



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Andrius Šlėgus

IŠMANIŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ SU ATSINAUJINANČIAIS
ENERGIJOS ŠALTINIAIS MODELIAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Mindaugas Ažubalis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

IŠMANIŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ SU ATSINAUJINANČIAIS
ENERGIJOS ŠALTINIAIS MODELIAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas

Doc. dr. Mindaugas Ažubalis

Recenzentas

Lekt. Dainius Slušnys

Projektą atliko

Andrius Šlėgus

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Andrius Šlėgus

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Išmaniųjų elektros tinklų su atsinaujinančiais energijos šaltiniais modeliavimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Andriaus Šlėgaus** baigiamasis projektas tema „Išmaniųjų elektros tinklų su atsinaujinančiais energijos šaltiniais modeliavimas“ 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)

Šlėgus, A. Išmaniųjų elektros tinklų su atsinaujinančiais energijos šaltiniais modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Mindaugas Ažubalis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 56 psl.

SANTRAUKA

Šio magistro baigiamojo projekto tikslas yra iširti ir sumodeliuoti gyvenamųjų namų kvartalo elektros tinklą su atsinaujinančiais energijos šaltiniais (saulės elektrinėmis).

Darbe, remiantis įvairiais literatūros šaltiniais, atliekama saulės elektrinių analizė, t.y. nagrinėjama saulės elektrinės struktūra, saulės elemento veikimas ir savybės, aptariami pagrindiniai saulės modulių tipai, apžvelgiama saulės elektrinių plėtra ir panaudojimas Lietuvoje. Analizuojamos saulės elektrinių prijungimo prie elektros tinklų sąlygos, šių elektrinių panaudojimo galimybės gyvenamuosiuose namuose. Nagrinėjami saulės elektrinių įrengimo bei modeliavimo ypatumai. Pagal Lietuvos metrologijos matavimų duomenis tiriama, kur Lietuvoje būtų tikslingiausia ir efektyviausia statyti tokį gyvenamųjų namų kvartalą su saulės elektrinėmis.

Naudojant Matlab „Simulink“ programinį įrangos paketą, šiame darbe yra sudaromas gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis mikrotinklo modelis. Aiškinama šio modelio veikimo metodika ir pagrindinės savybės. Remiantis sukurtais duomenimis, darbe yra modeliuojamas šio mikrotinklo veikimas dviem režimais (vasaros ir žiemos).

Visa tai susiję su elektros tinklų modernizacijos procesu, kuris vyksta Lietuvoje ir visame pasaulyje, todėl sukurtas modelis ir atlikti įvairūs skaičiavimai gali būti panaudoti praktiškai.

Šlėgus, Andrius. Modelling of a Smart Grid with Renewable Energy Sources. Final project of Master degree / supervisor doc. dr. Mindaugas Ažubalis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Systems.

Kaunas, 2016. 56 psl.

SUMMARY

The aim of this master final project is to explore and model the residential homes area electrical grid with renewable energy sources (solar power plants).

In this paper, according to various literature sources, is performed the analysis of solar power plants, examined the solar power plant structure, solar cell working and features, discussed the main types of solar modules, overviewed solar power plants development and the use in Lithuania. Analyzed solar power plants connected to the power grid conditions, the electric usability in residential homes. Analyzed solar power installation and modeling features. According to the Lithuanian metrology measurements examined where in Lithuania would be most appropriate and effective to build this micro-grid of residential houses with solar power plants.

Using Matlab Simulink software package, in this work is formed the residential homes area with solar power plant micro-grid model. Is interpreted this model methodology and key features. Based on the created data, in this work is modeled the operation of a micro-grid in two modes (summer and winter).

All this is related to the electrical grid modernization process, which is going in Lithuania and all around the world, so created model and all calculations can be used in practice.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	10
ĮVADAS	11
1. APŽVALGINĖ DALIS	12
1.1. Saulės elektrinių plėtra ir panaudojimas Lietuvoje.....	12
1.2. Saulės elemento bei modulio veikimas ir savybės.....	13
1.3. Saulės modulių tipai.....	15
1.4. Saulės jėgainės struktūra.....	17
1.5. „ <i>PECAN STREET</i> “ projektas	19
1.6. AEI panaudojimo galimybės gyvenamuosiuose namuose.....	20
1.6.1. Saulės elektrinės bendroms namo elektros sąnaudoms padengti	21
1.7. Saulės elektrinių įrengimo ypatumai	24
1.8. Saulės elektrinių modeliavimo ypatumai.....	28
1.8.1 Saulės elemento matematinės išraiškos.....	28
1.9. Energijos gamintojų, naudojančių AEI, prijungimo prie elektros tinklų sąlygos.....	30
1.9.1. Esama AEI elektros gamintojų prijungimo prie tinklų tvarka.....	30
1.9.2. Gamintojų prijungimo prie tinklų išlaidų paskirstymas	31
2. METODINĖ DALIS	33
2.1. Išmaniojo tinklo su saulės elektrinėmis modeliavimas Matlab Simulink programa	33
2.1.1. Įvesties duomenys	34
2.1.2. Modelio sudarymas	34
2.2. Gyvenamų namų kvartalo su saulės elektrinėmis tyrimas vasaros režimu	36
2.3. Gyvenamų namų kvartalo su saulės elektrinėmis tyrimas žiemos režimu	39
3. TYRIMO REZULTATŲ DALIS	42
3.1. Gyvenamų namų kvartalo su saulės elektrinėmis modeliavimo rezultatai vasaros režimu.....	42
3.2. Gyvenamų namų kvartalo su saulės elektrinėmis modeliavimo rezultatai žiemos režimu.....	47
4. IŠVADOS.....	52
5. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	54

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Saulės elemento struktūrinė schema	13
1.2 pav. a) Saulės modulio grafinis žymuo schemose, b) saulės modulių nuoseklaus jungimo schema, c) saulės modulių lygiagretaus jungimo schema	13
1.3 pav. Saulės jėgainės struktūrinė schema.....	17
1.4 pav. Į elektros tinklą integruotos saulės mikroelektrinės supaprastinta struktūrinė sujungimų schema	23
1.5 pav. Saulės elektrinių montavimo galimybės ant gyvenamojo namo	25
1.6 pav. Saulės elementų optimalaus pasvirimo kampo nustatymas	26
1.7 pav. Lietuvos saulės apšvietos žemėlapis.....	26
1.8 pav. Lietuvos saulės apšvietos žemėlapis horizontaliai montuojamoms saulės elektrinėms ..	27
1.9 pav. Saulės elemento voltamperinės charakteristikos	29
1.10 pav. Saulės elemento galios charakteristikos	30
1.11 pav. Prijungimo prie elektros sistemos kaštų paskirstymo tipai (Auer H. et al, 2007)	31
2.1 pav. Galios priklausomybė nuo laiko	33
2.2 pav. MATLAB „Simulink“ modelis.....	34
2.3 pav. Gyvenamųjų namų su saulės elektrinėmis atvaizdavimas MATLAB „Simulink“.....	35
2.4 pav. Gyvenamųjų namų 1,2 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko	37
2.5 pav. Gyvenamųjų namų 3,4 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko	37
2.6 pav. Gyvenamųjų namų 5,6 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko	37
2.7 pav. Gyvenamųjų namų 7,8 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko	38
2.8 pav. Gyvenamųjų namų 9,10 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko	38
2.9 pav. Gyvenamųjų namų 11,12 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko	38
2.22 pav. Gyvenamųjų namų 1,2 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)	39
2.23 pav. Gyvenamųjų namų 3,4 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas).....	39

2.24 pav. Gyvenamųjų namų 5,6 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)	40
2.25 pav. Gyvenamųjų namų 7,8 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)	40
2.26 pav. Gyvenamųjų namų 9,10 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)	40
2.27 pav. Gyvenamųjų namų 11,12 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)	41
2.10 pav. Namų Nr.1 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	43
2.11 pav. Namų Nr.2 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	43
2.12 pav. Namų Nr.3 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	43
2.13 pav. Namų Nr.4 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	44
2.14 pav. Namų Nr.5 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	44
2.15 pav. Namų Nr.6 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	44
2.16 pav. Namų Nr.7 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	45
2.17 pav. Namų Nr.8 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	45
2.18 pav. Namų Nr.9 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	45
2.19 pav. Namų Nr.10 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	46
2.20 pav. Namų Nr.11 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	46
2.21 pav. Namų Nr.12 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko	46
2.28 pav. Namų Nr.1 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	47
2.29 pav. Namų Nr.2 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	48
2.30 pav. Namų Nr.3 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	48
2.31 pav. Namų Nr.4 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	48
2.32 pav. Namų Nr.5 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	49
2.33 pav. Namų Nr.6 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	49
2.34 pav. Namų Nr.7 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	49
2.35 pav. Namų Nr.8 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	50
2.36 pav. Namų Nr.9 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	50
2.37 pav. Namų Nr.10 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	50
2.38 pav. Namų Nr.11 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	51
2.39 pav. Namų Nr.12 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)	51

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. 2014 m. Lietuvoje veikusių saulės elektrinių kiekis ir galia.....	12
1.2 lentelė. Skirtingų tipų saulės modulių parametrai	15

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

SE – saulės elektrinė

AFES – autonominės fotoelektrinės sistemos

RFES – rezervinės fotoelektrinės sistemos

IVADAS

Išmanusis elektros tinklas (angl. *smart grid*) – tai toks elektros tinklas, kuris efektyviai ir ekonomiškai pritaiko visų prie jo prijungtų vartotojų (vartojančių arba/ir generuojančių) veiksmus ir elgesį, garantuoja ekonomiškai veiksmingą energetinę sistemą su nedideliais energijos nuostoliais, aukštu elektros energijos tiekimo patikimumu bei svarbiausia saugumu. Stengiamasi, kad energijos vartotojui šiame elektros tinkle būtų suteikiama ir garantuojama kuo tinkamesnė paslaugų kokybė, suteikiama reikalinga informacija bei naudingi sprendimai efektyviam ir saugiam elektros vartojimui bei gamybai. Įsidiegus šį elektros tinklą, vartotojui būtų suteikta aukštesnės kokybės elektros energija, atsirastų galimybė daug efektyviau vartoti, taupyti bei prekiauti elektros energija (mikrogeneracija) [1].

Nors paskutiniaisiais dešimtmečiais elektros tinklų modernizavimui visame pasaulyje darė įtaką ribotos investicinės lėšos ir įvairūs saugos reikalavimai, tačiau vis didėjantis susirūpinimas aplinkosaugos ir taršos klausimais skatina visą energetikos sistemą tapti efektyvesne, o elektros energiją gaminti iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

Baigiamojo magistro projekto tema aktuali tuo, kad dėl šiuo metu pingančių technologijų vartotojui suteikiama vis didesnė galimybė įsirengti individualius elektros energijos generavimo įrenginius, tokius kaip saulės ar vėjo elektrinės. Turėdamas tokius generavimo įrenginius, vartotojas ne tik vartoja elektros energiją, bet ir ją generuoja bei tiekia į tinklą, esant energijos pertekliui. Taip yra sukuriamas abipusis ryšio kanalas tarp tinklo ir vartotojo. Esant šiam kanalui tinklo operatorius, bendraudamas su vartotoju, turi galimybę didinti tinklo stabilumą, tuo pačiu mažindamas kritinių režimų susidarymo tikimybę.

Baigiamojo magistro projekto tikslas yra ištirti ir sumodeliuoti gyvenamųjų namų kvartalo elektros tinklą su atsinaujinančiais energijos šaltiniais (saulės elektrinėmis).

Šiam tikslui įgyvendinti reikia atlikti tokius uždavinius:

- 1) Atlikti saulės elektrinių analizę ir apžvelgti jų modeliavimo ypatumus.
- 2) Apžvelgti ir ištirti vykdomus projektus, susijusius su šia tema.
- 3) Pagal Lietuvos metrologijos matavimų duomenis ištirti ir išsiaiškinti, kur Lietuvoje būtų tikslingiausia ir efektyviausia statyti tokį gyvenamųjų namų kvartalą su saulės elektrinėmis.
- 4) Išanalizuoti elektros energijos gamintojų, naudojančių atsinaujinančius energijos šaltinius, prijungimo prie elektros tinklų sąlygas ir aptarti pagrindines problemas.
- 5) Sudaryti gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis elektros tinklo modelį ir ištirti jo veikimą keliais režimais.

1. APŽVALGINĖ DALIS

1.1. Saulės elektrinių plėtra ir panaudojimas Lietuvoje

Per vienerius metus į žemės paviršių patenka maždaug apie $1,08 \cdot 10^{19}$ kWh saulės energijos, o tuo tarpu žmonijos bendras metinis energijos poreikis yra net 10000 kartų mažesnis [3]. Nors tai yra labai didelis energijos srautas, tik ganėtinai maža jo dalis yra panaudojama, kaip atsinaujinantis energijos šaltinis. Dalis šios energijos, naudojant saulės kolektorius, vartojama vandens pašildymui, o kita dalis saulės elektrinėse verčiama į elektros energiją. Per 2013 metus Lietuvoje iš saulės energijos buvo pagaminta apie 45 GWh elektros energijos [2].

Žemiau pateiktoje 1.1 lentelėje pateikta 2014 metais veikusių saulės elektrinių galia bei jų kiekis (Mačiulis, Galdikas 2015).

1.1 lentelė. 2014 m. Lietuvoje veikusių saulės elektrinių kiekis ir galia

Elektrinės galia, kW	Kiekis, vnt	Bendra galia, MW
0–10	170	1,3
11–27	158	2,9
28–32	1600	47,6
33–100	42	4,1
101–999	10	5,9
1000–3000	4	8,0
Viso:	1984	69,8

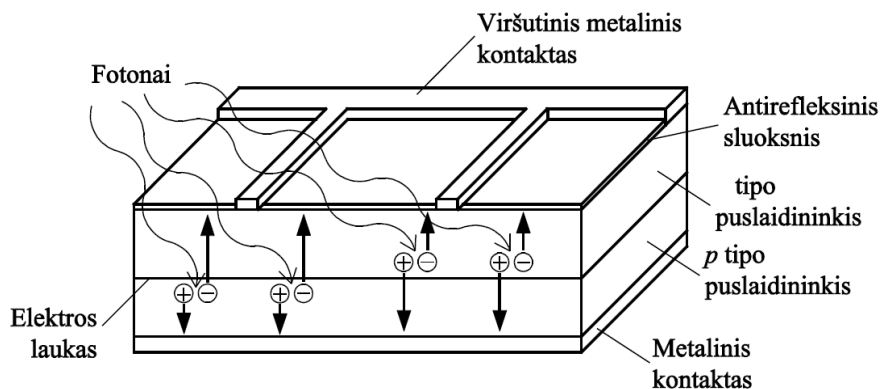
Nepaisant to, kad 1.1 lentelėje esantys skaičiai nėra ypač dideli, vis dėlto galima pasidžiaugti, kad tokia saulės elektrinių bendra galia buvo pasiekta vos per keletą metų. Tuo metu pagal įstatyminius aktus buvo paranku investuoti į šių elektrinių statybą.

Pirmieji tradiciniai saulės elementai buvo pagaminti 1954 m., o jau vos po kelerių metų pradėti naudoti elektros energijos gamybai bei tiekimui dirbtiniuose žemės palydovuose. Šiuo metu yra statoma daug saulės jėgainių, kurių galingumas siekia ir viršija net kelias dešimtis megavatų. 2014 metais baigtos statyti didžiausios saulės jėgainės Kalifornijoje (JAV) galingumas siekia 550 MW [4]. Visų saulės elektrinių, nepriklausomai nuo jų galios, efektyviam naudojimui reikalingos patikimos valdymo sistemos.

Saulės energetikos plėtrą dotuoja valstybės. Visa tai vykdoma padidinus pagamintos elektros energijos supirkimo kainą, nors šiuo metu ji vis mažėja. Norint palaikyti saulės energetikos rentabilumą, saulės elektrinių plėtotojai ieško įvairių būdų elektrinės efektyvumui padidinti.

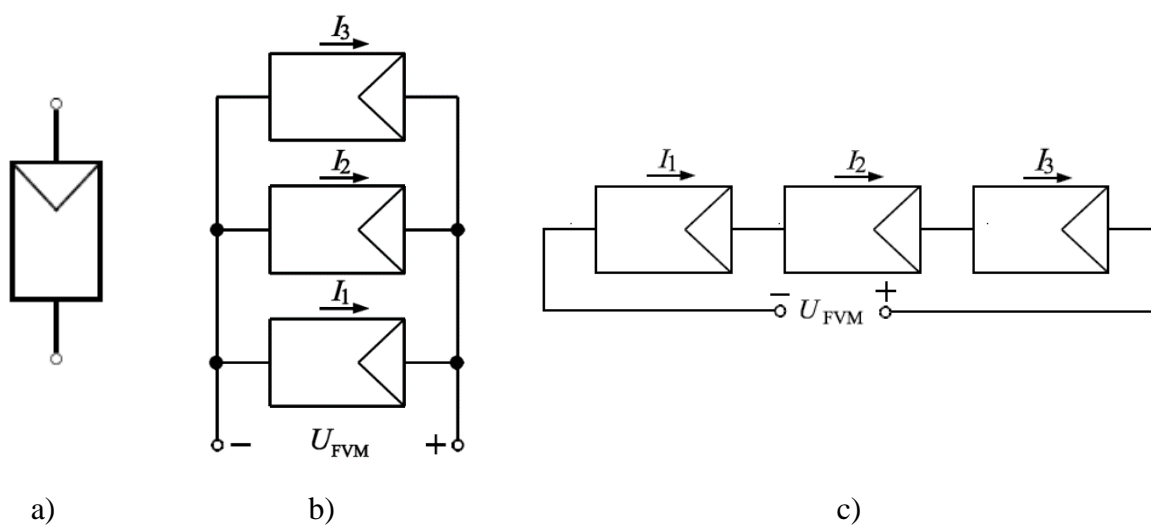
1.2. Saulės elemento bei modulio veikimas ir savybės

Struktūrinė schema, paaiškinanti fotovoltinio elemento veikimą, pateikta 1.1 paveiksle. Fotovoltinį elementą sudaro n ir p tipo puslaidininkio sluoksniai, sudarantys p-n sandūrą, du metaliniai kontaktai bei antirefleksinis sluoksnis, kuris mažina saulės spindulių atspindžius.



1.1 pav. Saulės elemento struktūrinė schema

Norint gauti p – tipo puslaidinikinį silicį, jis legiruojamas medžiagos su mažesniu valentinių elektronų skaičiumi turinčiais atomais. Dažniausiai naudojami elementai yra boras arba aliuminis. Kai silicis legiruojamas medžiagos su didesnę valentinių elektronų skaičiumi turinčiais atomais, tuomet yra gaunamas n – tipo puslaidinikinis silicis. Tokiu atveju dažniausiai yra naudojamas fosforas arba arsenas [5]. Kai yra suformuojamas p-Si ir n-Si ir paviršiuose pridedami metaliniai kontaktai, tokį saulės elementą jau yra galimybė naudoti kaip energijos šaltinį ir prijungti prie apkrovos.



1.2 pav. a) Saulės modulio grafinis žymuo schemose, b) saulės modulių nuoseklaus jungimo schema, c) saulės modulių lygiagretaus jungimo schema

Saulės elementas iš kart generuoja elektros energiją, vos tik apšvietus jo p-n sandūrą. Krisdami saulės šviesos fotonai išmušinėja silicio elektronus iš valentines juostos į laidumo juostą [6]. Silicio elektronai gali būti išmušti tik tuomet, kai fotono energija yra lygi arba didesnė už silicio puslaidininkio draustinių energijų juostos plotį. Atsirandus papildomiems laisviesiems krūvininkai, tai yra elektronams laidumo juostoje ir skylėms valentinėje juostoje, nusistovėjusi laisvųjų krūvininkų terminė pusiausvyra p-n sandūroje suardoma. Elektronai pernešami per p-n sandūrą į n-tipo silicį, o skylės į p-tipo silicį ir tuomet sandūros srityje susidaro laisvų krūvininkų [7]. Veikiami susidariusio elektrinio lauko pertekliniai elektronai iš n-tipo silicio metaliniu kontaktu juda išorine grandine per apkrovą kol pasiekia p-tipo silicį. Elektronams susitikus su priešinga kryptimi judančiomis skylėmis – rekombinuoja [8]. Tokiu būdu gaminama pastovi elektros srovė, kuri teka iki to laiko kai fotovoltinis elementas apšviečiamas saulės šviesa ir generuoja laisvuosius krūvininkus.

