



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Tautvydas Pašvenskas

**SAULĖS MODULIAIS ĮKRAUNAMŲ ELEKTROMOBILIŲ
STOTELIŲ EKONOMINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Lekt. dr. Dainius Slušnys

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**SAULĖS MODULIAIS ĮKRAUNAMŲ ELEKTROMOBILIŲ
STOTELIŲ EKONOMINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS**

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

Vadovas

Lekt. dr. Dainius Slušnys

2018-05-29

Recenzentas

Prof. dr. Rimas Adaškevičius

Projektą atliko

Tautvydas Pašvenskas

2018-05-29

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Tautvydas Pašvenskas

(Studento vardas, pavardė)

Energijos technologijos ir ekonomika, 621E30004

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių ekonominių rodiklių tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. gegužės 28 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tautvydo Pašvensko** baigiamasis projektas tema „Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių ekonominių rodiklių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Pašvenskas, Tautvydas. Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių ekonominių rodiklių tyrimas. Inžinerijos mokslų magistro baigiamasis projektas. Vadovas lekt. dr. Dainius Slušnys; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Energijos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: saulės elektrinė, įkrovimo stotelė, elektromobiliai, saulės modulis, keitiklis.

Kaunas, 2018. 67 p.

SANTRAUKA

Baigiamojo magistrinio darbo užduotis yra įvertinti saulės energijos panaudojimo galimybes elektromobilių įkrovimui, kurios būtų skirtos naudoti darbovietėse. Įvade yra pateikiama informacija apie temos aktualumą Lietuvoje, pateikiamas darbo tikslas ir darbo uždaviniai.

Apžvalginėje dalyje yra apžvelgiama saulės energetikos potencialas, jos spinduliuotė, elektromobilių pagrindinės charakteristikos, įkrovimų tipai ir jų potencialas Lietuvoje.

Matematinio modelio apžvalgoje yra išdėstoma, kaip bus atliekami matematiniai skaičiavimai, kokio tipo bus įkrovimo stotelės.

Tiriamąjį objektą dalyje yra aprašoma ir apibūdinama elektromobilių įkrovimo stotelė ir pateikiami skirtingi jos scenarijai. Pateikiami labiausiai naudojami elektromobiliai Lietuvoje ir elektros energijos poreikis vidutiniam kasdieniniam važinėjimui. Pateikiami du projekto scenarijai, kuriuose viena įkrovimo stotelė yra autonominė (angl. off-grid) o kita yra prijungta prie tinklo ir perteklinė elektros energija yra talpinama į operatoriaus tinklą. Apskaičiuota prognozuojama saulės elektrinės elektros energijos gamybos kiekis, parinkti reikalingi komponentai ir pateikiami įkrovimo rezultatai.

Antroje tiriamojo projekto dalyje yra parodomas saulės elektrinės ekonominis vertinimas ir atsiperkamumas. Skaičiuojami ekonominiai vertinimai, pagal įvairius ekonominius metodus. Atliekama pirmojo scenarijaus jautrumo analizė.

Darbo pabaigoje yra pateikiamos darbo išvados, palyginami darbo rezultatai.

Pašvenskas, Tautvydas. Analysis of Economic Indicators of Charging Stations of Solar Electric Cars: Master's thesis in *Energy Technologies And Economics degree*. Supervisor assoc. lect. dr. Dainius Slušnys. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems.

Research area and field: Energy Engineering, Technological Sciences

Key words: Solar plant, charging station, electric vehicle, solar panel, inverter.

Kaunas, 2018. 67 p.

SUMMARY

The aim of the final master's thesis is to assess the potential of solar energy for charging electric vehicles for use at workplaces.

The review part of the research includes information about the potential of solar energy, its radiation, the main characteristics of electric cars, the types of charging and their potential in Lithuania.

The overview of the mathematical model outlines how mathematical calculations will be made of the type of charging stations.

The project part of this paper contains work analysis about the most usable electric vehicles in Lithuania and the electric energy consumption for daily driving. Two types of solar power charging stations scenarios are considered - one where the electric vehicles have to be at workplace during working days with off – grid system and the second one tied – grid system. The solar plants made from solar modules can function as roof for parking. Solar energy production of solar plants has been calculated.

The second part of the research project shows the economic evaluation and returns of the solar power plant. Economic estimates are calculated based on various economic methods. The first scenario sensitivity analysis is performed.

The final part of the project includes the conclusions and all results of the investigation are compared.

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	9
ĮVADAS	10
1. APŽVALGINĖ DALIS	11
1.1. Saulės energijos potencialas Lietuvoje	11
1.2. Saulės energijos plėtojimas Lietuvoje	11
1.3. Saulės elementų gamybos technologijos	14
1.4. Aplinkosauga. CO ₂ emisija	16
1.4.1. Transporto priemonės	18
1.5. Elektromobilių ir įkrovimo stotelių technologijos	19
1.5.1. Elektromobiliai	20
1.5.2. Ličio – jonų baterijos	22
1.5.3. Elektromobilių įkrovimų tipai ir galingumai	23
1.6. Elektromobilių potencialas ir plėtra Lietuvoje	25
2. TIRIAMASIS OBJEKTAS	28
2.1. Tiriamojo objekto aprašymas	28
2.2. Matematinio modelio apžvalga	30
2.2.1. Saulės modulio galia	30
2.2.2. Įtampos keitiklis	32
2.2.3. Saulės modulių išdėstymas	33
2.2.4. Sistemų tipai	36
2.3. Tiriamojo objekto analizė	39
2.3.1. Pirmojo scenarijaus analizė	41
2.3.2. Antrojo scenarijaus analizė	44
2.4. Ekonominis projekto vertinimas	47
2.4.1. Scenarijų analizė	47
2.4.2. Jautrumo analizė	55
IŠVADOS	57
LITERATŪROS SĄRAŠAS	58
PRIEDAI	61

LENTELIŲ TURINYS

- 1.2.1 lentelė. Vidutinė saulės ekspozicija per dieną Lietuvoje.
- 1.2.2 lentelė Lietuvos regionų perspektyvumas pagal saulės energijos ekspoziciją.
- 1.2.3 lentelė. Optimalus kampas Lietuvos miestuose.
- 1.2.4 lentelė Difuzinės ir visuminės saulės apšvitos santykiai.
- 1.3.1 lentelė. Monokristalinių ir polikristalinių FE modulių palyginimas.
- 1.4.1 lentelė. Europos sąjungos energetikos tikslų planai.
- 1.5.1.1 lentelė. Vidaus degimo ir elektros variklių palyginimas
- 1.5.3.1 lentelė. Įkrovimo metodai.
- 2.2.3.1 lentelė. Solet M60.6-285 modulio elektriniai parametrai.
- 2.3.1 lentelė. Enphase Energy M250 mikro – keitiklio parametrai
- 2.3.1.1 lentelė. Prognozuojama saulės elektrinės gamyba. Pirmas scenarijus
- 2.3.2.1 lentelė. Prognozuojama saulės elektrinės gamyba. Antrasis scenarijus
- 2.4.1.1 lentelė. Pirmojo varianto įkrovimo stotelė su 2,56 kW saulės elektrine kaina.
- 2.4.1.2 lentelė. Antrojo varianto įkrovimo stotelė su 2,56 kW saulės elektrine kaina.
- 2.4.1.3 lentelė. Ekonominiai objektų rodikliai
- 2.4.2.1 lentelė. Perskaičiuoti ekonominiai objektų rodikliai

PAVEIKSLŲ TURINYS

- 1.3.1 pav. Monokristalinė ir polikristalinė celė
- 1.3.2 pav. Monokristalinės ir polikristalinės celės struktūros
- 1.4.1 pav. Šiltnamio efektas
- 1.4.1.1 pav. Šaltiniai generuojantys CO² emisiją
- 1.5.1.1 pav. Ličio – jonų baterijų kainos ir prognozė
- 1.5.1.2 pav. Baterijų paklausa elektromobiliams
- 1.5.3.1 pav. Įkrovimo stotelės
- 1.5.3.2 pav. Įkrovimo stotelių skaičiaus pasaulyje prognozė
- 1.6.1 pav. . Elektromobilių ir hibridų skaičius Lietuvoje (2014-2018)
- 1.6.2 pav. Elektromobilių greito įkrovimo stotelės
- 2.1.1 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės su saulės elektrine vaizdas iš priekio ir šono
- 2.1.2 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės su saulės elektrine trimatis vaizdas darbovietėse
- 2.2.1.1 pav. 100 W modulio elektros energijos generavimas priklausomai nuo apšvitos lygio
- 2.2.1.2 pav. FV saulės modulių efektyvumas

2.2.1.3 pav. 100 W saulės modulio išėjimo įtampa prie 25 °C temperatūros

2.2.2.1 pav. Santykinis įtampos keitiklio efektyvumas

2.2.3.1 pav. FV modulio orientacija nustatymas pagal azimuto kampą ir pačio modelio pasvirimo kampą

2.2.3.2 pav. Tiriamos įkrovimo stotelės lokacija

2.2.3.3 pav. 2,56 kW įkrovimo stotelės modulių orientacija

2.2.4.1 pav. 1-jo scenarijaus sistemos tipas

2.2.4.2 pav. 2-jo scenarijaus sistemos tipas

2.2.4.3 pav. 2-jo scenarijaus sistemos tipo veikimo diagrama

2.3.1 pav. Enphase Energy M250 mikro – keitiklis

2.3.2 pav. Saulės modulių ir mikro – keitiklių sujungimas

2.3.1.1 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės saulės elektrinės generacijos kryptis

2.3.1.2 pav. Saulės elektrinės nepanaudotos saulės energijos talpinimas į tinklą valandomis

2.3.1.3 pav. Saulės elektrinės trūkstamos saulės energijos susigražinimas iš tinklo valandomis

2.3.1.4 pav. Saulės elektrinės elektros energijos generavimas ir sunaudojimas

2.3.1.5 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės su saulės elektrine vaizdas iš priekio ir šono. 1 scenarijus

2.3.2.1 pav. Prognozuojama saulės elektrinės gamyba. Antrasis scenarijus

2.3.2.2 pav. Trūkstama elektros energija užpildyti baterijų rezervą

2.4.1. pav. Įkrovimo stotelės: autonominė (kairėje pusėje) ir prijungiama prie tinklo (dešinėje pusėje)

2.4.1.1 pav. 1 scenarijus. Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės prijungtos prie tinklo atsipirkimo grafikas (be paramos)

2.4.1.2 pav. 1 scenarijus. Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės prijungtos prie tinklo atsipirkimo grafikas (su parama)

2.4.2.1 pav. 1 scenarijaus investicijų struktūra

2.4.2.2 pav. Jautrumo analizė. Perskaičiuoto pirmojo scenarijaus diskontuota grynoji dabartinė vertė

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai.

AEŠ - atsinaujinančios energijos šaltinis

CO₂ – anglies dioksidas.

ES – Europos Sąjunga.

FV – fotovoltinis modulis.

FE – fotoelektrinė.

NPV- grynoji dabartinė vertė.

LAA - Lietuvos autoverslininkų asociacija.

LEA – Lietuvos elektromobilių asociacija.

SE – saulės elektrinė.

VDV – vidaus degimo variklis

IVADAS

Atsinaujinančiųjų šaltinių energetika yra viena perspektyviausių energijos šaltinių. Ši energetikos sritis siejama su aplinkos taršos mažinimu ir globalinio atšilimo proceso lėtinimu, naujų darbo vietų kūrimu, priklausomybės nuo vis nuolat brangstančio iškastinio kuro. O kadangi iškastinio kuro atsargos yra baigtinės, šių naujųjų technologijų kūrimas yra labai aktualus ir neišvengiamas.

Vienas pagrindinių visų esamų atsinaujinančiosios energijos išteklių šaltinis yra saulė. Saulės energija turi didžiulį potencialą – yra saugi, patikimai išgaunama visame pasaulyje, todėl vis daugėja įrengiamų saulės elektrinių skirtingiems poreikiams. Saulės energetikos kainų mažėjimas yra lėtas, tačiau tai kompensuoja sparčiai didėjantis jėgainių efektyvumas, kuris leidžia tame pačiame plote pasigaminti daugiau elektros energijos.

Su atsinaujinančia energetika, kartu sparčiai vystosi elektromobilių rinka. Pasauliui kovojant su globaliu klimato atšilimu ir aplinkos tarša, tradiciniams automobiliams vis keliami griežtesni reikalavimai dėl CO₂ emisijos taršos. Todėl, saulės energijos ir elektromobilių kombinacija išlieka kaip vienas iš tinkamiausių būdų sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro. Elektros energija mus pasiekia iš įvairiausių kuro šaltinių, tačiau elektromobilių įkrovimas panaudojant saulės energiją būtų atsakas į globalinę taršą.

Tiriamasis darbas – tai galimybė įvertinti elektromobilių įkrovimo stoteles kaip produktą, kuris prisidėtų prie elektromobilių skatinimo Lietuvoje ir plėsti jų infrastruktūrą.

Darbo tikslas: atlikti saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių ekonominių rodiklių tyrimus.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti įkrovimo stotelių potencialo analizę Lietuvoje;
2. Išnagrinėti elektromobilių energijos poreikius;
3. Sudaryti ekonomiškai tikslingų variantų rinkinį;
4. Atlikti saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių techninių parametrų analizę;
5. Atlikti pasirinktų naudingiausių variantų palyginamąją analizę;
6. Atlikti naudingiausių variantų jautrumo analizę;

1. APŽVALGINĖ DALIS

1.1. Saulės energijos potencialas Lietuvoje

Saulės energija ir kiti atsinaujinantys energijos šaltiniai (AEŠ) yra vis labiau panaudojami šiuolaikinėje visuomenėje. Kadangi šiuo metu yra itin išaugęs saulės modulių fotoelektrinių (FE) gamybos poreikis, atitinkamai sumažėjo ir jų kaina [1]. Tai lemia, kad dėl efektyvaus saulės energijos panaudojimo, šiuo metu didelis dėmesys skiriamas įvairiam saulės modulių FE technologijų panaudojimui. Saulės energija – pats galingiausias ir didžiausią potencialą turintis AEŠ Žemėje. Šiandieninėje visuomenėje ši technologija yra panaudojama gyvenamųjų namų ir kitokių pastatų šildymui, vandens šildymui, elektros energijai gauti, aušinimui ir įvairioms komercinėms pramonės reikmėms užtikrinti.

Saulės ekspozicija ir saulės apšvita yra matavimo dydžiai, apibūdinantys saulės energetikos potencialą. Saulės ekspozicija parodo bendrą (suminę) saulės energijos vertę, kuri per tam tikrą laiką pasiekia saulės elementą. Saulės ekspozicija apibūdinama vatvalandėmis kvadratiniam metrui [Wh/m²]. Saulės apšvitą galime įvertinti kaip į plokštumą krentančių saulės spindulių suminę ir akimirkinę galios vertę, tenkančią plokštumos ploto vienetui. Ji yra išreiškiama vatais kvadratiniam metrui [W/m²]. Saulės apšvita realiomis sąlygomis yra kintama. Kiekvienoje šalyje, remiantis saulės energetikos potencialą apibūdinančiais parametrais, yra projektuojami saulės elektrinių projektai.

1.2. Saulės energijos plėtojimas Lietuvoje

Efektyviam saulės energijos panaudojimui didelę įtaką turi klimatinės sąlygos. Lietuvos geografinė platumą nėra tokia palanki saulės energetikos panaudojimui lyginant su jos panaudojimu kitose Europos Sąjungos (ES) šalyse. Tačiau į Lietuvos plotą patenkanti saulės energija išsisklaido daug didesniame paviršiaus plote negu kitose geografinėse platumuose, kuriose vidurdienį saulė stovi zenite.

Šiuo metu yra pateikta nemažai statistinių žemėlapių ir duomenų bazių, kuriuose nesunkiai galima surasti saulės ekspozicijos ir saulės apšvitos vertes pagal norimas koordinates ar nurodytą vietą pasaulyje. Internete yra pateikiamos kai kurių Lietuvos miestų (Nidos, Šilutės, Lazdijų, Klaipėdos, Šiaulių, Kauno, Utenos, Vilniaus ir Biržų) vidutinės saulės ekspozicijos reikšmės per dieną tam tikrą mėnesį, nurodant metinę saulės ekspoziciją pasirinktame mieste [2]. Duomenys apie vidutinę saulės ekspoziciją per dieną pasirinktame Lietuvos mieste pateikiami 1.2.1 lentelėje [2].

1.2.1 lentelė. Vidutinė saulės ekspozicija per dieną Lietuvoje.

Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija Lietuvoje, kWh/m ²									
	Nida	Šilutė	Lazdijai	Klaipėda	Šiauliai	Kaunas	Utena	Vilnius	Biržai
Sausis	14	15	19	12	13	16	15	16	8
Vasaris	31	33	37	31	31	33	33	34	27
Kovas	72	72	74	67	68	70	67	69	65
Balandis	108	106	103	102	100	99	96	93	96
Gegužė	155	154	150	155	154	146	145	142	148
Birželis	171	169	159	168	163	155	151	146	156
Liepa	165	161	153	161	153	150	147	142	151
Rugpjūtis	148	143	142	147	142	138	133	136	135
Rugsėjis	97	96	94	94	94	90	84	84	83
Spalis	54	55	56	53	53	52	50	50	46
Lapkritis	17	16	20	16	17	16	16	17	9
Gruodis	10	9	13	8	9	9	8	10	2
Metinė suma	1042	1029	1021	1013	996	976	946	936	926

Visos lentelėje pateiktos saulės ekspozicijos vertės yra į horizontalią plokštumą. Nesunkiai galima pastebėti, kad didžiausi saulės energijos išteklių yra išsidėstę vakaru Lietuvoje. Lentelėje pateikiama, kad vidutinė visų miestų metinė saulės ekspozicija per metus gali siekti iki 1042 kWh/m². Žinoma, kiekvienais metais šis skaičius svyruoja. Taip pat nesunku pastebėti, kad dėsningas saulės spinduliuojamos energijos kitimas priklauso nuo metų laiko, paros ir nuo meteorologinių sąlygų. Daugiau kaip 80 proc. energijos atitenka šešiams mėnesiams – nuo balandžio iki rugsėjo. Naktį energija priartėja prie nulio, o stipriai apniukusią dieną sudaro tik kelis procentus lyginant su giedrą ir saulėtą dieną gaunama energija.

Palyginimui pateikiamos Lietuvos ir keleto ES šalių, kurios plėtoja saulės energetiką, vidutinės saulės ekspozicijos per metus [2] :

- Vokietija (pietinė dalis) – 967 – 1212 kWh/m²,
- Austrija (Viena) – 1106 kWh/m²,
- Anglija – 700 kWh/m²,
- Lietuva – 926 – 1042 kWh/m².

Naudojantis 1.2.1 lentelės duomenimis, sudaryta Lietuvos regionų perspektyvumo pagal saulės ekspoziciją 1.2.2 lentelė.

1.2.2. lentelė Lietuvos regionų perspektyvumas pagal saulės energijos ekspoziciją.

Lietuvos regionų perspektyvumas pagal saulės energijos išteklius		
	Pilnutinė spindulinė energija per metus, kWh/m ²	Perspektyvumas
Klaipėda, Lazdijai, Šilutė, Nida	1052 – 1042	Didžiausias
Utena, Kaunas, Šiauliai	946 – 996	Vidutinis
Biržai, Varėna, Vilnius	926 - 939	Mažiausias

Remiantis 1.2.2 lentelėje pateiktais duomenimis matoma, kad didžiausi saulės energijos ištekliai yra vakarinėje Lietuvos dalyje (netoli jūros): Klaipėdoje, Lazdijuose, Šilutėje, Nidoje. Nidoje yra pasiekama maksimali vidutinė saulės ekspozicija per metus – 1042 kWh/m². Mažiausi saulės energijos ištekliai yra stebimi rytinėje ir šiaurės rytų šalies dalyje. Pati mažiausia vidutinė saulės ekspozicija per metus yra Biržuose – 926 kWh/m².

Nukreipus saulės elementus optimaliu kampu į saulę, galima didinti saulės elektrinės pagaminamos energijos kiekį. Optimaliu kampu vadinamas toks kampas, kuriuo nukreipti saulės elementai per tam tikrą laiko tarpą gali gauti maksimaliai stačiu kampu į juos krentančius saulės spindulius. Norint padidinti saulės energiją ir ją panaudoti efektyviai, yra nustatomi metiniai ar mėnesiniai optimalūs kampai. Didžiųjų Lietuvos miestų optimalaus kampo rodikliai yra pateikti naudojantis „Photovoltaic Geographical Information System“ (PVGIS) duomenimis [3] 1.2.3. lentelėje.

1.2.3 lentelė. Optimalus kampas Lietuvos miestuose.[3]

Optimalus kampas, laipsniai						
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	65	66	71	68	68	66
Vasaris	58	60	64	61	61	58
Kovas	51	52	55	54	53	50
Balandis	37	38	41	39	39	37
Gegužė	24	24	26	25	25	23
Birželis	16	16	18	17	17	15
Liepa	19	19	22	21	20	18
Rugpjūtis	33	33	35	34	34	33
Rugsėjis	45	46	50	48	47	45
Spalis	55	56	60	59	57	55
Lapkritis	60	63	68	66	64	61
Gruodis	65	67	72	70	68	65
Metinis vidurkis	35	36	40	38	37	35

Naudojantis 1.2.3 lentelės rezultatais, matoma, kad saulės elementų kampas su horizontu ženkliai skiriasi vasaros ir žiemos metu. Atsižvelgiant į tai, visoje Lietuvoje yra nustatytas optimalus kampas – apytiksliai 36 laipsniai.

Išanalizavus vidutinę metinę saulės ekspoziciją Lietuvoje, būtina pasidomėti ir kitu svarbiu dydžiu, apibūdinančiu saulės potencialą – saulės apšvita.

Saulės moduliai ne visada gali gauti pilną saulės energiją, todėl atitinkamai saulės apšvita yra suskirstoma į tiesioginę ir difuzinę. Kai saulės spinduliai stačiu kampu krenta į saulės elemento paviršių, vyksta tiesioginė saulės apšvita. Difuzinė saulės apšvita saulės elemento paviršių pasiekia atsispindėjusi, kai praeina debesys ar kitokias kliūtis. Šias abi apšvitas galima įvardinti kaip visuminę apšvitą. Pasinaudojant PVGIC duomenimis [3], galima apskaičiuoti difuzinės apšvitos santykį su visumine apšvita. Šio skaičiaus svarba yra tokia, kad jis vaizdžiai parodo optimalaus kampo įtaką saulės moduliui – kuo didesnis difuzinės apšvitos santykis su visumine apšvita, tuo svarbiau yra nukreipti saulės elementą optimaliu kampu į horizontą. Lietuvos didžiųjų miestų difuzinės apšvitos santykiai su visumine saulės apšvita yra pateikti 1.2.4 lentelėje [3].

1.2.4 lentelė Difuzinės ir visuminės saulės apšvitos santykiai.[3]

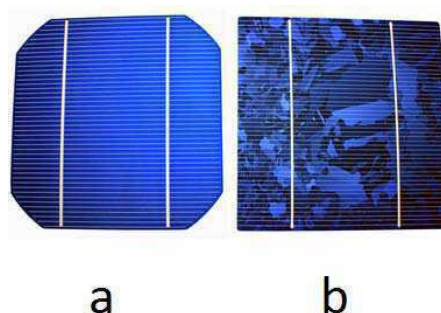
Difuzinės ir visuminės apšvitos santykis						
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Šiauliai	Panevėžys	Alytus
Sausis	0,79	0,79	0,72	0,78	0,78	0,75
Vasaris	0,73	0,72	0,64	0,71	0,70	0,72
Kovas	0,60	0,60	0,51	0,58	0,58	0,61
Balandis	0,51	0,49	0,41	0,47	0,49	0,51
Gegužė	0,49	0,47	0,38	0,45	0,47	0,50
Birželis	0,52	0,51	0,39	0,49	0,50	0,53
Liepa	0,55	0,53	0,42	0,50	0,53	0,56
Rugpjūtis	0,51	0,49	0,42	0,48	0,50	0,50
Rugsėjis	0,59	0,57	0,49	0,55	0,57	0,58
Spalis	0,69	0,68	0,61	0,65	0,68	0,68
Lapkritis	0,81	0,78	0,72	0,77	0,78	0,79
Gruodis	0,84	0,82	0,77	0,81	0,83	0,82
Metinis vidurkis	0,56	0,54	0,45	0,52	0,54	0,56

Remiantis lentelės duomenis, matoma, kad saulės apšvita labiausiai tiesioginė būna vasaros mėnesiais, o žiemos mėnesiais būna labiausiai difuzinė.

1.3. Saulės elementų gamybos technologijos

Apibendrinus 1.2. skyriaus duomenis, galima teigti, kad saulės energetikos potencialą apibūdina du svarbūs dydžiai – saulės ekspozicija bei saulės apšvita, tačiau didelę įtaką sudaro ir tai, kokio tipo saulės elementų celės „sugers“ saulės spinduliuojamą energiją.

