

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**EKONOMIKOS IR VERSLO FAKULTETAS**

**Greta Savickienė**

**PASTATUOSE INTEGRUOTOS FOTOVOLTINĖS SISTEMOS GYVAVIMO  
CIKLO EKONOMINIS VERTINIMAS**

**MAGISTRO DARBAS**

**Darbo vadovas:** prof. dr. Valentinas Navickas

**KAUNAS, 2016**

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

**EKONOMIKOS IR VERSLO FAKULTETAS**

PASTATUOSE INTEGRUOTOS FOTOVOLTINĖS SISTEMOS GYVAVIMO  
CIKLO EKONOMINIS VERTINIMAS

**Verslo ekonomika M7156N21**

**MAGISTRO DARBAS**

**Darbą atliko**  
VMGLVE-5 Greta Savickienė  
2016-12-15

---

**Vadovas**

prof. dr. Valentinas Navickas  
2016-12-15

**Recenzentas**

prof. dr. Vaidas Gaidelys  
2016-12-15

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Ekonomikos ir verslo fakultetas

---

Greta Savickienė

---

Verslo ekonomika M7156N21

Baigiamojo magistro darbo „Pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos gyvavimo ciklo ekonominis vertinimas“

**AKADEMINIO SAŽNINGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m. gruodžio 15 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gretos Savickienės** baigiamasis magistro darbas tema „Pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos gyvavimo ciklo ekonominis vertinimas“ 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.

---

(vardas ir pavardė)

---

(parašas)

Savickienė, Greta. Study of Life Cycle Economic Assessment of Building Integrated Photovoltaics System. Master's Final Thesis in Business Economics / supervisor prof. dr. Valentinas Navickas. Department of Economics, the School of Economics and Business, Kaunas University of Technology.

Social Sciences: Economics

Key words: photovoltaic, building integrated photovoltaic, renewable energy, life cycle assessment, energy payback time.

Kaunas, 2017.

## SUMMARY

Nowadays renewable energy market is facing with a lot of challenges. There are even more disturbance when it considers Building Integrated Photovoltaic. Despite all that green energy is still very important and one of usually analysed topics. It is obvious that our future depends on renewable energy. That is why so many researches are developed and supported by EU government.

Building Integrated Photovoltaic is one of facade elements and usually it is the face of the building that is why the result of Building Integrated Photovoltaics have to make architects, engineers, designers and investors satisfied. The biggest problem of renewable energy evaluation is lack of assembling technical and economical data and represent it to investors. Investors want to know economic benefits, costs, payback time and only with this information they are making decisions: install photovoltaic system in their building or not. Usually payback time, cost-benefit analysis, modified internal rate of return as economic methods are used to evaluate risk of investment. Life cycle assessment is the only scientific way to assess the global impact of products or services on the environment. There are two indexes that can be evaluated by this type of assessment: energy payback time and CO<sub>2</sub> emission. Value of Building Integrated Photovoltaic system may be compared with indirect economic benefit or qualitative advantages and disadvantages, related with exterior of the building, social understanding and impact of visibility and environment. General costs of the system depends on manufacturing and operating and maintenance, repairing and changing are additional costs.

**The problem of the research** – how to make life cycle economic assessment of building integrated photovoltaic.

**The object of the research** – building integrated laminated glass with photovoltaics.

**The goal of the research** – execute life cycle economic assessment of building integrated laminated glass with photovoltaics.

This master degree consists of 76 pages, 7 tables, 24 figures.

# TURINYS

SUMMARY.....	3
ĮVADAS .....	8
1. ATSINAUJINANČIO ENERGIJOS ŠALTINIO – FOTOVOLTINĖS SISTEMOS – PROBLEMOS ANALIZĖ .....	10
1.1 Atsinaujinantys energijos šaltiniai ir jų gyvavimo ciklas.....	10
1.2. Modernūs fotovoltai: naujas pastato dizaino elementas .....	12
1.3. Fotovoltinių sistemų integravimas į pastatą .....	16
1.4. Pastatuose integruotų fotovoltų iššūkiai .....	18
2. TEORINIAI PASTATUOSE INTEGRUOTOS FOTOVOLTINĖS SISTEMOS VERTINIMO SPRENDIMAI .....	21
2.1. Ekonominė nauda ir kaštai .....	21
2.2. Pagrindiniai investiciniai vertinimo būdai.....	23
2.3. Gyvavimo ciklo ekonominis vertinimas.....	28
2.4. Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos nauda.....	30
2.5. Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos kaštai .....	39
2.6. Pastato nuosavybės teisės .....	44
3. FOTOVOLTINĖS SISTEMOS GYVAVIMO CIKLO EKONOMINIO VERTINIMO METODOLOGIJA .....	46
3.1. Vertinimo rodikliai .....	47
3.2. Gyvavimo ciklo vertinimo ribos.....	47
3.3. Apžvalginė analizė .....	48
3.4. Poveikio vertinimas .....	48
3.5. Aiškinimas (interpretacija) .....	49
4. ADMINISTRACINIAME PASTATE INTEGRUOTOS FOTOVOLTINĖS SISTEMOS GYVAVIMO CIKLO EKONOMINIO VERTINIMO REZULTATAI IR DISKUSIJA .....	50
4.1. Administracinio pastato su integruotais fotovoltais gyvavimo ciklo vertinimo duomenų analizė.....	51

4.2. Administracinio pastato, su integruota fotovoltine sistema, energijos atsipirkimo laikas, remiantis gyvavimo ciklo vertinimo metodu.....	58
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	68
LITERATŪRA .....	70

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 Pav. Stillwell Avenue traukinių stotis, New York (vidus) .....	13
2 Pav. Stillwell Avenue traukinių stotis, New York (laukas).....	14
3 Pav. Pastatuose integruotų fotovoltų daugiafunkcinis panaudojimas .....	15
4 Pav. Dažniausiai naudojamas 50W modulis.....	17
5 Pav. Į pastatus integruotos fotovoltinės sistemos (fotovoltai-pastato dalis).....	18
6 Pav. Gyvavimo ciklo vertinimo schema.....	29
7 Pav. Lugano Suglio pastatas su integruota fotovoltine sistema fasade .....	36
8 Pav. Fasado apdailos medžiagų numatomos išlaidos .....	41
9 Pav. Fotovoltinės sistemos gyvavimo ciklo vertinimo ribos.....	48
10 Pav. Vertinamo administracinio pastato su integruotais fotovoltais fasadas.....	50
11 Pav. Laminuoto stiklo pjūvis .....	52
12 Pav. Fotovolto modulis.....	53
13 Pav. Saulės prinduliavimo pasaulio žemėlapis.....	55
14 Pav. Ant stogo sumontuota oro sąlygų perdavimo stotis.....	55
15 Pav. Pradinės įdiegtos fotovoltinės sistemos nuvertėjimo tempas .....	57
16 Pav. Sudaužyti, perdirbimui paruošti fotovoltai.....	58
17 Pav. Fotovoltuose naudoto stiklo smulkinimas .....	58
18 Pav. Fotovoltinės sistemos duomenų vedimo schema į PVSyst programą .....	60
19Pav. Simuliacijos skaidymo į grupes schema.....	60
20 Pav. Modulių veikimas saulėtą dieną .....	61
21 Pav. Modulių veikimas apsiniaukusią dieną.....	61
22 Pav. Sugeneruotos energijos kiekis per gyvavimo ciklą .....	62
23 Pav. Simuliacijos rezultati iš prgramos PVSyst V6.4.1 .....	63
24 Pav. Fotovoltinės sistemos sugeneruotos energijos ir kompresuotos anglies oksido kiekio palyginimas.....	64

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos rinka: vidutinė kaina už vatą .....	19
2 lentelė. Minimalūs vertinimo kriterijai .....	28
3 lentelė. Neenergetinės naudos suvestinė, kuri gali pridėti vertės pastatuose integruotai fotovoltinei sistemai .....	31
4 lentelė. Detalūs administracinio pastato duomenys .....	51
5 lentelė. Fotovoltinę sistemą sudarančių medžiagų gyvavimo laikas .....	54
6 lentelė. Gyvavimo ciklo ribų parinkimas .....	59
7 lentelė. Fotovolto-pastato dallies techninės charakteristikos .....	66



## IVADAS

Šių dienų atsinaujinančių energijos šaltinių rinka, atrodo, susiduria su daugiau iššūkių nei sprendimų. Nors visuomenė yra susidomėjusi ir sparčiai įsitraukia į atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimą, vis dar trūksta informacijos ir lengvesnio inovacijų įdiegimo kasdienėje veikloje. Todėl ši sritis yra labai stipriai remiama Europos Sąjungos vyriausybės.

Europos energetikos portfelio diversifikavimas padarė didžiulę įtaką technologijų vystymuisi siekiant sumažinti šiltnamio dujų emisiją bei energetinę priklausomybę nuo senkančių gamtinių išteklių ar didžiųjų monopolininkų. Mokslininkai kasdien atranda naujų būdų kaip „įdarbinti“ vėją, saulę ar po žeme esančią energiją. Pasinaudodami šiais išradimais žmonės ne tik tausoja aplinką, bet ir pretenduoja į kompensacijas iš specialių Europos Sąjungos paramos fondų.

Vienas iš atsinaujinančių energijos šaltinių yra saulės baterijos. Tai prietaisai, saulės išspinduliuotą energiją tiesiogiai verčiantys į elektros energiją, o elemento viduje sukauptą energiją vėliau atiduodama į elektros tinklus. Saulės baterijos atlieka labai svarbų vaidmenį ir statybos sektoriuje. Jas lengvai galima įmontuoti ant stogo ar pastato fasade.

Šių dienų architektai projektuoja pastatus, kurie griauna visus stereotipus, taip priversdami technikos inžinierius pasukti galvas kaip tai įgyvendinti. Administracinio pastato fasadas turi atitikti statybos techniniame reglamente nurodytus parametrus. Vienas iš jų yra saulės energijos ir šviesos pralaidumo faktorius. Norint išvengti perkaitimo, išpildyti architekto viziją ar tiesiog atnaujinti pastatą neardant senojo pastato sienų, galima jį uždengti antriniu fasadu. Šiam tikslui pasiekti naudojami du sulaminuoti stiklai.

Dabartiniai saulės elementai yra sukurti tik vienam tikslui: kaupti energiją, todėl jokio estetinio vaizdo jie nekuria. Tačiau visą tai būtų galima pakeisti sujungus dvi skirtingas sritis: fotoelementų gamybą ir stiklo apdirbimo pramonę į vieną inovacinį gaminį – fotovoltinį stiklą.

**Tyrimo problema** – kaip atlikti pastatuose integruotų stiklo laminatų su fotovoltais gyvavimo ciklo ekonominį vertinimą.

**Tyrimo objektas** – pastatuose integruoti stiklo laminatai su fotovoltais.

**Darbo tikslas** – atlikti pastatuose integruotų stiklo laminatų su fotovoltais gyvavimo ciklo ekonominį vertinimą.

**Darbo uždaviniai:**

1. atskleisti inovacinės idėjos stiklo laminatai su fotovoltais pastatuose aktualumą.
2. apibūdinti pagrindinius ekonominius metodus tinkamus pastatuose integruotai fotovoltinei sistemai vertinti.
3. aprašyti pastate integruotos fotovoltinės sistemos gyvavimo ciklo vertinimą, kaip mokslinio tyrimo metodą.

4. įvertinti realaus administracinio pastato su integruota fotovoline sistema gyvavimo ciklą.

Rengiant magistro darbą buvo analizuojami įvairūs moksliniai ir publicistiniai straipsniai, renkama bei sisteminama skirtingo pobūdžio informacija.

**Tyrimo metodai:**

1. mokslinės literatūros sisteminė analizė
2. lyginamoji statistinių duomenų analizė
3. gyvavimo ciklo vertinimo analizė

## 1. ATSINAUJINANČIO ENERGIJOS ŠALTINIO – FOTOVOLTINĖS SISTEMOS – PROBLEMOS ANALIZĖ

Anot Girnienės (2013), inovacija – tai sėkmingas naujų produktų, metodų, procesų pritaikymas išlaikant rinkoje esantį konkurencingumą. Jakubavičiaus (2003) teigimu, inovacijos – tai funkcinė iš esmės pažangi naujovė, orientuota į seno pakeitimą nauju. Bendrąja prasme inovacijos gali būti suvokiamos veikla, kurios metu tobulinami ar kuriami nauji produktai, procesai.

Energija yra labai svarbi kiekvieno žmogaus kasdieniame gyvenime. Ją naudojant galima gaminti maistą, važinėti automobiliais, šildyti pastatus. Energijos poreikis kasdien vis labiau auga, o visiems įprasti energijos šaltiniai senka, jų išgavimo būdai vis labiau teršia aplinką.

Energijos šaltinius galima paprastai išskaidyti į neatsinaujinančius ir atsinaujinančius. Nuo pat pramonės perversmo, kai pradėta iškastinio kuro gavyba, žmonės buvo įpratę energijos gamybai naudoti anglis, naftą ar gamtines dujas, tačiau šių medžiagų kiekiai senka. Nepaisant to, deginant šiuos energijos šaltinius į aplinką išskiriami teršalai, tokie kaip anglies dvideginis, azoto ir sieros oksidai. Nuolatinis šių teršalų išskyrimas ardo ozono sluoksnį ir daro įtaką klimato pokyčiams.

Atsinaujinantys energijos šaltiniai yra tokie išteklių, kurių atsinaujinimą nulemia gamtos veiksniai: saulė, vėjas, jūros bangavimas, upės tekėjimas, geoterminė bei biomasės energija. Šių šaltinių panaudojimas ar gavyba nekenkia aplinkai, netgi priešingai, prisideda prie klimato pokyčių stabilizavimo. Elektros gamyboje atsinaujinantys energijos išteklių sudaro 19 %, iš kurių 16 % sudaro hidroelektrinėse gaunama energija.

### 1.1 Atsinaujinantys energijos šaltiniai ir jų gyvavimo ciklas

Saulės energijos ekonominis potencialas vidutinėje perspektyvoje gali būti panaudojamas vandeniui kaitinti (0,5 TWh), pasyviems pastatams šildyti (1,25 TWh) ir žemės ūkio produktams džiovinti (0,8 TWh) (Radhi, 2012). Žiūrint į ilgalaikę perspektyvą, saulės energija, pasitelkiant saulės baterijas, gali būti naudojama centriniam pastatų šildymui vasaros mėnesiais, o fotovoltų sistemos turėtų tobulėti ir užimti labai svarbų vaidmenį elektros energijos gamyboje.

2008–2009 metais įvykusi ekonomikos krizė buvo kelių faktorių rezultatas, kurie susiję su neramumais finansų rinkoje, ribotais kreditų paėmimais, kylančiu nedarbu ir turto devalvacija. Šitoje situacijoje energijos išteklių, ypač naftos ir dujų, kainų vystymasis, ypač naftos ir dujų, parodė, kad ribotų išteklių problema yra didesnė už energijos paklausą (Shi, Koh, Baldwin & Cucchiella, 2012). 2009-ųjų sausį Europos Parlamentas patvirtino klimato kaitos paketą: programos tikslas yra įgyvendinti „20/20/20“ išskeltus tikslus iki 2020-ųjų metų: 20 % sumažinti šiltnamio

efektą sukeliančių dujų emisiją su 20 % energijos sutaupymu ir 20 % padidinti atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą energijos gamybai.

Norint įgyvendinti šiuos užsibrėžtus tikslus, žmonės turėtų vadovautis žaliaja ekonomika, kuri reikalingą energiją, gaunamą iš iškastinio kuro, pakeičia į atsinaujinančiais energijos šaltiniais gaunamą energiją. Tokių atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimas yra susietas su didesnio efektyvumo lygiu, iš kurio galima pasiekti dar didesnę energijos sutaupymą (Cucchiella & D'Adamo, 2013). Šviečiant piliečius apie energijos išsaugojimo politiką ir mažinant tradicinių energijos šaltinių panaudojimą, galima apibrėžti veiksmingą skatinimo politiką, kuri leistų sumažinti arba apskritai pašalinti elektros išlaidų sąskaitas ir duotų pakankamą pelną nekenkiant aplinkai (O'Driscoll & O'Donnell, 2013).

Lietuvoje 2016 metais išduotiems leidimams statyti individualų namą galioja nauji reikalavimai. Jie turi atitikti A energetinio efektyvumo klasę. Tai reiškia, kad naujo pastato vienas kvadratinis metras per metus turi sunaudoti energijos mažiau nei 46,5 kWh. Nuo 2020 metų visi naujai statomi visuomeniniai pastatai, o nuo 2021 metų komerciniai ir gyvenamieji, turi pasiekti beveik nulinių energijos naudojimo efektyvumą, t. y. pasiekti A++ klasę (25,7 kWh/m<sup>2</sup>) (<http://www.lsea.lt/>). Iki 2016 metų pradžios Lietuvoje tokių, aukštą energetinį efektyvumą turinčių namų buvo įregistruota apie 50. Tam, kad pastatas atitiktų šiuos keliamus reikalavimus, dalį energijos jam būtina gauti iš atsinaujinančių energijos šaltinių – vėjo, geoterminės energijos ar saulės.

Pastato patalpoms šildyti naudojami saulės kolektoriai, tiekiantys karštą vandenį į bendrą šildymo sistemą. Dažniausiai jie statomi ant pastato stogo ir pasukami į pietų pusę. Saulės kolektorius ir pastato stogas sudaro atitinkamą kampą, taip sudaromos sąlygos sukaupti didžiausią energijos kiekį (Brun, Fatnassi, Poncet & Muller, 2010). Saulės šilumos energiją galima naudoti ir pasyviai. Ji kaupiama pastato sienose įmontuojant stiklo elementus, kurie dienos metu sugeria šilumą, o naktį ją išlaiko. Elektros energija iš saulės gaminama naudojant fotoelementus. Tai įrengimai, kurie saulei šviečiant ar netgi esant debesuotai dienai, gamina elektros energiją.

Pagrindiniai saulės, kaip atsinaujinančio energijos šaltinio, trūkumai yra tai, kad ji priklauso nuo oro sąlygų, paros ir metų laiko, o naujai kuriamos technologijos vis dar yra labai brangios ir ne tokios efektyvios kaip norėtusi. Dėl šių priežasčių būtina diegti inovacijas ir didinti fotoelektros dalį elektros energijos gamyboje, nes tinkamai panaudojus saulės energiją šildymo išlaidas būtų galima sumažinti 20 %.

Energijos gamyba ir vartojimas išskiria teršalus į orą, vandenį, dirvožemį, kurių poveikis turi būti sumažintas kaip įmanoma labiau. Kova su klimato kaita yra viena iš penkių pagrindinių plataus masto Europos 2020 politikos temų, Europos įstatymai skatina Europos Sąjungos nares jungtis į saugią, tvarią ir konkurencingą energijos rinką, skatinant inovacijas švariose technologijose, tokiose kaip atsinaujinanti energija ir energijos efektyvumas. Energijos tiekimo sektorius 2011 metais buvo

atsakingas už 33 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos visose 28 Europos Sąjungos valstybėse (Georgakellos & Didaskalou, 2014). Atsižvelgiant į tai, kad anglies dioksido koncentracija pasauliniu mastu padidėjo 40 % lyginant su priešpramoniniais laikais, visų pirma nuo iškastinio kuro emisijos bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų neįvertinimo pirminiu laikotarpiu (Stocker ir kt., 2014). Energijos paslaugos ir šaltiniai bus stipriai paveikti klimato kaitos. Jie tiesiogiai paveiks infrastruktūrą ir transportą.

Vis dėlto, kai yra lyginamos skirtingų variantų aplinkosaugos problemos, užimančios panašias funkcijas, yra labai svarbu apsvarstyti visą gyvavimo ciklą, o ne tik fazę, pavyzdžiui, gamybą ar naudojimą. Taip yra todėl, kad aplinkosaugos poveikis ir nauda gali pasirodyti skirtingose gyvavimo ciklo fazėse. Pati svarbiausia fazė gali nebūti ta pati, kurioje du variantai yra lyginami. Taigi gyvavimo ciklo požiūris yra reikalingas, o dar tiksliau, gyvavimo ciklo metodas turėtų būti naudojama vertinant tokį produktą. Gyvavimo ciklo vertinimas yra mokslinis metodas, susijęs su šiuolaikine aplinkosaugos politika ir verslo sprendimų parama, kuriančia tvarų vartojimą ir gamybą. Konkrečiai, gyvavimo ciklo analizė yra metodas skirtas vertinti aplinkos poveikį, susijusį su produktu, procesu ar veikla per jo gyvavimo ciklą, identifikuojant ir apibūdinant kiekybiškai ir kokybiškai jam reikalingą energiją ir medžiagas, taip pat emisiją ir atliekų išmetimą į aplinką.

## **1.2. Modernūs fotovoltai: naujas pastato dizaino elementas**

Fotovoltai (FV) yra saulės energijos technologija – kuri saulės elementų (saulės fotovoltų matrica) pagalba konvertuoja energiją į elektrą. Vieno saulės elemento išėigos nepakanka visiškai aprūpinti elektra, todėl jos yra grupuojamos į fotovoltinius modulius, geriau žinomus kaip saulės elementus.

Šie elementai gali būti montuojami ant stogo, integruoti į pastatą ar tiesiog naudojami kaip atsarginis energijos šaltinis (Redweik, Catita & Brito, 2013). Nors ši sistema negali kaina konkuruoti su tradiciniais energijos šaltiniais, saulės moduliai yra patrauklūs tuo, kad kaupdami energiją neteršia gamtos. Dėl technologijų pažangos ir sumažėjusių gamybos sąnaudų bei dosnaus vyriausybės subsidijavimo, fotovoltų rinka smarkiai išaugo ir išsiplėtė po visą pasaulį, ypač suklestėdama JAV, Europoje ir Japonijoje. Fotovoltiniai elementai pasauliniu mastu kasmet auga apie 30-45 % nuo 2000-ųjų metų (1 GW) ir šis augimas prognozuojamas labai pozityviai – 140 GW 2030-aisiais (Zahedi, 2006).

Fotovoltų sistema gali būti išskirstoma į pajungtą į tinklą ir nepajungtą. Nepajungta į tinklą sistema tinkama gyvenamiesiems arba komerciniams pastatams, kurie yra toli nuo elektros tinklo ir kaupia energiją baterijoje, kuri išlaiko balansą tarp elektros tiekimo pasiūlos ir paklausos. Kitu atveju, į tinklą pajungta sistema gali elektros perteklių iš komunalinių tinklų pristatyti atgal į tinklą (Zahedi, 2006). Todėl, kad nereikia baterijos, antroji sistema yra pigesnė palyginus su pirmąja. Nors

pradžioje netinklinė sistema fotovoltų rinkoje buvo dominuojanti, tačiau tinklinė sistema stipriai išaugo ir 1998-aisiais pralenkė netinklinę sistemą daugiausiai dėl to, kad smarkiai išaugo fotovoltinės elektros supirkimo kaina.

Fotovoltinio elemento efektyvumas sumažėja dėl padidintos temperatūros, kuri lemia didesnę atsparumą. Norint išspręsti šią problemą ir ją panaudoti kitaip, buvo sukurta šilumos fotovoltinė sistema. Šioje sistemoje karštis yra paimamas iš šiluminės sistemos dalies išlaikant mažesnę temperatūrą ir taip sumažinant atsparumą. Kai tokia sistema yra įmontuojama į pastato fasadą, ji vadinama pastate integruotų fotovoltų šilumine sistema (Floater, Rode, Robert, Kennedy, Hoornweg, Slavcheva & Godfrey, 2014).

Moderni fotovoltų technologija transformuoja pastatus iš energijos naudotojų į energijos gamintojus. Anksčiau buvo žinoma fotovoltų instaliacijos sąvoka – saulės kolektorius ant pastato stogo. Dabar, kai mokslas, statybos sektorius ir fotovoltų gamintojai susivienijo, matomas aiškus rezultatas – pastatuose integruota fotovoltinė sistema. Ši architektūrinė, struktūrinė ir estetinė fotovoltų integracija leidžia įtraukti energijos gamybą į kasdienes pastatus, tokius kaip namai, mokyklos, administraciniai pastatai, ligoninės ir kitokio tipo pastatai.

Pagal šį metodą, fotovoltų moduliai tampa tikrais struktūriniais pastato elementais, tarnaujančiais kaip pastato išorinis atitvaras, toks kaip stogas, fasadas ar stoglangis, tuo pačiu metu suteikdamas apsaugą, estetinį vaizdą ir elektros tiekimą. 1 ir 2 paveiksluose parodytas Niujorko Stillwell Avenue traukinių stotis, kurioje stiklo ir metalo konstrukcijos „dirba“ kaip blokinė statybos sistema. Plonasluoksnė fotovoltinė plokštelė įlaminuota tarp dviejų stiklo lakštų supakuojama ir įstiklinama į metalo konstrukciją, kuri sugeneruoja 250 kWp sudarydama tinkamą balansą tarp pastogės (šešėlio), dienos šviesos ir elektros energijos gamybos.