Kadangi vieno saulės elemento galia yra ganėtinai maža, šie elementai dažniausiai jungiami pagal nuoseklaus arba lygiagrečias tipo grandines. Priklausomai nuo reikiamos modulio galios pasirenkamas saulės elementų kiekis grandinėje. Kuo daugiau bus elementų, tuo ir modulio galia bus didesnė. Saulės modulį sudaryti iš daugelio elementų netikslinga dėl šių kelių priežasčių. Visų pirma, gaminat modulį iš daugelio elementų, jis tampa ganėtinai sunkus ir itin didelis, todėl jį yra nepatogu montuoti statant saulės jėgaines. Kita svarbi priežastis, kodėl nėra gaminami ypač dideli fotovoltiniai moduliai, nes padidėja neefektyvaus veikimo rizika. Esant griozdiškam moduliui atsiranda didesnė tikimybė, kad vos tik daliai modulio patekus į šešėlį, visas modulis veiks šešėlyje esančių saulės elementų sumažėjusiu našumu [9]. Dėl šios priežasties dažniausiai saulės modulį sudaro 60 fotovoltinių elementų (6×10). Saulės jėgainių schemose saulės modulis yra žymimas simboliu pateiktu 1.2 paveiksle, a.

Saulės modulius yra galimybė jungti į lygiagrečias ar nuoseklias grandines. 1.2 paveiksle, c pateikta nuosekliai sujungtų saulės modulių grandinės schema. Tai yra vienas iš dažniausiai naudojamų jungimo tipų. Šiuo būdu jungiant visos grandinės srovė išlieka pastovi, nepaisant kiek vienodo tipo saulės modulių bus sujungta [10]. Jungiant modulius nuosekliu jungimo būdu, visos grandinės įtampa priklauso nuo sujungtų modulių skaičiaus. Kuo modulių daugiau, tuo įtampa šioje grandinėje bus didesnė. Daugumos saulės modulių charakteristikos leidžia juos nuosekliai jungti maždaug iki 1000 V įtampos vienoje grandinėje.

Atskirais atvejais saulės moduliai gali būti jungiami ir lygiagrečiai, kaip pateikta 1.3 paveiksle, b. Tokiu būdu dažniausiai jungiami tokie moduliai, kurių srovė yra maža, o įtampa didelė. Panašias charakteristikas turi amorfiniai saulės moduliai. Tokiu būdu gali būti jungiami ir standartiniai moduliai, jeigu tai leidžia pasirinktas keitiklis (inverteris). Yra galimybė ir mišriai sujungti modulius (kai lygiagrečiai sujungiamos, jau nuosekliai sujungtos modulių grandinės).

1.3. Saulės modulių tipai

Saulės elementų yra įvairių dydžių ir skirtingo efektyvumo. Elementų naudingumo koeficientas priklauso nuo elemento konstrukcijoje naudojamų medžiagų, jų kiekio, o taip pat ir nuo gamybos technologijos. Šie veiksniai nulemia kokia dalis saulės energijos bus paversta į elektros energiją ir kiek šios energijos bus nepanaudota dėl atspindžių. Saulės elemento efektyvumas apskaičiuojamas taip (Skoplaki 2009):

$$\eta = \frac{P_p}{A_M E}, \quad (1.1)$$

čia P_p – didžiausia saulės elemento galia standartinėmis bandymo sąlygomis (pikinė galia), A_M – saulės elemento plotas, E – visas saulės spinduliuotės, krentančios į saulės elemento paviršių, galios srautas.

Saulės energijos kiekis paverčiamas elektros energija labiausiai priklauso nuo saulės elementų tipo. Mažiausią naudingumo koeficientą turi amorfiniai bei plonasluoksniai saulės elementai. Brangiausi, tačiau vieni iš efektyviausiai gebančių paversti saulės energiją elektros energija yra monokristaliniai bei dvipusiai (angl. *bifacial*) saulės elementai [12]. Dėl vis atsirandančių naujų technologijų kiekvienais metais saulės elementų naudingumo koeficientas didinamas. šiuo metu plačiai yra taikomi saulės elementai, kurių naudingumo koeficientas neviršija 22 %.

1.2 lentelė. Skirtingų tipų saulės modulių parametrai

Modulio parametras	Modulio tipas		
	Monokristalinis	Polikristalinis	Amorfinis
Didžiausia galia, W	250	250	130
Didžiausios galios įtampa, V	31,10	30,10	46,10
Didžiausios galios srovė, A	8,05	8,31	2,82
Tuščios veikos įtampa, V	37,80	37,40	60,40
Trumpo jungimo srovė, A	8,28	8,83	3,41
Modulio efektyvumas, %	14,91	15,40	9,3
Maksimali sistemos įtampa, V	1000		
Standartinės bandymo sąlygos	1000 W/m ² , oro masė 1,5, 25 °C		

1.2 lentelėje yra pateikta trijų tipų saulės modulių darbinės charakteristikos esant standartinėms bandymo sąlygoms. Nepaisant to, kad monokristaliniai elementai šiuo metu yra didžiausio efektyvumo, tačiau dėl gamybos technologijos šių saulės elementų forma yra

užapvalintais kampais ir šiuo atveju nėra panaudojamas visas modulio plotas [13]. Todėl skaičiuojant saulės modulio naudingumą, monokristaliniai moduliai nusileidžia polikristaliniams moduliams. Amorfinių saulės modulių naudingumas yra ženkliai mažesnis už šiuo metu pirmaujančių monokristalinių bei polikristalinių modulių. Tačiau amorfinių modulių kaina gana nemažai skiriasi lyginant su pastaraisiais. Nepaisant amorfinių saulės modulių pigumo, nedaugelis dėl mažo jų naudingumo koeficiento ir greitos elektrinių charakteristikų degradacijos ryžtasi juos naudoti saulės elektrinėse.

Tipinė saulės modulio galia yra tarp 10W ir 100W. Charakteristikos matuojamos standartiniu testu kurio sąlygos yra 1000W/m^2 spinduliavimas į modulio paviršių, kai temperatūra yra 25°C [14].

Norint padidinti saulės elemento efektyvumą, kai kurių elementų paviršius dengiamas stiklo sluoksniu, kurio dėka yra surenkami rytų, pietų bei vakarų krypčių spinduliai ir tampa nereikalingas fokusavimas.

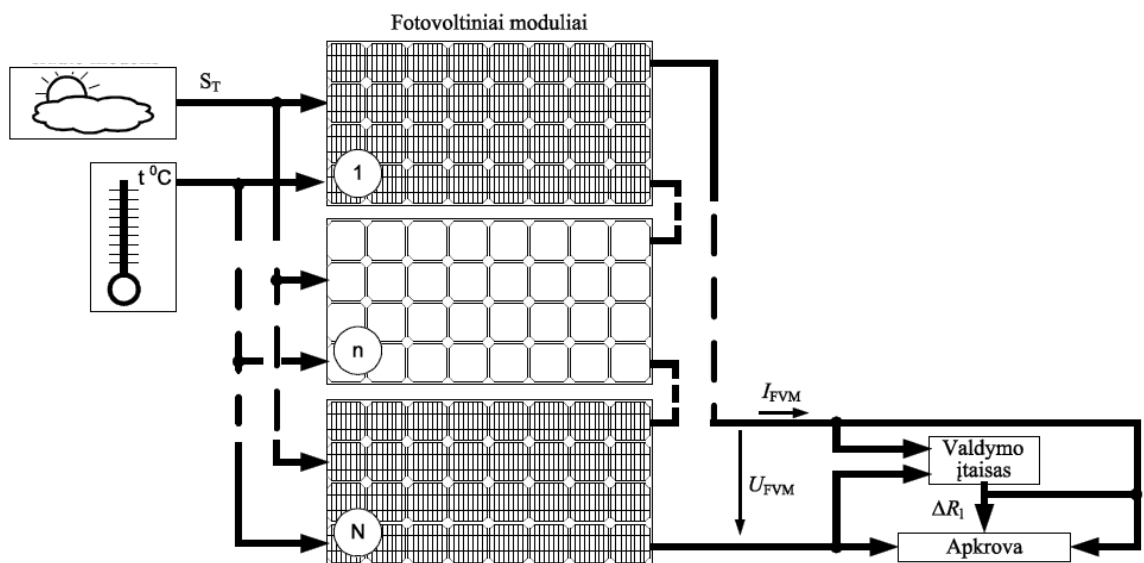
Norint gauti atitinkamą įtampą, kurią būtų galima pritaikyti įvairiuose elektros įrenginiuose, atskiros celės yra jungiamos į vieną didelę grupę. Sujungtos celės yra patalpinamos į skaidrų Etil-Vanilo-Acetata (*Ethyl-Vinyl-Acetate*). Toks modulis yra įstatomas į aliumininį ar plieninį rėmą, kuris iš priekio uždengiamas skaidriu stiklu, norint apsaugoti modulį nuo išorinių veiksnių [14].

Saulės šviesos energija į elektros energiją yra verčiama puslaidininkiniuose saulės elementuose. Specialiai neparuošus šių elementų, jie negali būti tiesiogiai naudojami lauko sąlygomis. Trapūs, neatsparūs drėgmei bei sunkiai valomi yra monokristalinio silicio elementai. Taip pat, šis elementas gali generuoti tik 0,5 V nuolatinę įtampą, kuri mažai kur pritaikoma. Praktikoje naudojamos nuosekliai sujungti 30 – 40 (dažniausiai 36) elementai, hermetizuoti skaidrioje, aplinkos veiksniams atsparioje medžiagoje. Taip paruošti gaminiai jau vadinami fotoelektriniais moduliais ir dažniausiai naudojami fotoelektrinėse sistemose (mažose elektrinėse), kurios skirstomos į tris pagrindines grupes:

- a) Autonominės saulės sistemos (AFES)
- b) Su tinklu sujungtos saulės sistemos
- c) Rezervinės saulės sistemos (RFES)

1.4. Saulės jėgainės struktūra

Šiuo metu yra statoma labai daug ir įvairaus tipo saulės jėgainių, tačiau visų jėgainių struktūra bei jų valdymo principai išlieka labai panašūs. 1.3 paveiksle pateikta struktūrinė saulės jėgainės schema. Iš schemos matome, kad jėgainę gali sudaryti pasirinktas skaičius nuosekliai sujungtų saulės modulių. Tikslus modulių skaičius pasirenkamas pagal įtampos keitiklio galimybes. Kiekvieną saulės modulį gali sudaryti skirtingas fotovoltinių elementų kiekis, kuris priklauso nuo modulio tipo. Fotovoltiniai moduliai yra apšviečiami saulės šviesa, tai yra į modulio paviršių krenta saulės galios srautas, kuris kinta priklausomai nuo aplinkos sąlygų [15].



1.3 pav. Saulės jėgainės struktūrinė schema

Saulės moduliai veikiami saulės galios srauto ir temperatūros generuoja įtampą U_{FVM} ir kuria srovę I_{FVM} , kuri teka per apkrovą. Saulės jėgainės apkrovą gali reguliuoti pasirinktas algoritmas [16]. Visi valdymo algoritmai turi užtikrinti efektyvų saulės jėgainės veikimą. Dažniausiai algoritmas lygindamas fotovoltinės jėgainės išmatuotas trumpojo jungimo srovės ir tuščios veikos įtampos vertes su prieš tai buvusiomis, reguliuoja jėgainės apkrovą – ją didindamas arba mažindamas žingsniu ΔR . Kaip apkrova jėgainėje gali būti panaudojamos akumuliatorių baterijos bei elektros įtaisai ar įrenginiai naudojantys momentinę elektros energiją. Vienas iš dažniausiai taikomų apkrovos sukūrimo būdų yra saulės jėgainės prijungimas prie centralizuotų elektros tinklų.

Saulės moduliai veikiami saulės spindulių ir kitų veiksnių šyla, o šiluma keičia modulio darbo charakteristikas, todėl eksploatuojant saulės elektrinę ypač didelis dėmesys yra skiriamas modulių temperatūrai.

Tiriant saulės elektrines ir analizuojant jų darbo efektyvumą, būtina turėti šios jėgainės imitacinį modelį, įvertinantį struktūrą, veikimo principus ir suteikiantį galimybę imituoti įvairias aplinkos sąlygas pasirinktoje pasaulio vietovėje.

1.5. „*PECAN STREET*“ projektas

Vienas pagrindinių šiuo metu vykdomų projektų, susijusių su šiuo darbu yra „*Pecan Street*“ projektas. „*Pecan Street*“ – tai mokslinių tyrimų ir plėtros organizacija orientuota į naujas, besivystančias ir pažangias technologijas, verslo modelį ir vartotojų, apsuptų pažangiomis energijos valdymo sistemomis, elgesį.

„*Pecan Street*“ projektas yra testavimo pagrindas - nauja, švaresnė ir daug efektyvesnė versija pasenusiam elektros tinkui, kuris yra ne toks naudingas, brangus ir teršiantis aplinką.

Dauguma „*Pecan Street*“ projekto namų šiuo metu turi pažangius skaitiklius - belaidžius energijos monitoringo įtaisus, kurie gali pasakyti gyventojui, kiek elektros energijos jis naudoja bet kuriuo metu. Daugiau nei 200 namų dabar naudoja saulės energiją ir tai yra viena didžiausių namų koncentracijų pasaulyje, kuriuose naudojamos saulės elektrinės. Apie penkiasdešimt šių namų ūkių naudoja elektrinius automobilius.

„*Pecan Street*“ ateities name prietaisai bus sujungti vienas su kitu ir su tinklu, kuris nuolat prisitaikys prie pokyčių. Gyventojai turės galimybę programuoti įvairius elektros prietaisus: džiovintuvus ir karšto vandens šildytuvus, kad jie naudotų kuo mažiau elektros energijos arba šiuos prietaisus jungs prie energijos šaltinių, tokių kaip, saulė ar vėjas.

Ant namo stogo sumontuotos saulės elektrinės ryte stebės orų prognozę tam, kad būtų galima apskaičiuoti, kiek energijos bus pagamina tą dieną, ir būtų galima sudaryti apkrovos grafiką. Pasitelkus saulės elektrinių generuojamą elektros energiją bus galima įkrauti elektromobilius. Saulei nusileidus, įkrautos elektromobilių baterijos galės tiekti elektros energiją namui. Tarkim, jei pamiršote išjungti karšto vandens šildytuvą, kai išvykote atostogauti, jokių problemų - tai bus galima padaryti su savo mobiliuoju telefonu.

Dalis viso to jau vyksta, o likusią dalį stengiamasi kuo greičiau įvykdyti. „*Pecan Street*“ pristatė naują mokslinių tyrimų laboratoriją, kurioje būtų galima testuoti išmaniojo tinklo technologijas. Ši naujos kartos laboratorija tirs naujos kartos prietaisus, elektromobilius, oro kondicionierius, saulės elektrines, norint paversti šio projekto viziją realybe.

„*Pecan Street*“ taip pat dirba su Teksaso universitetu, kuris turi pačius sparčiausius kompiuterius pasaulyje. Duomenys, surinkti iš Pekano gatvės namų, bus analizuojami šiame universitete ir atlikus skaičiavimus, bus galima pamatyti kaip gyventojai naudoja elektros energiją ir kaip būtų galima ją naudoti dar efektyviau.

„*Pecan Street*“ turi ambicingą aplinkosaugos tikslą: sumažinti išmetamą anglies dioksido kiekį, lyginant su vidutiniu Austino mieste. Namuose, kuriuose įrengta saulės elektrinės, bus suvartojama ne daugiau energijos, nei jos pagaminta, pasiekiant nulinį išmetamo anglies dioksido kiekį [17].

1.6. AEI panaudojimo galimybės gyvenamuosiuose namuose

Pagal visame pasaulyje gana sparčiai plintančią paskirstyto energijos generavimo koncepciją, gyvenamasis namas gali būti ne vien tik pasyvus energijos vartotojas, o taip pat ir energijos gamintojas, turintis galimybę pasigaminti sau reikalingą elektros energijos kiekį arba bent jos dalį. Gaminant elektros energiją, visų pirma turėtų būti stengiamasi išnaudoti vietinius ir atsinaujinančius energijos šaltinius. Kai sugeneruota elektros energija suvartojama ten pat, kur ji buvo pagaminama, tuomet yra išvengiama nuostolių, kurie yra susiję su elektros energijos perdavimais dideliais atstumais.

Iš atsinaujinančių energijos šaltinių sugeneruota elektros energija dažniausiai tiekama į elektros tinklą, kur ji yra skirstoma kitiems elektros energijos vartotojams kartu kitų elektrinių pagaminta elektros energija.

Atsinaujinančių energijos šaltinių elektrinėms būdingi ganėtinai dideli elektrinės galios svyravimai. Pavyzdžiui, kai integruotą į sistemą vėjo elektrinių suminė galia pasiekia 15-20 % ribą, suminiai vėjo elektrinių galios svyravimai tampa sunkiai balansuojami ir rezervuojami, todėl iškyla tam tikras pavojus stabiliam elektros tinklo darbui. Ne išimtis ir saulės elektrinės, kurios irgi pasižymi ganėtinai dideliais galios svyravimais. Dėl šios priežasties yra kuriami išmanieji elektros tinklai, kurių pagalba yra mažinami šie svyravimai. Nors taip modernizuojant elektros tinklą gana brangiai kainuoja, tačiau šis tinklas turi daug perspektyvų.

Norint sustiprinti visą šalies energetinę nepriklausomybę ir išnaudoti kitus teigiamus AEI aspektus, reikia diegti ir kurti naujas technologijas, kuriose iš atsinaujinančių energijos šaltinių gauta elektros energija didžiąja dalimi būtų suvartojama ten kur ji buvo pagaminta, tai yra įvairiose vietinėse šilumą ar elektros energiją naudojančiose sistemose. Tik nesunaudojus energijos pertekliaus, norint sutaupyti, jį būtų galima perduoti į elektros tinklą. Yra nemažai tokių galimybių, o ypač geras perspektyvas naudoti atsinaujinančiosios energijos turi gyvenamieji namai. Atsinaujinančių išteklių energija pastatuose kai kuriais atvejais jau gali sėkmingai varžytis su iškastinio kuro technologijomis, jas pakeisdama dalinai, arba netgi visiškai, nevertinant technologijų, kurios teršia aplinką [18].

Labai gera pastato šilumos izoliacija yra viena iš pagrindinių sėkmingų atsinaujinančiosios energijos naudojimo sąlygų. Taip pat, name turėtų būti naudojama įranga, taupanti elektros energiją. Kai šios sąlygos yra įvykdytos, tuomet atsinaujinančius energijos šaltinius naudojanti namo energijos sistema bus nebrangi. Norint, kad ši sistema veiktų kuo efektyviau reikia, kad namo šilumos ir elektros energijos gamybos sistemos būtų valdomos kuo optimaliau.

Atsinaujinančius energijos šaltinius gyvenamuosiuose namuose galima panaudoti vandeniui ar patalpoms šildyti bei įvairiems elektros energijos imtuvams maitinti. Įvairiuose

pastatuose jau šiuo metu daugelyje šalių yra naudojami tokie atsinaujinantieji energijos šaltiniai kaip saulė, vėjas, biodegalai ir t.t.

Taigi viena iš pagrindinių AEI technologijų, kuri šiuo metu jau yra pakankamai subrendusi ir Lietuvos sąlygomis gali būti naudojama naujai statomuose bei renovuojamuose namuose, yra saulės elektrinės.

1.6.1. Saulės elektrinės bendroms namo elektros sąnaudoms padengti

Vėjo elektrinės nebus itin produktyvios Lietuvos vietovėse, kur 10 m aukštyje virš žemės paviršiaus vidutinis metinis vėjo greitis yra mažesnis nei 3,5 – 4 m/s, todėl tokiuose regionuose ir visoje Lietuvoje yra galimybė įrengti gyvenamuosiuose namuose į elektros tinklą integruotas mažąsias saulės elektrines, kurių pagalba būtų galima padengti bendras namo elektros sąnaudas. Šių mažųjų elektrinių įrengimas yra galimas dėl šių pagrindinių priežasčių:

1) Dėl paramos, kurią teikia valstybės, įrengti saulės elektrines per fotoelektros supirkimo tarifą (priklausomai nuo saulės elektrinės galios).

