

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Inžinerijos katedra

Dominykas Samušis

**INDIVIDUALAUS NAMO ENERGETINĖS SALOS
SU INTEGRUOTAIS ATSINAUJINANČIAIS
ŠALTINIAIS REŽIMŲ SKAITINIS TYRIMAS**

Inovatyviosios elektros ir automatikos sistemų studijų programos
magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: prof. dr. Eleonora Guseinoviene

Klaipėda, 2022

MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠTIS

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

Samušis Dominykas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Individualaus namo energetinės salos su integruotais atsinaujinančiais šaltiniais režimų skaitinis tyrimas

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

Samušis Dominykas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

Samušis Dominykas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

(data)

prof. dr. Eleonora Guseinovienė

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje.....61JG-M-BD-I-.....

A. Klemanskytė

(data)

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

doc. dr. Audrius Senulis

(data)

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriu

(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

(data)

doc. dr. Audrius Senulis

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe buvo sukurtas matematinis hibridinės energijos sistemos modelis, susidedantis iš vėjo, saulės elektrinių ir energijos kaupimui naudojamų baterijų. Analitinėje dalyje buvo apžvelgti matematiniam modeliui reikalingi komponentai: vėjo elektrinės, saulės elektrinės, jų tipai, paskirtis, apsaugos bei įvairūs energijos kaupimo būdai. Taip pat šiame skyriuje buvo apžvelgti elektros energetikos sistemų tipai ir skirtingi režimai. Baigiamo darbo modeliavimo skyriuje buvo išanalizuotos oro sąlygos, darančios tiesioginę įtaką hibridinės sistemos veikimui. Toliau skyriuje buvo nustatyti gyvenamojo namo elektros poreikiai, kuriuos turi užtikrinti modeliuojama sistema. Buvo sukurti įvairių konfigūracijų matematiniai vėjo, saulės elektrinių ir baterijų modeliai, pagal kuriuos buvo apskaičiuota sistemos generuojama galia visų metų laikotarpiu. Buvo atlikta rezultatų analizė ir aptariami gauti rezultatai, pateiktos išvados.

SUMMARY

The aim of this master thesis is to design a mathematical model of a hybrid energy system consisting of wind turbines, solar modules and batteries used to store any excess energy. The analytical part reviews the required components of the hybrid energy system such as the types and protection of wind turbines and solar modules also various energy storage methods. Furthermore, the types of energy systems and their working principles are analyzed. In the modeling part the yearly weather conditions are reviewed which have direct influence on the effectiveness of the system. Moreover, the electric load for the house is set, which must be covered by the modeling hybrid system. What is more, the mathematical models of wind turbines, solar modules and batteries were created, which calculate the annual power output of the system. Finally, the results of the model are reviewed and the conclusions are presented.

TURINYS

Lentelių sąrašas	6
Paveikslų sąrašas	7
Įvadas	9
1. ANALITINĖ DALIS	11
1.1 Elektros energetikos sistemų tipai ir režimai.....	11
1.2 Vėjo elektrinės.....	13
1.2.1 Horizontalios ašies vėjo elektrinės.....	14
1.2.2 Vertikalios ašies vėjo elektrinės.....	15
1.2.3 Vėjo elektrinių kaupimo sistemos.....	16
1.2.4 Vėjo elektrinių apsaugos.....	19
1.3 Saulės elektrinės.....	23
1.4 Hibridinės energijos sistemos.....	28
2. ENERGETINĖS SALOS MODELIAVIMAS	30
2.1 Matematinio modelio pirminiai duomenys.....	30
2.2 Hibridinės sistemos konfigūracija.....	33
2.3 Vėjo elektrinės modeliavimas.....	34
2.4 Saulės elektrinės modeliavimas.....	36
2.5 Kaupimo baterijos modeliavimas.....	40
3. REZULTATŲ ANALIZĖ	42
IŠVADOS	47
LITERATŪROS SĄRAŠAS	48
PRIEDAI	51

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1. Vėjo elektrinių nominali galia.....	13
2. Gyvenamo namo elektros suvartojimas mėnesiais.....	31
3. Hibridinės energijos sistemos konfigūracija su 13,5 kWh baterija.....	33
4. Hibridinės energijos sistemos konfigūracija su 27 kWh baterija.....	33

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1. Vėjo elektrinių suskirstymas pagal rotoriaus dydį.....	12
2. Horizontalios ašies vėjo elektrinės.....	14
3. Darje tipo vertikali vėjo elektrinė.....	14
4. Savonijaus tipo vertikali vėjo elektrinė.....	15
5. Suspausto oro talpyklos schema.....	17
6. Smagratinio kaupiklio schema.....	17
7. Hidroelektrinio kaupimo schema.....	18
8. Vėjo elektrinių posūkio mechanizmo sandara.....	19
9. Vėjo elektrinės vertikalus suvyniojimo mechanizmas.....	20
10. Mentės apsaugos nuo žaibo sandara.....	21
11. Saulės kolektorių tipai.....	23
12. Saulės elementų, sujungtų nuosekliai, charakteristika.....	25
13. Saulės elementų, sujungtų lygiagrečiai, charakteristika.....	25
14. Saulės intensyvumo įtaka srovės ir įtampos charakteristikai.....	26
15. Temperatūros įtaka srovės ir įtampos.....	26
16. Hibridinė saulės ir vėjo sistema.....	27
17. Saulės radiacijos meteorologiniai duomenys.....	29
18. Vėjo greičio meteorologiniai duomenys.....	30
19. Gyvenamojo namo metinės apkrovos grafikas.....	31
20. Hibridinės energijos sistemos struktūrinė schema.....	32
21. MATLAB 5 kW vėjo elektrinės generuojamos galios modelis.....	34
22. 5 kW vėjo elektrinės momentinė valandinė galia.....	35
23. MATLAB 10 kW saulės elektrinės generuojamos galios modelis.....	36
24. MATLAB saulės modulio temperatūros modelis.....	37
25. Saulės modulio temperatūra.....	38
26. 10 kW saulės elektrinės momentinė valandinė galia.....	38
27. MATLAB 27 kWh baterijos modelis naudojant 5 kW VE ir 10 kW SE.....	39
28. 27 kWh baterijos su 5 kW VE ir 10 kW SE išsikrovimo ir įsikrovimo grafikas.....	40
29. MATLAB valandų be elektros nustatymo modelis.....	41
30. Hibridinės sistemos konfigūracijos su 27 kWh baterija.....	41
31. Hibridinės sistemos konfigūracijos su 13,5 kWh baterija.....	42
32. 13,5 kWh baterijos su 1 kW VE ir 2 kW SE generacijos ir apkrovų grafikas.....	43
33. 13,5 kWh baterijos su 1 kW VE ir 2 kW SE generacijos ir apkrovų grafikas.....	43

34. 27 kWh baterijos su 5 kW VE ir 10 kW SE generacijos ir apkrovos grafikas.....	44
35. 27 kWh baterijos su 5 kW VE ir 10 kW SE generacijos ir apkrovos grafikas.....	44
36. Valandų be elektros duomenų grafikas.....	45

IVADAS

Trys ketvirčiai visame pasaulyje generuojamos energijos yra pagaminama iš neatsinaujinančių energijos išteklių, kaip iškastinis kuras, nafta, anglis, dujos. Šie daug anglies dioksido išskiriantys šaltiniai daro neigiamą poveikį mūsų aplinkai ir sveikatai. Be to, šių energijos išteklių resursai yra riboti ir tokiu tempu, koku žmonija juos vartoja, šie ištekliai išseks. Dėl šių priežasčių daugumos pasaulio šalių dėmesys yra nukreiptas į atsinaujinančius energijos išteklius, kaip vėjas, saulė ar biomasė. Nors ir atsinaujinantys energijos ištekliai yra laikomi nauja elektros energijos gamybos technologija, tačiau šie ištekliai turi pagrindinį trūkumą – stochastinės ir nenuspėjamos oro sąlygos, kurių prieinamumas skiriasi nuo geografinės lokacijos. Dėl šios priežasties sistemoje naudoti vieną energijos šaltinį yra problematiška, tikslinga naudoti mažiausiai du energijos šaltinius ir integruoti energijos kaupimo būdą. Tokia sistema vadinama hibridinė energijos sistema, kurios pagrindinis tikslas yra patobulinti elektros energijos gamybą, sumažinti piniginius kaštus, sumažinti neatsinaujinančių energijos išteklių naudojimą ir pagerinti bendrą sistemos efektyvumą. Taip pat šios sistemos gali padėti išgauti elektros energijos energiją vartotojams, kurie neturi galimybės prisijungti prie bendro elektros tinklo. Todėl šiame magistriniame darbe bus analizuojama ir modeliuojama hibridine energijos sistema.

Temos problema: Dabartiniame pasaulyje pagrindinis kuro šaltinis – iškastinis kuras. Šio kuro naudojimas yra žalingas aplinkai ir planetai. Dėl šios priežasties reikia naudoti alternatyvius energijos išteklius: vėją ir saulę.

Darbo tikslas: Sumodeliuoti prie elektros tinklo neprijungtą hibridinę energijos sistemą su integruotais saulės ir vėjo ištekliais, kuri aprūpina gyvenamo namo elektros poreikius.

Tikslui pasiekti iškelti **darbo uždaviniai:**

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti elektros energetikos sistemas, vėjo, saulės elektrinių tipus ir elektros energijos kaupimo būdus.
2. Nustatyti gyvenamo namo elektros poreikius ir meteorologinius duomenis visų metų laikotarpiu ir juos išanalizuoti.
3. Sukurti vėjo, saulės elektrinės ir kaupimo baterijos matematinius modelius ir jų gautus rezultatus palyginti su namo elektros apkrovomis.
4. Išanalizuoti optimalią hibridinės sistemos konfigūraciją.

Darbo metodika: Darbe matematinių modelių sukūrimui ir skaičiavimų atlikimui buvo naudojamas MATLAB programos paketas. Be to, buvo atliekama literatūros šaltinių analizė tinkamiausių hibridinės sistemos komponentų nustatymui. Rezultatai buvo pateikti grafikų pavidalu.

1. ANALITINĖ DALIS

1.1 Elektros energetikos sistemų tipai ir režimai

Pagal energijos tiekimo režimą elektros energiją galima suskirstyti į centralizuotą ir paskirstytą. Centralizuota energijos tiekimo sistema yra pagrindinis energijos tiekimo būdas pasaulyje. Tačiau tokia sistema turi trūkumų, pavyzdžiui, susiduriama su tinklo stabilumo problemomis, tai gali sukelti didelio masto elektros energijos tiekimo nutraukimą, be to, centralizuota sistema negali lanksčiai sekti galios apkrovos pokyčių [1]. Paskirstyta ar decentralizuota energijos tiekimo sistema yra priešinga centralizuotai sistemai. Tradiciškai, energetikos pramonė sutelkdavo dėmesį į didelių, centralizuotų elektrinių ir ilgų perdavimo linijų plėtojimą. Decentralizuotos sistemos tikslas yra elektros energijos šaltinius statyti šalia elektros vartotojų, kad būtų išvengta ilgų perdavimo tinklų. Dėl šios priežasties padidėtų tinklo efektyvumas, nes būtų išvengta nuostolių perdavimo tinkle, taip pat sumažėtų ekonominės ir aplinkosaugos išlaidos [2]. Decentralizuotų energijos sistemų diegimas priklauso nuo decentralizacijos masto. Prijungiant vieną ar kelis vartotojus prie minimo tinklo sistema turi užtikrinti šių vartotojų elektros poreikius. Kartais perteklinė energija gali būti tiekama į tinklą. Taip pat galima sukurti pramonės lygio decentralizuotą tinklą. Tokiu atveju šalutinio pramoninio proceso būdų pagaminta elektros energija yra suvartojama savoms pramoninių įmonių reikmėms arba tiekama atgal į tinklą. Be to, decentralizavimo lygis lemia elektros sistemos režimą. Šie režimai yra dviejų tipų [3].

Pirmasis režimas yra prie tinklo prijungtos sistemos. Šis jungimo būdas dar skirstomas į dvi subkategorijas. Pirmoji yra tinklas, kurio pagrindinis prioritetas – tenkinti vietinius vartotojų elektros energijos poreikius ir energijos perteklius yra perduodamas į tinklą, o priešingu atveju, kai vartotojų elektros poreikis didesnis, perteklinė energija yra paimama iš tinklo. Kita subkategorija prie tinklo prijungtos decentralizuotos sistemos yra tinklas, kuris generuojamą elektros energiją perduoda ne aplink esantiems elektros vartotojams, o į bendrą tinklą. Tokio tipo tinklas veikia analogiškai, kaip centralizuotas. Verta paminėti tokio tinklo pagrindines savybes [3].

- Prie tinklo prijungta energetinė sistema yra nepriklausoma decentralizuota elektros energijos sistema, kuri yra prijungta prie perdavimo ir paskirstymo tinklų. Tokios sistemos idealiausia montavimo vieta yra arti elektros tinklo.
- Sistemos veiklos pajėgumas tiesiogiai priklauso nuo sistemoje esančių elektros generacijų šaltinių. Tokia sistema funkcionuoja tik tada, kai yra prieiga prie generacijos šaltinių.
- Dėl sistemos tiekimo veikiančio principo gali tekti nepaisyti vietinės elektros paklausos, kai yra nepasiekiami energijos šaltiniai.

- Tokia sistema gali būti naudojama užtikrinti vietinių vartotojų elektros poreikius ir elektros perteklius perduodamas į tinklą arba sistema gali egzistuoti su tikslu visą pagamintą elektros energiją tiekti į tinklą.

- Tokio tipo sistemos prijungimas prie elektros tinklo sukuria galimybę sukurti didelio galingumo sistemas, kurios gali veikti esant didelėms apkrovoms, gerinant sistemos ekonomiškumą.

- Prie tinklo prijungtoje sistemoje tinklas gali veikti, kaip baterija su neribota talpa. Toks tinklo panaudojimas išsprendžia elektros generacijos sezoniškumo problemą. Dėl šios priežasties tokia sistema bus efektyvesnė už energetinės salos sistemą, kadangi nėra jokios elektros energijos talpos ribojimo tinkle, visa energija gali būti perduodama į tinklą ir papildomai sugeneruota energija nėra išvaistoma.

- Sistemoms, naudojančioms atsinaujinančius elektros išteklius, (kaip vėjas, saulė ar biomasė) tenka didelis spaudimas užtikrinti elektros energijos tiekimą, kadangi sistema dirba dideliu mastu.

Antrasis režimas yra prie tinklo neprijungta decentralizuota sistema arba energetinės salos režimas. Ši sistema elektros energiją generuoja nepriklausomai nuo pagrindinio tinklo. Tokio tipo sistemos yra tinkamos eksploatuoti atokiose gyvenamose vietose, kur iš vis nėra, ar yra sudėtingas prijungimas prie paskirstymo tinklo. Energetinės salos režimo sistemos dažniausiai susidaro iš fotovoltinių elementų, kadangi tokie sprendiniai yra ekonomiškiausias pasirinkimas elektros generacijai toli nuo tinklo. Tokios sistemos gali būti naudojamos švyturiuose ar kitokiose nuotolinėse stotyse, sistema gali veikti kaip pagalbinis maitinimo blokas pagalbos tarnyboms ar karinėms reikmėms, taip pat tokia sistema gali aprūpinti elektros energija gamybos įmones, kurios naudoja jautrią elektroniką. Tokio tipo sistemos turi kelis pagrindinius trūkumus: mažas elektros energijos talpos faktorius, didelės kaupimo sistemų išlaidos ir ribota elektros energijos talpa, kas lemia perteklinės energijos iššvaistymą. Toliau yra aprašomos energetinės salos sistemų pagrindinės savybės [3].

- Prie tinklo neprijungtose sistemose elektros energijos generavimas sutampa su elektros energijos poreikiu.

- Aplinkinio regiono elektros poreikiams yra suteikiama didžiausia pirmenybė.

- Tokio tipo sistemos idealiai tinka atokiose vietose, kur sistemai reikia dirbti esant nedidelėms apkrovoms.

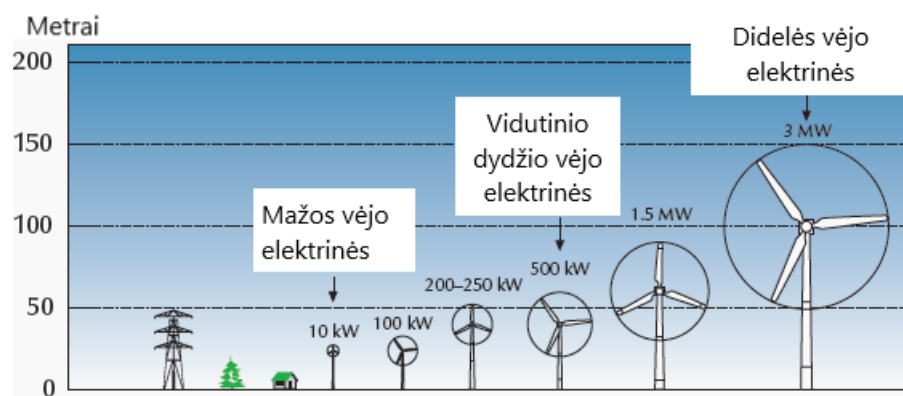
- Sistemos veikimo efektyvumas yra sezoniškas, kadangi tokiose sistemose dažniausiai naudojami fotovoltiniai elementai, o saulės spinduliuotė drastiškai keičiasi skirtingais metų laikais.

- Ši sistema nėra prijungta prie paskirstymo tinklo, dėl šios priežasties sistemoje yra būtina instaliuoti atskirą energijos kaupimo sistemą, kuri užtikrintų elektros energijos tiekimą ne elektros energijos generavimo piko metu.

Apibendrinant galima teigti, kad abu sistemos režimai (prie tinklo prijungta sistema ir energetinė sala) turi įvairių privalumų, tačiau sistemos pasirinkimas eksploatavimui priklauso nuo kelių faktorių. Pirmiausia sistemoje, dirbančioje šiais režimais, dažniausiai naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai, kas lemia išmetamų dujų ir klimato kaitos mažinimą. Be to, esant prieigos prie elektros tinklo problemai yra naudojama prie tinklo neprijungta sistema, kuri gali užtikrinti elektros energiją nuotolinėms, kalvotoms vietovėms ir atokiems kaimams. Nepaisant prieinamumo ir klimato kaitos privalumų šios sistemos taip pat naudojamos dėl ekonomiško ir apkrovų. Prie tinklo prijungtų sistemų perteklinė energijos generacija gali būti perduodama į tinklą. Dėl šios priežasties, mažos apkrovos neturi reikšmingos įtakos šiai sistemai, taipogi pats tinklas yra naudojamas, kaip elektros kaupimo sistema, o tai reiškia, kad nėra reikalinga investuoti į kaupimo sistemas naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, kaip vėją ar saulę [3].

