



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių įdiegimo
gyvenamuosiuose pastatuose ekonominis vertinimas darnios
plėtros aspektu**

Baigiamasis magistro projektas

Monika Griguolaitė

Projekto autorė

Prof. Gražina Startienė

Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių įdiegimo
gyvenamuosiuose pastatuose ekonominis vertinimas darnios
plėtros aspektu**

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Monika Griguolaitė

Projekto autorė

Prof. Gražina Startienė

Vadovė

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Monika Griguolaitė

Atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių įdiegimo gyvenamuosiuose pastatuose ekonominis vertinimas darnios plėtros aspektu

Akademinių sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Monika Griguolaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Griguolaitė, Monika. Atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių įdiegimo gyvenamuosiuose pastatuose ekonominis vertinimas darnios plėtros aspektu. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Gražina Startienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Atsinaujinantys energijos šaltiniai, vėjo elektrinė, saulės elektrinė, hibridinė elektrinė.

Kaunas, 2023. 65 p.

Santrauka

Gyventojų skaičiaus kilimas, pramonės plėtra, besikeičiantys gyventojų įpročiai lemia didėjančius elektros energijos poreikius. Nors vis dar daugiau nei pusė Europos sąjungos energijos poreikių tenkinama iš iškastinio kuro gaminama energija, Europos sąjunga siekia tikslo iki 2050 metų tapti klimatui neutraliu žemynu. Viena iš priemonių siekiant šio tikslo – energijos poreikių tenkinimas iš atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinėse pagaminama energija. Atsinaujinančių energijos šaltinių vystymas aktualus ne tik dideliais mastais, tačiau ir namų ūkių lygiu. Namų ūkių energijos poreikiams tenkinti dažniausia naudojamos saulės ir vėjo atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinės. Atsinaujinančių šaltinių vystymas namų ūkiuose skatintini ne tik ekologiniais, bet ir ekonominiais sumetimais. Tačiau atsinaujinantys energijos šaltiniai nedidelių energijos poreikių namų ūkiams kelia klausimų dėl tinkamos atsinaujinančios elektrinės rūšies pasirinkimo ir atsiperkamumo.

Siekiant įgyvendinti darbo tikslą – išanalizavus atsinaujinančių energijos šaltinių technologijas, sudaryti tyrimo metodiką ir atlikti atsinaujinančių išteklių elektrinių diegimo gyvenamuosiuose pastatuose ekonominį vertinimą darnios plėtros aspektu – atliekama mokslinė literatūros analizė, apdorojami statistiniai duomenys, atliekamos ekonominė ir lyginamoji analizės. Tikslui įgyvendinti išsikelti uždaviniai: nagrinėti atsinaujinančių energijos išteklių technologijas ir priemones skatinančias jų plėtrą, sudaryti tyrimo metodiką, atlikti vertinimus ekonominiu ir darnios plėtros aspektais bei palyginti sudarytus atsinaujinančių energijos išteklių modelius. Tyrimo metodika sudaryta iš penkių etapų, kuriuos apima: objekto charakterizavimas ir jo klimatinės sąlygų vertinimas; apkrovų ir reikalingų atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių galių nustatymas – 30 kW, 20 kW ir 10 kW; devynių skirtingų galių ir tipų (saulės, vėjo ir hibridinių) atsinaujinančių šaltinių elektrinių modeliavimas, kuris apima nuostolių, trumpųjų jungimų skaičiavimus, reikalingų komponentų ir sistemų parinkimą ir įrengimą; ekonominį vertinimą apskaičiuojant atsipirkimo laikotarpius, projekto grynąsias dabartines vertes, investicijų rentabilumo indeksus, suvienodintos energijos kainos rodiklių skaičiavimą ir mažinant elektros kainą bei didinant diskonto normą atliekamą jautrumo analizę; vertinimą darnios plėtros aspektu bei įsirengus atsinaujinančių šaltinių elektrines sutaupomą (į aplinką neišmetamą) CO₂ kiekio skaičiavimą.

Griguolaitė, Monika Economic Evaluation of Renewable Energy Power Plants Installation in Residential Buildings in Sustainable Development Aspect. Master's Final Degree Project / prof. dr. Gražina Startienė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Renewable energy sources, wind power plant, solar power plant, hybrid power plant.

Kaunas, 2023. 65.

Summary

Population growth, industrial development, and changing habits of the population lead to increasing electricity needs. Although more than half of the European Union's energy needs are still met by energy produced from fossil fuels, the European Union is pursuing the goal of becoming a climate-neutral continent by 2050. One of the means to achieve this goal is meeting energy needs from renewable energy sources with energy produced in power plants. The development of renewable energy sources is relevant not only on a large scale, but also at the household level. Power plants of solar and wind renewable energy sources are most often used to meet the energy needs of households. The development of renewable sources in households should be encouraged not only for ecological, but also for economic reasons. However, renewable energy sources for households with small energy needs raise questions about the choice and cost-effectiveness of the right type of renewable electricity. In order to realize the goal of the work - after analyzing the technologies of renewable energy sources, creating a research methodology and performing an economic evaluation of the installation of renewable resources power plants in residential buildings from the aspect of sustainable development - a scientific literature analysis is performed, statistical data is processed, and economic and comparative analyzes are performed. Tasks set to achieve the goal: examine the technologies of renewable energy resources and measures promoting their development, create a research methodology, perform assessments in terms of economic and sustainable development aspects and compare the created models of renewable energy resources. The research methodology consists of five stages, which include: characterization of the object and assessment of its climatic conditions; determination of loads and required electric power of renewable energy resources - 30 kW, 20 kW and 10 kW; simulation of nine different capacities and types (solar, wind and hybrid) of renewable sources power plants, which includes calculations of losses, short circuits, selection and installation of required components and systems; economic evaluation by calculating payback periods, net present values of the project, investment profitability indices, calculation of indicators of the unified energy price and sensitivity analysis performed by reducing the price of electricity and increasing the discount rate; assessment from the aspect of sustainable development and calculation of the amount of CO₂ saved (not emitted into the environment) after the installation of renewable sources power plants.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Atsinaujinančių energijos šaltinių analizė teoriniu aspektu.....	11
1.1. Atsinaujinančių energijos šaltinių rūšys.....	11
1.1.1. Saulės elektrinių rūšys ir komponentai.....	12
1.1.2. Vėjo elektrinių rūšys ir komponentai	17
1.1.3. Hibridinės elektrinės.....	23
1.2. Atsinaujinančių energijos šaltinių skatinimo politika	24
1.2.1. Pasaulio ir Europos taršos mažinimo, tvarumo skatinimo susitarimai.....	25
1.2.2. Finansinis tvarios energetikos skatinimas	26
1.3. Atsinaujinančių energijos šaltinių vystymas darnios plėtros aspektu	29
1.3.1. Vėjo energijos vystymas darnios plėtros aspektu.....	30
1.3.2. Saulės energijos vystymas darnios plėtros aspektu.	31
2. Atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių diegimo gyvenamuosiuose pastatuose metodika	33
3. Atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių diegimo gyvenamuosiuose pastatuose tyrimas darnios plėtros aspektu	43
3.1. Apkrovų vertinimas	43
3.2. Komponentų parinkimas ir elektrinių modeliavimas	43
3.3. Modeliuojamų elektrinių vertinimas ekonominiu ir darnios plėtros aspektu	48
3.3.1. Modeliuojamų elektrinių ekonominis vertinimas.....	48
3.3.2. Modeliuojamų elektrinių vertinimas darnios plėtros aspektu	56
Išvados	58
Literatūros sąrašas	60
Priedai.....	66

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skirtinų menčių skaičiaus horizontalios ašies vėjo turbinų privalumai ir trūkumai [32]..	19
2 lentelė. Vertikalios ašies vėjo turbinų rūšys [34]	20
3 lentelė. Faktai apie Europos žaliojo kurso vykdymą [58].....	28
4 lentelė. Sąlygos galinčios paskatinti tvarios energetikos plėtrą [63]	29
5 lentelė. Pilnutinė saulės energija per metus kWh/m ² [68].....	33
6 lentelė. Pirmojo namo apkrovų vertinimo lentelė (sudaryta remiantis panašaus dydžio namų elektros energijos poreikių vertinimu).....	35
7 lentelė. Gaminančių vartotojų atsiskaitymo planai [77]	39
8 lentelė. Apkrovų vertinimo metodais gauti rezultatai	43
9 lentelė. Saulės elektrinių generacijos	44
10 lentelė. Vėjo elektrinių prognozuojamas generuojamas elektros energijos kiekis	45
11 lentelė. Hibridinės sistemos vėjo turbinos generuojamas elektros energijos kiekis	46
12 lentelė. Hibridinės sistemos saulės elektrinių generacijos	47
13 lentelė. Hibridinės sistemos generuojamas elektros energijos kiekis	47
14 lentelė. Išlaidos saulės elektrinių įrenginiams, įrengimui, prijungimui	48
15 lentelė. Saulės elektrinių ekonominių rodiklių lentelė	49
16 lentelė. Išlaidos vėjo elektrinių įrenginiams, įrengimui, prijungimui	50
17 lentelė. Vėjo elektrinių ekonominių rodiklių lentelė.....	51
18 lentelė. Išlaidos hibridinių sistemų įrenginiams, įrengimui, prijungimui	52
19 lentelė. Hibridinių elektrinių ekonominių rodiklių lentelė.....	53
20 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai elektros kaina 23 ct/kWh.....	54
21 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai elektros kaina 18 ct/kWh.....	54
22 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai diskonto norma 7 %	55
23 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai diskonto norma 10 %	56
24 lentelė. Eksploatacijos metu sutaupomas CO ₂ kiekis, energiją gaminant atsinaujinančių energijos išteklių elektrinėse	56
25 lentelė. Viso gyvavimo ciklo metu tirtose atsinaujinančių šaltinių elektrinėse išskiriamas CO ₂ kiekis.....	57

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Pasaulio ir Europos energijos pirminio vartojimo pasiskirstymas 2019 m. [9]	12
2 pav.	Optimalaus fotovoltinių modulių pasvirimo kampo ir pasaulio šalies parinkimo nustatymas [16]	13
3 pav.	Saulės modulio pagaminamo vato kainos kitimas, USD [19].....	14
4 pav.	Autonominės (į tinklą nejungiamos) saulės elektrinės sistema [21]	14
5 pav.	Į elektros tinklą jungiamos saulės elektrinės schema [21]	15
6 pav.	Hibridinės saulės elektrinės schema [22]	15
7 pav.	Horizontalios ašies vėjo turbino komponentai [32].....	18
8 pav.	Vienos mentės, horizontalios ašies vėjo turbina su dviem atsvaromis [32].....	19
9 pav.	Dviejų menčių horizontalios ašies vėjo turbina [32].....	19
10 pav.	Trijų menčių horizontalios ašies vėjo turbina [32].....	19
11 pav.	Penkių menčių horizontalios ašies vėjo turbina [33]	19
12 pav.	Kiaušinio plaktuvo tipo <i>Darrieus</i> vertikalios ašies vėjo turbina [34]	20
13 pav.	<i>Giromill</i> (tiesių menčių) tipo <i>Darrieus</i> vertikalios ašies vėjo turbina [34].....	20
14 pav.	Ovali kintamos geometrijos <i>Darrieus</i> vertikalios ašies vėjo turbina [34]	20
15 pav.	Trejų susuktų menčių <i>Darrieus</i> tipo turbina [35].....	21
16 pav.	<i>Crossflex</i> vertikalios ašies vėjo turbina [34]	21
17 pav.	<i>Sovonius</i> tipo vertikalios ašies turbina [34].....	21
18 pav.	Kombinuota <i>Sovonius</i> ir <i>Darrieus</i> vėjo turbina [34].....	21
19 pav.	Pusiau rotacinė dviejų lapų vėjo turbina [34].....	22
20 pav.	<i>Sistan</i> tipo vėjo turbina [34]	22
21 pav.	Zefyro tipo vėjo turbina [34]	22
22 pav.	Hibridinės – saulės ir vėjo – elektrinės blokinė schema	24
23 pav.	Vėjo elektrinių vystymo privalumai ir trūkumai	31
24 pav.	Saulės elektrinių vystymo privalumai ir trūkumai	32
25 pav.	Tyrimo etapai	33
26 pav.	Saulės energetikos potencialas Europoje [68].....	34
27 pav.	Vėjo greitis Lietuvoje [69]	34
28 pav.	Gyvenamųjų namų elektros poreikiai, kWh.....	36

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

AC – kintamoji srovė;

DC – nuolatinė srovė;

VE – vėjo elektrinė;

SE – saulės elektrinė;

JTBKKK – Jungtinių Tautų bendroji klimato kaitos konvencija;

VIPA – Viešųjų investicijų plėtros agentūra;

APVA – Aplinkos projektų valdymo agentūra;

AWEA – Amerikos vėjo energijos asociacija;

MMBtu – vienas milijonas britų šiluminių vienetų;

CO₂ – anglies dioksidas;

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos.

Įvadas

Temos aktualumas. Nepaisant populiarėjančių atsinaujinančių energijos šaltinių tradiciniai energijos šaltiniai vis dar tenkina didžiąją dalį energijos poreikių. Atsinaujinantys energijos šaltiniai sulaukia kritikos dėl nekonkurencingos kainos ir nepastovumo, tačiau, žemės gelmėse mažėjantys tradicinių išteklių rezervai, didėjantis elektros energijos poreikis, neutralumo klimatui ir mažesnės priklausomybės nuo importo siekiamybės skatina vis daugiau investuoti į atsinaujinančių energijos išteklių skatinimą ir plėtrą. Skatinamas ne tik didelių atsinaujinančių šaltinių parkų diegimas, tačiau ir nedidelių, buitinių gyventojų poreikius tenkinančių elektrinių statyba. Skiriamos paramos atsinaujinantiems energijos šaltiniams jų pagamintą elektros energijos kainą daro konkurencinga ir skatina gyventojų susidomėjimą atsinaujinančių šaltinių įdiegimo galimybėmis. Mažųjų elektrinių statyba gyventojų poreikiams tenkinti nemaža dalimi prisideda prie atsinaujinančių šaltinių diegimo tikslų. Lengviausiai buitiniams vartotojams prieinamos atsinaujinančių šaltinių elektrinės – saulės ir vėjo. Saulės elektrinės gyvenamuosiuose pastatuose diegiamos neužimant papildomo ploto bei nedarant įtakos aplinkai – ant pastato stogo. Nedidelės galios vėjo turbinos vietos taupymo sumetimais įrengiamos visiškai šalia pastatų arba net ant jų stogo. Siekiant atsinaujinančių šaltinių plėtos, darnios energetinės sistemos plėtojimo, neutralumo klimatui, mažesnės energetinės priklausomybės nuo importo gyventojams svarbus ne tik ekologinis, tačiau ir ekonominis aspektas.

Tyrimo problema. Siekiant patenkinti elektros energijos poreikius buitiniams vartotojams aktualios atsinaujinančių šaltinių elektrinės, tačiau svarbus ne tik aplinkosauginis, bet ir ekonominis aspektas, skatinantis vartotojus ieškoti tinkamiausio atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinės modelio.

Tyrimo objektas. Ekonomiškai palankus, aplinkai darnus saulės ir vėjo elektrinių panaudojimas gyvenamųjų namų elektros poreikių tenkinimui.

Tyrimo tikslas. Išanalizavus atsinaujinančių energijos šaltinių technologijas, sudaryti tyrimo metodiką ir atlikti atsinaujinančių išteklių elektrinių diegimo gyvenamuosiuose pastatuose ekonominį vertinimą darnios plėtos aspektu.

Tikslo įgyvendinimui išsikelti uždaviniai:

1. Apžvelgti pagrindines atsinaujinančių energijos išteklių technologijas ir jų diegimo skatinimo priemones.
2. Sudaryti atsinaujinančių energijos šaltinių diegimo gyvenamajame pastate metodiką.
3. Atlikti sumodeliuotų AEI elektrinių ekonominę analizę darnios plėtos aspektu.
4. Atlikti projekto jautrumo analizę keičiantis elektros energijos kainai ir diskonto normai.
5. Palyginti siūlomus atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių modelius.

Tyrimo metodai. Mokslinės literatūros analizė, saulės elektrinės generuojamo elektros energijos kiekio skaičiavimai „*PVsyst*“ programa, sąmatų sudarymas programa „*Sistela*“, ekonominė ir lyginamoji analizės. Naudoti literatūros šaltiniai: Europos Sąjungos direktyvos ir reglamentai, moksliniai straipsniai, nacionaliniai įstatymai.

Magistro darbo struktūra. Magistro darbas susideda iš santraukos, turinio, lentelių, paveikslų, santrumpų, literatūros sąrašų ir pagrindinių 5 dalių: įvado, 3 dėstymo skyrių ir išvado. Darbą sudaro: 65 puslapiai, 28 paveikslų ir 25 lentelės. Literatūros sąrašas yra 110 šaltiniai.

1. Atsinaujinančių energijos šaltinių analizė teoriniu aspektu

Spartus pasaulio gyventojų skaičiaus augimas ir civilizacijos pažanga lėmė eksponentinį energijos poreikio augimą. Nors iškastinis kuras nėra tvarus ir daro neigiamą įtaką aplinkai bei sveikatai, vis dėlto 2020 metais iš iškastinio kuro pagaminta energija sudarė net 61,3 % visos energetikos sektoriuje suvartojamos energijos [1]. Nuolat girdima apie atsinaujinančių šaltinių diegimo svarbą, nes iškastinis kuras kenkia aplinkai net keletu būdų:

- **Oro tarša.** Sieros dioksidas, azoto oksidai, kietosios dalelės, anglies monoksidas ir gyvsidabris – tai tik nedidelė dalis oro teršalų, kuriais oras teršiamas naudojant iškastinį kurą. Oro tarša iškastiniu kuru sukelia rūgštinį lietų, kenkia miškams, pasėliams, laukinei gamtai;
- **Vandens tarša.** Iškastinio kuro išgavimas bei naftos išsilyjeimas teršia vandenį. Kuro išgavimo metu gali susidaryti toksiškos nuotekos, kurios užteršia požemį bei gerinamąjį vandenį. Didžiausias naftos išsilyjeimas istorijoje, įvykęs 2010 metais, išmetė 134 milijonus galonų naftos į Meksikos įlanką, to pasekoje žuvo 11 žmonių, daugybė paukščių, vėžlių, žuvų, jūrų žinduolių ir augalų [2];
- **Klimato šilimas.** Iškastinio kuro deginimas kasmet kaitina žemės sistemą, paskaičiuota, kad nuo 1981 metų pasaulinė metinė temperatūra pakyla 0,18 °C per dešimtmetį, tokie klimato pokyčiai išsukia ekstremalias karščio bangas, gausų kritulių kiekį, sausras, ledynų tirpimą, jūros lygio kilimą [3];
- **Sveikata.** Didelis kiekis sunaudojamo iškastinio kuro naudojimo tiesiogiai veikia sveikatą. Iškastinio kuro tarša veikia žmonių sveikatą tiesiogiai – dėl oro taršos, bei netiesiogiai – dėl klimato šilimo. Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis, beveik visa žmonija (99 %) kvėpuoja užterštu oru [4]. Tos pačios organizacijos teigimu oro tarša susijusi su tokių ligų kaip plaučių, plaučių vėžio, širdies, kvėpavimo takų ligų paūmėjimu ir/ar atvejų pagausėjimu. Taip pat pabrėžia, kad net 4,2 mln. mirčių visame pasaulyje daro įtaką oro tarša [5].

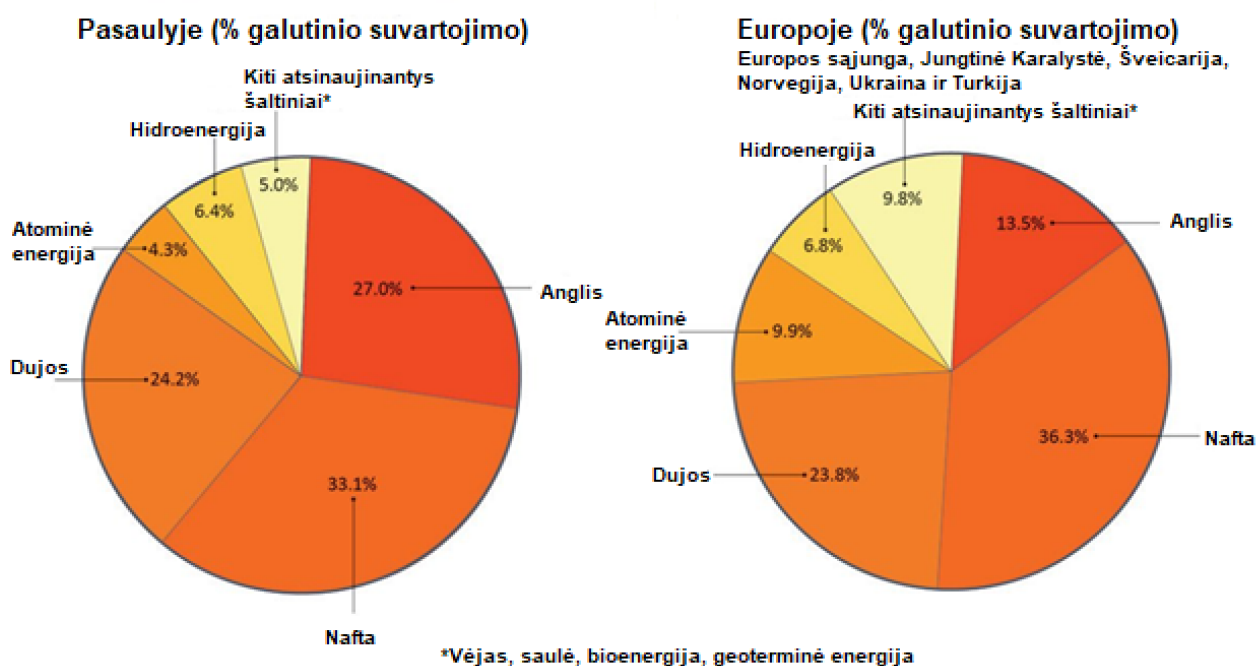
Alternatyvų iškastiniam kurui ieškoma, ne tik dėl taršos, įtakos sveikatai, tačiau ir dėl to, kad iškastinis kuras yra baigtinis ir jo ištekliai žemės gelmėse nuolat mažėja. Taip pat, nuolat susiduriama su iškastinio kuro tiekimo problemomis, nes jis pasaulyje pasiskirstęs labai netolygiai, todėl susiduriama su tiekimo patikimumo problema.

Gyventojai, valdžios bei privačios institucijos, matydamos kokią įtaką žemei daro iškastinio kuro bei kitų sektorių tarša ieško būdų ir siekia tapti klimatui neutraliais. Siekiant iš dalies arba visiškai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir iš to kylančias problemas bandomi įvairūs metodai bei priemonės. Siekiant sumažinti taršą, didinti šalies energetinę nepriklausomybę vykdoma atsinaujinančių šaltinių politika – iš iškastinio kuro gaminamos energijos pakeitimas į atsinaujinančių šaltinių išgaunamą energiją.

1.1. Atsinaujinančių energijos šaltinių rūšys

Atsinaujinančiais energijos šaltiniais vadinami šaltiniai kurie gamina energiją, gali atsinaujinti bei yra neišsenkantys [6]. Atsinaujinantiems energijos šaltiniams priskiriamos penkios pagrindinės energijos rūšys: hidroenergija, geoterminė energija, biomasės energija, vėjo bei saulės energijos. Energijos vartojimo efektyvumo bei atsinaujinančių energijos šaltinių technologijos yra pagrindiniai keliai į Europos Sąjungos 2019 m. nustatytą tikslą - neutralumą klimatui iki 2050 metų ir daugiau nei tris milijardus tonų CO₂ ekvivalento, išmetamo kasmet į aplinką, panaikinimą [7]. Šiam tikslui įgyvendinti pasitelkiamos ekonominės, socialinės bei technologinės priemonės. Atsinaujinantys

energijos šaltiniai gali patenkinti net du trečdalius viso pasaulio energijos poreikių [8]. Vis dėlto, žmonių bei įmonių veiklai siekiant tapti visiškai neutraliai aplinkos atžvilgiu reikės ne tik pereiti prie atsinaujinančių energijos šaltinių, tačiau ir atrasti bei įgyvendinti daug technologinių naujovių ypač transporto bei gamybos sektoriuose.



1 pav. Pasaulio ir Europos energijos pirminio vartojimo pasiskirstymas 2019 m. [9]

Iš pirmame paveiksle pateiktų skritulinių histogramų matoma (žr. 1 pav.), kad visame pirminiame energijos suvartojime iš atsinaujinančių šaltinių pagamintos energijos dalis sudaro pasaulyje tik 11,4 %, o Europoje 16,6 % [9]. Tokia statistika parodo, kokia didelė dalis energijos sektoriaus vis dar yra priklausoma nuo neatsinaujančių energijos šaltinių. Dėl nesudėtingo įrengimo, nedidelių įrengimui reikalingų plotų ir greito atsipirkimo buitinių vartotojų tarpe iš atsinaujinančių energijos šaltinių labiausiai paplitę saulė ir vėjas, šie atsinaujinantys šaltiniai plačiau aptariami tolesniuose skyreliuose.

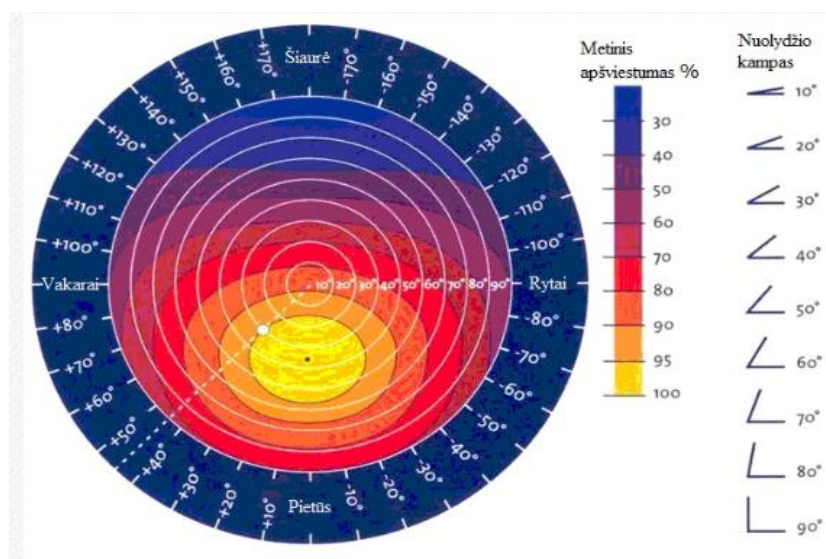
1.1.1. Saulės elektrinių rūšys ir komponentai

Bene daugiausiai iš visų atsinaujinančių šaltinių dėmesio sulaukia saulės elektrinėse gaminama energija. Šiuo metu saulės elektrinės prieinamos bene kiekvienam europiečiui, laikui bėgant saulės elektrinės tapo greitai atsiperkančia, nekilnojamo turto vertę pakeliančia investicija. Saulės energija, kurią žemė gauna iš saulės per 1 dieną, gali patenkinti viso pasaulio energijos poreikį daugiau nei 20 metų, nes į žemės paviršių nukritusios saulės energijos greitis yra 120×10^5 vatai [10]. Iš esmės tai reiškia, kad iš saulės šviesos išgaunama saulės energija gali patenkinti visus energijos poreikius, taip panaikindama iškastinio kuro bei atominės energijos naudojimą. Pasaulio energetikos tarybos duomenimis, saulė gali viso pasaulio pirminės energijos suvartojimą viršyti daugiau nei 7500 kartų [11].

Saulės energija elektros energijai gaminti gali būti naudojama tiek tiesiogiai, tiek netiesiogiai. Technologiją taikant tiesiogiai t. y. elektros energijai išgauti naudojami fotovoltiniai saulės moduliai, taikant netiesioginį metodą naudojami saulės kolektoriai šilumai generuoti, kuri panaudojama patalpų ar vandens šildymui.

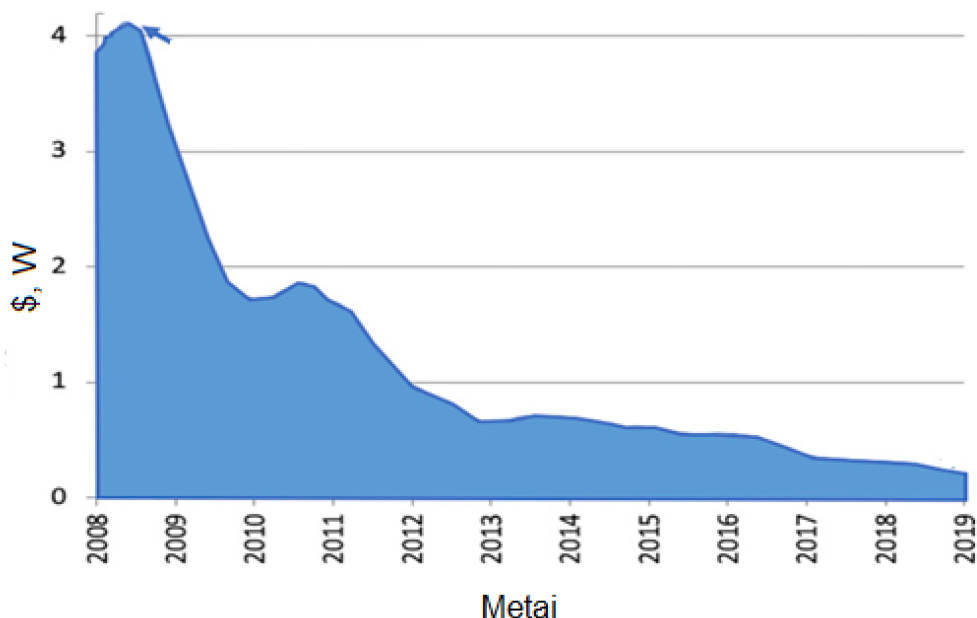
Fotovoltinė technologija taikoma saulės spinduliuotei tiesiogiai paversti elektros energija. Saulės elementai – prietaisai, saulės energiją tiesiogiai verčiantys elektros energija. Vieni iš svarbiausių saulės elektrinių elementų yra saulės moduliai, kurie skirstomi į keletą rūšių: polikristalinius, monokristalinius, plonasluoksnius saulės moduliai, amorfiniai silicio, biohibridiniai, kadmio telurido bei koncentruotos celės saulės moduliai. Visų rūšių moduliai atlieką vienodą funkciją – saulės energiją verčia elektros energija, tačiau tarpusavyje skiriasi išvaizda, efektyvumu, tvirtumu, jautrumu aplinkos veiksniams, priežiūros poreikiais ir kt. [12] Lietuvos rinkoje populiariausi polikristaliniai ir monokristaliniai moduliai. Abiejų rūšių moduliai gaminami iš silicio, gaminant saulės modulius silicis išlydomas ir technologiškai apdirbamas, šiame etape atsiranda pagrindiniai skirtumai tarp modulių rūšių. Monokristaliniai moduliai „auginami“ pradedant nuo vieno bazinio monokristalo ir kuriamas bendras tinklėlis iš kurio ir sudarytas monokristalinis saulės modulis. Polikristaliniam modeliui suformuoti naudojamas ne vienas kristalas, kaip monokristaliniuose moduluose, tačiau keletas pagrindinių kristalų [13]. Moduliai turi ne tik technologinių, tačiau ir vizualinių skirtumų. Monokristaliniai moduliai įprastai yra patrauklesni vartotojams, saulės elektrines įsirengiantiems ant pastato stogo, nes yra tamsios juodos spalvos, tuo tarpu polikristaliniai – mėlyni.

Dar vienas reikšmingas skirtumas tarp minėtų modulių rūšių – efektyvumas. Saulės modulio veikimas tiesiogiai priklauso nuo saulės spinduliuotės kiekio bei aplinkos temperatūros. Saulės modulių efektyvumas didėja kartu su apšvita. Monokristaliniai saulės moduliai turi žymiai didesnę efektyvumą šaltaisiais metų mėnesiais lyginant su polikristaliniais, tačiau pabrėžiama, kad polikristaliniai saulės moduliai esant karštai oro temperatūrai bei didelei apšvitai yra efektyvesni. Saulės modulius išbandant skirtingomis Irano sąlygomis – karštą ir sausą vasarą bei šaltą žiemą paaiškėjo, kad monokristalinio modulio didžiausias, gruodžio mėnesį gautas efektyvumas lygus 15,2 %, o mažiausias 13,2 % - birželį, kai polikristalinio saulės modulio efektyvumas birželio mėnesį siekė 12,97 % (didžiausias), o mažiausias efektyvumas užfiksuotas lapkritį – 11,44 % [14]. Norint pasiekti didžiausią fotovoltinių modulių našumą ypač svarbus modulių pasivirimo kampas ir pasaulio šalies kryptis. Normaliomis sąlygomis pasauliniu mastu laikoma, kad optimalus fotovoltinio modulio pasivirimo kampas yra tarp 30-45° [15]. Kai tuo tarpu Lietuvoje optimalus pasivirimo kampas 30-38° ir daugiausia generuoja saulės moduliai įrengti pietų kryptimi [16] (2 pav. Optimalaus fotovoltinių modulių pasivirimo kampo ir pasaulio šalies parinkimo nustatymas [16]).



2 pav. Optimalaus fotovoltinių modulių pasivirimo kampo ir pasaulio šalies parinkimo nustatymas [16]

Kadangi saulės moduliai yra vienas iš pagrindinių saulės elektrinės komponentų, didelę įtaką elektrinės įrengimo kaštams daro šio komponento kaina. Saulės modulio pagaminamo vato kaina nuo 1992 metų sumažėjo mažiausiai 4 kartus [17] (3 pav. Saulės modulio pagaminamo vato kainos kitimas, USD [19]). Saulės fotovoltinių modulių atpigimą lėmė padidėjusi modulių paklausa ir pasiūla, didesnė modulių įvairovė, pigesnės ir efektyvesnės medžiagos iš kurių gaminami moduliai, valstybės teikiamos lengvatos bei kitų ne pagrindinių išlaidų sumažėjimas [18].



3 pav. Saulės modulio pagaminamo vato kainos kitimas, USD [19]

Saulės elektrinės dažniausia skiriamos į [20]:

- **Autonominės saulės elektrinės.** 4 pav. pateikta į tinklą nejungiamos saulės elektrinės sistema, kuri sudaryta taip, kad kaupiklis kauptų perteklinę energiją, kai turimas perteklius nuo vartotojų poreikių tenkinimo, o energiją iš kaupiklio atiduotų, kai saulės elektrinės generuojamos energijos tenkinti poreikiams neužtenka. Tokios sistemos daugiausia naudojamos vietovėse kuriose nėra galimybės prisijungti prie elektros tinklo.
- Antrasis saulės elektrinių tipas – **į elektros tinklą jungiamos saulės elektrinės.** 5 pav. Į elektros tinklą jungiamos saulės elektrinės schema [21] pateikta tinkle dirbančios saulės elektrinės schema. Šiuo atveju, elektros energijos perteklių elektrinė parduoda arba paskolina į elektros tinklą, o kai saulės elektrinė generuoja ne pakankamą kiekį elektros energijos, trūkumas patenkinimas perkant arba susigražinant pasidėtą energiją iš tinklų.