2) Dėl tenkinamų saulės energijos išteklių ir ganėtinai tolygaus jų pasiskirstymo Lietuvos teritorijoje.

3) Gyvenamieji namai turi daug laisvo ploto ant savo stogų, kurį galima panaudoti elektros energija ir/arba šilumai gaminti.

Lietuva yra įsipareigojusi remti saulės elektrinių įrengimą remiantis skatinamuoju fotoelektros supirkimo tarifu iki 50 MW bendrosios įrengtosios saulės elektrinių galios. Tai nėra ypač didelės apimties parama, lyginant su kitomis Europos šalimis, kuri elektros energijos kainą šiek tiek padidintų. Pavyzdžiui, Čekijoje yra priimtas labai panašus paramos mechanizmas, be to saulės energijos išteklių yra panašūs lyginant su Lietuva ir tik per vienerius metus sugebėjo įsirengti saulės elektrinių, kurių suminė galia siekė 411 MW. Belgija, kuri turi lygiai tokius pačius saulės energijos išteklius, taip pat per metus įsirengė saulės elektrinių, kurių bendroji galia siekė 292 MW [18][19].

Lyginant su Lietuva, daugumoje fotoelektros srityje pirmaujančių šalių saulės energijos išteklių yra labai panašūs. Palyginimui yra pateikta tokie duomenys keliose Europos Sąjungos šalyse:

- Danijoje, Estijoje - 950 ÷ 1000 kWh/m²,
- Latvijoje - 950 ÷ 1050 kWh/m²,
- Italijoje – 1100 ÷ 1800 kWh/m²,
- Lietuvoje, Belgijoje, Olandijoje
- Lenkijoje - 950 ÷ 1100 kWh/m²,

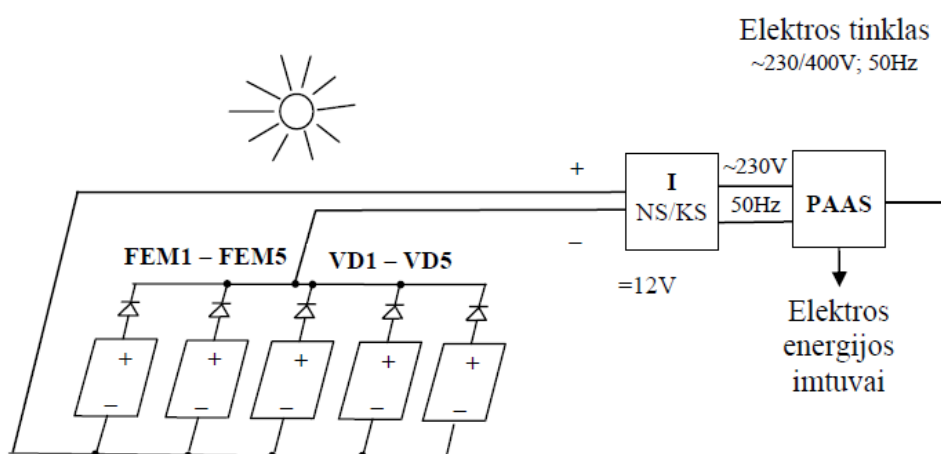
- Čekijoje – 1000 ÷ 1100 kWh/m²,
- Vokietijoje – 950 ÷ 1200 (1350) kWh/m²,
- Rumunijoje – 1150 ÷ 1400 kWh/m².

Tokia ganėtinai greita SE plėtra įmanoma todėl, kad net daugiau nei 60 pasaulio valstybių ją skatinama ir remiama įvairiais būdais (vienas iš pagrindinių per iš SE pagamintos elektros energijos supirkimo tarifą). Saulės elektrinės yra remiamos todėl, kad šis elektros energijos gamybos būdas yra perspektyvus ir beveik niekas juo neabejoja. Tai yra vienas iš labiausiai aplinkos neteršiančių būdų gaminti elektros energijai.

Kiekvienais metais saulės modulių kainos vis mažėja, o naudingumo koeficientas ir efektyvumas didėja. Remiantis įvairiomis prognozėmis, manoma, kad saulės sistemų kainos ateityje kasmet vis mažės apytiksliai apie 5 %. ES atsinaujinančių energijos išteklių taryba pateikė tokias prognozes, kad iki 2040 metų elektros gamyba iš saulės elektrinių visame pasaulyje sudarys apie 27 % nuo visų elektros energijos poreikių. Tuo metu, pagal energijos gamybos apimtį, saulės elektrinės atsidurs pirmoje vietoje, o antroje – vėjo elektrinės (VE). 2040 m. iš AEĮ planuojama pagaminti apie 82 % nuo visos suvartotos elektros energijos [20].

Nėra sunku apskaičiuoti, kad Lietuvoje esančių pastatų potencialas elektros energijai gaminti panaudojant saulės elektrines yra ganėtinai didelis. Kai visi pastatų stogai būtų naudojami įgyvendinti šį tikslą, tuomet ant stogų atsirastų galimybė sugeneruoti daugiau elektros energijos, nei šiuo metu suvartojama visoje šalyje. Tačiau, šie skaičiavimai gali tik parodyti saulės elektrinių galimybes. Vien su SE išsiversti teoriškai yra galimybių, tačiau ekonomiškai labai netikslinga ir praktiškai labai sunku. Tokiu atveju turėtų būti sukaupta labai dideli elektros energijos kiekiai žiemos sezonui. Tai įgyvendinti yra labai sunku, todėl naudoti vien tik SE ateityje yra nenumatyta.

1.4 pav. matome į tinklą integruotos mažosios SE supaprastinta struktūrinė sujungimų schema. Lietuvos sąlygomis į elektros tinklą integruotos SE atsipirktų per 8–10 metų, remiamos per elektros energijos supirkimo tarifą.



1.4 pav. Į elektros tinklą integruotos saulės elektrinės supaprastinta struktūrinė sujungimų schema, čia *FEM1-FEM5* – 5 saulės moduliai, *VD1-VD5* – diodai, *I(NS/KS)* – inverteris (keitiklis), *PAAS* – paskirstymo, pagamintos energijos ir apsaugos apskaitos skydelis.

SE galima naudoti įvairių tipų saulės modulių: monokristalinius silicio, polikristalinius silicio, amorfinius silicio (plonaplėvius), taip pat iš kitų įvairių medžiagų pagamintus plonaplėvius daugiajungčius modulių. Iki šių dienų dažniausiai yra naudojami kristalinio silicio moduliai, kurių efektyvumas siekia maždaug 16-17 %. Laboratorijose jau yra gautas daugiajungčio saulės modulio naudingumo koeficientas, kuris siekia net 55 %. Teoriškai yra galimybė pasiekti ir dar didesnę naudingumo koeficientą. Be debesų, saulėtą dieną į plokštumą, kuri yra statmena saulės spinduliams, krentanti saulės spinduliuotės galia (apšvita) siekia apie 1 kW/m². Esant tokiom sąlygom ir dabartinį naudingumo koeficientą turintis kristalinio silicio saulės modulis gali generuoti iki 170 W elektros galios iš 1m². Padidinus saulės modulių naudingumo koeficientą, ši galia siektų apie 500 W ir net daugiau [18].

Autonominių SE (naudojančios elektros energijos kaupiklius) įdiegimas gyvenamuosiuose namuose yra galimas, tačiau ekonomiškai nenaudingas, ne šios elektrinės per savo gyvavimo amžių (25-30 ar daugiau metų) neatsiperka. Autonominių SE vidutinė lyginamoji įrengimo kaina šiuo laikotarpiu yra apie 9 Euro/W. Lyginant su į elektros tinklą integruotomis saulės elektrinėmis, šių kaina yra net 2 kartus mažesnė. Saulės elektrinių, siekiančių megavatus įrengimo kaina yra dar mažesnė, todėl, kad saulės moduliai šiuo atveju yra perkami už daug labiau sumažintą kainą ir tiesiogiai iš gamyklos. Vienas iš pigiausių kristalinio silicio saulės modulių kainas galima rasti pas gamintoją (2-3 Eurai/W). Lyginant su prekybininkų kainomis, pastarosios net 30 - 40 % mažesnės. Saulės elektrinių srityje pirmaujančios šalys stato galingas megavatinės saulės elektrinės ir labai daug nedidelės galios saulės elektrinių, kurios įrengiamos ant gyvenamųjų namų stogų. Šiuo atveju yra remiamas vidutinis bei smulkus verslas.

Valstybei daugeliu atvejų yra naudingas saulės elektrinių bei kitų AEI technologijų naudojimo rėmimas. Lėšos išleistos paramai per įvairius mokesčius grįžta į valstybės biudžetą, nes atsiranda naujų užsakymų ir yra sukuriama naujų darbo vietų įvairiems darbuotojams, tokiems kaip projektuotojai, įrangos tiekėjai, prekybininkai, statybininkai, montuotojai, įrengtų objektų eksploatuotojai. Be to iš šio verslo pelną pasiima ir bankai. Tokiu būdu yra gyvinama ekonomika bei skatinamas verslas. Kai nėra sukuriama naujos darbo vietos, tuomet valstybė patiria papildomų išlaidų (bedarbių išmokos, įvairioms kompensacijos už butų šildymą). Valstybės biudžetas pildomas pinigais, skolintais iš užsienio už dideles palūkanas. Negaunantys darbo gyventojai praranda kvalifikaciją, padaugėja nusikalstamų veiklų, atsiranda polinkis į kontrabandą, o visa tai dar labiau kenkia valstybei. Atsinaujinančių energijos išteklių

technologijų rėmimu prisidedama ne vien tik prie ekonominių ar socialinių šalies problemų, o taip pat ir prie klimato kaitos problemų sprendimo, valstybės energetinės nepriklausomybės stiprinimo bei aplinkos taršos sumažinimo [18].

Saulės elektrinių rėmimas daugelyje pasaulio šalių pasiteisino. Nepaisant to, visa ši parama yra laikina. AEI remti nebereikės, kai pingant technologijoms bei didėjant saulės modulių naudingumo koeficientui bus pasiekta tam tikra riba, kai saulės elektrinės rinkoje galės be paramos konkuruoti su kitais elektros energijos generavimo būdais. Iš pradžių tai vyks šalyse, kur yra labai brangi elektra, bet ganėtinai dideli saulės energijos ištekliai. Labiau saulėtose valstybėse, tokiose kaip Italija ir kitose panašiose valstybėse visa tai numatoma jau dabar, o Lietuvoje – ne anksčiau, kaip po kelerių metų.

1.7. Saulės elektrinių įrengimo ypatumai

Elektros energijos kiekį, kuris gaunamas iš saulės elektrinių lemia tokie pagrindiniai veiksniai:

1. SE padėtis horizonto atžvilgiu,
2. SE padėtis pasaulio šalių atžvilgiu,
3. Modulių charakteristikų tolygumas,
4. Modulių apšvietimo sąlygos,
5. Modulių darbo optimizatoriai,
6. Modulių vėdinimas,
7. Saulės sekimo sistemos („trekeriai“) bei priežiūra.

SE, kaip ir visose kitose automatizuotose sistemose, yra naudojama įvairūs valdikliai, keitikliai (inverteriai) bei monitoringo (stebėsenos) sistemos.

Monitoringo sistema fiksuoja įvairius saulės parametrus, kurie leidžia analizuoti ir priimti efektyviausius sprendimus SE darbo režimo tobulinimui. Prie monitoringo sistemos yra jungiami keitikliai, o keitiklių ir saulės elektrinės parametrai yra registruojami. Visi šie duomenys vartotojui yra perduodami duomenų kabelio pagalba arba modemo, analoginiu, GSM ar ISDN ryšiu.

Naujų technologijų dėka yra galimybė matyti prijungtoje sistemoje vykstančius procesus, gauti informaciją kiek elektros energijos yra pagaminama, koku laiku ir kiek nuolatinės srovės paverčiama į kintamąją, o taip pat įtampos ir srovės dydį. Nors tai reikalauja nemažai techninių žinių ir specialistų gebėjimų norint sumontuoti ir prižiūrėti šiuos saulės elektrinių įrenginius, stengiamasi, kad ši sistema būtų priimtina ir suprantama paprastiems vartotojams.

Investicija į SE priklauso nuo jos dydžio, tai yra nuo galios (kW). Taip pat daug įtakos turi pasirinktos konstrukcijos, moduliai bei inverteriai. Įrengiant SE, brangiausiai kainuoja inverteriai bei moduliai. SE konstrukcijos kaina priklauso nuo įvairių konstrukcinių parametru, montavimo galimybių ir daugumos konstrukcijų apkrovų parametru.

1.5 paveiksle matome kaip saulės elektrinės gali būti montuojamos ant gyvenamojo namo.

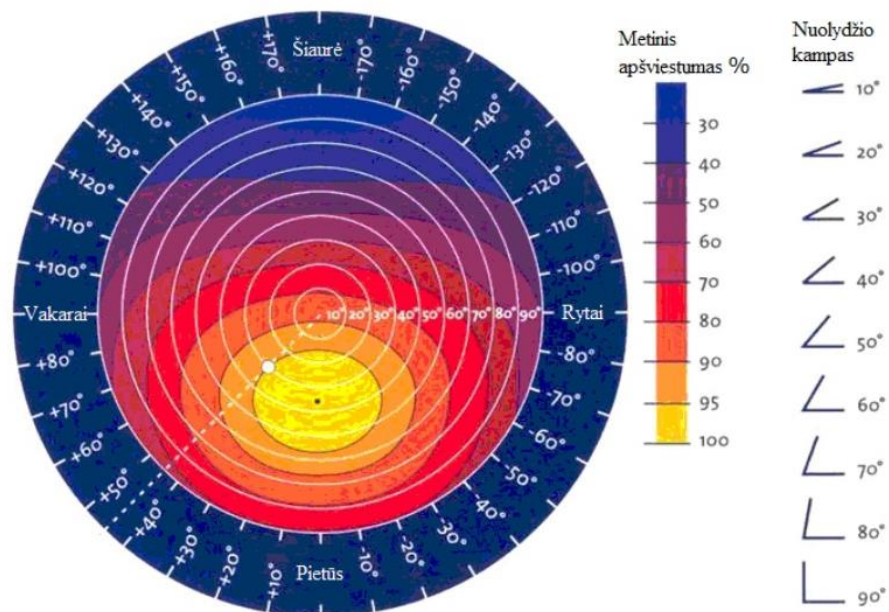
Pagrindiniai saulės elektrinių montavimo būdai:

- Montavimas ant nuožulnaus stogo
- Montavimas ant plokščio stogo
- Montavimas stoge
- Montavimas ant fasadų
- Montavimas ant žemės



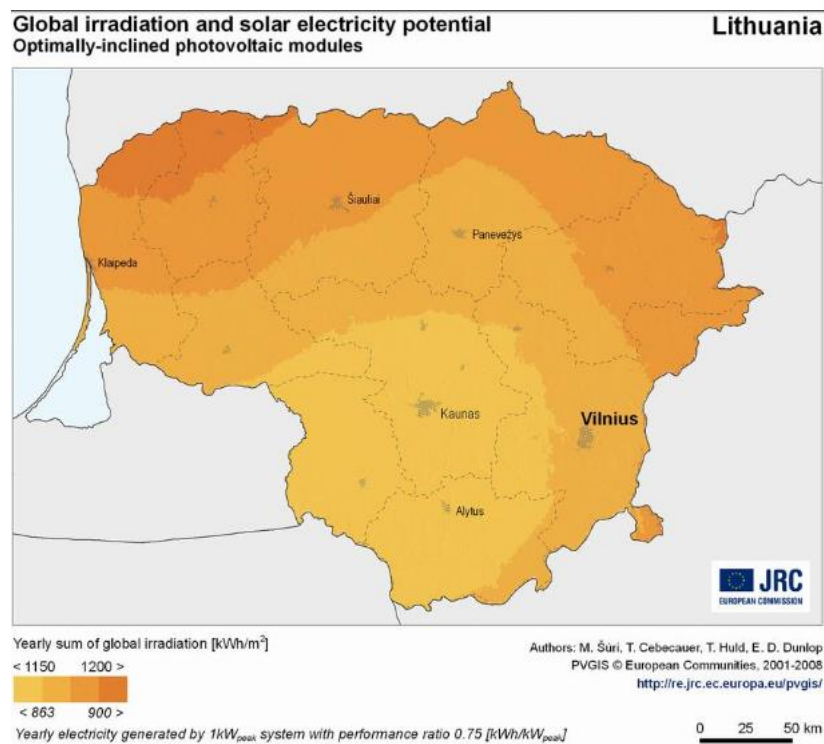
1.5 pav. Saulės elektrinių montavimo galimybės ant gyvenamojo namo

Saulės energija yra geriausiai išnaudojama tuo metu kai krentančių spindulių kampas su plokštuma (saulės elementu) yra status. Optimaliausias saulės elementų pasvirimo kampas Lietuvoje yra apie 30-38° laipsniai. 1.6 paveiksle matome kaip yra nustatomas optimaliausias saulės elementų kampas. Priklausomai nuo įvairių situacijų (stogo ploto, įrengimų ar šešėlių), pasvirimo kampo korekcija yra galima 15-38° laipsnių ribose [21].

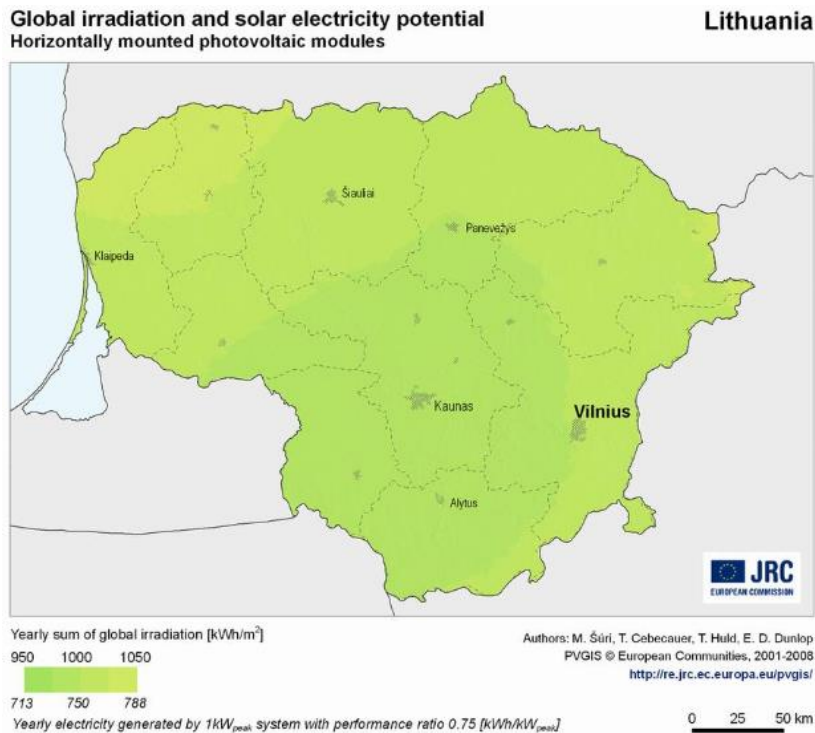


1.6 pav. Saulės elementų optimalausio pasvirimo kampo nustatymas

1.7 pav. pavaizduota Lietuvos saulės apšvietos žemėlapis. Iš šio žemėlapis matome, kad naudingiausia statyti saulės elektrines būtų šiaurinėje Lietuvos dalyje (šiaurės rytuose, šiaurės vakaruose).



1.7 pav. Lietuvos saulės apšvietos žemėlapis



1.8 pav. Lietuvos saulės apšvietos žemėlapis horizontaliai montuojamoms saulės elektrinėms

1.8 paveiksle pavaizduota Lietuvos saulės apšvietos žemėlapis horizontaliai montuojamoms saulės elektrinėms. Visoje Lietuvos saulėtų valandų skaičius yra labai panašus. Pajūryje - apie 1900 val./metus, rytinėje šalies dalyje apie 1700 val./m. Maksimali saulės švietimo trukmė yra Nidoje ir siekia 1908 val./m. Vidutinė metinė horizontalaus paviršiaus apšvieta Lietuvoje yra 0,54 - 0,55 kW/m² (arba 970 - 990 kWh/m²/a), vidutinis saulės švietimo laikas yra apie 1800 val./m [22].

