

SAULĖS MODULIŲ OPTIMALAUS PANAUDOJIMO PASTATO PROJEKTE MODELIAVIMAS

Loreta Kelpšienė

Šiaulių valstybinės kolegijos docentė

Gvidas Martinkevičius

Šiaulių valstybinės kolegijos *Statybos* studijų programos III kurso studentas

Edita Mockienė

Šiaulių valstybinės kolegijos lektorė

Anotacija

Straipsnyje, modeliuojant saulės modulių ant stogo efektyvumą, pateikiami projektuojamo viešbučių paskirties pastato išdėstymo sklype variantai. Projekto pradiniam etape, kai neribojama teritorijų planavimo dokumentais, galima parinkti optimalią pastato orientaciją pasaulio šalių atžvilgiu ir stogo konstrukciją, kad būtų maksimaliai išnaudota ant stogo montuojamų saulės modulių galia. Modeliavimui taikoma *PVsyst* universali programinė įranga, skirta saulės elektrinių projektavimui, analizei ir optimizavimui. Atlikus pastato modelio analizę keturių pasaulio šalių kryptimis, modeliuojama pastato padėtis, kai stogo šlaitas su saulės moduliais pasuktas į pietvakarius (pagal dviejų efektyviausių krypčių rezultatus) – pasukimo kampas 39° pagal laikrodžio rodyklę nuo pietų krypties. Pietvakarių kryptimi orientuoti saulės moduliai generuoja 19 166 kWh/metus, o įvertinus medžių šešėlius – 19 029 kWh/metus (skirtumas apie 0,7 proc.). Lyginant su efektyviausia pietų kryptimi skirtumas siekia 3 proc.

Reikšminiai žodžiai: apšviestumas, saulės modulis, atsinaujinantis energijos šaltinis.

Temos aktualumas – atsinaujinančios energijos šaltinių integracija į pastatų sektorių yra viena iš pagrindinių tvarumo ir energetinio efektyvumo užtikrinimo priemonių [1]. Saulės energija, kaip viena iš sparčiausiai augančių alternatyvios energijos formų, ypač aktuali Lietuvos klimato sąlygomis, kur didžiąją metų dalį vyrauja vidutinio intensyvumo saulės spinduliuotė. Efektyvus saulės modulių išdėstymas ir orientacija tampa itin svarbūs siekiant maksimizuoti energijos gamybą. Gauti rezultatai galėtų būti pritaikomi panašaus tipo pastatams Šiaulių rajone, taip būtų prisidėta prie atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimo ir tvarios statybos.

Tyrimo problema – projektuojamo naujos statybos viešbučių paskirties visuomeninio pastato energetinio naudingumui, tenkinančiam A++ klasę [2], užtikrinti svarbus atsinaujinančių energijos šaltinių integravimas į pastato energetinę sistemą. Projekto pradiniam etape, kai neribojama teritorijų planavimo dokumentais, galima parinkti optimalią pastato orientaciją pasaulio šalių atžvilgiu ir stogo konstrukciją, kad būtų maksimaliai išnaudota ant stogo montuojamų saulės modulių galia.

Tikslas – sumodeliuoti planuojamą statyti pastatą su šlaitiniu stogu, ant kurio numatoma įrengti saulės modulius, ir išanalizuoti jo orientaciją pasaulio šalių atžvilgiu statybos sklype.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, kiekybinė duomenų analizė, konstrukcinis modeliavimas, naudojant *PVsyst* programinę įrangą.