**1 Pav. Stillwell Avenue traukinių stotis, New York (vidus)**

Šaltinis: Pagliaro, Ciriminna & Palmisano. (2010) BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry.



**2 Pav. Stillwell Avenue traukinių stotis, New York (laukas)**

Šaltinis: Pagliaro, Ciriminna & Palmisano. (2010) BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry.

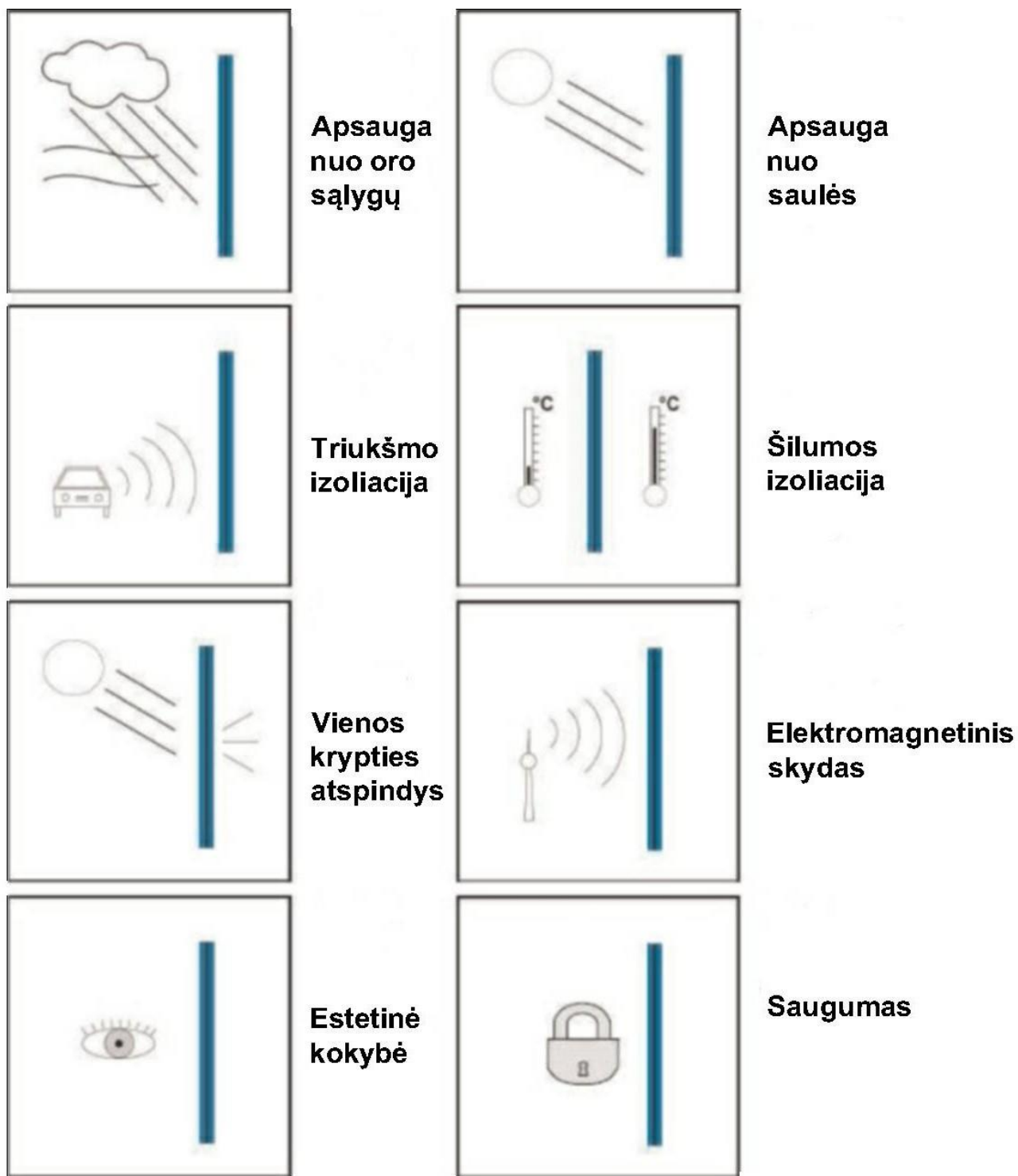
Ši sąvoka yra bendra. Pastatuose integruoti fotovoltai yra daugiafunkcinė technologija, kuri iš tiesų yra naudojama keliems tikslams, neskaitant elektros gamybos, ji dar naudojama apsaugoti nuo netinkamo oro, šilumos izoliacijai, triukšmui mažinti ir dienos šviesai reguliuoti (3 pav.).

Visa tai tapo įmanoma dėl greitos fotovoltų technologijos pažangos, kuri išsivystė iš kietų, standartinių, vienodo storio saulės kolektorių į didžiulę saulės modulių įvairovę. Darbar jie gali būti standūs arba lanksčių formų, nepermatomi ar pusiau skaidrūs, vienspalviai ar skirtingų spalvų. Turėdami tokią įvairovę šių dienų dizaineriai gali išplėsti tradicinės architektūros ribas ir transformuoti pastatus į energiją gaminančias jėgaines.

Sėkmingas fotovoltų įvedimas į statybų pramonę reikalauja funkcinės ir estetinės simbiozės su finansiniais apribojimais. Kai šis simbiozės požiūris bus visiškai pasiektas, o fotovoltų modulių kaina nukris, pastatuose integruotų fotovoltų potencialas bus realizuotas. Iš tikrųjų net esant mažam 5 % fotovoltų efektyvumui, yra 23 mlrd. kvadratinų metrų stogų ir fasadų 14-oje valstybių, kuriose yra tinkama saulės padėtis ir galima sugeneruoti apie 1000 GWp energijos, tai atitinka 1000 atominių elektrinių galią (Pagliaro, Ciriminna & Palmisano, 2010).

2005 metai Hagemann tvirtino, kad problemų projektuojant saulės modulius buvo daugiausiai dėl didelės informacijos tarp tyrimų rezultatų ir praktinių žinių spragos (Hagemann, 2005). Per praėjusius metus, buvo realizuoti keli sėkmingi pastatuose integruotų fotovoltų projektai, parodantys, kaip kūrybingai gali būti integruota fotovoltinė sistema į pastatą ir šiuo metu egzistuojantį kraštovaizdį Europoje. „Sunrise“ projektas buvo įsteigtas Europos Sąjungos, siekiant palengvinti ir pagreitinti fotovoltinės sistemos integraciją į pastatus standartizuojant ir harmonizuojant fotovoltinius komponentus ir tokiu būdu įtraukiant visus suinteresuotuosius

subjektus nesančius faktinėje fotovoltų tiekimo sistemos grandinėje, tokius kaip statybos kompanijos ir komunalinės įmonės.



**3 Pav. Pastatuose integruotų fotovoltų daugiafunkcinis panaudojimas**

Šaltinis: Pagliaro, Ciriminna & Palmisano. (2010) BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry.



### 1.3. Fotovoltinių sistemų integravimas į pastatą

Fotovoltinės sistemos gali būti integruojamos į skirtingas pastato atitvaras. Dažniausiai naudojamas stiklas, kaip substratas saulės baterijai. Stiklas iš tiesų yra puiki statybinė medžiaga, kuri šiandieninėje statybų rinkoje išvygėna atgimimą. Pavyzdžiui, stiklą galima panaudoti beveik 100% pastato fasado, įskaitant ir savaime nusivalančius stiklus įmontuotus į fotovoltinį modulį, kurie padeda išlaikyti juo švarius nuo dulkių ir pagerinti fotovoltų efektyvumą.

#### 1.3.1. Stogas

Šlaitinis stogas gali būti pakeistas fotovoltiniais lakštais, o plokštūs stogai gali būti uždengti arba prisitaikančiais plonasluoksniais moduliais be statinių problemų, arba naujos kartos silicio pagrindo moduliais, kurie neturi rėmų. Viena pirmųjų pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos jėgainių buvo įrengta Vatikane ant Pauliaus IV salės stogo.

#### 1.3.2. Langai ir pusiau permatomi fasadai

Pusiau permatomas fotovoltinis stiklas gali gaminti elektrą taip pat gerai kaip ir mažinti ultravioletinių ir infraraudonųjų spindulių radiaciją. Tokie stiklai su įvairiomis parinktimis yra lengvai pritaikomi prie dizaino, oro ir klimato sąlygų bei pastato reikalavimų, ir dažniausiai yra pagaminti iš stiklo su fotovoltais laminatų, kurie gali būti taikomi pusiau permatomies fasadams. Skaidrumas dažniausiai yra pasiekiamas dėl fotovoltinių elementų, kurios yra labai plonos ir su grioveliais, tad galima lengvai matyti per jas. Kitas variantas – kristalinės saulės baterijos yra patalpinamos laminatė taip, kad dalis dienos šviesos įeina per fotovoltinį modulį ir apšviečia patalpą. Saulės šviesai skirtingu dienos metu einant per fasade įrengtą sistemą, pastate gaunami nuolat besikeičiantys šviesos efektai, šešėliai, kurie žavi architektus, darbuotojus ir padaro pastatą unikalų.

Pridėjus specifinį plėvelės sluoksnį tarp stiklų ir fotovoltų, pusiau skaidrus fasadas gauna dar ir akustinę ar šiluminę izoliaciją. Tokios fotovoltinių modulių sistemos yra daugiafunkciniai pastato elementai.

Turint visiškai skaidrą fasadą tokios pastato dalys kaip perdangos turi būti uždengtos, todėl šiose vietose labiausiai tinka saulės moduliai. Tipinis 50W modulis (4 pav.) įremitas juodame anoduotame aliuminio rėme ir yra 1,26m ilgio bei 0,658m pločio, bet tik 0,03m storio, o sveria apie 13,6kg.



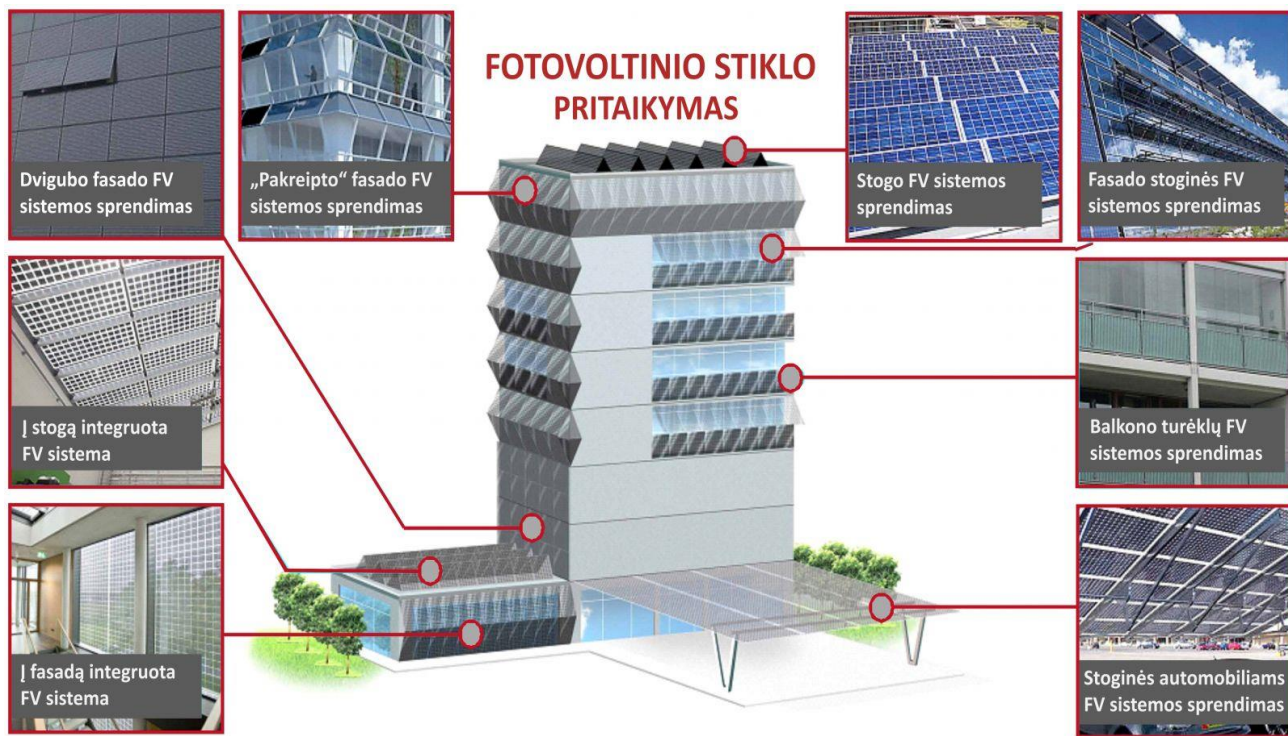
**4 Pav. Dažniausiai naudojamas 50W modulis**

Šaltinis: <http://www.viasolis.eu/lt/>.

### 1.3.3. Stoglangiai ir šešėliavimo sistemos

Vienas iš plačiausiai naudojamų pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos sprendimų yra stoglangiai. Jie apima šviesos sklaidos privalumus pastatant nekliudomus paviršius fotovoltų modulių ar laminatų montavimui. Naudojant šį sprendimą, fotovoltiniai elementai tiekia ne tik elektrą bet ir šviesą į pastatą. Fotovoltiniai moduliai ir atraminės konstrukcijos naudojamos šiuo atveju yra labai panašios į tas, kurios naudojamos pusiau permatomuose fasaduose. Ši struktūra apšviečia praėjimus ir grindis taip sukurdamą architektūrinį šviesos ir šešėlių dizainą. Jeigu stogas yra lenktas, kiekvienas modulis turibūti įdėtas į specialiai išlenktą metalinį rėmą.

Tokio pastato viduje sukurtas mikroklimatas nėra veikiamas vėjo ar lietaus, todėl leidžia pasipelnyti iš ištisus metus veikiančios poilsio erdvės. Stiklo elementai su ar be fotovoltų modulių pakreipti  $5^\circ$  laipsnių kampu į pietus yra naudojami stikliniuose stoguose. Toks modulių išdėstymas leidžia geriau apšviesti atriumo erdvę. Fotovoltiniai moduliai yra daugiaviečiai, nes sudaro šešėlį, įleidžia dienos šviesą ir gamina elektrą. Vakarinis fasadas yra padengiamas 30 % su monokristaliniais moduliais, kurie paviršiuje riboja šviesą ir neleidžia perkaisti.



5 Pav. Į pastatus integruotos fotovoltinės sistemos (fotovoltai-pastato dalis)

Šaltinis: <http://www.viasolis.eu/lt/>.

#### 1.4. Pastatuose integruotų fotovoltų iššūkiai

Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos privalumai yra aiškūs, kai tik kainos nukris dėl greitos plonasluoksniai saulės elementai technologijos evoliucijos, pastatuose integruotų fotovoltų sistemos rinka greitai išaugs. Integruota fotovoltų sistema labai patikima ilgalaikėje perspektyvoje (vidutiniškai garantinis laikotarpis 20-25 metai), beveik nereikalaujanti priežiūros ir ne taip kaip kitos statybinės medžiagos, jos dar gamina energiją ir negana to, leidžia pastato savininkui atgauti pradines investicines išlaidas per vidutiniškai 10 metų, kai valstybės mokesčiai nekinta. Vėliau, metinė investicijų grąža yra apytiksliai 7% pradinės investicijos (Garcia-Sanchez, Gomez-Lazaro & Molina-Garcia, 2015).

Aukštos pastatuose integruotoso fotovoltinės sistemos kainos (žr. 1. lentelė) išlieka pagrindiniu uždaviniu, todėl sistemos vystymuisi ir kainų mažinimui yra būtina valstybės parama (subsидijos ar mokesčių lengvatos). Vidutinė gyvenamojo namo instaliacija yra 3 kW galingumo, esant vidutinei kainai maždaug 8 Eur/W, bendra kaina už individualią sistemą ir jos integraciją siekia apie 24000 Eur (Motuziene & Valancius, 2015).

Dėl šios priežasties, dauguma valstybių, tokių kaip Prancūzija ir Italija, suteikė aukščiausius supirkimo tarifus elektrai, pagamintai iš pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos, kuri padeda tiems, kurie nori gauti banko paskolas ir investuoti į integruotąsias fotovoltines sistemas.

Dėl aukštos pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos kainos (palyginus su normaliomis fotovoltinėmis sistemomis) iki šiol vienintelis segmentas, kuris pasirinko brangesnę sistemą negu įrengtą ant stogo, yra dideli prestižiniai projektai, kurie yra linkę būti labai individualūs, todėl naudoja labai specializuotus modulius. Individualios pastatuose integruotos sistemos kaina gali svyruoti nuo 40 Eur/W ir tai priklauso ne tik nuo saulės fotovoltinių modulių (ir keitiklių) kainos, kuri sudaro apie 60 % visos sistemos kainos, bet ir nuo likusių 40%, į kuriuos įtraukta įrengimo, projektavimo, stiklinimo, vandens apsaugos ir virinimo kaina (bendrai jie vadinami sistemos balansu (Balance of System – BOS)). Didžiausia pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos kainos dalis atitenka moduliui (73 %) ir keitikliui (8 %). Tai reiškia, kad rinkos dauguma už pastatuose integruotas fotovoltines sistemas atitenta modulių gamintojams, o mažoji keitiklių gamintojams ir sistemos diegėjams bei projektuotojams.

**1 lentelė. Pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos rinka: vidutinė kaina už vatą**

	Modulis (Eur/W)	Keitiklis (Eur/W)	Komponentų kaina (Eur/W)	BOS kaina (% nuo bendros sumos)	Bendra sistemos kaina (Eur/W)
Kainų diapazonas	1,5-33	0,6-3	2,1-36	6-40	2.2-50
Vidutinė kaina	4,3	0,7	5	11	5,55

Šaltinis: Pagliaro, Ciriminna & Palmisano (2010)

Pastatui reikia trijų energijos formų: šilumos, vėdinimo ir elektros. Ilgainiui visos šios trys energijos formos bus gaminamos pasitelkiant saulės energiją ir pastatai taps nebe energijos vartotojais, o energijos gamintojai. Saulės energija šildomi fasadai ir šiluminiais saulės kolektoriais uždenkti stogai ties šilumą vandens pašildymui ir pagal poreikį patalpų šildymui; o tuo tarpu pastatuose integruota fotovoltinė sistema ties pastatui reikalingos galios elektrą, įskaitant reikalingą gryną orą vasarą. Fotovoltų sistema gali papildomai prisidėti prie pastato vertės, nes visos su energija susijusios pastato funkcijos, pavyzdžiui, energijos suvartojimo charakteristikos, vaidina labai svarbų vaidmenį pastato vertės nustatyme. Būtina pašalinti kliūtis susijusias su pastatuose integruotomis fotovoltų sistemomis šviečiant žmones ir demonstruojant bei didinant ekonominio gyvybingumo investicijų infomatyvumą šiame sektoriuje. Taip pat reikia padrąsinti gamintojus gaminti fotovoltinius produktus, kurie yra lengviau integruojami į pastatą.

Staybų kompanijų siekiamybė pasinaudoti šia kylančia ir jaudinančia technologija yra aiški: susitiprinta jų pastatų ekonominė vertė kylanti dėl daug geresnių energetinių ir funkcinių savybių bei susitiprinto vaizdinio aspekto. Pagrindinė problema, nagrinėjant Europos projektus, yra išaugusi naujų pastatų kaina, tačiau nėra paaiškinimo vartotojui, kiek tai bus naudinga jam pačiam.

Esminis regionų skirtumas – degalų prieinamumas. Degalai naudojami elektros gamybai, taip pat statybose, šildymo / vėdinimo įrangose ir prietaisų charakteristikose. Šalys, kurios neišgauna degalų, bet turi tinkamas klimato sąlygas, yra labiau pažengusios ir išvysčiusios fotovotinių sistemų technologijas. Todėl yra būtina atlikti išsamų tyrimą ir analizę, nustatyti galimas politikos priemones ir strategiją, susijusią su saulės technologijomis įvairiuose regionuose, siekiant įgyvendinti nustatytus įsipareigojimus, sumažinti energijos sunaudojimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją.

## 2. TEORINIAI PASTATUOSE INTEGRUOTOS FOTOVOLTINĖS SISTEMOS VERTINIMO SPRENDIMAI

Tradiciškai, elektros paslaugos pastatams yra tiekiamos išanksto nustatytų tiekėjų, paslaugų įmonių. Restruktūrizuojant elektros pramonę ir sėkmingai besivystant pastatuose integruotoms fotovoltų sistemoms, pastatų savininkams iškilo dilema: ar fotovoltų integravimas yra vertas jam reikalingų investicijų?

Pastatuose integruotų fotovoltų sistema atlieka daugiafunkcinį vaidmenį pastatuose: generuoja energiją ir atlieka pastato atitvarų funkcijas. Šio darbo tikslas identifikuoti ekonominius pastatuose integruotų fotovoltų parametrus.

Pirmiausia identifikuojami pagrindiniai ekonominiai pastatuose integruotų fotovoltų vertinimo metodai. Didžiausias atsinaujinančios energijos vertinimo trūkumas yra techninių ir finansinių duomenų surinkimas ir pristatymas investitoriams apibūdinant pastatuose integruotų fotovoltų sistemos ekonominę naudą. Investavimo vertinimo ekonominiai metodai, tokie kaip, atsipirkimo laikas, išlaidų – naudos analizė, modifikuota vidinė gražos norma (AIRR), gyvavimo ciklo sąnaudų (LCC) analizės yra pristatomi. Pastato savininkais, gyventojais, investitorias ir vytytojais paremta jautrumo analizė taip pat yra apsvartoma.

Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos privalumai daro teigiamą įtaką sprendimo priėmimo procesui. Šie privalumai kyla iš tokių veiksnių kaip energijos sąnaudų taupymas, pajamos iš energijos tiekimo, padidinta energijos kokybė ir patikimumas, sumažintos statybų išlaidos, aplinkos taršos mažinimas, nuomos padidinimas, mokesčių grąžinimas, nuolaidos ir kitos paskatos. Kai kurie iš šių privalumų gali būti identifikuoti, įvertinti pinigine išraiška ir įtraukti į ekonominės veiklos rezultatų apskaičiavimą (Bakos, Soursos & Tsagas, 2003).

Taip pat charakterizuojami pastatuose integruotų fotovoltų santykiniai kaštai pastato savininkams. Šiame darbe remtasi preliminariu tyrimu (Omer, Wilson ir Riffat, 2003), kuris parodo, kad gamintojų rinkodaros atstovai ir sistemos montuotojai pateikia labai skirtingas išlaidų sąmatas, taip pat pasiūlymuose gali būti paslėptų, netikėtų papildomų išlaidų, todėl reikalinga peržiūrėti 3-5 pardavėjų pasiūlymus prieš priimanč galutinį investicinį sprendimą.

### 2.1. Ekonominė nauda ir kaštai

Paprastai, dauguma architektų naudoja kiekybinės analizės formą, tokią kaip išlaidų – naudos analizę, atsipirkimo laiką ar vidinę gražos normą (IRR) kaip finansinį kriterijų vertinant pastato investicinį patrauklumą. Vis dėlto, pasak Amerikos architektų atliktos apklausos, vis dar yra daugybė kliūčių investuojant į pastatuose integruotų fotovoltų sistemas. Šie architektai buvo apklausti seminare „Building Integrated Photovoltaics for Design Professionals“, kuris buvo remiamas Nacionalinės atsinaujinančių energijos šaltinių laboratorijos (NREL) ir Amerikos

architektūros instituto (Wenger & Eiffert, 1996). Dauguma respondentų pažymėjo, kad didžiausia kliūtis vertinant atsinaujinančių energijos šaltinių sistemas yra techninių ir finansinių duomenų surinkimas ir pristatymas. Tai padėtų nustatyti ir paaiškinti klientams, kokią ekonominę prasmę turi pastatuose integruotų fotovoltų sistemos.

