

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU:

Katedros vedėjas,

Doc. dr. G. Valiulis _____

(parašas)

FOTOELEKTRINĖS PARAMETRŲ TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

_____ Doc. Dr. Leonardas Buivis

(parašas)

Atliko

_____ EM-10 gr. studentas

(parašas)

Remigijus Baltušis

Recenzentas

_____ Doc. dr. Gediminas Valiulis

ŠIAULIAI, 2012

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Remigijus Baltušis

FOTOELEKTRINĖS PARAMETRŲ TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas

Doc. Dr. Leonardas Buivis

ŠIAULIAI, 2012

SANTRAUKA

Baigiamojo magistrinio darbo tikslas susipažinti su fotoelektrinės bei piranometro elementais, kurie sumontuoti Technologijos fakultete.

Tyrimo metu išnagrinėtas jutiklių išsidėstymas horizontalioje ir vertikalioje padėtyje ir kaip tai įtakoja įtampos signalų registravimo duomenis, prie skirtingos saulės apšvietos įvairiu paros metu. Tyrimo metu išsiaiškinta kiek apšvietos krenta į kiekvieną jutiklį, bei koks nuokrypis gaunamas lyginant su Šiaulių miesto meteorologijos stoties gautais duomenimis. Gauti jutiklių parametrai palyginami su fotoelektrinės parametrais.

Naudojant fotoelektrinės parametrus plačiai aptarta kiekvieno įrenginio įtaka fotoelektrinės darbui. Buvo nustatyta kokių metų laiku gaunama didžiausia energija, kaip vidaus elementų temperatūrų skirtumas įtakoja fotoelektrinės darbą. Gauti darbo rezultatai gali būti naudojami fotoelektrinės energijos gamybai didinti, bei pačių elementų tobulinimui, taip pat energijos panaudojimui Lietuvoje.

SUMMARY

The aim of master work is to get familiarized with the pyranometer and photovoltaic elements that is installed on the Faculty of Technology.

The study examined the distribution of sensors in horizontal and vertical position and their influence to the recording of voltage signals through different solar irradiance incident at different times of the day. The analysis shows how many light falls into each luminance sensor, as well as the deviation which is obtained by comparing the Siauliai city Metrologic station given data on light. Later the sensor parameters which were found during re-search were compared with the photovoltaic parameters. It was also discussed the influence of photovoltaic parameters and devices to work of photovoltaic power station.

It was found out at what time of the year was reached maximum energy level, and how the difference of temperature of inner elements influences effectiveness and work of photovoltaic power station. The re-search results can be used in increasing the production of photovoltaic energy, improvement of elements and usage of energy in Lithuania.

TURINYS

TURINYS	4
LENTELIŲ SARAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SARAŠAS	6
ĮVADAS	7
1. SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO AKTUALUMAS	8
2. FOTOELEKTRINĖS PANAUDOJIMAS LIETUVOJE	9
3. SAULĖS ŠVIOSOS TYRIMO BŪDAI	12
3.1 Saulės šviesos krintančios į žemę charakteristikos	12
3.2 Atmosferos įtaka saulės šviesai	14
3.3 Saulės padėties įvertinimo rodikliai	18
4.SAULĖS ŠVIOSOS REGISTRAVIMO EKSPERIMENTAS	23
5. FOTOELEKTRINĖS PARAMENTRAI BEI JŲ TYRIMAS	28
5.1 Fotodiodo savybės ir jo efektyvumas.....	28
5.2. Fotoelektrinio modulio tyrimas.....	29
5.3. Fotoelektrinės tyrimas	32
6. FOTOELEKTRINĖS ĮRANGA	40
6.1 Įkrovos reguliatoriaus įtaka fotoelektrinės energijos įkrovimui	40
6.2 Akumuliatoriaus panaudojimas energijos kaupimui.	43
6.3 Įtampos dažnio keitiklio panaudojimas.	46
IŠVADOS	50
LITERATŪRA	51
PRIEDAI	53

LENTELIŲ SARAŠAS

- 1 lentelė: Saulės elektrinės elementų tipai sudaryti iš silicio.
- 2 lentelė: Saulės šviesos kampo įtaka piranometro signalams, bei kritanti apšvieta.
- 3 lentelė: Piranometro apšvietos dienos nuokrypis.
- 4 lentelė: Tiriamojo fotoelektrinio modelio parametrai.
- 5 lentelė: Fotoelektrinio modulio apkrovos varžos reguliavimas prie skirtingo šviesos šaltinio
- 6 lentelė: Fotoelektrinės apkrovos varžos reguliavimas apsiniakusią dieną bei esant vidutiniam debesuotumui.
- 7 lentelė: Įtampos ir srovės dydžiai prie skirtingų aplinkos temperatūrų.
- 8 lentelė: Fotoelektrinės ir akumuliatoriaus dienos energijos įkrovimas.
- 9 lentelė: Naudojamo akumuliatoriaus iškrovimo įtampos vertės pateiktos procentais.
- 10 lentelė: Akumuliatoriaus iškrovimas naudojant įtampos keitiklį prie skirtingų srovės dydžių.
- 11 lentelė: 2011 metų rugpjūčio mėnesio akumuliatoriaus įkrovimas ir iškrovimas Wh bei naudngumas.

PAVEIKSLŲ SARAŠAS

- 3.1 pav. Saulės spinduliavimo bangų diapazonas.
- 3.2 pav. P taško koordinatės ir į ją krintanti apšvieta.
- 3.3 pav. Horizontalaus paviršiaus saulės šviesos kritimo kampai.
- 3.4 pav. Horizontalaus ir vertikalaus paviršiaus saulės šviesos kritimo kampai.
- 4.1 pav. Jutiklių sujungimo struktūrinė schema.
- 4.2 pav. Šiaulių miesto meteorologijos stoties krintanti apšvieta palyginimas su jutiklių krintančia apšvieta, 2011 metų rugpjūčio 15 dienos.
- 5.1 pav. Fotodiodo charakteristikos dydis esant apšviestam moduliui.
- 5.2 pav. Fotoelektrinio modulio atstojamoji schema.
- 5.3 pav. Voltamperinė ir galios charakteristikos kreivės prie skirtingo šviesos šaltinio
- 5.4 pav. 8 lygiagrečiai sujungti fotoelektriniai moduliai.
- 5.5 pav. Fotoelektrinės struktūrinė schema.
- 5.6 pav. Fotoelektrinės voltamperinės ir galios charakteristikos kreivės prie tiesioginės saulės apšvietos.
- 5.7 pav. Temperatūros įtaka saulės modulio charakteristikai.
- 5.8 pav. Voltamperinė charakteristika prie skirtingos aplinkos temperatūros dydžio.
- 5.9 pav. Vieno modulio dirbtinis šešėlio sudarymas ir jo įtaka fotoelektrinės voltamperiniai charakteristikai.
- 6.1 pav. Fotoelektrinės ir akumuliatoriaus įtampa ir srovė prie skirtingo paros laiko.
- 6.2 pav. Fotoelektrinės dienos galia ir apšvieta prie skirtingo paros laiko.
- 6.3 Akumuliatoriaus įkrovimo bei iškrovimo ribinė vertė.
- 6.4 pav. Akumuliatoriaus iškrovimas prie skirtingų srovės dydžių.

IVADAS

Pasaulinė fotoelektros rinka kiekvienais metais auga labai dideliais tempais – vien per 2007 m. instaliuotų sistemų rinkoje augo daugiau nei 60 proc. iki 2,825MW akumuluotos galios. Šiuo metu siekiama užpildyti Lietuvos fotoelektrinių technologijų sritį, ir kartu su kitomis Lietuvoje veikiančiomis kompanijomis, siekti įdiegti Lietuvoje pilną ir efektyvią, kaštų atžvilgiu, fotoelektrinių jėgainių gamybos ciklą. Fotoelektrinių gamybai naudojami puslaidininkiniai elementai, kurių pagrindu sudaro silicis.

Fotoelektrinės darbai įtakos turi saulės spindulių kritimo kampas, saulės intensyvumas, aplinkos temperatūra. Šiuo metu fotoelektrinių naudingumo koeficientas svyruoja apie 15%. Didėjant temperatūrai, fotoelektrinės naudingumo koeficientas mažėja, todėl gaminami kombinuoti šiluminės ir elektros energijos gamybos įrenginiai, kai perteklinė temperatūra perduodama šilumos nešėjui saulės kolektoriuje. Fotoelektrinės energiją gamina ne tik esant giedrai dienai, bet ir debesuotai ir apniaukusiai dienai, tad tomis dienomis energijos pagaminama mažiau. Lietuvoje saulės nėra tiek daug geografiniu atžvilgiu, bet puikiausiai galima panaudoti tiek kiek yra.

Fotoelektrinės konstrukcijos nėra didelių gabaritų, todėl patogus jas naudoti. Yra lengvos konstrukcijos, kurios neužima daug vietos, juose nėra besisukančių, triukšmą keliančių dalių. Individualioms reikmėms naudojamų nedidelių fotoelektrinių montavimui nereikia suderinimo dokumentų su savivaldybe ar kitomis institucijomis, nes jos gali būti sumontuotos ant stogo, sienų ir derėti prie aplinkos.

Tyrimo objektas: fotoelektrinės parametrų tyrimas.

Darbo tikslas: Išnagrinėti fotoelektrinės, esančios Technologijos fakultete, pagrindinius parametrus. Išsiaiškinti fotoelektrinės struktūrinę schemą, bei patį veikimo principą. Išsiaiškinti kokią energijos dydį gali įkrauti fotoelektrinė esant skirtingiems metų laikams. Kokie skaičiavimai gali būti atliekami norint sužinoti fotoelektrinės energijos galios sukauptumą. Išsiaiškinti papildomų elementų, kurie sujungti su fotoelektrine, įtaką fotoelektrinės darbai. Kokią įtaką turi įkrovos reguliatorius fotoelektrinei. Kokiu principu veikia, bei kaip įtakoja akumulatoriaus energijos įkrovimui. Kokiais būdais panaudojama sukaupta akumulatoriaus energija, ir kokiais metodais energija išnaudojama.

Išnagrinėti jutiklių išsidėstymą skirtingais kampais, kaip įtakoja įtampos signalų registravimą esant skirtingai saulės apšvietimo padėčiai.

1. SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO AKTUALUMAS

Per metus viršutinę žemės atmosferos riba pasiekia $5,6 \times 10^{24}$ J saulės energijos. Žemės atmosfera atspindi apie 30% spinduliuojamos energijos atgal į kosmosą, o likusi energija sušildo žemės paviršių, garavimo, bangų, vėjo, oro ir vandenyno srovių susidarymui. Metinis, pasiekiančios žemę, saulės energijos kiekis yra $1,05 \times 10^{18}$ kWh, sausumai tenka 2×10^{17} kWh. Be ekologinio pakenkimo aplinkai galima panaudoti 1,5% ($1,62 \times 10^{16}$ kWh/m²). Tai ekvivalentu 2×10^{12} t sąlyginio kuro. Visas šiuo metu išgaunamas pasaulyje organinis kuras, taip pat susidarė fotosintezės reakcijų metu, veikiant saulės energijai.

Saulės spinduliams praeinant pro atmosferos sluoksnius, dalis jų išsisklaido ir yra sugeriami ozono, oro ir garo molekulių ar dulkių dalelių, todėl tiesioginė saulės radiacija silpnėja, tačiau atsiranda difuzinė (išsklaidyta) saulės spinduliavimo dedamoji. Difuzinė saulės spinduliavimo dalis bendrame radiacijos sraute priklauso nuo geografinių ir klimatologinių veiksnių ir per metus kinta. Pvz. Kaune, išsklaidytos radiacijos dalis vyruoja nuo 77% sausio mėnesį iki 46% birželio mėnesį.

Saulės energija, pasiekianti Žemės paviršių Lietuvos teritorijoje, matuojama dviejose meteorologinėse stotyse – Kaune ir Šilutėje. Aktinometrinių matavimų kompleksas apima tiesioginės, išsklaidytos bei atspindėtos nuo žemės paviršiaus, saulės energijos matavimą ir radiacinio balanso sudarymą. Daugiamečių stebėjimų duomenimis, vidutinis metinis suminės saulės radiacijos kiekis, krintantis į horizontalų paviršių yra 970 kWh/m² Šilutėje ir 1025 kWh/m² Kaune. Paros suminės radiacijos kiekiai į horizontalų paviršių skiriasi. Per metus kinta nuo 0,55 kWh/m²d. sausį iki 5,8 kWh/m² d. birželio mėnesį. Metinis saulėtų valandų skaičius matuojamas 11-oje Lietuvos Respublikos meteorologinių stočių. Saulės švietimo laikas Lietuvoje ilgiausias pajūryje ir trumpėja rytinės sienos link, kadangi visoje šalies teritorijoje debesuotumo tikimybė didėja rytų kryptimi.

Vidutiniškai saulėtų valandų skaičius pajūryje siekia 1840–1900 val. kasmet. Šalies rytiniame pakraštyje jis neviršija 1700 val./m. Maksimali saulės švietimo trukmė yra Nidoje, ji siekia 1908 val./metus. Eksperimentinių matavimų duomenimis nustatyta (duomenys fiksuojami kas 5 s), kad Vilniuje vidutinis suminis saulės energijos kiekis horizontalioje plokštumoje yra 3 500 MJ/m² per metus (tyrimo laikotarpiu iki 2003 m. Buvo 3300–3660 MJ/m²). Tai mažai kuo skiriasi nuo kitų Lietuvos vietovių duomenų. Horizontaliai plokštumai 80 proc. metinės energijos tenka balandžio–rugsėjo mėnesiais.

2. FOTOELEKTRINĖS PANAUDOJIMAS LIETUVOJE

Fotoelektra Lietuvoje pradėta naudoti nuo 1996 metų. Kasmet jų poreikis po truputį didėja. Fotoelektros šaltiniai jau naudojami gana įvairiose srityse: įvairių radijo ryšio priemonių, tarp jų ir mobiliųjų telefonų akumuliatoriams įkrauti, ekspedicijose videokameroms maitinti, medicininuose tyrimuose, kai būtinas geras ekranavimas, nuo elektros nutolusių objektų apsaugos sistemoms maitinti, jachtose, autotreileriuose, sklandytuvuose. Žemės ūkyje fotoelektra naudojama elektrinėms piemonėms maitinti. Privačiuose namuose, soduose, poilsiavietėse naudojamos saulės mikroelektrinės minimaliems elektros energijos poreikiams tenkinti (50 – 500 W). Atskirais atvejais fotoelektra naudojama vandens šildymui, laistymo sistemoms, fontanų siurbliams ir kitiems nedidelės galios elektros imtuvams maitinti.

Visų Lietuvoje įrengtų fotoelektrinių galia šiuo metu sudaro apie 20 kW. Be paminėtų atvejų, kelios saulės elektrinės įrengtos mokymo tikslams. Galingiausia šalyje fotoelektrinė įrengta Vilniaus Gedimino technikos universitete 2001 m. Jos nominalioji fotoelektrinių galia sudaro 0,6 kW. Alantos technologijos ir verslo mokykloje 2003 m. įrengta 0,2 kW fotoelektrinė. Panašios galios saulės fotoelektrinė tais pačiais metais įrengta Kauno technologijos universiteto Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijų centre, kur jos galia 2004 m. padidinta iki 0,32 kW. Šiaulių universitete 2004 m. buvo įrengta 0,15 kW fotoelektrinė. Taip pat buvo sukurtos ir išplatintos įvairiausios mokymo priemonės, skirtos mokykloms: 50 W fotoelektrinės pagrindinėse mokyklose, laboratorinių darbų stendai, 1-2 W moduliukai, mokiniams išdalinami per fizikos pamokas.