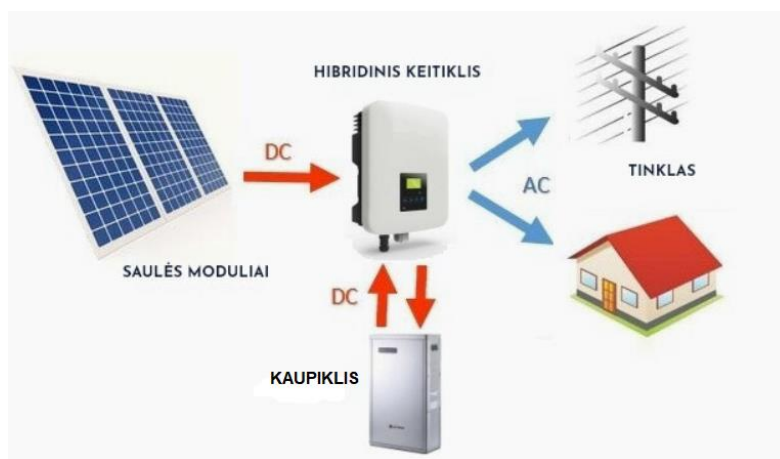


4 pav. Autonominės (į tinklą nejungiamos) saulės elektrinės sistema [21]



5 pav. Į elektros tinklą jungiamos saulės elektrinės schema [21]

- Trečiasis, paskutinis saulės elektrinių tipas – **hibridinės saulės elektrinės**. Šios elektrinės perteklinę elektros energiją (kurios einamuoju vartojimo momentu yra per daug) kaupia kaupiklyje, o kai kaupiklis pilnai užsipildo perteklinę elektros energiją atiduodama į elektros tinklą. Tokios elektrinės principinė schema pateikiama 6 pav. Hibridinės saulės elektrinės schema [22]



6 pav. Hibridinės saulės elektrinės schema [22]

Be jau minėtų vieno iš svarbiausių saulės elektrinių komponentų saulės modulių, saulės elektrinėse taip pat randami šie komponentai:

- **Keitikliai.** Paprastai saulės modulio generuojama įtampa svyruoja nuo 30 iki 60 V, kad būtų patenkintas kintamosios srovės apkrovų įtampos poreikis reikalingi technologiniai sprendimai – prietaisai. Šią funkciją saulės elektrinėse atlieka keitiklis saulės elektrinėse naudojamas srovės keitimui. Tinkamo keitiklio parinkimas yra labai svarbus, nes keitiklis yra vienas iš jautresnių saulės elektrinės elementų, bet tuo pačiu ir turintis didelę įtaką optimaliam veikimui. Per pastaruosius dešimtmečius saulės elektrinių komponentai, kartu ir keitikliai stipriai patobulėjo bei išsprendė praeityje aktualią efektyvumo problemą. Keitikliai parenkami pagal saulės modulių atiduodamą srovę, įtampą, galią, bei pagal elektrinės tipą. Į tinklą jungiamiems tinklo keitikliams paprastai parenkami vienakrypčiai keitikliai, autonominėse elektrinėse parenkami universalesni, dvikrypčiai keitikliai galintys dirbti kartu su kaupikliais (baterijomis). Skiriasi ne tik šių keitiklių panaudojimo galimybės, tačiau ir apkrovų charakteristikos, galios srautai bei kiti parametrai [23]. Keitikliai skirstomi į:
 - ✓ **Stygos keitiklis.** Stygos keitikliai dar vadinami centriniiais keitikiiais yra pigiausi ir seniausi rinkoje randami keitikliai. Styginiai keitikliai yra mažesnio efektyvumo, nes jeigu vieną saulės foto modulį dengia šešėlis arba modulis yra pažeistas visa modulių eilės galia nutraukiama, be to, šis keitiklis dirba neefektyviai kai saulės foto moduliai

nukreipti skirtingomis kryptimis [24]. Nepaisant minusų, styginiai keitikliai sugedus lengvai pakeičiami kitais bei laikomi patikimiausiais rinkoje.

- ✓ **Mikro keitikliai.** Modulio nugarinėje pusėje sumontuojamas keitiklis, kurio didžiausias privalumas – vieno modulio efektyvumas nedaro įtakos kitų modulių efektyvumui, t. y. jeigu šešėlis krenta ant vieno modulio, kito modulio, kurio nedengia šešėlis, efektyvumas visiškai nesumažėja ir modulis gali veikti pilnu pajėgumu. Mikro keitiklis - brangiausias rinkoje, tačiau išskirtiniais atvejais jo efektyvumas gali atpirkti išlaidas. Be to, lyginant su styginiais keitikliais, įdiegus šiuos keitiklius lengviau plečiama saulės elektrinės galia, nereikia pakeisti keitiklio galingesniu (kaip turint styginį keitiklį) [24].
- ✓ **Hibridiniai keitikliai.** Išmanus keitiklis, kurio veikimas panašus į įprastą tinklo keitiklį, nes kaip įprastas keitiklis gali energiją perduoti į tinklą, tačiau išmaniuoju vadinamas, nes gali veikti kartu su kaupimo sistema (baterija). Tačiau tokio keitiklio nerekomenduojama naudoti be tinklo (tik su kaupiklių sistema). Hibridiniai keitikliai gali veikti keletu režimų: tinklo režimas (įprastas keitiklis, energijos perteklių atiduodantis į tinklą), hibridinis režimas (esant energijos pertekliui ji kaupiama kaupiklyje ir tamsiu paros metu, kai saulės energija poreikių nebetenkina, keitiklis kaupiklį iškrauna poreikių patenkinimui), atsarginis režimas (veikia kaip įprastas keitiklis, o įvykus gedimui tinkle persijungia į darbo režimą be tinklo), atjungtas nuo tinklo režimas (tik pakankamai nedidelė hibridinių keitiklių dalis gali dirbti tokiu režimu) [22].
- **Kaupikliai.** Kaupikliai – energijos poreikio tenkinimo šaltinis, kai poreikio netenkina saulės elektrinės generuojama energija. Šie įrenginiai daugiausiai naudojami autonominėse elektrinėse, kai nėra galimybės prisijungti prie elektros tinklų. Kaupikliai reikalingi kaupti elektros kiekiui, kuris lieka kai apkrovos nėra arba ji yra nepakankama. Kai apkrova viršija pagaminamą energijos kiekį, kaupikliai atiduoda energiją trūkstantam energijos kiekiui patenkinti. Kaupikliai taip pat naudojami slopinti įtampos svyravimus. Įkrovimo/iškrovimo ciklai, temperatūra turi įtakos sąlyginai trumpam kaupiklių tarnavimo laikui. Nepaisant to, kad dauguma saulės elektrinių komponentų bėgant laikui atpigo, kaupikliai išlieka sąlyginai didelių kaštų reikalaujančia autonominių saulės elektrinių dalimi. Išskiriami keli pagrindiniai kaupiklių (akumuliatorių) tipai: nikelio kadmio, švino rūgšties, nikelio metalo hidrido, ličio jonų, ličio polimerų. Atsinaujinančių šaltinių technologijose vis dar daugiausia naudojami švino akumuliatoriai. Sparčiai į rinką skverbiasi ir ličio jonų akumuliatoriai. Nepaisant to, kad ličio jonų akumuliatoriai yra ilgesnio tarnavimo laiko, mažesnių gyvavimo ciklo kaštų, didesnės galios tankio lyginant su populiariausiais švino akumuliatoriais, siekiant ličio jonų akumuliatorių didesnės plėtros, reikalinga, kad šių akumuliatorių kaina taptų patrauklesnė [25].
- **Įkrovimo valdiklis.** Įkrovimo valdiklis reikalingas kaupiklio apsaugai nuo perkrovos arba visiško išsikrovimo. Sprogimas ir/ar gedimas – baterijoje išskiriančių vandenilio ir deguonies dujų rezultatas, kurį gali sukelti per didelis kaupiklio įkrovimas. Per didelis baterijos iškrovimas taip pat žalingas – sumažinamas įrenginio tarnavimo laikas. Įkrovimo valdiklis taip pat užtikrina, kad naktį, saulės moduliams negeneruojant elektros energijos, nevyktų atvirkštinis procesas, t. y. baterijos nepradėtų krauti saulės modulių. Nedidelės galios saulės elektrinėse daugiausia naudojami dviejų tipų įkrovimo valdikliai – serijinis ir šuntinis. Šunto valdiklis – nukreipia srovę nuo akumuliatoriaus šuntuodamas dalį saulės modulių. Serijinis

valdiklis – diegiamas tarp baterijos ir saulės modulių ir priklausomai nuo baterijos įkrovimo lygio jungiklis, esantis valdiklyje, bus uždarytas arba atidarytas [26]. Rinkoje galima rasti keitiklių su integruotu įkrovimo valdikliu.

Saulės elektrinėse pagaminama energija buitiniams vartotojams jau yra tapusi savotišku atsinaujinančių šaltinių energijos išteklių simboliu, tačiau žvelgiant į platesnius energetikos vandenį, negalima nepaminėti dar vienos perspektyvios atsinaujinančių šaltinių rūšies – vėjo elektrinėse pagaminama elektros energijos.

1.1.2. Vėjo elektrinių rūšys ir komponentai

Lygiai taip pat kaip ir saulės, taip ir vėjo energijos naudojimas nuolat sulaukia vyriausybės ir privačių institucijų dėmesio, nes laikomas vienu iš perspektyviausių ir konkurencingiausių atsinaujinančių energijos šaltinių. Vėjas laikomas patraukliu energijos šaltiniu, nes yra švarus, atsinaujinantis, ekonomiškai konkurencingas ir draugiškas aplinkai. Anot Tarptautinės energetikos agentūros 2021 m. vėjo energijos gamyba išsaugo net 55 % daugiau lyginant su 2020 m. Bene vienintelė kliūtis dar didesnei šio atsinaujinančio šaltinio plėtrai – ganėtinai didelės pradinės sąnaudos [27]. Nepaisant fiksuoto rekordinio padidėjimo, pasaulyje tikimasi 557 GW vėjo energijos padidėjimo per artimiausius penkerius metus. Vis dėlto, siekiant nulinės taršos, šie pajėgumai iki 2030 metų turi išaugti bent 4 kartus [28].

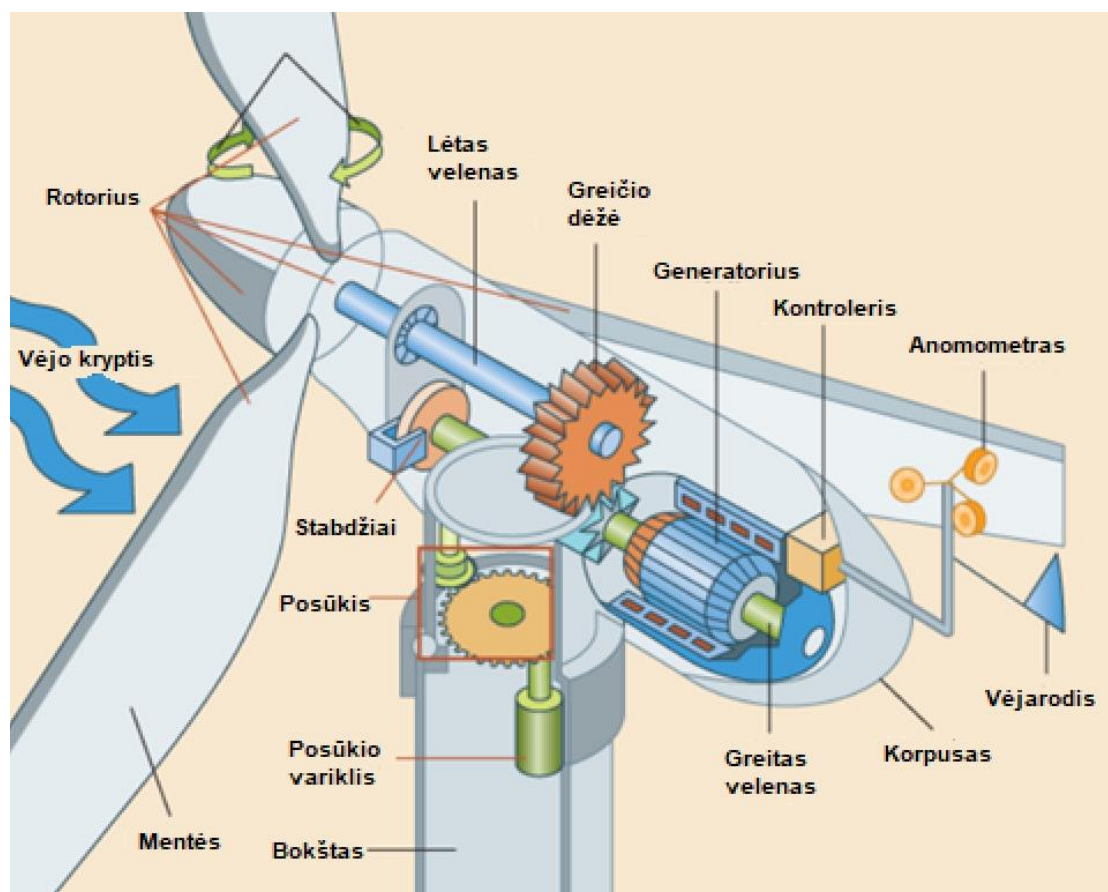
Vėjo turbinos naudoja vėjo kinetinę energiją ir verčia ją į elektros energiją. Vėjo energijos integracijos į energetikos rinką procesas neretai susiduria su problemomis, kadangi vėjo energija yra nepastovi, vėjo greitis kinta tiek erdvėje, tiek laike, o ir oro kintamieji – tokie kaip vėjo kryptis, temperatūra, slėgis, drėgmė – taip pat daro įtaką vėjo energijos gamybai. To pasekoje, atlikti vertinimo tyrimus, reikalingus vėjo parko statybai, tampa ganėtinai sudėtingu procesu [29]. Gerai žinomas faktas, kad vėjo greitis didėja didėjant aukščiui, didėja ir energijos išeigos kiekis, tačiau konstrukciniai ir technologiniai procesai apriboja aukštį, į kurį galima iškelti vėjo turbiną – to pasekoje, nuolat atliekami tyrimai dėl optimalaus stebulės aukščio, siekiant geriausio našumo [30]. Sprendimo ieškoma pasitelkiant fizinius, geometrinius ir aerodinaminius procesus, nustatant parametrus – galios koeficientą, sąnaudas, ašmenų masę bei konstrukciją.

Vėjo turbinos pagal rotoriaus orientaciją skiriamos į horizontalios ir vertikalios ašies vėjo turbinas.

- 7 pav. matoma **horizontalios ašies vėjo turbinos** sandara. Horizontalios ašies vėjo turbinos veikimo principas panašus į tradicinių vėjo malūnų – pučiantis vėjas suka mentes, kurios įsuka kabinoje esantį rotorių, kuris nuo tam tikro greičio (priklausomai nuo gamintojo) generuoja elektros energiją. Nors horizontalios ašies turbinos rinkoje dominuoja dėl našumo, šio tipo vėjo elektrinės taip pat turi minusų – sunkumas susidoroti su vėjo kryptimi. Nuolat keičiantis vėjo kryptiai horizontalios ašies vėjo elektrinių našumas stipriai sumažėja. Taip pat dėl dydžio šioms turbinoms reikalingas didelis plotas [31]. Šiuo metu randama technologijų, padedančių susidoroti su šio atsinaujinančio šaltinio nepastovumu. Valdyti ir išlaikyti pastovų kintančio vėjo dažnį galima vienu iš trejų būdų:
 - Generatoriaus veleno sukimosi greičio valdymas reguliuojant žingsnį ir posūkį (juos galima sureguliuoti taip, kad generatorius kurtų reikiamą dažnį).
 - Antrasis dažnio valdymo būdas naudojamas ir vertikalios ašies vėjo turbinose. Šiame dažnio valdymo būde turbinai leidžiama laisvai veikti, neapribojant jos nominalaus

greičio ir siųsti įtampą į dažnio keitiklį. Turbinai pasiekus maksimalų greitį, įsijungia greičio reguliatoriai.

- Trečias būdas dažnio valdymui yra naudoti dvigubo maitinimo generatorių, kuriame srovė yra reguliuojama iki reikiamo išėjimo dažnio, t. y. srovė tiekama per elektroninę grandinę, kuri kuria reikalingą dažnį [32].



7 pav. Horizontalios ašies vėjo turbinos komponentai [32]

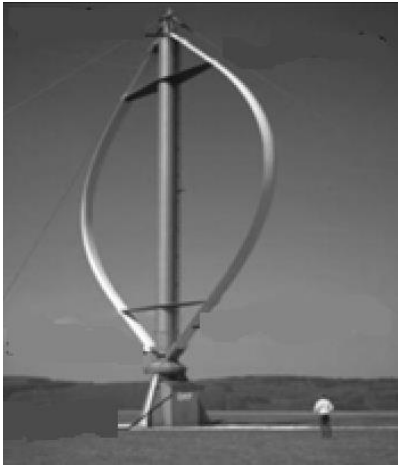
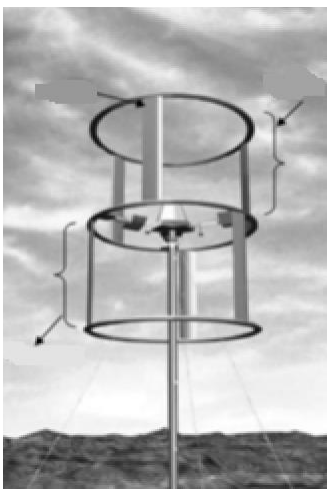
Horizontalios ašies vėjo turbinos laikomos pranašesnėmis už vertikalios ašies vėjo turbinas ir dėl aukštesnių bokštų, nes stipriausias vėjo srautas daugumoje vietų vyrauja aukščiau žemės lygio. Įprastai bokšto aukštis siekia 40-100 metrų, tačiau rinkoje randama ir aukštesnių vėjo turbinų bokštų. Tačiau dėl didelių gabaritų šioms turbinoms reikalingi didesni plotai. Vėjo turbinose svarbus ne tik bokšto aukštis, tačiau ir menčių skaičius. Vėjo turbinų mentes galima palyginti ne tik pagal skaičių, tačiau ir pagal medžiagą, dydį, svorį bei kitus parametrus. Lyginant turbinas pagal menčių skaičių galima teigti, kad dažniausiai rinkose naudojamos 3 menčių vėjo turbinos, tačiau randami ir kitokio menčių skaičiaus įrenginiai. 1 lentelėje pateikiami pagrindiniai skirtingų menčių skaičiaus horizontalios ašies vėjo turbinų privalumai ir trūkumai.

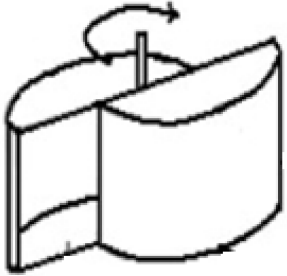
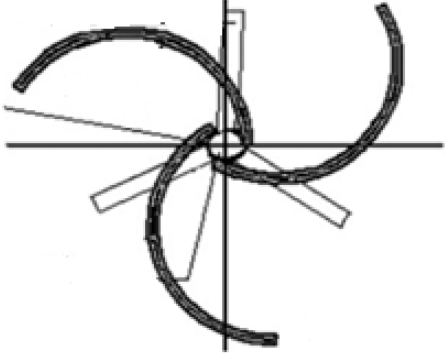
1 lentelė. Skirtinų menčių skaičiaus horizontalios ašies vėjo turbinų privalumai ir trūkumai [32]

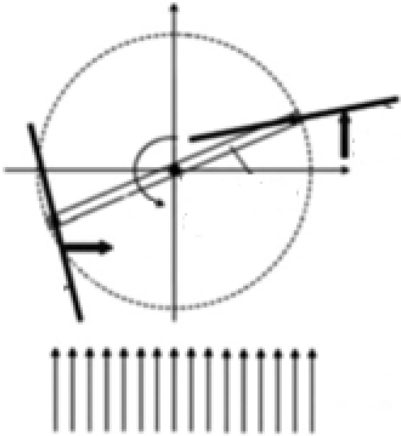
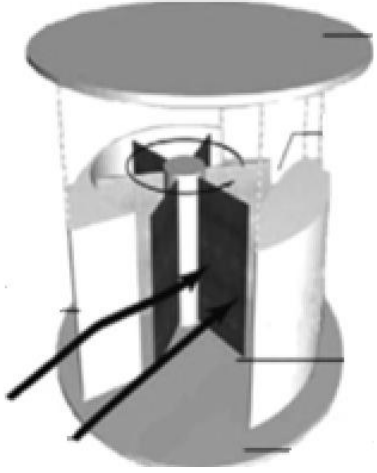
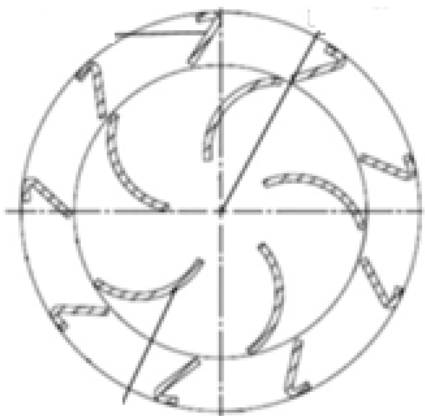
Menčių skaičius	Privalumai	Trūkumai
 8 pav. Vienos mentės, horizontalios ašies vėjo turbina su dviem atsvaromis [32]	Sąlyginai nedidelė kaina. Nedidelis svoris, reikalingas nedidelis ir nesunkus bokštas.	Reikalinga atsvara, didesnis vėjo greitis. Kadangi energijos generacijai reikalingas didesnis vėjo greitis, greičiau dėvisi slankūs komponentai, ko pasėkoje reikalingos didesnės išlaidos turbinos eksploatacijai. Triukšminga. Sklandžiam vienos mentės turbinos naudojimui būtina įsitinkinti, kad turbina tinkamai subalansuota, kad būtų apriboti virpesiai, vibracijos. Dėl minėtų trūkumų vienos mentės turbinos retai naudojamos.
 9 pav. Dviejų menčių horizontalios ašies vėjo turbina [32]	Lyginant su populiariausiomis trejų menčių turbinomis, mažesnės išlaidos, svoris, greičiau sumontuojamos. Siekiant didesnio efektyvumo mentes galima padaryti storesnes ir platesnes.	Kaip ir vienos mentės turbinoms reikalingas sąlyginai didelis vėjo greitis, ko pasėkoje greičiau dėvisi komponentai. Lyginant su trejų menčių turbinomis sąlyginai nedidelis efektyvumas, triukšmingesnės.
 10 pav. Trijų menčių horizontalios ašies vėjo turbina [32]	Trijų menčių sistema padeda išgauti didžiausią efektyvumą, mažiausią vibraciją bei tyliausią veikimą.	Lyginant su vienos ir dviejų menčių turbinomis trijų menčių turbinos sunkesnės, reikalingi dideli statybos kaštai, didesnis ir tvirtesnis turbinos bokštas.
 11 pav. Penkių menčių horizontalios ašies vėjo turbina [33]	Efektyvi energijos gamyba esant nedideliu vėjo greičiui.	Siauresnės, mažesnės todėl mažiau patvarios mentės. Esant dideliu vėjo greičiui neefektyvios ir triukšmingos. Reikalingas labai tvirtas bokštas ir pamatas.

- **Vertikalios ašies vėjo turbinos** turi pakankamai mažą paleidimo sukimo momentą, bei prastą integraciją, lyginant su horizontalios ašies vėjo turbinomis. Vertikalios ašies vėjo turbinų tipai pateikiami 2 lentelėje [34].

2 lentelė. Vertikalios ašies vėjo turbinų rūšys [34]

Tipas	Aprašymas
 12 pav. Kiaušinio plaktuvo tipo <i>Darrieus</i> vertikaliaios ašies vėjo turbina [34]	Šio tipo turbinoje yra dvi ar daugiau menčių išdėstytų plaktuvo forma, t. y. kaip 12 pav. parodyta. Šio tipo turbiną veikia nestiprus pulsuojantis srautas. Šio tipo elektrinės gamybą apriboja pakankamai sudėtingos technologijos menčių gamyba. Tokios formos mentės apriboja ir paleidimo momentą, reikalingas stipresnis vėjas tam, kad turbina generuotų energiją.
 13 pav. <i>Giromill</i> (tiesių menčių) tipo <i>Darrieus</i> vertikaliaios ašies vėjo turbina [34]	Šio tipo elektrinėse yra nuo vienos iki penkių tiesių menčių. Daugiausia rinkoje sutinkamos dviejų, trejų menčių turbinos, kurios gali turėti arba kintamą arba fiksuotą žingsnį. Šio tipo elektrinės daugiausia parduodamos buitinėms reikmėms dėl nedidelio gabarito. Nors vėjo turbina konstrukcija atrodo paprasta, turbina su fiksuoto žingsnio mentėmis paleidimo momentas gana prastas. Kintamo žingsnio turbina paleidimo momentas geresnis, tačiau sudėtingesnė konstrukcija pakelia kaštus, kas sumažina ekonomiškumą.
 14 pav. Ovali kintamos geometrijos <i>Darrieus</i> vertikaliaios ašies vėjo turbina [34]	Aukščiau minėtos vertikalios ašies turbinos (Tiesių menčių bei kiaušinio plakimo tipo) vėjo turbina įprastai nenaudojamos didelio masto gamybai dėl nedidelio rotorius greičio. Šio tipo (ovalaus kintamos geometrijos) veikia kiek kitaip – mentės užuot besisukdamos apie rotorių, juda ant bėgių. Ši turbina vertinama dėl didesnio efektyvumo (esant optimaliai konfigūracijai apie 57 %) bei didesnio stabilumo, kuris padeda sumažinti paleidimo sunkumus.

 15 pav. Trejų susuktų menčių <i>Darrieus</i> tipo turbina [35]	Šio tipo turbina iš kitų išsiskiria įdomesne lenktos formos menčių struktūra. Tokios formos menčių privalumas – sumažintas vėjo srauto atskyrimas. Taip pat, lyginant su kitomis tokio tipo turbinomis, šių pranašumas – greitesnis pasileidimas, kai kitų turbinų paleidimui gali prireikti papildomo mechanizmo. Vėl gi, lenktos mentės sukelia sunkumų gamyboje, todėl išauga kaštai.
 16 pav. <i>Crossflex</i> vertikalios ašies vėjo turbina [34]	Didžiąją dalį anksčiau minėtų turbinų naudojimą šalia pastatų arba integruotų į pastatus apriboja architektūra, estetika, reikalavimai. Šio tipo turbina vadinamos į pastatą integruotomis turbinomis, nes puikiai dera su pastato konstrukcijomis ir galbūt net suteikia žavesio ir šiuolaikiškumo pastatams. Šio tipo elektrinės turi stabilų pagrindą, tad sumažinamos vibracijos, šio tipo elektrinės generuoja energiją iš bet kurių vėjo kryptų. Šio tipo elektrinės gali būti išnaudojamos visuose pastato kampuose, tad gali būti sugeneruojami sąlyginai nemaži energijos kiekiai.
 17 pav. <i>Savonius</i> tipo vertikalios ašies turbina [34]	<i>Savonius</i> tipo turbina susidaro iš tuščiaidurių cilindrų kurie pritvirtinti prie centrinio besisukančio veleno. Šio tipo turbina efektyvumas yra žemesnis nei anksčiau minėtų <i>Darrieus</i> tipo turbinų (siekia vos 20 %). Šio tipo turbina dažniausia nenaudojamos energijos poreikio tenkinimui, daugiau šio tipo elektrinės naudojamos vėjo matavimams. Didžiausias šios turbina privalumas – savarankiškas įsijungimas.
 18 pav. Kombinuota <i>Savonius</i> ir <i>Darrieus</i> vėjo turbina [34]	Tiek aukščiau minėtos <i>Darrieus</i> tiek <i>Savonius</i> vėjo turbina turi tiek privalumų tiek trūkumų. Siekiant apjungti abiejų tipų privalumus, pasiūlyta aukštesnio galios koeficiento, didesnio sukimo koeficiento <i>Darrieus</i> ir <i>Savonius</i> tipo turbina.

 19 pav. Pusiau rotacinė dviejų lapų vėjo turbina [34]	Tokios struktūros vėjo turbina dėl nevienodo judėjimo suteikia didesnį efektyvumo koeficientą, bei turi ganėtinai nemažą savarankiško pasileidimo galimybę. Šio tipo turbina labiau tinkama kalnuotoms vietovėms dėl paprastos lengvai montuojamos konstrukcijos bei lengvos priežiūros. Tačiau, vis dar opus klausimas dėl šios turbinos veikimo, stabilumo ir tvarumo esant dideliame vėjo greičiui.
 20 pav. Sistan tipo vėjo turbina [34]	Šios turbinos lengvai integruojamos į pastatus. Šioje turbinoje pridedant diskus rotorius apačioje ir viršuje taip patobulinama tradicinė vėjo turbina. Šių diskų pridėjimas efektyvumą padidina iki 30 %. Prognozuojama, kad padidinus menčių skaičių iki 6, efektyvumas gali padidėti dar 6-7 %.
 21 pav. Zefyro tipo vėjo turbina [34]	Statoriaus mentės su atvirkštiniais sparneliais – šios turbinos išskirtinumas. Šioje turbinoje vėjo srautas pirma patenka į menčių žiedą, kuris tam tikru kampu smogia į rotorį. Mentelių naudojimas sumažina menčių apkrovą ir srauto turbulenciją. Šio tipo elektrinės nenaudojamos komercinėms reikmėms.

Visų aukščiau minėtų vėjo turbinų parametrai labai svarbūs konstrukcijos optimizavimui. Vėjo srautas, apkrovos, sukimo koeficientai – itin svarbūs parametrai analizuojant šių turbinų veikimą. Vertikalios ašies vėjo turbina perspektyvesnė ten kur vėjas chaotiškas ir kur didelėms, horizontalios

ašies elektrinėms įrengti nėra pakankamai vietos [36]. Taip pat, šio tipo turbinos daugiau naudojamos ne komerciniams tikslams.

Dar vienas vėjo elektrinių klasifikavimo būdas – pagal lokaciją kurioje išsidėsčiusios – jūrinės ir sausumos.

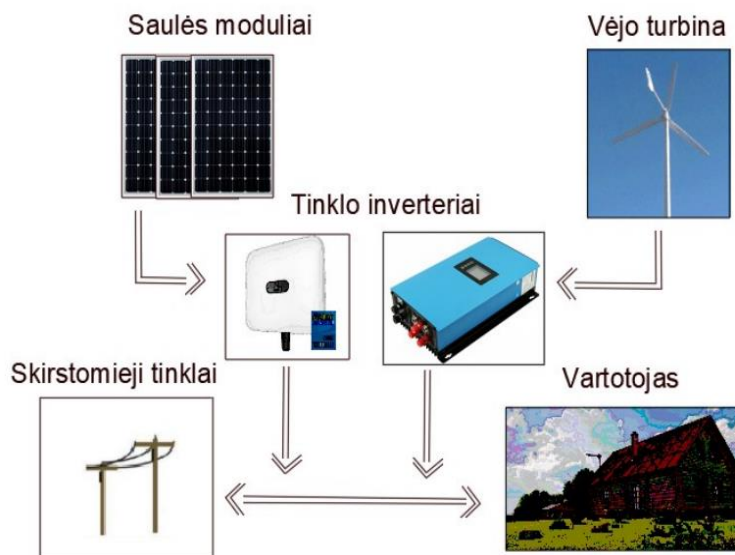
- **Jūrinės vėjo elektrinės** turi daugiau potencialo dėl didesnio vėjo greičio jūroje, ko pasekoje gaunama didesnė gamyba. Daugiausia vėjo parkų įdiegta Europoje, po to Azijoje ir Amerikoje. Pagrindinė kliūtis, trukdanti didesnei vėjo elektrinių plėtrai jūroje – vėjo jėgainių projektai reikalauja daug kapitalo. Pradinės finansinės investicijos sudaro maždaug tris ketvirtadalius visų projekto išlaidų. Ši vertė yra labai didelė, palyginti su įprastomis elektrinėmis, kur investicijų sąnaudos paprastai sudaro 40 % projekto eksploatavimo trukmės sąnaudų. Europoje daugiausiai, net 81 % visų investicijų į jūros vėjo parkus, investavusios yra Jungtinė Karalystė ir Vokietija [37].
- **Sausumos vėjo elektrinės.** Beveik visa vėjo energija iki 2000 metų buvo pagaminta sausumos vėjo elektrinėse. Šio tipo jėgainės susiduria su iššūkiais – stipriai kintantis vėjo greitis, ko pasekoje, esant netinkamam vėjo greičiui, turbinų efektyvumas stipriai krenta [38]. Sausumos vėjo elektrinių įrengimas yra lengvesnis ir ženkliai pigesnis nei jūrinių elektrinių. Tačiau, nepaisant privalumų, sausumos vėjo turbinos gadina kraštovaizdį, kelia triukšmą ir pagamina žymiai mažiau energijos lyginant su jūrinėmis turbinomis [39].

Nepaisant visų atsinaujinančių energijos šaltinių privalumų ir trūkumų, siekiant sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, oro taršą, skatinti energetinį nepriklausomumą, atsinaujinantys šaltiniai matomi kaip didelė ir reikšminga pasaulio energetikos sektoriaus dalis [40].

1.1.3. Hibridinės elektrinės

Saulės ir vėjo elektrinės neretai kritikuojamos dėl nepastovios ir tiesiogiai nuo oro ir klimato pokyčių priklausomos generacijos. Šiems trūkumams sumažinti kombinuojamos dviejų ar daugiau atsinaujinančių šaltinių elektrinės. Tokia dviejų šaltinių sistema, kurioje vienos dalies stiprumas papildoma kitos dalies silpnumą vadinama hibridine atsinaujinančių energijos šaltinių elektrine. Tokioje sistemoje dažniausiai kombinuojamos saulės ir vėjo atsinaujinančių šaltinių elektrinės, nes žiemos metu ir esant vėjuotoms dienoms didesnę energijos poreikį dalį tenkina vėjo elektrinės dalis, o saulėtomis ir mažiau vėjuotomis vasaros dienomis poreikius tenkina saulės elektrinės dalis. Hibridinės sistemos pritaikomos tiek autonominėse tiek į tinklą jungiamose sistemose. Integruojant hibridinę elektrinę į skirstomąjį elektros tinklą užtikrinamas stabilesnis energijos tiekimas (žr. 22 pav.). Tokios sistemos įjungimas į elektros tinklą padeda sumažinti vienas iš pagrindinių tinklų problemų, tokių kaip įtampos ir dažnio svyravimai, harmonikos atsirandančios dėl netolygiai negeneruojančių į tinklus jungiamų saulės ar vėjo elektrinių.

Hibridinė sistema ypač vertinama vietovėse esančiose toli nuo elektros tinklų arba vietovėse kur šių tinklų įrengimas ir eksploatavimas yra sudėtingas ir/ar neekonomiškas dėl didelių sąnaudų ar reljefo nepalankumo. Diegiant atskiras vėjo ar saulės autonomines sistemas siekiant pastovaus energijos poreikio patenkinimo reikalinga didelė ir brangi kaupiklių sistema, tačiau šią sistemą papildant kitu atsinaujinančiu energijos šaltiniu taip sudarant hibridinę sistemą, kaštai kaupiklių sistemai sumažinami, nes hibridinė sistema lyginant su vieno atsinaujinančio šaltinio generacija užtikrina stabilesnį energijos poreikio tenkinimą [41].



22 pav. Hibridinės – saulės ir vėjo – elektrinės blokinė schema

Prie keleto aukščiau minėtų hibridinių sistemų privalumų priskiriami šie:

- Prijungiant hibridinę sistemą prie elektros tinklų dėl tolygesnės generacijos rečiau reikalinga tinklo rekonstrukcija;
- Lyginant hibridinės sistemos generuojamos energijos kiekį ir išlaidas elektrinės įrangimui su individualios saulės ar vėjo elektrinės generuojamu energijos kiekiu ir išlaidomis įrangimui, hibridinės sistemos įrengimo kaina gali būti 2-2,5% mažesnė lyginant su saulės ar vėjo įrengimu;
- Hibridinės sistemos įrengimui našiau išnaudojami žemės sklypai. T. y. nereikia atskirų sklypų saulės ir vėjo elektrinėms įrengti, jos gali būti įrengiamos viename sklype.

Hibridinėms sistemoms priskiriami trūkumai:

- Nepaisant sąlyginai mažesnių lyginant su atskiromis saulės ir vėjo elektrinėmis investicijų sistema išlieka reikalaujanti nemažų pradinių investicijų;
- Įrengiant hibridines sistemas miesto vietovėse dėl aukštų pastatų ir nedidelio vėjo greičio nukenčia vėjo elektrinės dalies našumas.
- Ne visas vėjo turbinas galima kombinuoti į hibridinę sistemą.
- Įrengiant saulės ir vėjo elektrinę viename žemės plote šalia viena kitos ir netinkamai įvertinus įrengimo sąlygas vėjo turbinos mentės gali mesti šešėlį ant saulės fotovoltinių modulių taip sumažindamos saulės elektrinės dalies efektyvumą [41].

Nors hibridinės sistemos taip pat kaip ir atskiros saulės ir vėjo sistemos turi reikšmingų trūkumų, žvelgiant į ateitį vietovėse kuriose tinkamos sąlygos saulės ir vėjo sistemų plėtojimui hibridinės sistemos gali reikšmingai ir stabiliai prisidėti prie energijos poreikių tenkinimo.

1.2. Atsinaujančių energijos šaltinių skatinimo politika

Vyriausybė bei kitos atsakingos institucijos naudoja atsinaujančių šaltinių skatinimo politiką, siekdami, kad diegiami atsinaujinantys šaltiniai sumažintų mokesčių mokėtojų išlaidas, elektros vartotojų išlaidas bei skatintų tvarų vystymąsi. Iš dalies galima teigti, kad vyriausybė, institucijos susiduria ne tik su aplinkosaugos ekspertų bet ir visuomenės spaudimu, todėl ieško kelių energija

apsirūpinti tvariai. Vis dėlto, nemažai daliai visuomenės vis dar trūksta žinių tvarios energijos aspektu. Nepaisant švietimo stokos, dauguma vartotojų pritaria atsinaujinančios energetikos plėtrai, todėl parama atsinaujinančiai energetikai nuolat auga. Pastebėta, kad didesnės paramos atsinaujinančių energijos šaltinių politika sulaukia iš aukštesnį išsilavinimą turinčių asmenų: kuo didesnis skirtumas tarp žmonių išsilavinimo, tuo didesnis skirtumas pastebimas tarp nuomonių į atsinaujinančius šaltinius [42].

