



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Nerijus Šašys**

**ALTERNATYVIOSIOS ENERGIJOS MIKROTINKLO  
PROJEKTAVIMAS IR VALDYMAS**

Magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Jonas Valickas

**PANEVĖŽYS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**  
**TECHNOLOGIJŲ KATEDRA**

TVIRTINU  
Katedros vedėjas  
Doc. dr. Arūnas Tautkus

**ALTERNATYVIOSIOS ENERGIJOS MIKROTINKLO**  
**PROJEKTAVIMAS IR VALDYMAS**

Magistro projektas  
Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

**Vadovas**  
Doc. dr. Jonas Valickas

**Recenzentas**

**Magistrantas**  
Nerijus Šašys

PANEVĖŽYS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Nerijus Šašys

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Alternatyviosios energijos mikrotinklo projektavimas ir valdymas“  
**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Nerijaus Šašio** baigiamasis projektas tema „**Alternatyviosios energijos mikrotinklo projektavimas ir valdymas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

2015 ..... ..

## BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: \_\_\_\_\_ Grupė *PME-3*

**1. Darbo tema:** \_\_\_\_\_

Lietuvių kalba: *Alternatyviosios energijos mikrotinklo projektavimas ir valdymas*

Anglų kalba: *Designing and control of alternative energy microgrid*

Patvirtinta 201\_\_ m. \_\_\_\_\_ mėn. \_\_\_\_\_ d. dekanų potvarkiu Nr. \_\_\_\_\_

**2. Darbo tikslas:** *Išanalizuoti ir parinkti tinkamiausius atsinaujinančius energijos išteklius, projektuojant alternatyviosios energijos mikrotinklą, sudaryti valdymo sistemos modelį, kuris būtų naudingas vartotojui ir lanksčiai prisitaikytų prie jo poreikių, panaudojant intelektualius metodus ir algoritmus.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:** *Išnagrinėti atsinaujinančios alternatyviosios energetikos šaltinių labiausiai tinkančius projektuojamajam mikrotinklui. Mikrotinklo vietovės galimybes kurios leistų racionaliai išnaudoti atsinaujinančios alternatyviosios energetikos panaudojimą. Pateikti suprojektuotą mikrotinklą su valdymo algoritmu kuris racionaliai leistų išnaudoti teikiamas elektros energijos galias.*

**4. Projekto struktūra.** *Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį.*

*Magistrinio baigiamojo darbo projektas susideda iš alternatyviosios energijos šaltinių panaudojimo aktualumo bei problematikos analizės, atsinaujinančių energijos šaltinių (saulės, vėjo, vandens, žemės gelmių) apžvalgos bei jų panaudojimo galimybių statant elektrines, įrengiant geotermines šildymo sistemas ir jas jungiant į mikrotinklą, elektros energijos suvartojimo poreikio bei kitimo analizės.*

**5. Ši užduotis yra neatskiriama magistrinio baigiamojo projekto dalis.**

**6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas** \_\_\_\_\_

(data)

Užduotį gavau: \_\_\_\_\_

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: \_\_\_\_\_

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Šašys, N. Alternatyviosios energijos mikrotinklo projektavimas ir valdymas. *Magistrinis* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Jonas Valickas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra. Lietuvių kalba, 61 puslapis, 36 paveikslėliai, 6 lentelės, 8 formulės.

Raktiniai žodžiai: mikrotinklas, atsinaujinanti energetika, valdymas, algoritmas, programuojamas loginis valdiklis, akumuliatorių baterija.

Panevėžys, 2015.

## **SANTRAUKA**

*Magistriniame baigiamajame darbe nagrinėti alternatyviosios energijos šaltiniai, jų panaudojimo galimybės. Parinkti tinkamiausi atsinaujinančios energijos ištekliai sudarant alternatyviosios energijos mikrotinklą konkrečiam vartotojui. Tyrinėtas alternatyviosios energetikos gaminamos elektros energijos galios periodiškumas, apskaičiuoti mikrotinklo šaltinių parametrai. Nagrinėti energijos kaupikliai ir jų pritaikymas mikrotinkle. Suprojektuotas alternatyviosios energetikos mikrotinklas. Skaičiuoti mikrotinklo elektros energijos galių poreikiai. Sudarytas valdymo algoritmas bei valdymo programa. Sudarytas Solid Works modelis maksimalaus vėjo greičio zonų nustatymui realioje kliūčių aplinkoje. Gauti modeliavimo rezultatai lyginti su eksperimentiniais tyrimais.*

Sasys, N. Designing and control of alternative energy microgrid / supervisor doc dr. Jonas Valickas; Kaunas Technology University, Panevėžio technology and business faculty, Department of Technology. Lithuanian language, 61 pages, 36 images, 6 tables, 8 formulas.

Key words: microgrid, renewable energy, projection, algorithm, programmable logical controller, battery.

Panevėžys, 2015.

### *SUMMARY*

In this studio work were analysed sources of renewable energetics, the need and usability. Were selected the most suitable sources of renewable energetics in setting up microgrid for specific user. Investigated periodicity of alternative energetics produced electric power, calculated the various parameters of microgrid sources. Analysed actuality and adaptability of energy storages (batteries) in microgrid. Based on literature analysis and modeling results, was projected alternative energy microgrid. Calculated requirement of electric power in microgrid. Modeled control algorithm and management program of microgrid. Designed Solid Works model for setting area of maximal wind speed in real barriers environment. Compared simulation and investigations results.

# TURINYS

<b>SANTRAUKA</b> .....	<b>5</b>
<b>IVADAS</b> .....	<b>8</b>
<b>1. ALTERNATYVIOS ENERGIJOS ŠALTINIŲ PANAUDOJIMO AKTUALUMAS</b> .....	<b>9</b>
<b>2. ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS ŠALTINIŲ PANAUDOJIMO PROBLEMATIKA</b> .....	<b>12</b>
<b>3. ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS ŠALTINIŲ APŽVALGA</b> .....	<b>13</b>
3.1. Biomasės energijos ištekliai.....	13
3.2. Vėjo energijos ištekliai.....	15
3.3. Saulės energijos ištekliai.....	15
3.4. Hidroenergijos ištekliai.....	16
3.5. Geoterminės energijos ištekliai.....	17
<b>4. SAULĖS ELEKTRINĖ MIKROTINKLE</b> .....	<b>18</b>
4.1. Fotoelektros modulio charakteristikos.....	18
4.2. Saulės elektrinės modulynas.....	20
<b>5. VĖJO ELEKTRINĖ MIKROTINKLE</b> .....	<b>25</b>
5.1. Vėjo energijos charakteristikos.....	25
5.2. Mažosios vėjo elektrinės sandara.....	26
5.3. Vėjo elektrinės charakteristikos.....	28
5.4. Programinio paketo „SolidWorks Eksplorer 2014“ vietovės tyrimas.....	35
<b>6. HIDROELEKTRINĖ MIKROTINKLE</b> .....	<b>37</b>
6.1. Hidroelektrinės charakteristikos.....	37
6.2. Hidroelektrinės sandara.....	40
<b>7. ELEKTROS ENERGIJOS SUVARTOJIMAS</b> .....	<b>42</b>
7.1. Gyvenamojo daugiabučio namo šeimų elektros energijos suvartojimas.....	42
7.2. Gyvenamojo namo su geoterminiu šildymu elektros energijos suvartojimas.....	45
7.3. Nedidelės įmonės elektros energijos suvartojimas.....	46
<b>8. MIKROTINKLAS</b> .....	<b>47</b>
8.1. Mikrotinklo projektavimas.....	47
8.2. Mikrotinklo vartotojų suvartojama ir pagaminama elektros energija.....	49
8.3. Mikrotinklo valdymo algoritmas.....	50
8.4. Mikrotinklo automatizuota duomenų perdavimo schema.....	52
8.5. Mikrotinklo valdymo programa.....	54
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS</b> .....	<b>58</b>

## IVADAS

Vykstant visuotiniam atšilimui, brangstant iškastiniam kurui bei didėjant elektros kainoms, žmonės iešo būdų, kaip efektyviai panaudoti energiją, gaunamą iš atsinaujinančių šaltinių. Taip siekiama mažinti gamtos taršą, kuri įtakoja klimato atšilimą, žmogaus sveikatos sutrikimus ir gyvūnijos kai kurių rūšių populiacijos išnykimą.

Pagrindiniai alternatyvios energijos šaltiniai: saulės elektrinės, vėjo elektrinės bei hidroelektrinės. Jie pasižymi nepastoviu energetiniu pajėgumu. Naudojant pavieniui, jų energijos gamybos periodiškumas yra sunkiai prognozuojamas, todėl, nenaudojant specialių valdymo priemonių, jos nėra racionaliai išnaudojamos. Žymiai racionalesnį energijos tiekimą iš atsinaujinančių šaltinių gali garantuoti mikrotinklas [1], kuriame sujungiami keli lokaliai išdėstyti įvairūs alternatyvios energijos šaltiniai, energijos kaupikliai. Išnagrinėtoje mokslinėje literatūroje [2] pateikiami įvairių mikrotinklų sudarymo principai bei iškeliami mikrotinklo valdymo problema. Darbe pateikiamas matematiniais paskaičiavimais paremtas alternatyvios energijos šaltinių mikrotinklo pavyzdys, kuriame panaudotos valdymo priemonės maksimaliam ekologiškumui bei ekonomiškumui užtikrinti.

**Darbo metodai:** literatūros analizė, modeliavimas ir eksperimentiniai tyrimai.

**Darbo objektas:** alternatyviosios energijos mikrotinklo valdymas.

**Darbo tikslas:** išanalizuoti ir parinkti tinkamiausius atsinaujinančius energijos išteklius sudarant alternatyviosios energijos mikrotinklą, sudaryti valdymo sistemos modelį, kuris būtų naudingas vartotojui ir lanksčiai prisitaikytų prie jo poreikių, panaudojant automatinį valdymą.

**Darbo uždaviniai.**

- 1) Išanalizuoti ir parinkti tinkamiausius atsinaujinančios energijos išteklius projektuojant mikrotinklą.
- 2) Sudaryti mikrotinklą iš atsinaujinančios energijos šaltinių.
- 3) Atlikti modeliavimo metodų analizę.
- 4) Sudaryti mikrotinklo valdymo sistemos algoritmą.



# 1. ALTERNATYVIOS ENERGIJOS ŠALTINIŲ PANAUDOJIMO AKTUALUMAS

Bene pagrindinė priežastis, kodėl būtina naudoti alternatyviosios energijos šaltinius, yra ta, jog energijos išgavimas naudojant iškastinį kurą jau padarė ir tebedaro didelę žalą Žemei: nuolat mažėja neatsinaujinančio iškastinio kuro sąnaudos, didėja šiltnamio efektas.

Saulės energija šildo Žemės paviršių ir, pakilus temperatūrai, šiluma infraraudonosios energijos pavidalu spinduliuojama atgal į atmosferą. Didelę dalį šios energijos atmosferoje sulaiko „šiltnamio dujos“.

Atmosfera veikia panašiai kaip šiltnamis: praleidžia į vidų matomą šviesą ir sugeria infraraudonąją energiją, todėl šiltnamio viduje sulaikoma šiluma. Toks natūralus procesas vadinamas „šiltnamio efektu“. Be jo vidutinė metų temperatūra tesiektų  $-18^{\circ}\text{C}$ , o dabar ji yra  $+15^{\circ}\text{C}$ . Tačiau dėl žmogaus veiklos šiltnamio efektą sukeliančių dujų, ypač anglies dvideginio, metano ir azoto suboksido į atmosferą išmetama daug daugiau, todėl stiprinamas šiltnamio efektas ir pasaulio temperatūra kyla [3]. Pagrindinės žmonių veiklos, kurių metu išskiriamas didžiausias anglies dvideginio kiekis, yra: *žemės naudojimo pokyčiai* (3,4 gigatonų per metus), *lengvasis transportas* (3 gigatonos per metus) ir *cemento gamyba* (1,4 gigatonos per metus) [4].

Anglies dioksidas atmosferoje yra ne tik kvėpavimo takų negalavimų priežastis: padidėjusi anglies dioksido koncentracija skatina šiltnamio efektą Žemėje, dėl to tirpsta Arkties jūros ledynai, keičiasi klimatas. Be pramonės, transporto taršos,  $\text{CO}_2$  kiekį didina ir įsiplieskę didžiuliai gaisrai, kurių metu į atmosferą išmetamas milžiniškas kiekis anglies dioksido [5].

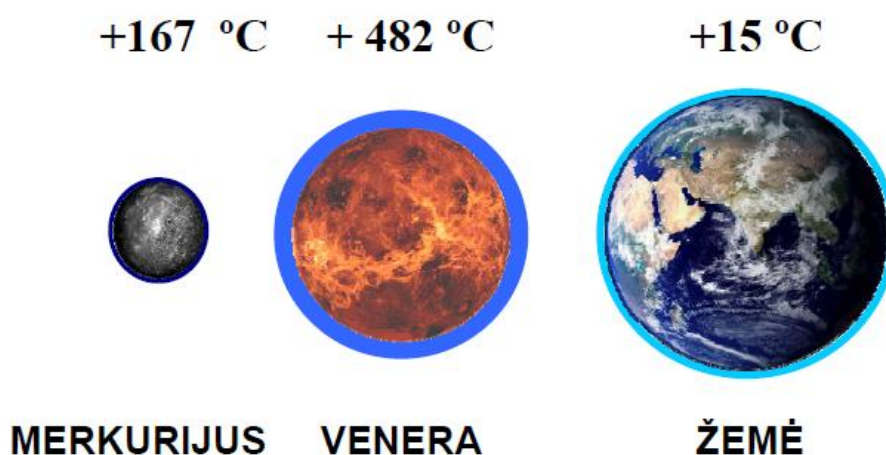
Užfiksuota, jog per pastarąjį šimtmetį vidutinė planetos temperatūra pakilo 0,6 laipsnio. Vidutinės temperatūros pakilimas 2 laipsniais baigiasi masiniu tam tikrų gyvūnų bei augalų rūšių išnykimu. O paskutinius 20 metų temperatūrų šuoliai buvo rekordiniai — temperatūros didėjimo greitis padidėjo 3 kartus. Maksimalus atšilimas užfiksuotas pačiuose šalčiausiuose regionuose, kur yra pagrindinės ledo atsargos: Sibire, Aliaskoje bei Antarktidoje. Pavyzdžiui, Sibire suminis atšilimo efektas yra 10 kartų didesnis nei vidutiniškai planetoje, kai kuriuose Sibiro bei Tolimųjų Rytų rajonuose per šimtmetį vidutinė temperatūra pakilo 3,5 laipsnio.

Globalinio atšilimo problema įdėmiai stebima bei analizuojama jau daugiau kaip dešimtmetį: 1988-aisiais buvo įkurta Tarpvalstybinė ekspertų grupė klimato pokyčiams tirti – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), į savo veiklą įtraukusi per 3000 mokslininkų iš daugelio pasaulio šalių. Ekspertų užduotis – įvertinti esamą klimato padėtį, prognozuoti jo pokyčius artimiausioje ateityje bei numatyti tų pokyčių pasekmes.

Ekspertai sudarė bei išanalizavo apie 40 galimų XXI amžiaus ekonomikos vystymosi scenarijų. Pagal juos paaiškėjo, jog vidutinė Žemės temperatūra pakils 1,5–5,8 laipsnio [6].

Remiantis JAV nacionaline vandenynų ir atmosferos tyrimų administracija (NOAA), pagal vidutinę oro temperatūrą virš mūsų planetos sausumos ir vandenynų praėjęs 2014-ųjų rugpjūtis buvo karščiausias iš visų Žemėje registruotų šio rodiklio duomenų. Minėto mėnesio temperatūra buvo 0,75 laipsnio pagal Celsijų didesnė už XX amžiaus vidurkį, oro virš sausumos ir vandenynų mėnesio temperatūros vidurkis šį rugpjūtį buvo 16,35 laipsnio pagal Celsijų. Kai XX amžiaus rugpjūčio temperatūros vidurkis 15,6 C. Laikotarpis nuo sausio iki rugpjūčio buvo trečias šilčiausias per visą registravimo istoriją. Dauguma Žemės vandenynų rugpjūčio mėnesį buvo gerokai šiltesni negu vidurkis. Sausumoje oro temperatūros Jungtinėse Valstijose buvo netoli vidurkio, o Europoje, centrinėje Azijoje ir Australijoje – nuo arti vidurkio iki šiek tiek žemiau vidurkio [7].

CO<sub>2</sub> kiekio įtaką klimatui rodo Veneros ir Merkurijaus pavyzdys. Veneros paviršiuje, kurios atmosferoje vyrauja CO<sub>2</sub> dujos, vidutinė temperatūra 482 °C. Merkurijaus paviršiuje, kur CO<sub>2</sub> kiekis nedidelis, temperatūra tik 167 °C, nepaisant to, kad ši planeta yra žymiai arčiau saulės (1 pav.) [8].



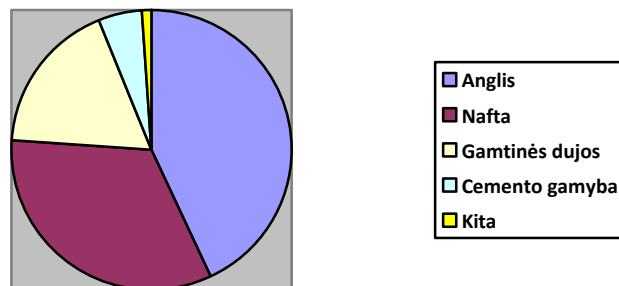
1 pav. Artimiausių Saulės sistemos planetų vidutinės temperatūros

2013-aisias Varšuvoje (Lenkija) vykusiame klimato tyrėjų, ekspertų ir aktyvistų susitikime naujai paskelbti duomenys parodė tebesitęsiantį gausų atmosferinio anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>) ir kitų pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimą, taip pat tai, jog geografinis išmetamų dujų pasiskirstymas yra nepastovus.

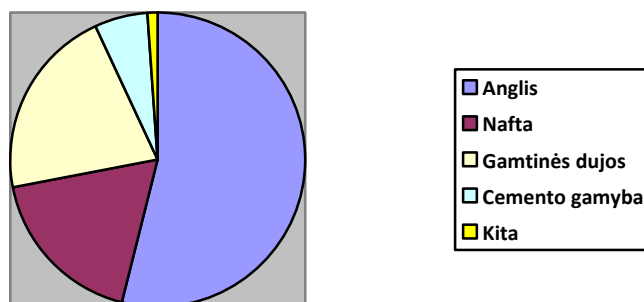
Remiantis Globalinio Anglies Projekto duomenimis, CO<sub>2</sub> išsiskyrimas nuo iškastinio kuro sudeginimo ir cemento gamybos pasiekė 9.7 gigatonas anglies (GtC) su ±5 procentų paklaida 2012 metais:

1. Šiai dienai tai yra didžiausias metinis ir jis yra 58 proc. didesnis negu 1990 m. Pastarųjų metų išsiskyres dujų kiekis dažnai naudojama kaip etaloninis CO<sub>2</sub> išsiskyrimo tendencijoms nustatyti.
2. Anglies (43 proc.) ir naftos (33 proc.) deginimas sudarė didžiąją dalį šio išsiskyrimo, taip pat gamtinės dujos – 18 proc., cemento gamyba – 5 proc. ir kt. – 1 proc. (2 pav.).
3. Globalinio Anglies Projekto numatomas augimas 2013 metams yra  $9.9 \pm 0.5$  GtC, rodantis apytiksliai 2 procentų augimą.
4. Dabartinės JAV vyriausybės ir Pasaulio banko veiksmai naujiems anglies projektams riboja tarptautinį finansavimą, tai rodo norą atsiriboti nuo anglies iškasenų.
5. Dabar anglis sudaro pagrindinį CO<sub>2</sub> išsiskyrimą. Nors ji sudarė 43 procentus globalinės emisijos (išsiskyrimo) 2012, anglis sudarė 54 procentus padidėjimo tais metais. Anglies išsiskyrimo padidėjimą lėmė augantis anglies sunaudojimas valstybėse šiuo metu vykdančiuose energetikos sektoriaus pertvarką.
6. Anglies emisija (išsiskyrimas) padidėjo Vokietijoje (4,2 proc.) ir Japonijoje (5,6 proc.) – abi valstybės palaiapsniui nutraukinėja ir mažina branduolinių jėgainių veikimą.

Nafta, dujos, ir cementas sudarė atitinkamai 18 proc., 2 proc., ir 6 proc. globalinio CO<sub>2</sub> išsiskyrimo augimo 2012 metais (3 pav.) [9].



2 pav. 2012 m. CO<sub>2</sub> išsiskyrimas iš iškastinio kuro ir cemento (%) [9]



3 pav. 2012 m. CO<sub>2</sub> išsiskyrimo augimas iš iškastinio kuro ir cemento (%) [9]

2014-aisiais Niujorke JT Generalinio Sekretoriaus kvietimu vykusiame susitikime dėl klimato kaitos aptartas naujas visuotinis teisiškai įpareigojantis klimato kaitos susitarimas, kurį planuojama pasirašyti 2015 metais. Paryžiuje 130-ies šalių, tarp jų ir Lietuvos, vadovai diskutavo apie konkrečias priemones, skirtas aplinkos taršai mažinti. Pasak LR Prezidentės Dalios Grybauskaitės, klimato kaitos tikslų įgyvendinimas yra neatsiejamas nuo energetinio saugumo ir efektyvumo užtikrinimo. Šį klausimą verčia kelti netolygus energijos išteklių pasiskirstymas pasaulyje ir tai, kad kai kurios energijos tiekimo monopolijos energetiką naudoja kaip politinio spaudimo priemonę. Ši problema ypač opi Europoje. Todėl būtina mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro ir daugiau investuoti į efektyvų energijos vartojimą, siekiant jį mažinti. Anot Prezidentės, Lietuva sėkmingai didina energetinį savarankiškumą ir investuoja į patikimus vietinius energijos tiekimo šaltinius. ES 2005 m. yra iškėlusį tikslą iki 2020 m. padidinti atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą iki 23 proc. viso energijos sunaudojimo. Lietuva šį tikslą jau beveik pasiekė – šiuo metu atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas Lietuvoje jau pasiekė 22 proc. Prezidentė taip pat atkreipė dėmesį, kad globalus teisiškai įpareigojantis susitarimas dėl klimato kaitos yra būtinas. Visos valstybės prie visuotinio taršos mažinimo turi prisidėti proporcingai. Nepaisant to, kad Lietuva yra atsakinga už labai nedidelį metinių išmetamųjų dujų kiekį pasaulyje, mūsų šalis prisiėmė rimtus teisinius įsipareigojimus mažinti klimato taršą ir jų laikosi. Nuo nepriklausomybės atkūrimo Lietuva sumažino išmetamųjų dujų kiekį net 56 proc. [10].