Saulės spinduliavimas Lietuvoje – apie 1200 kWh/m² į optimaliai orientuotą paviršių, yra toks pat, kaip Vokietijoje, Olandijoje, Čekijoje ir kitose šalyse, kur jau yra įrengta daug saulės elektros generavimo elektrinių.

Iš Lietuvos saulės apšvietos žemėlapių matome, kad gyvenamųjų namų kvartalą su saulės elektrinėmis būtų naudingiausia bei efektyviausia statyti šiaurinėje Lietuvos dalyje. Pagal gyventojų išsidėstymą tai galėtų būti Klaipėdos miestas ir jo apskritis.

1.8. Saulės elektrinių modeliavimo ypatumai

AEI integracijos į elektros energetikos sistemas modeliavimas yra ganėtinai svarbus, nes visi modeliavimo įrankiai bei sukurti modeliai tampa pažangia valdymo procesų dalimi, imituojant įvairių sistemos darbą.

Šiuo metu saulės elektrinių sukurtos elektros energijos integravimas į elektros tinklus tampa vienu didžiausiu rūpesčiu visai elektros energetikos sistemos pramonei. Jau yra sukurta įvairių modelių, kuriais remiantis galima modeliuoti iš SE gautą elektros energiją, modeliuoti saulės elementus, atlikti įvairius dinaminis modeliavimus bei analizuoti išeities duomenis ir kt. Modeliavimui gali būti naudojama viena iš plačiausiai paplitusių programinių įrangų Matlab „Simulink“, o taip pat, atskirų gamintojų programa PSSE (SIEMENS). Elementarių modeliavimo pavyzdžių galima rasti įvairiose įmonių internetinėse svetainėse, kurie yra nesunkiai prieinami vartotojams.

1.8.1 Saulės elemento matematinės išraiškos

Srovę I_{se} , kuri yra sukuriama viename saulės elemente, galima apskaičiuoti taip [23]:

$$I_{se} = I_{tr} \left[1 - K_1 \left(e^{K_2 U_{se}^p} - 1 \right) \right] \quad (1.2)$$

čia: I_{tr} – trumpojo jungimo srovė (saulės elemento);

U_{se} – saulės elemento išėjimo įtampa.

Koeficientus K_1 , K_2 ir p galima aprašyti lygtimis:

$$K_1 = 0,01175; \quad (1.3)$$

$$p = \frac{\ln\left(\frac{K_3}{K_4}\right)}{\ln\left(\frac{U_{DGT}}{U_{tv}}\right)}; \quad (1.4)$$

$$K_2 = \frac{K_4}{U_{tv}^p}, \quad (1.5)$$

čia: U_{tv} – tuščiosios veikos įtampa (saulės elemento);

U_{DGT} – įtampa didžiausios galios taške.

$$K_3 = \ln\left(\frac{I_{tr}(1+K_1) - I_{DGT}}{K_1 \cdot I_{tr}}\right), \quad (1.6)$$

čia: I_{DGT} – srovė didžiausios galios taške,

$$K_4 = \ln\left(\frac{1+K_1}{K_1}\right). \quad (1.7)$$

Remiantis išraiškomis gaunama saulės elemento tipinė charakteristika, nepriklausanti nei nuo saulės energijos srauto, kuris krenta į elementą, nei nuo aplinkos sąlygų (temperatūros). Norint, kad saulės elemento modelis įvertintų šiuos veiksnius, apskaičiuotosios I_{se} ir U_{se} vertės pakoreguojamos taip:

$$I = I_{se} + \Delta I_{se}, \quad (1.8)$$

$$U = U_{se} + \Delta U_{se}, \quad (1.9)$$

čia: I ir U saulės elemento išėjimo srovė ir įtampa,

$$\Delta I_{se} = \alpha_{tr} \left(\frac{I_{TD}}{I_0} \right) \Delta T_s + \left(\left(\frac{I_{TD}}{I_0} \right) - 1 \right) I_{tr}, \quad (1.10)$$

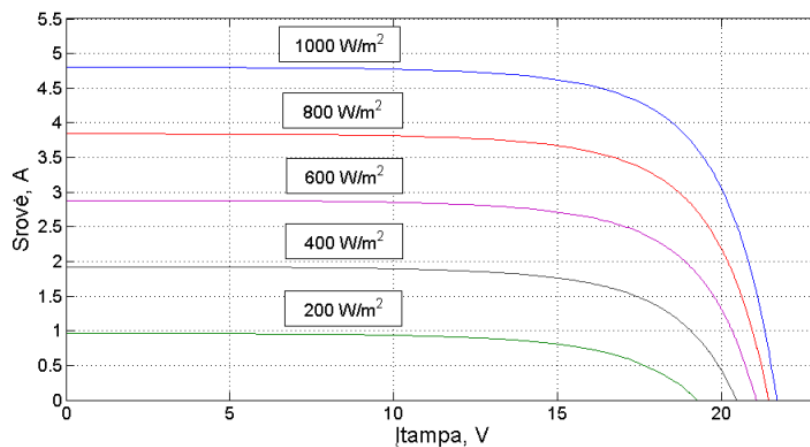
$$\Delta T_s = T_s - T_0, \quad (1.11)$$

$$U_{se} = R_{ap} I_{se}, \quad (1.12)$$

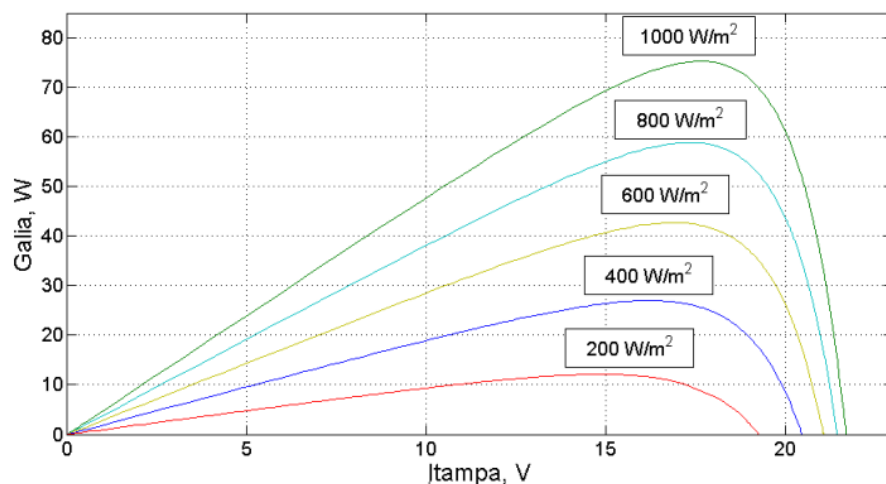
$$\Delta U_{se} = -\beta_{aj} \Delta T_s - R_s \Delta I_{se}. \quad (1.13)$$

(1.10)–(1.13) išraiškose α_{tr} – tai trumpojo jungimo srovės temperatūros koeficientas; β_{tr} – tuščiosios veikos įtampos temperatūros koeficientas; R_s – nuosekliai saulės elemento varža, R_{ap} – saulės elemento apkrovos varža. $I_0 = 1000 \text{ W/m}^2$ ir $T_0 = 25^\circ\text{C}$ – saulės energijos srautas ir elemento temperatūra standartinėmis bandymo sąlygomis. Duomenis, reikalingus skaičiavimams galima rasti beveik kiekviename saulės modulio aprašyme, kurį pateikia gamintojas [24].

Saulės elemento voltamperinės ir galios charakteristikos pateiktos 1.9 ir 1.10 pav.



1.9 pav. Saulės elemento voltamperinės charakteristikos



1.10 pav. Saulės elemento galios charakteristikos

1.9. Energijos gamintojų, naudojančių AEI, prijungimo prie elektros tinklų sąlygos

1.9.1. Esama AEI elektros gamintojų prijungimo prie tinklų tvarka

Kaip yra nustatyta Lietuvos Respublikos energetikos įstatyme [6 str. 9 p.], vartotojų, gamintojų energetikos objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) prijungimo prie veikiančių energetikos įmonių objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) tvarką ir sąlygas nustato Ūkio ministerija. Lietuvos Respublikos ūkio ministras 2008 m. rugsėjo 24 d. įsakymu Nr. 4-432 patvirtino Elektros energijos vartotojų, gamintojų energetikos objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) prijungimo prie veikiančių energetikos įmonių objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) taisyklių naują redakciją. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija privalo kontroliuoti, kad naujų elektros energijos gamintojų prijungimo sąlygos ir tarifai būtų objektyvūs, skaidrūs ir nediskriminuojantys atsižvelgiant į visas išlaidas ir naudą, kurią teikia įvairios atsinaujinančių energijos išteklių technologijos, paskirstyta gamyba ir šilumos bei elektros energijos gamyba vienu metu [6 str. 2 p. 5 papunktis] [25].

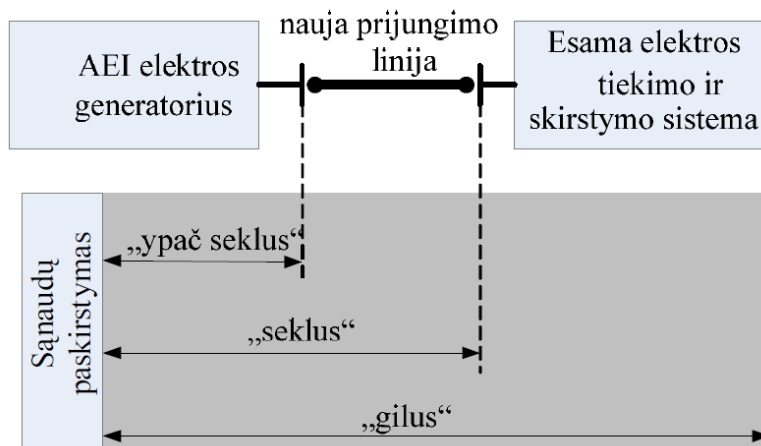
Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2006 m. gruodžio 27d. įsakymu Nr. 4 - 495 dėl viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energijos sektoriuje sąrašo nustatymo nustatyta, kad elektros energijos gamyba naudojant atsinaujinančius energijos išteklius ir elektros energijos gamybos įrenginių, elektros energijos gamybai naudojančių vėjo, biomasės, saulės ar hidroenergiją, prisijungimas prie perdavimo ar skirstomųjų elektros tinklų yra viešuosius interesus elektros energetikos sektoriuje atitinkančios paslaugos [25].

Perdavimo sistemos operatorius privalo užtikrinti, kad elektros energijos gamintojų, skirstomųjų tinklų operatorių ir vartotojų įrenginių prijungimo prie perdavimo tinklų sąlygos atitiktų teisės aktuose nustatytus reikalavimus ir nebūtų diskriminuojančios. [Elektros energetikos įstatymas, 15 str. 2 p.]

Elektros energijos, kuriai gaminti naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai, gamybos ir pirkimo skatinimo tvarkos apraše numatyta, kad elektros energijos gamybai atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės prie veikiančių energetikos įmonių tinklų prijungiamos teisės aktų nustatyta tvarka, taikant gamintojams 40 procentų prijungimo mokesčio nuolaidą [25].

1.9.2. Gamintojų prijungimo prie tinklų išlaidų paskirstymas

Prijungimo prie tinklų išlaidų paskirstymas gali būti skirstomas į „seklų“ ir „gilų“, kartais išskiriami dar papildomi „ypač seklaus“ ir „sekloko“ paskirstymo tipai (angl. atitinkamai *shallow, deep, super shallow, shallowish*). „Seklus“ prijungimo kaštų paskirstymas atitiktų mažą prijungimo mokesčių gamintojui, o „gilus“ – didelį mokesčių, atitinkamai „ypač seklaus“ – labai mažą, o „seklokas“ – vidutinį prijungimo mokesčių gamintojui. 1.11 paveiksle pateiktoje schemoje yra atvaizduotas skirtumas tarp įvairius kaštų pasiskirstymo tipus atitinkančių prijungimo mokesčių gamintojams. Elektros energijos gamintojas, labai mažų prijungimo mokesčių atveju, moka tik už liniją iki pajungimo taško, mažų mokesčių - taip pat ir už elektros tinklo išplėtimą, jei toks reikalingas, o didelių mokesčių varianto atveju elektros gamintojui priskiriami ir esamo operatoriui priklausančio tinklo rekonstravimo darbai, reikalingi elektros generavimo šaltinio pajungimui. „Sekloko“ varianto atvejis yra tarpinis tarp „seklaus“ ir gilaus“, t.y. dalis sąnaudų, kurios reikalingos esamoje elektros sistemoje padengiama AEI elektros gamintojo, o kita dalis – elektros tinklų operatoriaus [25].



1.11 pav. Prijungimo prie elektros sistemos kaštų paskirstymo tipai (Auer H. et al, 2007)

Visi šie kaštų paskirstymo tipai yra taikomi Europos Sąjungos šalyse. Prijungimo mokesčiai dižiausi yra Austrijoje, Čekijoje, Estijoje, Norvegijoje, Lenkijoje, Portugalijoje, Rumunijoje, Slovėnijoje, Švedijoje, maži – Belgijoje, Ispanijoje, Danijoje, Suomijoje, Prancūzijoje, Vokietijoje, vidutiniai – Airijoje, Slovakijoje, Vengrijoje, o labai maži – Jungtinėje Karalystėje. Iš šių tipų kiekvienas turi savų privalumų bei trūkumų. Vienas iš pavyzdžių yra tas, kad maži prijungimo mokesčiai elektros gamintojų neskatina ieškoti elektrinei vietai arčiau esamo tinklo. Tačiau, jei elektros gamintojas apmoka tinklo plėtros kaštus, jis patirs didesnes išlaidas, negu vėliau atsiradęs gamintojas, kuris jungsis jau prie išplėsto tinklo. Pastaruoju metu atliktų studijų (pvz., Scott, 2007) išvadose teigiama, kad didžiausią elektros iš AEI plėtrą užtikrina labai maži prijungimo mokesčiai, jei šis kaštų paskirstymas papildomas operatoriaus teikiama informacija apie prisijungimo taškus pagal atskiras vietas [25].

Lietuvoje taikoma prijungimo prie tinklų išlaidų paskirstymo tvarka yra nustatyta Elektros energijos vartotojų, gamintojų energetikos objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) prijungimo prie veikiančių energetikos įmonių objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) taisyklėse. Elektros iš AEI gamintojų, kaip ir visų elektros gamintojų, prijungimą reglamentuoja šių taisyklių V skyrius „Gamintojų elektros įrenginių prijungimo tvarka ir sąlygos“. Šiame skyriuje nurodoma, kad „gamintojų elektros įrenginiai prie operatoriaus elektros tinklų prijungiami gamintojui gavus leidimą plėsti elektros energijos gamybos pajėgumą, įvykdžius operatoriaus išduotame techninių sąlygų apraše nurodytas sąlygas ir reikalavimus“ (27 punktą) [25].

2. METODINĖ DALIS

2.1. Išmaniojo tinklo su saulės elektrinėmis modeliavimas Matlab Simulink programa

Modeliavimui buvo pasirinktas gyvenamųjų namų kvartalas, kurį sudaro dvylika namų. Ant kiekvieno šio namo stogo yra sumontuotos saulės elektrinės. Iš įvairių galimų variantų buvo pasirinkta įrengti 5,2 kW galios saulės elektrines ant šlaitinių namų stogų. Taigi namui ši elektrinė gali tiekti apytiksliai iki 5 kilovatų galios elektros energijos, esant maksimaliam saulės intensyvumui.

Gyvenamojo namo sunaudojama elektros energija (P_{used}) galima iš dviejų šaltinių:

- 1) Elektros tinklo (P_{grid});
- 2) Saulės elektrinės sumontuotos ant stogo (P_{solar}).

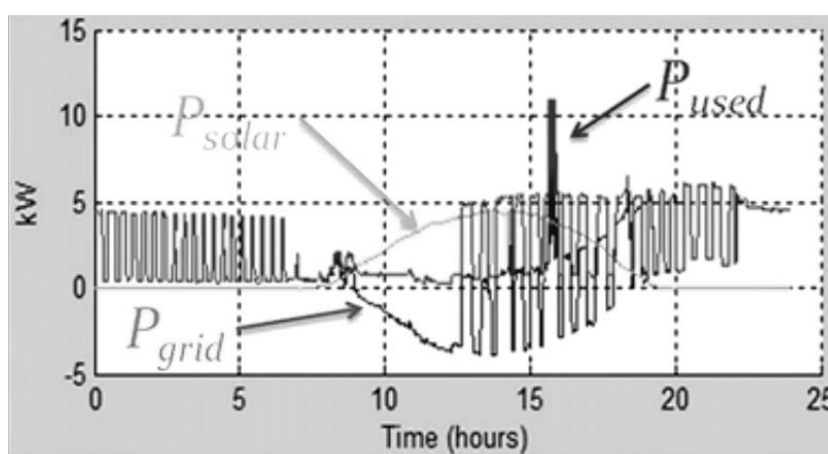
Ryšys tarp šių dviejų šaltinių gali būti išreiškiamas formule:

$$P_{used} = P_{grid} + P_{solar}; \quad (7.1)$$

Iš formulės (7.1) galima išreikšti:

$$P_{grid} = P_{used} - P_{solar}; \quad (7.2)$$

Visi šie dydžiai pavaizduoti grafiškai 24 valandų laiko tarpe:



2.1 pav. Galios priklausomybė nuo laiko

2.1 pav. pavaizduota gyvenamojo namo suvartojamos, generuojamos į tinklą elektros energijos priklausomybė nuo laiko. Atkreiptinas dėmesys, kai elektros tinklo energija (P_{grid}) yra žemiau nulio ribos, tai šiuo laiko tarpu namui pakanka elektros energijos, pagamintos iš saulės elektrinės ir dar dalis tiekama į tinklą.

