33 pav.	Gegužės 13 dienos „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine	42
34 pav.	Birželio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK..	43
35 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	44
36 pav.	Gegužės savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK....	44
37 pav.	Birželio savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	45
38 pav.	Liepos savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	45
39 pav.	Rugpjūčio savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK.	46
40 pav.	Rugsėjo savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	46
41 pav.	Gegužės 13 dienos „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine.....	47
42 pav.	Birželio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK ...	48

43 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	48
44 pav.	Gegužės savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	49
45 pav.	Birželio savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	49
46 pav.	Liepos savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	50
47 pav.	Rugpjūčio savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK ..	50
48 pav.	Rugsėjo savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	51
49 pav.	Gegužės 13 dienos „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine.....	53
50 pav.	Birželio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	54
51 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK.....	54
52 pav.	Gegužės savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	55
53 pav.	Birželio savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	55
54 pav.	Liepos savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	56
55 pav.	Rugpjūčio savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	56
56 pav.	Rugsėjo savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK	57
57 pav.	Gegužės 13 dienos „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine	57
58 pav.	Birželio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK..	58
59 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	59
60 pav.	Gegužės savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK....	59
61 pav.	Birželio savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	60
62 pav.	Liepos savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	60
63 pav.	Rugpjūčio savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK.	61
64 pav.	Rugsėjo savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK	61
65 pav.	Gegužės 13 dienos „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine.....	62
66 pav.	Birželio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK ...	63
67 pav.	Rugpjūčio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	63
68 pav.	Gegužės savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	64
69 pav.	Birželio savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	64
70 pav.	Liepos savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	65
71 pav.	Rugpjūčio savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK ..	65
72 pav.	Rugsėjo savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK	66

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

FV – fotovoltinis;

kW – kilovatai;

EEK – elektros energijos kaupiklis;

kWh – kilovatvalandės.

Įvadas

Remiantis 2023 metų duomenimis, Europos Sąjungoje įdiegta suminė fotovoltinių elektrinių galia siekė 269 GW. Atsižvelgiant į istorinius duomenis, kai 2018 metais bendra galia pasiekė 100 GW, 2022 m. jau buvo fiksuota 200 GW, o 2023 m. bendra galia buvo didesnė kaip 260 GW. Taigi, galima matyti, kad saulės elektrinių plėtra išibėgėja [1]. Tokią plėtrą skatina Europos Sąjungos žaliojo kurso direktyvos, kuriose numatoma, kad iki 2030 metų bendra instaliuota saulės elektrinių galia siektų 600 GW. Į planą įtrauktas ir išipareigojimas įrengti fotovoltines sistemas naujuose viešuosiuose, komerciniuose ir gyvenamuosiuose namuose [2]. Pramoninėje praktikoje vis dažniau taikomos ne tik fiksuoto kampo saulės elektrinės, bet ir saulės elektrinės su vienos ar dviejų ašių sekimo funkcijomis, kurios iš esmės keičia generacijos profilį dienos metu. Tačiau saulės generacijos nepastovumas – tiesioginė priklausomybė nuo paros laiko, sezoniškumo ir meteorologinių sąlygų – kelia rimtų iššūkių elektros tinklų stabilumui ir efektyviam sugeneruotos energijos panaudojimui. Šią problemą padeda spręsti EEK, kurie leidžia sukaupti saulės elektrinių generuojama perteklinę energiją ir ją panaudoti, kai generacijos nėra ar jos neužtenka esamai apkrovai padengti. Visgi, siekiant maksimizuoti sistemos naudingumą savoms reikmėms, esminiu klausimu tampa EEK talpos parinkimas. Netinkamai įvertinti saulės elektrinės ir EEK parametrai lemia nepakankamą energijos išnaudojimą arba nepagrįstai dideles investicines išlaidas dėl perteklinės talpos.

Atliekamas tyrimas grindžiamas EEK pritaikymu prie skirtingų konstrukcijų tipų saulės elektrinių skirtingiems įmonių vartojimo profiliams. Nevienodas įmonių darbo intensyvumas ir suvartojamas elektros energijos kiekis sukuria skirtingus elektros energijos balansavimo poreikius. Modeliavimo tyrimas leidžia identifikuoti, kaip skirtingi saulės elektrinės generacijos profiliai, gaunami naudojant skirtingų konstrukcijų saulės elektrinių sistemas, koreliuoja su įmonių veiklos grafikais. Tai leidžia ne tik optimizuoti kaupiklių talpą, bet ir užtikrinti maksimalų sugeneruotos energijos suvartojimą realiu laiku, taip mažinant priklausomybę nuo išorinių tinklų ir didinant pramonės objektų energetinį savarankiškumą.

Darbo tikslas – ištirti elektros energijos kaupimo sistemos dydžio priklausomybę nuo skirtingų konstrukcijos tipų saulės elektrinių.

Darbo uždaviniai:

- išanalizuoti atliktus tyrimus apie skirtingų tipų saulės elektrinių įtaką kaupimo sistemos dydžiui;
- sukurti modelį skirtą nustatyti elektros energijos kaupimo sistemos dydžio priklausomybę nuo skirtingų konstrukcijos tipų saulės elektrinių;
- modeliuojant nustatyti, kaip skirtingų konstrukcijos tipų saulės elektrinės užtikrina momentinės apkrovos padengimą skirtingo darbo režimo įmonėse;
- modeliuojant nustatyti, kaip skirtingų konstrukcijos tipų saulės elektrinės įtakoja kaupimo sistemos dydžio parinkimą.

1. Literatūros šaltinių analizė

1.1. Skirtingų tipų saulės elektrinių konstrukcijų sistemos

Pasaulyje vyrauja pagrindinės saulės elektrinių sistemos pagal konstrukcijų tipą:

- stoginė konstrukcija;
- antžeminė fiksuoto kampo konstrukcija;
- antžeminė konstrukcija su vienos ašies sekimo mechanizmu;
- antžeminė konstrukcija su dviejų ašių sekimo mechanizmu.

Tokio tipo konstrukcijos turi skirtingus niuansus, pavyzdžiui, stoginė konstrukcija, kurios montavimas priklauso nuo objekto stogo. Kitaip yra su antžeminėmis konstrukcijomis, kur galima parinkti tinkamą vietą, modulių montavimo kryptį ir kampą. Antžeminei konstrukcijai pritaikant sekimo įrenginius papildomai padidinamas sistemos generuojamos energijos kiekis. Nors sudėtingesnėms sistemoms bendras generuojamas elektros energijos kiekis didėja, savikaina tokios saulės elektrinės taip pat didėja [3].

1.1.1. FV elektrinių sekimo sistema

Saulės sekimas naudojamas siekiant padidinti saulės elektrinės energijos gamybą. Saulės sekimo mechanizmas – tai įrenginys, kuris seka saulės judėjimą, kai ji sukasi iš rytų į vakarus. Tokiu būdu siekiama, kad FV moduliai būtų orientuoti į saulę ir užtikrintų didžiausią galimą elektros energijos generavimą. Sekimo mechanizmo pasirinkimas priklauso nuo sistemos dydžio, elektros energijos tarifų, žemės sklypo apribojimų, platumos ir oro sąlygų [4]. Dideliuose projektuose paprastai naudojami horizontalūs vienos ašies saulės sekimo mechanizmai, o dviejų ašių sekimas dažniau naudojamas, kai yra ribotas saulės parko įrengimo plotas. Tokių sistemų naudojimas gali padidinti elektros energijos gamybą net iki 40 %, lyginant su fiksuoto kampo antžeminėmis elektrinėmis. Todėl, įvertinus aplinkos sąlygas ir reikalingą metinę generaciją, vis dažniau naudojamos sekimo sistemos įrengiant naujus saulės parkus, kadangi padidėjęs efektyvumas leidžia iš to paties žemės ploto ir naudojamų FV modulių pasiekti didesnę metinę generaciją [5].

1.1.2. Fiksuoto kampo antžeminė saulės elektrinė

Fiksuoto kampo saulės elektrinė – tai FV modulių grupė, sumontuota fiksuotu, optimaliu kampu. Norint pasiekti maksimalų efektyvumą, kiekvienam regionui reikia parinkti skirtingą fiksuotą montavimo kampą. Tokios sistemos orientuojamos pietų kryptimi (šiauriniame pusrutulyje), o pasvirimo kampas parenkamas pagal geografinę platumą – dažniausiai jis atitinka vietovės platumą arba yra šiek tiek mažinamas siekiant optimizuoti metinę elektros generaciją. Pagrindinis tokių sistemų pliusas – paprasta konstrukcija ir priežiūra [6]. Tokia sistema yra patikima ir ilgaamžė, kadangi nėra judančių dalių. Priežiūra apsiriboja periodiniu modulių valymu nuo dulkių ar kitų užteršimų ir vizualiniu patikrinimu. Tokiose saulės elektrinėse svarbu įvertinti šešėliavimo riziką ir parinkti optimalų atstumą tarp modulių eilių [5].

1.1.3. Antžeminė saulės elektrinė su vienos ašies sekimo mechanizmu

Saulės elektrinė su vienos ašies sekimo mechanizmu – tai FV modulių grupė, sumontuota ant konstrukcijos su galimybe sukis aplink vieną ašį. Galimi keli skirtingi sukimosi būdai: sekti saulę rytų – vakarų arba šiaurės – pietų kryptimis. Dažniausiai naudojamas iš anksto įvestų dienų saulės sekimo algoritmas, kuris pagal kiekvienos dienos duomenis keičia FV modulių kryptį. Horizontalus

sekimo tipas naudojamas tropiniuose regionuose, kur saulė vidurdienį yra labai aukštai, bet dienos trumpos. Vertikalus tipas naudojamas aukštose platumose, kur saulė nėra labai aukštai, bet vasaros dienos ilgesnės. Lyginant su fiksuotomis sistemomis, vienos ašies sekimo elektrinės yra brangesnės ir reikalauja daugiau priežiūros dėl judančių dalių bei elektromechaninių komponentų, tačiau didesnė metinė gamyba išlaiko šio tipo elektrines populiarias [5]. Lyginant su fiksuoto kampo antžeminėmis elektrinėmis, vienos ašies sekimo sistema leidžia užtikrinti iki 20 % didesnę efektyvumą [7].

1.1.4. Antžeminė saulės elektrinė su dviejų ašių sekimo mechanizmu

Antžeminė saulės elektrinė su dviejų ašių sekimo mechanizmu – tai pažangiausia FV modulių konstrukcinė sistema, kurioje FV moduliai gali judėti tiek horizontalia, tiek vertikalia kryptimi. Saulės sekimas vyksta nuo rytų iki vakarų, vienu metu reguliuojant modulio pakreipimą aukštyn ar žemyn pagal saulės poziciją virš horizonto. Tokia konstrukcija leidžia moduliams tiksliai sekti saulės padėtį danguje visą dieną, užtikrinant optimalų spindulių kritimo kampą bet kuriuo metų laiku [5]. Sekimas užtikrinamas iš anksto suvestais duomenimis, remiantis astronominiu algoritmu (angl. *Solar Position Algorithm*), kuris apskaičiuoja tikslią saulės padėtį kiekvieną minutę [8]. Tokio tipo saulės elektrinės yra net iki 40 % efektyvesnės lyginant su įprastomis fiksuoto kampo saulės elektrinėmis. R. Eke's atliktame tyrime nustatyta, kad 7,9 kW_p FV sistema, naudojanti dviejų ašių sekimo mechanizmus, gali per metus sugeneruoti 33,8 % daugiau elektros energijos. Mėnesiniai rezultatai skyrėsi labiau, pavyzdžiui, sausio mėnesį efektyvumas buvo 16,97 % didesnis už fiksuoto kampo elektrinės, o birželio mėnesį pasiekė net 42,45 % [9].

1.2. Elektros energijos kaupikliai

Sparčiai integruojant atsinaujinančius energijos šaltinius į elektros tinklus, reikalingi papildomi įrenginiai norint užtikrinti elektros perdavimo ar skirstomojo tinklo sklandų veikimą. Elektros tinklų parametrai ne visada leidžia prie tinklo prijungti tiek saulės elektrinių, koks yra poreikis ar noras, todėl EEK integravimas į tinklą leidžia pagerinti tinklo parametrus ir garantuoti tolimesnę atsinaujinančių energijos šaltinių diegimą. Šiam momentui yra skirtingų tipų ir skirtingas funkcijas atliekančių EEK ir jų technologijų. Toliau 1 lentelėje pateikta pagrindinių EEK privalumai ir trūkumai [10][11].

1 lentelė. Skirtingų EEK tipai, jų privalumai ir trūkumai [10][11]

Tipas	Privalumai	Trūkumai
Hidroakumuliacinė elektrinė	Didelė galia ir energijos talpa, patikima technologija	Reikalingos tinkamos geografinės sąlygos, ilgas atsako laikas lyginant su baterijomis
Ličio jonų (Li-ion) baterijos	Dideli galios ir energijos tankiai, didelis efektyvumas, greitas reakcijos laikas	Šilumos išskyrimas, jautrumas temperatūrai
Srautinės baterijos	Didelė galia, ilgas tarnavimo laikas	Mažas energijos tankis, mažesnis efektyvumas, didelė ir sudėtinga sistema
NiCd (Nikelio – kadmio) baterijos	Dideli galios ir energijos tankiai, didelis efektyvumas, atsparumas temperatūroms ir perkrovimui	Ekologinė problema dėl toksiškumo, didelė savaiminio išsikrovimo sparta
NiMH (Nikelio – metalo hidrido) baterijos	Žema kaina, didelis efektyvumas ir galios tankis	Mažas energijos tankis, savaiminis išsikrovimas
Rūgštinės švino baterijos	Mažos išlaidos, patikima technologija	Mažas efektyvumas, mažas įkrovos ir iškrovos ciklų skaičius
Natrio jonų (Na-ion) baterijos	Atsparumas žemai temperatūrai, įkrovų/iškrovų stabilumas	Mažas energijos tankis, mažas įkrovos ir iškrovos ciklų skaičius, neišvystyta technologija

EEK kaupikliai gali būti skirstomi į grupes pagal naudojimą [12]:

1. elektros tinklų balansavimui ir kokybei užtikrinti;
2. momentinei atsinaujinančių energijos šaltinių generuojamai energijai kaupti.

Remiantis vyraujančiomis tendencijomis pastebima, kad integruojant EEK į elektros tinklus dažniausiai naudojami ličio jonų kaupikliai dėl greito reakcijos laiko, didelio efektyvumo, didelių galios ir energijos tankių bei mažėjančios savikainos [13].

Egzistuoja skirtingų technologijų ličio jonų baterijų, kurios turi savų privalumų ir trūkumų, naudojant jas elektros energijai kaupti. Pagrindinės technologijos: ličio geležies fosfato (LiFePO₄), ličio nikelio mangano kobalto (NMC), ličio titanato (LTO), ličio nikelio kobalto aliuminio (NCA), ličio kobalto oksido (LCO) ir ličio mangano oksido (LMO) [14]. Pagrindiniai parametrai pateikti 2 lentelėje. Joje palyginta iškrovos gylis, ciklų skaičius ir energijos tankis, metinė degradacija ir efektyvumas.

2 lentelė. Skirtingų technologijų ličio jonų baterijų palyginimas [15][16]

Technologija	Iškrovos gylis (DoD), %	Ciklų skaičius	Energijos tankis (Wh/kg)	Degradacija	Efektyvumas, %
Ličio geležies fosfato	90 – 100	2000 – 6000	90 – 180	Žema (1 – 3 % per metus)	95 – 98
Nikelio mangano kobalto	80 – 90	1000 – 2000	150 – 300	Vidutinis (2 – 4 % per metus)	92 – 96
Ličio titanato	90 – 100	5000 – 20000	60 – 120	Labai žema (iki 1 % per metus)	95 – 98
Ličio nikelio kobalto aliuminio oksido	80 – 90	800 – 1500	200 – 320	Aukšta	92 – 96
Ličio kobalto oksido	70 – 80	500 – 1000	150 – 200	Aukšta	90 – 95
Ličio mangano oksido	70 – 80	500 – 800	100 – 150	Aukšta	90 – 95

1.3. Elektros tinklų apribojimai dėl saulės elektrinių generacijos

Sparčiai didėjant atsinaujinančių energijos išteklių plėtrai Europoje, didėja ir generuojamas momentinis elektros energijos kiekis. Dėl šių priežasčių 2025 metais Ispanijoje, Olandijoje ir Vokietijoje buvo fiksuota daugiau nei 500 valandų, kada elektros energijos kaina buvo neigiama dėl susidariusio generacijos pertekliaus. Nagrinėjant Vokietijos scenarijų, lyginant 2024 ir 2025 metų duomenis nustatyta, kad atsinaujinančių šaltinių plėtra dar labiau prisidėjo prie neigiamų elektros energijos kainų ir neigiamų kainų valandų kiekis per metus išaugo 25 % [17]. Dėl šių priežasčių šalys pradeda taikyti skirtingas priemones, apribodamos generaciją tam tikru laiku. Ispanijoje apribojamas elektros energijos generacijos kiekis perduodamas iš saulės elektrinių į tinklus, neskiriant jokios kompensacijos. Vokietija priėmė saulės piko akto (angl. „*Solar Peak Act*“) sprendimą, kuriuo numatė, kad saulės elektrinių parkams iki 100 kW galios neigiamų kainų laikotarpiu nebus taikoma jokių subsidijų. Tai užtikrino, kad norint neprarasti galimų pajamų ar perteklinės momentinės energijos, saulės parkų savininkai turės įsirengti EEK, taip prisidėdami prie energijos balansavimo. Prancūzijoje taikomas tinklų operatorių ribojimas, kuriuo nustatyta, kad kai generacijos kiekis viršija energijos poreikį, į tinklus negali būti perduodama jokia elektros energija [18]. Taip pat Vokietijoje dalis saulės parkų savininkų už perteklinę į tinklus perduodamą elektros energiją turėjo susimokėti, nes kainos biržoje tuo metu buvo neigiamos. Tai lemia, kad nauji saulės parkai yra įrengiami su ribojimais pagal momentinę generaciją arba su kainų sekimo funkcija tam, kad nepatirtų papildomų išlaidų [19]. Tai leidžia suprasti, kad visoje Europoje atsiranda problema, kada esant dideliame apšviestumui saulės parkai generuoja daug didesnę kiekį elektros energijos, negu yra poreikis, ir perteklinė generacija yra ribojama.

1.4. Tyrimų apie elektros energijos kaupiklius kartu su skirtingomis saulės elektrinėmis apžvalga

Didėjant kasdieniam elektros energijos poreikiui, vartotojai vis dažniau renkasi saulės elektrines momentiniam vartojimui padengti. Tačiau populiarėja ir sekimo technologijos, kurios leidžia užtikrinti ilgesnį generacijos profilį, taip geriau padengiant reikalingą vartojimą. Tyrime apie skirtingų konstrukcijų saulės elektrines su EEK analizuojama, kaip keičiasi generacijos profilis priklausomai nuo pasirinktos sistemos. Pagal turimus aplinkos oro sąlygų duomenis analizuojamos dvi skirtingų tipų antžeminės saulės elektrinės: fiksuoto kampo ir vienos ašies sekimo. Tyrimas pritaikomas realiai apkrovai, taip nustatant, kuri sistema yra efektyvesnė pasirinktam atvejui. Šio tyrimo pagrindinis tikslas buvo nustatyti, ar sekimo sistema leidžia sumažinti reikalingą kaupiklio talpą neprarandant realaus efektyvumo, ir įvertinti bendrą sistemos savikainą. Rezultatai rodo, kad vienos ašies saulės elektrinė leido užtikrinti ilgesnį generavimo laiko tarpą, taip sumažindama kaupimo sistemos dydį ir pasiekdama geresnius rezultatus, esant prastesniam aplinkos apšviestumui, nors bendros investicijos padidėjo 10,6 % [20]. Išsamesnė saulės elektrinių sistemų analizė atlikta tyrime, kuriame lyginamos dvi hibridinės sistemos: dyzelinis generatorius su saulės elektrinėmis kartu su hidroakumuliacinėmis sistemomis ir dyzelinis generatorius su saulės elektrinėmis kartu su kuro elementu. Šioms dviem sistemoms atliekamas skirtingų variantų saulės elektrinių pritaikymas siekiant nustatyti, ar sekimo sistemos padeda sumažinti priklausomybę nuo papildomo energijos generavimo, ir sumažinti optimalų kaupiamą energijos kiekį. Atlikus tyrimą nustatyta, kad dviejų ašių sekimo sistema užtikrino mažesnę kaupimo įrenginių iškrovimo ciklą kiekį ir gylį, taip užtikrindama ilgesnį elektros energijos poreikio kompensavimą iš saulės elektrinės generuojamos momentinės energijos. Tačiau gauta išvada, kad vertinant patikimumą ir kainą, vienos ašies sekimo saulės elektrinė yra praktiškiausias sprendimas, integruojant kartu į tiriamas hibridines sistemas. Vienos

ašies sistema užtikrino 7,9 % didesnę elektros energijos kiekį neprarandant efektyvumo, bet padidinant bendros sistemos savikainą 3 %, lyginant su fiksuoto kampo saulės elektrine. Dviejų ašių sekimo saulės elektrinė užtikrino ilgesnį generacijos laikotarpį, tačiau gedimų dažnumo galimybė ir sistemos savikaina buvo vertinami kaip neigiami aspektai [21]. Panaši problema iškeliamą ir tiriama 2025 metų straipsnyje, kuriame pristatomos naudojamos skirtingos saulės elektrinių konstrukcijos, siekiant nustatyti, kaip tai leidžia sumažinti bendrą elektros energijos poreikį elektromobilių įkrovimo stotelėse. Tyrimui naudojamas vandenilio kuro elementas kaip kaupiklis, tačiau jo dydis visada stabilus, nevertinama saulės sekimo sistemų galimybė sumažinti kaupiklio dydžio. Tačiau tyrime nustatoma, kad iš momentinės saulės elektrinės gaminamos energijos naudojant dviejų ašių sekimo sistemą pavyko užtikrinti 90,7 % bendro vidutinio dienos elektros energijos poreikio, o fiksuoto kampo elektrinė sugebėjo užtikrinti tik 58,4 %. Tai leido pasiekti rezultatą, kad prie tinklo prijungta hibridinė sistema, naudojanti saulės elektrinę su dviejų ašių sekimo sistema ir vandenilio kuro elementu, yra ekonomiškai perspektyvi ir leidžia sumažinti priklausomybę nuo elektros tinklų [22]. Taigi galima teigti, kad šio tyrimo metu nustatyta, kad saulės sekimo įrenginiai daro tiesioginę įtaką reikalingos kaupimo sistemos dydžiui, pagerindami gamybos nuoseklumą ir apkrovos poreikio platesnį padengimą. Kitame atliktame tyrime, lyginant fiksuoto kampo saulės elektrinę su vienos ašies sekimo saulės elektrine, gautas rezultatas, kuris įrodo, kad sekimo sistema padeda užtikrinti iki 4 valandų ilgesnį generacijos laiko tarpą, kas lemia, jog mažiau elektros energijos yra naudojama iš tinklo. Taip pat nustatoma, kad sekimo sistemos užtikrina ir didesnę bendrą metinę elektros energijos gamybą 16,7 %, taip mažindamos priklausomybę nuo elektros energijos tinklo [23]. Toks tyrimas leidžia teigti, kad sekimo sistema užtikrina didesnę bendrą generuojamos elektros energijos kiekį, kartu užtikrindama platesnį momentinės apkrovos padengimą.

1.5. Tyrimų apie saulės elektrinių ir EEK pritaikymą skirtingiems vartojimo profiliams analizė

Viename iš atliktų tyrimų nagrinėjama, kaip esama saulės elektrinė su EEK prisitaiko prie tinklo apkrovos pokyčių. Tyrimo metu nustatoma, kada yra didžiausias poreikis tinkle ir sprendžiama, kaip galima užtikrinti, kad tuo metu turima sistema galės padengti reikalingą apkrovą. Elektros energijos poreikis žiemą yra apie 70 – 80 kW per valandą, likusių metų laiką vidutinė reikšmė sumažėja apie 25 kW ir siekia apie 50 kW per valandą. Pirmoji problema yra ta, kad turima saulės elektrinė sugeba padengti tik 5 valandų laiko tarpą žiemos, pavasario ir rudens sezonais, vasarą padengimas pailgėja iki 8 valandų. Tai rodo, kad kaupimo sistema turi užtikrinti likusios apkrovos padengimą, todėl pagal turimą trūkumą yra tiriama reikalinga EEK sistema. Tiriama sistema prijungta prie tinklo, todėl papildomą krovimą galima atlikti iš jo, o perteklinę energiją vasarą pardavinėti esant aukštesnėms kainoms. Pagrindinis tyrimo tikslas buvo nustatyti būdus, kaip optimizuoti turimą sistemą, kad ji kuo labiau padengtų esamą apkrovą. Atlikus tyrimą nustatyta, kad optimalus vartojimo planavimas ir apkrovos derinimas pagal esančią momentinę generaciją leido sumažinti vidutinį elektros energijos poreikį iš tinklo 16 %. Tačiau išvelgiama, kad sekimo sistemos šiuo atveju galėtų užtikrinti platesnį generacijos laiko tarpą, kartu užtikrindamos ilgesnį momentinės apkrovos padengimą, taip sumažinant kaupiklio dydį arba kaupti didesnę kiekį ir parduoti jį naktį [24]. Kitame tyrime atliekama realaus scenarijaus analizė Jungtinės Karalystės komerciniam statiniui, kuriame nustatoma, kaip saulės elektrinės su kaupimo įrenginiais padeda užtikrinti maksimalų atsinaujinančios elektros energijos išnaudojimą. Tyrimas remiasi realiu apkrovos scenarijumi ir tiriama sistema visiškai pritaikyta turimiems duomenims. Siekiama optimizuoti EEK ir FV modulių sistemos naudojimą, kad kuo daugiau energijos poreikio būtų padengta iš turimos sistemos. Atlikus tyrimą nustatyta, kad vien

stoginė 346 kW galios saulės elektrinė padengė 46 % bendro elektros energijos metinio poreikio, o kaupiklio integravimas padidino rodiklį iki 65 %. Tačiau tyrimo išvadose minima, kad kitokio konstrukcijos tipo saulės elektrinės galėtų užtikrinti didesnę naudingumą, praplėsti generacijos laiko tarpą, taip dar daugiau padengdamos reikalingą momentinį vartojimą [25]. Tokios išvados parodo, kad skirtingų konstrukcijų saulės elektrinės gali sumažinti kaupiklio dydį, nes pailgina dienos momentinės apkrovos padengimą. Viename moksliniame straipsnyje tiriama realaus komercinio kliento apkrovos scenarijus pritaikant saulės elektrinę su kaupikliu. Tyrimas atsižvelgia į realius tinklo apribojimus, įmonės apkrovos duomenis ir pagal tai atliekamas reikiamo dydžio sistemos projektavimas. Gauti rezultatai įrodo, kad saulės elektrinė kartu su EEK yra ekonomiškai patraukli ir naudinga komercinėms ir pramoninėms įmonėms. Tačiau teigiama, kad kaupiklio talpos didinimas smarkiai pabrangina bendros sistemos kainą, todėl optimalu yra naudoti kuo mažesnę kaupiklį, siekiant kuo greitesnio sistemos atsipirkimo laikotarpio. Taip pat siūlomas variantas – optimizuoti sistemos darbą, pritaikyti elektros kainų stebėjimo galimybę ir kai kaina yra maža, krauti kaupiklius, o vartoti sukauptą energiją tada, kai trūksta saulės elektrinės generacijos [26]. Be to, kalbama ir apie kitų technologijų pritaikymą, todėl galima manyti, kad sekimo sistemos leistų užtikrinti ilgesnį generavimo laiką, taip suteikdamos mažesnę kaupiklio dydį ar galimybę daugiau energijos parduoti. Skirtingai nuo kitų tyrimų, iš 2024 metais atlikto darbo galima matyti, kad skirtingiems apkrovų tipams pritaikomos skirtingos saulės elektrinės ir stebima, kaip jos padeda užtikrinti dalį reikiamos energijos poreikio. Tyrimas didžiausią dėmesį skiria vartojimo savarankiškumui užtikrinti, taip gaudamas išvadą, kad norint užtikrinti nepriklausomumą nuo elektros tinklų, vien saulės elektrinės nepakanka, net jei apkrova perskirstoma pagal generacijos valandas. Tam reikalingi EEK, kurie leidžia padengti reikalingą apkrovą tada, kai saulės elektrinių generacijos nėra [27].

1.6. Atliktos analizės apibendrinimas

Atlikus literatūros analizę, apžvelgti skirtingų tipų tyrimai, nustatyta, kad saulės elektrinės su sekimo sistemomis yra efektyvesnės ir užtikrina didesnę bendrą generuojamos elektros energijos kiekį. Norint tokią sistemą išnaudoti pilnai savo reikmėms, reikalinga perteklinę sugeneruojamą energiją kaupiti, todėl tam naudojami EEK. Tokios sistemos pritaikymas leidžia užtikrinti ir padengti didesnę dalį apkrovos, pilnai išnaudojant FV sistemos sugeneruotą elektros energiją. Reikalingas EEK parenkamas pagal apkrovos tipą, kuris kiekvienu atveju yra unikalus, todėl sistema pritaikoma konkrečioms atvejams. Skirtingas apkrovos modelis lemia skirtingus poreikius, skirtingus sistemų parinkimus. Nors tyrimų apie bendrą saulės elektrinių su kaupikliais sistemą yra atlikta, tačiau nėra ištirta, ar sekimo sistemos leidžia sumažinti EEK dydį. Todėl šiame darbe atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti, kaip sekimo sistemos nulemia reikalingą EEK dydį, atsižvelgiant į realius skirtingus elektros energijos vartojimo profilius.

2. Skirtingų tipų saulės elektrinių su kaupimo sistema modeliavimo tyrimui atlikti sukurtas modelis

Modeliui sudaryti pirmiausia pasirenkamos 3 skirtingos Kauno regione veikiančios įmonės, kurių elektros energijos vartojimo tendencijos skiriasi. Pirmoji įmonė „A“ veikia vienos pamainos įprastu režimu 5 darbo dienas per savaitę, darbo laikas nuo 8 iki 17 valandos. Antroji įmonė „B“ veikia dviejų pamainų režimu, dirba taip pat 5 darbo dienas per savaitę, tačiau darbo laikas trunka nuo 7 iki 21 valandos. Ir trečioji įmonė „C“ veiklą vykdo visą parą 7 dienas per savaitę. Tai 3 pamainų įmonė, kurioje apkrova yra gana stabili visą parą. Taigi, šioms pasirinktoms įmonėms atliekamas modeliavimo tyrimas siekiant nustatyti, kaip saulės elektrinės su sekimo sistema daro įtaką EEK dydžiui, atsižvelgiant į skirtingo kiekio ir laiko apkrovą. Tyrimui atlikti priimama sąlyga, kad sistema veikia atskirai nuo tinklo ir yra skirta tik įmonės apkrovai padengti. Tyrimui atlikti kiekvienai įmonei modeliuojama po 3 scenarijus:

1. fiksuoto kampo antžeminė 35 ° kampo saulės elektrinė su EEK sistema;
2. Šiaurės – Pietų ašies sekimo antžeminė saulės elektrinė su EEK sistema;
3. dviejų ašių sekimo antžeminė saulės elektrinė su EEK sistema.

2.1. Modeliui naudojami metrologiniai duomenys

Tyrimui atlikti naudojama aplinkos sąlygų duomenų bazė „SolCast“, iš kurios parsisiunčiami reikalingos vietovės aplinkos duomenys [28]. Tyrimo metu modeliuojama Kauno mieste ir aplink esančios įmonės, todėl pasirenkama Kauno regiono metrologiniai duomenys. Ši duomenų bazė pasirinkta todėl, kad joje galima gauti duomenis 15 minučių intervalu, kas leidžia modeliuojant pasiekti dar didesnę rezultatų tikslumą. Pasirinkti reikalingi duomenys tyrimui atlikti:

- oro temperatūra 2m aukštyje virš žemės paviršiaus;
- debesuotumo intensyvumas;
- atspindžio koeficientas;
- saulės azimuto kampas;
- saulės zenito kampas;
- globali horizontali spinduliuotė;
- tiesioginė spinduliuotė;
- difuzinė horizontali spinduliuotė.

2.2. Saulės elektrinių su elektros energijos kaupikliais matematinis modelio pagrindimas

Pirmiausia turint realią apkrovą reikia įvertinti, kokio dydžio saulės elektrinė reikalinga. Apskaičiuojamas turimų įmonių suvartojimo dienos vidurkis, priimama, kad pasirenkama 4 valandų laiko tarpas, kada Lietuvoje vyrauja didžiausias saulės apšviestumas [29]. Iš to gauname formulę (1), pagal kurią skaičiuojama visų tiriamų įmonių saulės elektrinės reikalinga galia. Apskaičiuota elektrinės galia taikoma vienoda visiems 3 tos pačios įmonės scenarijams modeliuoti:

$$P_{PV} = \frac{E_{VID}}{4}; \quad (1)$$

čia P_{PV} – saulės elektrinės galia; E_{VID} – elektros energijos poreikio dienos vidurkis.

Toliau modelyje iš turimų duomenų bendrai generacijai apskaičiuoti naudojama (2) formulė [30]:

$$E = \frac{G_{PAO}}{G_{STC}} * P_{STC} * [1 + \gamma * (T_C - T_{C,STC}) * \eta]; \quad (2)$$

čia E – sugeneruotas elektros energijos kiekis; G_{PAO} – spinduliuotė modulio plokštumoje (W/m^2); G_{STC} – standartinis spinduliuotės kiekis plokštumoje (naudojant standartines bandymo sąlygas $1000 W/m^2$ ir temperatūra $25^\circ C$); P_{STC} – instaliuota galia (W); γ – temperatūros galios koeficientas; T_C – modulio temperatūra ($^\circ C$); $T_{C,STC}$ – modulio temperatūra prie standartinių bandymo sąlygų ($^\circ C$); η – naudingumo koeficientas.

Spinduliuotei į modulio paviršių skaičiuoti naudojama (3) formulė [31]:

$$G_{PAO} = G_b + G_d + G_r; \quad (3)$$

čia G_b – tiesioginė spinduliuotė; G_d – difuzinė spinduliuotė; G_r – nuo žemės atspindėta spinduliuotė.

Taigi, ankstesnę formulę išreiškiame remdamiesi tyrime taikomu Liu-Jordan (izotropinis) modelių spinduliuotei į modulio paviršių apskaičiuoti. Fiksuoto kampo elektrinės spinduliuotė apskaičiuojama pagal (4) formulę [32]:

$$G_{PAO} = DNI * \cos(\theta_i) + DHI * \frac{1+\cos\beta}{2} + (DNI * \cos\theta_z + DHI) * \rho_g * \frac{1-\cos\beta}{2}; \quad (4)$$

čia DNI – tiesioginė spinduliuotė; θ_i – kritimo kampas; DHI – difuzinė spinduliuotė; β – modulio posvyrio kampas; θ_z – saulės zenitas; ρ_g – albedo koeficientas.

O saulės spindulių kritimo kampas į paviršių skaičiuojamas pagal (5) formulę [33]:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta_z) * \cos(\beta) + \sin(\theta_z) * \sin(\beta) * \cos(\gamma_s - \gamma_p); \quad (5)$$

čia γ_s – saulės azimutas; γ_p – modulio azimutas.

Saulės elektrinėms su vienos ašies sekimo sistema spinduliuotei į modulio paviršių apskaičiuoti naudojama (6) formulė [34]:

$$G_{PAO} = DNI * R_b + DHI * \frac{1+\cos\beta}{2} + (DNI + DHI) * \rho_g * \frac{1-\cos\beta}{2}; \quad (6)$$

čia $R_b = \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_z}$.

O saulės spindulių kritimo kampas į paviršių skaičiuojamas pagal (7) formulę [34]:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta_z) * \cos(\beta_T) + \sin(\theta_z) * \sin(\beta) * \cos(\gamma_s - \gamma_a); \quad (7)$$

čia β_T – sekimo sistemos posvyrio kampas; γ_a – sekimo sistemos ašies azimutas.

Dviejų ašių saulės sekimo sistema užtikrina, kad FV modulis bus visada statmenas saulei, todėl $\theta_i = 0$ ir $\cos(\theta_i) = 1$. Taigi, saulės elektrinėms su dviejų ašių sekimo sistema spinduliuotei į modulio paviršių apskaičiuoti naudojama (8) formulė:

$$G_{PAO} = DNI + DHI * \frac{1+\cos\beta}{2} + (DNI * \cos\theta_z + DHI) * \rho_g * \frac{1-\cos\beta}{2}; \quad (8)$$

Gavus saulės elektrinės generacijos kiekius atliekamas EEK parametrų parinkimas įvertinant, kokia optimali talpa yra reikalinga. Atlikus skaičiavimo dalį su saulės elektrinės generacija ir momentinio vartojimo padengimu, apskaičiuojame likusią reikalingą elektros energijos dalį [35]. Nustatome visų mėnesių vidutinį elektros energijos poreikį, vartojamą iš tinklo po saulės elektrinės modeliavimo, ir

darome prielaidą, kad kaupiklis turėtų padengti gegužės – rugsėjo mėnesių elektros energijos vartojimą. Apskaičiuojamas šių mėnesių bendras elektros energijos poreikio vidurkis.

EEK dydžiui apskaičiuoti taikoma (9) formulė [36]:

$$C_B = \frac{E_V * N}{DoD * \eta_B}; \quad (9)$$

čia C_B – EEK talpa (W); E_V – elektros energijos vartojimo vidurkis gegužės – rugsėjo mėnesiais; N – dienų skaičius elektros energijos poreikiui padengti; DoD – baterijos iškrovimo gylis; η_B – baterijos naudingumo koeficientas.

Čia darome prielaidą, kad $N=1$, reikalingas vienos dienos elektros energijos poreikio kompensavimas. Iš to gauname supaprastintą formulę (10):

$$C_B = \frac{E_V}{DoD * \eta_B}; \quad (10)$$

Gauname reikalingus modeliuojamos sistemos parametrus, kuriuos naudosime atliekant modeliavimą su programine įranga, pritaikant aukščiau pateiktas formules.

2.3. „Python“ programinė įranga saulės elektrinių su elektros energijos kaupikliais modeliavimui atlikti

Šiame tyrime skaičiavimams, duomenų analizei ir FV elektrinės kartu su EEK modeliavimui atlikti pasirinkta naudoti „Python“ programavimo kalbą. „Python“ yra aukšto lygio, atviro kodo programavimo kalba, plačiai naudojama įvairiose srityse dėl didelio lankstumo ir plataus bibliotekų palaikymo. Pagrindinė biblioteka naudota šiame darbe yra „pandas“, skirta turimų duomenų apdorojimui. Jos pagalba atliktas duomenų nuskaitymas iš anksčiau minėtų duomenų bazių failų, jie sujungti į vieną duomenų paketą, suvienodintos laiko žymos, paruošti duomenys tolimesniems etapams. Skaičiavimams ir matematiniais modeliams įgyvendinti naudota „NumPy“ biblioteka. Jos pagalba buvo atlikti įmonių apkrovos, FV elektrinės ir EEK skaičiavimai. Naudojant „Matplotlib“ biblioteką atliktas duomenų vizualizavimas ir grafinis pateikimas [37].

3. Skirtingų tipų saulės elektrinių su elektros energijos kaupikliais modeliavimas ir rezultatai

Kaip jau minėta ankstesnėje dalyje, tyrimui atlikti pasirinkta modeliuoti po tris skirtingas sistemas trimis įmonėms. Kiekvienai iš įmonių pritaikomi 3 scenarijai:

1. fiksuoto kampo antžeminė 35 laipsnių kampo saulės elektrinė su EEK sistema;
2. Šiaurės – Pietų ašies sekimo antžeminė saulės elektrinė su EEK sistema;
3. dviejų ašių sekimo saulės elektrinė su EEK sistema.

3.1. „A“ įmonės modeliavimo pradiniai duomenys

Kaip aprašyta sistemos matematinio modelio dalyje, įmonei „A“ apskaičiuojama saulės elektrinės galia pagal vidutinį elektros energijos suvartojimą per dieną. Tokios galios saulės elektrinė bus naudojama visiems 3 scenarijams „A“ įmonės, dirbančios vienos pamainos darbo grafiku, tyrimui atlikti. Pagal turimą apkrovos duomenų failą apskaičiuotas vidutinės mėnesio dienos elektros energijos poreikis, rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis kiekvieną mėnesį

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	731,5	720,7	697,2	726,2	728,5	687,5	732,7	713,4	709,1	729,8	707,9	713,8

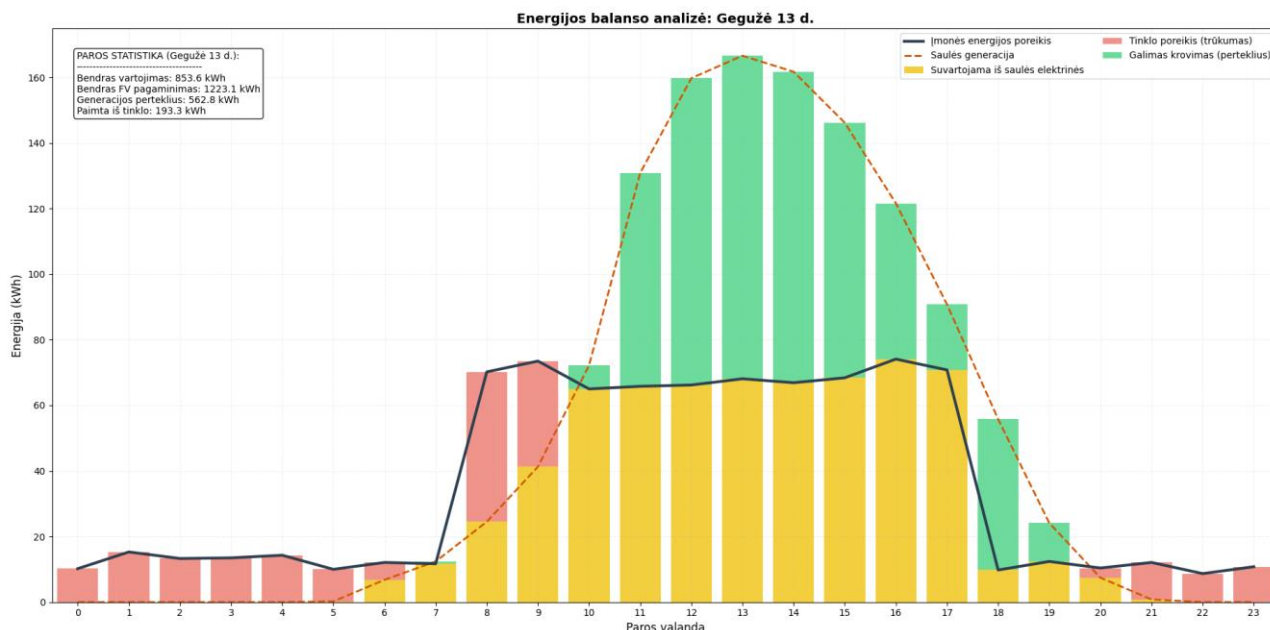
Apskaičiavus visų metų vidutinį elektros energijos poreikį gauta, kad vidutiniškai per dieną įmonei reikalinga 716,5 kWh elektros energijos. Taigi, naudojantis matematinio modelio dalyje pateikta 1 formule apskaičiuota reikiama saulės elektrinės galia:

$$P_{PV}=716,53/4=179,1 \text{ kW.}$$

Saulės elektrinei pasirinkti naudoti „Trina Solar VERTEX S+ NEG9R.28 430W“ [38] FV moduliai (žr. 1 priedą). Reikalingas modulių skaičius $179100/430 = 416,5$ vnt., tačiau bendrai sistemai numatomi naudoti 420 vnt. modulių, kurių suminė galia 180,6 kW. Tokios galios elektrinė bus naudojama trimis įmonės „A“ modeliavimo tyrimams atlikti.

3.1.1. Fiksuoto 35 ° kampo 180,6 kW galios antžeminės saulės elektrinės su EEK modeliavimo rezultatai

1 paveiksle pateikiamame grafike pavaizduota parinktos saulės elektrinės generacija kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pavaizduota elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



1 pav. Gegužės 13 dienos „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine

Remiantis 1 paveikslu galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina didžiąją dalį elektros energijos poreikio darbo dieną, tačiau atsiranda bendras paros trūkumas, kurį reikia padengti naudojant EEK. 4 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 180,6 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 3 ir 4 lentelių duomenimis apskaičiuojama, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 180,6 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 70 % poreikio padengimą vienos darbo pamainos įmonei.

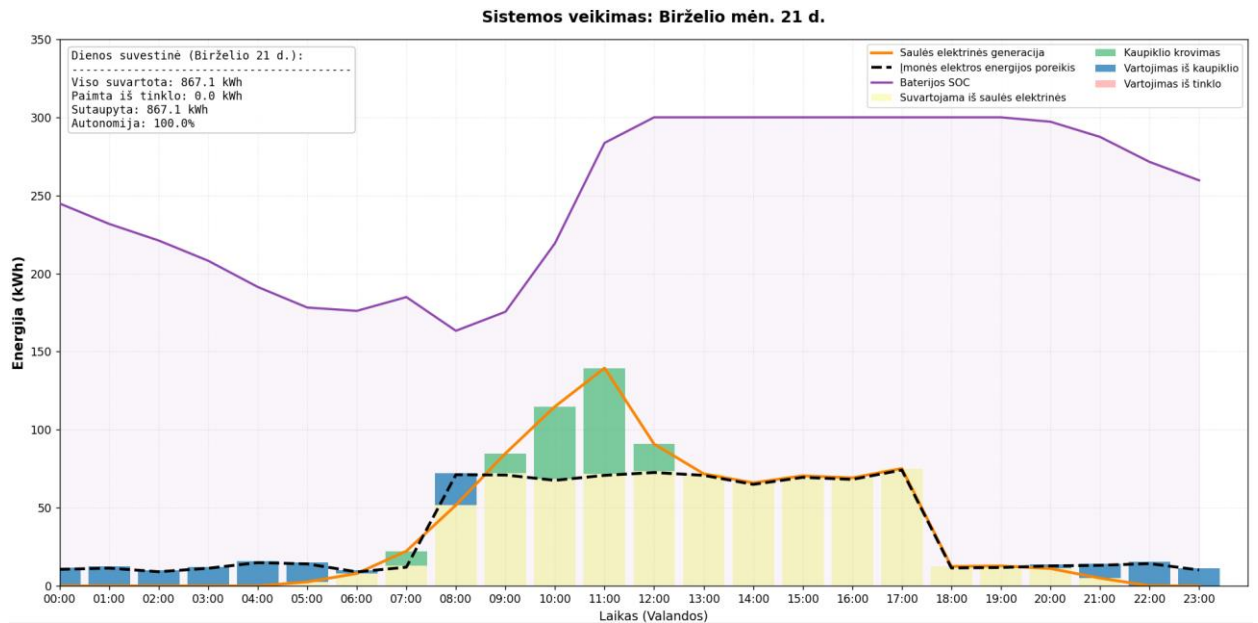
4 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su fiksuoto kampo 180,6 kW galios saulės elektrine

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	607,8	590,5	372,8	333,1	180,9	164,8	230,0	215,1	263,5	490,2	609,5	646,5

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 210,9 kWh. Taigi, remiantis 10 formule apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

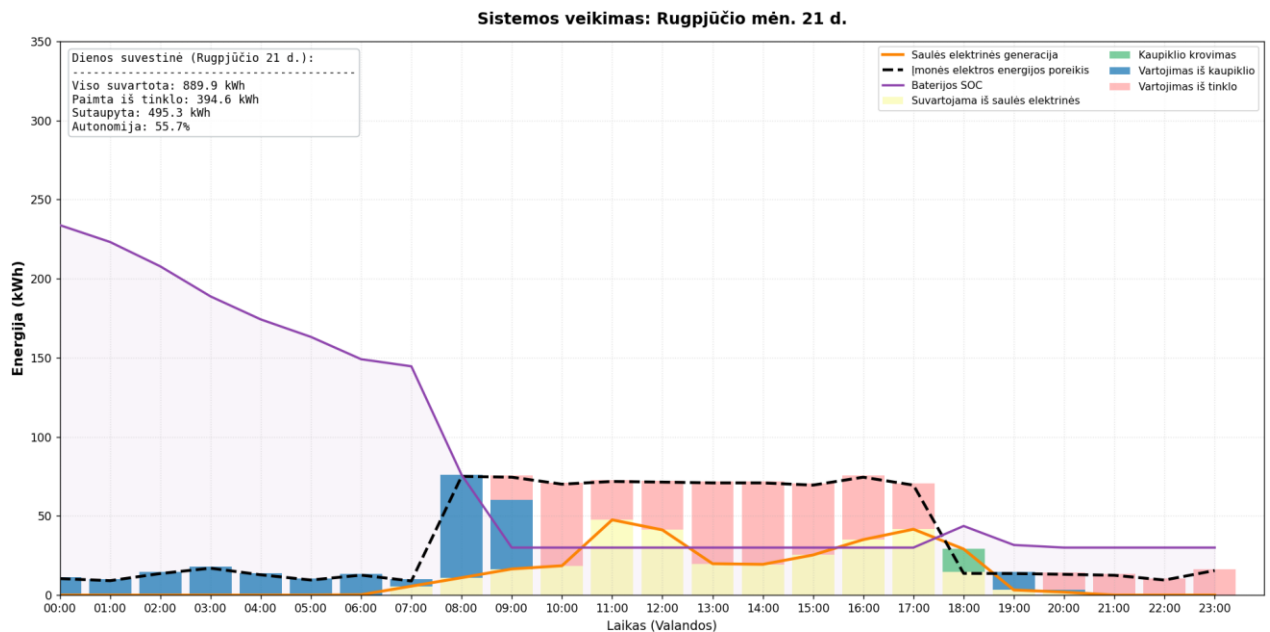
$$C_{galutinė} = \frac{210,9}{0,88 \cdot 0,9} = 266,3 \text{ kWh.}$$

EEK sistemai pasirinkti naudoti 5 vienetai „Livoltek BHF – X60 BESS – 30kW/60kWh“ kaupiklių (žr. 2 priedą), kuriuos sujungus pagal gamintojo nurodymus gauta 300 kWh talpos ir 150 kW galios kaupimo sistema [39]. 2 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur pasiektas pilnas elektros energijos poreikio užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos. Tai lėmė tinkamos oro sąlygos, kai vyravo didelis apšviestumas ir darbo laiko apkrova buvo padengiama iš saulės elektrinės, o likusi dalis – iš kaupiklio.



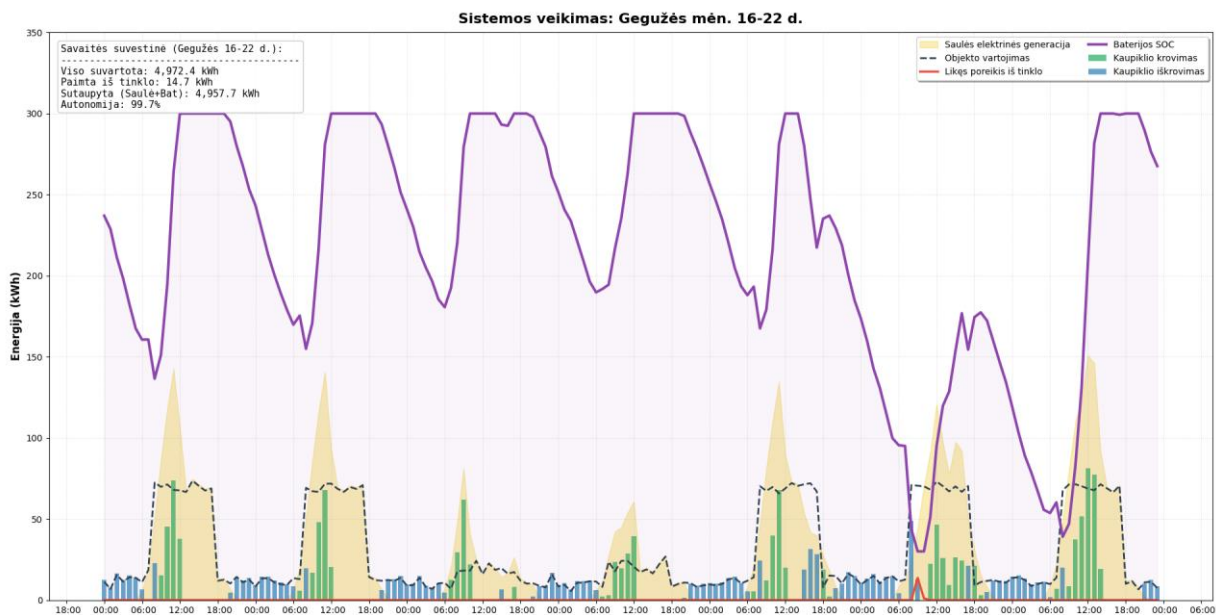
2 pav. Birželio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Kitokią situaciją galima matyti 3 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Rugpjūčio mėnesio 21 dieną vyravo prastos oro sąlygos, kas lėmė, kad 180,6 kW galios saulės elektrinė neviršijo daugiau kaip 50 kWh sugeneruotos energijos per valandą vasaros dienos metu. Prasta momentinė generacija neleido užtikrinti reikalingo apkrovos poreikio padengimo ir EEK krovimo, todėl elektros energijos poreikis iš tinklo siekė 44,3 %.