1.2 Vėjo elektrinės

Vėjo elektrinių veikimo principas yra paprastas – elektrinės paverčia vėjo kinetinę energiją į mechaninę ir po to į elektros energiją. Vėjas išsuka elektrinių turbinas mentes, kurios yra sujungtos su generatoriumi, ir tokiu būdu yra gaminama elektros energija [4].



1 pav. Vėjo elektrinių suskirstymas pagal rotoriaus dydį [5]

1 Paveiksle pavaizduota vėjo elektrinių klasifikacija pagal rotoriaus skersmenį. Didelio galingumo vėjo turbinų rotoriaus skersmuo yra nuo 50 iki 100 m ir tokių vėjo elektrinių generuojama galia siekia 3 MW. Vėjo elektrinės su rotoriaus diametru nuo 3 iki 10 m yra priskiriamos prie mažų vėjo elektrinių, kurių generuojama galia yra nuo 1,4 iki 20 kW [5].

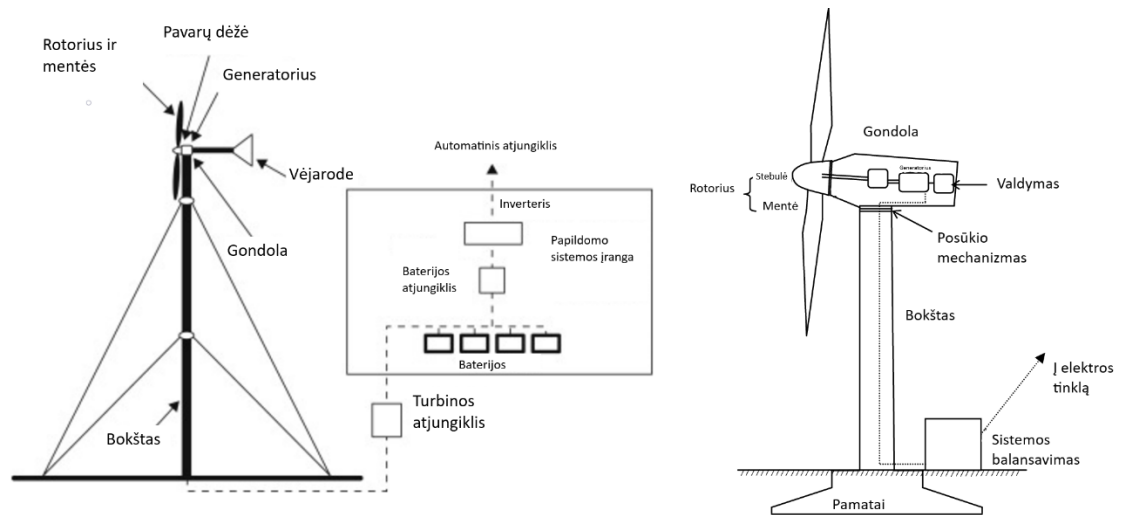
Vėjo elektrinių skirstymas pagal generuojamą galią pavaizduotas 1 lentelėje. Mažos vėjo turbinos, kurių nominali galia 50 W, gamina brangesnę elektros energiją palyginus su vidutinėmis ar didelėmis vėjo elektrinėmis. Mažos vėjo elektrinės yra naudingos autonominiuose projektuose, kuomet reikalingas didelis elektrinės patikimumas. Jeigu parenkamas tinkamas vėjo elektrinės dydis, ir esant optimaliomis sąlygoms, elektrinės gali būti naudojamos kaip patikimas elektros energijos šaltinis [5].

1 lent. vėjo elektrinių nominali galia [5]

		Rotoriaus diametras (m)		Rotoriaus plotas (m ²)		Standartinė galia (kW)	
Mažos	Mikro	0.5	1.25	0.2	1.2	0.004	0.25
	Mini	1.25	3	1.2	7.1	0.25	1.4
	Buitinės	3	10	7	79	1.4	16
	Mažos komercinės	10	20	79	314	25	100
	Vidutinės komercinės	20	50	314	1963	100	1000
	Didelės komercinės	50	100	1963	7854	1000	3000

1.2.1 Horizontalios ašies vėjo elektrinės

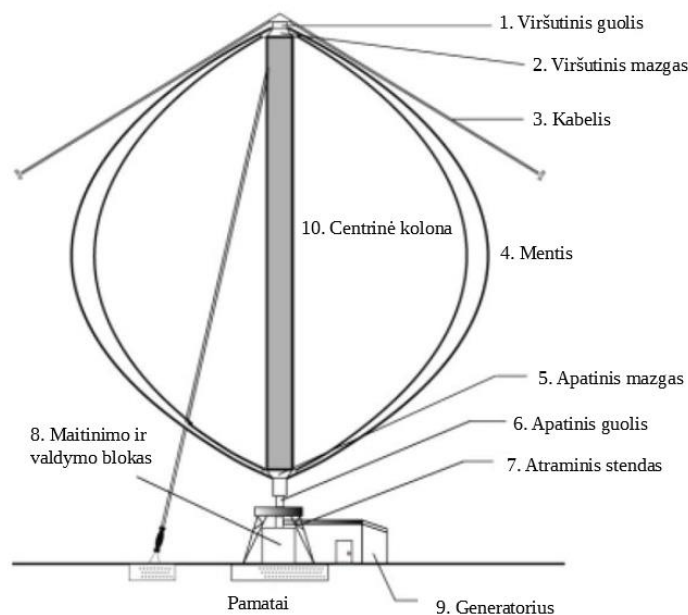
Vėjo elektrinės, kurių rotoriaus ašis yra horizontalios padėties vadinamos horizontalios ašies vėjo elektrinės (toliau HAVE). Tokio tipo vėjo elektrinės turi galimybę savarankiškai įsijungti ir reguliuoti gondolos poziciją. HAVE efektyvumas priklauso nuo vėjo krypties, dėl šios priežasties elektrinės dažniau yra naudojamos didesniuose aukščiuose lyginant su vertikaliomis ašies vėjo elektrinėmis. Horizontalios ašies vėjo elektrinių naudingumas yra 50-60 % [5]. HAVE sandara yra pateikta 2 paveiksle. Elektrinės pagrindinis rotoriaus velenas ir elektros generatorius yra patalpinti gondoloje ir šių mechanizmų kryptis visada turi būti priešinga vėjo kryptiai, kad gaminti elektros energija. Kadangi vėjo kryptis yra nepastovus faktorius HAVE yra statomos su sukinėjimo mechanizmais. Mažos vėjo turbinos turi vėjarodes. Didelės vėjo turbinos naudoja vėjo sensorius kartu su servo varikliu, kad pasuktų turbiną. Dauguma didelių vėjo turbinų naudoja pavarus, kurios lėtą rotoriaus sukimosi greitį pakeičia į didesnį sukimosi greitį tam, kad elektrinis generatorius galėtų generuoti elektros energiją. Elektrinės mentės yra pagamintos iš stiprios konstrukcijos, kad dėl per stipraus vėjo nesusilenktų ir nesusiliestų su pačios elektrinės bokštu. Be to, vėjo elektrinių mentės yra montuojamos toliau nei pats bokštas bei pati gondola yra palenkta į viršų [7].



2 pav. Horizontalios ašies vėjo elektrinės sandara [6]

1.2.2 Vertikalios ašies vėjo elektrinės

Vertikalios ašies vėjo elektrinių (toliau VAVE) pagrindinis rotorius velenas yra sumontuotas vertikaliai. Tokio montavimo privalumas – nesvarbi vėjo kryptis. Tai yra labai palanku, kai vėjo elektrinių instaliuojamoje vietoje vėjo kryptis yra nepastovi.



3 pav. Darje tipo vertikali vėjo elektrinė [9]

VAVE generatorius ir kiti pagrindiniai komponentai gali būti montuojami arti žemės, ir šio svorio nereikia apkrauti bokštui ir remonto atveju nereikia dirbti aukštyje. Šių elektrinių tipai dažniausiai montuojami neaukštai, o vėjo greitis bei vėjo turbino efektyvumas dėl šios

priežasties yra mažesnis. Šios vėjo elektrinės palyginus su horizontalios ašies vėjo elektrinėmis yra daug pigesnės, kadangi nereikia instaliuoti jokio sukinių mechanizmo, tačiau neturi ir savarankiško paleidimo mechanizmo. Be to, vertikalios ašies vėjo turbinos veikia pastebimai tyliau negu HAVE, todėl yra praktiškiau naudoti VAVE gyvenamuosiuose namuose ar miesto rajonuose. Taip pat vertikalios ašies vėjo elektrinės turi mažesnę efektyvumą, kadangi sukimosi momentais elektrinės mentės sukasi į vėją ir atsiranda papildoma vėjo galia, kuri stabdo vėjo elektrinę. Dėl šios priežasties yra dedamos papildomos pastangos – testuojami elektrinės parametrai, kaip vėjo greitis, elektrinės smaigalio greičio santykis, tvirtumas ir menčių medžiagos, kad būtų galima sumažinti vėjo elektrinių pasipriešinimo koeficientą [8].

Vertikalios ašies vėjo elektrinės yra skirstomos į 2 pagrindinius tipus. Pirmasis tipas yra darje vėjo elektrinė. Tokio tipo vėjo elektrinės veikimas yra pagrįstas vėjo kėlimo galia, t.y. rotorius judėjimas ir elektros generacija tiesiogiai priklauso nuo vėjo kėlimo galios veikiančios elektrinės mentės. Darje vėjo elektrinių konstrukcija yra paprasta, ji yra sudaryta iš kelių lenktų menčių, kurios išsidėsčiusios vertikaliai ir sujungtas su centrine kolona arba vėlu. Šios vėjo elektrinės pasižymi dideliu efektyvumu, tačiau nėra pastovios.



4 pav. Savonijaus tipo vertikali vėjo elektrinė [8]

Paprastai horizontalios ašies vėjo elektrinės efektyvumas svyruoja nuo 40% iki 50%, tai reiškia, kad elektrinė gali tokią procento dalį vėjo kinetinės energijos paversti realia vartojama elektros energija. Darje vėjo elektrinės efektyvumas yra tarp 30% ir 40%. Norint pilnai išnaudoti tokio tipo vėjo elektrinę reikia instaliuoti papildomą išorinį energijos šaltinį ar variklį, kuris paleidintų darje tipo vėjo elektrinę, kadangi ji nėra savaime pasileidžianti. Kuomet elektrinės rotorius įsisuka ir pasiekia pakankamą greitį, tuomet vėjo srautas sukuria sukimo momentą, kuris

toliau išsuka vėjo elektrinę. Be to, šio tipo elektrinė yra efektyviausia, kuomet naudojama 2 menčių sistema [9].

Kitas vertikalios ašies vėjo elektrinių tipas yra savonijaus vėjo elektrinė. Tai yra paprasta vėjo elektrinės konstrukcija, kuri susidaro iš dviejų pusės cilindrų formos menčių, pritvirtintų prie elektrinės veleno. Šio tipo vėjo elektrinė veikia konvertuojant vėjo tempimo jėgą į elektros energiją. Kai vėjas pučia į elektrinę, veikia dvi skirtingos jėgos – tempimo ir kėlimo, kadangi vėjas vienu metu veikia abi elektrinės mentes, kurios veleno atžvilgiu yra skirtingos formos – viena mentė įgaubta, kita – išlenkta. Savonijaus tipo elektrinių efektyvumas – tarp 10 ir 20 % [10].

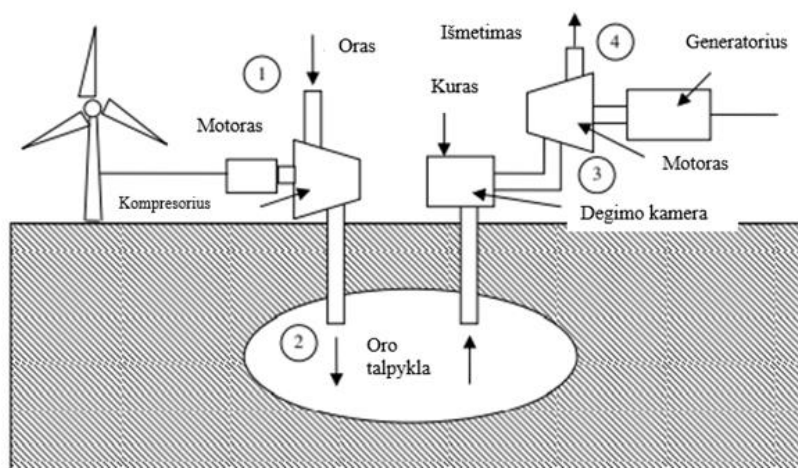
1.2.3 Vėjo elektrinių kaupimo sistemos

Vėjo elektrinių generuojama energija turi daug privalumų, tačiau plečiantis vėjo energijos naudojimui iškyla techninių problemų, kaip pavyzdžiui, tinklo sujungimas, galios kokybė, patikimumas, apsauga, galios perdavimas, valdymas ir patikimas tiekimas. Vėjo elektrinės generuojama galia skirtingomis valandomis gali drastiškai skirtis – staigiai pakilti ar nukristi. Tokia generacijos kreivė nėra patikima, nes negali užtikrinti pastovios galios generavimo. Kad būtų galima išspręsti šią problemą, yra naudojami įvairūs energijos kaupimo būdai tam, kad esant mažai galios paklausai iš vartotojo, elektrinės generuojama galia galėtų būti kaupiama, o atsiradus didesnei paklausai, energija būtų perduodama iš kaupimo sistemų [11].

Kaupimo sistemų yra kelios. Viena iš jų yra energijos kaupimas į baterijas, šis kaupimo būdas yra labai populiarus mažesniuose generacijos sistemos ir rečiau naudojamos didesniuose. Baterijos yra dažnai naudojamos dėl naudojimo paprastumo ir dėl kainos. Baterijos yra modulinio principo, vadinasi, pritrūkus talpos galima prijungti norimos talpos papildomas baterijas. Baterijos yra nuolatinės srovės įtaisai, tad norint jas naudoti su kintamos srovės sistemomis, būtina naudoti konverterį. Vienas pagrindinių baterijų trūkumų yra baterijos limituotas veikimo laikas. Baterijos priskiriamos prie nebenaudojimų, kai jų esama talpa nukrenta iki 60 % vardinės talpos. Baterijos gyvavimo laikas išreiškiamas remiantis duomenimis, kiek kartų baterija gali įsikrauti ir išsikrauti [11].

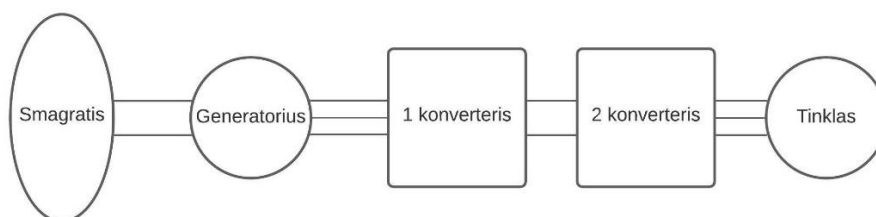
Kitas energijos kaupimo būdas yra suspausto oro talpyklos. Šios talpyklos naudoja antrinį elektros šaltinį, vėjo elektrines, kad užmaitintų oro kompresorius. Šis suspaustas oras yra kaupiamas požeminėse talpose ir poreikiui esant šis oras naudojamas išsukti turbiną ar generatorių, taip grąžinant sukauptą energiją į tinklą. Naudojant tokio tipo energijos kaupimo būdą reikia atsižvelgti į tai, kad oro suspaudimo metu temperatūra padidėja ir sumažėja, kai oras išleidžiamas. Kai oras yra suspaustas ir patalpintas, oro temperatūra būna padidėjusi, tačiau temperatūra pradeda mažėti, kadangi oro talpyklos temperatūra yra mažesnė. Po tam tikro laiko oro ir oro talpyklos temperatūros

susivienodina. Dėl šios priežasties nemaža energijos dalis bus prarasta ir norint ją vėl panaudoti reikės orą pakartotinai sušildyti, kad ši energija būtų atgauta. Suspausto oro talpyklos kaupimo būdas pavaizduotas 5 paveiksle. Oras yra patalpinamas į kompresorių panaudojant variklį, kuris maitinamas vėjo elektrinės. Kompresoriuje oras yra suspaudžiamas iki aukšto slėgio ir temperatūros ir patalpinamas į oro talpyklą. Kai atsiranda poreikis panaudoti sukauptą energiją, suspaustas oras iš oro talpyklos patenka į degimo kamerą, į kurią taip pat paduodamas kuras. Kuras yra deginamas ir tuo būdu sukeliama oro temperatūra, šis oras yra paduodamas į turbiną. Turbinoje išsukamas velenas, dėl kurio pradamas energijos generavimas. Išmetamos dujos yra pašalinamos per 4 numeriu pažymėtą išmetimo sistemą [12].



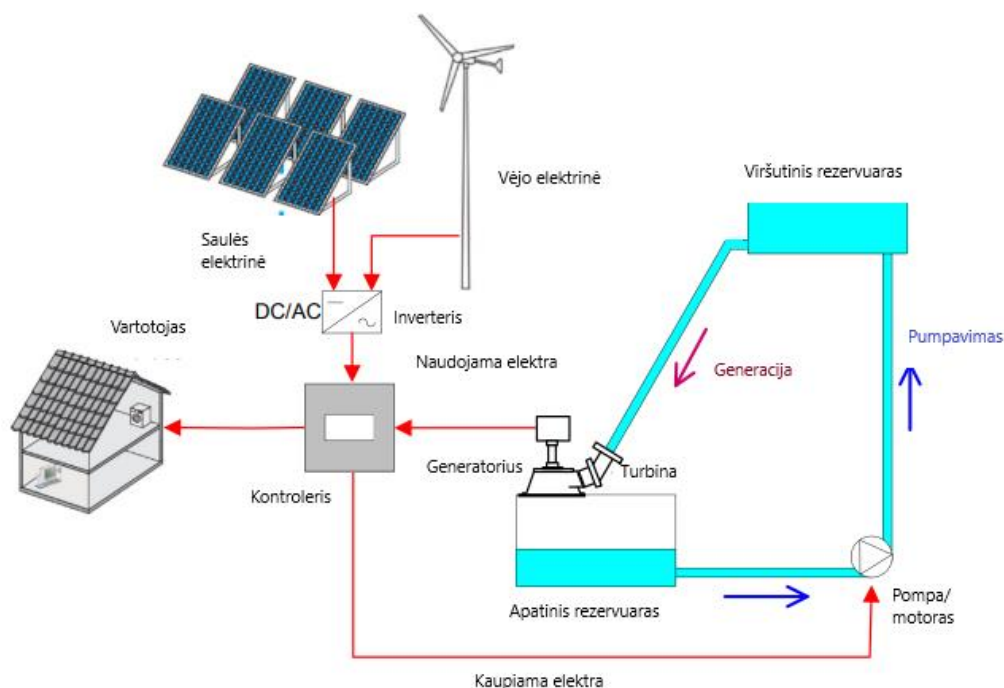
5 pav. Suspausto oro talpyklos schema [12]

Kitas energijos kaupimo būdas yra smagratinis kaupiklis. Energija gali būti kaupiama smagratyje greitinant jo sukimąsi ir energija atiduodama ši smagratį lėtinant. Tipiška smagratinio kaupiklio schema yra pavaizduota 6 paveiksle. Šiame kaupiklyje yra naudojami 2 konverteriai, kurie gali pakeisti galios perdavimo kryptį iš tinklo arba į tinklą. Šie konverteriai yra sujungti su elektros mašina, kuri sujungta su smagračiu. Ši elektrinė mašina gali veikti kaip generatorius ar variklis, vadinasi smagratį gali lėtinti arba greitinti [13].



