VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Arnoldas Vaičaitis

DAUGIABUČIŲ NAMŲ MODERNIZAVIMO GALIMYBIŲ PANAUDOJANT SAULĖS ENERGIJĄ ĮVERTINIMAS
EVALUATION OF MULTI-STOREY BUILDINGS MODERNIZATION POSSIBILITIES APPLYING SOLAR ENERGY

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas ***621E30003***
Energetikos planavimo specializacija
Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

_____
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Arnoldas Vaičaitis

DAUGIABUČIŲ NAMŲ MODERNIZAVIMO GALIMYBIŲ PANAUDOJANT SAULĖS ENERGIJĄ ĮVERTINIMAS
EVALUATION OF MULTI-STOREY BUILDINGS MODERNIZATION POSSIBILITIES APPLYING SOLAR ENERGY

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas ***621E30003***

Energetikos planavimo specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. dr. Giedrius Šiupšinskas
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2012 gegužės mėn. 04 d.

Energijos inžinerijos studijų kryptis

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas ***621E30003***

Energetikos planavimo specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

.....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) Arnoldas Vaičaitis
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema Daugiabučių namų modernizavimo galimybių panaudojant saulės energiją įvertinimas

Patvirtinta *2010 m. lapkričio 03 d.* Dekano įsakymu Nr. 396 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas *2012 m. gegužės mėn. 29 d.*

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Apibrėžti tyrimų srities aktualumą, suformuluoti problemą, tikslą ir spręstinus uždavinius.. Atlikti literatūros apžvalgą susipažinti su tyrimo kryptimi, technologijomis bei jau įgyvendintais ir išanalizuotais saulės energijos panaudojimo daugiabučiuose pastatuose sprendimais. Apžvelgti esamas saulės energijos panaudojimo skaičiavimo modelius ir programas, pasirinkti tinkamiausią. Atlikti realiai veikiančios saulės energiją transformuojančios sistemos stebėseną, duomenų kaupimą ir analizę. Pasiūlyti ir išnagrinėti kelis galimus saulės kolektorių ir saulės elementų komponavimo ir integravimo į renovuojamą daugiabutį variantus. Gautus rezultatus palyginti skirtingais (energiniu ir ekonominiu) požiūriais bei pasiūlyti optimalų variantą, kartu išanalizuojant visų variantų privalumus ir trūkumus. Pagal pasirinktus kriterijus atlikti jautrumo analizę. Padaryti išsamias išvadas atsižvelgiant į tyrimo metu gautus rezultatus. Darbo rezultatus paskelbti mokslinėje konferencijoje.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: …… *lekt. R. Žukienė* ..……..…
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ..... dr. Giedrius Šiupšinskas
(parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

……..
(parašas)

……..
(vardas, pavardė)

……..…....
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Energijos inžinerijos ir planavimo** programos baigiamasis darbas
Pavadinimas **Daugiabučių namų modernizavimo galimybių panaudojant saulės energiją įvertinimas**
Autorius **Arnoldas Vaičaitis**
Vadovas **dr. Giedrius Šiupšinskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame baigiamajame magistro darbe yra sprendžiama teisės aktais reglamentuoto, tačiau Lietuvoje pasyviai įgyvendinamo daugiabučių pastatų modernizavimo, panaudojant atsinaujinančius energijos išteklius (šiuo atveju saulės energiją), problema. Pagrindinis darbo tikslas yra išanalizuoti maksimalias saulės energijos sistemų panaudojimo galimybes, modernizuojant daugiabučius pastatus, įrodant tokių sistemų tinkamumą esamoms Lietuvos klimatinėms sąlygoms.

Susipažinus su esama pasirinktos krypties padėtimi, apžvelgus kitose šalyse įgyvendintus saulės energijos sistemų panaudojimo daugiabučiuose pastatuose sprendimus, galimus tokių sistemų analizės metodus, pasirinktas tyrimo būdas – naujų sistemų modeliavimas. Reikalingų duomenų kaupimas apėmė ne tik literatūros apžvalgą, faktinių duomenų sisteminimą, bet ir realiai veikiančios saulės sistemos stebėseną, parametrų fiksavimą bei jų analizę.

Naudojant licenzijuotą modeliavimo programą, tiriamajam objektui, esančiam Birštone, sukurtas energinės analizės modelis, kurio rezultatai vėliau panaudoti ekonominiuose bei pirminės energijos srautų skaičiavimuose. Išanalizavus 7 skirtingus scenarijus, kuriuose tarpusavy derinamos dvi saulės energijos sistemos – saulės kolektoriai ir saulės elementai – pagrįsta tezė, jog saulės energija gali būti sėkmingai, tiek energiniu, tiek ekonominiu požiūriu, naudojama Lietuvos klimatinėmis sąlygomis. Įdiegus šias sistemas į daugiabučius pastatus juos renovuojant ir taip bent iš dalies atsisakant centralizuotai tiekiamos energijos yra sutaupomas ir pirminės energijos kiekis.