2.1.1. Įvesties duomenys

Kiekvienam namui buvo sudaryti individualūs duomenų failai .CSV formatu. Kiekvieną šį duomenų failą sudaro 5 stulpeliai:

1 stulpelis – data ir laikas;

2 stulpelis – namo vartojama elektros energija (P_{house});

3 stulpelis – elektros energija generuojama iš saulės elektrinės (P_{solar});

4 stulpelis – iš tinklo vartojama elektros energija (P_{grid});

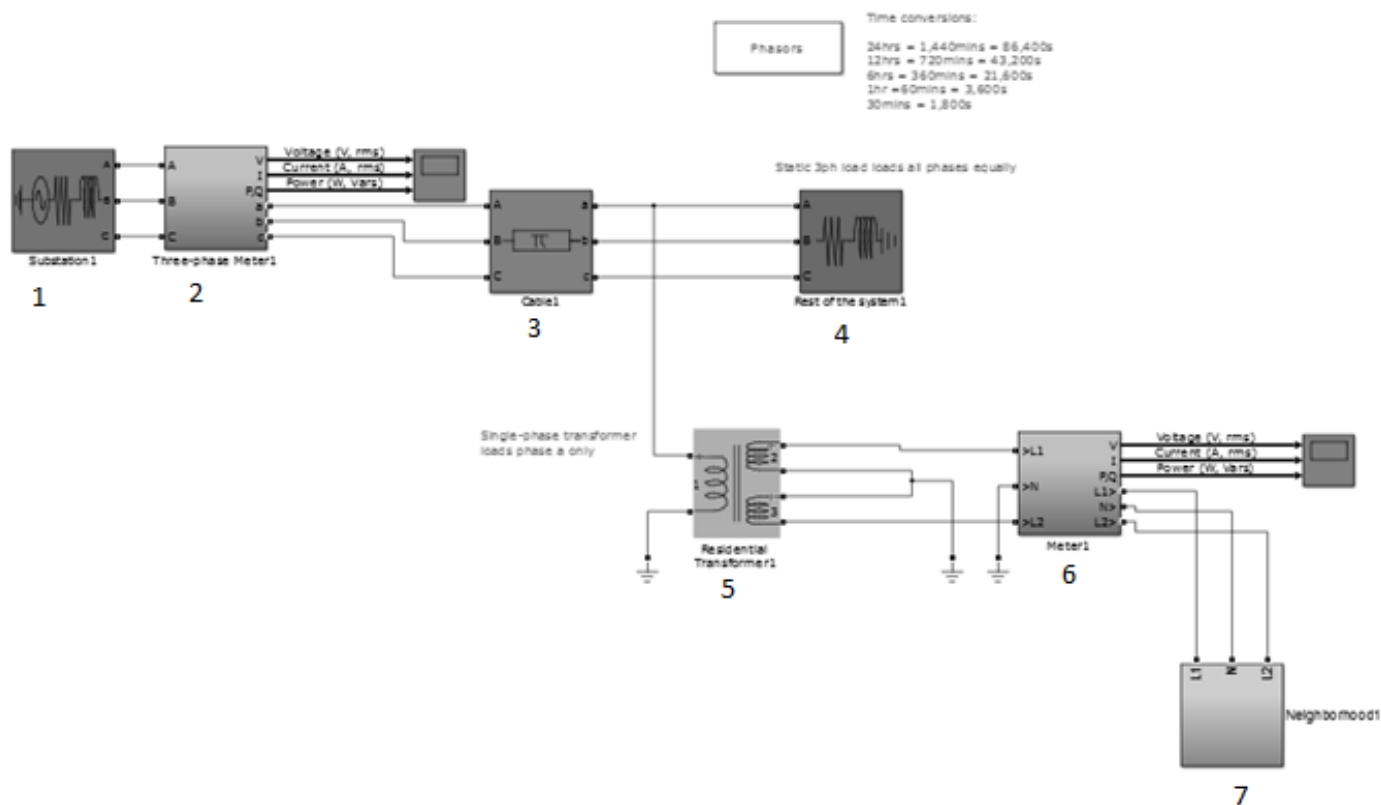
5 stulpelis – elektros energija generuojama iš saulės elektrinės P_{solar} (toks pats kaip trečias stulpelis).

Duomenys buvo sudaryti 24 valandų laiko tarpui (duomenų kitimo intervalas 1 minutė).

Taigi iš pradžių MATLAB programos pagalba nuskaitomi kiekvieno namo duomenys iš .CSV failų ir sudaromi apkrovos grafikai.

2.1.2. Modelio sudarymas

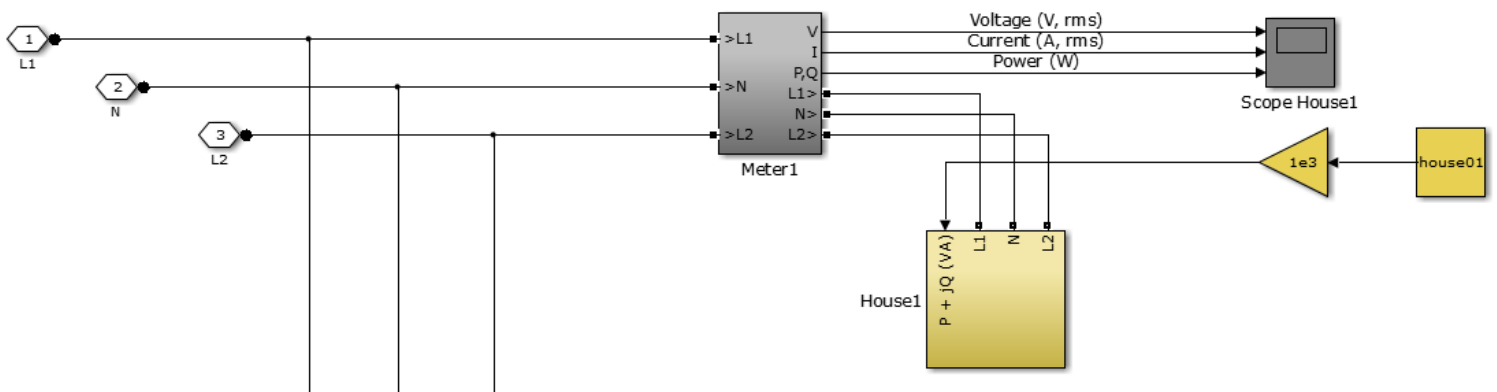
Modelis buvo sudaromas naudojant MATLAB Simulink programinį įrangos paketą. Modelio struktūrinė schema matoma žemiau pateiktame 2.2 paveikslėlyje.



2.2 pav. MATLAB „Simulink“ modelis

Modeliuojamą elektros tinklą sudaro septyni pagrindiniai blokai. Pirmajame bloke matome įtampos šaltinį (generatorių). Šiame bloke pagal poreikius galima keisti generuojamos įtampos dydį bei dažnį. Antrasis blokas – tai trijų fazių įtampos, srovės ir galios matuoklis. Iš šio bloko rezultatai (išėjimo signalai) siunčiami į „scope“, kur atvaizduojami grafiškai. Kadangi gyvenamųjų namų kvartalui elektros energija tiekama per kabelines linijas, reikalingas kabelių blokas (3), kuriame yra galimybė keisti dažnį bei kabelio ilgį. Ketvirtas blokas – tai likusi elektros sistemos dalis. Šiame bloke galima keisti įtampą, dažnį bei aktyviają ir reaktyviają galią. Gyvenamųjų namų kvartalas jungiamas per žeminantįjį 10/0,4 kV transformatorių (blokas 5). Šiame bloke suteikiama galimybė keisti transformatoriaus nominaliąją galią bei dažnį. Šeštasis blokas toks pats kaip ir antrasis (trijų fazių įtampos, srovės ir galios matuoklis, iš kurio rezultatai (išėjimo signalai) siunčiami į (scope), kur atvaizduojami grafiškai. Septintasis blokas – gyvenamųjų namų kvartalas su saulės elektrinėmis.

Žemiau pateiktame 2.3 paveikslėlyje pavaizduota bloko 7 (gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis) vidinė struktūra.



2.3 pav. Gyvenamųjų namų su saulės elektrinėmis atvaizdavimas MATLAB „Simulink“

12 gyvenamųjų namų kvartalas su saulės elektrinėmis prijungtas prie energetikos sistemos per žeminantįjį 10/0,4 kV transformatorių. Ant namų stogų sumontuotos saulės elektrinės jungiamos per keitiklį, kuris nuolatinę įtampą keičia kintama. Kadangi kiekvieno gyvenamojo namo elektros energijos poreikiai yra skirtingi, kiekviename iš šių namų yra sumontuota elektros energijos suvartojimo, generavimo matavimo prietaisai, kurie seka energijos srautus. Modelio veikimo principas pagrįstas tuo, kad sugeneruota elektros energija nėra tiesiogiai perduodama į energetikos sistemos tinklą, o pirmiausia naudojama įvairiems namo elektros energijos

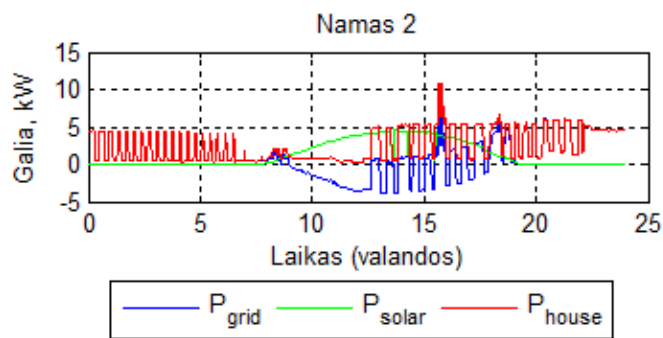
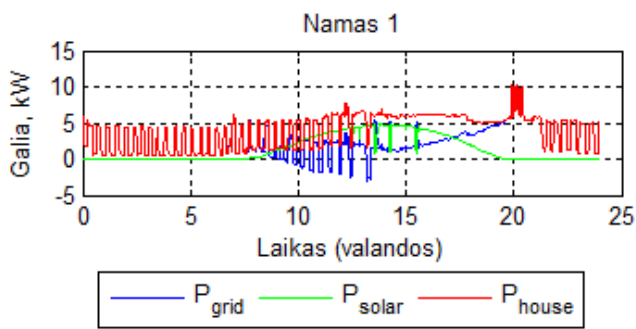
poreikiams patenkinti, ir tik po to perteklius perduodamas į tinklą. Palyginus su autonominėmis elektrinėmis, šios sistemos sąnaudos daug mažesnės. Kadangi saugoti ir kaupti elektros energijos nebereikia, sistema tampa efektyvesnė, paprastesnė ir pigesnė. Be to prie tinklo prijungtų saulės elektrinių pritaikymas yra ganėtinai lankstus.

Gyvenamojo namo elektros energijos poreikiai, neįskaitant patalpų šildymo ir karšto vandens ruošimo yra labai įvairūs ir priklauso nuo metų laiko. Atkreiptinas dėmesys, kad saulės spindulinė energija yra daug intensyvesnė vasaros metu, o elektros energijos poreikiai žymiai padidėja žiemą. Taigi tai tampa pagrindine priežastimi, kodėl reikia ištirti gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis sistemos darbą dviem režimais (vasaros ir žiemos).

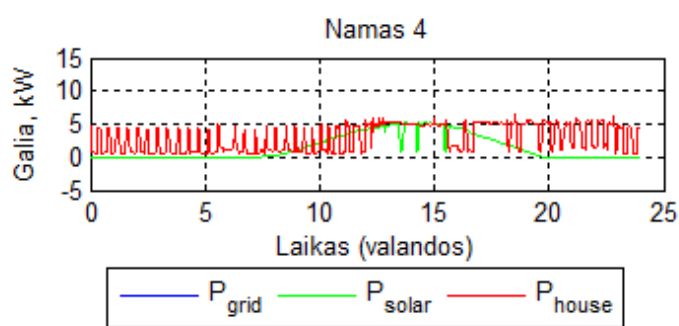
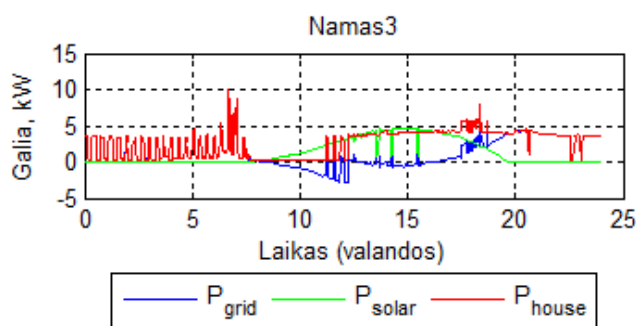
2.2. Gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis tyrimas vasaros režimu

Kiekvienam namui buvo sudarytas apkrovos grafikas 24 valandų laiko tarpe (duomenų kitimo intervalas 1 minutė), naudojant MATLAB programą. Šiame grafike atvaizduota namo suvartojama elektros energija (P_{house}), saulės elektrinės generuojama elektros energija (P_{solar}) ir iš tinklo imama elektros energija (P_{grid}).

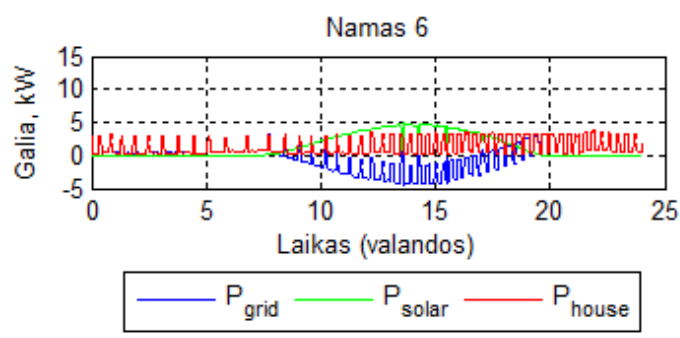
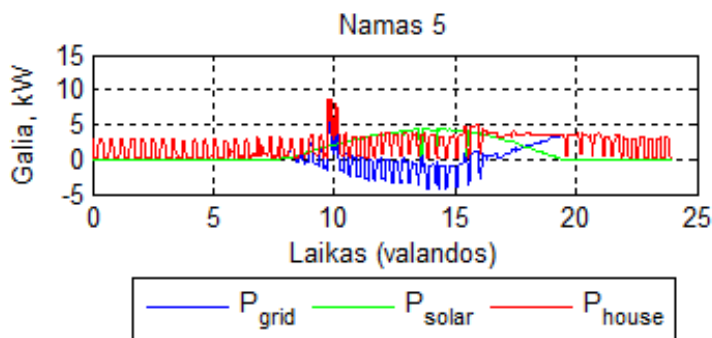
Elektros energijos generacija iš saulės elektrinių pastebima maždaug nuo 8-9 valandos ryto ir trunka apytiksliai iki 19 valandos vakaro. Atkreiptinas dėmesys, kad namo poreikiams beveik pakanka elektros energijos pagamintos iš saulės elektrinės maždaug nuo 10 valandos ryto. Ir atitinkamą laiko tarpą, priklausomai nuo saulės apšvietos intensyvumo, dalis energijos, sugeneruotos iš saulės elektrinės, grąžinama į tinklą. Visų 12 gyvenamųjų namų apkrovos grafikai atvaizduoti 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 paveikslėliuose.



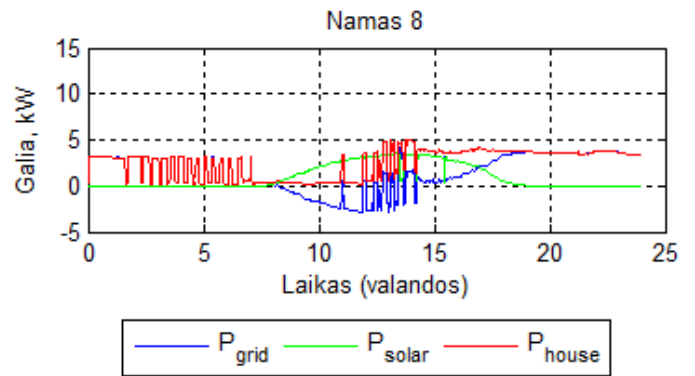
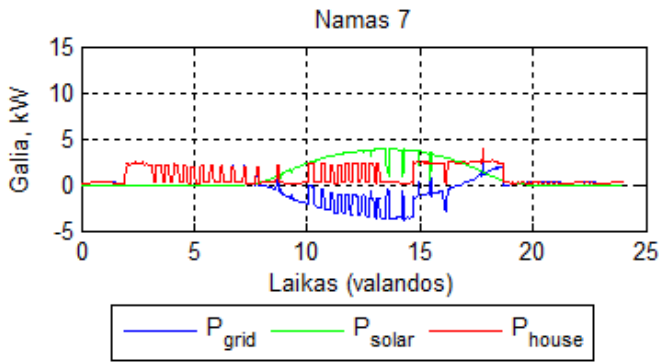
2.4 pav. Gyvenamųjų namų 1,2 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko



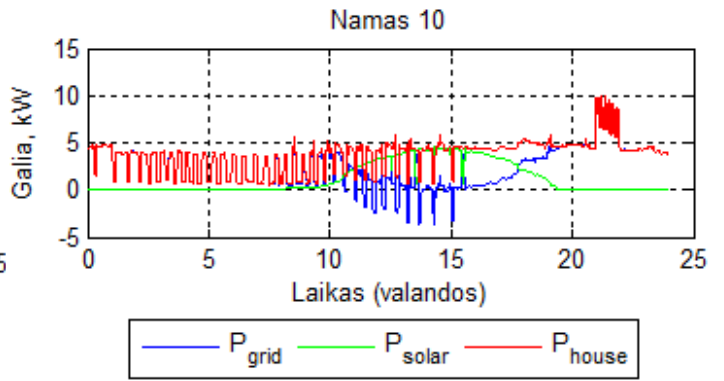
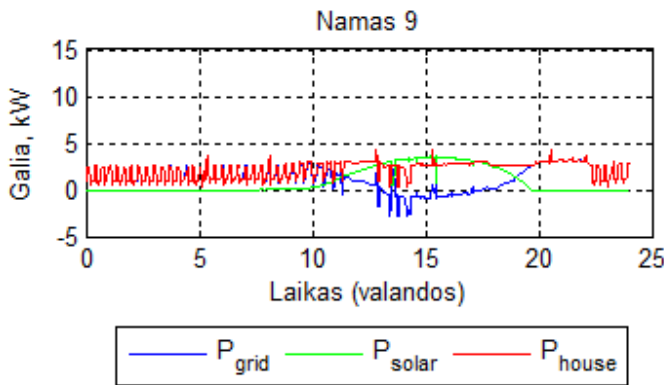
2.5 pav. Gyvenamųjų namų 3,4 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko



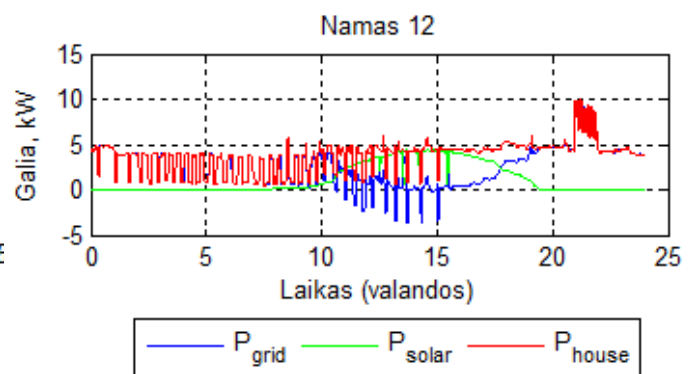
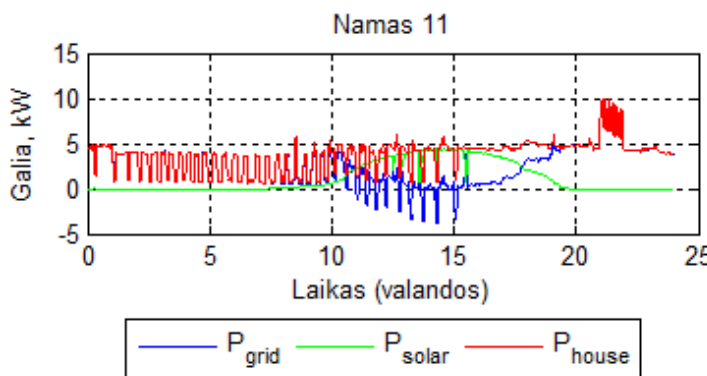
2.6 pav. Gyvenamųjų namų 5,6 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko



2.7 pav. Gyvenamųjų namų 7,8 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko



2.8 pav. Gyvenamųjų namų 9,10 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko

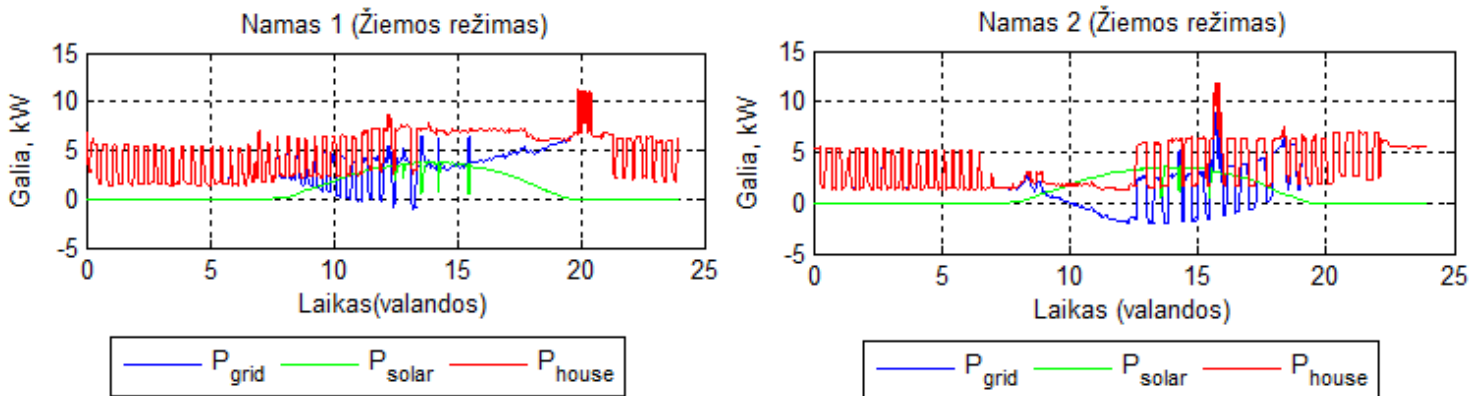


2.9 pav. Gyvenamųjų namų 11,12 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko

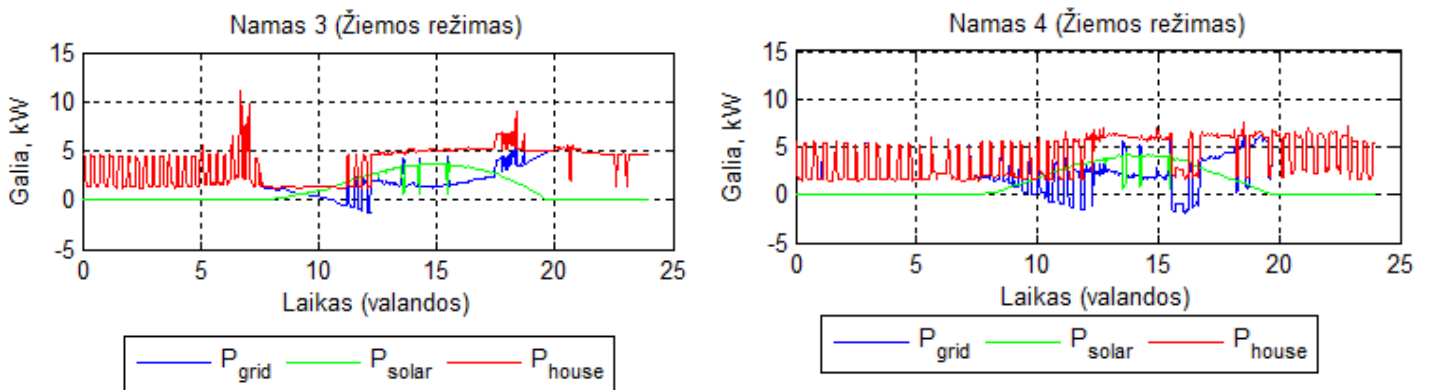
2.3. Gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis tyrimas žiemos režimu

Žiemos režime kiekvienam namui taip pat buvo sudarytas apkrovos grafikai 24 valandų laiko tarpe (duomenų kitimo intervalas 1 minutė). Šiuose grafikuose atvaizduota namo suvartojama elektros energija (P_{house}), saulės elektrinės generuojama elektros energija (P_{solar}) ir iš tinklo imama elektros energija (P_{grid}).