Energetikos sistemos investiciniai vertinimai paprastai apima prognozuojamos naudos vertinimą palyginus su numatytomis sistemos išlaidomis. Tiesioginė pastatuose integruotų fotovoltų sistemos finansinė nauda pirmiausiai yra sugeneruotos energijos vertė (Hammond, Harajli, Jones & Winnett, 2012). Ši nauda ir tiesioginiai pastatuose integruotos fotovoltų sistemos ekonominiai kaštai gali būti žiūrimi kaip:

Prognozuojama nauda = Pagamintos energijos vertė

Numatytosios išlaidos = Kapitalo išlaidos + Periodinės išlaidos + Pakeitimo išlaidos

Kiekybinė analizė, atrodo labai paprastai, palengvina investicinių alternatyvų reitingavimą ir pasirinkimą (Bettink, 2014). Tačiau daugybė kitų veiksnių taip pat daro įtaką vertinimo palyginimui. Pastato savininkų ekonominiai lūkesčiai dėl ateities palūkanų normų, infliacijos ir degalų kainų daro tiesioginę įtaką investavimo sprendimams, ir gali paveikti komunalinius reikalavimus, aplinkosaugos teisę ir mokesčių lengvatas (Sharples & Radhi, 2013).

Adaptuojant fotovoltų technologijas ir panaudojant kaip pastato elementus, kaip pavyzdžiui pastatuose integruotas fotovoltų sistemas, jų ekonominiai kaštai ir nauda turi būti dalijama tarp gyventojų ir paslaugų įmonės. Pastato savininkams papildomos išlaidos įregiant ir naudojant sistemą, kuri generuoja elektros energiją, gali būti kompensuojamos išvengiant elektros energijos pirkimo iš elektros tinklų arba parduodant energijos perteklių paslaugų tiekimo įmonėms (Spanos & Duckers, 2004).

Taigi, gairės padėsiančios nustatyti pastatuose integruotų fotovoltų ekonominę vertę, gali būti panaudotos padėti nustatyti palūkanų procentus ir numatyti nešališką tarifą imant elektros energiją iš ar tiekiant ją į elektros tinklą. Tai gali būti vertinama kartu su architektūrine verte ir fotovoltų, kaip pastato dalies, eksploatacinių savybių lūkesčiais. Tuomet pastatuose integruotų fotovoltų sistemos vertė gali būti palyginamos su netiesiogine ekonomine nauda ar kokybiniais privalumais ir trūkumais, susijusiais su pastato išvazda, visuomenės suvokimu bei vizualiniu ir aplinkos poveikiais.

Šiame skyriuje identifikuojami investicijų analizės metodai ir paaiškinama, kaip jie gali būti naudojami vertinant pastatuose integruotą fotovoltinę sistemą. Didžiausia kliūtis analizuojant atsinaujinančios energijos šaltinių sistemas yra techninių ir finansinių duomenų surinkimas ir pristatymas ar pastatuose integruota fotovoltinė sistema apskritai turi kažkokią ekonominę naudą.

## 2.2. Pagrindiniai investiciniai vertinimo būdai

Penki svarbūs finansinio vertinimo ekonominiai metodai, kurie yra dažniausiai naudojami priimant pastatų investicinius sprendimus yra atsipirkimo analizė, grynosios naudos analizė, SIR, AIRR ir LCC analizės. Žemiau įvertinamas šių metodų naudingumas vertinant pastatuose integruotų fotovoltų ekonomiką.

Pajamų ir kaštų laikas yra pagrindinis ekonominės investicinės analizės sprendimas. Visose, net ir labiau netikėtose aplinkybėse, euras gautas dabar vertas daugiau nei euras gautas ateityje. Ši sąvoka, vadinama pinigų verte laike, turi svarbią reikšmę, kai yra vertinami investiciniai sprendimai. Norint išsiaiškinti pinigų vertę ateityje yra naudojami du būdai: komponavimas ir diskontavimas.

Komponavimas – tai metodas, kuriuo siekiama įvertinti būsimą pinigų vertę investuotą arba pasiskolintą šiandien. Kuo aukštesnė palūkanų norma, tuo greičiau investicijos komponuojasi, o tai didina investicijų grąžą.

$$FV = PV * (1 + i)^T \quad (2.2.1)$$

čia:

FV – būsimoji vertė

PV – esamoji vertė

i – metinė palūkanų norma ar grąžos norma

T – bendras metų skaičius, per kurį investicijos turi atsipirkti

Priešingas komponavimui metodas – diskontavimas. Diskontavimas – tai metodas, kuriuo siekiama įvertinti esamąją pajamų ar kaštų vertę gaunamą arba mokamą ateityje. Siekiant nustatyti finansinį pastatuose integruotų fotovoltų sistemos gyvybingumą, išlaidų ir naudos laiko tėkmė buvo transformuota į diskontuotą esamąją vertę. Pinigų srautai buvo diskontuoti, dėl „pinigų kainos laike“ koncepcijos (Ziuku ir Meyer, 2012). Diskonto norma apskaičiuojama:

$$Diskonto\ norma = \frac{1}{(1 + WACC)^n} \quad (2.2.2)$$

čia:

WACC – vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai;

n – laikotarpis (metais).

Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai yra naudojami norint išreikšti numanomą ateityje pinigų srautą jo dabartine verte visiems investuotojams.

$$WACC = \left( k_e * \frac{E}{E + D} \right) + \left( k_d * \frac{D}{E + D} \right) * (1 - T) \quad (2.2.3)$$



Čia:

$k_e$  – nuosavo kapitalo kaštai;

$k_d$  – skolinto kapitalo kaštai;

$E$  – nuosavas kapitalas;

$D$  – skolintas kapitalas (paskolos);

$T$  – pelno mokestis.

Koreguojant diskonto normą pagal žemiau pateiktą formulę, galima nustatyti pinigų srautų infliacijos nuvertėjimo poveikį.

$$k_{kor} = k * (1 + IR) + IR \quad (2.2.4)$$

čia:

$k_{kor}$  – koreguota diskonto norma atsižvelgiant į infliaciją;

$k$  – diskonto norma;

$IR$  – metinis infliacijos tempas.

### 2.2.1. Atsipirkimo laiko analizė

Atsipirkimo laikas – tai minimalus laiko tarpas, per kurį atsiperka investicijos. Kitaip tariant, tai laikas, reikalingas metiniam pinigų srautui tapti teigiamu (Saberbein & Aye, 2012). Atsipirkimo laikas energijos sistemai yra skaičiuojamas visus investicinius kaštus dalinant iš pirmais metais gautų pajamų iš sutaupytos, perkeltos ir pagamintos energijos. Atsipirkimo vertinime, matavimo vienetas yra metų skaičius reikalingas „gražinti“ investicinės veiklos sąnaudas. Projektai su trumpu atsipirkimo laiku yra mažiau rizikingi. Paprastai atsipirkimo analizėje atsižvelgiamos tik į pradinės išlaidos ir energijos sutaupymas esant dabartinėms kainoms. Šis metodas nepaiso kelių svarbių kainos faktorių, įskaitant kainos augimo normos ir kapitalo kaštų. Tokiu būdu, paprasta atsipirkimo analizė gali iškreipti tikrąjį atsipirkimo laiką ir laiko tarpą, per kurį atsipirktų investicijos.

Du pagrindiniai nagrinėjami variantai yra atsipirkimas po mokesčių ir diskontuotas atsipirkimo laikotarpis. Atsipirkimo laikas po mokesčių apima ir įvertina ribinę mokesčių normą ir nusidėvėjimo laiką. Diskontuotame atsipirkimo laiko metode ateinančių metų pajamos yra laikomos mažiau vertingomis palyginus su esamomis pajamomis. Diskontuotas atsipirkimo laikas – metų skaičius nuo pastato eksploatavimo pradžios iki laiko, kuomet išaugusi nauda yra didesnė ir pakankama padengti pirmines investavimo sąnaudas (Fuller, 2010). Išlaidos ir santaupos yra koreguojamos siekiant atsižvelgti į besikeičiančią pinigų vertą laike.

Diskontuotas atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$DPB = \frac{t + NPV_t}{NPV_t - NPV_{t+1}} \quad (2.2.1.1)$$

Grynoji esamoji vertė imama iš paskutinio laikotarpio ( $t$ ), kai reikšmė yra teigiama arba lygi 0.

Investitoriams, kurie siekia greitos investicijų grąžos, investicijos tampa dar labiau patrauklios, kai atsipirkimo laikas mažėja. Vis dėlto, trumpesnis atsipirkimo laikas nebūtinai parodo ekonomiškai efektyviausią investiciją. Ilgo atsipirkimo laiko investicija gali būti vertingesnė nei trumpojo, jei ji ir toliau padeda taupyti. Atsipirkimo laikas iš esmės yra lūžio taškas.

Atsipirkimo laiko metodas dažniausiai yra naudojamas apytikriam ekonominiam efektyvumui nustatyti. Jei atsipirkimo laikas yra gerokai mažesnis už tikėtiną sistemos gyvavimo laikotarpį, projektas bus laikomas ekonomiškai efektyviu.

### 2.2.2. Grynosios naudos analizė

Grynoji naudos analizė yra išsakmus procesas, apimantis inžinerijos naudos kaštų analizę, aplinkos kiekybinę ir kokybinę analizę bei socialinius, ekonominius bei finansinius padarinius (Davidoff, 2012). Grynoji nauda, taip pat vadinama dabartine esamąja verte (NPV) parodo, ar projekto pinigų srautai leis projekto įgyvendintojui susigrąžinti investicijas ir jas viršyti, t.y. iš projekto uždirbti. Sistema yra veiksminga jei grynoji nauda yra teigiama. Grynoji dabartinė vertė, kai investicijos į projektą tęsiasi kelis metus, kaip ir gaunamos pajamos iš projekto nuosekliai, tai NPV galima apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{CIF - COF}{(1 + k)^n} \quad (2.2.2.1)$$

Čia:

CIF – teigiami pinigų srautai  $n$ -aisiais metais;

COF – investicijos  $n$ -aisiais metais.

### 2.2.3. Santaupų investavimo santykis

Santaupų investavimo santykis gali būti naudojamas palyginti vienos energijos sistemos išlaidas su alternatyvia energijos sistema. Teigiamoms grynosioms santaupoms, santaupų – investavimo santykis turi būti didesnis už 1. Šio rodiklio formulė pateikta žemiau:

$$SIR = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{S_t}{(1 + d)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{\Delta I_t}{(1 + d)^t}} \quad (2.2.3.1)$$

Kuo didesnė santykio skaitinė vertė, tuo didesnis sutaupymas lyginant su investicijomis.

### 2.2.4. Gyvavimo ciklo išlaidų analizė

Gyvavimo ciklo išlaidų (Life cycle cost – LCC) analizė apūdinama kaip „metodas, apimantis veiksmų etapus, įvertinant galimus veiksnius ir interpretuojant rezultatus, kurie susiję su produkto ar proceso įtaka žaliavoms, energijai ir aplinkai nuo jų atsiradimo iki sunaikinimo“ (Kijevičius & Valančius, 2014). Kitaip tariant, tai visos atitinkamos esamos ir būsimos išlaidos (atėmus teigiamus

pinigų srautus), susijusios su energijos sistema, yra susumuojamos į esamas ar kasmetines išlaidas per analizuojamą laikotarpį (pvz., sistemos gyvavimo periodą). Šios išlaidos apima, bet neapsiriboja, įsigijimą, instaliaciją, eksploatavimą ir priežiūrą, taisymą, pakeitimą (atėmus likutinę vertę), infliaciją ir diskonto normą investicijos gyvavimo laikotarpio (pinigų investavimo alternatyviosios sąnaudos) (Lewis, Keoleian, Moore, Mazmanian & Navvab, 1999). Formulę supaprastinti būtų galima taip:

$$LCC = I + Repl \pm Sal + E(W) + OM\&R \quad (2.2.4.1)$$

Čia:

LCC – gyvavimo ciklo kaštai (Lifecycle Costs);

I – pradinių kaštų dabartinė energijos taupymo ir atsinaujinančios energijos šaltinio iki faktinio panaudojimo vertė (0 metų);

Repl – dabartinė kapitalinio keitimo kaštų vertė;

Sal – dabartinė likutinė vertė (gali būti teigiama ir neigiama);

E(W) – dabartinė bendrų energijos išlaidų vertė ;

OM&R – dabartinė eksploatacinių išlaidų ir priežiūros bei pakeitimo vertė.

Matavimo vienetas – dabartinė vertė arba metinė vertė eurais. Gyvavimo ciklo palyginimas su alternatyvomis nusako ar energijos sistema yra ekonomiškai efektyvi. Jei gyvavimo ciklas yra mažesnis už bazinio scenarijaus, o kiti aspektai yra lygūs, be to projektas atitinka investitorių siekius ir neviršija budžeto apribojimų – tai tokį projektą būtų galima apibūdinti kaip ekonomiškai efektyvų ir priimtinausią investicinį variantą (Ruegg & Marshall, 2013).

Gyvavimo ciklo analizė taip pat gali būti išreikšta grynosiomis santaupomis. Grynosios santaupos modifikuotam projektui yra gaunamos atimant gyvavimo ciklo išlaidas paremtas siūlomu projektu iš gyvavimo ciklo sąnaudų, susidarančių nesant siūlomo projekto ar pradinių sąlygų. Projektas būtų svarstomas ir pateisinamas, jeigu grynosios santaupos, atsižvelgiant į bazinį atvejį, yra teigiamos. Lyginant kelias nesuderinamas alternatyvas, alternatyva su didžiausiomis grynosiomis santaupomis būtų prioritetinga. Grynujų santaupų formulė:

$$NS = LCC_{bazinis\ atvejis} - LCC_{alternatyva} \quad (2.2.4.2)$$

Čia:

NS – grynosios santaupos (Net Savings);

LCC – gyvavimo ciklo kaštai.

### 2.2.5. Modifikuota vidinė gražos norma

Modifikuota vidinė gražos norma (Modify internal Rate of Return – MIRR) yra diskonto norma, ties kuria projekto investicijų esamoji vertė yra lygi jo galutinės vertės esamajai vertei. Analizuojant šiuo metodu yra daroma prielaida, kad pagal vidutines įmonės kapitalo sąnaudas visi projekto pinigų srautai yra reinvestuojami. Taip pat šis rodiklis gali būti naudojamas norint pažymėti

projekto likvidumą, kuris yra atvirkščiai proporcingas rodiklio reikšmei. Kuo reikšmė mažesnė, tuo projektas priimtinesnis. Tačiau šio metodo pagrindiniai trūkumai yra tai, kad taikant jį nėra įvertinamos įplaukos, kurios bus gaunamos pasibaigus projekto atsipirkimo laikui ir neparodo projekto rezultatyvumo, todėl dažniausiai jis naudojamas trumpalaikiai orientacijai (Žilinskas, 2009). Modifikuota vidinė gražos norma apskaičiuojama pagal žemiau pateiktą formulę:

$$\sum_{t=0}^n \frac{COF_t}{(1+r)^t} = \frac{\sum_{t=0}^n CIF_t \cdot (1+d)^{n-t}}{(1+MIRR)^n} \quad (2.2.5.1)$$

(COF<sub>0</sub> ... COF<sub>n</sub>) – investicijos į projektą, diskontuotos projekto kapitalo kaina (r);

(CIF<sub>0</sub> ... CIF<sub>n</sub>) – teigiami pinigų srautai, reinvestuoti projekto kapitalo kaina arba reinvestavimo norma (r);

n – projekto trukmė.

Pastato savininkai ar kiti suinteresuoti asmenys gali paklausti ar tam tikra pastate integruota fotovoltų sistema yra ekonomiškai efektyvi specifiniam pastatui. Pavyzdžiui, pastato savininkas su ribotu biudžetu nori modifikuoti pastatą į energetiškai efektyvų, gauna dešimt alternatyvių modifikacijų (įskaitant ir pastatuose integruotą fotovoltų sistemą), kurie visi kartu keturis kartus viršija suplanuotą biudžetą. Problema yra nustatyti, kurią alternatyvų kombinaciją reikia pasirinkti, kad investicijos būtų geriausiai optimizuotos.

#### 2.2.6. Išlaidų efektyvumas

Išlaidų efektyvumo analizė labai skiriasi nuo grynosios naudos analizės. Ekonomikos disciplina apibrėžia išlaidų efektyvumą kaip metodą, kuris siekia identifikuoti mažiausiai kainuojantį būdą pasiekti iškeltus tikslus be svarstymų ar čia yra koks nors ekonominis pateisinimas šių tikslų siekimui. Efektyvumo kaštai yra gaunami dalinant bendras diskontuotas išlaidas iš visos produkcijos ar paslaugos, kurios yra gaunamos iš projekto analizės per atitinkamą laiko tarpą.

$$CER = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} \frac{C_t}{(1+d)^t}}{\text{Visa produkcija ar paslauga}} \quad (2.2.6.1)$$

Čia:

CER – išlaidų efektyvumo santykis (Cost Effectiveness Ratio);

C<sub>t</sub> – kiekvienų metų išlaidos;

n – metų skaičius;

d – diskonto norma.

Pristatyti investicijų vertinimo metodai gali būti naudingi priimant įvairius investicinius sprendimus, bet jie nevienodai gerai tinka visų tipų sprendimams. Dažniausiai visi metodai gali būti naudojami nustatyti ar pastatuose integruotos fotovoltų sistemos bus papildomai ekonomiškai

efektyvios pastatui, ar niekas nesikeis. Šiam tikslui atsipirkimo laikas yra mažiausiai patikimas, bet daugeliu atveju, pateikia aiškią efektyvumo nuorodą ir gali būti naudojamas kaip stebėjimo įrankis.

Projektuojant ir renkantis pastatuose integruotų fotovoltų matmenis, rekomenduojama naudoti grynosios naudos ar gyvavimo ciklo metodais. Tol, kol grynoji nauda didėja arba kol gyvavimo ciklo išlaidos mažėja, galima rinktis brangesnį projektavimą arba didinti sistemos dydį. SIR ir modifikuotos vidinės grąžos normos metodai taip pat gali būti naudojami projektuojant ir parenkant pastatuose integruotų fotovoltų sistemų dydžius, bet šie metodai labiau patikimi taikant juos pavienių sumų skaičiavimui, o ne bendrai sumai.

Rūšiuojant tarpusavyje nesuderinamas investavimo alternatyvas, vyraujančios priemonės yra SIR santykis ir modifikuotos vidinės grąžos norma. Daugeliu atveju, renkantis projektą SIR ar modifikuotos vidinės grąžos norma yra išrūšiuojami mažėjančia tvarka kol biudžetas bus išleistas, taip bus pasiektas maksimalus investitorių naudos rezultatas. Pasirinkimas tarp technologijų ir sistemų kandidačių projektavimo gali būti apjungtas į vieną bendrą optimizacijos metodą.

Sąnaudų efektyvumo kriterijai gali būti subjektyvūs, priklausomi nuo sprendimus priimančių investuotojų. Apibendrinant galima teigti, kad projektas yra ekonomiškai efektyvus, jeigu jo SIR santykis yra didesnis už 1, modifikuota vidinės grąžos norma yra didesnė negu diskonto norma, gyvavimo ciklo kaštai yra mažesni negu kitos geriausios energijos sistemos alternatyvos, o atsipirkimo laikas yra trumpesnis nei pastatuose integruotų fotovoltų sistemos gyvavimo laikas (žr. 2 lentelė).

**2 lentelė. Minimalūs vertinimo kriterijai**

<b>Vertinimo kriterijus</b>	<b>Ekonominis rodiklis</b>
Atsipirkimo laikas	Atsipirkimo laikas < Pastato gyvavimo trukmė
Rentabilumas	SIR > 1
Modifikuota vidutinė grąža	Modifikuota vidinės grąžos norma > diskonto norma
Dabartinė esamoji vertė	Dabartinė esamoji vertė > 0
Gyvavimo ciklo kaštai	Žemesni negu alternatyvų gyvavimo ciklo kaštai

### **2.3. Gyvavimo ciklo ekonominis vertinimas**

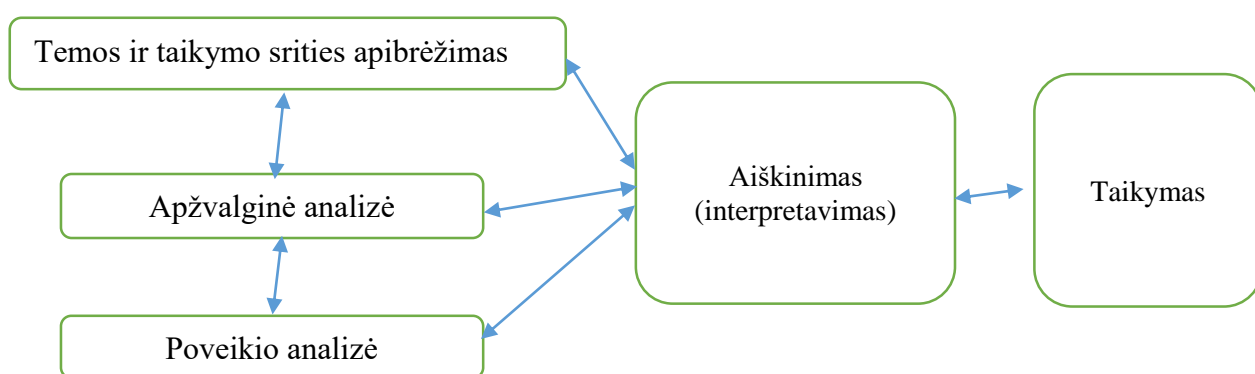
Siekiant atskleisti didėjančią susirūpinimą šiandienos išteklių naudojimu ir spręsti aplinkosaugos klausimus tiek išsivysčiusiose, tiek besivystančiose šalyse, gyvavimo ciklo ekonominis vertinimas gali būti naudojamas vertinant priimamus sprendimus bei bandant pagerinti tvarumą statybos pramonėje (Ortiz, Castells & Sonneman, 2009).

Gyvavimo ciklo vertinimas – požiūris į tvarios aplinkosaugos sistemos įgyvendinimą, įtraukiant kiekybinį bendro gaminio poveikio aplinkai vertinimą. Energijos vartojimo efektyvumo reikalavimai ir CO<sub>2</sub> emisija per visą produkto gyvavimo ciklą (įskaitant gamybą, transportą, naudojimą, šalinimą ir kt.), yra apskaičiuojami, kad būtų galima atlikti vertinimą, o rezultatus panaudoti susijusio poveikio aplinkai vertinimui. Tačiau kadangi gyvavimo ciklas yra susijęs su plataus spektro kintamaisiais ir yra sudėtingas, kartais yra sunku suprasti tikslią rezultatų reikšmę, todėl yra labai svarbu nustatyti vertinimo tikslą (Ito, 2011).

Mokslinių tyrimų ir analizės schema gyvavimo ciklo vertinimui susideda iš keturių pakopų, parodytų 6 paveiksle:

1. Apibrėžiama tema ir taikymo sritis;
2. Apžvalginė analizė;
3. Poveikio vertinimas;
4. Aiškinimas.

Apžvalginės analizės rezultatai yra vadinami gyvavimo ciklo apžvalgos duomenimis. Gyvavimo ciklo vertinimas yra taikomas bet kokiam produktui ar paslaugai, bet jų rezultatai turi įtakos objektams, prielaidoms, duomenų prieinamumui ir tikslumui. Tai reiškia, kad nėra įmanoma apibendrinti metodą labai aiškiu būdu. Kaip rezultata, gyvenimo ciklo vertinimo operatoriai ir naudotojai privalo tinkamai suprasti gyvavimo ciklo vertinimo apribojimus ir prielaidas, kurios gali būti padarytos pagal gautus rezultatus. Gyvavimo ciklo vertinimo pagrindai yra standartizuoti ISO 14040 ir ISO 14044, kurie nustato išsamią informaciją ir pagrindinius požiūrio taškus.



**6 Pav. Gyvavimo ciklo vertinimo schema**

Gyvavimo ciklo ekonominis vertinimas gali būti naudojamas kaip priemonė nustatyti tobulinimo potencialą, siekiant sumažinti poveikį žmonių sveikatai, aplinkai ir išteklių išveikvojimui (Sherwani & Usmani, 2010).

## 2.4. Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos nauda

Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos vertė gali tiesiogiai paveikti priimamus sprendimus. Naudą galima identifikuoti ir vertinti remiantis tiesioginiais ir netiesioginiais ekonominiais veiksniais bei kokybiniu vertinimu (de Keizer, Alsema & van Sark, 2006). Šios trys skirtingos kategorijos yra apibūdinamos žemiau ir apibrėžiamos argumentais, kokią naudą galima gauti taikant pastatuose integruotus fotovoltus.

### 2.4.1. Tiesioginiai ekonominiai veiksniai

Pastatuose integruota energijos sistema paprastai perkama iš numatyto statybų biudžeto. Šios sistemos generuojama elektra sukuria santaupas, kurios sumažina veiklos biudžetus. Pastatuose integruota fotovoltų sistema gali padėti sutaupyti pastato savininkui pinigų sumažindama statybinių medžiagų išlaidas ir elektros energijos kainą, pagerinti energijos kokybę ir patikimumą bei teikti mokesčių lengvatas. Kombinuotas taupymas gali padidinti biudžeto įvairovę, kuri turės įtakos visiems investuotojų fiskalinio portfelio rezultatams (Velasquez, Cardona, Mora, Yamin, Carreno & Barbat, 2014).