Darbą sudaro 16 skyrių. Darbo apimtis – 85 p. teksto be priedų, 44 iliustr., 14 lentelių, 82 bibliografiniai šaltiniai, 2 priedai (pridedami kartu).

Prasminiai žodžiai

AEI, daugiabutis, karštas vanduo, modernizacija, saulės elementai, saulės energija, saulės kolektoriai

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Building Energetics

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Energy Engineering and Planning** study programme Master's Thesis

Title	**Evaluation of Multi-Storey Buildings Modernization Possibilities Applying Solar Energy**
Author	**Arnoldas Vaičaitis**
Academic supervisor	**Dr Giedrius Šiupšinskas**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

This final master thesis is dealing with the problem that concerns passive RES (in this case solar energy) application in the multi-storey buildings' modernization process in Lithuania, although it is regulated by legal acts. The aim of the thesis is to evaluate all the possibilities of maximal possible solar energy gain application in in the multi-storey buildings' modernization process and to prove, that such systems are suitable for Lithuania's climate conditions.

Based on acquaintance with present situation of analysed area, overview of similar already embodied projects in the other countries, possible analysis methods of solar energy systems, for further analysis modelling of new systems was chosen. Collection of the data, needed for modelling, involved not only overview of literature or processing of actual parameters data series, but also monitoring and analysis of already operating solar energy system with flat-plate solar collectors that is used for domestic hot water preparation.

For the object of analysis in Birštonas town, by using licenced program, the model of energy was created. Final modelling results were used in further economic and primary energy related calculations. In total 7 different scenarios, comprising two main active solar energy systems – solar collectors and photovoltaics – were analysed. The results validated the statement, that solar energy can be successfully employed in old multi-storey buildings' refurbishment in Lithuania based on both energy and economic views.

Also, by implementing such systems there is a potential to partially or fully avoid energy usage from centralized grids and in this way save particular amount of primary energy.

Content of work consists 16 chapters. Size of work – 85 pages excluding the appendixes, 44 pictures, 14 tables, 82 reference sources, 2 appendixes (added to work).

Keywords

RES, multi-storey building, domestic hot water, refurbishment, photovoltaic, solar energy, solar collector

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Arnoldas Vaičaitis, 20064360

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Energijos inžinerija ir planavimas, EPmf-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2012 m. gegužės 27 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Daugiabučių namų modernizavimo galimybių panaudojant saulės energiją įvertinimas" patvirtintas 2010 m. lapkričio 3 d. dekano potvarkiu Nr. 396ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas dr. Giedrius Šiupšinskas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

	Arnoldas Vaičaitis
(Parašas)	(Vardas ir pavardė)

TURINYS

Paveikslų sąrašas 9
Lentelių sąrašas 11
Santrumpos 12
ĮVADAS 13
1. PASIRINKTOS TYRIMO KRYPTIES BŪSENOS APIBŪDINIMAS 17
1.1. Saulės energijos potencialas 17
1.2. Saulės energijos sistemos 19
1.2.1. Saulės kolektoriai 20
1.2.2. Saulės siena 22
1.2.3. Saulės elementai (PV) 24
1.2.4. Vėsinimas saulės šiluma 25
2. SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO DAUGIABUČIUOSE PASTATUOSE SPRENDIMAI IR REZULTATAI KITOSE ŠALYSE 27
3. NAUDOTINI SAULĖS ENERGIJOS SISTEMŲ TYRIMO METODAI 29
3.1. Skaičiavimo programos 32
3.2. „Laiko žingsnio“ programos 32
3.3. Modeliavimo programos 33
3.4. Pagalbinės programos 33
4. REALIOS SISTEMOS STEBĖSENA IR VEIKIMO ANALIZĖ 33
4.1. Sistemos aprašymas 34
4.2. Matuojami parametrai 35
4.3. Stebėsenos analizė 36
4.4. Rezultatų panaudojimas 39
5. ANALIZĖS PRIEMONĖS APRAŠYMAS 40
6. BAIGIAMOJO DARBO TIRIAMASIS OBJEKTAS 41
7. TYRIMUI REIKALINGI DUOMENYS: JŲ RINKIMAS IR SISTEMINIMAS 42
7.1. Pastato duomenys 42
7.2. Vietovės ir klimato duomenys 44
7.3. Saulės sistemų ir jų elementų charakteristikos 47
7.3.1. Saulės kolektoriai 48
7.3.2. Saulės elementai (PV) 48
7.4. Energijos vartojimo grafikai 48
8. DUOMENŲ PAGRĮSTUMO, PATIKIMUMO ĮVERTINIMAS IR ANALIZĖ 50
8.1. Pastato duomenų įvertinimas 50
8.2. Vietovės ir klimato duomenų patikimumas 50
8.3. Saulės sistemų ir jų elementų charakteristikų įvertinimas 51
8.4. Energijos vartojimo grafikų tinkamumas 51