6 pav. Smagratinio kaupiklio schema [13]

Paskutinis energijos kaupimo būdas yra naudojant hidroelektrines. Energija gali būti kaupiama pumpuojant vandenį iš žemesnio rezervuaro į aukštesnį. Sukaupta energija gražinama į tinklą, kai iš aukštesnio rezervuaro vanduo leidžiamas tekėti į žemesnį rezervuarą, ir tuo pačiu metu vanduo prateka pro hidroelektrinę turbiną [14].



7 pav. Hidroelektrinio kaupimo schema [15]

Siurblys ir turbina gali būti vienas komponentas, kuris gali funkcionuoti nepriklausomai nuo vandens tekėjimo krypties. Tokio kaupimo būdo efektyvumas yra nuo 65 % iki 80 %. Šio kaupimo schema pavaizduota 7 paveiksle [14].

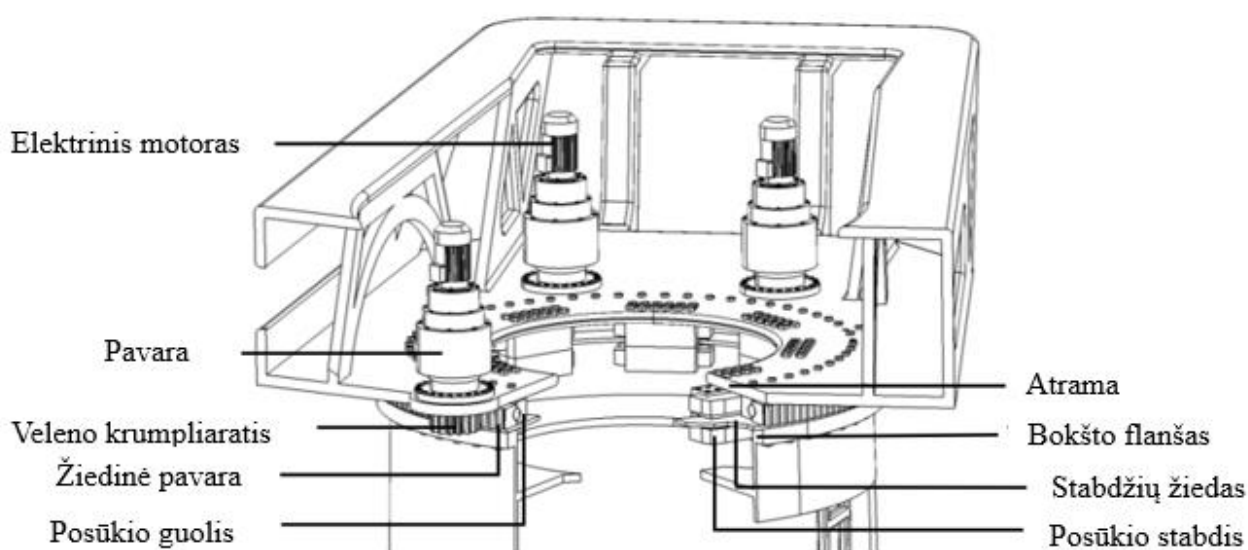
1.2.4 Vėjo elektrinių apsaugos

Vėjo turbina – tai prietaisas išnaudojantis vėjo kinetinę energiją ir paverčiantis ją elektros energija. Tipiška vėjo turbina pradeda gaminti elektros energiją, kai vėjo stiprumas yra apie 2-4 m/s, o efektyviausiai bei maksimaliai vėjo turbina gamina energiją, kai vėjo greitis yra 13-25 m/s. Jeigu vėjo greitis viršija aprašytas normas, aerodinaminės jėgos, veikiančios vėjo elektrinę, pradeda stipriai didėti ir kenkia vėjo elektrinės struktūrai. Dėl šios priežasties pasiekus vėjo greitį, kuris viršija elektrinės galimą maksimalų vėjo greitį, elektrinė yra stabdoma. Vėjo turbinų stabdymo sistemų yra kelios.

Viena pagrindinių yra mechaninio stabdymo sistema. Esant didesniai vėjo greičiui nei leistinas arba esant gedimui ši sistema visiškai sustabdo rotorių. Mechaninėje stabdymo sistemoje yra

naudojamas apskritas diskas pritvirtintas prie rotoriaus veleno. Kai yra reikalingas turbinos stabdymas, stabdžių trinkelė spaudžia diską ir taip yra sustabdomas variklis. Dažniausiai ši sistema naudojama tik avariniais ar remonto atvejais, kad turbina atsitiktinai nepradėtų sukintis [17].

Antroji stabdymo sistema yra aerodinaminė. Priešingai nei mechaninio stabdymo sistema, vėjo turbina nėra pilnai sustabdoma, o yra taktiškai mažinamas rotoriaus greitis iki optimalaus sukimosi greičio. Šios sistemos veikimo principas yra toks, kad rotoriaus mentės yra reguliuojamos pagal išilginę ašį. Jeigu vėjo greitis viršija leistiną vėjo turbinos sukimosi greitį, tai rotoriaus mentės pasisuka taip, kad sudarytų mažesnę kampą su vėjo kryptimi. Taip yra sumažinamas efektyvumas, tačiau vėjo turbina gali veikti efektyviai esant per dideliu vėjo greičiui [17].

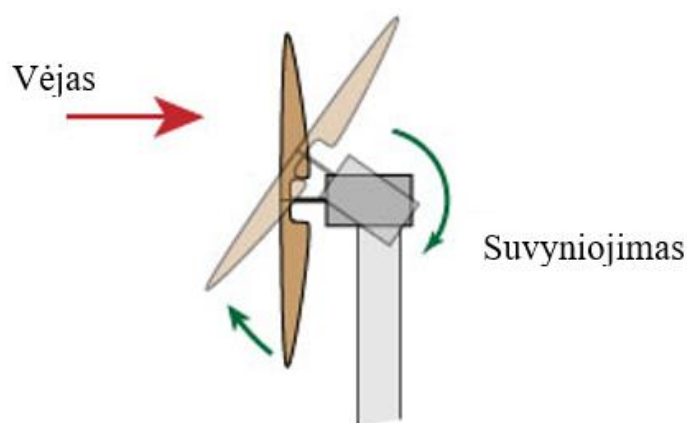


8 pav. Vėjo elektrinių posūkio mechanizmo sandara [18]

Kita stabdymo sistema, skirta apsaugoti vėjo turbinas nuo per didelio vėjo greičio bei palaikyti optimalų rotoriaus sukimosi greitį, yra posūkio mechanizmas. Šis mechanizmas sukinėja visą vėjo elektrinės gondolą, kurioje yra greičio dėžė, generatorius ir stabdymo mechanizmai. Šis posūkio reguliavimas suteikia galimybę sukinėti vėjo elektrinės gondolą, kad būtų galima palaikyti optimalų kampą tarp vėjo ir rotoriaus. Jei vėjas viršija leistiną vėjo turbinos greitį, šis mechanizmas nusuka gondolą nuo vėjo, taip mažindamas rotoriaus sukimosi greitį. Dauguma mažų vėjo elektrinių naudoja mentę, pritvirtintą prie vėjo elektrinės korpuso nugaros, kuri veikiama vėjo, pati pasuka gondolą. Tačiau esant didelėms vėjo elektrinėms, kurių rotoriaus skersmuo didesnis nei 10 metrų, reikalinga didelė mentė, dėl šios priežasties vietoj jos yra instaliuojamas posūkio reguliavimo mechanizmas, kuris pasuka vėjo elektrinės gondolą. Šis mechanizmas naudoja kelis variklius, priklausomai nuo vėjo elektrinės tipo, taip pat ant elektrinių yra instaliuotas anemometras, matuojantis vėjo greitį. Vėjui

nukrypus nuo optimalaus kampo ar esant per dideliam vėjui, šis jutiklis siunčia signalą ir varikliai pradeda sukėti vėjo elektrinės gondolą. Šis mechanizmas pavaizduotas 8 paveiksle [18].

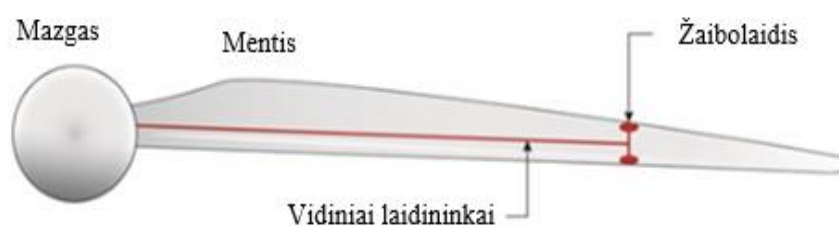
Kita apsaugos sistema yra suvyniojimo mechanizmas. Šis mechanizmas yra dviejų tipų – horizontaliojo bei vertikaliojo suvyniojimo. Šiame mechanizme esant per dideliam vėjo greičiui vėjo elektrinės rotorius yra nusukamas nuo tiesioginės vėjo krypties. Vertikalaus suvyniojimo mechanizmo principas yra toks, kad esant per stipriam vėjui visa vėjo elektrinės gondola užlinksta vertikalia kryptimi į viršų. Šitas mechanizmas reikalauja dviejų pagrindinių komponentų – spyruoklinio vyro ir svorio. Svorį reikia parinkti atitinkamai pagal vėjo elektrinės dydį bei norimą maksimalų leistiną vėjo greitį, kadangi spyruoklinis vyras atlenkia vėjo elektrinės korpusą, kai vėjo jėga viršija svorio jėgą, taip apsaugant vėjo elektrinę nuo per didelio vėjo greičio. Šio mechanizmo veikimo principas pavaizduotas 9 paveiksle. Tokiu pačiu principu gali būti instaliuota ir horizontali sistema, kuri esant per dideliam vėjo greičiui nusuka visą vėjo elektrinės korpusą horizontalia kryptimi [19].



9 pav. Vėjo elektrinės vertikalus suvyniojimo mechanizmas [19]

Dar viena apsauga naudojama vėjo elektrinėse yra menčių pasukimo mechanizmas. Šio mechanizmo yra du tipai – aktyvus menčių pasukimo mechanizmas ir pasyvus. Aktyviame mechanizme turbinos valdiklis tikrina generuojamą galią kelis kartus per sekundę. Kai galia tampa per didelė, kitaip tariant, vėjas tampa per stiprus, šis valdiklis siunčia signalą menčių pasukimo mechanizmui, kuris iškart pasuka vėjo elektrinės mentes tokiu kampu, kad būtų didesnis pasipriešinimas. Kai vėjas susilpnėja, mechanizmas grąžina mentės kampą į optimalią padėtį. Pasyviame mechanizme naudojamos nejudančios pritvirtintos mentės. Šių menčių suprojektavimas unikalus – esant per dideliam vėjo greičiui atsiranda turbulencija rotoriaus šone ir rotoriaus sukimosi greitis mažėja. Šiam mechanizmo būdai reikalinga labai tvirta vėjo elektrinės konstrukcija [17].

Elektros antplūdžiai yra vieni iš didžiausių pavojų vėjo elektrinėms ir įvairioms instaliuotoms sistemoms. Nors yra numatoma, kad dėl šiurkščių klimato sąlygų bus padaryta žala vėjo turbinoms, žala padaryta dėl žaibo smūgių yra labai kenksminga vėjo elektrinėms. Kadangi vėjo elektrinės statomos atvirose vietose, jos turi didelę riziką būti paveiktos žaibo smūgių. Beveik 25 % visų vėjo elektrinių gedimų yra dėl žaibo. Dėl šios priežasties yra būtina vėjo elektrinėse instaliuoti apsaugas nuo žaibo išlydžio. Žaibo apsaugos susideda iš keturių pagrindinių komponentų: žaibolaidžių sistemos, įvairių laidininkų sistemos, padedančios nukreipti žaibo išlydį į žemę, įžeminimo tinklo ir apsaugos įtaisų nuo viršįtampių sistemos. Instaliuojant apsaugas nuo žaibo reikia atsižvelgti į standartus, kaip vėjo energijos generavimo sistemų apsaugos nuo žaibo standartas IEC 61400-24. Aukščiausias taškas vėjo elektrinėje yra mentės. Dažniausiai vėjo elektrinių mentės yra pagamintos iš nelaidžių medžiagų. Dėl šios priežasties žaibui trenkiant į mentes jos negali perduoti elektros energijos ir tai nulemia stiprius menčių pažeidimus. Be to, vėjo elektrinių mentės turi tuščiavidures konstrukcijas, kad sumažintų svorį. Gamintojai sprendžiant šią problemą nusprendė padengti mentės paviršių laidžia medžiaga – metalo sluoksniu, tačiau šituo būdu susiduriama su keliomis problemomis. Norint, kad metalo sluoksnis nukreiptų žaibo energiją reikia, kad sluoksnis būtų storas, o storis didina mentės svorį, kas yra neoptimalu. Be to, padengiant mentes metalo sluoksniu gali prasidėti erozija ir korozija. Efektyvesnis sprendimas, kaip apsaugoti vėjo mentes nuo žaibo poveikio yra žaibolaidžių ir laidininkų naudojimas, kaip pavaizduota 10 paveiksle. Šita sistema naudoja vidinius laidininkus ir žaibolaidžius žaibo energijos nukreipimui. Dažniausiai yra naudojama laidži medžiaga mentės gale, kadangi dėl geometrijos šitoje mentės pusėje dažniausiai trenkia žaibas. Žaibolaidžio pagalba ši laidži medžiaga susijungia su vidiniais laidininkais, ir tai suteikia galimybę žaibo energiją perduoti iki mazgo, ir nuo mazgo yra nukreipiama į žemę [20].



10 pav. Mentės apsaugos nuo žaibo sandara [20]

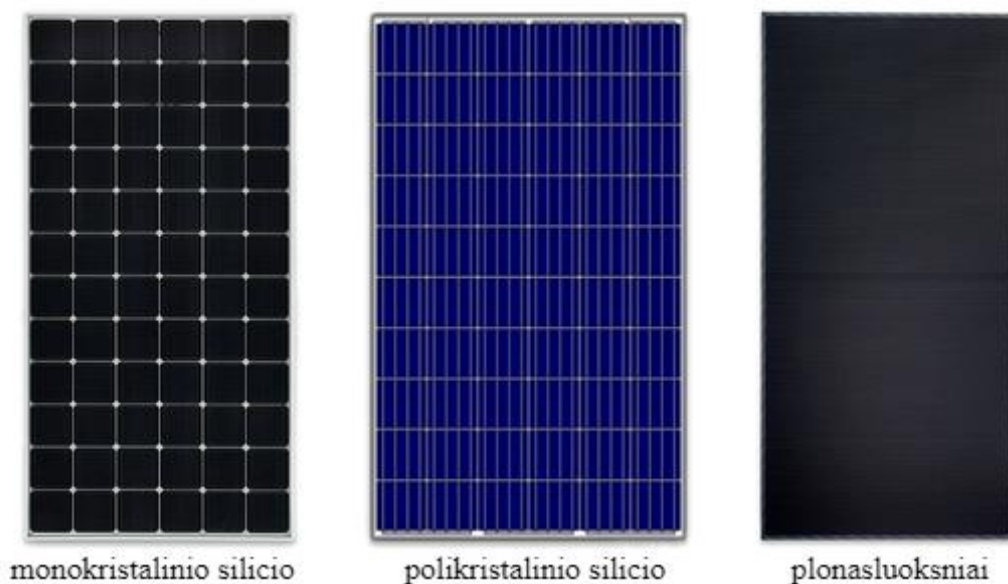
Kita svarbi vieta apsaugai nuo žaibo yra vėjo elektrinės gondola ir visi joje esantys elektriniai komponentai. Vėjo elektrinės gondola turi suteikti reikiamą apsaugą elektronikos sistemoms esant tiesioginiam žaibo smūgiui. Elektronikos sistemos, kurias reikia apsaugoti, yra šios: valdymo sistemos, galios reguliatoriai, paskirstymo elektronika, SCADA sistemos ir komunikacijos sistemos.

Šie puslaidininkius naudojančios prietaisai yra labai jautrūs viršįtampiams ar padidėjusioms srovėms. Pažeidus šias sistemas visa turbina gali nustoti veikti. Norint apsaugoti gondolą ir joje esančius komponentus nuo žaibo poveikio reikia naudoti gondolą, kaip Faradėjaus narvą, t.y. gondola turi būti pagaminta iš laidžios medžiagos, kad blokuotų išorinius elektromagnetinius laukus bei naudoti apsaugas nuo viršįtampių, optines jungtis dėl komunikacijos ir suvienodinti potencialus. Jeigu gondola yra laidži, ji gali būti naudojama kaip Faradėjaus narvelis, apsaugantis elektroninius komponentus nuo tiesioginio poveikio bei nuo indukuotų įtampų. Tokiu atveju, jeigu gondola nėra laidži yra naudojamos laidžios medžiagos, padedančios sukurti Faradėjaus narvelį. Instaliuojant šį narvelį reikia užtikrinti, kad laidžios dalys gerai kontaktuotų su gondolos dugnu ir bokštu, kad būtų sumažinta varža iki žemės. Sistemoms, kurioms nereikia fizinių jungčių, gali būti naudojami optiniai sujungimai, kurie sujungia komponentus esančius narvelyje su išorine aplinka. Optinės jungtys tinka komunikacijos sistemoms, tačiau nėra praktiška visur naudoti šias jungtis, pavyzdžiui, kabeliams, kurie perduoda galią iš generatoriaus. Taip pat viršįtampių ir srovių sistemos gali būti instaliuojamos laidams, kurie nepatenka į Faradėjaus narvelį. Šios viršįtampių ir srovių sistemos nėra pilnai pajėgios visiškai izoliuoti elektrinius komponentus, esančius Faradėjaus narvelyje, nuo žaibo poveikio. Dėl šios priežasties, reikia atsižvelgti ir į šių komponentų remonto ir keitimo darbus. Pavyzdžiui, labai žaibams jautrūs elektronikos komponentai turėtų būti instaliuojami patogiose vietose, kad esant remonto būtinybei prie šių komponentų fiziškai prieiti būtų nesudėtinga. Be to, svarbus vėjo elektrinės komponentas žaibo trenkimo atveju yra guolis. Guoliai yra naudojami vėjo elektrinių posūkio mechanizme tarp mentės ir mentės mazgo bei tarp mazgo ir gondolos. Guoliai, esant žaibo smūgiui, beveik visada yra paveikti, kadangi pro juos nukreipta žaibo energija iki žemės. Tačiau guoliai užtikrina tvirtą elektros srovės nutekėjimo kelią ir retai būna sugadinti žaibo smūgio sukurtos srovės ar viršįtampių. Esant tiesioginiam žaibo kontaktui su guoliais (per įvairius skysčius ar oro tarpus) atsiranda rizika sugadinti guolį ar sumažinti jo eksploatacavimo laiką. Apsaugant guolius reikia pakeisti žaibo smūgio sugeneruotos srovės nutekėjimo kelią. Šiam tikslui įgyvendinti yra naudojami įžeminimui skirti laidai, kurie sukuria srovės nutekėjimo kelią, užtikrinantį guolių apsaugą. Tačiau šis principas yra retai naudojamas dėl savo sudėtingos instaliacijos [20].