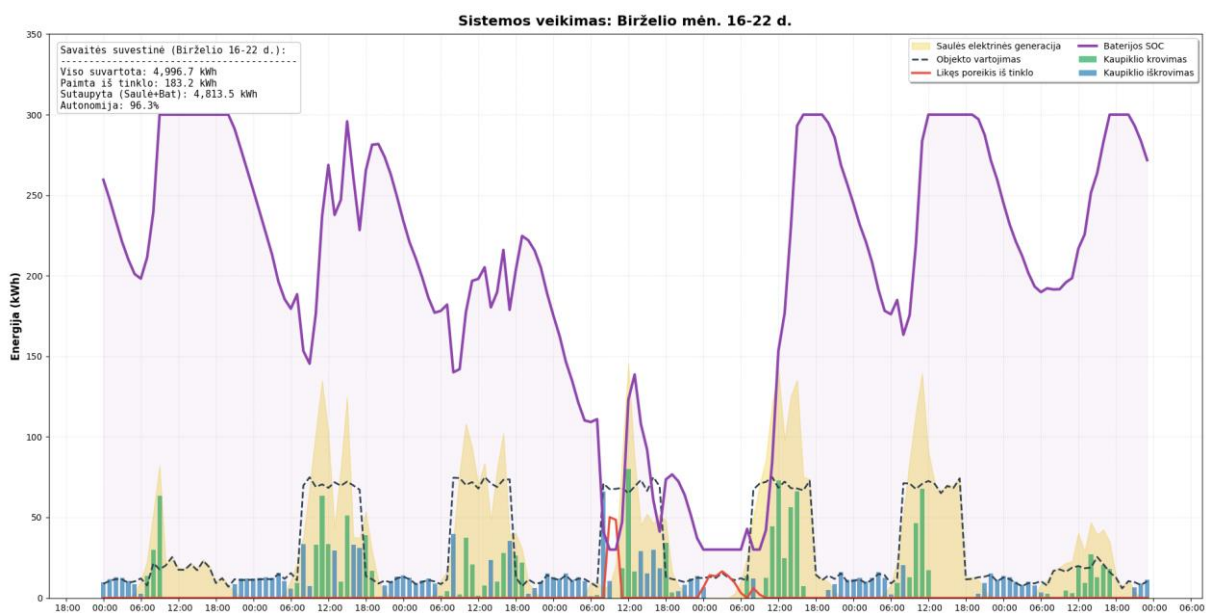
3 pav. Rugpjūčio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitės rezultatai. 4 paveiksle pateikti gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad visą savaitę beveik pilnai padengė modeliuojama sistema. 21 dienos ryte 14,7 kWh suvartota iš tinklo, ir tai yra visa suvartota energija iš tinklo per šią savaitę. Bendras poreikio padengimas 99,7 %.



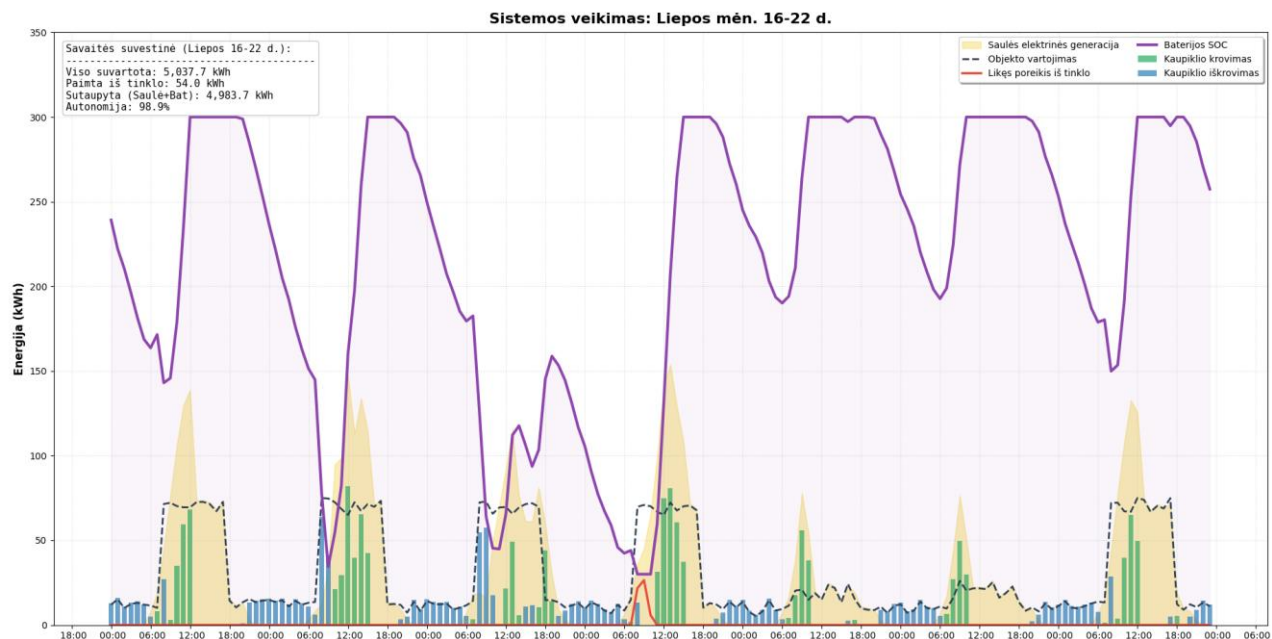
4 pav. Gegužės savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

5 paveiksle pateikiami birželio mėnesio savaitės rezultatai. Kai saulės elektrinės generacija buvo aukšta, sistema visiškai susitvarkė su esama apkrova, tačiau pasitaikė ir dienų, kai oro sąlygos lėmė prastesnį aplinkos apšviestumą, todėl saulės elektrinės nepakako padengti momentinio vartojimo ir papildomai krauti kaupiklį.



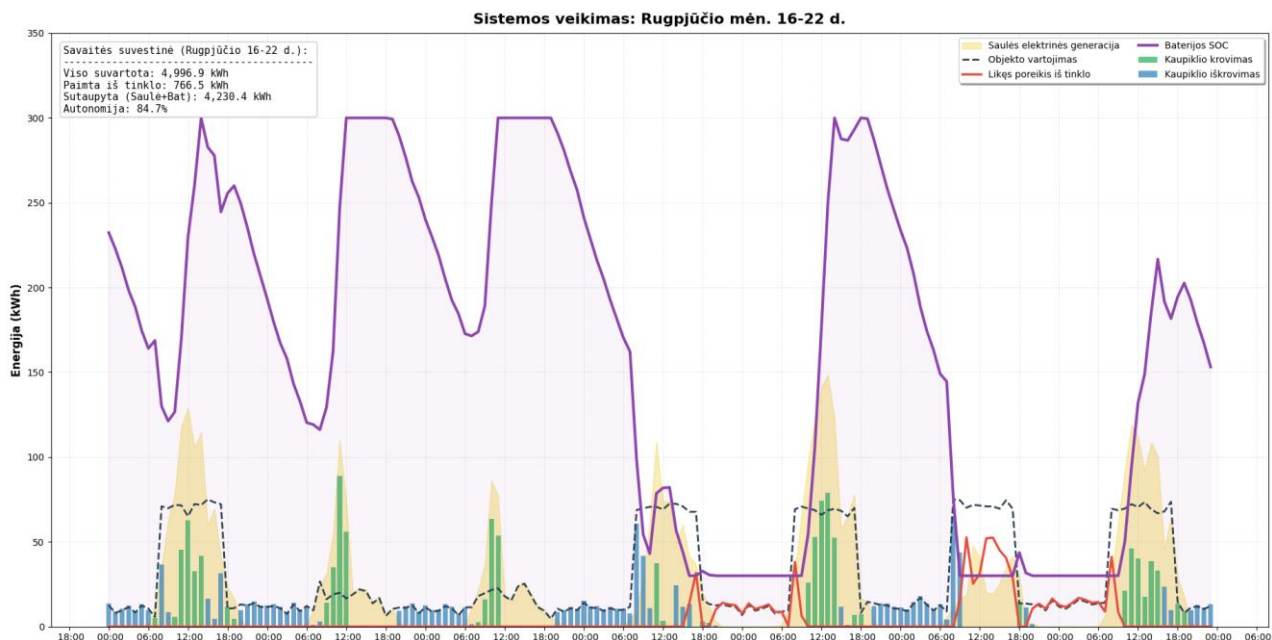
5 pav. Birželio savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

6 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Bendrai gauta, kad modeliuojama sistema padengė 98,9 % bendro savaitės elektros energijos poreikio. Iš grafiko nustatyta, kad iš tinklo vartota energija buvo 20 dienos rytą, dėl to, kad 19 dieną vyravo prastesnės oro sąlygos ir EEK nebuvo pakrauti iš saulės elektrinės generacijos.



6 pav. Liepos savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

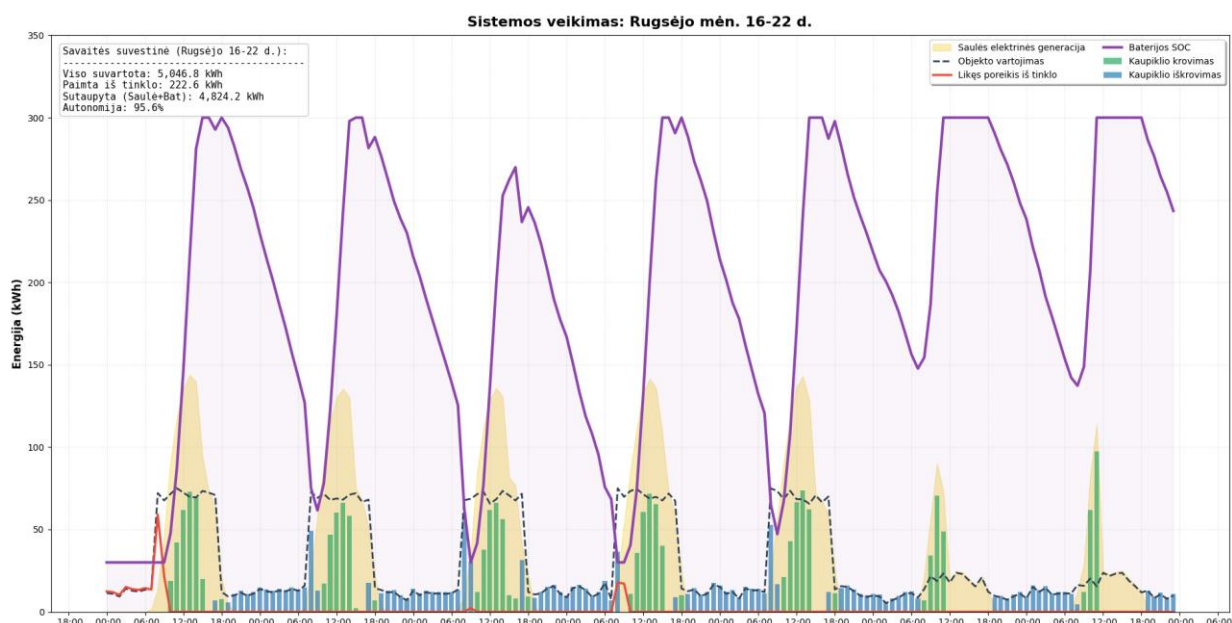
7 paveiksle pateikti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai, kurie yra prasčiausi iš pasirinktų mėnesių. Kaip galima matyti, 19 dieną iš 180,6 kW galios saulės elektrinės generuojamos elektros energijos kiekis buvo mažas, todėl kaupikliai liko visiškai nepakrauti, dėl ko iki kitos dienos visas poreikis buvo tiekiamas iš tinklo. Ta pati situacija ir su 21 diena, kai saulės elektrinės generacija neviršijo 50 kWh per valandą dienos metu ir tai lėmė, kad neužteko momentinės generacijos apkrovai padengti. Todėl nebuvo galimybės įkrauti EEK, o visas trūkumas užsitęsė iki 22 dienos.



7 pav. Rugpjūčio savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

8 paveiksle pateikti rugsėjo mėnesio savaitės rezultatai, kur pagrindinis elektros energijos vartojimas iš tinklo yra 16 dienos rytą, kai praėjusią dieną kaupiklis buvo visiškai iškrautas. Minimalus poreikis

buvo ir 19 dienos rytą, tačiau bendrai sistema padengė 95,6 % elektros energijos poreikio, o iš 222,6 kWh, suvartotų iš tinklo, didžioji dalis buvo 16 dienos rytą.

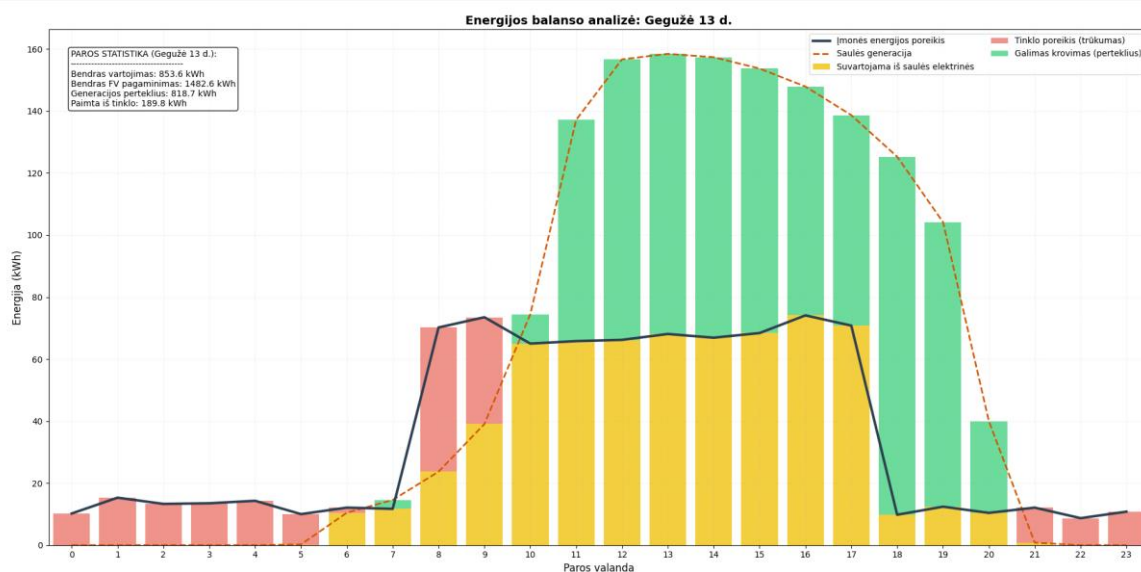


8 pav. Rugsėjo savaitės „A“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad parinkta 35 ° fiksuoto kampo 180,6 kW galios saulės elektrinė su 300 kWh talpos ir 150 kW galios EEK užtikrino 90,38 % įmonės reikalingos elektros energijos gegužės – rugsėjo mėnesiais.

3.1.2. 180,6 kW saulės elektrinės su vienos ašies sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai

9 paveiksle pateiktame grafike pavaizduota 180,6 kW galios saulės elektrinės generacija su vienos ašies sekimo mechanizmu, kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pavaizduotas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



9 pav. Gegužės 13 dienos „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine

Remiantis 9 paveikslu, galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina didžiąją dalį elektros energijos poreikio darbo dienos metu, tačiau gautas bendras dienos trūkumas, kurį reikia padengti naudojant EEK. 5 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 180,6 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 3 ir 5 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 180,6 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 73 % poreikio padengimą vienos darbo pamainos įmonei.

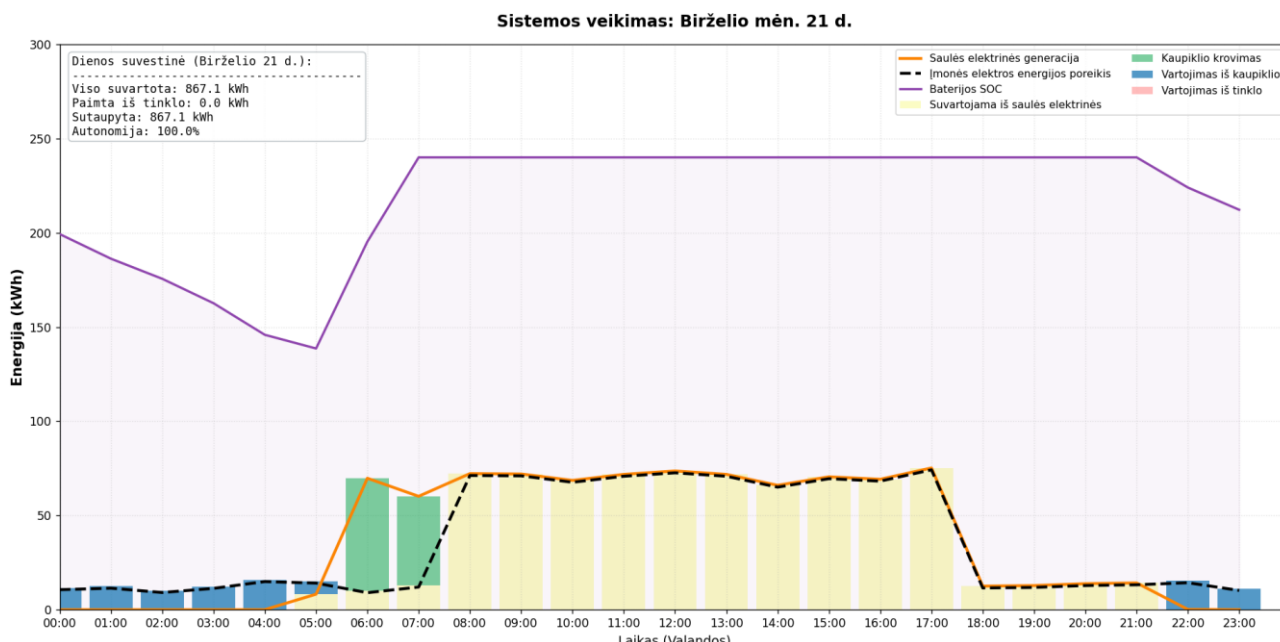
5 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su vienos ašies sekimo 180,6 kW galios saulės elektrine

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	595,6	581,4	359,4	333,2	167,0	154,1	229,4	195,4	235,3	470,9	600,6	635,5

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 196,2 kWh. Taigi, remiantis 10 formule apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

$$C_{galutinė} = \frac{196,2}{0,88 \cdot 0,9} = 247,7 \text{ kWh.}$$

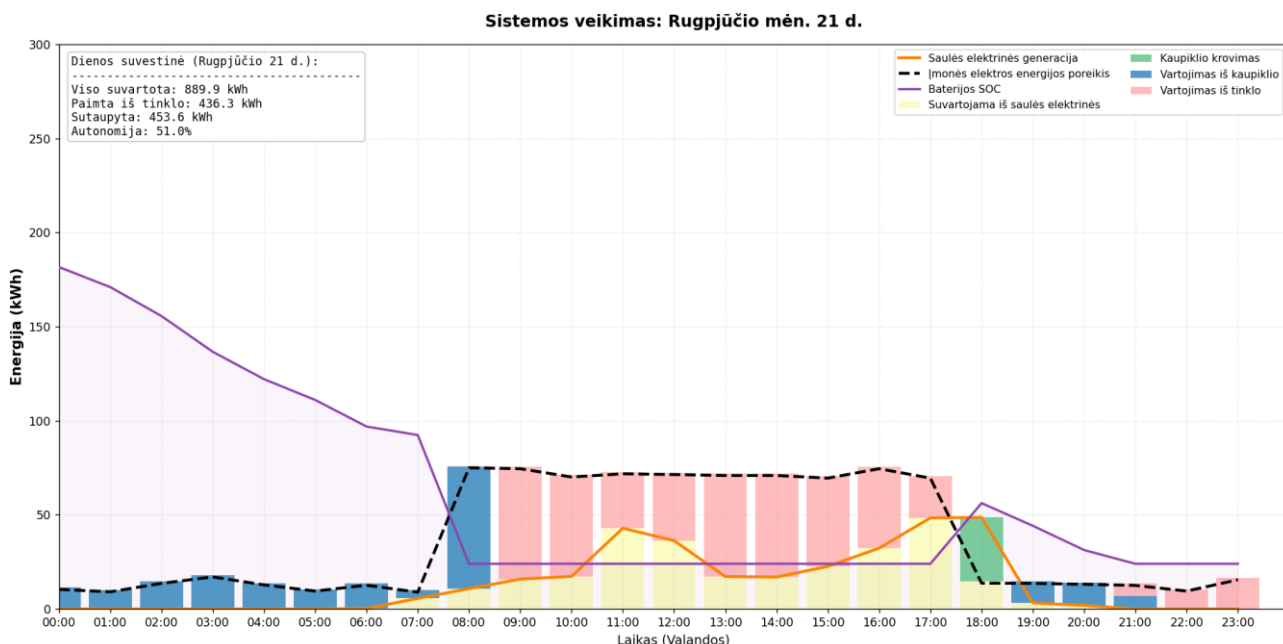
Vadinasi naudojant tuos pačius „Livoltex BHF – X60 BESS – 30kW/60kWh“ kaupiklius, jų reikėtų vėl 5 vienetų [39]. Tačiau nustatoma sąlyga, kad tirama, ar sekimo sistemos padeda užtikrinti mažesnę kaupiklio dydį, todėl pasirenkama naudoti 4 vienetus kaupiklių. Taigi modeliuojant naudojama EEK sistema 240 kWh talpos ir 120 kW galios. 10 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur, kaip ir pirmuoju variantu, pasiektas visiškasis elektros energijos poreikio užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos.



10 pav. Birželio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

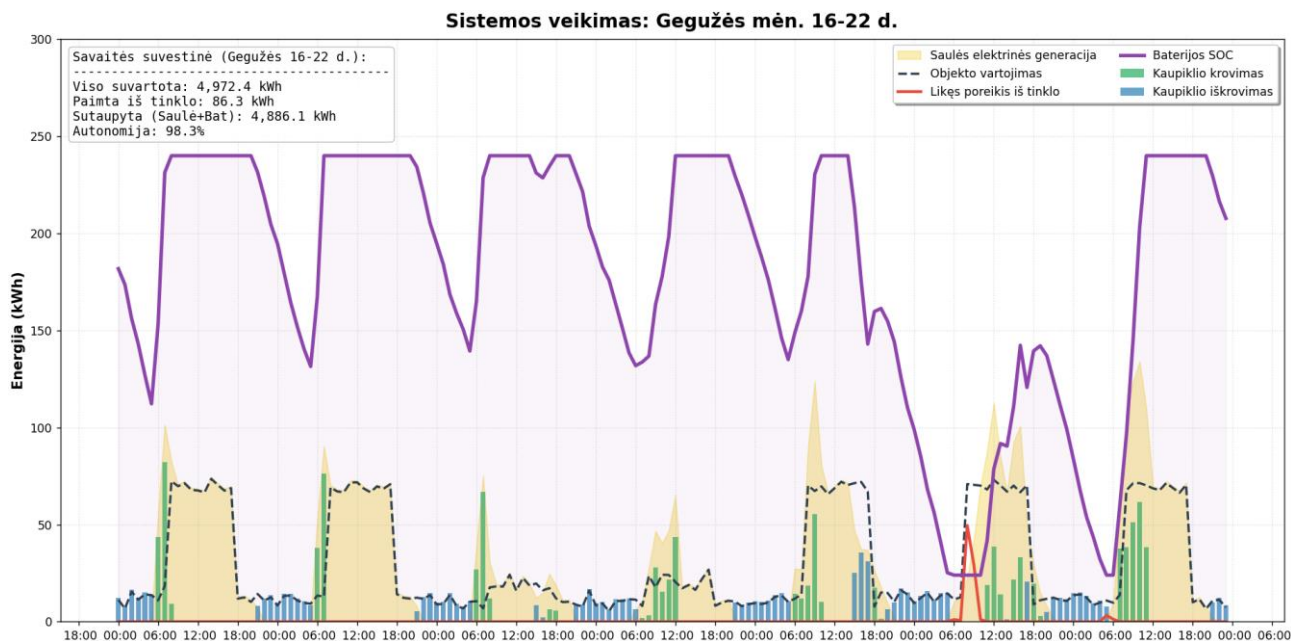
Kitokią situaciją galima matyti 11 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Rugsjūčio mėnesio 21 dieną vyravo prastos oro sąlygos, kas lėmė, kad vienos ašies sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė geriausiu dienos momentu per valandą sugeneravo tik 50 kWh energijos, ir to

neužteko net momentinei įmonės apkrovai padengti. Todėl EEK buvo iki galo iškrauti ir dėl mažos generacijos neįkrauti nakties apkrovai užtikrinti. Bendras visos dienos poreikio padengimas siekė tik 51 %.



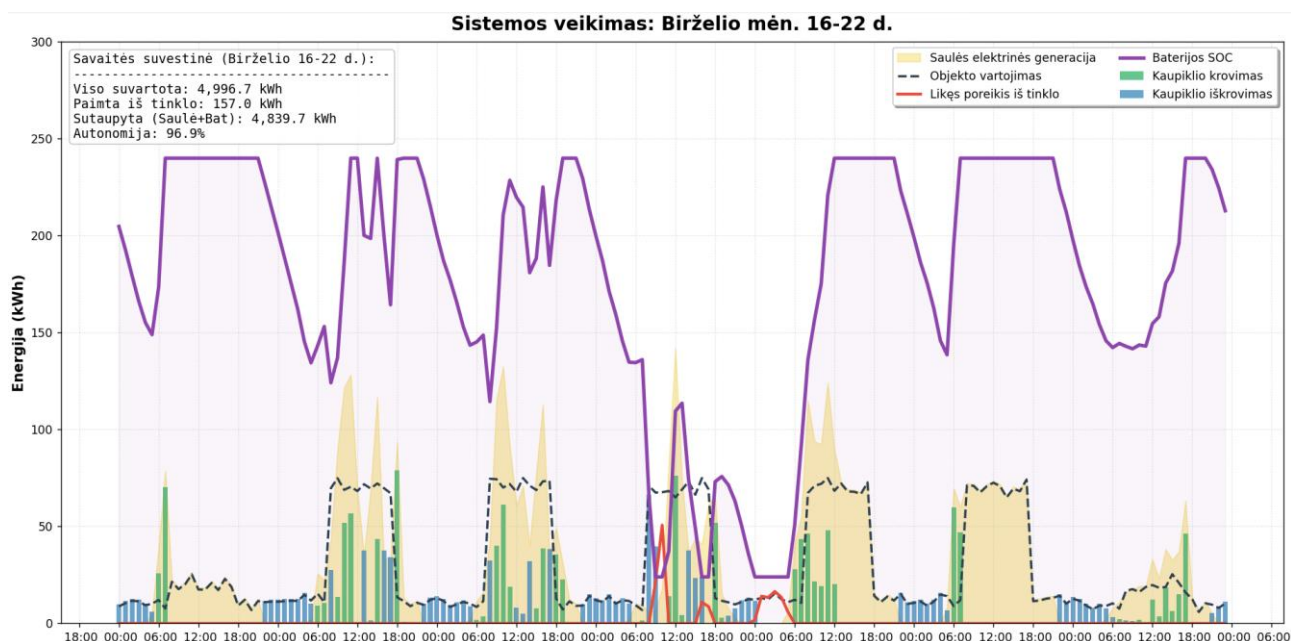
11 pav. Rugsjūčio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitių rezultatai. 12 paveiksle vaizduojami gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad visą savaitę energijos poreikį beveik visiškai padengė modeliuojama sistema, iš tinklo vartojama elektros energija buvo 21 ir 22 dienos rytais. Bendras savaitės elektros energijos užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos siekė 98,3 %.



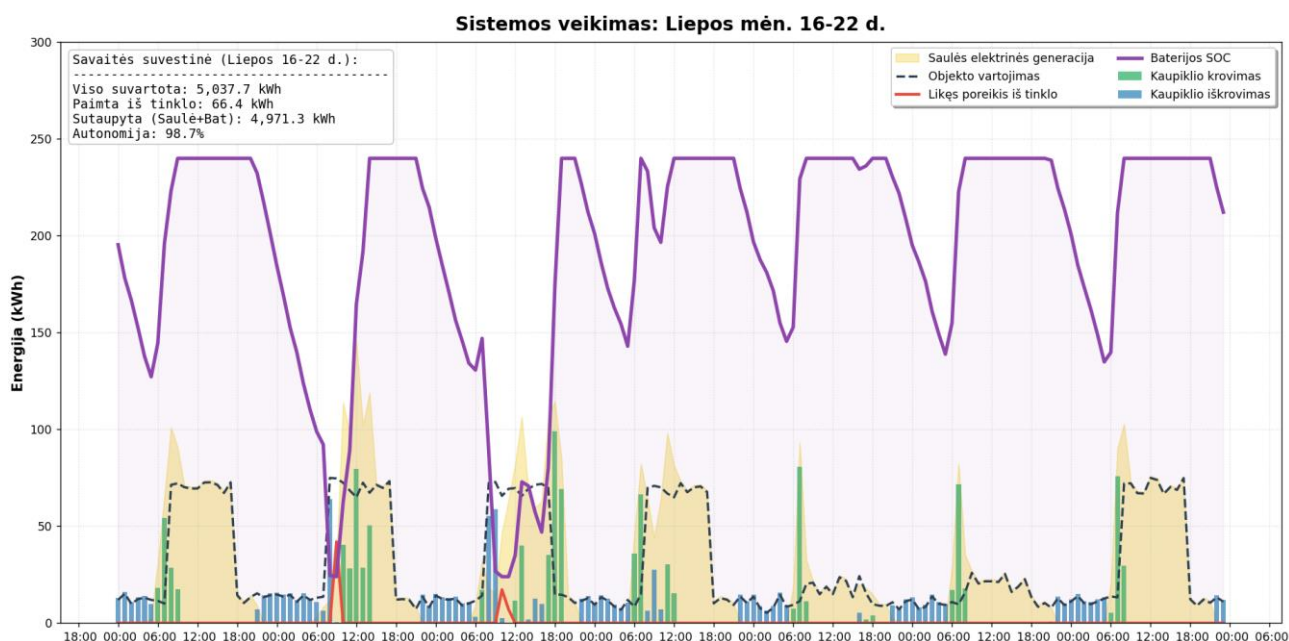
12 pav. Gegužės savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

13 paveiksle pateikti birželio mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Kaip ir pirmuoju atveju, užfiksuota viena diena, kai vyravo prastesnės oro sąlygos, tačiau bendras savaitės elektros energijos poreikis iš modeliujamos sistemos padengė 96,9 % viso suvartojimo.



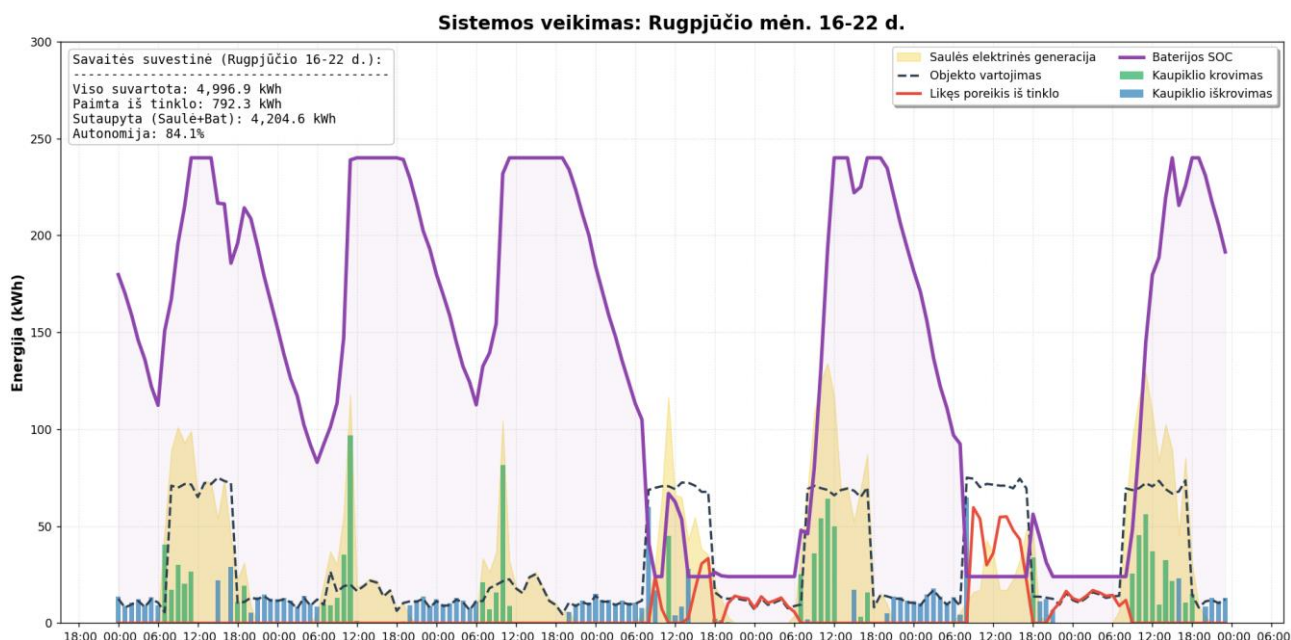
13 pav. Birželio savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

14 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Galima pastebėti, kad dėl mažesnės generacijos ryte ar vakare, jei vyrauja prastesnės oro sąlygos, turimas kaupiklis nebegali padengti reikalingos apkrovos, todėl elektros energija vartojama iš tinklo. Tačiau, bendrai vertinant savaitės rezultatą gauta, kad modeliuojama 180,6 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinė su 240 kWh talpos ir 120 kW galios EEK sistema užtikrino 98,7 % reikalingos elektros energijos.



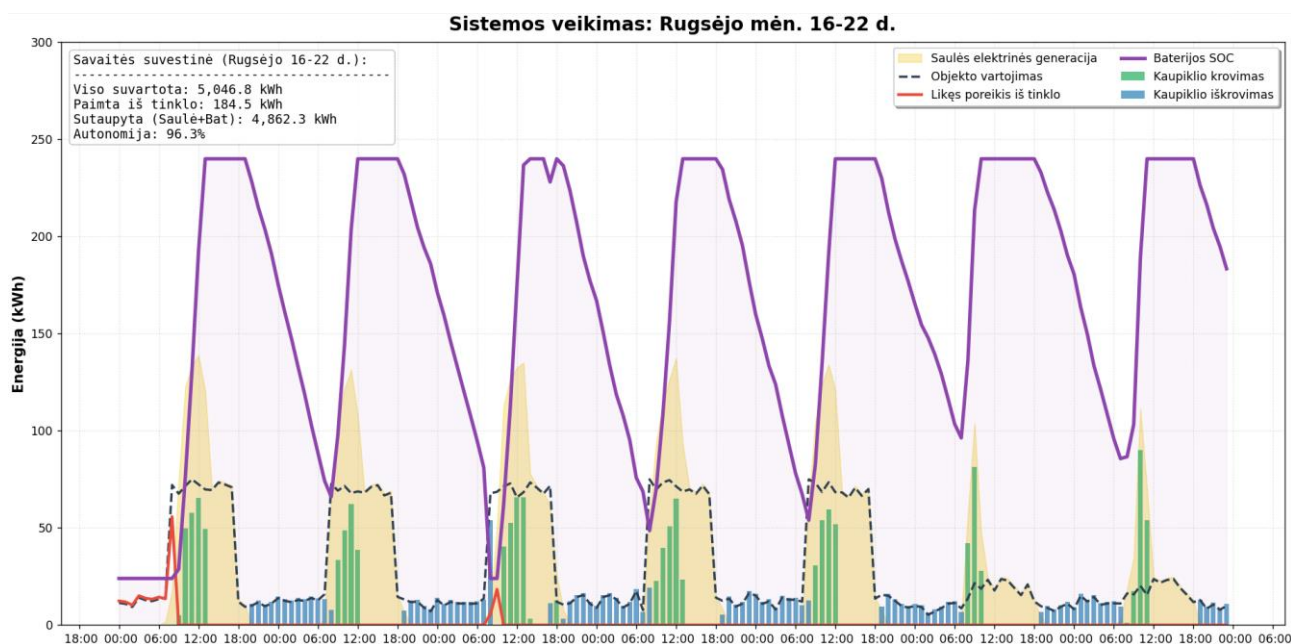
14 pav. Liepos savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

15 paveiksle pateikti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai. Išryškėja dvi dienos – 19 ir 21, kai 180,6 kW galios saulės elektrinės generacija dienos metu negalėjo padengti reikalingos valandinės 70 kWh apkrovos, todėl nebuvo kaip pakrauti EEK, o energijos trūkumas buvo padengiamas vartojimu iš tinklo. Kitomis dienomis gauti rezultatai leidžia teigti, kad sistema pilnai padengdavo įmonės apkrovą.



15 pav. Rugpjūčio savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

16 paveiksle gautas beveik idealios savaitės rezultatas. Pagrindinis trūkumas matomas 16 dienos pirmoje pusėje, kai iš 15 dienos iškrauti kaupikliai negalėjo padengti reikiamo vartojimo. Minimalus poreikis fiksuotas ir 18 dienos rytą. Modeliuojama sistema užtikrino 96,3 % bendro energijos poreikio.

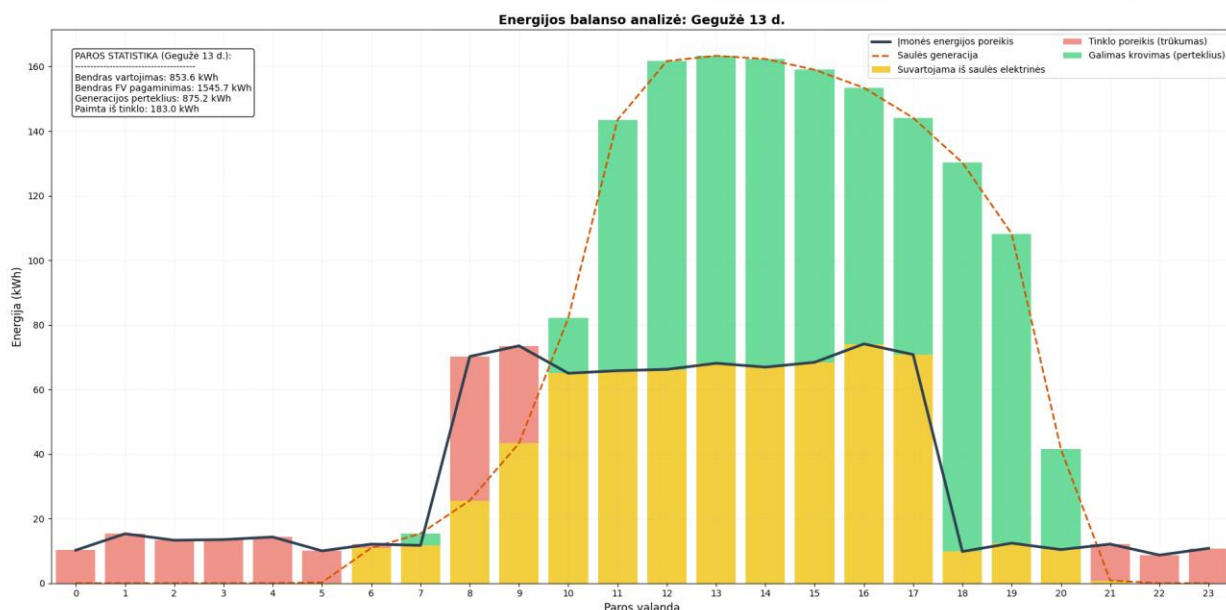


16 pav. Rugsėjo savaitės „A“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad 180,6 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinė su 240 kWh talpos ir 120 kW galios EEK užtikrino 89,86 % įmonės energijos poreikio padengimą pasirinktais gegužės – rugsėjo mėnesiais.

3.1.3. 180,6 kW saulės elektrinės su dviejų ašių sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai

17 paveiksle pateiktame grafike pavaizduota 180,6 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinės generacija, kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat, pavaizduotas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



17 pav. Gegužės 13 dienos „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine

Remiantis 17 paveikslu, galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina didžiąją dalį elektros energijos poreikio darbo dienos metu, tačiau gautas bendras dienos trūkumas, kurį reikia padengti naudojant EEK. 6 lentelėje pateiktas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 180,6 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 3 ir 6 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 180,6 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 74 % poreikio padengimą vienos darbo pamainos įmonei.

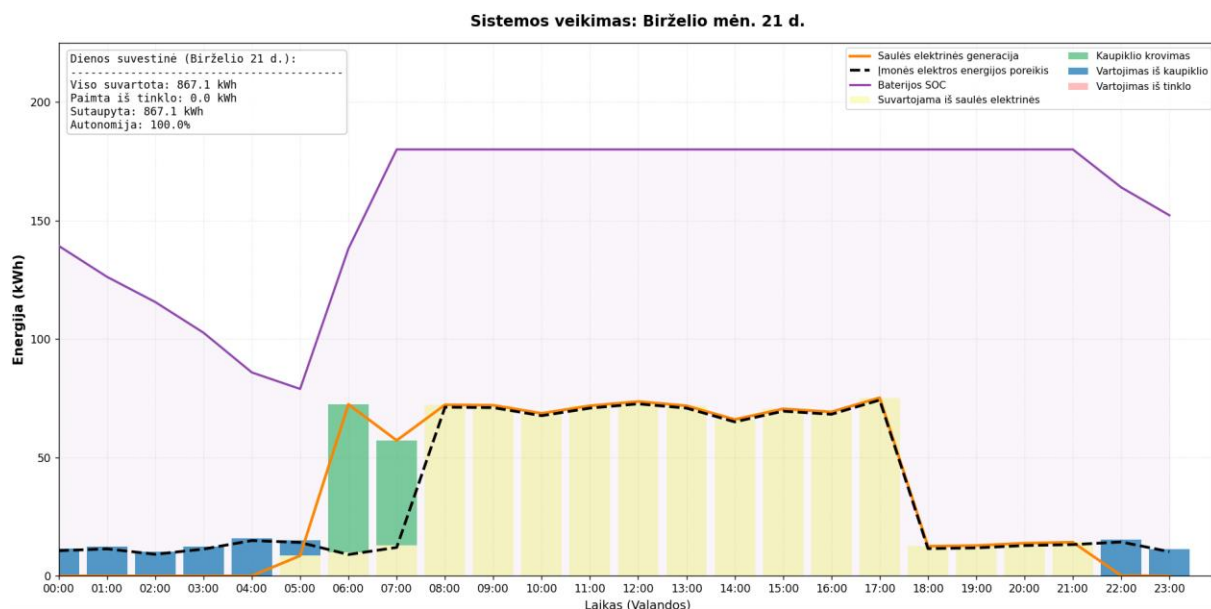
6 lentelė. Įmonės „A“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su dviejų ašių sekimo 180,6 kW galios saulės elektrine

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	592,7	575,0	348,6	314,7	158,7	141,0	210,0	185,6	228,9	463,7	597,2	633,1

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 184,8 kWh. Taigi, remiantis 10 formule apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

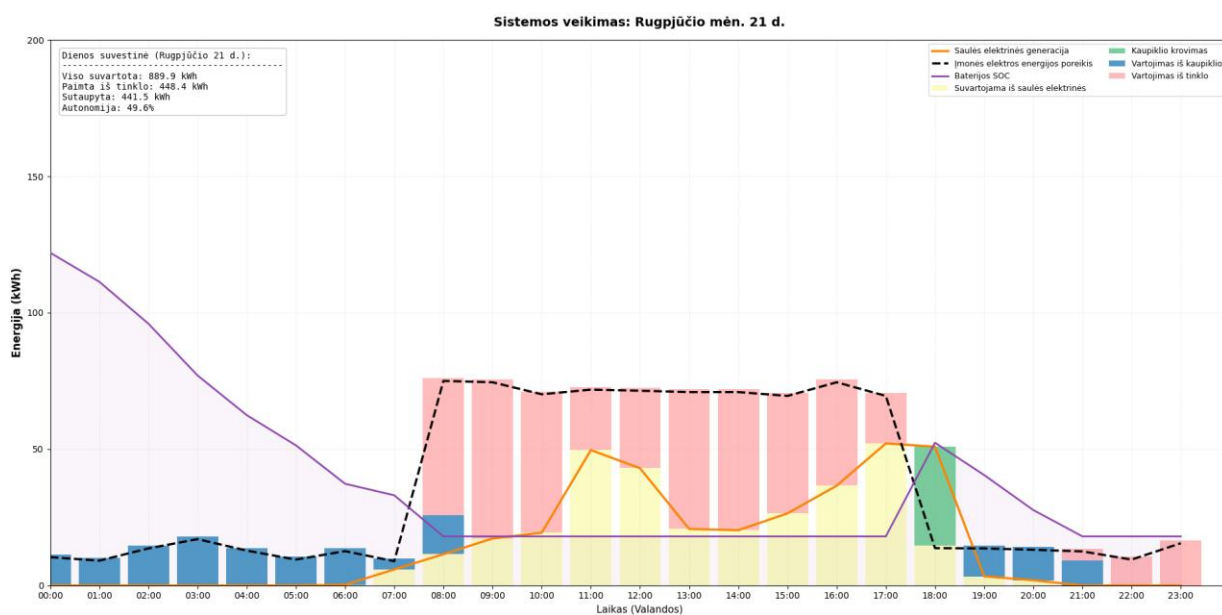
$$C_{galutinė} = \frac{184,8}{0,88 \cdot 0,9} = 233,3 \text{ kWh.}$$

Vadinasi naudojant tuos pačius „Livoltex BHF – X60 BESS – 30kW/60kWh“ kaupiklius, jų reikėtų 4 vienetų [39]. Tačiau nustatoma sąlyga, kad tirama, ar sekimo sistemos padeda užtikrinti mažesnę kaupiklio dydį, ir parenkama naudoti 3 vienetus kaupiklių. Taigi modeliavime naudojama EEK sistema 180 kWh talpos ir 90 kW galios. 18 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur, kaip ir ankstesniais atvejais, pasiektas visiškasis elektros energijos poreikio užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos geriausią vasaros sezono dieną.



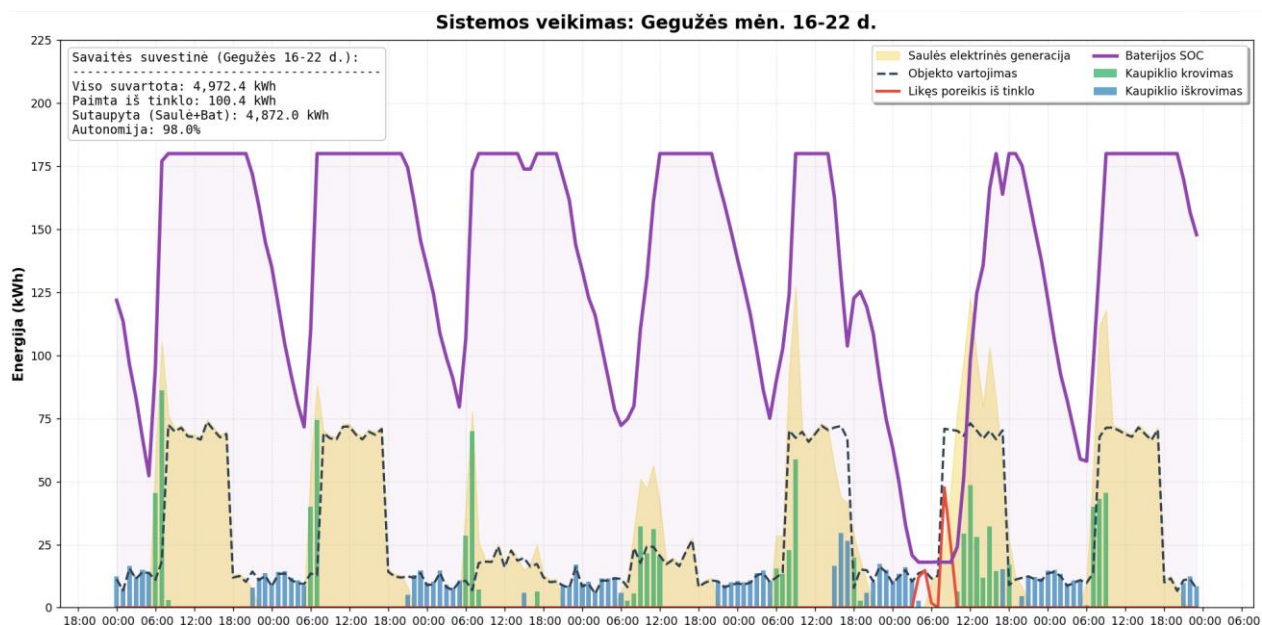
18 pav. Birželio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Kitokią situaciją galima matyti 19 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Rugsjūčio mėnesio 21 dieną vyravo prastos oro sąlygos, kas lėmė, kad tik 18 valandą dviejų ašių sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė generavo daugiau nei reikalinga įmonės apkrova, todėl EEK kaupikliai liko nepakrauti, o visą reikalingą trūkstamą elektros energiją reikėjo vartoti iš tinklo. Bendras visos dienos poreikio padengimas siekė 49,6 %.



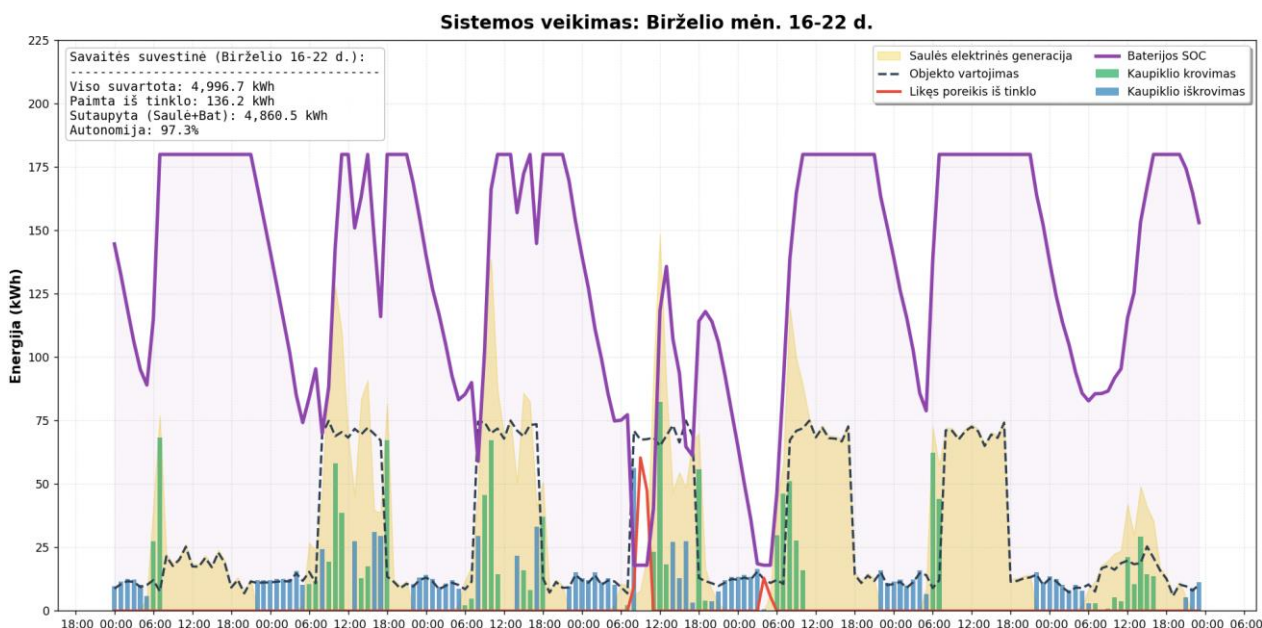
19 pav. Rugsjūčio 21 dienos „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami savaitinių rezultatų gegužės – rugsėjo mėnesiais. 20 paveiksle pateikti gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad visą savaitę energijos poreikį beveik visiškai padengė modeliuojama sistema, iš tinklo vartojama elektros energija buvo tik 21 dienos rytą. Bendras savaitės elektros energijos užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos siekė 98 %.