9. NAUJŲ SAULĖS ENERGIJOS SISTEMŲ MODELIAVIMAS 52
9.1. Modeliavimo scenarijai 53
9.2. Įvesties duomenys 54
9.3. Modeliavimo rezultatai 57
10. PIRMINĖS ENERGIJOS IŠRAIŠKA 60
10.1. Šiluma 61
10.2. Elektros energija 61
11. EKONOMINIS VERTINIMAS 62
12. LYGINAMIEJI RODIKLIAI 71
13. JAUTRUMO ANALIZĖ 72
IŠVADOS 77
LITERATŪRA 79
Priedas A 86
Priedas B 94

Paveikslų sąrašas

1 pav. Saulės energijos kiekiai (W/m²) per metus 18
2 pav. Vidutinės daugiametės pilnutinės spindulinės saulės energijos kWh/m2, gaunamos Lietuvoje horizontalioje plokštumoje per laikotarpį nuo 04 01 d. iki 10 31 d., pasiskirstymas šalies teritorijoje 19
3 pav. Kolektorių tipai: plokščiasis kolektorius (kairėje); vakuuminis kolektorius (dešinėje); vakuuminis kolektorius (apačioje) 20
4 pav. Principinė karšto vandens ruošimo schema 21
5 pav. Saulės sienos veikimo principas 23
6 pav. Saulės spinduliavimo į pakreiptą paviršių ir karšto vandens poreikio profilis 24
7 pav. Fotoelemento sandara 25
8 pav. Absorbcinės vėsinimo sistemos veikimo schema 26
9 pav. Saulės energijos panaudojimo sprendimai pastatų renovacijai 27
10 pav. Kinų tipo daugiabutis pastatas 29
11 pav. Tiriamos saulės kolektorių sistemos matavimo taškai (saulės kolektorių kontūras) 35
12 pav. Tiriamos saulės kolektorių sistemos matavimo taškai (akumuliacinės talpos ir KV ruošimo mazgas) 36
13 pav. Saulės spinduliuotė tipinę vasaros savaitę 37
14 pav. Saulės spinduliuotė tipinę rudens savaitę 37
15 pav. Vidutinė analizuoto periodo saulės valandinė spinduliuotė ir tipinis karšto vandens vartojimo grafikas 38
16 pav. Pagamintos energijos kiekis iš 1 m^2 saulės kolektorių 39
17 pav. Tiriamasis objektas 41
18 pav. Pastato šilumos punktas su karšto vandens ruošimo šilumokaičiu 42
19 pav. Elektros energijos sunaudojimo būstuose pasiskirstymas 44
20 pav. Tiriamojo pastato apsupties nuotrauka 45
21 pav. „energyPRO“ programos klimatologinių parametrų matavimo taškų žemėlapis 47
22 pav. Vidutinis paros karšto vandens vartojimas Vokietijoje 49
23 pav. Vidutinis paros elektros energijos vartojimas Vokietijoje pavasario/rudens mėnesiais 49
24 pav. Vidutinis metinis elektros energijos vartojimas Europos Sąjungoje vidutinio elektros vartojimo zonoje 49
25 pav. Eksperimentinio modelio principinė schema 52
26 pav. Saulės kolektorių (mėlyna spalva) ir saulės elementų (žalia spalva) išdėstymas ant tiriamojo objekto stogo 57