1.3 Saulės elektrinės

Saulės energija yra energija, kuri išgaunama iš saulės. Šią energiją galima panaudoti keliais būdais, kaip elektros energijos ar šilumos energijos generavimas, kuris panaudojamas namams, įmonėms, komunalinėms paslaugoms. Saulės energija yra atsinaujinantis elektros šaltinis, todėl yra labai svarbi švarios energijos ateities dalis. Norint išgauti elektros energiją iš saulės yra naudojami saulės arba fotovoltiniai elementai. Tai yra elektrinis prietaisai, kuris šviesos spinduliuotę tiesiogiai

paverčia į elektros energiją. Iš saulės elementų yra gaminami fotovoltiniai moduliai arba kitaip – saulės kolektoriai. Saulės elementai pagal išradimo laiką yra skirstomi į 3 kartas. Pirmosios kartos saulės elementai yra vadinami įprastais arba tradiciniais, kurie yra pagaminti iš kristalinio silicio, kaip monokristaliniai arba polikristaliniai saulės elementai. Plonos plėvelės arba plonasluoksniai saulės elementai yra priskiriami prie 2 kartos. Šie elektriniai prietaisai yra pagaminti iš amorfinio silicio ir dažniausiai yra naudojami dideliuose saulės elektrinėse, integruojami į pastatus arba naudojami nedidelio galingumo sistemose, dirbančiose energetinės salos režimu. Trečioji saulės elementų karta apima daugybę plonasluoksnių elementų technologijų, kurios apibūdinamos, kaip besiformuojančios fotovoltinės sistemos, kadangi daugumų šių technologijų dar nėra pritaikyti komerciškai ir vis dar tebėra mokslinių tyrimų ir plėtros etape [21].



11 pav. Saulės kolektorių tipai [22]

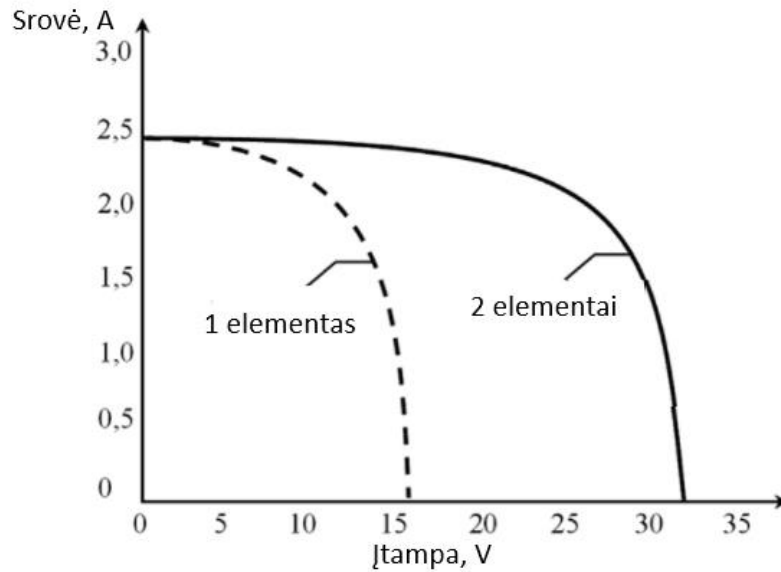
Šiuo metu rinkoje yra trys pagrindinės saulės kolektorių rūšys. Pirmasis tipas yra monokristalinio silicio saulės elementai. Monokristalinis silicis yra pagrindinė medžiaga silicio lustų gamyboje, kurie naudojami visose elektronikos srityse. Be to, šis silicis yra naudojamas, kaip fotovoltinė, šviesą sugerianti medžiaga saulės elementų gamyboje. Czochralskio proceso metu yra išgaunami iki 2 m ilgio ir kelis šimtus kilogramų sveriantys monokristalų luitai. Tuomet šie cilindro formos luitai yra supjaustomi į šimtus plonų plokštelių tolimesniam apdorojimui [21]. Monokristalinio silicio saulės kolektoriai yra efektyviausi rinkoje, jų efektyvumas svyruoja tarp 17% ir 22%. Dėl šios priežasties, šiuos elementus yra ekonomiškai naudoti ant namų su riboto ploto stogu, kad būtų užtikrinta kuo didesnė elektros energijos generacija. Be to, tokio tipo saulės kolektoriai turi labai dideles nominalias galias – tarp 320 W ir 375 W. Dėl sudėtingo gamybos proceso

monokristalinio silicio saulės kolektoriai yra brangiausi lyginant su polikristaliniais ir plonasluoksniais. Remiantis Lawrence Berkeley nacionalinės laboratorijos duomenimis, monokristaliniai saulės kolektoriai yra 0,05 amerikietiško dolerio už vatą brangesni lyginant su polikristaliniais saulės kolektoriais [22]. Monokristalinio silicio kolektorius pavaizduotas 11 paveiksle.

Dar vienas saulės elementų tipas yra polikristalinio silicio elementai. Polikristalinis silicis (dar vadinamas polisiliciu) yra didelio grynumo polikristalinė silicio forma, naudojama kaip žaliava saulės elektrinių ir elektronikos pramonėse. Polisilicis gaminamas iš metalurginio tipo silicio cheminio valymo būdu, vadinamu Siemens procesu. Polikristalinio silicio saulės elementai yra labiausiai paplitęs saulės elementų tipas sparčiai augančioje fotovoltinių elementų rinkoje [19]. Polikristalinių kolektorių efektyvumas yra nuo 15% iki 17%. Tokie efektyvumo rodikliai yra dėl to, kad polikristaliniuose elementuose yra daug silicio elementų, dėl kurių elektronai negali lengvai judėti ir dėl to sumažėja plokštės efektyvumas. Mažesnis polikristalinių kolektorių efektyvumas lemia, kad šių kolektorių nominali galia, taip pat, mažesnė – nuo 240 W iki 300 W [22]. Polikristalinis saulės kolektorius pavaizduotas 11 paveiksle.

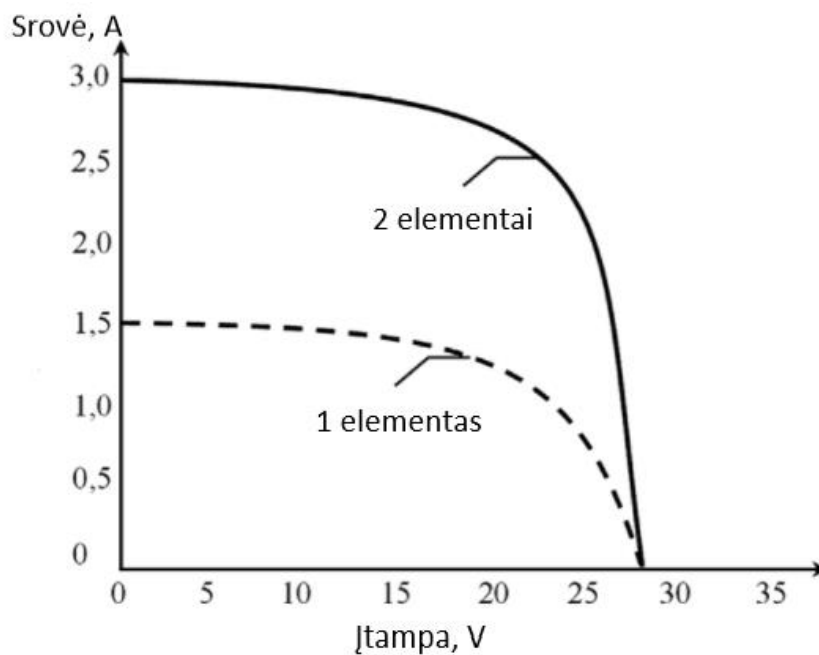
Paskutinis saulės elementų tipas yra plonasluoksniai arba plonos plėvelės saulės elementai. Tai yra 2 kartos fotovoltinis elementas, kuris pagamintas nusodinant vieną ar kelis plonus sluoksnius arba fotovoltinės medžiagos plėveles ant tam tikro pagrindo, kaip stiklo, plastiko ar metalo. Šio elemento plėvelės storis svyruoja nuo kelių nanometrų iki dešimčių mikrometrų, o tai yra daug plonesnis variantas nei pirmosios kartos kristaliniai silicio elementai, kaip polikristalinis ar monokristalinis, kuriuose yra naudojamas iki 200 mikrometrų silicio plokštelės. Dėl šios priežasties plonasluoksniai elementai yra mažesnio svorio ir yra labai lankstūs, todėl yra integruojami pastatuose ir naudojami kaip pusiau permatoma fotovoltinė medžiaga, kurią galima laminuoti ant langų. Plonasluoksniai elementai visada buvo pigesnė alternatyva silicio technologijų elementams, tačiau mažiau efektyvi [21]. Komercinių plonos plėvelės elementų efektyvumas svyruoja tarp 10 - 13 %, tačiau laboratorijose yra pasiektas beveik 24 % efektyvumas. Norint patenkinti elektros energijos poreikius naudojant tokio tipo technologiją, reikia išnaudoti daug didesnius plotus nei alternatyvios technologijos, todėl plonos plėvelės elementai kol kas nėra ekonomiškai naudingas sprendimas gyvenamosiose vietose, kur yra ribota instaliuojama vieta [22]. Plonasluoksniai elementai yra pavaizduoti 11 paveiksle.

Kadangi vieno saulės elemento dažniausiai neužtenka užtikrinti elektros poreikių ir reikia papildomos galios, tam tikslui reikiamas skaičius saulės elementų yra sujungiami nuosekliai arba lygiagrečiai. Jungiant saulės elementus nuosekliai, bendra sistemos srovė, tekanti per visus saulės elementus, yra vienoda. Sistemos įtampa yra visų modulių įtampų suma. Nuoseklaus jungimo sistemoje šešėlių įtaka yra stiprus sistemos įtampos kritimo faktorius [23].



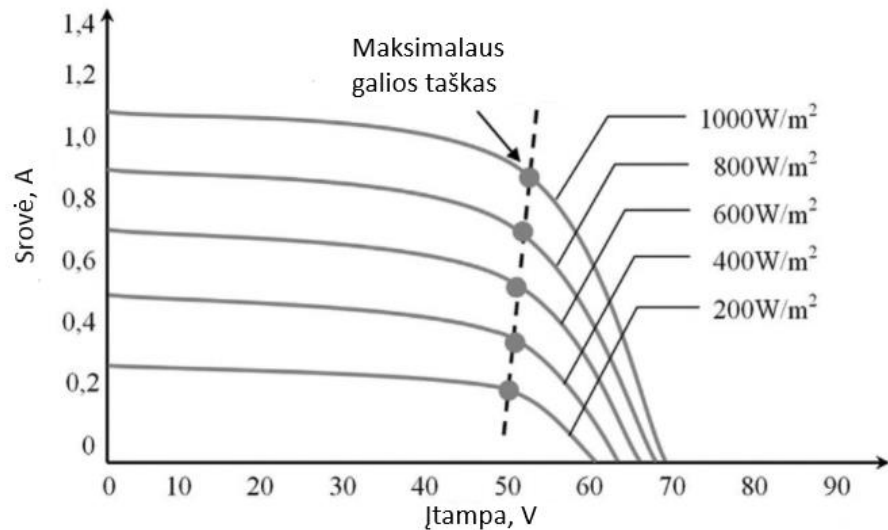
12 pav. Saulės elementų, sujungtų nuosekliai, charakteristika [23]

Sujungiant saulės elementus lygiagrečiai, visos sistemos įtampa yra lygi vieno elemento įtampai, o sistemos srovė yra lygi visų elementų srovių sumai. Tuščios veikos sistemos įtampa yra lygi vieno elemento tuščios veikos įtampai, o trumpo jungimo srovė sistemoje yra lygi visų elementų trumpų jungimų srovių sumai. Lygiagrečios sistemos šėšėlių daroma įtaka yra srovės sumažėjimas, tačiau įtampa nesikeičia [23].

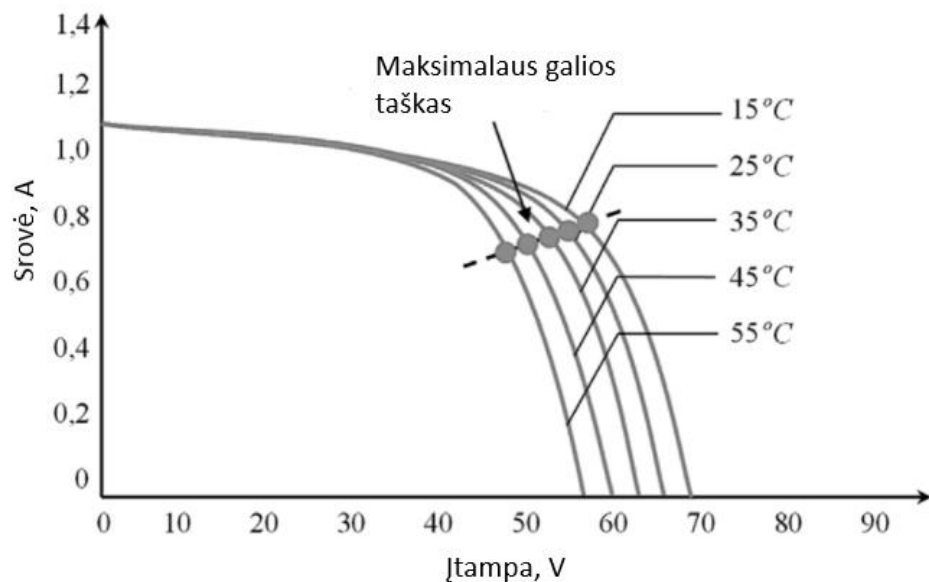


13 pav. Saulės elementų, sujungtų lygiagrečiai, charakteristika [23]

Saulės kolektorių srovės ir įtampos charakteristika priklauso nuo saulės spinduliuotės intensyvumo. Toks pavyzdys pateiktas 14 paveiksle. Be to, nuo spinduliuotės priklauso ir maksimalūs galios taškai. Šiuo pavyzdžiu saulės intensyvumas tiesiogiai daro įtaką trumpojo jungimo srovei saulės kolektoriuje. Saulės kolektorių veikimas esant skirtingam saulės intensyvumui yra svarbus faktorius hibridinių sistemų modeliavime [23].



14 pav. Saulės intensyvumo įtaka srovės ir įtampos charakteristikai [23]



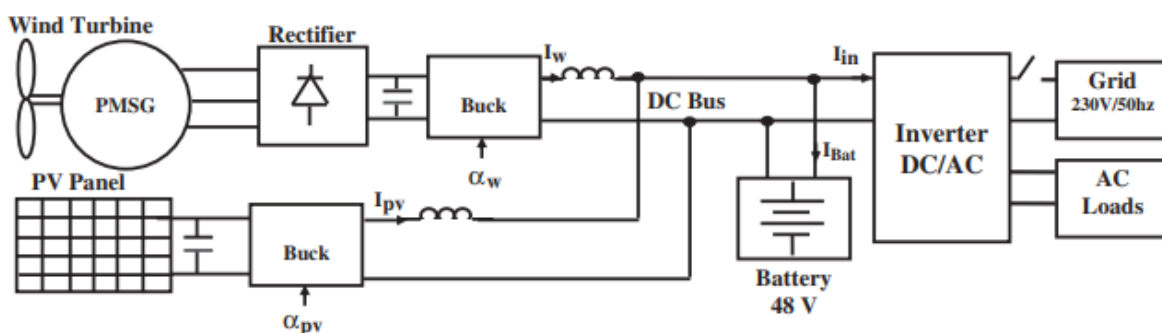
15 pav. Temperatūros įtaka srovės ir įtampos charakteristikai [23]

Be to, temperatūra irgi daro įtaką saulės kolektoriams. Tam tikroje temperatūroje saulės kolektorių trumpojo jungimo srovė tiesiogiai didėja priklausomai nuo saulės intensyvumo. Esant

pastoviai saulės radiacijai arba spinduliavimui temperatūros padidėjimas lemia trumpojo jungimo srovės didėjimą, o tuščios veikos įtampa mažėja [23].

1.4 Hibridinės energijos sistemos

Sistemoje dirbančioje salos režimu, t.y. sistema nėra prijungta prie elektros tinklo, atsinaujinančių išteklių integravimas yra tinkamas ir perspektyvus sprendimas tokių sistemų aprūpinimui elektros energija. Atsinaujinančių energijos išteklių paremta elektros generacija, kaip saulės, vėjo, hidro, biodujų, biomasės ir dyzelinių generatorių pritraukė projektuotojų dėmesį, kaip patikimas energijos šaltinis, kuris dalinai išsprendžia tinklo plėtros ir aplinkosaugos klausimus. Hibridinės energijos sistemos (toliau HES) yra atsinaujinančių energijos išteklių ir tradicinių energijos šaltinių integracija į vieną sistemą. Tai yra naudinga, nes sumažinama vartotojų priklausomybė nuo tinklo, yra sumažinami perdavimo ir energijos transformacijos nuostoliai, be to energijos šaltiniai yra neišsenkantys ir neteršia gamtos. Saulės ir vėjo šaltinių integravimas gali būti atliekamas ir dideliu mastu, kadangi šie energijos šaltiniai papildo vienas kitą, t.y. jeigu nedirba saulės kolektoriai, elektros energiją generuoja vėjo elektrinė ir atvirkščiai [23]. HES gali būti atjungta arba prijungta prie tinklo. Modeliuojant hibridinę energijos sistemą, veikiančią energetinės salos režimu, reikia išvertinti pakankamos talpos kaupimo sistemą, kuri galėtų suvaldyti galios svyravimus. Tokia sistema gali būti laikoma mikrotinklu turinčiu savo energijos šaltinius, apkrovas ir su integruota galios elektronika, kuri reguliuoja įtampą, dažnį ir apkrovų paskirstymą. Hibridinėje sistemoje, sujungtoje su tinklu, energijos šaltiniai gali tiekti elektros energiją į tinklą ir šalia esantiems vartotojams. Tokiose sistemose kaupimo įrenginio talpa gali būti mažesnė, kadangi pats tinklas gali veikti kaip energijos saugojimo įrenginys [24].