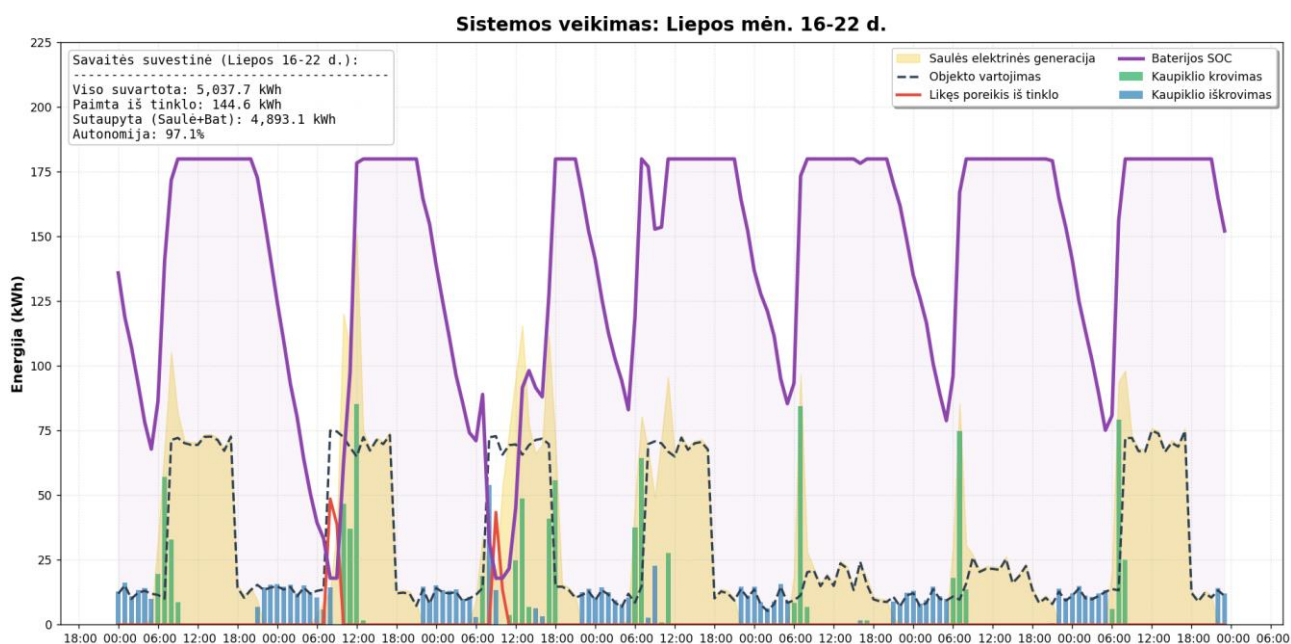
20 pav. Gegužės savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

21 paveiksle pateikti birželio mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad dėl prastesnių orų 19 diena dviejų ašių sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė viduryje dienos neužtikrino net valandinio 75 kWh elektros energijos poreikio padengimo. Tačiau visos savaitės rezultatai rodo, kad bendra saulės elektrinės ir 120 kWh talpos, 90 kW galios EEK sistema leido užtikrinti įmonei 96,9 % reikalingos energijos.



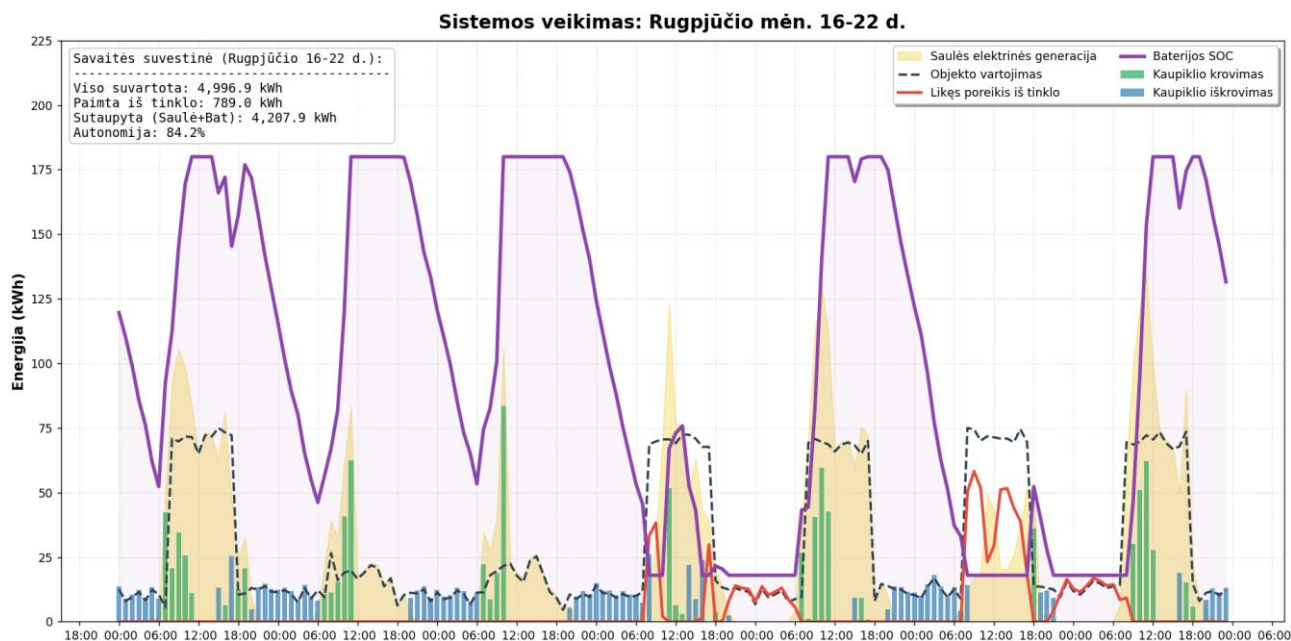
21 pav. Birželio savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

22 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Galima pastebėti, kad sistema, esant geroms oro sąlygoms, užtikrina visą dienos poreikio kompensavimą, tačiau jei rytais apšviestumo lygis mažesnis, modeliuojama saulės elektrinė nepadengia rytinio poreikio, EEK būna iškrauti nakties metu, todėl trūkumas vartojamas iš tinklo.



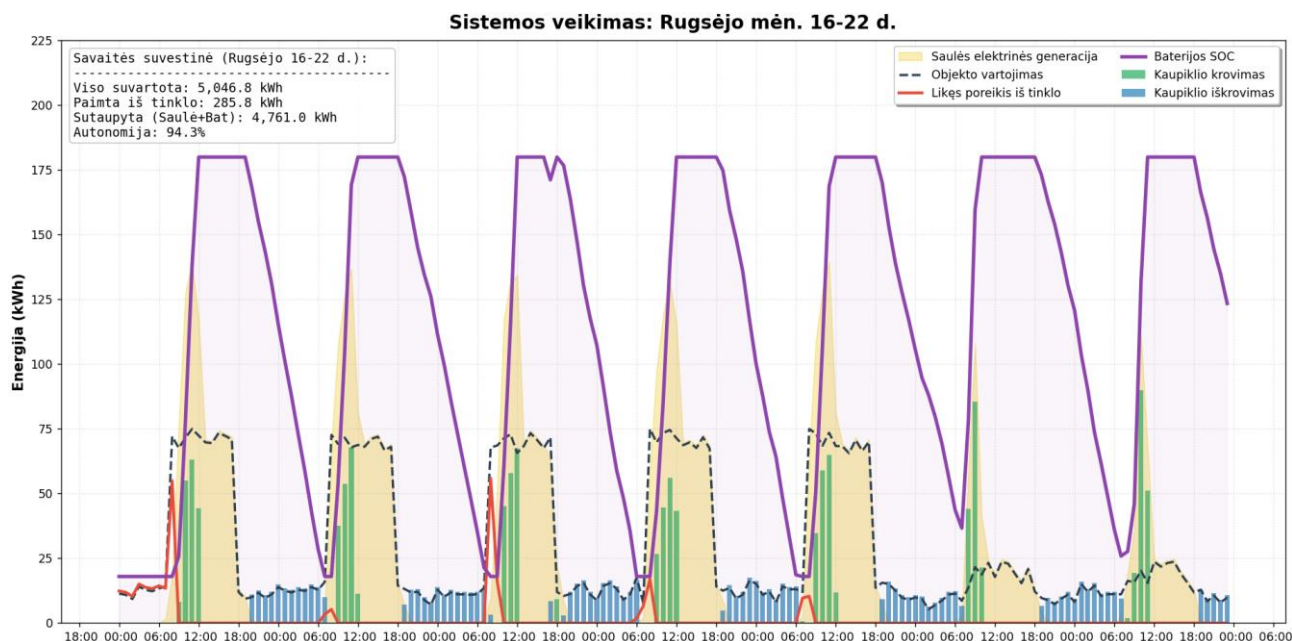
22 pav. Liepos savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

23 paveiksle gauti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai. Galima pastebėti 19 ir 21 dienos rezultatus, išsiskiriančius iš visos savaitės grafiko. Modeliuojamos saulės elektrinės mažas generuojamos energijos kiekis lėmė tai, kad nei EEK kaupikliai buvo įkrauti, nei padengtas momentinis apkrovos poreikis. Todėl gauta, kad dėl vyraujančių kelių dienų su prastesnėmis oro sąlygomis sistema užtikrina tik 84,2 % bendro savaitės elektros energijos poreikio.



23 pav. Rugpjūčio savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

24 paveiksle pavaizduoti rugsėjo mėnesio savaitės rezultatai. Dėl trumpėjančio šviesaus paros meto ir prastesnių oro sąlygų rudenį, gauta, kad beveik kiekvienos dienos rytą elektros energija naudojama iš tinklo, tačiau bendras savaitės poreikio užtikrinimas gautas 94,3 %.



24 pav. Rugsėjo savaitės „A“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad 180,6 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinė su 180 kWh talpos ir 90 kW galios EEK užtikrino 89,94 % pasirinktų mėnesių elektros energijos poreikio užtikrinimą (žr. 4 priedą).

3.1.4. Įmonės „A“ gautų rezultatų apibendrinimas

Atlikti vienos darbo pamainos įmonės trys modeliavimo scenarijai elektros energijos vartojimo poreikiui padengti. Modeliuotos 3 sistemos:

1. antžeminė 180,6 kW fiksuoto kampo saulės elektrinė su 300 kWh EEK;
2. antžeminė 180,6 kW vienos ašies sekimo saulės elektrinė su 240 kWh EEK;
3. antžeminė 180,6 kW dviejų ašių sekimo saulės elektrinė su 180 kWh EEK.

Visi trys modeliuoti scenarijai užtikrino artimus rezultatus, tačiau geriausius bendrus metinius rezultatus pavyko pasiekti, naudojant 3 scenarijų. Toliau, 7 lentelėje, pateikta kiekvieno mėnesio bendra modeliuojamos sistemos patiekta elektros energijos dalis, lyginant su apkrova, procentine išraiška.

7 lentelė. Modeliuotų skirtingų sistemų pritaikytų „A“ įmonės apkrovai rezultatai

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1 sistema (%)	17,3	17,5	57,0	67,4	94,7	96,6	85,5	91,4	83,7	39,8	12,6	6,5
2 sistema (%)	22,0	18,8	59,7	67,4	94,1	95,6	83,6	91,3	84,7	43,3	15,2	9,1
3 sistema (%)	21,8	19,3	60,8	68,2	93,7	96,0	85,4	90,7	83,9	42,9	15,6	9,6

Modeliuojant vienos ašies 180,6 kW galios saulės elektrinę, naudoti 240 kWh talpos kaupikliai, o dviejų ašių 180,6 kW galios saulės elektrinę – 180 kWh. Lyginant su tokios pačios galios fiksuoto 35

° kampo saulės elektrine, naudojant 300 kWh talpos kaupiklius, gauta, kad vienos ašies sekimo sistema leidžia sumažinti kaupiklio dydį 60 kWh, kas bendrai atitinka 20 % mažesnę talpą, o dviejų ašių sistema atitinkamai – 120 kWh, kas yra 40 % talpos sumažėjimas. Bendras metinis elektros energijos poreikio padengimas iš modeliuojamų sistemų didėjo, pirmosios sistemos siekė 55,83 %, antrosios – 57,07 % ir trečiosios – 57,33 %, prie to labiausiai prisidėjo pavasario ir rudens laikotarpis, kada saulės elektrinės su sekimo sistemomis turėjo ilgesnį generacijos laikotarpį. Pasirinktų gegužės – rugsėjo mėnesių elektros energijos poreikio įmonei padengimas minimaliai sumažėjo, sumažinus kaupiklių dydį. Fiksuoto kampo 180,6 kW galios saulės elektrinės su 300 kWh talpos EEK sistemos apkrovos padengimas per pasirinktus mėnesius gautas 90,38 %, kai vienos ašies sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė su 240 kWh EEK užtikrino 89,86 %, o dviejų ašių 180,6 kW galios saulės elektrinė su 180 kWh talpos EEK padengė 89,94 %. Tačiau sumažėjimas nežymus, vienos ašies saulės sekimo sistemos modeliavimo atveju – 0,52 %, o dviejų ašių sekimo – 0,44 %, lyginant su fiksuoto kampo sistema, nors kaupiklių talpa sumažinta atitinkamai 20 % ir 40 %. Gauti rezultatai leidžia teigti, kad saulės sekimo sistemos leidžia užtikrinti mažesnio kaupiklio dydį vienos pamainos įmonei pasirinktu laikotarpiu, o vertinant visų metų rezultatus, net pagerinti bendrą elektros energijos poreikio padengimo situaciją.

3.2. „B“ įmonės modeliavimo pradiniai duomenys

Kaip aprašyta sistemos matematinio modelio dalyje, įmonei „B“ apskaičiuojama saulės elektrinės galia pagal vidutinį elektros energijos suvartojimą per dieną. Tokios galios saulės elektrinė bus naudojama visiems 3 scenarijams „B“ įmonės, dirbančios dviejų pamainų darbo grafiku, tyrimui atlikti. Pagal turimą apkrovos duomenų failą apskaičiuotas vidutinės mėnesio dienos elektros energijos poreikis, rezultatai pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis kiekvieną mėnesį

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	746,1	795,3	880,3	900,1	932,3	894,9	874,3	844,3	835,3	778,4	753,4	757,2

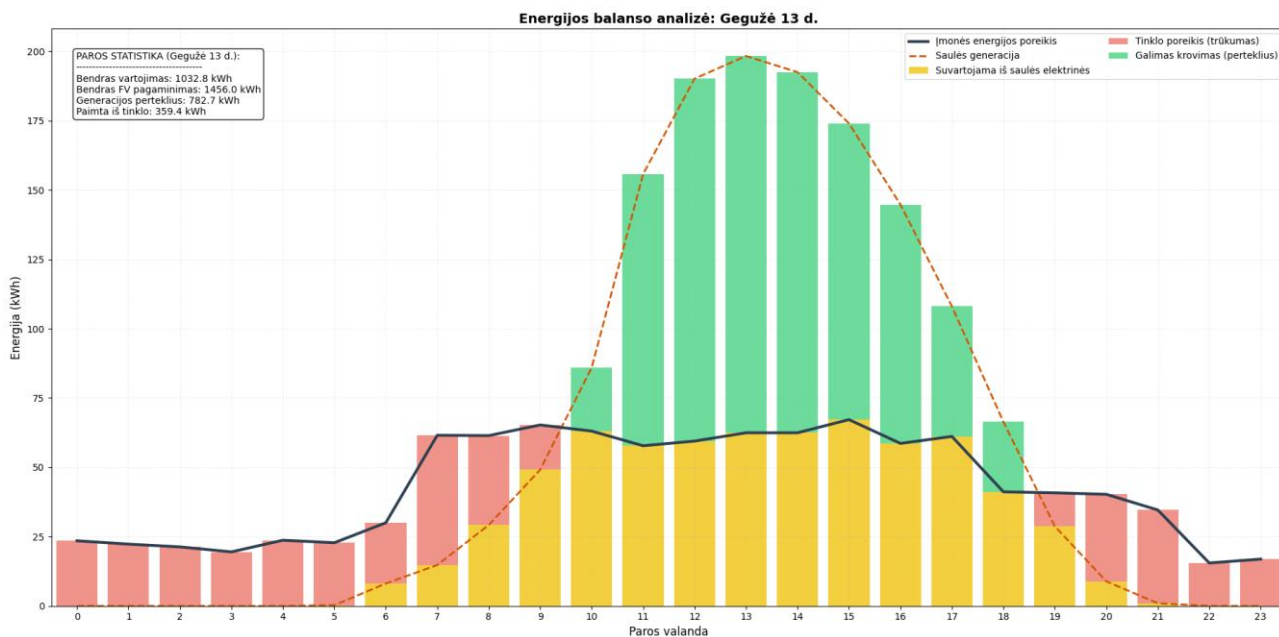
Apskaičiavus visų metų vidutinį elektros energijos poreikį, gauta, kad vidutiniškai per dieną įmonei reikalinga 832,7 kWh elektros energijos. Taigi, naudojantis matematinio modelio dalyje pateikta 1 formule, apskaičiuota reikiama saulės elektrinės galia:

$$P_{PV}=832,7/4=208,2 \text{ kW.}$$

Saulės elektrinei pasirinkti naudoti Trina Solar VERTEX S+ NEG9R.28 430W (žr. 1 priedą) FV moduliai [38]. Reikalingas modulių skaičius $208200/430=484,2$ vnt., tačiau bendrai sistemai numatomi naudoti 500 vnt. modulių, kurių suminė galia 215 kW. Tokios galios elektrinė bus naudojama trims įmonės „B“ modeliavimo tyrimams atlikti.

3.2.1. Fiksuoto 35 ° kampo 215 kW antžeminės saulės elektrinės su EEK modeliavimo rezultatai

25 paveiksle pateiktame grafike pavaizduota parinktos saulės elektrinės generacija kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pateiktas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



25 pav. Gegužės 13 dienos „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine

Remiantis 25 paveikslu galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina elektros energijos poreikio padengimą nuo 10 iki 18 valandos, kitu paros metu gautas trūkumas. Pagal tai reikia įvertinti EEK dydį, kad padengti likusią dienos dalį. 9 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 215 kW galios fiksuoto 35° kampo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 8 ir 9 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 215 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 64 % poreikio padengimą dviejų darbo pamainų įmonei.

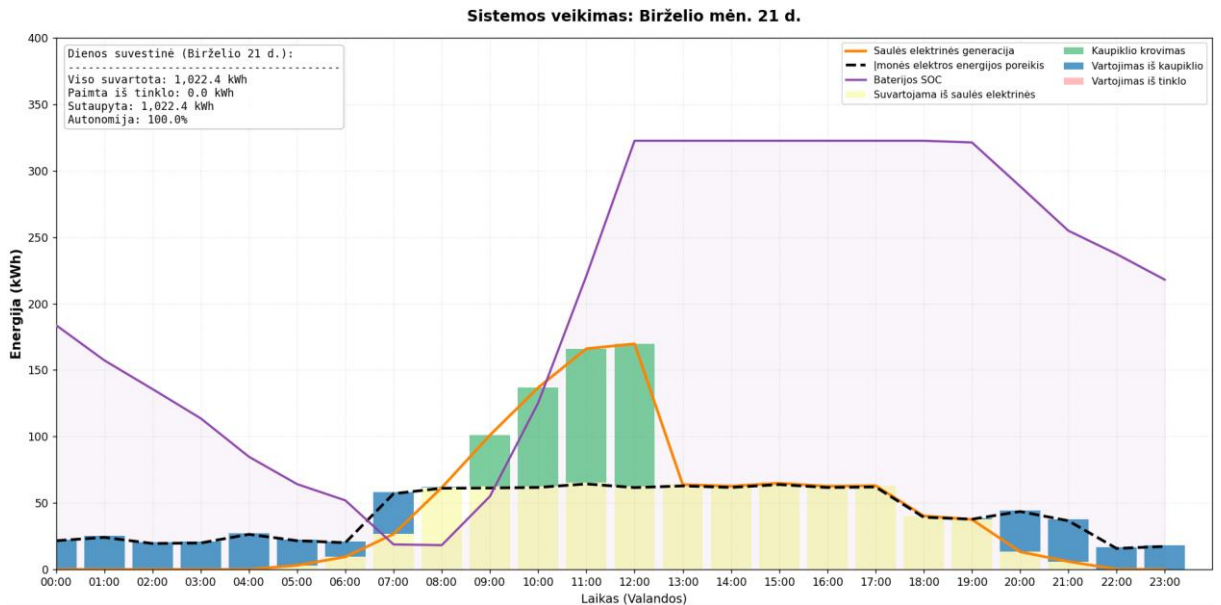
9 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su fiksuoto kampo 215 kW galios saulės elektrine

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	585,2	607,3	456,9	449,4	325,4	286,3	334,4	305,2	336,3	463,1	550,3	585,3

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 317,5 kWh. Šiai įmonei pasirinkta naudoti „HUAWEI LUNA2000“ serijos (žr. 3 priedą) kaupimo sistema [40]. Gamintojas pateikia realią kaupiklių talpą, kurią pilnai galima naudoti, nes minimalus iškrovos ir maksimalus įkrovos lygiai valdomi integruoto baterijos valdymo modulio. Taigi, remiantis 12 formule gauname:

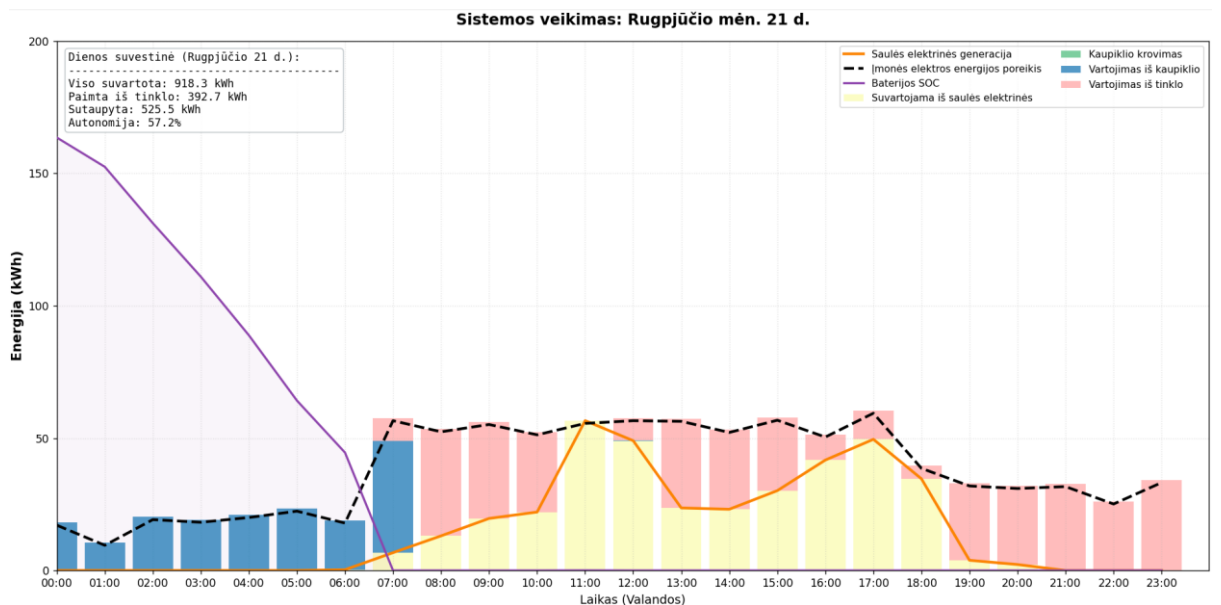
$$C_{galutinė} = \frac{317,5}{0,985} = 322,3 \text{ kWh.}$$

Pagal gamintojo specifikacijose pateiktą galimų kaupiklių jungimų lentelę (žr. 3 priedą) pasirenkama naudoti 322.5 kWh talpos ir 200 kW galios kaupimo sistema [40]. 26 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur pasiektas visiškasis elektros energijos poreikio užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos. Tai lėmė tinkamos oro sąlygos, kai vyravo didelis apšviestumas, ir didžioji dalis įmonės darbo laiko apkrovos buvo padengiama iš saulės elektrinės momentinės generacijos. Likusi dalis vakare, naktį ir rytą buvo padengiama iš modeliuojamo EEK.



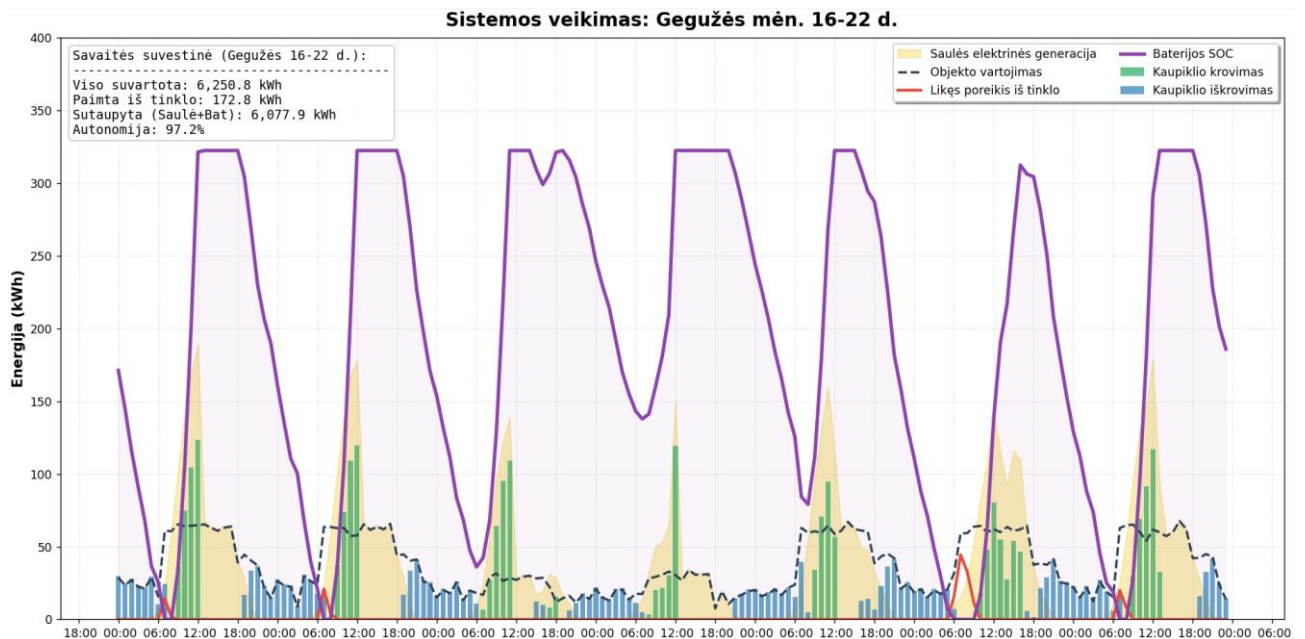
26 pav. Birželio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Kitokią situaciją galima matyti 27 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Rugsjūčio mėnesio 21 dieną vyravo prastos oro sąlygos, tai lėmė, kad 215 kW galios saulės elektrinė tik vieną valandą sugebėjo padengti 60 kWh apkrovą, o likusiu laiku trūkumas buvo naudojamas iš tinklo. Prasta generacija neleido užtikrinti ir EEK krovimo, iš jo energija naudota tik pirmas 7 paras valandas, kai buvo pakrautas praėjusią dieną. Bendras visos dienos poreikio padengimas siekė 57,2 %.



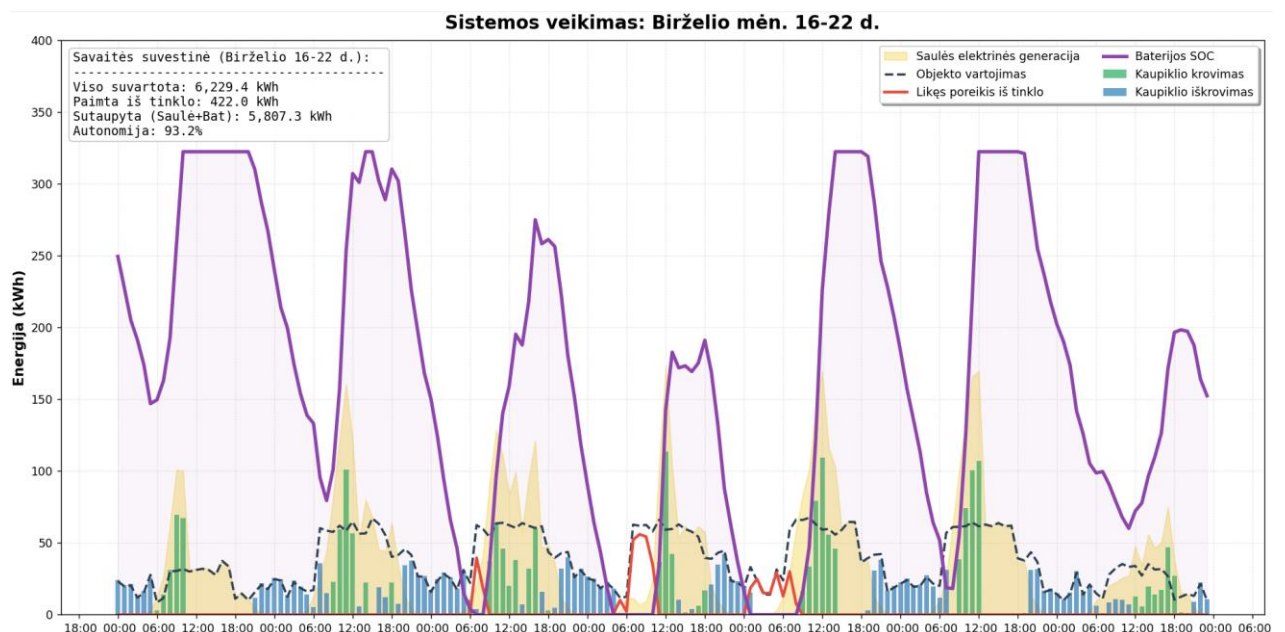
27 pav. Rugsjūčio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami savaitinių rezultatai gegužės – rugsėjo mėnesiais. 28 paveiksle vaizduojami gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad visą savaitę beveik pilnai padengė modeliuojama sistema, tačiau rytiniais momentais pastebimas elektros energijos vartojimas iš tinklo. Bendrai sistema padengė 97,2 % visos savaitės poreikio.



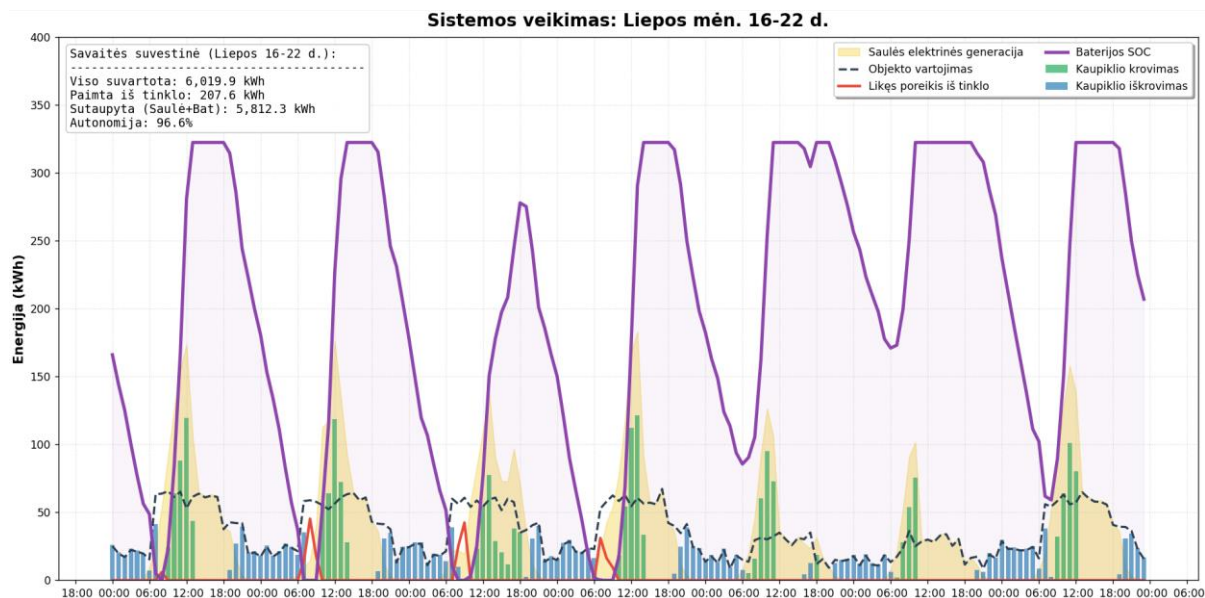
28 pav. Gegužės savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

29 paveiksle pateikiami birželio mėnesio savaitės rezultatai. Kai saulės elektrinės generacija buvo aukšta, sistema visiškai susitvarkė su esama apkrova, tačiau pasitaikė dienų su prastesnėmis oro sąlygomis, kas lėmė, kad kaupikliai nebuvo pilnai pakraunami ir atsirasdavo trūkumas, kurį reikėdavo kompensuoti iš tinklo. Bendrai modeliuojama sistema padengė 93,2 % birželio savaitės įmonės poreikio.



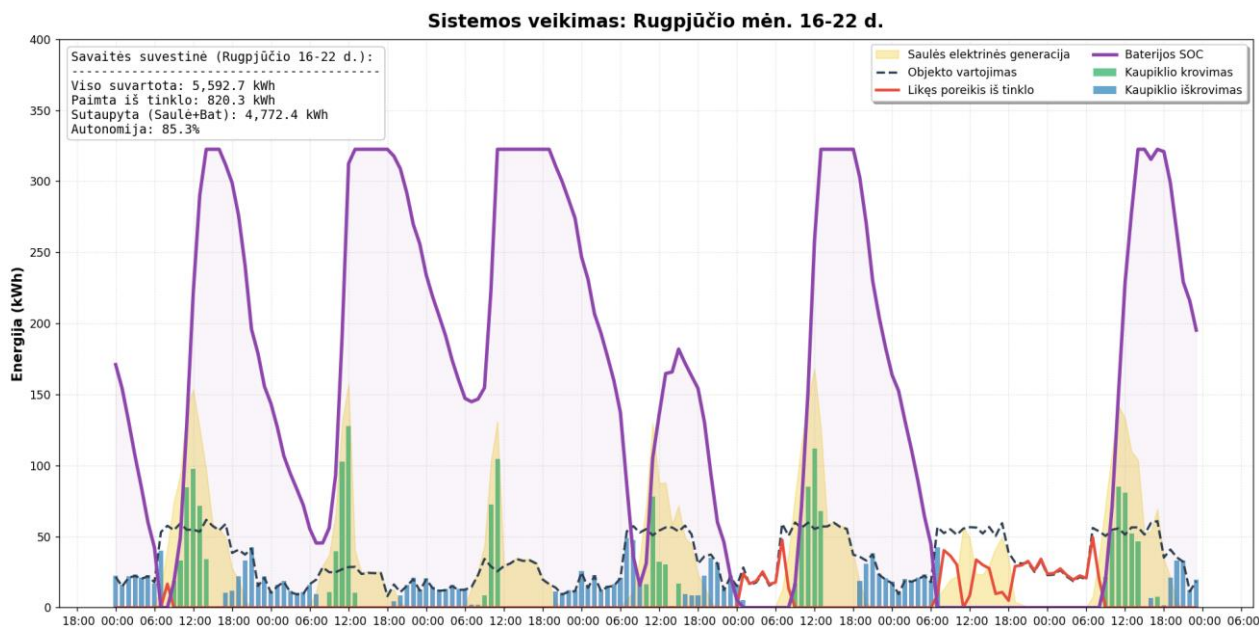
29 pav. Birželio savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

30 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Bendrai gauta, kad modeliuojama sistema padengė 96,6 % bendro savaitės elektros energijos poreikio, o iš tinklo reikalinga energija buvo fiksuota rytais, kai EEK kaupiklis išsikraudavo, o saulės elektrinės generacija nepadengdavo momentinio apkrovos poreikio.



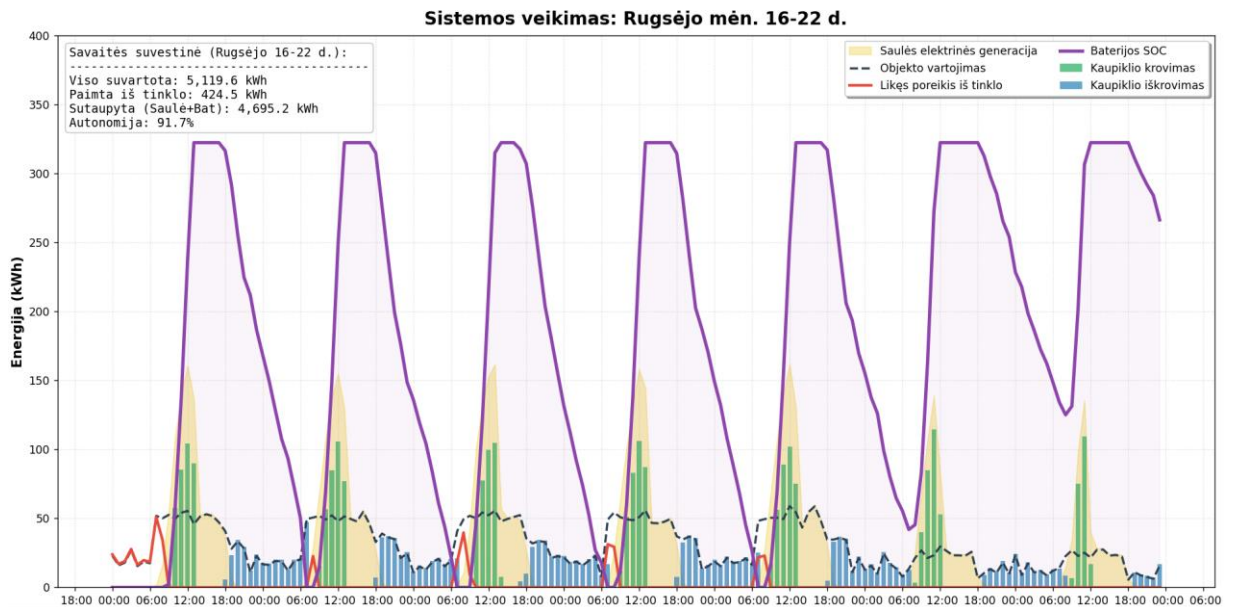
30 pav. Liepos savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

31 paveiksle pateikti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai, kurie yra prasčiausi iš pasirinktų mėnesių. Galima matyti, kad 19 dieną iš 215 kW galios saulės elektrinės generuojamos elektros energijos kiekis nuo 15 valandos neviršijo esamos 60 kWh apkrovos, todėl dalis energijos jau tada pradėta vartoti iš EEK, kuris dieną taip pat nebuvo pilnai užkrautas dėl mažo generacijos kiekio. O 21 dieną gauta, kad visą dieną 215 kW saulės elektrinė negalėjo užtikrinti 60 kWh apkrovos poreikio padengimo, todėl didžioji dalis dienos poreikio buvo naudojama iš tinklo.



31 pav. Rugpjūčio savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

32 paveiksle pateikti rugsėjo mėnesio savaitės rezultatai, kur pagrindinis elektros energijos vartojimas iš tinklo gautas 16 dienos rytą, kai praėjusią dieną kaupiklis buvo pilnai iškrautas. Minimalus poreikis buvo ir 17 – 20 dienų rytais, tačiau bendras mėnesio elektros energijos padengimas iš modeliujamos sistemos siekė 91,7 %.

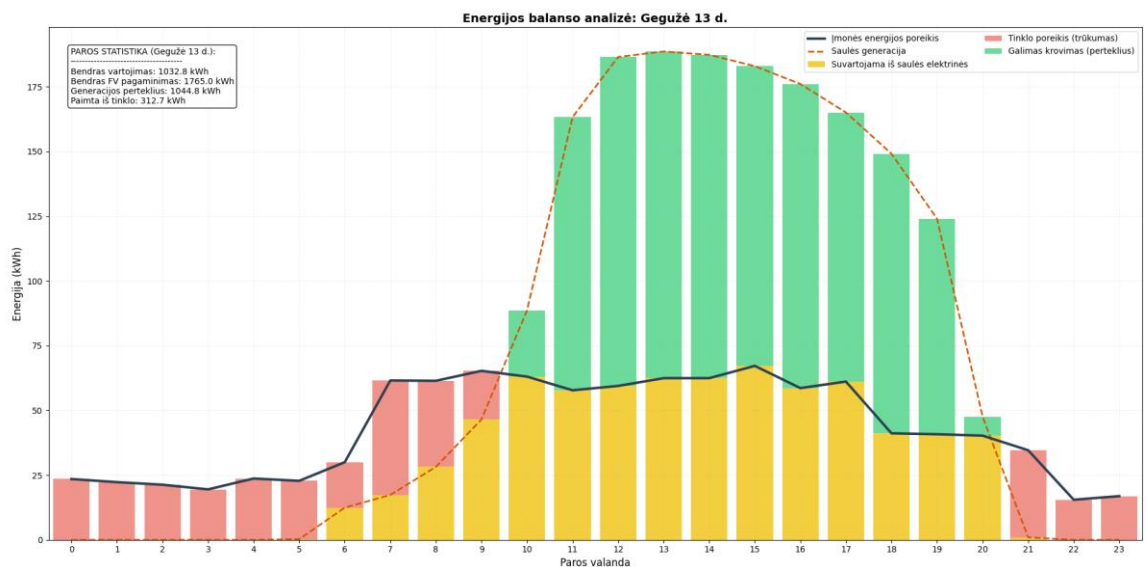


32 pav. Rugsėjo savaitės „B“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad parinkta 35 ° fiksuoto kampo 215 kW galios saulės elektrinė su 322,5 kWh talpos ir 200 kW galios EEK užtikrina 88,44 % įmonei reikalingos elektros energijos gėgužės – rugsėjo mėnesiais.

3.2.2. 215 kW saulės elektrinės su vienos ašies sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai

33 paveiksle pateikiamame grafike pavaizduota vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrinės generacija kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pavaizduotas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



33 pav. Gegužės 13 dienos „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine

Remiantis 33 paveikslu galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina didžiąją dalį elektros energijos poreikio darbo dienos metu, tačiau gautas bendras dienos trūkumas, kurį reikia padengti

naudojant EEK. 10 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 215 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 8 ir 10 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 215 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 68 % poreikio padengimą dviejų darbo pamainų įmonei.

10 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrine

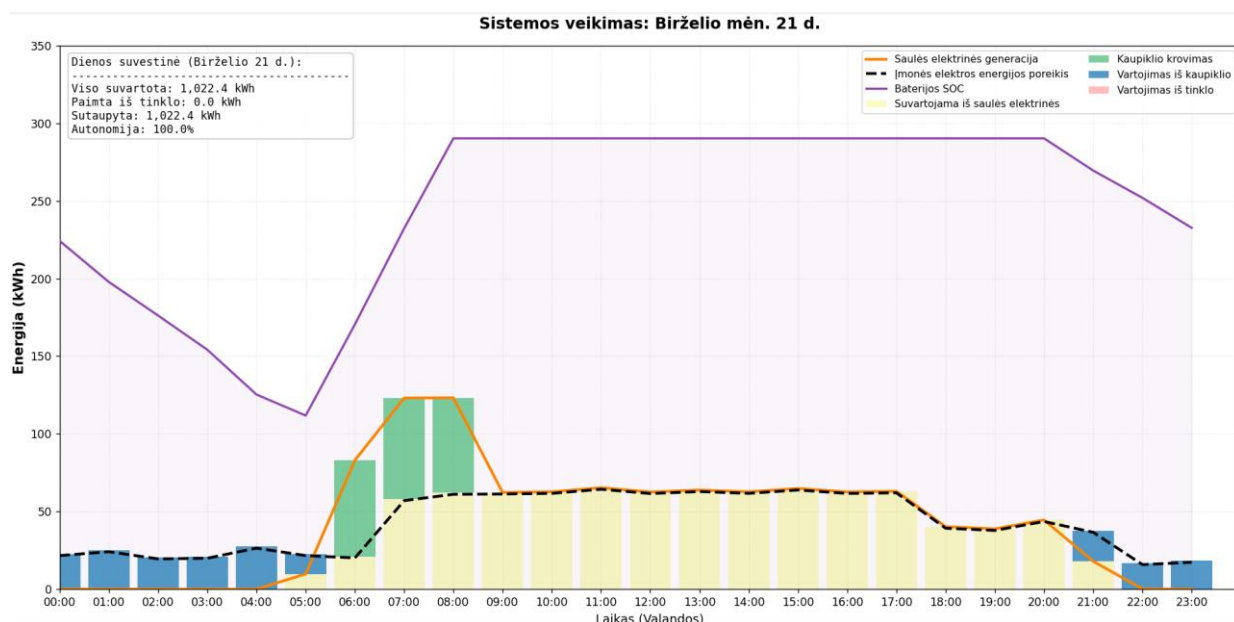
Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	579,9	603,5	445,6	442,4	279,5	241,6	310,5	268,7	312,9	453,8	547,1	578,0

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 282,6 kWh. Naudojame tuos pačius „HUAWEI LUNA2000“ serijos kaupimo įrenginius [40]. Taigi, remiantis 10 formule apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

$$C_{galutinė} = \frac{282,6}{0,985} = 286,9 \text{ kWh.}$$

Pagal gamintojo specifikacijose pateiktą galimų kaupiklių jungimų lentelę parenkama naudoti 290,3 kWh talpos ir 200 kW galios kaupimo sistema [40]. Tokiai sistemai gauti naudojami „LUNA2000-200KWH-2H1“ ir „LUNA2000-97KWH-1H1“ modelio kaupikliai, sujungti į vieną bendrą kaupimo sistemą.

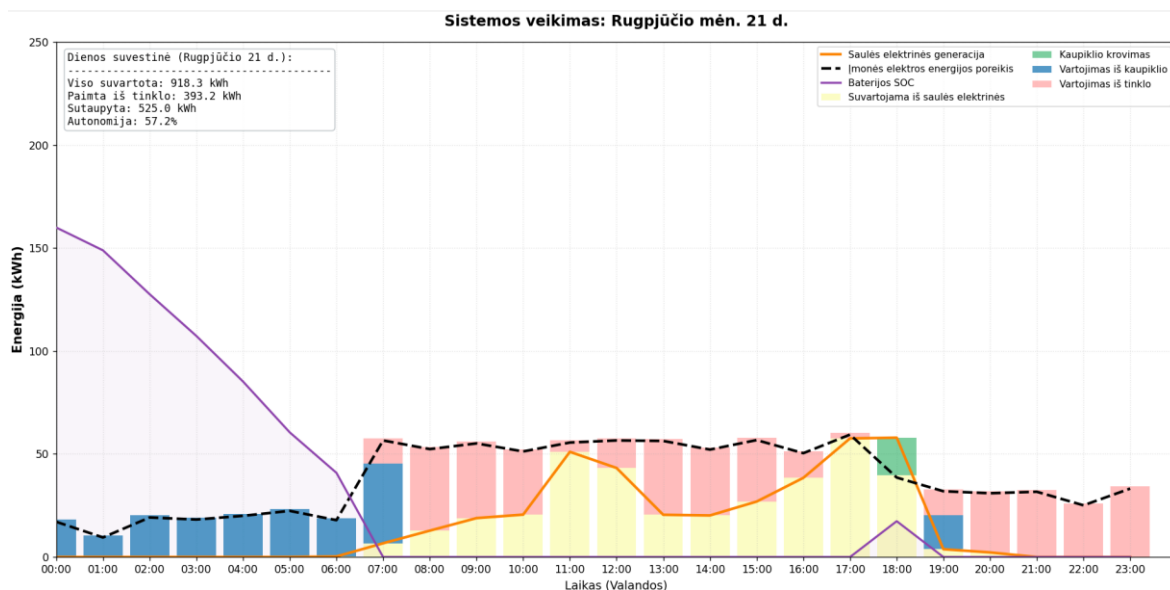
34 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur pasiektas visiškasis elektros energijos poreikio užtikrinimas iš sistemos dėl modeliuojamos saulės elektrinės momentinio apkrovos padengimo ir EEK likusios dalies energijos užtikrinimo.



34 pav. Birželio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

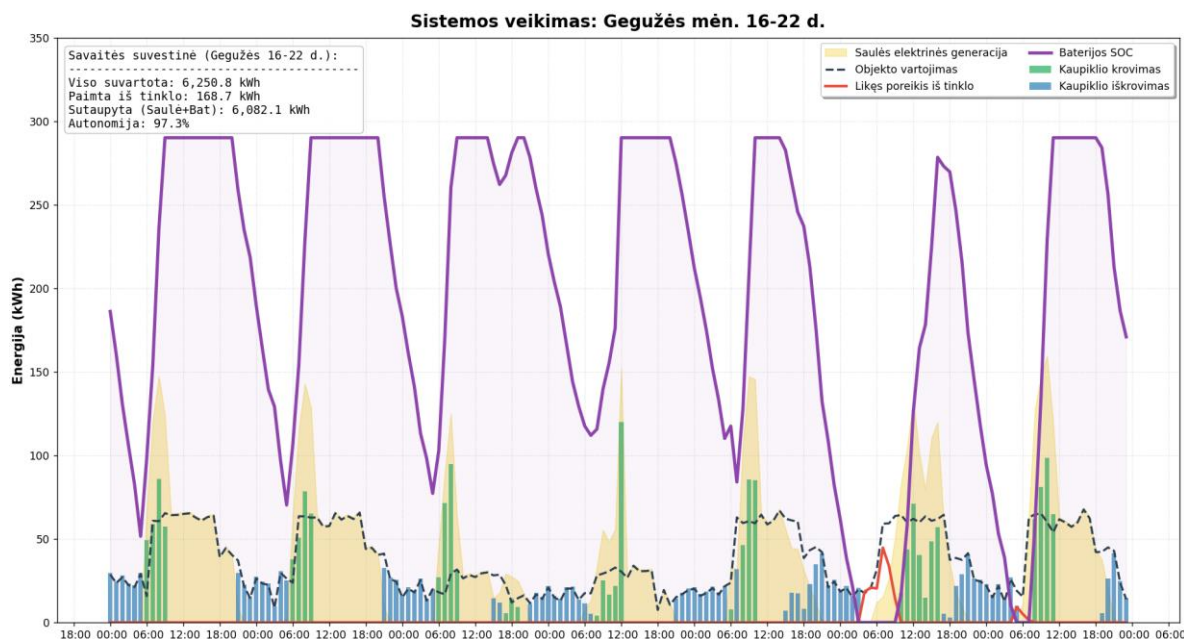
Kitokią situaciją galima matyti 35 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Rugsjūčio mėnesio 21 diena vyravo prastos oro sąlygos, kas lėmė, kad vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrinė geriausiu dienos momentu per valandą sugeneravo tik 60 kWh energijos ir to

neužteko net momentinei įmonės apkrovai padengti. Todėl EEK buvo pilnai iškrauti ir dėl mažos generacijos neįkrauti nakties apkrovai padengti. Bendras visos dienos poreikio padengimas siekė tik 57,2 %.