## **2. ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS ŠALTINIŲ PANAUDOJIMO PROBLEMATIKA**

Atsinaujinantieji energijos šaltiniai arba atsinaujinantieji energijos ištekliai (AEI) yra energijos ištekliai gamtoje, kurių atsiradimą ir atsinaujinimą nulemia gamtos vyksmai: saulės šviesa, vėjas, upių tekėjimas, geoterminė energija. Beveik visų atsinaujinančiųjų išteklių pradinis šaltinis yra saulės energija [11, 12]. Jos skleidžiama šviesa lemia oro masių judėjimą, kuris įtakoja vėjo atsiradimą bei elektros energijos gamybos galimybę naudojant fotoelektrinius modulius [13].

Dėl saulės energijos patekimo į žemę bei lokalių klimatinių sąlygų (giedra, apsiniaukę, vėjuota ir t. t.) atsinaujinantys energijos šaltiniai dirba ne ištisai. Tiriant vėjo, saulės fotomodulių elektrines bei hidroelektrinių efektyvumą bei jų gaminamos energijos periodiškumą matosi, kad jų gaminamos energijos maksimumai ir minimumai nesutampa. Pastebėta, kad racionaliai derinant įvairių, lokaliai esančių, alternatyvių energijos rūšių šaltinių galimybes įmanoma sukurti efektyvų ir ekologišką vietinio apsirūpinimo energija, mikrotinklą. Siekiant maksimaliai

panaudoti lokaliai kuriamą alternatyvią energiją bei užtikrinti nepertraukiamą vartotojo aprūpinimą energija buvo ištirtas su mikrotinklu siejamų vartotojų energijos poreikis. Vien derinant saulės elektrinės bei vėjo elektrinių generuojamą energijos pateikimą galima užtikrinti žymiai geresnį vartotojų apsirūpinimą energija. Papildomai naudojant hidroelektrinę [14] dėl jos gaminamos energijos mažesnių svyravimų mikrotinklo efektyvumas gerėja. Dėl vartotojų poreikio staigaus išaugimo patenkinimo mikrotinkle įdiegti energijos kaupikliai – akumulatoriaus baterijos [15]. Trūkstantį bei perteklinį energijos kiekį racionalu balansuoti su nacionaliniu tinklu.

#### IŠVADOS:

1. Yra būtinumas stabdyti iškastinio kuro naudojimą energijos gamybai;
2. Naudojant mikrotinklą galima efektyviau panaudoti alternatyvius energijos šaltinius.

### **3. ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS ŠALTINIŲ APŽVALGA**

Atsinaujinantčių energijos šaltinių išteklių pagrindinės rūšys yra šios:

- Biomasės energija – tai fotosintezės būdu augaluose sukaupta saulės energija. Kasmet augalų stiebuose, šakose ir lapuose sukaupiamas energijos kiekis keletą kartų viršija pasaulio energijos poreikius.
- Vėjo energija – tai oro masių judėjimas, kylantis dėl nevienodai saulės spinduliavimo įšildyto žemės paviršiaus ir nešantis savyje didelį energijos kiekį.
- Saulės energija yra pats galingiausias atsinaujinantis energijos šaltinis. Švari, neišsenkanti saulės energija pasiekia žemę milijardus metų ir pasieks ateityje. Teorinis metinis saulės energijos potencialas yra tūkstančius kartų didesnis už kitų rūšių energijos potencialą.
- Hidroenergija – tai vandens tėkmės mechaninė energija, kurią sudaro potencinė (vandens tūrio svoris ir hidrostatinis slėgis) ir kinetinė (tėkmės greičio slėgis) energijos.
- Geoterminė (gr. geo – žemė, therme – šiluma) energija yra natūrali Žemės gelmių šiluma [11].

#### **3.1. Biomasės energijos ištekliai**

Biomasė, kaip energijos šaltinis, naudojama kietojo kuro ir biodujų pavidalu. Pagrindinius kietosios biomasės išteklius sudaro malkos, medienos atliekos (kirtimų atliekos, medienos pramonės įmonių atliekos, statybų atliekos ir kt.), žemės ūkio atliekos (šiaudai) ir energetiniai želdiniai. Kietasis biokuras naudojamas tiesiogiai arba perdirbtame pavidale (briketai, granulės,

dulkės). Žemės ūkio ir maisto atliekas, mėšlą galima paversti biodujomis, kurios gali būti naudojamos šilumai ir elektrai gaminti.

Didžiąją dalį šiuo metu iš biomasės pagaminamos energijos sudaro šiluma, gaunama deginant medieną. Yra dvi skirtingos šilumos gamybos sistemos: mažos galios šildymo sistemos, naudojančios malkas, granules, skiedras ir kt., ir centralizuoto šildymo sistemos, naudojančios verdančio sluoksnio ar ardyno tipo pakurų katilus, pritaikytus kūrenti durpes, skiedras, medienos atliekas, pjuvenas ir šiaudus. Medienos kuro išteklių gali būti papildyti, įveisiant specialių greitai augančių medžių ar krūmų (energetinių želdinių) plantacijas.

Iš biomasės gaminama ne tik šilumos ir elektros energija, bet ir biodegalai, kurių pagrindinės rūšys yra: bioetanolis, gaminamas iš cukraus (cukranendrių, cukrinių runkelių) ir krakmolo (bulvių, grūdų) turinčių žaliavų, ir biodyzelinas, gaminamas iš augalinio aliejaus (rapsų, linų, sojos, saulėgrąžų ir kt.) ir alkoholio (metanolio arba etanolio). Biodyzelinas gali būti naudojamas kaip degalai įprastuose dyzeliniuose varikliuose.

Biomasės energetikos privalumai:

- kuras pigesnis už iškastinį kurą;
- pastovi energijos gamyba;
- vietiniai biomasės kuro išteklių gali pakeisti iškastinį kurą;
- biomasės kuro gamybai gali būti panaudojamos įvairios organinės kilmės atliekos.

Biomasės energetikos trūkumai: biomasės kuro paruošimas (auginimas, atliekų transportavimas, smulkinimas) reikalauja nemažai energijos; kai kurie biomasės išteklių yra sezoniniai. Nors deginant biomasę, kaip ir iškastinį kurą, išsiskiria CO<sub>2</sub>, tačiau jis yra sugeriamas kitų augalų ir mažiau prisideda prie bendro CO<sub>2</sub> kiekio didėjimo [11].

Iš biomasės pagamintas biodyzelinas arba granulės tiktų nedidelės galios katilui projektuojamojo mikrotinklo vandens šildymo sistemai. Šį katilą galima būtų naudoti rezerviniu tam atvejui, jei iš eilės pasitaikytų kelios dienos be vėjo arba sugestų vėjo elektrinė. Šildymo sistema būtų valdoma automatiškai. Todėl turi būti matuojama temperatūra T namo išorėje ir šildymo sistemos įeinančio ir iš išėinančio vandens temperatūros T1 ir T2. Karštas vanduo ruošiamas pasitelkiant šilumokaitį, energiją gaunantį iš šilumos kaupiklio. Daugumoje gyvenamųjų namų karšto vandens sistema yra antra pagal dydį energijos vartotoja po patalpų šildymo sistemos. Kai dirba alternatyvūs energijos šaltiniai sistema nenaudoja jokio kuro ir į aplinką neišmeta jokių išlakų (biomasės kuras gali būti naudojami tik nenumatytais atvejais) [16].

### 3.2. Vėjo energijos ištekliai

Vėjo energija šimtmečius buvo naudojama grūdams malti vėjo malūnuose ir vandeniui pumpuoti. Šiandien vėjo energija daugiausia naudojama elektros energijos gamybai šiuolaikinėse vėjo jėgainėse. Šių jėgainių pagrindinės dalys yra:

- turbina;
- sparnai, paverčiantys vėjo kinetinę energiją į mechaninę energiją;
- turbinoje esantis generatorius, paverčiantis mechaninę energiją į elektros energiją;
- bokštas, ant kurio užkelta turbina.

Vėjo jėgainių yra įvairių rūšių ir dydžių. Jų aukštis gali siekti iki 100 m ir daugiau, o sparnų ilgis – iki 61,5 m. Skirtingos jėgainės pritaikytos skirtingiems vėjo greičiams, tačiau daugiau elektros energijos pagamina aukštesnės vėjo jėgainės, nes kuo aukščiau, tuo vėjo greitis yra didesnis ir pastovesnis. Norint pagaminti didesnę elektros energijos kiekį, vėjo jėgainės dažnai jungiamos į vėjo jėgainių parkus. Didžiausius vėjo jėgainių parkus (pvz. Altamont Pass, Tehachapi ir kt.) pasaulyje sudaro tūkstančiai jėgainių.

Geriausios vietos vėjo parkų įrengimui yra kalvų viršūnės, lygumos, jūros pakrantės. Vis daugiau vėjo parkų įrengiama atvirose jūrose kelių dešimčių kilometrų atstumu nuo kranto, nes čia pučia stipriausi vėjai.

Vėjo energetikos privalumai: vėjo ištekliai yra neišsenkantys; vėjo jėgainės yra ekologiškos, gamina „švarią“ energiją, neišskirdamos į aplinką kenksmingų medžiagų; gaminamos vis efektyvesnės vėjo turbinos, o elektros energijos gamybos savikaina nuolat mažėja.

Pagrindinis vėjo energetikos trūkumas yra tai, jog vėjo energijos gamyba yra nepastovi, priklausanti nuo vėjo greičio ir krypties svyravimų. Taip pat arti jėgainių gyvenantiems žmonėms neigiamą poveikį gali turėti jėgainių skleidžiamas triukšmas ir sparnų šešėlių mirgėjimas, kyla ornitologijos problemos. Be to, jėgainių pastatymas ir prijungimas prie elektros tinklo yra brangus ir reikalauja didelių investicijų [11].

### 3.3. Saulės energijos ištekliai

Saulės energija naudojama elektros energijai gaminti, bei vandeniui šildyti. Vandens šildymui reikalingi saulės kolektoriai, kurie absorbuoja ir nukreipia saulės šilumą į karšto vandens paruošimo sistemą. Patalpų šildymui taip pat naudojami saulės kolektoriai, tiekiantys karštą vandenį į šildymo sistemą. Dažniausiai saulės kolektoriai įrengiami ant pastato stogo taip, kad į juos nekristų šešėlis arba įrengiami ant žemės. Labai svarbi yra jų orientacija pasaulio šalių atžvilgiu (geriausia – pietūs), kolektoriaus plokštumos pasvirimo kampas. Saulės šilumą patalpų

šildymui galima naudoti ir pasyviai, pastatų sienose įrengiant stiklo elementus, sugeriančius saulės šilumą dienos metu ir išlaikančius ją per naktį. Elektros energija iš saulės gaminama naudojant fotoelektros modulius. Tai įrengimai, kurie šviečiant saulei ir net debesuotą dieną generuoja elektros energiją. Saulės energetikos privalumai - tai nemokamas, neteršiantis aplinkos, nekeliantis triukšmo ir neišsenkantis energijos šaltinis. Pagrindiniai saulės energetikos trūkumai – tai jog ji yra nepastovi, nes priklauso nuo meteorologinių sąlygų ir paros laiko bei reikalauja daug ploto. Spartus saulės fotoelementų rinkos augimas bei kiti ekonominiai ir techniniai veiksniai lemia spartų nuolatinį saulės elektrinių įrengimo kainos mažėjimą. Dėl šios priežasties saulės elektrinės jau tampa ekonomiškai patrauklios ir pasaulio regionuose, kur daugiametė vidutinė saulės ekspozicija horizontaliose plokštumose sudaro 900 – 1 100 kWh/m<sup>2</sup>. [17].

Lietuvos vietovėse per metus į horizontalaus paviršiaus kvadratinį metrą patenka nuo 926 kWh per metus (Biržuose) iki 1042 kWh per metus (Nidoje) saulės spindulinės energijos. Energija, krintanti lapkričio - sausio mėnesiais, sudaro tik 10 proc. energijos, krintančios gegužį, birželį ir liepą. Naktį jų gaminama energija artima nuliui, stipriai apniukusią dieną – sudaro tik kelis procentus giedrą dieną krintančios energijos. Fotoelektrinė saulės energija, kaip vienintelis nuolatinis energijos šaltinis, gali būti naudojama tik turint galimybę ją akumuliuoti, tokiu būdu perdengiant energijos nepakankamumą, sukeltą sezoninių, paros ir meteorologinių kitimų. Šiuo metu naudojami trys energijos akumuliacijos būdai:

1. elektros akumuliatoriuose;
2. vandens akumuliaciniuose baseinuose;
3. jungiantis prie elektros tinklų per reversinius skaitiklius [18].

### **3.4. Hidroenergijos išteklių**

Hidroenergija gali būti panaudojama mechaniniuose procesuose arba gaminant elektros energiją. Vandens apytaka mūsų planetoje vyksta nuolatos ir įvairiomis formomis. Karštą dieną vanduo yra išgarinamas iš vandens telkinių ar žemės. Išgarinta drėgmė patenka į atmosferą ir ten formuojasi į debesis. Vėliau lietaus arba sniego pavidalu vėl patenka į vandens telkinius bei dirvą. Šio vandens ciklo energija, kuri yra varoma saulės dėka, gali būti panaudojama mechaninių užduočių atlikimui, pavyzdžiui, grūdų malimui ar generatoriaus sukimui. Hidroenergija naudoja „kurą“ - vandenį, kuris nėra sunaudojamas procese. Kadangi vandens judėjimo ciklas yra begalinis, o vandens sistema nuolat pasipildo, hidroenergija yra laikoma kaip atsinaujinantis energijos šaltinis.

Hidroenergetikos privalumai yra:

- vandens išteklių yra nemokami;



- pigi elektros energijos gamyba;
- ekologiška energetika, neteršianti aplinkos ir neskatinanti klimato kaitos;
- užtikrinamas nepertraukiamas tam tikras elektros energijos gamybos kiekis, jos stabilumas ir energijos tiekimo patikimumas.

Hydroenergetikos trūkumai - tai poveikis vandens ekosistemoms, hidroelektrinių statybai dažnai reikalingas papildomas žemės plotų užtvindymas, siekiant padidinti šaltinio hidrogalią, energijos gamybos priklausomybė nuo klimato (esant sausroms vandens kiekis sumažėja) [11].

### **3.5. Geoterminės energijos ištekliai**

Geoterminė energija, naudodama gilesnių žemės sluoksnių ar vandens telkinių šiluminę energiją, gali panaudoti elektros energijos gamybai, pastatų šildymui arba vėsinimui. Šios energijos ištekliai gali būti klasifikuojami į žemos temperatūros (mažiau nei 90 °C), vidutinės temperatūros (90 °C – 150 °C) ir aukštos temperatūros (daugiau nei 150 °C). Žemesnės temperatūros ištekliai dažniausiai naudojami šilumos, o aukštos temperatūros – elektros energijos gamybai. Žemesnės temperatūros geoterminė energija prieinama daugeliui vartotojų ir dažniausiai naudojama vandens bei pastatų šildymui. Aukštos temperatūros geoterminė energija naudojama elektrinėse elektros energijai gaminti. Tokiu būdu vartotojas gauna pagamintą elektros energiją iš atsinaujinančios alternatyviosios energijos šaltinių.

Kiti geoterminiai resursai yra susikaupę giliai po žemės paviršiumi. Atstumas iki resursų gali siekti ir dešimtimis kilometrų. Energija tokiame gylyje yra karštuose uolienose bei magmoje. Ateityje šie resursai taip pat gali būti naudingi ir prieinami platesniam panaudojimui energetiniams tikslams. Taigi, galima teigti, kad geoterminė energija turi potencialą ir perspektyvas kada nors pasisavinti milžiniškus šios rūšies atsinaujinančios energijos klodus.

Geoterminės energetikos privalumai yra :

- ištekliai yra atsinaujinantys ir neišsenkantys;
- gaminant energiją neteršiama aplinka, generuojama pastovi galia.

Pagrindiniai geoterminės energetikos trūkumai yra:

- ne visose vietovėse šie ištekliai yra prieinami;
- reikalingos didelės investicijos į technologijas;
- šios energijos išgavimą apriboja nemažai techninių problemų, susijusių su jėginių eksploatavimu bei papildoma elektros energija siurbliams [11].

#### **IŠVADOS:**

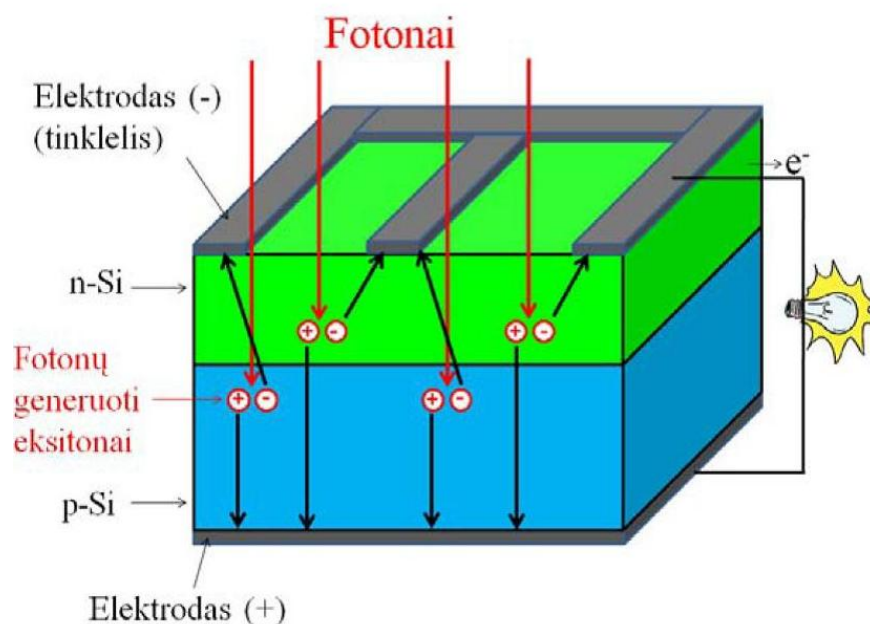
1. Atsinaujinantys energijos šaltiniai neteršia aplinkos ir nekenksmingi žmogui;
2. Iš atsinaujinančių energijos šaltinių galima gaminti elektros energiją arba šilumos energiją;

3. Atsinaujinantys energijos šaltiniai yra neišsenkami kol švies saulė.

## 4. SAULĖS ELEKTRINĖ MIKROTINKLE

### 4.1. Fotoelektros modulio charakteristikos

Saulės energijos virsmą į elektros energiją paverčia fotoelektros elemente (FE) vykstantis fotovoltinis efektas. Šis procesas vyksta skirtingų laidumų puslaidininkinių struktūrų sandūroje FE, veikiant saulės šviesai. Šiuo metu plačiai naudojami FE yra pagaminti iš didelio paviršiaus p-n jungčių (sandūrų) suformuotų silicio puslaidininkyje (4 pav.)



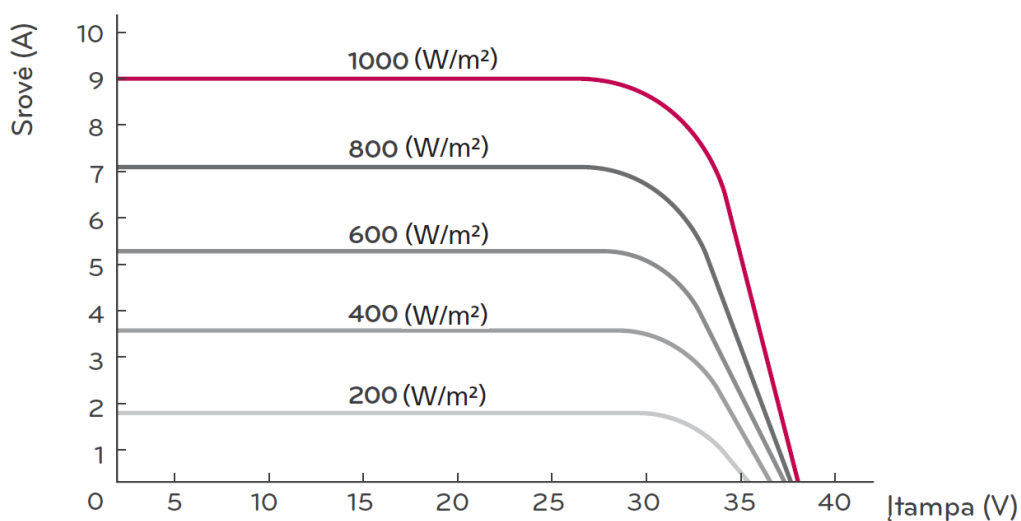
4 pav. Elektros energijos generavimas FM [20]

Apšvietus FE sandūros srityje susidarę laisvi krūvininkai elektronai pernešami per p-n sandūrą į n-tipo Si, o skylutės į p-tipo Si. Pertekliniai elektronai n tipo Si, veikiami susidariusio elektrinio lauko, per metalinį elektrodą juda išorine grandine per apkrovą iki metalo-p-Si kontakto. Pasiekę p-tipo Si, elektronai susitinka su priešinga kryptimi judančiomis skylutėmis ir rekombinuoja. Taip saulės elementai gamina pastovią elektros srovę. Srovė teka tol, kol elementas apšviečiamas saulės šviesa, generuojančia laisvuosius krūvininkus silicyje [19].