Saulės energijos integravimas į pastato sistemą

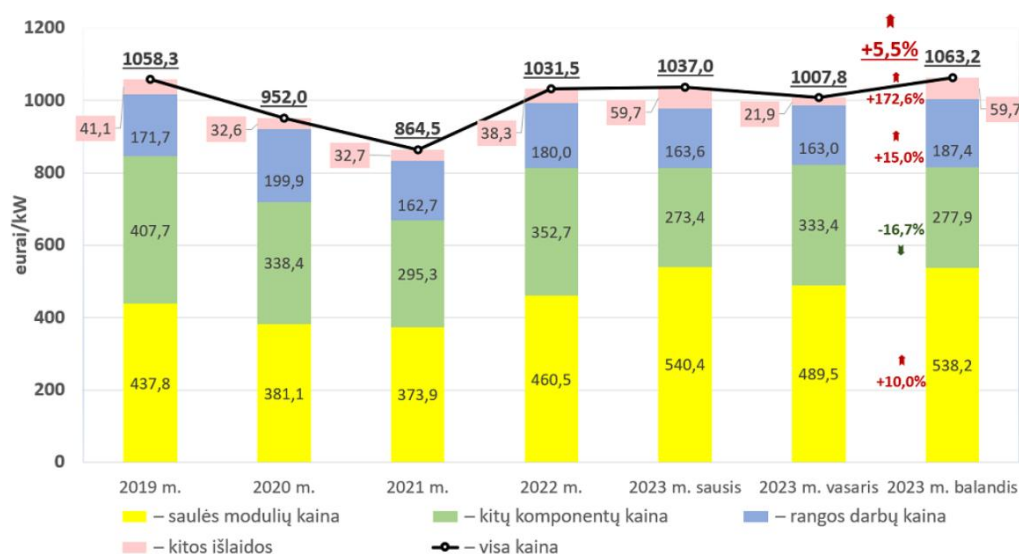
Lietuvoje sparčiai daugėja gyventojų ir įmonių, kurie renkasi įsirengti saulės modulius kaip pagrindinį ar papildomą energijos šaltinį. Šis augimas susijęs tiek su teisės aktu, tiek su ekonominės naudos veiksniais. Lenkijos ir Čekijos mokslininkų nuomone, dėl poreikio pereiti prie švarios energijos daugelyje šalių ir regionų ir siekio turėti nulinės energijos pastatus labai svarbu užtikrinti efektyvias atsinaujinančią energiją pagrįstas pastatų šildymo-vėsinimo ir elektros gamybos su šiluminės energijos kaupimu sistemas [3].

2022 metais nuosavas saulės elektrines, įskaitant ir nuotolines, Lietuvoje turėjo apie 2,6 procento visų elektros energijos vartotojų. Dauguma jų – 39 445 – gyventojai, o įmonių ir organizacijų, besigaminančių energiją saulės elektrinėse savo reikmėms, buvo 2 993. 2024 metais ESO prie tinklo prijungė 37 700 naujų gaminančių vartotojų, iš jų daugiau kaip 33 000 buitinių ir apie 4 500 verslo

[4]. Įvairios elektros energijos sistemų lankstumo galimybės, pavyzdžiui, saugykla, tinklo išplėtimas ir paklausos lankstumas, įgyja vis didesnę svarbą ir ypač gamybos įmonėms siekiant subalansuoti energijos tiekimą iš atsinaujinančių šaltinių [5].

Pagal Statybos techninį reglamentą [2], naujai projektuojamuose A++ klasės pastatuose bent 50 proc. visos reikalingos energijos turi būti gaunama iš atsinaujinančių šaltinių, pavyzdžiui, saulės, vėjo ar geoterminės energijos. Ši nuostata skatina gyventojus investuoti į saulės elektrines, kurios ne tik užtikrina energinį efektyvumą, bet ir prisideda prie ilgalaikių išlaidų mažinimo. Vyriausybės politika nukreipta į saulės elektrinių Lietuvoje įrengimo skatinimą teikiant paramą atskiroms įrengimo dedamosioms.

Paprastai saulės modulių, kurie šviesos energiją paverčia elektros energija, kaina sudaro apie 40–50 proc. saulės elektrinių įrengimo kainos. Bet šios dedamosios kainos kitimas nebūtinai reiškia, kad visas projektas atpinga arba tampa brangesnis, nes kitų dedamųjų kainos ir jų svyravimai irgi turi reikšmingos įtakos bendram investicijų poreikiui (1 pav.). Įprastai keitiklis (inverteris) sudaro apie 25–30 proc. kainos, montavimo darbai – 10–20 proc., tvirtinimo konstrukcijos ir kitos medžiagos siekia apie 10–15 proc. kainos [6].