35 pav. Rugsjūčio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

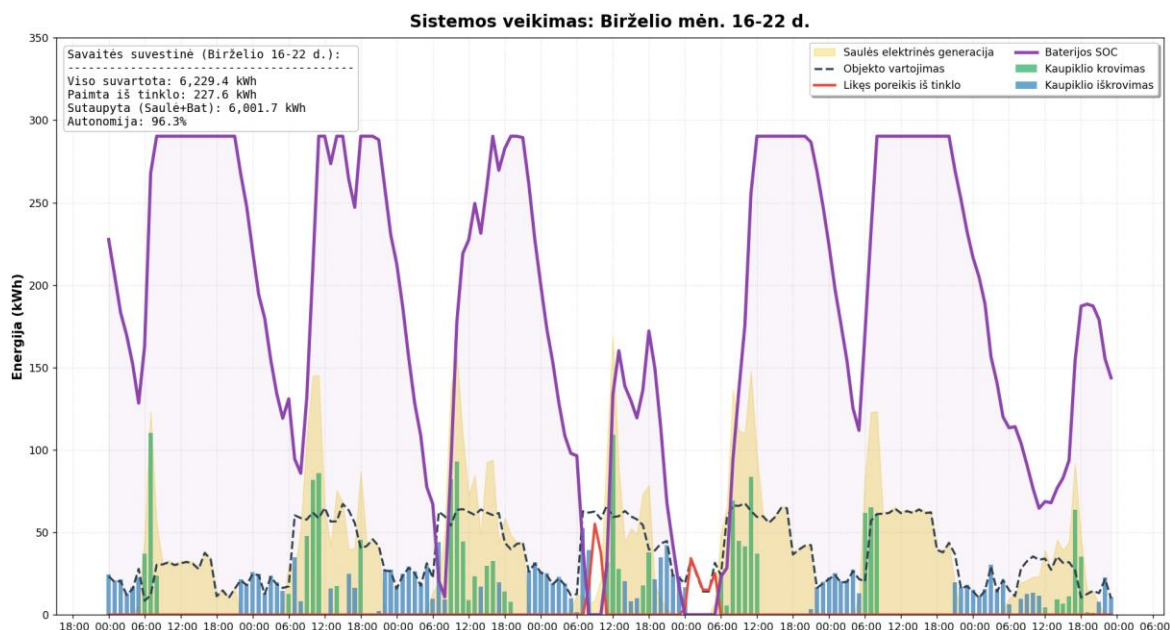
Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitinių rezultatų. 36 paveiksle pateikti gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad visą savaitę beveik pilnai padengė modeliuojama sistema, iš tinklo vartojama elektros energija buvo 21 ir 22 dienos rytais. Bendras savaitės elektros energijos užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos siekė 97,3 %.



36 pav. Gegužės savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

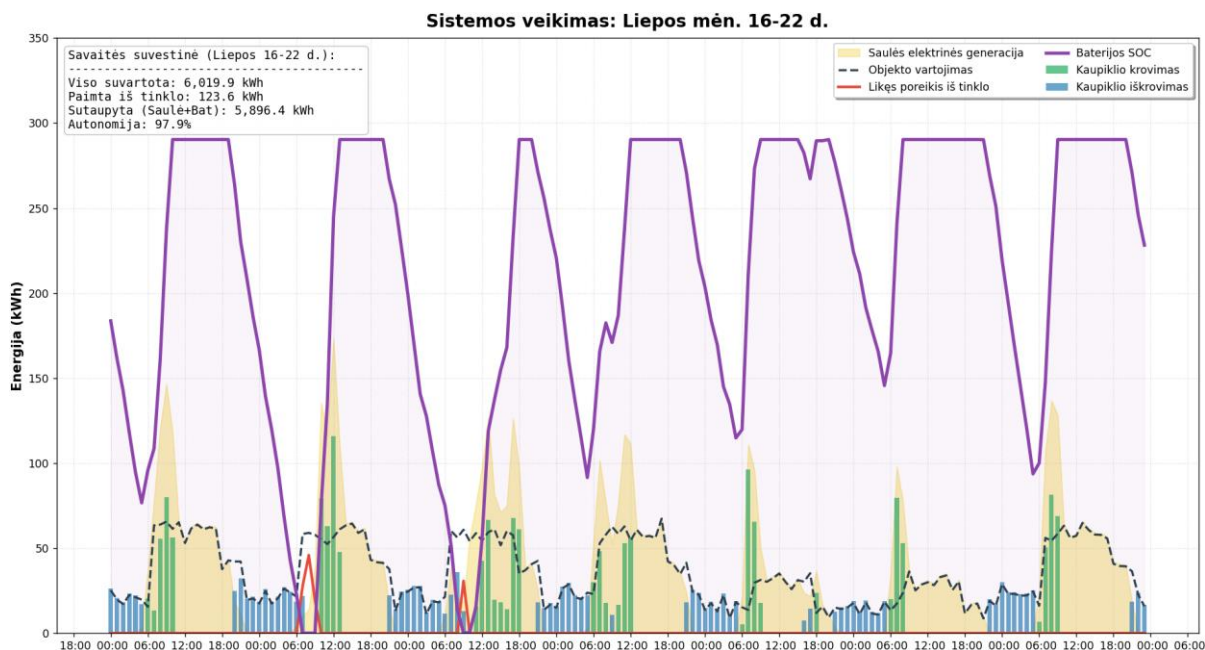
37 paveiksle pateikti birželio mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. 19 dieną apkrovos padengimas iš saulės elektrinės generacijos prasidėjo tik 11 valandą, kai kitomis dienomis generacija padengdavo apkrovą jau 7 – 8 valandą ryto. Taip pat saulės generacija trukdavo iki 21 valandos, o šiuo atveju jau

19 valandą dalis energijos buvo imama iš EEK, todėl neužteko sukauptos energijos nakties poreikiui užtikrinti ir 20 dienos rytą energija vėl buvo vartojama iš tinklo. Tačiau bendras savaitės elektros energijos poreikis iš modeliuojamos sistemos padengė 96,3 % viso suvartojimo.



37 pav. Birželio savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

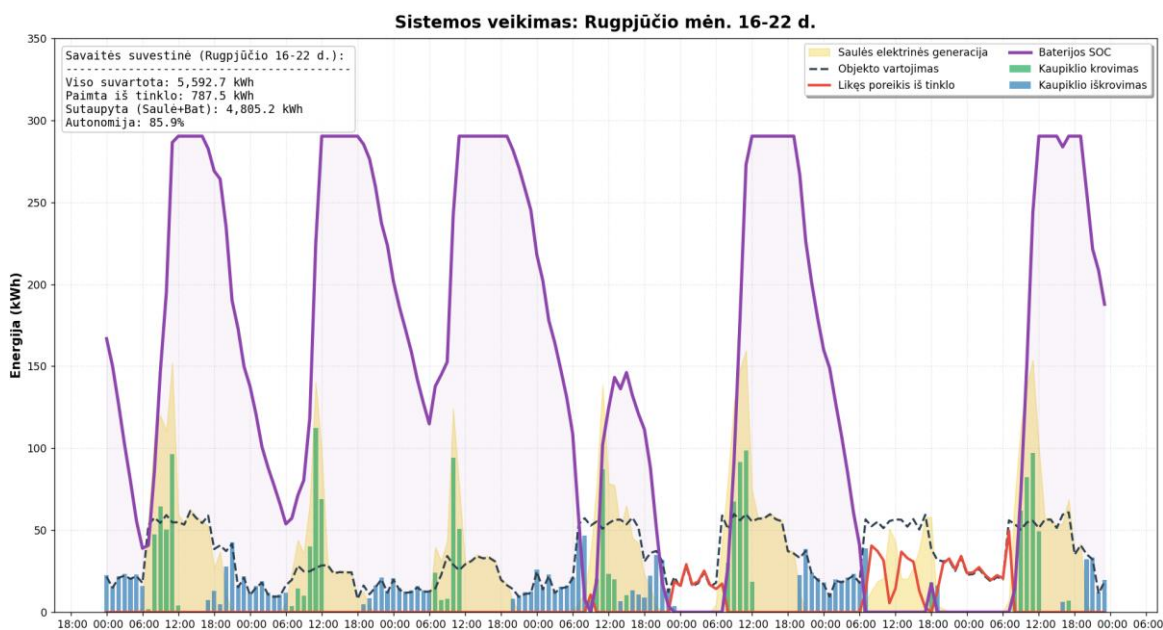
38 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Gauta, kad 17 ir 18 dienos rytais modeliujama sistema nepadengia poreikio, todėl trūkumas vartojamas iš tinklo. Bendrai modeliujama 215 kW galios vienos ašies saulės elektrinė su 290,3 kWh talpos EEK užtikrino 97,9 % bendro elektros energijos poreikio per savaitę.



38 pav. Liepos savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

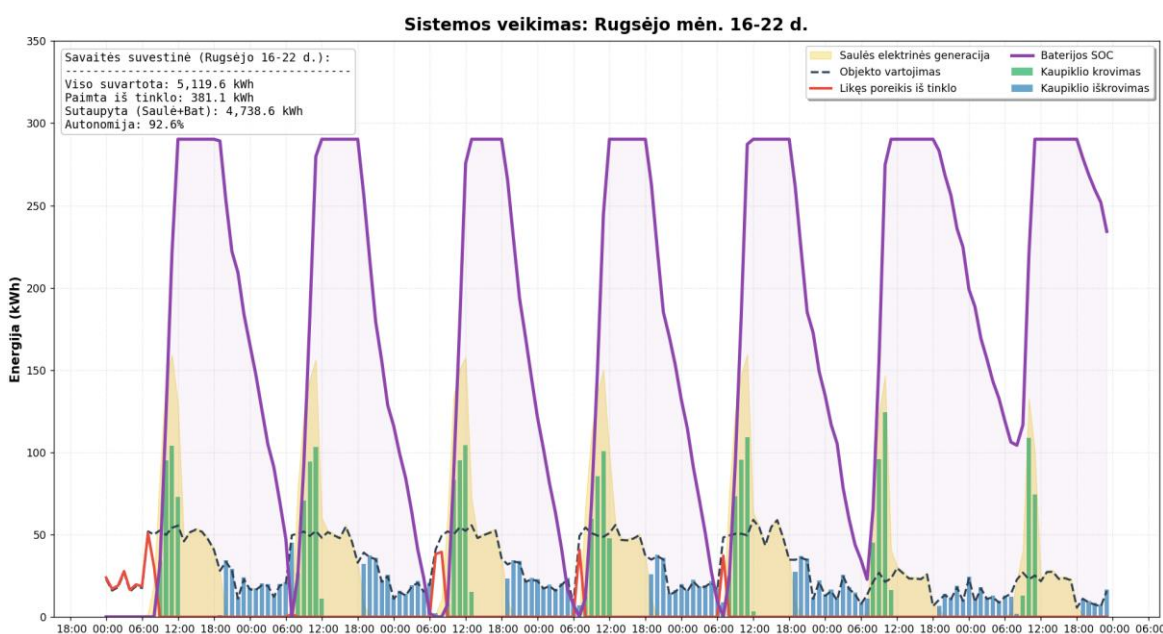
39 paveiksle gauti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai. Elektros energijos trūkumas gautas nuo 19 dienos vakaro iki 20 dienos ryto, kai 19 dieną saulės elektrinės generuojamos energijos užteko tik

apkrovai padengti, perteklinės energijos krovimui buvo tik 4 valandas per visą dieną, todėl EEK nebuvo pilnai pakrauti. O 21 dieną dėl prastos generacijos 215 kW galios saulės elektrinė nei vienu laiko tarpu nepadengė valandinės 60 kWh apkrovos. Iš viso sistema padengė 85,9 % viso reikalingo elektros energijos poreikio.



39 pav. Rugsjūčio savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

40 paveiksle gautas rugsėjo mėnesio savaitės rezultatas. Pagrindinis trūkumas matomas 16 dienos pirmoje pusėje, kai iš 15 dienos iškrauti kaupikliai negalėjo padengti reikiamo vartojimo. Taip pat minimalus poreikis fiksuojamas 18 – 20 dienų rytais, kadangi dėl sutrumpėjusio šviesaus dienos laiko sutrumpėjo saulės elektrinių generavimo trukmė. Tai lėmė, kad vakarais didesnė dalis buvo vartojama iš kaupiklių ir rytą elektros energijos trūkumas jau buvo padengiamas iš tinklo. Modeliuojama sistema užtikrino 92,6 % bendro įmonės suvartojamo elektros energijos poreikio.

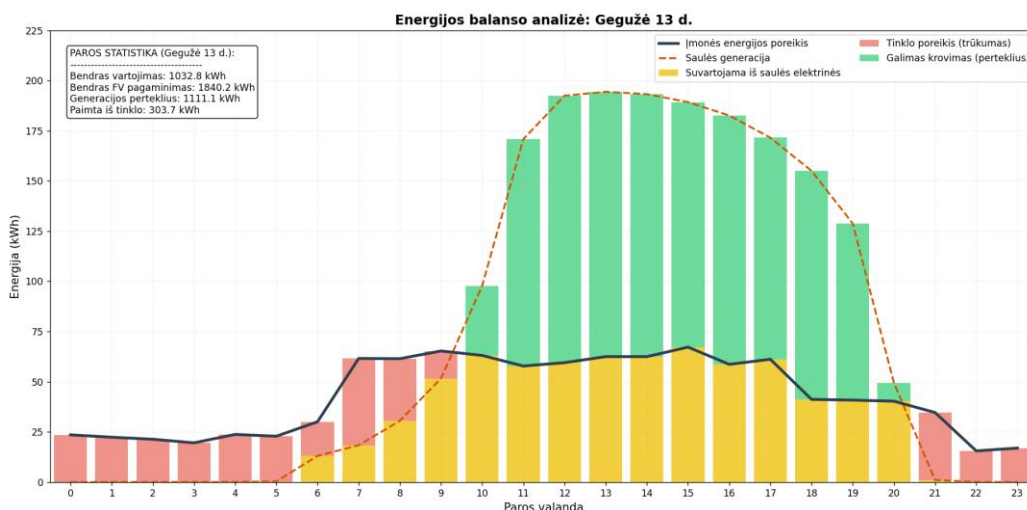


40 pav. Rugsėjo savaitės „B“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad vienos ašies 215 kW galios saulės elektrinė su 290,3 kWh talpos ir 200 kW galios EEK užtikrino įmonės energijos poreikio padengimą 89,68 % tiriamais gegužės – rugsėjo mėnesiais.

3.2.3. 215 kW saulės elektrinės su dviejų ašių sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai

41 paveiksle pateikiamame grafike pavaizduota 215 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinės generacija kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pavaizduotas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



41 pav. Gegužės 13 dienos „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine

Remiantis 41 paveikslu, galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina didžiąją dalį elektros energijos poreikio darbo dienos metu, tačiau gautas bendras dienos trūkumas, kurį reikia padengti naudojant EEK. 11 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 215 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 8 ir 11 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 215 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 69 % poreikio padengimą dviejų darbo pamainų įmonei.

11 lentelė. Įmonės „B“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su dviejų ašių sekimo 215 kW galios saulės elektrine

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	577,1	596,6	434,4	423	269,9	228,6	294,6	260,8	308,9	446,6	543,8	575,8

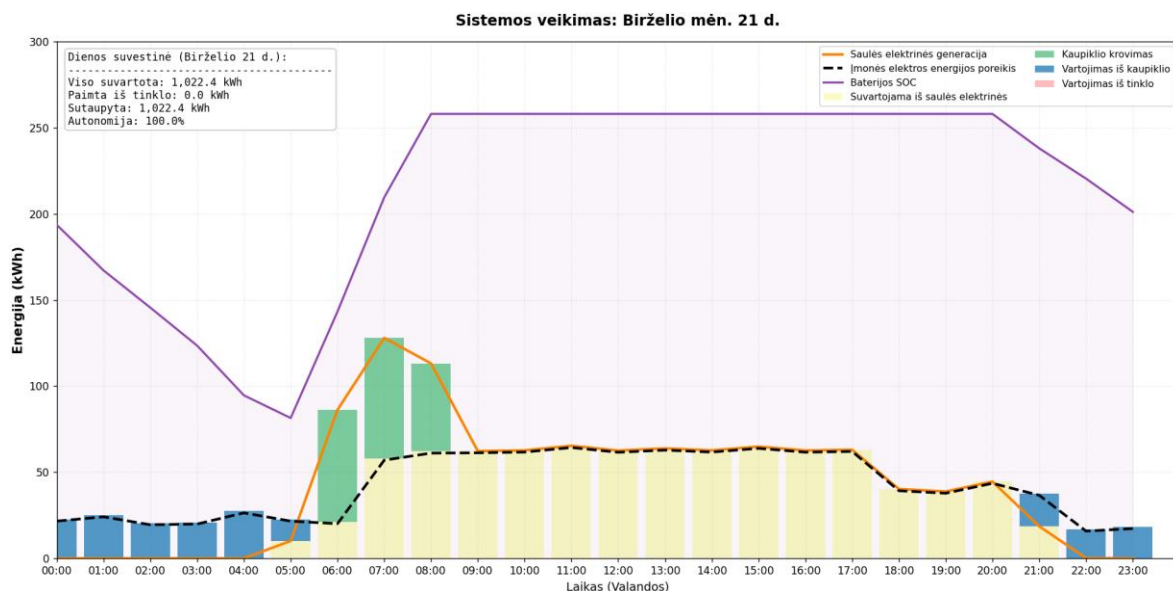
Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 272,6 kWh. Naudojami tie patys „HUAWEI LUNA2000“ serijos kaupimo įrenginiai [40]. Taigi, remiantis 10 formule, apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

$$C_{galutinė} = \frac{272,6}{0,985} = 276,8 \text{ kWh.}$$

Pagal gamintojo specifikacijose pateiktą galimų kaupiklių jungimų lentelę parenkama naudoti 258 kWh talpos ir 200 kW galios kaupimo sistema [40]. Nors pagal aukščiau atliktą skaičiavimą reikėtų

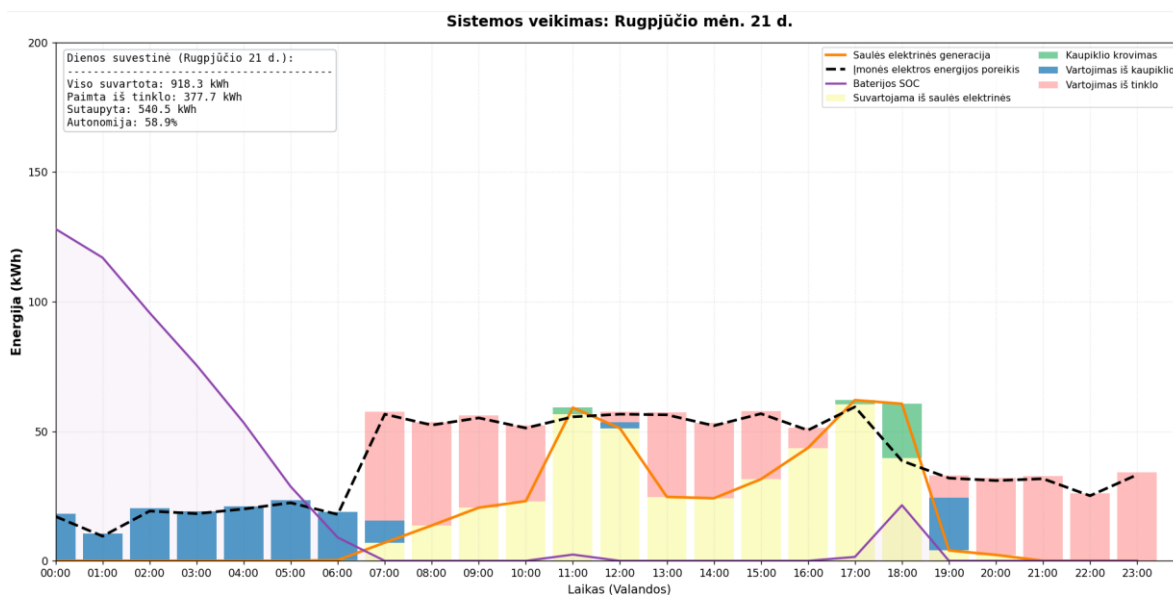
276,8 kWh talpos arba didesnio kaupiklio, pasirinkta naudoti mažesnę EEK sistemą siekiant įvertinti, ar dviejų ašių sekimo sistema užtikrins artimą energijos poreikio padengimą naudojant mažesnio dydžio EEK. Tokiai sistemai gauti naudojami 2 vienetai „LUNA2000-129KWH-2H1“ modelio kaupiklių sujungtų į vieną bendrą kaupimo sistemą.

42 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur pateiktas geriausios vasaros dienos rezultatas. Gauta, kad modeliuojama sistema pilnai susitvarkė su dienos apkrova, saulės elektrinė padengė 6 – 20 valandų poreikį pilnai, kartu pakraudama EEK nakties apkrovai užtikrinti.



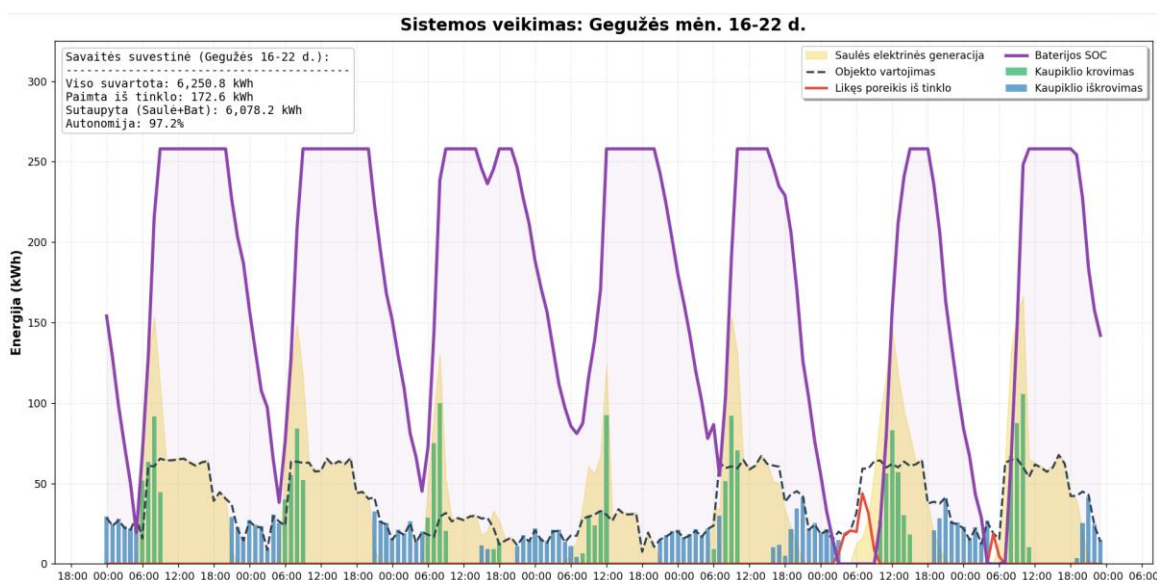
42 pav. Birželio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Kitokią situaciją galima matyti 43 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Modeliuojama dviejų ašių sekimo 215 kW galios saulės elektrinė reikalingą 60 kWh valandinę apkrovą padengė tik 3 valandas. Kitu laiku generacija buvo žema, papildomas energijos kiekis vartotas iš tinklo. Bendras energijos poreikio padengimas siekė 58,9 %.



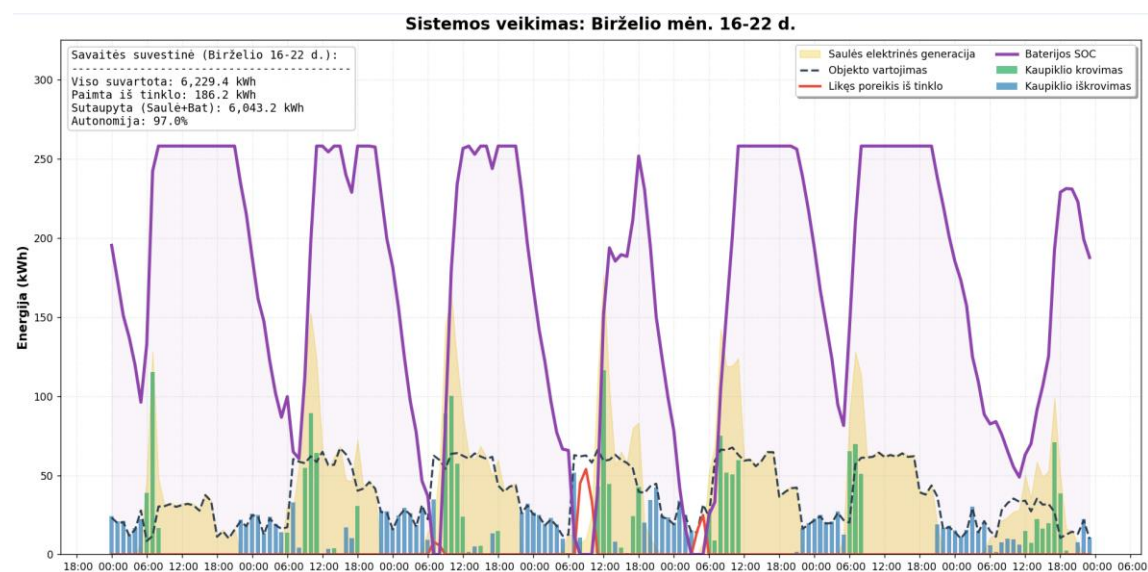
43 pav. Rugsjūčio 21 dienos „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitių rezultatai. 44 paveiksle pateikti gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad visą savaitę beveik pilnai padengė modeliuojama sistema, iš tinklo vartojama elektros energija buvo 21 ir 22 dienų rytais. 20 dieną nuo 16 valandos neužteko 215 kW galios saulės elektrinės generuojamos energijos 60 kWh apkrovai padengti, todėl anksčiau pradėti iškrauti EEK ir atsirado trūkumas 21 dienos rytą. Bendras savaitės elektros energijos užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos siekė 97,2 %.



44 pav. Gegužės savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

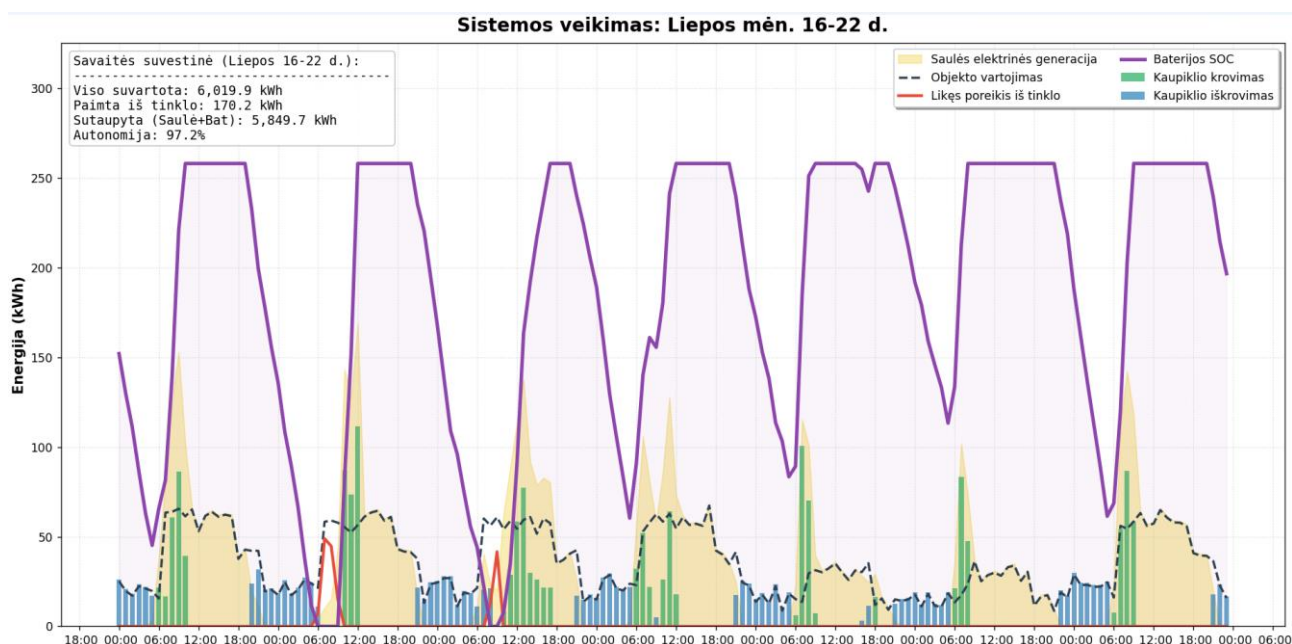
45 paveiksle pateikti birželio mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauti trys rytai, kada elektros energijos neužteko iš modeliuojamos sistemos dėl trumpesnio generacijos laiko, vakarais vyraujant prastesnėms orų sąlygoms. Tačiau bendras savaitės elektros energijos poreikio padengimas iš modeliuojamos sistemos siekė 97 %.



45 pav. Birželio savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

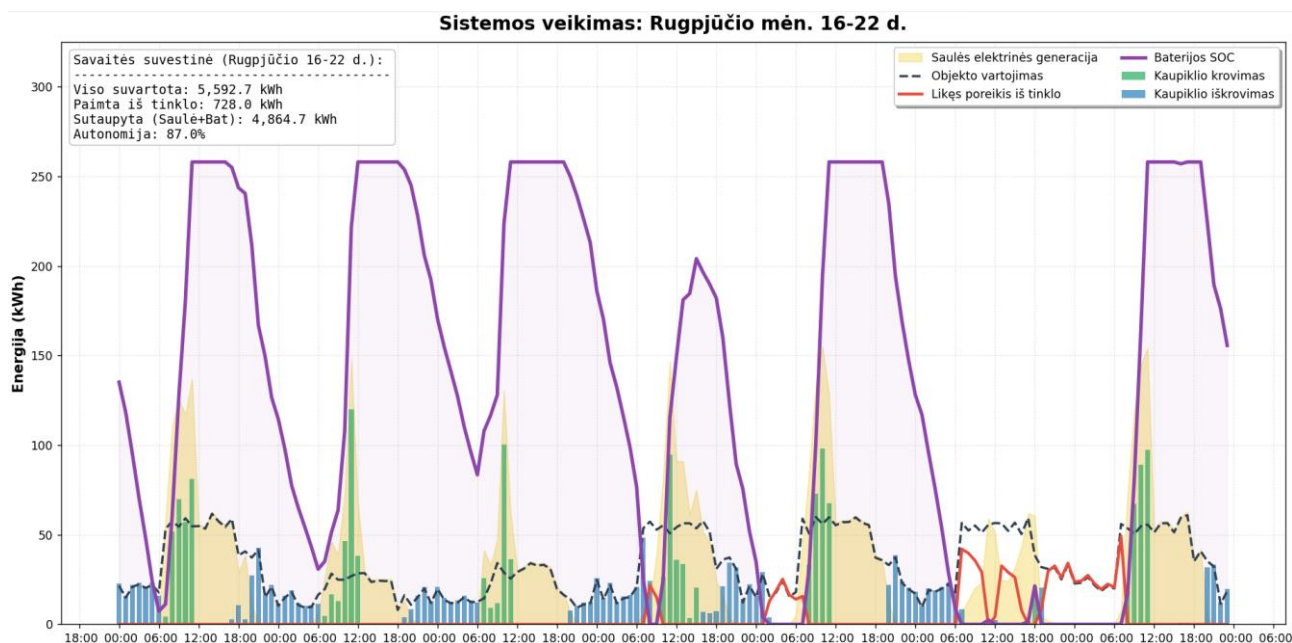
46 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Galima pastebėti, kad sistema, esant geroms oro sąlygoms užtikrina visišką dienos poreikio kompensavimą, tačiau 17 ir 18 dienos rytais gaunamas

trūkumas dėl vakarais keliomis valandomis sutrumpėjusio generacijos laiko. Sistema padengė 97,2 % bendro savaitės elektros energijos poreikio.



46 pav. Liepos savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

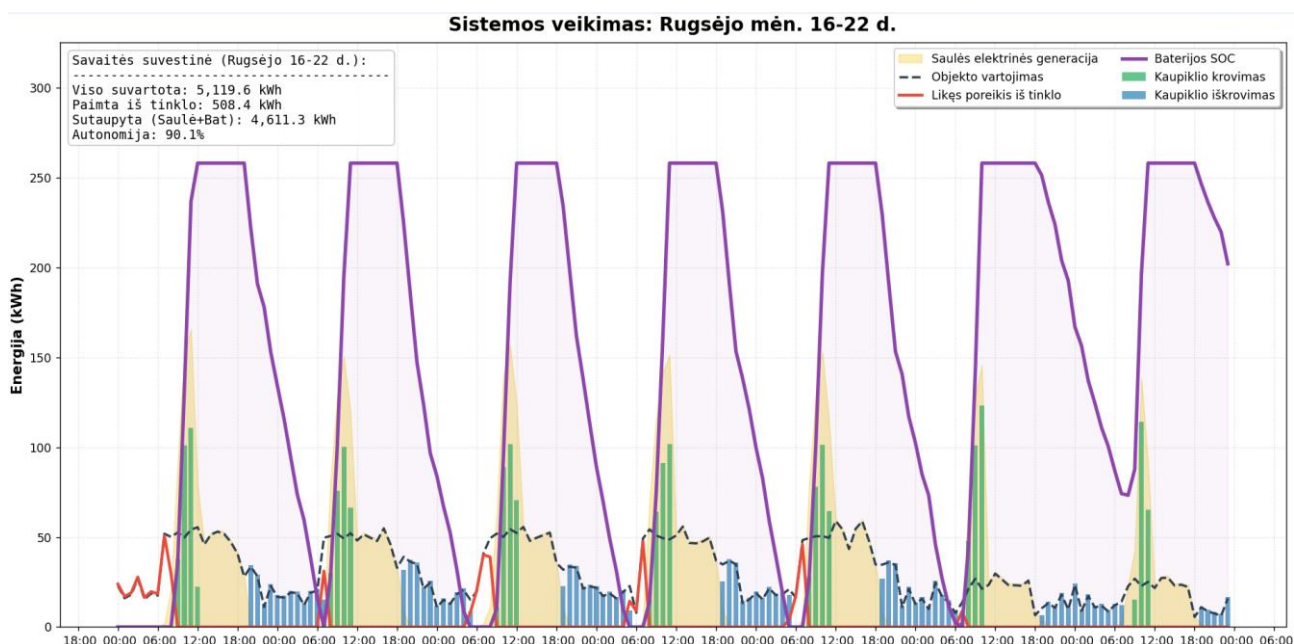
47 paveiksle gauti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai, kuriuose kaip ir ankstesniais atvejais, gautas prastesnės savaitės rezultatas dėl vyraujančių kelių dienų esant prastoms orų sąlygoms, kas lemia mažesnę kiekį saulės elektrinės generuojamos energijos.



47 pav. Rugpjūčio savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

48 paveiksle pavaizduoti rugsėjo mėnesio savaitės rezultatai. Dėl trumpėjančio šviesaus paros meto ir prastesnių oro sąlygų rudenį gauta, kad beveik kiekvienos dienos rytą elektros energija naudojama

iš tinklo. Tačiau bendras savaitės rezultate parodo, kad modeliuojama sistema užtikrina 90,1 % elektros energijos poreikio.



48 pav. Rugsėjo savaitės „B“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad dviejų ašių sekimo 215 kW galios saulės elektrinė su 258 kWh talpos ir 200 kW galios EEK užtikrino įmonės apkrovos poreikio padengimą 90,2 % pasirinktais gegužės – rugsėjo mėnesiais (žr. 5 priedą).

3.2.4. „B“ įmonės gautų rezultatų apibendrinimas

Atlikti dviejų darbo pamainų įmonės trys modeliavimo scenarijai elektros energijos vartojimo poreikiui padengti. Modeliuotos 3 sistemos:

- antžeminė 215 kW fiksuoto kampo saulės elektrinė su 322,5 kWh EEK;
- antžeminė 215 kW vienos ašies sekimo saulės elektrinė su 290,3 kWh EEK;
- antžeminė 215 kW dviejų ašių sekimo saulės elektrinė su 258 kWh EEK.

Visi trys modeliuoti scenarijai užtikrino artimus rezultatus, tačiau geriausius bendrus metinius rezultatus pavyko pasiekti naudojant 3 scenarijų. Toliau, 12 lentelėje, pateikta kiekvieno mėnesio bendra modeliuojamos sistemos patiekta elektros energijos dalis, lyginant su apkrova, procentine išraiška.

12 lentelė. Modeliuotų skirtingų sistemų pritaikytų „B“ įmonės apkrovai rezultatai

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1 sistema (%)	21,6	20,5	56,9	65,1	90,6	92,7	84,9	90,3	83,7	47,5	16,7	9,0
2 sistema (%)	26,2	22,3	59,5	65,8	92,5	94,5	84,3	91,6	85,5	49,3	19,8	12,0
3 sistema (%)	26,0	23,2	61,4	67,6	92,5	95,7	86,6	91,6	84,6	49,2	20,1	12,4

Modeliuojant vienos ašies 215 kW galios saulės elektrinę, naudoti 290,3 kWh talpos kaupikliai, o dviejų ašių 215 kW galios saulės elektrinę – 258 kWh. Lyginant su tokios pačios galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrine, naudojant 322,5 kWh talpos kaupiklius, gauta, kad vienos ašies sekimo

sistema leido sumažinti kaupiklio dydį 32,2 kWh, kas yra 9,98 %, o dviejų ašių sistema atitinkamai – 64,5 kWh, kas yra 20 % talpos sumažėjimas. Bendras metinis elektros energijos poreikio padengimas iš modeliuojamų sistemų didėjo, pirmosios sistemos siekė 56,63 %, antrosios – 58,61 % ir trečiosios – 59,24 %, prie to labiausiai prisidėjo pavasario ir rudens laikotarpis, kada saulės elektrinės su sekimo sistemomis turėjo ilgesnį generacijos laikotarpį. Pasirinktų gegužės – rugsėjo mėnesių elektros energijos poreikio įmonei padengimas taip pat didėjo, nors kaupiklio talpa parinkta kiekvienam scenarijui mažesnė. Fiksuoto kampo 215 kW galios saulės elektrinės su 322,5 kWh talpos EEK sistemos apkrovos padengimas per pasirinktus gegužės – rugsėjo mėnesius gautas 88,84 %, kai vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrinė su 290,3 kWh EEK užtikrino 89,68 %, o dviejų ašių tokios pačios galios saulės elektrinė su 258 kWh talpos EEK padengė 90,2 %. Galima matyti, kad sekimo sistemos užtikrino ir tiriamų mėnesių geresnius rezultatus, sumažinus EEK dydį. Vienos ašies sekimo saulės elektrinės su EEK sistemos modeliavimo atveju padengimas padidėjo 1,24 %, o dviejų ašių sekimo saulės elektrinės su EEK padidėjo 1,76 %, lyginant su fiksuoto kampo saulės elektrinės su EEK sistema, nors kaupiklių talpa sumažinta atitinkamai 9,98 % ir 20 %. Gauti rezultatai leidžia teigti, kad saulės sekimo sistemos leidžia užtikrinti mažesnio kaupiklio dydį dviejų paminėtų įmonei pasirinktu laikotarpiu, o, vertinant visų metų rezultatus, net pagerinti bendrą elektros energijos poreikio padengimo situaciją.

3.3. „C“ įmonės modeliavimo pradiniai duomenys

Kaip aprašyta sistemos matematinio modelio dalyje, įmonei „C“ apskaičiuojama saulės elektrinės galia pagal vidutinį elektros energijos suvartojimą per dieną. Tokios galios saulės elektrinė bus naudojama visiems 3 scenarijams „C“ įmonės, dirbančios visos paros darbo grafiku, tyrimui atlikti. Pagal turimą apkrovos duomenų failą apskaičiuotas vidutinės mėnesio dienos elektros energijos poreikis, rezultatai pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis kiekvieną mėnesį

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	1556	1564	1560	1561	1560	1555	1559	1556	1558	1557	1562	1562

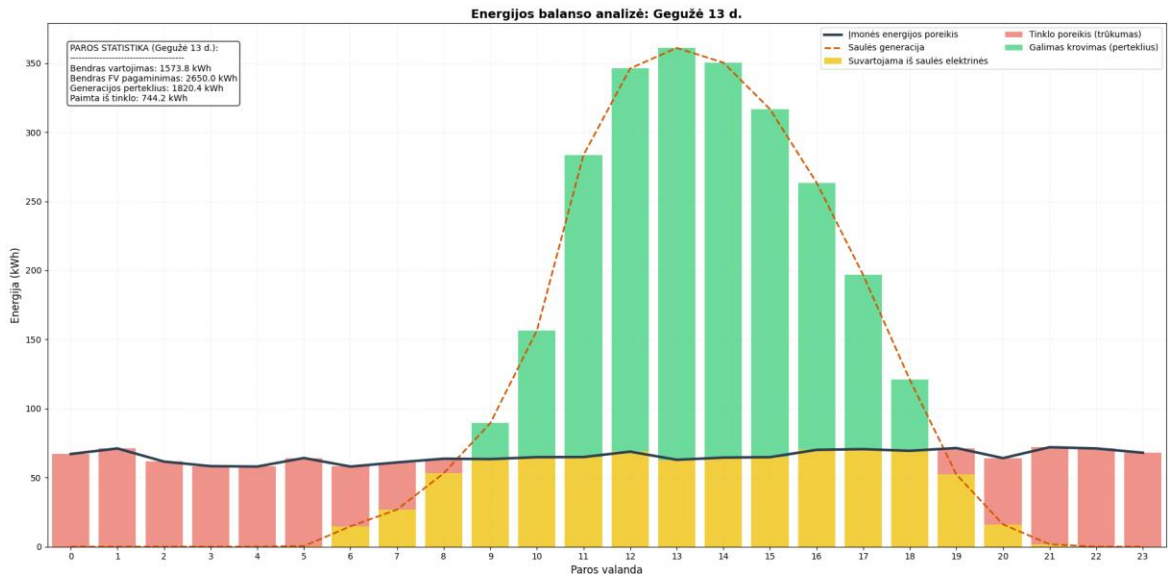
Apskaičiavus visų metų vidutinį elektros energijos poreikį gauta, kad vidutiniškai per dieną įmonei reikalinga 1559 kWh elektros energijos. Taigi, naudojantis matematinio modelio dalyje pateikta 4 formule, apskaičiuojama reikiama saulės elektrinės galia:

$$P_{PV}=1559/4=390 \text{ kW.}$$

Saulės elektrinei pasirinkti naudoti „Trina Solar VERTEX S+ NEG9R.28 430W“ (žr. 1 priedą) FV moduliai [38]. Reikalingas modulių skaičius $390000/430=907$ vnt., tačiau bendrai sistemai numatomi naudoti 910 vnt. modulių, kurių suminė galia 391,3 kW. Tokios galios elektrinė bus naudojama trims įmonės „C“ modeliavimo tyrimams atlikti.

3.3.1. Fiksuoto 35 ° kampo 391,3 kW antžeminės saulės elektrinės su EEK modeliavimo rezultatai

49 paveiksle pateikiamame grafike pavaizduota parinktos saulės elektrinės generacija kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pateiktas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



49 pav. Gegužės 13 dienos „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine

Remiantis 49 paveikslu, galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina elektros energijos poreikio padengimą nuo 9 iki 18 valandos, kitu metu gautas trūkumas. Pagal tai reikia įvertinti EEK dydį, kad padengti likusią dienos dalį. 14 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 391,3 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 13 ir 14 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 391,3 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė užtikrina vidutiniškai 48 % poreikio padengimą trijų darbo pamainų įmonei.

14 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su fiksuoto kampo 391,3 kW galios saulės elektrine

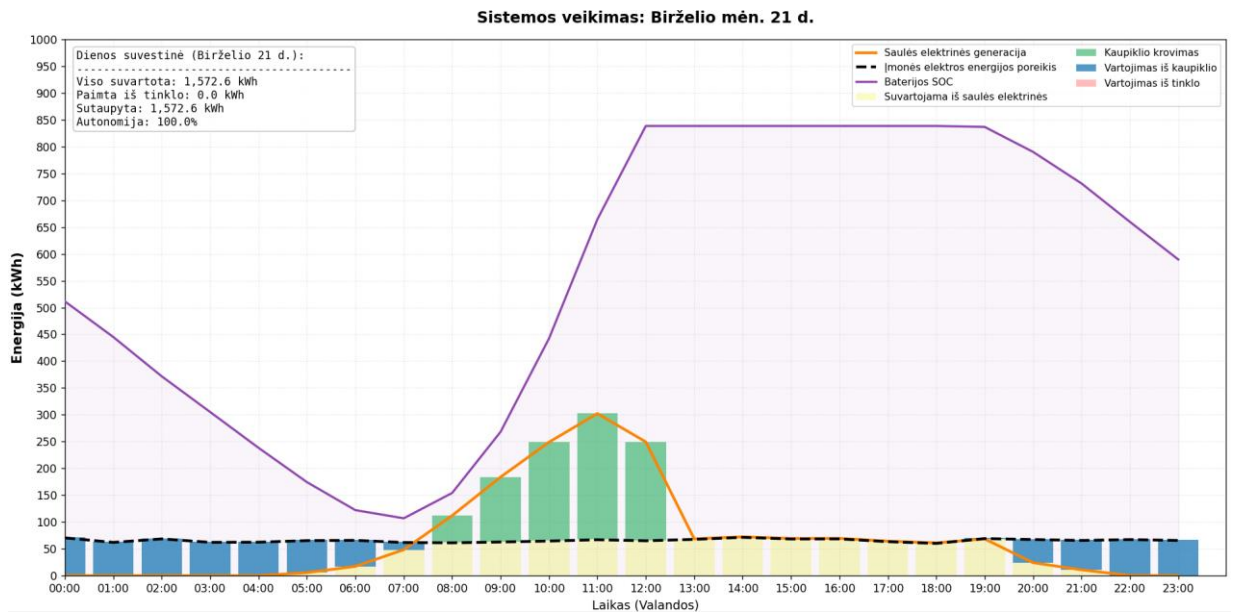
Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	1350	1301	1009	916	760	723	786	811	937	1144	1378	1437

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 803 kWh. Šiai įmonei pasirinkta naudoti „HUAWEI LUNA2000“ serijos kaupimo sistemą [40]. Gamintojas pateikia realią kaupiklių talpą, kurią pilnai galima naudoti, nes minimalus iškrovos ir maksimalus įkrovos lygiai valdomi integruoto baterijos valdymo modulio. Taigi, remiantis 10 formule, apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

$$C_{galutinė} = \frac{803}{0,985} = 815 \text{ kWh.}$$

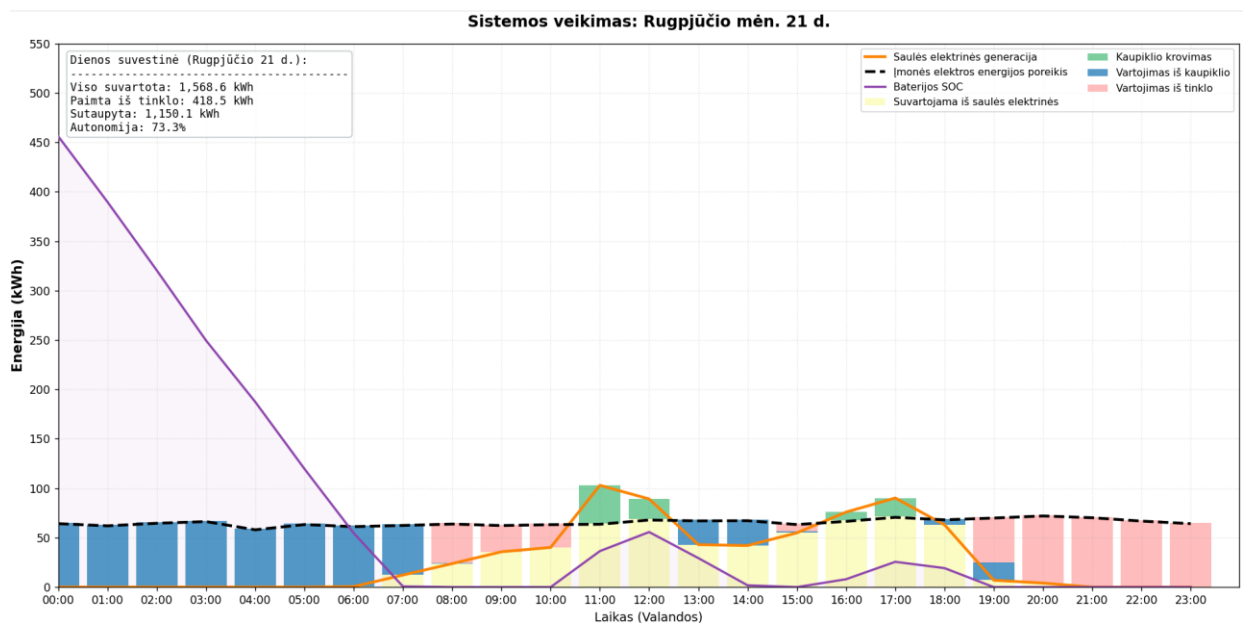
Pagal gamintojo specifikacijose pateiktą galimų kaupiklių jungimų lentelę (žr. 3 priedą) parenkama naudoti 838,5 kWh talpos ir 500 kW galios kaupimo sistema [40].

50 paveiksle pateiktas birželio mėnesio 21 dienos grafikas, kur pasiektas visiškai įmonei reikalingos elektros energijos užtikrinimas. Rezultatai pasiekti saulės elektrinė padengė 8 – 19 valandų apkrovą iš momentinės generacijos, taip pat tuo metu pakrauti EEK naktiniam poreikiui kompensuoti.



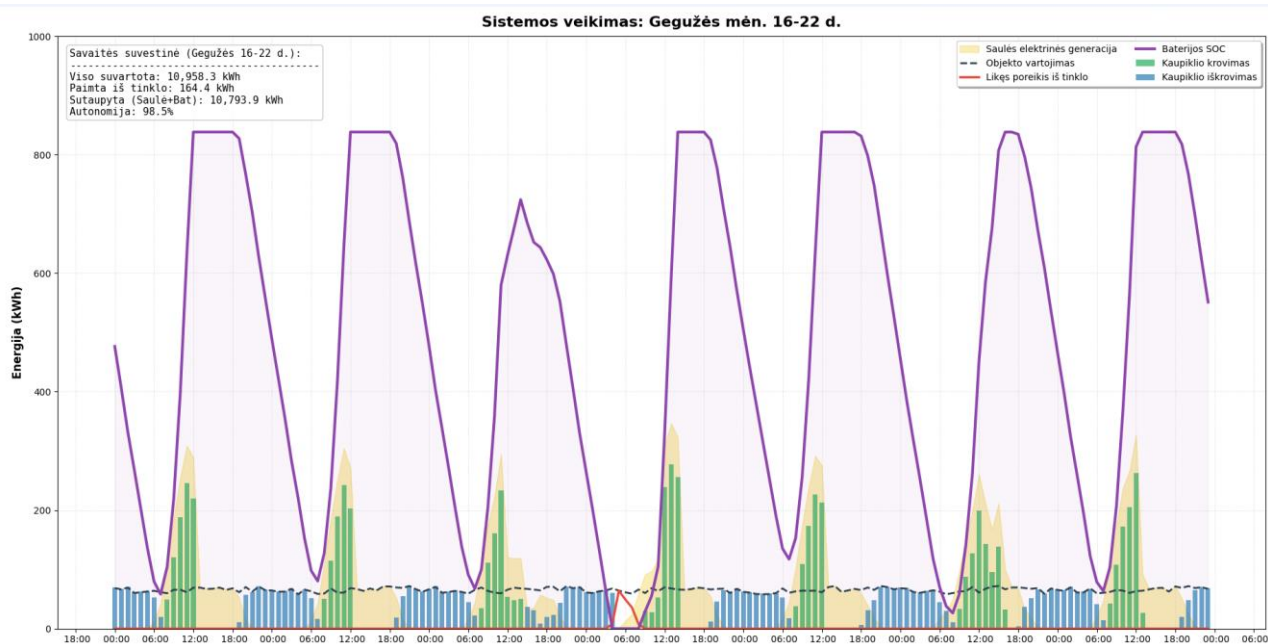
50 pav. Birželio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Kitokią situaciją galima matyti 51 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Rugsjūčio mėnesio 21 dieną vyravo prastos oro sąlygos, kas lėmė mažą saulės elektrinės generaciją ir greitą kaupiklio iškrovimą. 391,3 kW galios saulės elektrinė tik vieną valandą sugeneravo 100 kWh energijos, o visą likusią dieną generacija buvo dar mažesnė, ne visada padengianti 60 kWh apkrovą. Prasta generacija neleido užtikrinti ir EEK krovimo, todėl vakaro apkrovos dalis buvo pilnai kompensuojama iš tinklo. Bendras visos dienos poreikio padengimas siekė 73,3 %.