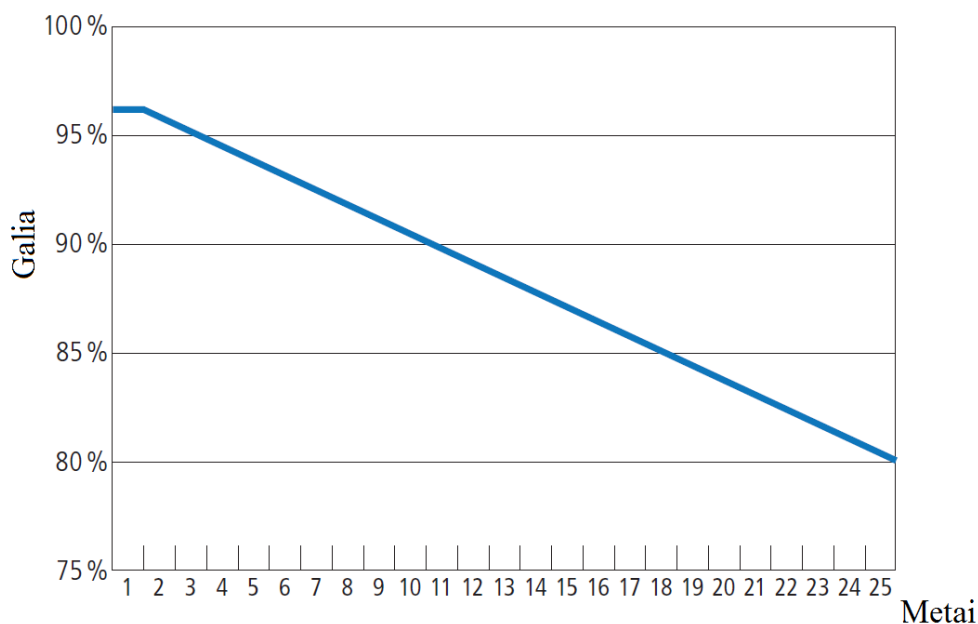
Fotoelektros modulio (FM) gamybai gali būti naudojami įvairaus tipų FE. Priklausomai iš kokių puslaidininkinių medžiagų pagamintas FE, gaunamas tam tikrų parametrų FM. Silicio FE būna Si monokristaliniai, Si polikristaliniai, Si stori polikristaliniai, Si ploni kristalai, Si plonasluoksniai. Monokristalinio Si elementai turi didžiausią naudingumo faktorių iš savo grupės. Silicio FE darbo trukmė yra apie 25 metus. Šiuo metu rinkoje naudojami šio tipo FM ir užima maždaug apie 90 % visos rinkos. FM dar gaminami iš III – V grupės FE. III – V grupės

FE būna GaAs kristaliniai, GaAs plonasluoksniai, GaAs polikristaliniai, InP kristaliniai. FM gaminami ir heterostrukūriniai. Šių FE gamyba kainuoja brangiau, nors kai kurių naudingumo faktorius yra didesnis, nei Si monokristalinio.

FM įtampa priklauso nuo puslaidininkinės medžiagos, iš kurios jis pagamintas, tipo, bet nepriklauso nuo elemento ploto ir labai mažai priklauso nuo apšvietimo intensyvumo. Kintant saulės šviesos intensyvumui, elektros įtampa mažai kinta, tačiau jo srovės stiprumas kinta proporcingai šviesos intensyvumo kitimui. Pateiktame monokristalinio silicio FM charakteristikų grafike (5 pav.) matome kaip srovė, esant modelio temperatūrai +25 °C, kinta nuo apšvitos. Esant 1000 W/m<sup>2</sup> apšvitai, FM pagamins 9 A srovės stiprio ir įtampa bus 36 V. Kai Esant 200 W/m<sup>2</sup> apšvitai FM pagamins apie 1,8 A srovės stiprio ir įtampa bus 35 V. Kiekvienas gamintojas pateikia sertifikatus apie pagamintą produkciją ir jos esamus parametrus. FM galia, be abejo, priklauso ir nuo tarnavimo metų. Laikui bėgant krenta FM naudingumo koeficientas. Šio naudingumo koeficiento kitimą galime matyti pateiktame grafike (6 pav.). Kiekvienais tarnavimo metais prarandamas apie 0,7 % naudingumas. Po 25 metų tas pats FM prie 1000 W/m<sup>2</sup> apšvitos pagamins nebe 9 A srovės stiprio, o 7,65 A srovės stiprio, todėl verta pasiskaičiuoti kada turi būti keičiamas FM.



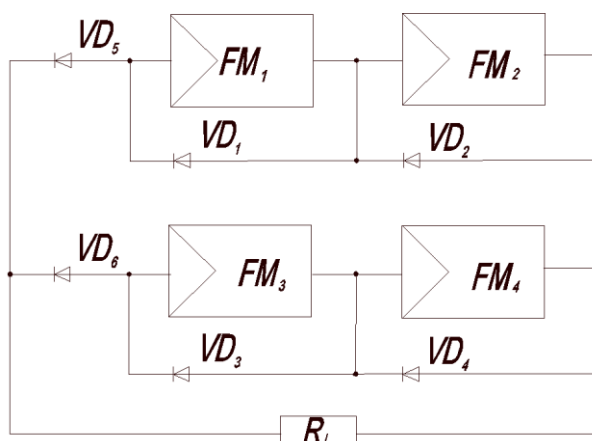
5 pav. Elektros energijos generavimas FM [20]



6 pav. Elektros energijos generavimas FM [21]

#### 4.2. Saulės elektrinės modulynas

Saulės elektrinės susideda iš fotoelektros modulių (FM). Jie neteršia aplinkos ir yra ilgaamžiai. Šiai saulės elektrinei nereikia naudoti jokio kuro ir elektros energija yra gaminama iš saulės teikiamos energijos. FM susideda iš fotoelektros elementų (FE). FE saulės teikiamą energiją paverčia į nuolatinę elektros energiją. FM jungiami lygiagrečiai ir nuosekliai, be to, naudojami šuntavimo ir blokavimo diodai (7 pav.). Jei fotoelektros modulynas naudojamas akumuliatoriams įkrauti, blokuojamieji diodai dar atlieka ir kitą funkciją – neleidžia akumuliatoriams išsikrauti per uždarytą fotoelektros modulių grandinę. Fotomodulių galia sertifikatuose pateikiama esant standartinėmis sąlygomis, kai modelio temperatūra +25 °C, esant standartinei 1000 W/m<sup>2</sup> apšvitai [22].



7 pav. Blokavimo ir šuntavimo diodai mišriame fotoelektros modulyne

FM sujungti lygiagrečiai didins saulės elektrinės srovės stiprį, o nuosekliai - įtampą. Nepaisant to, kaip sujungti FM, saulės elektrinė turi atitinkamus parametrus. Pagal esamą elektrinės galią ir įrengimo vietą Lietuvoje valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija yra nustatiusi atsinaujinančios energetikos išteklių pagamintos elektros energijos kainas (1 lentelė).

1 lentelė

**Lietuvoje valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisijos nustatytos, atsinaujinančios energetikos išteklių pagamintos elektros energijos, kainos. \* ĮG – įrengtoji galia, kW; \*\*\* integruotos į pastatą saulės jėgainės – tokios jėgainės naudojamos kaip dalinis pastato paviršius, visiškai pakeičiantis atitinkamą pastato stogo ar sienos plotą [23]**

Pavadinimas		2014 m. I ketv.	2014 m. II ketv.	2014 m. III ketv.	2014 m. IV ketv.	2015 m. I ketv.
<b>Hidroenergijos jėgainės</b>						
ĮG ≤ 10 Perteklinės energijos supirkimo tarifas	euro ct/kWh	7,82	7,82	7,82	7,82	7,8
	ct/kWh	27	27	27	27	27
ĮG* ≤ 30 supirkimo tarifas 10 < ĮG ≤ 350 Maksimalus tarifas 30 < G ≤ 350 Maksimalus tarifas 350 < ĮG ≤ 1000 Maksimalus tarifas	euro ct/kWh	6,95	6,95	6,95	6,95	7
	ct/kWh	24	24	24	24	24
<b>Vėjo energija</b>						
ĮG ≤ 10 Perteklinės energijos supirkimo tarifas	euro ct/kWh	9,56	8,11	8,11	8,11	7,8
	ct/kWh	33	28	28	28	27
ĮG ≤ 30 Supirkimo tarifas 30 < ĮG ≤ 350 Maksimalus tarifas 10 < ĮG ≤ 350 Maksimalus tarifas	euro ct/kWh	9,27	7,53	7,53	7,53	7,5
	ct/kWh	32	26	26	26	26
<b>Saulės jėgainės (neintegruotos į pastatą)</b>						
ĮG ≤ 10 Perteklinės energijos supirkimo tarifas	euro ct/kWh	16,22	15,64	15,64	15,64	15,6
	ct/kWh	56	54	54	54	54
ĮG ≤ 30 Supirkimo tarifas 30 < ĮG ≤ 100 Maksimalus tarifas 10 < ĮG ≤ 100 Maksimalus tarifas	euro ct/kWh	15,06	14,19	14,19	14,19	14,2
	ct/kWh	52	49	49	49	49

Panagrinėjus 1 lentelėje siūlomas kainas už saulės elektrinėse pagamintą elektros energiją, būtų tikslinga įsirengti elektrinę iki 30 kW. Žiūrint iš ekonominės pusės - tai būtų pelningiausias sprendimas vartotojui parduodant perteklinę elektros energiją į LESTO. Norint turėti elektrinę iki 30 kW galios reiktų 124 vnt. FM po 240 W galios. Tokios galios saulės elektrinė užimtų apie 210 m<sup>2</sup> stogo arba 10 - 12 arų žemės sklypo. Tokie FM elektros energijos per metus pagamintų apie 27000 kWh [24].

Saulės elektrinių trūkumas tas, kad jos tiekiamą galią priklauso nuo metų laiko, saulės apšvitos ir paros laiko. Atliekant stebėjimą, KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto įrengta „Power predictor“ sistema, buvo nustatytas saulės apšvitos intensyvumas. 2014 m. liepos 27 d. (8 pav.) saulės spinduliai FM pasiekė 6.00 val., o jį paliko 21.20 val. Didesnis saulės apšvitos kiekis FM pasiekė 9.40 val. ir kilo iki 14.20 val. Per nepilnas keturias valandas saulės apšvita išaugo nuo 46 W/m<sup>2</sup> iki 607 W/m<sup>2</sup>. Priklausomai nuo saulės apšvitos į vieną FM galima matyti gaminamos srovės stiprio kitimą paroje (10 pav.). Apskaičiuojant srovės stiprį naudojama aproksimuojanti funkcija.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{kaix} \leq 5.55 \\ 0.009 \cdot x - 0.05, & \text{kaix} \geq 5.55 \end{cases}, \quad (1)$$

Ši aproksimuojanti funkcija gaunama iš grafiko 5 pav. Grafike matyti, kad kiekviena kreivė sudaryta iš dviejų tiesių, kurias jungia parabolė. Kairiosios tiesės yra horizontalios x ašiai ir pasiskirsčiusios tolygiai y ašies atžvilgiu, todėl jas aproksimuosime tiesine funkcija  $ax+b$  panaudodami dvi sąlygas:  $f(A,200,0)=1.8$ ,  $f(A,1000,0)=9$ .

Koeficientus a ir b randame išsprendę lygčių sistemą:

$$\begin{cases} a \cdot 200 + b = 1.8 \\ a \cdot 1000 + b = 9 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = 0.09 \\ b = 0 \end{cases}$$

Kiekvienoje kreivėje tiesinis kitimas baigiasi prie skirtingų reikšmių, todėl intervalų galai nėra konstantos.

Visų parbolių pavidalas panašus, todėl visoms pritaikysime vieną aproksimacinę funkciją, skirsis tik intervalo galų reikšmės. Parabolės koeficientams rasti panaudosime šias tris reikšmes:  $f(A,1000,26)=9$ ,  $f(A,1000,30)=8.2$ ,  $f(A,1000,34)=7$ .

Sudarome tiesinių lygčių sistemą parabolės koeficientams rasti:

$$\begin{cases} a \cdot 26^2 + b \cdot 26 + c = 9 \\ a \cdot 30^2 + b \cdot 30 + c = 8.2 \\ a \cdot 34^2 + b \cdot 34 + c = 7 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = -0.01107 \\ b = 0.4111 \\ c = 5.7972 \end{cases}$$

Dešinėje pusėje esančios tiesės taip pat prasideda ir baigiasi skirtinguose taškuose, tačiau visų jų kampas su x ašimi yra beveik vienodas, todėl užtenka sudaryti viena tiesinę aproksimaciją visoms kreivėms. Panaudosime taškus:  $f(A,1000,35)=7$ ,  $f(A,1000,38)=0$ .

Tiesės koeficientus randame išsprendę lygčių sistemą:

$$\begin{cases} a \cdot 35 + b = 7 \\ a \cdot 38 + b = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = -2.3333 \\ b = 88.666 \end{cases}$$

Sudarome bendrą kreivės aproksimacinę funkciją:

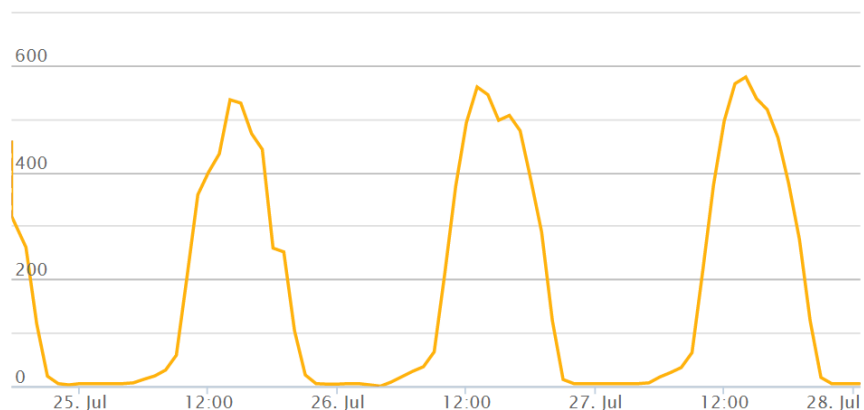
$$f(A, V, W) = \begin{cases} -0.01107 \cdot V^2 + 0.4111 \cdot V + 5.7972, \\ 0.09 \cdot W, \text{ kai } V < 31 - 0.05 \cdot W \\ \text{kai } 31 - 0.05 \cdot W < V < 7.81 \cdot 10^{-6} \cdot W^2 - 8.75 \cdot 10^{-3} \cdot W + 35.44 \\ 88.666 - 2.3333 \cdot V, \text{ kai } V > 7.81 \cdot 10^{-6} \cdot W^2 - 8.75 \cdot 10^{-3} \cdot W + 35.44 \end{cases}$$

$0.09 \cdot W$ , kai  $V < 31 - 0.05 \cdot W$

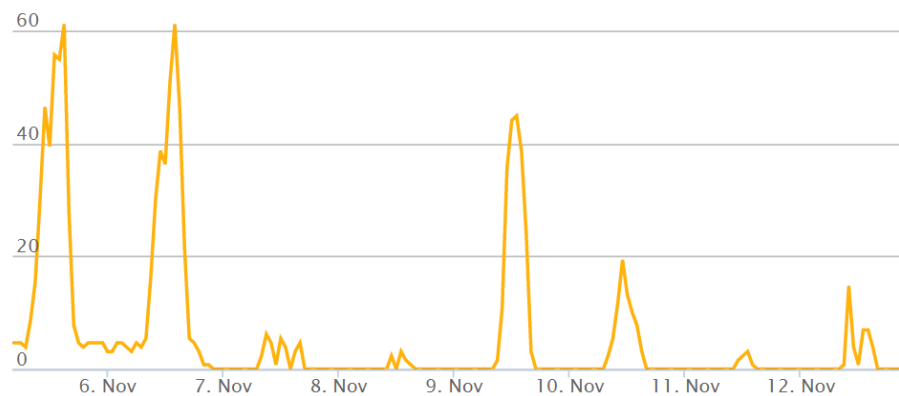
kai  $31 - 0.05 \cdot W < V < 7.81 \cdot 10^{-6} \cdot W^2 - 8.75 \cdot 10^{-3} \cdot W + 35.44$

$88.666 - 2.3333 \cdot V$ , kai  $V > 7.81 \cdot 10^{-6} \cdot W^2 - 8.75 \cdot 10^{-3} \cdot W + 35.44$

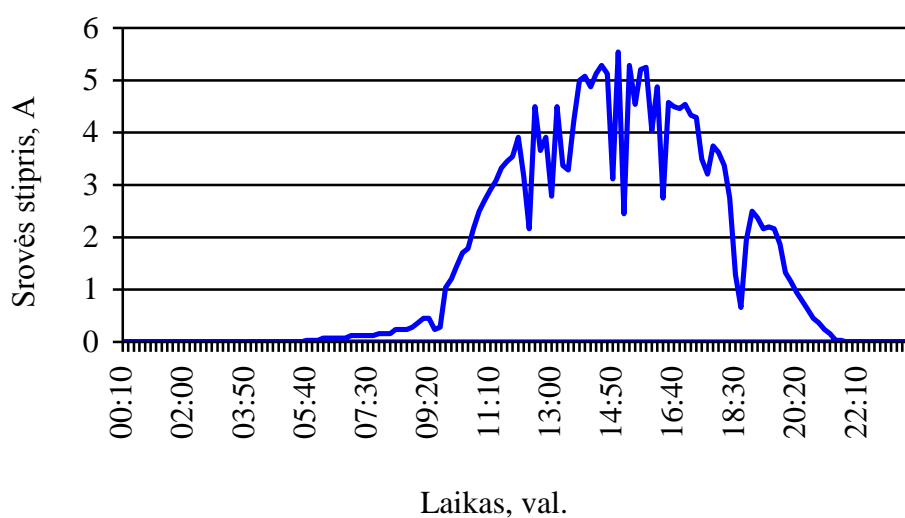
Šiame grafike (10 pav.) matyti, kaip FM reaguoja į besikeičiantį apšvietimą paros metu. Apšvietimas kinta nuo debesuotumo, todėl pagaminamas elektros energijos kiekis yra besikeičiantis. Liepos mėnesį saulės apšvita siekė maksimaliai  $621 \text{ W/m}^2$ , vadinasi maksimalus srovės stipris iš vieno FM būtų apie 5,589 A. Lyginant duomenis gautus lapkričio mėnesį iš grafiko matyti (9 pav.), kad saulės apšvita siekė maksimaliai  $70 \text{ W/m}^2$ , o tai tėra tik 0,63 A. Būta keleta dienų, kai saulės apšvitos beveik visai nebuvo, todėl iš saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekis būtų minimalus arba jo visai nebūtų.



8 pav. Saulės apšvita liepos mėnesį



9 pav. Saulės apšvita lapkričio mėnesį



10 pav.FM gaminamas srovės stiprio kitimas paroje liepos mėnesį

#### IŠVADOS:

1. Saulės elektrinės gaminama elektros energija priklauso nuo apšvitos bei instaliavimo sąlygų;
2. Saulės elektrinės generuojamos elektros energijos galia nėra pastovi;
3. Saulės elektrinės įrengimas užima nemažą vietovės plotą.
4. Saulės elektrinių eksplotavimo laikas yra ilgiau nei 25m.
5. Pagal pasirinktą saulės elektrinę galima paskaičiuoti pagaminamos elektros energijos kiekius, priklausančius nuo Saulės apšvitos.



## 5. VĖJO ELEKTRINĖ MIKROTINKLE

### 5.1. Vėjo energijos charakteristikos

Saulės spindulių energija patekusi į mūsų Žemės atmosferą įšildo dirvožemį, vandenį, pastatus ir kitus objektus, taip suteikdama jiems tam tikrą temperatūrą. Kai mūsų planeta nasisuka nuo saulės spindulių, tada viskas pradeda vėsti. Dėl temperatūrų skirtumo atsiranda oro masių judėjimas. Vėjo energijos kiekis yra antras po saulės energijos, todėl verta naudoti šią atsinaujinantį energijos išteklių elektros energijos gamybai mikrotinkle. Projektuojamas mikrotinklas gali būti įrenginėjamas mieste, kaime ar laukuose. Todėl vėjo greičiams didelę įtaką turi esančios kliūtys ant žemės paviršius arba reljefas. Vėjo energetikoje dažnai vartojamos tokios sąvokos, kaip vietovės paviršiaus nelygumo klasė arba nulinis lygis. Nelygumo klasė ir nulinis lygis yra tarpusavyje susiję dydžiai. Nulinis lygis nusako aukštį nuo žemės paviršiaus, kuriame vėjo greitis teoriškai lygus nuliui [25].

2 lentelė

**Paviršiaus nelygumo įvertinimo parametrai [26]**

Nelygumo klasė $K_{RF}$	Nulinis lygis $z_0$ m	Energinis indeksas $k_E$ %	$\beta$	Paviršiaus tipas
0	0,0002	100	0,01	Vandens paviršius
0,5	0,0024	73	0,077	Atvira vietovė su lygiu paviršiumi, pvz., keliai, oro uostai, ganyklos ir t.t.
1	0,03	52	0,12	Atvira retų kalvų apsupta žemės ūkio vietovė, be tvorų ir medžių su retai pasitaikančiais pastatais.
1,5	0,055	45	0,145	Kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug 0,125 kvadratinio kilometro plotą.
2	0,1	39	0,16	Kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug 0,5 kvadratinio kilometro plotą.
2,5	0,2	31	0,2	Kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti maždaug 1 kvadratinio kilometro plotą.
3	0,4	24	0,28	Kaimo gyvenvietė, nedideli miesteliai, sodai ir miškai.
3,5	0,8	18	0,375	Dideli miestai su aukštais pastatais.
4	1,6	13	0,46	Labai dideli miestai su aukštais pastatais ir dangoraižiais.

Vėjo greitis kylant aukštynei nuo žemės paviršiaus vis didėja. Reljefo nelygumai ar esančios kliūtys ant žemės paviršiaus turi vis mažesnę įtaką vėjo greičiui. Vėjo energetikoje pagrindiniai parametrai yra akimirkinis vėjo greitis, vidutinis metinis vėjo greitis, vėjo pasirodymo tikimybė, vėjo galia ir vėjo energija. Vėjo galia yra taip pat akimirkinis vėjo parametras. Vėjo galia, praeinanti pro ploto vienetą, vadinama vėjo energijos potencialu arba vėjo galios tankiu. Per ploto vienetą judančio oro srauto galia priklauso nuo vėjo greičio ir oro tankio.

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot v^3, \quad (2)$$

Čia  $P$  – vėjo galia ploto vienetui, matuojama  $W/m^2$ ,  
 $\rho$  – oro tankis,  $kg/m^3$ ,  
 $v$  – vėjo greitis,  $m/s$ .