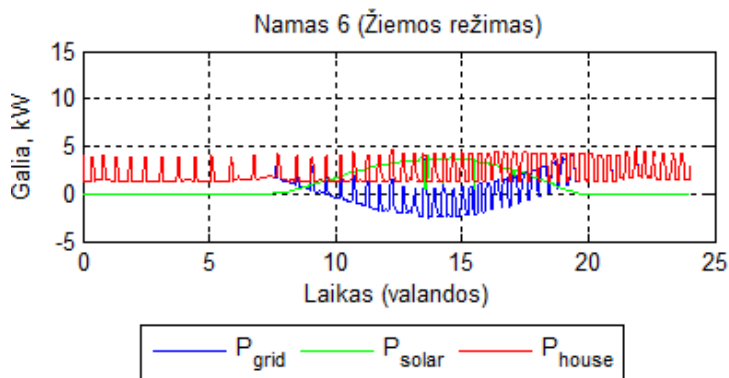
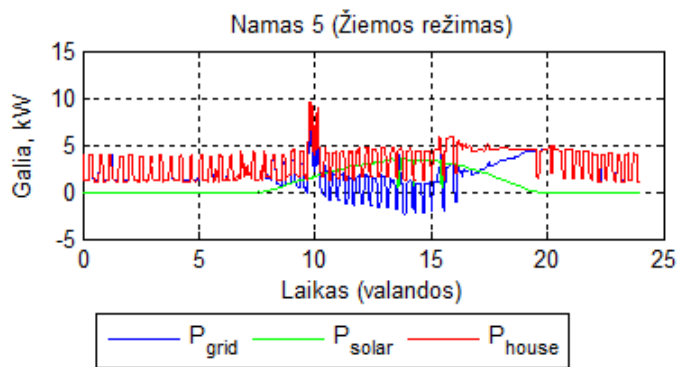
Žiemą elektros energijos suvartojama daugiau, lyginant su vasaros režimu, o taip pat sumažėja elektros energijos generavimas iš saulės elektrinių. Tai galime pastebėti žemiau pateiktuose 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, paveikslėliuose.



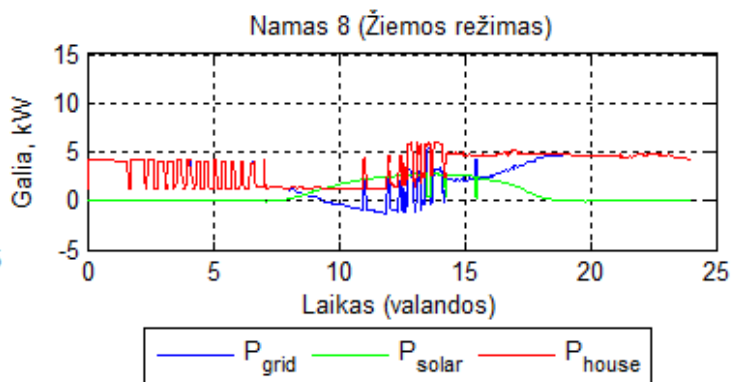
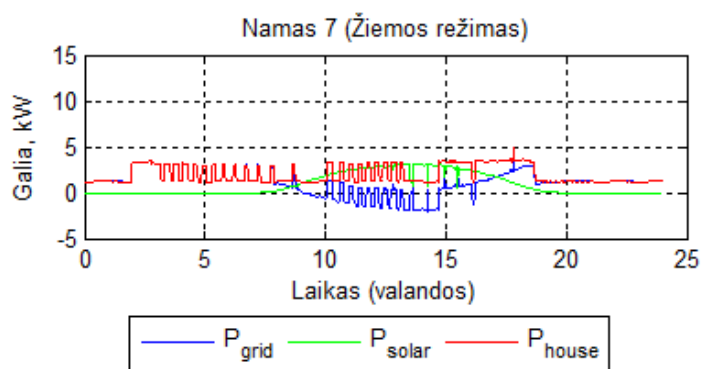
2.22 pav. Gyvenamųjų namų 1,2 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)



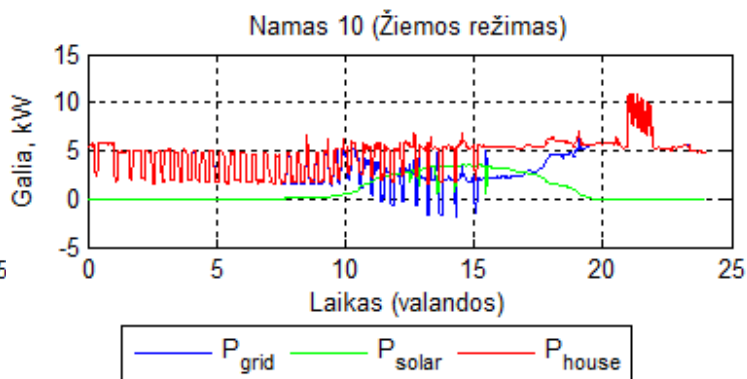
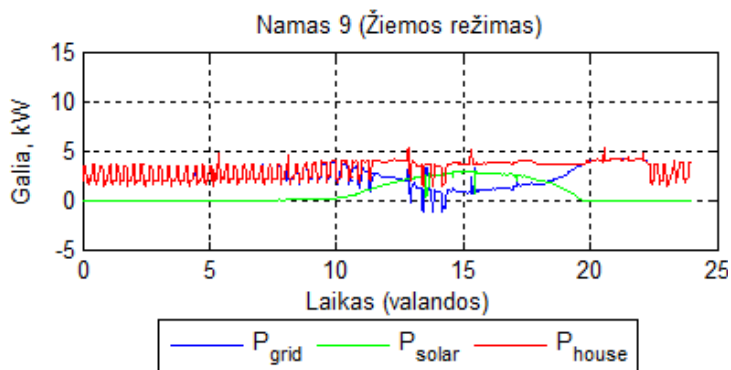
2.23 pav. Gyvenamųjų namų 3,4 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)



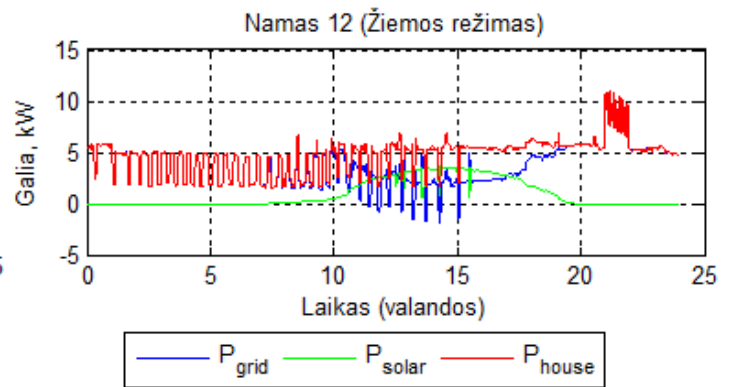
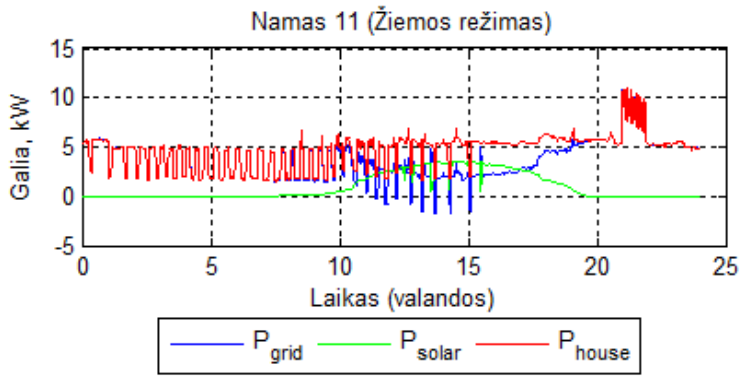
2.24 pav. Gyvenamųjų namų 5,6 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)



2.25 pav. Gyvenamųjų namų 7,8 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)



2.26 pav. Gyvenamųjų namų 9,10 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)



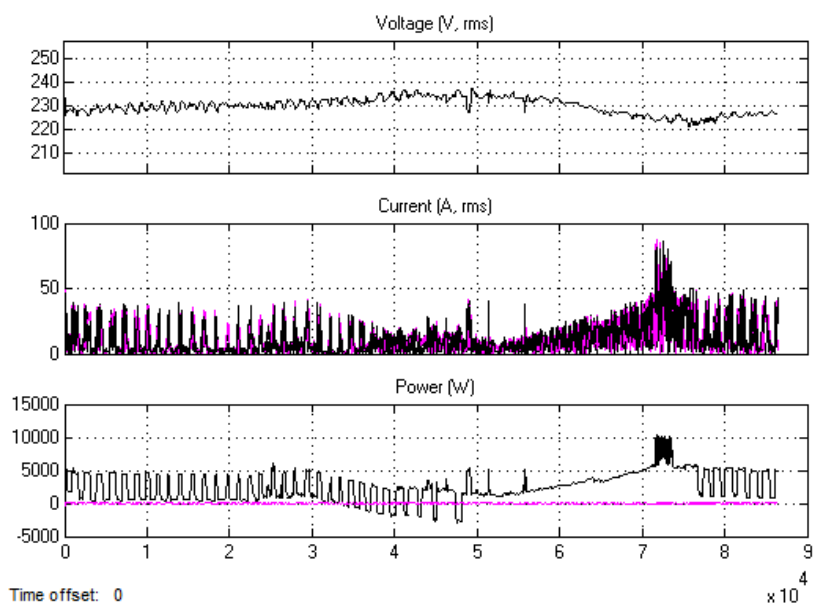
2.27 pav. Gyvenamųjų namų 11,12 suvartojamos, generuojamos į tinklą galios priklausomybė nuo laiko (Žiemos režimas)

3. TYRIMO REZULTATŲ DALIS

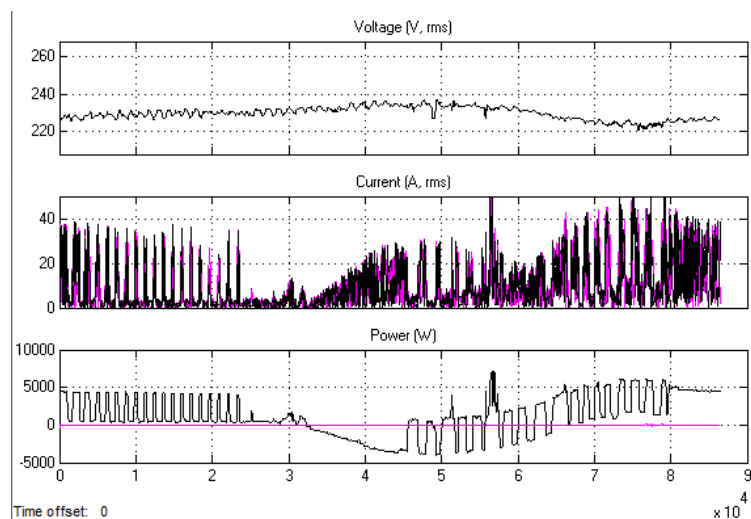
3.1. Gyvenamų namų kvartalo su saulės elektrinėmis modeliavimo rezultatai vasaros režimu

Žemiau pateiktuose 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, paveikslėliuose matome visų 12 gyvenamųjų namų su saulės elektrinėmis modeliavimo rezultatus esant vasaros režimui. Paveikslėliuose atvaizduota gyvenamųjų namų įtampos, srovės bei galios priklausomybės nuo laiko. Iš rezultatų matome, kad įtampa yra apie 230V (svyravimai $\pm 10\%$ ribose), srovė atitinkamai priklauso nuo prijungtos apkrovos ir svyruoja nuo 0 iki kelių ar net keliasdešimties amperų. Kadangi kiekvieno namo elektros energijos poreikiai yra skirtingi, tai ir vartojama iš tinklo galia yra skirtinga.

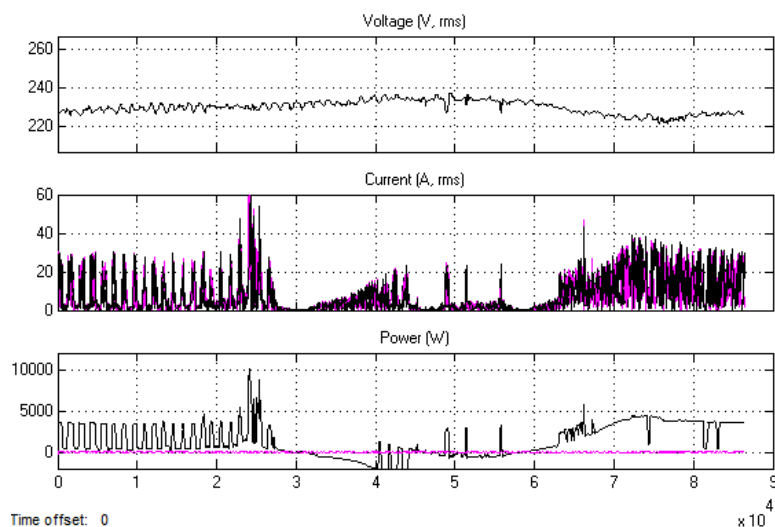
Pavyzdžiui, nagrinėjant namo Nr. 1 charakteristikas, gautas per Scope House1, matome, kad didžiausias energijos suvartojimas yra apie 8 valandą vakaro. Atkreiptinas dėmesys, kad kai imama iš tinklo galia yra žemiau nulio ribos, tuo laiko tarpu elektros energija yra generuojama į tinklą (iš saulės elektrinės). Elektros energijos vartojimas yra nenuspėjamas, todėl pastebimi nemaži įtampos, srovės bei galios svyravimai.



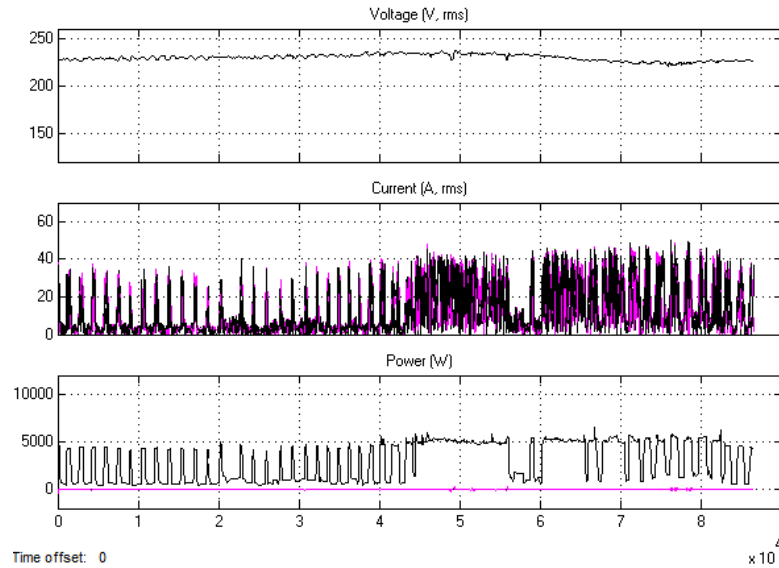
2.10 pav. Namu Nr.1 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



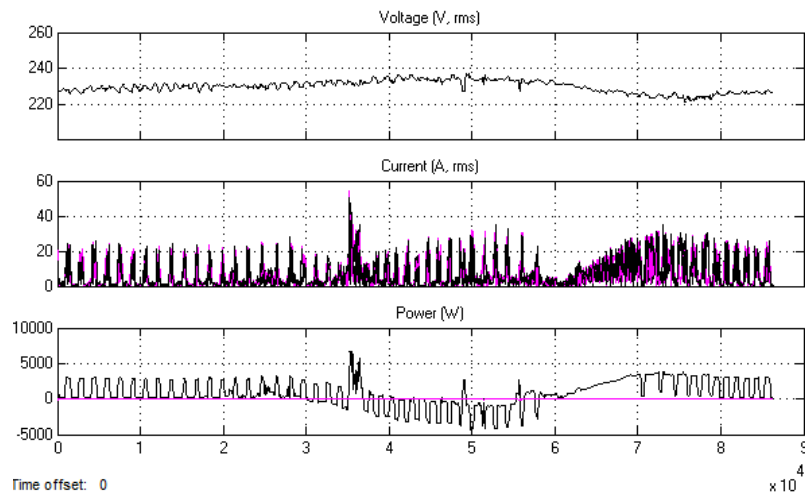
2.11 pav. Namu Nr.2 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



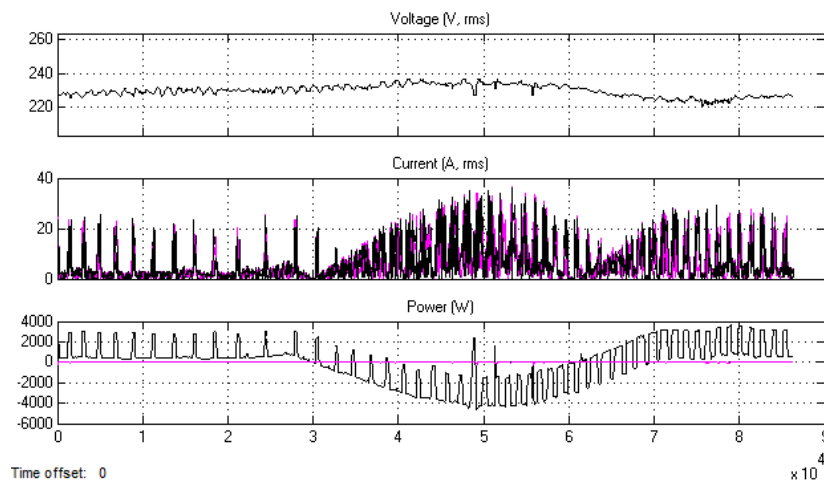
2.12 pav. Namu Nr.3 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