Atsinaujinančių šaltinių projektai vertinami pagal tris kriterijus: išlaidas, atsinaujinančių šaltinių įdiegtą pajėgumą, atsinaujinančių šaltinių naudojimo greitį. Atsinaujinančių šaltinių politikoje stebimos kelios tendencijos. Pirmiausia, vyriausybei ilginant atsinaujinančių šaltinių diegimo rėmimo trukmes, didėja atsinaujinančių šaltinių naudojimas, tai lemia ir sumažėjusi technologijos kaina. Antra, tikėtina, kad politinė parama laikui bėgant bus sumažinta, nes investuotojai tikisi didesnės grąžos. Trečia, subsidijuojamos paskolos tampa patrauklios investuotojams, nes didina projekto grynąją dabartinę vertę, kartu padėdamos projektui lengviau įsilieti į rinką. Valdžios institucijoms nėra lengva nustatyti pirmenybę atsinaujinančių šaltinių projektams. Tą sąlygoja keletas priežasčių, kurios taip pat daro įtaką atsinaujinančių šaltinių skatinimo politikai: anglies dioksido emisijų lygis, šalies ekonominė padėtis, pramonės išsivystymo lygis bei tarptautinė iškastinio kuro kaina [43]. Nepaisant visų kliūčių, tarptautinės organizacijos skatina valstybes žengti tvarumo keliu – sudaromi paktai, kuriamos prekybos sistemos.

1.2.1. Pasaulio ir Europos taršos mažinimo, tvarumo skatinimo susitarimai

1994 m. susikūrė iki pat šių dienų veikianti Jungtinių Tautų bendroji klimato kaitos konvencija (JTBKKK). Šiuo metu ši tarptautinė organizacija vienija 198 šalis ir siekia sustabdyti klimato kaitą bei žalingą žmogaus įtaką klimatui [44]. Šios organizacijos dėka pasirašyti šie tarptautiniai taršos mažinimo susitarimai:

- 1997 m. pasirašytas susitarimas, vadinamas *Kioto protokolu*, kuris dėl sunkaus ratifikavimo įsigaliojo tik 2005 metais, jau nuo pat pradžių buvo diskutuojamas. Kioto protokolu siekiama, kad didžiausią pramonę turinčios šalys per pirmąjį įsipareigojimo laikotarpį (iki 2012m.) vidutiniškai 5,2 % sumažintų išmetamų teršalų kiekį. Protokolas žymus ir reikšmingas dėl bendro ir vieningo tarptautinio požiūrio – net daugiau nei 190 šalių susivienijo bendram tikslui. Nepaisant didžiulio susivienijimo kilniam tikslui, protokolas nuo pat pradžių sulaukė nemažai kritikos. Dalis specialistų teigia, kad tuo metu esančios pramoninės valstybės, išmetančios didžiausius teršalų kiekius, buvo apkraunamos nepagrįstai. Ši nuostata grindžiama argumentu, jog per laikotarpį, kurio metu pramoninės mažins šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, ne pramoninės valstybės, kurioms įsipareigojimai negalioja išsiverš į priekį pagal išmetamą teršalų kiekį. Protokolas laikomas ne itin sėkmingu ir dėl nedidelių nuobaudų – už protokolo įsipareigojimų nevykdymą numatyta 1,3 dydžio nuo padarytos žalos vertės bauda, tačiau pastaroji taikoma, tik sutinkant šaliai pažeidėjai. Tokios nuobaudos laikomos neveiksmingos ir nedidelės, lyginant su kituose protokoluose taikomomis nuobaudomis (pvz., Monrealio protokolo nevykdančioms šalims taikomos prekybos sankcijos). Nepaisant kritikos, pramoninių šalių išmetamas teršalų kiekis sumažėjo 6-7 %, lyginant su teršalų kiekiu, kuris būtų išmetamas protokolo neratifikavus. Kioto protokolas laikomas pirmu tvirtesniu tarptautiniu žingsniu mažesnės taršos link [45].
- 2015 m. pasirašytas naujo entuziazmo klimato kaitos pokyčių srityje įkvėpęs *Paryžiaus susitarimas*. Paryžiaus susitarimas laikomas silpnesniu nei Kioto, nes Paryžiaus susitarimas daugiau paremtas susitarimu, kuriame dalyvaujančios šalys pasieks išsikeltą nacionalinį tikslą

savanoriškai. Jokių nuobaudų nesilaikant susitarimo šalims nėra numatyta. Susitarimu, taip pat įsipareigojama, kad ekonomiškai stipresnės šalys ekonomiškai silpnesnėms padės pasiekti užsibrėžtus tikslus. Įvardijami trys pagrindiniai Paryžiaus susitarime išsikelti tikslai: lyginant su iki pramoniniu laikotarpiu išlaikyti temperatūros kilimą žemiau 2 °C; skatinti atsparumą klimato kaitai ir mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo kiekį taip, kad nekiltų grėsmės maisto gamybai; užtikrinti, kad finansiniai srautai būtų kuo draugiškesni aplinkai. Finansiniai ir ekonominiai ištekliai turi būti nukreipti nuo taršių aplinkai projektų į aplinkai draugiškus – tokia yra Paryžiaus susitarimo žinutė politikams, pramonei, investuotojams [46].

Daugiau nei du dešimtmečius Europos sąjunga yra lyderė kovoje su klimato kaita. Europos Sąjungoje veikia didžiausia ir pirmoji pasaulyje veikianti prekybos sistema – *apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema*, skirta mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetamą kiekį. Apyvartinių taršos leidimų sistema nustato bendrą didžiausią anglies dioksido, azoto oksido ir perfluorangliavandenilių išmetamą kiekį ir apima daugiau nei 11 tūkst. energiją naudojančių ir gaminančių įrenginių ir orlaivių. Tai sudaro apie 45 % viso Europos sąjungoje išmetamo šiltnamio efektą sukeliančio dujų kiekio [47]. 2001 m. pasiūlyme apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemos buvo pasirinktas įgyvendinimo metodas suteikiantis daugiau laisvės valstybėms, t. y. šalys galėjo nuspręsti kiek ir kokių leidimų valstybės gali parduoti. Tokiu principu, kai kiekviena valstybė atsakinga už valstybėje veikiančius taršius įrenginius, kurie turėtų būti įtraukti į programą, buvo įgyvendinti I ir II programos etapai. Europos Komisija pirmuoju programos įgyvendinimo etapu siekė, kad skiriamos lėšos būtų tinkamai išnaudotos, todėl šalys turėjo įrodyti, kad išduodant leidimus prisidedama prie Kioto protokole nustatytų tikslų sumažinti taršą. 2006 metais pasirodžius pirmiesiems programos įgyvendinimo rezultatams paaiškėjo, kad leidimų rinkoje buvo per daug, vis dėlto lyginant su laikotarpiu kai apyvartinių taršos leidimų sistema dar neveikė programą įgyvendinant CO₂ kiekis buvo sumažintas, tačiau sunku nustatyti kiek efektyvus mažinimas buvo pasiektas [48]. 2008-2012 metais prasidėjęs antrasis apyvartinių taršos leidimų sistemos vykdymo etapas sutapo su Kioto protokolo pradžia, todėl Europos Sąjunga nustatė griežtesnę išmetamų teršalų ribą, padidino baudas ir į programą įtraukė papildomą elementą kuriam pradedami taikyti apribojimai – azoto oksidą. Tačiau 2008 metais prasidėjusi ekonomikos krizė sumažino įmonių išmetamą teršalų kiekį, todėl leidimų kaina sumažėjo nuo 30 iki mažiau nei 7 eurų. 2009 metais peržiūrėjus sistemos vykdymą trečiajam etapui buvo nuspręsta viršutinę ribą sumažinti iki 1,74 % per metus, kad būtų pasiektas tikslas – 2020 metais 21 % sumažintas išmetamų teršalų kiekis lyginant su 2005 metais [49]. Apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema pasirodė esanti veiksminga, įrenginiai kuriems ši programa taikoma, nuo 2005m. iki 2019m. apie 35 % sumažino išmetamųjų teršalų kiekį [50]. Paskutiniam IV etapui (2021–2030 m.) numatyta, kad išmetamųjų teršalų kiekis sumažės mažiausiai 43 % lyginant su 2005 metais [48]. Apžvelgus keletą pasaulio ir Europos taršos mažinimo susitarimų, galima teigti, kad nėra vieno stebuklingo susitarimo ar priemonės kuri visiškai panaikintų taršą, tačiau pamažu vykdomos taršos mažinimo priemonės dalinai prisideda prie pasaulinio tapimo klimatui neutraliems [51].

1.2.2. Finansinis tvarios energetikos skatinimas

Tarptautiniai susitarimai ne vienintelė priemonė taršos mažinimui. Tvarių finansų sąvoka vis garsiau girdima pasaulyje. Tvarus finansavimas – procesas, kai finansuojami aplinkai draugiškesni projektai, taip pat atsižvelgiant į socialinius ir valdymo aspektus [52]. Tvarių projektų skatinimas yra viena iš šių dienų finansinių strategijų. Toliau bus apžvelgiamos pagrindinės finansinės iniciatyvos, skirtos tvarios energetikos skatinimui Europos Sąjungos ir Lietuvos mastu.

- Vienas iš pajamų šaltinių tvarių projektų finansavimui – *žaliosios obligacijos*. Žaliosios obligacijos – vertybiniai popieriai, leidžiami siekiant pritraukti pajamų tvariams projektams įgyvendinti. Žaliųjų obligacijų, kaip ir daugumos tvarių idėjų, populiarumas pastaruoju metu išaugo. Atsakomybė aplinkai – žaliąsias obligacijas propaguojančių įmonių signalas siunčiamas investuotojams. Žaliąsias obligacijas norinčioms leisti įmonėms keliama papildomi reikalavimai, įmonės tikrinamos, siekiant įsitikinti, kad iš obligacijų gautais pinigais finansuojami tvarūs projektai. Todėl manoma, kad įmonėms palankesnis variantas leisti paprastas obligacijas ir gautas pajamas investuoti į tvarius projektus, paaiškęs jiems esant finansiškai pranašesniais už kitus projektus. Žaliosios obligacijos leidžiamos dėl trejų priežasčių:
 - ✓ Investuotojai gauna stiprų signalą apie įmonės atsakomybę aplinkai;
 - ✓ Vietoje galimai klaidinančių ir neteisingų teiginių apie įmonės išsipareigojimą aplinkai, įmonė išleidžia žaliąsias obligacijas be papildomų eskalavimų apie įmonės tvarumą aplinkai.
 - ✓ Investuotojai investuodami, o leidėjai leisdami žaliąsias obligacijas siekia ne tik finansinės naudos, tačiau ir visuomenės palankumo.

Žaliųjų obligacijų populiarumas kasmet auga. 2013m. išleistos vos 16 obligacijų kurių vertė – 5 milijardai JAV dolerių, 2018m. išleistos 396 obligacijų emisijos už 95,7 mlrd. JAV dolerių [53], o 2021 m. žaliųjų obligacijų emisijų išleidimas pasiekė rekordą – išleista už 1,1 trilijoną JAV dolerių [54]. Žaliosios obligacijos daugiausiai paplitusios energetikos, transporto, komunalinių paslaugų srityse – įmonėse kurių veikla tiesiogiai susijusi su aplinka. 2013-2018 metų laikotarpiu daugiausiai žaliųjų obligacijų išleista Jungtinėse Amerikos Valstijose, antroje vietoje – Kinija. Manoma, kad žaliosios obligacijos daro teigiamą įtaką ne tik aplinkosauginiu, bet ir finansiniu bei socialiniu aspektu [53].

- Pirmasis klimatui neutralaus poveikio žemynas, su nuliniu šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų lygiu iki 2050 m. ir sėkmingas ekonomikos augimas nepriklausant nuo išteklių – du pagrindiniai Europos komisijos sukurtos strategijos *Europos žaliasis kursas* tikslai. Žaliasis kursas, tai dar viena Europos komisijos strategija siekianti harmonijos tarp žmogaus ir gamtos. Šiuo kursu siekiama Europos gyventojus aprūpinti kokybišku maistu, kurio gamyba daro kuo mažesnę neigiamą poveikį aplinkai, saugo gamtos įvairovę, tokia strategija prisidėtų prie klimato kaitos mažinimo. 2023-2024 m. Europos Sąjungos šalys išsipareigoja 22,5 %, o 2023-2027 m. bent 25 % tiesioginių išmokų skirti tvariam ūkininkavimui [55]. Kadangi žaliojo kurso politika jau yra įgyvendinama, pamažu pradeda aiškėti pirmieji faktai apie programos vykdymą, kurie pateikiami 3 lentelėje.
- Inovacijos ir moksliniai tyrimai taip pat gali prisidėti prie taršos mažinimo. 2020 metais pradėjo veikti tarptautinį bendradarbiavimą ir konkurencingumą, mokslą ir inovacijas apimanti programa „*Europos horizontas*“ [56]. Kasmet su šia programa moksliniams tyrimams ir inovacijoms skiriama 95,5 mlrd. EUR. Programa ne tik skatina naujoves, tačiau ir sukuria papildomų darbo vietų, įtraukia jaunuosius talentus [57].

3 lentelė. Faktai apie Europos žaliojo kurso vykdymą [58].

Eil. Nr.	Europos žaliojo kurso programos vykdymas
1.	Europos žaliojo kurso programos įgyvendinimui pasirengusios tik mažiau nei pusė organizacijų.
2.	Įmonės susiduria su iššūkiais – įgūdžių ir procesų koordinavimo trūkumas, kurie reikalingi suprasti visas programos įgyvendinimo subtilybes, įvertinti išlaidas, užtikrinti sėkmingą perėjimą prie tvaresnės ekonomikos.
3.	Atliktos apklausos parodė, kad 2/3 įmonių jau skyrė lėšų, kad per ateinančius 3-5 metus taptų aplinkai draugiškesnėmis.
4.	Įmonės vykdo tvarumo politiką: 78 % įmonių siekia švarios energijos suvartojimo; 60 % įmonių mažina energijos suvartojimą; 59 % įmonių mažina atliekų ir plastiko suvartojimą; 59 % mažina anglies dvideginio išmetimą.
5.	Teršalų kiekis išskiriamas gamyboje – 44 %, platinime – 27 %, pirkimuose – 18 % (iš tirtų įmonių dalyvaujančių Žaliojo kurso programoje), šių veiklų išskiriamos taršos mažinimui dedama daugiausiai pastangų.
6.	Tiriant Europos Žaliojo kurso programoje dalyvaujančias įmones paaiškėjo, kad įmonės ketina pakeisti gamybos, tiekimo ir sandėliavimo grandines tvaresnėmis.
7.	Žiedinė politika – dar vienas žaliojo kurso tikslas. Įmonės siekia mažinti susidarančių bei išmetamų teršalų kiekį, skatinti medžiagų perdirbimą ir pakartotinį vartojimą.
8.	Gamybos įmonės tik viena iš žaliojo kurso įgyvendinimo sričių. Programa taikytina žemdirbystei, žemės ūkiui, miškininkystei, laivybai bei kitoms su žeme ir jūra susijusioms veikloms.

- *Viešųjų investicijų plėtros agentūra (VIPA)* – Lietuvos Respublikos finansų ministerijai pavaldi uždaroji akcinė bendrovė savo veiklą pradėjusi 2013m. Viešųjų investicijų plėtros agentūros veikla sėkmingai prisideda prie klimato kaitos mažinimo ir energetinio efektyvumo didinimo. VIPA finansuojama Europos Sąjungos, nacionalinio biudžeto lėšomis bei kitomis tarptautinių organizacijų lėšomis teikia paskolas, garantijas viešiesiems projektams vykdyti. VIPA kartu su Europos energijos efektyvumo fondu investavo į ūkinę bendriją „*Tvariųjų išteklių plėtros skatinimas*“ (TIPS) kurios tiesioginis tikslas – tvarios investicijos. TIPS tiesiogiai finansuoja energetinio efektyvumo gerinimo projektus, saulės elektrinių ir parkų įrengimus, viešųjų pastatų ir gatvių apšvietimo modernizavimą. 2021 m. VIPA 54 % biudžeto skyrė daugiabučių modernizavimui [59].
- Lietuvoje labai populiaru yra Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA) parama, kurią dažniausiai žmonės žino kaip paramą įsirenginėjant saulės elektrines. Tačiau APVA parama yra suteikiama ir suskystintų naftos balionų pakeitimui į kitus energijos šaltinius, elektromobilių krovimo aikštelių įrengimui, mažiau taršių transporto priemonių įsigijimui, visuomeninio transporto ir darnaus judėjimo skatinimui ir kitiems projektams [60].

Pasaulyje, Europoje ir mūsų šalyje kol kas nesukurta viena, šimtu procentu sėkmingai veikianti ir trūkumų neturinti taršos mažinimo priemonė, tačiau didžioji dalis veikiančių programų sėkmingai siekia vieno tikslo – taršos mažinimo. Blieka tikėtis, kad visos jau vykdomos priemonės duos tinkamą rezultatą ateityje.

1.3. Atsinaujinančių energijos šaltinių vystymas darnios plėtros aspektu

Darnus vystymas apibrėžia žmogaus poreikių patenkinimą, kuo mažiau kenkiant gamtai, išsaugojant ją ateities kartoms. Iš dalies galime teigti, kad tai yra šiandieninių žmonių poreikių tenkinimas taip, kad nepakenktų ateities kartų poreikių tenkinimui. Iškiriamos aplinkosauginė, socialinė, ekonominė darnaus vystymosi sritys. Šiuo metu dauguma šalių savo energetinius poreikius tenkina iš iškastinio kuro. Tačiau, iškastinis kuras nėra tvari alternatyva energetinių poreikių tenkinimui, todėl pasaulis pamažu atsisigia į draugiškesnes aplinkai alternatyvas – atsinaujinančius šaltinius [61]. Atlikti tyrimai rodo, jog atsinaujinantys šaltiniai turi teigiamą ir reikšmingą poveikį tiek ekonomiškai stipriose tiek silpnose pasaulio šalyse. Atsinaujinančių šaltinių vystymas įprastai tiesiogiai susijęs su vietovėje prieinamais atsinaujinančiais šaltiniais [62]. Pagrindinė darnaus vystymosi dalis – atsinaujinanti energetika, tam nurodomos trys pagrindinės priežastys:

- Pasaulyje nėra energijos šaltinių nedarančių poveikio aplinkai, tačiau lyginant su kitais šaltiniais atsinaujinantys šaltiniai daro sąlyginai nedidelį poveikį aplinkai.
- Atsinaujinantys šaltiniai yra nesibaigiantys. Jų ištekliai, kitaip nei iškastinio kuro, yra nesibaigiantys ir gali užtikrinti tvarų energijos tiekimą ilgą laikotarpį.
- Atsinaujinantys energijos šaltiniai padeda spręsti vietines problemas, didina tinklo lankstumą, yra prieinami tiek urbanizuotose, tiek neurbanizuotose vietovėse [63].

Kaip ir daugumą sričių taip ir energetikos sektorių formuoja visuomenės nuostatos. Augant žmonių skaičiui ir sąmoningumui didėja ne tik poreikiai, bet ir požiūris į tvarumą. Tvarią energetiką ir atsinaujinančių šaltinių plėtrą gali paskatinti 4 lentelėje įvardytos sąlygos.

4 lentelė. Sąlygos galinčios paskatinti tvarios energetikos plėtrą [63]

Sąlyga	Aprašymas
Informacijos pateikimas visuomenei	Visuomenė yra nepakankamai informuota apie klimato kaitą, energijos panaudojimą, atsinaujinančius energijos šaltinius. Žiniasklaidos priemonės, organizacijos, valstybinės įstaigos ir kiti visuomenei lengvai prieinami šaltiniai turėtų skleisti informaciją – tiesioginis sėkmingas kelias į tvarios energetikos plėtrą.
Švietimas aplinkosauginiu aspektu	Dalinai pirmam punktui priklausanti dalis. Informacijos trūkumas arba neteisingos informacijos pateikimas visuomenei kuria spragas. Turėtų būti sudarytos sąlygos gauti lengvai ir patikimą informaciją tvarios energijos tema.
Inovacijų skatinimas	Apima tiek našesnius technologinius tvarios energetikos sprendimus, tiek inovatyvios informacijos sklaidimą visuomenei.
Atsinaujinančių šaltinių skatinimas	Atsinaujinantys šaltiniai kaip tvarios energijos pagrindas turėtų būti prioretizuojami įvairiose srityse (pvz., valstybės energetikos sektoriaus formavimo politikoje, privačių įmonių ir buitinių vartotojų apsirūpinimo energija vizijose)
Finansavimas	Konkurencinga iš atsinaujinančių šaltinių pagaminamos energijos kaina.
Rezultatai ir išvados	Sukurtų programų, strategijų vertinimas ir išvadų pasidarymas.

1.3.1. Vėjo energijos vystymas darnios plėtros aspektu.

Vėjo energija pasižymi lyginant su kitais energijos šaltiniais labai maža tarša. Lyginant su iškastinio kuro elektrinėmis, vėjo energijos sistemos yra puikus sprendimas, nes eksploatacijos metu jos išskiria sąlyginai nedidelį kiekį aplinką teršiančių dujų bei kietųjų dalelių. Kai kurie iš šių teršalų susidaro ir medžiagų gamybos, statybos ir priežiūros etapuose, tačiau šie kiekiai yra nereikšmingi, palyginti su dideliu teršalų išmetimu iš iškastinio kuro energijos sistemų ir gali būti lengvai išgaunami naudojant fotosintezę. Amerikos vėjo energijos asociacijos (AWEA) duomenimis, dėka vėjo turbinų energetikos sektoriuje į aplinką nebuvo išleista 189 milijonų metrinių tonų CO₂. Taip pat pažymima, kad įprastas vėjo energijos projektas atperka anglies pėdsaką per mažiau nei šešis mėnesius, o vėliau tiekia dešimtmečius visiškai neteršiančios energijos. Kalbant apie kitus išmetimus, kurie sukelia smogą, turintį įtakos astmos priepuoliams bei kitokiems neigiamiems sveikatos padariniams, vėjo energijos sistemos žymiai sumažina tokius teršalus. Buvo užfiksuota, kad vien 2018 m. dėl tokio teršalų kiekio mažinimo visuomenės sveikatai buvo sutaupyta 9,4 mlrd. USD, o tai padarė didžiulį teigiamą poveikį aplinkos ir žmonių sveikatos sektoriams [64]. Be to, vėjo energijos sistemoms nereikia didelio technologinio vandens kiekio, kuris neišvengiamai naudojamas elektros energijai gaminti įprastose šiluminėse elektrinėse. Todėl energijos gamybos ir vandens suvartojimo požiūriu vėjo energija yra puiki alternatyva įprastoms elektrinėms. Akivaizdu, kad vanduo yra labai svarbus ir ribotas šaltinis, todėl bet koks reikšmingas vandens suvartojimo sumažinimas gali padėti geriau tiekti vandenį kitiems tikslams.

Palyginti su įprastiniais energijos šaltiniais, neigiami vėjo energijos sistemų padariniai aplinkai yra gana nereikšmingi. Net lyginant su kitomis atsinaujinančios energijos sistemomis, vėjo turbinos vis tiek turi mažesnę neigiamą poveikį daugumoje, jei ne visose, poveikio kategorijų. Nepaisant to, tai gali turėti įtakos žmogaus gyvenimui, natūralioms ekosistemoms ir gyvenimo būdai. Neigiamus vėjo elektrinių aspektus galėtume įvardyti šiuos: triukšmas, vizualinis aplinkos išdarymas, vietinė klimato kaita ir elektromagnetiniai trukdžiai. Kitos problemos kelia ekologinį susirūpinimą dėl biologinių sistemų trikdžių arba laukinės gamtos (paukščių, šikšnosparnių) ir jūros laukinės gamtos.

Svarbiausias ir daugiausiai diskusijų sulaukęs vizualinis vėjo energijos sistemų ar turbinų poveikis yra *šešėlių mirgėjimas*. Yra dvi šio poveikio pusės, nors viskas gali įvykti vienu metu, ir abi priklauso nuo atstumo nuo turbinos, veikimo intervalų ar darbo valandų bei sąveikos su saulės šviesa, kuri taip pat priklauso nuo šviesos intensyvumo. Pirmoji pusė yra tada, kai šviesa atspindi virš turbinos mentės ir sukelia disko efektą arba periodinius šviesos blyksnius. Nors šis efektas priklauso nuo sukuriamos šviesos intensyvumo, tačiau jį galima sumažinti išlyginus ašmenų paviršių ir naudojant neatspindinčią dangą. Kita pusė – kai judančių ašmenų šešėlis uždengia žemę ir gyvenamąsias zonas. Ši problema gali būti išspręsta vėjo elektrinių plėtrai pasirenkant vietas labiau nutolusias nuo gyvenamųjų zonų. Taip pat šią problemą galima sumažinti įrengus vėjo parką tinkama kryptimi, o saulei šviečiant tokiu kampu, kai mirgėjimo neįmanoma išvengti, vėjo parką tam laikui galima būtų išjungti.

Triukšmas ilgą laiką vėjo jėgainės lydėjo kaip neigiamas aspektas, tačiau inovacijos leidžia sukurti vis tylesnes jėgaines ir valdyti tuos parkus kurie įrengiami netoli urbanizuotų vietovių. Laikui bėgant, vėjo turbinos sumažino ir infragarsus, teigiama, kad vėjo jėgainių skleidžiami infragarsai nedaro neigiamo poveikio sveikatai [65].

Vėjo elektrinės daro neigiamą įtaką *gamtai*. Vėjas pirmiausia paveikia gamtą ir vietos klimatą, pašalindamas augalus ir augaliją iš žemės statybos etapo metu. Tokia veikla, kartu su pamatų kasinėjimais, didelių mašinų naudojimu, didžiulių turbinų dalių transportavimu ir perdavimo/tiekimo linijų prijungimu prie elektros tinklo, gali padaryti papildomos žalos dirvožemiui ir žemei. Manoma, kad šie poveikiai sukelia nedidelius klimato pokyčius, pavyzdžiui temperatūros kilimą dieną ir naktį [64].



23 pav. Vėjo elektrinių vystymo privalumai ir trūkumai

Apžvelgiamas ir vėjo elektrinių neigiamas poveikis biologinei įvairovei ir laukinės gamtos saugumui. Paukščiai yra didžiausios vėjo turbinų mirties aukos visame pasaulyje. Visuomenės susirūpinimas laukinės gamtos saugumu yra suprantamas, nes didėjant vėjo energijos sistemų augimui pasaulyje didėja pavojus vietinėms bioįvairovėms. Todėl lygiai taip pat, kaip ir sprendžiant kitas vėjo elektrinių sukeltas problemas, patartina išmintingai pasirinkti žemę vėjo elektrinės statybai taip, kad žūtų kuo mažiau laukinių gyvūnų [64]. Įrengus turbinas netoli paukščių migracijos kelių išlieka rizika paukščiams atsitrenkti į vėjo turbinas, šikšnosparniams turbinos dar pavojingesnės – dėl sumažėjusio slėgio šiems gyvūnams gali kilti vidinis kraujavimas [66].

Taigi, apibendrinant atliktą analizę galima išskirti vėjo elektrinių vystymo privalumus ir trūkumus kurie matomi

23 pav. Nepaisant visų vėjo elektrinių trūkumų, pastarieji lyginant su kitų, neatsinaujinančių šaltinių išteklių elektrinių trūkumais yra nereikšmingi. Vėjo elektrinėms galimai ateityje pakeitus iškastiniu kuru varomus energijos šaltinius (kiek tai įmanoma nesutrikdant energijos tiekimo) klimatui, gamtai ir žmonėms daromas neigiamas poveikis būtų mažesnis.

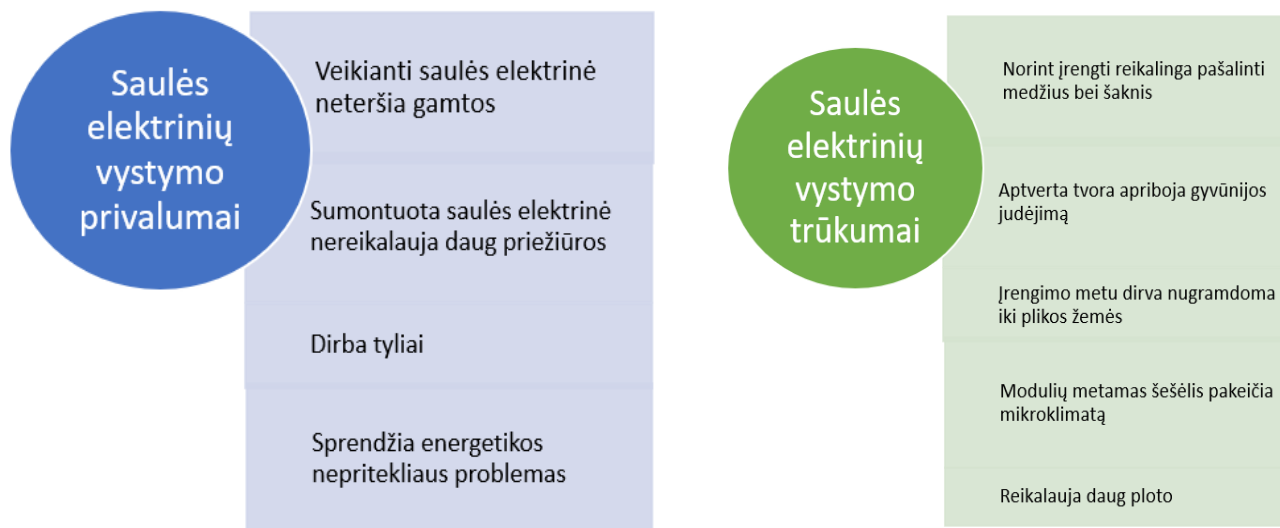
1.3.2. Saulės energijos vystymas darnios plėtros aspektu.

Lyginant su iš iškastinio kuro pagaminama energija, 100W galios saulės fotovoltinis modulis į aplinką neleis išmesti daugiau nei dviejų tonų anglies dvideginio [66]. Saulės elektrinės montuojamos dėl turimų gausybės privalumų, tokių kaip: veikianti saulės elektrinė neteršia gamtos, nes išmeta labai arba visai neišmeta ŠESD, sumontuota saulės elektrinė nereikalauja daug priežiūros, nes neturi judančių dalių, saulės elektrinės sąlyginai ilgaamžės, nes gali saugiai dirbti 20-30 metų, dirba tyliai, saulės elektrinės generuojamas energijos kiekis lengvai padidinamas – padidinus saulės modulių kiekį [67]. Be to, saulės elektrinės tolygiai paskirsto energiją bei sprendžia pasaulines energetikos

nepritekliaus problemas, nes išteklių galima rasti beveik visose žemės vietose. Vis dėlto, poveikis augalams ir gyvūnams yra pagrindinė kliūtis siekiant įgyvendinti saulės elektrinių projektus. Saulės elektrinės kuriamos įvairiose vietose ir ekosistemose – nuo miškų iki dykumų, ar net atogrąžų miškų. Skirtingose vietovėse pasireiškia skirtingas saulės elektrinių poveikis aplinkai. Norint įrengti saulės energijos įrangą ant žemės, reikia pašalinti medžius bei šaknis. Saulės moduliai montuojami ant plieninių ir aliuminio atramų ~1 m virš žemės lygio arba ant betoninių pamatų, arba įkalant į žemę plieninius stulpelius. Sumontavus saulės baterijas, augmenija periodiškai šienaujama, kad neužtemdytų saulės modulių, o tai apriboja augmenijos aukštį iki 1 m aukščio.

Didžiausią poveikį laukinei gamtai ir buveinėms daro pati elektrinė, kuri užima žemę. Jėgainė paprastai yra aptverta tvora, kuri stipriai apriboja gyvūnijos judėjimą. Kai kuriose tvorose yra angos, leidžiančios mažiems gyvūnams patekti į patalpas. Su šiomis angomis arba be jų žemės buveinė labai pasikeičia. Kartais saulės elektrinės įrengimo metu dirva nugramdoma iki plikos žemės ir apsaugoma nuo augmenijos naudojant herbicidus. Patys saulės moduliai meta šešėlį, kuris pakeičia mikroklimatą. Nepaisant visų saulės elektrinių (kaip ir kitų atsinaujinančių šaltinių) privalumų, negalima nuneigti daromos neigiamos įtakos aplinkai, nepastovios, priklausančios nuo paros laiko ir meteorologinių sąlygų generacijos. Toks nenusipėjamumas gali sukelti energijos nepakankamumą. Saulės elektrinės reikalauja daug ploto. Net 17 % JAV ploto reikėtų uždegti saulės moduliais norint patenkinti 50 % šalies energijos poreikių [67].

24 pav. įvardyti saulės elektrinių privalumai ir trūkumai tik parodo, kokią didelę naudą su sąlyginai nedideliais nuostoliais, dalį kurių galima sumažinti arba visiškai pašalinti parinkus tinkamą mažiau naudojamą vietovę.



24 pav. Saulės elektrinių vystymo privalumai ir trūkumai

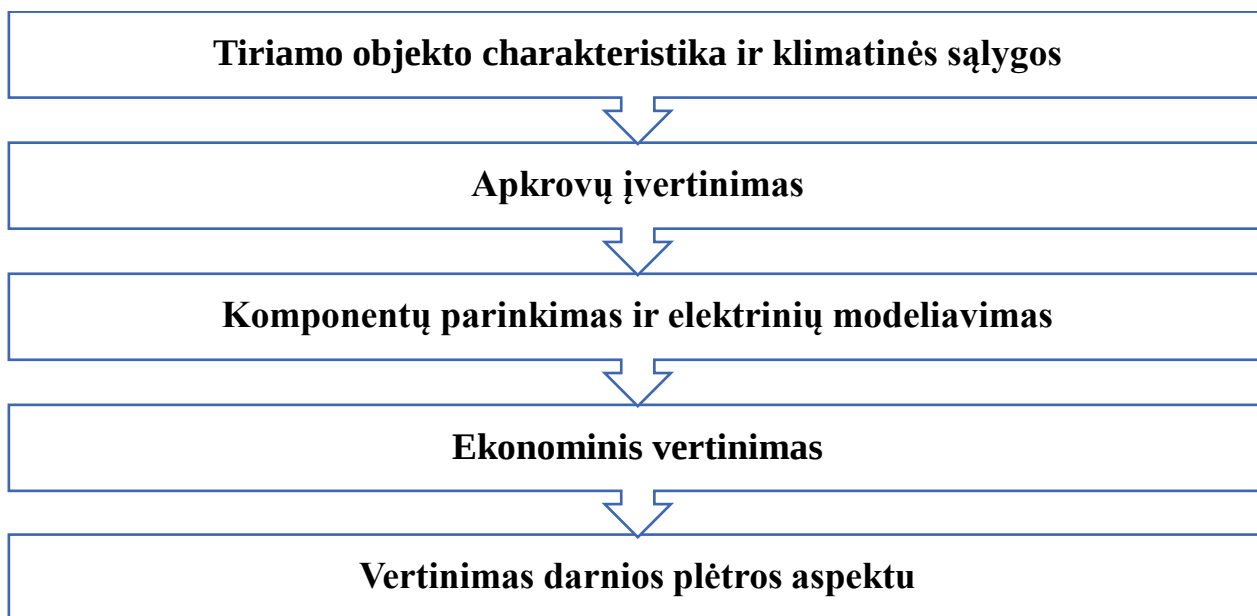
Nepaisant paminėtų neigiamų aspektų, lyginant su iškastinio kuro poveikiu aplinkai, atsinaujinantys energijos šaltiniai yra gera alternatyva, gebanti žmoniją aprūpinti energija be didelio neigiamo poveikio aplinkai. Žmonija, kol kas nėra atradusi aplinkai draugiškesnio būdo pasigaminti energijos, kuri jau daugybę metų yra neatsiejama kasdieninio žmogaus gyvenimo dalis, nei atsinaujinantys šaltiniai.

2. Atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių diegimo gyvenamuosiuose pastatuose metodika

Tyrimas skirtas atsinaujinančių energijos šaltinių – saulės ir vėjo – panaudojimo vertinimo metodo sudarymui, įvertinant objekto vietovę, klimatą ir energijos poreikius.

Tyrimo tikslas: Remiantis sudarytu atsinaujinančių šaltinių diegimo modeliu, nustatyti objekto energijos poreikių patenkinimui tinkamiausius atsinaujinančių energijos šaltinių derinius ekonominiu ir darnios plėtros aspektu.

Tyrimas įgyvendinamas penkiais etapais, kurie pateikti 25 pav.