16 pav. Hibridinė saulės ir vėjo sistema [24]

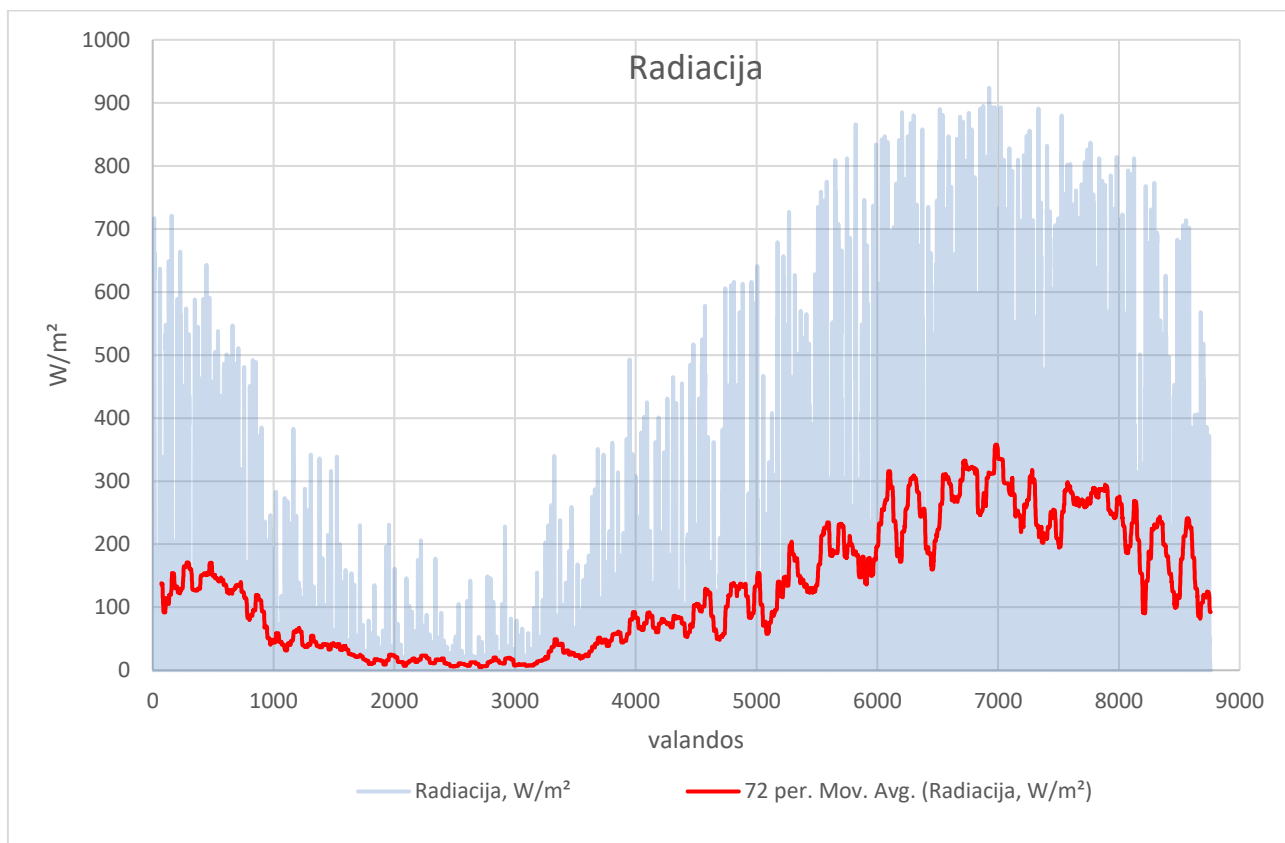
Hibridinė energijos sistema yra sudaryta iš daug komponentų. Pagrindiniai tokios sistemos elementai yra generacijos šaltiniai – vėjo elektrinės, saulės moduliai ir generatoriai. Su tikslu kaupti

perteklinę energiją, kad ją būtų galima panaudoti vėliau yra naudojamos baterijos. Baterijos yra naudingos, kai saulės radiacija yra per silpna ir saulės elektrinės negali užtikrinti pakankamos elektros energijos. Standartiškai hibridinėse sistemose yra naudojamos švino rūgšties baterijos dėl didelio efektyvumo, ilgo tarnavimo laiko ir ekonomiškumo. Baterijos, priklausomai nuo išsikrovimo ir įsikrovimo ciklų dažnumo ir dydžio gali veikti nuo 5 iki 15 metų. Kitas hibridinės sistemos komponentas yra kontroleris arba valdiklis. Kontroleris yra būtina hibridinės sistemos dalis, jeigu yra integruotas kaupimo būdas, kadangi šis komponentas užtikrina saugų ir efektyvų baterijos įsikrovimą ir išsikrovimą. Valdikliai blokuoja atvirkštinę srovę ir neleidžia baterijoms persikrauti. Be to, priklausomai nuo valdiklio tipo, gali būti integruotos apsaugos nuo elektros perkrovos. Taip pat hibridinėje sistemoje yra būtinas inverteris. Šis prietaisas konvertuoja sistemos generuojamą nuolatinę elektros srovę į kintamą. Inverteriai gali skirtis nuolatinės srovės išėjimo bangos forma, išėjimo galia ir instaliacijos būdu. Yra dviejų tipų išėjimo bangų formos inverteriai: modifikuotos sinusinės bangos ir grynosios sinusinės bangos. Modifikuotos sinusinės bangos inverteriai yra ekonomiškai ir efektyvūs, o grynosios sinusinės bangos inverteriai yra sudėtingesni, turi didelį našumą ir gali dirbti su bet kokiais apkrovomis. Instaliacijos būdai yra du – inverteriai skirti montuoti salos režimu dirbančioje sistemoje arba prie elektros tinklo prijungtoje sistemoje [25].

2. ENERGETINĖS SALOS MODELIAVIMAS

2.1 Matematinio modelio pirminiai duomenys

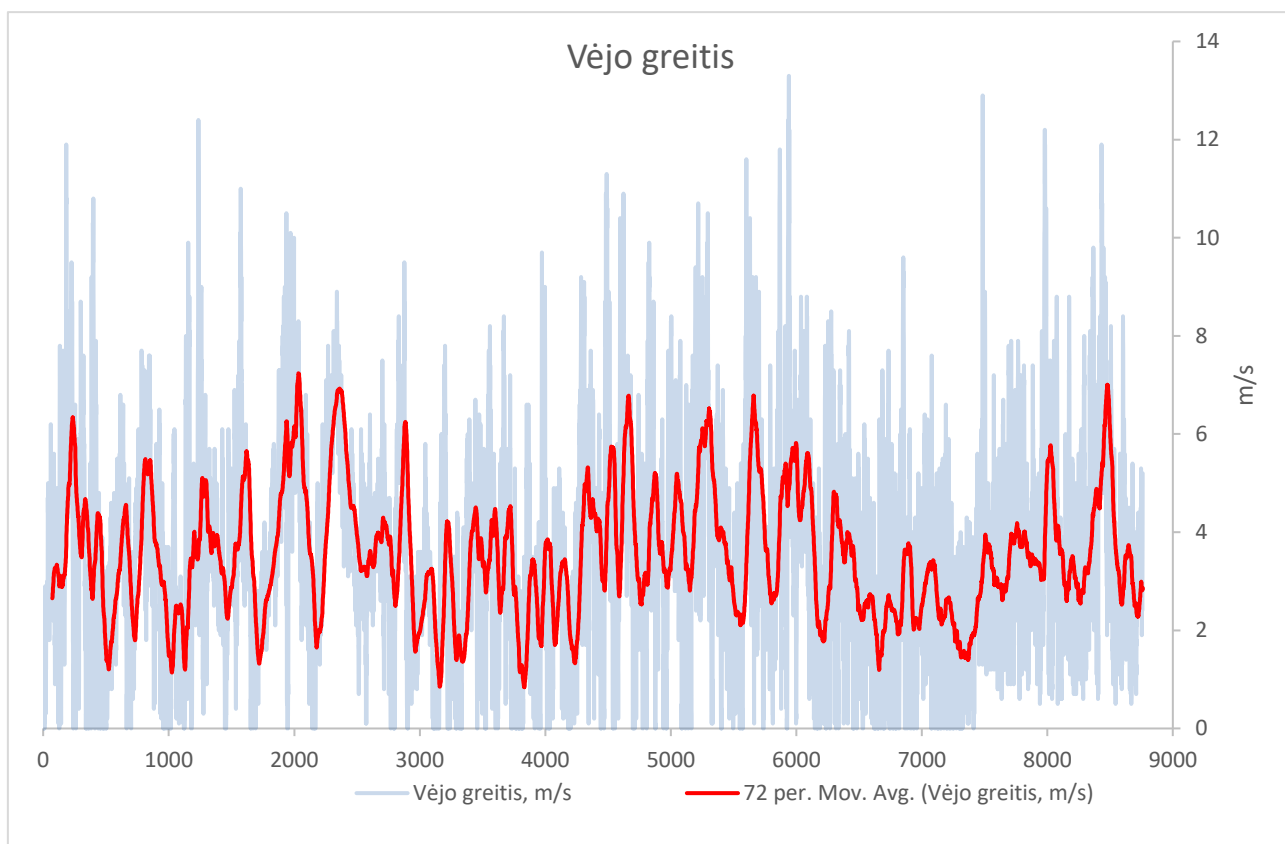
Matematiname gyvenamo namo modelyje apskaičiuoti hibridinės sistemos generuojamą galią buvo naudojami įvairūs oro parametrai, kaip saulės radiacija (W/m^2) ir vėjo greitis (m/s) (duomenys gauti iš Šilutės hidrometeorologinės stoties). Duomenys yra naudojami nuo 2020-09-01 iki 2021-09-01 ir matavimų dažnis yra valandinis. Dėl didelio duomenų kiekio ir aiškesnio duomenų atvaizdavimo buvo apskaičiuotas 72 val. vidurkis, kuris pažymėtas raudona spalva. Saulės radiacija yra pavaizduota 17 paveiksle ir kaip matoma iš duomenų, radiacija yra intensyviausia vasaros laikotarpyje (6000-8000 val.) o silpniausia – žiemos ir rudens (1800-3200 val.). Iš šių pirminių pastebėjimų galima sukurti hipotezę, kad hibridinės sistemos saulės elektrinės generuojama galia bus nepastovi ir sezoniška.



17 pav. Saulės radiacijos meteorologiniai duomenys

Tolimesniems skaičiavimams buvo svarbu įsivertinti vėjo greitį, kadangi hibridinėje sistemoje naudojama vėjo elektrinė. Kaip pavaizduota 18 paveiksle, vėjo greitis yra daug pastovesnis ir nėra sezoniškumo. Taip pat grafike buvo apskaičiuotas 72 val. elektros generacijos vidurkis,

pažymėtas raudonai. Remiantis šia kreive, galima daryti prielaidą, kad vėjo elektrinė užtikrins pastovesnę ir patikimesnę elektros energiją lyginant su saulės elektrine.



18 pav. Vėjo greičio meteorologiniai duomenys

Taip pat modeliuojamoje sistemoje buvo nustatytos gyvenamo namo valandinės apkrovos reikšmės, kurios pateiktos 19 paveiksle. Raudona spalva yra pažymėtas elektros apkrovų 24 val. vidurkio grafikas. Kaip matome iš grafiko, gyvenamojo namo elektros poreikiai išlieka labai panašūs per visus metus, galima pastebėti, kad šiltuoju metų laiku namo elektros poreikiai yra nežymiai mažesni už žiemos elektros poreikius. Modeliuojant sistemą su tikslu visiškai aprūpinti gyvenamo namo elektros poreikius yra svarbu atkreipti dėmesį į apkrovų grafiko piko reikšmes, kurias hibridinei sistemai gali būti sudėtinga padengti. Remiantis Lietuvos Respublikos asmens duomenų teisinės apsaugos įstatymo Nr. I-1374 gyvenamo namo asmeninė informacija nebus atskleidžiama, o apkrovų grafikas naudojamas tik moksliniais tikslais.



19 pav. Gyvenamo namo metinės apkrovos grafikas

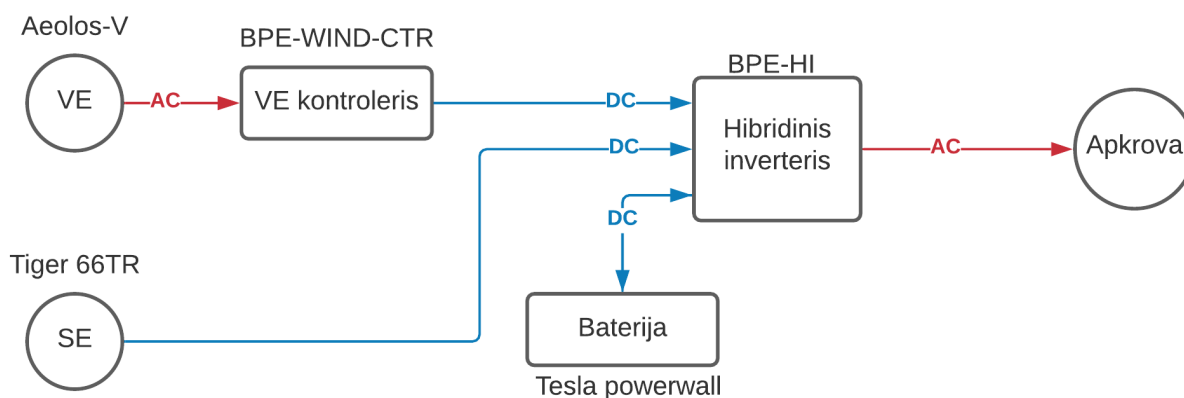
2 lentelė. Gyvenamo namo elektros suvartojimas mėnesiais

Rugsėjis, kWh	Spalis, kWh	Lapkritis, kWh
278,436	304,648	270,300
Gruodis, kWh	Sausis, kWh	Vasaris, kWh
370,270	314,355	291,949
Kovas, kWh	Balandis, kWh	Gegužė, kWh
280,0617	291,360	272,646
Birželis, kWh	Liepa, kWh	Rugpjūtis, kWh
242,239	265,044	242,043

Remiantis 2 lentelės duomenimis, yra pateikti gyvenamo namo kiekvieno mėnesio elektros poreikiai. Visų metų gyvenamo namo poreikiai yra 3423,352 kWh. Lyginant mažiausiai ir labiausiai elektros energijos reiklius mėnesius – gruodį ir rugpjūtį – nustatytas 53 % mėnesinių elektros poreikių skirtumas.

2.2 Hibridinės sistemos konfigūracija

Modeliuojamoje hibridinėje energijos sistemoje yra naudojami du pagrindiniai elektros energijos generavimo būdai. Pirmasis yra vėjo elektrinė, šiame darbe yra modeliuojamos Aeolos-V vertikalaus tipo vėjo elektrinės ir skaičiavimai bus atliekami su 1 kW, 2 kW, 3 kW ir 5 kW vėjo elektrinėmis. Šiose elektrinėse yra naudojamas trijų fazių nuolatinio magneto generatorius ir generuojama kintamoji srovė (toliau AC). Dėl šios priežasties yra naudojamas vėjo elektrinės 5 kW kontroleris BPE-WIND-CTR, kurio paskirtis pakeisti elektrinės kintamą srovę į nuolatinę srovę (toliau DC). Be to, esant situacijai, kuomet namo apkrova yra pilnai aprūpinama, o baterijos pilnai įsikrovusius, kontroleryje yra integruota papildoma apkrova, kuri sunaudoja perteklinę vėjo energiją.



20 pav. Hibridinės energijos sistemos struktūrinė schema

Antrasis energijos generavimo būdas integruotas hibridinėje sistemoje – saulės elektrinė. Šiame darbe yra naudojami Tiger N-type TR66 400 W galingumo saulės moduliai. Šių modulių yra sujungiami tiek, kad būtų gaunamos 2 kW (5 moduliai), 4 kW (10 modulių), 6 kW (15 modulių) ir 10 kW (25 moduliai) saulės elektrinės. Taip pat, kad būtų galima užtikrinti generuojamos elektros patikimumą ir neišvaistyti perteklinės elektros energijos yra naudojama Tesla powerwall baterija. Šiame modelyje bus atliekami skaičiavimai su 2 talpų baterijomis – 13,5 kWh ir 27 kWh. Su tikslu supaprastinti hibridinę energijos sistemą visi generacijos šaltiniai – vėjo elektrinė, saulės elektrinė ir baterija yra prijungiamos prie BPE-HI hibridinio inverterio, kurio funkcijos yra kelios.

Pirmoji – užtikrinti efektyvų baterijos išsikrovimo ir įsikrovimo ciklus, taip užtikrinant baterijos ilgaamžiškumą, t.y. hibridinis inverteris atlieka saulės modulio valdiklio funkciją.

Antroji – inverterio funkcija, konvertuoti generuojamą nuolatinės srovės galią į kintamos srovės galią ir ją patiekti į gyvenamą namą.

Visos hibridinės energijos sistemos struktūrinė schema pavaizduota 20 paveiksle. Šiame darbe atliekami skaičiavimai su 32 skirtingomis hibridinės energijos konfigūracijomis susidedančios iš 4 galingumo vėjo ir saulės elektrinėmis ir su 2 talpų baterijomis. Šios konfigūracijos pavaizduotos 3 ir 4 lentelėje.