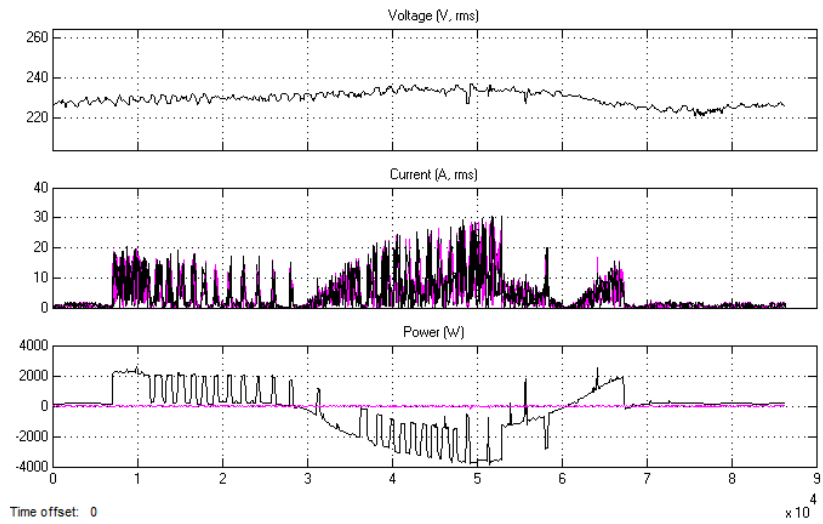
2.13 pav. Namu Nr.4 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



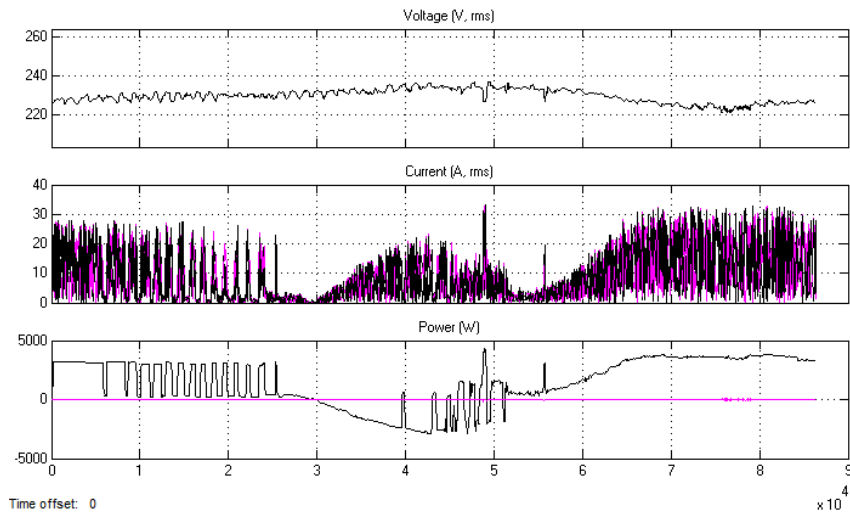
2.14 pav. Namu Nr.5 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



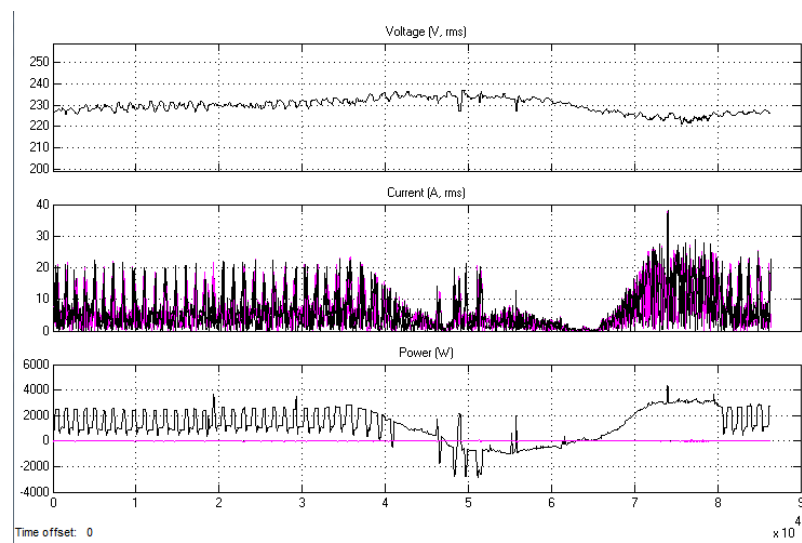
2.15 pav. Namu Nr.6 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



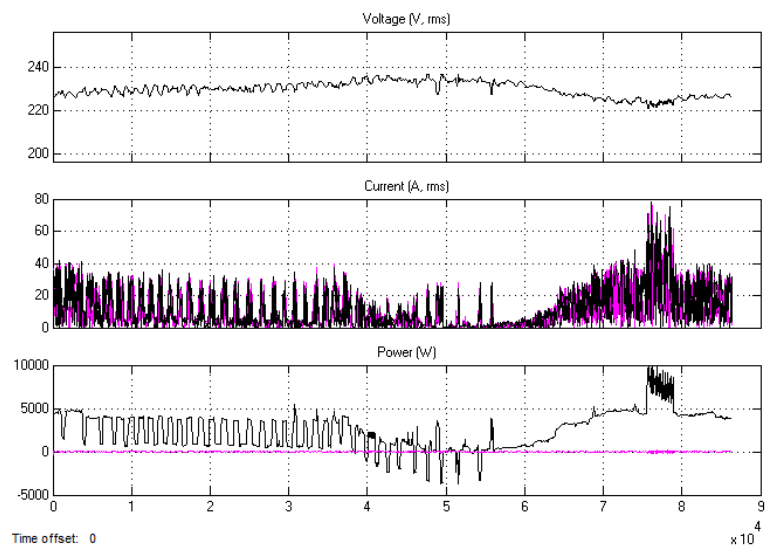
2.16 pav. Namu Nr.7 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



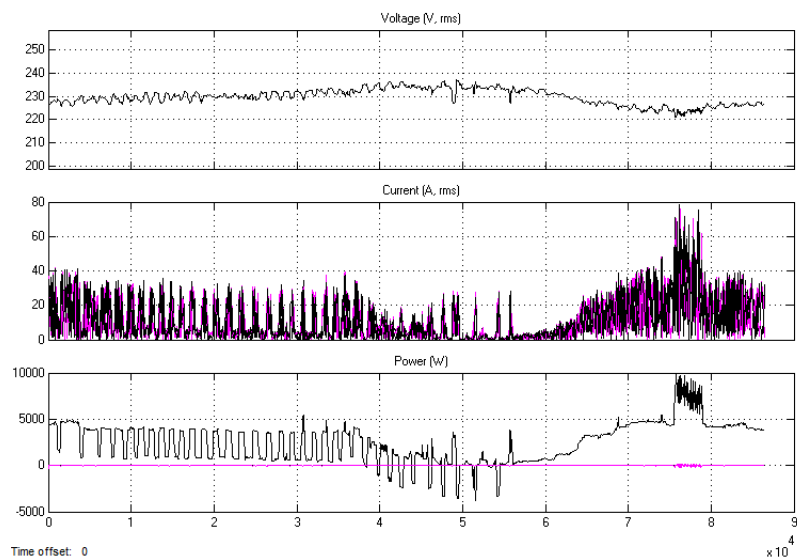
2.17 pav. Namu Nr.8 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



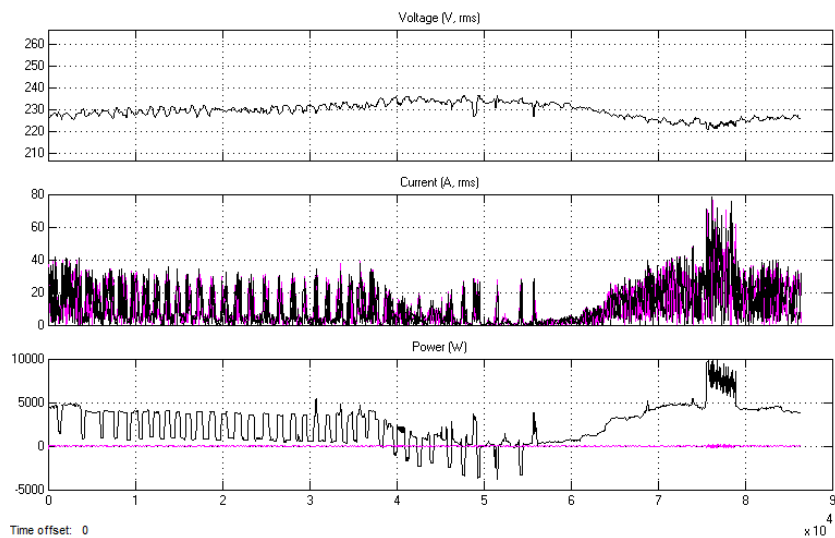
2.18 pav. Namu Nr.9 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



2.19 pav. Namo Nr.10 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko



2.20 pav. Namo Nr.11 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko

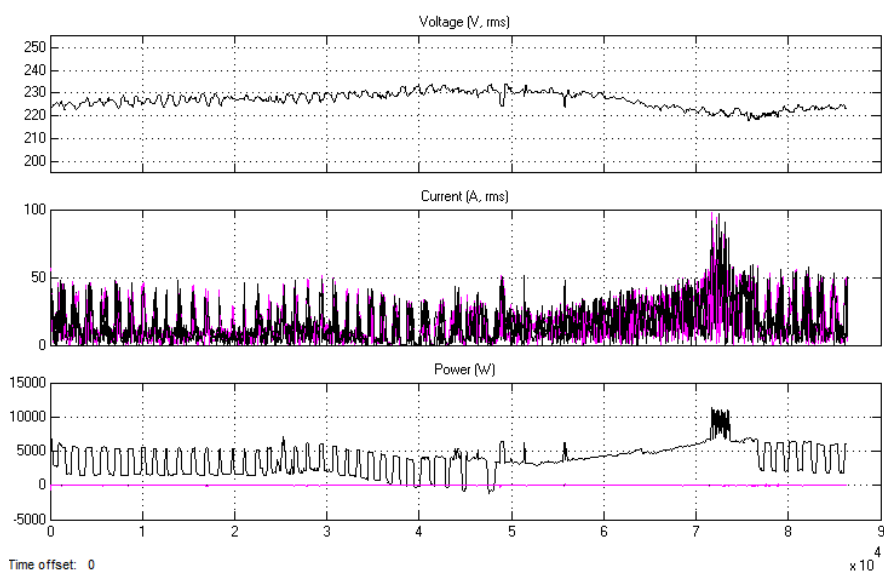


2.21 pav. Namo Nr.12 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko

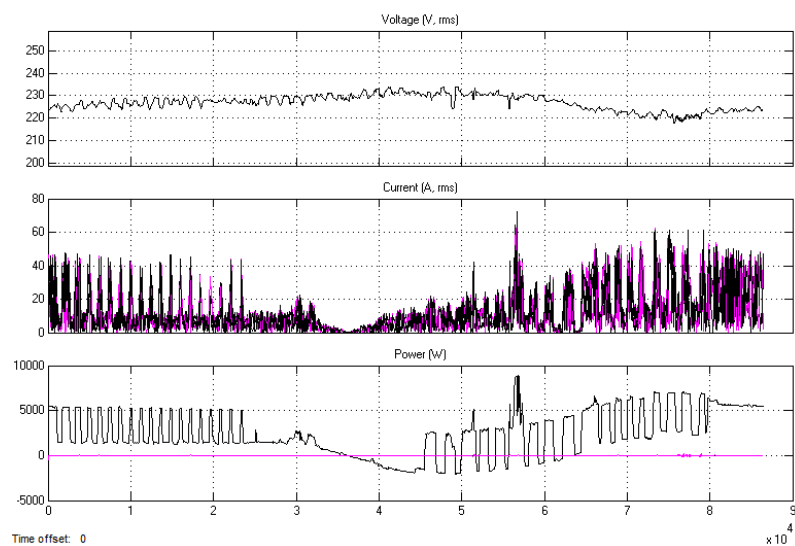
3.2. Gyvenamų namų kvartalo su saulės elektrinėmis modeliavimo rezultatai žiemos režimu

Žemiau pateiktuose 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, 2.37, 2.38, 2.39 paveikslėliuose matome 12 gyvenamųjų namų su saulės elektrinėmis modeliavimo rezultatus esant žiemos režimui. Paveikslėliuose atvaizduota gyvenamųjų namų įtamos, srovės bei galios priklausomybės nuo laiko. Iš rezultatų matome, kad energijos poreikiai žiemą yra didesni, lyginant su vasara.

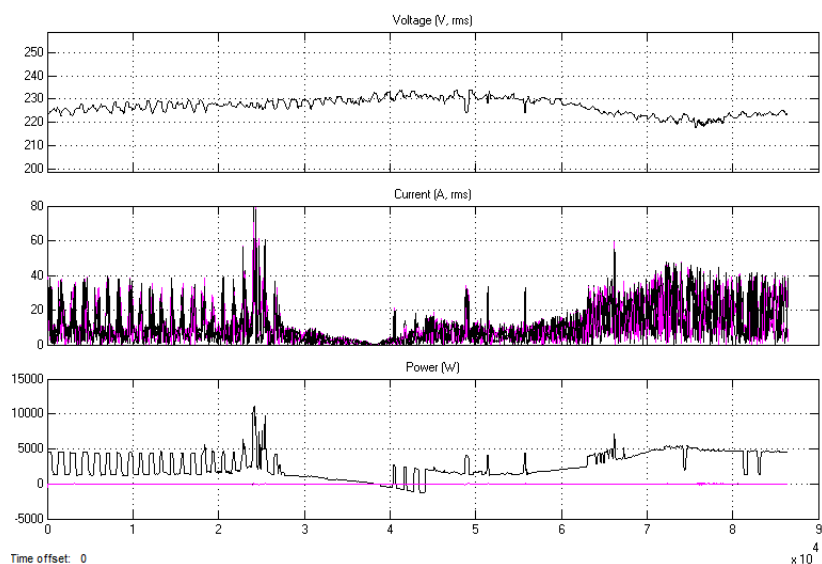
Pavyzdžiui, nagrinėjant namo Nr. 1 charakteristikas, gautas per Scope House1, matome vos pastebimą elektros energijos generavimą į tinklą. Tai atsitinka todėl, kad žiemą išauga energijos poreikiai, o saulės elektrinių generuojama elektros energija sumažėja, dėl sutrumpėjusio šviesaus paros meto. Be to žiemą daug rečiau pasitaiko saulėtų dienų.



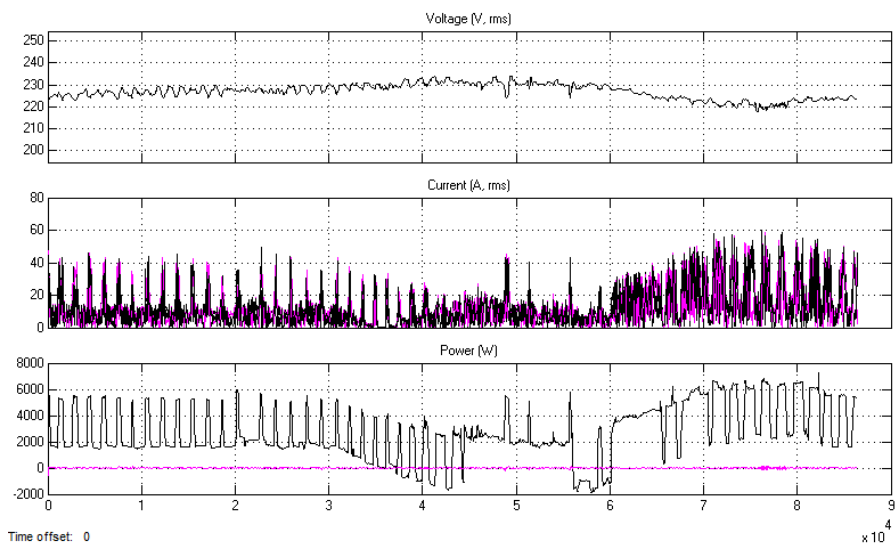
2.28 pav. Namo Nr.1 įtamos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



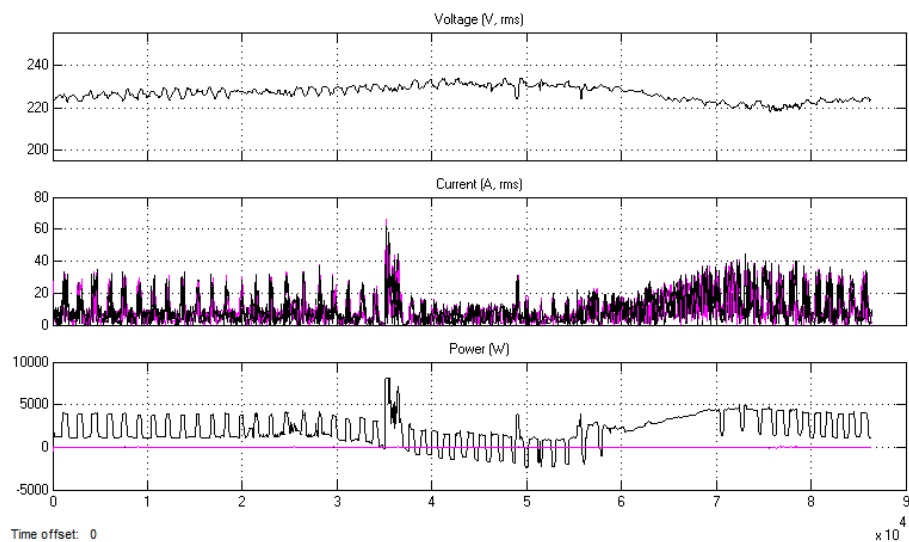
2.29 pav. Namu Nr.2 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



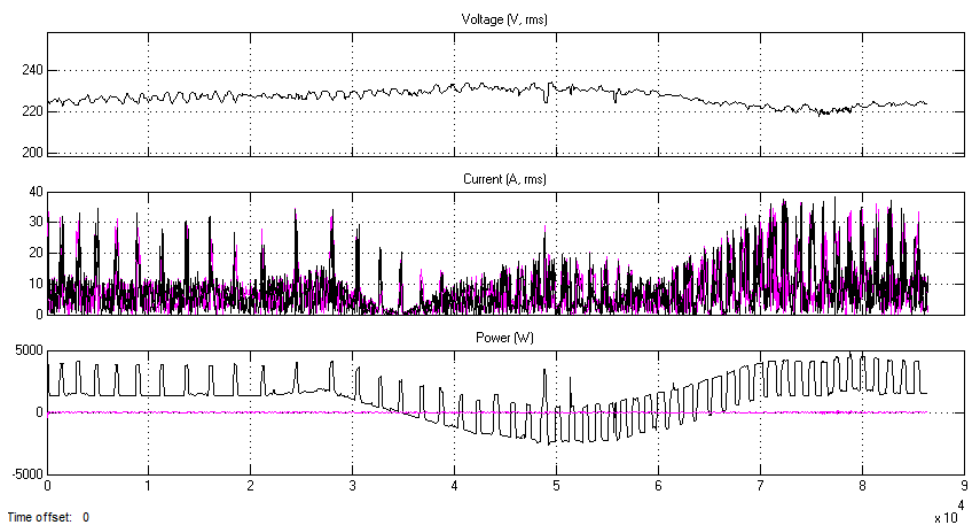
2.30 pav. Namu Nr.3 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