Vėjo galia ploto vienetui (galios tankis) yra parametras, rodantis, kokia oro srauto galia praeina per plokštumos, statmenos vėjo kryptčiai, kvadratinį metrą. Jeigu pučia pastovaus greičio  $v$  vėjas ir oro tankis yra pastovus, tai per tam tikrą plotą  $S$  pratekėjusią oro srauto energiją arba, trumpiau sakant, vėjo energiją  $E$  per laiką  $t$  galima apskaičiuoti taip:

$$E = 0.5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S \cdot t, \quad (3)$$

Vėjo galios ploto vienetui formulėje matyti, kad vėjo galia proporcinga oro tankiui, kuris priklauso nuo oro temperatūros ir atmosferos slėgio, siūlomo skaičiuoti pagal formulę:

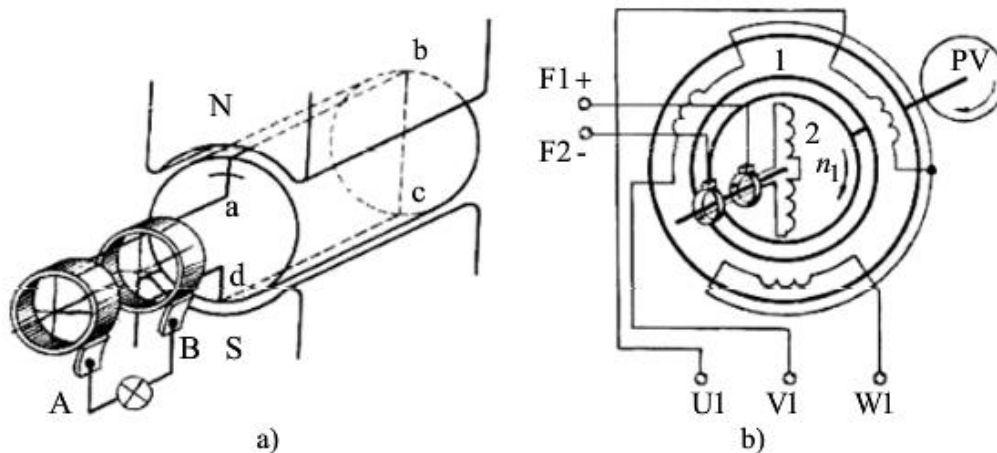
$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T}, \quad (4)$$

čia  $\rho_0 = 1,204 \text{ kg/m}^3$  – santykinis oro tankis prie normalių klimatinų sąlygų,  
 $p$  – atmosferos slėgis,  $kPa$ ,  
 $p_0$  – normalių klimatinų sąlygų atmosferos slėgis ( $101,3 \text{ kPa}$ ),  
 $T$  – oro temperatūra,  $K$ ,  
 $T_0$  – normalių klimatinų sąlygų oro temperatūra ( $293 \text{ K}$ ) [26].

## 5.2. Mažosios vėjo elektrinės sandara

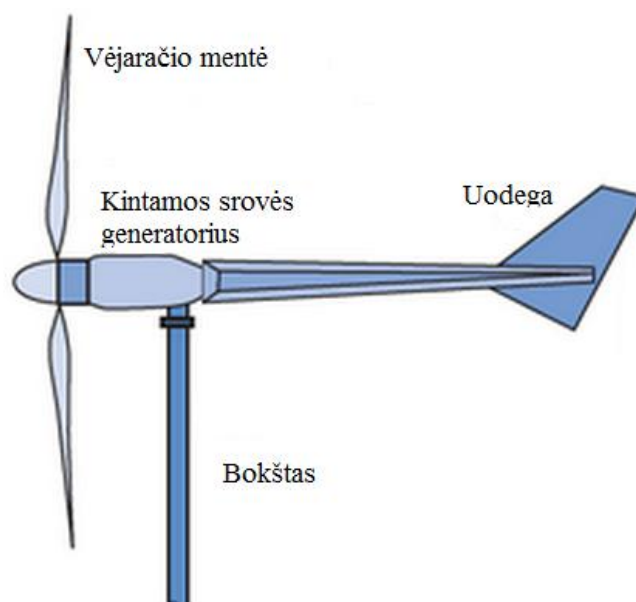
Sinchroninė elektros mašina – tai kintamos srovės elektro mašina, kurios rotoriaus sukimosi greitis nepriklauso nuo apkrovos ir lygus sinchroniniam greičiui. Sinchroninės mašinos veikimą paprasčiausia paaiškinti naudojant elementarų kintamosios srovės generatoriaus modelį (11 pav. a) ir trifazio generatoriaus schemą. Sukant viją nuolatiniame magnetiniame lauke, joje sužadinama vidinė kintamoji įtampa, kuri per žiedų - šepečių kontaktus prijungta prie apkrovos. Vietoj vienos vijos sudėjus tris (išdėstytas  $120^\circ$  kampų), gautume trifazę įtampą. 13 paveiksle, b žadinimo apvija yra induktoriuje 2, trifazė apvija inkare 1. Tokia konstrukcija racionaliausia

didelės galios sinchroninėse mašinose, nes, įtaisius trifazę apviją sukioje dalyje, reiktų per kontaktinius žiedus perduoti dideles sroves, kai įtampa aukšta. Šiomis sąlygomis kontaktinių žiedų ir šepečių darbas būtų labai nepatikimas, o energijos nuostoliai šepečių pereinamajame kontakte – dideli. Žadinimo apvijų galia yra gerokai mažesnė, įtampa ne aukštesnė kaip 450 V, o energijos nuostoliai nedideli [27].



11 pav. Sinchroninio generatoriaus modelis: a – paprasčiausias kintamos srovės generatoriaus modelis; b – trifazio generatoriaus schema [28]

Mažosios vėjo elektrinės sandara yra paprastesnė nei didžiųjų vėjo elektrinių. Mažosios vėjo elektrinės susideda iš vėjaračio mentės, kintamosios srovės generatoriaus, uodegos ir bokšto ant kurio viskas sumontuota (12 pav.). Pučiant vėjui uodega reguliuoja vėjo elektrinės kryptį taip, kad vėjas pūstų tiesiai į vėjaračio mentes. Vėjo kinetinė energija perduoda jėgą į vėjaračio mentes ir tokiu būdu jos pradeda sukstis. Vėjo energija paverčiama mechanine energija ir sukimasis perduodamas generatoriaus rotoriumi. Tokiu būdu pradama gaminti elektros energija esančiame generatoriuje. Mažosios vėjo elektrinės yra mažo galingumo, todėl sinchroniniai generatoriai būna su nuolatinais magnetais. Tokio tipo vėjo elektrines galima naudoti mikrotinkle.



12 pav. Mažosios vėjo elektrinės sandara [28].

### 5.3. Vėjo elektrinės charakteristikos

Vėjo greičiai vyraujantys vietovėje pateikiami vėjo atlasuose [29; 30]. Juose skirtingomis spalvomis atvaizduoti metiniai vidutiniai vėjo greičiai (13 pav.). Dažniausiai vėjo greičiai nurodyti 10 m aukštyje prie paviršiaus šiurkštumo klasės 2 [31]. Bet technologijoms žengiant į priekį buvo galima pradėti matuoti ir didesniame aukštyje. Lietuvos teritorijoje 50 metrų aukštyje surinkti duomenys buvo perduoti apibendrinti Danijos Risoe laboratorijai. Jie sukūrė pagal Wind Atlas metodiką Baltijos šalių vėjo atlasą ir 2003 metų gale plačiai pristatė visuomenei [32].

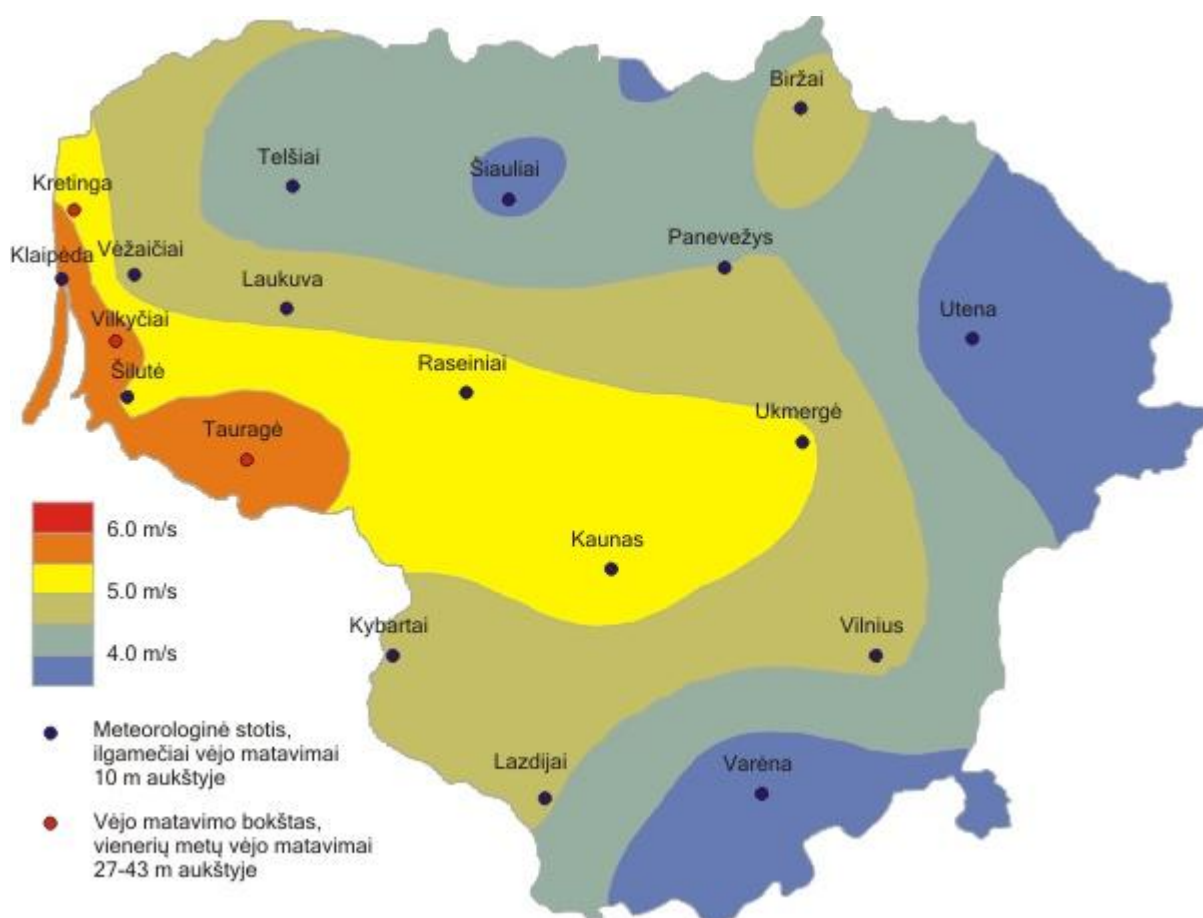
Sudarytame Lietuvos vėjo atlase ir pagal surinktus meteorologinius duomenis, galime matyti vėjo greičius 10 m ir 50 m aukščiuose (3 lentelė).

3 lentelė

**Vėjo greičių metiniai vidurkiai 10 m. ir 50 m. aukštyje [32]**

Miestas	Vėjo greitis 10 m. aukštyje, m/s	Vėjo greitis 50 m. aukštyje, m/s
Klaipėda	4,55	6,14
Kaunas	3,93	5,31
Panevėžys	3,34	4,50
Utena	2,64	3,57

Galime pastebėti, kad vėjo greičiai skiriasi pajūrio regione ir mieste. Tai matyti ir vėjo atlase. Pagal vėjo atlaso spalvas galima apytiksliai nustatyti vėjo greitį 10 m aukštyje. Konkrečiam atvejui reikia individualių tyrimų.



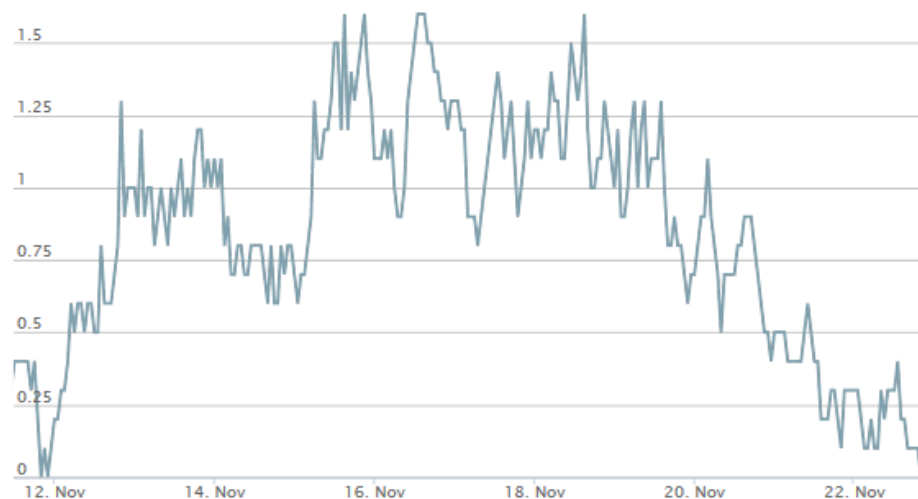
13 pav. Vėjo greičio metiniai vidurkiai 10 m. aukštyje atlasas [31]

Atliekant stebėjimą, KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto įrengta „Power predictor“ sekimo sistema, buvo nustatytas vėjo greitis 6 m aukštyje. Liepos mėnesį stebėtoje vietovėje vėjai yra silpni (14 pav.). Jų stipris yra nuo 0 m/s iki 0,7 m/s, o gūšiais ir iki 2,4 m/s, bet tai tik akimirksninis vėjo greitis. Tyrinėjant liepos 27 d. naktį nuo 0.00 val. iki 5.00 val. vėjo greitis buvo apie 0,3-0,4 m/s. Vėliau jis neženkliai pradėjo stiprėti ir nuo 11.40 val. iki 15.30 val., tuo metu vėjo greitis siekė 1,0-1,3 m/s. Po 15.30 val. vėjo greitis pradėjo mažėti ir 21.10 val. jis tapo 0 m/s. Esant tokiems vėjo greičiams nėra prasmės įrenginėti vėjo elektrinės, kadangi negamins elektros energijos. Be to, vėjo greičiai yra nepastovūs.

Atliekant stebėjimą lapkričio mėnesį toje pačioje vietovėje vėjai yra šiek tiek stipresni negu liepos mėnesį (15 pav.). Jų stipris yra nuo 0,7 m/s iki 1,7 m/s. Tyrinėjant lapkričio 17 d. naktį nuo 0.00 val. iki 10.20 val. vėjo greitis buvo apie 0,8-1,4 m/s. Vėliau jis šiek tiek sustiprėjo ir nuo 10.20 val. iki 24.00 val. vėjo greitis siekė 1,0-1,4 m/s. Vėjuotumas lapkričio mėnesį yra didesnis nei liepos mėnesį tačiau, tokių vėjo greičių vis tiek nepakanka mažajai vėjo elektrinei įrengti.



14 pav. Vėjo greitis liepos mėnesį



15 pav. Vėjo greitis lapkričio mėnesį

Atlikus stebėjimą vėjo stebėjimo stotyje įrengtoje ant pastato stogo KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto, galima pastebėti, kad vėjo greičiai yra per maži norint efektyviai išnaudoti vėjo elektrines (4 lentelė), taip pat nebus generuojama galia. Tokiu atveju teoriškai reikia perskaičiuoti į kokį aukštį reikėtų kelti vėjo elektrinę, kad gautume tinkamą vėjo greitį. Norint apskaičiuoti pradinį vėjo greitį tam, kad būtų galima pasukti vėjo turbiną, reikalinga nustatyti naują aukštį 3 m/s vėjo greičiui.

Norint nustatyti koks vėjo greitis bus kitame aukštyje, naudojama formulė:

$$V_{i2} = V_{i1} \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^{(\beta)}, \quad (5)$$

kur  $V_{11}$  žinomas vėjo greitis aukštyje  $h_1$ ,  $V_{12}$  – apskaičiuotas vėjo greitis,  $h_2$  – pasirinktas aukštis,  $\beta$  - šiurkštumo koeficientas. Koeficientas  $\beta$  priklauso nuo žemės paviršiaus šiurkštumo arba nulinio lygio (aukščio nuo žemės paviršiaus, kuriame teorinis vėjo greitis lygus nuliui) [33].

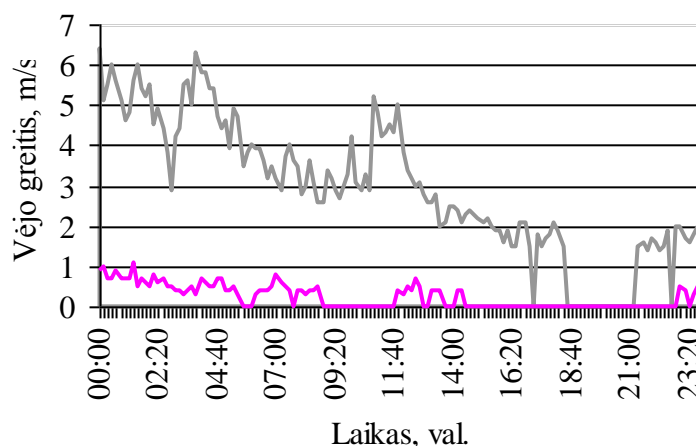
Taigi, aukštas  $h_1=6$  m. Išmatuotą vėjo greitį tame aukštyje  $V_{11}=1,2$  m/s. Šiurkštumo koeficientą dideliems miestams su aukštais pastatais (2 lentelė)  $\beta=0,375$ . Apskaičiavus rezultatą pagal formulę išsiaiškinta, kad vėjo greitis  $V_{12}=3,0$  m/s bus aukštyje  $h_2=70$  m. Pagal tokius gautus duomenis, galima teigti, jog stebėjimo vieta yra parinkta netinkama ir esant tokiems teoriniams vėjo greičiams neverta įrenginėti mažosios vėjo elektrinės.

4 lentelė

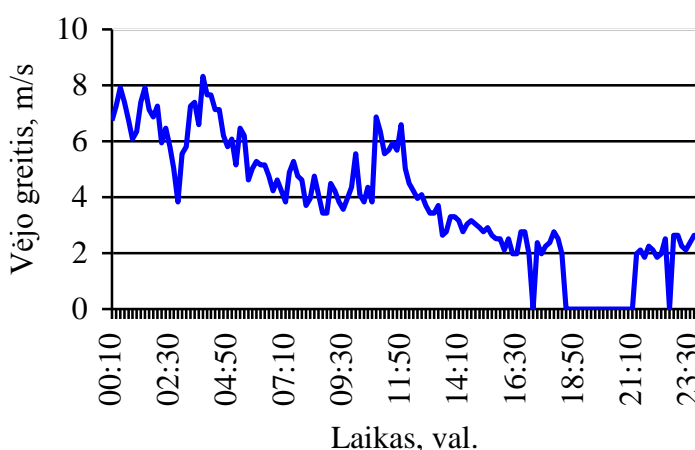
#### Vėjo jėgainių galios ir greičio charakteristikos

Nominali vėjo elektrinės galia, kW	Maksimali vėjo elektrinės galia, kW	Pradinis vėjo greitis, m/s	Darbinis vėjo greitis, m/s	Maksimalus vėjo greitis, m/s
0,3	0,33	2,5	11,0	60,0
1,0	1,1	2,5	10,8	35,0
3,0	3,1	3,2	12,0	60,0
5,0	5,6	3,0	12,0 – 25,0	50,0
10,0	11,0	3,0	11,0 – 25,0	50,0
30,0	31,0	3,0	25,0	50,0

2015 m. sausio mėn. 6 d. buvo gauti duomenys apie vėjo greičių kitimus paros metu, esančius 10 m aukštyje, iš Panevėžio hidrometeorologinės stoties (PHMS), esančios adresu: Nevėžio g. 14, Dembavos k., Velžio sen., Panevėžio r. ir KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto (KTUPTVF) vėjo greičio matavimo ir saulės apšvitos sekimo įrangos 6 m aukštyje. Šie duomenys buvo sulyginti (16 pav.). Nagrinėjant vėjo greičių grafikus galima pastebėti, kad vėjo greitis proporcingai mažėja abiejose kreivėse. Kai vėjo greitis būna PHMS mažesnis nei 3,5 m/s, tada KTUPTVF esantis vėjo greičio matuoklis rodo 0 m/s greitį. Gauti duomenys iš PHMS rodo, jog vėjo greičiai yra pakankami vėjo elektrinei įrengti. Nepamirškime ir tai jog firmų, siūlančių vėjo elektrines, stiebo aukščiai yra nemaži. Pavyzdžiui 5 kW elektrinės stiebo aukštis yra 18 m [34], be to dar reiktų pridėti vėjaračio menties ilgį. Jų ilgis būna maždaug apie 3-3,5 metro. Tokiu atveju mūsų mažosios vėjo elektrinės aukštis nuo žemės siekia 21 m. Atsižvelgiant į tai, kad mūsų mieste daugiausiai dominuoja penkiaaukščiai namai ir jų aukštis apytiksliai siekia apie 15 metrų – tai vėjo elektrinės būtų įrengiamos ant penkiaaukščio namo stogo. Iš 10 m aukščio vėjo greičius perskaičiavus į 21 m aukštį, gauname didesnius vėjo greičius (17 pav.).



16 pav. Vėjo greičio kitimas paros metu ( — — — Combined wind sensor WMS 302 (angl. – kompleksinis vėjo jutiklis WMS 302); — — — Power Predictor (ang. – galios prognozavimas))



17 pav. Perskaičiuotas PHMS vėjo greičio kitimas paros metu 21 m aukštyje.

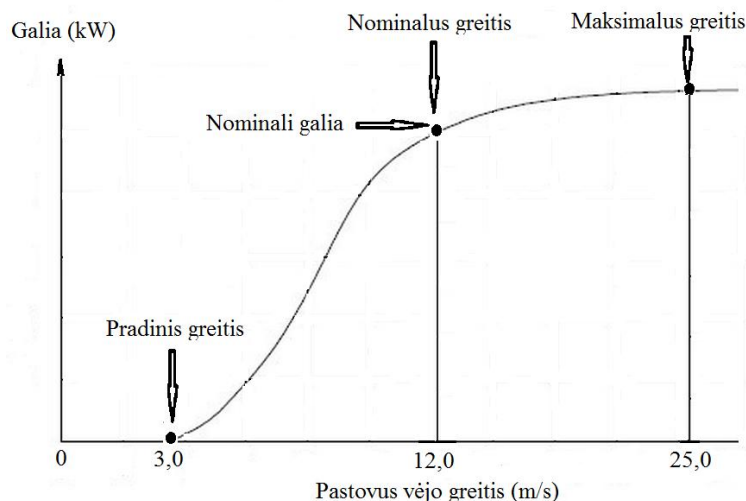
Norint įrengti vėjo elektrinę reikia įvertinti tris vėjo greičio taškus galios kreivėje (18 pav.). Šie taškai apibūdina turbinos darbą.

1) Pradinis vėjo greitis. Tai yra mažiausias greitis, kada vėjo turbina gali generuoti energiją. Paprastai mikro vėjo turbinoms šis dydis siekia apie 3 m/s.

2) Optimalus vėjo greitis. Tai greitis, kai turbina gali generuoti savo vardinę galią. Tas greitis neretai būna 10 m/s.