### 2.4.2. Netiesioginiai ekonominiai veiksniai

Kiekvienas pastato savininkas turi vertę, susijusią su strateginiais tikslais, verslo interesais ar organizacijos misija. Su daugiafunkcine pastatuose integruota fotovoltų sistema papildomos išlaidos ir pajamos gali padidėti, bet jos būtų neakivaizdžios, dėl apskaitos metodų ir tiesiogiai arba netiesiogiai paveikti biudžetą. Pavyzdžiui, organizacija gali priskinti pastatuose integruotos fotovoltų sistemos kainą aplinkos taršos mažinimui, jeigu ji yra apskaičiuota ir įvertinta. Tačiau, jei ekonominis efektas negali būti užfiksuotas ar suprastas žmogaus, kuris priima pagrindinius sprendimus, tai paprastai jis nėra įtraukiamas į investicinę analizę (de Keizer, Alsema & van Sark, 2006).

### 2.4.3. Kokybinis įvertinimas

Kaikurie pastatuose integruotos fotovoltų sistemos privalumai yra subjektyvūs. Pastato savininkui didžiausi sistemos privalumai gali asocijuotis su teigiama reputacija, visuomenės supratingumu ar poveikiu aplinkai, kai sistema suinstaliuota į pastatą.

Taigi, 3 lentelėje yra susumuotos visos šios vertės pagal elektros, aplinkos, architektūros ir socialinius-ekonominius aspektus. Šie privalumai yra laikmi subjektyviais vertinimais. Jokios piniginės vertės jie nėra išreikšti, bet jie tikrai daro įtaką pastatuose integruotos fotovoltų sistemos vartotojams.

**3 lentelė. Neenergetinės naudos suvestinė, kuri gali pridėti vertės pastatuose integruotai fotovoltinei sistemai**

Kategorija	Potenciali vertė
Elektra	kWh sukurta; kW galingumas; maksimali gamyba ir apkrovimas; naudojamos elektros energijos poreikio mažinimas; energija avarijos atveju; tinklo palikymas kaimo vietovėse; sumažinti perdavimo ir paskirstymo nuostoliai; patobulintas tinklo patikimumas ir atsparumas; įtampos valdymas; sušveltinti įtampos svyravimai; reaktyviosios galios kompensavimas.
Aplinka	Sumažėjęs išmetamų į orą sunkiųjų metalų dalelių kiekis, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ir SO <sub>x</sub> dujų kiekio sumažėjimas lemia mažesnį šiltnamio efektą, rūgščių lietu tikimybę ir smogą; sumažintas elektrinių naudojimas sausumoje ir vandenyje; sumažintas miestų plėtros poreikis; sumažinta branduolinės avarijos rizika.
Architektūra	Pakeičiamas pastato komponentas; daugiafunkcinis potencialas: izoliacija, hidroizoliacija, priešgaisrinė apsauga, apsauga nuo vėjo, garso kontrolė, dienos apšvietimas, šešėliai, šilumos kaupimas ir sklaida; estetiškas vaizdas pasitelkiant spalvas, skaidrumą, neatsispindinčius paviršius; elektromagnetinių bangų atspindys; sumažinta pastato priežiūra ir konstrukcijų pakeitimas.
Socialinė-ekonominė	Naujos industrijos, produktai ir rinkos; vietiniai darbininkai įrengimui ir priežiūrai; vietos pasirinkimas, išteklių naudojimas ir valdymas; trumpas statybos užsakymo ciklas; modalumas pagerina atitikimo paklausą; išteklių diversifikacija; sumažintas degalų importas; sumažintos kainos nepastovumas; miesto atnaujinimas; kaimo plėtra; mažesnės problemos (poveikio aplinkai, socialinės dislokacijos, infrastruktūrinių reikalavimų) negu iškastinio kuro ir branduolinės; sumažintas kuro transportavimo išlaidos ir tarša dėl iškastinio kuro kaimo vietovėse; sumažinta branduolinės avarijos rizika; tvaraus vystymosi susieto su mokslu simbolis; tarptautinio bendravimo ir bendradarbiavimo ilguoju laikotarpiu galimybės padedant vystytis šalims.

Šaltinis: Watt, M. E. (2001). *The Added Values of Renewable Energy—A Case Study of Photovoltaic Power Systems*. Ataskaita IEA PVPS T1-09:2001



#### 2.4.4. Pastato funkcijos

Pastatuose integruota fotovoltų sistema yra sukurta atlikti daugiau nei vieną funkciją. Statybinė medžiaga, tokia kaip fasadas iš stikle įlamintuotų fotovoltų, yra pastato atitvaro sudėtinė dalis ir generuoja elektros energiją. Taigi, ji gali būti apibūdinama kaip daugiavandė statybinė medžiaga. Pripažinus tokios statybinės medžiagos finansinę vertę ir sumažinant diegimo išlaidas būtų galima stipriai pagerinti pastatuose integruotų fotovoltų sistemos ekonomiką. Integruotų fotovoltų produktai turėtų atitikti matmenis, struktūrines savybes, kokybę ir gyvavimo trukmę tam, kad efektyviai pakeistų esamas medžiagas. Standartizavus stiklo, sienų ar stogo konstrukcines medžiagas galima lengvai jas integruoti į statinį.

#### 2.4.5. Skatinimo ir švietimo nauda

Pastatuose integruota fotovoltų sistema taip pat gali turėti skatinimo ir švietimo privalumų. Technologijos viešinimas teikia švietimo ir informavimo funkcijas atitinkančias kai kurių agentūrų misijas. Jei švietimas yra pirminis sistemos tikslas, tai yra lemiamas faktorius technologijos naudojime. Sistemos veikimas tampa pagalbine ekonomika (Haas, 2003). Išlaidų pagrindimas, kai technologija yra naudojama viešinimui, nebūtinai yra reikalavimas.

#### 2.4.6. Šiluminis naudingumas

Energija, sugeneruota iš pastatuose integruotų fotovoltų sistemos, gali būti vertinama nustatant sugeneruotos energijos pertekliaus kainą plus pagalbinės sistemos energijos į pastato šiluminės eksploatacines savybes. Pastatuose integruota fotovoltų sistema gali būti sukurta pagal pastato šildymo, vėdinimo ir dienos šviesos apkrovas. Pavyzdžiui, pusiau skaidraus fotovolto modulio naudojimas atriume yra puikus fotovolto pritaikymas, nes jis suteikia šešėlį, sumažina vėdinimo apkrovas, įleidžia dienos šviesos ir generuoja elektrą.

Kitas būdas, kuriuo pastatuose integruota fotovoltų sistema gali prisidėti prie pastato šiluminių eksploatacinių savybių, yra suteikti šešėlį ir sumažinti oro vėdinimo apkrovas, kurios yra labai reikalingos vasaros metu.

Priešinga užtemdymo funkcijai yra fotovoltų / šilumos kogeneracija suteikianti kitokį įnašą į pastato šiluminės eksploatacijos savybes. Pavyzdžiui, šiluma yra gaminama, kai supantis oras yra išleidžiamas už pastatuose integruotų fotovoltų stiklinių panelių tam, kad atvėsintų saulės elementus (fotovoltų elementai gamina daugiau energijos esant žemesnei temperatūrai). Paimtas šiltas oras gali būti naudojamas pašildyti vandenį ar orą pastato reikmėms. Vis dėlto, technologinės apžvalgos tyrimai rodo, kad jokia priimtina technologija nėra šiuo metu pasiekama vidutinės temperatūros vartotojams.

#### 2.4.7. Elektros nauda

Pastatuose integruotos fotovoltų sistemos sugeneruota energijos vertė yra apskaičiuojama sudėjus pagamintos reikalingos elektros kiekį su elektros energijos pertekliumi. Dažniausiai,

elektros energijos sąskaitos yra mokamos kas mėnesį iš metinio veiklos biudžeto. Eksploatavimo ir priežiūros biudžetas sumažės naudojant saulės energijos šaltinius. Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos sugeneruotos energijos vertė pastato savininkui yra apskaičiuotos pagrindinės energijos sąskaitos ir tikrosios saulės energijos šaltinio kainos skirtumas. Jeigu atsarginė sistema yra įrengta, tai atsarginio kuro kaina, eksploatavimas ir priežiūra bei amortizacija taip pat privalo būti apsvarstytos nustatant pastatuose integruotos fotovoltų elektros gamybos kainą. Kai darbo valandų kiekis mažėja, eksploatavimo ir priežiūros kaina gali būti sumažinta įrengiant fotovoltų sistemą.

#### 2.4.8. Matavimas

Matavimais galima apskaičiuoti pastatuose integruotų fotovoltų sistemos pagamintos elektros energijos kiekį ir tai leidžia pastato savininkui mokėti mažmeninius elektros energijos tarifus arba elektros perteklių parduoti elektros tinklams. Komerciniai arba instituciniai pastatai yra naudojami tik darbo dienos valandomis ir paprastai sunaudoja visą integruotos fotovoltų sistemos pagamintą energiją. Vis dėlto, daugiau nei vieną trečdalį metinių dienos šviesos valandų dauguma komercinių pastatų yra užimti ir energijos perteklius kaupiasi nuo savaitgaliais ir švenčių dienomis pagamintos energijos. Jeigu tinklu sujungtos pastatuose integruotos fotovoltų sistemos sukaupia energija viršys reikalingą energiją apsaugos, komunikavimo ar vėdinimo sistemoms neužimtame pastate, paslaugų įmonė gali apmokestinti elektros perteklių sutarta norma. Jeigu perteklius viršija įsigytą elektros energijos kiekį, tai grynosios atsiskaitymo sąskaitos už paslaugų įmonės teikiančią elektros energiją (be atgal parduoto pertekliaus į elektros tinklą) turėtų kredituoti skirtumą. Norint paskatinti privačias investicijas į atsinaujinančios energijos technologijas, reguliavimo institucijos turėtų įgalinti grynąjį atsiskaitymą.

Pastatuose integruotų fotovoltų ekonominės vertės matavimas gali būti lengvai identifikuojamas ir pamatuojamas metiniu arba mėnesiniu įrangos energijos sąskaitos eurų sumažėjimu. Grynosios atsiskaitymo sąskaitos už pastatuose integruotų fotovoltų sistemos sugeneruotą elektros energiją yra mokamos gamintojui už energijos perteklių taip pat mažmeninę elektros energijos kainą arba komunalinėms įmonėms perpardavimo kainų tarifu. Mažmeninės kainos lyginant su perpardavimo kaina gali reikšmingai paveikti pastatuose integruotos fotovoltų sistemos ekonomiką. Apskaitos metodai, kuriais apskaičiuojami ir pagrindžiami matavimai yra dvigubas matavimas ir grynasis matavimas:

- Dvigubas matavimas. Šiame metode vengiama sąnaudų sąskaitų už ribines komunalines degalų kainas ir yra santykinai mažas elektros energijos tarifas palyginus su mažmeniniais tarifais. Praktikoje fotovoltų elektros kaina yra nustatoma palyginus ją su išdegintos anglies energija kWh (Bazen & Brown, 2009). Tam reikalingos dvi matavimo patalpos: vienoje skaičiuojama gaunama, o kitoje atiduodama elektros energija. Taip pat

reikalinga papildoma įranga ir sistemos kopija (tik apskaitos tikslams) ir neįpareigoja papildyti pastatuose integruotos fotovoltų technologijos daugiafunkcinio paprastumo.

- Grynasis matavimas. Kur mažmeninis grynasis atsiskaitymas yra leistinas, apskaitos metodas importuojamai ir eksportuojamai elektros energijai apskaičiuoti naudoja standartinius elektros skaitiklius, kurie gali judėti pirmyn ir atgal. Kai pastatuose integruotų fotovoltų sistema pagamina daugiau elektros nei reikia pastato reikmėms, skaitiklis sukasi atgal. Skaitiklis registruoja grynąją energiją, suvartotą ir pagamintą, ir gyventojas yra apmokestinamas arba kredituojamas atitinkamai mėnesio gale mokėjimo periodu (Yan & Green, 1998). Šis metodas yra daug efektyvesnis ir naudingesnis mažinant ribines išlaidas energijai, taip pat nereikia jokios papildomos aparatūros kaip dvigubame matavime.

Grynasis matavimas naudojasi elektros energijos generatoriumi teikiant mažmeninės kainos tarfus už elektros perteklių. Jeigu pastatuose integruota fotovoltų sistema gamina mažiau elektros negu reikia per mokėjimo ciklą, mažmeniniai tarifai yra mokami komunalinėms įmonėms. Jeigu elektros perteklius yra pagamintas, tai mažesniu didmeninės prekybos arba reguliavimo institucijų nustatytu tarifu yra apmokama pastato savininkui.

Apibrėžiant, viena matavimo forma yra naudojama kaip standartinis skaitiklis, kuris juda pirmyn ir atgal; kita – naudoja du matavimo prietaisus, kur vienas skaičiuoja judėjimą į priekį, o kitas atgal. Vis dėlto, kol kas vieno matavimo įrenginio koncepcija yra geriausias variantas, tačiau ne visose šalyse galima naudoti šį būdą, pavyzdžiui Olandijoje, nes ten naudojama elektroninė matavimo sistema (Poullikkas, Kourtis & Hadjipaschalis, 2013). Net jeigu elektros energija eitų iš fotovoltų sistemos į pagrindinę, skaitiklis negalėtų eiti atgal, o tai reiškia, kad iš fotovoltų sistemos parduotos energijos naudingumas sumažės iki nulio.

#### 2.4.9. Atsargų poreikis

Atsargų poreikis turi galimybę maksimalizuoti pastatuose integruotos fotovoltų sistemos ekonominį vaidmenį. Komunalinių paslaugų taikomas paklausos mokestis yra priklausomas nuo pastato energijos apkrovos piko. Periodiškai tikrinamas pastato vidutinis elektros energijos suvartojimas (pvz., kas 15 minučių) nustato elektros piko poreikį (Lund, 2007). Pastatuose integruotos fotovoltų sistemos yra priklausomos nuo klimato ir oro sąlygų – praeinantys debesys gali sumažinti sistemos efektyvumą akimirksniu ir atsargų neliktų. Todėl neturint atsarginės energijos saugojimo sistemos, pavyzdžiui baterijų banko, gali likti tik labai menkos atsargos. Atsarginės sistemos taip pat patiria išlaidas skirtas projektavimui, techninei įrangai, priežiūrai ir baterijos pakeitimui. Šiuo atžvilgiu, kaupiamos atsargos turi būti palyginamos su papildomomis išlaidomis atsarginei sistemai.

#### 2.4.10. Elektros kokybė ir patikimumas

Elektros energijos kokybės ir patikimumo vertės matas priklauso nuo prietaiso operacijų. Energijos kokybės problemos, tokios kaip įrangos nesuderinamumas su elektros energijos aprūpinimu, atspindi sistemos sutrikimus, kurie gali sukelti įrangos sutrikimus ir netgi avarijas. Energijos kokybės problemos dažniausiai atsiranda, kai energija tiekama į įrenginį yra veikiamą aukšto lygio svyravimų, harmonikos, įlinkių, pakilimų, nuosmukių, šuolių, virpėjimų ir pertrūkimų, ir įranga nebegali susitvarkyti su šiomis klaidomis, todėl yra pežeidžiama arba pati išsijungia. Pastatuose integruota fotovoltų sistema gali būti suprojektuota taip, kad padidintų energijos kokybę tiekdamą paskirtą apkrovą. Deja energijos kokybės vertė labai sunkiai apskaičiuojama. Ji gali būti padidinta apribojus elektros energijos tiekimą, jeigu fotovoltų sistema aprūpins įtampos palaikymu esant apkrovai (Coles, Packey, Raw & Wan, 1995).

Norint pasiekti energijos patikimumą, nepertraukiamos energijos tiekimo sistemos yra projektuojamos ir integruojamos į pastato energijos sistemą taip, kad apsaugotų konkretų prietaisą ar kritines apkrovas nuo energijos pertrūkio. Reikalingos papildomos priemonės: baterijos, sandėliavimo plotas, valdikliai, ir kita susijusi elektronika. Pastatuose integruota fotovoltų sistema gali būti panašiai suprojektuota ir patalpinta aptarnauti atskiras pastato dalis, tai automatiškai atskirtų nuo komunalinių tinklų, jei linijos pažeidimai ar energijos nutraukimas yra aptinkamas (Coles, Packey, Raw & Wan, 1995). Tokios sistemos nauda gali būti išreiškiama, kaip išvengto atsarginio avarinio energijos šaltinio kaina.

Tyrimai buvo atliekami su fotovoltų, kaip avarinio energijos šaltinio, papildomos vertės patikimumu (Byrne, Letendre, Wang, Nigro & Ferguson, 1997). Įrenginys buvo suprojektuotas, kad galėtų sumažinti elektros poreikio piką ir perjungti į nepertraukiamą energijos tiekimo sistemą, kai energijos tiekimas nutrūksta. Energijos kokybė ir patikimumas yra tokios sistemos privalumai. Pasak Wilk, Ruoss ir Toggweiler (2002) Suglio pastatas Šveicarijoje (7pav.) yra geriausias šios elektrinės schemas pavyzdys. Kaip ir su atsargų poreikiu, taip ir su nepertraukiamą energijos tiekimo sistema, reikalinga įsigyti papildomą įrangą patikimam elektros energijos tiekimui. Konkreti baterijos saugojimo talpa turi būti suprojektuota ir pritaikyta pastato reikmėms ir energijos krūviams.



**7 Pav. Lugano Suglio pastatas su integruota fotovoltine sistema fasade**

#### 2.4.11. Komunalinių paslaugų skatinimas

Visuomeninio skatinimo įvairovė, energijos išsaugijimas ir paklausos valdymo programos buvo labai sėkmingos iki 2015 metų. Šie susitarimai numatė laimėti-laimėti (win-win) scenarijų, kuriame vartotojas sumažino energijos suvartojimą, o komunalinės įmonės kontroliavo apkrovų augimą. Jungtinės Amerikos Valstijose, Utility Photo Voltaic grupė (UPVG) yra nepelno siekianti organizacija finansuojama JAV energetikos departamento. UPVG sudaro daugiau nei 85 komunalinių paslaugų įmonės ir yra įsitraukę į plataus spektro veiklas, kurios remia fotovoltų, kaip energijos tiekėjų, vystymąsi (Eiffert & IEA, 2003). UPVG suteikia komunalinėms įmonėms ir pirkėjams paskatas, tokias kaip kainų pasidalijimas, tam, kad paspartintų fotovoltų technologijų komercializaciją.

Kadangi komunalinių paslaugų įmonės susiduria su netikrumu ir konkurencija, susijusia su dereguliacija, yra didelis ekonominis skatinimas išlaikyti ir didinti savo klientų bazę. Pastaruoju metu kai kurios įmonės siūlo specialias paslaugas pirkėjui, tokias kaip „žalioji energija“ pagaminta iš fotovoltų. Pagal šias programas pirkėjai sutinka mokėti daugiau už elektros energiją pagamintą iš aplinkai draugiškų šaltinių.

Kitos komunalinių paslaugų įmonės turi skirtingų dienos tarifų pasiūlymus. Paprastai pastatuose integruotų fotovoltų sistemos gamina elektrą dienos metu piko valandomis ir užtikrintai išvengia

papildomų elektros energijos išlaidų. Jeigu pastatas yra veikiamas dienos naudojimo tarifo, tai ekonominė fotovoltų sugeneruotos energijos nauda gali būti įskaičiuota į tiesioginį fiskalinį poveikį (Burchell & Listokin, 2012).

#### 2.4.12. Komunalinių paslaugų įmonių skatinimo programos

Skatinimo programos gali suteikti inovatyvų finansavimą sutartiniams mechanizmomis energijos išsaugojimui matuoti ir atsinaujinančios energijos technologijų vystymuisi. Taip pat gali įtraukti išlaidų pasidalijimą, lizingą, finansavimą, talpinimo sistemų diegimą ar grynąjį matavimą (Eiffert & IEA, 2003).

#### 2.4.13. Energetinė nepriklausomybė

Susirūpinimas dėl energetinės nepriklausomybės gali svyruoti nuo smulkaus vandalizmo iki tarptautinio terorizmo. Pastatuose integruotos fotovoltų technologijos naudojimas kaip atsarginės energijos ar nepertraukiamos energijos tiekimas yra galimas tokių situacijų sprendimas. Standartinė nepertraukiamos energijos tiekimo sistema laiko rėmai nuo 3 sekundžių iki 3 minučių. Dienomis fotovoltų sistemos su lydinčia baterijos talpykla gali aprūpinti ilgalaike atsargine energija. Fotovoltų sistemos energetinės nepriklausomybės, kuri negali būti pasiekta kitomis priemonėmis, kaina galėtų kompensuoti esamą sistemos rinkos kainą.

#### 2.4.14. Nauda aplinkai

Kai gaminama elektra, pastatuose integruota fotovoltinė sistema išskiria aplinkai nekenksmingą emisiją. Suinteresuotosios šalys gali apskaičiuoti išvengtus aplinkos mokesčius susijusius nenaudojant energijos, kuri reikalinga išgaunant iškastinį kurą. Ši eilutė, būtinai turi būti įtraukta į gyvavimo ciklo kaštų analizę. Vis dėlto, ši vertė neturėtų būti svarstoma, kai vertinami sprendimai, kuriuose poveikis aplinkai ne vaidina svarbaus vaidmens (pavyzdžiui, energijos taupymo veiklos sustartis neapima kokybinių reikalvimų aplinkai, kurie neturi tiesioginės įtakos pinigų srautams ekonominėje analizėje).

Triukšmas taip pat yra aplinkos problema, kuri buvo sprendžiama fotovoltų ir transporto inžinierių. Kaip infrastruktūros dalis, triukšmo barjeras siūlo papildomą ir protingą galimybę integruojant stiklo laminatuose integruotą fotovoltinę sistemą. Pirmasis fotovoltinis barjeras buvo sukonstruotas 1989 metais netoli Ciuricho, Šveicarijoje. Kiti šeši prototipai buvo pastatyti Vokietijoje ir Šveicarijoje, kaip tarptautinės idėjos konkurso rezultatas.

#### 2.4.15. Nacionalinės skatinimo programos

Pastatuose integruotų fotovoltų instaliacijos tampa įprastu reiškiniu visame pasaulyje. Vyriausybė daro didžiulę įtaką šios technologijos komercializacijai ir platesniam naudojimui įgyvendindama nacionalines skatinimo programas naujiems technologijos naudotojams. Šiuo metu viena išsamiausių nacionalinių skatinimo programų veikia Olandijoje, kur vyriausybė dirba su fotovoltų pramone, statybų sektoriumi ir komunalinėmis įmonėmis tam, kad fotovoltai taptų

komerciškai perspektyvūs per ateinančius 7-10 metų. Fotovoltų sistemos kaina nukrito apie 40% per pastaruosius metus, taigi ant stogo įsirengti šią sistemą dabar kainuoja nuo 4300 Eur iki 7500 Eur (<http://www.thegreenage.co.uk/>).

#### 2.4.16. Paskolų skatinimo programos

Vyriausybė gali perimti riziką leisdama privataus sektoriaus paskolų gavėjams pelnytis iš vyriausybės masto ekonomijos didinant lėšas ir draudimo riziką. Tai sumažina kapitalo išlaidas tiesiogiai subsidijuojant palūkanas, panaikinant įmoką už įsipareigojimų nevykdymą rizikos skolintojui, leidžiant palankias atsiskaitymo sąlygas ar valdant draudimo programas nenuostolingai.

Investitoriai ar finansininkai gali pastebėti, kad pastatuose integruota fotovoltinė sistema turi didesnę riziką negu tradicinė tinklais tiekama elektra. Vyriausybė gali inicijuoti įstatymų leidybą, kuri suteiktų reikšmę ir galimybę apibūdinant reikalavimus, kurie gali minimalizuoti riziką, susijusią su naujomis technologijomis, tenkinant rizikos vertinimo reikalavimus kredito įstaigoms ir privačiai investuoti teikiant finansines paskatas pastatų savininkams.

#### 2.4.17. Mokesčių lengvatos

Vyriausybės mokesčių politika nustato ar bus teikiamos mokesčių lengvatos. Mokesčių lengvatos yra skiriamos viešajam sektoriui tam, kad pritrauktų privataus kapitalo investicijas, kurios ne taip paprastai atsiranda. Saulės energijos mokesčių lengvatų įstatymai yra kuriami tam, kad skatintų socialinį ir institucinį palankumą ir paspartintų ekonominių pramonės vystymąsi padrašinant privatų sektorių aktyviau investuoti į fotovoltų sistemas.