3 lentelė. Hibridinės energijos sistemos konfigūracija su 13,5 kWh baterija

	2kW Saulės elektrinė (SE)	4kW Saulės elektrinė (SE)	6kW Saulės elektrinė (SE)	10kW Saulės elektrinė (SE)
1kW vėjo elektrinė (VE)	1kW VE + 2kW SE + 13,5 kWh baterija	1kW VE + 4kW SE + 13,5 kWh baterija	1kW VE + 6kW SE + 13,5 kWh baterija	1kW VE + 10kW SE + 13,5 kWh baterija
2kW vėjo elektrinė (VE)	2kW VE + 2kW SE + 13,5 kWh baterija	2kW VE + 4kW SE + 13,5 kWh baterija	2kW VE + 6kW SE + 13,5 kWh baterija	2kW VE + 10kW SE + 13,5 kWh baterija
3kW vėjo elektrinė (VE)	3kW VE + 2kW SE + 13,5 kWh baterija	3kW VE + 4kW SE + 13,5 kWh baterija	3kW VE + 6kW SE + 13,5 kWh baterija	3kW VE + 10kW SE + 13,5 kWh baterija
5kW vėjo elektrinė (VE)	5kW VE + 2kW SE + 13,5 kWh baterija	5kW VE + 4kW SE + 13,5 kWh baterija	5kW VE + 6kW SE + 13,5 kWh baterija	5kW VE + 10kW SE + 13,5 kWh baterija

4 lentelė. Hibridinės energijos sistemos konfigūracija su 27 kWh baterija

	2kW Saulės elektrinė (SE)	4kW Saulės elektrinė (SE)	6kW Saulės elektrinė (SE)	10kW Saulės elektrinė (SE)
1kW vėjo elektrinė (VE)	1kW VE + 2kW SE + 27 kWh baterija	1kW VE + 4kW SE + 27 kWh baterija	1kW VE + 6kW SE + 27 kWh baterija	1kW VE + 10kW SE + 27 kWh baterija
2kW vėjo elektrinė (VE)	2kW VE + 2kW SE + 27 kWh baterija	2kW VE + 4kW SE + 27 kWh baterija	2kW VE + 6kW SE + 27 kWh baterija	2kW VE + 10kW SE + 27 kWh baterija
3kW vėjo elektrinė (VE)	3kW VE + 2kW SE + 27 kWh baterija	3kW VE + 4kW SE + 27 kWh baterija	3kW VE + 6kW SE + 27 kWh baterija	3kW VE + 10kW SE + 27 kWh baterija
5kW vėjo elektrinė (VE)	5kW VE + 2kW SE + 27 kWh baterija	5kW VE + 4kW SE + 27 kWh baterija	5kW VE + 6kW SE + 27 kWh baterija	5kW VE + 10kW SE + 27 kWh baterija

2.2 Vėjo elektrinės modeliavimas

Modeliuojamoje sistemoje yra pasirinkta naudoti horizontalios ašies vėjo elektrinę dėl nepastovios vėjo krypties modeliuojamoje geografinėje lokacijoje. Modelyje bus atliekami skaičiavimai su Aeolos-V 1 kW, 2 kW, 3 kW ir 5 kW vėjo elektrinėmis. Vėjo elektrinės momentinė generuojama galia yra modeliuojama MATLAB terpėje pagal 1 formulį sistemą remiantis [26]

šaltiniu. Iš [26] šaltinio formulių sistema šiame darbe yra pakoreguojama įvertinant hibridinės energijos sistemos nuostolius.

$$P_w(t) = \begin{cases} 0, & v_w(t) < v_{ci} \\ f_w \cdot P_{RW} \cdot \left(\frac{v_w(t) - v_{ci}}{v_r - v_{ci}} \right) \cdot N_w, & v_{ci} \leq v_w(t) < v_r \\ f_w \cdot P_{RW} \cdot N_w, & v_r \leq v_w(t) < v_{co} \\ 0, & v_w(t) \geq v_{co} \end{cases} \quad (1)$$

- Čia P_{RW} - nominali vėjo elektrinės galia, kW;
 $v_w(t)$ - vėjo greitis laiku momentu t , $\frac{m}{s}$;
 v_{ci} - vėjo greitis prie kurio įsijungia vėjo elektrinė, $\left(\frac{m}{s}\right)$;
 v_r - vėjo elektrinės nominalus vėjo greitis, $\frac{m}{s}$;
 v_{co} - vėjo greitis prie kurio vėjo elektrinė išsijungia, $\frac{m}{s}$;
 N_w - vėjo elektrinių skaičius;
 f_w - vėjo elektrinės efektyvumas įvertinus sistemos nuostolius, %.

```

66      % 5 kW VE
67      a=8760;
68      Pw5=zeros(size(a));
69      for index=1:a
70          if Vejas(index)<2.5
71              Pw5(index)=0;
72          elseif (2.5<=Vejas(index)) && (Vejas(index)<15)
73              Pw5(index)=0.869*5*((Vejas(index)-2.5)/(10-2));
74          elseif (14.5<=Vejas(index))
75              Pw5(index)=6.4*0.869;
76          elseif Vejas(index)>=55
77              Pw5(index)=0;
78          end
79      end
80      figure(4)
81      plot(Laikas,Pw5)
82      xlabel('val')
83      ylabel('kW')
84      title('5 kW VE')
85      grid

```

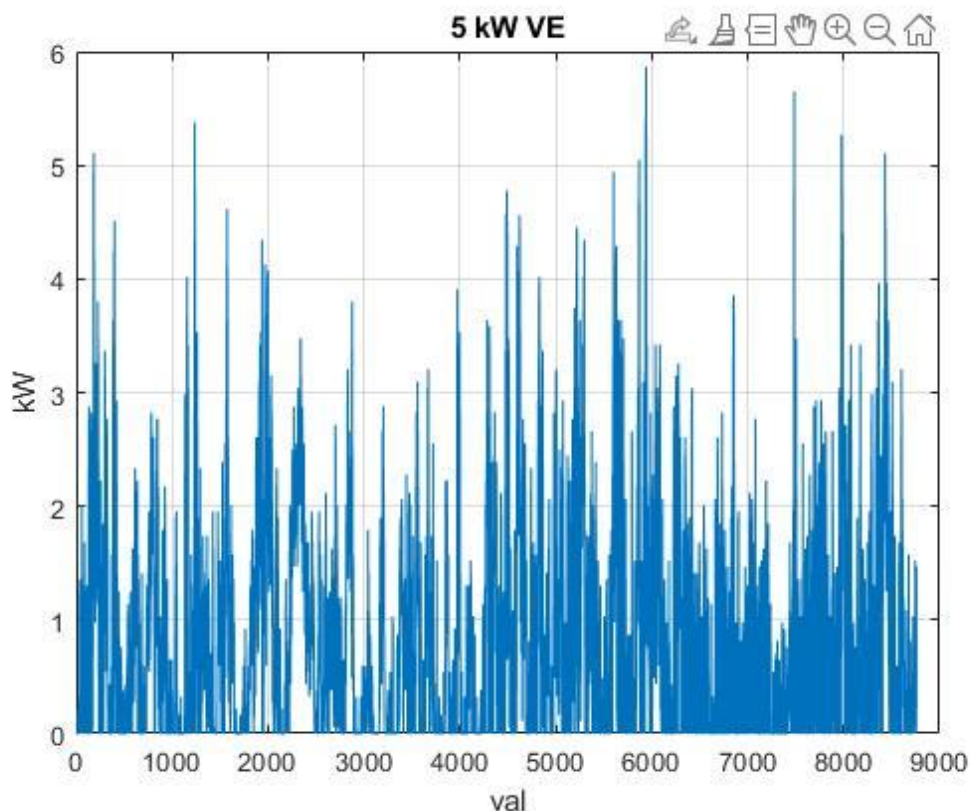
21 pav. MATLAB 5kW vėjo elektrinės modelis momentiniai galiai skaičiuoti

Pagal pateiktą formulių sistemą MATLAB terpėje buvo sukurtas matematinis modelis, kuris atlieka reikalingus veiksmus apskaičiuoti momentinę vėjo elektrinės generuojamą galią. Kodas, kaip

skaičiuojama 5 kW vėjo elektrinės galia pateiktas 21 paveiksle. 1 kW, 2 kW ir 3 kW vėjo elektrinių galia apskaičiuojama pagal analogišką kodą, tačiau reikia įvertinti skirtingus vėjo greičius, kuriems esant įsijungia vėjo elektrinės, kadangi mažesnio galingumo elektrinės įsijungia esant mažesniai vėjo greičiui. Be to, modeliuojant hibridinės energijos sistemą, kuri kuo labiau atitiktų realias sąlygas buvo įsivertinti sistemos nuostoliai, kurie apskaičiuojami pagal 2 formulę. Sistemos nuostoliai susidaro iš generatoriaus efektyvumo (96%), nuolatinės srovės ir kintamos srovės laidų (97%), vėjo elektrinės kontrolerio (97,2%) ir sistemos hibridinio inverterio (96%).

$$f_w = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,972 \cdot 0,96 = 0,869 \quad (2)$$

Modeliuojamos 5 kW vėjo elektrinės modelio momentinė elektros generacija pateikta 22 pav.



22 pav. 5kW vėjo elektrinės momentinė valandinė galia

2.3 Saulės elektrinės modeliavimas

Šiame darbe buvo pasirinkta naudoti Tiger N-Type 66TR 400W saulės modulių. Buvo pasirinkta modeliuoti skirtingos galios saulės elektrines – 2 kW, 4 kW, 6 kW ir 10 kW. Žemiau yra pateikta 3 formulė, pagal kurią yra modeliuojama momentinė saulės elektrinės galia.

$$P_{pv} = n \cdot f_{pv} \cdot \eta_{MPPT} \cdot [V_{oc(STC)} + K_V \cdot (T - T_{STC})] \cdot [I_{sc(STC)} + K_i \cdot (T - T_{STC})] \cdot \frac{G}{G_{STC}} \quad (3)$$

Čia n – saulės modulių skaičius;

$V_{oc(STC)}$ - tuščios veikos įtampa esant standartinėms testavimo sąlygoms (STC), V;

$I_{sc(STC)}$ - grandinės trumpojo jungimo srovė esant STC, A;

K_V - saulės modulio įtampos temperatūros koeficientas, $\frac{V}{^\circ C}$;

K_i - saulės modulio srovės temperatūros koeficientas, $\frac{A}{^\circ C}$;

η_{MPPT} - saulės modulių valdiklio efektyvumas, %;

f_{pv} - saulės elektrinės sistemos efektyvumas, %;

G_{STC} - saulės radiacijos dydis standartinėmis testavimo sąlygomis, $1000 \frac{W}{m^2}$;

T_{STC} - saulės modulio temperatūra esant TSC, 25 °C;

G - saulės radiacija, $\frac{W}{m^2}$;

T - saulės modulio temperatūra, °C.

Pagal pateiktą 3 formulę buvo sukurtas saulės elektrinės matematinis modelis MATLAB terpėje. 23 paveikslas atvaizduoja 10 kW, 25 saulės modulių matematinį modelį, kuris skaičiuoja saulės elektrinės momentinę generuojamą galią. 2 kW, 4 kW ir 6 kW saulės elektrinės apskaičiuojamos pagal analogišką kodą, pakoreguojant tik saulės modulių skaičių. Taip pat šiame modelyje yra atsižvelgiama į realius sistemos nuostolius, kaip šešėlių įtaka elektros generacijai (90%), nuolatinės srovės laidų (97%) ir nešvarios saulės modulio dangos (95%) nuostoliai. Šie nuostoliai apskaičiuojami pagal 4 formulę.

$$f_{pv} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,95 = 0,829 \quad (4)$$

```

43 % 10 kW saulės elektrinė
44 - Epv10=(0.829*0.96*25.*(45.25+(-0.0028.*(Tc-25))).*(11.73+(0.00048.*(Tc-25))).*(Radiacija/1000))/1000.
45 - figure(4)
46 - plot(Laikas,Epv10)
47 - xlabel('val')
48 - ylabel('kW')
49 - title('10 kW SE')
50 - grid

```

23 pav. 10 kW saulės elektrinė momentinės generuojamos galios modelis

Su tikslu sumodeliuoti saulės elektrinę, kuo realistiškesnėmis sąlygomis šiame darbe yra pasirinkta papildomai modeliuoti saulės modulio temperatūrą. Taigi prieš apskaičiuojant saulės elektrinės generaciją pirmiausia reikia įvertinti saulės modulio temperatūrą. Pagal gamintojo duomenis saulės modulių temperatūrai kiekvieną kartą pakilus 1 °C virš 25 °C visos sistemos efektyvumas sumažėja 0,34 %, o kiekvienam laipsniui nukritus žemiau 25 °C sistemos efektyvumas padidėja 0,34 %. Dėl šios priežasties yra naudingiausia, kad saulės modulio temperatūra būtų kuo mažesnė. Modulių temperatūros matematinis modelis apskaičiuojamas remiantis [27] šaltiniu pagal 5 formulę.

$$T_c = \frac{T_a + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \cdot \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\eta_{mp,STC} \cdot (1 - \alpha_P \cdot T_{c,STC})}{\tau \cdot \alpha}\right)}{1 + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \cdot \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}}\right) \cdot \left(\frac{\eta_{mp,STC} \cdot \alpha_P}{\tau \cdot \alpha}\right)} \quad (5)$$

Čia T_c - saulės modulio temperatūra, °C;

T_a - lauko temperatūra, °C;

$T_{c,NOCT}$ - nominali saulės modulio veikimo temperatūra, 45 °C;

$T_{a,NOCT}$ - lauko temperatūra prie kurios nustatoma nominali saulės modulio veikimo temperatūra, 20 °C;

G_T - momentinė saulės radiacija, $\frac{W}{m^2}$;

$G_{T,NOCT}$ - saulės radiacija prie kurios nustatoma nominali saulės modulio veikimo temperatūra, $800 \frac{W}{m^2}$;

$\eta_{mp,STC}$ - maksimalios galios efektyvumas esant STC, %;

α_P - galios temperatūros koeficientas, $\frac{\%}{^\circ C}$;

τ - uždangalo saulės pralaidumas, 90 %;

α - saulės absorbcija, 90 %.

Pagal pateiktą 5 formulę yra sukurtas MATLAB matematinis modelis apskaičiuoti saulės modulio temperatūrai visų metų laikotarpiu. Šis modelis pavaizduotas 24 paveiksle.

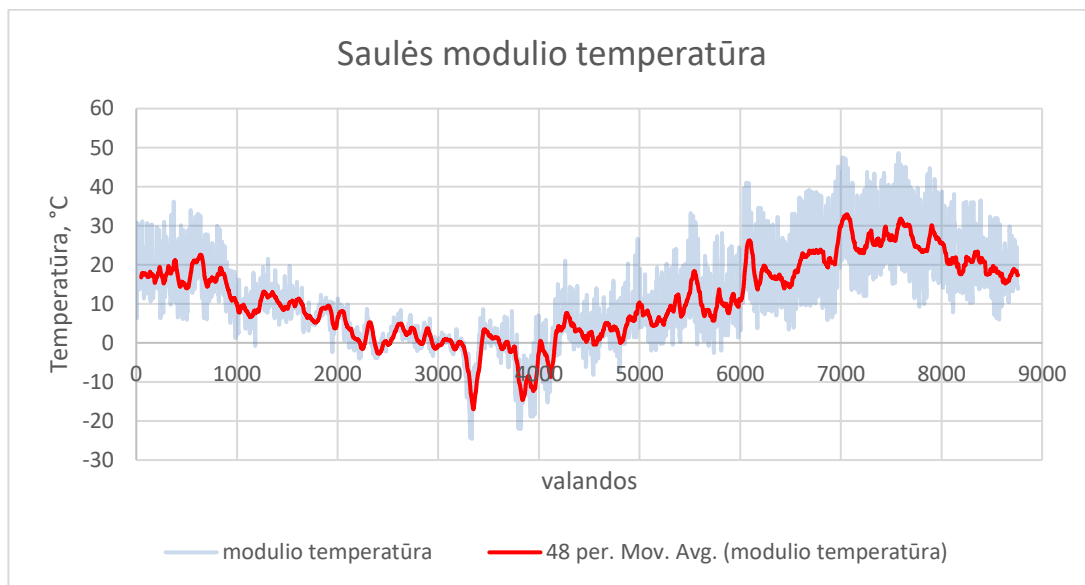
```

38     % Modulio temperatūra
39     syms Tcv Tcs Tc;
40     Tcs=Temp+(45-20)*(Radiacija/1000)*(1-(0.2096*(1-(-0.0034*45)))/0.81);
41     Tcv=1+(45-20)*(Radiacija/1000)*(-0.0034*0.2096/0.81);
42     Tc=Tcs./Tcv;

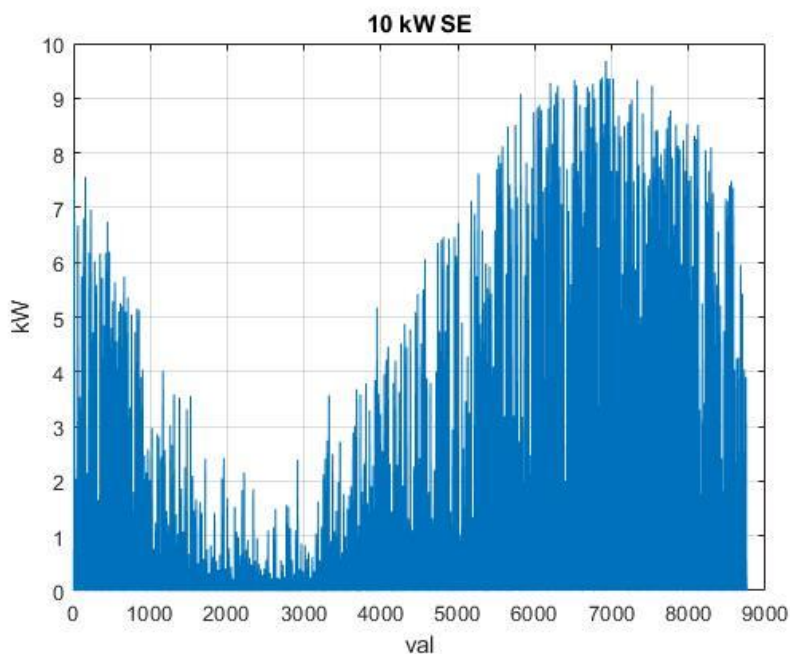
```

24 pav. MATLAB saulės modulio temperatūros modelis

Gauti matematinio modelio rezultatai pateikti 25 paveiksle. Iš rezultatų matoma, kad vasaros ir pavasario laikotarpiais saulės modulio temperatūra pakyla virš 25 °C, siekia netgi beveik 50 °C, o žiemos metu pasiekia -25 °C. Prie žemiausios modulio temperatūros elektrinė dirba efektyviau, tačiau tokiu metų laikotarpiu saulės radiacija mažiausia. Grafike buvo išvestas 24 valandų temperatūros vidurkis pažymėtas raudonai.



25 pav. Saulės modulio temperatūra



26 pav. 10 kW saulės elektrinės momentinė valandinė galia

Sumodeliavus saulės modulio temperatūra pagal 5 formulę buvo atlikti saulės elektrinės skaičiavimai pagal 3 formulę ir gautas 10 kW saulės elektrinės generacijos grafikas pavaizduotas

26 paveiksle. Kaip matome iš grafiko saulės elektrinės generacija yra sezoniška – vasarą generacija yra didžiausia, tam tikrais momentais netgi siekia maksimalią elektrinės galią, o žiemą – mažiausia.