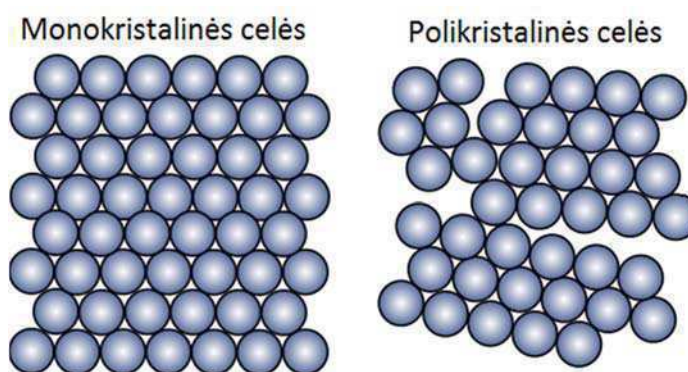
Pastaruoju metu labiausiai naudojamos yra dviejų tipų saulės elementų celės: monokristalinės ir polikristalinės. Norint pasirinkti tinkamiausią FE saulės modulį, žmonės visada susiduria ir su kokybės bei kainos santykio problemomis. Ieškant tinkamiausio produkto, pirkėjai nori įsigyti geriausios kokybės, tačiau kokybiško FE modulio kaina itin aukšta, o įsigyjant pigesnes prekes, pirkėjai neatkreipia dėmesio į produkto technologinę perspektyvą. Tinkamas monokristalinio (a) ir polikristalinio (b) (1.3.1 paveikslas) [4] modulių saulės energijos gamyboje pasirinkimas ir palyginimas yra ypač svarbus.



1.3.1 pav. Monokristalinė (a) ir polikristalinė (b) celė [4].

Tiek monokristalinių, tiek polikristalinių technologijų FE moduliai yra pagaminti iš vienos ir tos pačios medžiagos – silicio. Silicis yra cheminė medžiaga, kuri yra apdirbama įvairiais technologiniais procesais, kol tampa saulės FE moduliu. Iš pradžių silicis yra išvalomas iki tol, kol tūrio vienetu lieka 99 proc. silicio [5]. Vėliau ši medžiaga yra lydoma specialiose krosnyse, o tik išlydžius pastebimi technologiniai skirtumai.

Kalbant apie monokristalinius silicio modulius, silicio plokštelė yra aplink vieną bazinį monokristalą sukuriant idealiai orientuotą kristalinį tinklėlį. Polikristalinio modulio atveju – silicio plokštelė sudaroma iš karto aplink kelis bazinius kristalus. Apibūdinti silicio modulių struktūrų skirtumai pateikti 1.3.2 paveikslėlyje [6].



1.3.2 pav. Monokristalinės ir polikristalinės celės struktūros [6].

Apibendrinant saulės elementų celes, galima prieiti prie išvados, kad polikristalas yra daugybė vienas kito atžvilgiu laisvai orientuotų monokristalų. Tai yra esminis skirtumas tarp šių dviejų technologijų. Pagrindas yra skirtingas naudingumo koeficientas. Kadangi monokristalinio silicio struktūra yra labiau harmoninga, jis turi šiek tiek didesnę naudingumo koeficientą. Palyginus du vienodos galios monokristalinį ir polikristalinį modulius, polikristalinio modulio plotas bus keliais procentais didesnis. Taip pat monokristalinių saulės modulių gamybos procesas yra brangesnis. Siekiant monokristalinį silicį paversti fotoelektriniu moduliu, iš pradžių jam reikia suteikti taisyklingą formą ir vėliau supjaustyti į plonas plokšteles, kai tuo tarpu polikristalinio silicio technologija yra kur kas paprastesnė, pigesnė bei tobulesnė. Bazinį polikristalą palyginus su monokristalu, pavyksta išgauti didesnių išmatavimų ir iš karto taisyklingos stačiakampės formos. Atsimeta tik formos suteikimo procedūros, kurios savo ruožtu mažina gamybos išlaidas ir spartina jos procesą.

Naudojantis „*National Renewable Energy Laboratory*“ (NREL) [7] 2015 m. duomenimis, 1.3.1 lentelėje pateiktas šių technologijų palyginimas.

1.3.1 lentelė. Monokristalinių ir polikristalinių FE modulių palyginimas. [7]

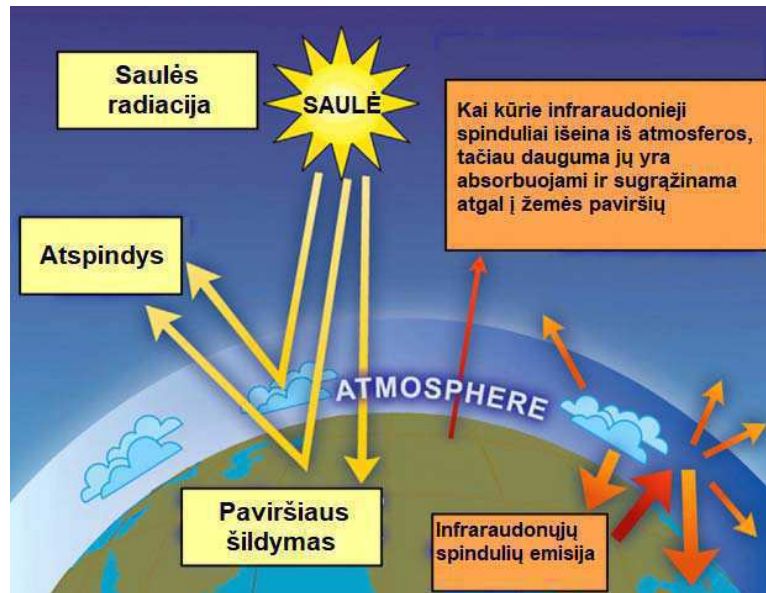
	Monokristaliniai FE moduliai	Polikristaliniai FE moduliai
Naudingumo koeficientas	27,6 proc.	21,3 proc.
Celės naudingumas	25 proc.	20,4 proc.
Reikalingas plotas 1 kWp	6 – 9 m ²	8 – 9 m ²
Garantija	25 metai	25 metai

Remiantis lentelės duomenimis, nesunku pastebėti, kad polikristalinių celių naudingumas yra mažesnis lyginant su monokristalinių. Tai reiškia, kad turint mažesnę naudingumo koeficientą, joms reikia daugiau ploto siekiant generuoti tą pačią galią kaip monokristalinės celės. Taip pat monokristalinės celės yra ženkliai naudingesnės esant aukštai temperatūrai jas palyginus su polikristalinėmis celėmis.

1.4. Aplinkosauga. CO₂ emisija

Viena iš daugelio klimato kaitos ir šiltnamio efektą sukeliančių priežasčių – vis didėjantis anglies dvideginio (CO₂) kiekis atmosferoje. Kadangi dėl didėjančios žmonių populiacijos auga vartojimo poreikis, CO₂ sugeneruojama vis daugiau.

Šiltnamio efektas iš dalies yra natūralus reiškinys. Saulės spinduliuojama energija šildo Žemės paviršių, o pakilus Žemės temperatūrai, šiluma spinduliuojama atgal į atmosferą. Šis procesas pateiktas 1.4.1 paveikslėlyje [8].



1.4.1 pav. Šiltnamio efektas [8].

Dažį šios energijos sugeria šiltnamio efektą sukeliančios dujos, tokios kaip: anglies dvideginis, metanas, azoto suboksidas ir fluoruotos dujos. Todėl atmosferoje, panašiai kaip tradiciniuose šiltnamiuose, sulaikoma šiluma. Šio natūralaus proceso, šiltnamio efekto, dėka egzistuoja gyvybė Žemėje.

Nuo XIX a. pabaigos šiltnamio efektas neišvengiamai sustiprėjo dėl padidėjusios Žemės gyventojų ūkinės veiklos. Daugėja šį efektą sukeliančių dujų atmosferoje: CO₂ ir metano. Globaliai šiukšlėmis užteršiami vandenynai, sparčiai mažėja miškų bei žalios augmenijos, kuri sugeria CO₂. Europoje bei pačioje Lietuvoje miškų plotai yra didinami, tačiau miškų naikinamas besivystančiose šalyse, tokiose kaip Afrika, Pietų Amerika ir Azija vis dar išlieka. Šiose šalyse miškai yra šluote šluojami dėl žemės ūkio plėtros ir medienos naudojimo kurui.

Per pastaruosius 200 metų didžiausią įtaką klimato atšilimui turėjo iškastinio kuro (anglių, naftos, gamtinių dujų) deginimas. Norint išvengti ekstremalių pokyčių, privalu mažinti energijos sąnaudas, naudoti daugiau atsinaujinančios saulės, vėjo ir vandens energijos, rinktis klimato kaitos požiūriu patrauklesnius daiktus ir paslaugas.

Europos Sąjunga yra iškėlusį energetikos tikslus 2020 m., 2030 m. ir 2050 m [9]. Europos sąjungos planų tikslai yra pateikti 1.4.1 lentelėje [10].

1.4.1 lentelė. Europos sąjungos energetikos tikslų planai. [10]

Pavadinimas:	Tikslai:
2020 m	<ul style="list-style-type: none"> • Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti bent 20 proc. , palyginti su 1990 m.; • 20 proc. energijos gauti iš atsinaujinančiųjų išteklių;

	<ul style="list-style-type: none"> • 20 proc. padidinti energijos vartojimo efektyvumą.
2030 m.	<ul style="list-style-type: none"> • 40 proc. sumažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ; • Bent 27 proc. energijos ES gauti iš atsinaujinančiųjų išteklių; • 27–30 proc. padidinti energijos vartojimo efektyvumą; • Pasiiekti 15 proc. elektros energijos tinklų sujungimo lygį (t. y. 15 proc. ES pagamintos elektros turėtų būti galima transportuoti į kitas ES šalis).
2050 m.	80–95 proc., palyginti su 1990 m., sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį.

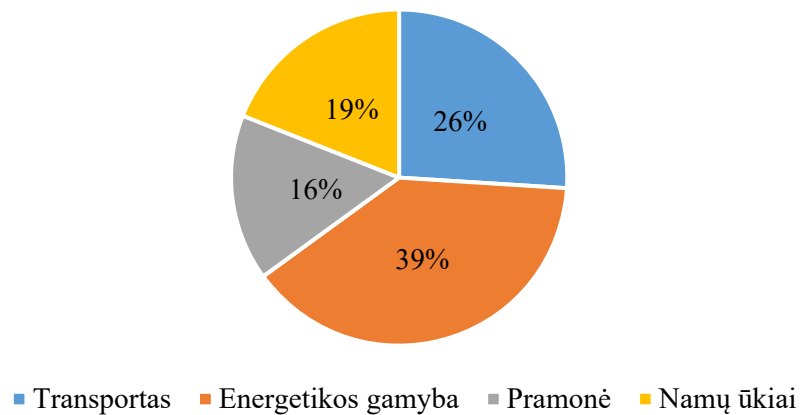
Europos Sąjungos energetikos veiksmų plane iki 2050 m. pateiktuose scenarijuose analizuojamos įvairios galimos Europos veiksmų kryptys, susijusios su energetikos klausimais. Atsižvelgiant į ilgalaikę plano perspektyvą, negalima užtikrinti, kad šie rezultatai bus pasiekti. Be to, jie grindžiami prielaidomis, nes sąlygos kinta kiekvieną akimirką, tačiau pagal Europos komisijos sudarytą „Energetikos veiksmų planą iki 2050 m.“ siekiama išmetamųjų teršalų kiekį sumažinti 80–95 proc. ir palyginti su 1990 m. Akivaizdu, kad norint įgyvendinti šį tikslą Europa turės gaminti energiją taip, kad į aplinką būtų išskiriamas tik nedidelis CO₂ kiekis. Tai reiškia, kad atsinaujinančiųjų išteklių panaudojimas ir toliau turėtų stipriai didėti [10].

Europos uždavinys – rinkos dalyviams suteikti galimybių sumažinti atsinaujinančiųjų išteklių energijos gamybos sąnaudas, vykdant pažangesnius mokslinius tyrimus, industrializuojant tiekimo grandinę ir taikant efektyvesnę politiką bei paramos programas.

1.4.1. Transporto priemonės

CO₂ emisijos sumažinimas – tai vienas iš sudėtingiausių žmogaus iškeltų uždavinių. Deja, šiuo atveju nėra lengvų ir paprastų sprendimų. Automobiliai – tai vienas iš pagrindinių veiksmų, minimų sukuriant daugiausiai CO₂ emisijos. „Lietuvos autoverslininkų asociacija“ (LAA) teigia [11], jog automobiliai Europoje sukuria apie 12 proc. CO₂ emisijos. Bendra CO₂ emisiją generuojančių šaltinių struktūra pateikta 1.4.1.1 paveikslėlyje [11].

Šaltiniai generuojantys CO² emisiją



1.4.1.1 pav. Šaltiniai generuojantys CO² emisiją [11].

Taigi, pagrindinė transporto sektoriaus problema – didelė tarša. Apie dyzelinių ir benzininių automobilių taršą ir poreikį ją mažinti, kalbama ir Lietuvoje, tačiau imtis tokių drastiškų priemonių kol kas nesiryžtama. Vyriausybės plane yra numatyta mažinti vidaus degimo varikliais varomų transporto priemonių naudojimą ir ateityje visiškai juos uždrausti, tačiau vis dar svarstoma, kokiais būdais [11].

Daugelis automobilių išmetamųjų dujų sudedamųjų dalių yra labai kenksmingos žmogaus sveikatai. Miesto gyventojai neturi kito pasirinkimo, todėl kiekvieną dieną kvėpuoja užterštu oru. Dėl to atsiranda įvairiausios ligos (plaučių ligos, alergijos, padidėja onkologinių susirgimų rizika). Net ir kaimo gyventojai nėra apsaugoti nuo klimato taršos, nors ten oro užterštumas yra mažesnis. Nuo to laiko, kai buvo pradėta masiškai gaminti ir naudoti automobiliais, oro užterštumas ženkliai padidėjo.

Anot mokslininkų, geriausios priemonės sumažinti automobilių panaudojimą galėtų būti privalomas automobilių taršos mokestis, skatinantis rinktis elektromobilius ar hibridinius automobilius [12].

1.5. Elektromobilių ir įkrovimo stotelių technologijos

Pirmieji elektromobiliai buvo išrasti ir pradėti gaminti jau XIX a. To pasėkoje 1899 m. prancūzas Camille Jenatzy buvo pirmasis žmogus istorijoje, pasiekęs 100 kilometrų per valandą (km/h) greitį savo paties sukonstruotu elektromobiliu *CITA N° 25* [13]. Tuomet elektromobiliai tapo ypač populiarūs, nes nereikalavo didelės priežiūros, neskleidė jokio pašalinio garso kaip analogiškai vidaus degimo variklius (VDV) turintys automobiliai. Kadangi tuo metu degalų

kainos buvo itin mažos, o aplinkos tarša nebuvo aktuali, prasidėjo masinė automobilių su VDV gamyba, kas lėmė sumažėjusią jų kainą ir tokiu būdu elektromobiliai buvo išstumti iš rinkos.

Tačiau, praėjus daugiau nei 100 metų, elektromobiliai sugrįžo ir tapo viena perspektyviausių transporto priemonių visoje mašinų industrijoje. Šiandien jau yra pagaminta daug įvairiausių modelių elektromobilių, kurie gali būti hibridiniai ar varomi gryna akumuliatorių elektra, o juos pasikrauti gali kiekvienas. Pagrindinės priežastys, paskatinusios elektromobilių sugrįžimą į rinką, yra per paskutinį dešimtmetį padaryta didelė pažanga elektros energijos kaupiklių (baterijų ir akumuliatorių) srityje ir sparčiai senkantis iškastinis kuras, privertęs susimąstyti apie alternatyvų energijos šaltinį. Taip pat svarbu paminėti ir VDV žalą, kurie išmesdami CO₂ prisideda prie ozono sluoksnio ardymo. Taigi, galima prieiti prie vieningos išvados, kad šiuo metu elektros kaip energijos šaltinio panaudojimas lengvųjų automobilių pramonėje turi daug daugiau privalumų lyginant su iškastinio kuro panaudojimu.

Kartu su AEŠ elektromobiliai tampa vis modernesni, galingesni, ir svarbiausia – efektingesni. Remiantis vieno Vokietijos atsinaujinančiosios energetikos strategijos kūrėjų ir pradininkų Jeremy Rifkino knyga „Trečioji pramonės revoliucija“, yra paminėti penki pagrindiniai atsinaujinančiosios energetikos atramos taškai, tarp kurių minimi ir elektromobiliai (1. Atsinaujinantys išteklių; 2. Energijos akumuliacija; 3. **Elektromobiliai**; 4. Išmanieji tinklai; 5. Decentralizuota energijos gamyba) [14]. Lyginant su VDV turinčiais automobiliais, elektromobiliai suteikia švartą, energiją taupančią ir jokio pašalinio triukšmo nesukeliantį galimybę mėgautis transporto priemone.

1.5.1. Elektromobiliai

Lyginant tradicinius automobilius su elektromobiliais, pastarųjų energijos panaudojimo efektyvumas ir naudingumo koeficientas yra ženkliai didesni, kai tuo tarpu tradicinių automobilių naudingumo koeficientas yra žemas ir papildomai yra stebima kitokių nuostolių. Atsižvelgiant į tai, kad dėl iškastinio kuro mažėjimo yra skatinamas kainų augimas, jo panaudojimas tradiciniuose automobiliuose tampa vis labiau nepateisinamas ir nepriimtinas.

Energetiniu atžvilgiu pačiu ekonomiškiausiu elektromobiliu yra laikomas tas, kuris važiuodamas panaudoja tik gryną elektros energiją. Tokio elektromobilio pagrindinės sudedamosios dalys yra baterija, elektros variklis ir transmisija, kurios dėka yra sukami elektromobilio ratai. Be tikrojo elektromobilio yra ir hibridiniai elektromobiliai (angl. *Hybrid Vehicle*), turintys VDV ir elektros variklius su baterija. Šiems elektromobiliams elektrą teikia VDV sukamas generatorius automobilyje ir baterija nėra įkraunama iš elektros tinklo. Tokiuose elektromobiliuose stabdymo energija yra gražinama atgal į bateriją [16]. Taip pat yra ir

hibridiniai elektromobiliai, turintys galimybę įkrauti akumuliatorių baterijas (angl. – *Plug-in Hybrid Vehicle*) per galios keitiklį iš elektros tinklo. Kadangi nėra tuščios veikos, o stabdymo energija taip pat gražinama į bateriją, tokie elektromobiliai efektyviausi važinėjant mieste.

V. Adomavičiaus straipsnyje apie elektromobilių plėtros perspektyvas [16] yra sudarytas elektromobilių ir tradicinių automobilių parametrų bei charakteristikų palyginimas. Automobilių palyginimo duomenys pateikiami 1.5.1 lentelėje [16].

1.5.1.1 lentelė. Vidaus degimo ir elektros variklių palyginimas [16].

Eil. Nr.	Palyginami dalykai	Vidaus degimo variklis	Elektros variklis
1	Naudingumo koeficientas	33 proc. geriausiu atveju	90 – 95 proc.
2	Variklio aušinimo sistema	Reikalingas radiatorius	Radiatorius nereikalingas
3	Teršalai	Į aplinką išmetami teršalai	Tiesioginių teršalų nėra
4	Tuščia veika	Yra tuščios veikos kuro nuostoliai	Nėra tuščios veikos
5	Energijos konversija	Negrįžtama	Stabdymo energija gražinama į bateriją
6	Variklio svoris	Didelis, sunkus (0,7 kW/kg)	Lengvas ir mažas (75 kW - 13kg; 5,8 kW/kg)
7	Erdvės poreikis	Reikalauja daug vietos automobilyje	Gali būti įrengti automobilio ratuose
8	Triukšmo lygis	Triukšmingas, reikalingas duslintuvas	Triukšmas labai mažas, duslintuvo nereikia

Aktyviai kovojant su globaliniu klimato atšilimu ir aplinkos tarša, tradiciniams automobiliams dėl CO₂ emisijos keliami vis griežtesni reikalavimai. Pastaruoju metu gamintojai taip pat daug dėmesio skiria kuro panaudojimo efektyvumui, kuris sumažintų į aplinką išmetamų teršalų kiekį. Nors grynas elektromobilis ir neteršia aplinkos, tačiau kaip ir tradiciniai automobiliai jie yra gaminami gamyklose, kurios, deja, išgaunant įvairias detales, pačios teršia aplinką. Siekiant elektromobilį išlaikyti „žaliuoju“, jo veikimui turėtų būti panaudota elektros energija, pagaminta iš tokių AEŠ kaip saulės elektrinė ar vėjo elektrinė. Atsinaujinančios energijos susijungimas su technologijomis būtų puikus žingsnis arčiau švaresnės ateities.

Berjoza ir bendraautoriai [17] teigia, jog pats paprasčiausias ir pigiausias elektrinių transporto priemonių įkrovimo būdas yra namų garažo įprastinis elektros tinklas, nes tam nereikalingos jokios papildomos investicijos. Tačiau, atsižvelgiant į naujųjų technologijų tendencijas, šiuo metu vis dažniau susiduriama ir su asmeninės bei viešos įkrovimo stotelės elektromobiliams idėjomis. Racionaliai pasirinkus tinkamą įrangą, elektromobilius galima pilnai įkrauti namie, mieste, o taip pat darbo metu įmonės įrengtose stotelėse. Būtina paminėti, kad šiuo metu, siekiant paskatinti elektromobilių panaudojimą, jų įkrovimas iš greito pakrovimo stotelių yra nemokamas. Žinoma, greitai metu numatoma šią paslaugą apmokestinti – tuomet klientas

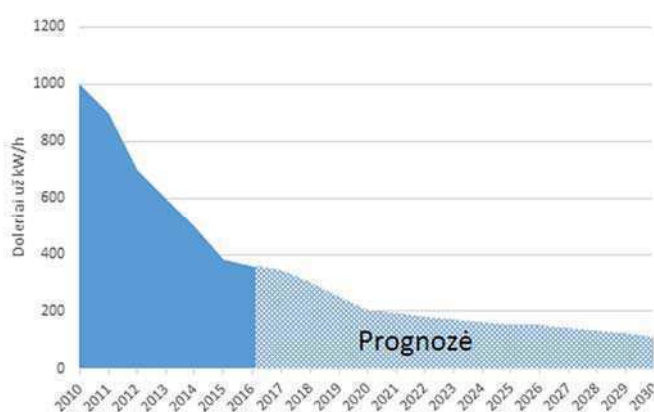
turėtų mokėti ne tik už sunaudojamą elektros energiją, tačiau ir už stotelių infrastruktūros sukūrimą, jų priežiūrą, bei tam tikrą maržą. Siekiant išvengti šio apmokestinimo, pastebima nauja tendencija įkrauti elektromobilius iš mikrotinklų, sudarytų iš AEŠ pagamintos energijos [18].

1.5.2. Ličio – jonų baterijos

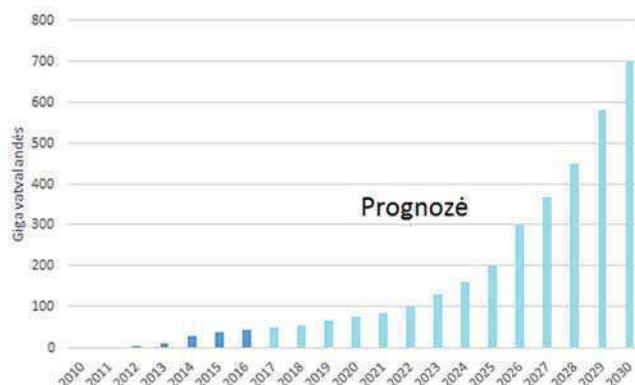
Kalbant apie elektromobilių įkrovimo galimybes, būtina atkreipti dėmesį į pačias baterijas. Iš visų elektromobilių sudedamųjų dalių baterija kol kas yra pati brangiausia dalis. Naujausiuose elektromobilių modeliuose daugiausia naudojamos yra ličio-jonų baterijos.

Originaliai komercines ličio – jonų baterijas pagamintos pagal „Sony“ kompaniją. Šioms baterijoms būdingas labai geras energijos ir galios tankis, o taip pat ir geri techniniai bei įkrovos – iškrovos parametrai. Todėl jos imtos naudoti įvairiuose prietaisuose, tokiuose kaip mobilieji telefonai [19]. Per pastarąjį dešimtmetį šios baterijos yra išsamiai tyrinėjamos ir instaliuojamos į transporto priemones. Šis transportas – tai grynas elektromobilis (angl. *Electric Vehicle (EV)*), įkraunamas hibridas (angl. *Plug-in Hybrid Vehicle (PHEV)*) ir paprasti hibridai (angl. *Hybrid Electric Vehicle (HEV)*). Tokio tipo baterijos ketina pakeisti tradiciniuose automobiliuose esančius VDV, tačiau šių baterijų kaina lieka kaip pagrindinė kliūtis, kuri sulėtina visą elektromobilių plėtrą.

Remiantis „Bloomberg New Energy Finance“ (BNEF) duomenimis [20], 1.5.2.1 paveikslėlyje sudaromas grafikas su ličio – jonų baterijų kainomis, o 1.5.2.2 paveikslėlyje pateikiama metinė elektromobilių baterijų paklausa.



1.5.2.1 pav. Ličio – jonų baterijų kainos ir prognozė.



1.5.2.2 pav. Baterijų paklausa elektromobiliams.

Analizuojant grafikus, stebimas šių baterijų kainų mažėjimas, kuris per paskutiniuosius 6 metus nukrito iki 65 proc., o per ateinančius 10 metų turėtų nukristi dar iki 50 proc. Remiantis BNEF [20] duomenimis teigiama, kad nuo 2022 m. elektromobilių gamybos kaštai bus mažesni

nei tradicinių automobilių. Tikimasi, kad didėjant ličio-jonų baterijos paklausai ir tobulėjant gamybos technologijoms, greitai metu ši brangiausia elektromobilių sudedamoji dalis nebebus kliūtis elektromobilių infrastruktūros vystymuisi.