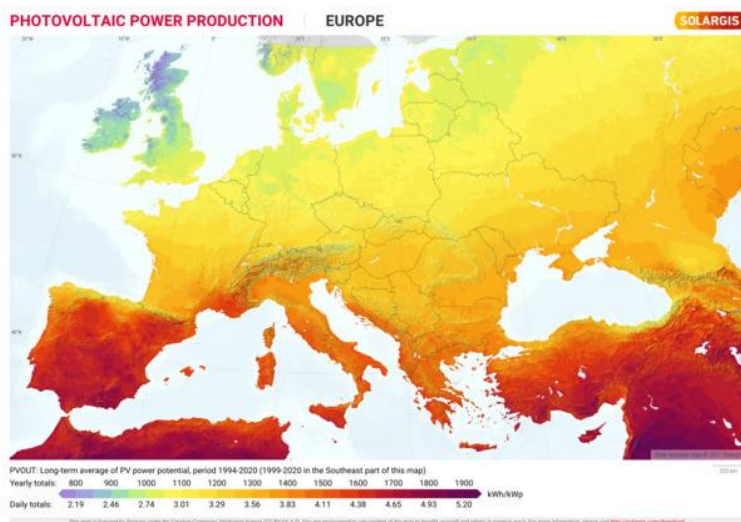
25 pav. Tyrimo etapai

1 ETAPAS. Tiriamo objekto charakteristika ir klimatinės sąlygos. Tiriamas objektas yra Kaune, V. Borisevičiaus g. namų kvartale. Tiriamieji objektai – V. Borisevičiaus g. 80, 82, 84 vieno aukšto šlaitinių stogų gyvenamieji namai. Šiems naujai projektuojamiems namams kitu projektu atitinkamai įrengiami 35 kW (V. Borisevičiaus g. 80), 22kW (V. Borisevičiaus g. 82) ir 11 kW (V. Borisevičiaus g. 84) galios įvadai.

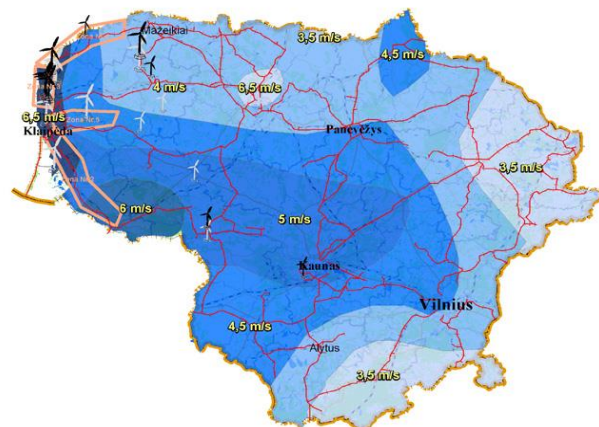
Saulės ir vėjo elektrinių efektyvumui tiesiogiai įtaką klimatinės sąlygos. Lietuva turi pakankamai didelį saulės energetikos potencialą, kaip matoma 26 pav. Daugiausia saulės energijos – Europoje pagaminanti Vokietija vertinama turinti panašų potencialą kaip ir Lietuva. Kaunas pagal Lietuvos pilnutinės spindulinės energijos kiekį per metus patenka į vidutinę zoną ir vidutiniškai į paviršių patenka 976 kWh/m² pilnutinės saulės energijos (5 lentelė) [68].

5 lentelė. Pilnutinė saulės energija per metus kWh/m² [68]

Mėnuo	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Viso:
Kaunas	16	33	70	99	146	155	150	138	90	52	16	19	976



26 pav. Saulės energetikos potencialas Europoje [68]



27 pav. Vėjo greitis Lietuvoje [69]

Kadangi tiriamos ir vėjo elektrinės, reikalinga įvertinti ir vėjo potencialą. Vėjo elektrinės įrengimui geriausia atviros, aukštos kalvos ar vietovės, kuriose nebūtų didelių pastatų ir medžių. Siekiant efektyviai išnaudoti vėjo potencialą vertinamas paviršiaus reljefas, kliūtys trukdančios vėjui pasiekti elektrinę, vietovės šiurkštumas ir vidutinis metinis vėjo greitis. Lietuvoje, kaip matoma 27 pav. didžiausi vėjai pučia pajūryje, tad įsirengiant vėjo elektrinę ten pasiekiamas didžiausias efektyvumas. Tyrimo atveju saulės ir vėjo elektrinės yra vienoje vietovėje – Lietuvos viduryje. Mokslininkų atlikti matavimai rodo, kad 10 m aukštyje vyrauja 5 m/s vidutinis vėjo greitis (27 pav.).

2 ETAPAS. Apkrovų įvertinimas. Vienas iš svarbiausių elektros tinklų ir kitų sistemų projektavimo etapų – tinkamas apkrovų įvertinimas. Netinkamai įvertinus apkrovas galimos avarinės situacijos, finansiniai, fiziniai nuostoliai. Apkrovos gyvenamiesiems pastatams įvertinamos dviem būdais:

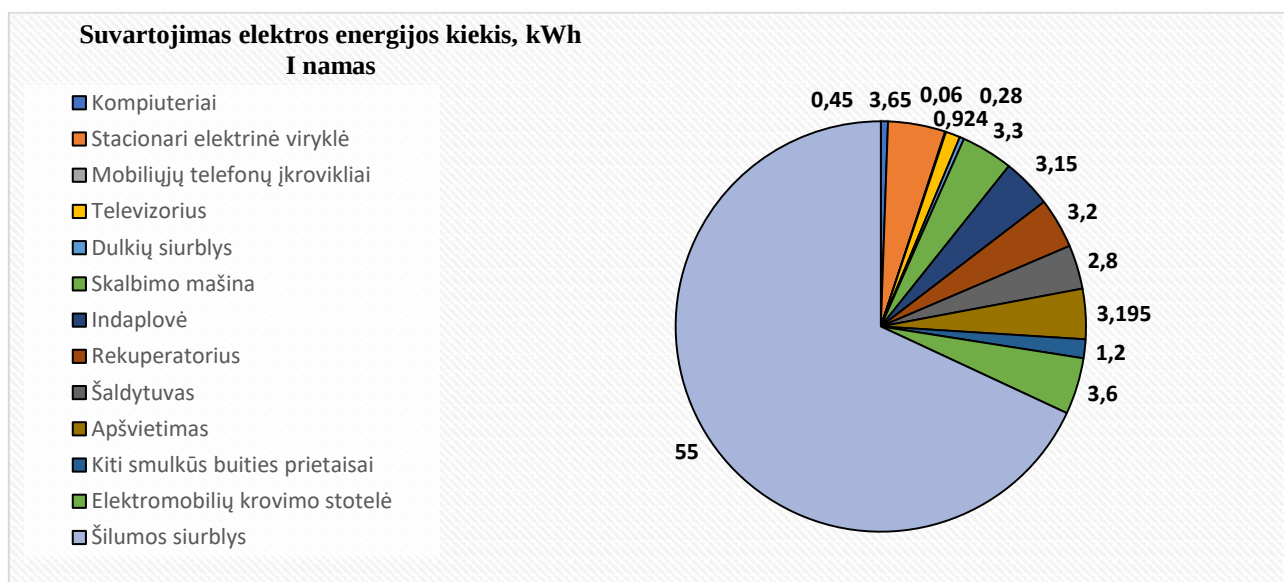
- sudarant apkrovų grafikus;
- Lietuvos respublikos energetikos ministro patvirtinta skaičiuojamąja elektros apkrovų nustatymo metodika naudojant paklausos koeficientus.

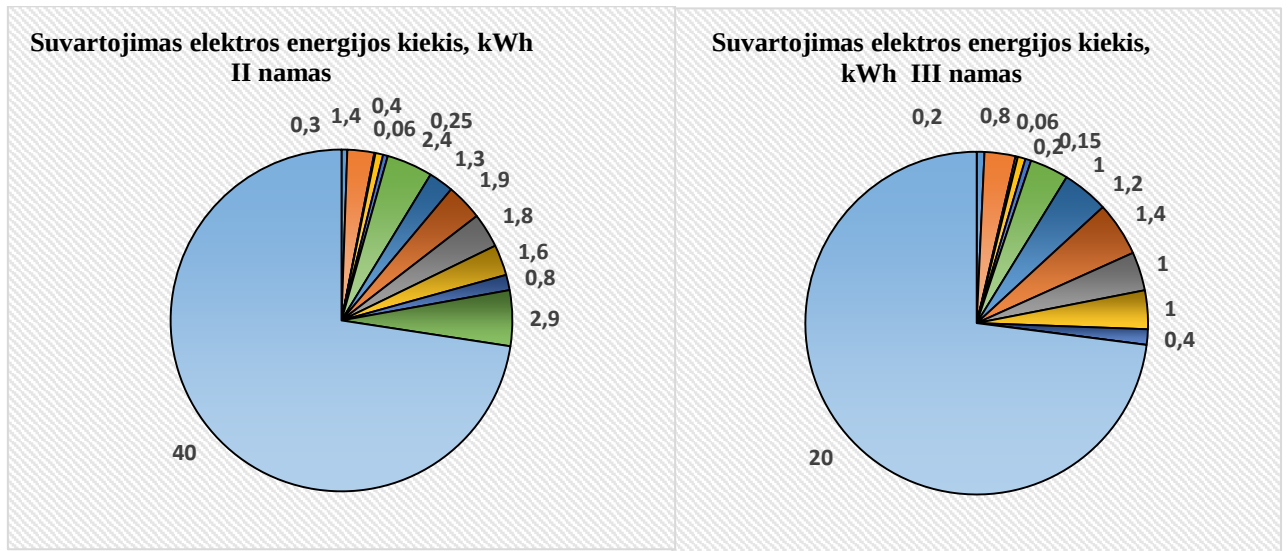
Apkrovų vertinimas sudarant apkrovų grafikus. Apkrovų grafikai sudaromi atsižvelgiant į buityje naudojamus prietaisus, jų galias ir naudojimo valandas. Šie grafikai gelbėja ne tik vertinant energijos poreikius ir identifikuojant prietaisus naudojančius daugiausiai elektros energijos, tačiau ir padeda siekiant sutaupyti. Tinkamai sudaryti apkrovų grafikai padeda vartotojui, nemažinant komforto lygio, sumažinti energijos sąskaitas numatant tinkamesnius vartojimo langus daliai elektros prietaisų [70].

Sudarant apkrovų grafikus vertinama, kad dalis elektros įrenginių dirba budėjimo arba cikliniuose veikimo režimuose. 6 lentelėje pateikiama pirmojo namo žiemos savaitgalio dienos apkrovos lentelė. Darant galutinę išvadą apie energijos poreikį įvertinami energijos suvartojimo pokyčiai keičiantis metų laikams ir savaitės dienoms, priimama, kad tokio pastato metinis energijos poreikis apie 30000 kWh. Tokiu pat principu sudaromos likusių dviejų namų apkrovų diagramos. Visų trejų namų elektros poreikio diagramos pateikiamos 28 pav.

6 lentelė. Pirmojo namo apkrovų vertinimo lentelė (sudaryta remiantis panašaus dydžio namų elektros energijos poreikių vertinimu).

Elektros įrenginys	Vidutinis darbo laikas per parą, h	Vardinė galia, W	Suvartojimas elektros energijos kiekis, kWh
Kompiuteriai	3	150	0,45
Stacionari elektrinė viryklė	1	3650	3,65
Mobiliųjų telefonų įkrovikliai	3	20	0,06
Televizorius	6	154	0,924
Dulkių siurblys	0.5	560	0,28
Skalbimo mašina	1.5	2200	3,3
Indaplovė	1.5	2100	3,15
Rekuperatorius	4	800	3,2
Šaldytuvas	8	350	2,8
Apšvietimas	9	355	3,195
Kiti smulkūs buities prietaisai	3	400	1,2
Elektromobilių krovimo stotelė	1	3600	3,6
Šilumos siurblys	5	11000	55
Viso:			80.809





28 pav. Gyvenamųjų namų elektros poreikiai, kWh

Poreikių vertinimas skaičiuojamuoju elektros apkrovų nustatymo metodu. 2014 m. Lietuvos respublikos energetikos ministras patvirtino įsakymą dėl skaičiuojamųjų elektros apkrovų nustatymo metodikos, kuria apibrėžiama apkrovų skaičiavimo sistema skirstomųjų tinklų bei pastatų apkrovoms skaičiuoti. Įsigaliojusi metodika naudojama ne tik naujai statomiems, tačiau ir rekonstruojamiems ar modernizuojamiems pastatams, kuriems pertvarkoma vidinė elektros instaliacija. Tinkamas apkrovų įvertinimas padeda ne tik išvengti papildomų išlaidų įrenginėjant naujus elektros tinklus, tačiau ir efektyviai bei optimaliai išnaudoti esamus. Apšvietimo, kištukiniams lizdams, stacionarioms elektrinėms viryklėms skaičiuojamosios elektros apkrovos vidinei instaliacijai (P_{SkA}) nustatomos pagal 1 formulę (atitinkamai pagal apšvietimo įrenginių galią, kištukinių lizdų kiekį, stacionarių elektrinių viryklių kiekį keičiant paklausos koeficientus) [71].

$$P_{SkA} = K_{PA} \cdot \sum P_{VardA}, \quad (1)$$

čia, K_{PA} – apšvietimo, kištukinių lizdų, stacionarios elektrinės viryklės įrenginių paklausos koeficientai; $\sum P_{VardA}$ – apšvietimo elektros įrenginių ir kištukinių lizdų įrengtoji galia, bei elektrinių viryklių skaičius (vardinių galių suma), kW.

Pilnutinė skaičiuojamoji elektros apkrova ($S_{\Sigma sk}$) gyvenamajam namui apskaičiuojama:

$$S_{\Sigma sk} = K_{\Sigma} \cdot \frac{\sum P_{sk} + (\sum P_{Proj(leist)} - \sum P_{sk}) \cdot 0,5}{\cos \varphi_{sk}}, \quad (2)$$

čia, K_{Σ} – gyvenamųjų pastatų, butų ar sodybų elektros vartojimo nevienalaikiškumo koeficiento reikšmė; $\sum P_{Proj(leist)}$ – maksimali apkrova (apskaičiuojama sumuojant pirma formule gautus rezultatus), kWh; $\sum P_{sk}$ – gyvenamiesiems pastatams, butams ar sodyboms projektuojamų ir (ar) leistinų naudoti galių suma, kW; $\cos \varphi_{sk}$ – gyvenamųjų pastatų, butų ar sodybų grupės skaičiuojamasis galios koeficientas [71].

Sulyginama maksimali paros apkrovos bei skaičiavimo metodu gauta galia, išvedamas galios vidurkis (S_{vid}) [71]:

$$S_{vid} = \frac{\sum P_{sk} + S_{\Sigma sk}}{2}. \quad (3)$$

Gautas rezultatas parodo, kokios galios elektrinė reikalinga gyvenamajam namui.

3 ETAPAS. Komponentų parinkimas ir elektrinių modeliavimas. Trečiuoju tyrimo etapu modeliuojamos trijų tipų atsinaujinančių energijos išteklių elektrinės – saulės, vėjo ir hibridinė – saulės ir vėjo. Kiekvienas vartotojas (gyvenamasis namas) turi atskirus energijos generavimo šaltinius, t. y. įrengiamos trys atskiros saulės elektrinės pirmuoju modeliu, trys atskiros vėjo elektrinės antruoju ir atitinkamai trys hibridiniai modeliai trečiuoju atsinaujinančių šaltinių elektrinių modeliu.

Saulės elektrinės modeliavimas. Saulės elektrinėms pagal atliekamus įtampos, srovės, trumpųjų jungimų skaičiavimus parenkami komponentai – fotovoltiniai moduliai, keitiklis, kabeliai, apsaugos. Saulės elektrinės gamybos generacijai apskaičiuoti naudojama programa „PVsyst“. Ši programa skirta įvairiems saulės elektrinių projektavimo, tyrinėjimo ir modeliavimo darbams atlikti ir yra inžinierių plačiai naudojama dėl lankstumo ir didelės duomenų bazės vertinant saulės elektrinių komponentus bei klimatinės sąlygas. Programoje yra lanksčios galimybės projektuoti tiek prie tinklo prijungtas tiek autonomines saulės elektrines. Programoje, siekiant gauti kuo tikslesnę energijos gamybos prognozę, įvertinamas saulės modulių pasvirimo kampas, šešėliai, elektrinės komponentai, klimatinės sąlygos, o matant, kad programos siūlomos sąlygos nėra pakankamai tikslios, programa jas leidžia patikslinti. Pasirinkus visus duomenis, pritaikius optimaliausią elektrinės modelį, programa pateikia našumo ataskaitą [72].

Vėjo elektrinės modeliavimas. Vėjo elektrinei atliekami analogiški skaičiavimai kaip ir saulės elektrinei. Iš gamintojo pateiktos galios kreivės panaudojami reikalingi skaičiavimams duomenys.

Prognozuojamas vėjo elektrinės generuojamas energijos kiekis pagal Veibulo parametrus ir vėjo generatoriaus galios kreivę. Skaičiuojant vėjo elektrinės pagaminamą energijos kiekį naudojant Veibulo skirstinio funkciją reikalingas vidurinis metinis vėjo greitis vėjo turbinos aukštyje V_2 :

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^n, \quad (3)$$

čia, V_1 – mėnesinis vidurinis vėjo greitis, m/s; h_2 – vėjo generatoriaus rotoriaus aukštis, m; h_1 – vėjo greičio matavimo aukštis, m; n – faktorius, priklausomai nuo žemės paviršiaus:

- 0,01 – kai vandens paviršius lygus;
- 0,077 – esant atvirai vietai ir lygiam žemės paviršiui;
- 0,15 – kaimo vietai su namais, sodais esančiais tarp laukų;
- 0,28 – kaimo gyvenvietei, miesteliui;
- 0,375 – didesniems miestams.

Prognozuojamas generuojamos elektros energijos (W) kiekis apskaičiuojamas:

$$W = H \cdot P, \quad (4)$$

čia, P – gamintojo pateikta vėjo turbinos galia, m/s; H – Veibulo pasiskirstymas:

$$H = \left[e^{-e^{\ln\left(\frac{V_2-0.5}{\alpha}\right) \cdot k}} \right] - \left[e^{-e^{\ln\left(\frac{V_2+0.5}{\alpha}\right) \cdot k}} \right] \cdot t_{m\acute{e}n}, \quad (5)$$

čia, k – Veibulo formos parametras, priimamas 1,7; $t_{m\acute{e}n}$ – valandų skaičius; α – koeficientas:

$$\alpha = \sqrt{\frac{V_2^3 \cdot (1 + k)}{V_1 \cdot (3 + k)}}, \quad (6)$$

Elektrinių apsauga nuo žaibo išlydžio ir įžeminimo kontūras. Sugadinta elektrinės įranga, gaisras ar sprogimai – tik dalis žaibo išlydžio sukeliamų padarinių. Apsauga nuo žaibo yra įrenginių sistema kuri sugauna žaibą ir nuveda jo srovę į žemę, taip apsaugodama elektrinę ir jos įrangą nuo atmosferinių viršįtampių. Saulės elektrinių apsaugai nuo žaibo įrengiami du žaibolaidžiai, vėjo elektrinės sparnuotė ir stiebas pagaminti iš metalo – gero laidininko, tad vėjo elektrinė naudojant įžeminimo juostą prijungiama prie įžeminimo kontūro (žaibosaugos ir įžeminimo kontūro skaičiavimo pavyzdys pateiktas priede nr.1). Elektrinių apsaugai įrengiama apsaugos nuo žaibo sistema bei įžeminimo kontūras. Pagal bendrąsias elektros įrenginių taisykles įžeminimo kontūro varža neturi viršyti 10 Ω [73].

4 ETAPAS. Ekonominis vertinimas. Ekonominė analizė atliekama atsipirkimo laikotarpiui, pinigų balansui, vidinei pelno normai ir kitiems projektui aktualiams rodikliams nustatyti. Pirmiausia įvertinamos išlaidos (K), kurias sudaro elektrinių įrengimas, mokestis prijungimui prie skirstomųjų tinklų ir išlaidos elektrinių priežiūrai:

$$K = k_{\text{įreng}} + k_{\text{mok}} + k_{\text{ekspl.}}, \quad (7)$$

$k_{\text{įreng}}$ – įrengimo kaina, k_{mok} – mokestis prijungimui prie skirstomųjų tinklų, $k_{\text{ekspl.}}$ – eksploatacinės išlaidos.

Įrenginių kainos pateikiamos šaltiniuose nurodytuose prie parinktų įrenginių, išlaidos prijungimui nurodytos *eso.lt* puslapyje [74]. Remiantis saulės elektrinės įrenginėjančių įmonių informacija saulės elektrinės įrengimas sudaro apie 10-20 % elektrinės kainos [75]. Išlaidos saulės, vėjo ir hibridinės sistemos įrengimui apskaičiuojamos programa „Sistela“. „Sistela“ turi sukaupę didelę duomenų bazę apie darbo jėgas, mechanizmų, medžiagų kainų statistiką. Programoje sukaupta informacija leidžia parengti pagrįstas statybos darbų sąmatas [76]. Programoje darbai klasifikuojami pagal raides [76]: NXX – statybos ir montavo darbų rinkinys, DXX – įrenginių paleidimo ir derinimo darbų normatyvų rinkinys, RXX – remonto darbų rinkinys, FXX – sustambinti statybos darbai, G – gelžbetonio gaminiai, S – medžio gaminiai, B – betoniniai gaminiai, K – metalo konstrukcijos [76]. Atitinkamai pagal planuojamus darbus pasirenkamas darbų rinkinys ir parengiama sąmata. Be įrenginių ir darbų kainos reikalinga įvertinti ir išlaidas elektrinių eksploatacijai. Saulės elektrinėje yra mažai slankių dalių ir jų susidėvėjimo tikimybė nedidelė, priimama, kad saulės elektrinės eksploatacijos išlaidos sudarys 2 %, o vėjo elektrinių elektrinės eksploatacijos išlaidos sudarys 3 % pradinės įrengimo kainos.

Skaiciuojant pajamas ar ūkio sutaupyta išlaidas reikalinga įvertinti Energijos skirstymo operatoriaus (ESO) gaminantiems vartotojams siūlomus atsiskaitymo planus. Šiuo metu ESO siūlo tris atsiskaitymo būdus kurie pateikti 7 lentelėje. Kadangi ESO nesuteikia galimybės gauti pajamų už pagamintą elektros energiją (energijos perteklių galima pasidėti tolesniam vartojimui) tiesioginių pajamų už energiją negaunama, kaip pajamos vertinamos sutaupyti pinigai.

7 lentelė. Gaminančių vartotojų atsiskaitymo planai [77]

Atsiskaitymo būdas	Mokama už	Kaina žemoje įtampoje be PVM	Kaina žemoje įtampoje su PVM
Atsiskaitymas už atgautą energijos kiekį	Už patiektos į tinklą ir vėliau atgautos energijos kilovatvalandę (kWh)	0,049 Eur/kWh	0,05929 Eur/kWh
Atsiskaitymas už leistiną generuoti energijos galią	Už elektrinės leistinos generuoti galios kilovatą (kW)	3,26 Eur/kW/mėn	3,9446 Eur/kW/mėn
Atsiskaitymas kilovatvalandėmis kiekiu pagal procentus	Atsiskaitymas kilovatvalandėmis: nustatytas procentas nuo patiektos į tinklus energijos kiekio (kWh) paliekamas operatoriui už naudojimosi tinklais paslaugas. Klientas galės neatlygintinai atgauti nustatytą procentą nuo savo pagaminto ir patiekto į tinklą energijos kiekio.	12 % (gaminančiam vartotojui lieka 88 %)	12 % (gaminančiam vartotojui lieka 88 %)

Atliekant energetikos projektų finansines analizes vienas iš svarbiausių rodiklių – atsipirkimo laikotarpis, kuris parodo, per kurį laiką gaunamos lėšos už pagamintą energiją padengia lėšas skirtas elektrinės įrangai ir eksploatavimui:

$$K = \sum_{k=0}^n C F_k , \quad (8)$$

Čia K – pradinės investicijos; CF_k – pinigų srautas laiko momentu t; n – atsipirkimo trukmė.

Atliekant ekonominius projektų vertinimus reikalinga atsižvelgti ne tik į esamus pinigų srautus, tačiau ir įvertinti projekto vertę laikui bėgant. Siekiant apskaičiuoti būsimų piniginių srautų dabartinę vertę naudojama metodika paremta diskontavimu:

$$K = \sum_{k=0}^n \frac{CF_k}{(1+k)^k} , \quad (9)$$

Čia k – diskonto norma.

Diskontuojant pinigų srautus, atsipirkimo trukmė apskaičiuojama:

$$T_a = \frac{-\ln(1 - \frac{k \cdot K}{CF})}{\ln(1+k)} , \quad (10)$$

Čia k – diskonto norma; K – pradinės investicijos; CF – metinis pinigų srautas.

Be atsipirkimo laikotarpio, projekto vertei nustatyti naudojami dar trys metodai: dabartinė grynoji vertė (NPV), pelno ir išlaidų santykis (B/C), vidinė pelno norma (IRR). NPV – tai investicijos vertė gauta per visą jos gyvavimo laikotarpį ir diskontuota iki dabartinės vertės:

$$NPV = PV - PVC , \quad (11)$$

Čia, PVB – pajamų srauto dabartinė vertė; PVC – išlaidų srauto dabartinė vertė. Projekto dabartinė grynoji vertė yra visų diskontuotų grynujų pinigų suma:

$$NPV = \sum_{t=0}^k \frac{P_t - C_t}{(1+i)^t}, \quad (12)$$

čia P_t – t -ųjų metų pajamos; C_t – t -ųjų metų išlaidos.

Projekto dabartinė vertė kinta priklausomai nuo diskonto normos, atitinkamai prie aukštesnės diskonto normos projekto grynoji dabartinė vertė bus mažesnė. Naudojantis šiuo rodikliu priimame, kad galimi trys vertinimo variantai: kai NPV teigiamas – projektas vykdomas, neigiamas – nevykdomas ir ribinis (didelė vykdymo rizika) kai grynoji dabartinė vertė lygi nuliui. Investicijų rentabilumo indeksas, t. y. įplaukų ir išlaidų santykis (B/C), naudojamas norint nustatyti įplaukų dabartinės vertės ir išlaidų dabartinės vertės santykį:

$$\frac{B}{C} = \frac{PVB}{PVC}, \quad (13)$$

Kad projektas būtų priimtinas, santykis turi būti $B/C \geq 1$. Prie tam tikros diskonto normos grynoji dabartinė vertė lygi nuliui, tai parodo santykis $B/C = 1$. Priimamos sąlygos: $B/C > 1$, tai NPV yra teigiamas ir projektas priimtinas; $B/C < 1$, tai NPV yra neigiamas ir projektas atmestinas; $B/C = 1$, tai $NPV = 0$ ir t. y. ribinis variantas – projektas nepelningas ir nenuostolingas.

Pajamų ir išlaidų srautų dabartinių verčių sulyginimui naudojamas rodiklis vadinamas vidine pelno norma (IRR). Vidine pelno norma vadinama diskonto koeficiento reikšmė (r), prie kurios projektų pinigų srautų dabartinė grynoji vertė yra lygi 0, t. y.:

$$IRR = r, \text{ kai } NPV = f(r) = 0, \quad (14)$$

Grynosios dabartinės vertės rodiklį gavus lygų nuliui, naudojamas analitinis metodas paremtas interpoliacija, leidžiantis nustatyti kad esant tam tikrai diskonto normai projektas atsipirks. Metodas atliekamas naudojant dvi diskonto normas: pirmąją – siekiant gauti teigiamą grynąją dabartinę vertę, antrąją - neigiamai NPV reikšmei:

$$IRR = r_1 + [(r_2 - r_1) \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right)]. \quad (15)$$

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.

Dar vienas svarbus ekonominis atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių vertinimo rodiklis gamybos svertinių kaštų metodas (LCOE), kuris parodo, už kokią kainą turėtų būti parduodama elektros energija, kad padengtų kaštus per visą gyvavimo laikotarpį. Rodiklį galima interpretuoti ir kaip visų kaštų kurių reikėjo per visą elektrinės gyvavimo laikotarpį konvertavimą į lygių dalių išmoką:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}. \quad (16)$$

Čia, LCOE – elektros energijos gamybos svertiniai kaštai; It – investicinės išlaidos metuose t; Mt – eksploatacinės ir techninės priežiūros išlaidos metuose t; Ft – kuro sąnaudų išlaidos metuose t; Et – elektros energijos gamyba metuose t; r – diskonto norma; n – naudingo ekonominio veikimo laikotarpis.

Siekiant apskaičiuoti sutaupomas lėšas įsirengiant bet kurią atsinaujinančių energijos išteklių elektrinę energijos poreikiai įvertinti pirmajame etape dauginami iš šiuo metu rinkoje esančios 28 ct/kWh elektros kainos (apskaičiuojama suma sumokama perkant energiją iš tinklų). Vertinant išlaidas kurias vartotojas sumoka turėdamas atsinaujinančių šaltinių elektrinę apimama išlaidos elektrinės eksploatacijai, ESO energijos pasaugojimo mokestis.

Norint įvertinti projekto rizikingumą ir jautrumą besikeičiantiems veiksniams atliekama jautrumo analizė. Atliekat jautrumo analizę tiriama kaip pasikeis projektų atsipirkimo laikotarpiai besikeičiant bazinėms reikšmėms – elektros kainai ir diskonto normai. Didėjanti elektros energijos kaina projektų įgyvendinimą padaro ekonomiškai naudingesniu ir greičiau atsiperkančiu, tačiau elektros energijos kainos sumažėjimas elektrines gali padaryti ekonomiškai nenaudingomis. Kitu atveju, kai diskonto norma mažėja, projektų atsipirkimas pagreitėja, o ekonominis naudingumas padidėja, tačiau diskonto normos didėjimas daro neigiamą įtaką projektų ekonominiams rodikliams.

5 ETAPAS. Vertinimas darnios plėtros aspektu. Lyginant su kitais energijos šaltiniais atsinaujinantys šaltiniai laikomi žalia ir aplinkai draugiška energijos gamybos sistema. Įrengiant saulės elektrines ant pastato stogo jų įrengimas nestabdo gyvūnijos judėjimo, neapriboja augmenijos aukščio, įrengiant tokio tipo saulės elektrines nereikia visiškai nugramdyti žemės, rauti medžių, o įrengtos saulės elektrinės neužims papildomo žemės ploto. Saulės elektrinės viso naudojimo laikotarpio metu neišskiria ŠESD į aplinką, todėl priimama, kad saulės elektrinės vystymas ir veikimas ant pastato stogo yra aplinkai darnūs veiksniai.

Miesto vietovėse įrengiamos vėjo turbino lygiai taip pat kaip ir saulės elektrinės, nedaro didelės įtakos gamtai. Tokios nedidelės galios ir sąlyginai neaukštų bokštų vėjo turbino netrikdo biologinių sistemų ir laukinės gamtos. Pagrindinį susirūpinimą, diegiant vėjo turbinas miesto vietovėse, kelia turbinų skleidžiamas triukšmas. Tačiau atlikti tyrimai rodo, kad mažų ir mikro vėjo turbinų keliamo triukšmo suvokimas priklauso nuo individo asmenybės, klausos jautrumo bei triukšmo suvokimo lygio. Neigiamą požiūrį į vėjo elektrines turintys asmenys beveik visais atvejais girdėjo daugiau triukšmo nei tokio nusistatymo neturintys asmenys [78]. Įprastai miesto vietovėse mažųjų vėjo turbinų skleidžiamus garsus užmaskuoja transporto, pramonės, medžių ošimo garsai. Atlikti tyrimai rodo, kad vėjo turbinų skleidžiamas garsas neturi neigiamo fiziologinio poveikio žmogaus sveikatai [79]. Anot vėjo turbinų gamintojų, vėjo turbino greitis tiesiai po vėjo turbina siekia 20-48 dB [80] tad nevirsija nustatytų higienos normų [81].

Eksploatacijos metu išmetamų CO₂ emisijų vertinimo metodika. Didžiausias atsinaujinančių šaltinių privalumas – lyginant su kitais energijos šaltiniais ženkliai mažesnis kiekis ŠESD. Siekiant įvertinti sutaupytą ŠESD atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių eksploatacijos metu naudojama išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio sumažinimo vertinimo metodika. Šioje metodikoje išmetamas ŠESD kiekio sutaupymas įvertinamas kaip skirtumas tarp bazinio ir projekcinio scenarijaus [82].

Išmetamas ŠESD kiekis abiem minėtais scenarijais apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\text{Išmetamų ŠESD kiekis} = \text{veiklos duomenys} * \text{taršos faktorius} \quad (17)$$

Formulėje naudojami veiklos duomenys parenkami pagal vieną iš vienuolikos veiklos programų. Veiklos programos skirstomos į dvi grupes – vartojimo ir efektyvumo didinimui skirtos programos ir atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių skatinimo programos. Tyrimo atveju skaičiuojant CO₂ emisijas pasirenkama pirmoji atsinaujinančių energijos išteklių skatinimo programa kuri apibrėžiama kaip atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas visuomeninės ir gyvenamosios paskirties pastatuose. Šio veiklos scenarijaus vertinimui reikalingas faktiškai elektrinėje pagamintas energijos kiekis į kurį įeina tiek savoms reikmėms sunaudojamas tiek į tinklą atiduodamas energijos kiekis [82].

Pagal metodiką, ŠESD emisijos perskaičiuojamos į CO₂ ekvivalentą taip gaunami taršos faktoriai. Kadangi objektas yra Lietuvoje taikyti šie taršos faktoriai [82]:

- Iš elektros energijos vykdomiems projektams taršos faktorius lygus 0,42 t CO₂e/MWh;
- Iš atsinaujinančių šaltinių vykdomiems projektams taršos faktorius 0,00 t CO₂e/MWh.

Gautas skirtumas tarp bazinio ir projekcinio scenarijaus parodo, koks kiekis CO₂ emisijų sumažinamas įgyvendinant veiklą.

Viso gyvavimo ciklo metu išskiriamų emisijų vertinimas. Lyginant su iš iškastinio kuro išgaunamai energijai atsinaujinančių energijos išteklių elektrinės yra puiki alternatyva, tačiau negalima ignoruoti fakto, kad per visą atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių gyvavimo ciklą (įrenginių gamyba, transportavimas, elektrinės įrengimas ir utilizavimas) randama išmetamų ŠESD pėdsakų. Šios atsinaujinančių energijos išteklių emisijos vadinamos netiesioginėmis, nes daugiausia atsiranda ne eksploatacijos, o komponentų gamybos ir transportavimo metu. Teršalų kiekis išmetamas tik elektros energijos kiekiui pagaminti saulės fotovoltinius modulius, svyruoja nuo 0-200 g CO₂ ekvivalento. Tokia didelė amplitudė atsiranda priklausomai nuo technologijos, kuri naudojama tai elektrai pagaminti (ar tai atsinaujinančių energijos išteklių ar iškastinio kuro elektrinėse pagaminama energija). Viso saulės elektrinių gyvavimo ciklo metu išskiriamos emisijos skirstomos į keletą jų atsiradimų etapų, tokių kaip pavyzdžiui silicio, naudojamo fotovoltinių modulių gamybai, gamybos, apdirbimo bei kt. Šių procesų metu išskiriamas CO₂ kiekis lygus 0,6 g CO₂ ekv/kWh; gaminant saulės fotovoltinius modulius naudojamas plastikas, kurio CO₂ emisija 1,1 g CO₂ ekv/kWh [83].

Kalbant apie vėjo elektrinių gyvavimo ciklo metu atsirandančias emisijas, šių išmetimą stipriai įtakoja vėjo elektrinės lokacija. Jūroje esančių vėjo elektrinių didžiausią dalį emisijų sudaro jų transportavimo ir statybos metu išskiriamas CO₂. Nepaisant to, vėjo elektrinėse išgaunama energija yra draugiškiausia aplinkai, nes vienos kilovatvalandės gamybos metu į aplinką išskiria mažiausias CO₂ emisijas [84].

Atlikti tyrimai rodo, kad viso saulės elektrinės gyvavimo ciklo metu išskiriama tarp 53,4-250 g CO₂ kWh, o sausumos vėjo elektrinių atitinkamai 4,97-8,21 g CO₂ kWh. Skaičiuojant CO₂ emisijas viso gyvavimo ciklo metu priimama vidutinė norma, t. y. saulės elektrinėms – 151,7 g CO₂ kWh, vėjo elektrinėms – 6,59 g CO₂ kWh [84].

3. Atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių diegimo gyvenamuosiuose pastatuose tyrimas darnios plėtros aspektu

3.1. Apkrovų vertinimas

Naudojantis 1 formule apskaičiuojamos pirmojo namo apšvietimo įrenginių, kištukinių lizdų ir stacionarios elektrinės viryklės elektros apkrovos. Gautos vertės apšvietimo įrenginiams – 2,8755 kW, kištukiniams lizdams – 4,5 kW, stacionariai elektrinei viryklei – 3,65 kW, šildymui – 16,92 kW. Naudojantis antra formule gauta, kad taikant skaičiuojamąją apkrovų nustatymo metodiką pirmajam namui gautas galios poreikis lygus 28,95 kW. Tokiu pat būdu apskaičiuojamos ir kitų namų elektros apkrovos. Rezultatai apskaičiuoti sudarant apkrovų nustatymo grafikus (žr. 28 pav.) ir taikant elektros apkrovų nustatymo metodiką pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Apkrovų vertinimo metodais gauti rezultatai

	Suvartojamas elektros energijos kiekis nustatytas sudarant apkrovų grafikus, kWh per metus	Apskaičiuota apkrova, naudojantis apkrovų nustatymo metodika, kW
I namas (adresu V. Borisevičiaus g. 80)	29495,285	28,95
II namas (adresu V. Borisevičiaus g. 82)	20115,15	21,15
III namas (adresu V. Borisevičiaus g. 84)	10004,65	10,03

Priimama, kad 1000 kWh poreikiui per metus patenkinti reikalinga 1kW galingumo elektrinė (per metus saulės elektrinė Lietuvoje pagamina apie 1026 kWh) [85]. Naudojantis 3 formule apskaičiuota, kad gyvenamųjų namų poreikių patenkinimui reikalingos ~ 30kW, 20kW, 10kW atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinės.

3.2. Komponentų parinkimas ir elektrinių modeliavimas

Saulės elektrinių modeliavimas. Modeliuojant saulės elektrines pirmiausia reikalinga parinkti fotovoltinius saulės modulius. Lyginant su polikristaliniais saulės moduliais monokristaliniai moduliai yra efektyvesni, patvaresni ir patrauklesnės išvaizdos, todėl saulės elektrinėse naudoti pasirenkami monokristaliniai saulės moduliai [13]. Visoms trims skirtingų galių elektrinėms parenkami vienodi monokristaliniai saulės moduliai, tačiau atitinkamai pagal skirtingus vartotojų galios poreikius ir nustatytus elektrinių didžius skiriasi modulių skaičius. Parenkami Lietuvoje žinomo gamintojo „SoliTek“ prekės ženklo monokristaliniai saulės moduliai kurių pagrindiniai parametrai pateikiami [86]. Dalinant elektrinės galią iš modulių galios apskaičiuojamas elektrinėms reikalingas fotovoltinių modulių skaičius. Pirmajam namui reikalingi 81 vnt. 370W galingumo saulės moduliai. Antrojo namo energijos poreikių patenkinimui reikalingi 54 vnt. monokristalinių saulės modulių, trečiojo – 28 vnt. Pagal atliktus įtampos, srovės ir trumpųjų jungimų skaičiavimus bei elektrinės galią parenkamas gamintojo *HUAVEI SUN 2000* srovės-įtampos keitikliai, pagrindiniai keitiklių parametrai pateikti [87] [88] [89]. Keitikliai be pagrindinių parametrų turi ir papildomas apsaugas nuo trumpo jungimo, poliškumo pasikeitimo, viršįtampių. Taip pat keitikliai turi galimybę prijungti kaupiklius. Pagal parinktus komponentus bei srovės ir įtampos skaičiavimus parenkami kabeliai nuo modulių iki keitiklio ir nuo keitiklio iki paskirstymo skydelio. Nuolatinės srovės dalyje parenkami kabeliai *H1Z2Z2-K 1x10mm²*, kurių ilginė varža $r_0=1,95 \Omega/\text{km}$ [90], kintamai daliai

parenkami kabeliai $CYKY\ 5 \times 10\ mm^2$, kurių ilginė varža $r_0 = 1,83\ \Omega/km$ [91]. Kintamos dalies kabelių skaičiavimai pateikiami 2 priede. Kabeliai parinkti teisingai, nes nei įtampos nei galios nuostoliai neviršija 1 %.

Prognozuojamas saulės elektrinės generuojamas energijos kiekis. Siekiant gauti saulės elektrinių generacijos ataskaitą, „PVsyst“ programoje pasirenkama objekto vieta – V. Borisevičiaus g. Kaune, pasirenkami moduliai ir keitiklis, įvedama elektrinės galia, modulių pasvirimo kampas - 39° . Suvedus duomenis inicijuojama simuliacija (antrojo namo simuliacijos pavyzdys 20 kW – pateikta 9 priede). Visų trijų saulės elektrinių simuliacijų rezultatai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Saulės elektrinių generacijos

Mėnuo	Pirmojo namo saulės elektrinės (30 kW) generuojamas elektros energijos kiekis, kWh	Antrojo namo saulės elektrinės (20 kW) generuojamas elektros energijos kiekis, kWh	Trečiojo namo saulės elektrinės (10 kW) generuojamas elektros energijos kiekis, kWh
Sausis	908	608	311
Vasaris	1423	956	490
Kovas	3190	2146	1103
Balandis	3676	2462	1271
Gegužė	4439	2981	1535
Birželis	4191	2814	1449
Liepa	4224	2835	1460
Rugpjūtis	3866	2594	1336
Rugsėjis	3057	2054	1056
Spalis	1968	1323	678
Lapkritis	755	505	257
Gruodis	559	372	189
Viso:	32257	21650	11137

Gauti rezultatai parodo, kad kiekvienoje saulės elektrinėje sugeneruotas metinis energijos kiekis patenkina gyvenamųjų namų elektros energijos poreikius.

Vėjo elektrinių modeliavimas. Kadangi tyrimas atliekamas miesto vietovėje, projektuojant vėjo elektrines pasirenkamos vertikalios ašies vėjo turbinos, kurios miesto ir priemiesčio vietovėse yra efektyvesnės bei draugiškesnės aplinkai dėl mažesnių gabaritų lyginant su horizontalios ašies vėjo turbinomis [92]. Pagal reikalingas energijos poreikiams patenkinti galias, parenkamos trys vertikalios ašies vėjo turbinos, atitinkamai pirmajam namui – 30 kW, antrajam – 20 kW, trečiajam – 10 kW galios. Pagrindiniai parinktų turbinų parametrai pateikti [93] [94] [95]. Turbinos montuojamos ant 12 metrų aukščio bokšto netoli gyvenamųjų namų. Vėjo elektrinei reikalingas keitiklis, kuris pastovią įtampą keistų į naudojimui tinkamą kintamąją įtampą. Šiai funkcijai atlikti pagal vėjo turbinų specifikacijas parenkami keitikliai kurių pagrindiniai parametrai pateikiami [96][97]. Vėjo elektrinėms reikalinga parinkti du kabelius, t. y. kabelį nuo vėjo turbinos iki keitiklio ir kabelį nuo keitiklio iki paskirstymo skydelio. Nuo vėjo turbinos iki keitiklio parenkami kabeliai AXMK $4 \times 150\ mm^2$, kurių ilginė varža $r_0 = 0,206\ \Omega/km$ [98]. Nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydelio parenkami kabeliai $CYKY\ 5 \times 35\ mm^2$, kurių ilginė varža $r_0 = 0,524\ \Omega/km$ [91]. Norint patikrinti ar

kabeliai parinkti teisingai reikalinga apskaičiuoti kabelių galios ir įtampos nuostolius, kurie, jeigu kabeliai parinkti teisingai neturi viršyti 1 %. Gauti rezultatai pateikti trečiame priede.

Prognozuojamas vėjo elektrinės generuojamas energijos kiekis pagal Veibulo parametrus ir vėjo generatoriaus galios kreivę. Norint apskaičiuoti vėjo turbino pagaminamą energijos kiekį reikalingas vietovėje vyraujančio vėjo greitis, tada naudojantis 3-6 formulėmis apskaičiuojamos visos reikalingos dedamosios siekiant gauti prognozuojamą vėjo turbino generuojamą energijos kiekį. Vidutinis mėnesinis vietovės vėjo greitis, vėjo greitis rotoriaus aukštyje bei prognozuojamas pagamintas energijos kiekis pateikti 10 lentelėje. Šiems skaičiavimams atlikti reikalingos vėjo turbinų galios kreivės kurios pateikiamos 4 priede.

10 lentelė. Vėjo elektrinių prognozuojamas generuojamas elektros energijos kiekis

Mėnuo	Vidutinis mėnesinis vėjo greitis 10m aukštyje V_1 , m/s [99]	Vėjo greitis, rotoriaus centro aukštyje, V_2 , m/s	Prognozuojamas pagamintas elektros energijos kiekis (pirmojo namo), kWh	Prognozuojamas pagamintas elektros energijos kiekis (antrojo namo), kWh	Prognozuojamas pagamintas elektros energijos kiekis (trečiojo namo), kWh
Sausis	6,5	6,96	7619,04	4656,08	3047,62
Vasaris	6,2	6,64	7100,18	4526,36	2928,82
Kovas	5,9	6,32	6575,19	4663,25	2424,89
Balandis	5,2	5,57	4021,16	3174,60	1269,84
Gegužė	4,84	5,18	2046,44	3183,34	1250,60
Birželis	4,37	4,68	2140,61	1511,02	1007,35
Liepa	4,15	4,44	2121,50	1060,75	662,97
Rugpjūtis	4,33	4,64	2160,39	1524,98	1016,65
Rugsėjis	4,89	5,24	2025,51	3375,85	1237,81
Spalis	6,1	6,53	3427,87	4780,98	2525,80
Lapkritis	6,5	6,96	3809,52	4656,08	3047,62
Gruodis	6,6	7,07	7586,97	4668,91	3043,13
Viso:			50634,38	41782,21	23463,10

Iš atliktų skaičiavimų (žr. 10 lentelė) matoma, kad pirmojo namo vėjo turbina per metus generuoja 50634,38 kWh, vidutiniškai per mėnesį 4219,53 kWh. Antrojo namo vėjo turbina – 41782,21 kWh per metus ir vidutiniškai 3481,85 kWh per mėnesį, trečiojo namo vėjo turbina per metus generuoja 23463,10 kWh, vidutiniškai per mėnesį 1955,26 kWh.

Hibridinės sistemos vėjo dalies modeliavimas. *Hibridinės sistemos saulės elektrinės modeliavimas.* Vertikalios ašies vėjo turbino miesto vietovėse našesnės, tad poreikių tenkinimui pasirenkamos šios turbino, pirmajam ir trečiajam namui parinktų turbinų pagrindinės specifikacijos pateiktos [100] [101], antrajam namui panaudojama vėjo elektrinių modeliavimo dalyje panaudota 10 kW vėjo turbina. Pagal parametrus parenkami keitikliai, kurių pagrindinės specifikacijos pateiktos [96] (5 kW ir 15 kW vėjo turbinoms panaudojami keitikliai iš vėjo elektrinių modeliavimo dalies). Sistemai nuo vėjo turbino iki keitiklio parenkami kabeliai $AXMK\ 4 \times 25\text{mm}^2$, kurių ilginė varža $r_0 = 1,2\ \Omega/\text{km}$ [98], nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydelio parenkami kabeliai $CYKY\ 4 \times 16\text{mm}^2$, kurių ilginė varža $r_0 = 1,15\ \Omega/\text{km}$ [91]. Atlikti hibridinės sistemos vėjo elektrinės dalies kabelių galios ir įtampos

nuotolių skaičiavimai pateikti 5 priede. Kabelių galios ir įtampos nuostoliai neviršija 1 %, daroma išvada, kad kabeliai parinkti teisingai.

Prognozuojamas hibridinės sistemos vėjo elektrinės generuojamas energijos kiekis pagal Veibulo parametrus ir vėjo generatoriaus galios kreivę. Analogiškai kaip ir projektuojant vėjo elektrines atliekami vėjo turbinos generuojamos elektros energijos kiekio skaičiavimai naudojantis 3-6 formulėmis. Vėjo turbinų galios kreivės pateiktos 6 priede, skaičiavimų rezultatai pateikti 11 lentelėje (antrojo namo 10 kW galios skaičiavimų rezultatai pateikti 10 lentelėje).

11 lentelė. Hibridinės sistemos vėjo turbinos generuojamas elektros energijos kiekis

Mėnuo	Vėjo greitis, rotoriaus centro aukštyje, V_z , m/s	Prognozuojamas pagamintas elektros energijos kiekis (pirmojo namo), kWh	Prognozuojamas pagamintas elektros energijos kiekis (trečiojo namo), kWh
Sausis	6,96	4232,80	677,25
Vasaris	6,64	3993,85	621,27
Kovas	6,32	2611,42	559,59
Balandis	5,57	2328,04	423,28
Gegužė	5,18	2046,44	397,92
Birželis	4,68	2014,70	377,76
Liepa	4,44	1988,91	371,26
Rugpjūtis	4,64	2033,31	381,25
Rugsėjis	5,24	2250,57	405,10
Spalis	6,53	3427,87	586,35
Lapkritis	6,96	4232,80	677,25
Gruodis	7,07	4177,00	683,66
Viso:		35337,71	6162,94

Prognozuojama, kad pirmojo namo vėjo turbina per metus pagamins 35337 kWh elektros energijos, antrojo – 23463,10 kWh, trečiojo – 6162 kWh.

Hibridinės sistemos saulės elektrinės modeliavimas. Modeliuojant antrąją hibridinės sistemos dalį – saulės elektrines – pasirenkama naudoti tuos pačius saulės modulius kurie naudojami ir projektuojant saulės elektrines. Projektuojant hibridinės sistemos saulės elektrines atliekami skaičiavimai – fotovoltinių saulės modulių skaičius, saulės elektrinės užimamas plotas, įtampos ir srovės skaičiavimai, tuščios veikos įtampą esant neigiamai temperatūrai. Visų minimų skaičiavimų rezultatai pateikti 7 priede. Pagal saulės modulių grupių gautus parametrus bei saulės elektrinės rūšį (jungiamo į tinklą) parenkami keitikliai [102] [103], antrajam namui panaudojamas keitiklis iš saulės elektrinių modeliavimo dalies. Kabeliai elektrinei parenkami analogiškai kaip ir projektuojant saulės elektrines - nuolatinės srovės dalyje kabeliai $H1Z2Z2-K 1 \times 10 mm^2$, kurių ilginė varža $r_0=1,95 \Omega/km$ [90]. Kintamai daliai parenkami kabeliai $CYKY 5 \times 10 mm^2$, kurių ilginė varža $r_0=1,83 \Omega/km$ [91]. 7 priede pateikti įtampos ir galios nuostolių skaičiavimai siekiant įsitikinti, kad kabeliai parinkti teisingai ir kabelių nuostoliai neviršija 1 %.

Analogiškai kaip ir projektuojant saulės elektrines taip ir hibridinės sistemos saulės elektrinės dalyje generuojamas energijos kiekis apskaičiuojamas programa „PVsyst“. Gauti rezultatai pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Hibridinės sistemos saulės elektrinių generacijos

Mėnuo	Pirmojo namo hibridinės sistemos saulės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis, kWh	Antrojo namo hibridinės sistemos saulės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis, kWh	Trečiojo namo hibridinės sistemos saulės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis, kWh
Sausis	446	311	151,5
Vasaris	704	490	241,4
Kovas	1585	1103	547,8
Balandis	1826	1271	631,2
Gegužė	2205	1535	762,1
Birželis	2081	1449	718,3
Liepa	2097	1460	724,0
Rugpjūtis	1919	1336	662,5
Rugsėjis	1518	1056	523,4
Spalis	975	678	334,7
Lapkritis	370	257	124,6
Gruodis	272	189	90,7
Viso:	16000	11137	5512,2

Sudedant saulės ir vėjo elektrinių generuojamus elektros energijos kiekius apskaičiuojama bendra hibridinės sistemos elektros energijos generacija, pateikiama 13 lentelėje.

13 lentelė. Hibridinės sistemos generuojamas elektros energijos kiekis

Mėnuo	Pirmojo namo hibridinės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis, kWh	Antrojo namo hibridinės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis, kWh	Trečiojo namo hibridinės elektrinės generuojamas elektros energijos kiekis, kWh
Sausis	4678,8	3358,62	828,75
Vasaris	4697,85	3418,82	862,67
Kovas	4196,42	3527,89	1107,39
Balandis	4154,04	2540,84	1054,48
Gegužė	4251,44	2785,6	1160,02
Birželis	4095,7	2456,35	1096,06
Liepa	4085,91	2122,97	1095,26
Rugpjūtis	3952,31	2352,65	1043,75
Rugsėjis	3768,57	2293,81	928,5
Spalis	4402,87	3203,8	921,05
Lapkritis	4602,8	3304,62	801,85
Gruodis	4449	3232,13	774,36
Viso:	51335,71	34598,1	11674,14

Apskaičiavus bendrą hibridinės sistemos generuojamą energijos kiekį matoma, kad pirmojo namo hibridinė saulės elektrinė per metus generuoja apie 51336 kWh, antroji – 34598 kWh, trečioji – 11674 kWh. Hibridinės elektrinės generuojamas energijos kiekis patenkina vartotojų poreikius.

3.3. Modeliuojamų elektrinių vertinimas ekonominiu ir darnios plėtros aspektu

3.3.1. Modeliuojamų elektrinių ekonominis vertinimas

Saulės elektrinių ekonominis vertinimas. Išlaidos saulės elektrinių įrengimui, kurias sudaro įrangos kaina, įrangos sumontavimas ir paleidimas ir elektrinių prijungimas prie skirstomųjų elektros tinklų, pateiktos 14 lentelėje. Pirmojo namo pilna įrengimo darbų sąmata sudaryta programa „Sistela“, pateikta 10 priede.

14 lentelė. Išlaidos saulės elektrinių įrenginiams, įrengimui, prijungimui

Įrenginys/medžiaga	Matas	Pirmasis namas		Antrasis namas		Trečiasis namas	
		Kiekis	Išlaidos, Eur	Kiekis	Išlaidos, Eur	Kiekis	Išlaidos, Eur
Saulės moduliai <i>Sold Bifacial B.60</i>	vnt.	81	12903,30	54	8602,20	28	4460,40
Keitiklis <i>SUN2000-30 KTL-M3</i>	kompl.	1	2560,00	-	-	-	-
Keitiklis <i>SUN2000-20KTL-M2</i>	kompl.	-	-	1	2350,00	-	-
Keitiklis <i>SUN2000 10KTL M1</i>	kompl.	-	-	-	-	1	1650,00
Aliuminis kabelis <i>H1ZZZ2-K 1x10 mm²</i>	m.	150	75,00	145	72,50	140	36,25
Varinis kabelis <i>CYKY 5x10 mm²</i>	m.	40	329,20	40	329,20	40	329,20
Vamzdis d 50	m.	20	22,22	20	22,22	20	22,22
Medžiagos apsaugos nuo žaibo įrengimui	kompl.	1	1100,00	1	1100,00	1	1100,00
Įžeminimo iki 10 Ω įrengimo komplektas	kompl.	1	850,00	1	600,00	1	550,00
Automatiniai jungikliai	kompl.	4	320,00	4	280,00	4	240,00
Saugikliai	kompl.	2	60,00	2	60,00	2	60,00
Viršįtampių ribotuvai	kompl.	2	200,00	2	200,00	2	200,00
Įvadinis paskirstymo skydelis	kompl.	1	100,00	1	100,00	1	100,00
Montavimo konstrukcijos	kompl.	1	500,00	1	400,00	1	250,00
Prijungimo, įrengimo darbai							
Įžeminimo iki 10 Ω įrengimas	kompl.	1	1000,87	1	606,95	1	449,38
Žaibosaugos įrengimas	kompl.	1	492,63	1	492,63	1	492,63
SE statybos ir montavimo darbai	kompl.	1	3973,10	1	3107,09	1	2286,67
Rangovo akto pridavimas	vnt.	1	80,00	1	80,00	1	80,00
Prijungimo sąlygų gaminančiam vartotojui kaina	vnt.	1	41,89	1	41,89	1	41,89
Viso:			24608,2		18444,68		12348,6

Kadangi saulės modulių veikimas galimas iki 30 metų priimama, kad saulės elektrinė veiks 28 metus ir per metus neteks po 0,2 % našumo dėl įrangos nusidėvėjimo. Šiuo metu valstybė visiems

vartotojams elektros kainą kompensuoja iki 28 ct/kWh, priimama, kad tokią pinigų sumą už kiekvieną pagamintą kilovatvalandę sutaupo/uždirba vartotojas. ESO atsiskaitoma pagal antrą planą ir už kiekvieną įdiegtą kilovatą sumokama po 3,9446 Eur/kW/mėn. (7 lentelė). Eksploatacijos išlaidos kasmet sudaro po 2 % nuo galutinės saulės elektrinės įrengimo sumos. Remiantis Nacionalinės atsinaujinančių šaltinių laboratorijos vertinimais, šiuo metu JAV perdirbti vieną saulės fotovoltinį modulį kainuoja 13,60 - 40,70 Eur, priimama, kad modulio perdirbimas kainuoja 30 Eur [104]. Sudaromi pirmojo namo pinigų srautai, apskaičiuojami diskontuoti pinigų srautai (Europos Sąjungai priklausančiose šalyse nerizikingiems projektams naudojamas diskonto normos diapazonas 0,5-6,9 %, tačiau priimtina ir rekomenduotina naudoti diskonto norma lygi 3 % [105], tokia norma naudojama atliekant ekonominį vertinimą). Įvertinus visas aukščiau nurodytas sąlygas, gauti skaičiavimų rezultatai pateikti 11 priede. Analogiškai sudaromos ir kitų namų saulės elektrinių pinigų srautų lentelės. Naudojantis sudarytomis lentelėmis ir 41-48 formulėmis apskaičiuojami saulės elektrinių atsipirkimo laikotarpiai, NPV ir IRR rodikliai, rentabilumo indeksas. Šiuo metu APVA teikia paramas atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių įsirengimui, šios paramos dydis 323 Eur/kW (parama teikiama iki 10 kW galiai), apskaičiuojamas atsipirkimo laikotarpis ir gavus šią paramą [106]. Visų trijų saulės elektrinių ekonominių rodiklių lentelė pateikta 15 lentelėje.

15 lentelė. Saulės elektrinių ekonominių rodiklių lentelė

	Atsipirkimo laikotarpis metais	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	NPV, Eur	Rentabilumo indeksas	IRR, %	LCOE, Eur/kWh
Pirmojo nomo be APVA	4-tais	4-tais	79122,06	3,43	42	0,09
Pirmojo nomo su APVA	3-tais	4-tais	81352,06	3,43	49	0,06
Antrojo nomo be APVA	4-tais	4-tais	50591,55	3,43	38	0,07
Antrojo nomo su APVA	4-tais	4-tais	53821,55	3,43	48	0,06
Trečiojo nomo be APVA	4-tais	6-tais	22362,97	3,22	23	0,06
Trečiojo nomo su APVA	4-tais	4-tais	47955,94	3,15	36	0,06

15 lentelėje pateiktų rezultatų matoma, kad visi projektai yra pelningi, jų įgyvendinimas yra priimtinas, projektai net ir be APVA paramos atsiperka per šešerius veikimo metus. Iš gauto LCOE rodiklio matoma, kad elektrinės viso gyvavimo ciklo išlaidų padengimui nereikalinga didesnė nei 10 ct/kWh elektros kaina.

Žvelgiant į metinius elektros energijos poreikius (žr. 8 lentelė) ir saulės elektrinės generuojamą energijos kiekį (žr. 9 lentelė) matoma, kad metinėje perspektyvoje saulės elektrinių generacijos pilnai patenkina poreikius, tai reiškia, kad vartotojui nereikės papildomai pirkti elektros energijos, o atiduoti

ir vėliau pasiimti sugeneruotą energiją vartojimui ESO pagal anksčiau minėtą planą sumokama po 3,9446 Eur/kW/mėn. Prie kasmetinių išlaidų prisideda ir išlaidos elektrinių eksploatacijai. Įvertinus šias sąlygas apskaičiuota, kad pirmojo namo vartotojas jau pirmaisiais elektrinės gyvavimo metais sąskaitoms už elektros energiją galėtų sutaupyti iki 6346 Eur, antrojo iki 4317 Eur, trečiojo iki 2146 Eur.

Vėjo elektrinių ekonominis vertinimas. Iš komponentų kainos, prijungimo, statybos darbų kainos sudaroma visų trejų namų išlaidų lentelė (žr. 16 lentelė). Dėl judančių detalių vėjo elektrinės tarnavimo laikas, lyginant su saulės elektrinių, yra trumpesnis. Priimama, kad vėjo turbina sėkmingai veiks 20 metų, kasmet prarasdamos po 2 % našumo ir eksploatacijai skiriant po 3 % per metus nuo įrengimo sumos. Vėjo turbinai atidirbus savo laiką, įvertinamas komponentų perdirbimas ir demontavimas.

16 lentelė. Išlaidos vėjo elektrinių įrenginiams, įrengimui, prijungimui

Įrenginys/medžiaga	Matas	Pirmasis namas		Antrasis namas		Trečiasis namas	
		Kiekis	Išlaidos, Eur	Kiekis	Išlaidos, Eur	Kiekis	Išlaidos, Eur
Vėjo turbina su bokštu ir pamatu <i>SunSurfs WT3 Vertical Axis Wind Turbine</i>	kompl.	1	80000,00	-	-	-	-
Vėjo turbina su bokštu ir pamatu <i>OWELL-20000H</i>	kompl.	-	-	1	65000,00	-	-
Vėjo turbina su bokštu ir pamatu <i>EN-10KW-H</i>	kompl.	-	-	-	-	1	45000,00
Keitiklis <i>GTI-WG30KS</i>	kompl.	1	6100,00	-	-	-	-
Keitiklis <i>CTW-20K3</i>	kompl.	-	-	1	4500,00	-	-
Keitiklis <i>CTW-10K3</i>	kompl.	-	-	-	-	1	2800,00
Aliuminis kabelis <i>AXMK 4x150mm²</i>	m.	90	1676,70	90	1676,70	90	1676,70
Varinis kabelis <i>CYKY 5x35 mm²</i>	m.	40	876,00	40	876,00	40	876,00
Vamzdis d 50	m.	70	77,78	70	77,78	70	77,78
Įžeminimo iki 10 Ω įrengimo komplektas	kompl.	1	600,00	1	500,00	1	400,00
Automatiniai jungikliai	kompl.	4	320,00	4	280,00	4	240,00
Saugikliai	kompl.	2	60,00	2	60,00	2	60,00
Viršįtampių ribotuvai	kompl.	2	200,00	2	200,00	2	200,00
Įvadinis paskirstymo skydelis	kompl.	1	100,00	1	100,00	1	100,00
Prijungimo, įrengimo darbai							
Įžeminimo iki 10 Ω įrengimas	kompl.	1	736,59	1	736,59	1	736,59
VE statybos ir montavimo darbai	kompl.	1	4291,97	1	3507,25	1	2705,15
Rangovo akto pridavimas	vnt.	1	80,00	1	80,00	1	80,00
Prijungimo sąlygų gaminančiam vartotojui kaina	vnt.	1	41,89	1	41,89	1	41,89
Viso:			95160,93		77636,21		54994,11

Moksliniai tyrimai rodo, kad vėjo turbina gamybos užbaigimo procesas gali kainuoti apie 4 % nuo projekto įrengimo sumos, tačiau tokia sąmata ne visada atspindi realybę ir būna atveju, kai vėjo

turbinos perdirbimas kainuoja brangiau, todėl priimama, kad vėjo elektrinių demontavimui ir perdirbimui reikalingi 6 % nuo pradinės įrengimo sumos. Pirmosios vėjo elektrinės įrengimo skaičiavimo kaina programa „Sistela“ pateikta 12 priede. Analogiškai skaičiuojama ir kitoms dviem vėjo elektrinių sistemoms. Vėjo turbinų ekonominiai rodikliai su APVA parama ir be jos pateikiami 17 lentelėje. Iš 17 lentelės matoma, kad vėjo elektrinės yra ilgiau neatsiperkanti technologija lyginant su saulės elektrinėms (pirmojo namo vėjo elektrinės skaičiavimų lentelė pateikta 11 priede). Trečiojo namo (10 kW galios) vėjo elektrinės projekto nerekomenduojama įgyvendinti, nes be paramos diskontuojant pajamų srautus projektas neatsiperka. Pirmųjų dviejų namų vėjo elektrinių projektai atsiperka ir gali būti įgyvendinami.

17 lentelė. Vėjo elektrinių ekonominių rodiklių lentelė

	Atsipirkimo laikotarpis metais	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	NPV, Eur	Rentabilumo indeksas	IRR, %	LCOE, Eur/kWh
Pirmojo nomo be APVA	10-tais	10-tais	29723,37	2,6	8	0,15
Pirmojo nomo su APVA	10-tais	10-tais	33157,97	2,6	8	0,15
Antrojo nomo be APVA	11-tais	10-tais	24702,56	2,73	8	0,15
Antrojo nomo su APVA	12-tais	11-tais	29431,06	2,81	7,5	0,15
Trečiojo nomo su APVA	15-tais	14-tais	-1970,65	2,36	2,5	0,20
Trečiojo nomo be APVA	Neatsiperka	17-tais	2750,80	2,47	3,8	0,19

Gauti rodikliai rodo, kad modeliuojamų 30 kW ir 20 kW galios vėjo elektrinių kaštų padengimui reikalinga ne mažesnė nei 15 ct/kWh elektros kaina, o 10 kW vėjo elektrinei ne mažesnė nei 20 ct/kWh kaina. Įsirengus vėjo elektrinę pirmojo namo vartotojui pirmaisiais veikimo metais ji padėtų sutaupyti iki 4092 Eur, antrojo namo iki 2357, o trečiojo iki 678 Eur.

Hibridinių elektrinių ekonominis vertinimas. 18 lentelėje pateikiamos išlaidos hibridinių sistemų įrengimui. 19 lentelėje matomi hibridinės sistemos ekonominiai rodikliai, prielaidos daromos analogiškos kaip ir vėjo ir saulės elektrinių sistemoms. Dvidešimtais elektrinės veikimo metais demontuojama vėjo elektrinės dalis ir iki 28 metų generuoja saulės elektrinės dalis.

18 lentelė. Išlaidos hibridinių sistemų įrenginiams, įrengimui, prijungimui

Įrenginys/medžiaga	Matas	Pirmasis namas		Antrasis namas		Trečiasis namas	
		Kiekis	Išlaidos, Eur	Kiekis	Išlaidos, Eur	Kiekis	Išlaidos, Eur
Saulės moduliai <i>Sold Bifacial B.60</i>	vnt.	41	6531,3	28	4460,4	14	2230,2
Keitiklis <i>Sungrow</i>	kompl.	1	2250	-	-	-	-
Keitiklis <i>SUN2000 10KTL M1</i>	kompl.	-	-	1	1650,00	-	-
Keitiklis <i>SUN2000-5KTL-M</i>	kompl.	-	-	-	-	1	1060
Aliuminis kabelis <i>H1Z2Z2-K 1x10 mm²</i>	m.	150	75	145	72,5	140	70
Varinis kabelis <i>CYKY 5x10 mm²</i>	m.	40	329,2	40	329,2	40	329,2
Vėjo turbina su bokštu ir pamatu <i>Vertical Axis Wind Turbine Generator 15kw</i>	m.	1	55000	-	-	-	-
Vėjo turbina su bokštu ir pamatu <i>EN-10KW-H</i>	kompl.	-	-	1	45000,00	-	-
Vėjo turbina su bokštu ir pamatu <i>EN-5KW-H</i>	kompl.	-	-	-	-	1	21000
Keitiklis <i>CTW-5K</i>	kompl.	-	-	-	-	1	1700
Keitiklis <i>CTW-20K3</i>	kompl.	1	4500	-	-	-	-
Keitiklis <i>CTW-10K3</i>	kompl.	-	-	1	2800,00	-	-
Aliuminis kabelis <i>AXMK 4x25mm²</i>	m.	90	469,8	90	469,8	90	469,8
Varinis kabelis <i>CYKY 4x16 mm²</i>	m.	40	436	40	436	40	436
Vamzdis d 50	m.	90	99,9	90	99,9	90	99,9
Įžeminimo iki 10 Ω įrengimo komplektas	kompl.	1	600	1	500	1	400
Automatiniai jungikliai	kompl.	8	460	8	460	8	460
Saugikliai	kompl.	4	120	4	120	4	120
Viršįtampių ribotuvai	kompl.	4	300	4	300	4	300
Įvadinis paskirstymo skydelis	kompl.	1	100	1	100	1	100
Montavimo konstrukcijos	kompl.	1	300,00	1	250,00	1	150,00
Prijungimo, įrengimo darbai							
Įžeminimo iki 10 Ω įrengimas	kompl.	1	1390,46	1	1390,46	1	1390,46
Žaibosaugos įrengimas	kompl.	1	492,63	1	492,63	1	492,63
SE ir VE statybos ir montavimo darbai	kompl.	1	7088,53	1	5563,23	1	4704,74
Rangovo akto pridavimas	vnt.	1	80,00	1	80,00	1	80,00
Prijungimo sąlygų gaminančiam vartotojui kaina	vnt.	1	41,89	1	41,89	1	41,89
Viso:			80664,7		64616,01		35634,8

19 lentelė. Hibridinių elektrinių ekonominių rodiklių lentelė

	Atsipirkimo laikotarpis metais	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	NPV, Eur	Rentabilumo indeksas	IRR, %	LCOE, Eur/kWh
Pirmojo namo be APVA	9-tais	10-tais	51836,22	2,43	12	0,13
Pirmojo namo su APVA	8-tais	9-tais	56454,19	2,48	13	0,12
Antrojo namo be APVA	11-tais	13-tais	20909,98	2,21	7	0,14
Antrojo namo su APVA	10-tais	12-tais	25527,96	2,28	8,5	0,14
Trečiojo namo be APVA	Neatsiperka	Neatsiperka	-16079,01	1,42	-6	0,28
Trečiojo namo su APVA	Neatsiperka	Neatsiperka	-11461,04	1,5	-3,5	0,27

Iš 19 lentelės matoma, kad atsiperka tik didesnės galios hibridinės sistemos, tyrimo atveju atsiperka 30 kW ir 20 kW galios hibridinės sistemos (pirmojo namo hibridinės elektrinės skaičiavimų lentelė 11 priede). Suvienodintos energijos kainos rodiklis rodo, kad padengti kaštus pirmojo ir antrojo namo hibridinėms elektrinėms reikalinga ne mažesnė nei 0,14 ct/kWh elektros kaina, o mažiausiai hibridinei sistemai reikalinga 28 ct/kWh elektros kaina. Apskaičiavus kiek vartotojams pavyktų sutaupyti įsirengiant hibridines elektrines pirmaisiais jų veikimo metais matoma, kad pirmojo namo vartotojui pavyktų sutaupyti iki 4480 Eur, antrojo namo iki 2840 Eur, o trečiojo iki 1250 Eur.

Iš gautų rezultatų matoma, kad dėl Lietuvos viduryje vyraujančių nedidelių vėjų ir brangios technologijos mažos galios (mažiau nei 10 kW) vėjo elektrinės įrenginėti ekonomiškai nenaudinga. Įrenginėjant 10 kW hibridinę sistemą, kurioje pusę poreikių dengia saulės elektrinė, o kitą pusę poreikių vėjo elektrinė, mažos vėjo elektrinės generacijos ir didelės išlaidos įrengimui sistemą padaro ekonomiškai nenaudinga. Įrenginėjant didesnės galios vėjo energijos sistemas miesto vietovėse, nustatyta, kad šios sistemos atsiperka maždaug ties pusę gyvavimo ciklo. Hibridinė sistema atsiperka šiek tiek greičiau nei viena vėjo sistema, tačiau vartotojams su 30 kW, 20 kW, 10 kW galios poreikiais ekonomiškai naudingiausia įsirengti saulės elektrines. Tačiau, siekiant mažesnės priklausomybės nuo elektros tinklų, įrenginėti didesnę nei 20 kW hibridinę sistemą naudinga – vasarą ir dienomis poreikius sąlyginai tenkina saulės elektrinė, žiemą ir naktimis vėjo elektrinė.

Projekto jautrumo analizė. Atliekant projekto analizę įvertinamas atsipirkimo laikas esant didesnei diskonto normai ir mažesnei elektros kainai. Atsipirkimo laikotarpiai perskaiciuojami sąlygomis, kai:

1. Elektros kaina sumažėja iki 23 ct/kWh (žr. 20 lentelė);

Sumažėjusi elektros energijos kaina 10 kW vėjo elektrinę padaro visiškai neatsiperkančia ir su parama ir be paramos. Esant 23 ct/kWh ir 3 % diskonto normai ekonomiškai nenaudinga įsirengti ir 20 kW

vėjo ir hibridines elektrines bei 30 kW galios vėjo elektrinę, šios elektrinės neatsiperka ir šių projektų įgyvendinimas yra ekonomiškai nenaudingas.