Šiuo metu labiausiai paplitęs elementas – silicis. Lyginant su kitais elementais, neaukštos kainos, tačiau jo naudingumo koeficientas nėra aukštas 1 lentelė. Silicis pasižymi viena labai svarbia savybe. Jei į jį krinta šviesa, tai ji iš silicio priemaišų, atomų išmuša šiaip jau tvirtai su branduoliu susietus elektronus, ir šie laisvai keliauja po visą silicio plokštelę. Silicio atomą sudaro keturiolika protonų ir keturiolika elektronų. Išorinį jo sluoksnyje sudaro keturi elektronai. Kai formuojamas silicio monokristalas, atomai patys susigrupuoja ir sudaro kovalentines jungtis su keturiais gretimais atomais. Kiekvienoje jungtyje silicio atomas dalijasi vienu iš keturių savo elektronu su kaimyninio atomo vienu iš keturių elektronų. Šito pasėkoje kiekvieno iš atomų išorinis sluoksnis yra pilnai užpildytas (jame gali būti iki aštuonių elektronų) ir atomas yra stabilioje būsenoje. Elektronai yra pririšti valentinėje juostoje ir negali klaidžioti nuo atomo prie atomo. Tam, kad jie galėtų taip daryti, jie

turi gauti energijos ir peršokti į laidumo juostą. Energijos skirtumas tarp laidumo ir valentinės juostos yra vadinamas draudžiamąja juosta. Skirtingos medžiagos turi skirtingo pločio draudžiamąsias juostas. Draudžiamosios juostos dydis apsprendžia saulės elemento atviros grandinės įtampą.

1 lentelė

Saulės elektrinės elementų tipai sudaryti iš silicio

Si SE tipai	Aprašymas	Efektyvumas (proc.)	Veikimo laikas
Monokristaliniai	Padėklas, kuriame gaminamas SE, yra Monokristalinio Si plokštelė. Monokristalinio Si strypai gaunami jį traukiant iš lydalo, naudojant reikiamos orientacijos kristalinę užuomazgą. Strypai supjaustomi į plonas plokšteles. Šis gamybos procesas sudaro galimybę pasiekti palyginti didelius SE efektyvumus.	14 – 17	25 metai, kai naudojama 90 proc. nominalios galios. 30 metų, kai naudojama 80 proc. nominalios galios.
Polikristaliniai	Padėklas, kuriame gaminamas SE, yra polikristalinio Si plokštelė. Polikristalinio Si SE gamyba yra gerokai lengvesnė ir pigesnė. Šiuo atveju iš perlydyto silicio yra pagaminami medžiagos blokai, kurie pjaustomi į plokšteles. Medžiagai kietėjant, susidaro įvairių dydžių kristaliniai dariniai. Ribose tarp tų darinių būna daug struktūros defektų. Dėl šių defektų sumažėja ir SE efektyvumas.	12 – 14	10 metų, kai naudojama 90 proc. nominalios galios. 25 metai, kai Naudojama 80 proc. Nominalios galios.
Amorfiniai	Jei silicio sluoksniu padengiamas stiklas ar koks nors kitas padėklas, gaunamas vadinamasis amorfinis Si, kuriame suformuojant p-n sandūrą gaunami plonasluoksniai SE. Sluoksnio storis mažiau nei 1 μm, todėl tokiems elementams reikia mažiau medžiagos, taip sumažinama jų kaina. Tačiau amorfinio Si elementų mažesnis atsparumas UV spinduliuotei. Todėl po kelių mėnesių naudojimo, jų efektyvumas sumažėja iki 3 – 6 proc. Dėl šios priežasties amorfiniai SE naudojami mažos galios reikalaujančioje įrangoje (laikrodžiuose, kišeniniuose kalkuliatoriuose) arba dengiant jais namų fasadus.	8 – 10	10 metų.

Idealiam monokristalinio silicio saulės elementui šviesos išnadojimo koeficientas teoriškai sudaro apie 0,8. Kai jo plotas yra didesnis nei 100 cm², koeficientas mažėja.

Saulės energijos elementai montuojami į fotoelektrinius modulius, kurie naudojami įvairiose srityse:

- Greitkelių monitoringo postuose;
- Magistraliniuose dujotiekiuose;
- Apsaugos bei signalizacijos sistemose;
- Saulės – vėjo jėgainėse, statomose atokiose vietose, kur elektros energija yra sunkiai pasiekama;
- Saulės elektrinės sukauptą energiją perduodama elektros tinklams;
- Montuojami namų stoguose, kad patenkintų padidėjusią elektros energijos paklausą;
- Mažų akumuliatorių krovimui (laikrodžiai, kišeniniai kalkuliatoriai, telefonų baterijos);
- Įvairių elektrinių prietaisų maitinimui.

3. SAULĖS ŠVIESOS TYRIMO BŪDAI

3.1 Saulės šviesos krintančios į žemę charakteristikos

Spinduliavimo galia Φ_e – matuojama W, kuri priklauso nuo šviesos spektro, kurį galima išreikšti taip:

$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \varphi_e(\lambda) d\lambda \quad (3.1.1)$$

čia: $\varphi_e(\lambda)$ – optinio spinduliavimo spektrinis tankis vatais (W);

λ – monokristalinio šviesos bangos vidutinis ilgis (nm).

Spinduliavimo energija Q_e - matuojama džauliais (J) arba vatskundėmis (Ws) spinduliuojamą per tam tikrą laiką, pvz. Nuo t_1 iki t_2 gali būti išreiškiamas:

$$Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e = (t) dt \quad (3.1.2)$$

Erdvinis kampas $d\omega$ – tai spindulių, kurie sferos paviršiuje išskiria plotelį dA , bei sujungtų su sferos centru, sudarytas kampas $d\omega$ (erdvėje), matuojamas steradianais (sr):

$$d\omega = dA/r^2 \quad (3.1.4)$$

Jeigu plotelis dA yra erdvėje orientuotas taško atžvilgiu ne sferos paviršiuje, tuomet projekcija sferos paviršiuje yra $dA \cos \alpha$ ir šis plotelis taško atžvilgiu užima erdvinį kampą:

$$d\omega = dA \cos \alpha / r^2 \quad (3.1.5)$$

Spinduliavimo stipris I_e – tai spinduliavimo galios ($d\Phi_e$) erdvinis tankis.:

$$I_e = d\Phi_e / d\omega \quad (3.1.6)$$

Matavimo vienetas vatai steradianui (W/sr).

Energetinis šviesis M - tai šviesos spinduliavimo galios ($d\Phi_e$) paviršinis tankis.:

$$M = d\Phi_e/dA \quad (3.1.7)$$

Matavimo vienetas vatai į ploto kvadratinį metrą (W/m²)

Energetinis skaitis L_e – tai šviesos spinduliavimo galios (dI_e) spinduliuojančio paviršiaus tankis:

$$L_e = dI_e/(dA \cos\alpha) \quad (3.1.8)$$

Matavimo vienetas - vatai į erdvinį kampą (sr), padaugintą iš paviršiaus ploto (W/sr*m²)

Energetinė ekspozicija H_e – tai optinio spinduliavimo (dQ_e) energijos paviršinis tankis. Matavimo vienetas džaulis arba vatsekundė į ploto kvadratinį metrą (Ws/m²):

$$H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_e(t) dt \quad (3.1.9)$$

Statmeno saulės spinduliavimo paviršiaus, esančio už atmosferos ribų vidutinis apšviestumas E_0 nusakomas tokia lygtimi:

$$E_0 = k \int_{0.38}^{0.77} G_{S\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (3.1.9)$$

čia: $G_{S\lambda}$ – apšvitos spektrinis tankis ((W/m²)* μm);

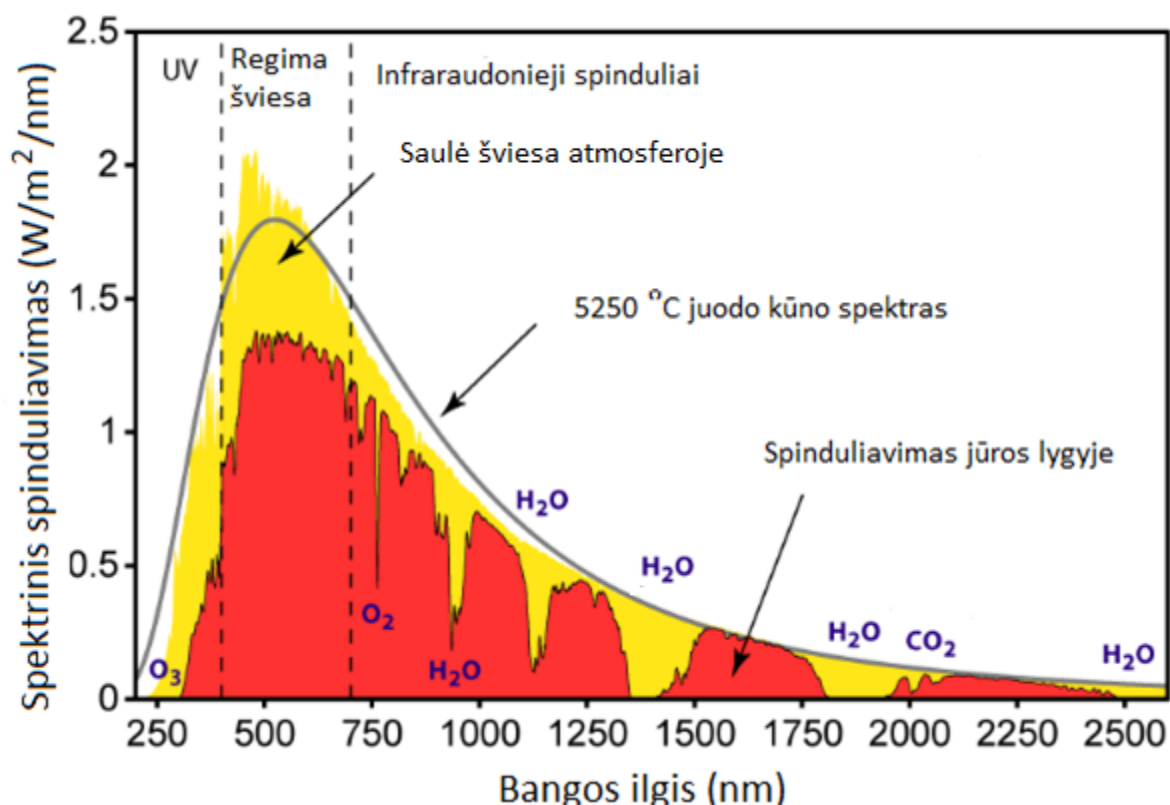
$V(\lambda)$ – akies spektrinio jautrumo funkcija;

k – maksimalus šviesinis veiksmingumas (683 lm/W);

Įsistatę į $G_{S\lambda}$ ir $V(\lambda)$ reikšmes ir integravus gausime apšvitos vidutinę reikšmę $E=127,5$ kLx.

3.2 Atmosferos įtaka saulės šviesai

Saulės spinduliavimo srauto žemės atmosferoje apšvietimo vertė 1370 W/m^2 . Maksimali saulės apšvieta sudaro 1418 W/m^2 esant liepos mėnesiui, o minimali 1325 W/m^2 sausio mėnesį. Saulės energinė apšvieta žemės paviršiuje giedrą dieną yra apytiksliai lygi 1000 W/m^2 . Šie parametrai nustatyti pagal Lietuvos meteorologijos stoties duomenis. Tačiau šie dydžiai skiriasi priklausomai nuo geografinės platumos, metų laikų, paros laiko. 3.1 paveiksle nurodoma saulės energetinės šviesos $M(\lambda)$ visame pasiekiamajame žemės bangų diapazone. Litetatūra iš kurios imtas šis paveikslas: (<http://home.earthlink.net/~apptechy/OpticalMeasure/OpticalMeasure.htm>)



3.1 pav. Saulės spinduliavimo bangų diapazonas

1. Saulės spinduliavimo energijos sugėrimas žemės atmosferoje.

Kertanti žemės atmosferą, kurią sudaro dulkių dalelės, įvairių dujų ir vandens garų molekulių dalis saulės energijos sugerama. Dydis m – santykinė optinė oro masė, kuri nusako saulės spindulių kritimą ir sugėrimą į žemės atmosferą tam tikru kampu, kuris matuojamas nuo jūros lygio. Oro masė m išreiškiama šia lygtimi:

$$m = 1/\sin\beta \quad (3.2.1)$$

Čia: β – aukščio kampas, kuris priklauso nuo matuojamos vietos, metų laiko ir dienos. Todėl tuo mažesnis saulės aukščio kampas, tuo mažiau išnaudojamas saulės energija.

2. Saulės apšvietimo skaičiavimas $I_{i\theta}$

Saulės spinduliuotė žemės paviršiuje yra nevienoda. Pagrindinė saulės energijos dalis pasiekia žemę kaip tiesioginę spinduliuotę esant giedrai dienai, kai atmosferos drėgmė ir ozono sluoksnis nėra labai aktyvus. Kita dalis saulės spinduliuotės paveikia žemę, difuzinėje formoje, ir sklinda ji nuo dangaus skliauto, kaip išsklaidytoji šviesa. Sąnaudos, kurias saulės spinduliuotė skleidžia paviršiaus plotui, vadinamas bendras saulės apšvietimas $I_{i\theta}$ paviršiuje. Bendras saulės apšvietimas išreiškiamas šia lygtimi:

$$I_{i\theta} = I_{DN}\cos\theta + I_{d\theta} + I_{r\theta} \quad (3.2.2)$$

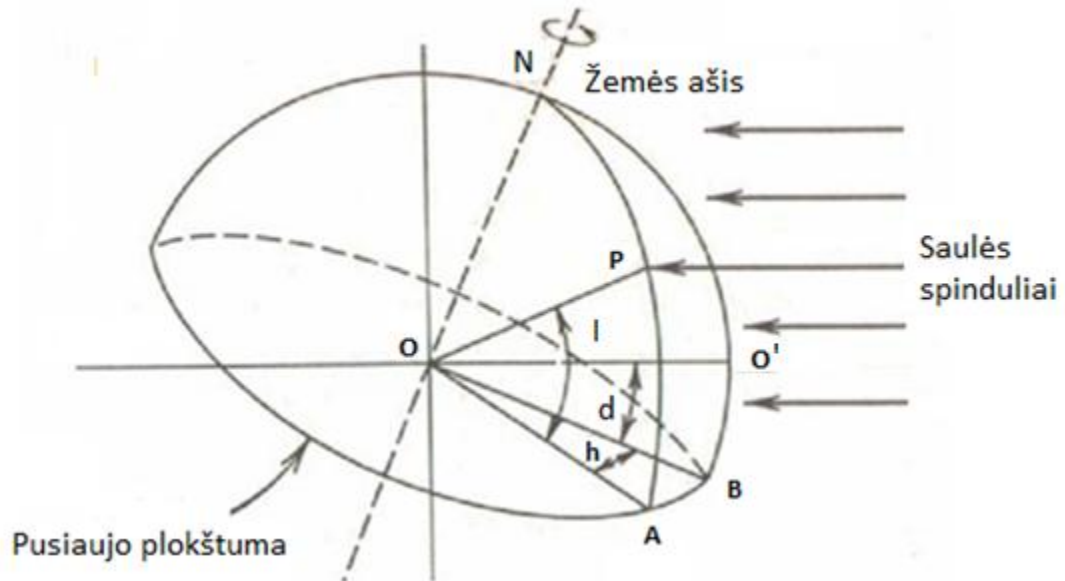
Čia: $I_{i\theta}$ – Bendras saulės spinduliavimas paviršiuje W/m^2 ;

I_{DN} – Tiesioginis saulės spinduliavimas W/m^2 ;

$I_{d\theta}$ – Saulės spinduliavimas horizontaliame ar vertikaliame paviršiuje W/m^2 nuo dangaus skliauto;

$I_{r\theta}$ – Atsispindėjusi saulės spinduliuotė nuo kitų paviršių W/m^2 ;

θ – Kritimo kampas, laipsniais (nuo saulės, dangaus skliauto ir debesų).



3.2 pav. P taško koordinatės ir į ją krintanti apšvieta

Čia: I – lygiagretės platumas;
d – pasvirimo kampas;
h – valandos kampas.

Valandos kampas h

Tai kampas tarp žemės centrinio taško O ir linijos OA ir OB, tai $h = \angle AOB$. 3.2 pav.

Valandos kampas parodo dienos laiko dalį, kai žemė apsisuka $1/24$ savo ašį. Saulės vidurdienis įvyksta, kai saulė atsiranda aukščiausiam dangaus taške, ir valandos kampas tampa simetriškas saulės vidurdieniui. Tai reiškia, kad saulėtekio ir saulėlydžio valandos kampas bet kurią dieną yra vienodas. Nuo to 24 valandų laikotarpis atitinka vienam žemės apsisukimui apie savo ašį. Kiekvienas laikrodžio valandos kampas yra lygus 15° valandos kampui.