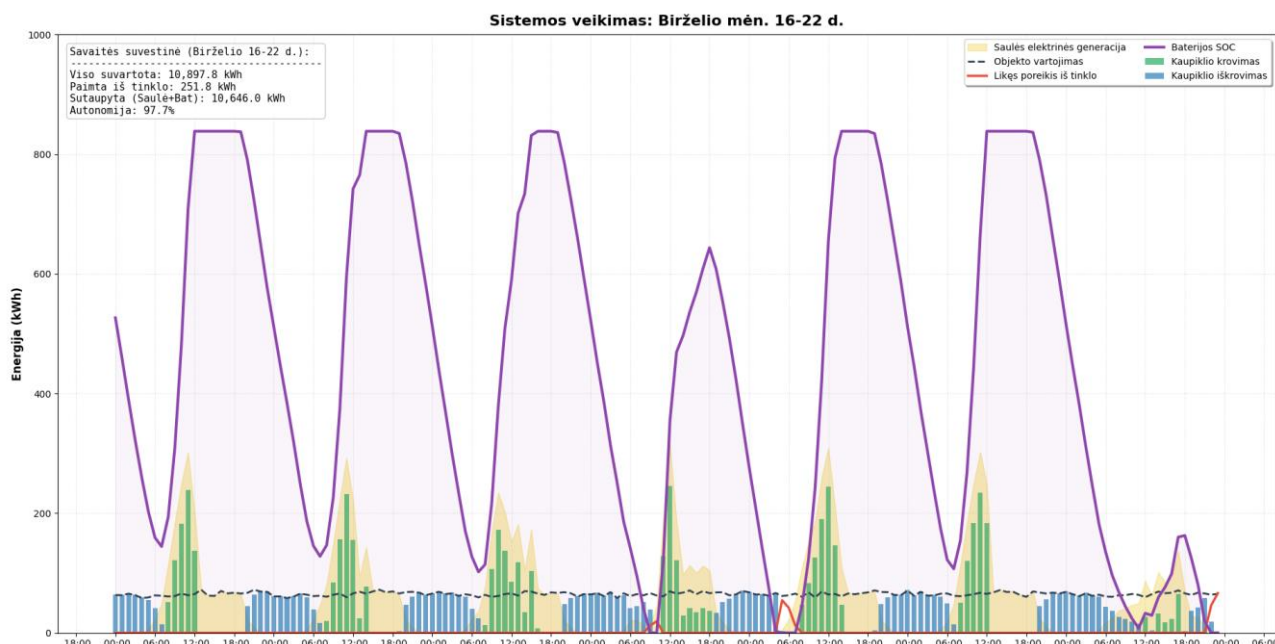
51 pav. Rugsjūčio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitės rezultatai. 52 paveiksle pateiktame gegužės mėnesio savaitės grafike gauta, kad visą savaitę beveik pilnai padengė modeliuojama sistema, tik 19 dienos rytą trūko sukauptos elektros energijos, nes 18 dieną vyravo prastesni orai ir kaupiklis nebuvo pilnai pakrautas. Bendras savaitės rezultatas siekė 98,5 % viso energijos poreikio užtikrinimo.



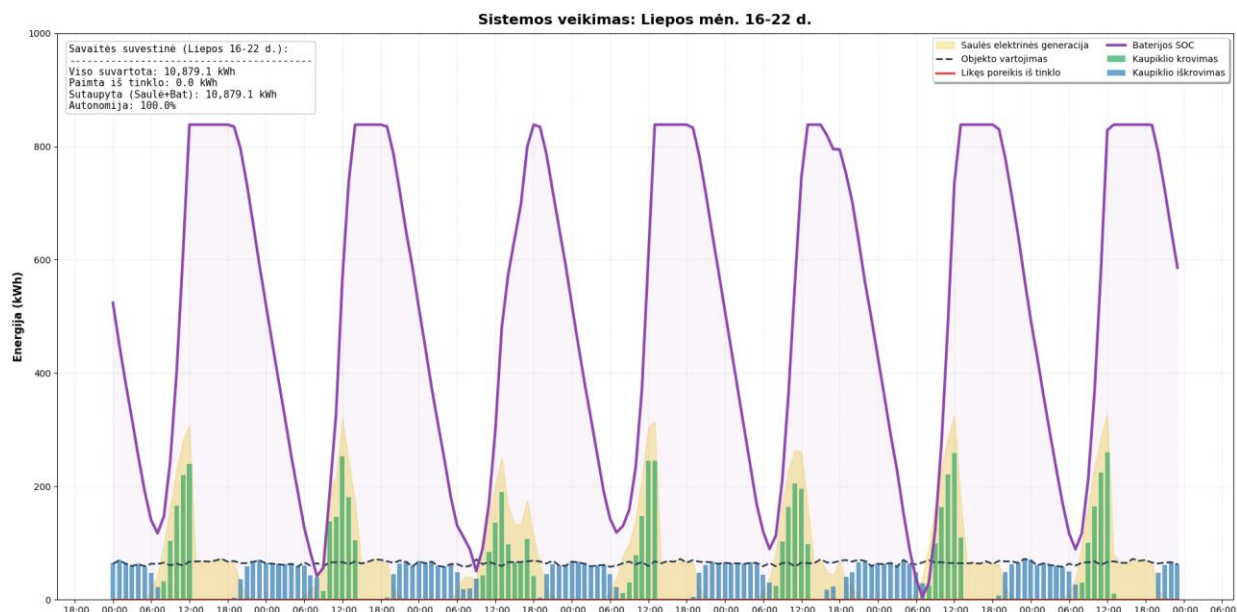
52 pav. Gegužės savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

53 paveiksle pateikiami birželio mėnesio savaitės rezultatai. Galima matyti, kad kai oro sąlygos užtikrina pilną dienos generavimo laiką, modeliuojama sistema pilnai susitvarko su apkrova, tačiau jei vakare anksčiau sumažėja generuojamos energijos kiekis iš saulės elektrinės, kitos dienos rytą atsiranda poreikis elektros energiją naudoti iš tinklo. Bendrai modeliuojamai birželio savaitei sistema padengė 97,7 % reikalingos elektros energijos.



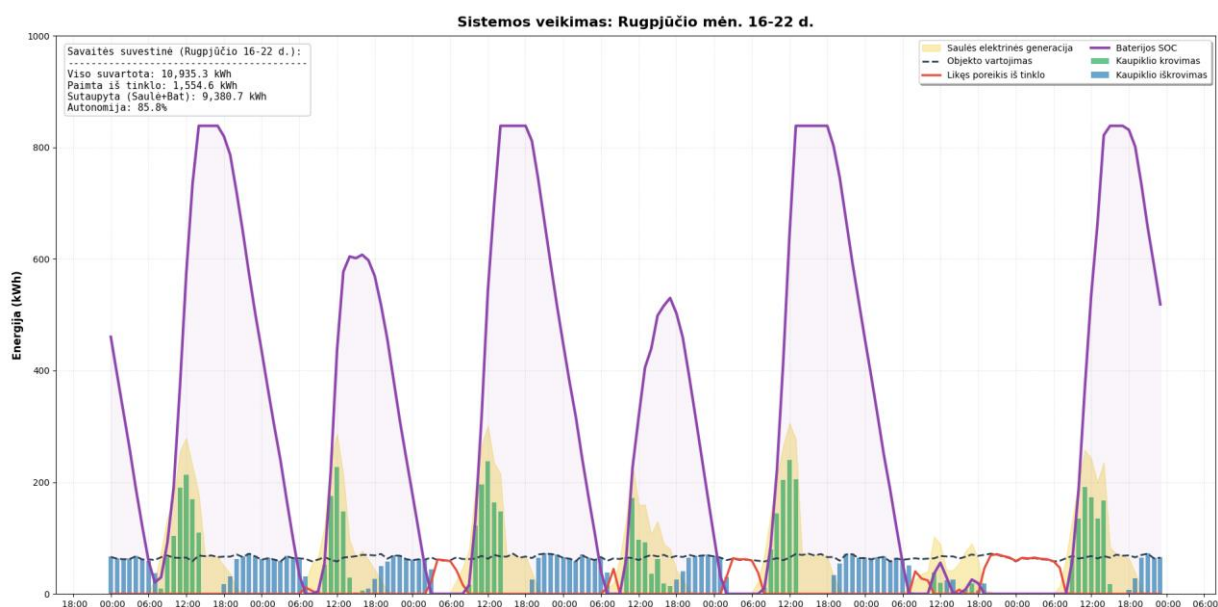
53 pav. Birželio savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

54 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Gauta, kad sistema 100 % padengė reikalingą įmonės apkrovą, iš viso per savaitę užtikrino 10879,1 kWh energijos.



54 pav. Liepos savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

55 paveiksle pateikta rugpjūčio mėnesio savaitė, kai gauti prasčiausi sistemos veikimo rezultatai. Kaip galima matyti iš grafiko, vyravo prastos oro sąlygos, kas lėmė, kad 391,3 kW galios saulės elektrinė 21 dieną negalėjo pilnai padengti valandinės 60 kWh apkrovos dieną. 18 ir 20 dienomis matomas energijos poreikio vartojimas iš tinklo pirmoje paros pusėje. Taip įvyko todėl, kad 17 ir 19 dienomis generacijos iš saulės elektrinės neužteko tiek apkrovai padengti, tiek pilnai pakrauti turimą EEK. Bendrai sistema padengė 85,8 % įmonės elektros energijos poreikio.



55 pav. Rugpjūčio savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

56 paveiksle pateikti rugsėjo mėnesio savaitės rezultatai, kur gauta, kad kiekvieną rytą atsirado minimalus poreikis vartoti energiją iš tinklo. Taip įvyko dėl trumpesnio dienos laiko, dėl ko saulės elektrinės generacijos laikas sutrumpėja, anksčiau reikalinga vartoti energija iš kaupiklių ir jos nepakanka visos paros apkrovai padengti.

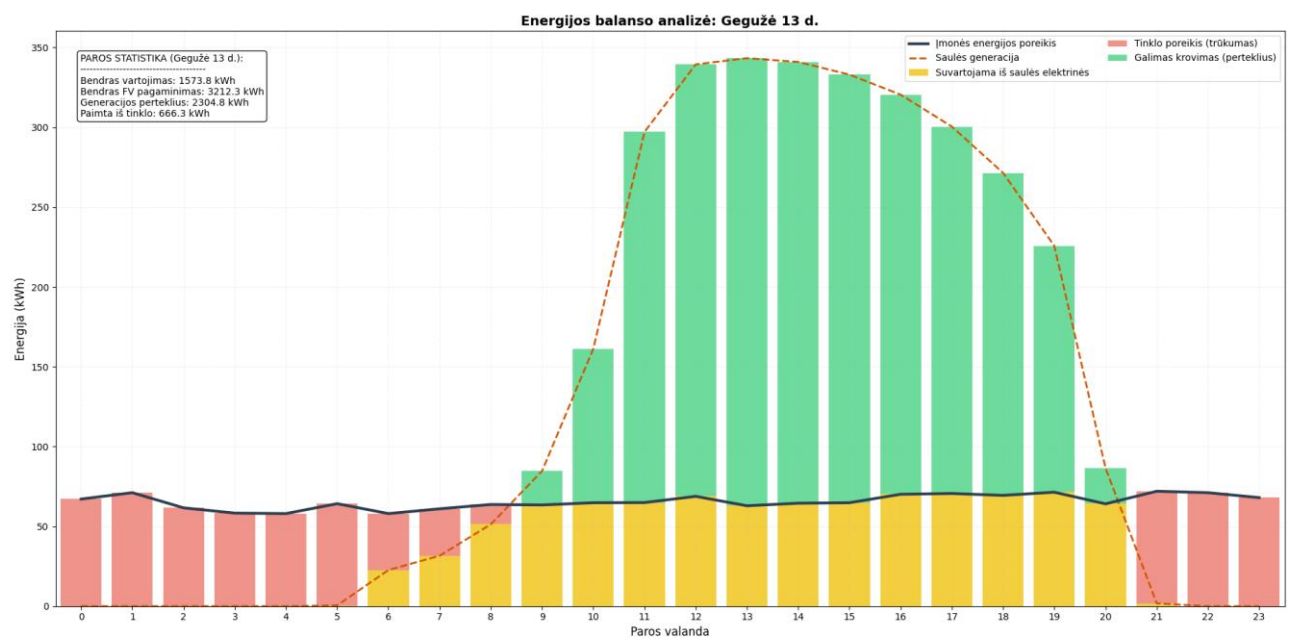


56 pav. Rugsėjo savaitės „C“ įmonės rezultatai su fiksuoto kampo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad parinkta 35 ° fiksuoto kampo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 838,5 kWh talpos ir 500 kW galios EEK užtikrino 90,24 % reikalingos elektros energijos gegužės – rugsėjo mėnesiais 3 paminėtų visą parą veikiančiai įmonei.

3.3.2. 391,3 kW saulės elektrinės su vienos ašies sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai

57 paveiksle pateikiamame grafike pavaizduota vienos ašies sekimo 391,3 kW galios saulės elektrinės generacija kartu su įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pavaizduotas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



57 pav. Gegužės 13 dienos „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine

Remiantis 57 paveikslu, galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė leidžia padengti apkrovą nuo 9 iki 20 valandos, tačiau kitomis valandomis yra trūkumas, kurį reikia padengti naudojant EEK. 15 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 391,3 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 13 ir 15 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 391,3 kW galios vienos ašies sekimo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 53 % poreikio padengimą trijų darbo pamainų įmonei.

15 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su vienos ašies sekimo 391,3 kW galios saulės elektrine

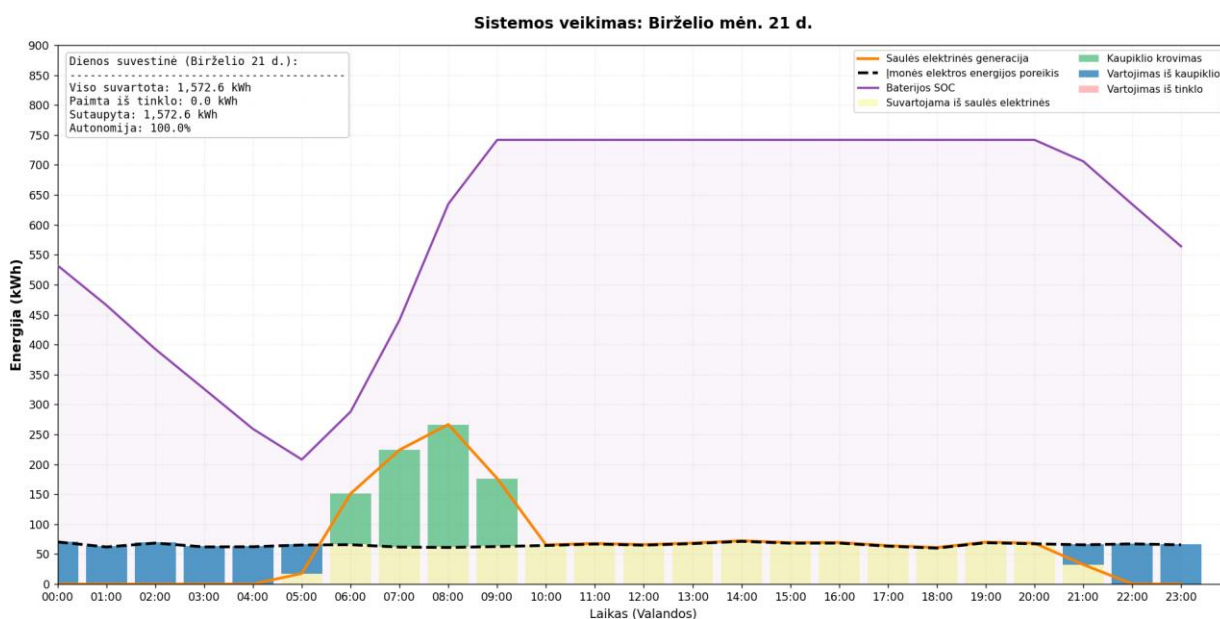
Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	1340	1279	992	894	671	622	718	732	886	1128	1373	1425

Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos naudojamos iš tinklo vidurkis yra 726 kWh. Naudojami tie patys „HUAWEI LUNA2000“ serijos kaupimo įrenginiai [40]. Taigi, remiantis 10 formule, apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

$$C_{galutinė} = \frac{726}{0,985} = 737 \text{ kWh.}$$

Pagal gamintojo specifikacijoje pateiktą galimų kaupiklių jungimų lentelę parenkama naudoti 741,8 kWh talpos ir 400 kW galios kaupimo sistema [40]. Tokiai sistemai gauti naudojami 3 vienetai „LUNA2000-200KWH-2H1“ ir „LUNA2000-161KWH-2H1“ kaupiklių, sujungtų į vieną bendrą kaupimo sistemą.

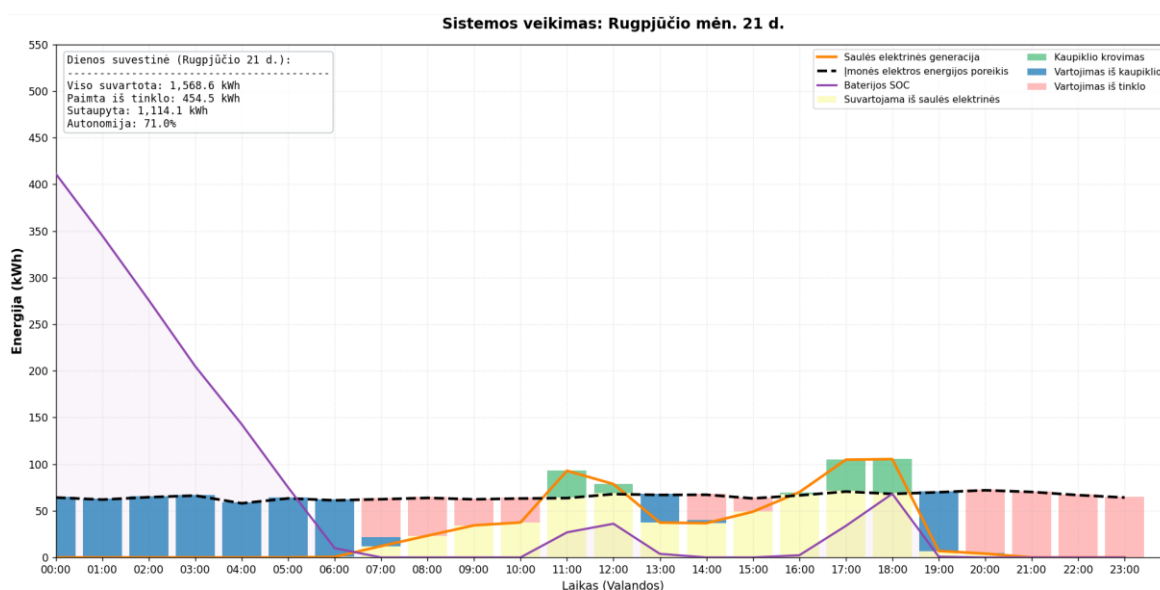
58 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kur, pasiektas visiškasis elektros energijos poreikio užtikrinimas iš modeliuojamos sistemos, kai saulės elektrinė padengė 6 – 20 valandų apkrovą, o likusi dalis poreikio buvo naudojama iš EEK.



58 pav. Birželio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

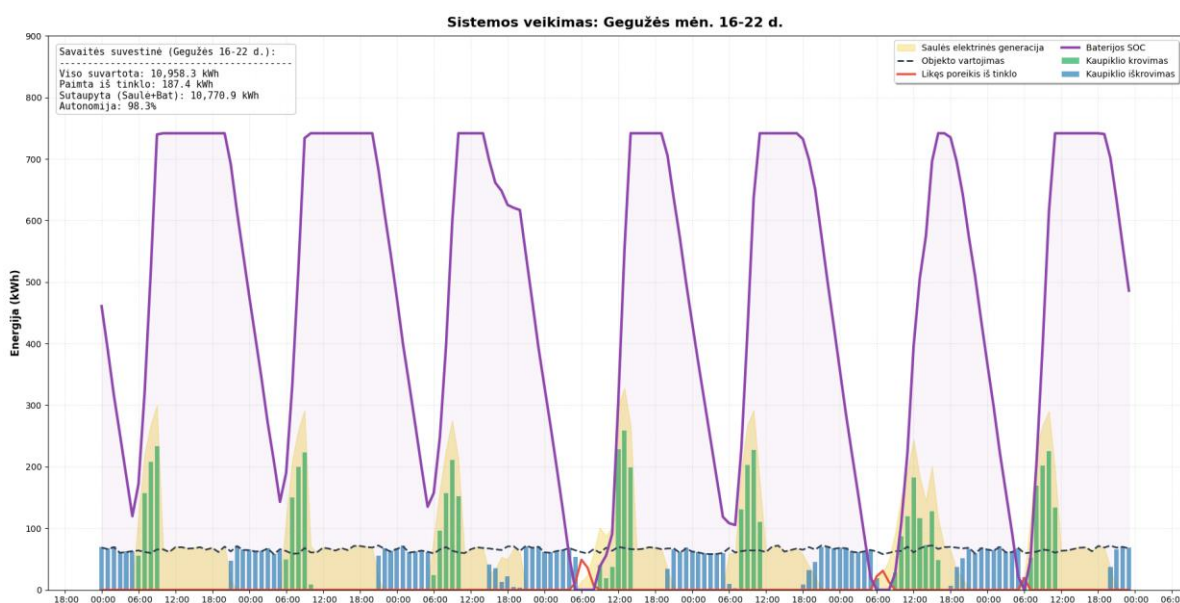
Kitokią situaciją galima matyti 59 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. 391,3 kW galios saulės elektrinės generacija buvo žema, dienos metu per valandą daugiausiai sugeneruota 100

kWh energijos, todėl net dieną nebuvo pilnai padengiama reikalinga apkrova, o EEK pakrauti nebuvo likusio generacijos pertekliaus. Bendras elektros energijos poreikio dienos padengimas siekė 71 %.



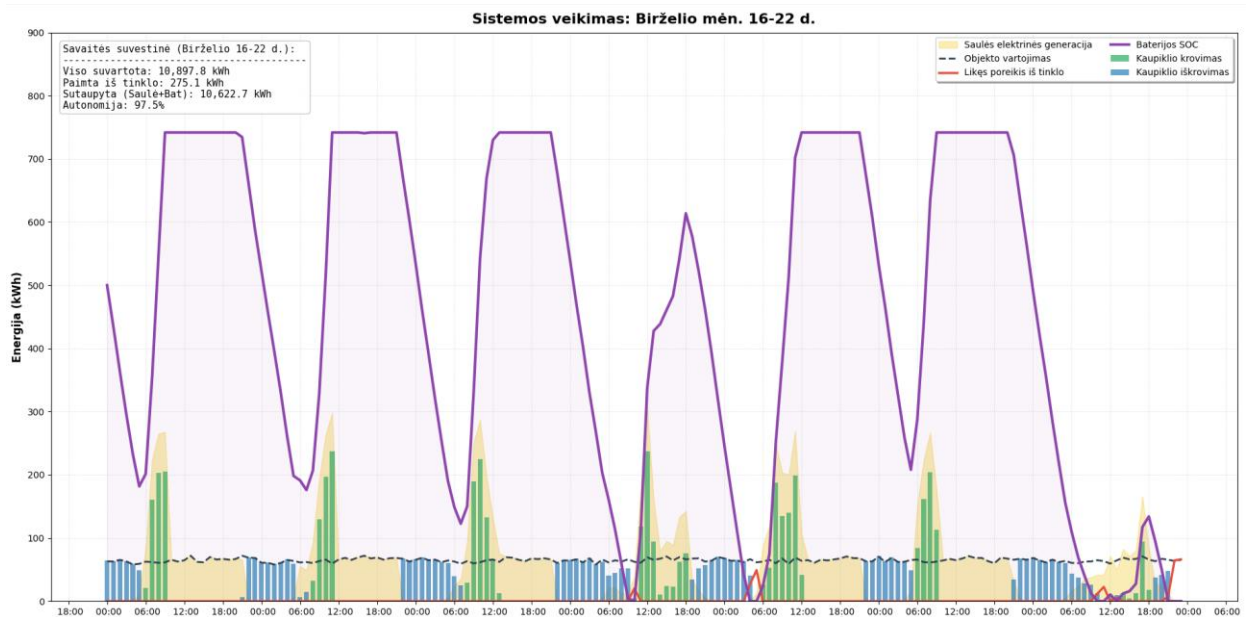
59 pav. Rugspjūčio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitių rezultatai. 60 paveiksle pateikti gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Gauta, kad parinkta sistema užtikrina 98,3 % bendro elektros energijos poreikio. Trūkumas užfiksuotas tik trijų dienų rytais, kai neužtekdavo EEK padengti reikalingą likusią paros apkrovą.



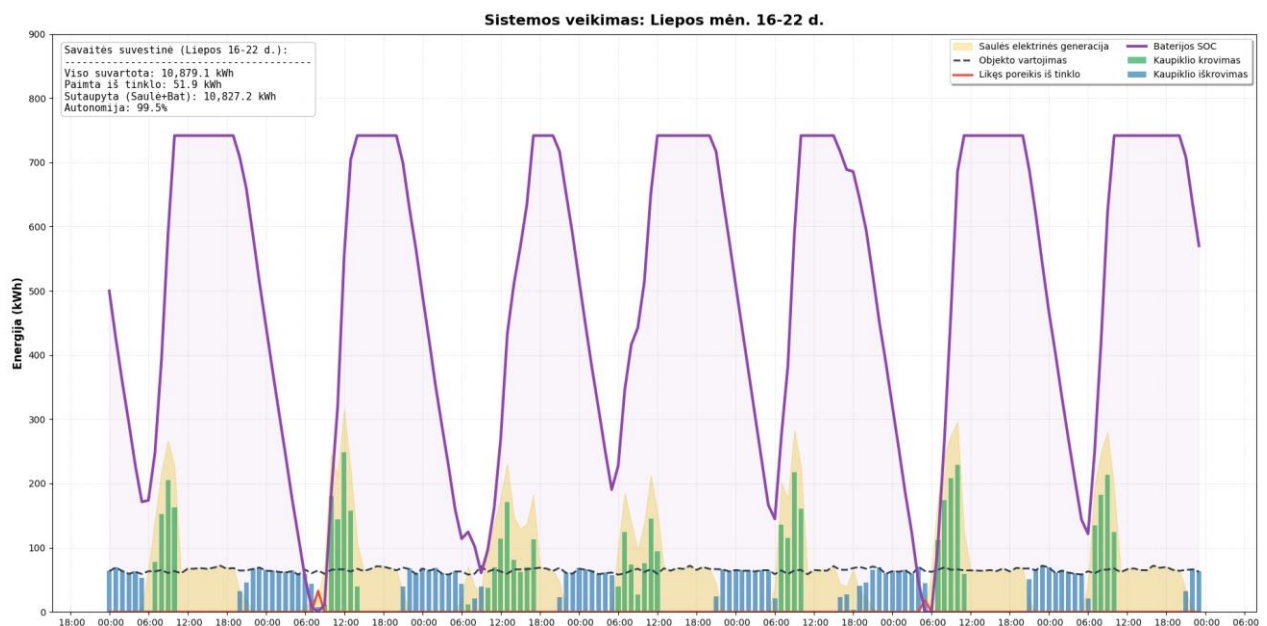
60 pav. Gegužės savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

61 paveiksle pateikti birželio mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Dėl prastų oro sąlygų gauta išsiskirianti birželio mėnesio 19 diena, kai antroje dienos pusėje 391,3 kW galios saulės elektrinės valandinė generacija siekė 110 – 150 kWh, todėl, padengus apkrovą, EEK krovimui neužteko generacijos pertekliaus, kad pasiektų pilną įkrovimą. 22 dieną saulės elektrinės valandinė generacija taip pat buvo tik 100 – 150 kWh ir trūko papildomos energijos EEK krovimui.



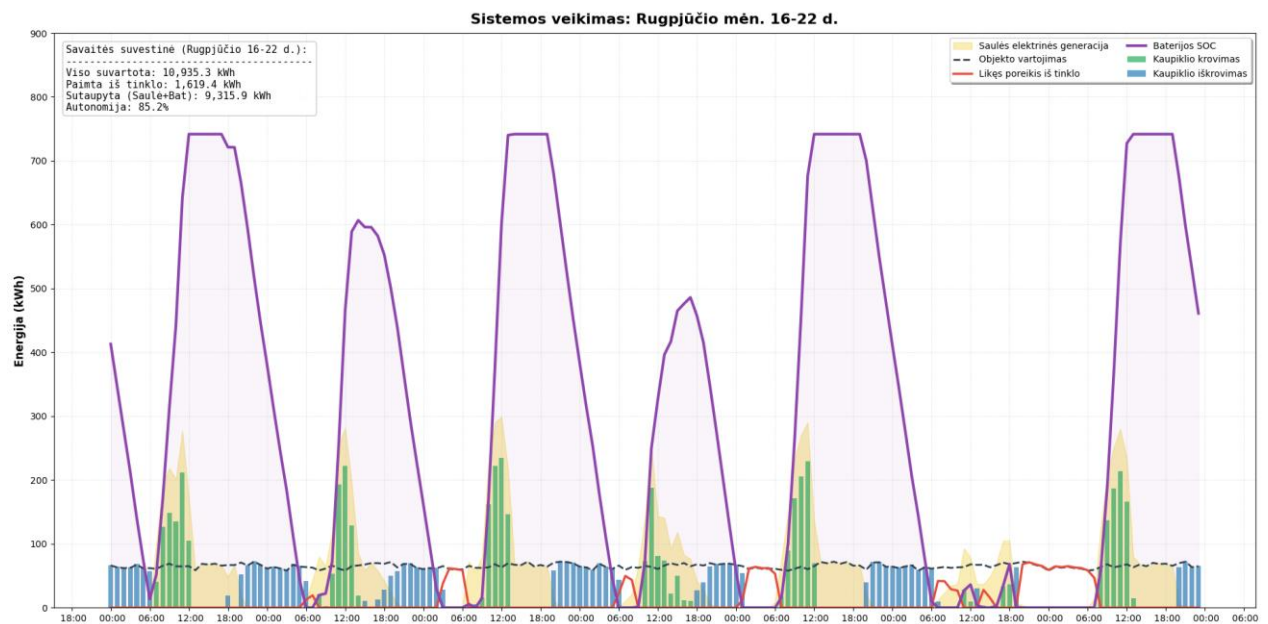
61 pav. Birželio savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

62 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Gautas beveik idealios savaitės rezultatas, kai sistema padengė 99,5 % visos reikalingos elektros energijos.



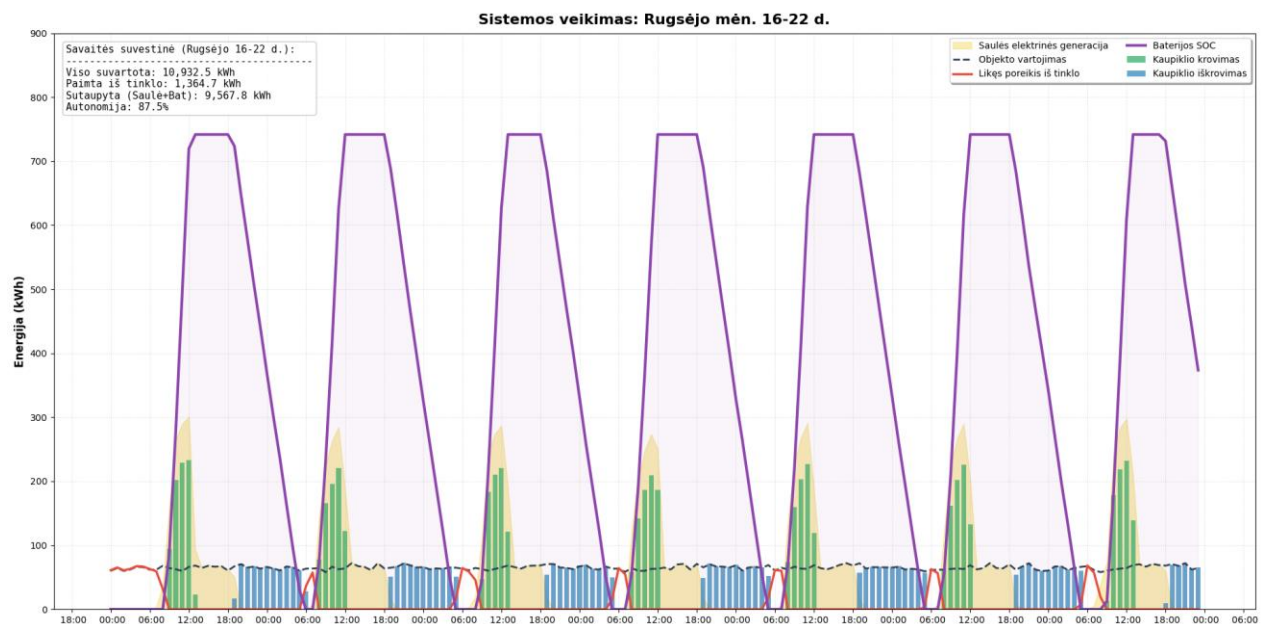
62 pav. Liepos savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

63 paveiksle pateikti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai. Elektros energijos trūkumas fiksuotas vos ne visomis savaitės dienomis dėl trumpesnio saulės elektrinės generavimo laiko, kurį nulėmė oro sąlygos. Įprastai generacija trunka iki 21 valandos, tačiau grafike galime pastebėti, kad modeliutos savaitės generacija buvo trumpesnė. Pavyzdžiui, 16 ir 18 dienomis 18 valandą jau buvo naudojama energija iš EEK, 17 dieną nuo 17 valandos pradėta naudoti energija iš EEK.



63 pav. Rugsjūčio savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

64 paveiksle gautas rugsėjo mėnesio savaitės rezultatas. Elektros energijos vartojimas iš tinklo gautas visų dienų rytais dėl sutrumpėjusio šviesaus dienos laiko, dėl ko trumpėjo ir saulės elektrinių generavimo laikas. Tai lėmė, kad vakarais didesnė dalis buvo vartojama iš kaupiklių ir rytą elektros energijos trūkumas jau buvo padengiamas iš tinklo. Modeliuojama sistema užtikrino 87,5 % bendro įmonės suvartojamo elektros energijos poreikio.

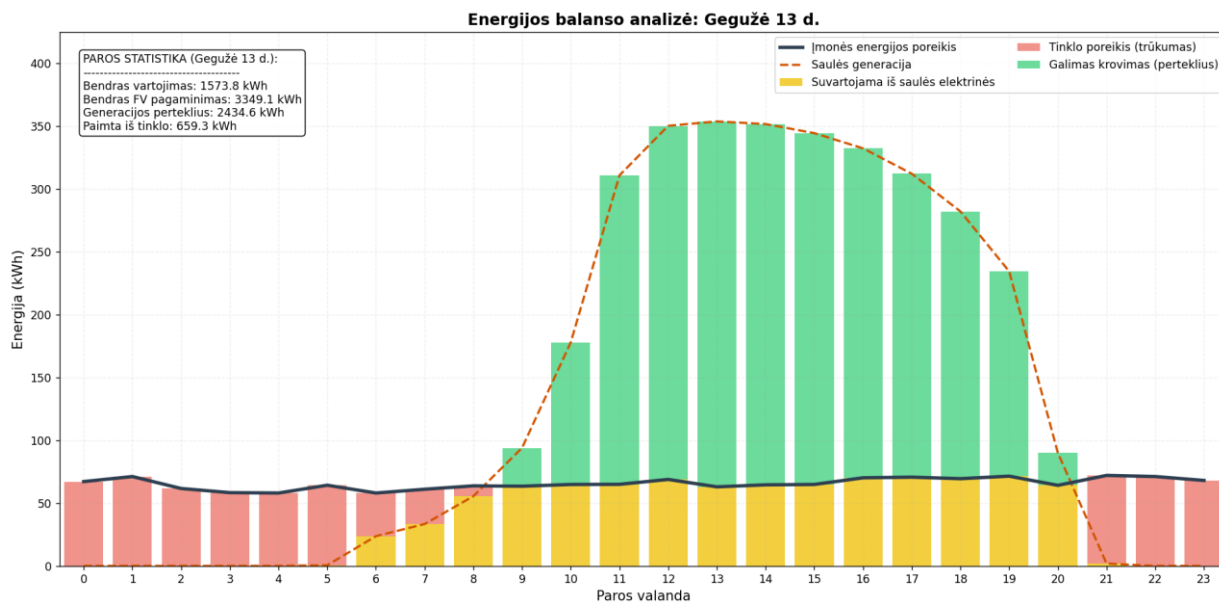


64 pav. Rugsėjo savaitės „C“ įmonės rezultatai su vienos ašies sekimo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad vienos ašies 391,3 kW galios saulės elektrinė su 741,8 kWh talpos ir 400 kW galios EEK užtikrino visos paros darbo grafiko įmonės energijos poreikio padengimą 89,88 % tiriamais gegužės – rugsėjo mėnesiais.

3.3.3. 391,3 kW saulės elektrinės su dviejų ašių sekimo mechanizmu ir EEK modeliavimo rezultatai

65 paveiksle pateikiamame grafike pavaizduota 391,3 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinės generacija kartu su „C“ įmonės elektros energijos poreikiu. Taip pat pavaizduotas elektros energijos poreikis iš tinklo ir galimas EEK krovimo kiekis.



65 pav. Gegužės 13 dienos „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine

Remiantis 65 paveikslu galima teigti, kad parinkta saulės elektrinė užtikrina apkrovos padengimą nuo 9 iki 20 paros valandos, tačiau lieka likusios dalies trūkumas, kurį reikia padengti naudojant EEK. 16 lentelėje pateikiamas įmonės vidutinis dienos elektros energijos poreikis po 391,3 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinės modeliavimo etapo. Remiantis 13 ir 16 lentelių duomenimis apskaičiuota, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais 391,3 kW galios dviejų ašių sekimo saulės elektrinė užtikrino vidutiniškai 54 % poreikio padengimą trijų darbo pamainų įmonei.

16 lentelė. Įmonės „C“ vidutinis dienos elektros energijos poreikis su dviejų ašių sekimo 391,3 kW galios saulės elektrine

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dienos vidurkis (kWh)	1336	1286	979	874	662	610	702	724	879	1117	1367	1421

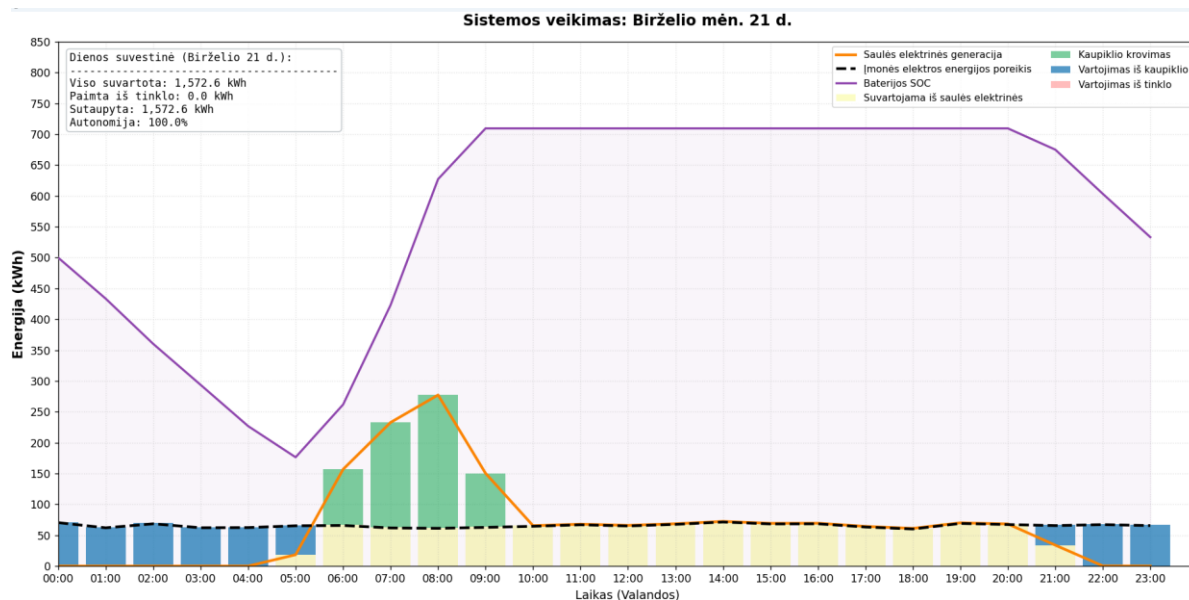
Po saulės elektrinės modeliavimo gauta, kad gegužės – rugsėjo mėnesiais reikalingos elektros energijos, naudojamos iš tinklo, vidurkis yra 715 kWh. Naudojami „HUAWEI LUNA2000“ serijos kaupimo įrenginiai [40]. Taigi, remiantis 10 formule, apskaičiuota reikalinga EEK talpa:

$$C_{galutinė} = \frac{715}{0,985} = 726 \text{ kWh.}$$

Pagal gamintojo specifikacijose pateiktą galimų kaupiklių jungimų lentelę parenkama naudoti 709,5 kWh talpos ir 400 kW galios kaupimo sistema [40]. Nors pagal aukščiau atliktą skaičiavimą reikėtų 726,26 kWh talpos arba didesnio kaupiklio, pasirinkta naudoti mažesnę EEK sistemą, siekiant įvertinti, ar dviejų ašių sekimo sistema užtikrins artimą energijos poreikio padengimą, naudojant

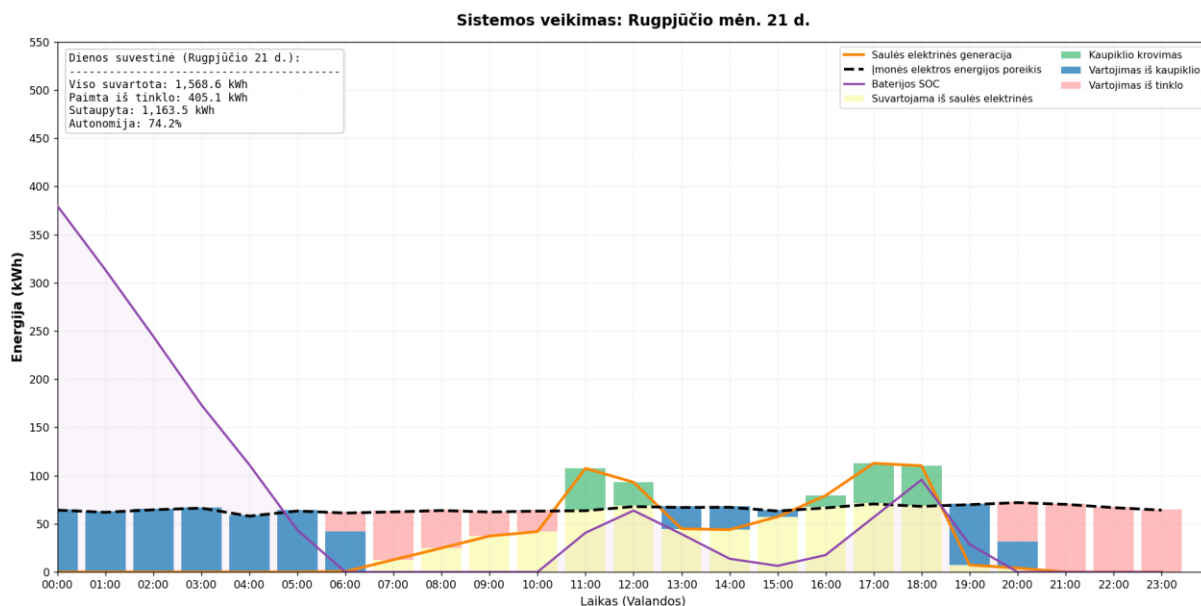
mažesnio dydžio EEK. Tokiai sistemai gauti naudojami 3 vienetai „LUNA2000-200KWH-2H1“ ir „LUNA2000-129KWH-2H1“ kaupiklių, sujungtų į vieną bendrą kaupimo sistemą.

66 paveiksle galima matyti birželio 21 dienos grafiką, kuriame gauta, kad saulės elektrinė padengė 6 – 20 valandos poreikį, o perteklinė generacija buvo nukreipta EEK, iš kurių energija naudojama likusią paros dalį, krovimui.



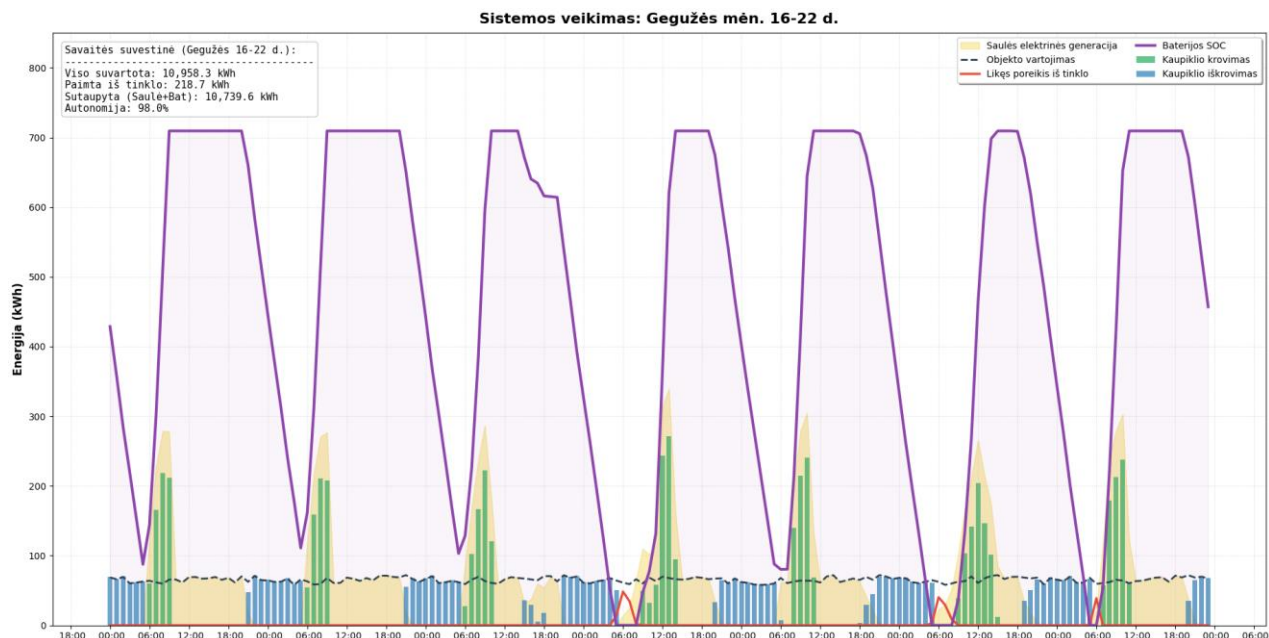
66 pav. Birželio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Kitokią situaciją galima matyti 67 paveiksle, kur pateikta prasčiausia vasaros sezono diena. Modeliuojamos 391,3 kW galios saulės elektrinės valandinė generacija dieną siekė tik 110 kWh ir nebuvo pastovi, perteklinės energijos beveik nebuvo, todėl EEK liko nepakrauti. Bendras energijos poreikio padengimas siekė 74,2 %.



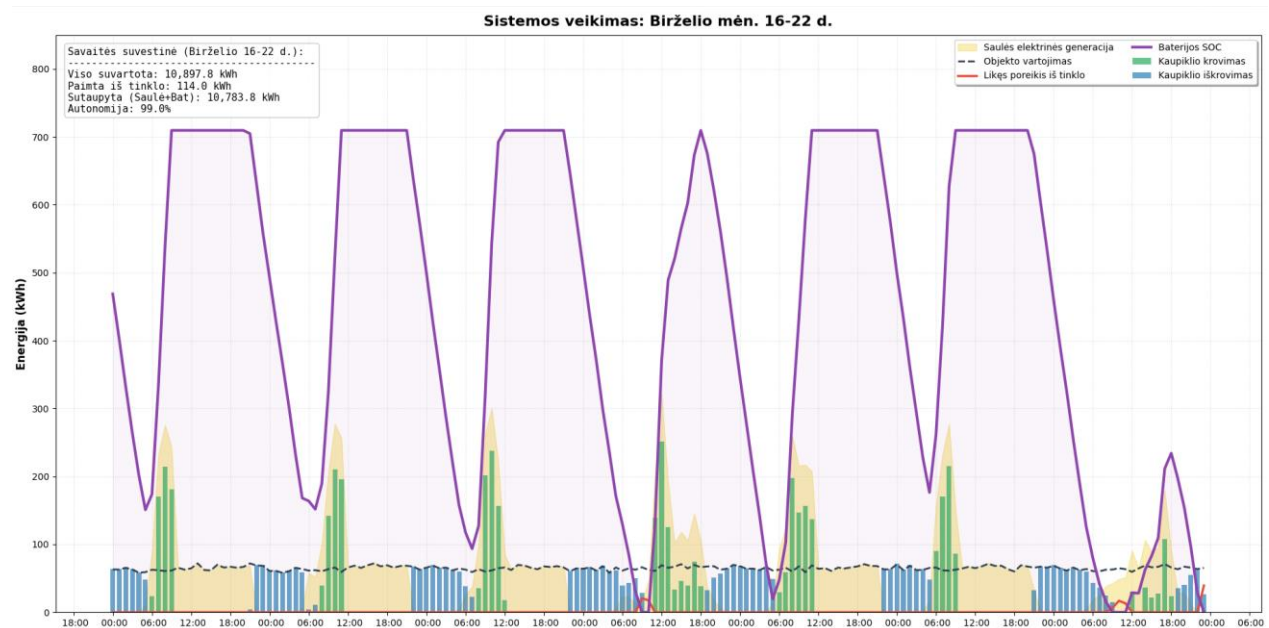
67 pav. Rugsjūčio 21 dienos „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Toliau pateikiami gegužės – rugsėjo mėnesių savaitių rezultatai. 68 paveiksle pateikti gegužės mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai. Iš tinklo vartojama elektros energija buvo 19, 21 ir 22 dienų rytais, kai praėjusią dieną energija iš EEK, dėl mažos vakarinės generacijos iš saulės elektrinės, buvo pradėta naudoti jau 19 valandą. Bendras savaitės elektros energijos užtikrinimas iš modeliujamos sistemos siekė 98 %.



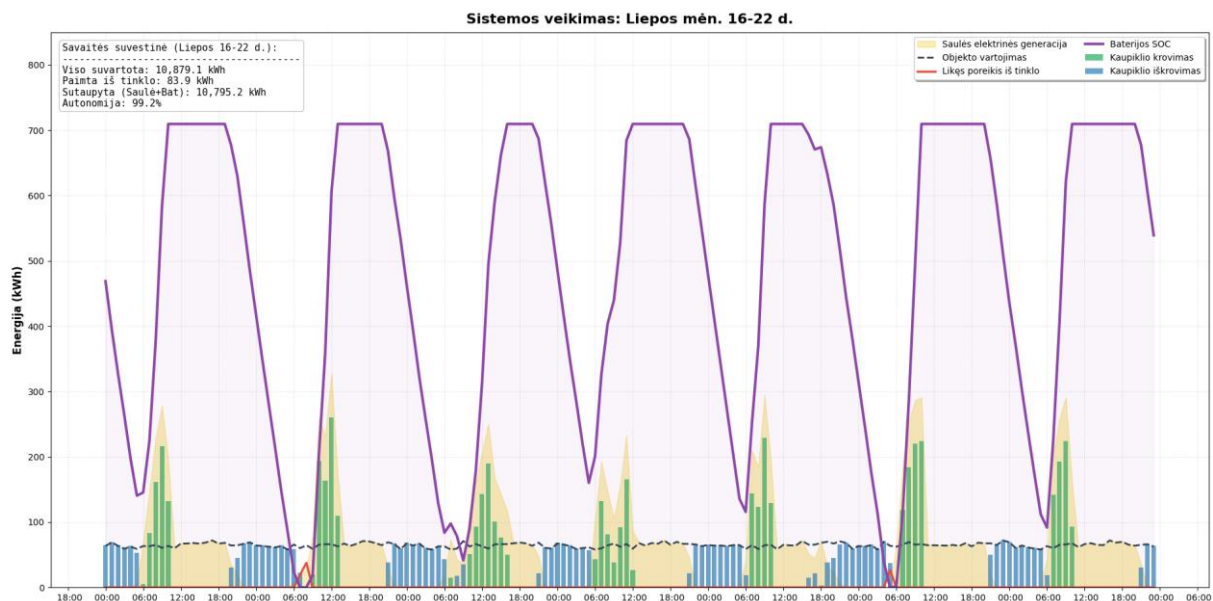
68 pav. Gegužės savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

69 paveiksle pateikti birželio mėnesio 16 – 22 dienos rezultatai, čia pagrindinis trūkumas matomas 22 dieną, kai dėl prastų oro sąlygų modeliujama 391,3 kW galios saulės elektrinės valandinė generacija vyraavo tarp 110 – 180 kWh. Bendrai gautas rezultatas, kad modeliujama sistema užtikrino 99 % reikalingos elektros energijos.