1 pav. Saulės elektrinės įrengimo vidutinės kainos dedamosios [6]

Daugėjant gaminančių vartotojų, Lietuvoje tampa akivaizdu, kad saulės modulių diegimas yra neatsiejama modernios energetikos strategijos dalis, atitinkanti tiek šalies, tiek tarptautinius tvarumo tikslus. Ši plėtra skatina mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro ir didinti energetinį savarankiškumą. Dėl atsitiktinės pastatų orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu, priklausomai nuo geografinės vietovės ir modulių pasvirimo kampo, gali būti prarandama iki 30–50 proc. išgaunamos saulės energijos. Kadangi saulės energijos generavimas tiesiogiai veikia pastato energinį efektyvumą, ypač A++ energinės klasės pastatuose, tyrimas yra itin aktualus.

Saulės modulių konfigūracijos modeliavimas *PVsyst* programa

PVsyst yra universali programinė įranga, skirta saulės elektrinių projektavimui, analizei ir optimizavimui. Ji leidžia modeliuoti įvairias fotovoltines sistemas – prijungtas prie tinklo, izoliuotas, hibridines ar šilumos siurblio – ir yra plačiai naudojama inžinierių, tyrėjų bei investuotojų visame pasaulyje. Programoje galima analizuoti meteorologinius duomenis, įskaitant saulės spinduliuotės intensyvumą, oro temperatūrą ir masę, vertinti jų įtaką sistemos našumui pagal pasirinktą vietovę [7].

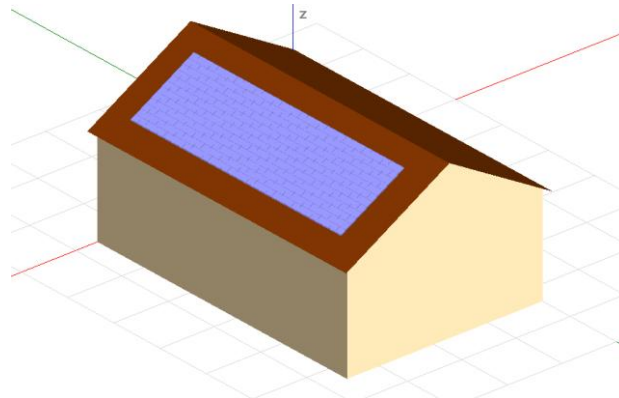
Tyrimo objektas – viešbučių paskirties pastatas, projektuojamas Šiaulių raj. sav., Pailių k., Aplinkkelio g. 16 (2 pav.), ant kurio dvišlaičio stogo numatomi saulės moduliai.



2 pav. Numatomos statybos vieta
Parengta naudojant [8]

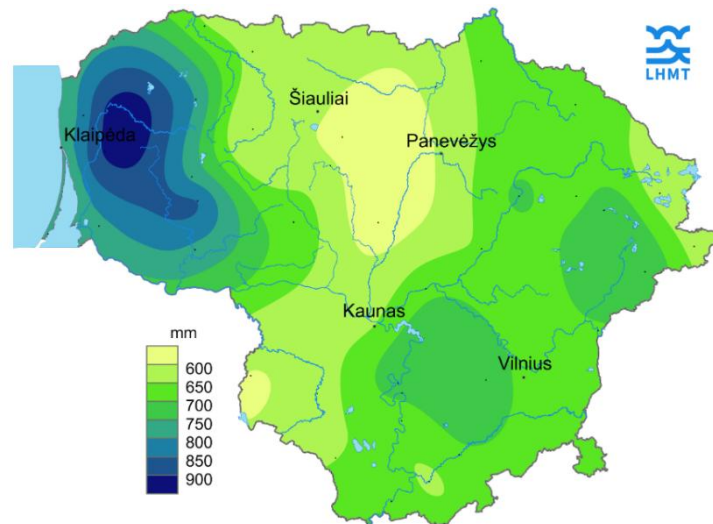
Pasitelkus *PVsyst* programą numatoma gauti saulės modulių efektyvumo duomenis orientuojant stogo šlaitą keturių pagrindinių pasaulio šalių ir pietvakarių kryptimis, patikrinti pietvakarių krypties modelį, papildytą medžių šešėliais. Analizuojamo pastato matmenys plane – 27×18 m, dvišlaitis stogas su 30° nuolydžiu (3 pav.). Sklypo vidutinis lygis virš jūros lygio – 118 m. Pagrindiniai saulės modulių sistemos duomenys:

- vieno modulio dydis $0,67 \times 0,54$ m; naudojama 12 eilių po 33 modulius – iš viso 396 vnt., kurių bendras užimamas plotas – 143 m^2 ;
- modelis – *Si-mono* (monokristalinio silicio), 36 elementų galingumas – 50 Wp, 15 V;
- naudojamo inverterio (transformatoriaus) galingumas – 30 kVA;
- bendra nominali galia, idealiomis sąlygomis – 19,8 kWp.



3 pav. *PVsyst* programa sugeneruotas projektuojamo pastato su saulės moduliais modelis
Šaltinis: sudaryta autorių

Saulės spinduliuotės charakteristikos statybos techniniame reglamente [9] pateikiamos neįvertinant debesuotumo, bet yra žinomas 2011–2020 m. vidutinis apsiniaukusių dienų skaičius Kaune, Šilutėje ir Telšiuose. Šiaulių rajonui būdingiausi Telšių vietovės duomenys. Kritulių kiekiais vietovės skiriasi: Šiaulių rajonas patenka į mažiausių kritulių kiekių zoną (4 pav.).

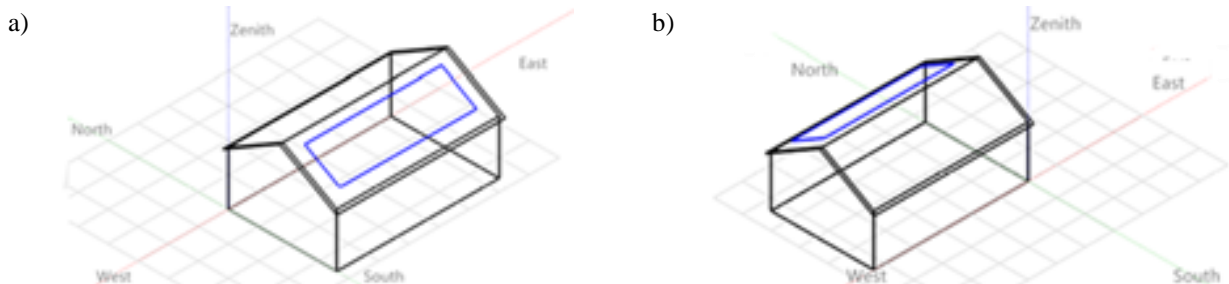


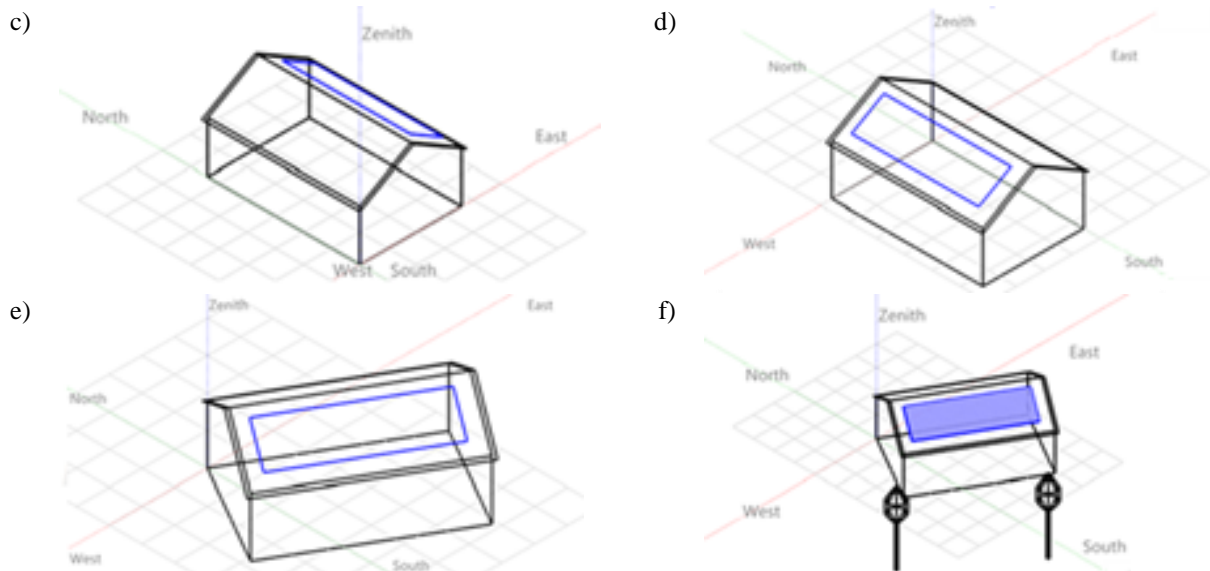
4 pav. Vidutinis metinis kritulių kiekis Lietuvoje, SKN, 1991–2020 m.
Šaltinis: Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba [10]

Modeliavimo programos vertinamos charakteristikos:

- saulės elektrinės metinis energijos gamybos rodiklis – sugeneruotas energijos kiekis (kWh) kiekvienam 1 kW įrengtos galios (kWp) per metus;
- vidutinis metinis našumo koeficientas (*performance ratio* PR);