Saulės laikas

Saulės spinduliavimo skaičiavimas, tolygus valandos kampo skaičiavimui, ir yra pagrįstas vietiniu saulės laiku (LST), todėl žemės orbitos greitis svyruoja per metus. Vietos saulės laiko matavimas šiek tiek skiriasi nuo vidutinio laiko, įprastą dieną kur saulės laikas maždaug lygus 24 h.

Vadinamas laiko išlyginimas (EOT) ir gaunamas skirtingų mėnesių vidutine verte. Laiko išlyginimas apskaičiuojamas:

$$EOT=0,2292(0,075+1,868\cos N-32,077\sin N-4,615\cos 2N-40,89\sin 2N) \quad (3.2.3)$$

$$N = (n-1)\left(\frac{360}{365}\right) \quad (3.2.3)$$

Čia: n – metų diena (skaičiuojant nuo sausio 1 dienos)

Iš bet kurios pasirinktos vietos saulės laikas nustatomas:

$$LST=LStT+EOT+4(LON-LSM) \quad (3.2.4)$$

Čia: $LStT$ – vietinis standartinis saulės laikas;

EOT – laiko išlyginimas;

LON – vietos ilguma;

LSM – vietinis standartinis laikas.

Pasvirimo kampas d

Pasvirimo kampas tai kampas tarp linijos jungiančio žemės centrą O ir projekcija pusiaujo plokštumoje O' , su tiese OB $d=\angle O'OB$.

Šiaurės pusrutulyje pasvirimo kampas kinta nuo $+23,5^\circ$ liepos 21 dieną (vasaros laikas) iki $-23,5^\circ$ gruodžio 21 dieną (žiemos laikas). Norint apskaičiuoti pasvirimo kampą tam tikru metu naudojama ši formulė:

$$d = 23,45 \sin\left(\frac{360(284 + N)}{365}\right) \quad (3.2.5)$$

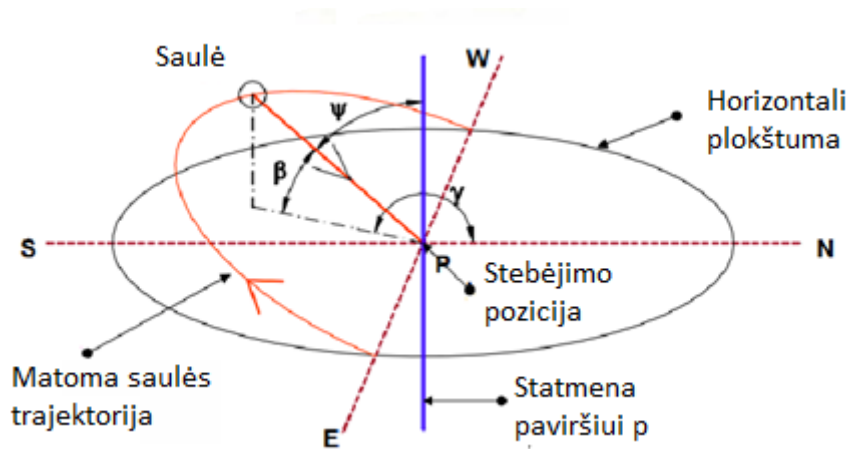
čia: N – dienos skaičius metuose, kuris skaičiuojant nuo sausio 1 dienos.

Pvz: Tarkime kovo 6 dieną sudaro 65 diena metuose. Pagal pateiktą formulę pasvirimo kampas $d = -6,4^\circ$. Mes aptarėme žemės pasvirusio taško P koordinatas ir sujungiame ją su saulės laiku per rodiklį h ir d.

3.3 Saulės padėties įvertinimo rodikliai.

Saulės padėties kampai horizontaliame paviršiuje P taško atžvilgiu

3.3 pav. pateikta horizontalaus paviršiaus projekcija, kurios centrą sudaro P taškas. Esančioje plokštumoje nurodoma saulės judėjimo trajektorija dangaus skliautu ir pateikiame pagrindinius kampus, nusakančius saulės padėtį.



3.3 pav. Horizontalaus paviršiaus saulės šviesos kritimo kampai

Aukščio kampas β

Aukščio kampas, β – kampas, kuris parodo saulės judėjimo trajektoriją skirtingu laiku į projekcijos horizontalų paviršių 3.3 pav. Kampas β apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\beta = \arcsin(\cos I * \cosh * \cos d + \sin I + \sin d) \quad (3.2.6)$$

Čia: I – lygiagretės platumas;

h- valandos kampas;
d- pasvirimo kampas.

Maksimalus aukščio kampas, β_{max} tam tikrą valandą, apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\beta_{max} = \frac{\pi}{2} - (I - d) \quad (3.2.7)$$

Čia: I – lygiagretės platumas;
d- pasvirimo kampas.

Zenito kampas ψ

Zenito kampas, ψ - parodo kampą tarp saulės padėties skirtingu laiku, bei P taško statmens paviršiui. Zenito kampas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \beta \quad (3.2.8)$$

Saulės azimuto kampas γ

Saulės azimuto kampas γ – kampas, kuris parodo dydį tarp šiaurės ir saulės padėties esant horizontaliame paviršiuje. Azimuto kampas γ apskaičiuojamas pagal šią formulę:

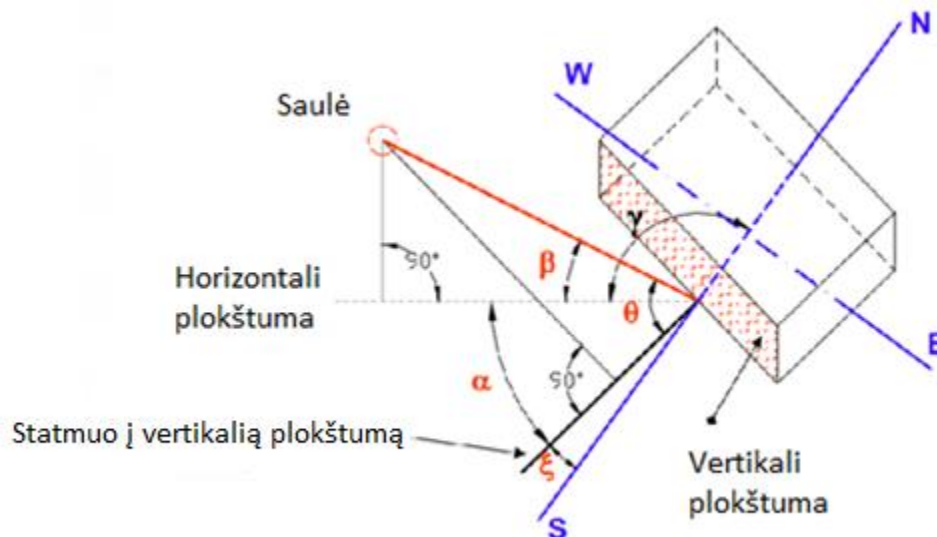
$$\gamma = \arcsin\left(\frac{\cos d * \sin h}{\cos \beta}\right) \quad (3.2.9)$$

Čia: d – saulės pasvirimo kampas;
h – valandos kampas;
 β – aukščio kampas.

Esant vidurdieniui, kai valandos kampas h pasiekia 0° , saulės azimuto kampas tolygus 180° . Jei platumos kampas l didesnis negu pasvirimo kampas d ir tolygus $0^\circ < l < d$, tai saulės azimuto kampas vidurdieniui neapibrėžtas ir $l=d$.

Saulės padėties kampai Vertikaliame paviršiuje

3.3 pav. aptarta, kaip kinta saulės judėjimo trajektorija, esant skirtingiems kampams horizontaliame paviršiuje. Šioje dalyje aptariama, kaip kinta saulės kampai vertikaliame paviršiuje, taip įtakodami jutiklių esančių vertikaloje padėtyje, įtampos signalų registravimus. 3.4 pav. esantys kai kurie kampai skaičiuojami kaip horizontaliame paviršiuje, o likusieji kampai vertikaliame paviršiuje.



3.4 pav. Horizontalaus ir vertikalaus paviršiaus saulės šviesos kritimo kampai

- Čia:
- β - aukščio kampas;
 - γ - saulės azimuto kampas;
 - θ - saulės spindulių krintantis kampas;
 - α - kampas tarp normalės į vertikalų plokštumą ir horizontalios plokštumos;
 - ζ - kampas tarp normalės į vertikalų plokštumą ir pietų krypties.

Saulės spindulių kritimo į horizontalų paviršių θ_{hor}

Žinant horizontalaus paviršiaus kampų reikšmes galima apskaičiuoti saulės spindulio krintantį kampą θ . Tai kampas tarp saulės judėjimo trajektorijos ir horizontalaus paviršiaus. Saulės spindulio krintantis kampas θ priklauso nuo laiko zonos, saulės judėjimo padėties. Horizontalaus paviršiaus kritimo kampas θ_{hor} tolygus zenito kampui ψ . Horizontalaus paviršiaus kampas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\theta_{hor} = \psi = \frac{\pi}{2} - \beta \quad (3.2.10)$$

Čia: β – aukščio kampas.

ψ . – zenito kampas

Vertikalaus paviršiaus kampas θ_{ver} apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\theta_{ver} = \arccos(\cos\beta * \cos\alpha) \quad (3.2.11)$$

Išsisklidžiusi saulės spindulių $I_{d\theta}$:

Išsisklidžiusi saulės spindulių parodo kokia apšvietos dalis krinta į horizontalų ar vertikalų paviršių, skirtingu laiku, kuris apskaičiuojamas:

$$I_{d\theta} = c * I_{DN} * F_S \quad (3.2.12)$$

Čia: c – optinis atmosferos slopinimo koeficientas, kuris lygus 0,25;

I_{DN} – tiesioginis saulės spinduliavimas W/m^2 ,

F_S – horizontalaus ar vertikalaus paviršiaus padėties koeficientas.

Horizontalaus ar vertikalaus paviršiaus padėties koeficientas nustatomas pagal šią priklausomybę:

$$F_S = \frac{(1 + \cos\Sigma)}{2} \quad (3.2.13)$$

Čia: Σ – jutiklio pasvirimo kampas.

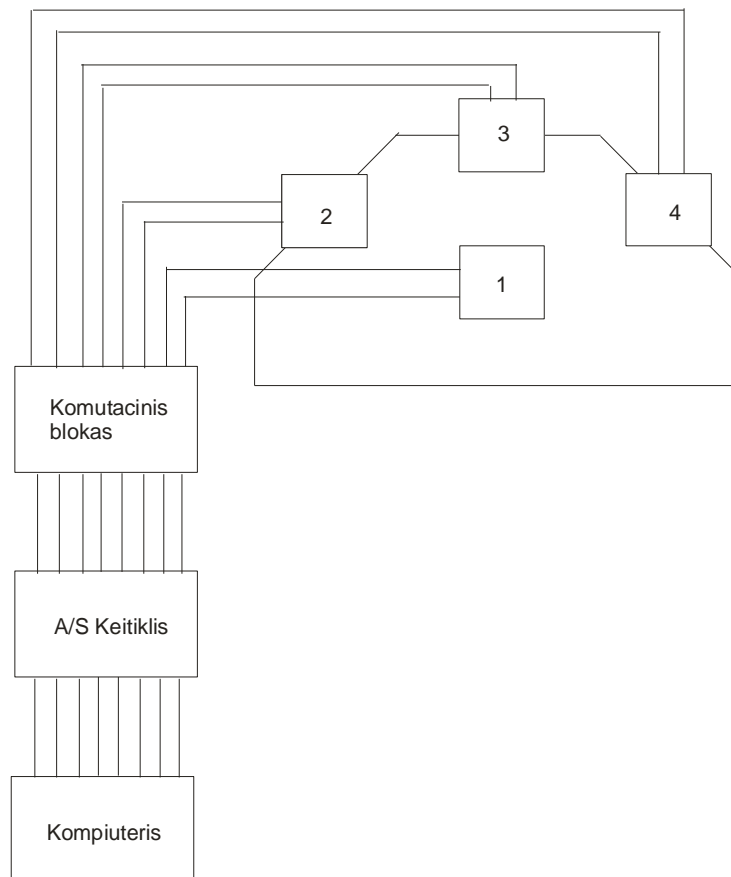
Esant horizontaliam pavišiui, pasvirimo kampas $\Sigma = 0^\circ$, o koeficientas $F_S = 0,5$. Šis koeficientas bus įvertinamas, kai tiriamajame darbe naudojamas jutiklis yra išsidėstęs horizontaliajame paviršiuje. Kai jutiklis vertikalioje padėtyje pasvirimo kampas $\Sigma = 90^\circ$ o koeficientas $F_S = 1$. Šią koeficiento reikšmę taikysime tiriamajame darbe esančioms jutikliams, sumontuotiems vertikalioje padėtyje. Vertikalia ašimi sumontuoti jutikliai, yra išsidėstę trijose padėtyse ir pagal saulės judėjimo trajektoriją, įtampos signalus registruos trimis skirtingais dydžiais vienu metu.

Turėdami kiekvieno jutiklio įtampos signalo dyžius pagal saulės judėjimo trajektoriją, apskaičiuosime bendrą krintančią apšvietą dienos metu. Be to nustatysime jutiklių apšvietos nuokrypį su Šiaulių miesto meteorologijos stoties, dienos krintančia apšvieta. Plačiau apie tai pateiksime sekančiame skyriuje.

4. SAULĖS ŠVIESOS REGISTRAVIMO EKSPERIMENTAS

Technologijos fakultete sumontuoti keturi (piranometro) jutikliai, kurie yra išsidėstę keliose padėtyse. 1 numeriu pažymėtas jutiklis sumontuotas horizontalioje padėtyje šiaurės pietų kryptimi, o 2-4 sumontuoti jutikliai vertikalioje padėtyje, kurie pasukti 45° kampu atitinkamai į rytus ir vakarus, o 3 numeriu pažymėtas jutiklis sumontuotas statmenai, orientuotas į pietus 4.1 pav. Kiekvieno jutiklio signalus galima išmatuoti nuo 0 iki 500 mV nuolatinės įtampos.

Sujungti jutiklio signalai paduodami į komutacinį bloką. Jutiklio signalo įtampa mažai skiriasi nuo triukšmo lygio, todėl signalas buvo stiprinamas ir po to paduodamas į A/S keitiklį, kuris sujungtas su kompiuteriu. Kompiuteryje naudojant „matlab“ programą, jutiklio analoginis signalas paverčiamas į skaitmeninį signalą, kuris saulei judant savo trajektorija, visų 4 jutiklių skirtingų signalų vertės vidurkinamas 3 minučių laikotarpiu ir išsaugomas kompiuterio atmintyje. 4.1 pav. pateikta jutiklių išsidėstymo sdtruktūrinė schema.



4.1 pav. Jutiklių sujungimo struktūrinė schema

- Čia: 1- horizontalioje padėtyje sumontuotas jutiklis;
 2 – vertikalioje padėtyje sumontuotas ir 45° į rytus pasuktas jutiklis;
 3 – vertikalioje padėtyje sumontuotas ir į pietus pasuktas jutiklis;
 4 - vertikalioje padėtyje sumontuotas ir 45° į vakarus pasuktas jutiklis;

Pagal 3 skyriaus aprašymą minėta, kad esant skirtingam saulės šviesos intensyvumui kiekvienas jutiklis registruoja skirtingo dydžio signalą. Išsiaiškinus jutiklių išsidėstymą, bei įtampos signalų registravimą nustatinėsime jutiklio koeficiento reikšmes, įvertinant saulės apšvietos aukščio kampą β .

Nustatome kiekvieno jutiklio (piranometro) koeficientą K_H, K_V, K_{VR}, K_{VV} įvertinant jutiklio įtampos signalo vertę ir Šiaulių miesto meteorologijos stoties apšvietą, 2011 metų rugpjūčio 15 dienos. Horizontalaus ir vertikalios jutiklio koeficiento reikšmės K_H ir K_V nustatomos prie 12 valandos ir 45° pasuktiems vertikaliesiems jutikliams, koeficientas K_{VR} ir K_{VV} nustatomas prie 9 ir 15 valandos:

$$K_H = K_V = \Sigma U/E = 0,491 mV / (\frac{W}{m^2}) \quad (4.1)$$

$$K_{VR} = K_{VV} = \Sigma U/E = 0,491 mV / (\frac{W}{m^2}) \quad (4.2)$$

Čia : U – įtampos jutiklių kritimas

E – Šiaulių meteorologinės stoties gauta apšvieta W/m^2 .