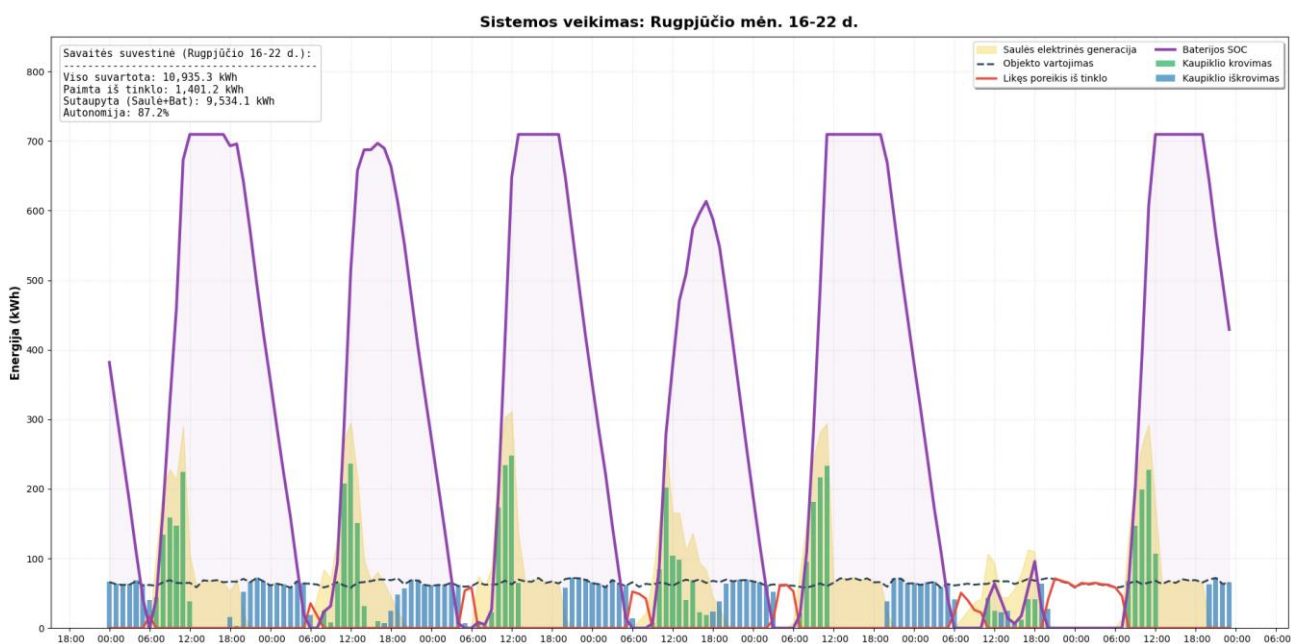
69 pav. Birželio savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

70 paveiksle pateikti liepos mėnesio savaitės rezultatai. Gauta, kad sistema beveik idealiai susitvarkė su apkrova, gauti minimalūs poreikiai dviejų dienų rytais, bendras trūkumas buvo 83,9 kWh, o sistema padengė 99,2 % bendro poreikio.



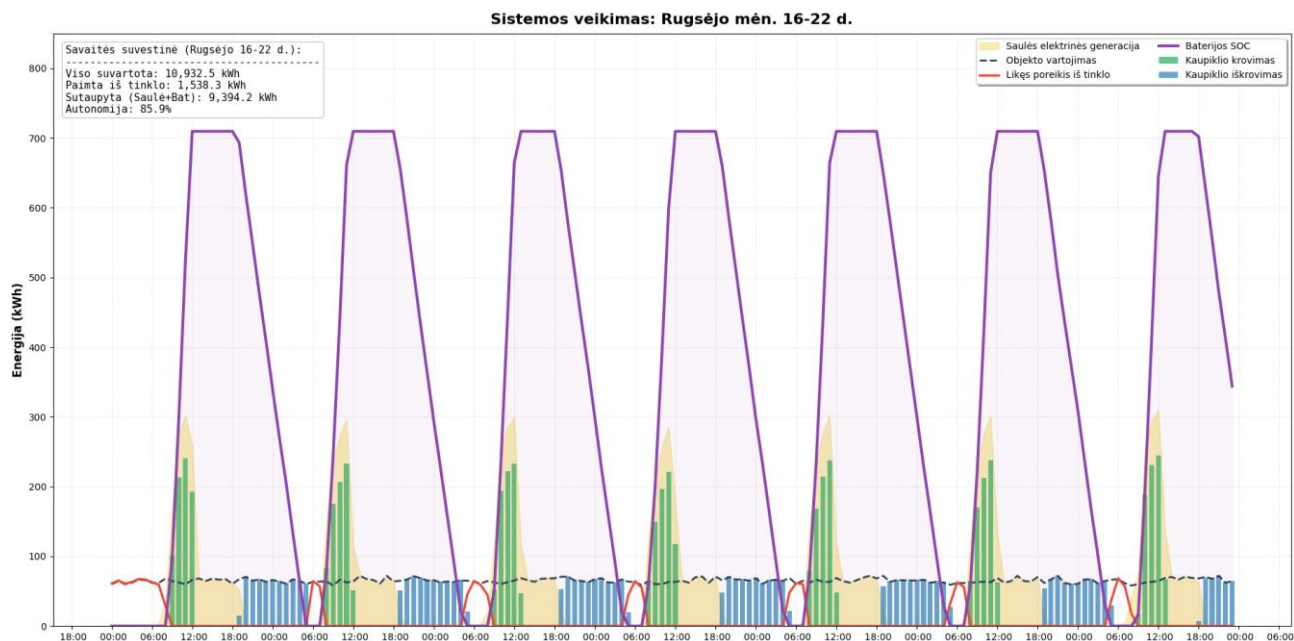
70 pav. Liepos savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

71 paveiksle gauti rugpjūčio mėnesio savaitės rezultatai. Elektros energijos trūkumas fiksuotas vos ne visomis savaitės dienomis dėl trumpesnio saulės elektrinės generavimo laiko, kurį nulėmė oro sąlygos. Įprastai generacija trunka iki 21 valandos, tačiau grafike galime pastebėti, kad modeliutos savaitės generacija buvo trumpesnė. Pavyzdžiui, 16, 17 ir 19 dienomis elektros energija nuo 18 valandos jau buvo naudojama iš EEK, kas lėmė, kad kitų dienų rytais buvo reikalinga naudoti elektros energiją iš tinklo.



71 pav. Rugpjūčio savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

72 paveiksle pavaizduoti rugsėjo mėnesio savaitės rezultatai. Dėl trumpėjančio šviesaus paros meto ir prastesnių oro sąlygų rudenį gauta, kad kiekvienos dienos rytą elektros energija naudojama iš tinklo. Tačiau gautas bendras savaitės rezultatas rodo, kad sistema padengė 85,9 % įmonės apkrovos.



72 pav. Rugsėjo savaitės „C“ įmonės rezultatai su dviejų ašių sekimo saulės elektrine ir EEK

Apibendrinant rezultatus, galima teigti, kad dviejų ašių sekimo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 709,5 kWh talpos ir 400 kW galios EEK užtikrino visos paros darbo grafiko įmonės elektros energijos poreikio padengimą 90,72 % tiriamais gegužės – rugsėjo mėnesiais (žr. 6 priedą).

3.3.4. „C“ įmonės gautų rezultatų apibendrinimas

Atlikti trijų darbo pamainų įmonės trys modeliavimo scenarijai elektros energijos vartojimo poreikiui padengti. Modeliuotos 3 sistemos:

- antžeminė 391,3 kW fiksuoto kampo saulės elektrinė su 838,5 kWh EEK;
- antžeminė 391,3 kW vienos ašies sekimo saulės elektrinė su 741,8 kWh EEK;
- antžeminė 391,3 kW dviejų ašių sekimo saulės elektrinė su 709,5 kWh EEK.

Visi trys modeliuoti scenarijai užtikrino artimus rezultatus, tačiau geriausias bendrus metinius rezultatus pavyko pasiekti, naudojant 3 scenarijų. Toliau, 17 lentelėje, pateikta kiekvieno mėnesio bendra modeliuojamos sistemos patiekta elektros energijos dalis, lyginant su apkrova, procentine išraiška.

17 lentelė. Modeliuotų skirtingų sistemų pritaikytų „C“ įmonės apkrovai rezultatai

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1 sistema (%)	19,0	19,9	57,3	66,8	95,5	95,4	89,0	91,8	79,5	44,7	14,0	8,1
2 sistema (%)	24,2	22,0	58,8	67,7	95,6	95,2	87,7	91,5	79,4	46,2	16,5	10,6
3 sistema (%)	24,9	23,0	60,7	70,6	95,8	96,2	90,2	92,2	79,2	46,8	17,1	11,1

Modeliuojant vienos ašies 391,3 kW galios saulės elektrinę, naudoti 741,8 kWh talpos kaupikliai, o dviejų ašių 391,3 kW galios saulės elektrinę – 709,5 kWh. Lyginant su tokios pačios galios fiksuoto

35 ° kampo saulės elektrinė, naudojant 838,5 kWh talpos kaupiklius, gauta, kad vienos ašies sekimo sistema leidžia sumažinti kaupiklio dydį 96,7 kWh, kas bendrai atitinka 11,5 % mažesnę talpą, o dviejų ašių sistema atitinkamai – 129 kWh, kas yra 15,4 % talpos sumažėjimas. Bendras metinis elektros energijos poreikio padengimas iš modeliujamų sistemų didėjo, pirmosios sistemos siekė 56,75 %, antrosios – 57,95 % ir trečiosios – 58,98 %, Prie to labiausiai prisidėjo pavasario ir rudens laikotarpis, kada saulės elektrinės su sekimo sistemomis turėjo ilgesnį generacijos laikotarpį. Fiksuoto kampo 391,3 kW galios saulės elektrinės su 838,5 kWh talpos EEK sistemos apkrovos padengimas per pasirinktus gegužės – rugsėjo mėnesius gautas 90,24 %, kai vienos ašies sekimo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 741,8 kWh EEK užtikrino 89,88 %, o dviejų ašių tokios pačios galios saulės elektrinė su 709,5 kWh talpos EEK padengė 90,72 %. Galima matyti, kad pasikeitimas nežymus, vienos ašies saulės sekimo sistemos modeliavimo atveju padengimas sumažėjo 0,36 %, o dviejų ašių sekimo padidėjo 0,48 %, lyginant su fiksuoto kampo sistema, nors kaupiklių talpa sumažinta atitinkamai 11,5 % ir 15,4 %. Gauti rezultatai leidžia teigti, kad saulės sekimo sistemos užtikrina mažesnio kaupiklio dydį visos paros darbo grafiko įmonei pasirinktu laikotarpiu, o, vertinant visų metų rezultata, net ir pagerinti bendrą elektros energijos poreikio padengimo situaciją.

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad nėra atlikta tyrimų, kuriais nustatoma skirtingų sekimo sistemų tipų saulės elektrinių įtaka EEK dydžio parinkimui. Iš to kyla pagrindinė problema – kaip skirtingų konstrukcijų tipų saulės elektrinės gali nulemti EEK dydį.
2. Modeliavimui atlikti sukurtas „Python“ programos kodas remiantis matematinėmis skaičiavimo formulėmis, kuris leido naudojant realius aplinkos duomenis ir elektros energijos vartojimą atlikti tyrimą, skirtą nustatyti skirtingų konstrukcijų tipų saulės elektrinių įtaką EEK dydžiui.
3. Atlikus modeliavimą nustatyta, kad sezono metu vienos pamainos darbo įmonėje fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė užtikrina 70 %, vienos ašies sekimo – 73 %, o dviejų ašių sekimo – 74 % bendro dienos apkrovos padengimo. Dviejų darbo pamainų įmonėje fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė užtikrina 64 %, vienos ašies sekimo – 68 %, o dviejų ašių sekimo – 69 % bendro dienos elektros energijos užtikrinimo. O trijų pamainų darbo įmonėje fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė užtikrina 48 %, vienos ašies sekimo – 53 %, o dviejų ašių sekimo – 54 % bendro dienos poreikio padengimo.
4. Atlikus vienos darbo pamainos įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimą nustatyta, kad 180,6 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė su 300 kWh talpos EEK užtikrino 90,38 % įmonės elektros energijos poreikio padengimą, kai vienos ašies sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė su 240 kWh EEK – 89,86 %, o dviejų ašių 180,6 kW galios saulės elektrinė su 180 kWh EEK – 89,94 %.

Atlikus dviejų darbo pamainų įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimą nustatyta, kad 215 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė su 322,5 kWh talpos EEK užtikrino 88,84 % įmonės elektros energijos poreikio padengimą, kai vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrinė su 290,3 kWh EEK – 89,68 %, o dviejų ašių 215 kW galios saulės elektrinė su 258 kWh EEK – 90,2 %.

Atlikus trijų darbo pamainų įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimą nustatyta, kad 391,3 kW galios fiksuoto 35 ° kampo saulės elektrinė su 838,5 kWh talpos EEK užtikrino 90,24 % įmonės elektros energijos poreikio padengimą, kai vienos ašies sekimo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 741,8 kWh EEK – 89,88 %, o dviejų ašių 391,3 kW galios saulės elektrinė su 709,5 kWh EEK – 90,72 %.

Literatūros sąrašas

1. . Total EU-27 Solar PV capacity: a growth story - SolarPower Europe. Prieiga per internetą: <https://www.solarpowereurope.org/insights/interactive-data/total-eu-27-solar-pv-capacity-a-growth-story> [žiūrėta May 8, 2025].
2. *Atsinaujinančiųjų Išteklių Energija | Faktų Apie Europos Sąjungą Suvestinės | Europos Parlamentas*. [2024-02-29]. Prieiga per internetą: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/lt/sheet/70/atsinaujinanciuju-istekliu-energija> [žiūrėta May 8, 2025].
3. TEAM, P. *Fixed Tilt Vs Tracker System Comparison for Ground-Mounted PV Systems*. , -06-10, 2022. Prieiga per internetą: <https://pvcase.com/blog/fixed-tilt-vs-tracker-system-comparison-for-ground-mounted-pv-systems/> [žiūrėta May 8, 2025].
4. . (PDF) Optimization of angle of inclination of the hybrid photovoltaic-thermal solar collector using particle swarm optimization algorithm. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/266478355_Optimization_of_angle_of_inclination_of_the_hybrid_photovoltaic-thermal_solar_collector_using_particle_swarm_optimization_algorithm [žiūrėta Apr 18, 2025].
5. Kamrul Islam Chowdhury; Md.Iftekhar-ul-Alam ir Promit Shams Bakshi. Performance Comparison Between Fixed Panel, Single-axis and Dual-axis Sun Tracking Solar Panel System (2019). Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Mansour-33/post/How-to-validate-real-solar-power-plant-output-against-an-analytical-solar-power-model/attachment/5d8a6109cfe4a7968dcece4e/AS%3A806726093783043%401569349897724/download/PV+Panel+Output+Comparison.pdf>.
6. H. Moradi; A. Abtahi ir R. Messenger. Annual Performance Comparison between Tracking and Fixed Photovoltaic Arrays. *Iš: 2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, pp. 3179–3183.2016..
7. AFANASYEVA, S.; BOGDANOV, D. ir BREYER, C. Relevance of PV with single-axis tracking for energy scenarios. *Solar Energy*, t. 173 (2018), p. 173–191. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18306935> [žiūrėta Jun 7, 2025].
8. . Solar Position Algorithm. Prieiga per internetą: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015ascl.soft04002R/abstract>.
9. EKE, R. ir SENTURK, A. Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system. *Solar Energy*, t. 86 (2012), nr. 9, p. 2665–2672. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12002174> [žiūrėta Jun 7, 2025].
10. *Types of Battery Energy Storage Systems (BESS) Explained*. Prieiga per internetą: <https://www.acebattery.com/blogs/different-types-of-battery-energy-storage-systems-bess> [žiūrėta Jan 25, 2026].
11. MEXIS, I. ir TODESCHINI, G. Battery Energy Storage Systems in the United Kingdom: A Review of Current State-of-the-Art and Future Applications. *Energies*, t. 13 (2020), nr. 14, p. 3616. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3616> [žiūrėta Jan 25, 2026].

12. ANEKE, M. ir WANG, M. Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. *Applied Energy*, t. 179 (2016), p. 350–377. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916308728> [žiūrėta Apr 12, 2026].
13. WU, Y. ir TANG, K. Frequency Support by BESS – Review and Analysis. *Energy Procedia*, t. 156 (2019), p. 187–191. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218310865> [žiūrėta Jan 25, 2026].
14. *A Guide to the 6 Main Types of Lithium Batteries.* , -12-13, 2022. Prieiga per internetą: <https://dragonflyenergy.com/types-of-lithium-batteries-guide/> [žiūrėta Apr 12, 2026].
15. . Powering the sustainable future: a review of emerging battery technologies and their environmental impact. *RSC Sustainability*, t. 3 (2025), nr. 8, p. 3266–3306. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S2753812525001648> [žiūrėta Apr 12, 2026].
16. HOSSAIN, E.; FARUQUE, H. M. R.; SUNNY, M. S. H.; MOHAMMAD, N. ir NAWAR, N. A Comprehensive Review on Energy Storage Systems: Types, Comparison, Current Scenario, Applications, Barriers, and Potential Solutions, Policies, and Future Prospects. *Energies*, t. 13 (2020), nr. 14, p. 3651. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3651> [žiūrėta Apr 12, 2026].
17. L, J. *Europe’s Power Paradox: Why Electricity Prices Went Below Zero in 2025.* , -01-09, 2026. Prieiga per internetą: <https://carboncredits.com/europes-power-paradox-why-electricity-prices-went-below-zero-in-2025/> [žiūrėta Apr 12, 2026].
18. *Solar Peak Act: Curbing Negative Prices.* , -04-02, 2025. Prieiga per internetą: <https://www.enjoyelec.net/solar-peak-act-curbing-negative-prices/> [žiūrėta Apr 12, 2026].
19. *389h of Negative Power Prices: Why we Need Grid Flexibility.* [2025-09-14]. Prieiga per internetą: https://mobilityhouse-energy.com/int_en/knowledge-center/article/negative-electricity-prices-why-the-energy-system-needs-flexibility [žiūrėta Apr 12, 2026].
20. . (PDF) Sizing procedures for sun-tracking PV system with batteries. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/320912897_Sizing_procedures_for_sun-tracking_PV_system_with_batteries [žiūrėta Apr 18, 2026].
21. MAKHDOOMI, S. ir ASKARZADEH, A. Impact of solar tracker and energy storage system on sizing of hybrid energy systems: A comparison between diesel/PV/PHS and diesel/PV/FC. *Energy*, t. 231 (2021), p. 120920. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221011683> [žiūrėta Apr 18, 2026].
22. CHOI, Y. ir BHAKTA, S. Optimal sizing of grid-tied hybrid solar tracking photovoltaic/hydrogen fuel cell energy systems for electric vehicle charging stations in South Korea: A techno-economic study. *Journal of Cleaner Production*, t. 486 (2025), p. 144511. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262403960X> [žiūrėta Apr 18, 2026].
23. BARBÓN, A.; CARREIRA-FONTAO, V.; BAYÓN, L. ir SILVA, C. A. Optimal design and cost analysis of single-axis tracking photovoltaic power plants. *Renewable Energy*, t. 211 (2023), p. 626–646. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014812300575X> [žiūrėta Apr 18, 2026].

24. GILABERT-TORRES, C.; RUS-CASAS, C.; JIMÉNEZ-CASTILLO, G. ir MUÑOZ-RODRÍGUEZ, F. J. Photovoltaic systems with battery storage: A novel and comprehensive scheduling method for high-consumption facilities. *Journal of Energy Storage*, t. 139 (2025), p. 118858. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X25035716> [žiūrėta Apr 18, 2026].
25. LAKSAHAPSORO, B.; BIRD, M.; ACHA, S. ir SHAH, N. Optimisation of photovoltaic and battery systems for cost-effective energy solutions in commercial buildings. *Applied Energy*, t. 392 (2025), p. 125907. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261925006373> [žiūrėta Apr 18, 2026].
26. GUAMÁN-MOLINA, J.; PESANTEZ, P.; CHAVEZ-FUENTEZ, C. ir RÍOS, A. Industrial Application of Photovoltaic Systems with Storage for Peak Shaving: Ecuador Case Study. *Engineering Proceedings*, t. 47 (2023), nr. 1, p. 15. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2673-4591/47/1/15> [žiūrėta Apr 18, 2026].
27. RUAN, T.; TOPEL, M.; PADOVANI, F.; WANG, W. ir LAUMERT, B. Pv-load matching based on combination of different consumers: A case study in Swedish contexts. *Solar Energy*, t. 281 (2024), p. 112885. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X24005802> [žiūrėta Apr 18, 2026].
28. *Trusted Data from Feasibility to Forecasting*. Prieiga per internetą: <https://solcast.com/>.
29. HOSSAIN, J.; SAEED, N.; MANOJKUMAR, R.; MARZBAND, M.; SEDRAOUI, K. ir kt. Optimal peak-shaving for dynamic demand response in smart Malaysian commercial buildings utilizing an efficient PV-BES system. *Sustainable Cities and Society*, t. 101 (2024), p. 105107. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670723007163> [žiūrėta Apr 18, 2026].
30. SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, J. L.; MUÑOZ-RODRÍGUEZ, F. J.; JIMÉNEZ-CASTILLO, G.; MARTINEZ-CALAHORRO, A. J. ir RUS-CASAS, C. Analysis of Different Scenarios to Include PV Rooftop Systems with Battery Energy Storage Systems in Olive Mills. *Energies*, t. 17 (2024), nr. 1, p. 144. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/1/144> [žiūrėta Apr 12, 2026].
31. BAKER, J. ir GHOSH, A. Investigation of fixed and East-West, North-South, and azimuthal single-axis tracking for floating photovoltaics (Floatovoltaics) in the UK. *Energy 360*, t. 5 (2026), p. 100052. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S295048722500039X> [žiūrėta Apr 12, 2026].
32. MUBARAK, R.; HOFMANN, M.; RIECHELMANN, S. ir SECKMEYER, G. Comparison of Modelled and Measured Tilted Solar Irradiance for Photovoltaic Applications. *Energies*, t. 10 (2017), nr. 11, p. 1688. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/11/1688> [žiūrėta Apr 12, 2026].
33. KHAN, M. S.; RAMLI, M. A. M.; SINDI, H. F.; HIDAYAT, T. ir BOUCHEKARA, H. R. E. H. Estimation of Solar Radiation on a PV Panel Surface with an Optimal Tilt Angle Using Electric Charged Particles Optimization. *Electronics*, t. 11 (2022), nr. 13, p. 2056. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/13/2056> [žiūrėta Apr 12, 2026].
34. BARBÓN, A.; MARTÍNEZ-SUÁREZ, J.; BAYÓN, L. ir BAYÓN-CUELI, C. Photovoltaic Power Plants with Horizontal Single-Axis Trackers: Influence of the Movement Limit on Incident

Solar Irradiance. *Applied Sciences*, t. 15 (2025), nr. 3, p. 1175. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1175> [žiūrėta Apr 12, 2026].

35. C. Kitalong ir Y. Noro. PV and Battery Sizing and Cost Study for Small Remote Islands Considering Load Demand Peak Shift. *Iš: 2023 13th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE)*, pp. 250–254.2023..

36. AL RIZA, D. ir GILANI, S. Standalone photovoltaic system sizing using peak sun hour method and evaluation by TRNSYS simulation. *International Journal of Renewable Energy Research*, t. 4 (2014), p. 109–114. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/289618602_Standalone_photovoltaic_system_sizing_using_peak_sun_hour_method_and_evaluation_by_TRNSYS_simulation [žiūrėta Apr 12, 2026].

37. *Welcome to Python.Org*. [2026-04-14]. Prieiga per internetą: <https://www.python.org/> [žiūrėta Apr 18, 2026].

38. . Trina Solar VERTEX S+ datasheet. Prieiga per internetą: https://static.trinasolar.com/sites/default/files/230531_Datasheet_Vertex%20S+_NEG9R.28_EN_2023_B_web.pdf [žiūrėta Apr 18, 2026].

39. . Livoltek BHF – X60 BESS – 30kW/60kWh datasheet. Prieiga per internetą: <https://info-support.livoltek.com/2-Product-Material/1-Product%20Datasheet/7-BESS/BESS-30kW+60kWh.pdf> [žiūrėta Apr 18, 2026].

40. . Smart String ESS. Prieiga per internetą: <https://solar.huawei.com/admin/asset/v1/pro/view/ad91d6d343ee4f13860b641e8239e53c.pdf> [žiūrėta Apr 18, 2026].

Priedai

1 priedas. Fotovoltinių modulių duomenų lapas

Vertex S⁺

DUAL GLASS N type i-TOPCon MODULE

PRODUCT: TSM-NEG9R.28
POWER RANGE: 425-450 W

450 W

MAXIMUM POWER OUTPUT

0/+5 W

POSITIVE POWER TOLERANCE

22.5 %

MAXIMUM EFFICIENCY



Small in size, bigger on power

- Generates up to 450 W, 22.5 % module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping, lower series resistance, improved current collection and enhanced reliability
- Reduces installation cost with higher power bin and efficiency



Dual-glass Design, High Reliability

- Excellent fire rating and resistance to harsh environmental conditions
- 5,400 Pa snow load and 4,000 Pa wind load (test loads)



Maximize Energy Harvest

- Up to 25 years product warranty and 30 years power warranty
- 1 % first-year degradation and 0.4 % annual degradation enabled by N-type technology



Universal solution for residential and C&I rooftops

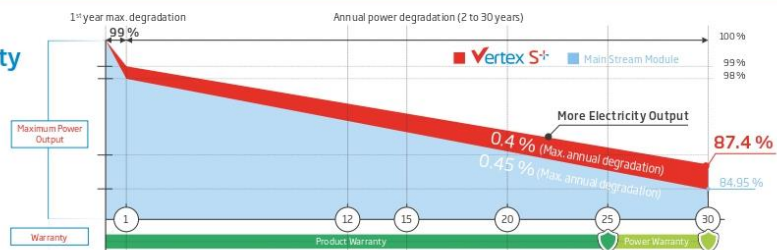
- Designed for compatibility with existing mainstream inverters, optimizers and mounting systems
- Perfect size and low weight for easy handling. Optimized transportation cost
- Flexible installation solutions for system deployment

Extended Vertex S⁺ Warranty

1 %
1st year max. degradation

0.4 %
Max. annual degradation from year 2 to 30

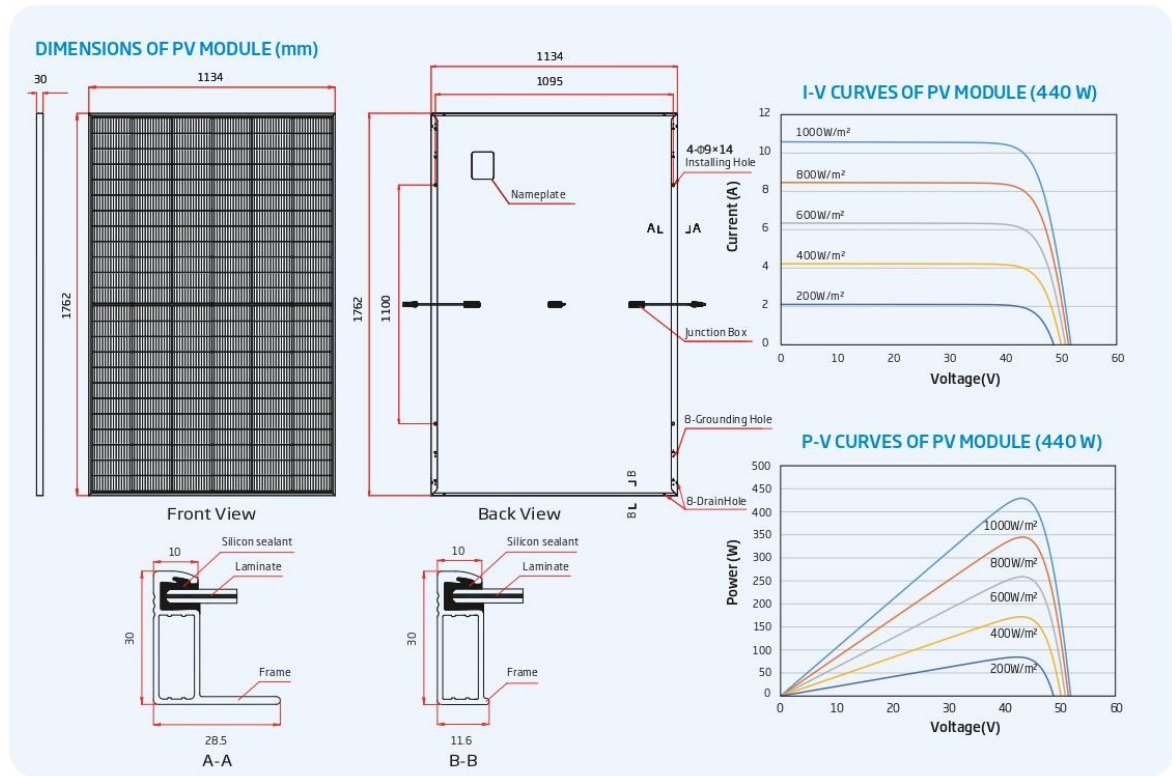
25 Years
Product Workmanship Warranty



Comprehensive Products and System Certificates



IEC61215/IEC61730/IEG1701/IEG2716
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



ELECTRICAL DATA (STC)	TSM-425 NEG9R.2B	TSM-430 NEG9R.2B	TSM-435 NEG9R.2B	TSM-440 NEG9R.2B	TSM-445 NEG9R.2B	TSM-450 NEG9R.2B
Peak Power Watts-P _{MAX} (Wp)*	425	430	435	440	445	450
Power Tolerance-P _{MAX} (W)	0/+5					
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	42.9	43.2	43.6	44.0	44.3	44.6
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	9.92	9.96	9.99	10.01	10.05	10.09
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	50.9	51.4	51.8	52.2	52.6	52.9
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	10.56	10.59	10.64	10.67	10.71	10.74
Module Efficiency-η _m (%)	21.3	21.5	21.8	22.0	22.3	22.5

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25 °C, Air Mass AM 1.5. *Measuring tolerance: ±3 %.

ELECTRICAL DATA (NOCT)	TSM-425 NEG9R.2B	TSM-430 NEG9R.2B	TSM-435 NEG9R.2B	TSM-440 NEG9R.2B	TSM-445 NEG9R.2B	TSM-450 NEG9R.2B
Maximum Power-P _{MAX} (Wp)	324	328	332	335	339	343
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	40.0	40.4	40.7	41.0	41.3	41.6
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	8.09	8.11	8.15	8.17	8.20	8.24
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	48.2	48.7	49.1	49.4	49.8	50.1
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	8.51	8.53	8.57	8.60	8.63	8.65

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20 °C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	144 cells
Module Dimensions	1762×1134×30 mm
Weight	21.0 kg
Front Glass	1.6 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	1.6 mm, Heat Strengthened Glass
Frame	30 mm Anodized Aluminium Alloy, Black
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0 mm ² Landscape: 1100/1100 mm Portrait: 280/350 mm*
Connector	TS4 / MC4 EVO2*

*Special order only

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43 °C (±2 K)
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.30 %/ K
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.24 %/ K
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.04 %/ K

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 to +85 °C
Maximum System Voltage	1500 V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20 A

WARRANTY

25 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
1 % first year degradation
0.4 % Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box:	36 pieces
Modules per 40' container:	936 pieces

2 priedas. Elektros energijos kaupiklio „Livoltek“ duomenų lapas

LIVOLTEK

BESS-30KW/60KWH

BHF-X60

The BHF-X60 cabinet can meet the energy needs of large residences and small businesses. Supports up to 200% PV overrating capacity to ensure sufficient power and reduce dependence on the grid, thus saving costs. It supports 0.5C lithium-ion battery charging and discharging, and supports self-use mode, time-of-use mode and backup mode, which can flexibly adapt to different power strategies. The BHF-X60 cabinet is equipped with an integrated AC junction box, providing a unified wiring interface, which simplifies installation and deployment. In the case of unstable or no power grid, the built-in ATS switch can directly connect to the diesel generator to ensure the continuity and reliability of power supply.

Economical Investment

- Easy installation: Unified built-in wiring box, factory pre-assembly and collective wiring design reduces 20% on-site installation time
- Affordable upgrade: System scale-up requires no extra devices due to integrated AC combiner box

Reliable Safety

- Comprehensive Protection: Call health alerts, multi-layer protection and multiple safeguards to ensure system operation safety
- Seamless Transition: Reliable power supply with uninterrupted grid-to-off-grid switching for complex loads scenario

Versatile Application

- Flexible Scalability: Modular design, flexible expansion for 6x system (BHF-X60) or 6x battery cabinet only
- Strong compatibility: Supports 2-1V over-configuration and can be connected to diesel generators

Convenient Maintenance

- Real-time Monitoring: 24/7 system status updates via APP and cloud
- Easy Maintenance: Remote diagnosis and intelligent maintenance reduces on-site servicing time and labor cost



COFFEE

* Outdoor, IP54

BESS-30KW/60KWH

BESS

BHF-X60

Model	BHF-X60
DC Input	
Max. PV Array Power(Wp)	50000
Max. DC Voltage(V)	600
MPPT Voltage Range(V)	150 - 550
Rated DC Voltage(V)	600
Start Voltage(V)	180
Max. DC Input Current(A)	32 / 32 / 30
Max. DC Short Circuit Current(A)	40 / 40 / 40
Number of String per MPPT	2 / 2 / 2
Battery Parameter	
Battery Type	LFP
Rated Energy (kWh)	50
Max. Charge/Discharge Current(A)	50/50
AC Output (On-grid)	
Rated AC Power(kW)	30
Max. Apparent Power(kVA)	30
Max. Output Current (A) @220V	43.5
Rated AC Voltage(V)	3W + N + PE, 380/400/415
Rated Output Frequency (Hz)	50 / 60
Power Factor(cos φ)	Adjustable from 0.8 leading to 0.8 lagging
Total Harmonic Distortion (THD)	< 3%
AC Input (On-grid)	
Rated AC Voltage (V)	3W + N + PE, 380/400/415
Rated Output Frequency (Hz)	50 / 60
Max. AC Input Power(kW)	40
Max. Input Current (A)	58
AC Output (Back-up)	
Rated Output Power (kW)	30
Max. Apparent Power(kVA)	33
Power Circuit Apparent Power (kVA)(In)	33
Rated AC Voltage (V)	3W + N + PE, 380/400/415
Rated Output Frequency (Hz)	50 / 60
Output THD (p. Linear Load)	< 2%
AC Input (Generator)	
Max. Input Power (kW)	40
Max. Input Current (A)	58
Rated Input Voltage (V)	3W + N + PE, 380/400/415
Rated Input Frequency (Hz)	50 / 60
Protection	
PV Reverse Polarity Protection	Integrated
Anti-islanding Protection	Integrated
AC Overcurrent Protection	Integrated
AC Short Circuit Protection	Integrated
AC Overvoltage Protection	Integrated
IG Switch	Integrated
AC/DC Surge Protection	N/A
AFCI	Optional
System Parameters	
Max. Efficiency of System	92.5% @ 25°C, 85% @ 50°C
Depth of Discharge	90%
Operating Temperature (°C)	-20 ~ 55
Operating Humidity	5% ~ 95% (Non-condensing)
Operating Altitude(m)	≤ 5000 (≤ 2000 operating)
Warranty (years)	10 years/15,000 cycles/25°C
Communication	RS485 / 4G-LTE / WiFi
Auxiliary Power Supply(Vac)	220
Temperature Control Mode	Forced Cooling
Noise(dB)	< 75
Ingress Protection	IP54
Dimension(W*H*D) (mm)	722*850*1545 mm
Weight(kg)	± 650

3 priedas. Elektros energijos kaupiklio „Huawei“ LUNA2000 duomenų lapas

LUNA2000 - 200/161/129KWH-2H1
LUNA2000 - 97KWH-1H1
Smart String ESS



More Energy



Simple O&M



Safe & Reliable

Energy Storage System Parameters				
Model Type	LUNA2000-200KWH-2H1	LUNA2000-161KWH-2H1	LUNA2000-129KWH-2H1	LUNA2000 - 97KWH-1H1
Battery Configuration	12S1P	10S1P	8S1P	6S1P
Maximum battery capacity of the energy storage system	193.5kWh	161.3kWh	129.0kWh	96.8kWh
Max. Charging Power	≤100 kW			
Max. Discharging Power	≤100 kW	≤100 kW	≤100 kW	≤92 kW
Dimensions (W x H x D)	1810mm×2135mm×1200mm			
Dimensions (W x H x D), including Smart Rack Controller and Smart PCS	2570mm x 2135mm x 1200mm			
Weight (including the battery pack)	≤2950kg	≤2690kg	≤2430kg	≤2170kg
Weight (without the battery pack)	≤1070kg	≤1070kg	≤1090kg	≤1130kg
Operating temperature range	-30 °C ~ 55 °C			
Storage temperature range	-40 °C ~ 60 °C			
Operating humidity range	0 ~ 100% (non-condensing)			
Maximum operating altitude	4,000 m			
Installation Environment Requirement	Outdoor installation			
Battery temperature control mode	Industrial-grade air conditioner			
Fire suppression of energy storage system	YES			
Auxiliary Power Supply	220Vac, ≤4.2kW			
Communication port	Ethernet / SFP			
Communication protocol	Modbus TCP			
Protection degree	IP55			
EMC Protection Rating	ClassA			
DC Lightning Protection	Type II			
Standards				
Environment	RoHS			
Certification Standards	GB/T 36276-2018; GB/T 33582; UL9540A; UN38.3; ISO 9227:2017; IEC 60529; IEC/EN 62477-1 IEC/EN 62040-1; IEC/EN 61000-6-2; IEC/EN 61000-6-4; EN 55011;			

Note: In case the LUNA2000-100KTL-M1 PCS is used in conjunction with LUNA2000 - 97KWH-1H1 Smart String ESS, the Max Discharging Power is 92 kW.

SOLAR.HUAWEI.COM

Battery Pack & Smart Rack Controller Smart String ESS



Battery Pack		
General		
Model Type	LUNA2000-200KWH-2H1	LUNA2000 - 161/129KWH-2H1 LUNA2000 - 97KWH-1H1
Cell Material	LFP	
Nominal Capacity	16.13 kWh	
Supported Charge & Discharge Rate	≤0.5C	≤1C
Weight	≤ 140 kg	
Dimensions (W x H x D)	442 x 308 x 660 mm	



Smart Rack Controller	
Efficiency	
Max. Efficiency	≥ 98.5%
Battery Side	
Rated Voltage	691.2 V
Operating Voltage Range	40 V ~ 1,050 V
Min. Start Voltage	350 V
Bus Side	
Max. DC Voltage	1,100 V
Rated Voltage	665 V
Rated Current	152.6 A
General	
Dimensions (W x H x D)	600 x 820 x 270 mm
Weight	≤ 90 kg
Cooling Method	Smart Air Cooling
Protection Degree	IP66



SOLAR.HUAWEI.COM

LUNA2000-100KTL-M1 Smart PCS



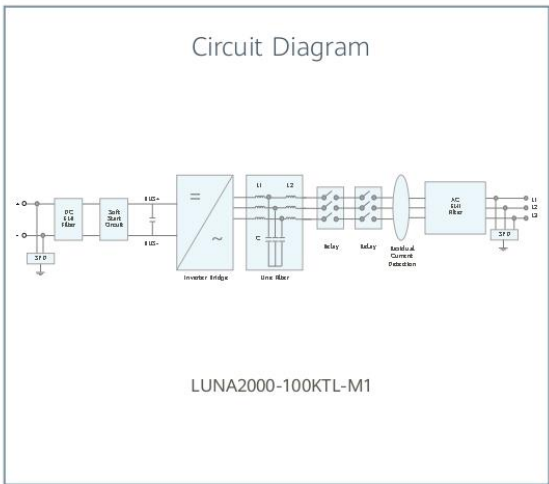
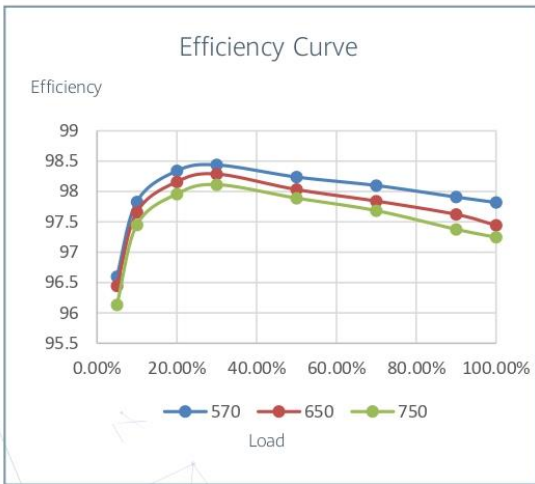

Surge Arresters for
DC & AC


Modular Design


IP66 Protection


Ethernet
Communication


Smart Grid
Algorithm



LUNA2000-100KTL-M1

Technical Specifications



Efficiency	
Max. Efficiency	98.4%
DC Side	
Rated DC Voltage	645 V
Max. DC Voltage	1,100 V
Operating DC Voltage Range	570 V ~ 1100 V
Max. DC Current	215.8 A
Max. Number of Inputs	1
AC Side	
Rated AC Active Power	100k W @40°C
Rated AC Voltage	380 Vac / 400 Vac / 440 Vac
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Max. AC Current	139.8 A (LUNA2000 - 97KWH-1H1) / 173.2 A (LUNA2000 - 129/161KWH-2H1)
Adjustable Power Factor Range	-1 ... +1
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Protection	Yes
DC Surge Protection	Type II
AC Surge Protection	Type II
Communication	
Display	LED Indicators, WLAN + APP
Networking Mode	Ethernet, CAN
General	
Dimensions (W x H x D)	875 x 820 x 365 mm
Weight	< 95 kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (Derating above 40°C)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	OT/DT Terminal
AC Connector	OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless

SOLAR.HUAWEI.COM

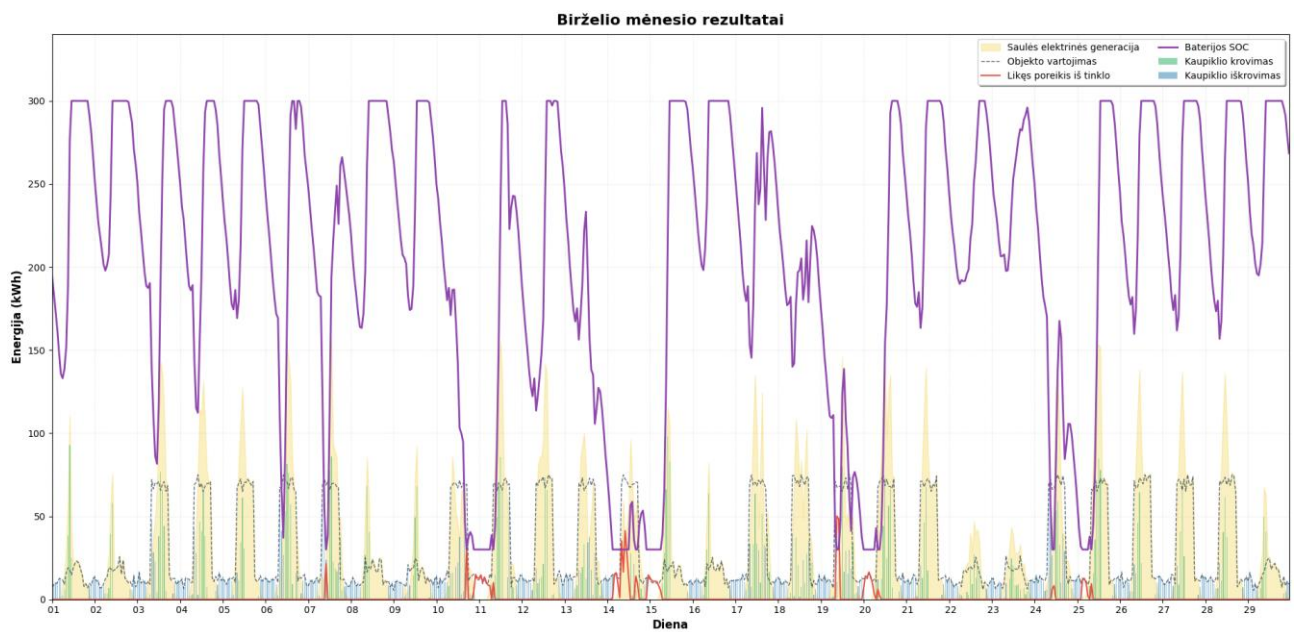
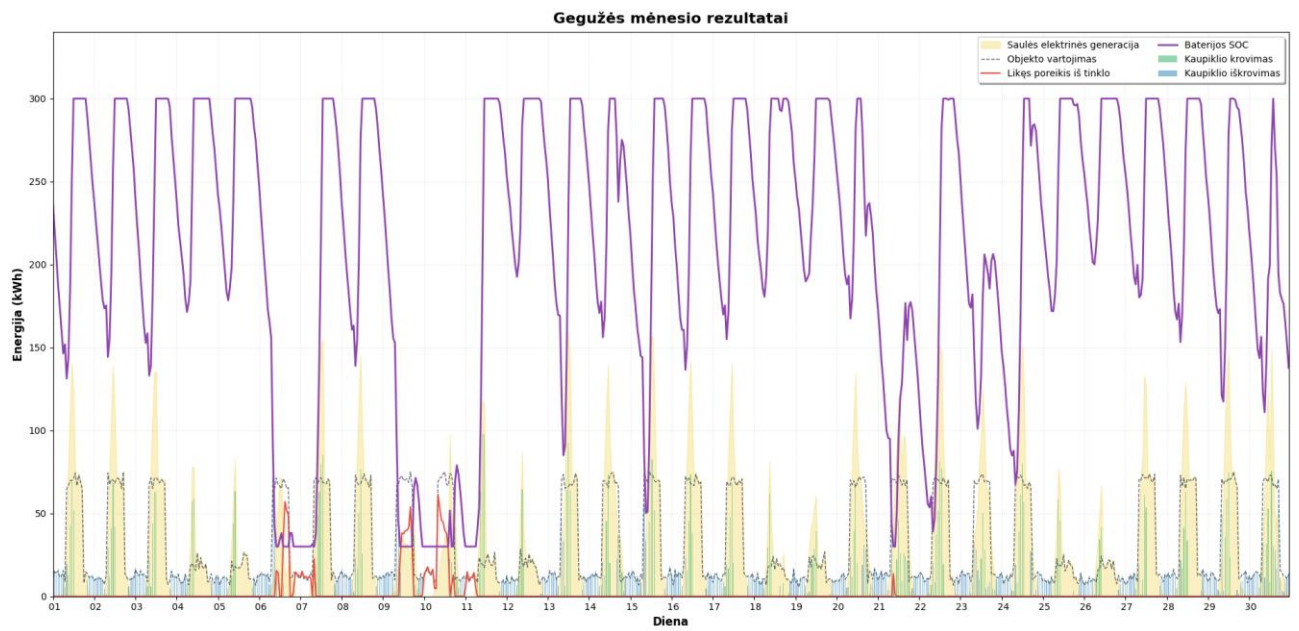
Typical System Configurations

Energy Volume kWh (Up to 3,870 kWh)	Recommended Combination of Models				
	100 kW	200 kW	300 kW	400 kW	500 kW
967.5					12 * 5p
935.3					12 * 4p + 10
903.0					12 * 4p + 8
870.8					12 * 4p + 6
838.5					12 * 3p + 8 * 2p
806.3					12 * 3p + 8 + 6
774.0				12 * 4p	
741.8				12 * 3p + 10	
709.5				12 * 3p + 8	
677.3				12 * 3p + 6	
645.0				12 * 2p + 8 * 2p	
612.8				12 * 2p + 8 + 6	
580.5			12 * 3p		
548.3			12 * 2p + 10		
516.0			12 * 2p + 8		
483.8			12 * 2p + 6		
451.5			12 + 8 * 2p		
419.3			12 + 8 + 6		
387.0		12 * 2p			
354.8		12 + 10			
322.5		12 + 8			
290.3		12 + 6			
258.0		8 * 2p			
225.8		8 + 6			
193.5	12				
161.3	10				
129.0	8				
96.8	6				
Power (Up to 2000kW)	100 kW	200 kW	300 kW	400 kW	500 kW
Smart String ESS (Up to 20x)	1x	2x	3x	4x	5x

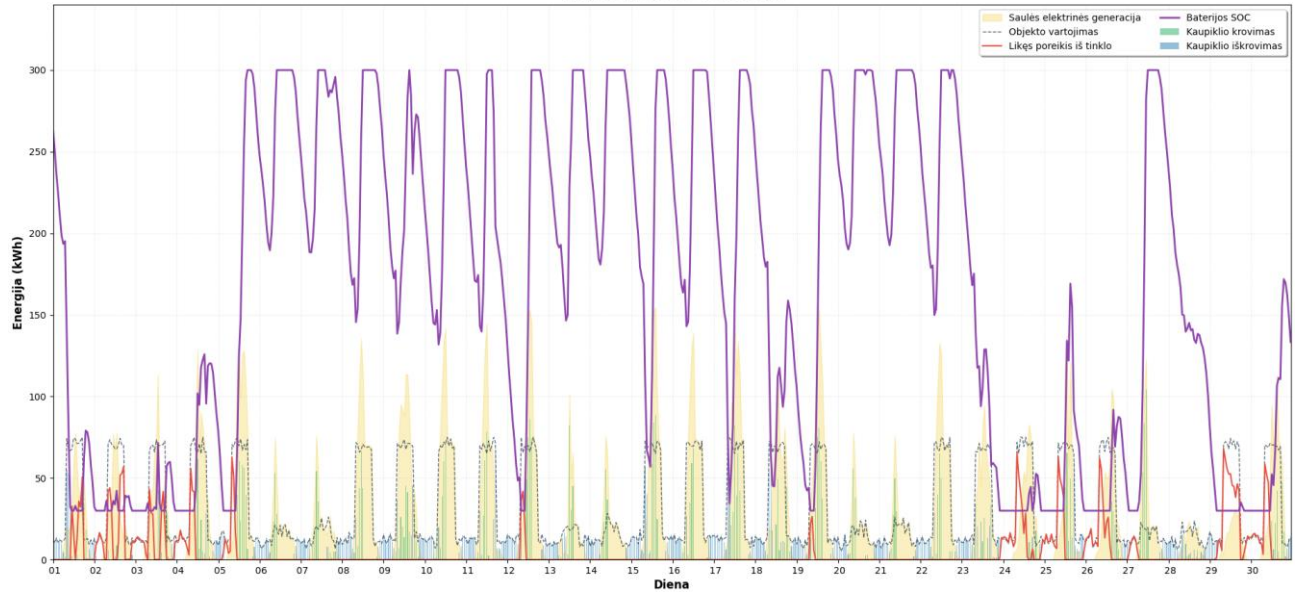
Note

1. The four capacity models can be used together. A maximum of 20 ESSs can be connected in parallel. This table only demonstrates the scenario where 5 or less ESSs are connected in parallel.
2. When different capacity models are connected in parallel, each ESS is charged and discharged according to its respective actual C rate.
3. 6, 8, 10 and 12 refer to the number of battery packs contained in different models, that is, LUNA2000-97KWH-1H1, LUNA2000-129KWH-2H1, LUAN2000-161KWH-2H1, LUNA2000-200KWH-2H1.
4. LUNA2000-161/129KWH-2H1, LUNA2000-97KWH-1H1 are not launched in Chinese Mainland and Japan.