- saulės elektrinės sugeneruotos energijos kiekis, standartizuotas pagal įrengtą sistemos galią (kWh/kWp);
- energijos nuostoliai saulės moduluose (dulkėtumo, atspindžių, medžiagos degradacijos, temperatūros poveikio ar netinkamo apšvietimo kampo);
- sisteminai nuostoliai inverteryje (keitiklyje);
- globali horizontali apšvita (kWh/m^2);
- difuzinė apšvita nuo atmosferoje išsklaidytos įvairių krypčių saulės šviesos (kWh/m^2);
- vidutinė oro temperatūra ($^{\circ}\text{C}$);
- saulės energijos kiekis, pasiekiantis modulių paviršių priklausomai nuo jų pasvirimo kampo ir orientacijos (kWh/m^2).

Pirma pastato padėtis modeliuojama taip, kad stogo šlaitas su saulės moduliais būtų orientuotas į pietus (5 pav. a). Bendra metinė energijos gamyba šioje modulių padėtyje – 19 683 kWh/per metus, santykinis efektyvumas – 81,36 proc. Įgyvendinant kitus darbo etapus analizuojamas saulės modulių efektyvumas vietovėje pasukant šlaitą į šiaurę, rytus ir vakarus (4 pav. b, c, d). Orientuojant modulius į šiaurę metinė energijos gamyba – 10 163 kWh/per metus, santykinis efektyvumas – 73,86 proc. Bendra metinė energijos gamyba moduliams esant orientuotiems rytus – 15 511 kWh/per metus, santykinis efektyvumas – 79,07 proc. Bendra metinė energijos gamyba, kai moduliai orientuojami į vakarus – 15 488 kWh/per metus, efektyvumo santykis – 79,42 proc.