Kadangi piranometro įtampos signalą įtakoja saulės judėjimo trajektorija ir saulės apšvietos aukščio kampas β , tai horizontaliame paviršiuje krintanti apšvieta $E_{jutiklio \ hor}$ apskaičiuojama pagal šią išraišką:

$$E_{jutiklio \ hor} = (\frac{U}{K_H}) / \cos\beta \quad (4.3)$$

Čia: U – Jutiklio horizontalioje padėtyje, įtampos signalo vertė;

β – saulės apšvietos aukščio kampas

Vertikaliam paviršiuje krintanti apšvieta $E_{jutiklio \ ver}$ apskaičiuojama pagal šią išraišką

$$E_{jutiklio\ ver} = \left(\frac{U}{K_V}\right) / \cos(90 - \beta) \quad (4.4)$$

Čia: U – Jutiklo vertikalioje padėtyje, įtampos signalo vertė;
 β – saulės apšvietos aukščio kampas

2 lentelė pateikiama 2011 m. rugpjūčio 15 dienos kiekvieno jutiklio atskirai bei bendra krintanti apšvieta.

2 lentelė

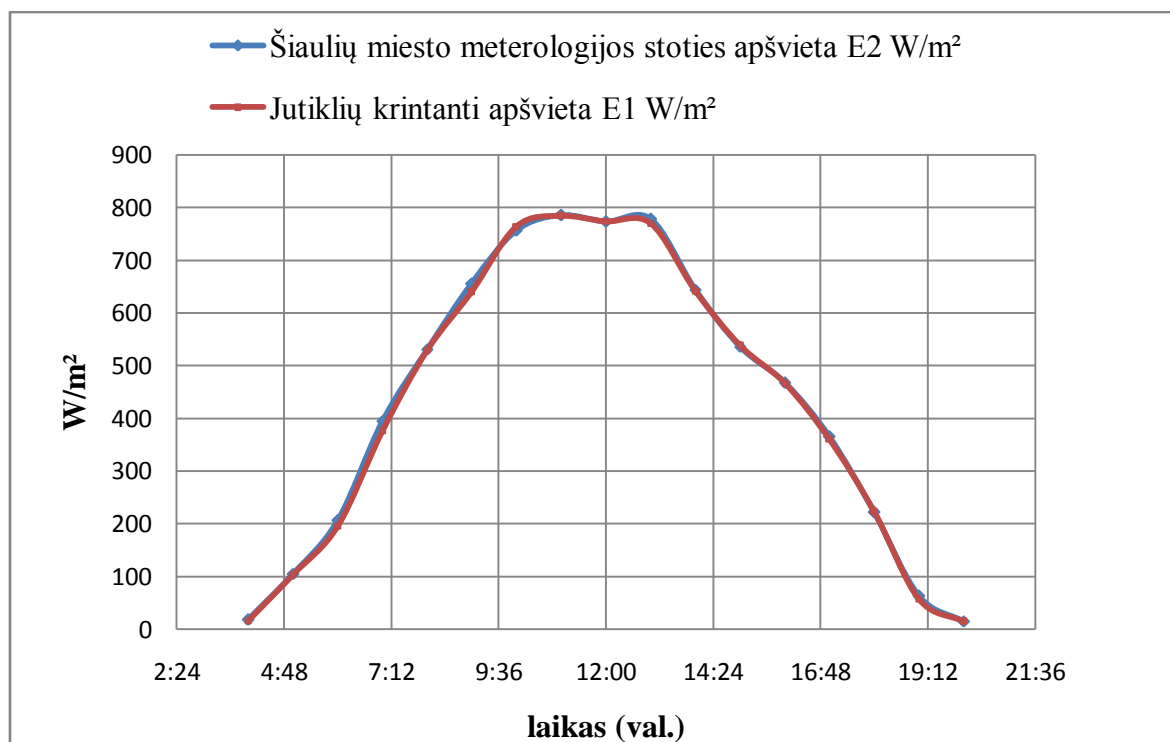
Saulės šviesos kampo įtaka piranometro signalams, bei krintanti apšvieta

Valanda	Aukščio kampas	Vertikalus jutiklis rytų kryptis	Vertikalus jutiklis pietų kryptis	Vertikalus jutiklis vakarų kryptis	Horizontalus jutiklis	Jutlių krintanti apšvieta	Šiaulių miesto meteorologinė apšvieta
	β	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	E_1 W/m ²	E_2 W/m ²
4	-9.05°	10,18	4,07	0	2,04	16,3	18
5	3.45°	71,28	12,22	0	20,37	103,9	105
6	16.46°	124,24	20,37	10,18	40,73	195,5	206
7	29.81°	164,93	50,92	30,55	152,75	376,8	395
8	43.37°	240,33	101,83	40,73	152,75	529,5	531
9	57.08°	264,77	203,67	50,92	244,4	639,5	656
10	70.84°	264,23	203,25	50,81	233,74	763,7	756
11	84.41°	213,85	224,03	81,47	264,77	784,1	785
12	81.06°	148,68	224,03	116,09	285,13	773,9	773
13	67.35°	101,83	203,67	187,37	276,99	769,9	778
14	53.59°	61,10	152,75	203,67	224,03	641,5	644
15	39.91°	32,59	75,36	215,89	213,85	537,7	536
16	26.39°	48,88	40,73	183,3	193,48	466,4	467
17	13.1°	36,66	36,66	175,15	112,02	360,5	365
18	0.19°	16,29	20,37	87,58	99,80	224	222
19	-12.16°	8,15	10,18	28,51	10,18	57	63
20	-23.61°	0	4,07	8,15	2,04	14,3	15
Σ		1775,97 Wh/m ²	1549,89 Wh/m ²	1460,28 Wh/ m ²	2468,43 Wh/ m ²	7254,58 Wh/ m ²	7315 Wh/ m ² parą

Žinodami jutiklių koeficiento reikšmes ir apskaičiavus bendrą krintančią apšvietą. Apskaičiuojama 2011 metų rugpjūčio 15 dienos apšvietos nukrypimą N , nuo piranometro bendros gautos apšvietos E_1 bei Šiaulių miesto meteorologijos stoties apšvietos E_2 pagal šią išraišką:

$$N = \frac{E_2 - E_1}{E_2} * 100\% \quad (4.5)$$

Įsistačius į duotą formulę, nuokrypis 2011 rugpjūčio 15 dienos sudarė 3,55 %. 4.2 pav. pateikiami tos dienos apšveitos vertės grafiškai.



4.2 pav. Šiaulių miesto meteorologijos stoties krintanti apšvieta palyginimas su jutiklių krintančia apšvieta 2011 metų rugpjūčio 15 dienos.

Pagal lentelės ir diagramos duomenis, Technologijos fakultete, beveik visomis valandomis jutiklių bendra krintanti apšvieta E_1 mažesnė negu Šiaulių miesto meteorologijos stoties krintanti apšvieta

E_2 . Norėdami nustatyti apytikslų jutiklių apšvietos vidutinį nuokrypį VN, atsitiktinai parenkamos kelių mėnesių dienos ir pagal 4.4 formulę apskaičiuojamas tos dienos nuokrypmas. Skaičiavimui atsitiktinai pasirinkau kito mėnesio šešias dienas pagal šią išraišką:

$$VN = \frac{\Sigma(E_2 * N)}{\Sigma E_2} \quad (4.6)$$

Skaičiavimo rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė

Piranometro apšvietos dienos nuokrypis

Mėnuo ir diena	Šiaulių miesto meteorologijos stoties dienos metu krintanti apšvieta E_2 W/m ²	Nukrypmas (N)	Vidutinis nuokrypis (VN)
Rugpjūčio 15 d.	7315	0,8%	1,99%
Liepos 18 d.	6497	2,44%	
Gegužės 19 d.	4248	1,88%	
Lapkričio 9 d.	1566	3,42%	
Rugpjūčio 14 d.	2592	2,27%	
Rugsėjo 25 d.	2227	4,82%	
Birželio 29 d.	3871	0,9%	

Išvados:

Pagal gautus skaičiavimus didžiausią įtaką saulės apšvietai turi horizontalioje padėtyje esantis jutiklis. Dienos metu bendra krintanti apšvieta sudarė 2468,43 Wh/m². Vertikalioje padėtyje esantis jutiklis, kuris buvo pasuktas 45° į rytus, sudarė didžiausią dienos apšvietą 1775,97 Wh/ m²

Horizontalioje ir vertikalioje padėtyje esantys jutikliai, išdėstyti šiaurės ir pietų kryptimi pagal skaičiavimus gautas koeficientas $K_H = K_V = 0,491$, o jutiklai pasukti 45° koeficientas $K_{VR} = K_{VV} = 0,491$. Didžiausią apšvietos nuokrypį tarp Technologijos fakulteto ir Šiaulių miesto meteorologijos stoties sudarė 3,42 % lapkričio 9 dieną. O bendras vidutinis nuokrypis sudaro 1,99%.

5. FOTOELEKTRINĖS PARAMENTRAI BEI JŲ TYRIMAS

5.1 Fotodiodo savybės ir jo efektyvumas

Saulės šviesos veikiamas fotoelektrinės modulis ir jame esantys fotodiodai šviesą verčia į nuolatinės srovės elektros energiją, kurios galia gali būti išreikšta per srovę ir įtampą. Šis reiškinys dar kitaip vadinamas fotovoltiniu reiškiniu. Prijungus prie fotovoltinio elemento apkrovą, grandinėje teka elektros srovė.

5.1 paveiksle pateikta, fotodiodo voltamperinė charakteristika, kai diodas yra apšviestas (dešinė grafiko pusė). Jeigu įvertinti fotodiodo paviršiaus atspindimą šviesą jo generuojama elektros srovę (I_D) galima išreikšti:

$$I_D = I_o \{ \exp(qU/nkT) - 1 \} \quad (5.1.1)$$

Čia: I_o - soties srovė;

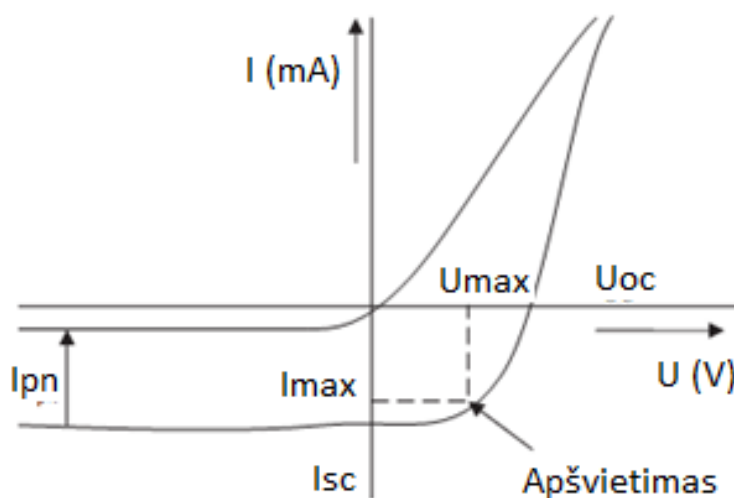
q – elektrono krūvis;

U – įtampa;

n – diodo faktorius, apibūdinantis nukrypimą nuo idealios diodo charakteristikos ;

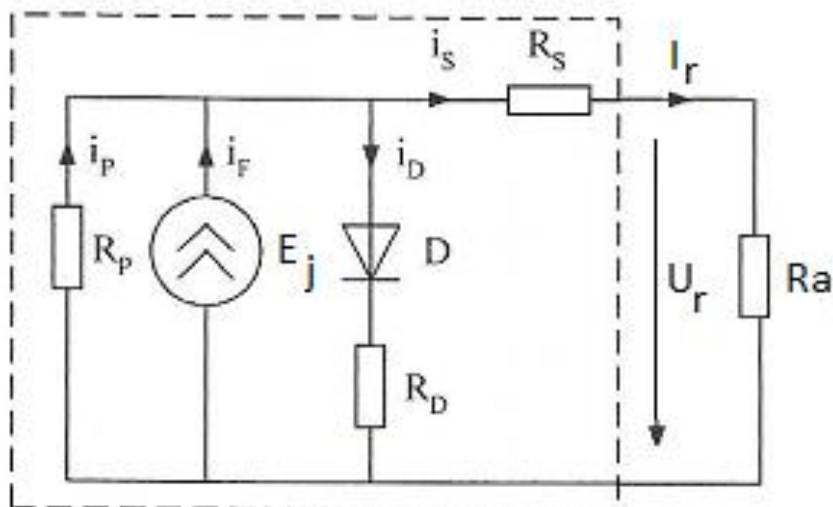
k – Bolcmano konstanta;

T – absoliutinė temperatūra.



5.1 pav. Fotodiodo voltamperinė charakteristika

5.2 pav. pavaizduota fotoelektrinio modulio atstojamoji schema, kurioje nurodyta vidaus varža R_s , kuri lemia fotoelektrinio modulio darbo efektyvumą, kai jis tiekia elektros energiją į išorinę grandinę, t.y. apkraunama varža R_a . Jeigu šios varžos suvienodinamos, turime suderintą grandinės darbo režimą, kurio metu iš fotoelektrinio modulio gauname didžiausią galią.



5.2 pav. Fotoelektrinio modulio atstojamoji schema.

- Čia: R_p – silicio paviršiaus medžiagos nehomogeniškumą ir fotoelektrinio elemento kraštų efekto įtaką įvertinanti varža;
 R_D - diodo grandinės atstojamoji schema;
 R_s – fotoelektrinio modulio vidinė varža.

5.2. Fotoelektrinio modulio tyrimas

Tyrimo tikslas buvo nustatyti fotomodulio voltamperinės charakteristikos esant skirtingam šviesos intensyvumui. Tyrimo metu buvo naudojama dirbtinis halogeninis 500 W šviestuvas. Šviesos intensyvumas buvo reguliuojamas kiekvieno modulio atstumu nuo šviesos šaltinio (1,87m. ir 2,02m.). Fotomodulio apkrovai buvo naudojamas reostatas, kurio varža buvo derinama nuo 0 iki 600.Ω

Apkrovos varžos reguliavimo parametrai prie skirtingo šviesos šaltinio pateikti 5 lentelėje.

Tyrimo objekte parinktas fotoelektrinis modulis SM-10-16/12, kurio parametrai norodyti 4 lentelėje.[Šiaulių Universitetas – Fotoelektros modulių savybių ir charakteristikų tyrimas]

4 lentelė

Tiriamąo fotoelektrinio modelio parametrai

FEM tipas	U_{0C}	U_N	I_N	P_N	P_K	E_{AS}	η_N	S_{FEM}
-	V	V	A	W	A	W/m ²	-	m ²
SM-10-16/12	19,5	14,6	0,69-1,1	10÷16	0,8÷1,28	1000	0,14	0,14

Čia: U_{0C} – tuščios veikos įtampa;

U_N – vardinė įtampa veikiant FEM suderintuoju režimu;

I_N – vardinė srovė;

P_N – maksimalioji galia;

E_{AS} – standartinė apšvieta;

η_N – naudingumo veikimo koeficiento vardinė vertė;

S_{FEM} – fotoelektrinio modulio aktyvusis plotas.