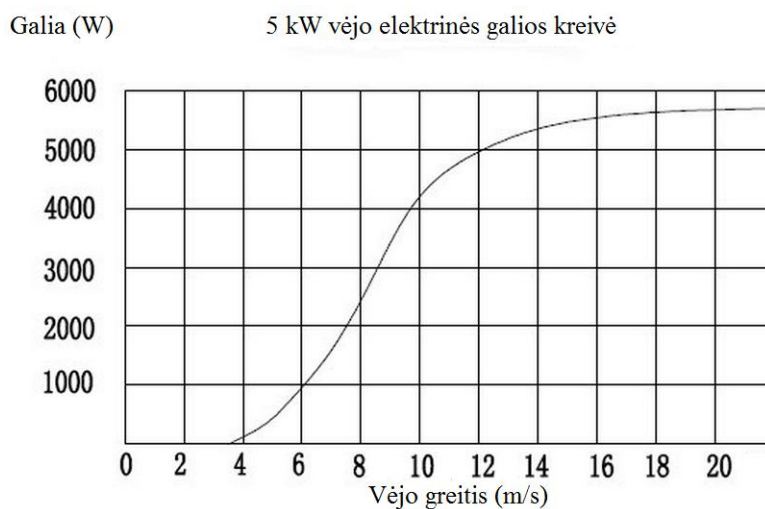
3) Maksimalus vėjo greitis. Tai greitis, kai vėjo turbina yra stabdoma norint išvengti pažeidimų [35; 36].





18 pav. Vėjo elektrinės galios kreivė, kai pastovus vėjo greitis

Mikrotinkle gali būti įvairių galingumų vėjo elektrinių. Galima naudoti mažos galios (iki 30 kW) vėjo elektrines arba didesnės galios vėjo elektrines. Didesnės galios vėjo elektrinėms reikia didesnių aukščių. Daugeliui potencialių vartotojų nėra galimybės įsigyti didelės galios vėjo elektrinių, kadangi jų kaina yra pakankamai aukšta. Pavyzdžiui, siūlomos 100 kW su visa reikalinga įranga vėjo elektrinės pastatymo kaina siekia apie 203000,00 Eur. [37]. 5 kW vėjo elektrinė preliminariai kainuotų apie 14000,00 Eur. [38]. 5 kW galingumo vėjo elektrinės charakteristikos pateiktos 19 pav.



19 pav. 5 kW vėjo elektrinės galios kreivės charakteristikos nuo besikeičiančio vėjo greičio

[39]

Pagal pateiktos 5 kW vėjo elektrinės galios kreivės charakteristikas (17 pav.) galime sudaryti grafiką, kuriame aiškiai matosi kiek pagaminama elektros energijos galios (20 pav.). Apskaičiuojant pagaminamos elektros energijos galią naudojama aproksimuojanti funkcija.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{kai } x \leq 3.65 \\ x^2 - 250x - 20, & \text{kai } 3.65 \leq x \leq 9, \\ \frac{-28071.8}{2^{0.38935x}} + 5874.077, & \text{kai } x \geq 9 \end{cases} \quad (6)$$

Ši aproksimuojanti funkcija gaunama iš grafiko 19 pav. Grafike matyti, kad skirtinguose ruožuose kreivė  $f(x)$  kinta pagal skirtingus dėsnius. Padalinkime kreivę į tris sritis: nuo 0 iki 3.65, nuo 3.65 iki 9, nuo 9 iki 22. Pirmoje srityje galios kreivės reikšmė lygi nuliui. Antrajame ruože kreivė panaši į parabolę, todėl kreivę aproksimuosime antros eilės daugianariu:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Koeficientų  $a, b, c$  apskaičiavimui panaudosime tris žinomus taškus: reikšmes intervalo galuose bei intervalo viduryje. Naudosime  $f(3,65)=0$ ,  $f(6)=1000$ ,  $f(9)=3400$ .

Sudarome trijų tiesinių lygčių sistemą:

$$\begin{cases} a \cdot 3.65^2 + b \cdot 3.65 + c = 0 \\ a \cdot 6^2 + b \cdot 6 + c = 1000 \\ a \cdot 9^2 + b \cdot 9 + c = 3400 \end{cases}$$

Išsprendę šią tiesinių lygčių sistemą gauname  $a, b, c$  reikšmes:

$$a=70, b=-250, c=-20$$

Todėl antrojo ruožo aproksimacinė funkcija yra:

$$70 \cdot v^2 - 250 \cdot v - 20$$

Trečiajame ruože kreivė panaši į atvirkštinę rodyklinę funkciją, todėl kreivę aproksimuosime funkcija, kurios pavidalas:

$$\frac{a}{2^{b \cdot x}} + c$$

Koeficientų  $a, b, c$  apskaičiavimui panaudosime tris žinomus taškus iš trečiojo intervalo. Naudosime  $f(9)=3400$ ,  $f(16)=5500$ ,  $f(22)=5800$ .

Sudarome trijų netiesinių lygčių sistemą:

$$\begin{cases} \frac{a}{2^{b \cdot 9}} + c = 3400 \\ \frac{a}{2^{b \cdot 16}} + c = 5500 \\ \frac{a}{2^{b \cdot 22}} + c = 5800 \end{cases}$$

Išsprendę šią tiesinių lygčių sistemą gauname a,b,c reikšmes:

$$a=-28071.8, b=0.389351, c=5874.077$$

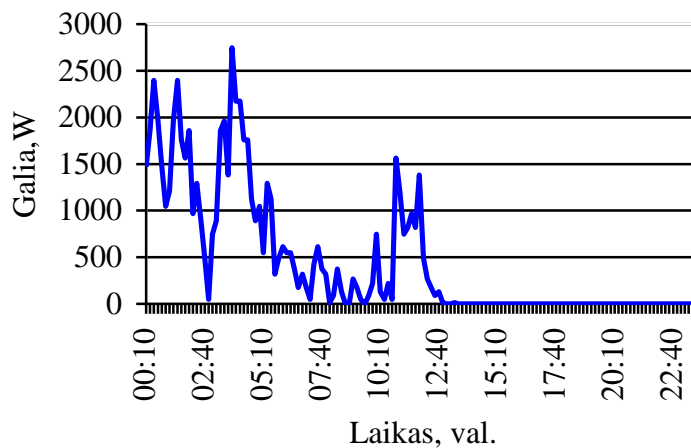
Todėl trečiojo ruožo aproksimacinė funkcija yra:

$$\frac{-28071.8}{2^{0.389351 \cdot v}} + 5874.077$$

Bendra visos kreivės funkcija bus:

$$f(v) = \begin{cases} 0, & \text{kai } v < 3.65 \\ 70 \cdot v^2 - 250 \cdot v - 20, & \text{kai } 3.65 \leq v \leq 9 \\ \frac{-28071.8}{2^{0.389351 \cdot v}} + 5874.077, & \text{kai } v > 9 \end{cases}$$

Kai vėjo greitis yra 8,45 m/s, tai elektrinė gamina 2868 W elektros energijos. Jeigu vėjo greitis yra 5,02 m/s tai elektrinė gamina 489 W. O jeigu vėjo greitis yra 2,8 m/s elektrinė pagamins tik 13 W. Vadinasi, pagal esamą vėjo greitį, bendras paros pagamintas elektros energijos kiekis yra 11269 W - tai per vieną valandą vidutiniškai būtų apie 470 W. Suprantama, kad elektros energiją reikia kaupti baterijose, kadangi vėjas yra kintantis. Tokiu atveju galima paimti energijos, kai vėjas nesuks vėjo elektrinės arba kai reikės didesnio elektros energijos galios.

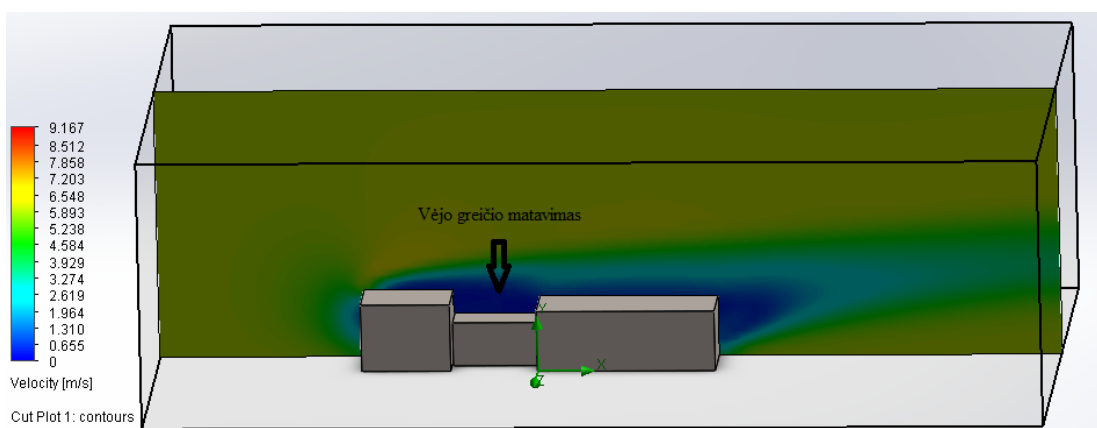


20 pav. 5 kW vėjo elektrinės gaminamos elektros galia 21 m. aukštyje

#### 5.4. Vietovės tyrimas naudojant programinį paketą „SolidWorks Explorer 2014“

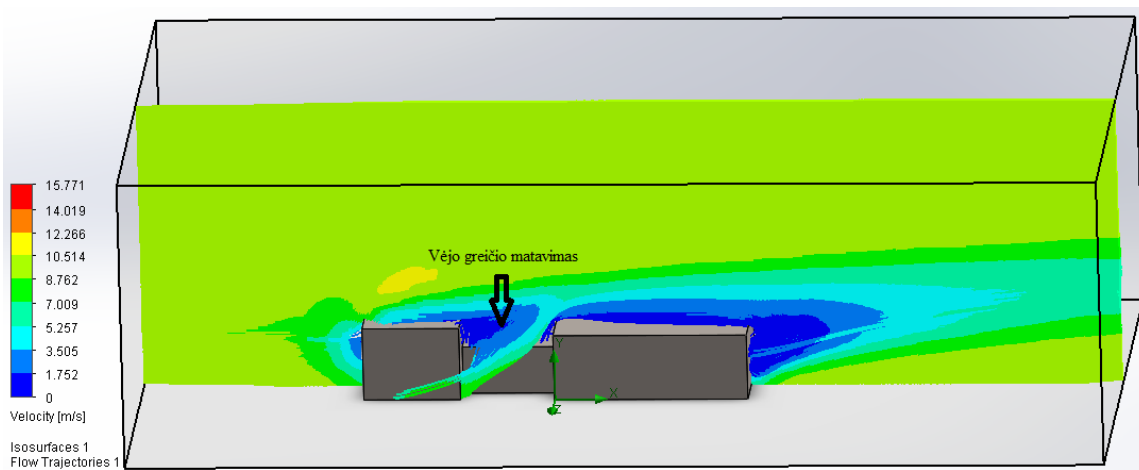
Kuriant mikrotinklą bei siekiant racionaliai išnaudoti vietovės infrastruktūrą galima įvertinti vietovę su joje esančiomis kliūtimis, krentančiais šešėliais ar kitais faktoriais, įtakančiais saulės jėginių, hidroelektrinių ar vėjo elektrinių pastatymu.

Naudojant „Solid Works Explorer 2014“ programinį paketą buvo sumodeliuotas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto pastatas ant kurio stogo įrengta „Power predictor“ sistema vėjo greičio ir saulės apšvitos matavimui. Modeliuojant pastatų grupę nebuvo vertintas pastatų šiurkštumo paviršius. Oro temperatūra 23 °C, o slėgis 101325 Pa. Taipogi nebuvo vertinamos ir aplinkinės kliūtys, kurias sudaro pastatai ar medžiai. Sudarius pastato modelį ir įvedus frontinį vėjo greitį 5m/s bei kitus parametrus gauti vėjo greičiai, kurie keičiasi priartėjus prie pastato (21 pav). Gautame paveikslėlyje aiškiai matyti, kad toje vietoje, kur įrengta „Power predictor“ sekimo sistema, vyraujantys vėjo greičiai yra nuliniai. Iš gautų duomenų (14-15 pav.) matyti, kad vėjo greitis yra nedidelis arba nulinis.



21 pav. Sumodeliuota KTUPTVF pastatų grupė kur vėjo greitis 5 m/s

Su tokiais pačiais parametrais, tik pakeitus frontinį vėjo greitį 10 m/s, buvo gautas 22 pav. Gautame paveikslėlyje aiškiai matyti, kad vėjo greitis kinta būdamas netoli pastato, kadangi jis atsimuša į kliūtį. Toje vietoje kur įrengta „Power predictor“ sistema atsiranda didesni vėjo greičiai, kurie siekia iki 3 m/s., bet išlieka vietų kur vėjo greičiai yra nuliniai. Pastebėta, kad modeliuotos vietovės maketas ir gauti duomenys yra pakankamai tikslūs bei atitinka gautus duomenis su „Power predictor“ sistema. Atsižvelgiant į tai, kad sumodeliuoti vėjo greičiai atitinka realius vėjo greičius patartina modeliuoti ir kitų elektrinių įrengimo vietos modelį. Tokiu būdu galima sutaupyti pakankamai daug laiko netyrinėjant netinkamų vietų vėjo elektrinėms, saulės elektrinėms ar hidroelektrinėms įrengti.



22 pav. Sumodeliuota KTUPTVF pastatų grupė kur vėjo greitis 10 m/s.

### IŠVADOS:

1. Naudojant mikrotinkle vėjo elektrines būtina įvertinti vėjo greičius.
2. Vėjo greičiai turi būti apskaičiuoti tame aukštyje, kuriame bus vėjo elektrinė.
3. Būtina atsižvelgti į vietovės paviršiaus nelygumus.
4. Pagal pasirinktą vėjo elektrinę ir toje vietovėje vyraujančius vėjo greičius galima paskaičiuoti pagaminamos elektros energijos kiekius.
5. Parenkant mikrotinklo lokalią vėjo elektrinę, saulės elektrinę ar hidroelektrinę vietą patartina modeliuoti poveikius su programiniu paketu „Solid Works Explorer 2014“.

## 6. HIDROELEKTRINĖ MIKROTINKLE

### 6.1. Hidroelektrinės charakteristikos

Hidroelektrinė – tai elektros energijos gamybos įrenginys, kuriame mechaninę energiją elektros energijai gauti sukuria krentančio vandens sukama vandens turbina, sujungta su elektros energiją gaminančiu generatoriumi. Hidroelektrinės potencinė energija dažniausiai sukaupiama užtvankus upes. Hidroelektrinės gaminama elektra yra pigesnė už gaminamą šiluminėje elektrinėje, nepaisant to, kad brangiai kainuoja užtvankos statyba, nes naudoja praktiškai nemokamą kurą. Be to, vanduo yra atsinaujinantis energijos šaltinis, leidžiantis pagal galimybes sumažinti dažniausiai importuojamų kuro rūšių – anglių, naftos produktų ir gamtinių dujų poreikius energijos gamybai. Elektros gamyba hidroelektrinėje neteršia aplinkos. Hidroelektrinės agregatus galima greitai įjungti ir išjungti pagal elektros energijos poreikio padidėjimą ar sumažėjimą [40].

Apie sėkmingą hidroelektrinės darbą byloja ir A. Rimšos pasakojimas apie tėvo statytą hidroelektrinę 1937 m. Ši hidroelektrinė veikė be gedimų 26 metus po 10 mėn. kasmet, o vandens debetas siekė 1 m<sup>3</sup>/s. Toje hidroelektrinėje buvo sumontuotos dvi turbinos. Viena jų – mažesnioji, kuri plokščio diržo pavara suko 220 V įtampos 1,4 kW galios pastovios srovės generatorių ir buvo naudojama sodybos pastatų apšvietimui. Kita, per kūginių krumpliaračių reduktorių suko horizontalią transmisiją, o nuo jos plokščio odinio pavara – girnas arba pastovios srovės 220 V 10 kW galios elektros generatorių. Jo tiekiama elektros energija sodyboje buvo naudojama esantiems elektros varikliams. Ši hidroelektrinė gyvavo iki 1963 m., kol jos neišgriovė melioracininkai. Ši maža hidroelektrinė buvo pajėgi aprūpinti 18 ha dydžio ūkio poreikius ir dar malti apylinkės ūkininkų atvežamus grūdus [41].

Hidroelektrinę buvo planuota statyti ir Panevėžyje. Apie tai byloja straipsnis vieno iš Lietuvos leidinio „Respublika“ priede „Pastogė“. Jame rašoma: „Panevėžyje, prie „Ekran“ tvenkinio, siūloma statyti atsinaujinančios energijos kompleksą – hidroelektrinę“ [42].

Norint paskaičiuoti hidroelektrinės pagaminamą energiją per laiko vienetą naudojama galios formulė [43]:

$$P = 9.81 \cdot Q \cdot H , \quad (7)$$

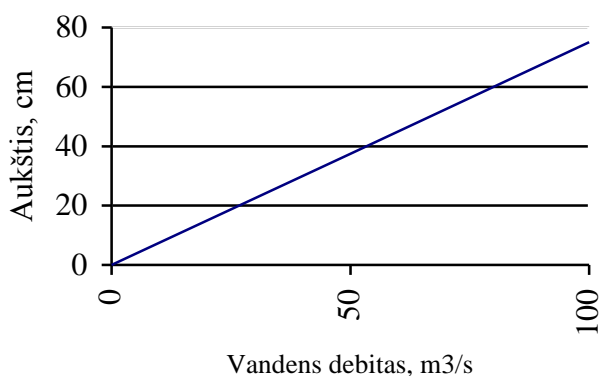
čia Q - upe tekančio vandens debitas (m<sup>3</sup>/s),

H – statinis slėgio aukštis (m).

Nedidelio galingumo „Cappa“ hidroelektrinė gali būti panardinta nedideliame gylyje ir gaminti 250 W elektros energiją, 50-60 Hz dažniu ir tiekti 100 VAC (kintamos srovės) [44]. Upės greitis turėtų būti 2 m/s. Yra mažų plūduriuojančių hidroelektrinių, kurios būna ant vandens paviršiaus kaip pontonai. Pavyzdžiui siūlomos firmos „GreenEnergyResearch“ mažoji hidroelektrinė „Hydrocat“, bet tokioms hidroelektrinėms reikalingas didesnis upės tekėjimo greitis, kuris būtų nuo 1 m/s iki 4 m/s [45]. Jose yra sumontuotos sparnuotės, kurias suka upės vandens tekėjimas. Sparnuočių sukimo judesys perduodamas generatoriui, kuris pagamina elektros energiją. Tokio tipo hidroelektrinė nesukelia upės vandens lygio ir nesudaro potvynių.

Nevėžio upės tekėjimo greitis ties Panevėžiu yra apytiksliai apie 0,12-0,38 m/s. Todėl norint įrengti mažąją hidroelektrinę tai nėra tinkamas upės greitis. Tačiau, Panevėžys turi „Ekran“ marias“, kurios aukštis nuo viršutinio vandens lygio iki krintančio vandens apačios gali sudaryti 6,8 m. Apie upės vandens pratekėjimo debetą galima sužinoti iš šių užtvanką

prižiūrinčios įmonės „Panevėžio gatvės“. Iš techninio skyriaus darbuotojo pateiktų duomenų matome Ekranu užtvankos praleidžiamo vieno skydo vandens debitų priklausomybę nuo pakėlimo aukščio (23 pav.).



23 pav. „Ekranu užtvankos“ vandens debitai

Mažiausias vandens pratekėjimas yra 3-4 m<sup>3</sup>/s. Kai būna gausu lietaus arba esant atšilimui po žiemos periodo vandens debito būna ir 80 m<sup>3</sup>/s. Atitinkamai pagal galios formulę galime paskaičiuoti kiek pagaminama elektros energijos (5 lentelė).

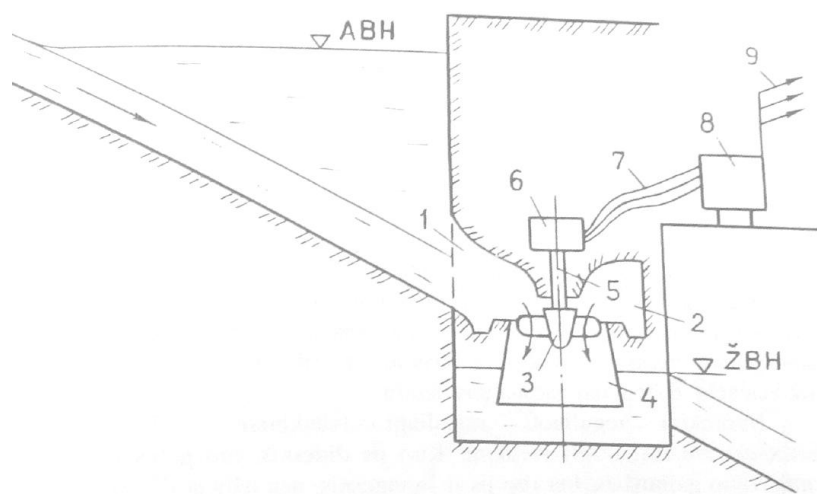
5 lentelė

**Nevėžio upės vandens pralaidumas ir pagaminama galia**

Nevėžis				
Data	Pirmojo skydo pakėlimas, cm	Antrojo skydo pakėlimas, cm	Upe tekančio vandens debetas, m <sup>3</sup> /s	Pagaminama galia, kW
2014-10-01	3	0	4,0	267
2014-10-02	3	0	4,0	267
2014-10-03	3	0	4,0	267
2014-10-04	3	0	4,0	267
2014-10-05	3	0	4,0	267
2014-10-06	3	0	4,0	267
2014-10-07	3	0	4,0	267
2014-10-08	3	0	4,0	267
2014-10-09	3	0	4,0	267
2014-10-10	3	0	4,0	267
2015-01-05	10	15	33,3	2221
2015-01-06	10	20	40,0	2668
2015-01-07	5	10	20,0	1334
2015-01-08	5	10	20,0	1334
2015-01-09	5	10	20,0	1334
2015-01-10	5	10	20,0	1334
2015-01-11	10	20	40,0	2668
2015-01-12	5	8	17,3	1154
2015-01-13	20	30	66,6	4443
2015-01-14	20	40	80,0	5337

## 6.2. Hidroelektrinės sandara

Panevėžio mieste yra „Ekranų marių“ užtvanka, todėl joje yra galimybių įrengti hidroelektrinę. Hidroelektrinės darbui reikalingas tam tikras vandens debitas  $Q$  ir slėgio aukštis  $H$  (24 pav.). Iš aukšutinio bjefo vanduo patenka į imtuvą 1, iš jo į spiralinę kamerą 2, kurios viduryje įmontuota turbina 3. Tekėdamas turbinos tarpmentiniais kanalais, vanduo suka ją ir pro siurbimo vamzdį 4 nuteka į žemutinį bjefą. Generatoriaus rotorius 6 sukasi kartu su turbina, nes jie sujungti velenu 5. Generatoriaus statoriuje susidariusi elektros srovė laidais 7 perduodama į transformatorių 8, o iš jo į elektros skirstomuosius įtampos linijas 9 [43].