1.5.3. Elektromobilių įkrovimų tipai ir galingumai

Kiekvieno elektromobilio akumulatoriaus baterijų talpa yra skirtinga. Ji yra matuojama kilovatvalanėmis (kWh), o pačių elektromobilių įkrovimo stotelių galingumas yra matuojamas kilovatais (kW). Atsižvelgiant į tai, kad elektromobilis palaiko tam tikrą įkrovimo greitį, įkrovimo stotelė turi parinkti optimalią įkrovimo galią. Tokios stotelės yra gaminamos pagal įkrovimo poreikius: viešas įkrovimo tinklas ar individualus įkrovimo tinklas namie, o taip pat atsižvelgiant ir į kliento pageidavimus. 1.5.3.1 paveikslėlyje [21] yra pateiktos skirtingų tipų įkrovimo stotelės.



1.5.3.1 pav. Įkrovimo stotelės [21].

Pagrindiniai šių įkrovimo stotelių skirtumai yra galingumas ir panaudojimo perspektyva: asmeninis naudojimas nuosavame garaže ar viešas naudojimas lauko sąlygomis.

Elektromobilio baterija įkraunama greičiau, kai yra galingesnė įkrovos prieiga. Paprastai yra skiriami trys įkrovimo lygiai - lėtas krovimas iki ~3 kW, greitas krovimas – 7-22 kW ir itin greitas krovimas – 43-50 kW ir daugiau. Kadangi visų baterijų įkrovai turi būti naudojama nuolatinė (DC) srovė, buitiniame elektros tinkle naudojamą kintamąją srovę (AC) reikia konvertuoti į nuolatinę srovę. Tą atlieka automobiliuose integruoti krovikliai (lėtojo ir greitojo įkrovimo atvejais) arba stacionariose stotelėse įrengti krovikliai (itin greito krovimo atveju).

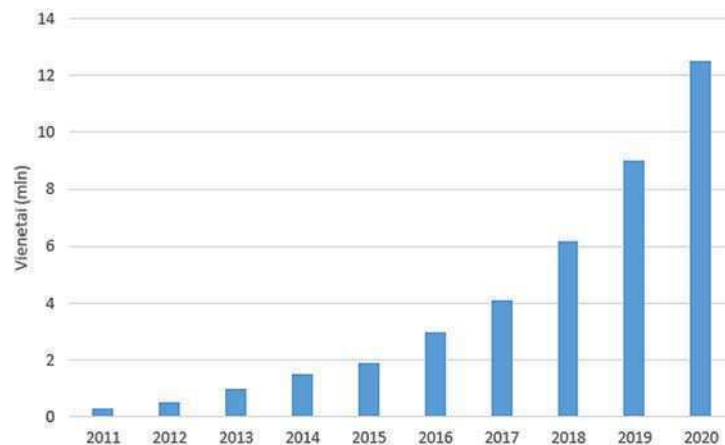
Šiuo metu yra standartizuoti keturi skirtingi įkrovimo metodai (angl. *mode*). Pagal Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerijos pateiktą aprašymą apie elektromobilius [23] sudaryta 1.5.1.1 lentelė, kurioje palyginti skirtingi įkrovimo metodai, naudojami ES.

1.5.3.1 lentelė. Įkrovimo metodai.

Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Įprastas elektros lizdas, tiekiantis 230V įtampą. Laikas per kurį būtų pakrauta 24 kWh baterija – 7-8h. Šis metodas nereikalauja jokios papildomos infrastruktūros.	Įprastas 230 V įtampos elektros lizdas su papildoma apsauga nuo elektrinio šoko. Toks krovimo tipas reikalauja didesnių investicijų dėl papildomų apsaugos priemonių.	Greito krovimo metodas, dažnai su specialiu elektros kištuku bei papildoma apsauga. Šis metodas leidžia naudoti didesnės galios krovimą (11 kW arba 22 kW), taip sutrumpindamas krovimo laiką iki 1-2 h (skaičiuojant 24kWh baterijai).	Tiesioginės srovės (DC) krovimo metodas leidžiantis pasiekti 50 kW galią ir taip sutrumpinantis krovimo laiką iki mažiau nei 30 min (naudojant 24kWh bateriją).

Labiausiai dėl nevienodų įkrovimo tipų ir standartų nukenčia vartotojai. Europos Komisija ėmėsi iniciatyvos siekiant išspręsti šią problemą ir priėmė sprendimą dėl jungiklio. Laikantis numatytų elektromobilių standartų Europoje [24], yra naudojami Type 2 „Mennekes“ jungikliai. Visoje Europoje yra naudojami būtent šie jungikliai, kurie palaiko tiek vienfazį, tiek trifazį kintamos (AC) įtampos įkrovimus 2 lygyje (Level 2). Todėl Mode 3 įkrovimui yra plačiai naudojamas šis Type 2 jungiklis.

Straipsnyje „*IHS Automotive Industry Products and Solutions*“ [25] yra prognozuojama, kad iki 2020 m. įkrovimo stotelių skaičius globaliai turėtų pasiekti net iki 12,7 mln. Duomenys pateikiami 1.5.3.2 paveikslėlio grafike [25].



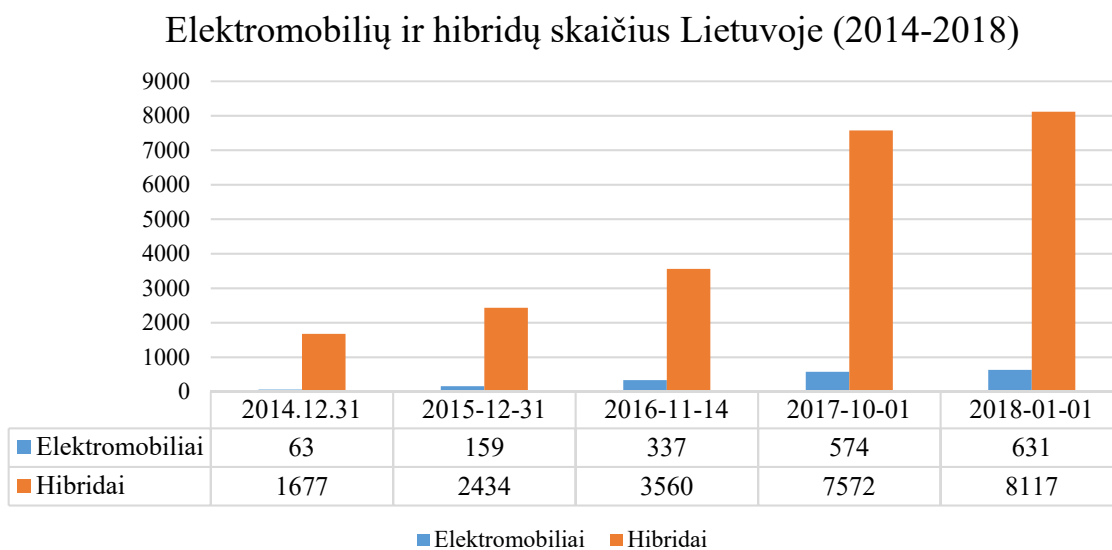
1.5.3.2 pav. Įkrovimo stotelių skaičiaus pasaulyje prognozė [25].

1.5.3.2 pav. grafikas atspindi, jog didėjant elektromobilių gamybai ir tokiu būdu mažėjant ličio - jonų baterijų kainai, kartu didės ir įkrovimų stotelių skaičius visame pasaulyje. Nors Lietuvoje ši infrastruktūra plėtojama lėtai, tačiau stengiamasi neatsilikti nuo šių technologijų panaudojimo.

1.6. Elektromobilių potencialas ir plėtra Lietuvoje

Toliau besivystant elektromobilių ir jų įkrovimo stotelių plėtrai, Baltijos šalys kartu plėtoja visą elektromobilių sistemą. Siekiant paskatinti elektromobilių naudojimą, daugelyje šalių elektromobilių savininkams yra suteikiamos privilegijos [17]. Lietuvoje elektromobilių savininkams leidžiama naudotis autobusų ir taksi automobiliams skirta „A“ raide žymima juosta, taip pat yra nemokamas ar tik kelis eurus kainuojantis elektromobilio parkavimas senamiestyje, o svarbiausia yra nemokamas kelių įkrovimo stotelių naudojimas. Kadangi Lietuvoje daugiausia elektromobiliais naudojamosi mieste – nuvykti iš namų į darbą, į parduotuvę ir atgal, toks jų panaudojimas tenkina Lietuvos piliečių poreikius. Kaip ir daugumoje kitų šalių, Lietuvoje taip pat yra taikomas dviejų laiko zonų tarifas [26], leidžiantis naktį krauti bateriją pigiau.

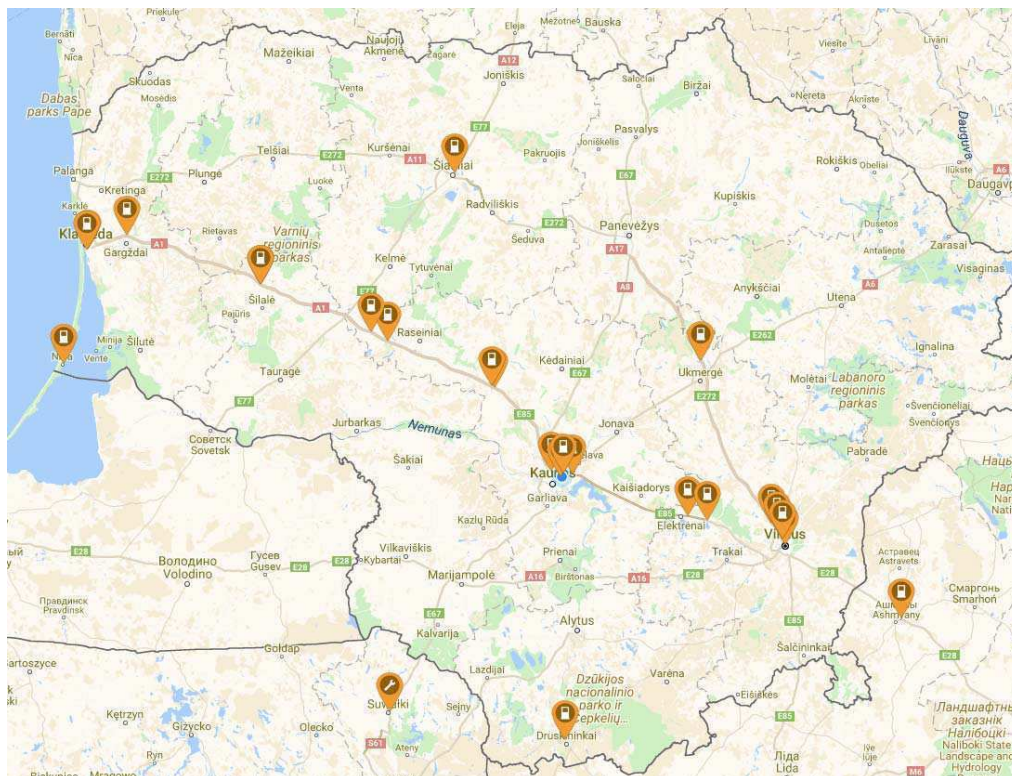
Remiantis Lietuvos Respublikos susiekimo ministerijos pateiktais duomenis jų internetinėje svetainėje [27], sudaryta diagrama apie elektromobilių skaičių Lietuvoje nuo 2014 m iki 2018m (1.6.1 pav) [27].



1.6.1 pav. Elektromobilių ir hibridų skaičius Lietuvoje (2014-2018) [27].

Šiuo metu Lietuvos Respublikos susiekimo ministerijos internetinėje svetainėje [27] yra pateikta naujausia informacija apie elektromobilių ir hibridinių elektromobilių skaičių Lietuvoje. 2018 m. sausio 1d. VĮ „Regitra“ duomenimis, Lietuvoje buvo užregistruoti net 631 elektromobiliai, iš kurių populiariausi yra Nissan Leaf – 323 vnt., Tesla model S – 74 vnt. ir BMW i3 – 49 vnt. Lyginant su prieš metus pateiktais VĮ „Regitra“ duomenimis, Lietuvoje buvo užregistruoti tik 337 elektromobiliai. Tai beveik daugiau nei 200 proc. padidėjęs skaičius, kuris leidžia padaryti prielaidą, jog 2019 m., šis skaičius galėtų pasiekti net 1000 elektromobilių visoje Lietuvoje.

Dar visai neseniai elektromobilių greito įkrovimo stoteles Lietuvoje buvo galima suskaičiuoti ant vienos rankos pirštų. Džiugina tai, kad ši situacija iš tiesų keičiasi ir šiandien jau turime 23 greito įkrovimo stoteles [28], kurių išdėstymas Lietuvoje pavaizduotas 1.6.2 paveikslėlyje.



1.6.2 pav. Elektromobilių greito įkrovimo stotelės [28].

Lietuvos Respublikos susiekimo ministerijos internetinėje svetainėje pateikiama informacija apie įkrovimo stelių plėtrą [28], teigiant, jog viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros tikslas yra kurti ir plėtoti viešai prieinamą elektromobilių įkrovimo prieigų tinklą Lietuvoje bei skatinti naudotis elektromobiliais, siekiant sumažinti naftos produktų vartojimą transporto sektoriuje ir sušvelninti transporto poveikį aplinkai.

Siekiant įgyvendinti užsibrėžtą elektromobilių transporto plėtros galimybių studijoje nurodytą rodiklį, pirmiausia bus kuriama ir plėtojama elektromobilių įkrovimo infrastruktūra penkiuose didžiuosiuose Lietuvos miestuose bei kurortuose, o taip pat pagrindiniame transeuropiniame kelių tinkle, t.y. šalia tarptautinių automagistralių (valstybinės reikšmės magistralinių kelių) E85 ir E67, vėliau - ir šalia kitų kelių [23]. Nuo 2018 m. pradžios jau vyksta pirmieji projektavimo darbai naujoms įkrovimo stotelėms automagistraliniuose keliuose įrengti, kuriuos planuojamos užbaigti dar šiais 2018 m.

Vienas didžiausių privalumų elektromobilių vartotojams yra tas, jog beveik visos elektromobilių greito įkrovimo stotelės Lietuvoje kol kas dar yra nemokamos. Nemokamai elektromobilių baterijos gali būti papildytos „Autopildyk“[30], „LIDL“, Lietuvos automobilių kelių direkcijos, „ESC“, „ABB“ bei „Smart Taxi“ įkrovimo stotelėse. Dalis šių stotelių įrengimo buvo finansuotos ES lėšomis, todėl pastaruosius 5 metus turėtų būti nemokamos. „LIDL“ prekybos centruose įrengtos įkrovimo stotelės yra nemokamos ir kitose valstybėse iki šiol [29].

Vienintelis mokamas greitojo įkrovimo tinklas Lietuvoje yra „Renerga“, turinti kol kas tik dvi greito įkrovimo stoteles Druskininkuose bei Klaipėdoje. „Renerga“ planuoja įrengti ir daugiau įkrovimo stotelių. Šiose įkrovimo stotelėse viena elektros kilovatvalandė (kWh) kainuoja 0.25 Eur [29].

2013 m. buvo atliktas elektromobilių naudojimo perspektyvų tyrimas [31]. Pasinaudojant apklausa, buvo įvertinti svarbiausi kriterijai, lemiantys elektromobilio įsigijimą Lietuvoje. Taip pat buvo išsiaiškinti veiksniai, stabdantys jų įsigijimą. Remiantis šio tyrimo pateiktais rezultatais, galima prieiti prie išvadų:

- 1) Per aukšta kaina įsigijimui – šiuo metu elektromobilio kaina yra apie du kartus didesnė už tradicinio automobilio kainą.
- 2) Anot gyventojų, tinkamiausia priemonė kompensuoti elektromobilių kainą – valstybės mokama dalinė kompensacija elektromobiliui įsigyti. Tokia priemonė taikoma kitose šalyse.
- 3) Didžiausias privalumas būtų turėti galimybę elektromobilį įkrauti savo namuose, mieste ar darbovietėse. Daugumą neturinčių nuosavo būsto, elektromobilį įsigyti stabdo mintis, jog nebus galimybės jo įkrauti.
- 4) Svarbiausia elektromobilių savybė tai – ekologija. Jie neišskiria į aplinką kenksmingų kancerogeniniu dalelių, galinčių sukelti onkologinius susirgimus.

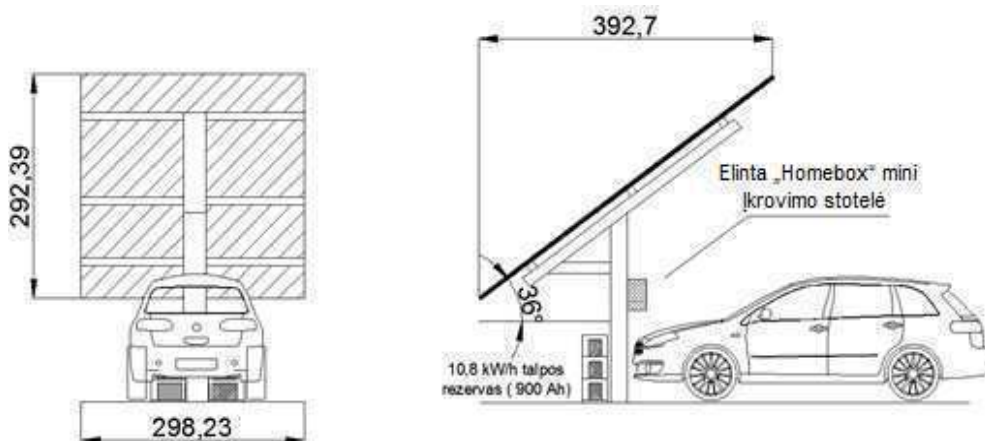
Pateiktos išvados parodo, jog Lietuvos gyventojams svarbiausia yra elektromobilio kaina, nuosavos įkrovimo stotelės turėjimas nuosavame name, patogus stotelių prieinamumas mieste ir, žinoma, ekologija. Atsižvelgiant į atliktos apklausos duomenis, šiuo metu siekiama sujungti viską į vieną visumą ir pasiūlyti saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stoteles, kuriose saulė kaip AEŠ būtų pagrindinis šios stotelės šaltinis ir dėl savo lankstumo ir stabilumo būtų prijungta prie tinklo.

2. TIRIAMASIS OBJEKTAS

2.1. Tiriamojo objekto aprašymas

Kadangi susidomėjimas elektromobiliais šiuolaikinėje visuomenėje nuolat didėja, manoma, jog greitu metu žmonės, turintys nuosavą saulės elektrinę, galės įsirengti ir saulės energijos įkrovimo stoteles namie. Žinoma, šios idėjos įgyvendinimui reikia daugybės pokyčių. Visų pirma, reikalingas žmonių švietimas ir mokymas apie AEŠ panaudojimą, galintis padėti prisidėti prie šios infrastruktūros panaudojimo. Nors gaminant saulės modulius į atmosferą išmetamos tam tikros dujos, sukeliančios visiems gerai žinomą šiltnamio efektą, tačiau palyginus, kiek CO₂ išmetama siekiant pagaminti vieną kilovatvalandę elektros deginant anglį ar naudojant saulę, matysime didžiulį skirtumą.

2016 m. baigiamajame bakalauro darbe [32] buvo suprojektuotos dviejų tipų saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės elektromobilių įkrovimo panaudojimui. Pirmajame projekto variante pateikiamos autonominės įkrovimo stotelės be tinklo pagalbos (angl. *Off-grid*) su akumuliatorių talpa, įmontuota pačioje įkrovimo stotelėje. Ši stotelė pavaizduota 2.1.1 paveiksle [32]. Tokios stotelės galėtų būti pritaikytos darbovietėse, kur elektromobiliai būtų įkraunami visą darbo dieną. Antrajame projekto variante pateikiama vieša įkrovimo stotelė, prijungta prie tinklo (angl. *Grid-tied*). Šios įkrovimo stotelės būtų naudojamos prekybos centruose, mieste ar užmiestyje. Ši stotelė pavaizduota 2.1.1. paveikslėlyje [32].



2.1.1 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės su saulės elektrine vaizdas iš priekio ir šono.

Toliau šiame darbe bus analizuojamas pirmasis saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės variantas [32], skirtas panaudojimui darbovietėse. Šios stotelės yra patrauklios savo mobilumu, paprastu dizainu ir svarbiausia, jog Jūsų darbo metu saulės moduliai atliks savo užduotį ir per visą darbo dieną įkraus Jūsų elektromobilį iki tam tikro lygio. Paprastai po vienos darbo dienos elektromobilio baterija būtų papildyta elektros energija, kuri paverčiama į 30 arba 35 km atstumą.

Svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad elektromobilių baterijų įkrovimo laikas priklauso nuo begalės aplinkybių – lauko temperatūros, baterijos temperatūros, įkrovimo stotelės būklės, baterijos talpos ir esamo įkrovimo lygio, o taip pat nuo elektros instaliacijos iki įkrovimo stotelės būklės.

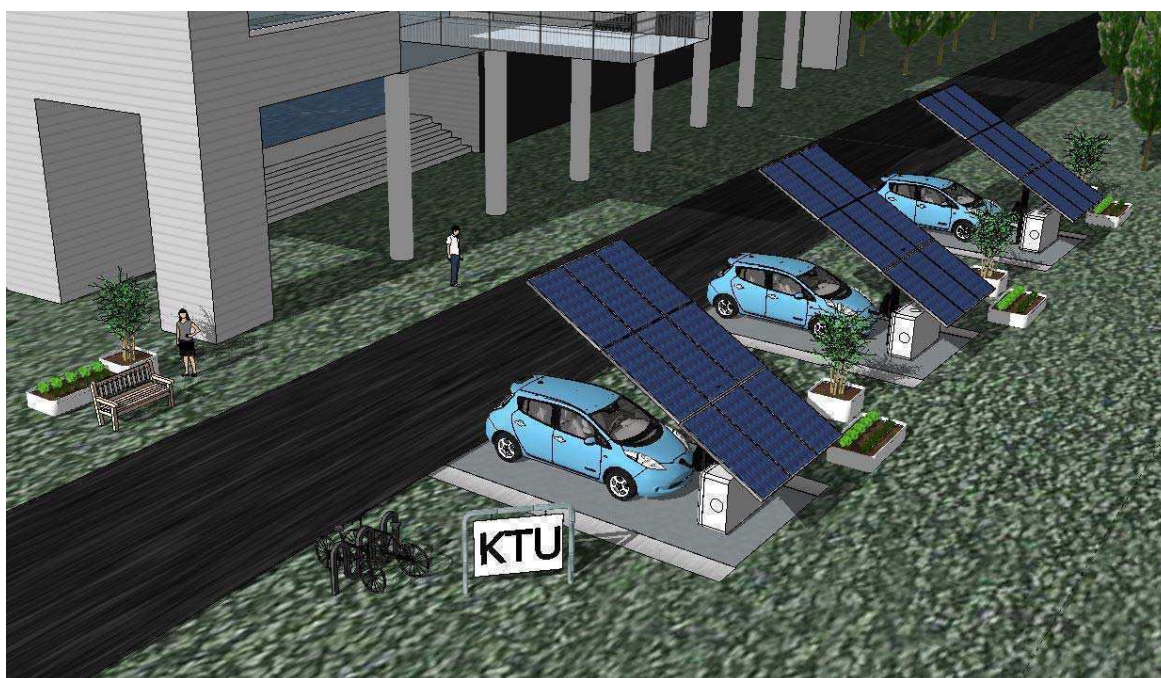
Atsižvelgiant į saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių darbovietėse panaudojimo trūkumus (tokie kaip baterijų rezervo eksploatavimas), šiame darbe siekiama ištirti ir išanalizuoti tarpusavyje du skirtingus šios įkrovimo stotelės su 2,56 kW saulės elektrine scenarijus.

Pirmasis scenarijus – nepatrauklaus baterijų rezervo panaikinimas ir perteklinės saulės energijos talpinimas į tinklą. Prireikus perteklinę saulės energiją būtų galima sugrąžinti atgal [33], kad būtų kompensuotas elektros energijos trūkumas žiemos metu ir tokiu būdu būtų užtikrintas elektromobilio įkrovimas kiekvieną dieną. Kasdieninis įkrovimas paverčiamas į nuvažiuojamą **35 km** atstumą.

Antrasis scenarijus – baterijų rezervo palikimas kaip anksčiau buvo ir suprojektuota baigiamajame darbe [32]. Kasdieninis įkrovimas paverčiamas į nuvažiuojamą **30 km** atstumą.

Abiejų scenarijų saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelių elektros gamybos simuliacijos bus atliekamos panaudojant programinę įrangą – „*PV SOL*“ [34].

Saulės energijos ir elektromobilių kombinacija, tai yra vienas iš racionaliausių būdų sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro. Elektros energija atkeliauja iš įvairiausių kuro šaltinių, o elektromobilių įkrovimas panaudojant saulės energiją būtų atsakas į globalinę taršą. 2.1.2 paveikslėlyje [32] pateikiama šių stotelių vizija darbovietėse Lietuvoje.



2.1.2 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės su 2,56 kW saulės elektrine trimatis vaizdas darbovietėse.