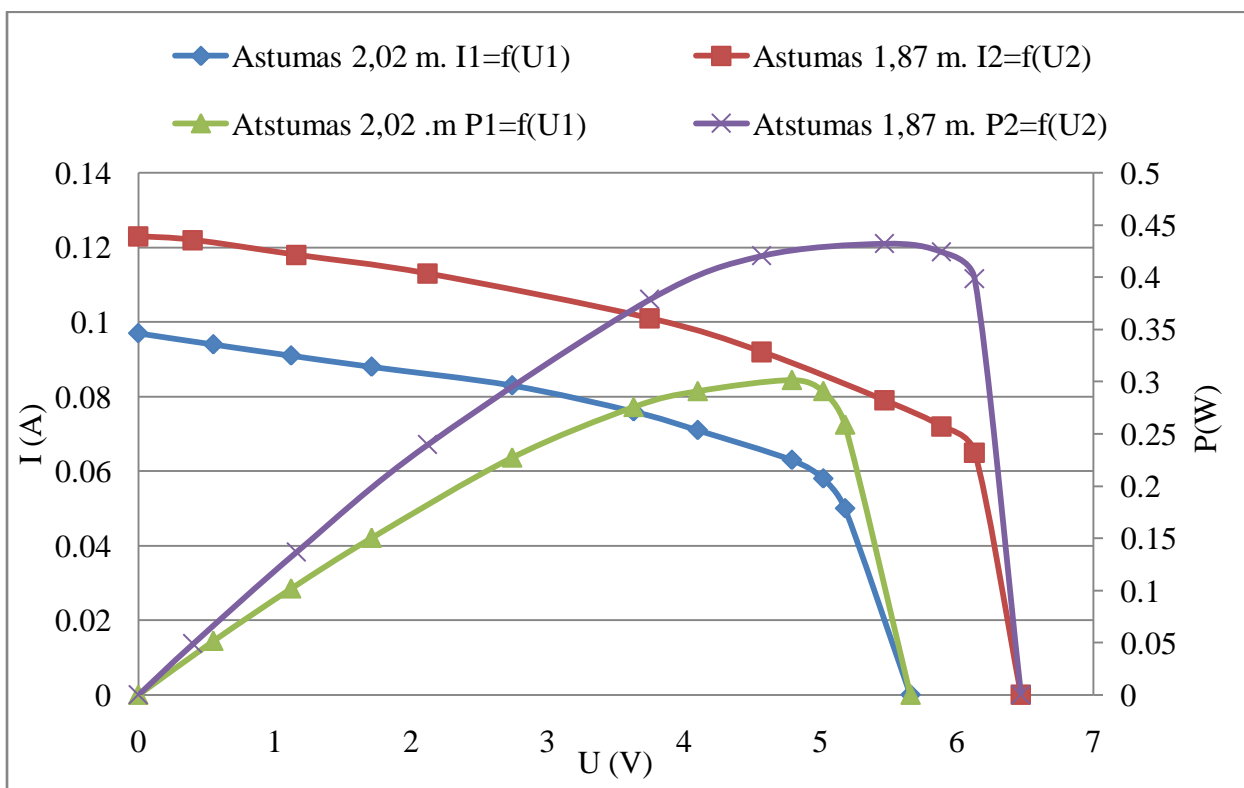
P_K – pikinė galia;

5 lentelė

Fotoelektrinio modulio apkrovos varžos reguliavimas prie skirtingo šviesos šaltinio

Atstumas 2,02 m.					Atstumas 1,87 m.				
U (V)	I (A)	P (W)	Ra Ω	Rs Ω	U (V)	I (A)	P (W)	Ra Ω	Rs Ω
0	0,097	0	0	58.35	0	0,123	0	0	52,6
0.55	0,094	0,052	5,85	54.36	0,4	0,122	0,049	3,279	49,75
1.12	0,091	0,101	12,3	49.89	1,16	0,118	0,137	9,831	45
1.71	0,088	0,150	19,43	44.87	2,12	0,113	0,239	18,76	38,49
2.74	0,083	0,227	24,01	35.18	3,75	0,101	0,379	37,13	26,93
3.63	0,076	0,276	47,76	26.71	4,57	0,092	0,420	49,67	20,65
4.1	0,071	0,291	57,75	21.97	5,47	0,079	0,43	69,24	12,66
4.79	0,063	0,302	76,03	13.81	5,89	0,072	0,424	81,8	8,05
5.02	0,058	0,291	86,55	11.03	6,13	0,065	0,398	94,31	5,23
5.66	0	0	0	0	6,47	0	0	0	0

Gavus fotoelektrinio modulio apkrovos varžas prie skirtingo šviesos šaltinio 5.3 pav. pateikiama voltamperinė ir galios charakteristikos kreivės prie skirtingo šviesos šaltinio.



5.3 pav. Voltamperinė ir galios charakteristikos kreivės prie skirtingo šviesos šaltinio

Fotoelektrinės efektyvumas η_{EC} priklauso nuo maksimalios galios P_{max} , kuris nustatomas suderinto režimo metu dydžio įvertinant didžiausią gaunamą šviesos energiją sulyginant su fotoelektrinės dydžiu. Fotoelektrinės efektyvumą galime apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$\eta_{EC} = \frac{P_{max}}{E * A_c} \quad (5.1.2)$$

Čia: E – apšvieta W/m^2 ;

A_c - Modulio plotas;

P_{max} – maksimali galia suderinto režimo metu.

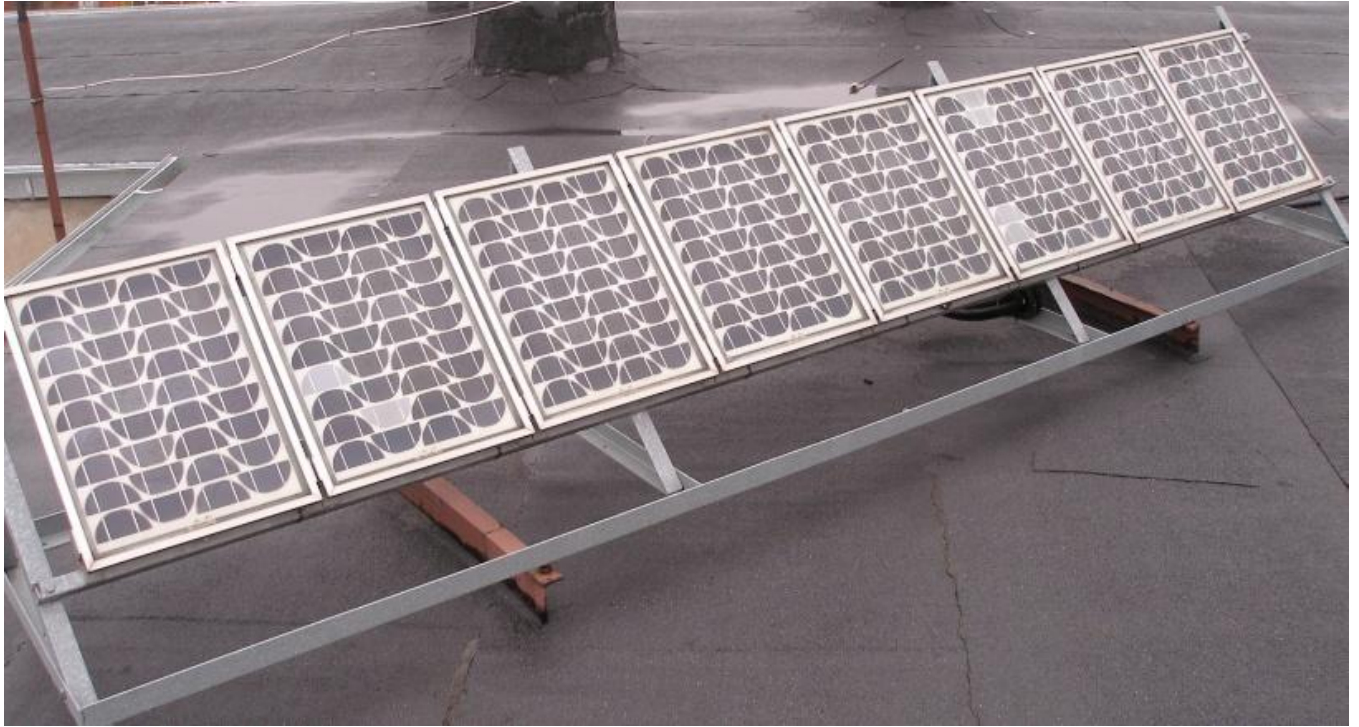
Kai atstumas tarp šviesos šaltinio ir fotoelektrinio modulio sudaro 1,87 m. fotoelektrinės efektyvumas η_{EC} 4,65% . Kai atstumas 2,02 m. fotoelektrinės efektyvumas η_{EC} 3,2%

Išvada:

1. Kai apkrovos varža $R_A = 0$, fotoelementas veikia trumpojo jungimo režimu. Trumpojo jungimo metu srovė pasiekė maksimalią vertę, o įtampa 0 V.
2. Fotoelektrinio modulio apkrovos bandymo metu keičiame apkrovos varžą R_A nuo 0 iki 600 Ω tuo metu fiksuojame įtampos ir srovės dydžius, Didinant apkrovos varžą R_A , didėja įtampa U ir fotoelementas veikia srovės šaltinio režimu iki tol, kol apkrovos galia pasiekia didžiausią vertę. Šiame taške apkrovos varža R_A yra lygi fotoelemento vidaus varžai R_s . Norint, kad modulis elektros apkrovai atiduotų maksimalią galią esant kiekvienai apšvietos vertei reikia nuolat reguliuoti jo apkrovos varžą taip, kad ji visais atvejais būtų lygi FEM vidaus varžai, kuri kinta priklausomai nuo šviesos stiprio. Šią funkciją automatiškai gali atlikti galios maksimizatoriai.
3. Kai apkrovos varžą $R_A = \infty$, apkrovos srovė $I_A = 0$. Šiuo atveju turime FEM tuščiosios veikos režimą, kai generuojama didžiausia įtampa U_{oc} bandymo metu. FEM vidinė varža kinta priklausomai nuo apšvietos E .
4. Tyrimo metu buvo naudojama halogeninis šviesos šaltinis, kurio stipris buvo žymimas mažesnę už vardinę šviesos stiprį 1000 W/m²

5.3. Fotoelektrinės tyrimas

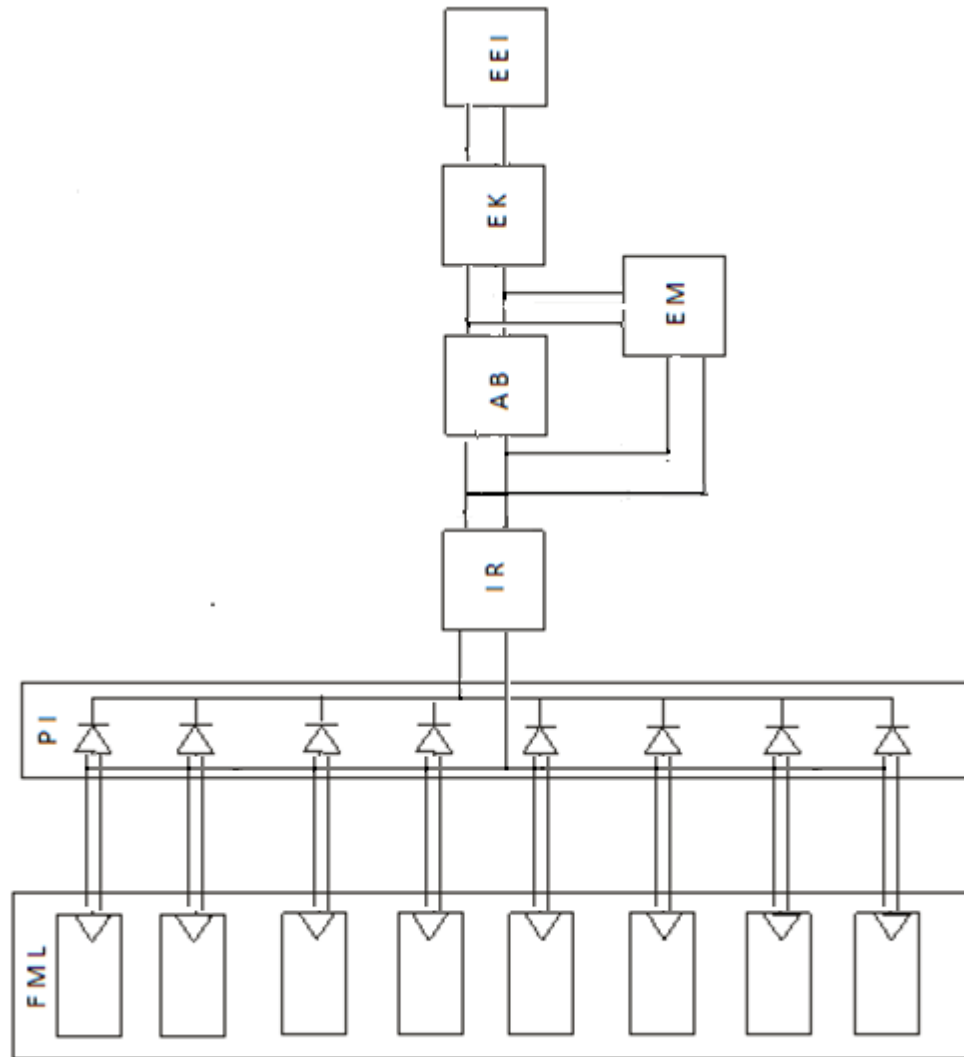
Šiaulių Univeriteto Technologijos fakultete sumontuoti aštuoni, lygiagrečiai sujungti, fotoelektrinių modulių elektrinė. Vieno modulio pikinė galia 18,75 W, o bendras fotoelekterinės galingumas 150W. 5.4 pav. pateikta fotoelektrinės pastatymas fakultete. Šis įrenginys orientuotas pietų kryptimi bei pakreiptas 45°



5.4 pav. 8 lygiagrečiai sujungti fotoelektriniai moduliai.

Fotoelektrinės struktūrinė schema pateikta 5.5 pav. Kiekvienas modulis per skiriamuosius diodus sujungti su paskirstymo įrenginiu PI. Visų modulių generuojama galia nukeliauja į įkrovos reguliatorių.

Įkrovos reguliatorius suderina fotoelektrinės sunešamą elektros energijos įtampą su reikalingu akumuliatoriaus įkrovimu. Akumuliatoriui sukaupus fotoelektros generuojamą elektros energiją ir esant pakankamai įkrovai, akumuliatorių rankiniu būdu galima iškrauti naudojant energijos keitiklį. Tarp akumuliatoriaus baterijos ir įtampos keitiklio sumontuotas energijos matuoklis, kurio pagalba galime stebėti akumuliatoriaus įkrovimo ir iškrovimo įtampos ir srovės dydžius.



5.5 pav. Fotelektrinės struktūrinė schema.

Čia: FML – fotelektrinio modulio laukas;

PI – paskirstymo įrenginys;

IR – įkrovos reguliatorius;

AB – akumuliatoriaus baterija;

EK – energijos keitiklis;

EK – energijos keitiklis;m

EEI – elektros energijos imtuvas.

Žinant vieno fotoelektrinio modulio plotą, apskaičiuojame visos elektrinės plotą S_{elektr} :

$$S_{pl.} = \frac{\pi R^2}{2} = 0,00409m^2$$

$$S_{mod.} = 36 * 0,00409 = 0,14724m^2 \quad (5.2.1)$$

$$S_{elektr.} = 8 * 0,14724 = 1,1779m^2$$

Trumpai susipažinus su fotoelektrinės konstrukcija ir veikimu tiriamajame darbe naudojat Šiaulių miesto meteorologijos stoties apšvieta E_2 , tirta kokia įtampa ir srovė teka fotoelektrinės grandinėje laiko atžvilgiu.

Fotoelektrinės tyrimas atliktas žiemos metu (1 nr.) esant apsiniaukusiai dienai, kurio apšvieta $E_2=54,98W/m^2$, bei (2 nr.) esant vidutiniam debesuotumui, apšvieta $E_2=309,76W/m^2$. Prie elektrinės prijungus apkrovos varžą R_a ir ją reguliuojant stebėta kaip keisis įtampos ir srovės dydžiai. Taikant elektrotechnikos skaičiavimus, apskaičiuota elektrinės vidaus varža R_s prie kurios gaunamas didžiausias energijos kiekis tada, kai elektrinės vidaus varža $R_s=R_a$ atitinka apkrovos varžai. Fotoelektrinės matavimo ir skaičiavimo rezultatai pateikti 6 lentelėje.