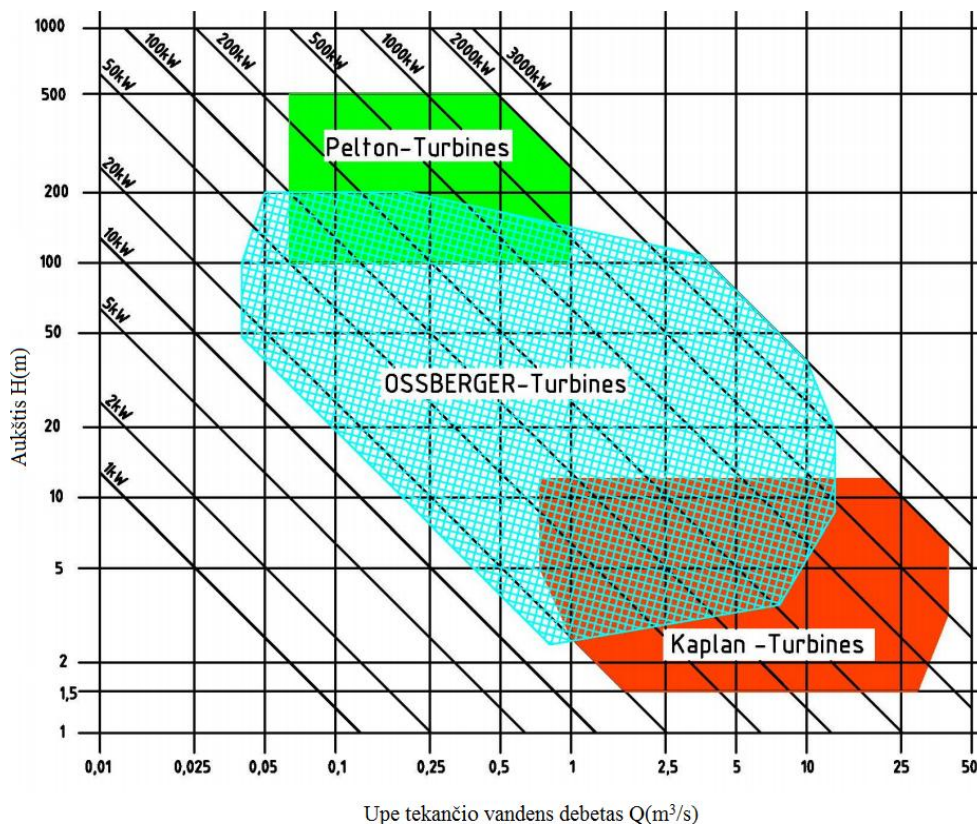


24 pav. Hidroelektrinės schema

Svarbu tinkamai parinkti hidraulinės turbinos tipą. Jos būna dviejų klasių: reaktyvinės ir aktyvinės. Pirmosios vandens srauto potencinę energiją į mechaninę verčia reaktyvumo ir vandens slėgio, antrosios – srovės greičio dėka. „Ekranų marių“ vandens debetai būna skirtingi, todėl tiktų reguliuojamojo tipo reaktyvinė hidraulinė turbina Kaplano tipo [46], kurios charakteristikos pavaizduotos (25 pav.). Yra platus šio tipo hidraulinių turbinų pasirinkimas. Galima pasirinkti pagal norimą užtvankos aukštį, pratekančio vandens debitą ar turbinos pastatymo padėtį [47]. Kadangi „Ekranų marių“ užtvankos aukštis siekia iki 6,8 m, o pratekančio vandens debeto mažiausias kiekis yra  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , galima spręsti, kad tiktų dviejų tipų hidraulinės turbinos: „Kaplan“ ir „Ossberger“. „Pelton“ hidraulinės turbinos tikti negali, nes joms reikalingas didelis viršutinis bjefo aukštis. Šis aukštis prasideda nuo 100 m. Nagrinėjant pratekančio vandens debetus matyti, kad „Ossberger“ tipo hidraulinė turbina 6,8 m aukštyje gali priimti daugiausia apie  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Jos pasirinkimas atkreipta, kadangi „Ekranų marių“ vieno praleidžiamo skydo vandens debetas būna  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kadangi skydai yra du, tai bendras vandens pratekėjimo debetas bus  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pagal aprašytus techninius duomenis „Kaplan“ tipo hidroturbinoje galimas vandens pratekėjimo debetas yra  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Įdiegus automatinį vandens

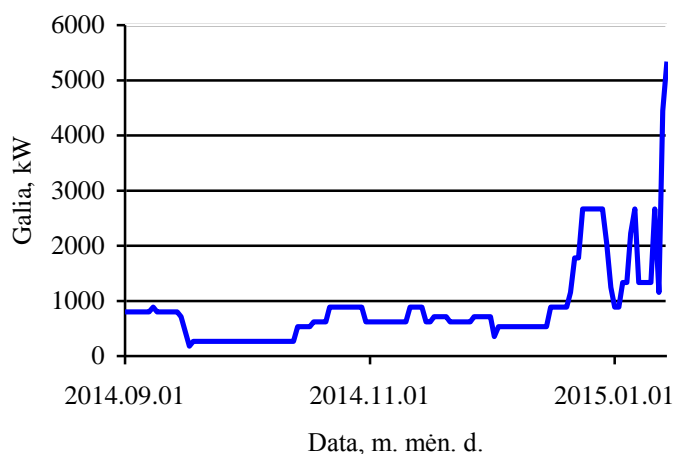


sklendžių pakėlimo valdymą pagal oro temperatūrą ir vandens lygį galima būtų reguliuoti „Ekranu marių“ vandens pratekėjimo srautą taip, kad debetas neviršytų  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ .



25 pav. Skirtingų tipų hidraulinių turbinų charakteristikos [48]

Taigi, hidroelektrinė mikrotinkle gamina pastovią elektros energiją. Šios elektrinės galia priklauso nuo užtvankos aukščio ir pratekančio vandens debeto. Todėl, atsižvelgiant į gautus duomenis iš „Panevėžio gatvių“ galima sudaryti 5 mėnesių grafiką (26 pav.).



26 pav. „Ekranu marių“ hidroelektrinės penkių mėnesių gaminama galia

Grafike matosi, kad sausuoju metų laiku turime pastovią 270 kW elektros energijos galią. Lietuviai palijus pagaminama elektros energija išauga iki 800 kW, o kada būna gausūs lietūs arba pavasariniai atšilimai galia enkliai išauga, siekdama apie 5337 kW. Iš gautų duomenų darytina išvada, kad pagaminamas elektros energijos kiekis tiesiogiai priklauso nuo pratekančio vandens debito ir vandens bjefo aukščio.

#### IŠVADOS:

1. Naudojant mikrotinkle hidroelektrinę būtina įvertinti metinius vandens debito lygius.
2. Nestatant užtvankų mažą hidroelektrinę galima įrengti upėse, kur gyliai yra nedideli, o vandens tekėjimo greitis didesnis nei 1 m/s.
3. Hidroelektrinės yra ilgaamžės ir nereikalaujančios didelės priežiūros.
4. Hidroelektrinės pagaminama elektros energijos galia priklauso nuo vandens debito, bjefo aukščio arba upės tekėjimo greičio.

## 7. ELEKTROS ENERGIJOS SUVARTOJIMAS

### 7.1. Gyvenamojo daugiabučio namo šeimų elektros energijos suvartojimas

Elektros energijos vartotojais gali būti visi, kurie vartoja elektros energiją. Nuo pramonės įmonių, įstaigų iki privačių namų ir butų, taip pat įrenginys verčiantis elektros energiją mechanine, šilumine ar kitokių rūšių energija [49; 50]. Priklausomai nuo to žmogus gyvena bute ar name ir kokio dydžio yra šeima priklauso ir esamų buitinių prietaisų naudojimas. Iš 6 lentelėje esančių duomenų matyti kokie dažniausiai buityje naudojami prietaisai kiek sunaudoja elektros energijos. Priklausomai nuo modelio tipo, gamintojo, techninių parametrų kiekvieno prietaiso suvartojama elektros energija gali skirtis, tačiau lentelėje pateikiami atskiram prietaisų tipui būdingi elektros energijos suvartojimo vidurkiai.

6 lentelė

**Buitinių prietaisų suvartojama elektros energija per parą**

Elektros energijos vartotojas	Vidutinis imtuvų darbo laikas per parą, val.	Vardinė galia, kW	Paros energetiniai poreikiai, kW;h
Šaldytuvas ( kompresorinis )	9	0,6	5,4
Indų plovimo mašina	0,5	2	1

Lentelės tęsinys kitame puslapyje

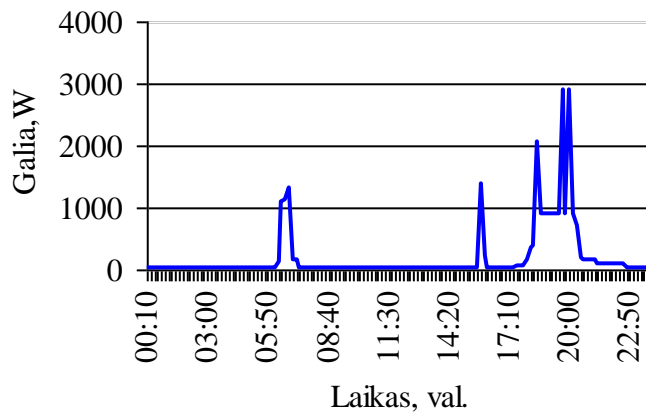
<b>Elektros energijos vartotojas</b>	<b>Vidutinis imtuvų darbo laikas per parą, val.</b>	<b>Vardinė galia, kW</b>	<b>Paros energetiniai poreikiai, kW;h</b>
Laidynė (10 kartai per mėnesį)	0,5	1	0,5
Skalbimo mašina (8 kartai per mėnesį)	2	1,6	3,2
Organizacinė technika (kompiuteris, spausdinimo aparatas, kt.)	6	0,8	4,8
Televizorius	6	0,6	3,6
Dulkių siurblys	0,5	2	1
Muzikinis centras	1	1,4	1,4
Elektrinė orkaitė su kaitlente (6kartai per mėnesį) trifazis	2	7,5	15
Elektrinė orkaitė vienfazis		2	
Elektrinis virduklis	0,5	2	1
Mikrobanginė krosnelė	1	0,7	0,7
Plaukų džiovintuvas(galbut rubu džiovyklė)	0,5	1,4	0,7
Boileris		2	
Skrudintuvas/gruzdintuvė	0,25	1,1	0,275
Kiti imtuvai	1	1	1
Apšvietimas (žiemos laiku)	6	1	6
Apšvietimas (vasaros laiku)	3	1	3
Šilumos siurblys (tik šaltu metu laiku)	10	7,5	75

Apklausus keletą daugiabučiuose namuose gyvenančių šeimų apie elektros energijos suvartojamą buitiniams prietaisams buvo pastebėta, kad vieno gyventojų suvartojama elektros energija yra vidutiniškai apie 40 kWh elektros energijos per mėnesį. Paklausus kokius buitinius prietaisus jie naudoja sužinota, kad veikia šaldytuvas, vakarais uždega elektros lempuotę, kartais pasižiūri televizijos ar pasiklauso radijo. Buitinių prietaisų naudojimo įpročiai nuo metų laiko nesikeičia. Trijų asmenų šeima vasaros laikotarpiu bute suvartoja vidutiniškai apie 110 kWh elektros energijos per mėnesį. Kadangi šeimą sudaro 3 asmenys, tai elektros energijos poreikis būna didesnis nei gyvenant vienam asmeniui. Dažniau veikia skalbimo mašinos, žiūrimi televizoriaus transliuojami filmai ar laidos, naudojami kompiuteriai ir kita buitinė technika. Žiemos metu, kada būna ilgesni vakarai, elektros energijos sunaudojama vidutiniškai apie 150 kWh. Tuomet padidėja įjungtų elektros lempučių darbo valandų skaičius bei jų kiekis. Ilgesnis laiko leidimas prie televizoriaus ar kompiuterio. Apklausus 2 asmenų šeimą renovuotame daugiabutyje name buvo sužinota, kad jie vasaros metu sunaudoja apie 120 kWh elektros energijos, o žiemos metu apie 140 kWh elektros energijos. Taigi, nežiūrint į tai, kokio tipo yra energetinės klasės pastatas, būtiniai prietaisai vartoja tiek pat elektros energijos. Skirtumas tik tame, kad kai kurių buitinių prietaisų darbo laikas būna ilgesnis žiemą, o ne vasarą. Apie elektros

energijos suvartojimą AB „Rytų skirstomųjų tinklų“ užsakymu 2008 metais buvo atliktas gyventojų elektros energijos vartojimo įpročių tyrimas. Gauti duomenys atskleidė, kad beveik kas trečias Lietuvos gyventojas šią energiją vartoja neracionaliai. Tyrimo duomenimis, 50 % respondentų savo būstui apšviesti visai nenaudoja elektros energiją efektyviai naudojančių lempų, o vienas dažniausiai pasitaikančių Lietuvos gyventojų įpročių, neleidžiančių elektrą vartoti racionaliai – vienu metu įjungta daug elektrinių buities prietaisų. Minėto tyrimo duomenimis, didžioji dalis (42 %) namų ūkių suvartoja iki 200 kWh elektros energijos per mėnesį. Panašus skaičius (41 %) namų ūkių sunaudoja iki 100 kWh elektros energijos, 13 % vartotojų sunaudoja nuo 201 iki 300 kWh per mėnesį. Nedidelė dalis (3 %) namų ūkių elektros energijos sunaudoja nuo 301 iki 500 kWh ir 1 % vartotojų – daugiau kaip 500 kWh [51].

Norint išsiaiškinti kiek ir kada kokios elektros energijos sunaudojama reiktų sekti buitinių prietaisų vartojamąją galią ir veikimo laiką. Patyrinėkime šeimą auginančią kelis vaikus ir per žiemos mėnesį suvartojančią apie 140 kWh elektros energijos. Dažniausiai paros rutina prasideda apie 6.30 val. ryto. Tuo metu įjungiamas apšvietimas, televizorius ar radijas ir prasideda pusryčių gaminimas. Jei maistas gaminamas ant dujinės ar elektrinės viryklės, tai įjungiamas gartraukis, o jei jis šildomas mikrobangų krosnelėje, tai elektrą naudoja šis prietaisai. Be viryklės ar mikrobangų krosnelės ryte naudojami ir kiti būtiniai prietaisai, kurie naudoja elektros energiją, pvz plaukų džiovintuvas. Jei šeimos nariai dirbantys, tuomet elektros energijos sunaudojimas iki maždaug 15.00 val. yra nutraukiamas (išskyrus ką minimaliai naudoja tarkim šaldytuvas). Vaikams grįžus iš mokyklos elektros energijos sunaudojimas trumpam laikui vėl didėja, kadangi dažniausiai įjungiamas televizorius, gaminamas / šildomas maistas. Apie 18.00 val., kuomet visa šeima susirenka namuose elektros energijos sąnaudos ženkliai padidėja, nes prasideda maisto gaminimas, namų ruoša (skalbinimas, lyginimas, siurbimas ir pan.). Šie intensyvūs darbai trunka apytiksliai iki 21.30 val. Kiekvienos šeimos buityje yra prietaisų, kurie dirba visą parą, tai šaldytuvas, į elektros tinklą įjungtas televizorius ar kitas buitinis prietaisas. Tokie prietaisai, kad ir nežymiai, bet naudoja elektros energiją.

Visą šeimos auginančios kelis vaikus paros elektros energijos suvartojimą, o per žiemos mėnesį sunaudojančios apie 140 kWh, galima matyti pateiktame grafike (27 pav.)



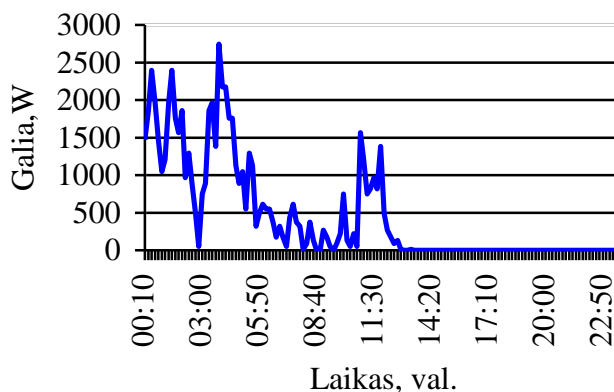
27 pav. Šeimos auginančios kelis vaikus ir per mėnesį, žiemos metu, sunaudojančios 140 kWh elektros energijos, paros grafikas

## 7.2. Gyvenamojo namo su geoterminiu šildymu elektros energijos suvartojimas

Nuosavame gyvenamajame name elektros sąnaudos yra kur kas didesnės nei daugiabučio namo, kadangi daugiabučio namo patalpų nereikia šildyti patiems (ši paslauga centralizuotai teikiama iš specializuotų bendrovių). Panevėžyje daugiabučių butų savininkai už buto šildymą, karštą vandenį, cirkuliacinę šilumą susimoka AB „Panevėžio energijai“ atskira sąskaita. Mikrotinkle buto ar namo savininkui tiekti karštą vandenį, šilumą patalpoms šildyti ir cirkuliaciniam šildymui taip pat yra galimybė. Perteklinę elektros energiją, kurią pagamina atsinaujinantys elektros energijos šaltiniai, galima būtų nukreipti tiekiamo karšto vandens šildymui. Šį vandenį pašildyti galima geoterminiu šildymu, taip kaip šildosi savo namą individualus asmuo turintis tokį šildymo būdą. Tokiu būdu racionaliai galima būtų kaupti energiją šilumos pavidalu vandens akumuliacinėse talpose ir pamažu ją atiduoti vartotojams.

Iki 150 m<sup>2</sup> dydžio namui reikalingas šilumos siurblys, kuris naudoja elektros energijos 1,74- 2,27 kWh [52]. Šilumos siurbliai per parą dirba apytiksliai apie 10 valandų. Šiltesniu metų laiku jų darbo trukmė bus trumpesnė. Šilumos siurbliui per parą dirbant 10 h būtų apie 17,4 – 22,7 kWh elektros energijos sąnaudų. Papildomai prisideda ir cirkuliaciniai siurbliai, kurie dirba kartu su šilumos siurbliais. Jų elektros energijos sąnaudos yra apie 2 kWh per tą patį laiką. Esančiame pavyzdyje (28 pav.) matyti gyvenamojo namo elektros energijos suvartojimas žiemos metu esant geoterminiam šildymui, kuris tiekia šilumą patalpoms, gamina karštą vandenį ir cirkuliacinę šilumą. Grafike matyti pulsuojantis elektros energijos suvartojimo darbo grafikas. Šią pulsaciją įtakoja šilumos siurblio, vandens cirkuliacinio siurblio ir kitų buitinių prietaisų, kurie nereikalauja daug elektros energijos, darbo grafikas. Šilumos siurblio darbo režimą galima reguliuoti priklausomai nuo mikrotinklo pagaminamos elektros energijos kiekio realiaame laike.

Jei reikalingos galios nepakanka iš atsinaujinančių elektros energijos šaltinių tuo metu, kai įsijungia šilumos siurbliai su kitais būtinais prietaisais reikiamos elektros energijos galima būtų naudoti iš akumuliatoriaus baterijų. Jei akumuliatorių baterijos neturi savyje elektros energijos tai naudojama elektra būtų imama iš elektros skirstomųjų tinklų.

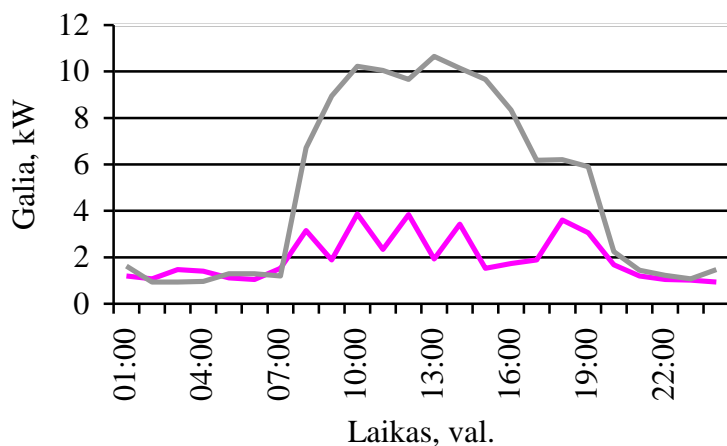


28 pav. Gyvenamojo namo elektros energijos suvartojimas, žiemos metu, esant geoterminiam šildymui, paros grafikas

### 7.3. Nedidelės įmonės elektros energijos suvartojimas

Pagaminamą elektros energiją iš atsinaujinančių energijos šaltinių taip pat galima naudoti ir nedidelėse įmonėse. Tai parodė ir prieš tai aprašytas pasakojimas apie A. Rimšos hidroelektrinės panaudojimą savo ūkyje. Viskas priklauso nuo suvartojamos elektros energijos vartotojo ir pagaminamos elektros energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

Norint sužinoti kokią elektros energiją suvartoja nedidelė įmonė buvo kreiptasi į AB „Lesto“ Panevėžio regiono klientų aptarnavimo centro Elektros apskaitų grupės inžinierių. Jis pateikė duomenis apie suvartojamą elektros energiją. Apdorojus pateiktus duomenis, buvo pastebėta, kad savaitgaliu elektros energijos suvartojimas yra kur kas mažesnis nei darbo dieną. Pateiktame grafike (29 pav.) matyti nedidelės įmonės elektros energijos suvartojimas darbo dieną ir savaitgalio dieną. Tiek savaitgalį, tiek darbo dieną didesnis elektros energijos suvartojimas prasideda nuo 7.00 val., jis trunka maždaug iki 21.00 val., kai baigiasi darbas. Darbo dieną elektros energijos suvartojimas siekia maksimaliai apie 11 kWh. Pastovus elektros energijos vartojimas vyksta apie 9 - 10 kWh nuo 7.00 val. iki 21.00 val. Savaitgaliu elektros energijos vartojimas vyksta pulsuojančiai. Tokiu pačiu laiku elektros energijos sanaudos išlieka apie 2 – 4 kWh. Kai įmonės veikla nebevykdoma elektros energijos suvartojimas yra apie 1 kWh. Galbūt tuo metu yra palaikomas apšvietimas cechuose ar teritorijoje, galbūt dirba kai kurie elektros energijos prietaisai, kurie ir sudaro tokį elektros energijos suvartojimą.