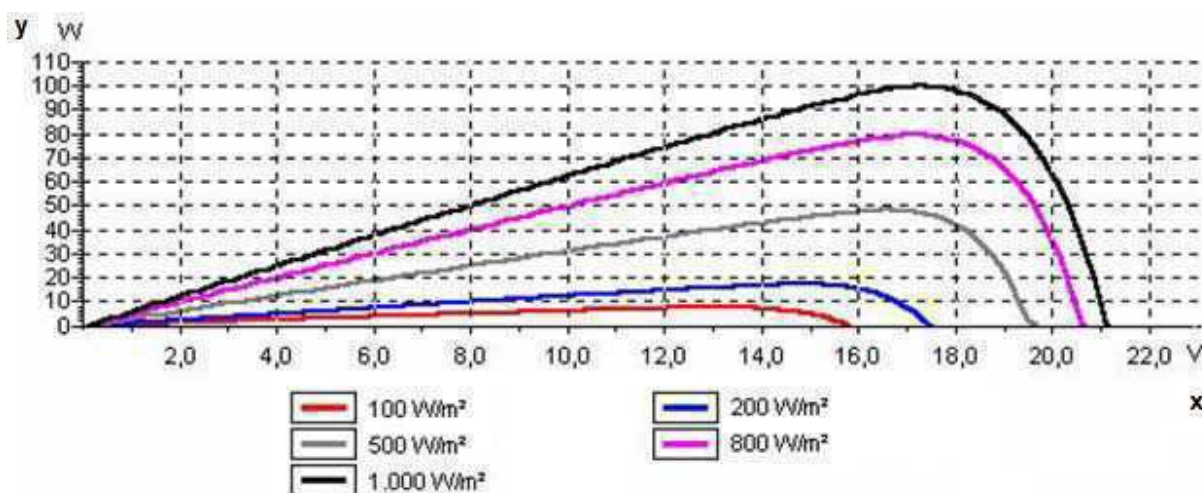
2.2. Matematinio modelio apžvalga

Fotovoltinių (FV) modulių komplektas (angl. *Array*), kuris sudarytas iš saulės modulių, yra laikomas pagrindiniu elektros energijos gamybos vienetu. FV modulių komplektas turi netiesines charakteristikas, yra gana brangus taip pat užima daug laiko, norint išgauti FV modulio veikimo kreives dirbant skirtingomis darbo sąlygomis. Siekiant įveikti šias kliūtis ir išgauti tikslius saulės elektrinės simuliacijos rezultatus, yra naudojama „PV SOL“ [34] programinės įrangos pagalba.

2.2.1. Saulės modulio galia

Nurodžius saulės modulio įtampą, galima nustatyti FV modulio generuojamą galingumą, kuris priklauso nuo saulės apšvitinimo į pakreiptą FV modulių komplekto paviršių be atspindžio nuostolių. Tokiu būdu yra nustatoma FV modulio temperatūra.

2.2.1.1 paveikslėlyje [34] yra pateikiama paprasto 100 W FV saulės modulio išėjimo įtampos kitimas esant įvairiems apšvitimo lygiams.

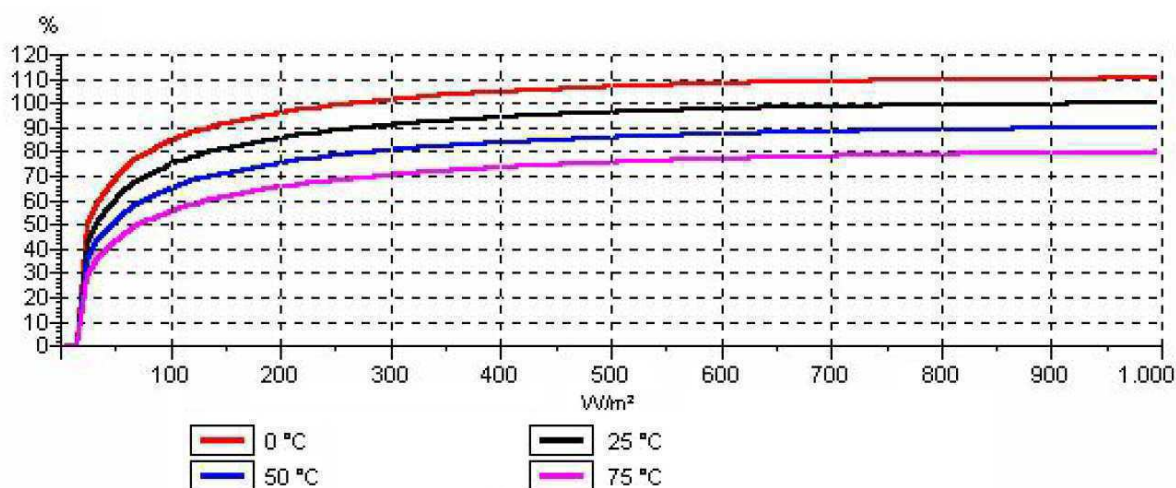


2.2.1.1 pav. 100 W modulio elektros energijos generavimas priklausomai nuo apšvitimo lygio [34].

Viršutinė kreivė (juoda spalva) parodo saulės modulio elektros gamybos produkciją, kai saulės modulis testuojamas esant įprastos standartinėmis $25^{\circ} C$ temperatūros bandymo sąlygomis. Taip pat matoma, jog šis bandymui parinktas saulės modulis tiekia didžiausią galią – 100 W kartu su 17 V įtampa. Ši riba parodo saulės modulio maksimalų galios tašką (angl. *Maximal Power Point (MPP)*). Šis maksimalus galios taškas privalo būti nustatytas visomis apšvitimo situacijomis ir esant skirtingoms modulio temperatūroms.

Vienas FV sistemos reikalavimas yra tas, kad tam tikram nustatytam švitinimui ir modulio temperatūrai, įtampa yra reguliuojama taip, jog saulės modulis veiktų pasiekiant maksimalų galios tašką. Ši užduotis atitenka įtampos keitikliui (angl. *Inverter*).

Atsižvelgiant į tai, jog saulės moduliai yra eksploatuojami maksimalaus galios taško būsenoje, programinė įranga „*PV SOL*“ [34] nustato modulio generuojamos elektros energijos produkcijos galingumą ir taip nustatomos charakteringos kreivės dalinės apkrovos metu.



2.2.1.2 pav. FV saulės modulių efektyvumas [34].

2.2.1.2 paveikslėlyje [34] yra pateiktas skirtingų FV saulės modulių efektyvumas esant skirtingoms temperatūroms. Šių kreivių priklausomybė nuo temperatūros yra nustatoma pagal charakteristikos kreives prie 25 °C temperatūros ir pagal temperatūros koeficientą – $d\eta/dT$.

$$\eta_{FV,MPP} = \eta_{FV,MPP}(G, T_{modulio} = 25^{\circ}C) \times [1 + \Delta T \times d\eta/dT], \quad (1)$$

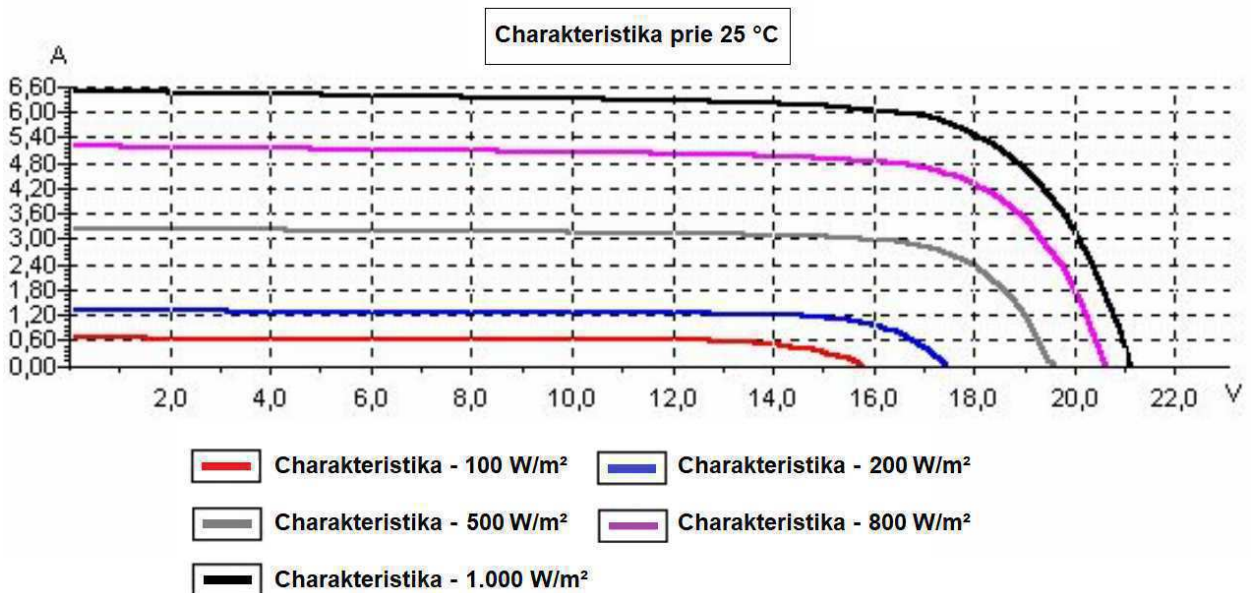
čia:

$\eta_{FV,MPP}$ – modulio efektyvumas;

$G_{T_{modulio}}$ – FV modulio maksimalaus galios taško temperatūra;

$d\eta/dT$ – Temperatūros kitimo nuo įtampos koeficientas.

Jeigu negalime išlaikyti modulio maksimalaus galios taško, tuomet FV modulio veikimo taškas yra nustatomas pagal įtampos ir srovės charakteristikos kreives, kurios kinta nuo apšvitimo lygio. Šios kreivės pateiktos 2.2.1.3 paveikslėlyje [34].

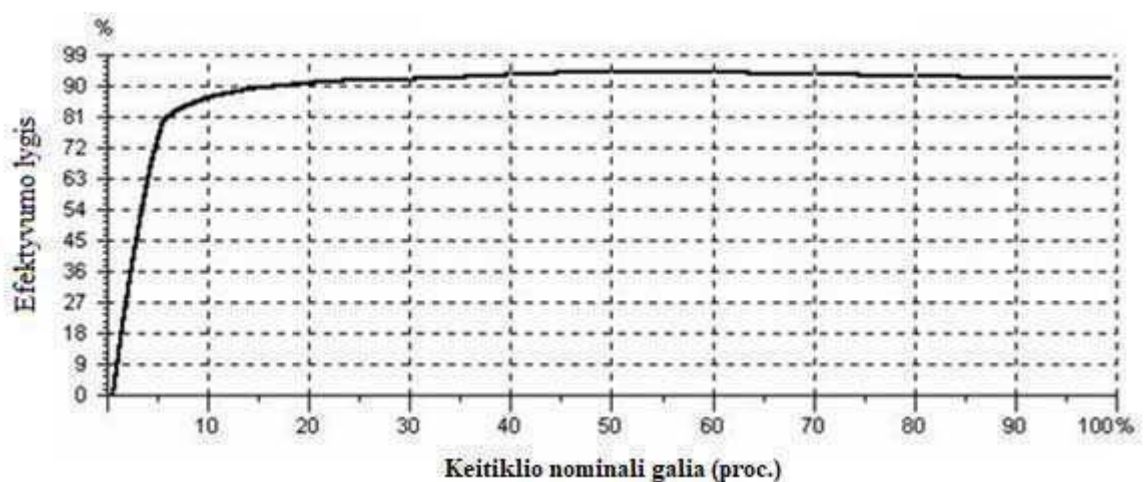


2.2.1.3 pav. 100 W saulės modulio išėjimo įtampa prie 25 °C temperatūros [34].

2.2.2. Įtampos keitiklis

Įtampos keitiklio veikimą galima apibūdinti dviem funkcijomis. Pirmiausia, įtampos keitiklis nuolatinę (DC) įtampą, kuri išgaunama iš FV modulių, keičia į kintamąją (AC) įtampą. Toliau įtampos keitikliai su integruotu maksimalaus galios taško stebėjimu užtikrina, jog FV modulių komplektas veiktų pasiekiant šį tašką. Taip užtikrinamas didžiausias FV modulių ir pačios saulės elektrinės efektyvumas.

Konvertuojant nuolatinę įtampą į kintamą, yra patiriami energijos nuostoliai. Naudojant efektyvumo charakteristikos kreivę, programinė įranga „PV SOL“ [34] apskaičiuoja išėjimo galią (angl. *Output*) priklausomai nuo įėjimo galios (angl. *Input*).



2.2.2.1 pav. Santykinis įtampos keitiklio efektyvumas [34].

2.2.2.1 [34] paveikslėlyje yra pateiktas standartinis įtampos keitiklio efektyvumo lygis. Įtampos keitiklio išėjimo galia P_{AC} yra nustatoma:

$$P_{AC} = P_{DC} \times \eta_{Nenn} \times \eta_{rel} , \quad (2)$$

čia:

P_{DC} – FV modulio nuolatinės įtampos galia;

η_{Nenn} – Keitiklio išėjimo galios efektyvumo lygis;

η_{rel} – Keitiklio santykinis efektyvumo lygis;

Norint simuliuoti maksimalaus galios taško sekimą, programa „PV SOL“ kiekviename skaičiavimo etape patikrina ar modulio maksimalaus galios taško įtampą galima nustatyti keitiklio pagalba. Jeigu šio taško įtampa viršija integruoto MPP sekimo diapazono ribą, tuomet valdiklis sumažina FV modulio srovės įtampos charakteristikas, tol kol pasiekiamos geriausios darbinės sąlygos – kad būtų išgautas maksimalus FV modulių ar visos įrengtos saulės elektrinės efektyvumas.

2.2.3. Saulės modulių išdėstymas

Norint įvertinti analizuojamos 2,56 kW elektrinės galingumą ir generuojamą energiją Lietuvoje, reikalingi tikslūs metrologiniai duomenys. Programinė įranga „PV SOL“ turi nuolat atnaujinamą metrologinių duomenų bazę, kurioje mes pasirenkame vieną iš Lietuvos miestų – Kauną. Duomenų bazė papildyta tokiais duomenimis kaip: globaline horizontalia apšvitimo spinduliuote (angl. *Global Horizontal irradiance* (S^{GHI})), difuzine horizontalia apšvitimo spinduliuote (angl. *Diffuse Horizontal Irradiance* (S^{DHI})), tiesioginiu normaliu apšvitimu (angl. *Direct Normal Irradiance* (S^{DNI})) ir aplinkos temperatūra (T_a) [36].

Siekiant įvertinti saulės spinduliavimą moduliui (S_m) su tam tikru azimuto (A_m) pasvirimo kampu (θ_m), yra reikalingas saulės padėties per metus nustatymas. Tai yra pateikta 2.2.3.1 paveikslėlyje [36]. Remiantis saulės pozicijos duomenimis, apšvietimas ant FV modulio su tikslia orientacija (A_m , θ_m) gali būti apskaičiuojamas sudarant geometrinius ir izotropinius dangaus difuzinius modelius, kur S^{DNI} ir S^{DHI} modulio komponentai atsiduria ant saulės modulio [36]:

$$S^{DNI} \text{ FV modulio} = S^{DNI} (\sin \theta_m \times \cos a_s \times (A_m - A_s) + \cos \theta_m \times \sin a_s) \quad (3)$$

$$S^{DHI} \text{ FV modulio} = S^{DNI} \frac{1 + \cos \theta_m}{2} \quad (4)$$

$$S_m \text{ FV modulio} = S^{DHI} \text{ FV modulio} + S^{DNI} \text{ FV modulio}, \quad (5)$$

čia:

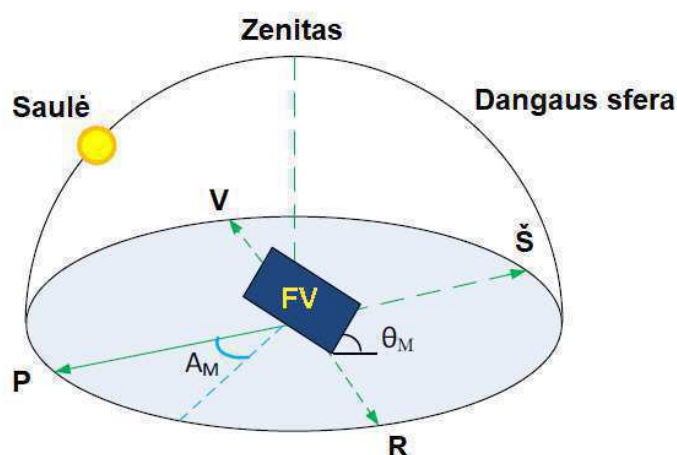
S^{DNI} – Difuzinė horizontali saulės apšvita;

S^{DHI} – Tiesioginė normali saulės apšvita;

θ_m – FV modulio pasvirimo kampas;

A_m – Azimutas;

A_s – Alitudė.



2.2.3.1 pav. FV modulio orientacija nustatymas pagal azimuto kampą ir pačio modulio pasvirimo kampą [36].

Šio darbo analizuojamai įkrovimo stotelės elektrinei, skirtai panaudojimui darbovietėse, buvo parinkti [32] lietuvių gamybos UAB „Solet Technics“ [37] gamintojo M60.6-285 monokristaliniai saulės moduliai. Šie monokristaliniai moduliai yra itin paklausūs tarp vartotojų dėl savo kokybės ir efektyvumo santykio. Jie yra sudaryti iš 60 nuosekliai sujungtų monokristalinių celių. Pagal jų pateiktas specifikacijas 2.2.3.1 lentelėje yra pateikti elektrinių parametrų duomenys.

2.2.3.1 lentelė. Solet M60.6-285 modulio elektriniai parametrai [37].

Parametro pavadinimas	Gamyklinis nustatymas
Maksimali galia* (PMPP)	285.1 – 290 Wp
Maksimali įtampa (VMPP)	32,7 V
Maksimali srovė (IMPP)	8,75 A
Atviros grandinės įtampa (VOC)	38,5 V
Užtrumpintos grandinės srovė (ISC)	9,25 A
Galios matavimo tolerancija	0+3 %
Celių išdėstymas	6x10

* - Apšvita 1000 W/m², modulio temperatūra 25° C.

Iš pasirinktų FV modulių panaudoti 9 moduliai, kurių bendra galia siekia 2,56 kWp ir tuo pačiu sudaro 14,68 m² ploto elektromobiliui stoginę. Tačiau norint apskaičiuoti šių FV modulių komplekto išėjimo galią (P_m) yra svarbu atsižvelgti ir į aplinkos temperatūrą, nepaisant saulės spinduliavimo dydžio. Šis „Solet Technics“ [37] FV modulis yra įvertintas 285 W galia prie 25° C laipsnių temperatūros. Esant kitoms aplinkos temperatūroms (T_a), FV modulių komplekto išėjimo galia (P_m) galimai nustatoma [36,38]:

$$T_{cell} = T_a + \frac{S_m}{800} (T_{NOCT} - 20); \quad (6)$$

$$P_{FV\ modulio} = \frac{P_r S_m}{1000} [1 - \lambda(T_{cell} - 25)], \quad (7)$$

čia:

T_{cell} – Saulės modulio celės temperatūra;

S_m – Saulės spindulių apšvita į saulės modulį;

T_{NOCT} – Nominali darbinė saulės modulio celės temperatūra;

$P_{FV\ modulio}$ – Saulės modulio išėjimo galia;

λ - Galios temperatūros koeficientas (-0,44 %/K)

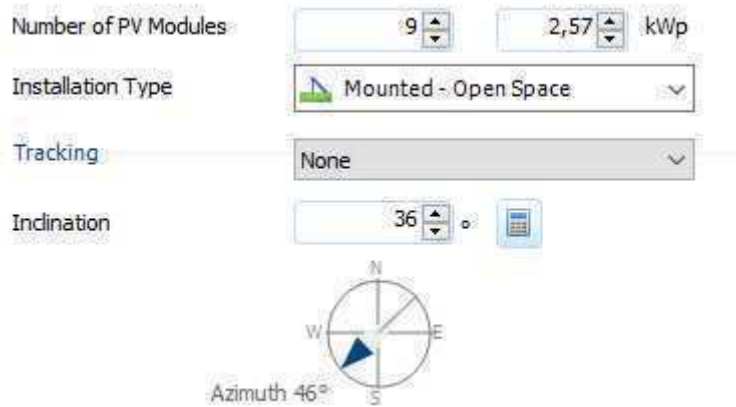
P_r – Nominali galia.

Norint gauti tikslus elektros energijos generavimo rezultatus, yra parinkta tiksli saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės lokalizacija, kuri yra pateikta 2.2.3.2 paveikslėlyje.



2.2.3.2 pav. Tiriamos įkrovimo stotelės lokalizacija.

Pasirinkta projekto vieta yra Studentų g. 3 esantis verslo centras, kuris turi nedidelę automobilių stovėjimo aikštelę. Šioje aikštelėje suprojektuota saulės moduliais įkraunama stotelė, kur sumontuoti 9 vnt. „Solet Technics“ [37] gamintojo M60.6-285 monokristaliniai saulės moduliai. „PV SOL“ nustatymai atlikti 2.2.3.3 paveikslėlyje [34].



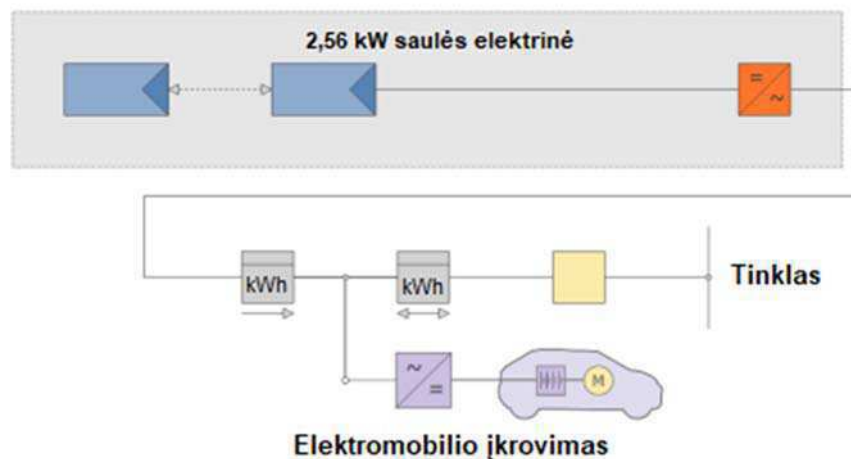
2.2.3.3 pav. 2,56 kW įkrovimo stotelės modulių orientacija [34].

2.2.3.3 paveikslėlyje yra įvesti duomenys pagal pasirinktą lokalizaciją Saulės elektrinės azimuto kampas – 46°. Pasvirimo kampas yra parinktas pagal 1.2.3 lentelę (Optimalus kampas Lietuvos miestuose) – 36°. Toliau pagal šiuos duomenis bus gaunami galutiniai elektros energijos generavimo rezultatai, kurie bus suskaičiuoti programinės įrangos „PV SOL“ pagalba.

2.2.4. Sistemų tipai

Tiriamoji saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelė analizuojama dviem scenarijais. Pirmasis, kai įkrovimo stotelė prijungta prie tinklo, antrasis scenarijus, kai stotelė yra autonomiška su baterijų rezervu.

Pirmojo scenarijaus įkrovimas yra kiek dinamiškas, nes įkrovimo galia bus svyruojanti, o ne fiksuota. To priežastis yra ta, jog įkrovimo galia priklausys nuo saulės elektrinės generuojamos galios. Tik perteklinė energija būtų talpinama į tinklą, o jos prireikus – pasiimama atgal. 2.2.4.1 paveikslėlyje [34] yra pateikiama tokios sistemos schema.



2.2.4.1 pav. 1-jo scenarijaus sistemos tipas [34].

Elektros energijos galios atidavimą ar pasiėmimą iš tinklo, galima būtų pateikti šia formulę:

$$P_{tinklas} = P_E - P_{FV}, \quad (8)$$

čia:

P_E – Elektromobilio *reikalaujama* galia;

P_{FV} – Saulės elektrinės generuojama galia;

Kuomet $P_{tinklas} > 0$, elektros energija yra pasiimama iš tinklo ir yra duodama į tinklą, kai $P_{tinklas} < 0$. Šių stotelių paskirtis yra darbovietės, todėl galime teigti, jog elektromobilis atvažiuos į darbo vietą apie 8:00 val. ryte, o išvažiuos iš darbovietės apie 17:00 val. antroje dienos pusėje. Todėl turime bendrai 9val įkrovimo laiko.