20 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai elektros kaina 23 ct/kWh

		Atsipirkimo laikotarpis	Atsipirkimo laikotarpis su APVA parama	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	Atsipirkimo laikotarpis su parama diskontuojant pinigų srautus
Pirmojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	5-tais metais	4-tais metais	5-tais metais	5-tais metais
	Vėjo elektrinė	15-tais metais	14-tais metais	Neatsiperka	19-tais metais
	Hibridinė elektrinė	12-tais metais	11-tais metais	15-tais metais	15-tais metais
Antrojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	5-tais metais	4-tais metais	6-tais metais	5-tais metais
	Vėjo elektrinė	15-tais metais	14-tais metais	Neatsiperka	20-tais metais
	Hibridinė elektrinė	17-tais metais	14-tais metais	Neatsiperka	19-tais metais
Trečiojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	7-tais metais	5-tais metais	8-tais metais	6-tais metais
	Vėjo elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka

2. Elektros kaina sumažėja iki 18 ct/kWh (žr. 21 lentelė);

21 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai elektros kaina 18 ct/kWh

		Atsipirkimo laikotarpis	Atsipirkimo laikotarpis su APVA parama	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	Atsipirkimo laikotarpis su parama diskontuojant pinigų srautus
Pirmojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	7-tais metais	6-tais metais	7-tais metais	7-tais metais
	Vėjo elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	Neatsiperka	19-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
Antrojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	8-tais metais	6-tais metais	9-tais metais	7-tais metais
	Vėjo elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka
Trečiojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	11-tais metais	7-tais metais	13-tais metais	8-tais metais
	Vėjo elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka

Elektros kainai sumažėjus iki 18 ct/kWh atsiperka tik saulės elektrinės. 30 kW, 20 kW ir 10 kW vėjo ir hibridinės elektrinės neatsiperka, kai elektros kaina 18 ct/kWh, o diskonto norma 3 % šių projektų ekonominiu požiūriu nerekomenduojama (žr. 21 lentelė). Saulės elektrinių atsipirkimo laikotarpis esant šioms sąlygoms prailgėja beveik dvigubai lyginant su įprastai priimtomis sąlygomis.

3. Diskonto norma 7 % (žr. 22 lentelė);

22 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai diskonto norma 7 %

		Atsipirkimo laikotarpis	Atsipirkimo laikotarpis su APVA parama	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	Atsipirkimo laikotarpis su parama diskontuojant pinigų srautus
Pirmojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	4-tais metais	3-tais metais	4-tais metais	4-tais metais
	Vėjo elektrinė	10-tais metais	10-tais metais	18-tais metais	16-tais metais
	Hibridinė elektrinė	9-tais metais	8-tais metais	12-tais metais	11-tais metais
Antrojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	4-tais metais	4-tais metais	5-tais metais	5-tais metais
	Vėjo elektrinė	11-tais metais	10-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	11-tais metais	10-tais metais	20-tais metais	16-tais metais
Trečiojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	6-tais metais	4-tais metais	7-tais metais	4-tais metais
	Vėjo elektrinė	18-tais metais	14-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka

Diskonto normai esant 7 % visos 30 kW elektrinės išlieka atsiperkamomis, tačiau tokiomis sąlygomis diskontuojant pinigų srautus 20 kW ir 10 kW galios vėjo elektrinės neatsiperka, o 20 kW galios hibridinės elektrinės atsiperkamumas sumažėja iki dvidešimt metų be paramos ir šešiolikos metų su APVA parama. Visų galių saulės elektrinių įgyvendinimas ekonomiškai naudingas.

4. Diskonto norma 10 % (žr. 23 lentelė).

Diskonto normai padidėjus iki 10 % visi vėjo elektrinių projektai ekonomiškai nenaudingi ir neatsiperkantys, neatsiperka ir 20 kW hibridinė elektrinė, o 30 kW hibridinės elektrinės atsiperkamumas sumažėja iki šešiolikos metų be paramos ir keturiolikos metų su parama.

Prie bet kurių išsikeltų sąlygų saulės elektrinės įgyvendinti ekonomiškai naudinga, tačiau elektros kainai sumažėjus 10 ct/kWh nuo pradinių sąlygų jų atsipirkimo laikotarpis pailgėja beveik dvigubai. Vėjo elektrinės sąlygų pasikeitimui ypač jautrios, ties visomis sąlygomis neatsiperka arba atsiperka ciklo gyvavimo paskutiniame ketvirtyje. Lyginant vėjo elektrinių atsipirkimo laikotarpio pasikeitimą prie sumažėjusios elektros energijos kainos ir padidėjusios diskonto normos su hibridinėms elektrinėms sąlygų padarytai įtakai galima teigti, kad hibridinės elektrinės sąlygoms pokyčiams mažiau jautrios, tačiau sąlygų pokyčiai jų atsipirkimą beveik visais atvejais prailgina iki daugiau nei dešimties metų.

23 lentelė. Atsipirkimo laikotarpiai, kai diskonto norma 10 %

		Atsipirkimo laikotarpis	Atsipirkimo laikotarpis su APVA parama	Atsipirkimo laikotarpis diskontuojant pinigų srautus	Atsipirkimo laikotarpis su parama diskontuojant pinigų srautus
Pirmojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	4-tais metais	3-tais metais	4-tais metais	4-tais metais
	Vėjo elektrinė	10-tais metais	10-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	9-tais metais	8-tais metais	16-tais metais	14-tais metais
Antrojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	4-tais metais	4-tais metais	5-tais metais	4-tais metais
	Vėjo elektrinė	11-tais metais	10-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	11-tais metais	10-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
Trečiojo namo elektrinės	Saulės elektrinė	6-tais metais	4-tais metais	7-tais metais	5-tais metais
	Vėjo elektrinė	15-tais metais	14-tais metais	Neatsiperka	Neatsiperka
	Hibridinė elektrinė	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka	Neatsiperka

3.3.2. Modeliuojamų elektrinių vertinimas darnios plėtros aspektu

Kaip aptarta tyrimo metodikos penktame etape, ant pastato stogo įrengta saulės elektrinė nedaro įtakos gyvūnijos judėjimui, neapriboja augmenijos, jos įrengimui nereikia pašalinti medžių ir kitų augalų. Darbe tiriamos neaukštos (12 m) ir nedidelės galios vėjo turbinos nedaro žalingos įtakos gyvajai gamtai, tačiau žmonėms su jautresne klausa net ir negarsus turbinos veikimas gali turėti neigiamų psichologinių veiksnių. Tokių, nedidelės galios turbinų skleidžiamas garsas gali daryti neigiamą poveikį žmonėms turintiems neigiamą požiūrį į vėjo energetikos vystymą [78].

24 lentelė. Eksploatacijos metu sutaupomas CO₂ kiekis, energiją gaminant atsinaujinančių energijos išteklių elektrinėse

Atsinaujinančių šaltinių rūšis	Generuojamas elektros kiekis, MWh	Išskiriamas CO ₂ kiekis, t (ne iš atsinaujinančių energijos šaltinių vykdomiems projektams)
Saulės elektrinės	32,257	13,548
	21,650	9,093
	11,137	4,678
Vėjo elektrinės	50,634	21,266
	41,782	17,548
	23,463	9,854
Hibridinės elektrinės	51,336	21,561
	34,598	14,531
	11,674	4,903

Eksplotacijos metu išmetamų CO₂ emisijų vertinimas. Naudojantis penktame tyrimo etape aprašyta šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio sumažinimo metodika, apskaičiuojama, kiek sumažinamos CO₂ emisijos įsidiegiant kiekvieną iš tirtų atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių. 24 lentelėje pateiktas CO₂ emisijų kiekis kuris būtų išskiriamas norint pagaminti tokį pat energijos kiekį, kurį generuoja tirtos atsinaujinančių šaltinių elektrinės, jei tas energijos kiekis būtų gaminamas neatsinaujinančių šaltinių elektrinėse. Matoma, per metus pagaminant 10 MWh neatsinaujinančių šaltinių elektrinėse išmetama 4,2 t CO₂ emisijų. Anksčiau atlikti skaičiavimai parodė, kad ekonomiškai naudingiausia įsirengti saulės elektrines, šias elektrines įsirengę visi trys vartotojai sutaupytų daugiau nei 27 t išmetamų CO₂ emisijų per metus. Įsirengus vėjo elektrines per metus į aplinką būtų išmetama 48 t mažiau CO₂ emisijų, o įsirengus visas tris hibridines sistemas būtų išmetama beveik 41 t CO₂ mažiau emisijų per metus.

Viso gyvavimo ciklo metu išskiriamų emisijų vertinimas. Kaip aptarta penktoje tyrimo dalyje moksliniai tyrimai rodo, kad viso gyvavimo ciklo saulės elektrinėse išskiriama tarp 53,4-250 g CO₂ kWh, o sausumos vėjo elektrinėse 4,97-8,21 g CO₂ kWh. Skaičiuojant CO₂ emisijas viso gyvavimo ciklo metu priimama vidutinė norma, t. y. saulės elektrinėms – 151,7 g CO₂ kWh (0,1517 t CO₂ MWh), vėjo elektrinėms – 6,59 g CO₂ kWh (0,0659 t CO₂ MWh) [84]. Gaminant energiją iš iškastinio kuro, remiantis Vėlo energetikos ir pramonės strategijos departamento duomenimis, norint pagaminti vieną MWh iš dujų išskiriama 0,5 t CO₂, iš naftos – 0,65 t CO₂, iš anglies – 0,9 t CO₂ emisijų [107].

25 lentelė. Viso gyvavimo ciklo metu tirtose atsinaujinančių šaltinių elektrinėse išskiriamas CO₂ kiekis

Atsinaujinančių šaltinių rūšis	Generuojamas elektros kiekis, MWh	Išskiriamas CO ₂ kiekis viso gyvavimo ciklo metu, t
Saulės elektrinės	32,257	4,893
	21,650	3,284
	11,137	1,689
Vėjo elektrinės	50,634	3,337
	41,782	2,753
	23,463	1,546
Hibridinės elektrinės	51,336	4,755
	34,598	3,235
	11,674	1,242

25 lentelėje gauti rezultatai parodo, koks emisijų kiekis tirtose atsinaujinančių šaltinių elektrinėse išskiriamas viso elektrinės gyvavimo ciklo metu. Įdiegus visas tris saulės elektrines išskiriamas CO₂ kiekis lygus 9,86 t, vėjo elektrines – 7,63 t, hibridines elektrines – 9,23 t.

Emisijų sutaupymo vertinimas parodo, kad vos trims gyvenamųjų namų gyventojams įsidiegus atsinaujinančių šaltinių elektrines per metus galima sutaupyti daugiau nei 27 t CO₂ emisijų. Iš gautų rezultatų matoma, koks svarus yra mažųjų atsinaujinančių šaltinių elektrines įsidiegusių gamintojų indėlis, siekiant mažesnio kiekio aplinkai kenksmingų emisijų.

Išvados

1. Dažniausiai namų ūkiuose naudojamos atsinaujinančių energijos šaltinių technologijos – saulės, vėjo ir šias technologijas apjungiančios hibridinės elektrinės. Nuo atsinaujinančių energijos išteklių elektrinių atsiradimo pradžios išsaugo vėjo ir saulės elektrinių komponentų efektyvumas. Mažėjanti komponentų ir įrengimo kaina saulės ir vėjo elektrines padaro prieinamas didžiajai visuomenės daliai. Prie atsinaujinančių energijos šaltinių plėtojimo prisideda ir tarptautiniai susitarimai, tokie kaip pasirašytas Kioto protokolas ir Paryžiaus susitarimas. Europos Sąjungoje sėkmingai veikia apyvartinių taršos leidimų sistema, kurios įgyvendinimas nuo 2005 m. iki 2019 m. leido apie 35 % sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį. Finansiškai tvarūs projektai remiami žaliosiomis obligacijomis, vykdoma strategija Europos žaliasis kursas, programa Europos horizontas. Nacionaliniu lygiu prie tvarių projektų skatinimo prisideda Viešųjų investicijų plėtros ir aplinkos projektų valdymo agentūros.
2. Tyrime atsinaujinančių energijos šaltinių diegimas gyvenamuosiuose pastatuose vykdomas penkiais etapais:
 - pirmuoju etapu charakterizuojamas tiriamas objektas ir įvertinamos klimatinės sąlygos, nuo kurių tiesiogiai priklauso atsinaujinančių šaltinių generuojamas elektros energijos kiekis;
 - antruoju etapu dviem metodais – skaičiuojamųjų elektros apkrovų bei apkrovų sudarymo – įvertinami vartotojų poreikiai ir įvertinama, kad reikalingos 30 kW, 20 kW ir 10 kW galios atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinės;
 - trečiuoju etapu sumodeliuojamos devynios atsinaujinančių energijos išteklių – saulės, vėjo ir hibridinės 30 kW, 20 kW ir 10 kW galios elektrinės. Vėjo elektrinės generuojamas energijos kiekis apskaičiuojamas remiantis *Veibulo* parametrais, saulės elektrinės generacijos apskaičiuojamos pasitelkus programą „*PVsyst*“.
 - ketvirtuoju etapu, naudojantis elektrinių komponentų gamintojų informacija ir programa „*Sistela*“ sudarytos elektrinių komponentų, įrengimų ir statybos darbų sąmatos.
 - penktuoju etapu vertinama elektrinių įtaka aplinkai. Apskaičiuojamas elektrinių energijos gamybos metu sutaupomas ir viso elektrinių gyvavimo ciklo metu išmetamas CO₂ kiekis, įvertinama įtaka gyvūnijai, augmenijai ir gyventojams.
3. Atlikus visų trijų atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinių analizę (kai elektros kaina 28 ct/kWh, diskonto norma 3 %), nustatyta:
 - miesto vietovėse įrenginėti mažesnės nei 10 kW galios vertikalios ašies vėjo elektrinių ekonomiškai nenaudinga. Lyginant trijų – 30 kW, 20 kW ir 10 kW – galių vertikalios ašies vėjo elektrines paaiškėjo, kad 10 kW elektrinė ekonominiu požiūriu neatsiperka, o 30 kW ir 20 kW galios vertikalios ašies vėjo elektrinės atsiperka dešimtaisiais ir dvyliktaisiais veikimo metais;
 - hibridinės saulės ir vėjo sistemos naudingos siekiant pastovesnės generacijos. Saulės elektrinių generacijos stoką žiemą ir naktį iš dalies gali kompensuoti vėjo elektrinės dalies generacija. Tačiau atlikus tyrimą nustatyta, kad 10 kW hibridinė sistema neatsiperka, 20 kW hibridinė elektrinė atsiperka tryliktaisiais, o 30 kW atsiperka dešimtaisiais veikimo metais;

- saulės elektrinės įrengimas, priešingai nei vėjo ar hibridinės elektrinės, naudingas ir nedidelės galios poreikio vartotojams. Nustatyta, kad 10 kW saulės elektrinė su APVA parama atsiperka ketvirtaisiais, per tokį pat laikotarpį atsiperka ir 20 kW bei 30 kW saulės elektrinės;
 - įvertinta, kad įrengus mažiausią tirtą atsinaujinančių šaltinių elektrinę, per metus į aplinką išmetama 4 t mažiau CO₂ emisijų nei tam pačiam energijos kiekiui pagaminti emisijų išmestų neatsinaujinančių šaltinių elektrinės.
4. Atlikus projekto jautrumo analizę nustatyta, kad mažėjant elektros kainai arba didėjant diskonto normai mažiausiai jautrūs ir visomis tirtomis aplinkybėmis išlieka ekonomiškai naudingi saulės elektrinių projektai. Elektros kainai nuo pradinių 28 ct/kWh sumažėjus iki 18 ct/kWh arba diskonto normai nuo 3 % padidėjus iki 10 % atsiperka tik saulės elektrinių projektai. Vertinant sąlygą kai diskonto norma padidėja iki 7 % neatsiperka ir 20 kW bei 10 kW vėjo ir hibridinių elektrinių projektai.
 5. Palyginus tris skirtingų galių ir tipų atsinaujinančių energijos išteklių modelius nustatyta, kad 30 kW, 20 kW ir 10 kW galios vartotojams ekonomiškai naudingiausia (kai elektros kaina 28 ct/kWh, diskonto norma 3 %) įsirengti saulės elektrines, nes visos saulės elektrinės su aplinkos projektų valdymo agentūros parama atsiperka jau ketvirtaisiais veikimo metais. Įsirengus saulės elektrines, elektros energijos gamybos metu į aplinką būtų išmetama 27 t mažiau CO₂ emisijų. Įsirengus vėjo elektrines išmetama 48 t mažiau CO₂ emisijų, o įsirengus tris hibridines sistemas – 41 t mažiau CO₂ emisijų per metus. Vertinant išskiriamą emisijų kiekį viso elektrinių gyvavimo ciklo metu, nustatyta, kad įdiegus tris saulės elektrines, išskiriamas CO₂ kiekis lygus 9,86 t, vėjo elektrines – 7,63 t, hibridines elektrines – 9,23 t.

Literatūros sąrašas

- [1] “Global | Statistics | Renewable Energy Institute.” <https://www.renewable-ei.org/en/statistics/international/> (accessed Jun. 11, 2022).
- [2] “Fact Sheet | Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels (2021) | White Papers | EESI.” <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-climate-environmental-and-health-impacts-of-fossil-fuels-2021> (accessed Jun. 11, 2022).
- [3] “Global Warming 101 - Definition, Facts, Causes and Effects of Global Warming | NRDC.” <https://www.nrdc.org/stories/global-warming-101> (accessed Jun. 11, 2022).
- [4] “Air pollution.” https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (accessed Jan. 21, 2023).
- [5] “Air quality and health.” <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/exposure-air-pollution> (accessed Jan. 21, 2023).
- [6] U. Nations, “What is renewable energy? | United Nations”, Accessed: Mar. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [7] “EU drafts plan to remove more carbon emissions from the air | Reuters.” <https://www.reuters.com/business/cop/eu-drafts-plan-remove-more-carbon-emissions-air-2021-12-01/> (accessed Jan. 21, 2023).
- [8] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M. D. Bazilian, N. Wagner, and R. Gorini, “The role of renewable energy in the global energy transformation,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 24, pp. 38–50, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.ESR.2019.01.006.
- [9] “World Energy Consumption in 2019 | Planète Énergies.” <https://www.planete-energies.com/en/medias/figures/world-energy-consumption-2019> (accessed Jan. 22, 2023).
- [10] M. H. Ahmadi *et al.*, “Solar power technology for electricity generation: A critical review,” *Energy Sci. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 340–361, Oct. 2018, doi: 10.1002/ESE3.239.
- [11] G. E. Halkos and E. C. Gkampoura, “Reviewing Usage, Potentials, and Limitations of Renewable Energy Sources,” *Energies 2020, Vol. 13, Page 2906*, vol. 13, no. 11, p. 2906, Jun. 2020, doi: 10.3390/EN13112906.
- [12] A. Mohammad Bagher, “Types of Solar Cells and Application,” *Am. J. Opt. Photonics*, vol. 3, no. 5, p. 94, 2015, doi: 10.11648/J.AJOP.20150305.17.
- [13] “Monokristaliniai ir polikristaliniai saulės moduliai - kuriuos rinktis?” <https://www.giminija.lt/skirtumai-tarp-monokristaliniu-ir-polikristaliniu-saules-moduliu/> (accessed Jan. 22, 2023).
- [14] M. Mirzaei and M. Z. Mohiabadi, “A comparative analysis of long-term field test of monocrystalline and polycrystalline PV power generation in semi-arid climate conditions,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 38, pp. 93–101, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.ESD.2017.01.002.
- [15] “Solar Panel Angles and Orientation, Does It Matter? – Forbes Home.” <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/best-angle-for-solar-panels/> (accessed Jan. 22, 2023).
- [16] “Saulės elektrinių irengimo ypatumai | Staltika.” <https://www.staltika.lt/saules-energijos-sistemas/fotovoltines-elektrines/saules-elektriniu-irengimo-ypatumai-2/> (accessed Jan. 22, 2023).
- [17] F. Taghizadeh-Hesary, N. Yoshino, and Y. Inagaki, “Empirical analysis of factors influencing the price of solar modules,” *Int. J. Energy Sect. Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 77–97, Mar. 2019, doi: 10.1108/IJESM-05-2018-0005/FULL/PDF.
- [18] “7 reasons why solar has become cheaper over time.” <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/02/7-reasons-solar-become-cheaper-time/> (accessed Jan. 22, 2023).
- [19] M. A. Green, “How Did Solar Cells Get So Cheap?,” *Joule*, vol. 3, no. 3, pp. 631–633, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.JOULE.2019.02.010.
- [20] “Types of Solar Power Plants: Choose the Best | Blog | absrenewpower.” <https://absrenewpower.com/types-of-solar-power-plants-choose-which-suits-you-the-best/>

- (accessed Mar. 27, 2023).
- [21] “Saulės elektrinių komplektai namams - Solet Technics.” <https://www.solet.lt/produktokategorija/saules-elektriniu-iranga/saules-elektriniu-komplektai/> (accessed Jun. 16, 2022).
 - [22] “What is a hybrid inverter — Clean Energy Reviews.” <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/what-is-a-hybrid-inverter> (accessed Jan. 22, 2023).
 - [23] R. Dogga and M. K. Pathak, “Recent trends in solar PV inverter topologies,” *Sol. Energy*, vol. 183, pp. 57–73, May 2019, doi: 10.1016/J.SOLENER.2019.02.065.
 - [24] “Solar Inverters: Types, Pros and Cons | Solar.com.” <https://www.solar.com/learn/solar-inverter/> (accessed Jan. 22, 2023).
 - [25] B. Diouf and R. Pode, “Potential of lithium-ion batteries in renewable energy,” *Renew. Energy*, vol. 76, pp. 375–380, Apr. 2015, doi: 10.1016/J.RENENE.2014.11.058.
 - [26] R. Satpathy and V. Pamuru, “Off-grid solar photovoltaic systems,” *Sol. PV Power*, pp. 267–315, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-817626-9.00007-1.
 - [27] “Wind Electricity – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/wind-electricity> (accessed Jan. 25, 2023).
 - [28] “Global Wind Report 2022 - Global Wind Energy Council.” <https://gwec.net/global-wind-report-2022/> (accessed Jan. 25, 2023).
 - [29] S. A. Vargas, G. R. T. Esteves, P. M. Maçaira, B. Q. Bastos, F. L. Cyrino Oliveira, and R. C. Souza, “Wind power generation: A review and a research agenda,” *J. Clean. Prod.*, vol. 218, pp. 850–870, May 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.015.
 - [30] A. Vassel-Be-Hagh and C. L. Archer, “Wind farm hub height optimization,” *Appl. Energy*, vol. 195, pp. 905–921, 2017, doi: 10.1016/J.APENERGY.2017.03.089.
 - [31] S. Rehman, M. Mahbub Alam, L. M. Alhems, and M. Mujahid Rafique, “Horizontal Axis Wind Turbine Blade Design Methodologies for Efficiency Enhancement—A Review,” *Energies 2018, Vol. 11, Page 506*, vol. 11, no. 3, p. 506, Feb. 2018, doi: 10.3390/EN11030506.
 - [32] “Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) Working Principle | Single Blade, Two Blade, Three-Blade Wind Turbine | Electrical Academia.” <https://electricalacademia.com/renewable-energy/horizontal-axis-wind-turbine-hawt-working-principle-single-blade-two-blade-three-blade-wind-turbine/> (accessed Jan. 29, 2023).
 - [33] “VEVOR 500W/12V vėjo generatorius, penki sparnai - DRYLAND.” <https://dryland.lt/shop1/index.php/produktas/vevor-500w-12v-vejo-generatorius-penkios-mentes/> (accessed Jan. 29, 2023).
 - [34] M. M. Aslam Bhutta, N. Hayat, A. U. Farooq, Z. Ali, S. R. Jamil, and Z. Hussain, “Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 1926–1939, May 2012, doi: 10.1016/J.RSER.2011.12.004.
 - [35] B. C. Cochran, R. R. Damiani, and B. Cochran, “Integrating Wind Energy into the Design of Tall Buildings-A Case Study of the Houston Discovery Tower WINDPOWER 2008 Harvesting Wind Power from Tall Buildings”.
 - [36] R. Kumar, K. Raahemifar, and A. S. Fung, “A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 89, pp. 281–291, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.03.033.
 - [37] H. Díaz and C. Guedes Soares, “Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms,” *Ocean Eng.*, vol. 209, p. 107381, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2020.107381.
 - [38] S. Anderson, “Comparing Offshore and Onshore Wind,” 2013, Accessed: Feb. 05, 2023. [Online]. Available: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/MT_
 - [39] “Onshore vs offshore wind energy: what’s the difference? | National Grid Group.” <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/onshore-vs-offshore-wind-energy> (accessed Feb. 05, 2023).
 - [40] “What the Future of Renewable Energy Looks Like | Earth.Org.” <https://earth.org/the-growth-of-renewable-energy-what-does-the-future-hold/> (accessed Mar. 29, 2023).

- [41] R. Al Badwawi, M. Abusara, and T. Mallick, "A Review of Hybrid Solar PV and Wind Energy System," *Smart Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 127–138, 2015, doi: 10.1080/23080477.2015.11665647.
- [42] L. C. Hamilton, E. Bell, J. Hartter, and J. D. Salerno, "A change in the wind? US public views on renewable energy and climate compared," *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, Dec. 2018, doi: 10.1186/S13705-018-0152-5/FIGURES/5.
- [43] J. Blazquez, N. Nezamuddin, and T. Zamrik, "Economic policy instruments and market uncertainty: Exploring the impact on renewables adoption," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, pp. 224–233, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.05.050.
- [44] "What is the United Nations Framework Convention on Climate Change? | UNFCCC." <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change> (accessed Feb. 05, 2023).
- [45] N. Maamoun, "The Kyoto protocol: Empirical evidence of a hidden success," *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 95, pp. 227–256, May 2019, doi: 10.1016/J.JEEM.2019.04.001.
- [46] S. N. Seo, "Beyond the Paris Agreement: Climate change policy negotiations and future directions," *Reg. Sci. Policy Pract.*, vol. 9, no. 2, pp. 121–140, Jun. 2017, doi: 10.1111/RSP3.12090.
- [47] J. Teixidó, S. F. Verde, and F. Nicolli, "The impact of the EU Emissions Trading System on low-carbon technological change: The empirical evidence," *Ecol. Econ.*, vol. 164, p. 106347, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.ECOLECON.2019.06.002.
- [48] M. Wråke, D. Burtraw, Å. Löfgren, and L. Zetterberg, "What have we learnt from the European union's emissions trading system?," *Ambio*, vol. 41, no. SUPPL.1, pp. 12–22, Feb. 2012, doi: 10.1007/S13280-011-0237-2/FIGURES/2.
- [49] B. Hintermann, "Allowance price drivers in the first phase of the EU ETS," *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 59, no. 1, pp. 43–56, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.jeem.2009.07.002.
- [50] "The EU Emissions Trading System: an Introduction | Climate Policy Info Hub." <https://climatepolicyinfohub.eu/eu-emissions-trading-system-introduction.html> (accessed Feb. 06, 2023).
- [51] E. G. Nisbet *et al.*, "Methane Mitigation: Methods to Reduce Emissions, on the Path to the Paris Agreement," *Rev. Geophys.*, vol. 58, no. 1, p. e2019RG000675, Mar. 2020, doi: 10.1029/2019RG000675.
- [52] "Overview of sustainable finance." https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/overview-sustainable-finance_en (accessed Feb. 08, 2023).
- [53] C. Flammer, "Corporate green bonds," *J. financ. econ.*, vol. 142, no. 2, pp. 499–516, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.JFINECO.2021.01.010.
- [54] "Emerging Market Green Bonds - Report 2021 | Amundi Research center." <https://research-center.amundi.com/article/emerging-market-green-bonds-report-2021> (accessed Mar. 29, 2023).
- [55] "Žaliasis kursas | Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija." <https://zum.lrv.lt/lt/zaliasis-kursas> (accessed Feb. 12, 2023).
- [56] "Programa „Europos horizontas“ | Lietuvos mokslo taryba." <https://www.lmt.lt/lt/europos-horizontas/programa-europos-horizontas/3636> (accessed Feb. 12, 2023).
- [57] "Horizon Europe." https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en (accessed Feb. 12, 2023).
- [58] "EU Green Deal Survey: PwC." <https://www.pwc.com/gx/en/services/tax/publications/are-europes-businesses-ready-for-the-eu-green-deal.html> (accessed Feb. 12, 2023).
- [59] "TIPS – Tvariųjų išteklių plėtros skatinimas - Viešųjų investicijų plėtros agentūra." <https://www.vipa.lt/apie-vipa/tips/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [60] "Aplinkos projektų valdymo agentūra | Aplinkos projektų valdymo agentūra." <https://www.apva.lt/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [61] T. Güney, "Renewable energy, non-renewable energy and sustainable development," *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, vol. 26, no. 5, pp. 389–397, Jul. 2019, doi:

- 10.1080/13504509.2019.1595214/SUPPL_FILE/TSDW_A_1595214_SM1378.RAR.
- [62] P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, H. Mikulcic, and S. Kalogirou, "Sustainable development using renewable energy technology," *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 2430–2437, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.08.094.
 - [63] I. Dincer, "Renewable energy and sustainable development: a crucial review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 4, no. 2, pp. 157–175, Jun. 2000, doi: 10.1016/S1364-0321(99)00011-8.
 - [64] E. T. Sayed *et al.*, "A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal," *Sci. Total Environ.*, vol. 766, p. 144505, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.144505.
 - [65] R. Saidur, N. A. Rahim, M. R. Islam, and K. H. Solangi, "Environmental impact of wind energy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 5, pp. 2423–2430, Jun. 2011, doi: 10.1016/J.RSER.2011.02.024.
 - [66] E. Klugmann-Radziemska, "Environmental Impacts of Renewable Energy Technologies", doi: 10.7763/IPCBE.
 - [67] D. Turney and V. Fthenakis, "Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 6, pp. 3261–3270, Aug. 2011, doi: 10.1016/J.RSER.2011.04.023.
 - [68] "Solar Power by Country 2022." <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/solar-power-by-country> (accessed Jun. 14, 2022).
 - [69] "UAB "ATENERGO"- vėjo jėgainės - atsinaujinantys energijos šaltiniai." <http://www.atenergo.lt/vejuotumas.html> (accessed Jan. 18, 2023).
 - [70] M. Sadat-Mohammadi, M. Nazari-Heris, E. Nazerfard, M. Abedi, S. Asadi, and H. Jebelli, "Intelligent approach for residential load scheduling," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 14, no. 21, pp. 4738–4745, Nov. 2020, doi: 10.1049/IET-GTD.2020.0143.
 - [71] "1-312 Dėl Skaičiuojamųjų elektros apkrovų nustatymo metodikos patvirtinimo." <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/24e5ae208fa711e48028e9b85331c55d/asr> (accessed May 04, 2023).
 - [72] "PVsyst – Logiciel Photovoltaïque." <https://www.pvsyst.com/> (accessed Mar. 27, 2023).
 - [73] "1-22 Dėl Elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių patvirtinimo." <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418124/asr> (accessed Mar. 12, 2023).
 - [74] "Gaminančio kliento prijungimas iki 30 kW - Gaminančio kliento prijungimas - ESO - Energijos skirstymo operatorius." https://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/paslaugos-ir-elektros-prietaisu-remontas/gaminantis-klientas-prijungimas/gaminancio-kliento-prijungimas-iki-30-kw.html (accessed May 03, 2023).
 - [75] "Saulės elektrinės kaina. Kiek kainuoja Lietuvoje? - Energija Man." https://energijaman.lt/naujienos/saules-elekrines-kaina/?fbclid=IwAR0Lg1N0Fmu_Ytx-7wB8Yzs05iOmXoQ0BxEJhIN2I6D89vgOWHSiH9d0TN0 (accessed May 03, 2023).
 - [76] "UAB Sistela - statybos darbų sąmatos, kainynai, normatyvai." <http://www.sistela.lt/> (accessed May 03, 2023).
 - [77] "Gaminančių vartotojų atsiskaitymo būdai - Tarifų planai, kainos, atsiskaitymas - ESO - Energijos skirstymo operatorius." <https://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/gaminanciu-vartotoju-kainos.html#!topic751> (accessed Mar. 18, 2023).
 - [78] J. Taylor, C. Eastwick, C. Lawrence, and R. Wilson, "Noise levels and noise perception from small and micro wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 55, pp. 120–127, Jul. 2013, doi: 10.1016/J.RENENE.2012.11.031.
 - [79] "Noise levels of wind farms".
 - [80] "Wind turbine 5 kW (W6)." <https://winder.ua/eng/wind-turbines-winder/wind-turbine-5-kw-w6.html> (accessed May 05, 2023).
 - [81] "V-604 Dėl Lietuvos higienos normos HN 33:2011 "Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninė..." <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.402074> (accessed May 05, 2023).

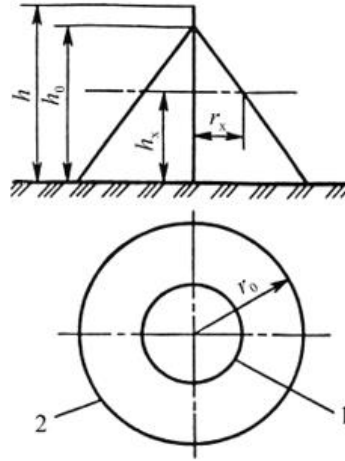
- [82] “D1-315 Dėl Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2010 m. balandžio 6 d. įsakymo Nr. D1-275 „Dėl Klimato...” https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/21576262a0d311eaa51db668f0092944?fbclid=IwAR2_Bk4Ua221jT-o9KlCrbWy6WYT0l707utXm_yEcctNndFPm_ajz4idQ74 (accessed May 25, 2023).
- [83] N. H. Reich, E. A. Alsema, W. G. J. H. M. Van Sark, W. C. Turkenburg, and W. C. Sinke, “Greenhouse gas emissions associated with photovoltaic electricity from crystalline silicon modules under various energy supply options,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 19, no. 5, pp. 603–613, Aug. 2011, doi: 10.1002/PIP.1066.
- [84] Y. Wang and T. Sun, “Life cycle assessment of CO₂ emissions from wind power plants: Methodology and case studies,” *Renew. Energy*, vol. 43, pp. 30–36, Jul. 2012, doi: 10.1016/J.RENENE.2011.12.017.
- [85] “Dažniausiai užduodami klausimai apie gaminančius vartotojus | Lietuvos Respublikos energetikos ministerija.” <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/elektros-energija-gaminantys-vartotojai/dazniausiai-uzduodami-klausimai-apie-elektra-gaminancius-vartotojus> (accessed Jan. 17, 2023).
- [86] “Full black stiklas stiklas saulės modulis | SoliTek.” https://www.solitek.lt/lt/products/full-black-saules-modulis-solid-bifacial-b60?gclid=Cj0KCQjw9deiBhC1ARIsAHLjR2CKF1lgtbj6KNDGNSqgMWvcyHXR8H_7WG4bSrE0BZgvOkpS5iGpta8aAhVIEALw_wcB (accessed May 06, 2023).
- [87] “HUAWEI Smart String Inverter SUN2000-20KTL-M2.” <https://www.europe-solarstore.com/huawei-smart-string-inverter-sun2000-20ktl-m2.html> (accessed May 09, 2023).
- [88] “HUAWEI SUN 2000-4KTL-M1-HC (high current) - 7sun.pl.” <https://7sun.pl/huawei-sun-2000-4ktl-m1-hc-high-current,3,220,2639> (accessed Apr. 26, 2023).
- [89] “HUAWEI SUN 2000-10KTL-M1-HC (high current) - 7sun.pl.” https://7sun.pl/huawei-sun-2000-10ktl-m1-hc-high-current,3,220,2536?gclid=CjwKCAjwue6hBhBVEiwA9YTx8GZmvCy8gaxyBy3W60ECE9LV49Chotlnp5D4O-XWoLOUP-RQnj61nhoCryQQAvD_BwE (accessed Apr. 16, 2023).
- [90] “Wholesale EN H1Z2Z2-K Single Core Solar Cable Manufacturer and Supplier | Winpower.” <https://www.whxcable.com/en-h1z2z2-k-single-core-solar-cable-product/> (accessed Apr. 23, 2023).
- [91] “CYKY-J-5x6 Power Cable CYKY-J, 5g 6mm² 450/750V, -15..70°C, 100m/pck, black Elit GlobalStore™ - Electrical and automation components, PLC, HMI Distributor.” <https://elit.ee/product@CYKY-J-5x6.html> (accessed Apr. 23, 2023).
- [92] I. Hui, B. E. Cain, and J. O. Dabiri, “Public receptiveness of vertical axis wind turbines,” *Energy Policy*, vol. 112, pp. 258–271, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.ENPOL.2017.10.028.
- [93] “SunSurfs WT3 Vertical Axis Wind Turbine 30,000W (30KW).” https://www.solarstore.co/SunSurfs-WT3-Vertical-Axis-Wind-Turbine-30000W-30KW_p_67.html?fbclid=IwAR15hsaSljrdKyLONjdnfmZ7D6p7RhYdEwJXl69fHgHAPSOE6YQV3LTOt7E (accessed May 10, 2023).
- [94] “OWELL industries_20kW Vertical Axis wind turbine_20kW Vertical Axis wind turbine generator.” <https://www.owellindustries.com/hot-sales-20kw-vertical-axis-wind-turbine-permanent-magnet-generator.html?fbclid=IwAR2gs0eks0PddYcaUojAnxkj281AAufnVucYD5ylUL8I9YG1H2fVd76ue5g> (accessed May 10, 2023).
- [95] “EN-10KW-H - YUEQING ENGELEC ELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD.” http://www.engelecenergy.com/vertical-axis-wind-turbine-generator-en-10kw-h-vawt.html?fbclid=IwAR2290oKf_s22Ncobk1k9jRYSFIPv1VavDLLbHzZTzB3MiBAXN1a_t1-SPc (accessed May 10, 2023).
- [96] “On grid inverter 1.5KW 2KW 3KW 3.6KW 5KW - CTW-3KS - Challen (China Manufacturer) - Other Power Supply & Distribution - Power Supply &.”