29 pav. Nedidelės įmonės elektros energijos suvartojimas paros metu ( — — — — — darbo dienomis; — — — — — poilsio dienomis)

#### IŠVADOS:

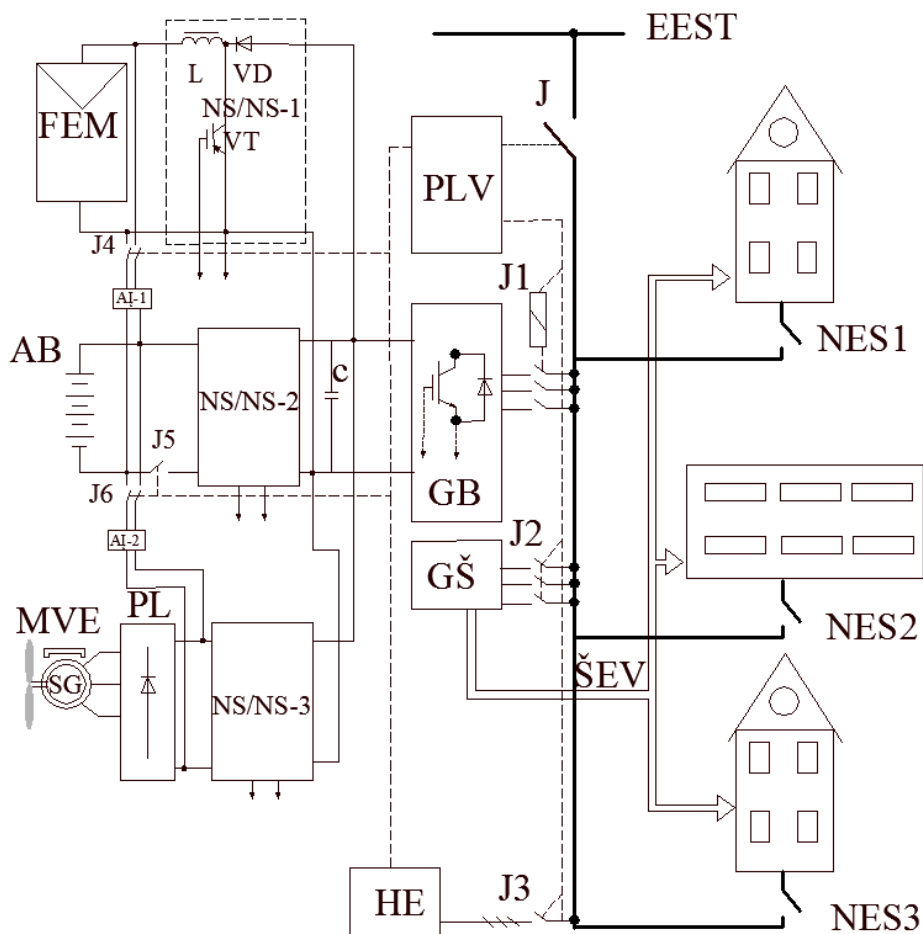
1. Atlikus suvartojamos elektros energijos paskaičiavimus galima nstatyti mikrotinklo vartotojus.
2. Didžiausias išaugęs elektros energijos galios vartotojams poreikis yra rytais ir vakarais.
3. Mikrotinkle tikslinga naudoti akumuliatoriaus baterijas galios kaupimui ir jos atidavimui.

## 8. MIKROTINKLAS

### 8.1. Mikrotinklo projektavimas

Suprojektuotas gyvenvietės mikrotinklas pateiktas 31 pav. Mikrotinkle suminę 30 kW saulės elektrinės, 5 kW vėjo elektrinės ir hidroelektrinės pagaminamą elektros energijos galią naudos nedidelė sodininkų bendrija, kurioje yra prieinama ir elektros energija iš nacionalinio elektros tinklo. Joje yra 200 pastatų A+, A, B energetinio efektyvumo klasės su geoterminiu šildymu [55]. Taip pat mikrotinklo vartotojai sudaro 10 daugiaaukščių namų, kuriems tiekiamas karštas vanduo ir šiluma iš geoterminio šildymo sistemos bei 5 nedidelės verslo įmonės, kurios išsiskiria savo didesniu energijos poreikiu darbo metu. Siekiant išvengti trumpalaikių energijos tiekimo sutrikimų komutuojuant šaltinius, mikrotinkle naudojamos akumuliatorių baterijos (AB), kurios kraunamos akumuliatorių įkrovikliais (AI). Visą mikrotinklą valdo programuojamas loginis valdiklis (PLV). Kiekviena daugiaaukščio namo energinė sistema (NES) turi savo elektros energijos ir šiluminės energijos įėjimą, kuriame stovi energijos skaitikliai. Per parą šio

mikrotinklo elektrinės pagamina apie 13365 kW. Didžiąją dalį elektros energijos pagamina hidroelektrinė 13200 kW. Esant dienos apšvitai  $607 \text{ W/m}^2$ , 30 kW saulės elektrinė pagamina 154 kW, o 5 kW vėjo elektrinė, atsižvelgiant į vėjo greičius, pagamina 11 kW. Esančių mikrotinklo daugiaaukščių namų, verslo įmonių ir sodo bendrijų vartotojų bendra naudojama galia yra apie 9423 kW per parą. Kadangi mikrotinklo gaminama įtampa per naudojamus inverterius būna šiek tiek didesnė už nacionalinio elektros tinklo, tai vartotojai prioritetiškai vartoja šio tinklo pagaminamą elektros energiją. Jei jos nepakanka, tai energijos trūkumas kompensuojamas prisijungus prie nacionalinio tinklo, o esant pertekliui elektros energija parduodama.

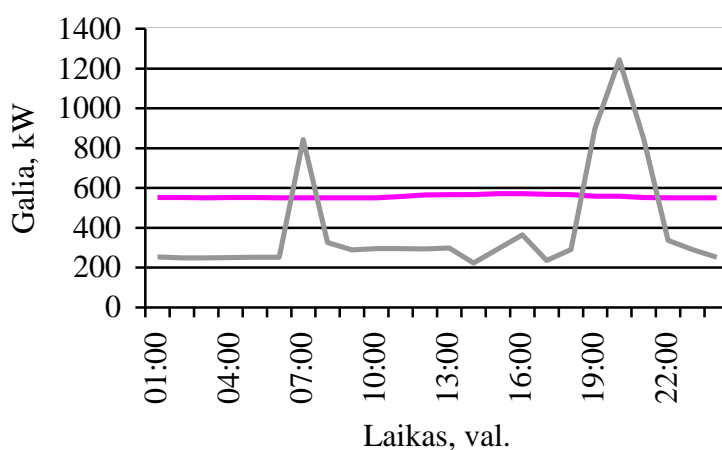


30 pav. Gyvenvietės mikrotinklo schema: EEST – nacionalinis elektros energetikos sistemos tinklas; FEM – saulės elektrinės modulynas; AI1-AI2 akumuliatorių įkrovikliai; MVE – mažoji vėjo elektrinė; SG – sinchroninis generatorius; HE – hidroelektrinė; GŠ – geoterminis šildymas; NES1-NES3 – namų energinės sistemos; ŠEV – šiluminės energijos vartotojas; PLV – programuojamas loginis valdiklis; GB – galios blokas; NS/NS1-NS/NS3 – nuolatinė srovė / nuolatinė srovė energijos srauto reguliatorius; PL – puslaidininkinis lygintuvas; C – kondensatorius; VD – diodas; L – ritė; VT – tranzistorius; J1-J6 jungiklis [1, 8]



## 8.2. Mikrotinklo vartotojų suvartojama ir pagaminama elektros energija

Atliekant atsinaujinančios energetikos išteklių elektros energijos pagaminamos galios tyrimą bei vartotojų elektros energijos poreikių tyrimą, buvo sudarytas mikrotinklo galių pasiskirstymas paros laike (30 pav.). Šiame grafike pastebėta, kad vartotojų poreikis yra stipriai išaugęs ryte nuo 6 val. 00 min. iki 7 val. 45 min. ir nuo 17 val. 45 min. iki 21 val. 15 min.



31 pav. Mikrotinklo galių pasiskirstymas paros laike ( — — suvartojama galia; — — pagaminama galia)

Dėl išaugusios elektros energijos poreikio mikrotinkle reikalingos akumuliatoriaus baterijos. Jos dalinai arba visiškai gali kompensuoti išaugusį elektros energijos poreikį. Akumuliatoriaus baterijų veikimo laiką galima paskaičiuoti pagal šią formulę [53]:

$$t = \frac{a}{b^{1.3}}, \quad (8)$$

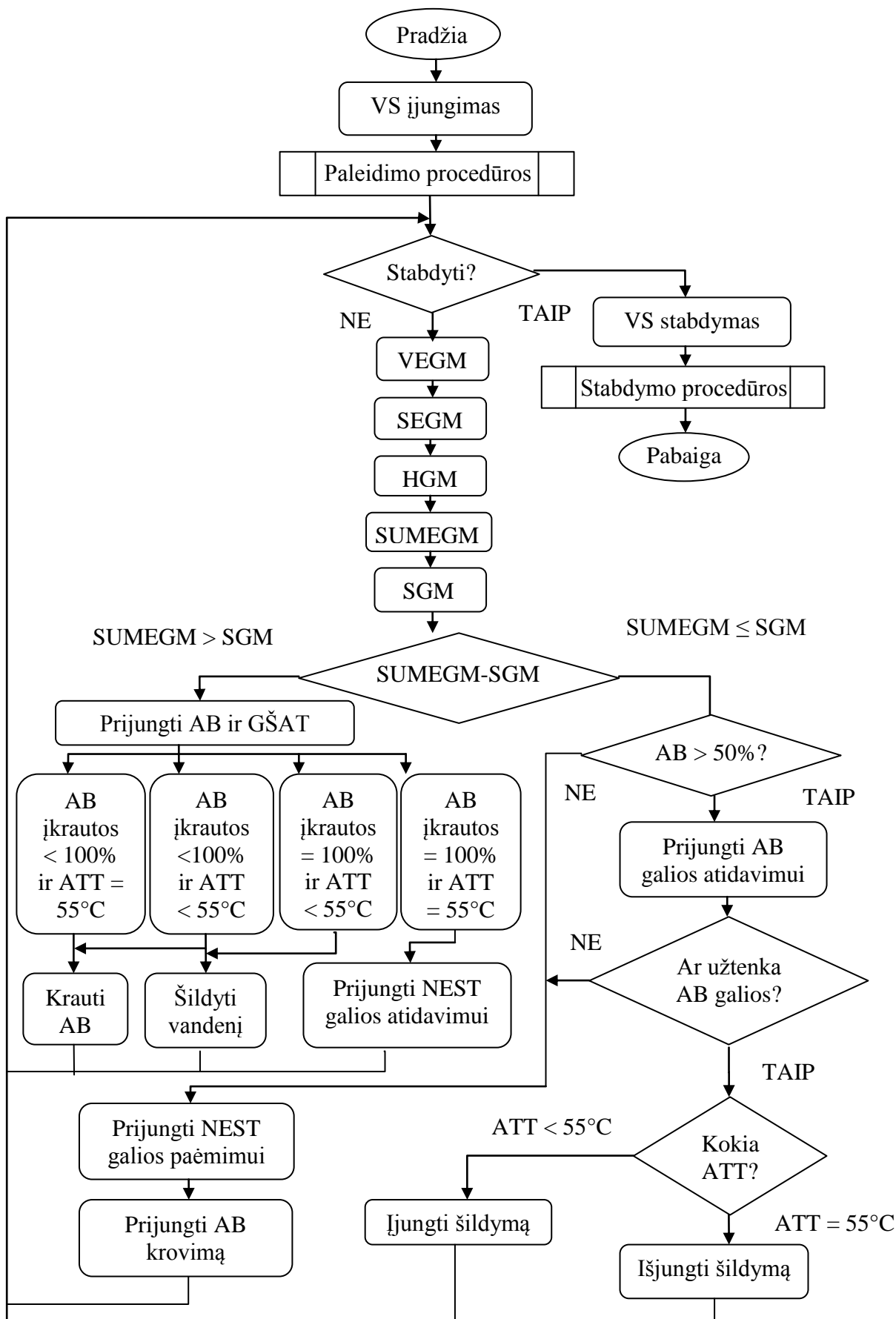
čia  $a$  – Qp koeficientas kuris nurodomas ant akumuliatoriaus,  
 $b$  – akumuliatoriaus srovė (A).

Akumuliatoriaus baterijas projektuojamame mikrotinkle kraus akumuliatoriaus įkrovėjai. Siūloma krovimo įtampa 48 V. Analizuojant mikrotinklo elektros galios suvartojimą pagal siūlomą skaičiavimo metodiką galima paskaičiuoti [54] kokios talpos akumuliatoriaus baterijų reikės, ir per kiek laiko jos gali būti iškrautos. Taigi, projektuojamame mikrotinkle elektros energijos trūkumas yra 132 kWh. Iškraudinėjant akumuliatoriaus baterijas iki 70 % ir parinkus akumuliatoriaus talpą prie C20 iškrovimo laiko paskaičiuota, kad per 20 min. galima atiduoti 1964 A.

Racionaliai derinant akumuliatoriaus darbą su mikrotinklu juos tikslingiausia krauti, kai pagaminama perteklinė elektros energija iš atsinaujinančios energetikos, o atiduoti mikrotinklo vartotojui tada, kai jos trūksta. Grafike taipogi matyti, kad didžiąją paros dalį mikrotinklo gaminama elektros energija viršija suvartojimo poreikį, todėl galima ją parduoti nacionaliniam elektros energijos tinklui. Tokiu racionalių sprendimų vartotojas turi naudą iš mikrotinklo lokaliai įrengtų elektrinių. Pagaminamą elektros energijos mažesnius svyravimus užtikrina hidroelektrinė.

### **8.3. Mikrotinklo valdymo algoritmas**

Mikrotinklo valdymo algoritmas pavaizduotas 32 pav. Valdymo sistema įjungžiama paspaudus paleidimo mygtuką, kuris aktyvuoja visus matavimo bei valdymo įrankius. Norint sustabdyti mikrotinklo valdymo įrankių darbą spaudžiamas stabdymo mygtukas. Po šio veiksmo prasideda stabdymo procedūra: išjungiami visi matavimo bei valdymo prietaisai. Jei programa nėra stabdoma, tada matuojamos vėjo elektrinės, saulės elektrinės ir hidroelektrinės gaminamos galios. Jas galima pamatuoti su „Carlo Gavazzi“ ar „Elgama elektronika“ firmos siūlomais elektros apskaitos skaitikliais [56; 57]. Šių elektrinių galios yra sumuojamos. Sekantis žingsnis – tai išmatuota suvartojamoji galia. Ją galima pamatuoti su elektros apskaitos skaitikliais. Generuojama alternatyvios energijos šaltinių galia ir vartojamoji galia pastoviai lyginamos tarpusavyje. Jei elektros energijos pagaminama suminė galia yra didesnė už suvartojamąją elektros galią, tai yra kraunami akumuliatoriai, jei jų įkrovimo lygis nepakankamas yra šildomas vanduo geoterminio šildymo sistemos akumuliacinėje talpoje. Jeigu akumuliatoriaus baterijos įkrautos mažiau 100 % ir akumuliacinės talpos temperatūra lygi 55 °C, tuomet kraunamos tik akumuliatoriaus baterijos. Jei akumuliatoriaus baterijos įkrautos lygiai 100 % ir akumuliacinės talpos temperatūra mažiau nei 55 °C, tai jungžiama tik geoterminio šildymo sistema. Pasiekus akumuliatorių įkrovimą 100 % ir pakėlus akumuliacinės talpos temperatūrą iki 55 °C mikrotinklo energijos perteklius per skaitiklį yra nukreipiamas į nacionalinį elektros tinklą. Jei pagaminamos elektros energijos tinkle yra per mažai, tuomet tikrinama ar akumuliatoriaus baterijos įkrautos daugiau nei 50 %. Jei ne – tai prijungžiamas nacionalinis elektros tinklas, tokiu būdu kompensuojant energijos trūkumą. Esant trumpam energijos nepakankamaumui tinkle panaudojama jos atsarga sukaupta akumuliatorių baterijose.



32 pav. Mikrotinklo valdymo algoritmas: VS – valdymo sistema; AB – akumulatoriaus baterija; GŠAT – geoterminio šildymo akumuliacinė talpa; VEGM – vėjo elektrinės galios

matavimas; SEGM – saulės elektrinės galios matavimas; HGM – hidroelektrinės galios matavimas; SUMEGM – suminė elektrinių galios matavimas; SGM – suvartojamos galios matavimas; ATT – akumuliacinės talpos temperatūra; EEST – nacionalinis elektros energetikos sistemos tinklas

#### **8.4. Mikrotinklo automatizuota duomenų perdavimo loginė schema**

Mikrotinklo valdymui reikalinga šiuolaikinės skaitmeninio valdymo sistemos. Šiai sistemai sukurti naudojamos mikroprocesoriniai valdymo įtaisai bei lygiagretūs ir nuoseklūs duomenų mainai. Mikroprocesoriniai įtaisai suprojektuotame mikrotinkle yra:

- Programuojamas loginis valdiklis;
- Elektros energijos skaitiklis;
- GSM/GPRS modemas;
- Duomenų koncentradorius;
- Skaitmeninis karšto vandens skaitiklis;
- Mikroprocesorinis karšto vandens skaitiklio duomenų skaitytuvas.

Mikrotinklo pagrindinis elementas yra programuojamas loginis valdiklis (PLV). Mikrotinkle bus naudojamas „AEG Modicon A 120“ PLV [58]. Sistemos magistralė jungia PLV su mikrotinklo sistemos elementais. Mikroprocesoriniai sistemos elementai sudaro „Elgama elektronika“ firmos elektros energijos skaitiklis EPQMS, duomenų koncentradorius DMDC, duomenų nuskaitymo sistema ESIMP 1.0, GSM/GPRS technologijos modemai MCL 5.8.5. Sistemos magistralę sudaro linijų visuma, kurios skirstomos į tris grupes:

1. Adresų magistralė (angl. AB – Address Bus).
2. Duomenų magistralė (angl. DB – Data Bus).
3. Valdymo magistralė (angl. CB – Control Bus).

Adresų magistralė skirta adresuoti (adresui nurodyti) dvejetainiame kode. Dirbant mikroprocesorinėje sistemoje adresai nurodomi PLV atminties įrenginyje ir įvesties bei išvesties įrenginių elementams. Kiekvienas adresuojamas elementas turi savo autonominį (unikalų) adresą.

Duomenų magistralė naudojama duomenims perduoti (rašyti) arba duomenims priimti (skaityti), t.y. duomenų mainams vykdyti.

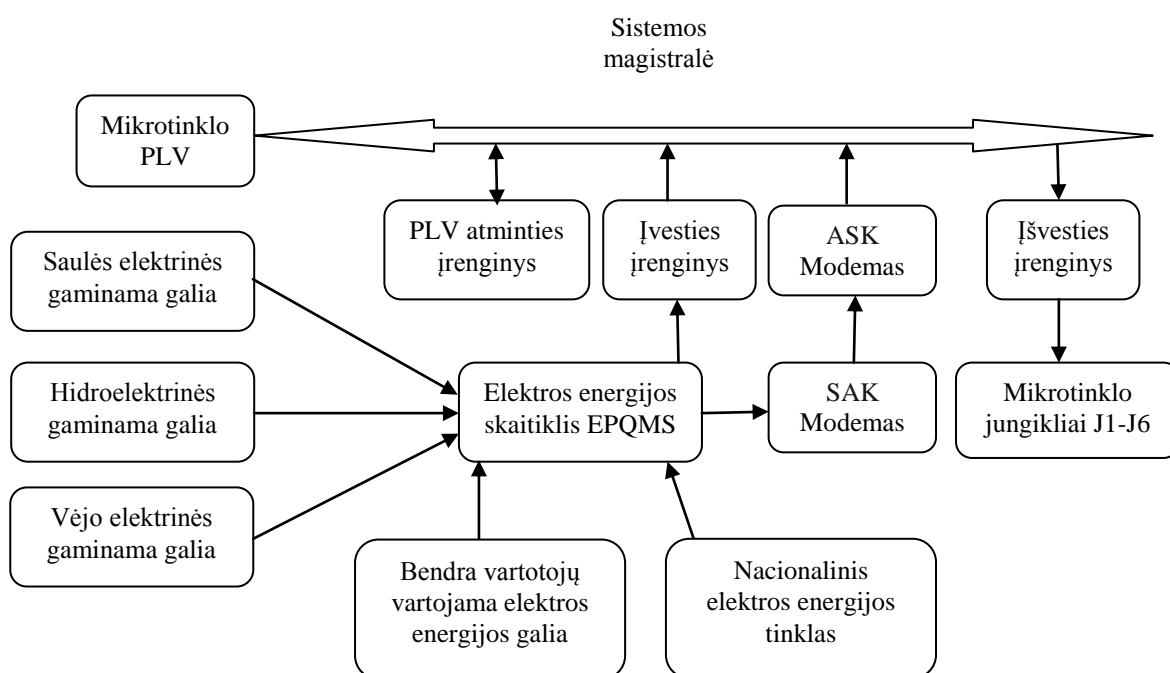
Valdymo magistralėje formuojami valdymo signalai, kurie užtikrina duomenų mainų procesus duomenų magistralėje.

PLV atminties įrenginys (atmintinė) yra skirtas programos komandoms ir duomenims, kurie reikalingi programai vykdyti, įsiminti. Atminties įrenginys turi dviejų rūšių atmintis:

1. Pastovioji atmintis (PA).
2. Operatyvioji atmintis (OA).

Sustabdžius mikrotinklo darbą ir išjungus maitinimo įtampą pastovioji atmintis išlieka nepakitusi, o operatyvioji išsitrina. Pastoviojoje atmintyje saugoma mikrotinklo valdymo programa ir pastovūs duomenys, o operatyviojoje atmintyje - kintamieji duomenys.

Įvedimo ir išvedimo posistemė skirta duomenų mainams tarp mikroprocesorinės sistemos ir išorinių objektų, kurie prijungiami prie mikroprocesorinės sistemos (33 pav.).



33 pav. Mikrotinklo mikroprocesorinės sistemos schema

Duomenų mainai tarp išorinio objekto ir mikroprocesoriaus vykdomi per įvesties įrenginį, išvesties įrenginį ir sistemos magistralės. Tačiau gali būti naudojamas tiesioginis duomenų mainų režimas, kai duomenys perduodami ir priimami be mikroprocesoriaus. Šiuo atveju duomenų mainus valdo įvesties ir išvesties įrenginys, o mainai vyksta tarp išorinio objekto ir atminties įrenginio per įvesties – išvesties įrenginį. Tiesioginiai duomenų mainai dažniausiai naudojami tada, kai būtina greitai perduoti didelius duomenų kiekius.