2.4 Kaupimo baterijos modeliavimas

Šiame modelyje yra pasirinkta naudoti 13,5 kWh ir 27 kWh Tesla powerwall baterijas. 27 kWh baterija gaunama sujungus dvi 13,5 kWh Tesla powerwall baterijas. Šios baterijos įsikrovimo ir išsikrovimo modelis pateiktas 6 formulėje.

$$SOC(t) = SOC(t - 1) \cdot (P_w(t) + P_{pv}(t) - P_L(t)) \cdot \eta_{RTE} \quad (6)$$

Čia $SOC(t)$ yra baterijos įkrovimo lygis, kWh;

$P_w(t)$ yra momentinė vėjo elektrinės generuojama galia, kW;

$P_{pv}(t)$ yra saulės elektrinės momentinė generuojama galia, kW;

$P_L(t)$ yra momentinė gyvenamo namo elektros apkrova, kW;

η_{RTE} yra baterijos efektyvumas, %.

```

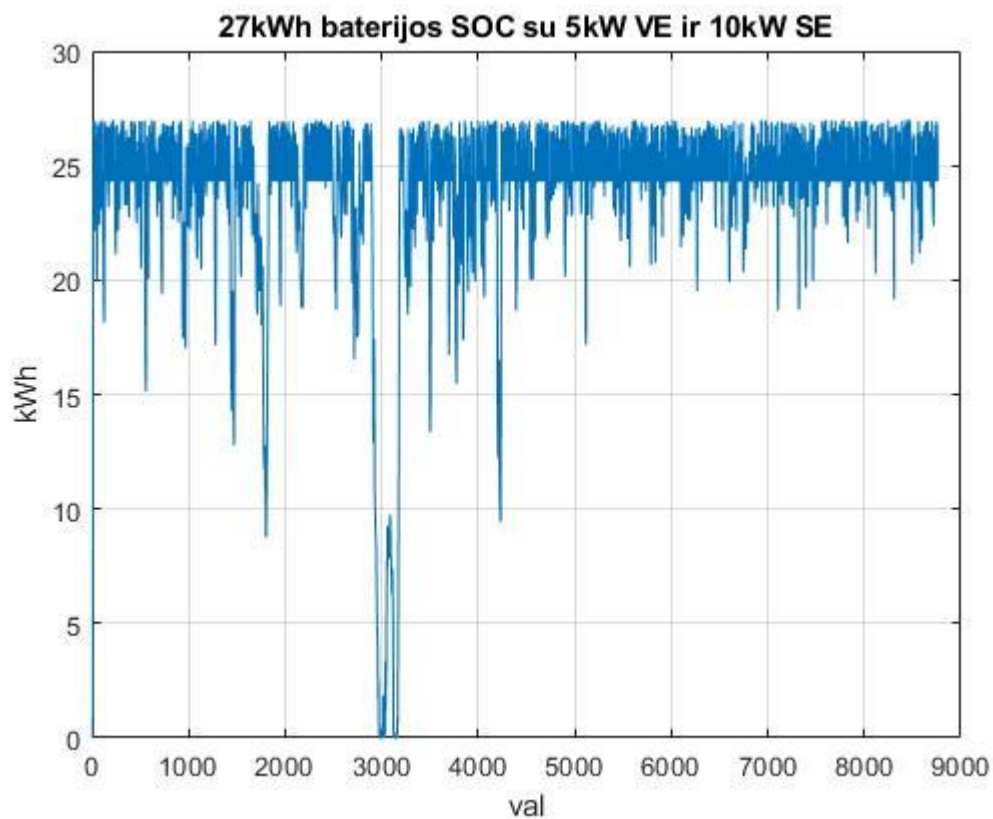
248 % 10kW SE + 5kW VE 27kWh baterijos SOC
249 - for index=2:a
250 -     SOC510(1)=0;
251 -     SOC510(index)=B510(index)*0.9;
252 -     SOC510(index)=SOC510(index)+SOC510(index-1);
253 -     if SOC510(index)>27
254 -         SOC510(index)=27*0.9;
255 -     end
256 -     if SOC510(index)<0
257 -         SOC510(index)=0;
258 -     end
259 - end
260 - figure(16)
261 - plot(Laikas,SOC510)
262 - xlabel('val')
263 - ylabel('kWh')
264 - title('27kWh baterijos SOC su 5kW VE ir 10kW SE')
265 - grid

```

27 Pav. MATLAB 27 kWh baterijos modelis naudojant 5kW VE ir 10kW SE

Pagal 6 formulę buvo sukurtas MATLAB matematinis modelis su 32 skirtingomis hibridinės energijos sistemos konfigūracijomis. Pagal gamintojo duomenis baterijos efektyvumas yra 90 % ir baterija gali išsikrauti 100% be jokių baterijos pažeidimų. Vadinasi baterija gali pilnai išnaudoti visą

savo talpą. 27 kWh baterijos su 5 kW vėjo elektrine ir 10 kW saulės elektrinė modelis yra pavaizduotas 27 paveiksle. Kitų konfigūracijų skaičiavimo rezultatai pateikti 1 priede.



28 Pav. 27 kWh baterijos su 2 kW VE ir 10 kW SE išsikrovimo ir įsikrovimo grafikas

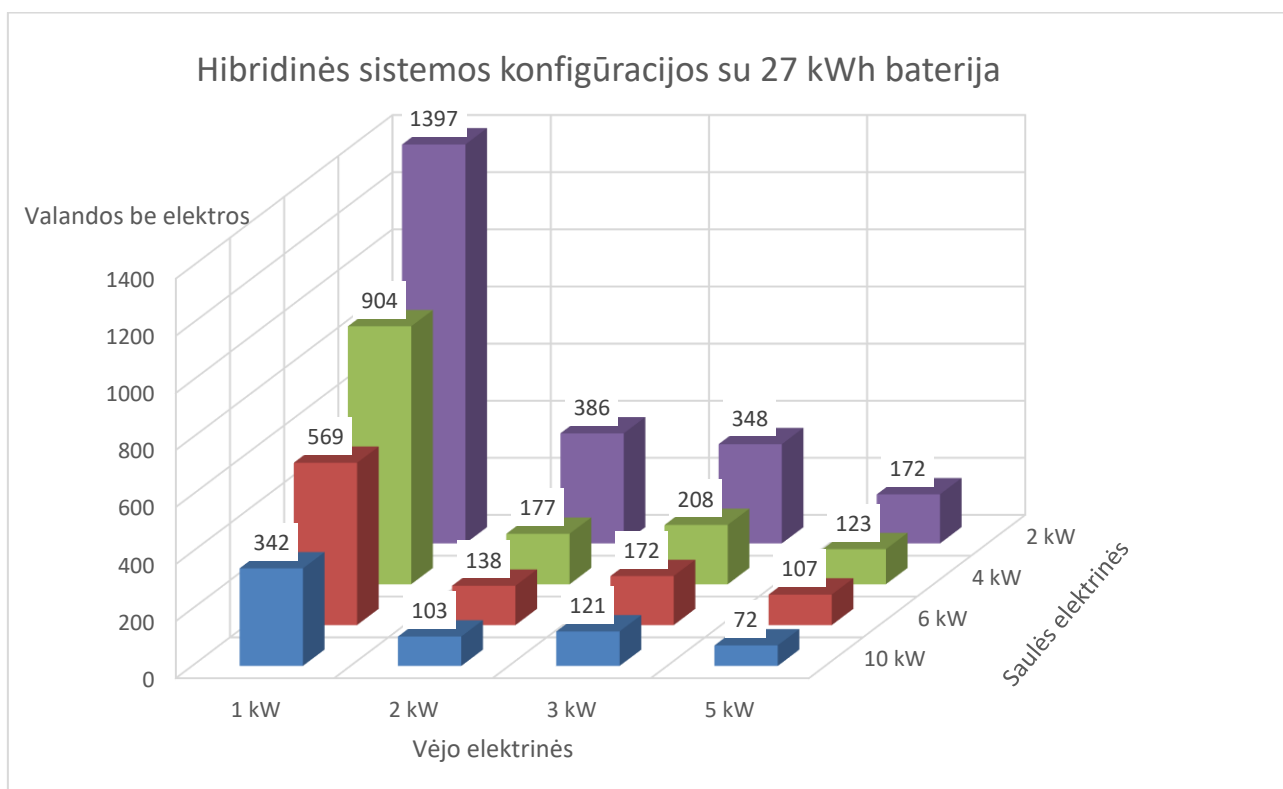
Saulės elektrinės momentinė elektros generacija yra pateikta 28 paveiksle. Iš grafiko yra matoma, kad apie 3000 val. t.y. sausio mėn. baterija pilnai išsikrauna, dėl šios priežasties gyvenamo namo elektros poreikiai nėra užtikrinami ir namas lieka be elektros.

3. REZULTATŲ ANALIZĖ

Hibridinės energijos sistema buvo modeliuojama 32 kartus. Sistemoje buvo naudojama dviejų skirtingų dydžių baterijos – 13,5 kWh ir 27 kWh. Vėjo elektrinių galios buvo pasirinktos 1 kW, 2 kW, 3 kW ir 5 kW, o saulės elektrinės galios – 2 kW, 4 kW, 6 kW ir 10 kW. Buvo apskaičiuojama kiekviena galima hibridinės sistemos konfigūracija, šie rezultatai pateikti 1 priede. Remiantis baterijos išsikrovimo ir įsikrovimo skaičiavimais su paprastu MATLAB kodu pateiktu 29 paveiksle buvo nustatytas valandų kiekis, kada trūko elektros energijos iš hibridinės sistemos.

```
1 - for i=1:8760
2 -     if SOC510(i)==0
3 -         V(i)=i;
4 -     end
5 - end
```

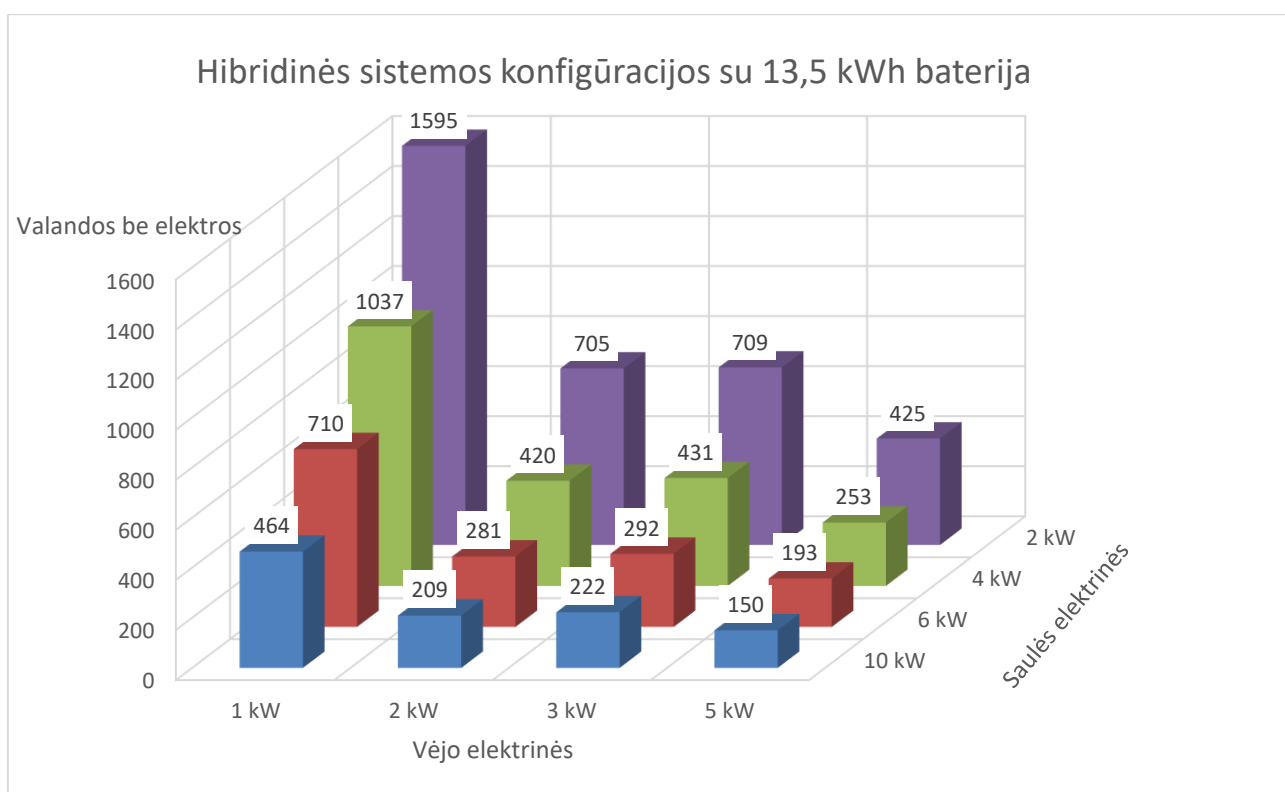
29 pav. Valandų be elektros nustatymas



30 pav. Hibridinės sistemos konfigūracijos su 27 kWh baterija

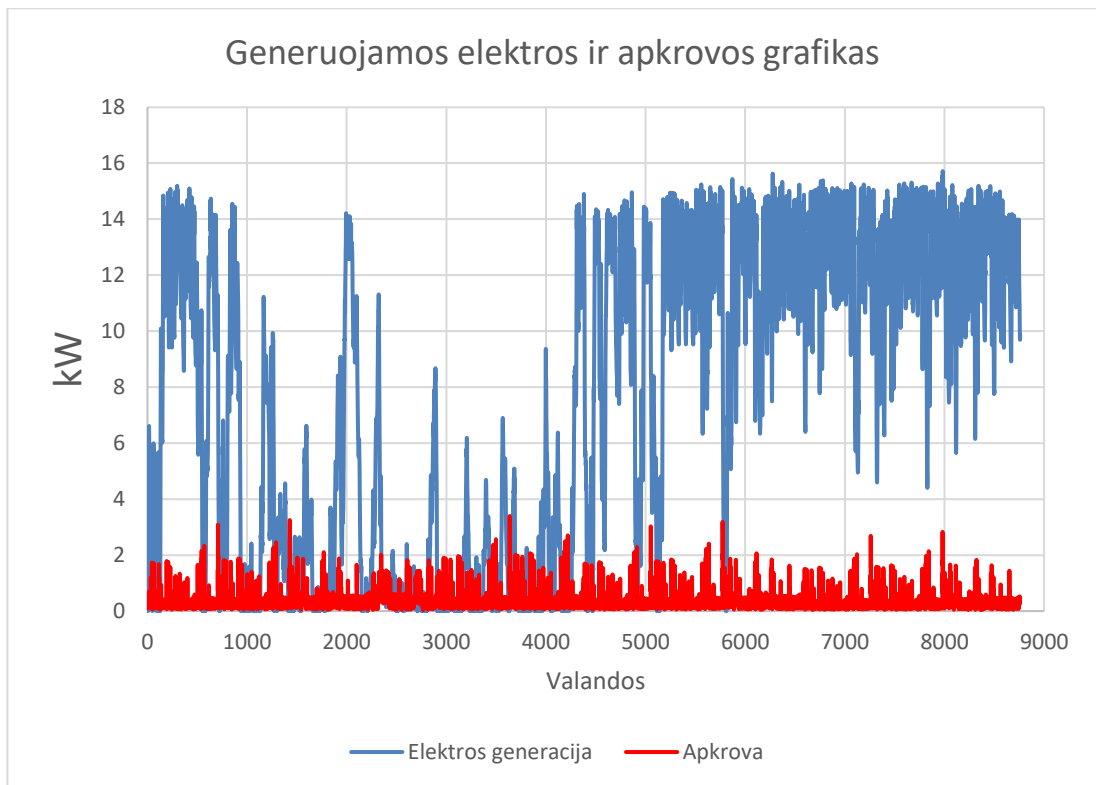
Hibridinės sistemos su 27 kWh baterija konfigūracijos pateiktos 30 paveiksle, o su 13,5 kWh - 31 paveiksle. Pagal gautus rezultatus galima nustatyti optimaliausią hibridinės energijos sistemos modelį pagal mažiausiai valandų be elektros skaičių, t.y. modelis naudojantis 27 kWh baterija su

5 kW vėjo elektrinė ir 10 kW saulės elektrinė. Verta paminėti, kad konfigūracijos su 13,5 kWh ar 27 kWh baterija su 2 kW vėjo elektrine ir 10 kW saulės elektrine užtikrina pastovesnę elektros generaciją nei analogiškos konfigūracijos tik su didesne 3 kW vėjo elektrine. Toks rezultatas gaunamas, kadangi mažesnė 2 kW vėjo elektrinė pradeda dirbti prie mažesnių vėjo greičių nei 3 kW vėjo elektrinė, tad tarp vėjo greičių nuo 2 m/s iki 2,5 m/s mažesnė vėjo elektrinė jau generuoja reikiamą elektros kiekį, kol didesnė elektrinė dar nėra įsijungusi. Pati prasčiausia hibridinės sistemos konfigūracija yra naudojant 13,5 kWh talpos bateriją su 1 kW vėjo ir 2 kW saulės elektrine, kadangi gyvenamas namas 1595 valandas (arba daugiau nei 2 mėnesius) lieka be elektros.

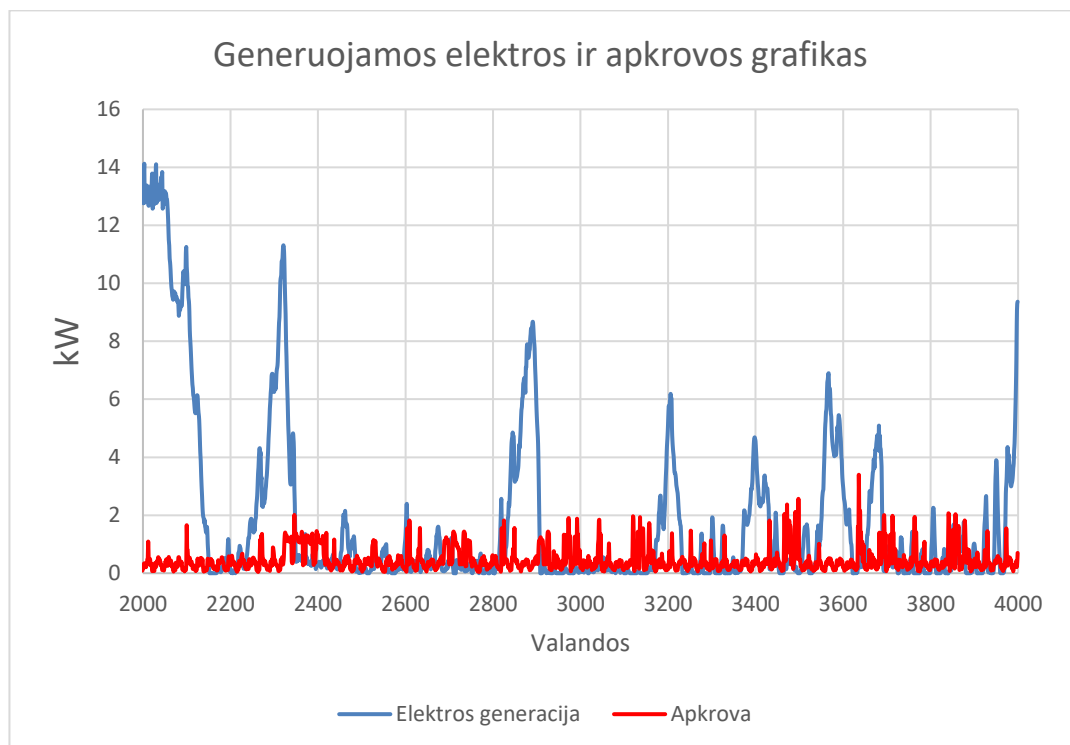


31 pav. Hibridinės sistemos konfigūracijos su 13,5 kWh baterija

Šios konfigūracijos – 13,5 kWh baterijos su 1 kW vėjo elektrine ir 2 kW saulės elektrine generacijos ir gyvenamo namo apkrovų grafikas pavaizduotas 32 paveiksle. Kaip matome iš grafiko vasaros laikotarpiu netgi mažiausio galingumo hibridinės energijos sistemos konfigūracija pilnai aprūpina gyvenama namą elektra, tačiau elektros trūkumai atsiranda kitais 3 sezonais – pavasarį, rudenį ir žiemą. 33 paveiksle yra pavaizduota ta pati hibridinės sistemos konfigūracija, tik atvaizduojamas laikas, kuomet daugiausia trūksta elektros energijos gyvenamajam namui.