Saulės energijos mokesčių lengvatų įstatymai gali paveikti techninių ekspertizių vystymąsi per pramonės ir prekybos asociacijų darbo pažymėjimus, klijavimo reikalavimus, produkto kokybę, garantiją ir jos apimamus reikalavimus bei sertifikavimą. Šie įstatymai gali būti techniškai specifiniai, šviečiamieji ir moderniai informuojantys apie pastatuose integruotas fotovoltines sistemas. Valstybinis reguliavimas gali sumažinti investicijų riziką skolintojui ir veikia kaip finansinė paskata vartotojui ar gamintojui investuojant į naujausias technologijas.

Pastatuose integruotų fotovoltinių sistemų mokesčių lengvatos gali būti taikomos pagal keturias kategorijas: mokesčių kreditai, mokesčių tarifai, mokesčių pagrindas ir apmokestinamas subjektas ([www.lsea.lt](http://www.lsea.lt)).

- Mokesčių kreditai sudaro galimybę išlaidų procentinę dalį išskaičiuoti iš mokėtinų vyriausybės grynųjų mokesčių. Mokesčių parametrai dažniausiai yra padalinti į federalines, valstijų ir vietines mokesčių prievoles.
- Sumažinus mokesčio tarifą finansinį pranašumą galima suteikti dviem būdais:
  1. Jis gali atleisti tam tikrą veiklą, produktą ar subjektą nuo mokestinės prievolės arba apmokestinti juos mažesniu tarifu negu rinkoje esantys jų pakaitalai.

2. Visi subjektai (pavyzdžiui, kai kurios valstybinės elektros komunalinių paslaugų įmonės) gali būti atleisti nuo pajamų mokesčio, net jeigu jie konkuruoja su kitais tiekėjais tiekiančiais tą pačią paslaugą. Mažesnis mokesčių tarifas gali leisti konkrečiam firmos tipui sumokėti mažesnius mokesčių procentus už tam tikrą veiklą (mažesnis mokesčio tarifas už kapitalo normas).

- Mokesčių pagrindas gali būti sumažintas sumažinus apmokestinamąsias pajamas, kurioms taikomas konkretus mokesčio procentas. Tai pasiekama spartinant mokesčių atsiskaitymo laiką arba išskiriant subjekto apmokestinamą įplaukų dalį. Įmonėms gali būti leidžiama fotovoltų investicines išlaidas atskaityti iš apmokestinamų pajamų žymiai greičiau negu investicijos ištikrųjų nuvertėja. Dabartinių mokesčių mažinimas yra didesnis nei būsimų mokesčių. Dabartinių mokesčių santaupos (pavyzdžiui, pagreitinta įrangos amortizacija) taip pat gali būti investuotos ir užpdirbti palūkanas.
- Pakeistas apmokestinamas subjektas turės įtakos mokesčių mokėtojo apibrėžimui. Šis pokytis gali duoti pelną, kompensuoti nuostolius ir turėti teigiamą poveikį mokesčių apskaičiavimui. Taisyklės išimtis – konsoliduotas mokesčių grąžinimas gali sukelti subsidijas, kurios leidžia pelną perkelti į didelias, vertikaliai integruotas korporacijas (tokias kaip naftos kompanijos). Pavyzdžiui, kai apmokestinamam subjektui yra sunku nustatyti reikšmę ir sandoriai tarp padalinių yra atliekami dirbtinai nustatant perkėlimo kainas, pelnas gali būti perkeliamas tarp padalinio ir šalių, siekiant sumažinti mokesčių našta.

## 2.5. Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos kaštai

Šalia pastatuose integruotų fotovoltų sistemos naudos yra ir išlaidos, kurios yra labai svarbios atliekant ekonominę analizę, todėl būtina plačiau apžvelgti susijusias sistemos išlaidas pastato savininkui. Preliminari apklausa rodo, kad išlaidų sąmatos, kurias pateikė įvairūs gamintojų rinkodaros atstovai yra labai skirtingos (Eiffert & IEA, 2003). Taigi, iš pardavėjų įvairūs pasiūlymai turėtų būti surinkti ir peržiūrėti prieš priimant investicinius sprendimus.

Pastatuose integruotos fotovoltų sistemos kaštai (susiję su technologija) priklauso nuo sistemos tipo ir dydžio, esamos fotovoltų technologijos ir kokio pobūdžio gamyba bus naudojama: pagal specialų užsakymą ar standartizuotą gamybą. Fasado ir stogo medžiagos – tai du pirminiai komerciniai pastatuose integruotų fotovoltų produktų tipai, kurie yra tinkami naudoti naujai statybai ir renovaciniams projektams. Pastato fasade integruota fotovoltų sistema apima laminuotą, raštuotą ir aklinai uždažytą stiklą, uždangų stiklinimo, fasadų ir markizių sistemas. Šie produktai gali pakeisti įprastas statybines medžiagas. Stogo sistemos apima čerpes, skardą, bituminę dangą,



išorines izoliacines bei atriumus ar laminuotas stogo sistemas. Šie produktai gali pakeisti tradicines statybines medžiagas ar tiesiog būti parduotos kaip stiprinančios konstrukcinės medžiagos.

Pridėtinės išlaidos už pastatuose integruotas fotovoltų sistemas (o ne visos išlaidos) turėtų būti naudojamos ekonominiame vertinime, įskaitant tas, kurio būtų patirtos nepaisant pastatuose integruotos fotovoltų sistemos. Jeigu po pirminio patikrinimo ekonominės pastatuose integruotų fotovoltų sistemos investicijos yra palankios, oficialus pasiūlymas iš sistemos tiekėjo gali būti naudojamas išsamiai įvertinti sistemos sąnaudas ir papildomą vertę dar prieš perkant. Tuomet galutinę pastatuose integruotos sistemos kainą būtų galima palyginti su įprasto statybinio komponento kaina ir nustatyti pridėtinės sistemos išlaidas.

Pastatuose integruotų fotovoltų moduliai yra sudaryti iš fotovoltų ir sistemos balansavimo komponentų, kurie apima keitiklius, elektros kaupimo sistemas, fiksuotą tinklo ryšį, defektų apsaugą, kabelius ir laidus. Šios išlaidos, taip pat kaip ir projektavimo ir instaliavimo, turėtų būti vertinamos lyginant tradicines statybines medžiagas ir sistemas tam, kad būtų galima nustatyti ribinius pastatuose integruotų fotovoltų sistemų kaštus.

Fotovoltų gamintojai vis dar yra pradinėje technologijų vystymo ir komercializacijos stadijoje ir neturi galimybės pasinaudoti kiekybiniais parduodamų medžiagų privalumais ir neturėdami didelių gamybos apimčių negali pasiūlyti mažesnės kainos pastatuose integruotiems fotovoltų komponentams ir sistemoms. Nepaisant to, fotovoltų sąnaudos sumažėjo dėl techninės pažangos. Be to, kaip reikalavimą fotovoltų technologijos vystymuisi, vyriausybė ir pramonė numato ir toliau mažinti išlaidas tarptautiniu mastu ir keliant gamybos masto ekonomiją.

Pastatuose integruti fotovoltai gali būti įtraukti į naują statinį su palyginti mažomis papildomomis išlaidomis. Palyginus įprastas fasado medžiagas, tokias kaip stiklas ar metalas, instaliuoti fotovoltai prideda tik nežymius 2 % – 5 % prie galutinės komercinio pastato statybos kainos (Eiffert & IEA, 2003).

<p>Poliruotas akmuo 2100-2500 Eur/m<sup>2</sup></p>	
<p>Fotovoltai 450-1300 Eur/m<sup>2</sup></p>	
<p>Akmuo ~700 Eur/m<sup>2</sup></p>	
<p>Stiklo sistemos 500-700 Eur/m<sup>2</sup></p>	
<p>Nerūdijantis plienas 500-700 Eur/m<sup>2</sup></p>	

**8 Pav. Fasado apdailos medžiagų numatomos išlaidos**

### 2.5.1. Gamybos kaštai

Dėl mažos paklausos ir gamintojų gamybos apimčių ankstyvieji pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos projektai patyrė didelias projektavimo ir galutinio produkto kainas. Laikas ir pinigai reikalingi elektros ir mechanikos inžinerinėms sistemoms ir instaliaciniams metodams buvo gana neproporcingai padalinti visai sistemai. Pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos standartizavimas ir inžinerinės sistemos, projektavimo ir instaliavimo metodų supaprastinimas turbūt labiausiai sumažino būsimos pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos gamybos kaštus.

Kol pastatuose integruota fotovoltinė sistema taps pagrindine technologija, dar nežymiai prisidės architektūrinio ir inžinerinio projektavimo bei instaliavimo gamybos kaštai. Vis dėlto, su

techninė priežiūra, tradiciniai statybininkai (įskaitant ir stiklo fasadininkus, stogdengius, metalo lakštų darbuotojus ir elektrikus) gali suinstaliuoti pastatuose integruotą fotovoltinę sistemą.

### 2.5.2. Priežiūros kaštai

Priežiūros kaštai gali būti labai svarbūs žvelgiant į investicijas ilgalaikėje perspektyvoje. Vietoje įtraukto pagrindinio kapitalo keitimo, kaip standartinio elemento finansų vertinime, analizė gali vietoje to įtraukti techninės priežiūros išlaidas manant, kad pakanka išlaikyti veikiančią sistemą tokį laiko tarpą, kol bus priimti reikiami sprendimai. Kaip alternatyva, sistemos pakeitimas gali būti įskaičiuotas į analizę. Todėl daroma prielaida, kad visos taisymo ir keitimo išlaidos bus nurašomos kaip priežiūros kaštų dalis. Kaip ir kitos išlaidos, priežiūros išlaidos turėtų būti vertinamos atsižvelgiant į pridėtines priežiūros išlaidas ir priskirtos prie pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos, o ne prie bendrų viso pastato priežiūros išlaidų. Pastato gyvavimo ciklo kaštų modelis įtraukia priežiūros kaštų nuostatą.

Gamintojai rekomanduoja periodinę sistemos patikrą ir valymą kaip prevencinės priežiūros rutinos dalį. Tai apima reguliarių nuosėdų ir į aplinką atsuktų fotovoltų paviršių valymą, kurie turėtų būti valomi netgi dar dažniau jei aplinka yra nuolatos pilna dulkių ar purvina. Norint nustatyti optimalų valymo grafiką, kompromisas tarp sistemos valymo kaštų maksimalizuojant galingumą ir prarastos energijos vertės dėl sistemos nevalymo gali būti įvertinamas. Kai kuriais atvejais, ypač aukštuose pastatuose arba neįprastų geometrinių formų, sistemų valymas gali būti brangesnis už prarastos energijos kiekį. Kaip taisyklė, vizualinė pagrindinių komponentų patikra, paremta apžiūros - patikros sąrašu gautu iš gamintojo, turėtų būti atliekama kas 6 mėnesius.

Komunatinių paslaugų skatiklis ir sąskaitos gali būti peržiūrimos kas mėnesį, norint nustatyti, kur yra patiriami energijos nuostoliai (atsižvelgiant į sezoną ir kitus švelninančius veiksnius). Tolimesnis tyrimas yra pagrįstas, jeigu šis paprastas patikrinimas rodo prastą sistemos efektyvumą.

Kasmetinis detalus elektroninis patikrinimas yra rekomenduojamas. Įtampa gali būti patikrinta voltmentru (virvelė, kuri rodo žemą įtampą palyginus su kitais, gali turėti įtakos moduliui ar jungikliui). Duomenų žurnalas turėtų būti pildomas priežiūros darbuotojų, įrašant sistemos eksploatacines savybes, priežiūrą ir įtampą. Paslaugų reguliavimas ir tvarkymas gali būti atliekamas gamintojo, sistemos integruotojo, skirstytojo ar tiesiog komunalinių paslaugų įmonės. Mažiems gyvenamiesiems pastatams tai gali būti pakankamai brangu, o didelių komercinių pastatų sistemoms tai – tinkamiausias variantas.

Gamybos išlaidos sistemos priežiūrai turėtų būti įtrauktos į ekonominę analizę. Statybų sąnaudos duomenys gali būti naudingi vertinant darbo sąnaudas. Kai kurie gamintojai siūlo visiškai užbaigtą sistemą, taip pat kaip pasirenkamą aptarnavimo ir priežiūros kontraktą. Papildomai aptarnavimo sutartis ar personalo mokymai ir priežiūros grafikas gali būti suderintas kaip projekto sutarties dalis. Dažniausiai apmokyti įrenginių inžinierių aptarnauti sistemą name stipriais sumažina

sistemos priežiūros išlaidas. Priežiūros išlaidos gali apimti nuolat pasikartojančią dalį ir nesikartojančią dalį, iš kurių kiekvienas gali būti atskirai priskirtas prie pastato gyvavimo ciklo kaštų modelio.

#### 2.5.3. Komunalinių tinklų sujungimo kaštai

Komunalinių tinklų sujungimo kaštai yra susiję su specialiais reikalavimais, kuriuos nustato kiekviena valstybė atskirai. Valstybės viešosios komunalinės kompanijos turi platų ir įvairų požiūrį į papildomus reikalavimus ir jų reikalavimai skiriasi. Į kainą gali būti įskaičiuoti dideli surinkimo mokesčiai, grynieji matavimo tarifai, matavimų kalibravimo mokesčiai, inžinerijos studijų mokesčiai ir rezerviniai mokesčiai. Papildomi reikalavimai už atsakomybės draudimą, nuosavybės servitutą, juridinį žalos atlyginimą, apskaitai už eksploatavimą ir priežiūrą ir papildoma įrenginių apsauga prisidės prie dar didesnių komunalinių sujungimo išlaidų. Santykinai, kaina, jungiantis mažoms sistemoms, yra daug didesnė negu didelioms. Šių reikalavimų kaina iš dalies kompensuoja paskatą numatytą grynojo matavimo ir gali atgrasinti klientus – ypač mažos galios – nuo dalyvavimo.

Vienodų sujungimo standartų rinkinys gali palengvinti grynujų matavimų įgyvendinimą skirtingose šalyse visoje Europoje ir, tikėtina, sumažins šią kliūtį jungiantis prie pastatuose integruotos fotovoltų sistemos. Atsinaujinanti energijos pramonė siekia glaudžiai bendradarbiauti su komunalinių paslaugų įmonėmis ir standartų nustatymo organizacijomis, nustatant tokius standartus.

#### 2.5.4. Statybos leidimų įsigijimo kaštai

Statybos leidimai yra reikalingi dar prieš pradėdant bet kokią naują statybą, pristatant priestatus, rekonstruojant ar kažką keičiant. Elektros tinklų leidimai yra reikalingi naujiems, suremontuotiems arba modernizuotiems pastatams. Į kainą įskaičiuojami žemės ardymo mokesčiai, gyvenamosios arba komercinės paskirties statybos leidimo mokesčiai ir pakartotinio patikrinimo mokesčiai. Statybos leidimų mokesčiai gali skirtis apskityse, regionuose ir šalyse. Dažniausiai jie priklauso nuo pastato kainos ir kvadratūros. Leidimo mokesčiai gali pakilti dėl papildomos pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos. Žinant žemės paskirtį projektuotojas gali nustatyti konkrečius projekto reikalavimus. Tik papildomi statybos laidimo kaštai turėtų būti įtraukti į ekonominę pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos analizę.

#### 2.5.5. Keitimo ir taisymo kaštai

Dažniausiai pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos gyvavimo trukmė yra apie 25 metai ir daroma prielaida, kad nė vienai iš integruotos sistemos dalių nereikės pagrindinio keitimo ar taisymo per analizuojamą laikotarpį, kuris dažniausiai ir būna lygus 25 metams (minimalūs pataisymai ir maži pakeitimai, kurie reikalingi sistemos funkcionavimui, gali būti įtraukti į priežiūros kaštus). Žinoma, tai yra tik modeliavimo susitarimas. Kai kuriais atvejais, detalei (tokiai

kaip keitiklis) gali reikėti didesnio taisymo ar pakeitimo greičiau, todėl šios kainos turėtų būti įtrauktos atskirai į pastato gyvavimo trukmės kaštų sąmatą.

#### 2.5.6. Likutinė vertė

Dažniausia daroma prielaida, kad analizuojamo laikotarpio pabaigoje likutinė vertė ar šalinimo išlaidos lieka sistemai. Vis dėlto, šis susitarimas gali būti netinkamas konkrečioms aplinkybėms, o likutinė vertė ir šalinimo išlaidos gali būti aiškiai apskaičiuotos ir įtrauktos į tyrimą. Pavyzdžiui, išimtis gali būti, jeigu pastatuose integruota fotovoltinė sistema yra pagaminta iš aplinkai ir žmonėms pavojingų medžiagų (susijusių su plonasluoksnėmis fotovoltinėmis technologijomis), kurias būtina pašalinti, o tai sukuria dideles papildomas išlaidas. Taip pat, jeigu baterijos privalo būti pašalintos, galima likutinė vertė ar šalinimo išlaidos priklausys nuo galimos pakartotinio panaudojimo vertės ir šalinimo kaštų.

## 2.6. Pastato nuosavybės teisės

Atsižvelgiant į būdingai aukštas pradines išlaidas ir sumažintas veiklos sąnaudas, panaudojant pastatuose integruotomis fotovoltų sistemomis, investicijos vistiek yra jautrios ir priklausomos nuo pastato nuosavybės teisių. Trys pagrindiniai pastato savininkų tipai (savininkas-gyventojas, savininkas-investitorius ir savininkas-vystytojas) vienas nuo kito skiriasi investavimo kriterijais ir laikotarpiais.

#### 2.6.1. Savininkas-gyventojas

Savininkas-gyventojas tikisi pastate gyventi ilgą laiko tarpą. Tai laidžia gyventojui kontroliuoti sprendimus, susijusius su energijos sistemos pasirinkimu. Minimalizuoti veiklos sąnaudas yra gyventojų didžiausias interesas. Didesnės pradinės kapitalo investicijos turėtų būti labiau priimtinos, jei veiklos sąnaudos yra sumažinamos. Savininkas-gyventojas galėtų priiminėti sprendimus dar ankstyvoje pastato projektavimo, statymo, įsigijimo ir renovavimo stadijose ir tiesiogiai pajusti finansinį taupymą, sistemos patikimumą ir pastato komfortą. Todėl savininkas-gyventojas turėtų būti suinteresuotas apsvarstyti pastatuose integruotų fotovoltų sistemos galimybes naujame pastate. Bet vis dažniau gyventojas apsigyvena jau pastatytame pastate ir nebegali daryti pagrindinių pastato projektavimo sprendimų. Šiuo atveju, pastato savininkui-gyventojui naudinga apsvarstyti fotovoltų sistemos modernizavimą pastate.

#### 2.6.2. Savininkas-investitorius

Savininkas-investitorius įsigis ir plėtos nuosavybę arba išnuomos trečiajai šaliai. Tam, kad maksimalizuotų investicinę grąžą, jis bus suinteresuotas sumažinti eksploatacijai ir priežiūrai skiriamas išlaidas, nebent nuomininkas bus atsakingas už vartotojo energijos sąnaudas. Investuotojas gali svarstyti apie saulės technologijas, tokias kaip fotovoltų sistemos, jei vyriausybė ar vietos valdžia suteikia mokesčių lengvatų, kuris padidintų investicinę grąžą.

### 2.6.3. Savininkas-vystytojas

Šiuo atveju, nuosavybė laikoma laikina nuo pirkimo iki vystymo ir pardavimo. Investiciniai sprendimai įtrauks energiją taupantį projektą tik tuomet, kai savininkas-vystytojas suvoks, kad tai padės jam parduoti nuosavybę potencialiam pirkėjui, kuris vertina energijos funkcijas. Savininkui-investuotojui yra svarbu sumažinti plėtros kapitalo išlaidas. Operacinėms išlaidoms nėra skiriamas pagrindinis dėmesys. Atsižvelgiant didelės pradinės kapitalo išlaidas ir ilgalaikę grąžą, susijusią su investicijomis į energetiką yra verta apsvarstyti energiją taupantį projektą. Savininkas-vystytojas gali pretenduoti į mokesčių lengvatas panaudojant saulės energijos sistemas, bet ši nauda neteiks pakankamai finansinės naudos, kad skatintų investicijas. Dar labiau neigiamas scenarijus, savininkas-vystytojas gali suvokti, kad ši technologija ir su ja susijusios išlaidos neigiamai paveiks nuosavybės pardavimą ir gali sąmoningai vengti investicijų.

Teoriškai pastatų kūrėjai projektavimo ir investavimo sprendimus grindžia tik pradinėmis išlaidomis. Būsimos eksploatacinės išlaidos, įskaitant ir energijos išlaidas, gali būti apsvarstomi finansiniame sprendimo priėmimo procese, jei pastatas bus naudojamas savininko reikmėms arba potencialiai mažesnės elektros energijos sąskaitos būtų naudojamos kaip rinkodaros masalas.

Atsižvelgiant į tai, kad pastatuose integruotų fotovoltų sistemos reikalauja didelių kapitalo investicijų, jos eksploataavimo išlaidos yra mažos, todėl daugeliu atvejų, savininkas-gyventojas yra geriausiai pasiruošęs gauti naudos iš sistemos, todėl yra labiausiai tikėtinas investuotojas.

### 3. FOTOVOLTINĖS SISTEMOS GYVAVIMO CIKLO EKONOMINIO VERTINIMO METODOLOGIJA

Pasaulinis atšilimas atneša nepalankių efektų įvairovę, įskaitant ir rekordiškai aukštą temperatūrą, potvynius dėl padidėjusių liūčių, sausringų vietovių plitimą ir padidėjusią sausras riziką bei stipresnius taifūnus. Dėl šių priežasčių yra būtina sušvelninti šiltnamio efektą įtakojančių dujų (CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O ir kitų) emisiją, kuri sukelia globalinį atšilimą. Šiltnamio efektą sukeliančių dujos yra nematomos, o kiekis, kuris yra išskiriamas į atmosferą yra vis dar neaiškus.

Gyvavimo ciklo vertinimas – pagrindinė šio skyriaus tema – yra naudingas skaičiuojant emisiją. Nors jis ir nėra idealiai tinkamas makro skalės vertinimui (pavyzdžiui, tyrimui iš pasaulinės perspektyvos), bet jis puikiai tinka mikro skalės analizei (pavyzdžiui, produktų svarstymui ar elektros energijos gamybos sistemai). Gyvavimo ciklo vertinimo rezultatai gali paaikškinti pagrindinę emisiją, taip sudarant sąlygas apsvarstyti priemones jų mažinimui.

Šiame skyriuje aptariamas gyvavimo ciklo vertinimas atsižvelgiant į fotovoltinę sistemą. Pirmiausia pateikiama ir aprašoma gyvavimo ciklo vertinimo schema, vertinimo rodikliai, gyvavimo ciklo vertinimo apribojimai, apžvalginė analizė, poveikio vertinimas ir aiškinimas. Kitame skyriuje aprašomos gyvavimo ciklo vertinimo gairės susijusios su fotovoltinėmis sistemomis, daugiausia dėmesio skiriant svarbiausiems klausimams dėl susijusio vertinimo. Toliau yra pateikiamas gyvavimo ciklo vertinimo duomenų rinkimas ir skaičiavimai iš pristatyto pavyzdžio, susijusio su fotovoltiniais moduliais, fotovoltinėmis sistemomis ir sistemos technologijomis.

Pagrindinis mokslinių tyrimų taškas arba charakteristika, kai operatorius vertina fotovoltinę sistemą, yra susijusi su energijos gamyba. Tai yra svarbiausias skirtumas tarp fotovoltinės sistemos ir kitų produktų. Kai pastato vystytojas svarsto apie naują energijos tiekimo sistemą ( pavyzdžiui, pastatą su maža anglies dioksido emisija ir dideliu energijos efektyvumu), gyvavimo ciklo analizė gali pabrėžti fotovoltinės sistemos potencialą ir naudingas medžiagas. Tikimasi, kad tai suteikia du privalumus, iš kurių vienas yra fotovoltinės sistemos optimizavimas. Kai vystytojas analizuoja fotovoltinės sistemos diegimą, turi būti atsižvelgta į įrenginio eksploatavimo vietą. Siekiant užtriktinti optimizaciją, aptariami kintamieji (tokie, kaip kaina, CO<sub>2</sub> emisija). Jei gyvavimo ciklo analizė yra naudojama, sistema gali būti optimizuojama aplinkosaugos požiūriu.

Kitas privalumas yra palyginamumas. Kai lyginamos energijos gamybos technologijos (pavyzdžiui, tiriamas galimos fotovoltinės sistemos, kaip alternatyvios energijos tiekimo sistemos, diegimas gali būti palyginamas su kitomis energijos gamybos sistemomis, arba diegiant energijos tiekimo sistemas remiantis keliomis gamybos technologijomis), taikomi vertinimo metodai ir

taisyklės turi būti vienodos. Tokiais atvejais, gyvavimo ciklo vertinimas gali suteikti kiekybinių rezultatų, taip sudarant sąlygas palyginti kiekvieną technologiją tomis pačiomis sąlygomis.