- https://www.diytrade.com/china/pd/10297626/On_grid_inverter_1_5KW_2KW_3KW_3_6KW_5KW.html (accessed Apr. 24, 2023).
- [97] “Wind Grid tie inverter, wind turbine for home-Senwei-China best wind turbine, wind turbine manufacturers.” <https://www.windpowercn.com/products/24.html> (accessed Apr. 21, 2023).
- [98] “0.6/1 Kv XLPE Insulated Power Cable 4X50 4X70 4X150 4X185 4X240 4X300 Axmk Cable - jytopcable.” <https://www.vwcable.com/0-6-1-kv-xlpe-insulated-power-cable-4x50-4x70-4x150-4x185-4x240-4x300-axmk-cable/> (accessed Apr. 23, 2023).
- [99] “Climate & Weather Averages in Kaunas, Lithuania.” <https://www.timeanddate.com/weather/lithuania/kaunas/climate> (accessed Apr. 22, 2023).
- [100] “Vertical Axis Wind Turbine Generator 15kw.” <http://www.xindaenergy.com/Vertical-Axis-Wind-Turbine-Generator-15kw-p91.html> (accessed May 10, 2023).
- [101] “EN-5KW-H VAWT wind turbine- ENGELEC POWER TECHNOLOGY CO.,LTD.” <http://www.engelecenergy.com/vertical-axis-wind-turbine-generator-en-5kw-h-vawt.html> (accessed Apr. 19, 2023).
- [102] “HUAWEI Three phase solar inverter SUN2000-10KTL-M1.” <https://www.europe-solarstore.com/huawei-three-phase-solar-inverter-sun2000-10ktl-m0.html> (accessed May 09, 2023).
- [103] “Sungrow New Generation 15kW 3 Phase 2 MPPT w/WiFi, DC Switch Built-in (SG15RT).” <https://www.springers.com.au/shop/product/sg15rt-sungrow-15kw-three-phase-inverter-13816> (accessed May 10, 2023).
- [104] “Feds want industry help to lower PV recycling costs.” <https://resource-recycling.com/recycling/2022/04/05/feds-want-industry-help-to-lower-pv-recycling-costs/> (accessed May 11, 2023).
- [105] “Discount rates applied by EU Member States in cost-optimality calculations | Download Scientific Diagram.” https://www.researchgate.net/figure/Discount-rates-applied-by-EU-Member-States-in-cost-optimality-calculations_fig1_324170334 (accessed May 13, 2023).
- [106] “Jau galima teikti paraiškas įsirengti saulės elektrinę namų ūkiuose: parama siekia beveik 30 mln. eurų | Aplinkos projektų valdymo agentūra.” <https://www.apva.lt/jau-galima-teikti-paraiskas-isirengti-saules-elektrine-namu-ukiuose-parama-siekia-beveik-30-mln-euru/> (accessed May 11, 2023).
- [107] “KWH-to- CO2.” <https://www.rensmart.com/Calculators/KWH-to-CO2> (accessed May 11, 2023).
- [108] J. Baublys and P. Jankauskas, “APSAUGA NUO ŽAIBO Monografija,” 2006.
- [109] R. A. Diantari and I. Pujotomo, “Calculation of electrical energy with solar power plant design,” *Proceeding - 2016 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2016 Recent Trends Intell. Comput. Technol. Sustain. Energy*, pp. 443–446, Jan. 2017, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828701.
- [110] “EN-2KW-H - YUEQING ENGELEC ELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD.” <http://www.engelecenergy.com/vertical-axis-wind-turbine-generator-en-2kw-h-vawt.html> (accessed Apr. 24, 2023).

Priedai

1 Priedas. Įžeminimo ir apsaugos nuo žaibo skaičiavimai

Apsaugos nuo žaibo įrengimui reikalinga įžeminimo juosta ir žaibo ėmikliai. Vieno stiebo žaibo ėmiklio apsaugos zona yra kūgio formos. Žaibo ėmiklio apsaugos zona [108].



Žaibo ėmiklio apsaugos zona [108]

Čia, 1 - apsaugos zona h_x aukštyje; 2 - visas žaibo ėmiklio apsaugomas spindulys. Žaibo ėmiklio apsaugos spindulys [108]:

$$h_0 = 0,85 \cdot h, \quad (25)$$

$$r_0 = 1,2 \cdot h, \quad (26)$$

čia, h_0 – kūgio aukštis, m; r_0 – kūgio spindulys (apsaugos zona), m; h – žaibo ėmiklio aukštis, m. Naudojant du ar daugiau žaibo ėmiklius maksimalus atstumas tarp stiebų apskaičiuojamas:

$$L_{max} = 5,75 \cdot h, \quad (27)$$

Vėjo elektrinės sparnuotė ir stiebas pagaminti iš metalo – gero laidininko, tad vėjo elektrinė naudojant įžeminimo juostą prijungiama prie įžeminimo kontūro.

Įžeminimo kontūro įrengimas. Siekiant apsaugoti įrangą ir žmones įrengiamas įžeminimo kontūras, kuris turi būti įrengtas taip, kad įžemintų pasyvias elektros įrenginių dalis [71]. Saulės modulių konstrukcijos, vėjo turbina, keitikliai, žaibolaidžiai – šiems įrenginiams įrengiamas vienas bendras įžeminimo kontūras. Įžemiklio varža (r_{str}) apskaičiuojama:

$$r_{str} = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln\left(\frac{2l}{d}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4t+1}{4t-1}\right), \quad (28)$$

$$R_{str} = \frac{r_{str}}{h_{str} \cdot n}, \quad (29)$$

čia, h_{str} – koeficientas (esamuoju atveju 0,55); r_{str} – strypų varža, Ω ; l – strypo ilgis, m; d – strypo diametras, m; t – strypo vidurio įgilinimas, m; n – strypų skaičius; ρ – grunto varža (priimama priemolis – 100 Ω m, skaičiuojant reikalinga įvertinti sezoniškumo koeficientą, kuris juostai – 2,5, strypams -1,5.

Įžeminimo kontūro (juostos) varža (r_j) atitinkamai apskaičiuojama:

$$r_j = \left(\frac{\rho}{2\pi l} \right) \cdot \ln \left(\frac{2l^2}{bt} \right), \quad (30)$$

$$R_j = \frac{r_j}{h_j}, \quad (31)$$

čia, h_j – koeficientas (esamuoju atveju 0,27); r_j – įžeminimo kontūro varža, Ω ; l – juostos perimetras, m; b – juostos plotis, m; t – juostos įkasimo gylis, m.

Bendra įžeminimo varža (R) apskaičiuojama:

$$R = \frac{R_j \cdot R_{str}}{R_j + R_{str}}, \quad (32)$$

Pagal bendrąsias elektros įrenginių taisykles įžeminimo kontūro varža neturi viršyti 10 Ω [73].

2 Priedas. Saulės elektrinių kabelių įtampos ir galios nuostolių skaičiavimas

Parinkus kabelius nuo saulės modulių iki keitiklio įvertinamas kabelio tinkamumas. Siekiant užtikrinti ekonomišką elektrinės darbą, galios ir įtampos nuostoliai turėtų neviršyti 1%. Saulės elektrinės įtampos ir galios nuostoliai apskaičiuojami:

$$R = r_0 \cdot l,$$

čia: R – kabelio varža, Ω ; l – kabelio ilgis, m.

$$\begin{aligned} \Delta U &= I_{mod} \cdot R, \\ \Delta U_{\%} &= \frac{R \cdot I_{mod}}{U_{max}} \cdot 100 \%, \\ \Delta P &= \Delta U \cdot I, \\ \Delta P_{\%} &= \frac{\Delta U \cdot I}{P_{park}} \cdot 100 \%, \end{aligned}$$

čia, ΔU – įtampos nuostoliai, V; $\Delta U_{\%}$ – įtampos nuostoliai, %; ΔP – galios nuostoliai, W; $\Delta P_{\%}$ – galios nuostoliai, %.

Kintamos srovės dalies skaičiavimai. Kintamoje dalyje darbinė srovė lygi keitiklio darbinei srovei (I_{darb}), kuri apskaičiuojama [109]:

$$I_{darb} = \frac{P_{park}}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi},$$

čia, I_{darb} – keitiklio darbinė srovė, A; $\cos \varphi$ – galios koeficientas, keitiklio specifikacijoje 0,98; U_N – nominali tinklo įtampa, V.

Kabelio varža:

$$R = l \cdot r_0,$$

čia, l – kintamos dalies kabelio ilgis, m; r_0 – kabelio ilginė varža, Ω/km .

Įtampos kritimas:

$$\Delta U = I_{darb} \cdot R,$$

Įtampos kritimas procentine išraiška ir galios nuostoliai:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 \%,$$

$$\Delta P = (I_{darb})^2 \cdot R,$$

Procentinė galios nuostolių išraiška:

$$\Delta P_{\%} = \frac{\Delta P}{P_{park}} \cdot 100 \%,$$

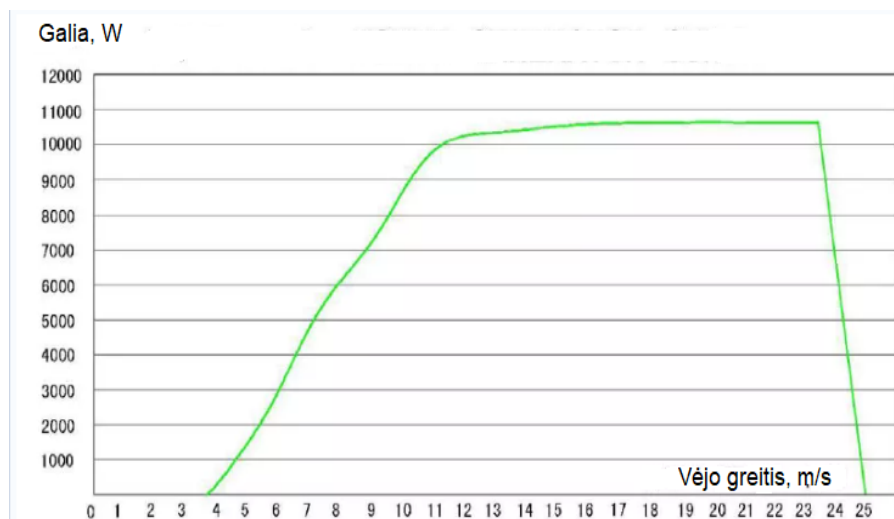
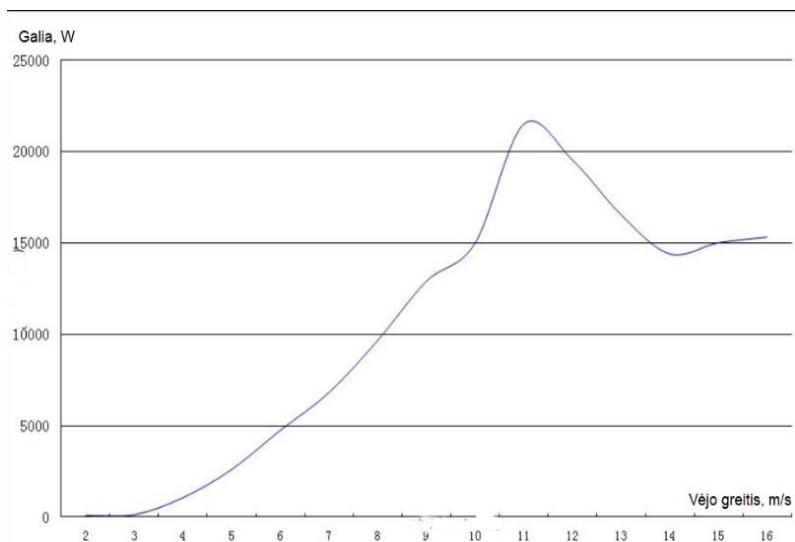
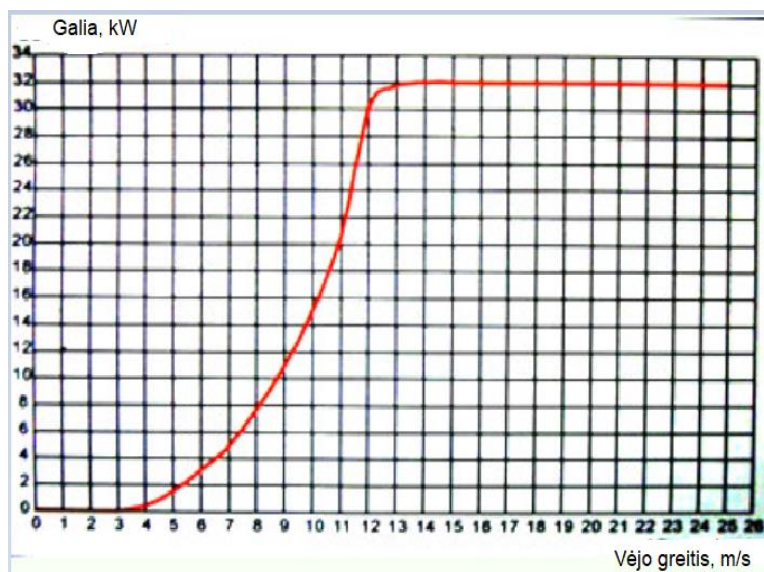
Saulės elektrinių kabelių įtampos ir galios nuostolių skaičiavimo lentelė

		Darbinė srovė, A	Kabelio varža, Ω	Įtampos kritimas, V	Įtampos kritimas, %	Galios nuostoliai, W	Galios nuostoliai, %
Pirmojo namo elektrinės sistema	Kabelis nuo saulės modulių iki keitiklio	11,18	0,293	3,270	0,502	36,560	0,522
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	44,185	0,073	3,234	0,808	142,9	0,476
Antrojo namo elektrinės sistema	Kabelis nuo saulės modulių iki keitiklio	11,18	0,283	3,161	0,660	35,342	0,707
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	29,608	0,073	2,167	0,542	16,174	0,161
Trečiojo namo elektrinės sistema	Kabelis nuo saulės modulių iki keitiklio	11,18	0,273	3,05	0,809	34,123	0,853
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	14,865	0,073	1,088	0,272	16,174	0,162

3 Priedas. Vėjo elektrinės kabelių galios ir įtampos nuostolių skaičiavimų rezultatai

		Darbinė srovė, A	Kabelio varža, Ω	Įtampos kritimas, V	Įtampos kritimas, %	Galios nuostoliai, W	Galios nuostoliai, %
Pirmojo namo vėjo elektrinės sistema	Kabelis nuo vėjo turbinos iki keitiklio	44,64	0,019	0,828	0,02	36,95	0,12
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	44,64	0,021	0,953	0,23	41,769	0,14
Antrojo namo vėjo elektrinės sistema	Kabelis nuo vėjo turbinos iki keitiklio	29,76	0,019	0,552	0,14	16,42	0,08
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	29,76	0,021	0,624	0,16	18,564	0,09
Trečiojo namo vėjo elektrinės sistema	Kabelis nuo vėjo turbinos iki keitiklio	14,88	0,019	0,279	0,07	4,105	0,04
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	14,88	0,021	0,312	0,08	4,64	0,05

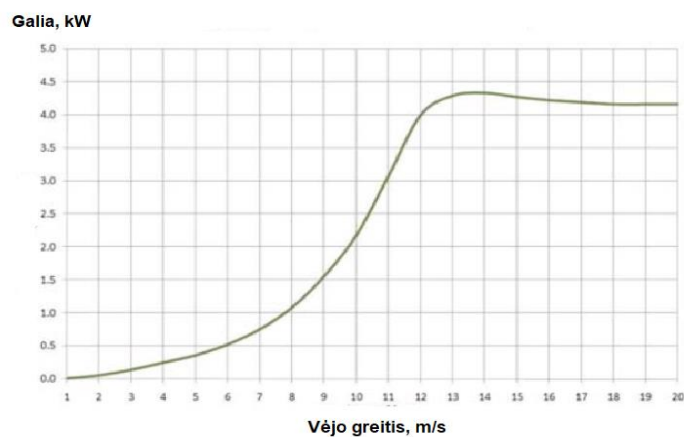
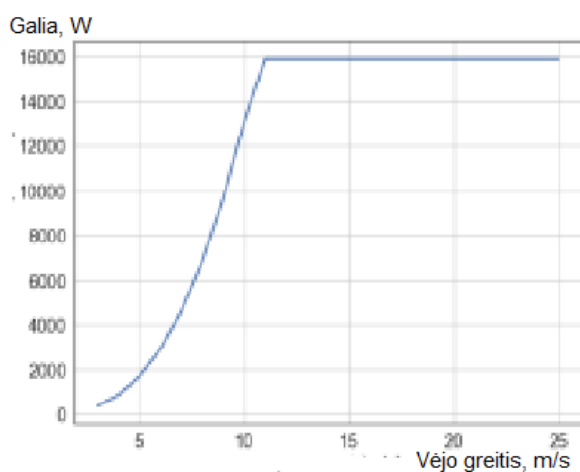
4 Priedas. Vėjo turbinų galios kreivės [94][95][93]



5 Priedas. Vėjo elektrinės kabelių galios ir įtampos nuostolių skaičiavimų rezultatai

		Darbinė srovė, A	Kabelio varža, Ω	Įtampos kritimas, V	Įtampos kritimas, %	Galios nuostoliai, W	Galios nuostoliai, %
Pirmojo namo vėjo elektrinės sistema	Kabelis nuo vėjo turbinos iki keitiklio	22,09	0,108	2,38	0,6	52,71	0,35
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	22,09	0,1	2,29	0,57	50,52	0,34
Antrojo namo vėjo elektrinės sistema	Kabelis nuo vėjo turbinos iki keitiklio	14,73	0,108	1,59	0,4	23,43	0,23
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	14,73	0,1	1,52	0,38	22,45	0,22
Trečiojo namo vėjo elektrinės sistema	Kabelis nuo vėjo turbinos iki keitiklio	7,36	0,108	0,8	0,2	5,86	0,12
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	7,36	0,1	0,76	0,19	5,61	0,11

6 Priedas. Vėjo turbinų Vertical Axis Wind Turbine Generator 15kw ir EN-5KW-H galios kreivė [110][101]



7 Priedas. Hibridinės elektrinės saulės elektrinės dalies skaičiavimai

Parinkus tinkamus fotovoltinius saulės modulių, apskaičiuojamas saulės elektrinei reikalingų modulių skaičius:

$$n_{mod} = \frac{P_{park}}{P_{mod}},$$

čia, n_{mod} – reikalingas saulės modulių skaičius; P_{park} – saulės parko instaliuota galia, W; P_{mod} – saulės modulio maksimali galia, W.

$$S_{SE} = N \cdot S_{modulio},$$

čia, S_{SE} – saulės elektrinės užimamas plotas, m^2 ; N – saulės modulių skaičius, vnt; $S_{modulio}$ – saulės modulio užimamas plotas, m^2 .

Atlikus saulės modulių skaičiavimus, atliekami įtampos ir srovės skaičiavimai:

$$I_{max} = I_{mod} \cdot N,$$

$$U_{max} = U_{mod} \cdot N,$$

čia, I_{max} – maksimali linijos modulių srovė; I_{mod} – saulės modulio srovė; U_{max} – maksimali modulių bloko įtampa; U_{mod} – vieno saulės modulio įtampa.

Esant neigiamai oro temperatūrai saulės modulių grandinės įtampa išauga, todėl reikalinga atlikti tuščiosios veikos įtampos skaičiavimus esant $-10^{\circ}C$ temperatūrai. Tuščiosios veikos įtampa perskaičiuojama naudojant temperatūrinį koeficientą. Esant įprastoms sąlygoms temperatūra laikoma $25^{\circ}C$, tad perskaičiuojant temperatūros pokytis lygus $-35^{\circ}C$.

$$V_{OC}(-10) = V_{OC} \cdot (1 + (-35)) \cdot k_{V_{OC}},$$

čia, V_{OC} – vieno modulio tuščiosios veikos įtampa esant $25^{\circ}C$; $k_{V_{OC}}$ – įtampos temperatūrinis koeficientas, $\%/^{\circ}C$.

Modulių grupės įtampa prie $-10^{\circ}C$:

$$U_{-10} = V_{OC}(-10) \cdot N.$$

Įtampos ir srovės skaičiavimai parodo ar saulės modulių grupei parinktas tinkamas keitiklis.

Hibridinės sistemos saulės elektrinių skaičiavimų rezultatai

	Galia, kW	Fotovoltinių modulių skaičius, vnt.	Saulės elektrinės užimamas plotas, m^2	Modulių linijos srovė, A	Modulių bloko įtampa, V	Vieno modulio tuščios veikos įtampa prie - $10^{\circ}C$, V	Modulių grupės tuščios veikos įtampa prie $-10^{\circ}C$, V
Pirmasis gyvenamasis namas	15	41	76,096	11,18	850,5	48,195	1012,095
Antrasis gyvenamasis namas	10	28	51,968		567		674,73
Trečiasis gyvenamasis namas	5	14	25,984		567		674,73

8 Priedas. Hibridinės sistemos saulės elektrinės dalies galios ir įtampos nuotolių skaičiavimai

		Darbinė srovė, A	Kabelio varža, Ω	Įtampos kritimas, V	Įtampos kritimas, %	Galios nuostoliai, W	Galios nuostoliai, %
Pirmojo namo elektrinės sistema	Kabelis nuo saulės modulių iki keitiklio	11,18	0,292	3,27	0,38	36,56	0,24
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	22,09	0,07	1,62	0,404	35,73	0,24
Antrojo namo elektrinės sistema	Kabelis nuo saulės modulių iki keitiklio	11,18	0,282	3,16	0,56	35,34	0,35
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	14,72	0,07	1,08	0,27	15,88	0,16
Trečiojo namo elektrinės sistema	Kabelis nuo saulės modulių iki keitiklio	11,18	0,273	3,05	0,538	34,123	0,68
	Kabelis nuo keitiklio iki įvadinio paskirstymo skydo	7,36	0,07	0,54	0,13	3,97	0,08

9 Priedas. Antrojo namo 20 kW galios saulės elektrinės „PV Syst“ simuliacijos rezultatai



PVsyst V7.3.4

VC0, Simulation date:
05/09/23 21:46
with v7.3.4

Project: 20 kW saulės elektrinė

Variant: New simulation variant

Project summary				
Geographical Site V. Borisevičiaus g. 82 Lithuania	Situation		Project settings	
	Latitude	54.86 °N	Albedo	0.20
	Longitude	24.00 °E		
	Altitude	57 m		
	Time zone	UTC+2		
Meteo data				
V. Borisevičiaus g. 82				
Meteonorm 8.1 (2007-2017), Sat=100% - Synthetic				
System summary				
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings			
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs		
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)		
Tilt/Azimuth	39 / 0 °			
System information				
PV Array		Inverters		
Nb. of modules	54 units	Nb. of units	1 unit	
Pnom total	19.98 kWp	Pnom total	20.00 kWac	
		Pnom ratio	0.999	
Results summary				
Produced Energy	21650 kWh/year	Specific production	1084 kWh/kWp/year	
		Perf. Ratio PR	88.65 %	
Table of contents				
Project and results summary			2	
General parameters, PV Array Characteristics, System losses			3	
Main results			4	
Loss diagram			5	
Predef. graphs			6	



Project: 20 kW saulės elektrinė

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.4

VC0, Simulation date:
05/09/23 21:46
with v7.3.4

General parameters

Grid-Connected System

No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation

Orientation

Fixed plane

Tilt/Azimuth

39 / 0 °

Sheds configuration

No 3D scene defined

Models used

Transposition

Perez

Diffuse

Perez, Meteonorm

Circumsolar

separate

Horizon

Free Horizon

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module

Manufacturer

Generic

Model

Mono 370 Wp Twin 120 half-cells

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

370 Wp

Number of PV modules

54 units

Nominal (STC)

19.98 kWp

Modules

3 Strings x 18 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp

18.15 kWp

U mpp

557 V

I mpp

33 A

Total PV power

Nominal (STC)

20 kWp

Total

54 modules

Module area

101 m²

Cell area

89.4 m²

Inverter

Manufacturer

Generic

Model

SUN2000-20KTL-M2

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

20.0 kWac

Number of inverters

2 * MPPT 50% 1 unit

Total power

20.0 kWac

Operating voltage

160-950 V

Max. power (=>45°C)

22.0 kWac

Pnom ratio (DC:AC)

1.00

No power sharing between MPPTs

Total inverter power

Total power

20 kWac

Number of inverters

1 unit

Pnom ratio

1.00

Array losses

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (wind)

0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses

Global array res.

286 mΩ

Loss Fraction

1.5 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction

-0.4 %

Module mismatch losses

Loss Fraction

2.0 % at MPP

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: 20 kW saulės elektrinė

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.4

VC0, Simulation date:
05/09/23 21:46
with v7.3.4

Main results

System Production

Produced Energy

21650 kWh/year

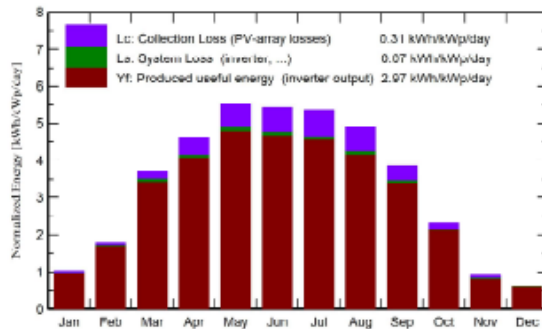
Specific production

1084 kWh/kWp/year

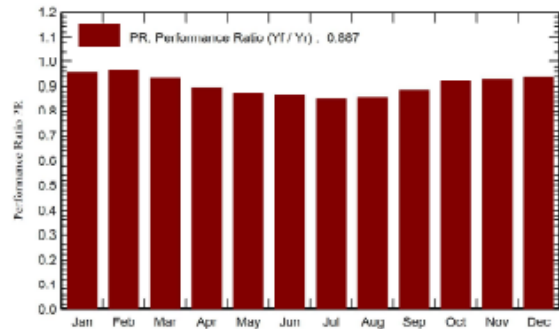
Perf. Ratio PR

88.65 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	ratio
January	15.5	10.77	-3.69	31.8	31.3	627	608	0.956
February	31.4	21.91	-2.73	49.7	48.7	979	956	0.964
March	78.7	39.33	1.31	115.0	112.9	2188	2146	0.934
April	116.3	57.66	7.77	137.8	134.6	2512	2462	0.894
May	162.9	74.45	13.67	171.4	167.2	3046	2981	0.870
June	166.1	81.08	16.39	163.0	158.5	2876	2814	0.864
July	165.2	78.85	19.43	166.6	162.2	2898	2835	0.852
August	135.2	65.15	18.33	151.7	148.1	2652	2594	0.856
September	88.4	47.46	12.89	116.0	113.4	2098	2054	0.886
October	46.7	28.37	7.28	72.2	70.9	1352	1323	0.917
November	17.3	13.76	3.17	27.2	26.7	523	505	0.930
December	10.3	7.96	-0.54	19.9	19.5	388	372	0.937
Year	1034.0	526.74	7.84	1222.3	1194.1	22139	21650	0.887

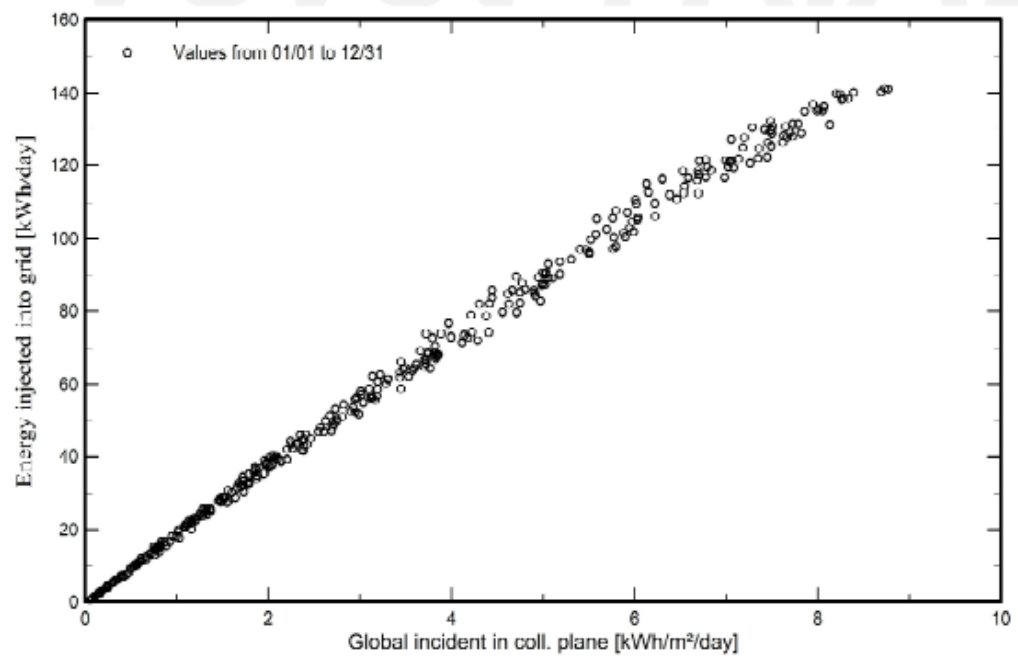
Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiation
T_Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

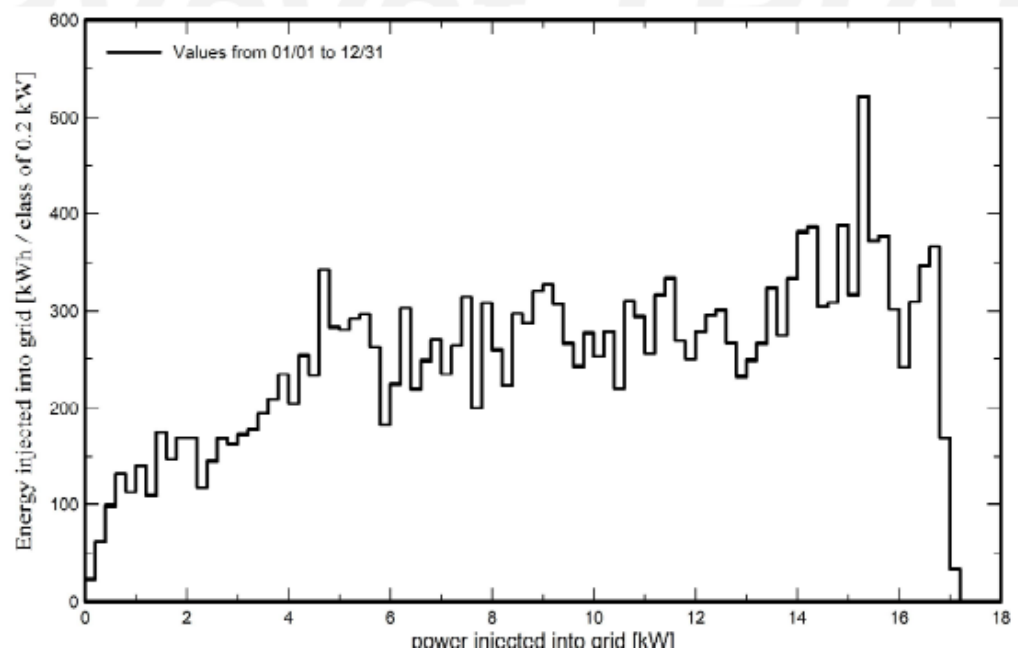
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
PR Performance Ratio

Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution



10 Priedais. Pirmojo namo saulės elektrinės ierengimo darbu samata

LOKALINĖ SAMATA

SAMATA

Sudaryta pagal 2023.04 kainas

Statinių grupė **23-05-27-1 Saulės elektrinės statyba adresu V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas**

Statinys **1 Saulės elektrinės statyba adresu V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas**

Žiniaraštis **1** Įžeminimo iki 10 ohm įrengimas

2023.05.07

Suma žiniaraščiui 1000.87 EUR

Lapas 1

Sam. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina EUR			
					D. užm.	Medžiagos	Mechanizm.	Iš viso
1 Montavimo darbai								
1	N33-66	Įžeminimo kontūro įrengimas iš vieno elektrodo iki 5 m ilgio su horizontalia įžeminimo šyna iki 1m ilgio	kompl.	1.0	19.61	6.14	4.44	30.19
2	N33-67	Kiekvienam papildomam elektrodą iki 5 m ilgio įrengimui pridėti	vnt	3.0	20.62	16.93	7.46	45.01
3	N33-69	Kiekvienam sekančiam horizontalios įžeminimo šynos metrui virš 1 m įrengimui pridėti	m	75.0	492.86	37.38		530.24
4	R33-98	Įžeminimo kontūro varžos matavimas	vnt	1.0	19.3			19.3
5	N21-569	Įžeminimo revizijos dėžės įrengimas	vnt	1.0	5.31	0.68		5.99
Skyriuje 1					557.70	61.13	11.90	630.73
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						1.83		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							0.36	
Sezoniniai darbai 15.00% (0.00)								
Specifiniai darbai 8.50%								
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(557.70)					44.62			
Viso:					602.32	62.96	12.26	677.54
Soc.draudimo išlaidos 1.79%(557.70+44.62)					10.78			
Statinio statybos išlaidos					613.10	62.96	12.26	688.32
Statybvietės išlaidos 9.00%								61.95
Iš viso tiesioginės išlaidos								750.27
Pelnas 5.00%(750.27)								37.51
Iš viso netiesioginės išlaidos								37.51

LOKALINĖ SĄMATA

SĄMATA

Sudaryta pagal 2023.04 kainas

Statinių grupė 23-05-27-1 Saulės elektrinės statyba adresu V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas

Statiny 1 Saulės elektrinės statyba adresu V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas

Žiniaraštis 2 Žaibosaugos įrengimas

2023.05.07

Suma žiniaraščiui 492.63 EUR

Lapas 1

Sam. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina EUR			
					D.uzm.	Medžiagos	Mechanizm	Iš viso
1 Montavimo darbai								
1	N21-572	Žaibolaidžio ir jo konstrukcijų montavimas, dirbant iš autobokštelio k1=2.0	10 vnt	0.2	135.75		75.8	211.55
2	N21-576	Metaliųjų konstrukcijų prijungimas prie žaibolaidžio kontūro, dirbant iš autobokštelio (1 jungtis)	vnt	4.0	8.9		15.79	24.69
3	N21-388	Žaibolaidžių prijungimas prie įžeminimo kontūro	vnt	2.0	34.05	46.6		80.65
Skyriuje 1					178.70	46.60	91.59	316.89
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						1.40		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							2.75	
Sezoniniai darbai 15.00% (0.00)								
Specifiniai darbai 8.50%								
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(178.70)					14.30			
Viso:					193.00	48.00	94.34	335.34
Soc.draudimo išlaidos 1.79%(178.70+14.30)					3.45			
Statinio statybos išlaidos					196.45	48.00	94.34	338.79
Statybvietės išlaidos 9.00%								30.49
Iš viso tiesioginės išlaidos								369.28
Pelnas 5.00%(369.28)								18.46
Iš viso netiesioginės išlaidos								18.46
					Bendra vertė be PVM			387.74
Pridėtinės vertės mokestis 21.00%								81.43
					Bendra vertė su PVM			469.17
Užsakovo rezervas 5.00%								23.46
Iš viso skyriuje 1								
Viso žiniaraštyje 2								492.63

Sudarė :

LOKALINĖ SĄMATA

SĄMATA

Sudaryta pagal 2023.04 kainas

Statinių grupė 23-05-27-1 Saulės elektrinės statyba V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas

Statinyys 1 Saulės elektrinės statyba adresu V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas

Žiniaraštis 3 Saulės elektrinės įrengimas

2023.05.11

Suma žiniaraščiui 3973.10 EUR

Lapas 1

Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina			
					D. užm.	Medžiagos	Mechanizm.	Iš viso
1 Montavimo darbai								
1	R63P-5221	Saulės modulių montavimas ant įrengtų atraminių konstrukcijų, kai stogai šlaitiniai k1=0.5	vnt.	81.0	567.21		830.0	1397.21
2	N20P-0814	Atraminių konstrukcijų montavimas tvirtinant ant stogų	kompl.	1.0	63.66	1.92	38.66	104.24
3	N21P-0502	Kabelių montavimas ant šlaitinių stogų k1=0.1, k2=0.5	100m	0.4	8.45		39.68	48.13
4	N1-422	Tranšėjų 1m gylio 1-2 kabeliams kasimas 0,25m3 talpos kaušu ekskavatoriais I-II grupės grunte k9=1.15	km	0.02	0.69		15.39	16.08
5	N1-425	Tranšėjų 1m gylio 1-2 kabeliams užpylimas buldozeriais 59 kW(80AJ) I-II grupės grunte iš sankasos k9=1.15	km	0.02			4.88	4.88
6	N34-89	Polietileningų 50 mm skersmens vamzdžių paklojimas k9=1.15	100m	0.2	35.18			35.18
7	N21-24	Kabelio tiesimas vamzdžiuose, blokuose, laidadėžėse, kai kabelio masė iki 3kg k1=0.5	100m	1.7	176.19	53.15	36.55	265.89
8	R33-159	0,4 kV įtampos saugiklių montavimas k1=3.0	kompl.	2.0	8.17			8.17
9	N21P-0405	Automatinių jungiklių montavimas, kai nominali srovė iki 100 A	vnt.	4.0	69.92	92.16	0.32	162.4
10	R33-30-1	0,4 kV viršįtampių ribotuvių montavimas	0,5 vnt	2.0	29.71		50.25	79.96
11	N21-614	Įvadinio paskirstymo skydelio montavimas išorėje	vnt.	1.0	54.77			54.77
12	N21-263	Įžeminimo juostinio plieno laidininkų montavimas, tvirtinant prie konstrukcijų, prišaudant k1=0.5	100m	0.4	44.25	76.49		120.74
13	N33-81	Įrenginių transportavimas k1=0.2, k2=0.2, k3=0.2, k4=0.2	vnt	82.0	33.15		191.27	224.42
14	R63P-5321	Inverterių montavimas mažo galingumo saulės ir vėjo jėgainėse k1=1.5	vnt.	1.0	47.75	0.4	0.15	48.3
Skyriuje 1					1139.10	224.12	1207.15	2570.37
Viso žiniaraštyje 3					1139.10	224.12	1207.15	2570.37
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						6.72		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							36.21	
Sezoniniai darbai 15.00% (35.87)					5.38			
Specifiniai darbai 8.50%								
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(1139.10+5.38)					91.56			
Viso:					1236.04	230.84	1243.36	2710.24
Soc.draudimo išlaidos 1.79%(1139.10+5.38+91.56)					22.13			
Statinio statybos išlaidos					1258.17	230.84	1243.36	2732.37
Statybvietsės išlaidos 9.00%								245.91

11 Priedas. Ekonominio vertinimo lentelės

Pirmojo namo saulės elektrinės ekonominio vertinimo lentelė

Metai	Gamyba, kWh	Išlaidos, Eur	Diskontuotos išlaidos, Eur	Pajamos, Eur	Diskuontuotos pajamos, Eur	Pinigų srautai, Eur	Diskontuoti pinigų srautai, Eur
1	32257	24608.20	24608.20	9031.96	9031.96	-15576.24	-15576.24
2	31611.86	1912.22	1856.52	8851.32	8593.52	6939.10	6736.99
3	30979.62	1912.22	1802.45	8674.29	8176.35	6762.07	6373.90
4	30360.03	1912.22	1749.95	8500.81	7779.44	6588.59	6029.49
5	29752.83	1912.22	1698.98	8330.79	7401.80	6418.57	5702.82
6	29157.77	1912.22	1649.50	8164.18	7042.49	6251.96	5392.99
7	28574.62	1912.22	1601.45	8000.89	6700.62	6088.67	5099.17
8	28003.13	1912.22	1554.81	7840.88	6375.35	5928.66	4820.54
9	27443.06	1912.22	1509.52	7684.06	6065.87	5771.84	4556.34
10	26894.2	1912.22	1465.56	7530.38	5771.41	5618.16	4305.85
11	26356.32	1912.22	1422.87	7379.77	5491.24	5467.55	4068.37
12	25829.19	1912.22	1381.43	7232.17	5224.68	5319.95	3843.25
13	25312.61	1912.22	1341.19	7087.53	4971.05	5175.31	3629.86
14	24806.36	1912.22	1302.13	6945.78	4729.74	5033.56	3427.61
15	24310.23	1912.22	1264.20	6806.86	4500.14	4894.64	3235.94
16	23824.02	1912.22	1227.38	6670.73	4281.69	4758.51	3054.30
17	23347.54	1912.22	1191.63	6537.31	4073.84	4625.09	2882.20
18	22880.59	1912.22	1156.92	6406.57	3876.08	4494.35	2719.15
19	22422.98	1912.22	1123.23	6278.43	3687.92	4366.21	2564.69
20	21974.52	1912.22	1090.51	6152.87	3508.89	4240.65	2418.38
21	21535.03	1912.22	1058.75	6029.81	3338.56	4117.59	2279.81
22	21104.33	1912.22	1027.91	5909.21	3176.49	3996.99	2148.58
23	20682.24	1912.22	997.97	5791.03	3022.29	3878.81	2024.32
24	20268.6	1912.22	968.91	5675.21	2875.58	3762.99	1906.67
25	19863.23	1912.22	940.69	5561.70	2735.99	3649.48	1795.30
26	19465.96	1912.22	913.29	5450.47	2603.17	3538.25	1689.89
27	19076.64	1912.22	886.69	5341.46	2476.81	3429.24	1590.12
28	18695.11	4342.22	1954.82	5234.63	2356.57	892.41	401.75

Pirmojo namo vėjo elektrinės ekonominio vertinimo lentelė

Metai	Gamyba, kWh	Išlaidos, Eur	Diskontuotos išlaidos, Eur	Pajamos, Eur	Diskontuotos pajamos, Eur	Pinigų srautai, Eur	Diskontuoti pinigų srautai, Eur
1	50634.4	91560.93	91560.93	14177.63	14177.63	-77383.30	-77383.30
2	49621.69	4166.88	3788.08	13894.07	12630.98	9727.19	8842.90
3	48629.26	4166.88	3443.71	13616.19	11253.05	9449.31	7809.35
4	47656.67	4166.88	3130.64	13343.87	10025.45	9176.98	6894.80
5	46703.54	4166.88	2846.04	13076.99	8931.76	8910.11	6085.72
6	45769.47	4166.88	2587.31	12815.45	7957.39	8648.57	5370.08
7	44854.08	4166.88	2352.10	12559.14	7089.31	8392.26	4737.21
8	43957	4166.88	2138.27	12307.96	6315.93	8141.08	4177.66
9	43077.86	4166.88	1943.88	12061.80	5626.92	7894.92	3683.04
10	42216.3	4166.88	1767.17	11820.56	5013.07	7653.68	3245.91
11	41371.97	4166.88	1606.51	11584.15	4466.19	7417.27	2859.68
12	40544.54	4166.88	1460.47	11352.47	3978.97	7185.59	2518.50
13	39733.64	4166.88	1327.70	11125.42	3544.90	6958.54	2217.20
14	38938.97	4166.88	1207.00	10902.91	3158.19	6736.03	1951.19
15	38160.19	4166.88	1097.27	10684.85	2813.66	6517.97	1716.39
16	37396.99	4166.88	997.52	10471.16	2506.71	6304.27	1509.19
17	36649.05	4166.88	906.84	10261.73	2233.25	6094.85	1326.42
18	35916.07	4166.88	824.40	10056.50	1989.62	5889.62	1165.23
19	35197.75	4166.88	749.45	9855.37	1772.57	5688.49	1023.12
20	34493.79	9660.54	1579.58	9658.26	1579.20	-2.28	-0.37

Pirmojo namo hibridinės elektrinės ekonominio vertinimo lentelė

Metai	Gamyba, kWh	Išlaidos, Eur	Diskontuotos išlaidos, Eur	Pajamos, Eur	Diskontuotos pajamos, Eur	Pinigų srautai, Eur	Diskontuoti pinigų srautai, Eur
1	51335,7	77434,70	77434,70	14374,00	14374,00	-63060,70	-63060,70
2	50309	3743,10	3634,07	14086,52	13676,23	10343,42	10042,16
3	49302,82	3743,10	3528,23	13804,79	13012,34	10061,69	9484,11
4	48316,76	3743,10	3425,46	13528,69	12380,67	9785,60	8955,21
5	47350,42	3743,10	3325,69	13258,12	11779,67	9515,02	8453,97
6	46403,42	3743,10	3228,83	12992,96	11207,84	9249,86	7979,01
7	45475,35	3743,10	3134,78	12733,10	10663,77	8990,00	7528,98
8	44565,84	3743,10	3043,48	12478,44	10146,11	8735,34	7102,63
9	43674,52	3743,10	2954,84	12228,87	9653,58	8485,77	6698,74
10	42801,03	3743,10	2868,77	11984,29	9184,96	8241,19	6316,19
11	41945,01	3743,10	2785,22	11744,60	8739,09	8001,51	5953,87
12	41106,11	3743,10	2704,09	11509,71	8314,86	7766,61	5610,77
13	40283,99	3743,10	2625,33	11279,52	7911,23	7536,42	5285,89
14	39478,31	3743,10	2548,87	11053,93	7527,19	7310,83	4978,32
15	38688,74	3743,10	2474,63	10832,85	7161,79	7089,75	4687,16
16	37914,97	3743,10	2402,55	10616,19	6814,13	6873,09	4411,58
17	37156,67	3743,10	2332,57	10403,87	6483,35	6660,77	4150,77
18	36413,54	3743,10	2264,64	10195,79	6168,62	6452,69	3903,99
19	35685,27	3743,10	2198,67	9991,87	5869,17	6248,78	3670,50
20	34971,56	6743,10	3845,49	9792,04	5584,26	3048,94	1738,77
21	10681,73	2020,06	1118,46	2990,88	1655,98	970,83	537,52
22	10468,09	2020,06	1085,88	2931,07	1575,59	911,01	489,71
23	10258,73	2020,06	1054,25	2872,44	1499,11	852,39	444,86
24	10053,56	2020,06	1023,55	2815,00	1426,34	794,94	402,79
25	9852,485	2020,06	993,73	2758,70	1357,10	738,64	363,36
26	9655,436	2020,06	964,79	2703,52	1291,22	683,47	326,43
27	9462,327	2020,06	936,69	2649,45	1228,54	629,40	291,85
28	9273,08	3250,06	1463,14	2596,46	1168,90	-653,59	-294,24

12 Priedas. Pirmojo namo vėjo elektrinės įrengimo darbų sąmata

LOKALINĖ SĄMATA								
SĄMATA		Sudaryta pagal 2023.04 kainas						
Statinių grupė		23-05-08-2 Vėjo elektrinės įrengimas V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas						
Statinyss		1 Vėjo elektrinės įrengimas V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas						
Žiniaraštis		1 Įžeminimo kontūro įrengimas						
2023.05.11		Suma žiniaraščiui 736.59 EUR						Lapas 1
Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina EUR			
					D. užm.	Medžiagos	Mechanizm.	Iš viso
1 Montavimo darbai								
1	N33-66	Įžeminimo kontūro įrengimas iš vieno elektrodo iki 5 m ilgio su horizontalia įžeminimo šyna iki 1m ilgio k1=1.15, k2=1.15	kompl.	1.0	22.56	6.14	5.1	33.8
2	N33-67	Kiekvienam papildomam elektrodo iki 5 m ilgio įrengimui pridėti	vnt	3.0	20.62	16.93	7.46	45.01
3	N33-69	Kiekvienam sekančiam horizontalios įžeminimo šynos metrui virš 1 m įrengimui pridėti	m	51.0	335.15	25.42		360.57
4	R33-98	Įžeminimo kontūro varžos matavimas	vnt	1.0	19.3			19.3
5	N21-569	Įžeminimo revizijos dėžės įrengimas	vnt	1.0	5.31	0.68		5.99
Skyriuje 1					402.94	49.17	12.56	464.67
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						1.48		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							0.38	
Sezoniniai darbai 15.00% (0.00)								
Specifiniai darbai 8.50%								
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(402.94)					32.24			
Viso:					435.18	50.65	12.94	498.77
Soc. draudimo išlaidos 1.79%(402.94+32.24)					7.79			
Statinio statybos išlaidos					442.97	50.65	12.94	506.56
Statybvietės išlaidos 9.00%								45.59
Iš viso tiesioginės išlaidos								552.15
Pelnas 5.00%(552.15)								27.61
Iš viso netiesioginės išlaidos								27.61
					Bendra vertė be PVM			579.76
Pridėtinės vertės mokestis 21.00%								121.75
					Bendra vertė su PVM			701.51
Užsakovo rezervas 5.00%								35.08
Iš viso skyriuje 1								
Viso žiniaraštyje 1								
736.59								

LOKALINĖ SĄMATA

SĄMATA

Sudaryta pagal 2023.04 kainas

Statinių grupė 23-05-08-2 Vėjo elektrinės įrengimas V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas

Statiny 1 Vėjo elektrinės įrengimas V. Borisevičiaus g. 80, Kaunas

Žiniaraštis 2 Vėjo elektrinės įrengimo darbai

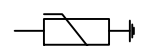
2023.05.11

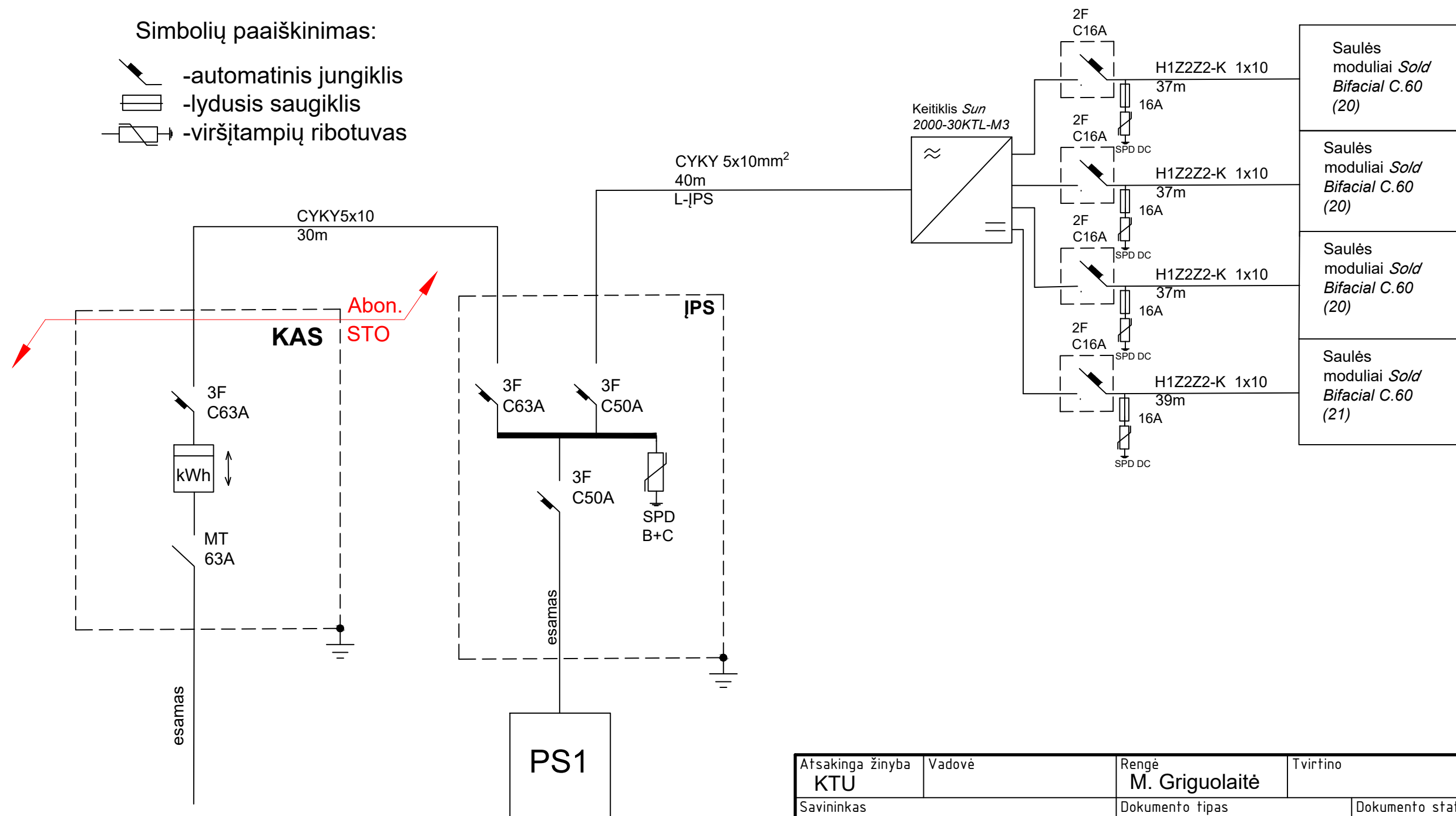
Suma žiniaraščiui 4291.97 EUR

Lapas 1

Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina EUR			
					D. užm.	Medžiagos	Mechanizm.	Iš viso
1 Montavimo darbai								
1	N1-422	Tranšėjų 1m gylis 1-2 kabeliams kasimas 0,25m3 talpos kaušu ekskavatoriais I-II grupės grunte k9=1.15	km	0.07	2.41		53.86	56.27
2	N1-425	Tranšėjų 1m gylis 1-2 kabeliams užpylimas buldozeriais 59 kW(80AJ) I-II grupės grunte iš sankasos k9=1.15	km	0.07			17.09	17.09
3	N34-89	Polietileningų vamzdžių paklojimas k9=1.15	100m	0.7	123.14			123.14
4	N21-24	Kabelio tiesimas vamzdžiuose, blokuose, laidadėžėse, kai kabelio masė iki 3kg	100m	1.3	269.47	40.64	27.95	338.06
5	R33-159	0,4 kV įtampos saugiklių montavimas	kompl.	2.0	2.72			2.72
6	N21P-0405	Automatinių jungiklių montavimas, kai nominali srovė iki 100 A	vnt.	4.0	69.92	92.16	0.32	162.4
7	R33-30-1	0,4 kV viršįtampių ribotuvų montavimas	kompl.	2.0	29.71		50.25	79.96
8	N21-614	Įvadinio paskirstymo skydelio montavimas išorėje	kompl.	1.0	54.77			54.77
9	N21-263	Įžeminimo juostinio plieno laidininkų prijungimas	100m	0.2	44.25	38.25		82.5
10	N33-81	Įrenginių transportavimas k1=4.0, k2=4.0, k3=3.0, k4=3.0	kompl.	1.0	121.3		699.76	821.06
11	R63P-5321	Inverterių montavimas mažo galingumo saulės ir vėjo jėgainėse k1=1.5	vnt.	1.0	47.75	0.4	0.15	48.3
12	R63P-5111	Mažo galingumo vėjo jėgainių grotelinio stiebo su generatoriumi surinkimas ir pastatymas , kai stiebo aukštis 12m	vnt.	1.0	561.43	11.67	396.89	969.99
Skyriuje 1					1326.87	183.12	1246.27	2756.26
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						5.49		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							37.39	
Sezoniniai darbai 15.00% (125.55)					18.83			
Specifiniai darbai 8.50%								
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(1326.87+18.83)					107.66			
Viso:					1453.36	188.61	1283.66	2925.63
Soc.draudimo išlaidos 1.79%(1326.87+18.83+107.66)					26.02			
Statinio statybos išlaidos					Viso:	1479.38	188.61	1283.66
Statybvietės išlaidos 9.00%								265.65
Iš viso tiesioginės išlaidos								3217.30
Pelnas 5.00%(3217.30)								160.87
Iš viso netiesioginės išlaidos								160.87
Bendra vertė be PVM								3378.17
Pridėtinės vertės mokestis 21.00%								709.42

Simbolių paaiškinimas:

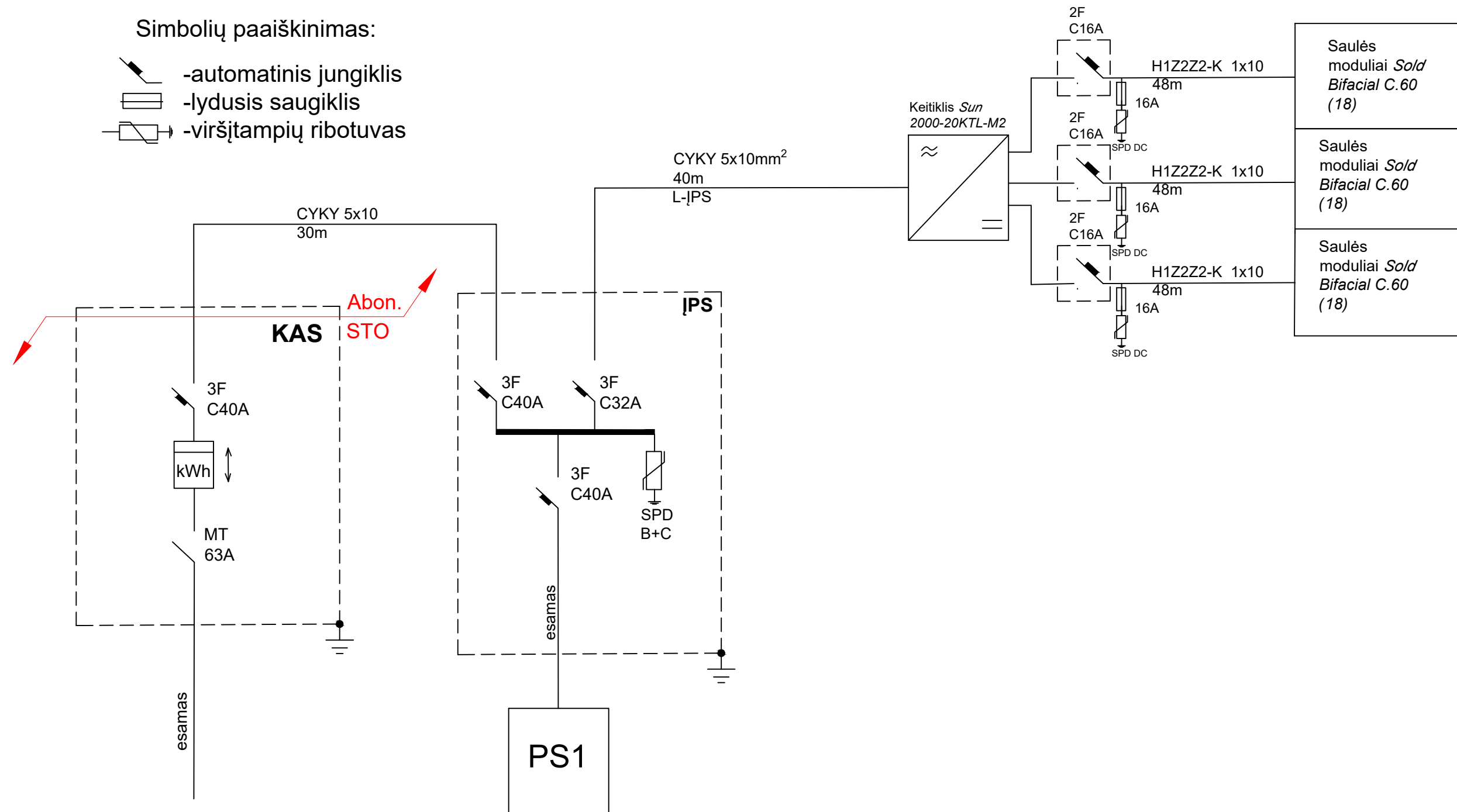
-  -automatinis jungiklis
 -lydusis saugiklis
 -viršįtampių ribotuvas



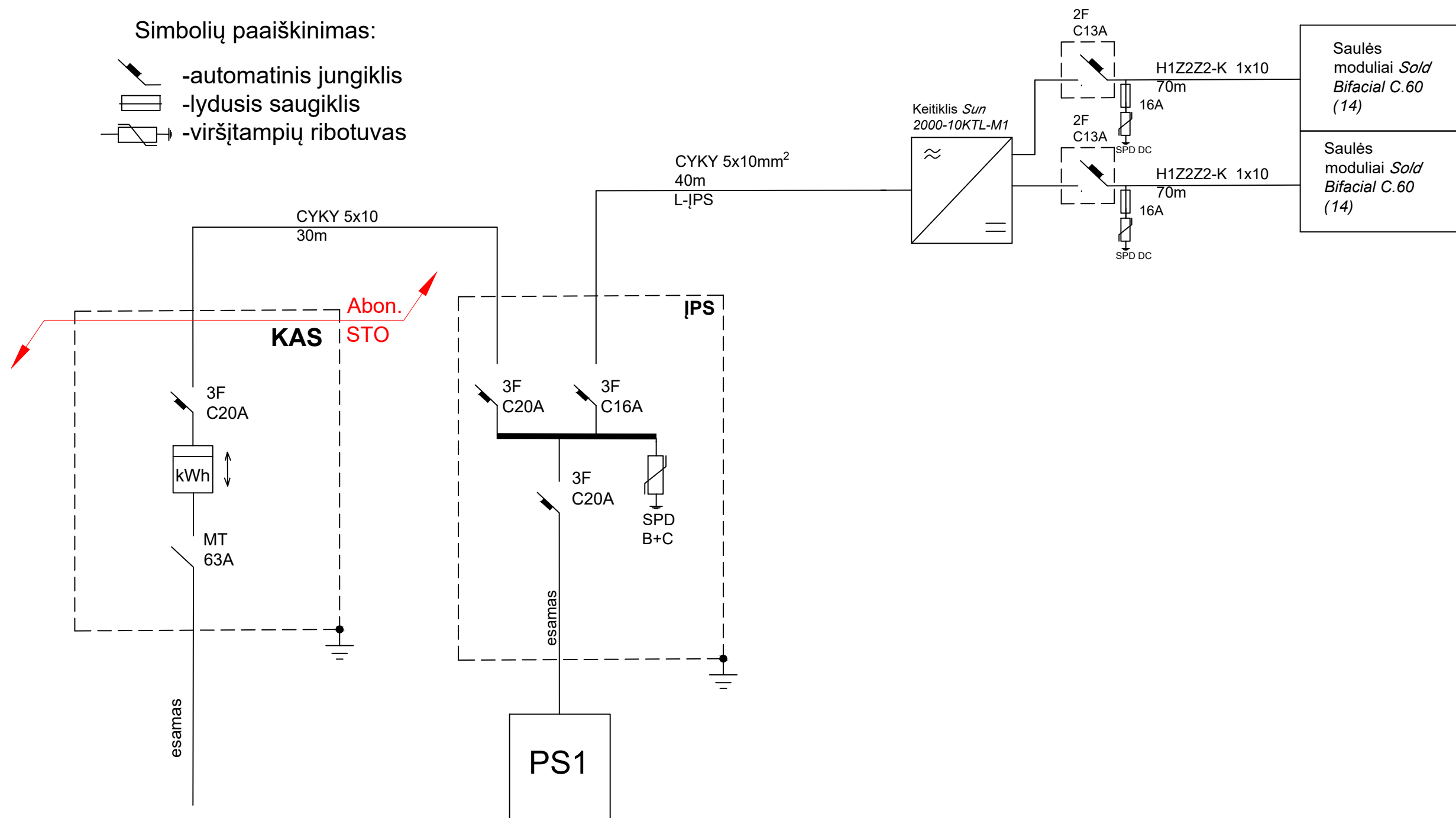
Atsakinga žinyba KTU	Vadovė	Rengė M. Grigulaitė	Tvirtino	Mastelis
Savininkas	Dokumento tipas		Dokumento statusas	
KTU		Antraštė 30 kW saulės elektrinės elektrinė principinė schema	13 priedas	
		Laida	Data	Kalba Lapas

Simbolių paaiškinimas:

- automatinis jungiklis
- lydusis saugiklis
- viršįtampių ribotuvas



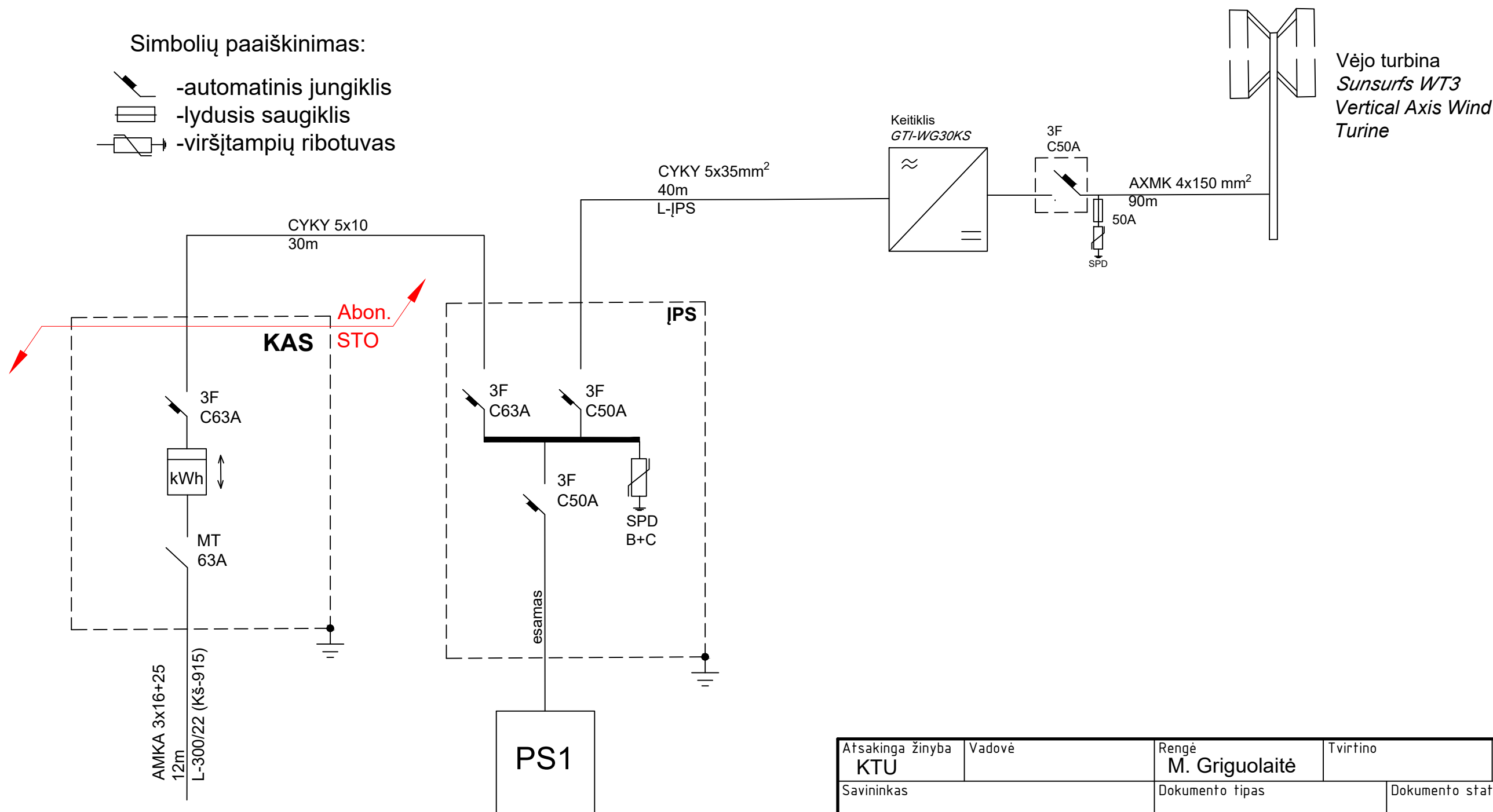
Atsakinga žinyba KTU	Vadovė	Rengė M. Griguolaitė	Tvirtino	Mastelis
Savininkas	Dokumento tipas		Dokumento statusas	
KTU		Antraštė 20 kW saulės elektrinės elektrinė principinė schema	14 priedas	
		Laida	Data	Kalba Lapas



Atsakinga žinyba KTU	Vadovė	Rengė M. Griguolaitė	Tvirtino	Mastelis
Savininkas	Dokumento tipas		Dokumento statusas	
KTU		Antraštė 10 kW saulės elektrinės elektrinė principinė schema		15 priedas
		Laida	Data	Kalba Lapas

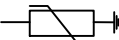
Simbolių paaiškinimas:

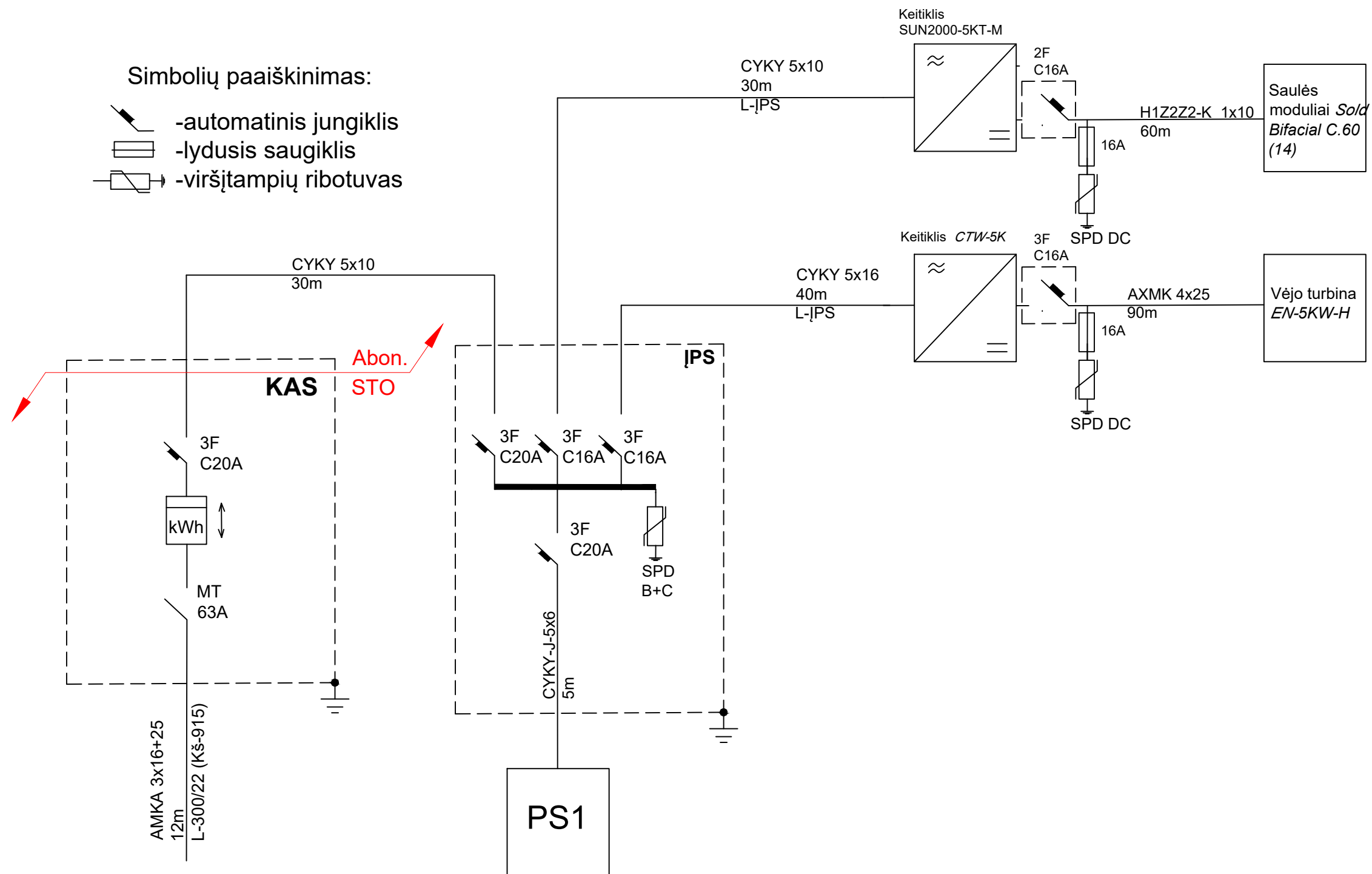
- automatinis jungiklis
- lydusis saugiklis
- viršįtampių ribotuvas



Atsakinga žinyba KTU	Vadovė	Rengė M. Griguolaitė	Tvirtino	Mastelis
Savininkas	Dokumento tipas		Dokumento statusas	
KTU		Antraštė 30 kW vėjo elektrinės elektrinė principinė schema	16 priedas	
		Laida	Data	Kalba Lapas

Simbolių paaiškinimas:

-  -automatinis jungiklis
 -lydusis saugiklis
 -viršįtampių ribotuvas



Atsakinga žinyba KTU	Vadovė	Rengė M. Griguolaitė	Tvirtino	Mastelis
Savininkas	Dokumento tipas		Dokumento statusas	
KTU		Antraštė 10 kW hibridinės elektrinės elektrinė principinė schema		21 priedas
		Laida	Data	Kalba Lapas