Dėl sezoniškumo Lietuvoje ir saulės energijos svyravimų, visados bus neatitikimas tarp elektromobilio paklausos ir saulės elektrinės generavimo. Šis perteklius ar trūkumas nuolat bus ištraukiamas ar talpinamas į tinklą. Visa energija, kuri yra talpinama ir pasiima iš tinklo per vienerius metus (8760 val.) yra apskaičiuojama [36]:

Jeigu

$$P_{tinklas}(t) < 0, \quad E_{talpinimas}^{tinklas} = \int_{t=0 h}^{t=8760 h} P_{tinklas}(t) dt \quad (9)$$

Jeigu

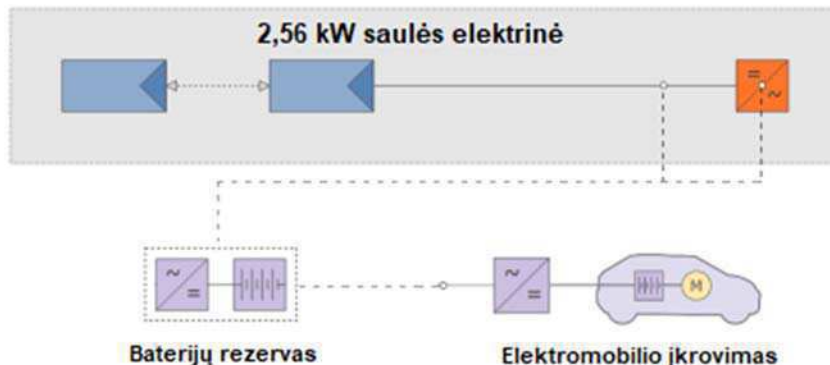
$$P_{tinklas}(t) > 0, \quad E_{pasiemimas}^{tinklas} = \int_{t=0 h}^{t=8760 h} P_{tinklas}(t) dt \quad (10)$$

$$E_{ex}^{tinklas} = E_{pasiemimas}^{tinklas} + |E_{talpinimas}^{tinklas}| \quad (11)$$

Siekiant užtikrinti maksimalią FV modulių generuojamos galios energiją elektromobilio įkrovimui, bendra energija - $E_{ex}^{tinklas}$ turi būti minimali, darant prielaidą, jog saulės elektrinės galia nesumažėja. Taip pat svarbu yra paminėti, jog nagrinėjant šį sistemos tipą, reikia įvertinti, jog darbovietėse elektromobiliai bus įkraunami tik 5 dienas per savaitę, todėl savaitgaliais nesunaudotas ir gautas saulės energijos perteklius bus talpinamas į tinklą.

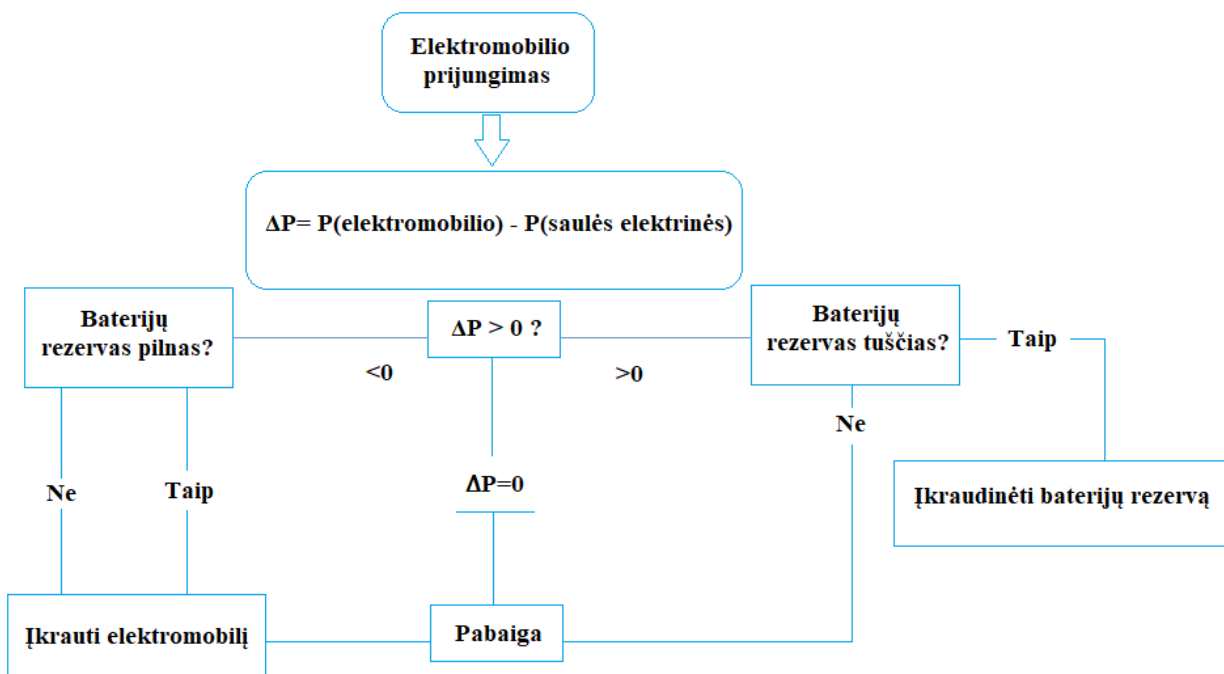
Antrajame scenarijuje yra nagrinėjamas autonomiškas šios stotelės modelis, kai įkrovimo stotelė nėra prijungta prie tinklo ir elektros energijos perteklių talpina į baterijų rezervą, to

reikalinga energija pasiima iš to paties rezervo. 2.2.4.2 paveikslėlyje [34] yra pateikiama tokios sistemos schema.



2.2.4.2 pav. 2-jo scenarijaus sistemos tipas [34].

Prijungimas prie tinklo, tai ne vienintelis sprendimas norint užtikrinti nunutraukiamą elektros energijos tiekimą. Be prijungimo į tinklą taip pat galima naudoti energijos saugyklą – baterijų rezervą ir taip atsisakyti saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės priklausomybės nuo tinklo panaudojant energijos saugyklą kaip mobilų produktą.



2.2.4.3 pav. 2-jo scenarijaus sistemos tipo veikimo diagrama.

2.2.4.3 paveikslėlyje pateiktas įkrovimo stotelės su baterijų rezervu veikimo eiliškumas. Elektromobilio įkrovimas keičiamas tarp saulės generuojamos elektros energijos ir baterijų rezervo. Tik prijungus elektromobilį, sistema nusprendžia, kur keliauja elektros energija. Pirmenybė teikiama iš saulės elektrinės generuojamai energijai. Jeigu jos neužtenka ar tiesiog nepakankamai generuojama, tuomet panaudojamas baterijų rezervas. Kai elektromobilis yra pilnai įkrautas, tuomet įkrovimas vyksta į baterijų rezervą. Svarbu atkreipti dėmesį, jog darbovietėse elektromobiliai bus įkraunami tik 5 dienas per savaitę ir tik 07:00 – 18:00 val. diapazone. Kitu laiku ar savaitgalio dienomis, generuojama saulės elektrinės energija bus nukreipta į baterijų rezervą. Kiekvienos savaitės pradžioje rezervas turėtų būti papildytas.

2.3. Tiriamojo objekto analizė

Prieš pradėdant nagrinėti pačių stotelių sudėtį, visų pirma reikia įvertinti reikalingos elektros energijos kiekį elektromobiliams. Bakalauriniame darbe [32] buvo pateiktos išvados, jog Lietuvoje pagal populiarumą dominuoja Nissan gamintojo elektromobiliai, iš kurių labiausiai naudojamas Leaf modelis su 24 kWh, o 2016 m. – su 30 kWh talpos baterija. Dar kartą peržvelgus 1.6.1 pav. (Elektromobilių ir hibridų skaičius Lietuvoje (2014-2018)) matoma, kad Lietuvoje iš visų 631 elektromobilių skaičiaus būtent Nissan Leaf sudaro daugiau nei 50 proc. elektromobilių skaičiaus.

Taip pat jau minėtame bakalauriniame darbe [32] buvo įvertintas vidutinis nuvažiuojamas atstumas per dieną – 30 km. [32]. Tai sudaro apie 12 000 km per metus. Formulėse pateikiama, kaip apskaičiuojamas reikalingas elektros energijos kiekis elektromobiliui per metus:

$$E_m = \frac{B_t \times A_m}{A_v} (kWh) , \quad (22)$$

$$E_{m \text{ Leaf } 2014} = \frac{24 \times 12000}{140} = 2057 \text{ kWh/m} , ; \quad (13)$$

$$E_{m \text{ Leaf } 2015} = \frac{30 \times 12000}{160} = 2250 \text{ kWh/m} , \quad (14)$$

čia:

E_m – Reikalingas elektros energijos kiekis per metus, kWh;

B_t – Elektromobilio baterijos talpa, kWh;

A_m – Atstumas per metus, km;

A_v – Atstumas pilnai įkrautos baterijos, km.

Kad reikalingą elektros energiją pavyktų išgauti, reikalinga saulės elektrinė. 2.3.3 skyriuje jau buvo paminėta, kad ir toliau išlieka tie patys „Solet Technics“ M60.6-285 monokristaliniai saulės moduliai [32, 35]. Siekiant išgauti kuo tikslesnius rezultatus, yra paskirta

lokalizacija kuri darys įtaką „PV SOL“ simuliacijai, esant azimuto kampui 46 °. Tai reiškia, jog FV saulės moduliai nebus nukreipti tiesiogiai į pietus. Todėl yra naudojami 9 vnt. šių FV modulių, o nuolatinė įtampa bus paverčiama į kintamą su tais pačiais [32] mikro-keitikliais, pavaizduotais 2.3.1 paveikslėlyje [40]. Toliau pateikiama techninių specifikacijų lentelė 2.3.1 [40].



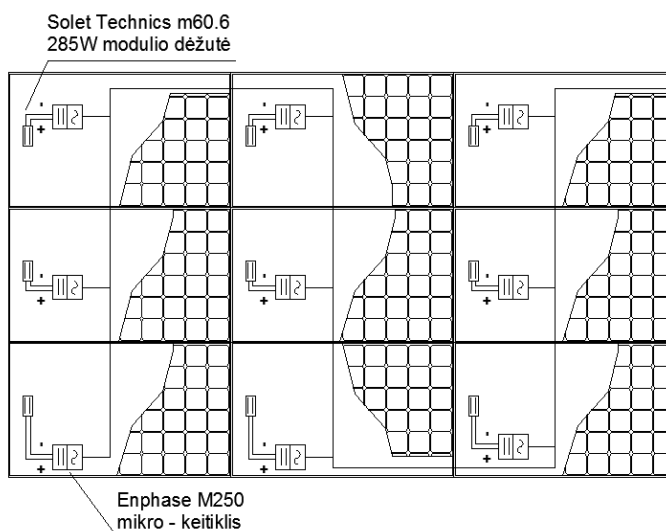
2.3.1 pav. Enphase Energy M250 mikro – keitiklis [40].

2.3.1 lentelė. Enphase Energy M250 mikro – keitiklio parametrai.

Parametro pavadinimas	Gamyklinis nustatymas
Įėjimo galia	210 – 310 W
Maksimali įėjimo įtampa DC	48 V
Nominali išėjimo įtampa AC	230 V
Nominali išėjimo srovė	1.09 A
Nominali išėjimo galia	250 W
Nominalus dažnis	50 Hz
Dydis	179mm x 217mm x 28mm
Palaikymas	60 celių turintys FE saulės moduliai

Šie mikro-keitikliai yra ypatingi tuo, kad net esant mažam šešėliavimui, dulkių ar net sniego kiekiui ant saulės modulio, tai nesumažins visos saulės elektrinės generuojamas elektros energijos. Net jeigu atsijungtų vienas saulės modulis iš modulių komplekto, tai nesustabdytų visos elektrinės veikimo. Taip yra užtikrinamas kiekvieno saulės modulio individualus efektyvumas ir monitoringas.

Saulės modulių ir keitiklių sujungimo schema parodyta 2.3.2 paveikslėlyje [32].



2.3.2 pav. Saulės modulių ir keitiklių sujungimas [32].

Elektromobilio įkrovimui bus naudojama Elinta „Homebox“ mini iki 7,2kW įkrovimo stotelė kuri palaiko vienfazį kintamos įtampos įkrovimą [32].

2.3.1. Pirmojo scenarijaus analizė

Pirmojo scenarijaus atveju saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelė susideda iš 9 vnt. 285W galingumo saulės modulių, kurie sudaro 14,6 m² plotą ir atlieka elektromobilio stoginės vaidmenį. Saulės moduluose sumontuoti 9 mikro-keitikliai, kurie nuolatinę įtampą keičia į kintamą. Atlikus pakeitimą, ši stotelė prijungiama prie tinklo ir naudojantis dviguba apskaita, energijos perteklius talpinamas į tinklą, o trūkstama energijos dalis pasiimama iš jo. Tokiu būdu atsisakoma baterijų rezervo.

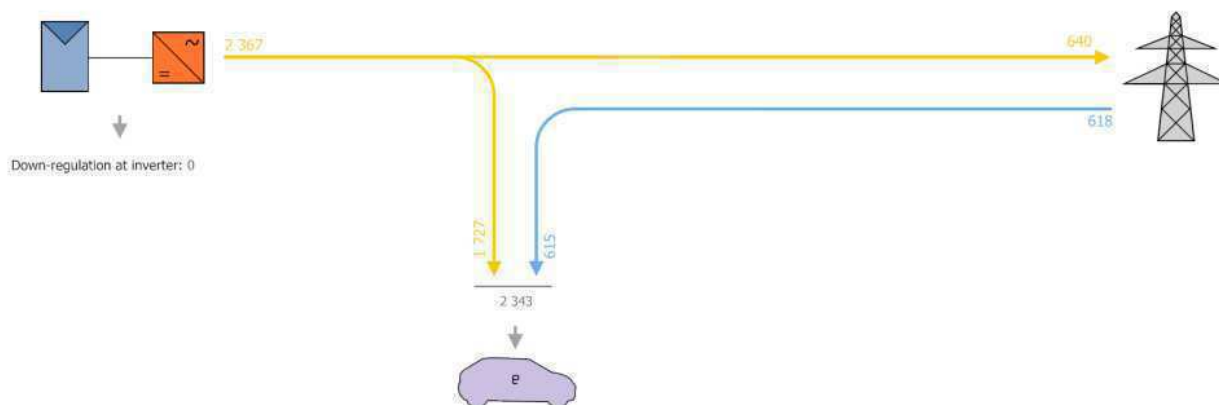
Visi skaičiavimai atliekami „PV SOL“ programoje. Siekiant gauti tikslesnius rezultatus, šiai stotelei parinkta stovėjimo lokalizacija – Studentų g. 3, Kaunas. Modulių pasvirimo kampas – 36°, azimuto kampas – 46° į pietus, o užsibrėžtas tikslas – kasdieninis elektromobilio įkrovimas, kuris, šiuo scenarijumi, leistų nuvažiuoti **35 km** atstumą. Gauti rezultatai pateikiami 2.3.1.1 lentelėje.

2.3.1.1 lentelė. Prognozuojama saulės elektrinės gamyba. Pirmas scenarijus.

Mėnesis	Prognozuojama gamyba, kWh per metus
Sausis	43,7
Vasaris	75,2
Kovas	208,6
Balandis	313,2
Gegužė	345,8
Birželis	341,6
Liepa	280,5
Rugpjūtis	241,4
Rugsėjis	126,5
Spalis	126,5
Lapkritis	39,2
Gruodis	22,5
Metinis	2367,3
Energijos kiekis patalpintas į tinklą per metus	640,0
Energijos kiekis susigražintas per metus	618,0

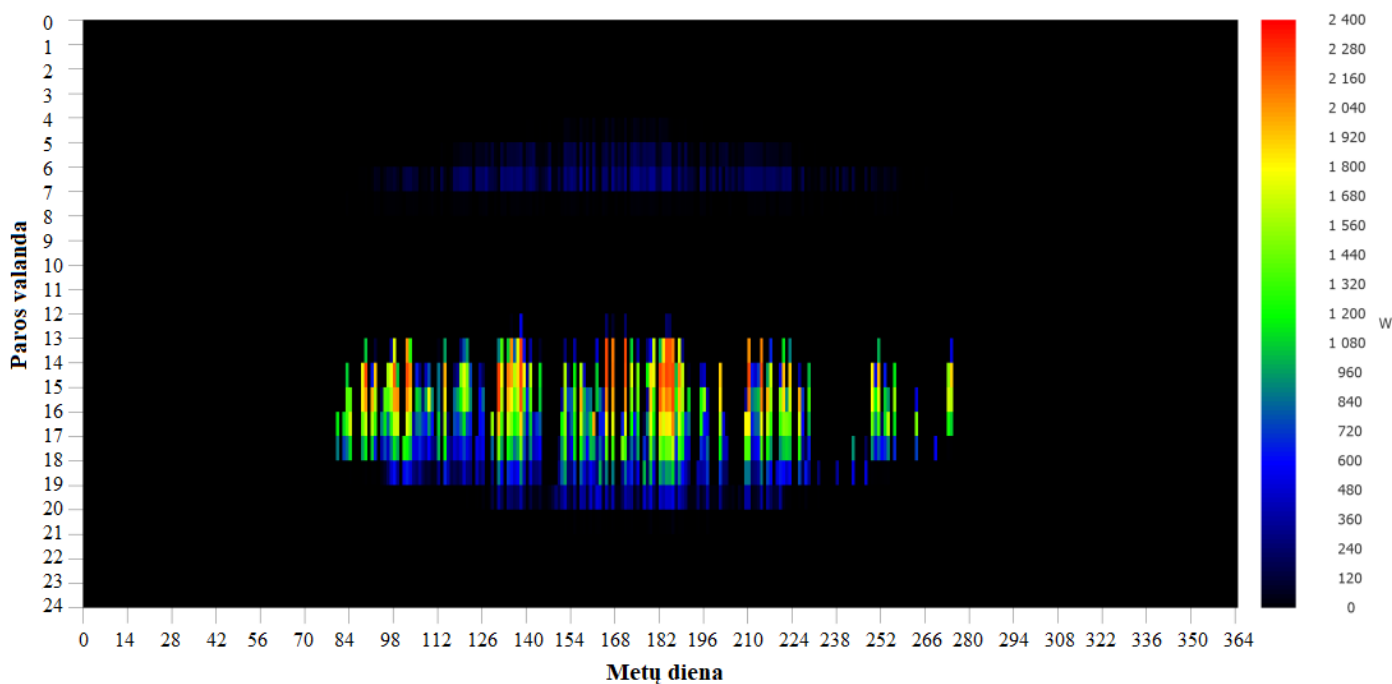
Pagal pateiktus duomenis matoma, jog pavyko subalansuoti įkrovą elektromobiliui, kuri užtikrintų 35 km nuvažiuojamą atstumą po darbo dienos. Remiantis 2.3.1.1. lentele, matoma, kad daugiausia elektros energijos būtų pagaminama per 6 mėnesius per metus (kovas-rugpjūtis). Taip pat matoma, kad nepanaudotą elektros energijos perteklių būtų galima nukreipti į tinklą, o

sutalpinamos ir susigražinamos elektros energijos kiekis yra subalansuotas. Bus išnaudota visa saulės pagaminta energija.



2.3.1.1 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės saulės elektrinės generacijos kryptys [34].

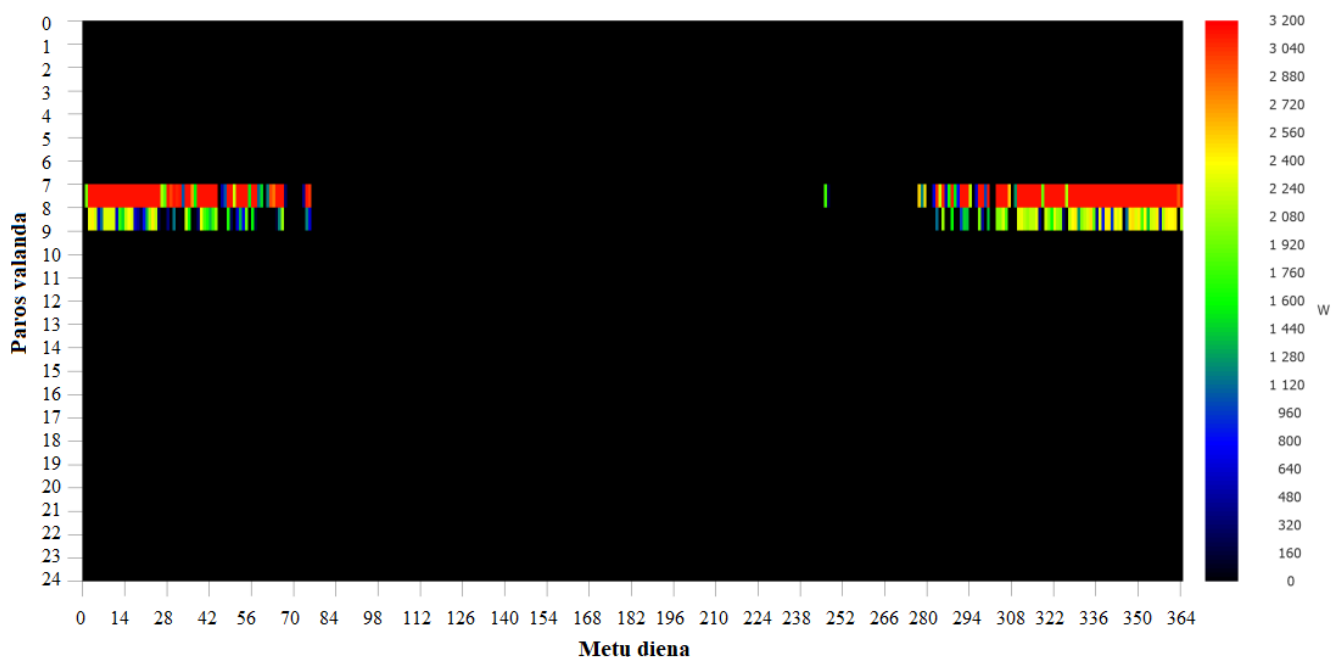
2.3.1.1 paveikslėlyje pateikta, kad bendra pagaminta energija 2 367 kWh per metus būtų padalinama į 2 dalis: 1 727 kWh būtų panaudota tiesiogiai iš saulės elektrinės, o perteklinė 640 kWh elektros energija būtų nukreipta į tinklą. Norint pasiekti užsibrėžtą tikslą – 35 km per dieną, būtų dar ir susigražinama 618 kWh elektros energija.



2.3.1.2 pav. Saulės elektrinės nepanaudotos saulės energijos talpinimas į tinklą valandomis.

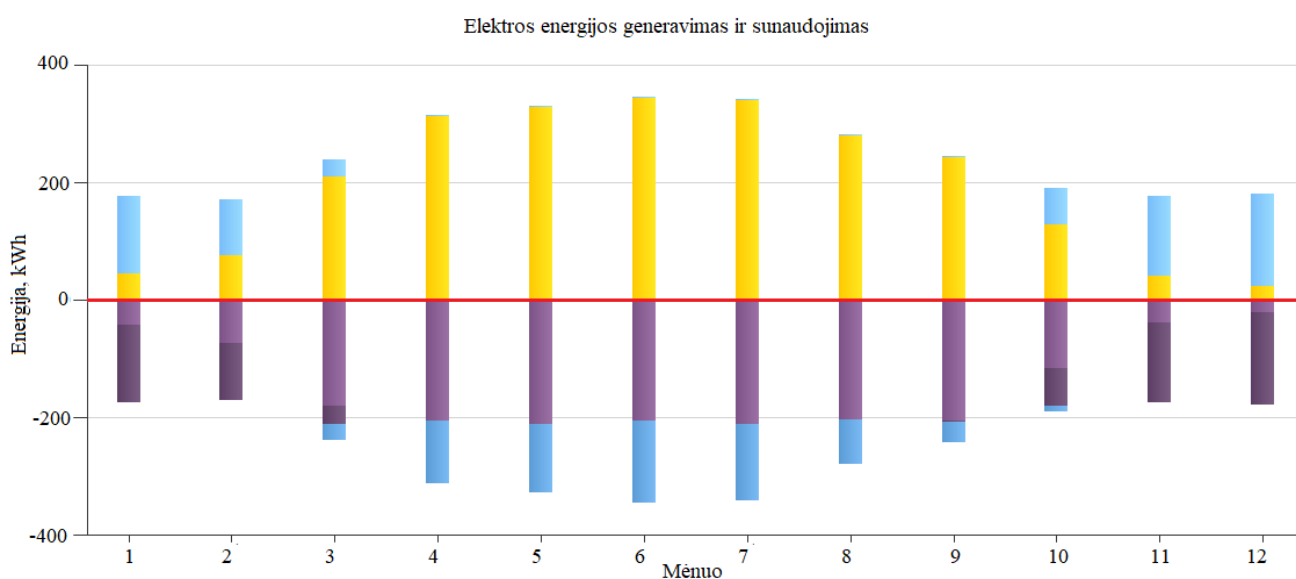
2.3.1.2 paveikslėlyje yra pateikta kuriuo metu yra talpinama saulės energija į tinklą. Talpinimas prasidėtų vidutiniškai tik apie 84-tą metų dieną (gegužės 25 d.), o užsibaigtų

vidutiniškai apie 280-tą metų dieną (spalio 7d.). Talpinimas prasideda nuo 5 iki 7 val. ryte. Toliau baigus elektromobilio įkrovimą iki tam tikros ribos, talpinimas prasitęsia nuo 12 iki 20 val.



2.3.1.3 pav. Saulės elektrinės trūkstamos saulės energijos susigražinimas iš tinklo valandomis.

2.3.1.3 paveikslėlyje yra pateikta, kuriuo metu ir koks kiekis energijos yra susigražinamas iš tinklo. Susigražinimas prasideda 84-tą metų dieną (gegužės 25 d.), o užsibaigia – 280-tą metų dieną (spalio 7d.) nuo 7 val. ryto. Vėliau elektros energijos kiekis sumažėja palaipsniui, nes saulės elektrinė pradeda elektros energijos generaciją.