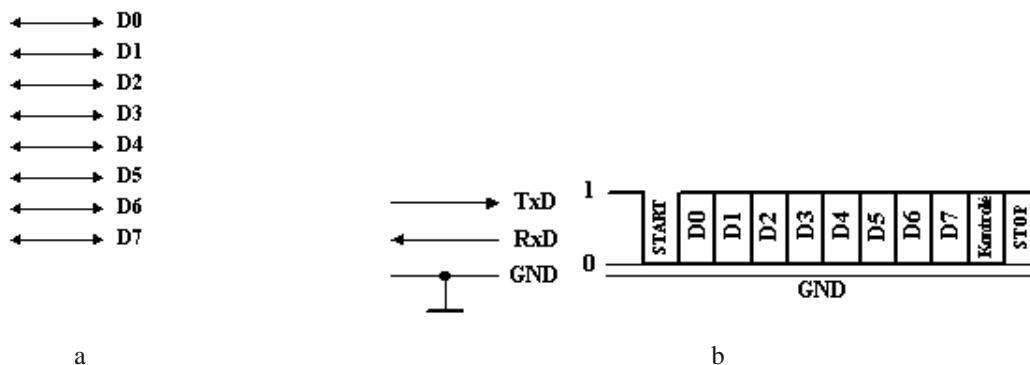
Duomenys naudojami mainuose su išoriniu objektu gali būti:

- skaitmeniniai;
- analoginiai.

Skaitmeniniai duomenys pateikiami dviem būdais:

1. Lygiagrečiuoju.
2. Nuosekliuoju.

Lygiagrečiojo pavidalo skaitmeninių duomenų kiekvienas bitas (skiltis) turi atskirą laidą (liniją), kaip parodyta 34 pav. a). Nuosekliojo pavidalo skaitmeniniai duomenys perduodami vienu laidu (linija) bitas paskui bitą, dažniausiai pradedant jauniausiuoju bitu (žr. 34 pav. b)).



34 pav. Skaitmeninių duomenų pateikimo būdai: a – lygiagretusis; b - nuoseklusis (Tx/D – perdavimas; Rx/D – priėmimas; GND – bendrasis laidas) [59]

Analoginiams duomenims priimti iš išorinio objekto naudojamas analoginis skaitmeninis keitiklis (ASK), kuris analoginę įtampą (srovę) keičia skaitmeniniu dvejetainiu kodu. Analoginiams duomenims perduoti į išorinį objektą taikomas skaitmeninis analoginis keitiklis (SAK), kuris skaitmeninį dvejetainį kodą paverčia analogine įtampa (srove). ASK ir SAK suderina signalų rūšis tarp mikroprocesorinės sistemos ir išorinio objekto, su kuriuo vyksta duomenų mainai.

Bendruoju atveju mikroprocesorinė sistema funkcionuoja taip: įjungus maitinimo įtampą PLV iš atminties įrenginio pagal pradinį adresą (nulinį 0000H) skaito pirmąją komandą. Ji dešifruojama mikroprocesoriaus, formuojami jai vykdyti reikalingi valdymo signalai ir komanda vykdoma. Po to PLV skaito antrą komandą iš atminties įrenginio ir t.t.

Visos komandos vykdomos griežtai nuosekliai viena paskui kitą. Kiekvienu laiko momentu apdorojama tik viena komanda [59].

### 8.5. Mikrotinklo valdymo programa

Naudojant programinį paketą „Matlab 7.11.0 (R2010b)“ buvo parašyta mikrotinklo valdymo programa (35 pav.). Šioje programoje suvesti paskaičiuoti mikrotinklo vartojamos ir gaminamos elektros energijos galios paroje. Šias galias galima keisti atsižvelgiant į sumažėjusį ar padidėjusį vartotojų poreikį. Akumuliatorių talpa naudojama pagal ankščiau paskaičiuotą metodiką. Akumuliacinės talpos šildymui naudojama pasirinkta elektros galios sunaudojimo

konstanta. Nuo šių duomenų suvedimo priklauso kaip mikrotinklą valdo PLV pagal anksčiau aprašytą valdymo algoritmą.

```
xP=[552004; 551655; 550925; 551597; 551646; 550807; 550464; 550416; 550329; 551087;  
557244; 564724; 565778; 567091; 571467; 571161; 568747; 567499; 559251; 558866; 552435;  
550156; 550000; 550000];  
xS=[253100; 249650; 249650; 249800; 251450; 251450; 842667; 325267; 289700; 296150;  
295250; 293300; 298250; 222367; 293300; 365033; 235900; 291050; 899550; 1244583;  
845533; 337817; 290400; 252350];  
xG=80000;  
GL=2;  
xAP=132000;  
xA(1)=xAP;  
for i=1:24  
    if(i>1)  
        xA(i)=xA(i-1);  
    end  
    xT(i)=0;  
    if(xS(i)/xP(i)<1)  
        xL(i)=xP(i)-xS(i);  
        if(xA(i)<xA(1))  
            if(xL(i)>xA(i)-xA(1))  
                xL(i)=xL(i)-xA(1)+xA(i);  
                xA(i)=xA(1);  
            else  
                xA(i)=xA(i)+xL(i);  
                xL(i)=0;  
            end  
        end  
    else  
        xL(i)=0;  
        if(xS(i)<xA(i)-0.5*xAP+xP(i))  
            xA(i)=xA(i)-xS(i)+xP(i);  
        end  
        xT(i)=xS(i)-xP(i)-(xA(i)-xAP*0.5);
```

```

    xA(i)=0.5*xAP;
end
if(mod(i,GL)==0)
    if(xL(i)==0)
        xT(i)=xT(i)+xG;
    end
    if(xL(i)>xG)
        xL(i)=xL(i)-xG;
    else
        if(xG<xA(i)-0.5*xAP+xL(i))
            xA(i)=xA(i)-xG+xL(i);
            xL(i)=0;
        end
        if(xG>xA(i)-0.5*xAP+xL(i))
            xT(i)=xT(i)+xG-xL(i)-(xA(i)-xAP*0.5);
            xA(i)=0.5*xAP;
            xL(i)=0;
        end
    end
end
end
end
plot([xP,xS,transpose(xA),transpose(xT)])

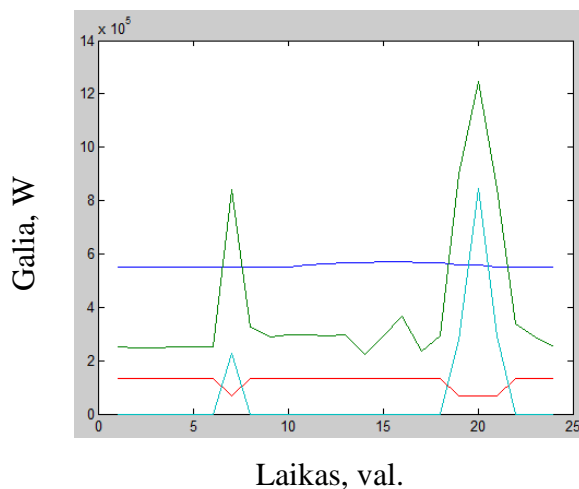
```

35 pav. Mikrotinklo valdymo programa: xP - pagaminama galia; xS - suvartojama galia; xL - pagaminta bet nepanaudota galia; xT - galia paimta iš tinklu; xG - galia reikalinga pakelti vandens temperatūra nuo 45 °C iki 55 °C; GL - laikas per kurį temperatūra nukrinta nuo 55 iki 45 laipsniu.

Sudarytoje programoje naudojant „plot“ komandą gauname 45 pav. su elektros energijos galios kreivėmis. Pagal apskaičiuotus duomenis mikrotinklo gaminamos elektros energijos galia mažai svyruoja, kadangi hidroelektrinė tiekia mažai kintančią elektros energijos galią. Taip pat matosi mikrotinklo vartotojų elektros energijos vartojimas. Grafike matyti akumulatoriaus baterijų krovimo ir energijos atidavimo kitimai. Kai išauga mikrotinklo vartotojų elektros energijos galios poreikis akumulatoriaus baterijos atiduoda elektros energijos galiuos iki 50 % talpos. Kai vartotojų elektros energijos galios poreikis sumažėjęs vėl vykdomas akumulatoriaus



baterijų krovimas. Kai nepakanka akumulatoriaus baterijų atiduodamos galios, laikinam elektros energijos išaugusiam poreikiui, imama elektros galia iš nacionalinio elektros energijos tinklo.



36 pav. Mikrotinklo galių pasiskirstymas paros metu ( — mikrotinklo suvartojama galia; — pagaminama galia; — akumulatoriaus baterijos galių pasiskirstymas; — suvartojama galia iš nacionalinio elektros energijos tinklo)

#### IŠVADOS:

1. Racionaliai derinant alternatyvios energijos rūšių šaltinių galimybes įmanoma sukurti efektyvų vietinio apsirūpinimo energija mikrotinklą, kuris ne tik sprendžia ekologijos problemas, bet ir atpigina energijos sąnaudas vartotojams.
2. Mikrotinkle tikslinga derinti įvairių atsinaujinančios energijos šaltinių pajėgumą, racionaliai išnaudojant jų energijos gamybos efektyvumo periodinius svyravimus.
3. Siekiant išvengti trumpalaikių energijos tiekimo sutrikimų valdymo sistemos komutacijų metu mikrotinkle tikslinga naudoti akumuliatorių baterijas.
4. Projektuojant mikrotinklą tikslinga modeliuoti alternatyvių energijos šaltinių išdėstymą konkrečioje aplinkoje.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. **Adomavičius V., Kharchenko V., Valickas J., Gusarov V.** RES-based microgrids for environmentally friendly energy SUPPLY IN agriculture // TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering, 3-6 September, 2013, Prague, Czech Republic : 5th international conference proceedings. – Prague: Czech University of Life Sciences Prague, 2013, p. 51-55. ISBN 9788021323889.
2. **Chowdhury S., Chowdhury S. P., Crossley P.** Microgrids and Active Distribution Networks. – London: Institution of Engineering and Technology, 2013.
3. Aplinkos apsaugos agentūra. Prieiga per internetą: <<http://klimatas.gamta.lt/cms/index?rubricId=b9b37eae-b305-46a5-b794-d3d49c10c57d>> [žiūrėta 2014-09-02].
4. Balsas.lt. Prieiga per internetą: <<http://www.balsas.lt/naujiena/542796/zmones-isskiria-daugiau-co2-nei-visi-zemes-ugnikalniai>> [žiūrėta 2014-12-02].
5. Alfa.lt. Prieiga per internetą: <<http://www.alfa.lt/straipsnis/14257669/lietuva-sekmingaimazina-anglies-dioksido-emisija-salyje#ixzz3KjnQHS6J>> [žiūrėta 2014-12-02].
6. Mokslo darbai. Prieiga per internetą: <<http://mokslo darbai.lt/referatas/globalinis-atsilimas?page=1>> [žiūrėta 2014-12-02].
7. Lietuvos nacionalinis radijas ir televizija. Prieiga per internetą: <[http://www.lrt.lt/naujienos/mokslas\\_ir\\_it/1/65277/sis\\_rugpjutis\\_buvo\\_karsciausias\\_zemeje\\_nuo\\_1880\\_metu](http://www.lrt.lt/naujienos/mokslas_ir_it/1/65277/sis_rugpjutis_buvo_karsciausias_zemeje_nuo_1880_metu)> [žiūrėta 2014-12-02].
8. **Adomavičius V.** Mažosios atsinaujinančiųjų išteklių energijos sistemos. Kaunas: Technologija, 2013. 40; 249p.
9. World Watch institute. Prieiga per internetą: <<http://vitalsigns.worldwatch.org/vs-trend/record-high-global-greenhouse-gas-emissions>> [žiūrėta 2014-12-04].
10. Lietuvos nacionalinis radijas ir televizija. Prieiga per internetą: <[http://www.lrt.lt/naujienos/ekonomika/4/66215/prezidente\\_niujorke\\_energetinis\\_saugumas\\_aktualus\\_visam\\_pasauliui](http://www.lrt.lt/naujienos/ekonomika/4/66215/prezidente_niujorke_energetinis_saugumas_aktualus_visam_pasauliui)> [žiūrėta 2014-09-24].
11. Lietuvos energetikos institutas. Prieiga per internetą: <[http://www.lei.lt/\\_img/\\_up/File/atvir/erlic/index\\_files/Atsinaujinantys\\_energijos\\_saltiniai.pdf](http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/erlic/index_files/Atsinaujinantys_energijos_saltiniai.pdf)> [žiūrėta 2014-10-10].
12. Vikipedija. Prieiga per internetą: <[http://lt.wikipedia.org/wiki/Atsinaujinantieji\\_energijos\\_ištekliai](http://lt.wikipedia.org/wiki/Atsinaujinantieji_energijos_ištekliai)> [žiūrėta 2014-10-10].
13. Žalia idėja. Prieiga per internetą: <<http://zaliaideja.wordpress.com/2012/10/09/naujos-kartos-saules-elementai-saules-elementas-dazais-jautrinto-titano-dioksido-pagrindu/>> [žiūrėta 2014-09-24].

14. Fizika. Prieiga per internetą: <<http://fizikosdarbai.weebly.com/hidroelektrin279s.html>> [žiūrėta 2015-01-22].
15. **Adomavičius V.** Elektromobiliai, energijos kaupikliai, mikrotinklai. – Kaunas: Atsinaujinančios energijos centras, 2013. – 108 p.
16. **Adomavičius V.** Atsinaujinančių išteklių energiją naudojančių mažos galios sistemų tyrimas. Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, energetika ir termoinžinerija (06T). Kaunas 2011. 53-54 p.
17. **Adomavičius V. Kaminskas V.** Analysis of PV power future development possibilities. Lietuvos mokslų akademija Energetika 2014. T. 60. Nr. 4. P. 248.
18. Aleksandro Stulginskio universitetas. Prieiga per internetą: <[http://www.asu.lt/nm/1-projektas/Atsinaujinantys\\_agrariniai/2.htm](http://www.asu.lt/nm/1-projektas/Atsinaujinantys_agrariniai/2.htm)> [žiūrėta 2015-01-22].
19. Žalia idėja. Prieiga per internetą: <<http://zaliaideja.wordpress.com/2012/10/09/naujos-kartos-saules-elementai-saules-elementas-dazais-jautrinto-titano-dioksido-pagrindu/>> [žiūrėta 2015-01-25].
20. LG Energy. Prieiga per internetą: <<https://www.lgenergy.com.au/search?s=LG250S1K-G3>> [žiūrėta 2014-12-12].
21. Sharp. Prieiga per internetą: <<http://www.sharp.eu/cps/rde/xchg/eu/hs.xsl/-/html/polycrystalline.htm>> [žiūrėta 2014-12-12].
22. **Petrauskas G. Adomavičius V.** Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti. Kaunas: Technologija, 2012. 40, 47p.
23. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. Prieiga per internetą: <<http://www.regula.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/tarifai.aspx>> [žiūrėta 2014-12-15].
24. Greenstart. Prieiga per internetą: <[http://www.greenstart.lt/lt/produktai/saules\\_energijos\\_sistemas\\_elektrai\\_gaminti/saules\\_elektriniu\\_komplektai/](http://www.greenstart.lt/lt/produktai/saules_energijos_sistemas_elektrai_gaminti/saules_elektriniu_komplektai/)> [žiūrėta 2014-12-12].
25. **Petrauskas G. Adomavičius V.** Vėjo energijos naudojimas elektrai gaminti. Kaunas: Technologija, 2012. 22-24, p.
26. **Adomavičius V.** Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, energetika ir termoinžinerija (06T). Kaunas 2011. 13 p.
27. **Gečys s. Kalvaitis A. Smolskas P.** Elektromechanika. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2013. 109-110, p.
28. Open Energy Information. Prieiga per internetą: <[http://en.openei.org/wiki/Small\\_Wind\\_Guidebook/What\\_are\\_the\\_Basic\\_Parts\\_of\\_a\\_Small\\_Wind\\_Electric\\_System](http://en.openei.org/wiki/Small_Wind_Guidebook/What_are_the_Basic_Parts_of_a_Small_Wind_Electric_System)> [žiūrėta 2014-01-15].

29. Configres Investments LTD. Prieiga per internetą:  
<[http://www.configres.com/en/projects/green\\_energy](http://www.configres.com/en/projects/green_energy)> [žiūrėta 2014-02-19].
30. New Energy Group. Prieiga per internetą: <<http://www.neg.lt/index.php/lt/vjo-energija/lietuvos-tinkamumas-vjo-energetikai>> [žiūrėta 2014-02-19].
31. Lietuvos vėjo energetikų asociacija. Prieiga per internetą:  
<[http://www.lwea.lt/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59&Itemid=76&lang=lt](http://www.lwea.lt/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=76&lang=lt)> [žiūrėta 2014-02-19].
32. World of WasP. Prieiga per internetą:  
<[http://www.energiatalgud.ee/img\\_auth.php/f/f0/Rathmann,\\_O.\\_The\\_UNDP\\_GEF\\_Baltic\\_Wind\\_Atlas.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/f/f0/Rathmann,_O._The_UNDP_GEF_Baltic_Wind_Atlas.pdf)> [žiūrėta 2014-12-28].
33. **Paulauskas A.** Mažų vėjo jėgainių naudojimo namų ūkiuose galimybių tyrimas. Magistro baigiamasis darbas. Energijos ir aplinkos magistro studijų programa, valstybinis kodas 62602P102. Kaunas 2013.
34. Finnwind. Prieiga per internetą: <<http://www.finnwind.fi/tuulivoimala>> [žiūrėta 2014-12-22].
35. **Paulauskas A.** Mažų vėjo jėgainių naudojimo namų ūkiuose galimybių tyrimas. Magistro baigiamasis darbas. Energijos ir aplinkos magistro studijų programa, valstybinis kodas 62602P102. Kaunas 2013. 19 p.
36. WindPower program. Prieiga per internetą: <[http://www.wind-power-program.com/turbine\\_characteristics.htm](http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm)> [žiūrėta 2015-01-10].
37. Jėgainės. Prieiga per internetą:  
<[http://www.jegaines.lt/index.php?lang=lt&page=skaiciuokle\\_komercines](http://www.jegaines.lt/index.php?lang=lt&page=skaiciuokle_komercines)> [žiūrėta 2015-01-11].
38. Termoizoliacijos sprendimai Stata. Prieiga per internetą: <<http://www.stata.lt/buitin279s-v279jo-elektros-j279gain279s.html>> [žiūrėta 2015-01-11].
39. Front Generator Wind Turbine. Prieiga per internetą:  
<[http://www.allwindturbine.com/products\\_info/5KW-Wind-Turbine-Model-228335.html](http://www.allwindturbine.com/products_info/5KW-Wind-Turbine-Model-228335.html)> [žiūrėta 2015-01-11].
40. Fizika. Prieiga per internetą: <<http://fizikosdarbai.weebly.com/hidroelektrin279s.html>> [žiūrėta 2015-01-22].
41. Straipsnių rinkinys. Lietuvos hidroenergetikai – 100. Kaunas – Akademija, Lietuva 2001.1-34 p.
42. Dienraščio „Respublika“ 2009 m. gegužės mėn. 19 d. priedas „Pastogė“ 2 p.
43. **Staponkus V.** Hidraulika ir hidroelektrinės. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 1997. 10 p., 14-15 p.

44. Technologijos. lt. Prieiga per internetą:  
<[http://www.technologijos.lt/n/technologijos/energija\\_ir\\_energetika/S-30101](http://www.technologijos.lt/n/technologijos/energija_ir_energetika/S-30101)> [žiūrėta 2015-01-22].
45. Green Energy Research. Prieiga per internetą:  
<<http://www.greenenergyresearch.be/#greenenergy%20website> > [žiūrėta 2015-01-22].
46. **Jablonskis J. Punys P. Šavelskas V. Tautvydas A.** Lietuvos Mažosios Hidroenergetikos žinynas. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 1996. 71-72, p.
47. Water21. Prieiga per internetą:< <http://www.water21.org.uk/hydropower/ossberger-hydoturbines/kaplan-turbine/kaplan-detailed-information/> > [žiūrėta 2015-01-22].
48. Ossberger. Prieiga per internetą:<  
[http://www.ossberger.de/cms/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/1-2-09\\_08.pdf](http://www.ossberger.de/cms/fileadmin/_migrated/content_uploads/1-2-09_08.pdf)> [žiūrėta 2015-01-26].
49. Wikipedija. Prieiga per internetą: <[http://lt.wikipedia.org/wiki/Elektros\\_rinka](http://lt.wikipedia.org/wiki/Elektros_rinka)> [žiūrėta 2015-01-26].
50. **Svinkūnas G.** Elektros energetika. Paskaitų konspektas. Kaunas 2008. 4 p.
51. Elektros energija. Prieiga per internetą: <[http://www.ena.lt/pat\\_el\\_fakt.htm](http://www.ena.lt/pat_el_fakt.htm)> [žiūrėta 2015-01-27].
52. Energera. Prieiga per internetą: <[http://energera.lt/lt/silumos-siurbLIAI#ŠILUMOS\\_SIURBLIAI\\_DIDELIEMS\\_OBJEKTAMS](http://energera.lt/lt/silumos-siurbLIAI#ŠILUMOS_SIURBLIAI_DIDELIEMS_OBJEKTAMS)> [žiūrėta 2015-01-26].
53. Science Direct. Prieiga per internetą:<  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775305007093>> [žiūrėta 2015-01-26].
54. Giminija. Prieiga per internetą: <<http://www.giminija.lt/neprijungtos-prie-skirstomuju-tinklu-saules-jegaines-projektavimas-nuo-a-iki-z>> [žiūrėta 2015-01-28].
55. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija: Prieiga per internetą: <<http://www.am.lt/VI/index.php#a/12476>> [žiūrėta 2014-11-15].
56. Carlo Gavazzi Automation Components. Prieiga per internetą: < [http://www.gavazzi-automation.com/nsc/HQ/EN/app\\_note](http://www.gavazzi-automation.com/nsc/HQ/EN/app_note) > [žiūrėta 2015-01-23].
57. Elgama elektronika. Prieiga per internetą: < <http://www.elgama.eu/lt/produktai/skaitikliai>> [žiūrėta 2015-01-23].
58. Programuojami loginiai valdikliai, mokomoji knyga, bazinis lygis TP 301. KLVTKTF Biblioteka.
59. Scrigroup. Prieiga per internetą:  
< <http://www.scrigroup.com/limba/lituaniana/255/Mikroprocesoriniai-valdymotai62693.php>> [žiūrėta 2015-05-19].