Fotoelektrinės apkrovos varžos reguliavimas apsiniaukusią dieną bei esant vidutiniam debesuotumui

Nr.	Ue	$E_2 \text{ W/m}^2$	U (V)	I (A)	P (W)	Ra (Ω)	Rs (Ω)	Rp (Ω)
(1)	9,62	54,98	0	0,19	0	0	26,67	100
			4	0,16	0,64	31,87		
			5,5	0,13	0,74	27,69		
			7,3	0,10	0,73	18		
			7,9	0,07	0,59	17,14		
			8,3	0,05	0,41	16		
			8,8	0,02	0,22	15		
			9	0,01	0,11	10		
			9,1	0	0	0		
(2)	78	309,76	0	2,18	0	0	2,58	4,19
			2,2	2,16	4,75	7,4		
			5,3	2,10	11,13	6,14		
			8,21	2,03	16,67	4,92		
			12	1,9	22,80	3,26		
			13,65	1,76	24,02	2,58		
			14,8	1,6	23,68	2,12		
			16,5	1,25	20,62	1,36		
			16,9	1,15	19,43	1,13		
			17,5	0,9	15,75	0,78		
			17,82	0,65	11,58	0,58		
			18,2	0	0	0		

Ue – matuojama fotoelektrinės įtampa, kuri proporcinga apšvietai $E_2 \text{ W/m}^2$, bei apskaičiuojama pagal šią išraišką:

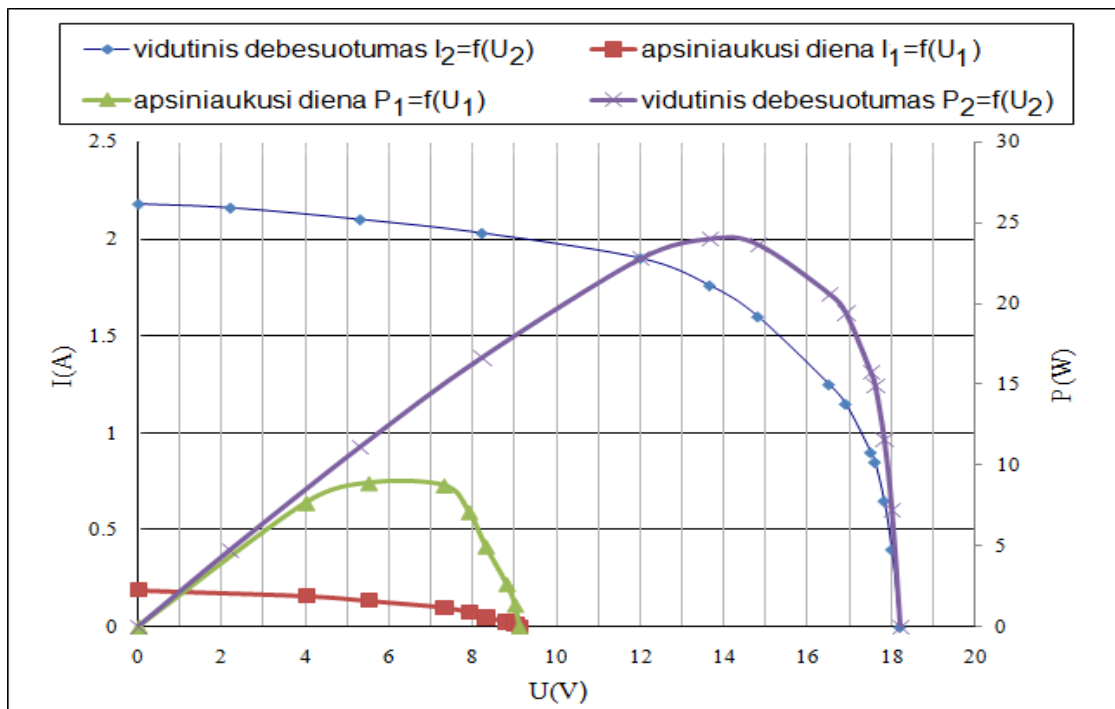
$$U_e = E_2 * K_E \quad (5.2.2.)$$

Čia: E_2 – Šiaulių miesto meteorologijos stoties apšvieta W/m^2

K_E – jutiklio, sumontuotame fotoelektriniame modulyje koeficientas, kuris nustatytas prie 1000 W/m^2 dirbtinės apšvietos. $K_E = 0,175$

Kai apšvieta $E_2=54,98\text{W/m}^2$ kreivės sudaro $P_1 = f(U_1)$ ir $I_1 = f(U_1)$ charakteristikos. Vidaus varžą $R_s = 26,67\Omega$ gauta esant apsiniaukusiai dienai. Kai apšvieta $E_2=309,76\text{W/m}^2$ tai atitinka $P_2 = f(U_2)$ bei $I_2 = f(U_2)$ charakteristikos kreives. Vidaus varžą $R_s = 2,58 \Omega$ gauta esant vidutiniam debesuotumui.

Naudodamiesi 4 lentelės gautais tyrimo rezultatais 5.6 pav. pateikiamos voltamperinė ir galios charakteristikos kreivės vienoje diagramoje prie skirtingos dienos apšvietos.



5.6 pav. Fotoelektrinės voltamperinės ir galios charakteristikos kreivė prie tiesioginės saulės apšvietos

Žinant fotoelektrinės gautas vertes prie skirtingos dienos apšvietos, galime apskaičiuoti fotoelektrinės efektyvumą η_{EC} pagal (5.1.2) punkte esančią formulę.

Apskaičiuojama fotoelektrinės efektyvumas apsiniaukusią dieną:

$$\eta_{EC} = \frac{P_{max}}{E * Ac} = \frac{0,74}{54,98 * 1,1779} * 100\% = 1,14\% \quad (5.2.3.)$$

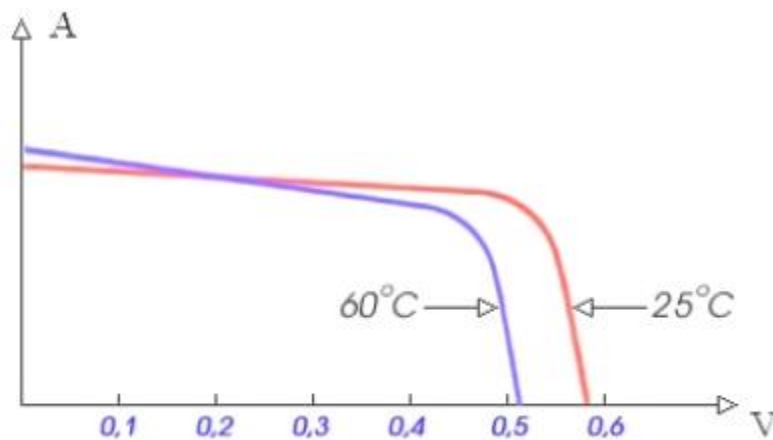
Toks pat skaičiavimas atliekamas vidutiniam debesuotumui.

$$\eta_{EC} = \frac{P_{max}}{E * A_c} = \frac{24,02}{309,76 * 1,1779} * 100\% = 6,804\% \quad (5.2.4.)$$

Maksimalios galios darbo taškas suderintojo režimo metu priklauso nuo fotoelektrinės vidaus varžos R_s . Kuo mažesnė vidaus varža R_s , tuo daugiau energijos galima sukaupti į akumuliatorių.

Dirbant su fotoelektrine būtina atkreipti dėmesį į temperatūros kitimus. Kai temperatūra padidėja 25°C prarandama 2mV įtampos, t.y. $0,4\% \text{ } 1^\circ$. 5.7 pav. pateikta 1 modulio sudaryto iš silicio medžiagos voltamperinė charakteristika prie 25°C ir 60°C .

Ryškią saulėtą dieną fotoelektrinės elementams sušilus iki $60\text{--}70^\circ\text{C}$, tuo metu netenkama $70\text{--}90\text{mV}$ įtampos. Tai yra pagrindinė priežastis, dėl kurios sumažėja fotoelektrinės efektyvumas.



5.7 pav. Temperatūros įtaka saulės modulio charakteristikai

Monokristalinio elemento įtampos pasiskirstymas 1° temperatūros pokyčiui savybės:

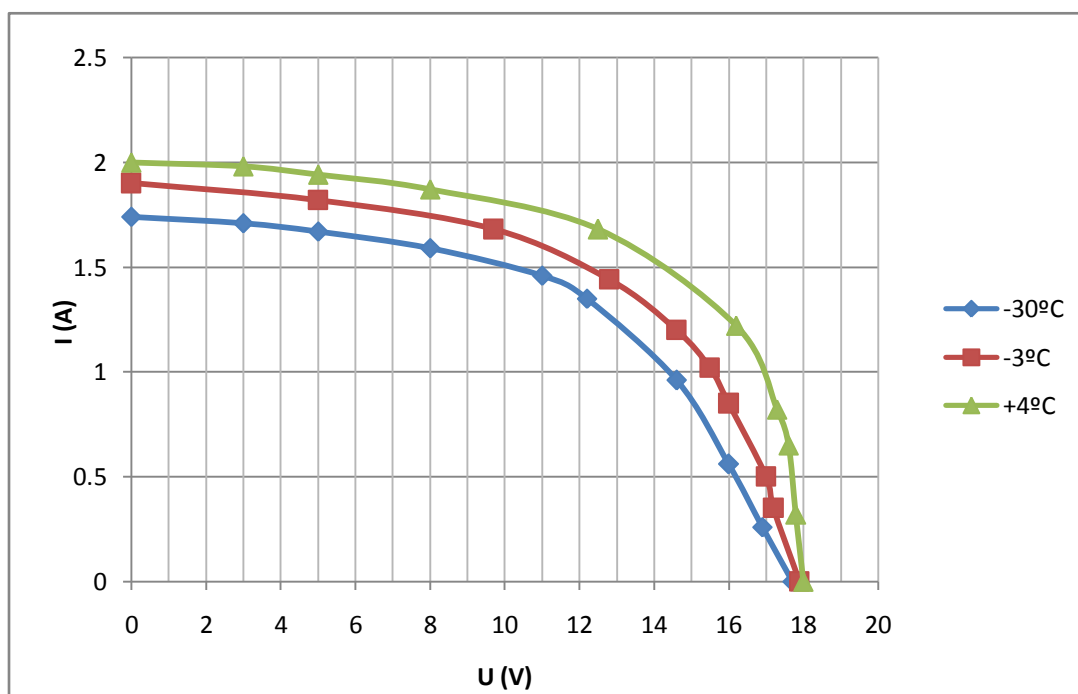
- atviros grandinės įtampa mažėja $> 2\text{mV} \setminus ^\circ\text{C}$;
- trumpo jungimo srovė mažėja $> 0.06\% \setminus ^\circ\text{C}$;
- galia mažėja $> 0.3\% \setminus ^\circ\text{C}$.

Esant skirtingai temperatūrai tyrinėta kaip skirsis fotoelektrinės išėjimo įtampos ir srovės dydžiai reguliuojant apkrovos varžą R_a . 7 lentelėje pateiktos voltamperinė charakteristika prie skirtingų temperatūrų -30°C , -3°C , $+4^\circ\text{C}$.

Įtampos ir srovės dydžiai prie skirtingų aplinkos temperatūrų

-30°C		-3°C		+4°C	
U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)
17.5	0	17.8	0	18	0
16.9	0.26	17.2	0.35	17.8	0.32
16	0.56	17	0.5	17.6	0.65
14.6	0.96	16	0.85	17.3	0.82
12.2	1.35	15.5	1.02	16.2	1.22
11	1.46	14.6	1.2	12.5	1.68
8	1.59	12.8	1.44	8	1.87
5	1.67	9.7	1.68	5	1.94
3	1.71	5	1.82	3	1.98
0	1.74	0	1.9	0	2

Pagal 5 lentelės duomenis, tuščiosios veikos metu įtampos vertė prie skirtingos temperatūros apytiksliai vienoda, ir tai sudaro apie 18V, tačiau srovė trumpojo jungimo metu, skiriasi. 5.8 pav. pateikta įtampos ir srovės dydžiai prie skirtingų temperatūrų.



5.8 pav. Voltamperinė charakteristika prie skirtingos aplinkos temperatūros dydžio

6. FOTOELEKTRINĖS ĮRANGA

6.1 Įkrovos reguliatoriaus įtaka fotoelektrinės energijos įkrovimui

Didelę įtaką fotoelektrinės energijos įkrovimui turi įkrovos reguliatorius. Tai modernus prietaisas, kuris gali kontroliuoti 12 ar 24 V įtampos įkrovimo tinklą, bei tuo pačiu reguliuoti srovės dydį. Šio prietaiso pagalba galima nustatyti didžiausią akumuliatoriaus įkrovimo efektyvumą. Įkrovos reguliatoriaus dėka prailginamas akumuliatoriaus tarnavimo laikas nuo 20% iki 100%.

Įkrovęs akumuliatorių įkrovos reguliatorius automatiškai nustoja krauti nuolatinę srovę ir ima jį krauti palaikančiuoju režimu. Akumuliatorius maitinamas elektroniškai valdomais srovės impulsais, palaikančiais akumuliatorių visiškai įkrovus. Pateikiamos įkrovos reguliatoriaus techninės charakteristikos:

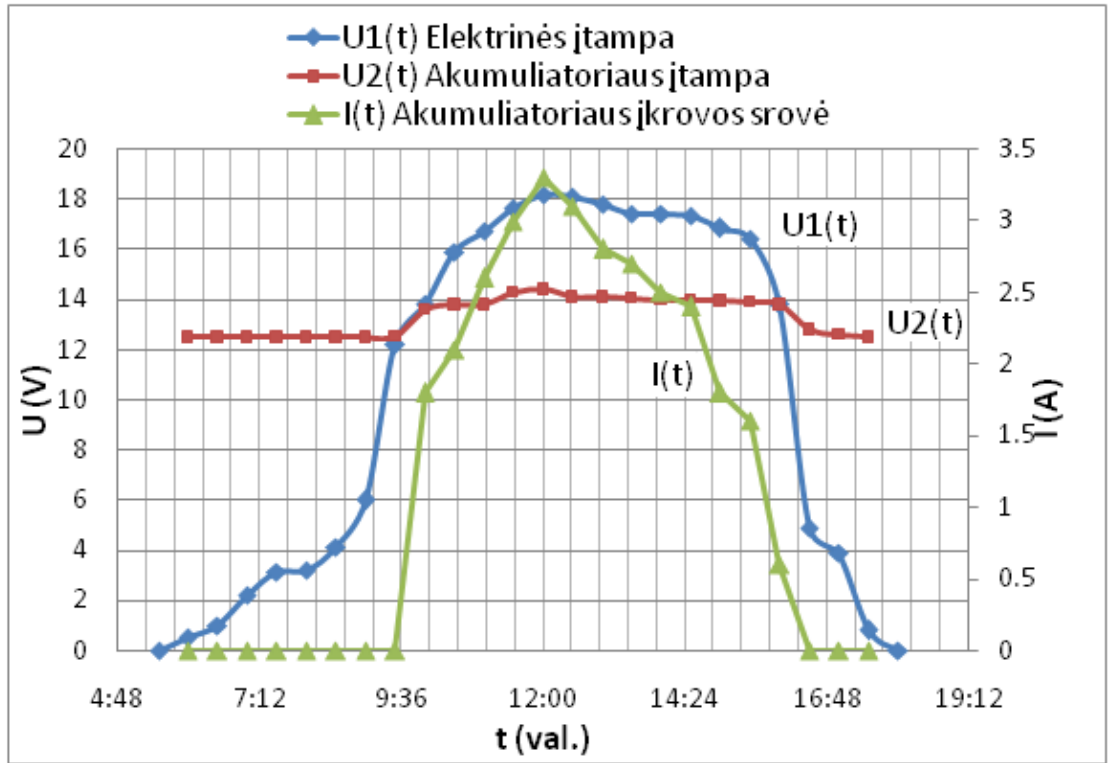
- Maksimali įkrovimo srovė 20 A;
- Sistemos palaikoma įtampa 12-13V;
- Matmenys: 216x133x34 mm;
- Įkrovos reugulatoriaus galios sunaudojimas <4 mA;
- Turi apsaugą nuo perkrovos;
- Turi apsaugą nuo didelės akumuliatoriaus iškrovos;
- Apkrovos perjungimas;
- Termokompensacija;
- Pagrindinių įkrovos ir akumuliatoriaus būklės parametrų indikacija;
- Kombinuotas įkrovos režimas;

Norėdami pateikti įkrovos reguliatoriaus veikimą grafiškai parenkami 2011 metų rugpjūčio 15 dienos duomenys. Naudojant pusės valandos laiko intervalą, registruotos fotoelektrinės ir kartu akumuliatoriaus įkrovimo įtampos vertės. Turint akumuliatoriaus įkrovimo įtampos ir srovės vertes, paskaičiuojama kokia galia gaunama. Matavimo rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