### 3.1. Vertinimo rodikliai

Gyvavimo ciklo vertinimo rodikliai pasirinkus tikslą yra nustatomi kiekvienu atveju atskirai, pagal tuo metu aktualią informaciją. Kadangi fotovoltinė sistema gamina elektrą, vertinimui gali būti naudojamas energijos atsipirkimo laiko rodiklis (EPT). EPT yra išreikštas metų skaičiumi, per kurį sistema susigrąžina pradinę energijos suvartojimą dalyvaudama jos kūrime per savo gyvavimo ciklą. Formulė, kuri įvertina EPT yra pateikta žemiau. Bendra pirminės energijos fotovoltinei sistemai formulė yra apskaičiuojama naudojant gyvavimo ciklo vertinimą, o metiniai elektros energijos gamybos aspektai yra aprašomi žemiau esančiame skyriuje.

$$EPT \text{ (metai)} = \frac{\text{Bendra sunaudota pirminė FV energija per jos gyvavimo ciklą (kWh)}}{\text{Metinė elektros energijos gamyba (kWh/metus)}} \quad (3.1.1)$$

CO<sub>2</sub> emisijos rodiklis yra naudingas indeksas apibūdinant fotovoltinės sistemos efektyvumą vertinant per pasaulinio atšilimo prizmę. Šis rodiklis naudojamas gamybos technologijų palyginimui. Kadangi fotovoltinės sistemos neveikia tuo pačiu būdu kaip medis, tai čia nėra tokio kaip CO<sub>2</sub> emisijos atsipirkimo laiko. Tačiau, kai kurių tyrimų palyginimui tarp fotovoltinių sistemų ir kitų iškastinio kuro gamybos technologijų yra naudojamas CO<sub>2</sub> atsipirkimo laikas kaip metrinė sistema (Hammond, Jones, Lowrie & Tse, 2008). Šiuose tyrimuose į fotovoltinę sistemą buvo žiūrima kaip į iškastinio kuro alternatyvą, taip atitinkamai siūlant mažinti CO<sub>2</sub> kiekį, kuri sudarė sąlygas CO<sub>2</sub> atsipirkimo laiko apskaičiavimui, tačiau šiame dokumente nenagrinėjama CO<sub>2</sub> atsipirkimo laiko samprata.

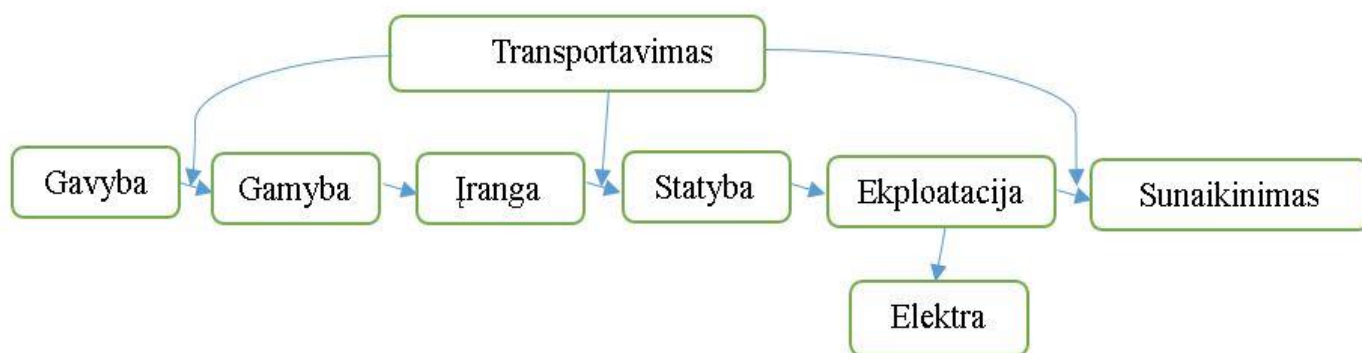
$$CO_2 \text{ emisijos rodiklis } \left( g \frac{CO_2}{kWh} \right) = \frac{\text{Bendra } CO_2 \text{ emisija per gyvavimo ciklą (g } CO_2 \text{)}}{\text{Metinė elektros energijos gamyba } \left( \frac{kWh}{metus} \right) * \text{gyvavimo trukmė (metai)}} \quad (3.1.2)$$

### 3.2. Gyvavimo ciklo vertinimo ribos

Naudojant skirtingus apribojimus, akivaizdu, kad gaunami skirtingi rezultatai, todėl yra svarbu žinoti ir priimti nustatytas ribas. 9 paveiksle parodytos tipinės ribos fotovoltinių sistemų gyvavimo ciklo vertinimui nuo žaliavos kasybos iki visiško sunaikinimo. Kitas aspektas yra kiekvieno etapo riba. Ribos apibrėžia produktus ar paslaugas, susijusias su elemento gyvavimo ciklu. Svarbu, kad informacija, kuri skirasi kiekvienu atveju, tilptų į produkto tikslo apibrėžimą. Pavyzdžiui, veiksmų, įskaitant ir skirtingų tipų fotovoltinius modulių, panaudojimas, masyvas, diegimo ir eksploatavimo



metodai turi būti identifikuojami tam, kad būtų galima pastatyti tinkamą sistemą. Netiesioginiai veiksniai taip pat turėtų būti apsvarstyti kiek įmanoma plačiau.



9 Pav. Fotovoltinės sistemos gyvavimo ciklo vertinimo ribos

### 3.3. Apžvalginė analizė

Apžvalginė analizė atliekama siekiant įvertinti medžiagos įtaką aplinkai ją gaminant ar naudojant visą jos gyvavimo ciklą. Tai apima tikslių procesų įtraukimą į gyvavimo ciklą ir jų kiekybinį vertinimą, tuomet identifikuojant visas aplinką įtakojančias medžiagas. Objekto duomenys vėliau yra vertinami kaip bendra visuma. Tačiau, žinant kaip yra sunku surinkti visus su tuo susijusius procesus, rezultatai gali būti supaprastinti dėl trūkstamų duomenų. Dėl šių priežasčių yra labai svarbu suprasti taikytinas ribas, duomenų kokybę ir prielaidas įtrauktas skaičiavimuose, kai atliekamas gyvavimo ciklo vertinimo tyrimas.

### 3.4. Poveikio vertinimas

Poveikio vertinimas susideda iš trijų procesų: klasifikavimo, charakterizavimo ir lengvatos. Klasifikavime aplinką įtakojančios medžiagos yra skirstomos pagal tai, kaip jie susiję ir kokią įtaką daro. Pavyzdžiui, CO<sub>2</sub> bus skiriamas prie globalinio atšilimo, sieros oksidas (SO<sub>x</sub>) priskiriamas prie rūgštaus lietaus, veikiančio visuomenės sveikatą ir t.t. Poveikio potencialas yra apskaičiuojantis remiantis apžvalgine analize. Tariant energijos atsipirkimo laiką, sunaudotos energijos kiekis yra suskaičiuojamas ir klasifikuojamas. Tariant CO<sub>2</sub> emisijos normą, emisijos yra paskaičiuojamos klasifikuojant jas į atitinkamas kategorijas.

Charakterizacijoje išvesties medžiagų kiekiai yra apskaičiuojami naudojant tokius charakteristinius veiksnius, kurių gamyba veikia kategorijos rodiklius. Visų pirma įvesties energija yra apskaičiuojama pagal elektros ar šiluminės vertes. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija yra skaičiuojama pagal CO<sub>2</sub> ekvivalentą naudojant globalinio atšilimo potencialo rodiklius, kaip tai apibūdina Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija.

Lengvatos nėra numatytas tarptautinės standartizacijos, nes yra pankamai sudėtinga nustatyti vieną rodiklį skirtingoms globalinio atšilimo vietovėms bei ozono sluoksnio ardymo potencialą. Todėl paprastas palyginimo metodas yra vis dar reikalingas. Du galimi metodai: žalos vertinimas ir aplinkos kategorijos svorio vertinimas. Nesvarbu, kuris metodas naudojamas, lengvatos turi būti skaidrios.

### **3.5. Aiškinimas (interpretacija)**

Gyvavimo ciklo vertinimo rezultatai gali priklausyti nuo tyrimo ribų ir požiūrio į apžvalginę analizę. Atitinkamai, aiškinyje veikimo būdo padarinys turi būti aprašytas. Paprastai naudojami gyvavimo ciklo vertinimo duomenys apima sąmatas ir nurodytą informaciją. Dėl šios priežasties, jei rezultatams didelę įtaką turi duomenys, būtina pridėti jautrumo analizę.

#### **4. ADMINISTRACINIAME PASTATE INTEGRUOTOS FOTOVOLTINĖS SISTEMOS GYVAVIMO CIKLO EKONOMINIO VERTINIMO REZULTATAI IR DISKUSIJA**

Tyrimo idėja ir rezultatai buvo naudojami pagal administracinio pastato fasadą, kuris pastatytas Lietuvoje, Klaipėdos laisvosios ekonominės zonos teritorijoje. Geografinės koordinatės: 55.6589873,21° ilguma ir 21.201742° platumu. Pastatas sudarytas iš dviejų dalių: administracinės dalies ir gamybinių patalpų. Antrinis fasadas uždengtas nuo antrojo aukšto iki ketvirto tik administraciniame pastate. Antrinis fasadas buvo suprojektuotas iš stiklo laminatų taip, kad 2/3 dengia fotovoltinė sistema, o 1/3 yra skaidri stiklinė zona. Fasadas, kurio viena dalis yra pietrytinėje pusėje, o kita pietvakarių, yra uždengtas antriniu fasadu, kurį sudaro dažyto stiklo laminatai su fotovoltine sistema. Bendras administracinio pastato antrinio fasado plotas 385m<sup>2</sup>. Fotovoltai padengtas plotas – 230m<sup>2</sup>. 10 paveiksle parodytas tiriamo administracinio pastato fasadas. Detalūs duomenys apie pastatą pateikti 4.3. lentelėje.



**10 Pav. Vertinamo administracinio pastato su integruotais fotovoltai fasadas**

**4 lentelė. Detalūs administracinio pastato duomenys**

Pastatymo metai	2009
Tiksli vieta	Pramonės g. 11, Klaipėda
Aukštai	4 aukštai
Fotovoltinė sistema uždengti aukštai	3 aukštai
Konstrukcija	Laminuotos plokštės, stiklinis fasadas, metalinis karkasas, gelžbetoninės perdangos, stogas metalinių konstrukcijų, sutapdintas
Nuosavybės teisės	Įmonė „X“
Bendras grindų plotas	230m <sup>2</sup>
Bendras energijos poreikis	434,8 kWh/m <sup>2</sup> per metus

#### **4.1. Administracinio pastato su integruotais fotovoltais gyvavimo ciklo vertinimo duomenų analizė**

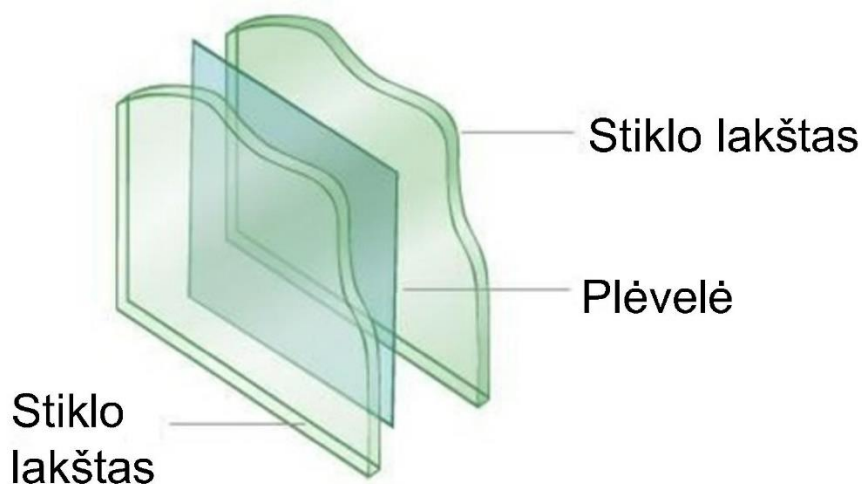
Gyvavimo ciklo vertinimo duomenys yra skirstomi į pirminius ir antrinius tipus. Pirminio tipo duomenys yra susiję su modžiagomis, iš kurių produktas yra pagamintas, tokių kaip stiklas, laidai, mikroinverteriai. Antrinio tipo duomenys yra susiję su medžiagomis, kurios yra netiesiogiai įtrauktos į gaminį, kaip variniai kabeliai. Antraplaniai duomenys dažniausiai yra tiekiami gamintojų, tuomet duomenų bazės vertės yra naudojamos antriniam duomenims dėl sunkumų, surenkant tokią informaciją. Tokia duomenų bazė apibrėžia įvesties ir išvesties duomenis skirtingoms medžiagoms. Pavyzdžiui, gyvavimo ciklo vertinimo įvesties duomenys yra anglies, klinčių, geležies rūdos, stiklo, naftos ir kitų produkte naudojamų medžiagų svoris; išvesties duomenys susiję su išmetamosiomųjų CO<sub>2</sub> dujų, azoto oksido (NO<sub>x</sub>), sieros oksido (SO<sub>x</sub>) svoriu bei biocheminiu deguonies poveikiu.

Šie duomenys gali būti gaunami iš gyvavimo ciklo vertinimo duomenų bazės ar naudojant gyvavimo ciklo vertinimo programinę įrangą.

Spinduliavimo duomenys taip pat yra reikalingi gyvavimo ciklo vertinimo skaičiavimams dėl fotovoltinės sistemos. Jeigu yra galimybė naudoti ilgalaikius duomenis šiai sistemai, nėra tikslo įvesti spinduliavimo duomenis. Vis dėlto, aplinkosaugos ataskaita yra reikalinga dar prieš diegiant fotovoltinę sistemą. Jeigu spinduliavimo duomenys yra prieinami, fotovoltinė sistema gali būti apskaičiuota ir pirminis gyvavimo ciklo įvertintas. „Meteonorm“ išvystyta „Meteotest“ yra gerai žinoma spinduliavimo duomenų bazė.

#### 4.1.1. Laminuotas stiklas

Laminuotas stiklas – tai saugaus stiklo tipas, kuris nesubyra į šukes kai sudūžta. Dūžio metu stiklo šukes sulaiko ir neleidžia pabirti PVB<sup>1</sup> plėvelė esanti tarp dviejų ar daugiau stiklo lakštų. Tokie laminatai yra dažnai naudojami pastatuose kaip turėklai, pertvaros ar antriniai fasadai. Stiklo laminatai gali būti įvairių formų, spalvų, su skylėmis ar išpjovomis – visa tai priklauso nuo kliento poreikių ir techninių galimybių.



11 Pav. Laminuoto stiklo pjūvis

Plėvelės storį galima keisti nuo 0,38mm iki 3,04mm tiesiog didinant plėvelių skaičių. Tarp šių plėvelių galima įlaminuoti įvairias medžiagas: tekstilę, popierių, aliumininį tinklelį ar bet kokią kitą pluoštą, kuris atlaiko 720 °C temperatūrą. Viena iš tokių medžiagų yra fotoelementas bei kartu su juo įlaminuojami metaliniai laidai, kuriais sukaupia saulės energija perduodama į mikroinverterius. Ją galima kaitinti, ji nesideformuoja ir išlaiko visas reikalingas savybes.

Anaziluojamame projekte laminato sudėtis buvo tokia:

ESG DP 8mm Clarity AR DTC #2, GE / 1,52mm PVB Clear / Fotoelementas / 0,76mm PVB Clear / ESG 8mm Planibel Clearvision, GE

Formulė skaitoma: grūdintas, skaitmeniniu printeriu antroje pozicijoje dažytas 8mm antireflekcinis stiklas šlifotomis kraštinėmis, 1,52mm storio PVB plėvelė / fotoelementas / 0,76mm PVB storio plėvelė ir grūdintas 8mm praskaidrintas stiklas šlifotomis kraštinėmis.

---

<sup>1</sup> PVB – Polyvinyl butylar

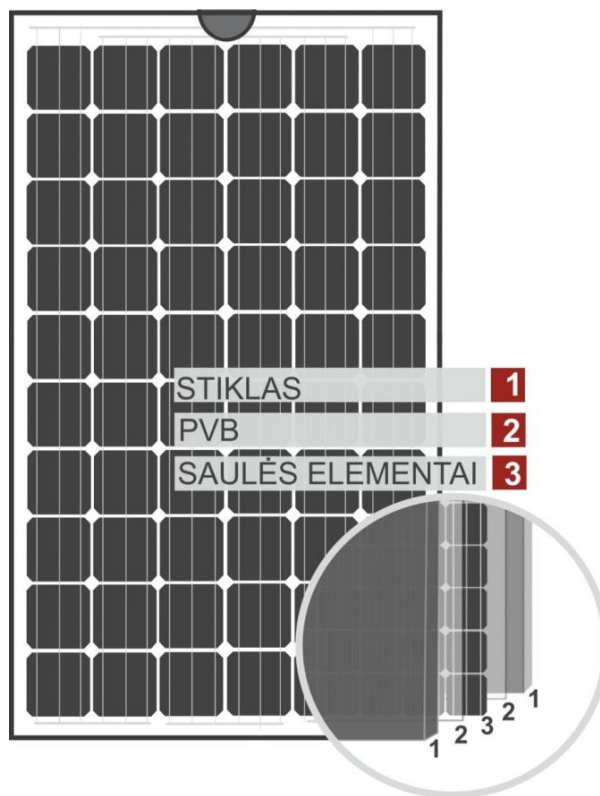
#### 4.1.2. Fotovoltų elektros energijos gamyba

Eksperimentais ir imitaciniai bandymais buvo išaiškinta, kad vertinant techno-ekonominius rodiklius ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo kiekį šiltuose ir šaltuose regionuose, naudojant fotovoltines sistemas būtų galima sumažinti nuo 17 % iki 19 %. Tačiau tai nėra efektyvus sprendimas taupyti energiją administraciniuose pastatuose. Norėdami padidinti našumą ir fotovoltinės sistemos efektyvumą, ji yra kombineuojama su saulės kolektoriumi, kuris šildo vandenį ir 230 m<sup>2</sup> administraciniame pastate sutaupo energijos 10 %.

#### 4.1.3. Fotovoltinis modulis

Fotovoltai apima šviesos pavertimą elektros energija naudojant puslaidininkes medžiagas. Dažniausiai fotovoltai naudojami saulės kolektoriuose, kuriuose saulės elementai išdėliojami atitinkama matrica, taip versdami saulės energiją į elektros energiją.

Pastato fasade integruoti fotovoltai – tai fotovoltų matrica, kuri gali būti integruota į pastato fasadą ir tapti jo dalimi. Taip gali būti pakeičiamos įprastos statybinės medžiagos į naujus inovatyvius produktus.



12 Pav. Fotovolto modulis

12 pavaiksle (<http://www.viasolis.eu/lt/pradinis-puslapis/>) parodytoje modulio sudėtis gali būti keičiama pagal kliento poreikius ir pastatui keliamus reikalavimus. Nebūtinai elementai turi būti išdėstomos visu plotu, galima palikti skaidrią zoną arba ją padaryti pusiau permatomą uždažant pasirinktu piešiniu skaitmeninio printerio pagalba keramikiniais dažais. Būtent taip ir yra padaryta

analizuojamame projekte. Tyrime naudotame fotovoltiniame modulyje tarp 2 stiklų įlaminuotas fotoelementas yra polikristalinis.

#### 4.1.4. Gyvavimo trukmė

Gyvavimo trukmę yra sunku įvertinti, nes dauguma fotovoltinių sistemų vis dar veikia arba buvo pagamintos ankstyvojoje technologijų vystymosi stadijoje. Vis dėlto, reikia remtis tyrėjų išanalizuotais rezultatais ir nustatyti tikėtiną fotovoltinės sistemos gyvavimo trukmę. 5 lentelėje parodytos tikėtinos gyvavimo trukmės:

**5 lentelė. Fotovoltinę sistemą sudarančių medžiagų gyvavimo laikas**

Fotovoltinis modulis	30 metų naujausios modulio technologijos
Keitiklis	30 metų su 10% daliniu pakeitimu kas 10 metų
Konstrukcija	30 metų metalinės fasadų konstrukcijose sumontuotiems vienetais
Kabelių sistema	30 metų

Šaltinis: IEA (2011)

#### 4.1.5. Saulės spinduliavimo duomenys

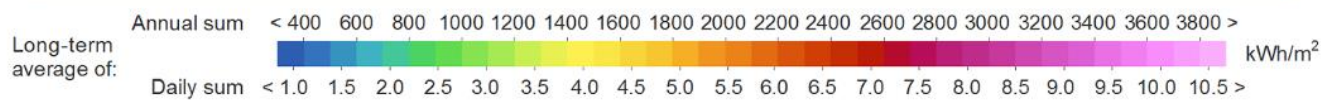
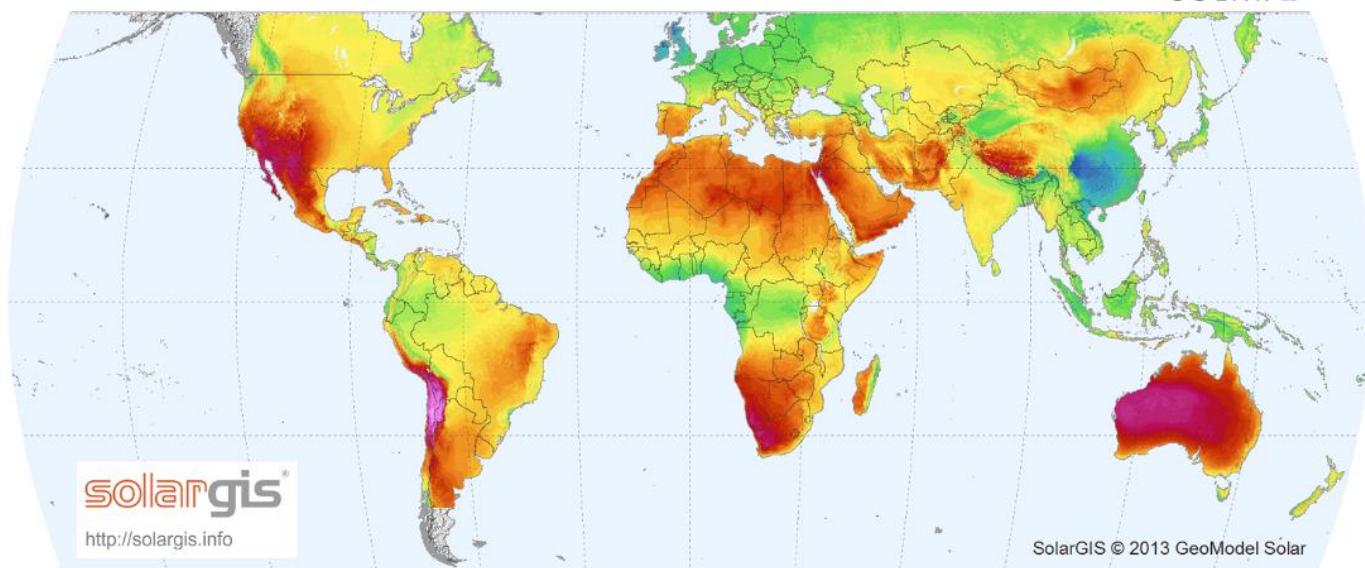
Saulės spinduliavimas – tai energija išreikšta į kvadratinį metrą, gaunama iš saulės elektromagnetinės radiacijos bangų ilgio diapazono. Spinduliavimas gali būti matuojamas kosmose arba žemės paviršiuje po atmosferos absorbcijos ir išsklaidymo. Spinduliavimo duomenys priklauso nuo vietovės ir fotovoltinių modulių pasukimo kampo.

13 pavaiksle parodytas pasaulio saulės spinduliavimo žemėlapis. Pagal šį žemėlapią gaunamas apytikslis ilgalaikis metinis spinduliavimo potencialas, kuris Lietuvos teritorijoje būtų lygus apie 1000 kWh/m<sup>2</sup>, o dienos – apie 2,8 kWh/m<sup>2</sup>. Tiksliai saulės spinduliavimo reikšmė naudojama šiame tyrime buvo paimta iš ant stogo sumontuotos oro sąlygų perdavimo stoties (14pav.). Ji rodo ne tik oro temperatūrą, bet ir spinduliavimo duomenis atitinkamame taške. Remiantis duomenimis pagal saulės spinduliavimo žemėlapią ir orų stoties nuroytas skaitinės vertės, pietrytinio fasado spinduliavimas lygus 861 kWh/m<sup>2</sup>, o pietvakarinio – 850 kWh/m<sup>2</sup>. Šios skaitinės vertės ir buvo suvestos į PVSyst 6.4.1 programą.