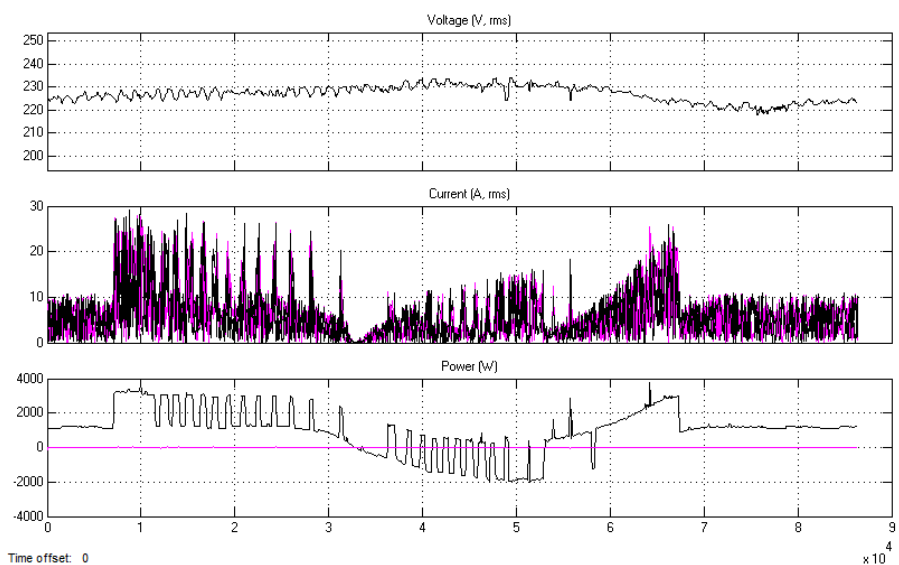
2.31 pav. Namu Nr.4 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



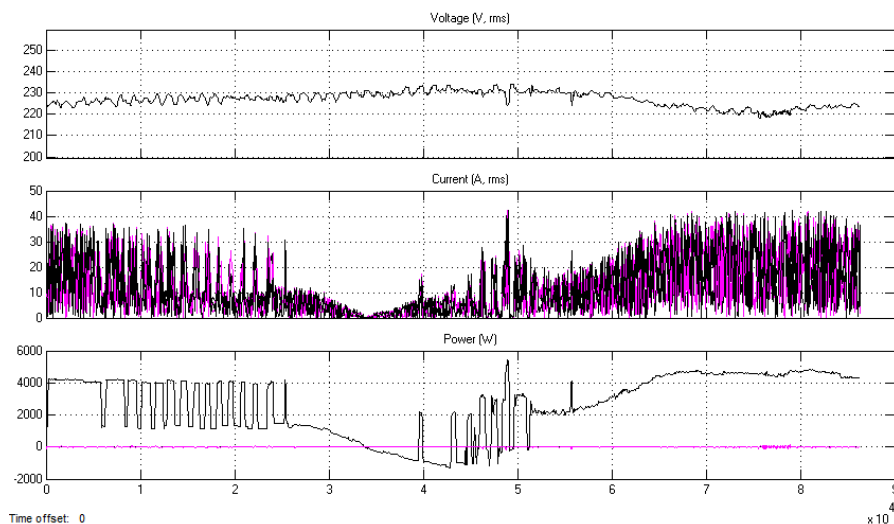
2.32 pav. Namu Nr.5 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



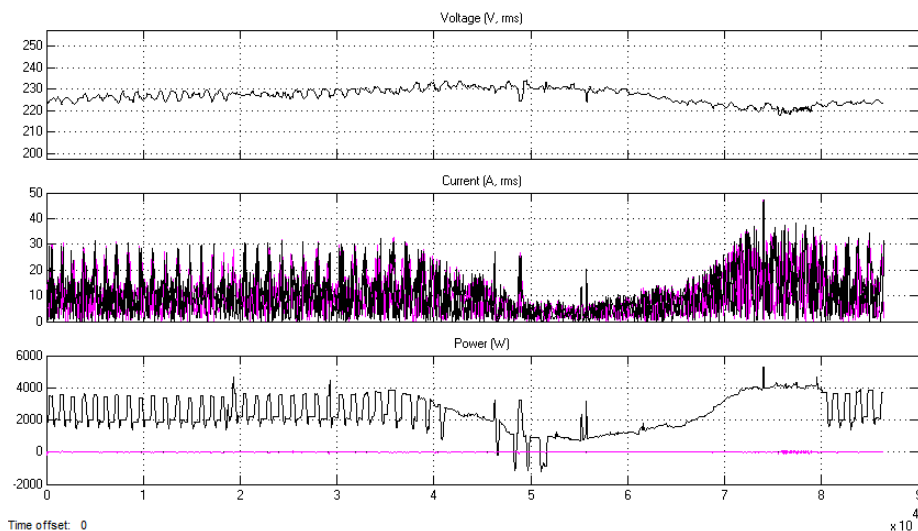
2.33 pav. Namu Nr.6 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



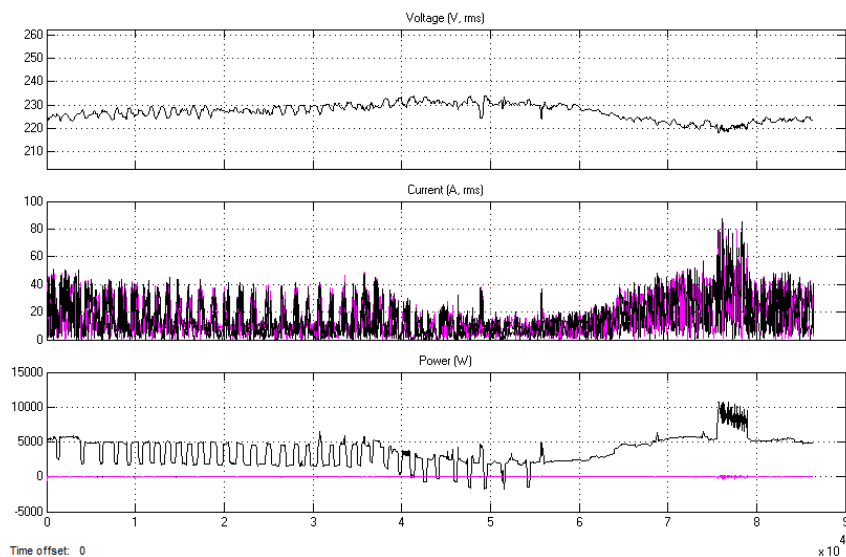
2.34 pav. Namu Nr.7 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



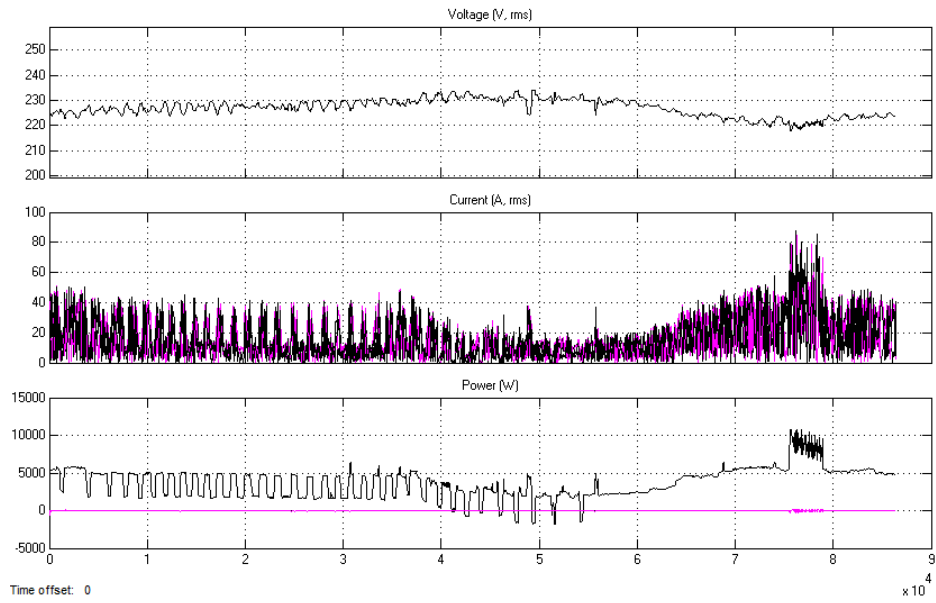
2.35 pav. Namo Nr.8 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



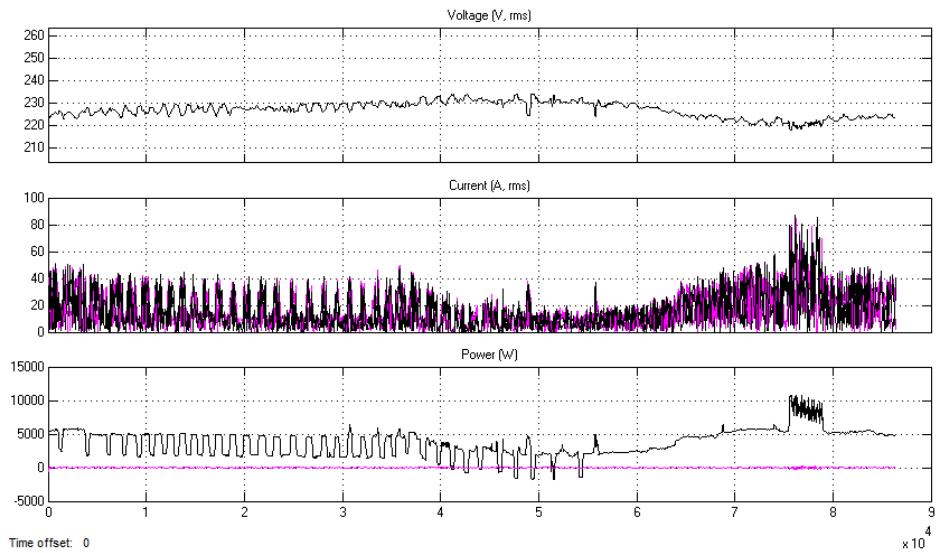
2.36 pav. Namo Nr.9 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



2.37 pav. Namo Nr.10 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



2.38 pav. Namu Nr.11 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)



2.39 pav. Namu Nr.12 įtampos, srovės ir galios priklausomybės nuo laiko (Žiemos režimas)

4. IŠVADOS

1. Atlikus saulės elektrinių analizę, buvo apžvelgta saulės elektrinių plėtra ir panaudojimas Lietuvoje, išanalizuota saulės elemento bei modulio veikimas ir pagrindinės savybės, išnagrinėta saulės elektrinės struktūra bei aptarti pagrindiniai saulės modulių tipai. Išsiaiškinta, kad saulės energijos kiekis paverčiamas elektros energija labiausiai priklauso nuo saulės elementų tipo. Mažiausią naudingumo koeficientą turi amorfiniai bei plonasluoksniai saulės elementai. Brangiausi, tačiau vieni iš efektyviausiai gebančių paversti saulės energiją elektros energija yra monokristaliniai bei dvipusiai (angl. *bifacial*) saulės elementai. Nors, dėl vis atsirandančių naujų technologijų kiekvienais metais saulės elementų naudingumo koeficientas didinamas, tačiau šiuo metu plačiai yra taikomi saulės elementai, kurių naudingumo koeficientas neviršija 22 %.

Išnagrinėjus saulės elektrinių įrengimo ypatumus, išsiaiškinta, kad saulės energija yra geriausiai išnaudojama tuo metu, kai krentantys spinduliai sudaro statų kampą su plokštuma (saulės elementu). Lietuvoje optimaliausias saulės elementų pasvirimo kampas yra apie 30-38° laipsniai.

Apžvelgus saulės elektrinių modeliavimo ypatumus, nustatyta, kad modeliavimui yra tinkamiausios dvi programos: atskirų gamintojų programa PSSE (SIEMENS) ir viena iš plačiausiai paplitusių programinių įrangų Matlab „Simulink“, kuri ir yra naudojama šiame darbe.

2. Vienas pagrindinių šiuo metu vykdomų projektų, susijusių su šiuo darbu yra „*Pecan Street*“ projektas. „*Pecan Street*“ – tai mokslinių tyrimų ir plėtros organizacija orientuota į naujas, besivystančias ir pažangias technologijas, verslo modelį ir vartotojų, apsuptų pažangiomis energijos valdymo sistemomis, elgesį. Šio projekto pagrindinis tikslas yra sumažinti išmetamą anglies dioksido kiekį, lyginant su vidutiniu Austino mieste, Teksase. Stengiamasi, kad namuose, kuriuose įrengta saulės elektrinės, būtų suvartojama ne daugiau energijos, nei jos pagaminama, taip pasiekiant nulinį išmetamo anglies dioksido kiekį.

3. Pagal Lietuvos metrologijos matavimų duomenis buvo ištirta, kur Lietuvoje būtų tikslingiausia ir efektyviausia statyti gyvenamų namų kvartalą su saulės elektrinėmis. Remiantis saulės apšvietos žemėlapiais, nustatyta, kad naudingiausia statyti saulės elektrines yra šiaurinėje Lietuvos dalyje (šiaurės rytuose, šiaurės vakaruose). Pagal gyventojų išsidėstymą tai galėtų būti Klaipėdos miestas ir jo apskritis.

4. Išanalizavus energijos gamintojų, naudojančių atsinaujinančius energijos šaltinius, prijungimo prie elektros tinklų sąlygas, nustatyta, kad elektros energijos gamybai atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės prie veikiančių energetikos tinklų prijungiamos teises aktų nustatyta tvarka, taikant gamintojams 40 procentų prijungimo mokesčio nuolaidą. Taip pat yra sukurta daug skatinimo programų naudoti atsinaujinančius energijos išteklius.

5. Naudojant MATLAB Simulink programinį įrangos paketą buvo sudarytas gyvenamųjų namų kvartalo su saulės elektrinėmis elektros tinklo modelis. Šį gyvenamųjų namų kvartalą sudaro dvylika namų. Ant kiekvieno namo stogo yra sumontuotos saulės elektrinės. Iš įvairių galimų variantų buvo pasirinkta įrengti 5,2 kW galios saulės elektrinės, montuojamas ant šlaitinių stogų. Kadangi kiekvieno gyvenamojo namo elektros energijos poreikiai yra labai įvairūs ir priklauso nuo metų laiko, todėl modelio veikimas buvo ištirtas dviem režimais (vasaros ir žiemos). Lyginant šiuos du režimus, nustatyta, kad saulės spindulinė energija yra daug intensyvesnė vasaros metu, todėl šiuo laikotarpiu, esant šviesiam paros metui, elektros energijos, pagamintos iš saulės elektrinės, pilnai užtenka namo poreikiams padengti ir dar dalis generuojama į tinklą. Žiemą elektros energijos poreikiai žymiai išauga, o ir saulėtų dienų pasitaiko rečiau, todėl šiuo laikotarpiu visas sistemos darbas tampa sudėtingesnis ir pastebima tik maža generacija į tinklą.

Modelio veikimo principas pagrįstas tuo, kad sugeneruota elektros energija nėra tiesiogiai perduodama į energetikos sistemos tinklą, o pirmiausia naudojama įvairiems namo elektros energijos poreikiams patenkinti, ir tik po to perteklius perduodamas į tinklą. Lyginus su autonominėmis elektrinėmis, šios sistemos sąnaudos yra daug mažesnės. Kadangi saugoti ir kaupti elektros energijos nebereikia, sistema yra efektyvesnė, paprastesnė ir pigesnė. Be to prie tinklo prijungtų saulės elektrinių pritaikymas yra labai lankstus.

Nors modeliavimui duomenys buvo sukurti, tačiau įvedus realius duomenis, visą šį sukurtą modelį yra galimybė pritaikyti praktiškai.

5. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Alekna, A.; Vilkas, V. Išmaniojo tinklo elementų taikymas energetinėje sistemoje [interaktyvus] [Žiūrėta 2016-04-27] Prieiga per internetą: http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:J.04~2011~ISSN_1648-8776.N_3_32.PG_143-147/DS.002.0.01.ARTIC
2. Mačiulis, V.; Galdikas, A. J. 2015. Saulės energetika, *Lietuvos Energetika*. 124–133.
3. Quaschnig, V. 2005. *Understanding Renewable Energy Systems*. 290 p.
4. Peter P. 2014. Environmental and Economic Benefits of Building Solar in California: Quality Careers–Cleaner Lives, *Donald Vial Center On Employment In The Green Economy*. 52 p.
5. Meier, D. L.; Davis, H. P.; Garcia, R.A.; Salami, J.; Rohatgi, A.; Ebong, A.; Doshi, P. 2001. Aluminum alloy back p-n junction dendritic web silicon solar cell, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 65: 621–627.
6. Miles, R. W.; Hynes, K. M.; Forbes I. 2005. Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials* 51: 1–42.
7. Akram, B.; Paul, H.; Aaron, K.; Gregg, M. G.; Alec, A. T.; Peidong, Y. 2011. Efficiency enhancement of copper contaminated radial p-n junction solar cells, *Chemical Physics Letters* 501: 153–158.
8. Shih-Wei, F.; Chih-Ming, L.; Chin-Yi, T.; Yu-Ru, S.; Li-Wei, T. 2013. Modeling of p-n junction solar cells, *Optical Society of America* 3(10): 12 p.
9. Cupertino, A. F.; Resende, J. T.; Silveira, B. M.; Vilela, A. O. R.; Pereira, H. A. 2012. A Contribution to Isolated and Grid-Connected Photovoltaic Systems under Shadow Conditions, in *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12)* March 28-30, 2012. 6 p.
10. Dobrzański, L. A.; Drygala, A.; Januszka, A. 2009. Formation of photovoltaic modules based on polycrystalline solar cells, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 2(37): 607–616.
11. Skoplaki, E.; Palyvos, J. A. 2009. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, *Solar Energy* 83: 614–624.
12. Lorenzo, E. 1994. *Solar Electricity – Engineering of Photovoltaic Systems*. Selvilla: Progensa: 315 p.

13. Saga, T. 2010 Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production, *NPG Asia Materials* 2(3): 96–102.
14. Toothman, J.; Aldous, S. Straipsnis: „How Solar Cells Work“[interaktyvus] [Žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per internetą: <http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/solar-cell.htm>
15. Hamrouni, N.; Jraidi, M.; Chérif, A. 2008. Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering* 8(9): 1340–1344.
16. Pradeep, A. K. Y.; Thirumaliah, S.; Haritha, G. 2012. Comparison of MPPT Algorithms for DC-DC Converters Based PV Systems, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* 1(1): 18–23.
17. Pecan Street [interaktyvus] [Žiūrėta 2016-04-10]. Prieiga per internetą: <http://www.pecanstreet.org/>
18. Adomavičius, V. 2010. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimo galimybės daugiabučiuose namuose. *Lietuvos taikomųjų mokslų akademijos mokslo darbai: tarptautinis inovacinis taikomųjų mokslų darbų žurnalas Official Journal of Lithuanian Applied Sciences Academy, Klaipėdos universitetas*, 107–122.
19. Appleyard, D. PV Global Outlook: A Bright Future Shines on PV // Renewable Energy World. [interaktyvus] [Žiūrėta 2016-04-14]. Prieiga per internetą: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news>.
20. Bloem, H., Monforti-Ferrario, F. and Jäger-Waldau, A. Renewable Energy Snapshots 2010. European Commission. DG Joint Research Centre. EUR 24440. June 2010. 53 p
21. Saulės elektrinių įrengimo ypatumai [interaktyvus] [Žiūrėta 2016-05-14]. Prieiga per internetą: <http://www.staltika.lt/saules-energijos-sistemas/fotovoltines-elektrines/saules-elektriniu-irengimo-ypatumai-2/>
22. Saulės energetika pastatuose [interaktyvus] [Žiūrėta 2016-05-12]. Prieiga per internetą: http://www.contentus.lt/en/download/Solar_lesson_2010-04-29_summary.pdf
23. Sridhar, R.; Jeevananathan, D. R. *et al.* 2010. Modeling of PV Array and Performance Enhancement by MPPT Algorithm, *International Journal of Computer Application* 7(5): 35–39.

24. Vasarevičius, D.; Pikutis, M. *Matematinis saulės energijos srauto modelis didžiausios galios taško saulės elementuose sekimo algoritmų tyrimui*, Vilniaus Gedimino Technikos universitetas, 2012.

25. Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo elektros energijos gamyboje apimčių analizė ir rekomendacijų dėl elektros energijos, kuriai gaminti naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai, gamybos ir supirkimo skatinimo 2010 – 2020 m. parengimas [interaktyvus] [žiūrėta 2016-05-15] Prieiga per internetą: http://www.lvea.lt/public/gallery/C__Documents%20and%20Settings_Aiste_Local%20Settings_Application%20Data_Opera_Opera_profile_cache4_opr077B7.pdf