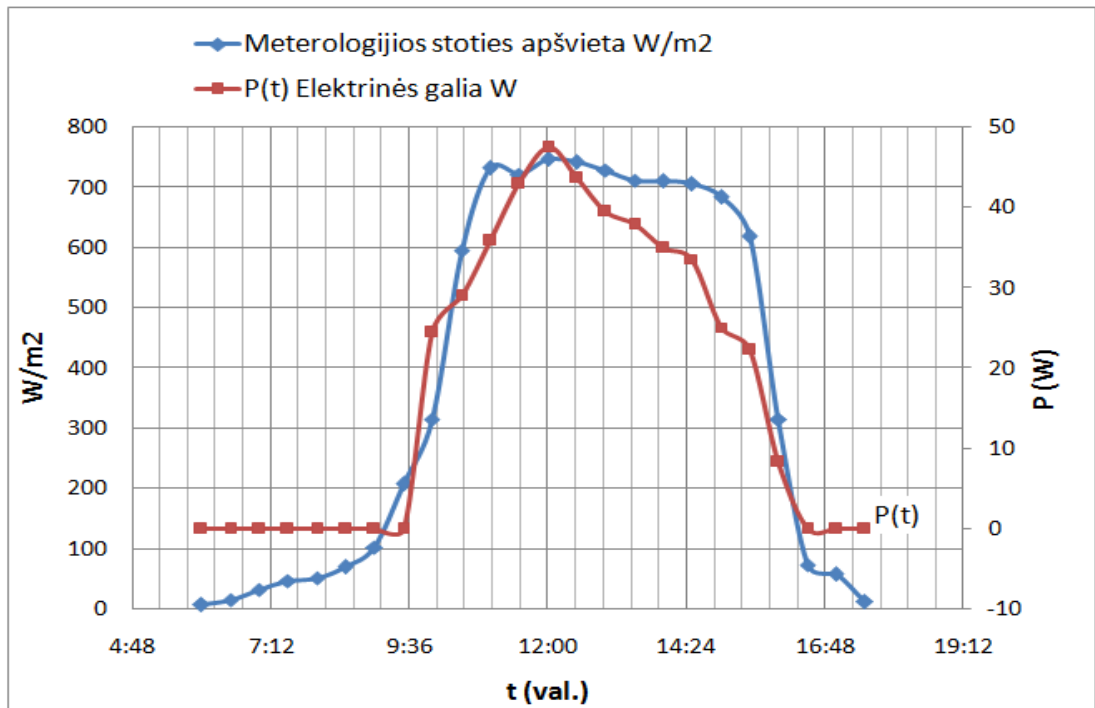
Fotoelektrinės ir akumuliatoriaus dienos energijos įkrovimas

Laikas	Elektrinės įtampa U1 (V)	Akumuliatoriaus įtampa U2 (V)	Akumuliatoriaus įkrovos srovė I	Šiaulių miesto apšvieta W/m ²	Galia P W
5:30	0	12.5	0	0	0
6:00	0.5	12.5	0	7.5	0
6:30	1	12.5	0	14.9	0
7:00	2.2	12.5	0	32.8	0
7:30	3.1	12.5	0	46.3	0
8:00	3.18	12.5	0	51.26	0
8:30	4.11	12.5	0	69.63	0
9:00	6	12.5	0	103.38	0
9:30	12.18	12.55	0	207.4	0
10:00	13.81	13.6	1.8	315.3	24.5
10:30	15.92	13.8	2.1	596.5	29.0
11:00	16.73	13.8	2.6	731.9	35.9
11:30	17.67	14.3	3	721.9	42.9
12:00	18.2	14.4	3.3	746.5	47.5
12:30	18.1	14.1	3.1	741.9	43.7
13:00	17.8	14.1	2.8	727.9	39.5
13:30	17.45	14.05	2.7	711.62	37.9
14:00	17.42	14	2.5	710.23	35.0
14:30	17.33	14	2.4	706	33.6
15:00	16.85	13.95	1.8	683.7	25.1
15:30	16.42	13.9	1.6	618.4	22.2
16:00	13.82	13.8	0.6	315.5	8.3
16:30	4.9	12.8	0	73.1	0
17:00	3.9	12.6	0	58.2	0
17:30	0.8	12.5	0	11.9	0
18:00	0	12.5	0	0	0

Pagal gautus duomenis lentelėje, į akumuliatorių energija kaupsis tada, kai apšvieta Šiaulių mieste bus ne mažesnė kaip 315 W/m², o tokia apšvietos vertė truko šešias valandas. Fotoelektrinės generuojama galia priklausė nuo saulės aukščio kampo β , kuris taip pat įtakojo piranometro įtampos signalo registravimui. 6.1 pav diagramoje pateikiami fotoelektrinės ir akumuliatoriaus įtampos ir srovės dydžiai dienos metu, o 6.2 pav. elektrinės galios ir rugpjūčio 15 dienos apšvietos dydžiai.



6.1 pav. Fotoelektrinės ir akumulatoriaus įtampa ir srovė prie skirtingo paros laiko.



6.2 pav. Fotoelektrinės dienos galia ir apšvieta prie skirtingo paros laiko.

Pagal grafike gautą kreivę akumulatoriaus įkrovos srovė tekės tada, kai elektrinės įtampa $U_1(t) \geq U_2(t)$, bus didesnė arba lygi už akumulatoriaus įtampą. Intervalas nuo kurios $U_1(t) \geq U_2(t)$ atitinka nuo 10:00 iki 16:00 valandos. Likusiu laiko metu fotoelektrinės įtampa mažesnė už akumulatoriaus įtampos vertę, tad į akumuliatorių srovė netekės.

Šekančioje 7.2 pav. pateikiama tos pačios dienos elektrinės gaunama galia bei Šiaulių miesto meteorologijos apšvieta W/m^2 tuo pačiu metu. Kaip ir 7.1 pav. rezultatai pateikiami pusės valandos intervalu.

Pagal 6 lentelės gautus rezultatus apskaičiuojame fotoelektrinės įkrovimo koeficiento didžiausią reikšmę pagal šią išraišką:

$$k_{ef} = (P_{\text{įkr}} / P_{\text{elektr.}}) * 100\% \quad (6.1.1)$$

Čia: $P_{\text{įkr}}$ - Elektrinės įkrovimo galia W.

$P_{\text{elektr.}}$ - Elektrinės pikinė galia W.

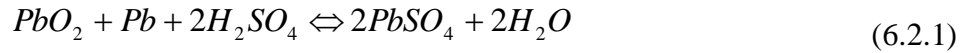
$$k_{ef} = \left(\frac{47,5}{150} \right) * 100\% = 31,6\% \quad (6.1.2)$$

Didžiausią tos dienos elektrinės įkrovimo galią sudarė 31,6%, užregistruotas 12:00 valandą, o tai sudarė tik trečdalį visos elektrinės išnaudojimo galios. Pagal lentelės ir grafiko gautus duomenis, kai elekterinėje įtampa $U_1(t) \leq U_2(t)$, tai akumulatoriaus nusistovėjusi įtampą sudaro 12,5V. Kai elektrinės įtampa didesnė $U_1(t) \geq U_2(t)$ akumulatoriaus įtampa įkrovos reguliatoriaus pagalba išauga iki 14.4V, o srovė akumuliatoriuje tuo metu išauga iki 3,3 A.

6.2 Akumulatoriaus panaudojimas energijos kaupimui.

Rūgštinį akumuliatorių sudaro du švininiai elektrodai įmerkti į sieros rūgšties tirpalą H_2SO_4 . Kraunant akumuliatorių, ant elektrodo, sujungto su teigiamu šaltinio poliumi susidaro švino dioksidas

PbO_2 . O antrajame elektrode virsta švino sulfatu $PbSO_4$. Taip gauname galvaninį elementą. Akumuliatoriui išsikraunant ant teigiamojo ir neigiamojo elektrodų vėl atsiranda švino sulfatas $PbSO_4$:



Įkraunant akumuliatorių sieros rūgšties koncentracija didėja, nes atsiranda papildomos rūgšties molekulės, o iškraunant mažėja. Daugiau iškrauti akumulatoriaus nepatartina, nes elektrodai pasidengia storu, sunkiai ištirpinamu švino sulfatu $PbSO_4$ taip sugadinami akumuliatorių. Viena akumulatoriaus charakteristikų - talpa, parodo koks krūvis atiduodamas akumuliatoriui išsikraunant. Jos matavimo vienetas $1A \times 1h$. Talpa priklauso nuo elektrodų paviršiaus ploto.

Reikiama akumulatoriaus baterijos talpa parenkama pagal naudojamą elektrinės technines savybes. Jei akumulatoriaus talpa parenkama per didelė, fotoelektrinė gali būti nepajėgi pilnai įkrauti akumuliatorių. Kai akumulatoriaus talpa parenkama per maža, tai joje sukauptą energiją gali įsisotinti per kelias valandas ar dienas ir taip bus neišnaudojama likusi saulės energijos dienos dalis. Priklausomai nuo elektrinės energijos panaudojimo paskirties akumulatoriaus talpa rekomenduojama parinkti nuo 1 Ah iki 6,5 Ah vienam elektrinės vatui.

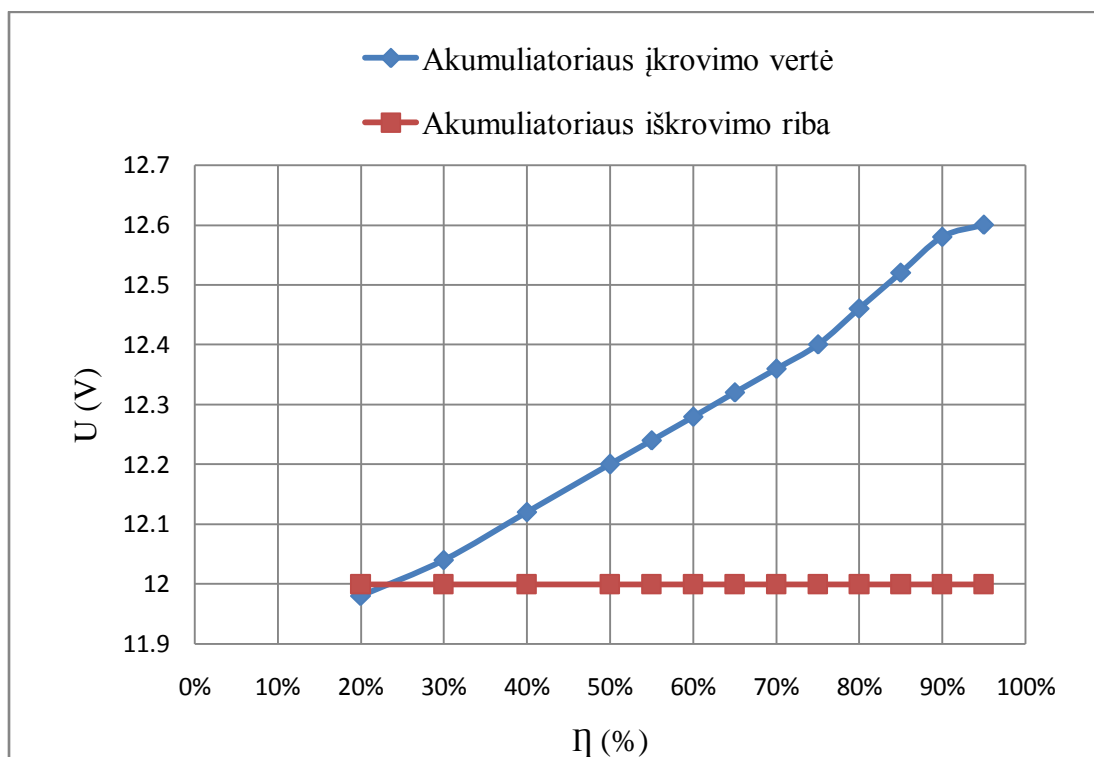
Pavyzdžiui, ne nuolat gyvenamuose pastatuose (sodo nameliuose, poilsinėse sodybose) pageidautina, kad akumulatorius sukauptų visą darbo dieną generuojamą energiją, kurią būtų galima sunaudoti per kelias savaitgalio dienas. Šiuo atveju, mažinant brangiausios saulės elektrinės dalies – fotoelektros modulių galią, galima sumažinti visos sistemos kainą.

Kasdien eksploatuojamose saulės elektrinėse akumuliatorių talpa paprastai turi užtikrinti vienos ar kelių dienų generuojamą energiją.

Kiekvienas akumulatorius turi ribinę įtampos iškrovimo vertę iki kurios pilnai gali atiduoti sukauptą energijos kiekį. 9 lentelėje pateikta akumulatoriaus iškrovimas išreikštas procentais prie skirtingų įtampos dydžių. Šiuo metu tiriamajame darbe naudojamas akumulatoriaus iškrovimo ribinė įtampos vertė sudaro 12V o tai yra sudaro 28% likusios vertės. Esant mažesniai dydžiui iškrovimas sustabdomas taip neleidžiant akumulatoriaus viduje esantiems elektrodams pasidengti storu, sunkiai ištirpinamu švino sulfato sluoksniui $PbSO_4$, kuris gali sugadinti patį akumuliatorių.

Naudojamo akumulatoriaus iškrovimo įtampos vertės pateiktos procentais

Iškrovimas procentais	Akumulatoriaus įkrovimo vertė
95 %	12.6 V
90 %	12.58 V
85 %	12.52 V
80 %	12.46 V
75 %	12.4 V
70 %	12.36 V
65 %	12.32 V
60 %	12.28 V
55 %	12.24 V
50 %	12.20 V
40 %	12.12 V
30 %	12.04 V
20 %	11.98 V



6.3 Akumulatoriaus įkrovimo bei iškrovimo ribinė vertė

6.3 Įtampos dažnio keitiklio panaudojimas.

Fotoelektrinė generuoja nuolatinę įtampą bei srovę, tad norint nuolatinę energiją paversti į kintamą būtinas įtampos keitiklis. Įtampos keitikliai pagal išėjimo įtampos kreivės formą skirstomi į tris grupes:

- 1) Meandriniai įtampos keitikliai – kurie sudaro stačiakampės laiptuotos išėjimo įtampos (kurio 4 laiptelių skičių sudaro 1 periodą). Tinka beveik visiems elektros imtuvams, nepatartina naudoti kompiuterinei technikai, televizoriams ir t.t.
- 2) Modifikuoto sinuso įtampos keitikliai – sudaro iš didelio laiptelių skaičiaus (1 periodui \approx 50 laiptelių.) įtampos keitikliai.
- 3) Sinusiniai įtampos keitikliai – sinusinė išėjimo įtampa.

Įtampos keitikliai gali turėti savyje akumuliatorių, kurie pasikrauna automatiškai taip gaunant įtampos keitikliui maitinimą. Dar viena funkcija kurią gali turėti įtampos keitiklis, tai grandinėje kintamos srovės kontaktorius. Tokią funkciją galima plačiai naudoti norint užtikrinti vartotojo patikimumą, tai yra dingus maitinimui automatiškai bus įjungtas rezervinis maitinimas per minėtą kontaktorių.

Pateikiama naudojamo PXOENIX 12/600 įtampos keitiklio techninės savybės:

- Nominali įtampa U_{nom} – 12V;
- Įėjimo įtampa U_{in} – 10,5÷15,5V;
- Nominali galia P_{nom} (25°C) – 600W;
- Pikinė galia – 900W;
- Nominalios galios P_{nom} kosinuso kampas $\cos\varphi$ - 0,6÷1
- Naudingumo koeficientas η - 92%;
- Išėjimo įtampa $U_{iš}$ – sin230V÷2%, 50Hz÷0,05%;
- Harmoniniai iškraipymai - <5%;
- Svoris 6,2 kg;
- Matmenys: 228x108x185 mm.