## WORLD MAP OF DIRECT NORMAL IRRADIATION

GeoModel  
SOLAR



13 Pav. Saulės prinduliovimo pasaulio žemėlapis



14 Pav. Ant stogo sumontuota oro sąlygų perdavimo stotis



Šiame tyrime buvo naudojama „PVSyst V6.4.1“ programinė įranga, kuri skirta architectams, inžinieriams bei tyrėjams. Taip pat ji gali būti puikiai naudojama mokymo tikslais. „PVSyst V6.4.1“ gali importuoti oro sąlygų duomenis iš įvairių šaltinių, taip pat tyrėjo turimų duomenų. Išvesties duomenis galima panaudoti gyvavimo ciklo vertinimui.

#### 4.1.6. Naudingumo santykis

Naudingumas yra fotovoltinės jėgainės kokybės matavimo vienetas, kuris nėra priklausomas nuo vietovės ir dažnai apibūdinamas kaip kokybės veiksnys. Naudingumas yra nurodomas procentais ir apibūdina santykį tarp teorinės ir realios fotovoltinių jėgainių energijos išeių. Tai rodo energijos dalį, kurią ištikrųjų galima eksportuoti į tinklą atskaičius energijos (šiluminius, laidumo) nuostolius ir energijos suvartojimą eksploatavimui.

Naudingumo santykio formulė:

$$PR = \frac{E_{realus}}{E_{teorinis}} \quad (4.1.3.1)$$

Čia:

PR – naudingumo santykis

E – Energijos kiekis (kWh)

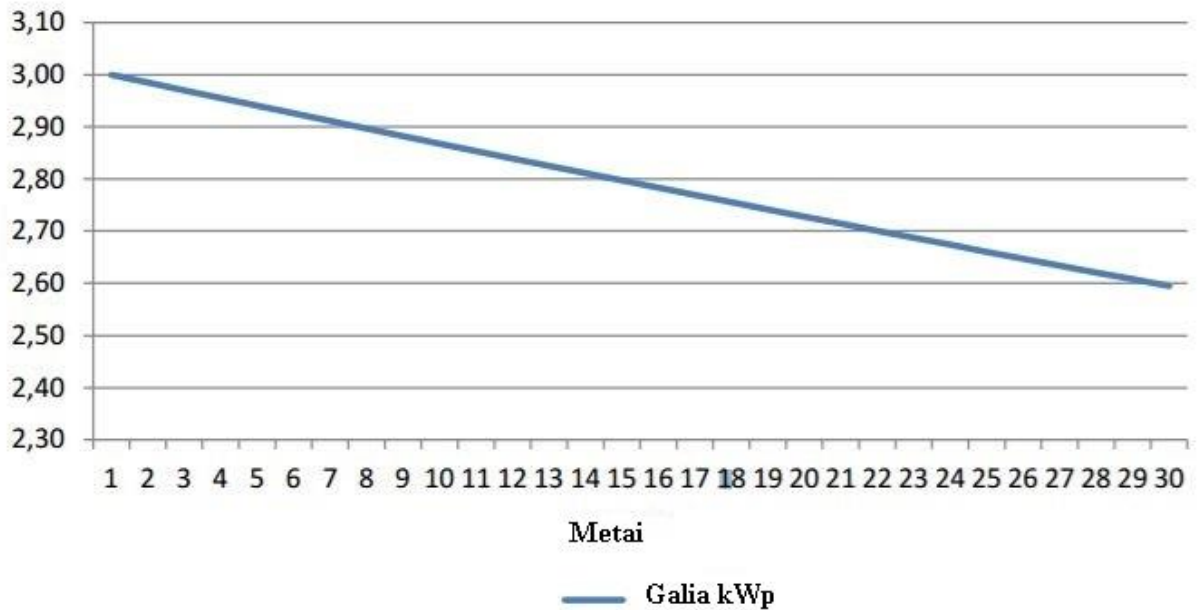
Kuo arčiau nustatytas naudingumo santykis 100 % ribos, tuo efektyviau veikia fotovoltinė sistema. Realiame gyvenime 100 % vertė nėra pasiekama dėl neišvengiamų nusotolių, kurie visuomet iškyla įrengiant fotovoltines sistemas (pavyzdžiui, šilumos praradimas, dėl fotovoltinių modulių šildymo). Tačiau aukštos kokybės fotovoltinės sistemos gali pasiekti apie 80% efektyvumo santykį.

#### 4.1.7. Nuvertėjimas

Dauguma fotovoltinių modulių degraduoja kasmet tiek, kad tai vis dar yra labai aktuali tyrimų tema, ypač plonasluoksnėse fotovoltinėse sistemose. Vis dėlto, 0,5 % per metus atrodo yra dažniausiai minimas skaičius kalbant apie kristalinio silicio fotovoltinius modulius. Brandžios technologijos moduliams yra priimtina išlaikyti 80% jų pradinio efektyvumo po 30 metų gyvavimo trukmės.

Fotovoltinių modulių nuvertėjimas paveikia visą fotovoltinę sistemą. Žemiau pateiktoje diagramoje matyti kaip nuvertėjimas keičiasi metų bėgyje. Po 30 metų sumontuotos sistemos galia sumažėja iki 2,59 kWp nuo 3 kWp. Taigi net jeigu gyvavimo ciklas viršytų 40 metų, tai galia atitiktų tik 2,47 kWp. Metinis našumas yra apie 925 kWh/kWp per visą saulės elementos gyvavimo ciklą.

### Sumažėjusi didžiausia galia dėl nuvertėjimo



15 Pav. Pradinės įdiegtos fotovoltinės sistemos nuvertėjimo tempas

Fotovoltinių modulių sudedamąsias dalis galima perdirbti. Stiklą galima sudaužyti, o jo duženas panaudoti naujo stiklo gamybos technologijoje (trečdalį naujai gaminamo stiklo žaliavos sudaro stiklo duženos), izoliacinio pluošto gaminiams ir stiklo pakuočių kūrimui. Metalai gali būti integruojami į produktų srautą, o plastikas – panaudojamas kaip naujų medžiagų žaliava.

Naudojant chemines eliuento vonias ne silicio bazių pagrindu pagaminti fotoelementai gali būti perdirbami, taip iš jų susigrąžinami metalai (tokie, kaip kadmio, selenas, telūras ir indis). Gautas skystis turi didelį kiekį metalų, kurie gali būti išimami ar panaudojami pakartotinai. Laminavimo plėvelė yra pašalinama mechaniniu būdu, o po jo ir stiklas. Po valymo stiklas sudaužomas į vienodos frakcijos daleles ir panaudojamas kaip stiklo žaliava flotacinio stiklo gamyboje.

Dėl aukštų šio perdirbimo proceso kainų, nes kol kas yra labai mažai specifinių medžiagų perdirbimo vietų su tokiomis charakteristikomis, tik kelios kompanijos vysto plonasluoksnių ir ne silicio fotovoltų perdirbimo technologijas.

Visi rinkiniai, kurių gyvavimo ciklas pasibaigęs ir yra nebetinkami eksploatacijai, yra perdirbami ar sunaikinami pagal Lietuvos Respublikos nustatytą tvarką.



**16 Pav. Sudaužyti, perdirbimui paruošti fotovoltai**



**17 Pav. Fotovoltuose naudoto stiklo smulkinimas**

#### **4.2. Administracinio pastato, su integruota fotovoltine sistema, energijos atsipirkimo laikas, remiantis gyvavimo ciklo vertinimo metodu**

Pasirinkto administracinio pastato energijos atsipirkimo laikas yra skaičiuojamas remiantis gyvavimo ciklo vertinimu. Pirmiausia nustatomas tikslas, apimtis ir sistemos ribos. Tuomet parenkami ir apskaičiuojami reikalingi vertinimo rodikliai, o gauti duomenys suvedami į PVSyst 6.4.1 programą.

##### **4.2.1. Tikslas, apimtis ir sistemos ribos**

Šio tyrimo tikslas yra išsiaiškinti poveikį aplinkai per gyvavimo ciklo vertinimą, taip pat požiūrį į pastatuose integruotų fotovoltų skirtingas gamybos technologijas. Todėl gyvavimo ciklo vertinimo panaudojimas yra vystomas pirminėje projektavimo fazėje tam, kad būtų galima įgyvendinti projekto aplinkosaugos tikslus, kaip sprendimo priėmimo įrankį parenkant pastato elementą, taip pat

kaip prekybos kompromisą tarp gyvavimo ciklo etapų, tokių kaip gamyba, ir veiklos fazių fasade. Be to, šiame skyriuje aprašomas gyvavimo ciklo vertinimo santykis su fotovoltine sistema. Pateikiamas holistinis fotovoltinės sistemos schemos aprašymas, įvertinimo rodikliai, apriboimai, apžvalginė analizė ir poveikio vertinimas bei interpretacija.

Sistemo ribos apima visus susijusius procesus nuo gamybos kol viršija galutinio gyvavimo ciklo etape produkto naudą, įtraukiant transportavimo etapus. Skirtingų stadijų svarstymai šios sistemos ribose yra parodyti pilkame fone pagal EN15804 standartą konstrukcijų elementams ir darbui (6 lentelė).

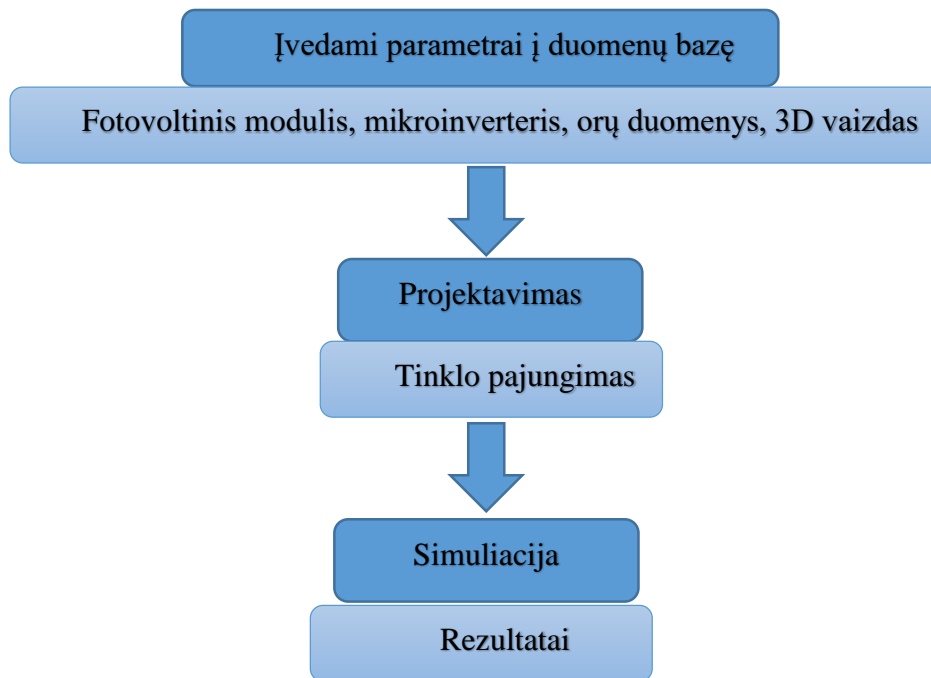
**6 lentelė. Gyvavimo ciklo ribų parinkimas**

Medžiagos gyvavimo ciklo informacija																			
[1]			[2]							[3]									
Produkto stadija			Statybos stadija		Naudojimo stadija					Gyvavimo pabaigos stadija									
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4						
Žaliavos	Transportas	Gamyba	Transportas	Konstrukcijos montavimas	Naudojimas	Priežiūra	Taisymas	Keitimas	Renovacija	Konstrukcijos nurinkimas	Transportas	Perdirbimas, antrinis panaudojimas	Atsikratymas	D modulis viršijus nustatytas paskokų ir išmokų ribas					
															B6 Energijos naudojimams veiklai				
															B7 Vandens naudojimams veiklai				

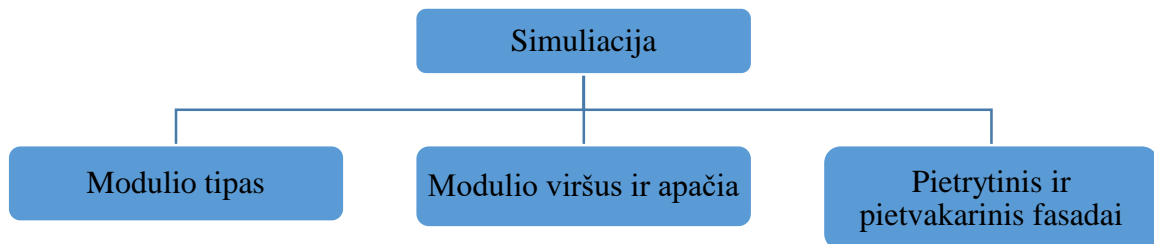
#### 4.2.2. Vertinimo rodiklių skaičiavimas

Rodiklių skaičiavimui ir projekto vertinimui buvo naudojama programinė įranga PVSyst V6.4.1. Į programą suvedami kiekvieno atskiro parametro duomenys atskirai. Projektuojant yra svarbus azimutas ( $-30^\circ$ ) ir fotovoltinės sistemos pasukimo kampas (šiuo atveju sistema stovi vertikaliai  $90^\circ$  kampu), išsamūs nuostoliai, sistemos parametrai (modulio ir mikroinverterio sujungimas). Suvedus duomenis atliekama simuliacija (18 pav.)

Simuliacija yra padalinama į kelias grupes: 4 skirtingų tipų moduliai – skirtingi parametrai; viršutinė ir apatinė modulio dalys, nes jos pajungtos į atskirus mikro inverterius, pietrytinis ir pietvakarinis fasadai – tai vaidina labai svarbų vaidmenį tyrime (19 pav.).



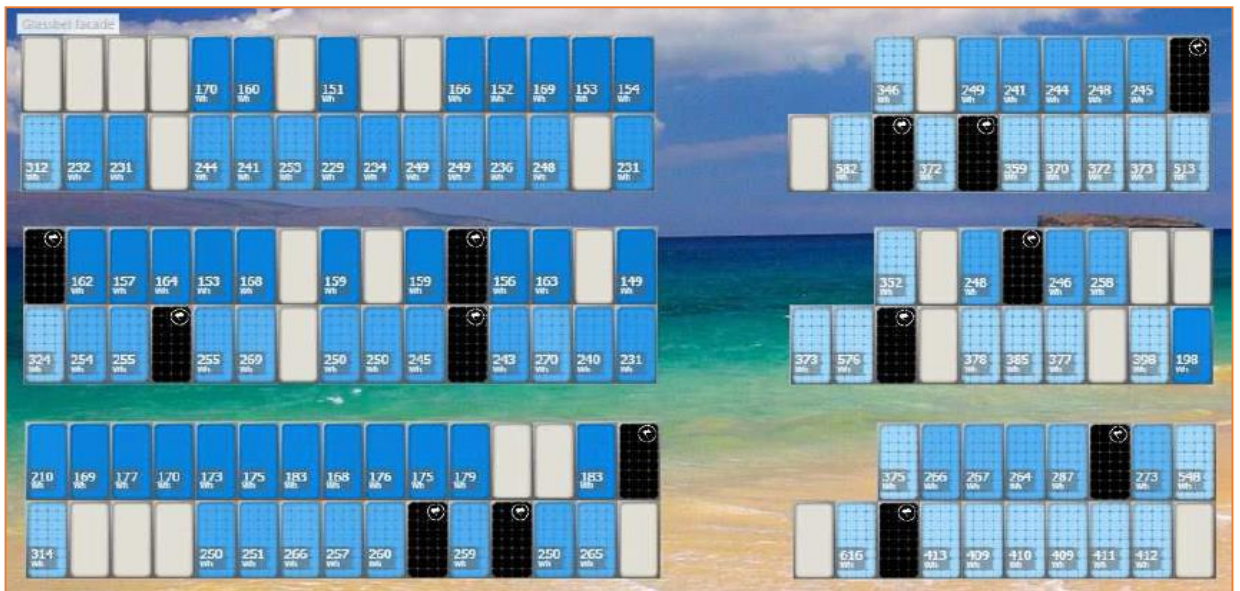
**18 Pav. Fotovoltinės sistemos duomenų vedimo schema į PVsyst programą**



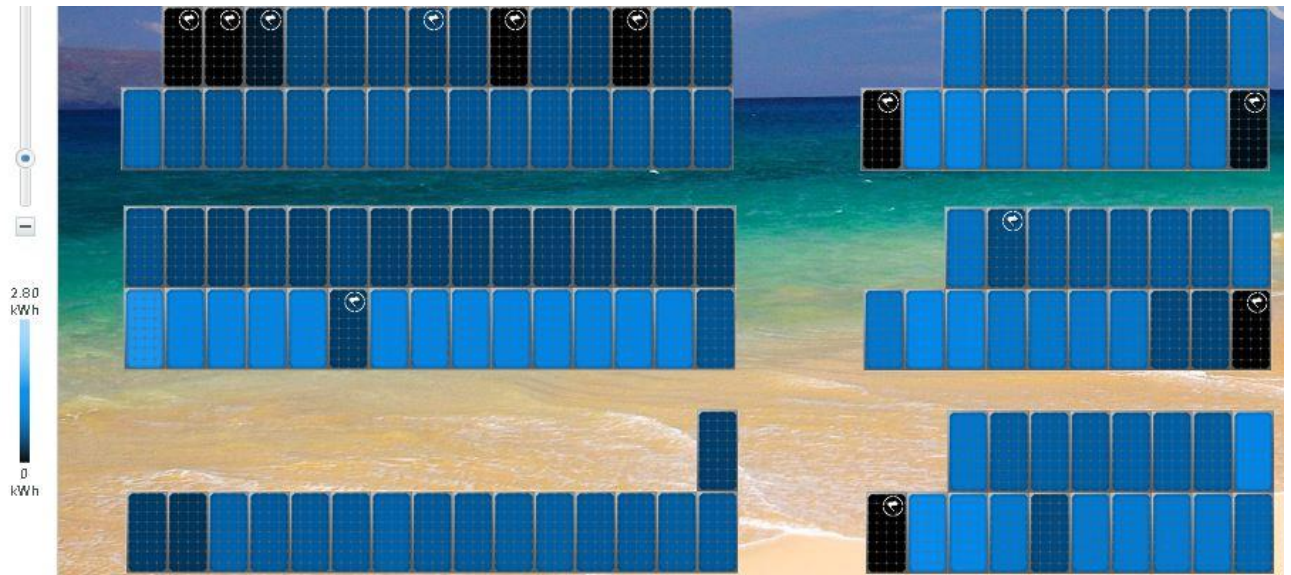
**19Pav. Simuliacijos skaidymo į grupes schema**

Kiekvienas modulis generuoja skirtingą energijos kiekį. Šį procesą galima sekti nuotoliniu būdu kasdiens stebint pasikeitimus, modulių veikimą, sugeneruotos energijos kiekį. Saulėtų ir apniukusių dienų modulių veikimas parodytas 20 ir 21 paveiksluose.



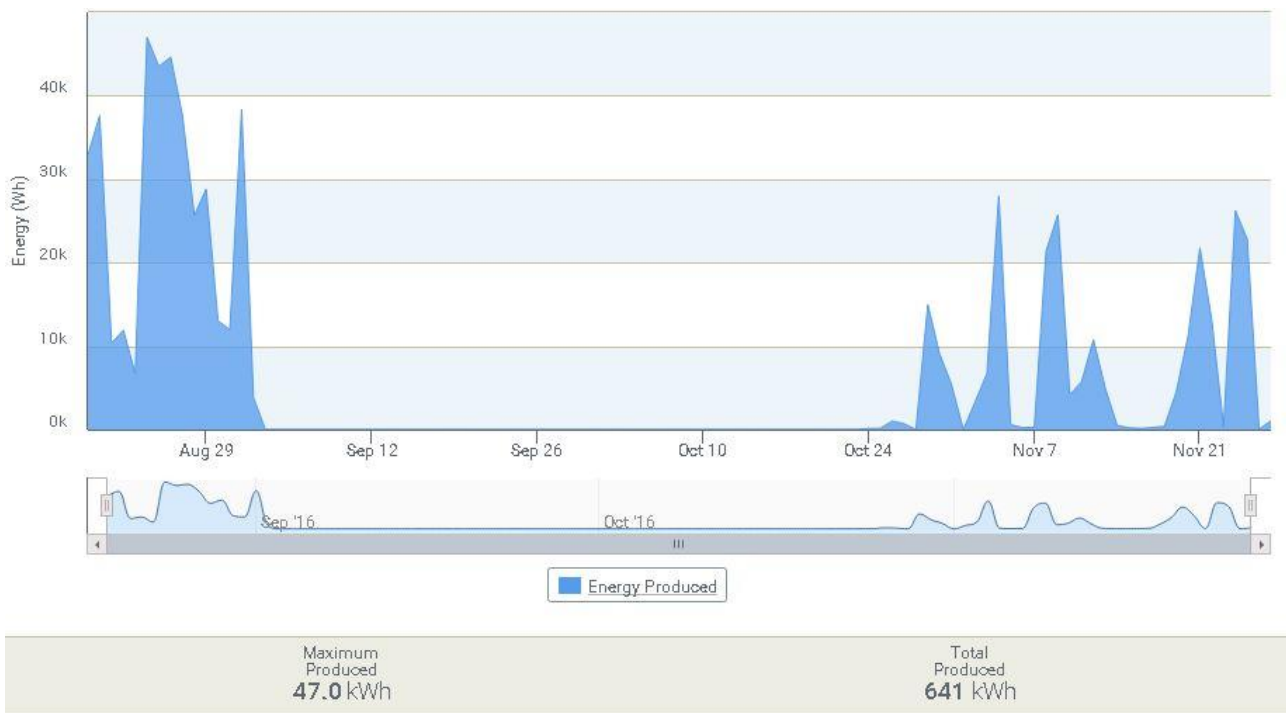


20 Pav. Modulių veikimas saulėtą dieną



21 Pav. Modulių veikimas apsiniaukusią dieną

Juoda spalva pažymėti moduliai negeneruoja energijos, o šviesiai mėlyni generuoja daugiausiai energijos. Per visa gyvavimo ciklą sugeneruotos energijos kiekis yra 641 kWh, tačiau tyrimui įtakos turėjo neteisingas jungiamųjų dėžučių pajungimas, todėl nuo rugsėjo 3 dienos iki spalio 23 dienos sistema neveikė (22 pav.). Dėl šios priežasties galima teigti, kad šis energijos kiekis pagamintas per 50 dienų, tai vidutiniškai per dieną pagaminama 12,82 kWh.



**22 Pav. Sugeneruotos energijos kiekis per gyvavimo ciklą**

Pagamintos energijos kiekis buvo skaičiuojamas specifinę išeią dauginant iš nominalios galios:

$$Pagaminta\ energija = I\dot{s}eiga * P_{nominal} \quad (4.3.2.1)$$

Čia:

$$P_{nominal} = 19.83 \text{ kWp}$$

$$I\dot{s}eiga = \text{Saulės spiduliavimas} * \text{Naudingumas}$$

Naudingumo santykis pasakičiuotas pagal 4.1.3.1 formulę ir gauta 83%. Sustačius reikiamas reikšmes paskaičiuota, kad fotovoltinis fasadas per metus gali pagaminti 14057,7 kWh. Administracinio pastato energijos poreikis per metus yra 100 MWh, tai reiškia, kad iš fasado gaunamos energijos užtenka kompensuoti septintadalį sunaudotos tiesioginės energijos.

Gautas naudingumo koeficientas parodo, kad sistema yra ne tik išvaizdi ir inovatyvi, bet ir gerai suprojektuota.

Žemiau pateiktame pavaiksle parodytas iš PVSyst V6.4.1 programos gaunamas pagrindinių rezultatų lapas (23pav.).

PVSYST V6.41	16/11/16	Page 2/3
<b>Grid-Connected System: Main results</b>		
<b>Project :</b>	<b>Grid-Connected Project at Klaipeda</b>	
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>	
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>
PV Field Orientation	tilt	90° azimuth -30°
PV modules	Model	G5.2 Bottom 205Wp 48 cells 205 Wp
PV Array	Nb. of modules	1 Pnom total <b>205 Wp</b>
Inverter	Model	Enphase M215 50Hz Pnom 215 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)	
<b>Main simulation results</b>		
System Production	<b>Produced Energy</b>	<b>163.1 kWh/year</b>
	Specific prod.	794 kWh/kWp/year
	<b>Performance Ratio PR</b>	<b>81.7 %</b>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 205 Wp</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Performance Ratio PR</b></p> </div> </div>		

**23 Pav. Simuliacijos rezultati iš prgramos PVSyst V6.4.1**

Panaudojus programinės įrangos pateiktus išvesties duomenis, pagal 3.1.1 formulę apskaičiuojamas prognozuojamas fotovoltinės sistemos energijos atsipirkimo laikas yra 25,1 metų, todėl galima sakyti kad sistema bus efektyvi ir generuos energiją apie 25 metų. Galima teigti, kad 27 metų gyvavimo ciklas yra labai realus, nes pavienių sistemos dalių gyvavimo laikas yra 30 metų, tačiau šis skaičius nurodo sistemos gyvavimo laiką neįvertinus papildomų investicijų ir laiko į sistemos renovavimą ir atnaujinimą.