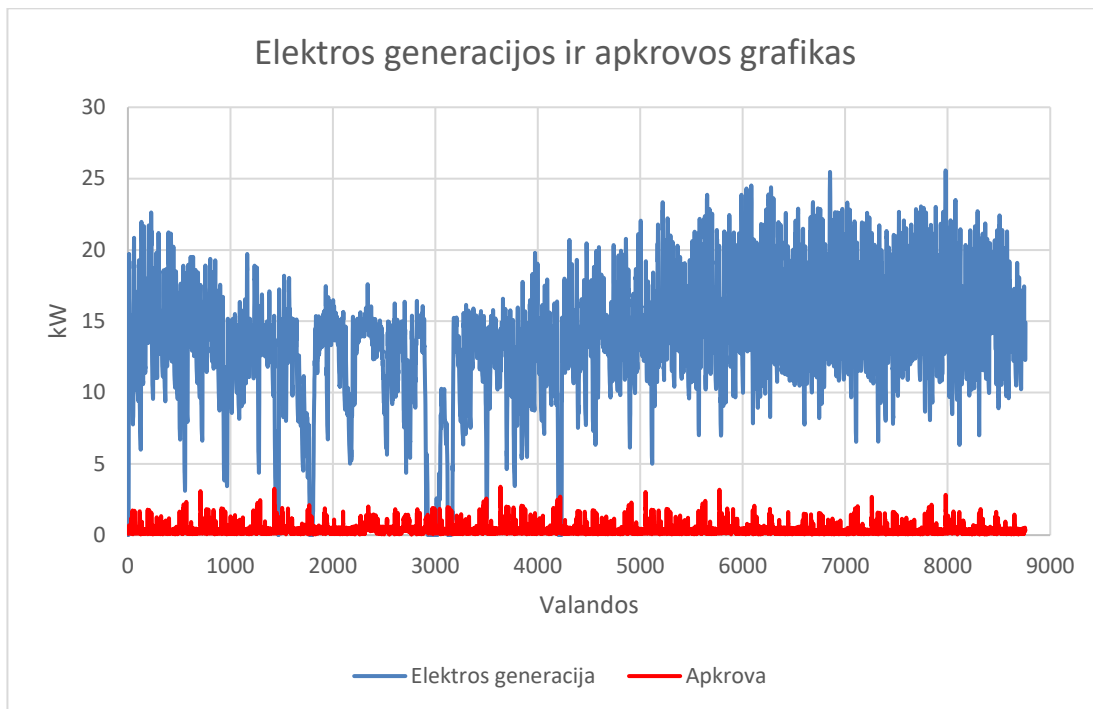
32 pav. 13,5 kWh baterijos su 1 kW VE ir 2 kW SE generacijos ir apkrovų grafikas



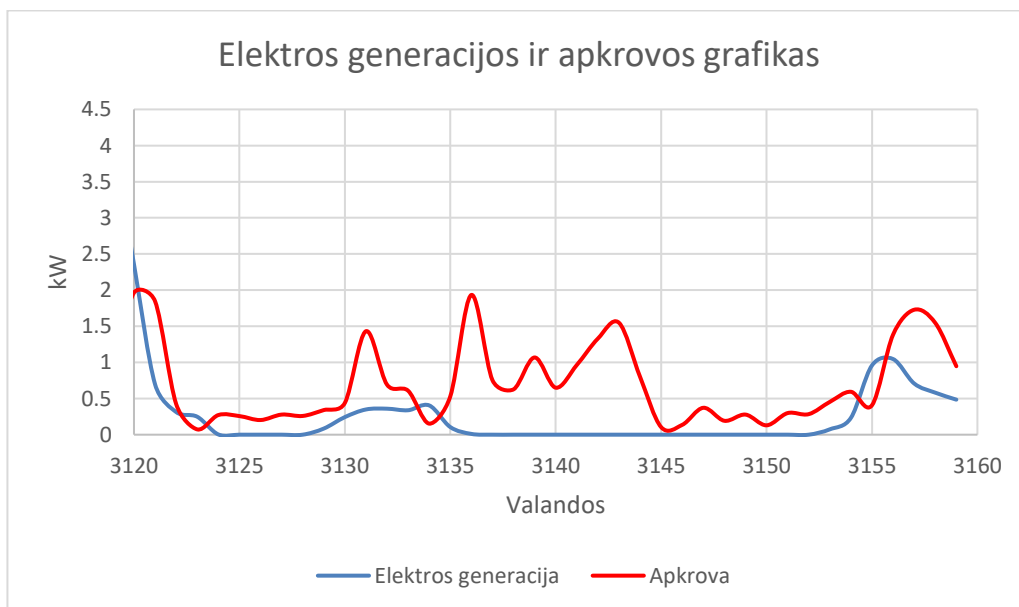
33 pav. 13,5 kWh baterijos su 1 kW VE ir 2 kW SE generacijos ir apkrovų grafikas

Pagal 30 paveikslo gautus rezultatus ir neatsižvelgiant į ekonominius rodiklius yra tikslingiausia naudoti 27 kWh bateriją su 5 kW vėjo elektrine ir 10 kW saulės elektrine, kadangi ši konfigūracija užtikrina pastoviausią elektros energiją iš visų konfigūracijų. Šios hibridinės energijos

sistemos generacijos grafikas lyginant su gyvenamo namo apkrova pateiktas 34 paveiksle. Kaip matoma iš grafiko, sistemoje yra pakankamai perteklinės elektros energijos aprūpinti gyvenamo namo elektros poreikius. 35 paveiksle yra pavaizduotas tas pats grafikas su mažesniu laiko intervalu nuo 3120 iki 3160 valandos.



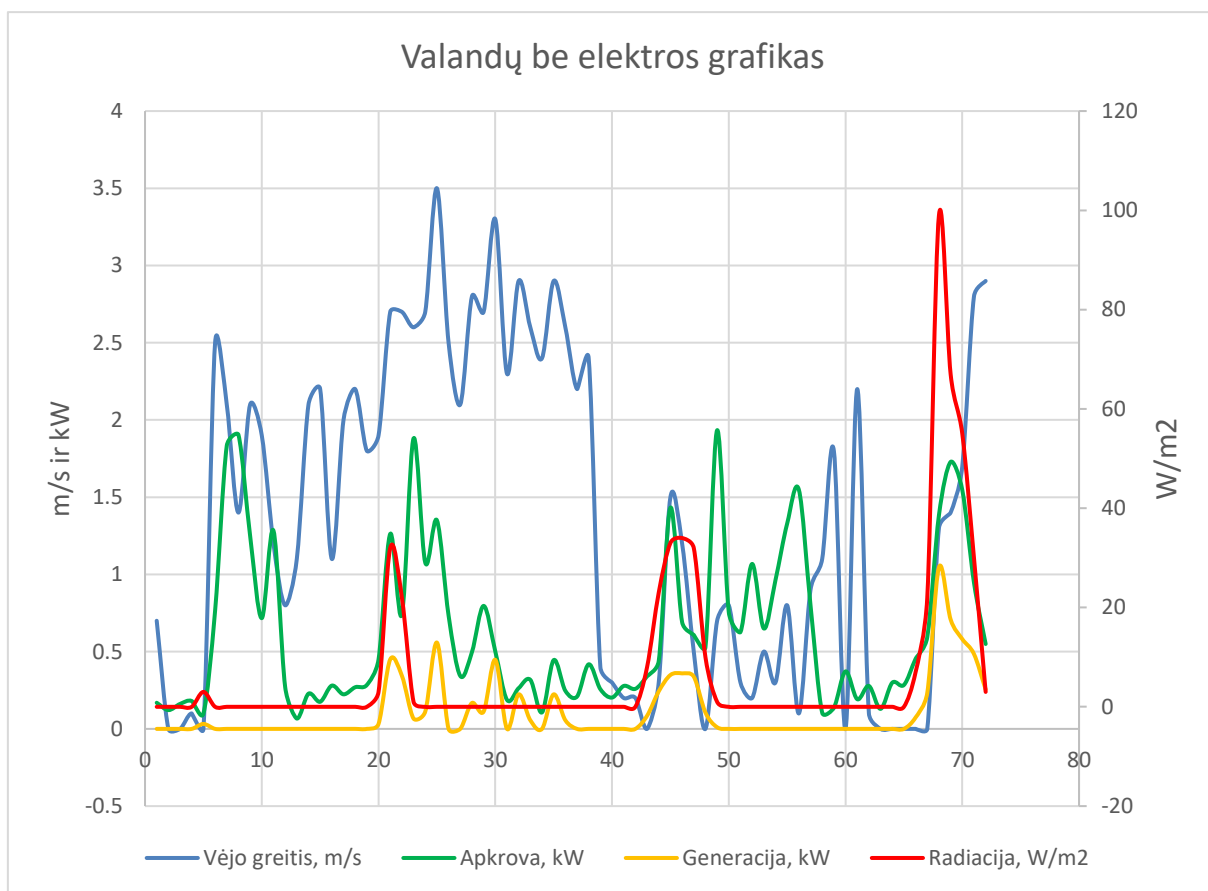
34 pav. 27 kWh baterijos su 5 kW VE ir 10 kW SE generacijos ir apkrovos grafikas



35 pav. 27 kWh baterijos su 5 kW VE ir 10 kW SE generacijos ir apkrovos grafikas

Tačiau per visus metus šios konfigūracijos hibridinė sistema 72 valandas neaprūpina gyvenamo namo elektros poreikių. Pagal suteiktus Šilutės r. meteorologinius duomenis buvo

nustatytos konkrečios datos, kada hibridinė sistema nepatiekė reikiamos elektros energijos. Iš gautų rezultatų, pateiktų 36 paveiksle, matome visas gyvenamojo namo valandų be elektros duomenis, kaip tą valandą vyraujantis vėjo greitis, saulės radiacija ir kokia tuo metu buvo sistemos generacija.



36 pav. Valandų be elektros duomenų grafikas

Iš rezultatų galima daryti išvadą, kad elektros generacija (pažymėta geltonai) yra nepakankama, t.y. gyvenamo namo apkrova (pažymėta žaliai) yra didesnė už generaciją dėl per mažo vėjo greičio (pažymėta mėlynai) ir per mažos saulės radiacijos (pažymėta raudonai). Esant tokiai situacijai, reikėtų nusimatyti naudoti trečią generacijos šaltinį, kaip dyzelinį generatorių, kuris sistemai padėtų pilnai užtikrinti gyvenamo namo elektros poreikius.

IŠVADOS

1. Atlikta 28 literatūros šaltinių analizė. Remiantis šaltiniais buvo išanalizuoti skirtingi elektros energetikos sistemos tipai ir jų režimai, dviejų tipų vertikalios ir horizontalios ašies vėjo elektrinės, buvo apžvelgtos 3 tipų saulės elektrinės ir aprašyti 4 elektros energijos kaupimo būdai.
2. Naudojantis Šilutės rajono meteorologinės stoties duomenimis buvo atlikta vėjo greičio ir saulės radiacijos analizė. Pastebėta, kad radiacija yra sezoniško pobūdžio, o vėjo greitis lieka pastovus. Taip pat buvo aprašytas gyvenamo namo apkrovos grafikas, kurio minimalios ir maksimalios mėnesinės apkrovos skiriasi 53 %.
3. Buvo suprojektuoti ir sumodeliuoti 32 konfigūracijų skirtingų galingumų hibridinių energijos sistemų modeliai, kuriuose naudojama elektros energijos kaupimui skirta baterija, o elektros generacijai – saulės ir vėjo elektrinės. Naudojantis meteorologiniais duomenimis buvo apskaičiuota kiekvienos konfigūracijos valandinė generuojama galia ir lyginama su gyvenamojo namo valandine elektros apkrova. Buvo nustatyta, kad visos konfigūracijos pilnai neužtikrino gyvenamo namo elektros poreikių. Mažiausiai optimali sistema – 13,5 kWh baterija su 1 kW vėjo ir 2 kW saulės elektrine neužtikrino 18,2 % visų namo elektros poreikių.
4. Buvo nustatyta optimali sistemos konfigūracija – 27 kWh baterija su 5 kW vėjo ir 10 kW saulės elektrinėmis, kuri užtikrina elektros energijos tiekimą individualiam namui. Atlikus rezultatų analizę buvo nustatyta, kad su optimalia sistemos konfigūracija per visus metus dėl nepalankių oro sąlygų 72 valandos yra neap rūpintos elektros energija, o tai yra 0,822 % nuo viso gyvenamo namo elektros poreikio. Dėl šios priežasties yra rekomenduojama naudoti papildomą generacijos šaltinį – generatorių.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. M. Liu, B. Shi, X. Lin, G. Yao and P. Han „Research on unintentional off grid characteristics of microgrid“. 2018 m. Prieiga per internetą:
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/8582560/authors#authors>>
 2. „Decentralized energy system“. [Žiūrėta 2022-01-03]. Prieiga per internetą:
<<https://www.unescap.org/sites/default/files/14.%20FS-Decentralized-energy-system.pdf>>
 3. Deepak P. K., P. Balachandra, N. H. Ravindranath „Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power—A review of literature“. 2009 m. Prieiga per internetą:
<<https://sci-hub.se/10.1016/j.rser.2009.02.002>>
 4. „How Do Wind Turbines Work?“ [Žiūrėta 2022-01-03]. Prieiga per internetą:
<<https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>>
 5. Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indraja, V., & Krishna, V. H. „A review on small scale wind turbines“. 2016 m. Prieiga per internetą:
< <https://sci-hub.ru/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115014100>>
 6. Albadi M. H. H. „On Techno-economic Evaluation of Wind-based DG“. 2010 m. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/figure/5-Main-components-of-a-horizontal-axis-wind-turbine_fig3_235340138>
 7. Simon P. Neill, M. Reza Hashemi „Fundamentals of ocean renewable energy“. 2018 m.
 8. Wei Tong „Wind Power Generation and Wind Turbine Design“. 2010 m.
 9. Li Yan „Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines: History, Performance, and Applications“. 2018 m. Prieiga per internetą:
<<https://www.intechopen.com/chapters/65843>>
 10. Zemamou, M., Aggour, M., & Toumi, A. „Review of savonius wind turbine design and performance“. 2017 m. Prieiga per internetą:
<<https://sci-hub.ru/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021735453X>>
- Įterpti:
11. Sarrias-Mena, R., Fernández-Ramírez, L. M., García-Vázquez, C. A., & Jurado, F. „Improving grid integration of wind turbines by using secondary batteries“. 2014 m. Prieiga per internetą:
<<https://sci-hub.ru/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114001580>>
 12. Jin, H., Liu, P., Li, Z. „Dynamic modeling and design of a hybrid compressed air energy storage and wind turbine system for wind power fluctuation reduction“. 2018 m. Prieiga per

- interneta: <<https://scihub.ru/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135418305301>>
13. Veszpremi, K., Schmidt, I. „Flywheel Energy Storage Drive for Wind Turbines“. 2007 m. Prieiga per internetą: <<https://sci-hub.ru/https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4487814/>>
 14. Ma, T., Yang, H., Lu, L., Peng, J. „Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong“. 2014 m. Prieiga per internetą: <<https://sci-hub.ru/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114001736>>
 15. Ma, T., Yang, H., Lu, L., & Peng, J. „Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong.“ 2014 m. Prieiga per internetą: <<https://sci-hub.ru/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114001736>>
 16. S. Lundberg „Performance comparison of wind park configurations“ 2003 m. Prieiga per internetą: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/2691/local_2691.pdf>
 17. „Over Speed Protection Mechanisms for Wind Turbines“. 2016 m. [Žiūrėta 2022-01-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.windpowernepal.com/over-speed-protection-mechanisms-for-wind-turbines/>>
 18. M-G Kim, P. H. Dalhof „Yaw Systems for wind turbines – Overview of concepts, current challenges and design methods“. 2014 m. Prieiga per internetą: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/524/1/012086>>
 19. „Wind Turbine Technologies“. [Žiūrėta 2022-01-03]. Prieiga per internetą: <http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/wind/wind_technology.php>
 20. Alex Z. Kattamis, M. Pooley „Lightning Protection for Wind Turbines“. 2017 m. Prieiga per internetą: <<https://www.exponent.com/knowledge/alerts/2017/06/lightning-protection-for-wind-turbines/?pageSize=NaN&pageNum=0&loadAllByPageSize=true>>
 21. Askari Mohammad Bagher, Mirzaei Mahmoud Abadi Vahid, Mirhabibi Mohsen „Types of Solar Cells and Application“. 2015 m. Prieiga per internetą: <https://barghnews.com/files/fa/news/1397/10/27/72825_110.pdf>
 22. „Types of solar panels: which one is the best choice?“. [Žiūrėta 2022-01-03]. Prieiga per internetą: <<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>>
 23. Ahmet Aktas, Yagmur Kirçiçek „Solar Hybrid Systems: Design and Application“. 2021 m.
 24. Dali, M., Belhadj, J., & Roboam, X. „Hybrid solar–wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: Control and energy management –

- Experimental investigation“. 2010 m. Prieiga per internetą: <<https://sci-hub.se/10.1016/j.energy.2010.03.005>>
25. A. Abu-Jasser „A stand-alone photovoltaic system, case study: a residence in Gaza“. 2009 m. Prieiga per internetą : <<https://web.archive.org/web/20120426001412/http://www.trisanita.org/jases/asespaper2010/ases09v5n1y2010.pdf>>
26. Suhane, P., Rangnekar, S., Khare, A., & Mittal, A. „Sizing and performance analysis of standalone wind-photovoltaic based hybrid energy system using ant colony optimisation“. 2016 m. Prieiga per internetą: <<https://sci-hub.ru/https://ieeexplore.ieee.org/document/7514408/>>
27. „, How HOMER Calculates the PV Cell Temperature“. [Žiūrėta 2022-01-03]. Prieiga per internetą: <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/how_homer_calculates_the_pv_cell_temperature.html>
28. Ed franklin „, Calculations for a Grid-Connected Solar Energy System“. 2019 m. Prieiga per internetą: <<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1782-2019.pdf>>

PRIEDAI

1 priedas. 13,5 kWh ir 27 kWh baterijos įsikrovimo ir išsikrovimo grafikai su skirtingomis vėjo elektrinių (VE) ir saulės elektrinių (SE) konfigūracijomis.