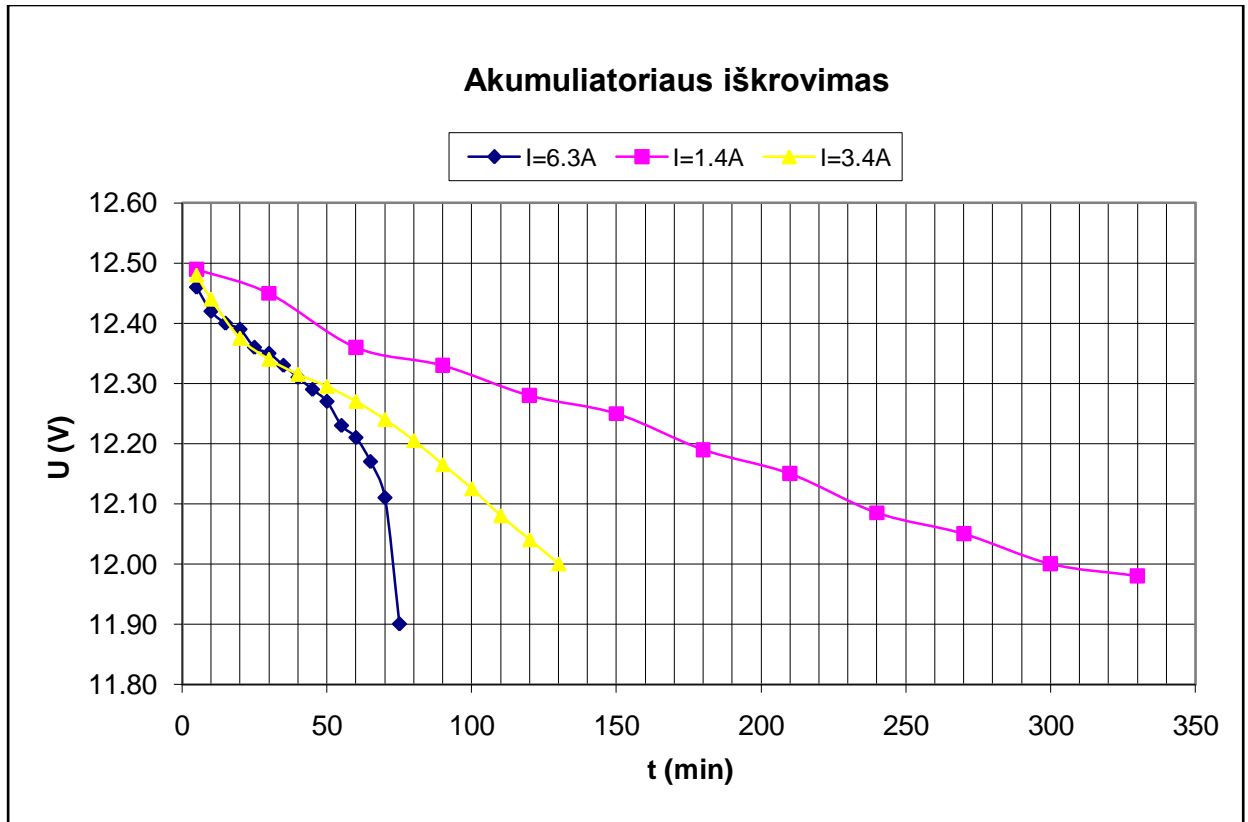
Naudodami įtampos keitiklį iškrauname sukauptą akumulatoriaus energiją, prie skirtingos srovės dydžių. Esant maksimaliai srovei $I = 6,3 \text{ A}$, esant vidutės srovės dydžiui $I = 3,4 \text{ A}$, bei mažai srovei $I = 1,4 \text{ A}$. 12 lentelė. Pagal tai nustatinėjama kiek laiko maksimaliai galima išnaudoti 12V, 92 Ah (ampervalandžio) talpos akumuliatorių. Duomenys pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė

Akumulatoriaus iškrovimas naudojant įtampos keitiklį prie skirtingų srovės dydžių

I = 6,3 A		I = 3,4 A		I = 1,4 A	
t (min.)	U (V)	t (min.)	U (V)	t (min.)	U (V)
5	12,46	5	12,48	5	12,49
10	12,42	10	12,44	30	12,45
15	12,40	20	12,38	60	12,36
20	12,39	30	12,34	90	12,33
25	12,36	40	12,32	120	12,28
30	12,35	50	12,30	150	12,25
35	12,33	60	12,27	180	12,19
40	12,31	70	12,24	210	12,15
45	12,29	80	12,21	240	12,09
50	12,27	90	12,17	270	12,05
55	12,23	100	12,13	300	12,00
60	12,21	110	12,08	330	11,98
65	12,17	120	12,04		
70	12,11	130	12,00		
75	11,90				

Kai akumulatoriaus iškrovimo srovė $I=6,3\text{A}$, bei $I=3,4\text{A}$ akumulatoriaus įtampos vertės surašomos kas 10 minučių. O esant srovei $I=1,4\text{A}$ akumulatoriaus įtampos vertės surašome kas 30 minučių. Naudodami 8 lentelės duomenimis 6.4 pav. pateikiama įtampos $U=f(t)$ priklausomybės nuo laiko kreivė. Iškrovimui naudotas 12V, 92Ah (ampervalandžių) talpos akumulatorius.



6.4 pav. Akumulatoriaus iškrovimas prie skirtingų srovės dydžių.

Kai akumulatoriaus iškrovimo srovė $I=6,3A$ tai akumulatoriaus energiją galima panaudoti panašiai 70 minučių. O naudojant akumulatoriaus iškrovimo srovę $I=1,4A$ tai akumulatoriaus energiją panaudojama 4 kart daugiau apie 300 minučių. 7.4 pav. esant akumulatoriaus srovei $I=3,2A$ energija sunaudojama apie 130 minučių.

Pagal tai galime teigti, kad šiuo metu naudojamas akumulatorius, kurio talpa sudaro 92 Ah (ampervalandžiai) yra per mažas. Esant pilnai iškrautam akumulatoriui energiją pilnai gali įkrauti per 3-7 dienas.

Kaip minėta elektrinės galia sudaro 150W, o 1W rekomenduojama nuo 1-6,5 Ah (ampervalandės) talpos akumuliatorių. Tai bendra akumulatoriaus talpa turėtų sudaryti nuo 150-975 Ah. Norint užtikrint didesnę energijos sunaudojimą turime naudoti mažiausiai 2 akumulatorius.

Registruojant fotoelektrinės energijos sukaukimą kiekvieną mėnesį pilnai įkrautam akumuliatoriui, tam tikru laiku įrenginys turėjo būt iškraunamas. Naudojant įtampos keitiklį akumulatorius iškraunamas prie pastovios 1,4 A srovės. Pagal 11 lentelės duomenis akumulatorius pilnai įsikraudavo per 3-7 dienas. Naudojant 6.4 formulę apskaičiuota koks akumulatoriaus tos dienos naudingumas tarp pilno įkrovimo, bei iškrovimo iki 12 V ribinės įtampos

$$\eta = \frac{\text{akumulatoriaus iškrovimas Wh}}{\text{akumulatoriaus įkrovimas Wh}} \quad (6.3.1)$$

11 lentelė

2011 metų rugpjūčio mėnesio akumulatoriaus įkrovimas ir iškrovimas Wh bei naudingumas

Dienos intervalas	Akumulatoriaus įkrovimas Wh	Akumulatoriaus iškrovimas Wh	Naudingumas η
1-4 diena	390 Wh	285 Wh	0,73
5-9 diena	416 Wh	292 Wh	0,7
10-16 diena	387,4 Wh	286 Wh	0.74
17-24 diena	351 Wh	275 Wh	0.78
25-31 diena	410,8 Wh	294 Wh	0.71

Pagal lentelės gautus parametrus akumulatoriaus įkrovimas sudarė nuo 387,4 iki 410,8 Wh, o iškrovimas nuo 275 iki 292 Wh. Pagal 6.4 punkto atlikus skaičiavimus naudingumas η svyruoja nuo 0,7 iki 0,8. Kaip minėta akumulatorius buvo iškraunamas iki 12voltage ribinės įtampos, taip nepažeidžiant akumulatoriaus viduje esantiems elektrodams, kurie gali apsinešti švinos sulfato sluoksniui $PbSO_4$, kuris vėliau sunkiai pašalinamas iš akumulatoriaus.

IŠVADOS

- Saulės energijos pasiskirstymas Lietuvoje nevienodas. Didžiausias saulės energijos kiekį sudaro vakarų Lietuvoje 1042 kWh/m². Mažiausia energijos kiekį sudaro rytų Lietuvoje ir siekia 926 kWh/m².
- Naudodami jutiklių (piranometro) išdėstymais didžiausią apšvietą sudarė jutiklis, esantis horizontalioje padėtyje, kurio koeficientas 0,491. Vertikalioje padėtyje didžiausią apšvietą sudarė jutiklis, kuris pasuktas 45° į rytus ir koeficientas sudarė 0,491. Visių keturių jutiklių bendra krintanti apšvieta E_2 (W/m²) fakultete sudaro iki 2% paklaidą lyginant su Šiaulių miesto meteorologijos stoties gaunančia apšvieta.
- Fotoelektrinės darbo efektyvumas priklauso nuo puslaidininkinės medžiagos iš kurios jis pagamintas, bei nuo elektrinės vidaus varžos didumo. Didelę reikšmę elektrinės darbui turi įrenginio vietos sukonstravimas. Be to elektrinės energijos gamybai neturi trukdyti šešėlis ar kitas objektas. Kuo didesnė šešėlio dalis uždengia fotoelektrinės modulius, tuo mažesnė energija išgaunama dienos metu.
- Fotoelektrinės votamperinės charakteristikos darbą įtakoja aplinkos temperatūra. Kai elemento temperatūra padidėja 25°C prarandama 2mV įtampos, t.y. 0,4 % 1 laipsniui. Kai elektrinės elementai sušyla iki 60-70 °C, joje prarandama 70-90 mV įtampos.
- Įkrovos reguliatorius kontroliuoja akumulatoriaus įtampos ir srovės dydžius gaunant didžiausią akumulatoriaus įkrovimo energiją. Įkrovos reguliatorius apsaugo akumuliatorių nuo perkrovos ir iškrovimo. Be to leidžia padidinti akumulatoriaus tarnavimo laiką nuo 20% iki 100%.
- Svarbus saulės energijos įkrovimui ir akumulatoriaus parinkimas. Rekomenduojama vienam elektrinės vatui naudoti nuo 1-6,5Ah (ampervalandės) talpos akumuliatorių. Šiuo metu naudojamos elektrinės galia sudaro 150 W, tai akumulatoriaus talpa turėtų sudaryti 150-975 Ah.
- Pilnai įkrauti 92 Ah talpos akumuliatorių užtenka 3-7 dienų (prikalusomai nuo oro sąlygų), o iškrovimas naudojant energijos keitiklį, energija sunaudojama per 5,5 valandas. Pagal Technologijos fakultete naudojamus parametrus, patalpoje turėtų būti 2 tokios talpos akumulatoriai.

LITERATŪRA

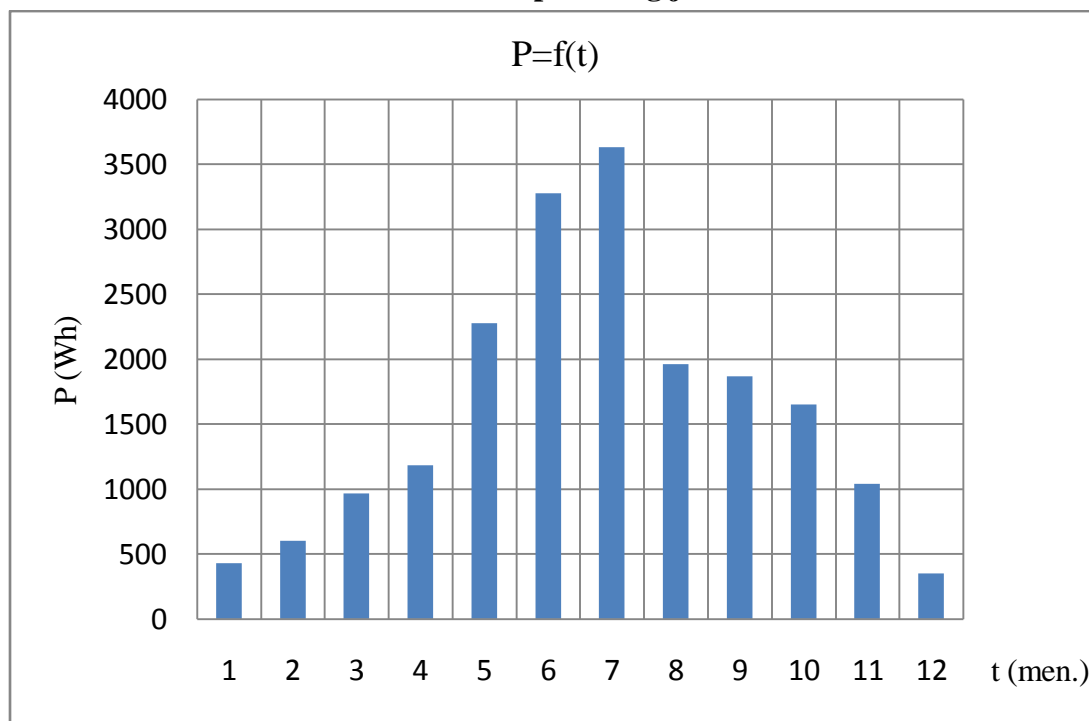
1. Solar Electric Systems University of Delaware (2008 m.).
2. Larry Caretto – Solar Energy. Alternative Energy (2009 m.).
3. Imantas Ziemelis, Liene Kancevica, Zanis Jesko, Henriks Putans – Calculation of energy produced by solar collectors (2009 m.).
4. Ibrahim Reda and Andreas – Solar Position Algorithm for Solar Radiation Application (2008 m.)
5. Atiya Hasan – Review of Solar Thermoelectric Energy Conversion and Analysis of a Two Cover Flat-Solar Collector (2007 m.)
6. Rob Roberts, Camilo Jimenez, Naji Ghosseiri – Solar Panel (2004 m.).
7. Getachew Bekele – Study Into Potential and Feasibility of a Standalone Solar-Wind Hybrid Electric Energy Supply System (2009 m.).
8. Stefan Becker – Calculation of Direct Solar and Diffuse Radiation (2001 m.)
9. Faye C. McQuiston, Jeffrey D. Spitler - Cooling And Heating Load Calculations Estimation Of Solar Radiation (1992 m.)
10. Eka Sediadi – Simple Calculation of Photovoltaic Power Solar Electricity Product of Buildings (2004 m.)
11. Solar Collectors and Photovoltaic (2009 m.).
12. Solar Energy and Sun Angles (2006 m.)
13. Tom Markvat – Photovoltaic Solar Energy Conversion (2002 m.)
14. R. W. Mueller, H.G. Beyer, S.Cros, K.F. Dagestad – The Use of Data Within a New Type of Solar Irradiance Calculatio SHEME (2008 m.)
15. <http://www.susdesign.com/sunangle/> [žiūrēta 2011 10 23]
16. <http://solardat.uoregon.edu/PolarSunChartProgram.html> [žiūrēta 2012 02 14]
17. http://re.emsd.gov.hk/english/solar/solar_ph/solar_ph_to.html [žiūrēta 2011 10 04]
18. <http://www.roofsolarpanels.biz/solar-cell/> [žiūrēta 2012 01 31]
19. <http://www.saulsvejoenergija.lt/> [žiūrēta 2011 12 01]
20. G.N. Tiwari and Swapnil Dubey – Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications (2010 m.).

21. Mokslinis tiriamasis darbas – Fotoelektrinio silicio gamybos Lieuvoje galimybių studija (2006 m.).
22. Ramūnas Mitkevičius, Viktor Zagadskij, Eugenijus Šatkovskis – Monokristalinio Silicio Saulės Elementų Charakteristikų Valdymas Akytojo Silicio Sluoksniu (2011 m.).
23. Marius Mačenskas – Pუსlaidininkinių Šviesos Šaltinių Tyrimas (2005 m.).
24. Šiaulių Universitetas – Fotoelektros modulių savybių ir charakteristikų tyrimas (2008 m.)
25. Ursula Eicker – Solar Technologies for Buildings (2001 m.).
26. Mohamad Algoul, Azami Zaharim – Mathematical Model for Determining the Performance Characteristics of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules (2007 m.).

PRIEDAI

1 priedas Fotolektrinės sukauptą energija 2011m Wh.	54
---	----

Fotoelektrinės sukaupta energija 2011m Wh.



Fotoelektriės sukauptos energijos dydžiai

Mėnuo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Galia (Wh)	428,4	602,4	967,2	1185,6	2276,9	3279,6	3634,8	1960,8	1869,6	1651,2	1042,8	348