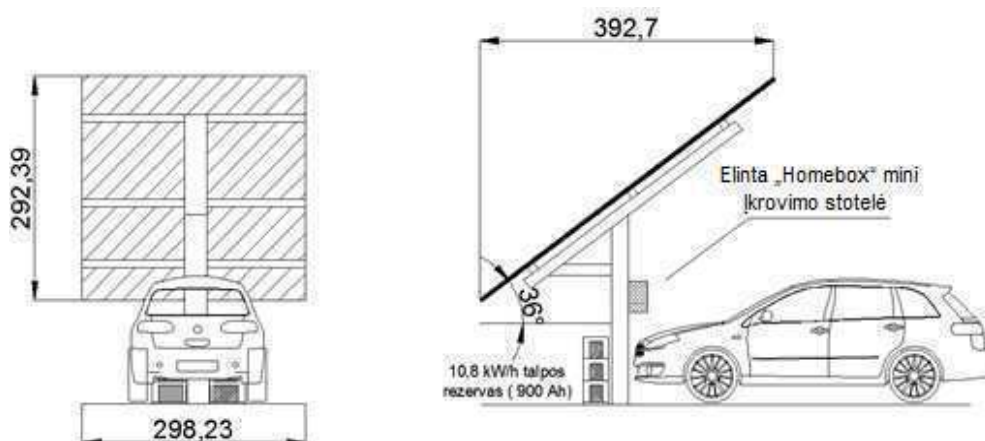


2.3.1.4 pav. Saulės elektrinės elektros energijos generavimas ir sunaudojimas.

2.3.1.4 paveikslėlyje pateiktoje stulpelinėje diagramoje yra atvaizduotas visas saulės elektrinės generuojamos elektros energijos generavimas, sunaudojimas ir talpinimas. 2.3.1.4 paveikslėlio spalvų reikšmė:

- Geltona spalva – 2,56 kWp saulės elektrinės generuojama saulės energija;
- Žydra spalva – elektros energija susigražinama iš tinklo;
- Šviesiai violetinė violetinė spalva – 2,56 kWp saulės elektrinės generuojamos galios panaudojimas elektromobilio įkrovimui;
- Tamsiai Violetinė spalva – elektromobilio įkrovimo tęsimas su susigražinta elektros energija iš tinklo;
- Tamsiai mėlyna spalva – nesunaudotos elektros energijos talpinimas į tinklą.

Ši stotelė pateikta 2.3.1.5 paveikslėlyje [32].



2.3.1.5 pav. Elektromobilių įkrovimo stotelės su 2,56 kW saulės elektrine vaizdas iš priekio ir šono. 1 scenarijus.

2.3.2. Antrojo scenarijaus analizė

Antrasis scenarijus, saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelė, kurios tikslas išlikti autonomiškai ir būti nepriklausoma nuo tinklo. Pačios stotelės techninės specifikacijos išlieka identiškos pirmajam scenarijui, tačiau naudojamas baterijų rezervas. Baterijų rezervą sudaro 9 vnt. 12V 100 Ah. Sujungus šiuos 9 akumulatorius lygiagrečiai, gausime 900 Ah (10,8 kWh) talpos baterijų rezervą.

Ši stotelė originaliai buvo sukurta autoriaus bakalauriniame darbe [32]. Šios stotelės tikslas buvo kasdieninis elektromobilio įkrovimas, kuris leistų nuvažiuoti **30 km** atstumą. Svarbu paminėti, jog 1-jame scenarijui užsibrėžtas tikslas buvo padidintas iki 35 km atstumo. Todėl dar kartą patikriname koks yra reikalingas elektros energijos kiekis elektromobiliui norint nuvažiuoti 30km atstumą per dieną [32]:

Paskaičiuojama, kiek sunaudojama kWh elektros energijos nuvažiuojant 30 km per dieną:

$$E_d = \frac{B_t \times A_d}{A_v} \text{ (kWh)} ; \quad (15)$$

$$E_{d \text{ Leaf } 2014} = \frac{24 \times 30}{140} = 5,14 \text{ kWh} ; \quad (16)$$

$$E_{d \text{ Leaf } 2015} = \frac{30 \times 30}{160} = 5,625 \text{ kWh} ; \quad (17)$$

$$E_{d \text{ 70D}} = \frac{70 \times 40}{470} = 4,46 \text{ kWh} ; \quad (18)$$

$$E_{d \text{ vidurkis}} = \frac{E_{m \text{ Leaf } 2014} + E_{m \text{ Leaf } 2015} + E_{m \text{ 70D}}}{3} = 5,075 \text{ kWh} , \quad (19)$$

čia:

E_d – Reikalingas elektros energijos kiekis per dieną, kWh;

B_t – Elektromobilio baterijos talpa, kWh;

A_d – Atstumas per dieną, km;

A_v – Atstumas pilnai įkrautos baterijos, km.

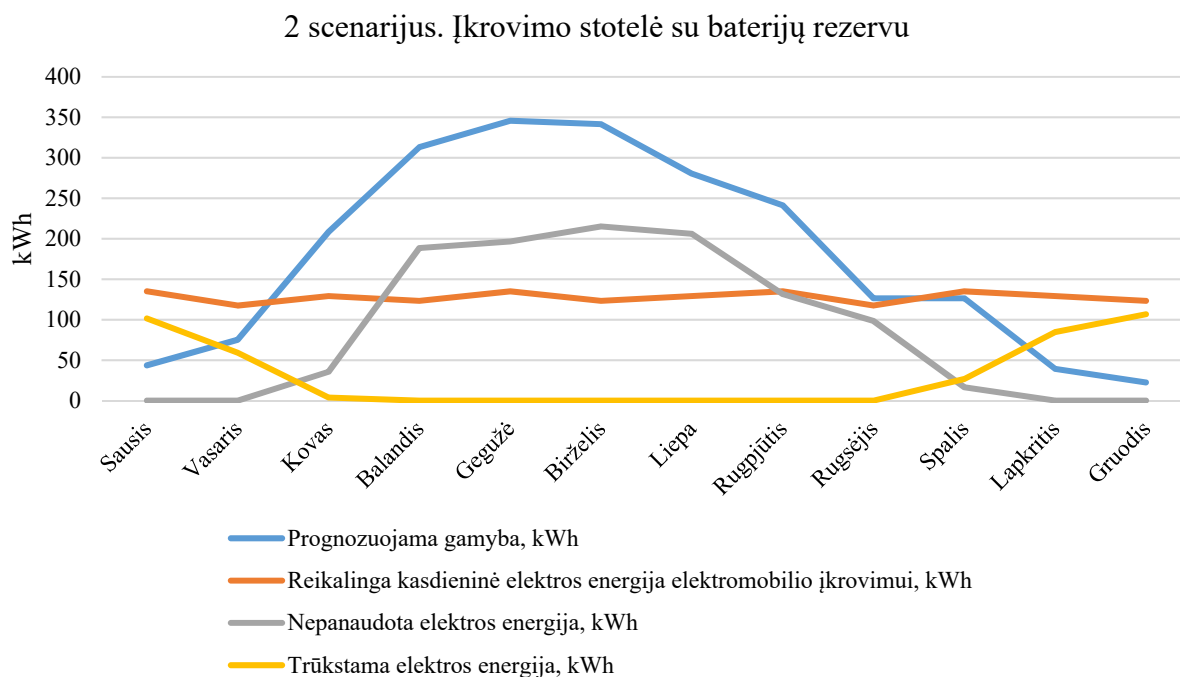
Toliau visi skaičiavimai atliekami „PV SOL“ programoje. Norint gauti tikslesnius rezultatus, šiai stotelei parinkta stovėjimo lokalizacija – Studentų g. 3, Kaunas. Modulių pasvirimo kampas – 36°, azimuto kampas – 46° į pietus. Gauti rezultatai pateikiami 2.3.2.1 lentelėje.

2.3.2.1 lentelė. Prognozuojama saulės elektrinės gamyba. Antrasis scenarijus.

Mėnesis	Prognozuojama gamyba, kWh	Nepanaudota elektros energija, kWh	Trūkstama elektros energija, kWh	Reikalinga Elektros energija elektromobilio įkrovimui, kWh
Sausis	43,7	0,1	101,5	135,1
Vasaris	75,2	0,0	59,3	117,5
Kovas	208,6	35,8	3,9	129,2
Balandis	313,2	188,5	0	123,4
Gegužė	345,8	196,6	0	135,1
Birželis	341,6	215,3	0	123,4
Liepa	280,5	206,1	0	129,2
Rugpjūtis	241,4	131,7	0	135,1
Rugsėjis	126,5	98,4	0	117,5
Spalis	126,5	16,5	26,8	135,1
Lapkritis	39,2	0,1	84,7	129,2
Gruodis	22,5	0,1	106,8	123,4
Metinis	2367,3	1089,1	383,0	1533,1

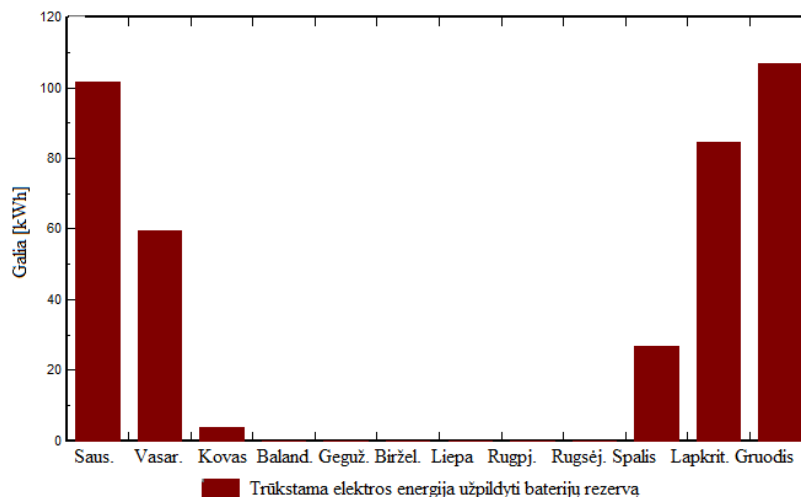
2.3.2.1 lentelėje yra pateikta prognozuojama saulės elektrinės išgaunamos energijos gamyba. Gauti rezultatai pateikiami 2.3.2.1 paveiksle esančioje diagramoje.

2.3.2.1 lentelėje nesunku pastebėti, kad šis stotelės sprendimas nėra pats optimaliausias. Taip yra todėl, kad 6 mėn. per metus trūksta saulės elektrinės generuojamos elektros energijos tiek elektromobiliams, tiek baterijų rezervui įkrauti. Tik nuo balandžio mėnesio atsiranda elektros energijos perteklius, kuris yra panaudojamas pilnai įkrauti elektromobilį, nesitaikant prie įkrovimą, skirtą 30 km atstumo nuvažiuoti.



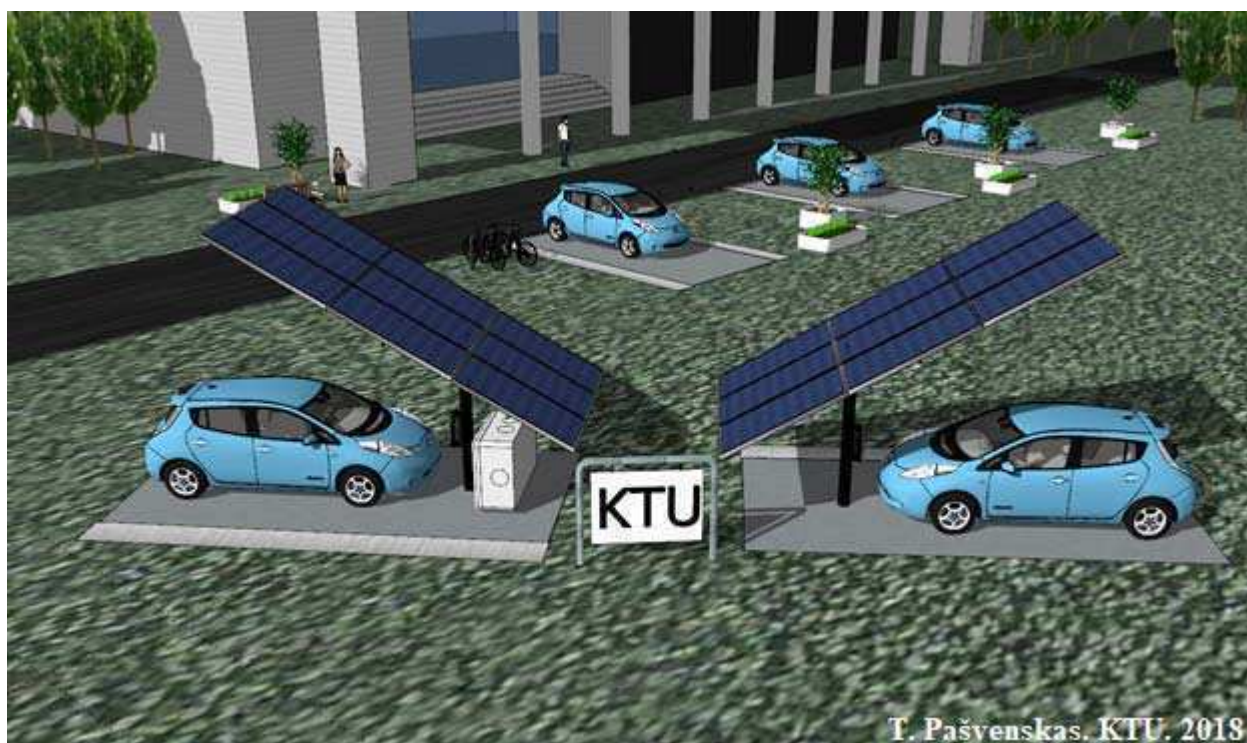
2.3.2.1 pav. Prognozuojama saulės elektrinės gamyba. Antrasis scenarijus.

2.3.2.2 paveikslėlyje pateikta diagrama, kurioje matyti kiek galios trūksta pačiam baterijų rezervui užpildyti, kuris turėtų kompensuoti elektromobilių įkrovimą. Kadangi savaitgalio metu elektromobilių darbovietėse, tokiu būdu yra suteikiamos papildomos 2 dienos papildyti baterijų rezervą.



2.3.2.2 pav. Trūkstama elektros energija užpildyti baterijų rezervą.

2.4. Ekonominis projekto vertinimas



2.4.1. pav. Įkrovimo stotelės: autonominė (kairėje pusėje) ir prijungiama prie tinklo (dešinėje pusėje).

Prieš pradėdant kalbėti apie ekonominį projekto vertinimą, svarbu paminėti, kad šių elektromobilių stotelių įrengimas yra vienas iš būdų skatinti elektromobilius Lietuvoje. Labai svarbią poziciją elektromobilių populiarinimui užima reklama. Tokia reklama galėtų pagerinti miesto įvaizdį, suteikti unikalią verslo rinkos nišą, o taip pat pritraukti darbuotojus ir klientus, besidominčius patogaus elektromobilių įkrovimo galimybėmis bei kitais siūlomais patogumais. Produkto pateikimas rinkai pradėtų skatinti žmones nebijoti technologinių naujovių ir prisidėti prie „žalios“ ateities.

Vienas iš pagrindinių projekto įgyvendinimo aspektų yra jo atsiperkamumas. Kuo greičiau projektas atsiperks – tuo labiau jis vertas įgyvendinimo. Tam yra atliekami projektuojamo objekto ekonominiai skaičiavimai, įvertinant elektros talpinimo mokesčius ir visų komponentų kainas. Skaičiavimai atliekami taikant įvairius ekonominius modulius. Atliekami skaičiavimai dviem įkrovimo stotelių scenarijams.

2.4.1. Scenarijų analizė

Pirmojo scenarijaus įkrovimo stotelė, tai prijungta prie tinklo, kur naudojama dvipusė apskaita. Antrojo scenarijaus įkrovimo stotelė autonominė su baterijų rezervu. Įvertinus

pagaminamą elektros energijos kiekį ir darant prielaidą, kad elektros kaina nekinta per 25 metų laikotarpį, atliekami projektuojamo objekto ekonominiai skaičiavimai, kuriems pasirenkama 5 proc. diskonto norma.

Sudaroma pirmojo ir antrojo scenarijaus įkraunamų elektromobilių stotelių kainos, kurios pateikiamos 2.4.1.1 ir 2.4.1.2 lentelėse.

2.4.1.1 lentelė. Pirmojo scenarijaus įkrovimo stotelė su 2,56 kW saulės elektrine kaina.

Pavadinimas	Kiekis	Kaina, €	Viso, €
Mikro - keitiklis	9 vnt.	98.0	882.0
Saulės moduliai	9 vnt.	139.6	1256.8
Įkrovimo stotelė	1 vnt.	460.0	460.0
Konstrukcija, laidai, montavimo darbai		1100.0	1100.0
			Bendra suma: 3,698.8 €

2.4.1.2 lentelė. Antrojo scenarijaus įkrovimo stotelė su 2,56 kW saulės elektrine kaina.

Pavadinimas	Kiekis	Kaina, €	Viso, €
Mikro - keitiklis	9 vnt.	98.0	882.0
Saulės moduliai	9 vnt.	139.6	1256.8
Įkrovėjas/keitiklis	1 vnt.	725.0	725.0
Baterijos	9 vnt.	231.7	2085.3
Įkrovimo stotelė	1 vnt.	460.0	460.0
Konstrukcija, laidai, montavimo darbai		1200.0	1200.0
			Bendra suma: 6,609.1 €

Ekonominė analizė yra reikalinga energetikos objektų alternatyviems projektams palyginti, energijos gamybos, perdavimo, skirstymo ir vartojimo sąnaudoms nustatyti, energetikos objekto pinigų balansui ir vidinei pelno normai bei atsipirkimo laikui nustatyti ir kitiems ekonominiams įvertinimams atlikti.

Kiekvienam variantui apskaičiuojamos kapitalinės investicijos, metinės išlaidos, gaminamos elektros energijos savikainą ir t.t. [42]

Kapitalinės investicijos – tai lėšos, kurios skirtos ilgalaikiam materialiam turtui (įrenginiams, pastatams, ir pan.) sukurti ar įsigyti. Bendros kapitalinės investicijos yra skaičiuojamos:

$$K = k_{\text{įreng}} + k_{\text{prijungim}} \quad (19)$$

čia:

$k_{\text{įreng}}$ – įrenginių kaina, Eur;

$k_{\text{prijungim}}$ – mokestis numatytas elektrinės prijungimui prie elektros tinklų, Eur.

Kadangi elektrinių iki 30kW prijungimui prie elektros tinklų nėra taikomas joks mokestis, bendros kapitalinės investicijos bus lygios elektrinės įrengimo kainai - K. Metinės techninės priežiūros sąnaudos C_{tp} gali būti apskaičiuojamos taikant tiesinį metodą:

$$C_{tp} = k_a \times K \times \frac{d_{tp}}{d_a} ; \text{Eur/metus}; \quad (20)$$

$$k_a = \frac{C_a}{K} \times 100 \% ; \text{Eur/metus}, \quad (21)$$

čia:

k_a – nusidėvėjimo ir amortizacijos norma, kuri lygi 0,01;

K – projekto kapitalinės investicijos.

d_{tp} – techninės priežiūros dalis savikainoje procentais, priimame 10 proc.;

d_a – nusidėvėjimo ir amortizacijos dalis savikainoje procentais, priimame 90 proc.

Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos priklauso nuo investicijų dydžio:

$$C_a = k_a \times K ; \text{Eur/metus}, \quad (22)$$

čia:

k_a – nusidėvėjimo ir amortizacijos norma;

K – projekto kapitalinės investicijos.

Metinės elektrinės eksploataavimo sąnaudos yra:

$$C = C_a + C_{tp} + C_t ; \text{Eur/metus}, \quad (23)$$

$$C_t = k_t \times K ; \text{Eur/metus}; \quad (24)$$

čia:

C_a – nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos;

C_{tp} – techninės priežiūros sąnaudos;

C_t – turto mokestis, priimame, jog k_t 0,01 ;

Elektros energijos savikaina randama:

$$S = \frac{C+K}{W_{pag}} ; \text{Eur/kWh}, \quad (25)$$

čia:

W_{pag} – per metus pagaminta elektros energija, kuri lygi 2367,3 kWh.

Metinės pajamos už pagamintą elektros energiją:

$$P = p_{pasig.} + p_{parduot.} ; \text{Eur/m}, \quad (26)$$

čia:

p_{pag} – metinės pajamos vartojant pasigamintą elektros energiją, Eur/m;

$p_{parduot}$ – metinės pajamos už parduotą elektros energiją, Eur/m.

Pagal Lietuvoje galiojančius įstatymus, perteklinis elektros energijos kiekis nebėra parduodamas, o talpinamas elektros tinkluose. Turėdamas dvipusę apskaitą, gaminantis vartotojas visą pagamintą, bet nesuvartotą elektros energiją pateikia į AB „ESO“ elektros tinklą. Kai elektra jėgainėje negaminama ar pagamintos energijos neužtenka padengti suvartojimo, ją galima atgauti už 3,899 eur ct/kWh (su PVM) naudojimosi tinklais paslaugos („pasaugojimo“) perteklinę elektros energiją [26]. Todėl pirmajame scenarijuje metinės pajamos už parduotą elektros energiją yra lygios sutaupyta pinigų sumai, kuri būtų buvusi skirta sumokėti už elektros energiją.

Metinis pinigų srautas yra apskaičiuojamas naudojantis esamosios vertės metodu:

$$CF = P - C , \text{Eur/m}; \quad (27)$$

Vertinant investicinius projektus yra būtina atsižvelgti ne tik į projektuojamų pinigų srautų dydžius, bet ir įvertinti esamų bei būsimų finansų santykinę vertę. Vertinant investicinių projektų efektyvumą, naudotina metodika, kuri yra paremta diskontavimu. Investiciniai projektai gali būti vertinami naudojant keletą finansinės analizės metodų.

Investicinio projekto ekonominiam įvertinimui naudosime atsipirkimo trukmės metodą. Šis metodas parodo laiką, per kurį iš saulės elektrinės gaunamos įplaukos padengia investicijai skirtas išlaidas. Kuo trumpesnis yra atsipirkimo laikas, tuo projektas yra naudingesnis. Kai pradinės investicijos susilygina su gautais pinigų srautais, tuomet projektas atsiperka:

$$K = \sum_{t=0}^T CF_t ; \quad (28)$$

$$CF_t = P_t - C_t, \quad (29)$$

čia:

PV – pradinės projekto investicijos;

CF_t – pinigų srautas laiko momentu t ;

T –atsipirkimo trukmė;

P_t – bendrosios pajamos, Eur/m;

C_t – eksploatacijos išlaidos. Eur/m.

Jeigu pradinės investicijos yra skiriamos pradiniu laiko momentu, kurį galime įvardinti kaip diskonto norma k , tai pinigų srautai yra diskontuojami ir tuomet yra ieškomas balansas:

$$K = \sum_{t=0}^{T_a} \frac{CF_t}{(1+k)^t}; \quad (30)$$

Toliau atsipirkimo trukmė, diskontuojant pinigų srautus, yra skaičiuojama taip:

$$T_a = \frac{-\ln\left(1 - \frac{k \times K}{CF}\right)}{\ln(1+k)}, \quad (31)$$

čia:

k – diskonto norma;

K – pradinės investicijos;

CF – pinigų srautas.

Diskontuojant visus numatomus pinigų srautus, įvertinus esamąją vertę, atsipirkimo laikas turi tenkinti sąlygą:

$$K = \sum_{t=0}^T CF_t(1+k)^{T-t} \geq 0; \quad (32)$$

Vertinant investicinius projektus, pagal diskonto normą, yra naudojami trys metodai, kurie skirti nustatyti projekto vertei. Tai NPV – dabartinė grynoji vertė, B/C – pelno ir išlaidų santykis ir IRR – vidinė pelno norma. Dabartinės gryniosios vertės (NPV) tikslas yra nustatyti dabartinę būsimų pajamų bei išlaidų vertę per projekto gyvavimo laiką:

$$NPV = PVB - PVC, \quad (33)$$

čia:

PVB – pajamų srauto dabartinė vertė;

PVC – išlaidų srauto dabartinė vertė.

Projekto dabartinė grynoji vertė yra visų diskontuotų grynujų pinigų suma:

$$NPV = \sum_{t=0}^K \frac{P_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (34)$$

čia:

P_t – t-ųjų metų pajamos;

C_t – t-ųjų metų išlaidos.

Priklausomai nuo naudojamos diskonto normos dydžio, projekto dabartinė vertė kinta. Prie aukštesnės diskonto normos yra mažesnė projekto dabartinė grynoji vertė. Laikome, kad projektas priimtinas kai dabartinė grynoji vertė yra teigiama, jei neigiama variantas yra atmetinas, ribiniu variantu laikome, kai dabartinė grynoji vertė yra lygi nuliui.

Įplaukų ir išlaidų santykis (B/C), kitaip vadinamas investicijų rentabilumo indeksas, naudojamas nustatyti įplaukų dabartinės vertės ir išlaidų dabartinės vertės santykį:

$$B/C = \frac{PVB}{PVC} \quad (35)$$

čia:

PVB – pajamų srauto dabartinė vertė, EUR;

PVC – išlaidų srauto dabartinė vertė, EUR.

Kad projektas būtų priimtinas, reikia, jog santykis būtų $B/C \geq 1$. Santykis, rodo, kad gryno pelno dabartinė vertė yra nulinė prie tam tikros diskonto normos.

Kadangi B/C yra santykinis rodiklis jis yra efektyviai panaudojamas kai atliekama palyginamoji analizė, o NVP absoliučios vertės matas. Laikoma jog:

- $B/C > 1$, tai NPV yra teigiamas ir projektas priimtinas;
- $B/C < 1$, tai NPV yra neigiamas ir projektas atmetinas;
- $B/C = 1$, tai $NPV = 0$ ir t.y. ribinis variantas – projektas nepelningas ir nenuostolingas.