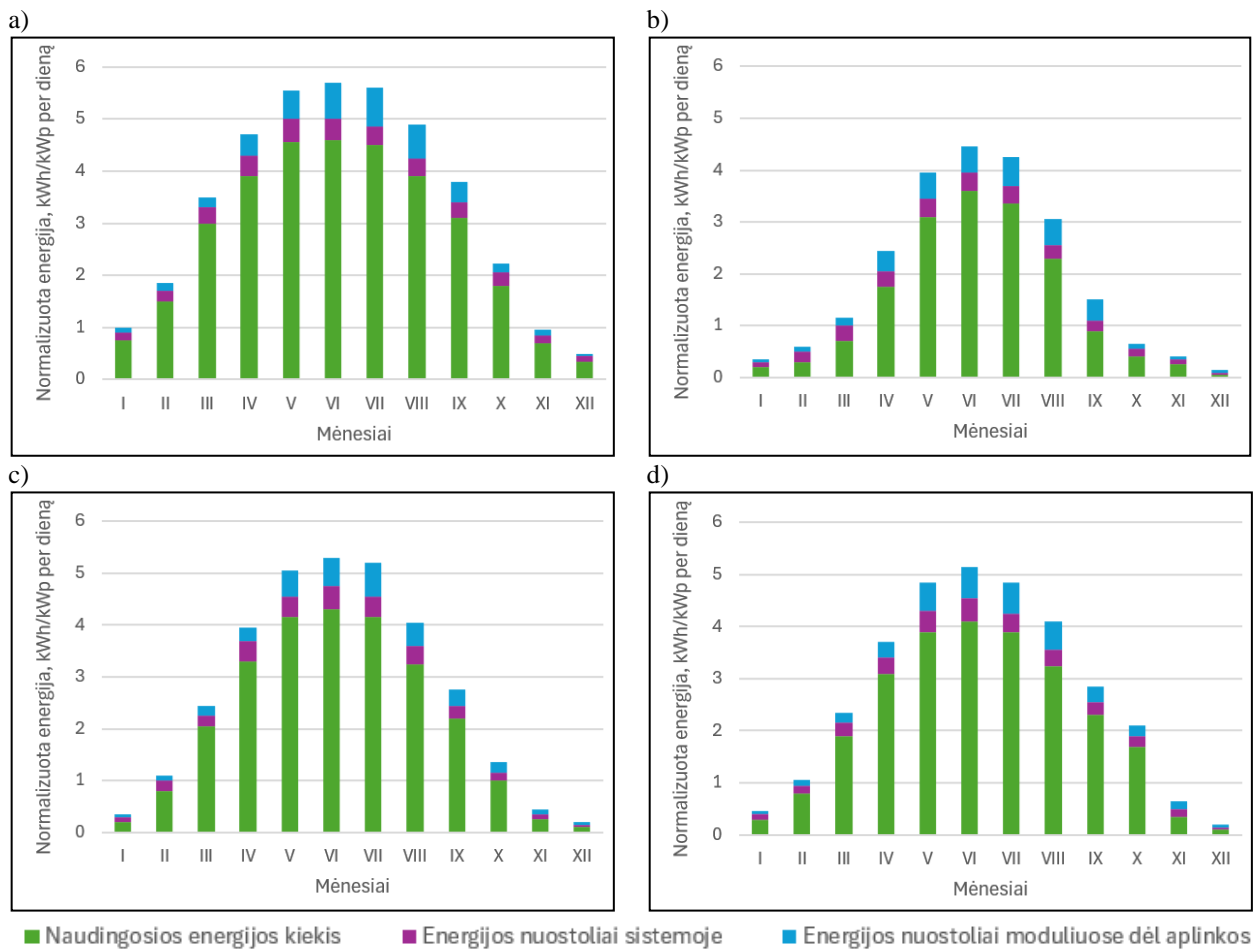


5 pav. Pastato orientacijos ir aplinkos šešėlių modeliavimas:

a) pietūs; b) šiaurė; c) rytai; d) vakarai; e) pietvakariai; f) pietvakariai su medžių šešėliais

Šaltinis: sudaryta autorių

Modelio analizės rezultatai rodo, kad efektyviausia pastato su saulės moduliais orientacija yra pietų kryptimi (6 pav.), antroje vietoje – vakarų kryptimi, trečioje – rytų, o mažiausiai efektyvi orientacija šiaurės kryptimi.