Kadangi šiame darbe nėra detalai analizuojamas CO<sub>2</sub> emisijos rodiklis, todėl nėra realios skaitinės vertės, yra tik preliminari apie 10 gCO<sub>2</sub>/kWh, tačiau aplinkos naudą galima įvertinti. Iki lapkričio 27 dienos sugeneruotos energijos kiekis 641 kWh kompensuoja 443 kg iš biomasės gaunamos energijos. Tai atitinka 60 individualių gyvenamųjų namų aprūpinimą energija vieną dieną (24 pav.).



Pagaminta energija

**641 kWh**

Vieną dieną energija aprūpinamų namų skaičius:



Išmetamo anglies kiekio kompensavimas

**443 kg**

Anglies kiekį kompensuojančių medžių skaičius:



## 24 Pav. Fotovoltinės sistemos sugeneruotos energijos ir kompesuotos anglies oksido kiekio palyginimas

BIPV rinka yra labai perspektyvi (prognozuojama, kad šiemet pasaulinė BIPV rinka augs iki 9,93 mlrd. Eur.)<sup>2</sup>, bet ji vis dar laikoma naujiena palyginus su fotovoltai integruotais į stogo konstrukcijas ar tiesiog vientisą saulės kolektoriaus sistemą, skirtą išskirtiniams pastatams. Pagal Tarptautinę Energetikos Agentūros Fotovoltų Energijos Sistemos programą (Uždavinys Nr. 7)<sup>3</sup> komerciniams ir administraciniams pastatams fotovoltinės sistemos galėtų sutaupyti 15 % - 17 % (131,7 TWh per metus). Dėl kombinuotos gyvenamųjų ir administracinių pastatų rinkos apie 29 % energijos (246 TWh per metus) būtų galima gauti iš pastatuos integruotų fotoelementų. Tai atitinka 73000 MW energijos ir galėtų sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą 23000 MT. Pagrindinės šios labai potencialios inovacijos kliūtys, trukdančios jos diegimą rinkoje yra:

- Fotovoltų modulių gamintojai vis dar kalba apie “standartinius modulius” ir kainą už vatą ( $W_p$ ), vietoje to, kad stengtųsi orientuotis į lankstumą, didintų dizaino galimybes (įvairūs dydžiai, spalvos, formos, ir medžiagos), kurios tenkintų architekto poreikius su atitinkama kainos indikacija už kvadratinį metrą (Eur/m<sup>2</sup>).
- Informacijos trūkumas tarp fotovoltų gamintojų, architektų / techninių reikalavimų ir fotovoltų sistemos montuotojų veda prie struktūrinių problemų, su kuriomis susiduria architektai, inžinieriai ir montuotojai, kai reikia įkomponuoti visą sistemą į pastato atitvaras (fotovolto įmontavimas į atitvarą, statybos sektoriuje, dažniausiai matomas kaip trūkumas, o ne kaip privalumas, nes vis dar gaji nuomonė, kad pastato elementas ir fotovoltas negali efektyviai ir darniai veikti kaip vienas vienetas).

<sup>2</sup> Buidins Integrated Photovoltaic Market 2011. Ataskaita iš NanoMarkets.

<sup>3</sup> International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (Task 7)

- Automatizuotas gedimų nustatymas, valdymas ir kuo paprastesnė priežiūra yra vienas iš pagrindinių ir prioritetinių pastato savininkų ir operatorių reikalavimų, norint užtikrinti sklandų ir nepertraukiamą darbą. BIPV sistemos veikimo sąlygos, dėl skirtingų orientacijų ir polinkių, šešėlių, atspindžių, nešvarumų ir t.t., gali sukelti didelius energijos nuostolius ir didelis techninės priežiūros išlaidas. Kai kurie iš šių ypatumų yra negali būti pašalinami, bet juos galima sumažinti naudojant išmaniąsias architektūrinės priemones.
- Žemas konkurencijos lygis ir aukšta BIPV produktų kaina (palyginus su standartinėmis sistemomis)
- Teisiniai ir administraciniai barjerai, susiję su specialiais plėtros standartais, statybos techniniais reglamentais, valdžios ir vietinių žmonių paskatos.

Platus BIPV sistemos dislokavimas, kaip mažo anglies dioksido kiekio technologijos, prisideda prie diversifikuoto Europos energetikos portfelio ir klimato kaitos programos siekimo tikslų įgyvendinimo. Taip pat ji priverčia ieškoti naujų dizaino variantų bei kurta vertingus pasiūlymus būsimiems klientams. Architektai ir techniniai dizaino inžinieriai yra lyg tiltas jungiantis du atskirus sektorius: statybos ir fotovoltų modulių. Jie abu vaidina svarbų vaidmenį ieškant privalumų ir BIPV sistemų potencialų remiantis nustatytais statybos techninio projekto reikalavimais. Tam, kad BIPV sistema būtų harmoningai integruota į pastato atitvaras reikia:

- Pradėti fotovolto, kaip pastato dalies, modeliavimą nuo ląstelės lygio (ne iš bet kokios rūšies standartinio fotoelemento modulio) integruojant architektus, inžinierius, konstruktorius turinčius papildomų kompetencijų ir fotovoltų pramonę.
- Iš anksto paruošti pastatų savininkus ir statybos sektoriaus suinteresuotuosius asmenis kaip lengvai galima įdiegti ir prižiūrėti fotovoltus-pastato dalį, naudojant sprendimą - “įjunk ir paleisk” (angl. Plug and play).

Siekiant nustatyti poreikius ir pagrindines BIPV rinkos vystymo kliūtis, būtinas bendradarbiavimo projektas siekiant pagrindinio tikslo: pademonstruoti multifunkcinį gaminį stiklas/stiklas fotovoltas-pastato dalis kaip “įjunk ir paleisk” kintamos elektros srovės prietaisais saugiam ir lengvam įdiegimui į pastato elektros sistemą. Tokio įrenginio panaudojimas išsprendžia dvi problemas:

- Parodo lankstumą ir gebėjimą prisitaikyti gaminant individualaus dizaino fotovoltą-pastato dalį ir leidžia darniais jį integruoti į pastatą.
- BIPV demonstravimas pastato atitvarose (fasaduose).

Pagrindiniai technologiniai tikslai:

- Sukurti naują programinę įrangą, kaip įrankį BIPV dizaino sprendimams apipavidalinti ir automatizuotai folovolto-pastato dalies gamybai parengti.
- Vystyti “įjunk ir paleisk” sprendimą panaudojant jungiamąją dėžutę su papildoma funkcija DC/AC perėjimu. Stebėti ir maksimalizuoti perduodamos energijos kiekį į kiekvieną fotoelemento giją esant įvairioms oro sąlygoms ir apšvietimams.
- Padidinti pagrindinių gamybos etapų lankstumą prieš susiduriant su architektūriniais reikalavimais.

Pagrindiniai demonstraciniai tikslai:

- Įrodyti ir patvirtinti pramoninio masto gamybą pagal individualų užsakymą pagamintus fotovolto-pastato dalis vadovaujantis techninėmis charakteristikomis (7 lentelė):

**7 lentelė. Fotovolto-pastato dalies techninės charakteristikos**

<i>Technologijos veikimo atributas</i>	<i>Vertė</i>
“Įjunk ir paleisk”	Kintamos srovės jungiklis
Automatinis klaidos aptikimas, kontrolės ir priežiūros sistema (saugumas, šešėliai ir oro sąlygos)	Integruotas mikrokeitiklis, individualus stebėjimas ir kontrolė kiekvienos fotoelemente esančios gijos, interneto ryšys
Fotovolto-pastato dalies tipas (skaidrus, nepermatomas)	Galimybė pasirinkti skaidrumą nuo 0 % iki 50 %
Elemento dydis	Minimalus: 176x334; maksimalus: 1700x4000 <sup>4</sup>
Forma	Įvairios figūros pagal architekto viziją
Pasirenkamos funkcijos	Šilumos izoliacija, garso izoliacija, šilkografija ar skirtingų spalvų plėvelės
Tikslinis panaudojimas	Fasadai, stikliniai stogai, pastoginės nuo saulės, stiklinimas
Prognozuojama kaina už kvadratinį metrą (Eur/m <sup>2</sup> )	100-530 Eur/m <sup>2</sup>
Prognozuojama kaina už vatą (Eur/W <sub>p</sub> )	1,20 – 2,50 Eur/W

Remiantis šaltiniais ir atliktu tyrimu fotovoltų sistema gali sumažinti elektros energijai skiriamas išlaidas iki 50 % priklausomai nuo klimato (Valckenborg, de Vries, Folkerts ir Verbong, 2016). Bet jeigu nėra vyriausybės subsidijų, kainos prasme tai nėra efektyviausia technologija

<sup>4</sup> Fotoelemento-pastato dalies matmenys priklauso nuo architekto vizijos ir dizaino ir gaminamas individualiai.

daugumoje klimato juostų. Būtina pastebėti, kad fotovoltinės sistemos modulių kaina per 12 metų nukrito 50 %, žinoma, tikimasi, kad ši tendencija bus išlaikyta ir ateityje (Enterdata, 2012).

Vyriausybei yra labai svarbu turėti techno-ekonominę naujos technologijos integracijos vertinimą statybos sektoriuje. Tinkamas saulės technologijų vertinimas daro įtaką metiniam energijos kiekio sunaudojimui ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskirimui. Reikiamos kapitalo investicijos įneštų naujų gairių reglamentuoti energijos sunaudojimo mažinimą be žalos aplinkai.

## IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Energijos šaltinius galima paprastai išskaidyti į neatsinaujinančius (anglis, nafta, gamtinės dujos) ir atsinaujinančius (saulė, vėjas, vanduo, biomasė). Deginant tradicinius energijos šaltinius į aplinką išskiriamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos, todėl vis labiau plečiasi atsinaujinančių energijos šaltinių rinka. Europos įstatymai skatina Europos Sąjungos nares jungtis į saugią, tvarią ir konkurencingą energijos rinką, skatinant inovacijas švariose technologijose, tokiose kaip, atsinaujinanti energija iš fotovoltinės sistemos. Fotovolinę sistemą yra paprasta įrengti įvairių pastatų fasaduose ar ant stogo, taip energiją naudojančią statinį paverčiant energijos gamintoju. Suderinus naujausias fotovoltų technologijas su šiuo metu atgimimą išgyvenančia stiklo pramone, gaunami įvairių formų, spalvų ir kelias skirtingas funkcijas vienu metu atliekantys fotovoltiniai stiklai. Pagrindinis fotovoltinės sistemos trūkumas yra vis dar labai aukšta kaina, palyginus su tradicinėmis statybinėmis medžiagomis. Individualios pastatuose integruotos fotovoltinės sistemos kaštai gali svyruoti nuo 40 Eur/W ir tai priklauso ne tik nuo saulės fotovoltinių modulių kainos, kuri sudaro apie 60 % visos sistemos kainos, bet ir nuo likusių 40 %, į kuriuos įtraukta įrengimo, projektavimo, stiklinimo, apsaugos nuo vandens bei konstrukcijos virinimo kaina. Vystomų saulės technologijų pagrindinis siekis – sumažinti energijos sunaudojimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją

2. Didžiausias atsinaujinančios energijos vertinimo trūkumas yra techninių ir finansinių duomenų surinkimas ir pristatymas investitoriams, apibūdinant pastatuose integruotų fotovoltų sistemos ekonominę naudą. Dažniausiai naudojami investicinio vertinimo ekonominiai metodai – atsipirkimo laikas, išlaidų – naudos analizė, modifikuota vidinė grąžos norma, o pačios investicijos į fotovoltinę sistemą labiausiai priklauso nuo savininko nuosavybės teisių į pastatą. Gyvavimo ciklo vertinimas – tai požiūris į tvarios aplinkosaugos sistemos įgyvendinimą, įtraukiant kiekybinį bendro gaminio poveikio aplinkai vertinimą. Pastatuose integruotų fotovoltų sistemos vertė gali būti palyginama su netiesiogine ekonomine nauda ar kokybiniais privalumais ir trūkumais, susijusiais su pastato išvazda, visuomenės suvokimu bei vizualiniu ir aplinkos poveikiais. Generuojant energiją fotovoltinės sistemos pagalba, išskiriama aplinkai nekenksminga emisija, o triukšmo lygis neviršija leistino, todėl išvengiama aplinkos mokesčių, be to galima pretenduoti į nacionalines ar EX paramos programas bei gauti mokesčių lengvatas. Pagrindiniai sistemos kaštai priklauso gamybai, o prie papildomų priskiriami sistemos priežiūros, keitimo ir taisymo kaštai.

3. Svarstant apie naują energijos tiekimo sistemą, gyvavimo ciklo analizė gali pabrėžti fotovoltinės sistemos potencialą ir naudingas medžiagas, o analizuojant fotovoltinės sistemos diegimą, turi būti atsižvelgta į įrenginio eksploatavimo vietą. Atliekant gyvavimo ciklo vertinimą pirmiausia išsiaiškinama vertinimo schema, rodikliai, gyvavimo ciklo vertinimo apribojimai, tuomet atliekama apžvalginė analizė, poveikio vertinimas ir aiškinimas. Pagrindiniai naudojami

vertinimo rodikliai yra energijos atsipirkimo laikas ir CO<sub>2</sub> emisijos rodiklis. Gyvavimo ciklo analizė pabrėžia fotovoltinės sistemos potencialą ir naudingas medžiagas, be to gali būti optimizuota aplinkos požiūriu.

4. Atlikto tyrimo metu analizuotas Klaipėdos LEZ teritorijoje esantis administracinis pastatas, kurio antrinis fasadas, uždengiantis 3 viršutinius pastato aukštus, yra pagamintas iš pusiau skaidraus fotovoltinio stiklo. Pastato sunaudojamas energijos kiekis per metus – 100 MWh. Nominali sistemos galia – 19,83 kWp, naudingumas – 83%, maksimalus skaičiuotinis sistemos sugeneruotos energijos kiekis per metus 14057,7 kWh. Realiai sistema per dieną vidutiniškai pagamina 12,82 kWh, tačiau ne visa sistema veikia 100 %. Sistema iki tyrimo pabaigos pagamino 641 kWh energijos, o tai atitinka iš 433 kg biomasės gautos energijos. Tokiu energijos kiekiu vieną dieną galima aprūpinti 60 individualių gyvenamųjų namų. Paskaičiuotas energijos atsipirkimo laikas – 25 metai, preliminarus CO<sub>2</sub> emisijos rodiklis – 10 gCO<sub>2</sub>/kWh. Energijos atsipirkimo laikas yra labai realus, nes į šį skaičių neįtauktas sistemos atnaujinimas ar remontas. Sistemos atsipirkimo laikas nebuvo skaičiuotas, nes tai prototipinė sistemos versija.

Norint užtikrinti visišką pastato nepriklausomybę nuo elektros tinklų, rekomenduojama fotovoltinę sistemą integruoti ant pastato stogo. Kadangi šalia administracinio pastato yra gamybinės patalpos (jos šiame darbe nebuvo aprašomos), kurių vienas fasadas yra pietryčių pusėje, galima būtų tokia pat fotovoltinė sistema uždengti ir šį fasadą. Sugeneruotą energiją būtų galima panaudoti elektros energija varomų gamybinių įrengimų darbui, taip sumažinant tiesioginius elektros energijos kaštus.

## LITERATŪRA

1. Bakos, G. C., Soursos, M., & Tsagas, N. F. (2003). Technoeconomic assessment of a building-integrated PV system for electrical energy saving in residential sector. *Energy and buildings*, 35(8), 757-762.
2. Bazen, E. F., & Brown, M. A. (2009). Feasibility of solar technology (photovoltaic) adoption: A case study on Tennessee's poultry industry. *Renewable Energy*, 34(3), 748-754.
3. Bettink, J. A. (2014). The influence of the knowledge base of different actor types upon the technological expectations of technological development-A quantitative research applied for the Dutch photovoltaic sector.
4. Byrne, J., Letendre, S., Wang, Y. D., Nigro, R., & Ferguson, B. (1997). *Building load analysis of dispatchable peak-shaving photovoltaic systems: a regional analysis of technical and economic potential* (No. CONF-970441--). American Solar Energy Society, Boulder, CO (United States).
5. Brun, R., Fatnassi, H., Poncet, C., & Muller, M. M. (2010, August). Photovoltaic greenhouses, non-sense or a real opportunity for the greenhouse systems?. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927 (pp. 75-79).
6. Burchell, R. W., & Listokin, D. (2012). *The fiscal impact handbook: Estimating local costs and revenues of land development*. Transaction Publishers.
7. Coles, L. R., Packey, D., Rau, N., & Wan, Y. H. (1995). Analysis of PV Benefit Case Studies: Results and Methods Used. *peer review copy, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colo.*
8. Cucchiella, F., & D'Adamo, I. (2013). Issue on supply chain of renewable energy. *Energy Conversion and Management*, 76, 774-780.
9. Davidoff, B. (2012). Three Essential Elements of On-farm Irrigation Efficiency and Conservation. *The Management of Water Quality and Irrigation Technologies*, 153.
10. Eiffert, P., & International Energy Agency PVPS Task 7. (2003). *Guidelines for the economic evaluation of building-integrated photovoltaic power systems*. National Renewable Energy Laboratory.
11. Fuller, S. (2010). Life-cycle cost analysis (LCCA). *National Institute of Building Sciences, An Authoritative Source of Innovative Solutions for the Built Environment*, 1090.
12. Floater, G., Rode, P., Robert, A., Kennedy, C., Hoornweg, D., Slavcheva, R., & Godfrey, N. (2014). Cities and the New Climate Economy: the transformative role of global urban growth.

13. García-Sánchez, T., Gómez-Lázaro, E., & Molina-García, A. (2015). Comparison of Voltage Dip Characterization under Grid-Code Requirements: Application to PV Power Plants.
14. Georgakellos, D. A., & Didaskalou, E. A. (2014). Life cycle external cost of green electricity: The case of Greek power plants. *Recent advantages in environmental science and geoscience*, 38.
15. Guang Shi, V., Lenny Koh, S. C., Baldwin, J., & Cucchiella, F. (2012). Natural resource based green supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(1), 54-67.
16. Haas, R. (2003). Market deployment strategies for photovoltaics: an international review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7(4), 271-315.
17. Hagemann I. B. (2005). Solar Design in Architecture and Urban Planning. JSPS Symposium Urban Planning – Sustainable Cities, Tokyo.
18. Hammond, G. P., Harajli, H. A., Jones, C. I., & Winnett, A. B. (2012). Whole systems appraisal of a UK Building Integrated Photovoltaic (BIPV) system: energy, environmental, and economic evaluations. *Energy Policy*, 40, 219-230.
19. Hammond, G., Jones, C., Lowrie, F., & Tse, P. (2008). *Inventory of carbon & energy: ICE*. Bath: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
20. Ito, M. (2011). Life Cycle Assessment of PV Systems. INTECH Open Access Publisher.
21. de Keizer, C., Alsema, E. A., & van Sark, W. G. J. H. M. (2006). Socio-economic aspects of photovoltaic energy technology.
22. Kijevičius, M., & Valančius, K. (2014). Pastato išorinių atitvarų apšiltinimo tikslingumas 2e rodiklių požiūriu. *Environmental protection engineering*, 6(4), 407-413.
23. Lewis, G. M., Keoleian, G. A., Moore, M. R., Mazmanian, D. L., & Navvab, M. (1999). PV-BILD: A life cycle environmental and economic assessment tool for building-integrated photovoltaic installations. *Center for Sustainable Systems, Report No. CSS99-02R, University of Michigan*, 20.
24. Lund, H. (2007). Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, 32(6), 912-919.
25. Motuziene, V., & Valancius, K. (2015). Multi-criteria assesment of building integrated photovoltaics. *Mokslas: Lietuvos Ateitis*, 7(4), 499.
26. O'Driscoll, E., & O'Donnell, G. E. (2013). Industrial power and energy metering—a state-of-the-art review. *Journal of Cleaner Production*, 41, 53-64.



27. Oficialus „Enerdata“ internetinis puslapis, [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-09-04]. Prieiga per Internetą <http://www.enerdata.net/enerdatauk/press-and-publication/energy-features/solar-photovoltaic-booming-market.php>;
28. Oficialus Lietuvos Saulės Energetikos Asociacijos internetinis puslapis, [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-11-05]. Prieiga per Internetą: <http://www.lsea.lt/>;
29. Oficialus UAB „ViaSolis“ internetinis puslapis, [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-08-13]. Prieiga per Internetą: <http://www.viasolis.eu/lt/>;
30. Oficialus Tarptautinės energetikos asociacijos internetinis puslapis, [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-11-05]. Prieiga per Internetą: <https://www.iea.org/>;
31. Oficialus „The green age“ internetinis puslapis, [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-11-05]. Prieiga per Internetą: <http://www.thegreenage.co.uk/tech/the-cost-of-a-solar-pv-system/>;
32. Omer, S. A., Wilson, R., & Riffat, S. B. (2003). Monitoring results of two examples of building integrated PV (BIPV) systems in the UK. *Renewable energy*, 28(9), 1387-1399.
33. Ortiz, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28-39.
34. Pagliaro, M., Ciriminna, R., & Palmisano, G. (2010). BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry. *Progress in photovoltaics: Research and applications*, 18(1), 61-72.
35. Poullikkas, A., Kourtis, G., & Hadjipaschalis, I. (2013). A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources. *Int. J. Energy Environ*, 4(6), 975-1002.
36. Radhi, H. (2012). Trade-off between environmental and economic implications of PV systems integrated into the UAE residential sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2468-2474.
37. Redweik, P., Catita, C., & Brito, M. (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy*, 97, 332-341.
38. Ruegg, R., & Marshall, H. (2013). *Building economics: theory and practice*. Springer Science & Business Media.
39. Saberbein, K. S. V., & Aye, L. (2012). Technical and financial feasibility of a stand-alone photovoltaic system for rural electrification in the Andean South Region of Peru. *Journal of Sustainable Development*, 5(11), 32.
40. Sharples, S., & Radhi, H. (2013). Assessing the technical and economic performance of building integrated photovoltaics and their value to the GCC society. *Renewable energy*, 55, 150-159.

41. Sherwani, A. F., & Usmani, J. A. (2010). Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 540-544.
42. Spanos, I., & Duckers, L. (2004). Expected cost benefits of building-integrated PVs in UK, through a quantitative economic analysis of PVs in connection with buildings, focused on UK and Greece. *Renewable energy*, 29(8), 1289-1303.
43. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. M. (2014). Climate change 2013: The physical science basis.
44. Valckenborg, R. M. E., de Vries, A., Folkerts, W., & Verbong, G. P. J. (2016). The BIPV research facility "Solarbeat" in the Netherlands. *Solar Energy*, 2015, 2014.
45. Velasquez, C. A., Cardona, O. D., Mora, M. G., Yamin, L. E., Carreno, L., & Barbat, A. H. (2014). Hybrid loss assessment curve for Colombia: a prospective and a retrospective approach. In *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (pp. 1-12).
46. Wan, Y. H., & Green, H. J. (1998). *Current experience with net metering programs* (No. NREL/CP--500-24527; CONF-980437--). National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States).
47. Watt, M. E. (2001). The Added Values of Renewable Energy—A Case Study of Photovoltaic Power Systems. Article présenté à ISES Solar World Congress, Adelaide, South Australia.
48. Wenger, H.; Eiffert, P. (1996). The Architect's Perspective on the Use of PV in Buildings: Questionnaire Results. *Building Energy Proceedings*, 1st Solar Electric Building Conference, Boston, MA.
49. Wilk, H., Ruoss, D., & Toggweiler, P. (2002). Innovative electrical concepts. *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, IEA PVPS*, 7-07.
50. Zahedi, A. (2006). Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems. *Renewable Energy*, 31(5), 711-718.
51. Ziuku, S., & Meyer, E. L. (2012). Economic viability of a residential building integrated photovoltaic generator in South Africa. *Journal homepage: www. IJEE. IEEFoundation.org*, 3(6), 905-914.
52. Žilinskas, V. J. (2009). Investicinių projektų optimalios atrankos metodas.