Vidinė pelno norma (IRR) sulygina išlaidų ir pajamų srautų dabartines vertes. Vidinė pelno norma laikoma diskonto koeficiento reikšmė (r), prie kurios projektų pinigų srautų dabartinė grynoji vertė yra lygi 0, t.y.:

$$IRR = r_1 + \left[(r_2 - r_1) \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \right] \quad (36)$$

čia:

r_1 – žemesnė diskonto norma;

r_2 – aukštesnė diskonto norma;

NPV_1 – grynoji dabartinė vertė prie žemesnės diskonto normos;

NPV_2 – grynoji dabartinė vertė prie aukštesnės diskonto normos.

Gyventojai, kurie nori įsirengti autonomines saulės jėgaines tokių palankių subsidijų iš Valstybės negauna, tačiau jie gali kreiptis į Lietuvos aplinkos apsaugos investicijų fondą (LAAIF) [43] ir dalinai susigrąžinti išlaidas už saulės elektrinės įrangą. Finansuojama iki 25 proc. visų patirtų išlaidų, įsirengiant saulės elektrinę.

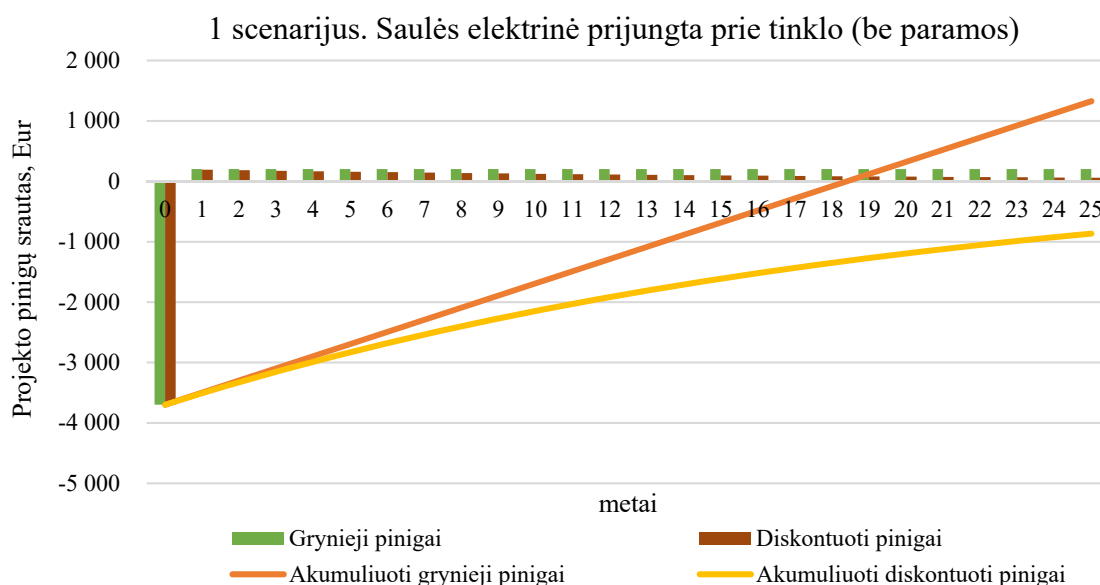
2.4.1.3 lentelėje yra pateikiami pirmojo ir antrojo projekto scenarijų skaičiuojamieji rodikliai.

2.4.1.3 lentelė. Ekonominiai objektų rodikliai.

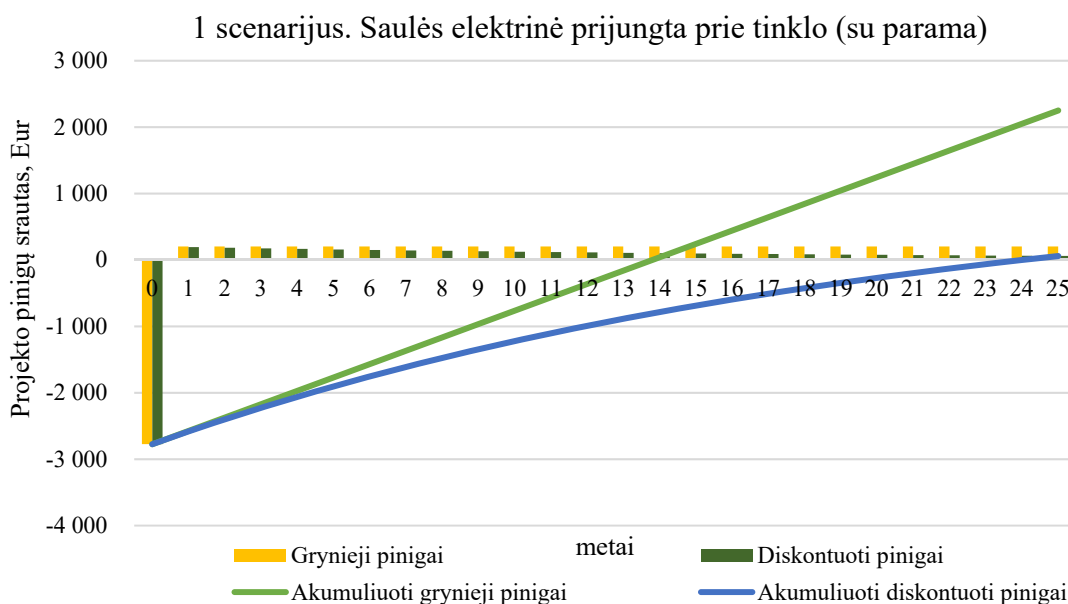
Rodikliai	1 scenarijus		2 scenarijus	
	1 var. (be paramos)	2 var. (su parama)	1 var. (be paramos)	2 var. (su parama)
K, €	3698,8	2889,1	6609,1	5071,8
C_{tp} , €/m	1,9	1,5	3,5	2,7
C_a , €/m	37,0	28,9	66,1	50,7
C_t , €/m	3,7	2,9	6,6	5,1
C , €/m	42,6	33,3	76,2	58,5
W_{pag} , kWh/m	2367,3	2367,3	2367,3	2367,3
S , €	1,6	1,2	2,8	2,2
P , €/m	243,4	243,4	243,4	243,4
CF/m	200,8	210,1	167,2	184,9
T_a (nediskontuota)	18,4	13,8	39,5	27,4
T_a (diskontuota)	52	24	-	-
NPV	1321	2246	-2429,0	-882
NPV (5%)	-869,0	59,0	-4253,0	-2807,0
B/C	5,7	7,03	3,19	4,16
IRR	3,98	4,14	3,4	3,7

Pagal 2.4.1.3 lentelėje pateiktus rezultatus matyti, jog atsipirkimo laikas yra trumpesnis nei projekto gyvavimo trukmė, tik pirmajame scenarijuje. Nes antrojo scenarijaus investicijos yra didesnės dėl baterijų rezervo. Atsižvelgus į dabartinę grynąją vertę yra nustatoma, jog pirmojo scenarijaus variantas su gaunama valstybine parama yra priimtinas prie 5 proc. diskonto normos. Atlikus išlaidų ir įplaukų santykį, gauti rezultatai parodė, jog $B/C \geq 1$ visų scenarijų variantuose. Apskaičiavus vidinę pelno normą, rezultatai parodė, jog pirmojo scenarijaus pirmasis variantas pasidaro rentabilus kai vidinė pelno norma yra didesnė nei 3,98, o antrojo varianto pelno norma didesnė nei 3,4.

2.4.1.1 paveikslėlyje yra pateikta pirmojo scenarijaus, be valstybės paramos, grynoji dabartinė vertė, kai diskonto norma yra 5 proc. 2.4.1.2 paveikslėlyje yra pateikta pirmojo scenarijaus su parama grynoji dabartinė vertė, kai diskonto norma yra 5 proc.



2.4.1.1 pav. 1 scenarijus. Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės prijungtos prie tinklo atsipirkimo grafikas (be paramos).



2.4.1.2 pav. 1 scenarijus. Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės prijungtos prie tinklo atsipirkimo grafikas (su parama).

Paveikslėlyje 2.4.1.1 yra pateikta objekto 25 metų gyvavimo trukmės reikšmės. Čia matyti, jog diskontuota dabartinė vertė nepasiekia teigiamos reikšmės, todėl projektą būtų vykdyti ekonomiškai netikslinga.

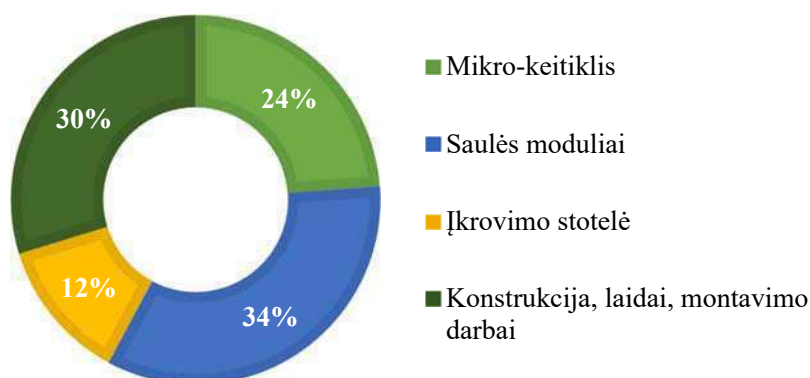
Paveikslėlyje 2.4.1.2 yra pateikta to paties objekto reikšmės, tačiau su galimybe gauti valstybės parama iki 25 proc., kuri padengtų didžiąją dalį saulės elektrinės išlaidų. Diskontuota dabartinė vertė pasiekia teigiamą reikšmę 24 metų laikotarpyje, tad projektą jau būtų vykdyti ekonomiškai tikslinga.

2.4.2. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė yra atliekama projektui tam, jog sužinoti ir nustatyti, kokį poveikį projektui gali turėti kokio nors viena iš pasirinkto rodiklio pokyčiai. Tad taikant jautrumo analizę galime nustatyti ar remiantis projekto rodiklių prognoze verta vykdyti projektą.

Toliau tirsime kokį poveikį turės vieno iš projekto pasirinkto rodiklio pokytis, o kitus duomenis paliksime tokius pat. Tirsime kokį poveikį turės rodiklio kitimas dabartinei grynajai vertei ir vidiniai pelno normai. Jautrumo analizė gali būti taikoma keliems rodiklių tipams: diskonto normai ir visų verčių mažinimui arba didinimui.

Investicijų struktūra



2.4.2.1 pav. 1 scenarijaus investicijų struktūra.

Pagal 2.4.2.1 paveikslėlyje pateikta projekto investicijų išsidėstymą, matome, jog didžiąją investicijos dalį sudaro būtent saulės moduliai – 34 proc. Kadangi saulės fotovoltinių modulių technologija vis dar sparčiai vystosi, o kainos kasmet vis sumažėja, todėl šis rodiklis yra labiausiai kintantis. Todėl yra tikslinga atlikti jautrumo analizę įvertinant 30 proc. mažėjančią saulės modulių kainą.

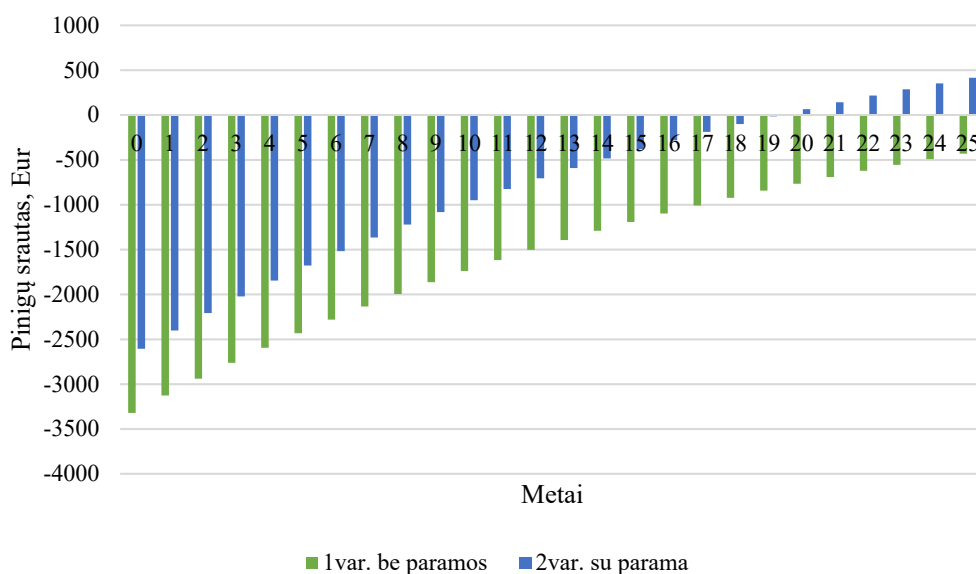
Saulės modulių kainų sumažinimas taikomas pirmojo scenarijaus abiem variantams -be paramos ir su valstybine parama. Taip sumažinus investicijų kainą, atliekama jautrumo analizė, kurios rezultatai pateikiami 2.4.2.1 lentelėje.

2.4.2.1 lentelė. Perskaičiuoti ekonominiai objektų rodikliai.

Rodikliai	1 scenarijus	
	1 var. (be paramos)	2 var. (su parama)
K,€	3321,76	2606,32
C _{tp} , €/m	1,7	1,4
C _a , €/m	33,2	26,1
C _t , €/m	3,3	2,6
C, €/m	38,3	30,0
W _{pag} , kWh/m	2367,3	2368,3
S, €	1,4	1,1
P, €/m	243,4	244,4
CF/m	205,1	214,4
T _a (nediskontuota)	16,2	12,2
T _a (diskontuota)	34	19
NPV	1806	2754
NPV (5%)	-431,0	415
IRR	4,05	4,21

Pagal gautus rezultatus matyti, jog pasikeitus saulės modulių kainoms, pirmojo scenarijaus abiejų variantų atsipirkimo laikas tampa trumpesniu. Šis modulių kainos pokytis pirmajame variante NPV padidina iki 36 proc. , o antrajame padidina 33 proc.

Perskaičiuota dabartinė grynoji vertė, abiejų variantų, pateikiame 2.4.2.2 paveikslėlyje.



2.4.2.2 pav. Jautrumo analizė. Perskaičiuoto pirmojo scenarijaus diskontuota grynoji dabartinė vertė.

Grynoji dabartinė vertė perskaičiuota, kai diskonto norma lygi 5 proc. Visi kiti parametrai lieka tie patys, pakeista tik saulės modulių kaina 30 proc. Pirmojo scenarijaus pirmasis variantas vis tiek tampa nepriimtinas, nes diskontuota atsipirkimo trukmė ilgesnė nei projekto gyvavimo metai. Tačiau antrojo varianto diskontuota atsipirkimo trukmė trumpesnė nei projekto gyvavimo metai, tad projektas išlieka priimtinas, jeigu yra gaunama valstybės parama už naudojamą atsinaujančius energijos šaltinius.

IŠVADOS

1. Įvertintas perkamiausias elektromobilis Lietuvoje, kuris yra Nissan gamintojo Leaf modelis su 24 kWh baterijos talpa. Apskaičiuota, jog jeigu vidutinis gyventojas nuvažiuoja vidutiniškai 30 km per dieną, tai sudaro 12 000 km per metus. Šiam atstumui reikia 2057 kWh elektros energijos. Palyginant su kitais elektromobilių modeliais, nustatytas reikalingas elektros energijos vidurkis per dieną – 5,075 kWh.
2. Pirmojo scenarijaus 2,56 kW saulės elektrinė parodė, jog prognozuojama saulės elektrinės gamyba yra lygi 2367,3 kWh per metus. Pirmojo scenarijaus perteklinė elektros energija talpinama į tinklą, o kai trūksta – susigražinama atgal už tam tikrą mokestį. Sutaupinama 640 kWh, susigražinama 618 kWh elektros energijos kiekis. Todėl išnaudosime viską, ką pagamins saulė. Ši įkrovimo stotelė užtikrins kasdienį vidutinį įkrovimą, kuris leis nuvažiuoti net **35 km** atstumą. Stotelės projekto kaina 3,698.8 €.
3. Antrojo scenarijaus 2,56 kW saulės elektrinė parodė, jog prognozuojama saulės elektrinės gamyba yra lygi 2367,3 kWh per metus. Šios įkrovimo stotelės tikslas - kasdieninis vidutinis įkrovimas, kuris leis nuvažiuoti **30 km** atstumą. Tačiau autonominės stotelės scenarijus tenkina energijos reikalavimą tik 6 mėn. per metus, o likusius 6 mėn. yra energijos trūkumas (383 kWh), tad baterijų rezervas nebus įkrautas šaltuoju metų laiku. Stotelės projekto kaina 6,609.1 €.
4. Ekonomiškai tikslingas pirmojo scenarijaus antrasis varianta, kur įvertinama gaunama valstybinė parama dėl atsinaujinančios energetikos skatinimo (LAAIF), kuri padengia iki 25 proc. saulės elektrinės išlaidų. Antrojo scenarijaus stotelė ekonomiškai nepriimtina.
5. Kuomet gaunama valstybinė parama, ji sumažina investicines išlaidas iš 3698,8 € į 2889,1 €. Tuomet grynasis pelnas per metus siekia 210,1 €, paprastas atsipirkimo laikas - 13,8 metų, o diskontuotų pinigų atsipirkimo laikas – 24 metai (IRR rodiklis 3,98, NPV 2246)
6. Saulės modulių kainų sumažėjimas 30 proc. pirmojo scenarijaus pirmajame variante NPV padidina iki 36 proc. , o antrajame padidina 33 proc. Pirmojo scenarijaus pirmasis variantas vis tiek tampa nepriimtinas, nes diskontuota atsipirkimo trukmė ilgesnė nei projekto gyvavimo metai.

LITERATŪROS ŠARAŠAS

1. Photovoltaic (PV) pricing trends: historical, recent, and near-term projections. National Renewable Energy Laboratory; (2012).
2. Saulės energijos potencialas Europoje ir Lietuvoje (Prieiga per internetą: <https://zaliaideja.wordpress.com/2012/04/03/saules-energijos-potencialas-europoje-ir-lietuvoje/>) [žiūrėta 2018-01-20]
3. Photovoltaic Geographical Information System. (Prieiga per internetą: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>) [žiūrėta 2018-01-21]
4. Poly vs Mono Crystalline. Tindo Solar Pty Ltd (Prieiga per internetą: <http://www.tindosolar.com.au/poly-vs-mono-crystalline/>) [žiūrėta 2018-01-21]
5. B.S. Xakalashe and M. Tangstad Mintek, Randburg, South Africa1; NTNU,(2012) Trondheim, Norway. Silicon processing: from quartz to crystalline silicon solar cells
6. Solar Power, Everything You Need to Know. Duncan Journal. (Prieiga per internetą: <http://www.duncanjournal.ca/grab-bag/solar-power-everything-you-need-to-know-part-1-of-5/>) [žiūrėta 2018-01-21]
7. National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2015) duomenys (Prieiga per internetą: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg) [žiūrėta 2018-01-21]
8. X Thomas R. Andersona, *, Ed Hawkinsb and Philip D. Jones 2016 m. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models
9. X2 The Commission's Energy Roadmap 2050 (Prieiga per internetą: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-914_en.htm) [žiūrėta 2018-03-25]
10. X3 Energetikos politika (2016) m. (skaidrės). Kauno technologijos universitetas, Ekonomikos katedra, studijų modulis - Energetikos ekonomika. Dėstytoja D.DUMČIUVIENĖ.
11. X4 Lietuvos autoverslininkų asociacija(LAA) (2018). CO₂, transporto priemonių mokesčiai. (Prieiga per internetą: <http://www.laa.lt/co2>) [žiūrėta 2018-03-25]
12. Georgios Fontaras*, Nikiforos-Georgios Zacharof, Biagio Ciuffo (2017) Fuel consumption and CO₂ emissions from passenger cars in Europe Laboratory versus real-world emissions
13. Racing heroes – Camille Jenatzy (Prieiga per internetą: <http://blog.hemmings.com/index.php/2014/02/04/racing-heroes-camille-jenatzy/>) [žiūrėta 2018-01-20]
14. Rifkin Jeremy (2012). Trečioji pramonės revoliucija; Kaip lateralines jėgas keičia energetiką, ekonomiką ir visą pasaulį.

15. Xiaohong Nian, Fei Peng, and Hang Zhang (2014). Regenerative Braking System of Electric Vehicle Driven by Brushless DC Motor
16. Adomavičius, V. 2011. Elektromobiliai ir jų plėtros perspektyvos Lietuvos Taikomųjų mokslų akademijos mokslo darbai 7: 104–119.
17. Berjoza, D.; Jurgena, I.; Vartukapteinis, K. (2012). Research in electro and internal combustion engine motor vehicle energy costs, *Engineering for Rural Development* 24: 331–337
18. Omar Hafez, Kankar Bhattacharya. (2012).
Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids 45: 7-15
19. M. V. Reddy, G. V. Subba Rao, and B. V. R. Chowdari (2013). Metal Oxides and Oxysalts as Anode Materials for Li Ion Batteries Department of Physics, Solid State Ionics & Advanced Batteries Lab, National University of Singapore, Singapore 117-542
20. Bloomberg New Energy Finance. New Investment In Clean Energy. Michael Liebreich. (2014). (Prieiga per internetą: http://about.bnef.com/content/uploads/sites/4/2015/04/BNEF_2014-04-08-ML-Summit-Keynote_Final_normal-format_with-ML-clicks.pdf) [žiūrėta 2018-01-20]
21. Maryland Electric Vehicle. Top Electric Vehicle Networks – Part 1. (2014). (Prieiga per internetą: <http://marylandev.org/top-electric-vehicle-networks-part-1/>) [žiūrėta 2018-01-20]
22. Charles Botsford and Andrea Edwards. (2015). EV Fast Charging, an Enabling Technology. The Electrochemical Society Interface
23. Lietuvos respublikos susiekimo ministerija (2018). Bendra informacija apie elektromobilius. (Prieiga per internetą: <http://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/bendra-informacija-apie-elektromobilius>) [žiūrėta 2018-01-20]
24. D. Sbordonea, I. Bertini, B. Di Pietra, M.C. Falvoa, A. Genovese , L. Martiranoa
EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm G Model EPSR – 4093
25. Global EV Charging Stations to Skyrocket by 2020. IHS Automotive (2015)
26. AB „Energijos skirstymo operatorius“. Tarifų planai ir kainos 2018 (Prieiga per internetą: <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/esu-klientas.html>) [žiūrėta 2018-01-20]
27. Lietuvos respublikos susiekimo ministerija 2018. Elektromobilių skaičius Lietuvoje. (Prieiga per internetą: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-skaicius-lietuvoje>) [žiūrėta 2018-01-20]
28. Lietuvos respublikos susiseikimo ministerija 2018. Elektromobilių infrastruktūros plėtra. (Prieiga per internetą: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-infrastrukturos-pletra>) [žiūrėta 2018-01-20]

29. Elektromobilių greito įkrovimo stotelės Lietuvoje 2018 sausio 23d. (Prieiga per internetą: <http://www.100procentuelektrinis.lt/naudinga-informacija/elektromobilio-ikrovimas/elektromobiliu-greito-ikrovimo-stoteles-lietuvoje/>) [žiūrėta 2018-01-26]
30. Elektromobilių įkrovimo tinklas „autoPILDYK“ (Prieiga per internetą: <http://autopildyk.lt/>) [žiūrėta 2018-01-26]
31. Justinas Šeškus, Valdas Valiūnas, Loreta Levulytė 2013. Vilniaus Gedimino universitetas Elektromobilių naudojimo Lietuvoje perspektyvų tyrimas.
32. **Tautvydas Pašvenskas**, (2016). Kauno technologijos universitetas. Bakalaurinis darbas „Saulės moduliais įkraunamų elektromobilių stotelės“.
33. AB „Energijos skirstymo operatorius“ - Perteklinės energijos supirkimas. (Prieiga per internetą: http://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/elektros-gamintojams/elektros-energijos-supirkimas/perteklines-energijos-supirkimas.html) [žiūrėta 2018-03-27]
34. „Valentin Software“ , „PV*SOL“ saulės elektrinių simuliacijos programa. (Prieiga per internetą: <https://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/55/pvsol>) [žiūrėta 2018-03-27]
35. UAB „Solet technics“ (Prieiga per internetą: <http://www.solet.lt/technics/lt/bylu-saugykla>) [žiūrėta 2018-03-23]
36. G.R. Chandra Mouli, P. Bauer ↑, M. Zeman (2015). System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces. Department of Electrical Sustainable Energy, Delft University of Technology, Mekelweg 4, 2628 CD Delft, The Netherlands
37. UAB „Solet technics“ (Prieiga per internetą: <http://www.solet.lt/technics/lt/bylu-saugykla>) [žiūrėta 2018-04-02]
38. O. Isabella¹ , G. Ganesan Nair¹ , A. Tozzi¹ , J. Hernandez Castro Barreto¹ , G. Ram Chandra Mouli¹ , F. Lantsheer² , S. van Berkel³ and M. Zeman. (2015)
Comprehensive modelling and sizing of PV systems from location to load
39. „Google Earth“ (Prieiga per internetą: <https://goo.gl/maps/ft2QkPAXpYM2>) [žiūrėta 2018-04-02]
40. Enphase Energy. M250 micro-inverter (Prieiga per internetą: <http://www2.enphase.com/eu/products/m250/>) [žiūrėta 2018-04-03]
41. ABL įkrovimo stotelės. (Prieiga per internetą <https://www.abl.de/de/produkte/emobility/wallbox-emh1.php>) [žiūrėta 2018-04-03]
42. Rimantas Pranas Deksnys, Kazimieras Danilevičius, Vaclovas Miškinis, Robertas Staniulis (2008) m. Energetikos ekonomika. Mokomoji knyga.
43. Lietuvos aplinkos apsaugos investicijų fondas. (Prieiga per internetą: <http://www.laaif.lt/lt/>) [žiūrėta 2018-04-22]

PRIEDAI

- 1) „Solet Technics“ M60.6-285 saulės modulio specifikacija;
- 2) Enphase M250 mikro – keitiklio specifikacija;
- 3) 2,56 kW saulės elektrinė;
- 4) Saulės modulių sujungimas;
- 5) Pirmojo scenarijaus vienalinijinė schema;
- 6) Antrojo scenarijaus vienalinijinė schema.