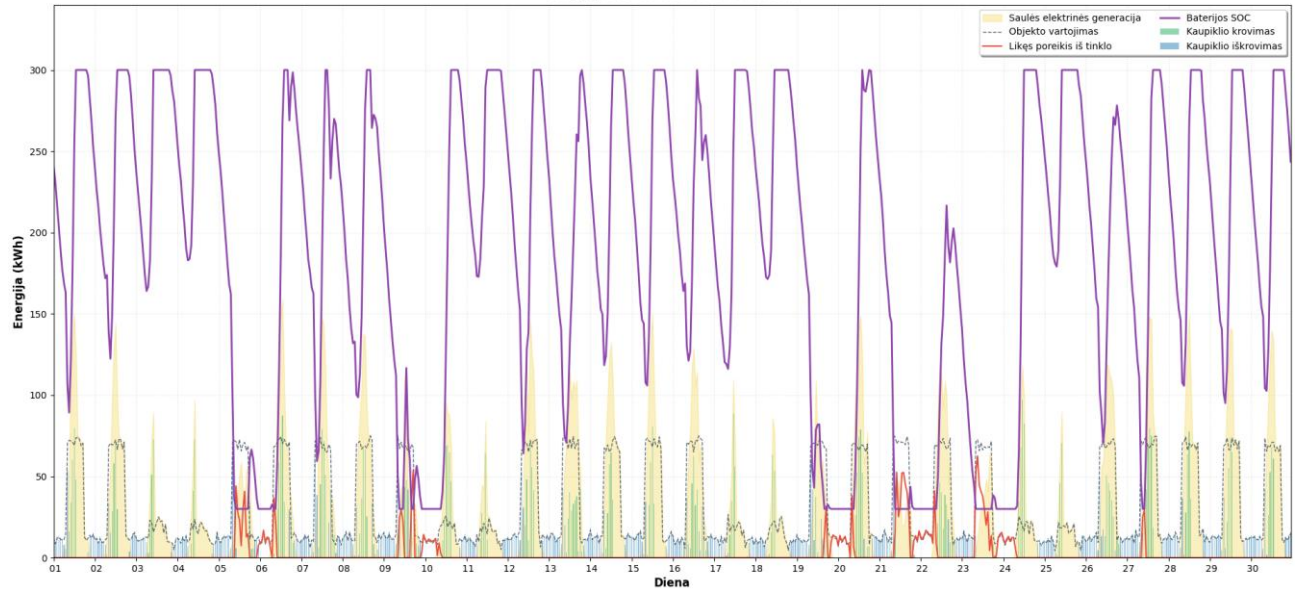
4 priedas. „A“ įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimo rezultatai 35 ° fiksuoto kampo 180,6 kW galios saulės elektrinė su 300 kWh EEK



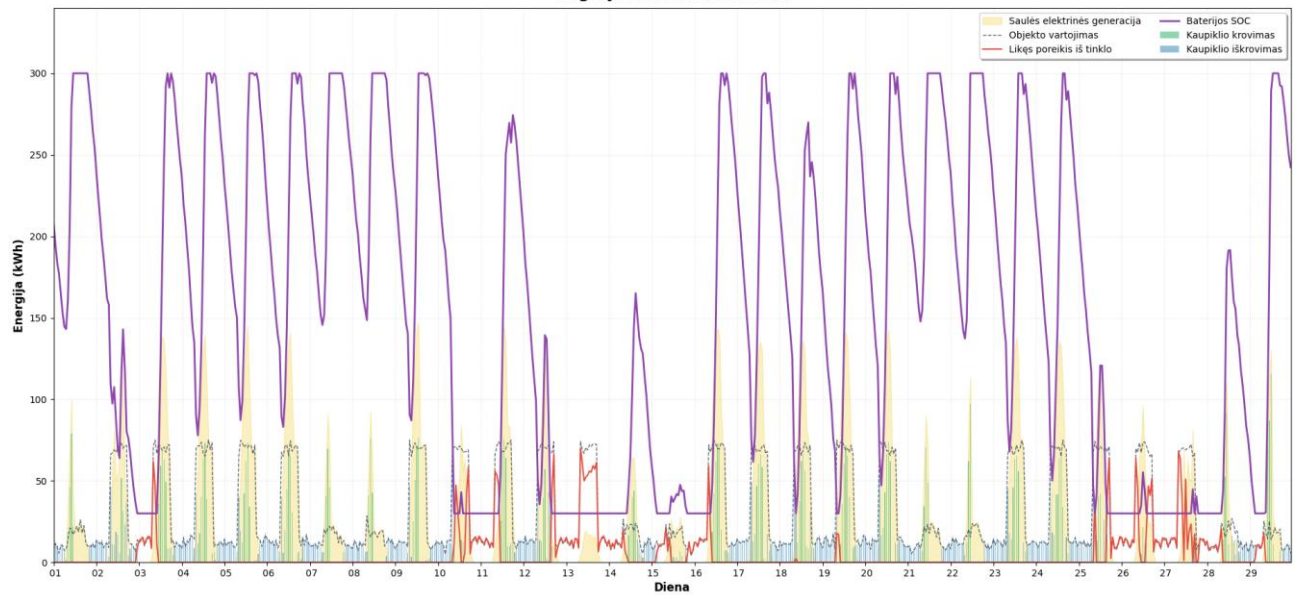
Liepos mėnesio rezultatai



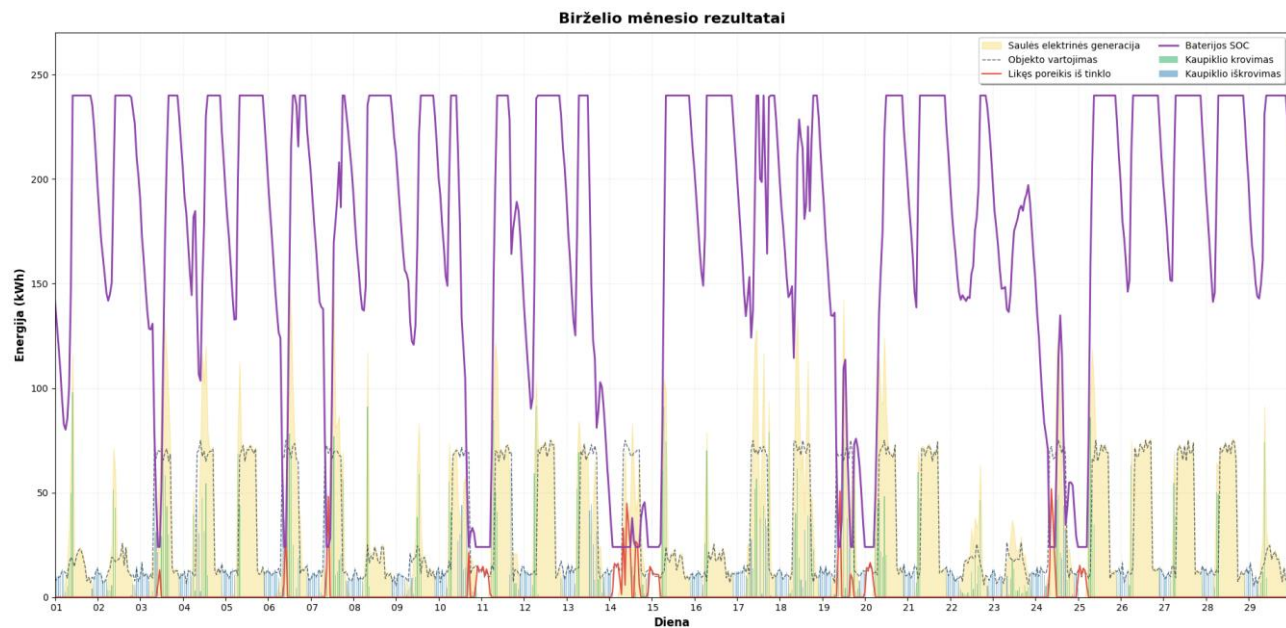
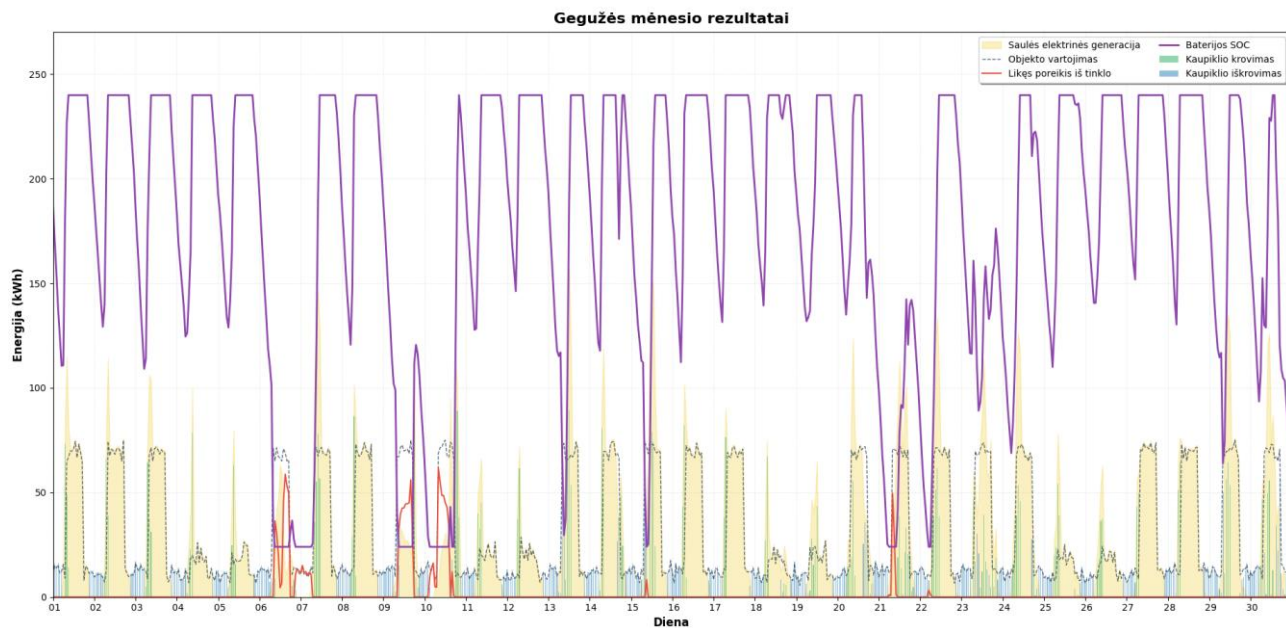
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



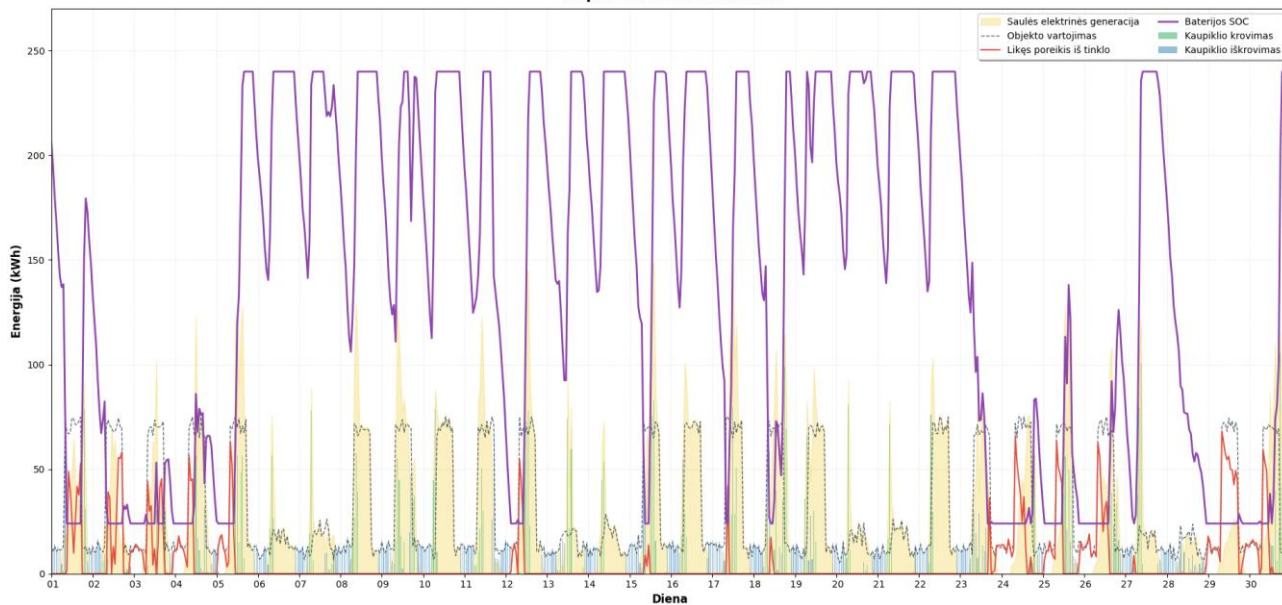
Rugsėjo mėnesio rezultatai



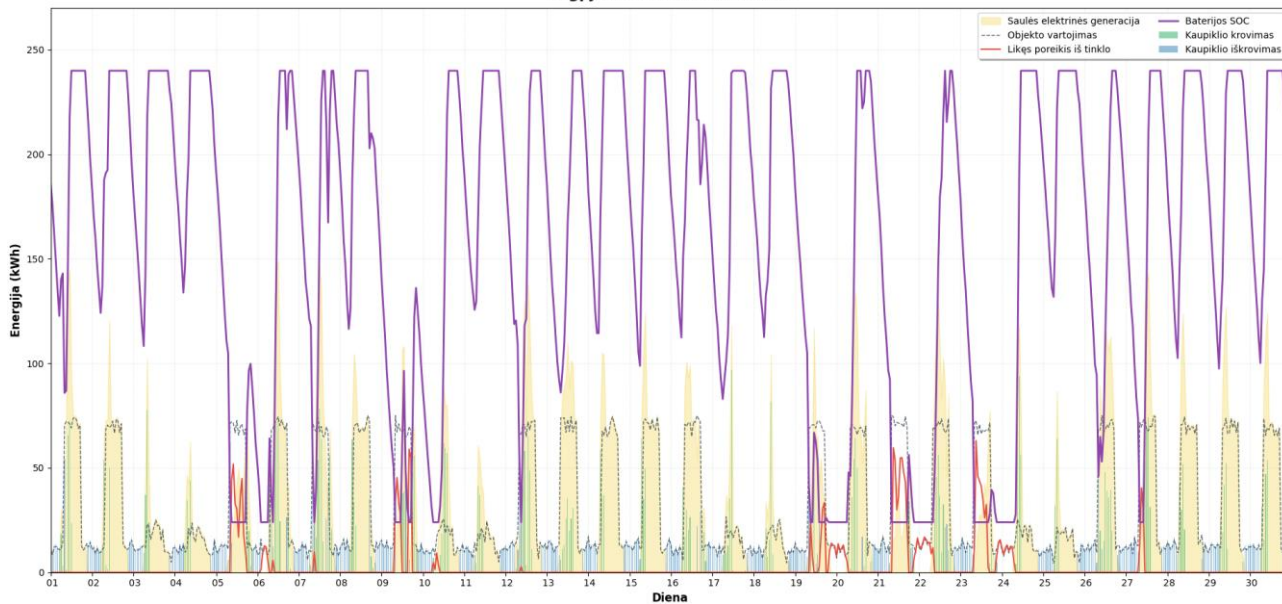
Vienos ašies sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė su 240 kWh EEK



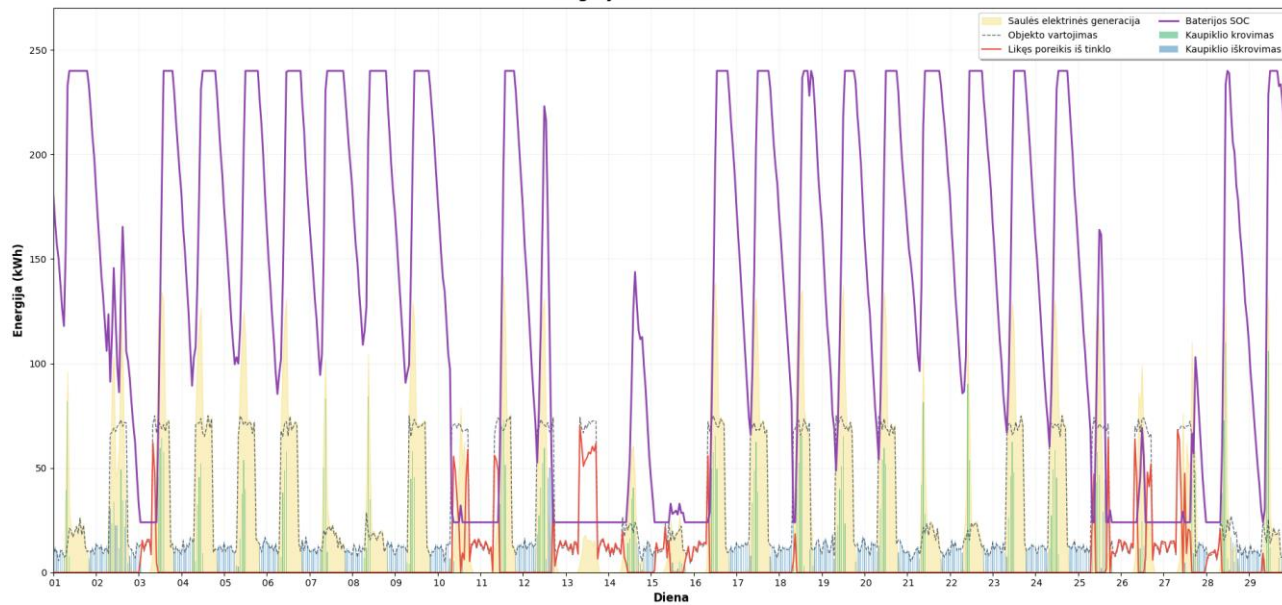
Liepos mėnesio rezultatai



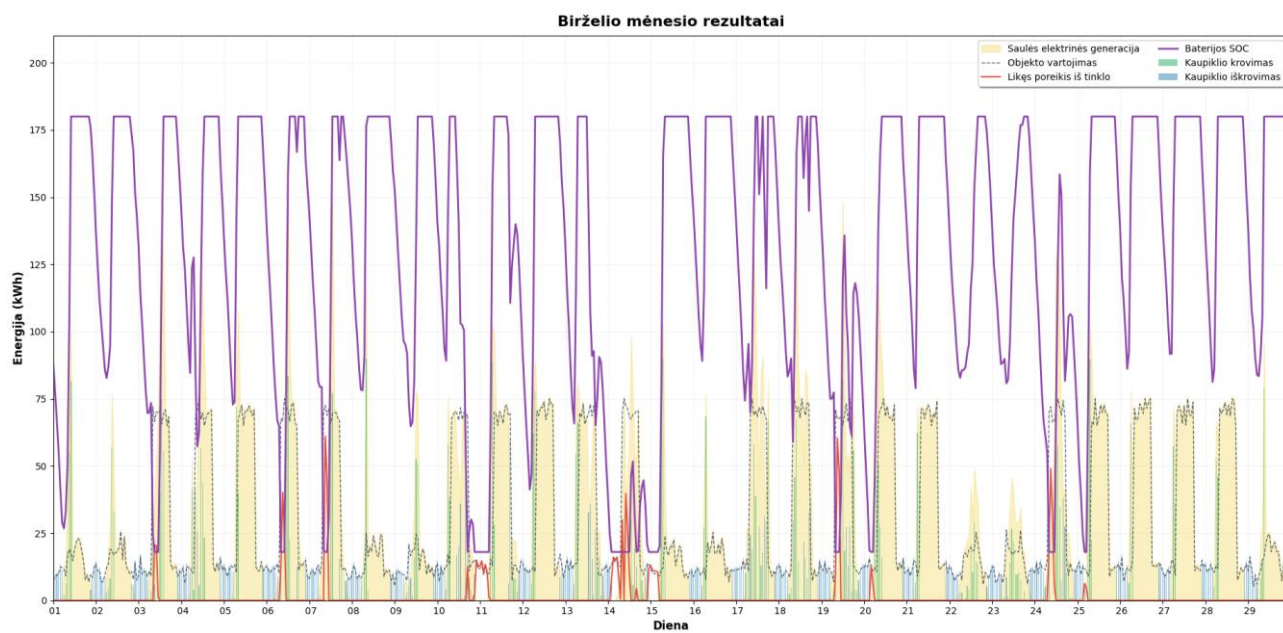
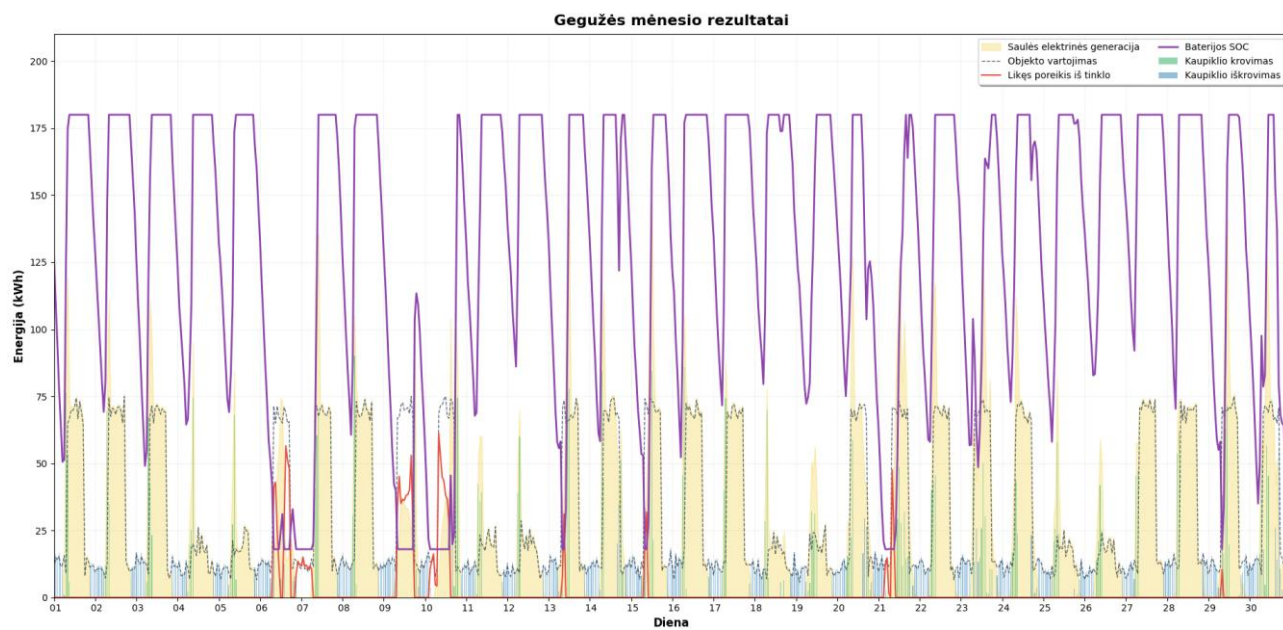
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



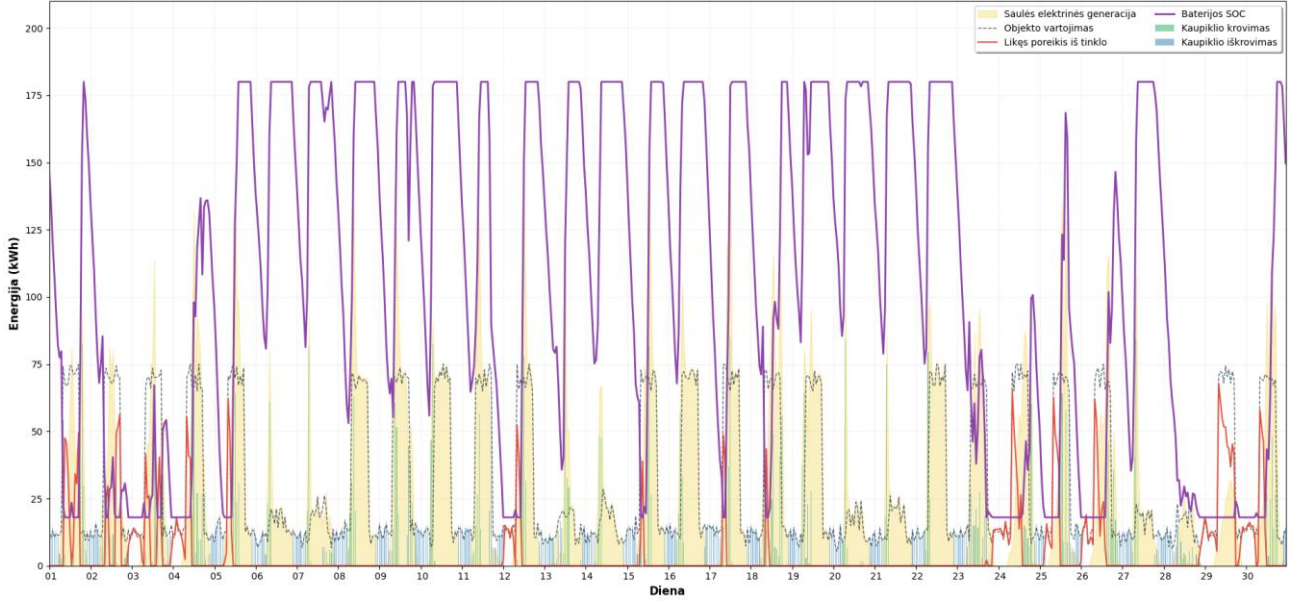
Rugsėjo mėnesio rezultatai



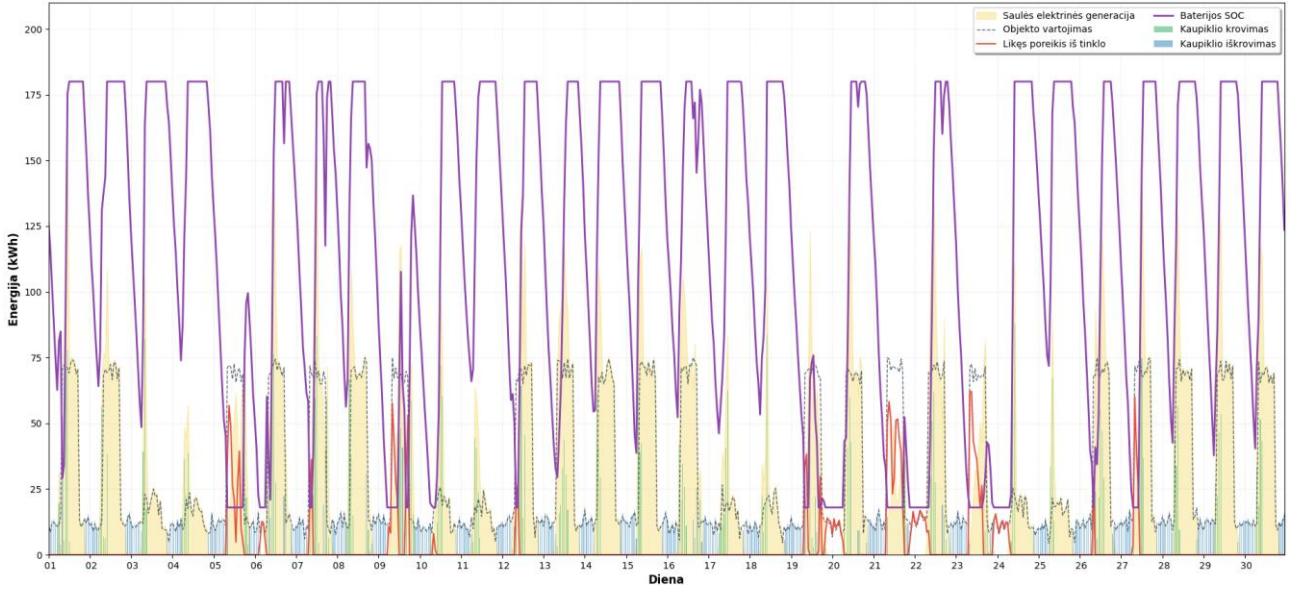
Dviejų ašių sekimo 180,6 kW galios saulės elektrinė su 180 kWh EEK



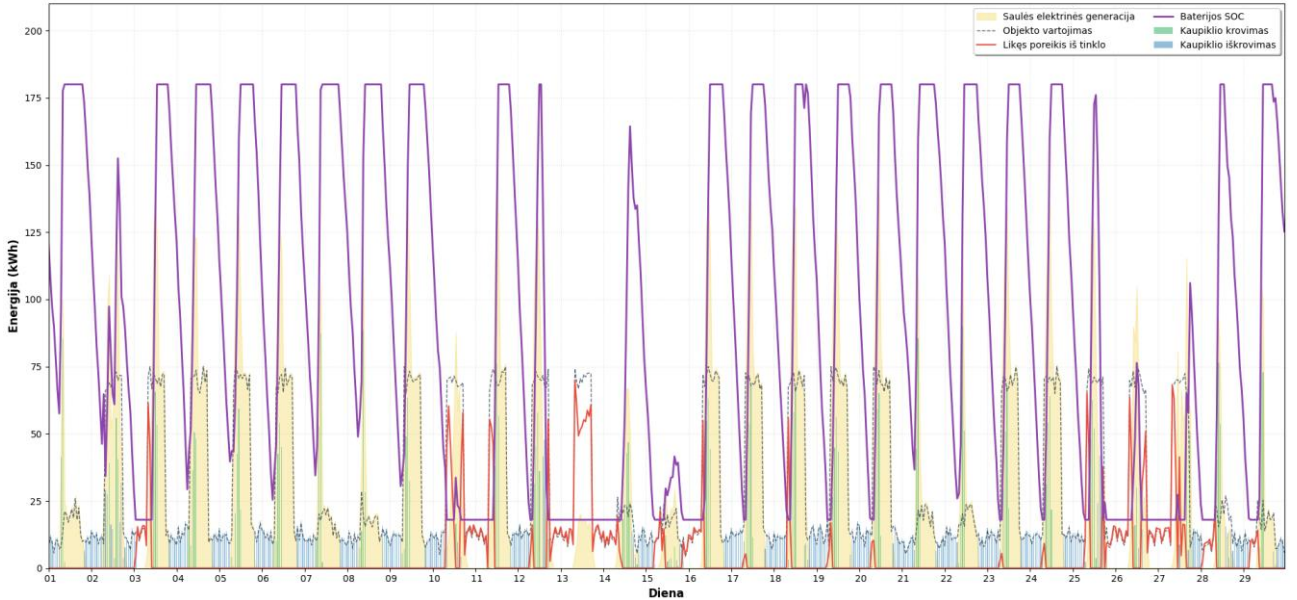
Liepos mėnesio rezultatai



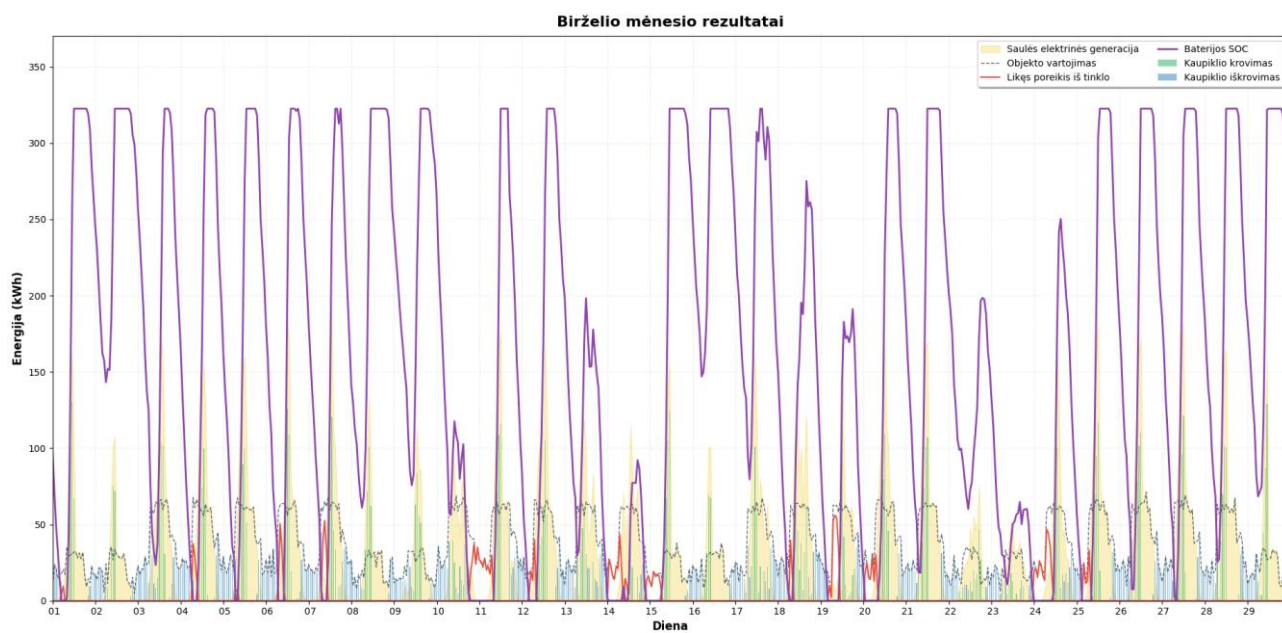
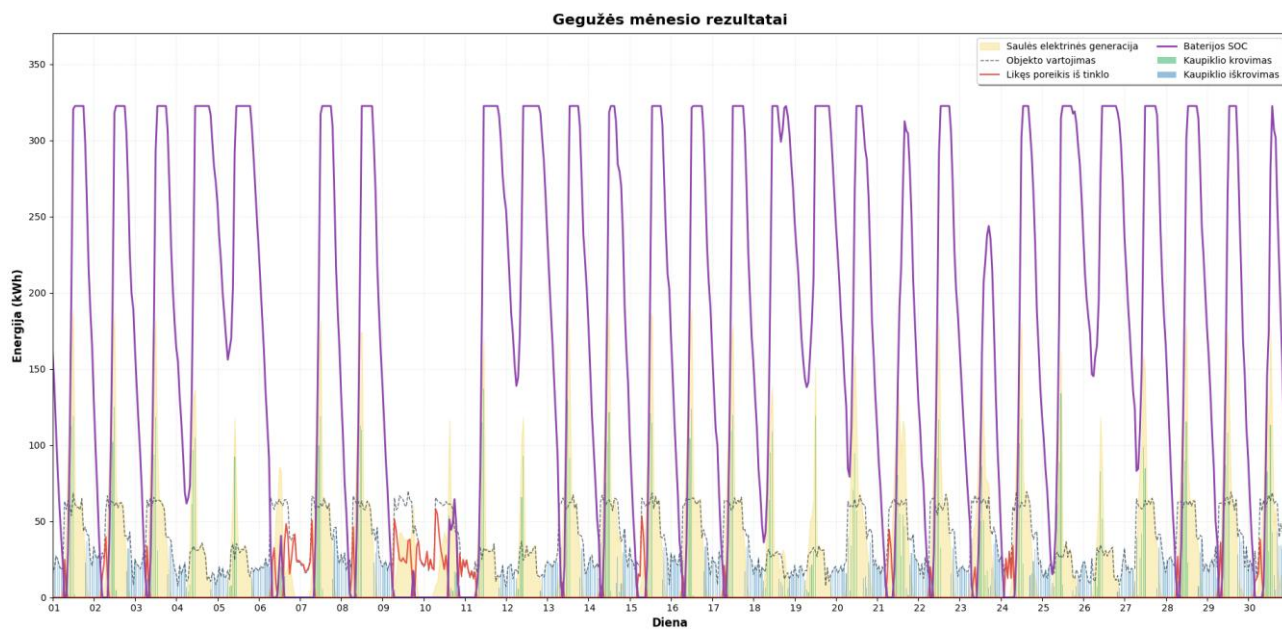
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



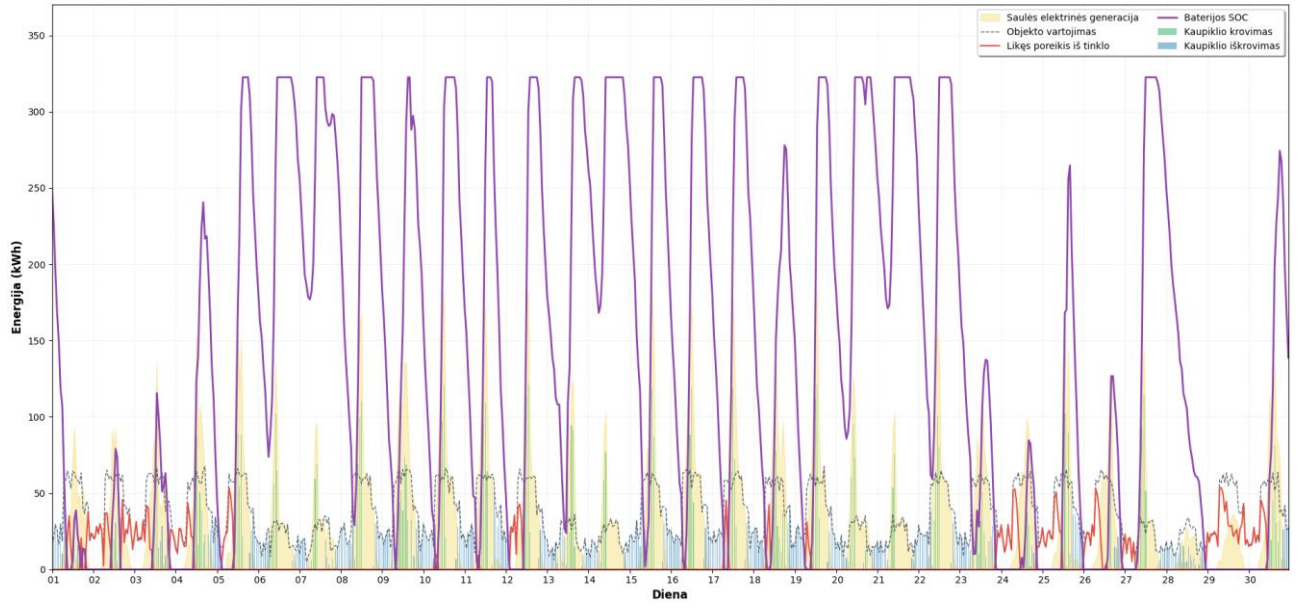
Rugsėjo mėnesio rezultatai



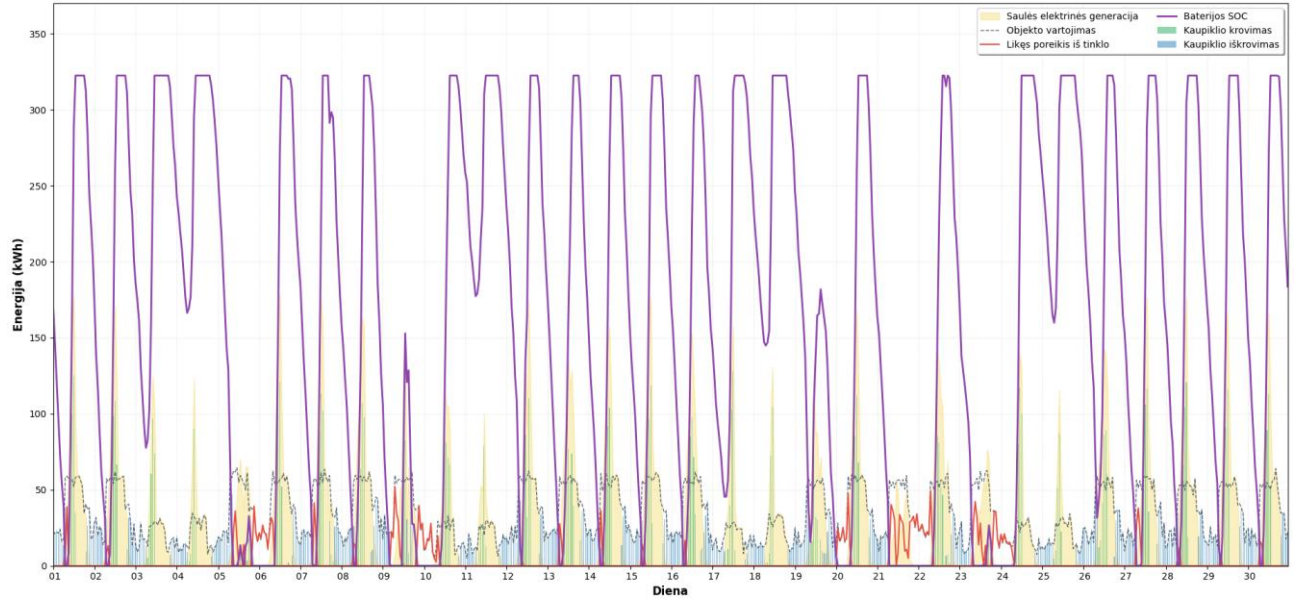
5 priedas. „B“ įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimo rezultatai 35 ° fiksuoto kampo 215 kW galios saulės elektrinė su 322,5 kWh EEK



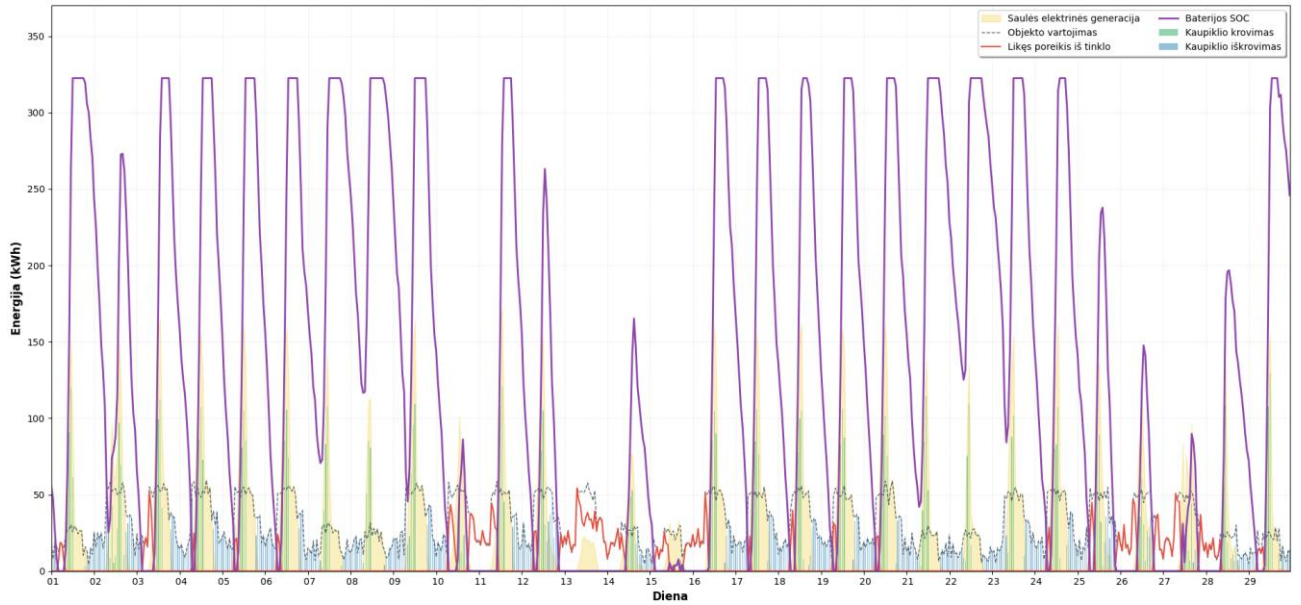
Liepos mėnesio rezultatai



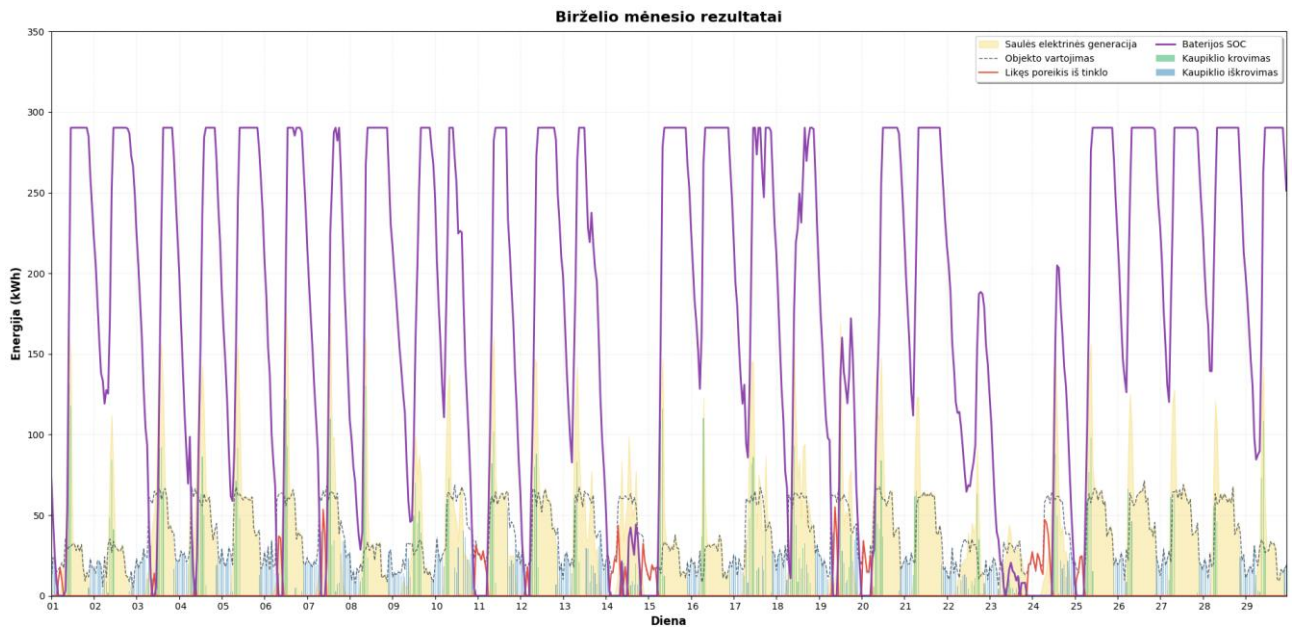
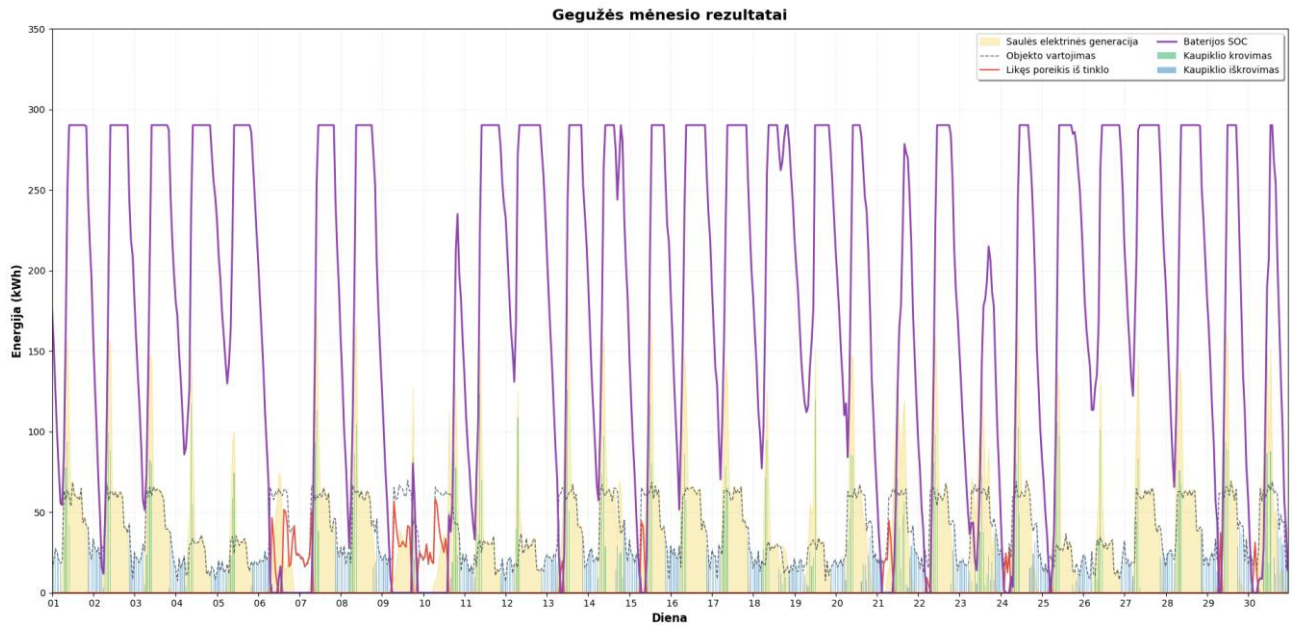
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



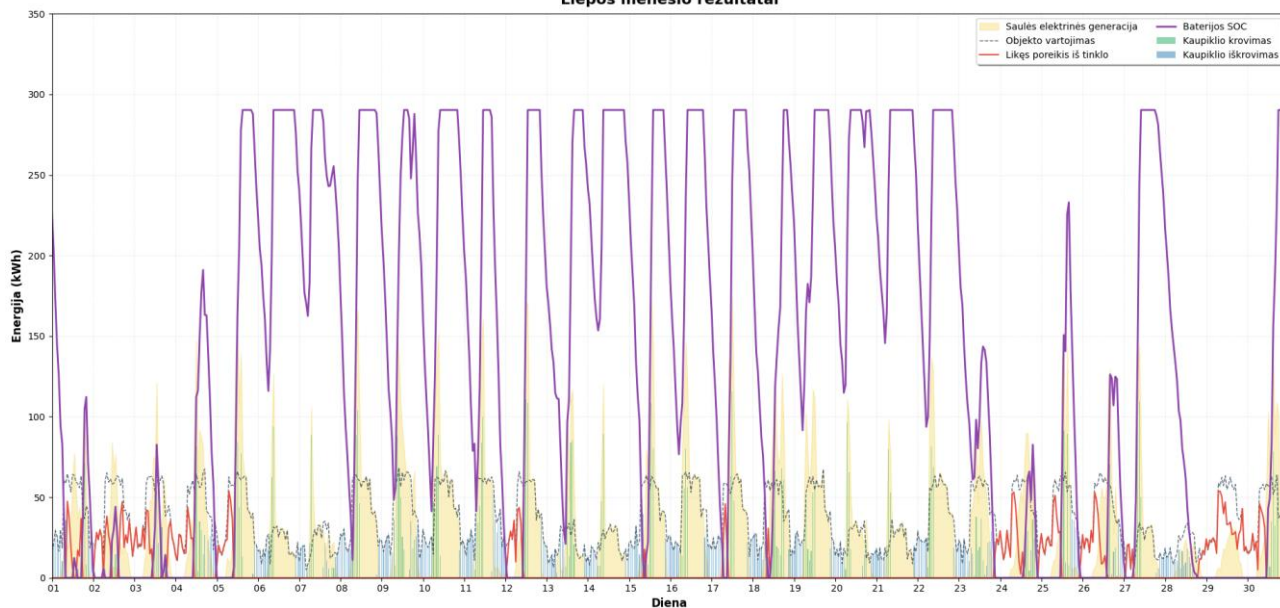
Rugsėjo mėnesio rezultatai



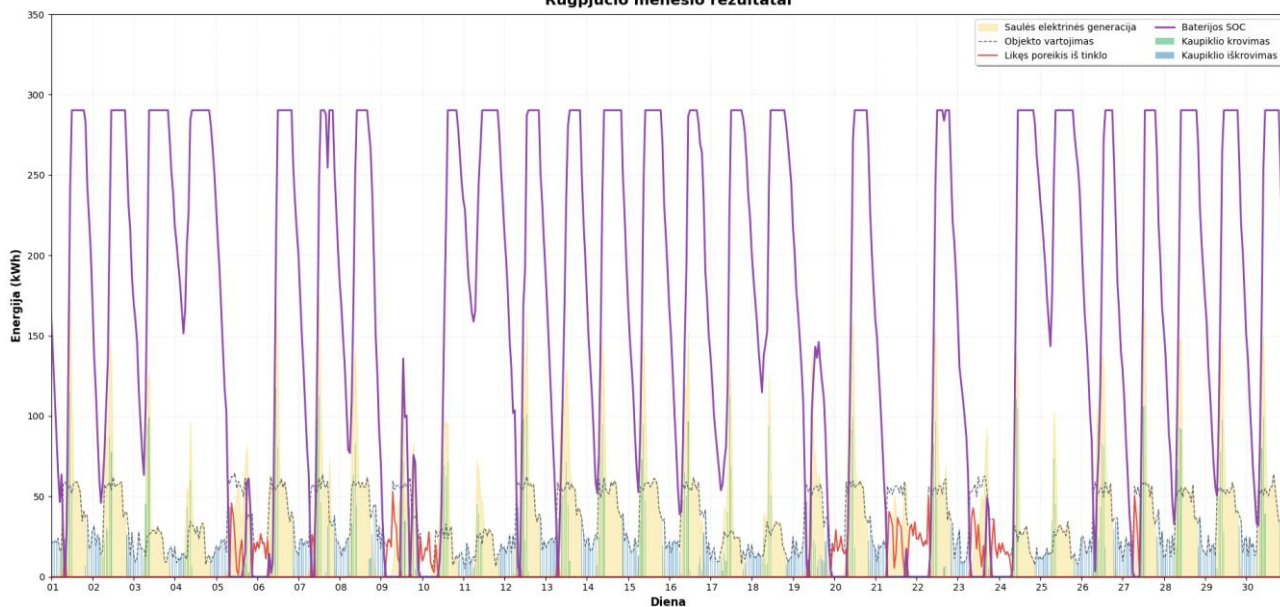
Vienos ašies sekimo 215 kW galios saulės elektrinė su 290,3 kWh EEK