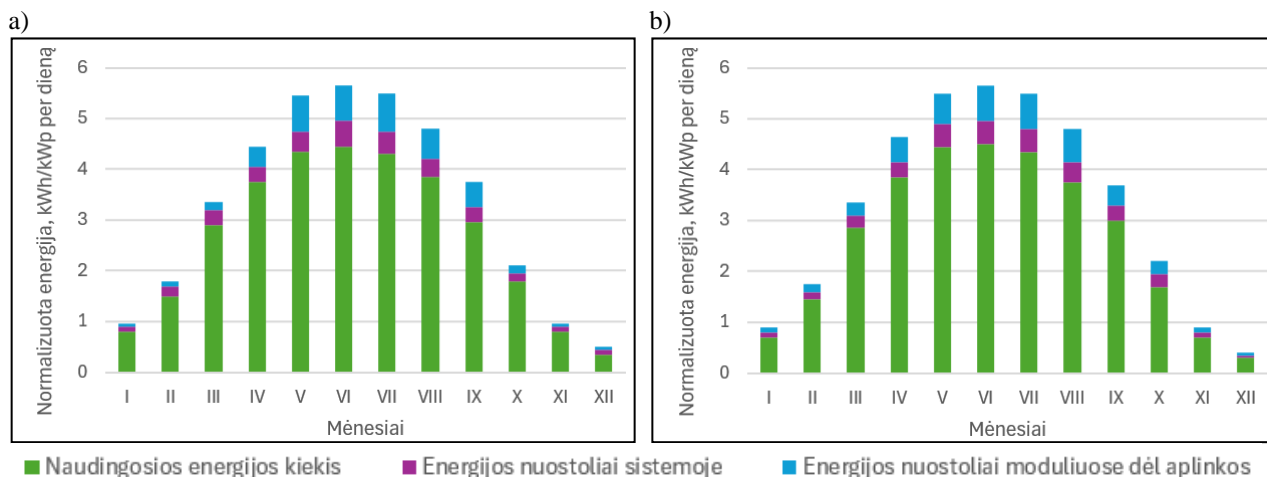


6 pav. Energijos gamyba saulės moduluose orientuojant į skirtingas pasaulio šalis:

a) pietus; b) šiaurė; c) rytus; d) vakarus

Šaltinis: sudaryta autorių

Kadangi projektuojamo pastato sklypo orientacija nėra griežtai nustatyta pagal pagrindines pasaulio šalis (1 pav.), modeliuojama pastato padėtis, kai stogo šlaitas su saulės moduliais pasuktas į pietvakarius (pagal dviejų efektyviausių krypčių rezultatus) – pasukimo kampas 39° pagal laikrodžio rodyklę nuo pietų krypties (5 pav. e). Papildomai įvertinama aplinkos šešėlių įtaka saulės modulių efektyvumui (4 pav. f). Šešėliavimo aplinka sujungia visus objektus, kurie gali užstoti saulės šviesą, pavyzdžiui, pastatus, medžius, stulpus ar kalvotą reljefą (7 pav.). Modelyje įvertinti du klevai, kurie turėtų užaugti iki 30 m aukščio ir pasižymi tankia, plačiai ovališka arba pusrutuliška laja [10] (numatyta aplinkos sutvarkymo projekte).



7 pav. Energijos gamyba saulės modulius orientuojant į pietvakarius

a) be šešėlių; b) su šešėliais

Šaltinis: sudaryta autorių

Medžių šešėlis daugiausia veikia saulės modulių energijos gamybą ryte ir vakare, kai saulė yra žemame dangaus taške, užstodamas tiesioginius spindulius ir lėtindamas gamybos pradžią arba spartindamas jos mažėjimą. Žiemą, kai saulės spindulių kampas mažesnis, šešėlio poveikis ryškesnis, o vasarą jis tampa minimalus. Nepaisant šio poveikio bendra metinė energijos gamyba sumažėja tik 1 proc., energijos nuostoliai sistemoje išlieka vienodi, o nuostoliai dėl aplinkos išauga 5 proc.