INPUT DATA (DC)	Model: M250-60-230-S22, M250-60-230-S25	Model: M250-72-2LN-S2, M250-72-2LN-S5
Recommended input power (STC)	210 - 310 W	210 - 310 W
Maximum input DC voltage	48 V	60 V
Peak power tracking voltage	27 V - 39 V	27 V - 48 V
Operating range	16 V - 48 V	16 V - 60V
Min/Max start voltage	22 V / 48 V	22 V / 48 V
Max DC short circuit current	15 A	15 A
OUTPUT DATA (AC)		
Peak output power	258 W	258 W
Rated output power	250 W	250 W
Rated output current	1.09 A	1.09 A
Nominal voltage	230 V	230 V
Nominal frequency	50.0 Hz	50.0 Hz
Power factor	>0.95	>0.95
Maximum units per 20 A branch circuit	14 (Ph + N), 42 (3Ph + N)	14 (Ph + N), 42 (3Ph + N)
Maximum units per cable section	14 (Ph + N), 24 (3Ph + N)	14 (Ph + N), 24 (3Ph + N)
Maximum output fault current	850 mA rms for 6 cycles	850 mA rms for 6 cycles
Current (inrush)	0 A	0 A
AC backfeed current to module	0 mA	0 mA
EFFICIENCY		
EN 50530 (EU) efficiency	95.7%	95.7%
Static MPPT efficiency (weighted, reference EN50530)	99.6%	99.5%
Night time power consumption	0.055 W	0.065 W
MECHANICAL DATA		
External operating temperature range (ambient)	-40°C to +65°C	
Internal operating temperature range	-40°C to +85°C	
Enclosure environmental rating	Outdoor - IP67	
Connector type, MC4	M250-60-230-S22 and M250-72-2LN-S2	
Connector type, Amphenol H4	M250-60-230-S25 and M250-72-2LN-S5	
Dimensions (WxHxD)	179 mm x 217 mm x 28 mm (with bracket)	
Weight	1.66 kg	
Cooling	Natural convection - No fans	
FEATURES		
Compatibility	60-cell PV modules	60-cell and 72-cell PV modules
Communication	Power line communication	
Monitoring	Enlighten Manager and MyEnlighten monitoring options	
Transformer design	High frequency transformers, galvanically isolated	
Compliance	AS4777, C10/11, CEI_0-21, EN50438, EN62109-1, EN62109-2, ERDF-NOI-RES_13E_V5, G59/2, G83/2, VDE-0126-1-1 + A1, VDE AR-N 4105	
Automatic disconnect	Automatic disconnect according to OVE / ÖNORM E 8001-4-712 (Installations in Austria limited to 3.68 kV _a .)	

To learn more about Enphase microinverter technology, visit enphase.com/eu.



Photovoltaic Module Solet M60.6 – WF – 275/285

Monocrystalline module family



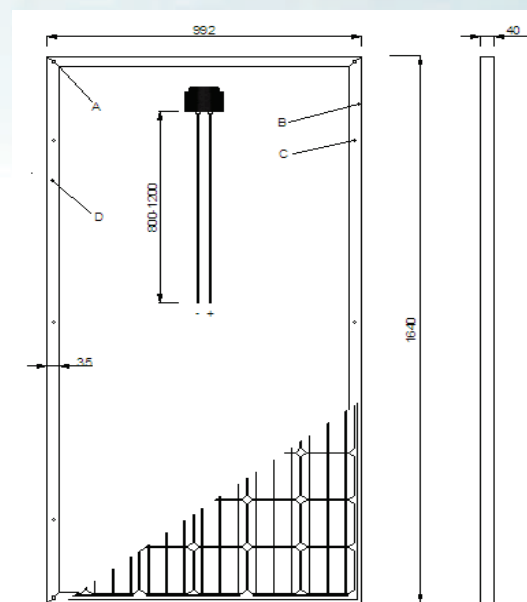
Electrical Parameters

Type	Solet M60.6–275	Solet M60.6–280	Solet M60.6–285
Maximum Power* (PMPP)	275.1 – 280.0 Wp	280.1 – 285.0 Wp	285.1 – 290.0 Wp
Rated Voltage (VMPP)	32,58 V	32,64 V	32,7 V
Rated Current (IMPP)	8,68 A	8,71 A	8,75 A
Open Circuit Voltage (VOC)	38,4 V	38,4 V	38,5 V
Short Circuit Current (ISC)	9,18 A	9,21 A	9,25 A
Power tolerance	0+3 %	0+3 %	0+3 %

* Irradiance 1000 W/m², module temperature 25°C, spectrum at air-mass AM 1.5

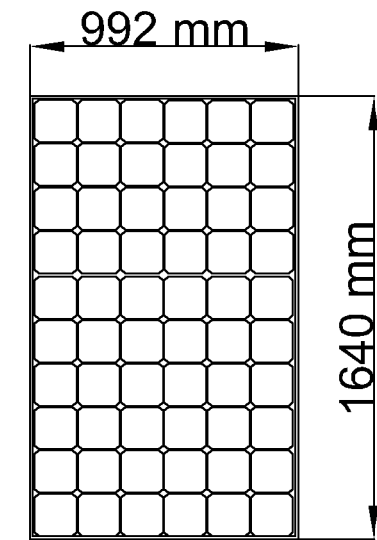
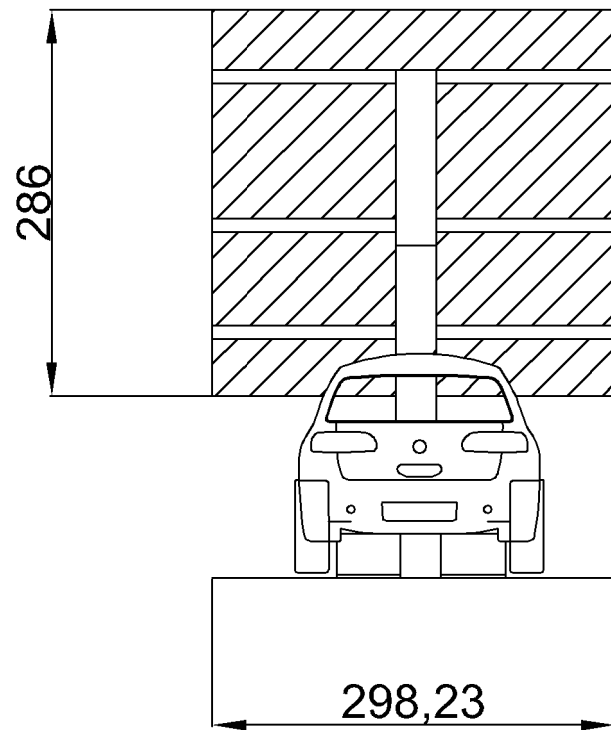
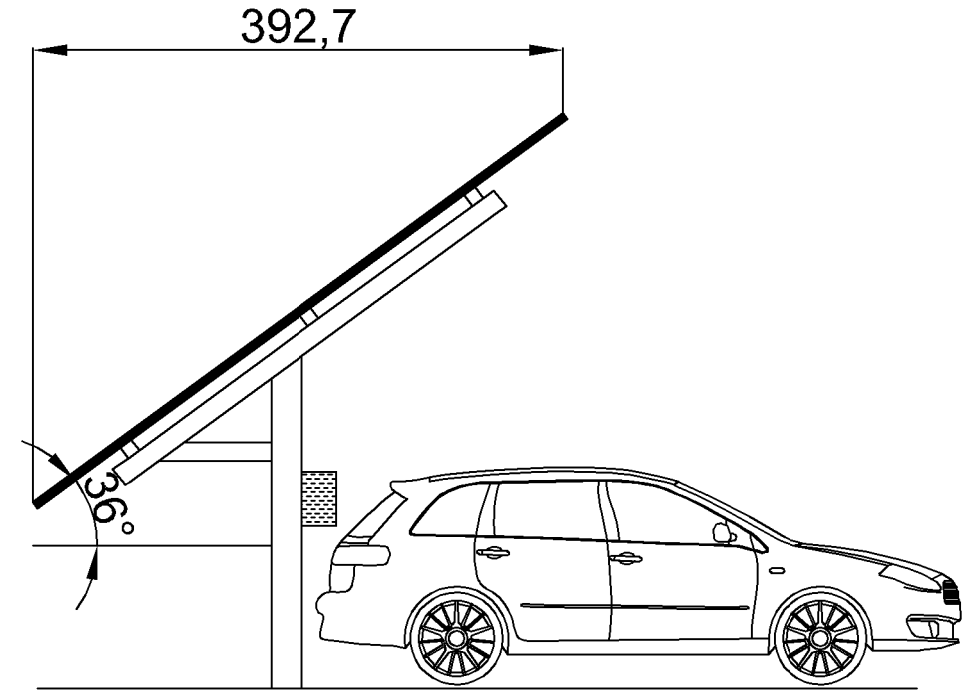
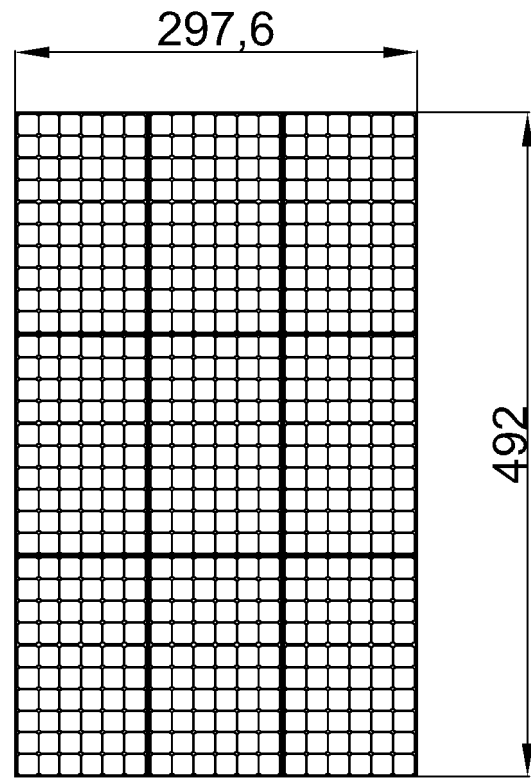
Specifications

Cell size	156x156 mm (diagonal: 203 mm)
Number of cells	6x10, three strings in a row
Front side glass	3,2 mm hardened solar glass
Weight	19 kg
Dimensions (LxWxH)	1640x992x40mm (42 mm)
J-box	Plastic, IP65, ventilated
Cable length	0,8-1,2 m
Cable cross section size	4 mm ²
Number of diodes	3
Plug-in connection	MC4 or equivalent
Frame	Anodised Al frame
Packing configuration	25 pcs./pallet



A. Drainage - B. Ventilation - C. Mounting holes - D. Earthing



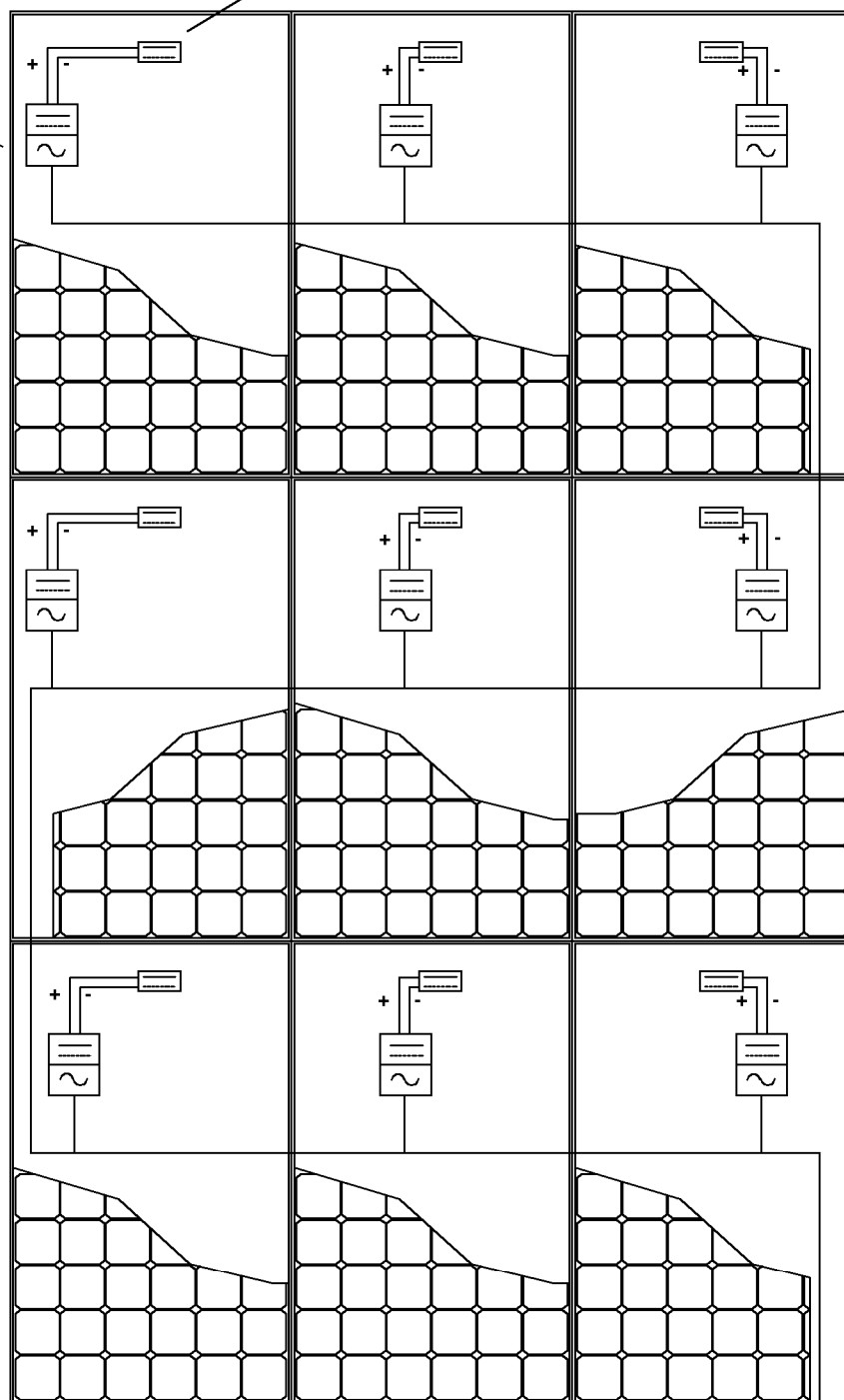


Solet M60.6 285W Mono

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				Baigiamojo magistrinio darbo projektas					
	Pareigos	V.PAVARDĖ	PARAŠAS	DATA	Priedas nr. 3. Stotelės brežinys					
EMEE-6	stud.	T.Pašvenskas		2018.05.28						
	lekt.dr.	D.Slušnys		2018.05.28						
	Elektros energetikos sistemų katedra LT-51367 Studentų g. 48 Kaunas				2,56kW saulės elektrinė	<table border="1"> <tr> <td>Lapas</td> <td>Lapų</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>	Lapas	Lapų	1	1
Lapas	Lapų									
1	1									

Solet Technics m60.6
285W modulio dėžutė

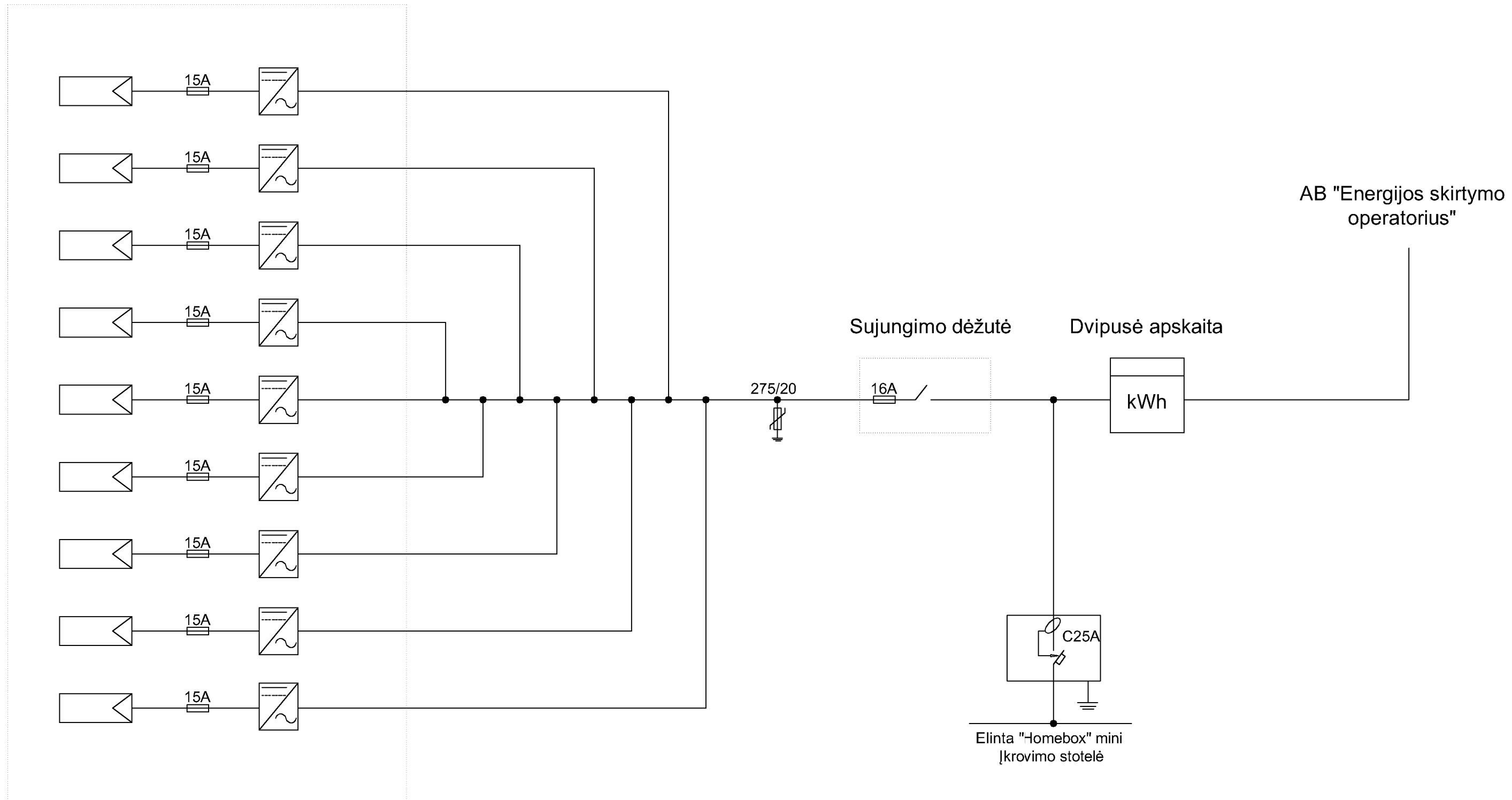
Enphase M250
mikro - keitiklis




SD

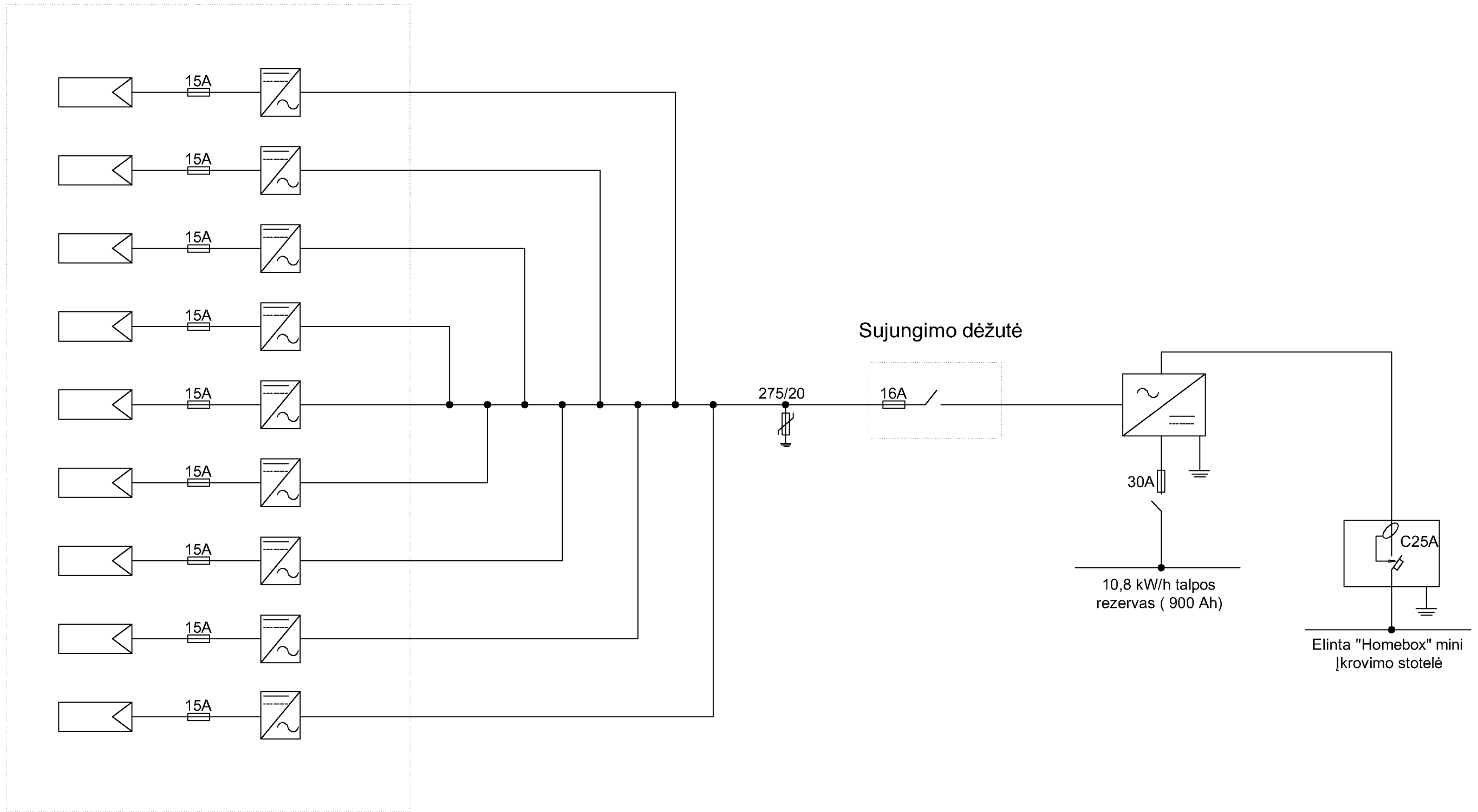
Sujungimo dėžutė

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				Baigiamojo magistrinio darbo projektas			
	Pareigos	V.PAVARDE	PARAŠAS	DATA	Priedas nr. 4. Saulės modulių sujungimas			
EMEE-6	stud.	T.Pašvenskas		2018.05.28				
	lekt.dr.	D.Slušnys		2018.05.28				
	Elektros energetikos sistemų katedra LT-51367 Studentu g. 48 Kaunas				2,56kW saulės elektrinė		Lapas	Lapų
							1	1



-  AIMS Power keitiklis ir baterijų įkroviklis
-  Solet 285W saulės modulis
-  Enphase mikro - keitiklis
-  Virštampų ribotuvas
-  Saugiklis
-  Srovės nuotekių relė - kirtiklis

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				Baigiamojo magistrinio darbo projektas	
	Pareigos	V.PAVARDĖ	PARAŠAS	DATA	Priedas nr. 5. Antrojo scenarijaus vienlinijine schema	
EMEE-6	stud.	T.Pašvenskas		2018.05.28		
	lekt.dr.	D.Slušnys		2018.05.28		
	Elektros energetikos sistemų katedra LT-51367 Studentu g. 48 Kaunas				2,56kW saulės elektrinė	
					Lapas	Lapu
					1	1



Solet 285W saulės modulis



Enphase mikro - keitiklis



Viršitampų ribotuvas



Saugiklis



Srovės nuotekių relė - kirtiklis

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				Baigiamojo magistrinio darbo projektas	
EMEE-6	Pareigos	V.PAVARDĖ	PARAŠAS	DATA	Priedas nr. 6. Antrojo scenarijaus vielinijine schema	
	stud.	T.Pašvenskas		2018.05.28		
	lekt.dr.	D.Slušnys		2018.05.28		
	Elektros energetikos sistemų katedra LT-51367 Studentu g. 48 Kaunas				2,56kW saulės elektrinė	Lapas
					1	Lapų
					1	1