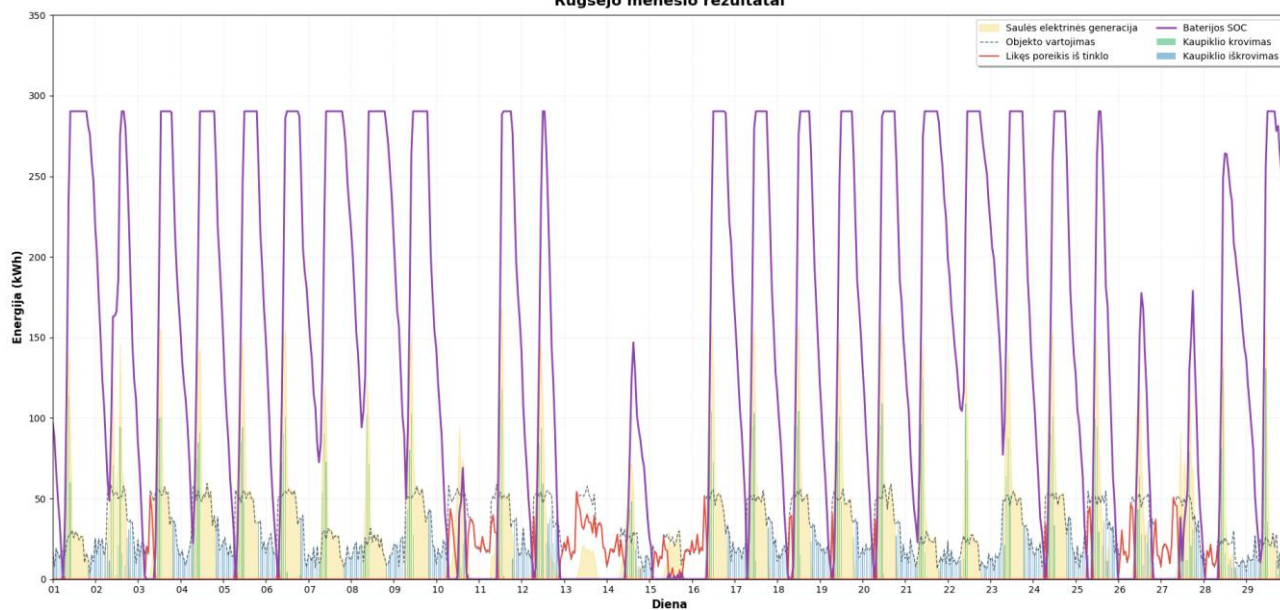
Liepos mėnesio rezultatai



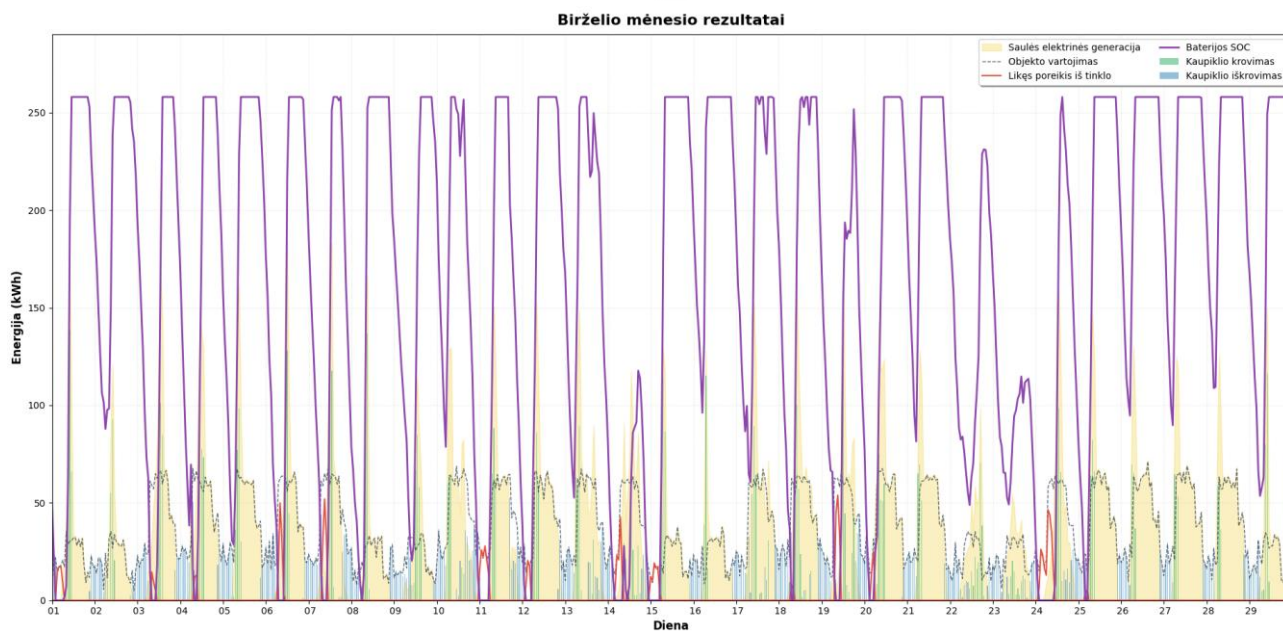
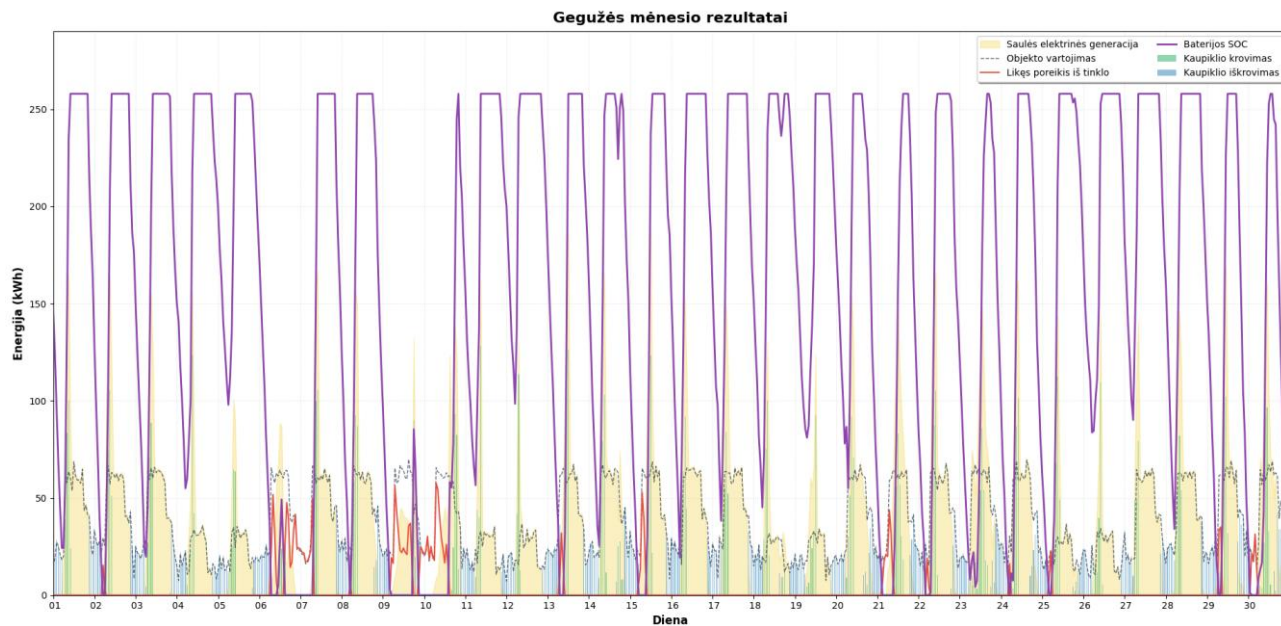
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



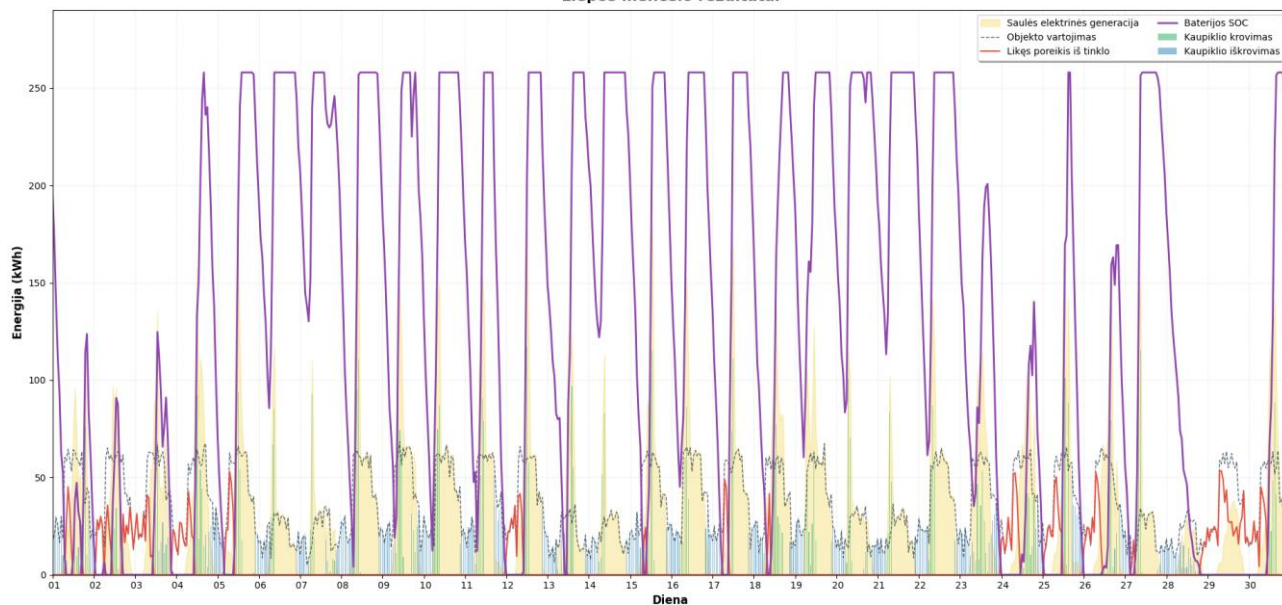
Rugsėjo mėnesio rezultatai



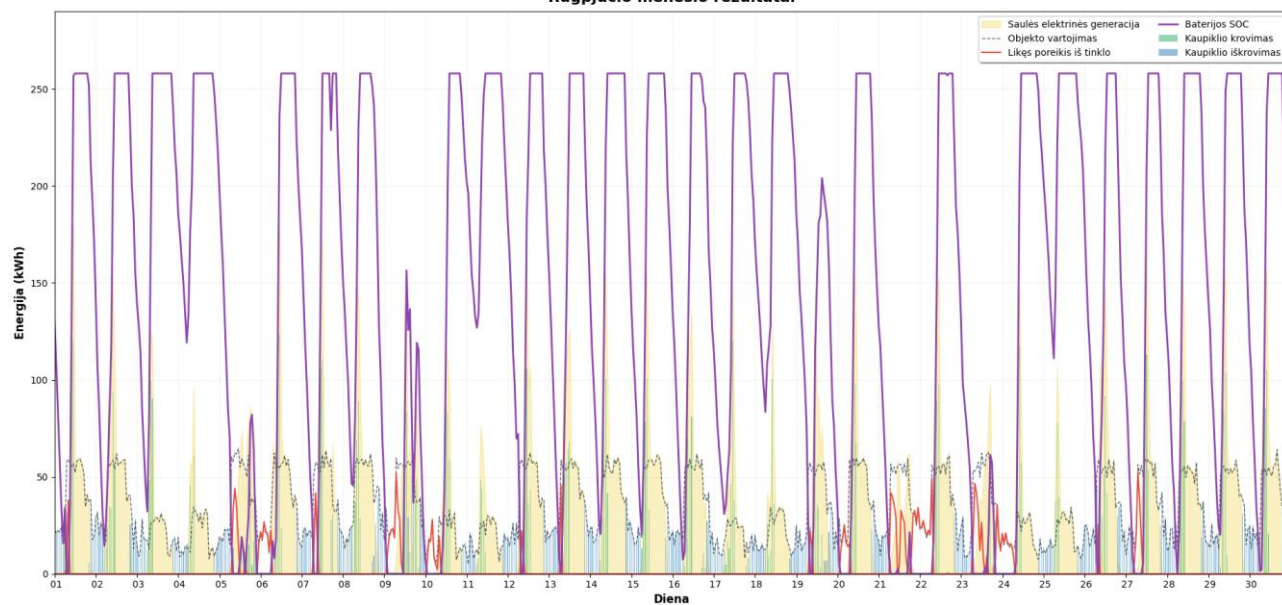
Dviejų ašių sekimo 215 kW galios saulės elektrinė su 258 kWh EEK



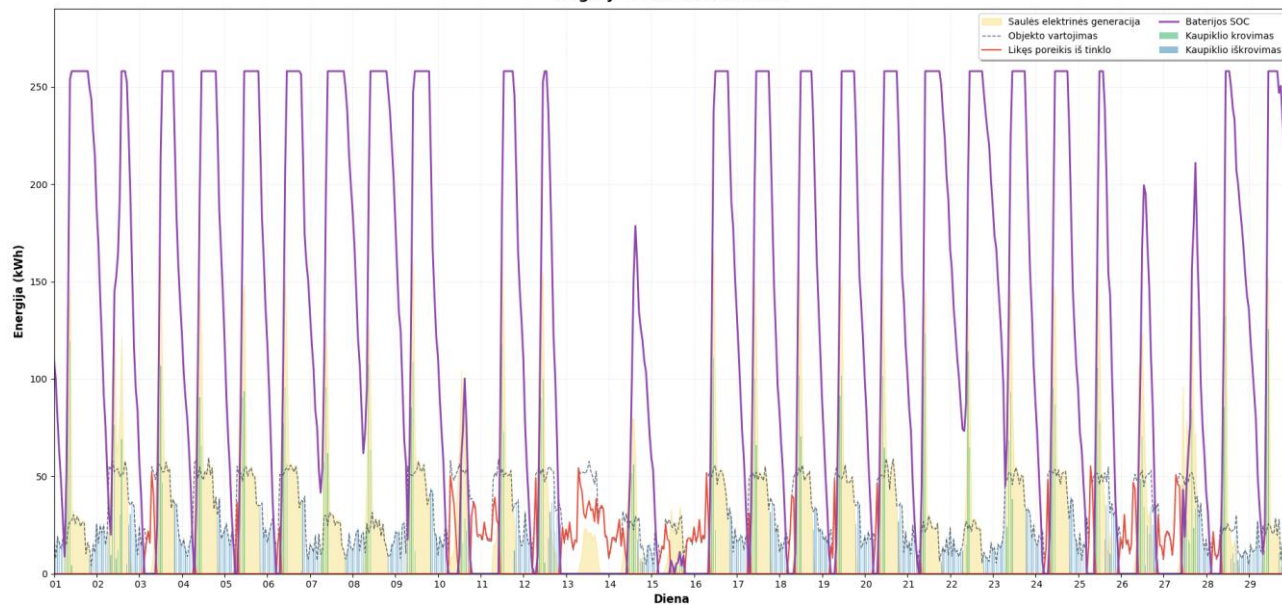
Liepos mėnesio rezultatai



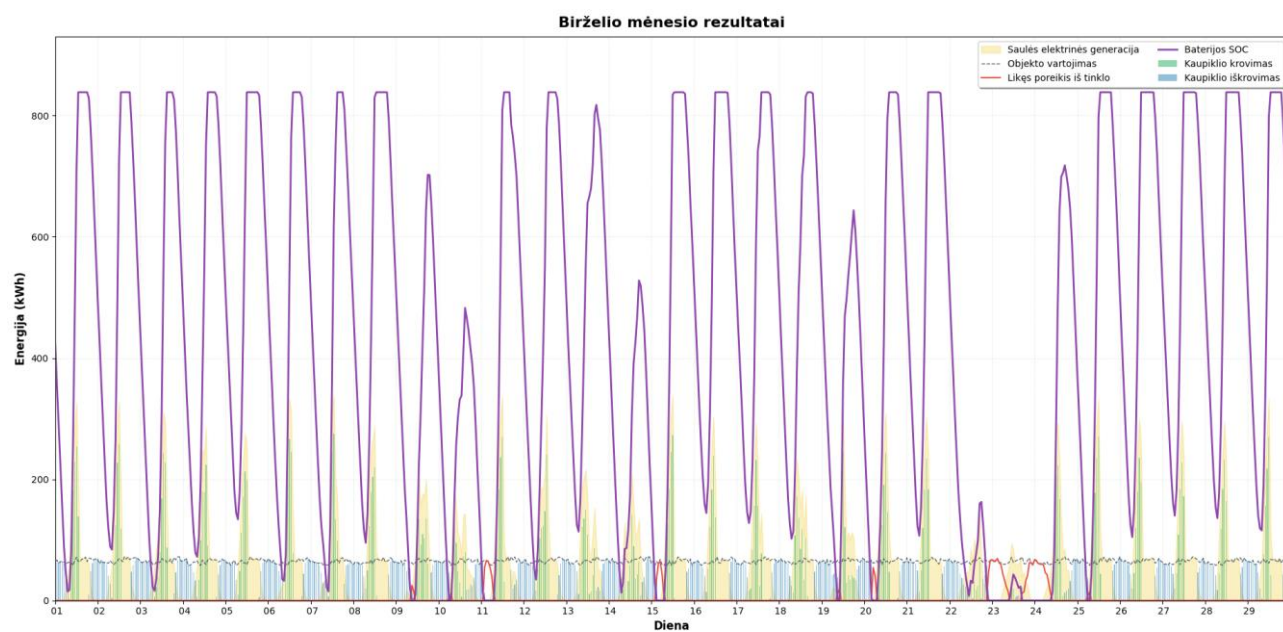
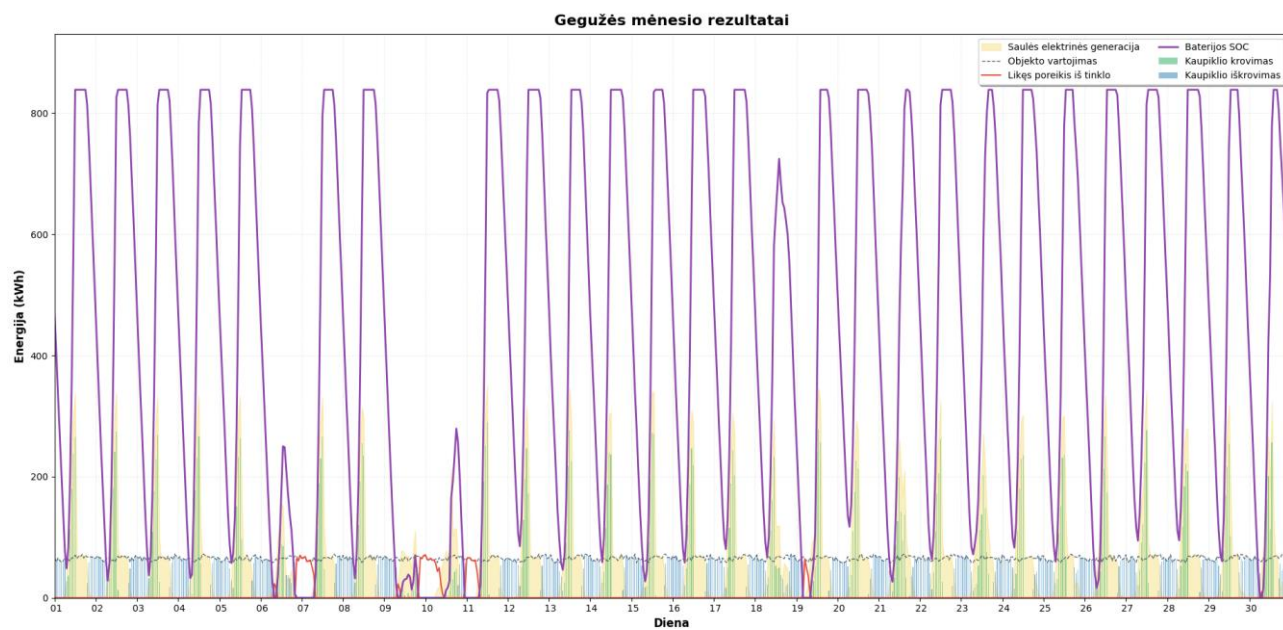
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



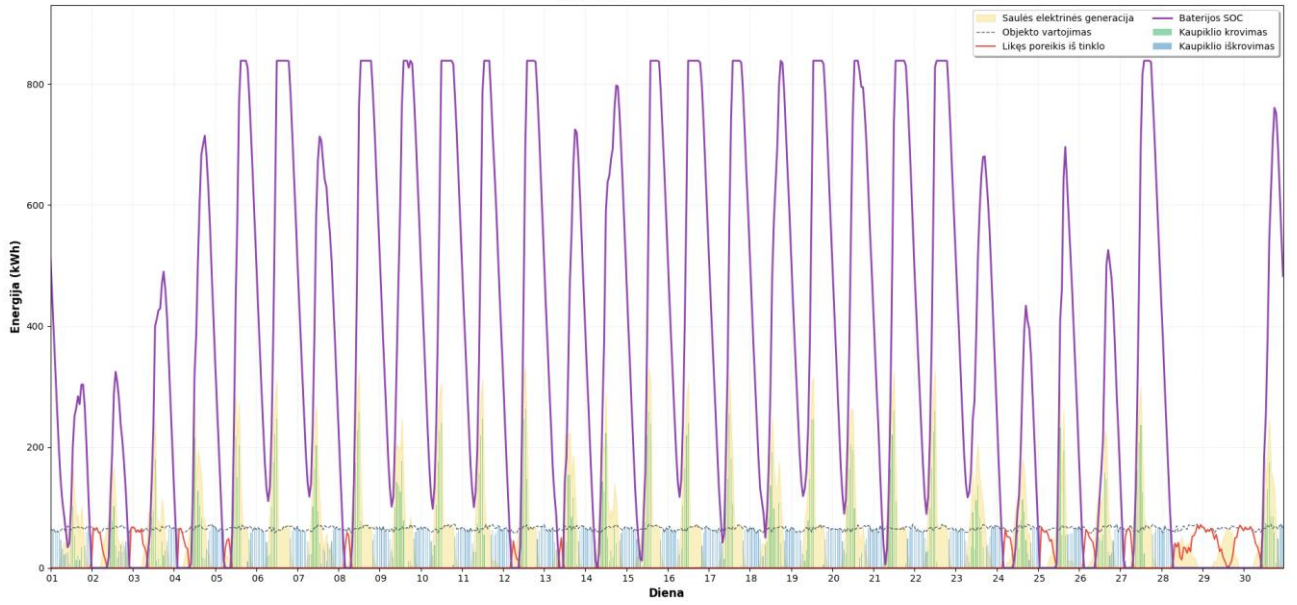
Rugsėjo mėnesio rezultatai



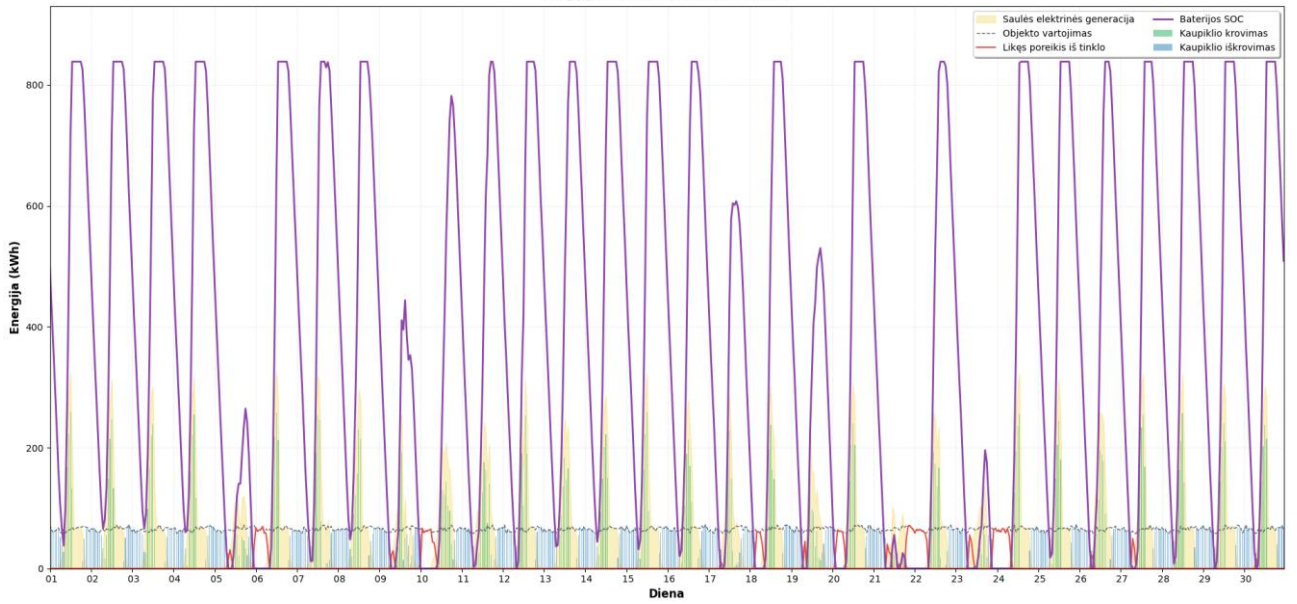
6 priedas. „C“ įmonės gegužės – rugsėjo mėnesių modeliavimo rezultatai 35 ° fiksuoto kampo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 838,5 kWh EEK



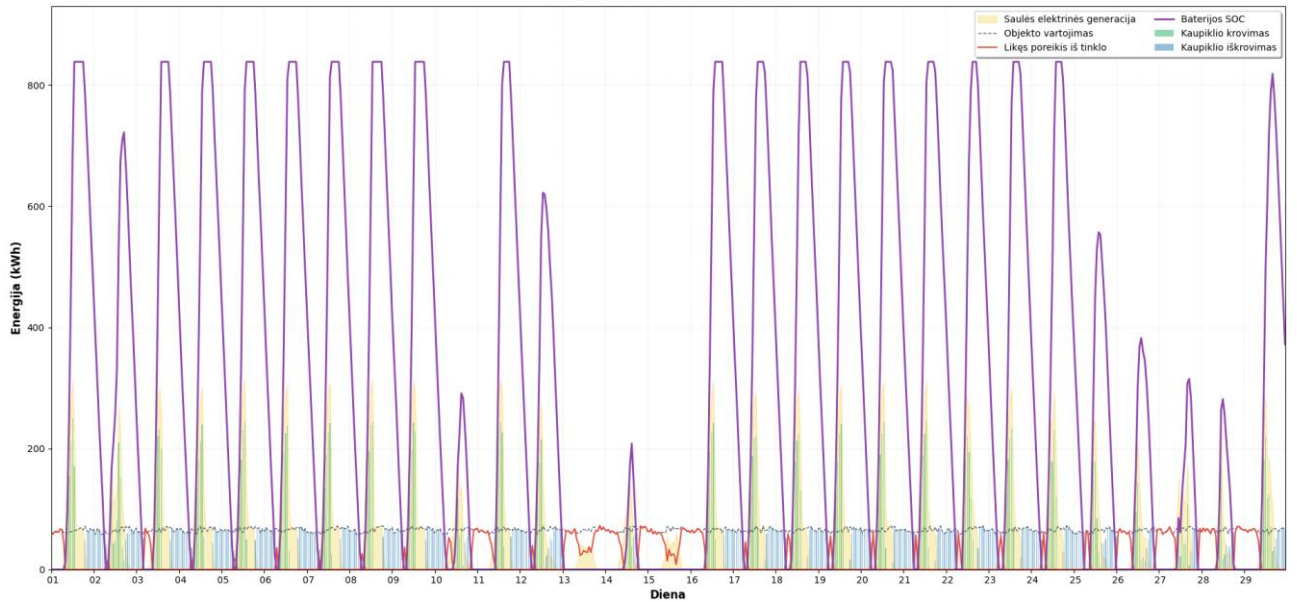
Liepos mėnesio rezultatai



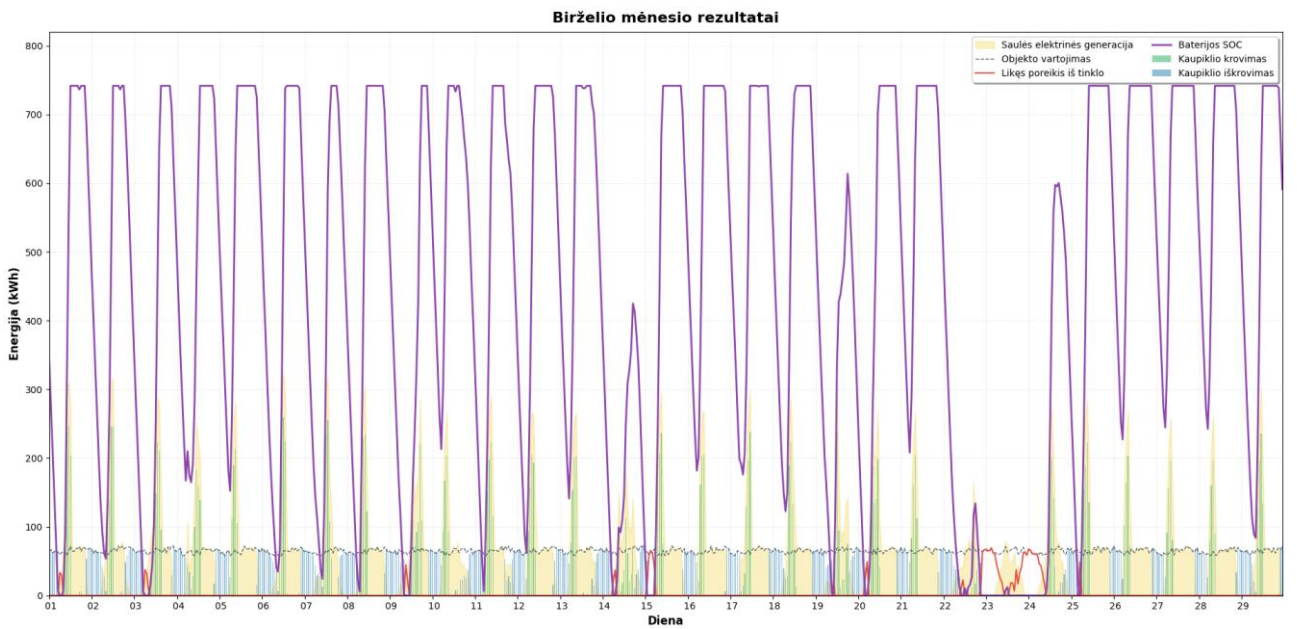
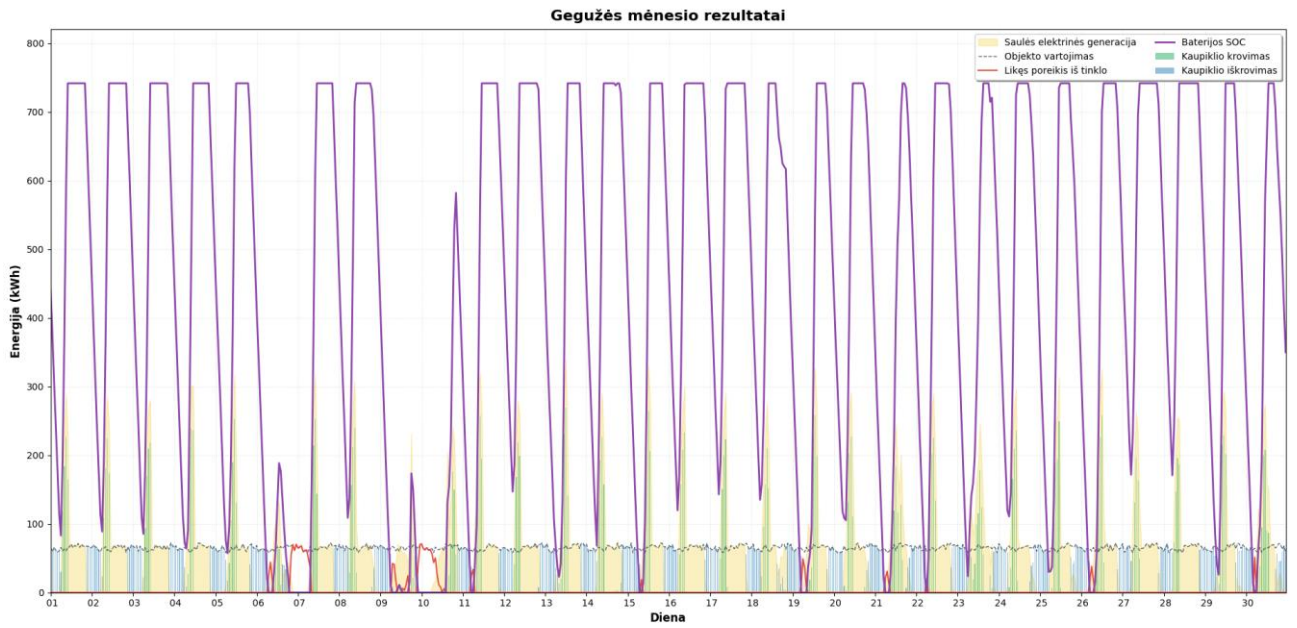
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



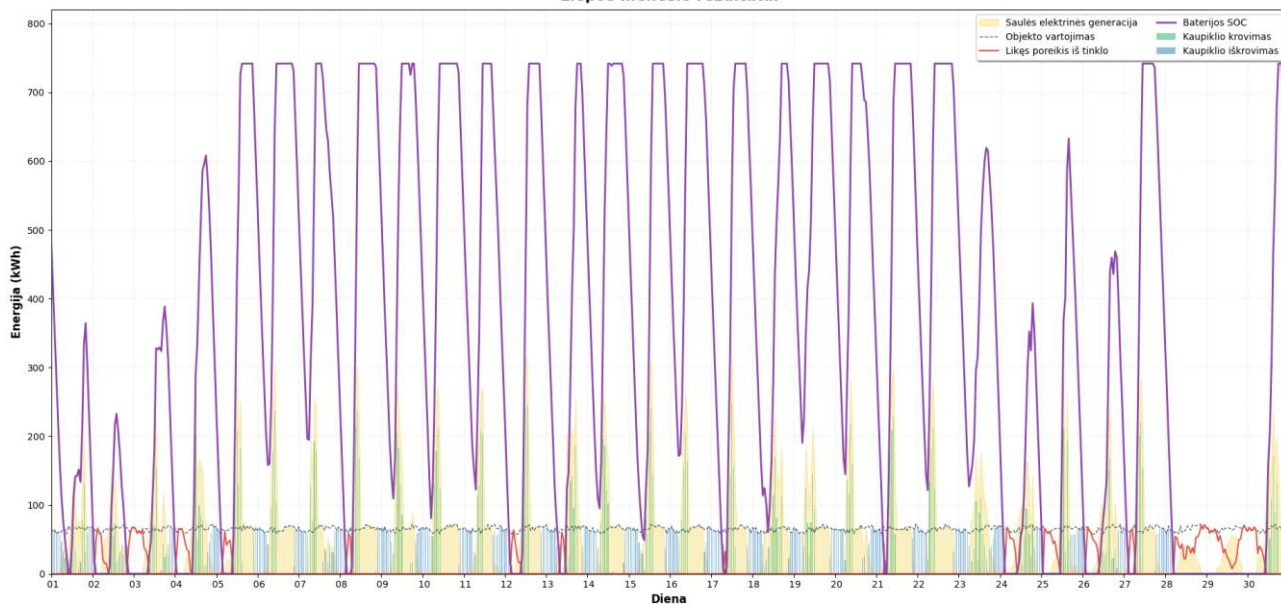
Rugsėjo mėnesio rezultatai



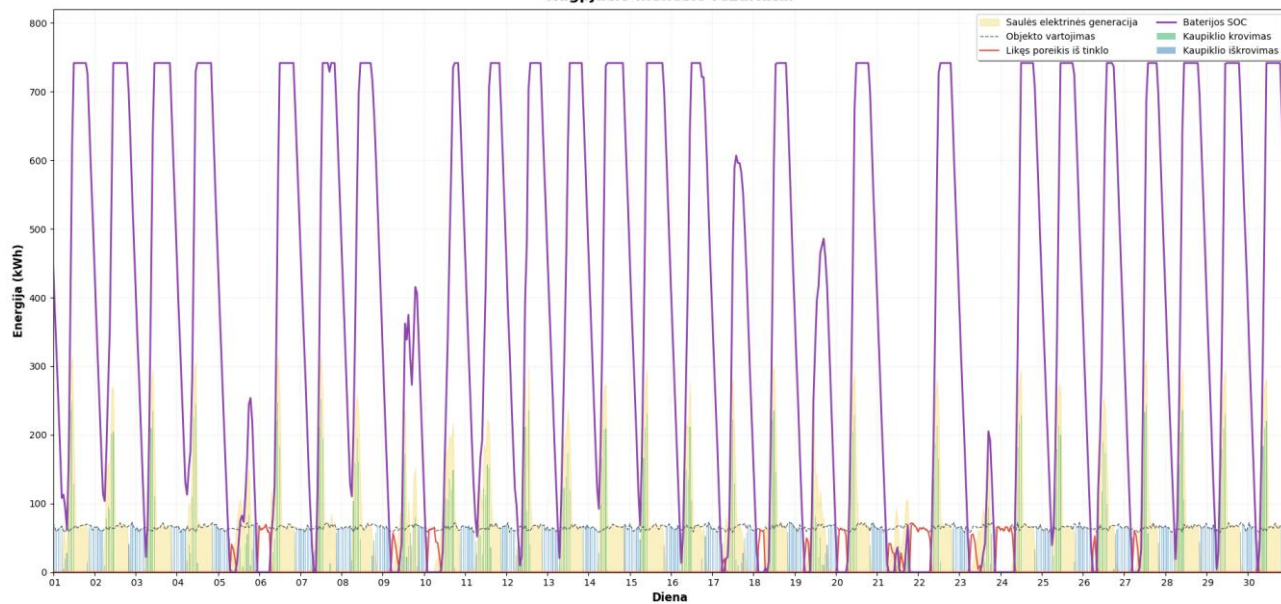
Vienos ašies sekimo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 741,8 kWh EEK



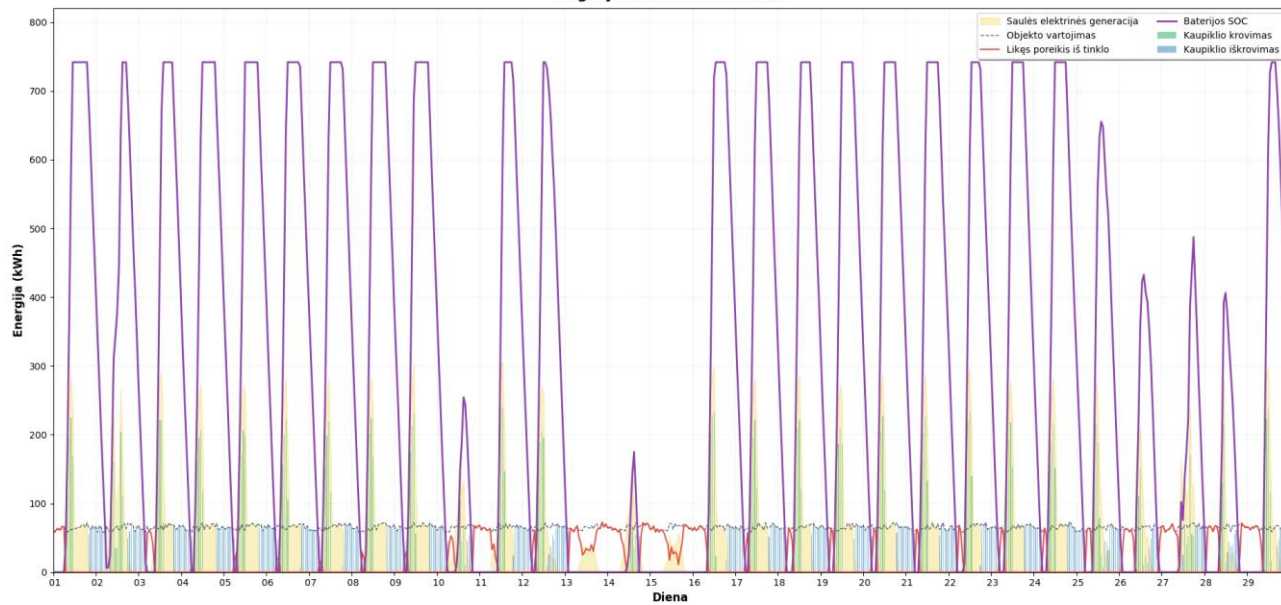
Liepos mėnesio rezultatai



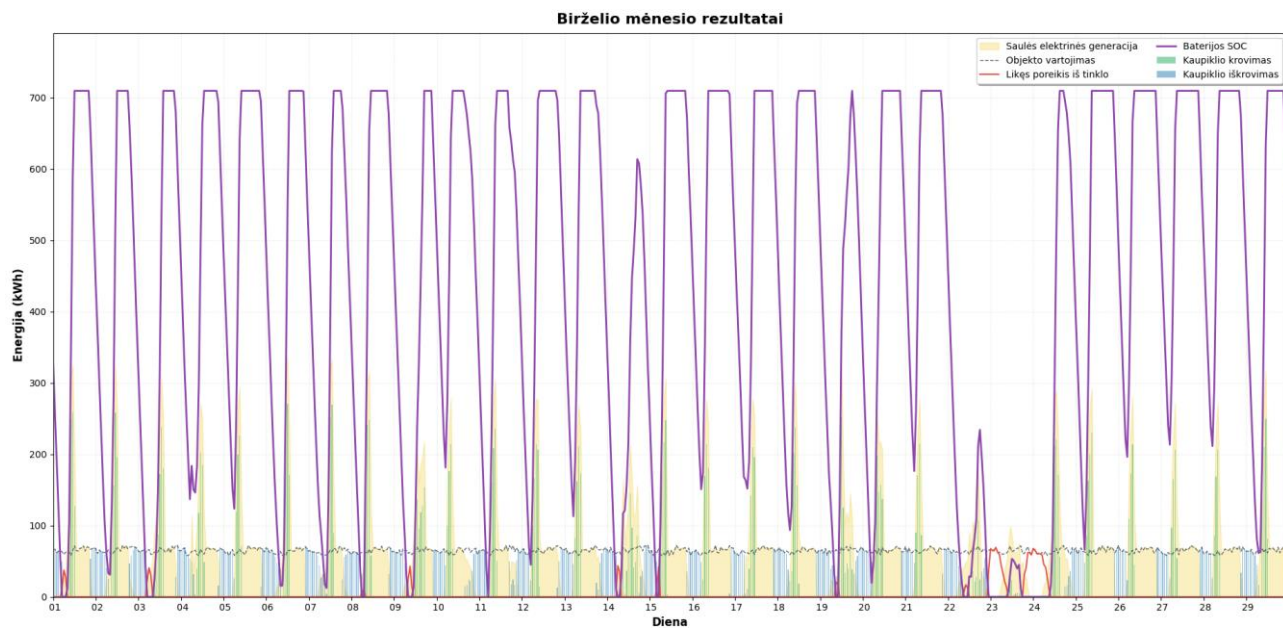
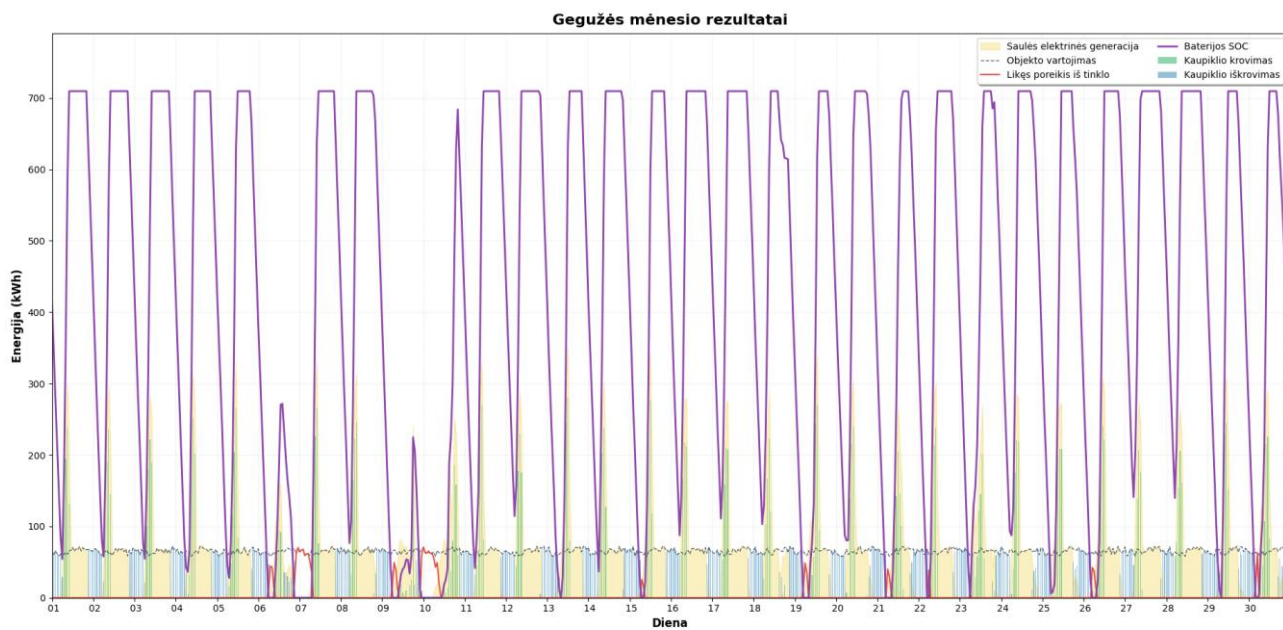
Rugpjūčio mėnesio rezultatai



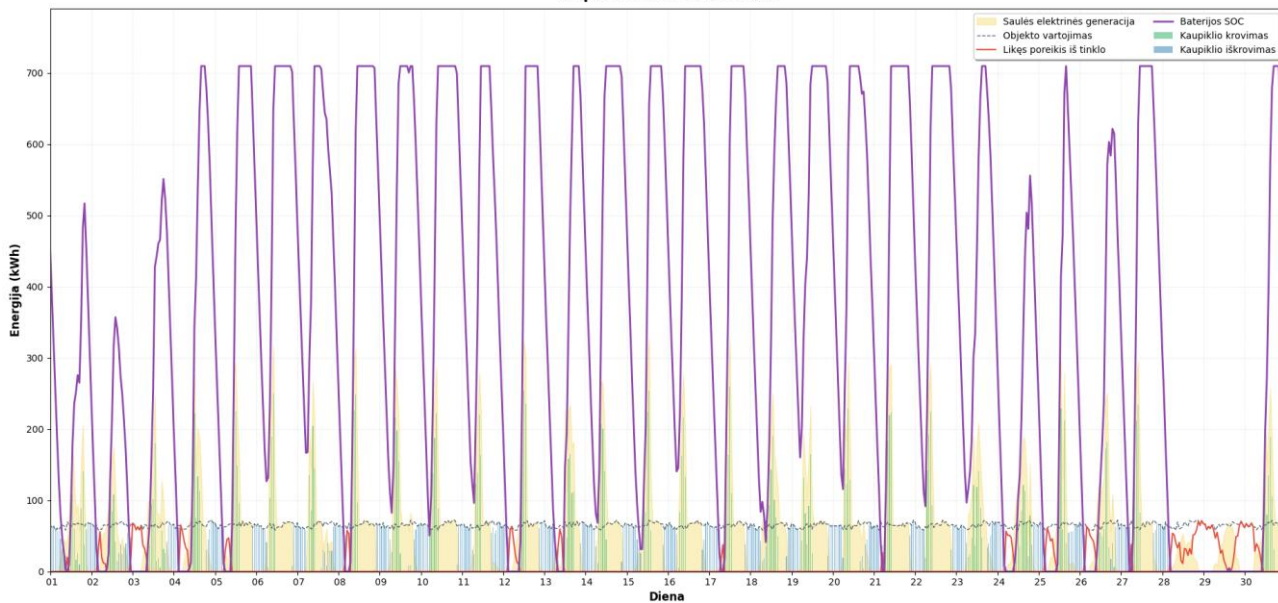
Rugsėjo mėnesio rezultatai



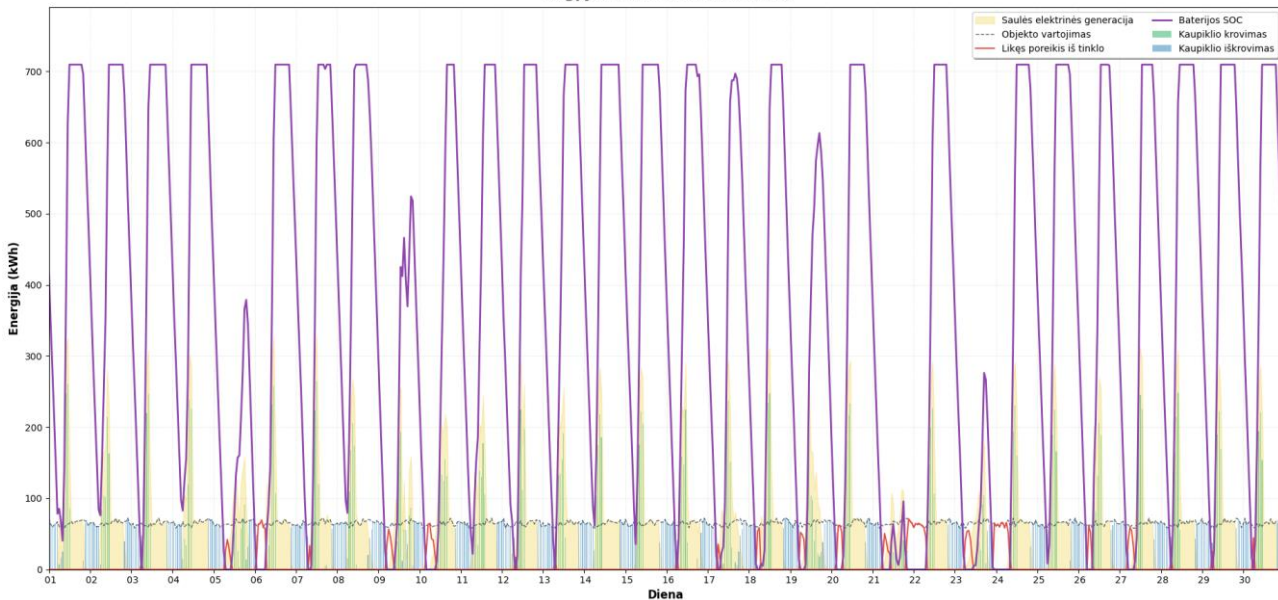
Dviejų ašių sekimo 391,3 kW galios saulės elektrinė su 709,5 kWh EEK



Liepos mėnesio rezultatai



Rugpjūčio mėnesio rezultatai



Rugsėjo mėnesio rezultatai