Išvados

1. Pietų kryptimi orientavus stogo šlaitą su saulės moduliais pasiekama didžiausia metinė energijos gamyba – 19 683 kWh/metus, specifinė gamyba – 994 kWh/kWp per metus ir aukščiausias našumas – 81,36 proc.
2. Mažiausias našumas yra orientuojant modulius šiaurės kryptimi – 73,86 proc. Tarpinės orientacijos užtikrina geresnę energijos gamybą nei šiaurinė, tačiau nusileidžia pietų kryptim: saulės modulių našumas rytų ir vakarų kryptimis siekia apie 79 proc.
3. Pietvakarių kryptimi orientuoti moduliai generuoja 19 166 kWh/metus, o įvertinus medžių šešėlius – 19 029 kWh/metus (skirtumas apie 0,7 proc.). Palyginti su efektyviausia pietų kryptimi, skirtumas siekia 3 proc. Medžių šešėlis turi didesnę poveikį energijos gamybai ryte ir vakare, kai saulė yra žemai. Modulių našumas pirmu atveju yra 81,05 proc., su šešėlių poveikiu – 80,78 proc. Lyginant šį rodiklį su geriausiu rezultatu (pietų kryptimi), našumo skirtumas siekia apie 1 proc.

Literatūra

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. *Viešųjų pastatų modernizavimo teisės aktų studija*. Vilnius, 2024 [interaktyvus] [žiūrėta 2024-01-08]. Prieiga per: [https://enmin.lrv.lt/public/canonical/1723620409/4982/Vie%C5%A1%C5%B3j%C5%B3%20pa%20stat%C5%B3%20modernizavimo%20teis%C4%97s%20akt%C5%B3%20studija%20\(1\).pdf](https://enmin.lrv.lt/public/canonical/1723620409/4982/Vie%C5%A1%C5%B3j%C5%B3%20pa%20stat%C5%B3%20modernizavimo%20teis%C4%97s%20akt%C5%B3%20studija%20(1).pdf)

2. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.01.02:2016 Pastatų energinio naudingumo projektavimas [interaktyvus] [žiūrėta 2025-01-06]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>
3. ZHANG, Sheng, et al. Renewable energy systems for building heating, cooling and electricity production with thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 165: 112560. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112560>
4. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. *Gaminančių vartotojų skaičius per 2024 m. išaugo 40 procentų* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-02]. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/gaminanciu-vartotoju-skaicius-per-2024-m-isaugo-40-procentu/>
5. LEINAUER, Christina, et al. Obstacles to demand response: Why industrial companies do not adapt their power consumption to volatile power generation. *Energy Policy*, 2022, 165: 112876. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112876>
6. LIETUVOS ENERGETIKOS AGENTŪRA. *Saulės elektrinių įrengimo kainos augo lėtai* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-02]. Prieiga per: <https://www.ena.lt/Naujiena/naujiena-moduliu-kainos-20230517/>
7. PVsyst SA. *Overview* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-02]. Prieiga per: <https://www.pvsyst.com/help/>
8. LIETUVOS ERDVINĖS INFORMACIJOS PORTALAS [interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-07]. Prieiga per: <https://www.geoportal.lt/map/>
9. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.01.12:2024 *Statybu klimatologija* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/60c1acd17f6311ef84ff9693ecd03ff5?jfwid=-4mbsyfsha>
10. DAIGINU. NAMŲ ZONA. *Klevas paprastasis (Acer Platanoides)* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-10]. Prieiga per: <https://www.daiginu.lt/acer-platanoides-norway-maple-15-html>

Modelling Optimal Use of Solar Modules in a Building Project

Summary

The article presents options for the layout of a hotel building on a plot of land, modelling the efficiency of solar modules on the roof. At the initial stage of the project, when there are no restrictions from territorial planning documents, it is possible to select the optimal roof structure as well as the building orientation in relation to the cardinal points to maximize the exploitation of the power of solar modules installed on the roof. The modelling is performed using the *PVsyst* universal software for the design, analysis and optimization of solar power plants. After analysing the building models in four cardinal directions, the chosen position of the building model is the roof slope with solar modules turned to the southwest (according to the results of the two most efficient directions) – the rotation angle is 39° clockwise from the south. Solar modules oriented in the southwest direction generate 19,166 kWh/year, and after considering the tree shadows – 19,029 kWh/year (a difference of about 0.7%). Compared to the most efficient southern direction, the difference is 3%.

Key words: lighting, solar module, renewable energy source.