27 pav. Kolektorių veikimas, ruošiant karštą vandenį, {1}, {2} ir {3} scenarijuose 58
28 pav. Kolektorių veikimas, ruošiant karštą vandenį, {4}, {5}, {6} ir {7} scenarijuose 58
29 pav. Saulės elementų pagamintas energijos kiekis skirtingais scenarijais 59
30 pav. Metiniai elektros srautai tiriamajame pastate skirtingais scenarijais 59
31 pav. Metiniai elektros srautai tiriamajame pastate {7} scenarijuje 60
32 pav. Pirminės energijos, reikalingos tam pačiam elektros kiekiui pagaminti, pasiskirstymas 62
33 pav. Skirtingų saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, kai valstybės parama nulinė 65
34 pav. Saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms 66
35 pav. Pagamintos šiluminės energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms 66
36 pav. Pagamintos elektros energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms 67
37 pav. Saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms 68
38 pav. Pagamintos šiluminės energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms 69
39 pav. Pagamintos elektros energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms 69
40 pav. Saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms, o perteklinė elektra parduodama 70
41 pav. Šilumos kainos dedamoji naudojant skirtingus kolektorius 73
42 pav. Akumuliacinės talpos tūrio ir metinės pagamintos energijos bei kainos priklausomybė 74
43 pav. Energijos gamyba, modeliavimui naudojant skirtingus metinių temperatūrų duomenis 75
44 pav. Centralizuotai tiekiamos šilumos kaina skirtinguose Lietuvos miestuose 76

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Lietuvos regionų perspektyvumas pagal saulės energijos išteklius 18
2 lentelė. Šilumos poreikis B. Sruogos g. 12 name norminiais metais 43
3 lentelė. Vidutinis išspinduliuotos saulės energijos kiekis per dieną, kWh/m^2/d 46
4 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {1} scenarijuje 55
5 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {2} scenarijuje 55
6 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {3} scenarijuje 55
7 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {4} scenarijuje 56
8 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {5} scenarijuje 56
9 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {6} scenarijuje 56
10 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {7} scenarijuje 56
11 lentelė. Naujų sistemų ekonominio skaičiavimo duomenys esant nulinei valstybės paramai 64
12 lentelė. Naujų sistemų ekonominio skaičiavimo duomenys esant 15 % kompensacijai darbų vykdymo išlaidoms 65
13 lentelė. Naujų sistemų ekonominio skaičiavimo duomenys esant 15 % kompensacijai darbų vykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms 68
14 lentelė. Metiniai elektros srautai bei su jais susijusios išlaidos 70

Santrumpos

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

CIMC – Civilinės inžinerijos mokslo centras

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas

DL – dienolaipsnis

ES – Europos Sąjunga

EVA – energijos vartojimo auditas

GCA – gyvavimo ciklo analizė

GEV – grynoji esamoji vertė

HMS – hidrometeorologinė stotis

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos

KV – karštas vanduo

LŠTA – Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija

PAL – paprastasis atsipirkimo laikas

PE – pirminė energija

PV – angl. *photovoltaic*

t.n.e. – tona naftos ekvivalentų

ĮVADAS

Per praėjusį amžių žmonija sunaudojo tiek iškastinių (neatsinaujinančių) energijos išteklių, kiek per tūkstantmečius nuo savo gyvavimo pradžios. Sudeginus naftą, akmens anglis ar kitą kurą, juose sukaupti anglies ir kiti junginiai virsta šiltnamio dujomis [1], be to, į aplinką patenka daug įvairių teršalų (azoto, sieros, vanadžio oksidai, kietos, skystos energetikos objektų veiklos atliekos, kt.). Prognozės apie klimato kaitos padarinius, energijos tiekimo saugumo problemos, aplinkos tarša, senkantys ištekliai pasaulio visuomenę skatina imtis ryžtingų veiksmų ir pakeisti energijos bei energijos išteklių naudojimo įpročius. Vis daugiau dėmesio skiriama AEI įsisavinimui bei energijos taupymo priemonėms [2].

Kadangi vartojimas duoda tiesioginę nuorodą į vartotojus, žmones, būtent jų gyvenamoji aplinka daro gana didelį poveikį energijos balansui. Darnaus vystymosi idėja, kuomet siekiama užtikrinti vystymąsi, tenkinantį žmonių gerovę dabartyje nesumažinant žmonių gerovės galimybių ateityje, privertė atsigręžti į tai, kas jau milijonus metų buvo šalia – AEI, ir pradėti taikyti juos savo gyvenamojoje aplinkoje, vienam iš sprendimų esant tokių sistemų integracijai į gyvenamuosius pastatus. Pagrinde saulės, taip pat geoterminė, rečiau vėjo energija yra panaudojama naujuose bei renovuojamuose vartotojų būstuose.

Tačiau noras pasinaudoti šia „nemokama“ energija yra viena. Visai kas kita yra tokių iškeltų tikslų įgyvendinimas. Jei individualūs vartotojai be didelių projektavimo, įsigijimo ir montavimo sunkumų įsirengia naujas sistemas, tuomet siekiant saulės energiją panaudoti daugiabučiuose pastatuose susiduriama su galybe problemų pradedant sistemų parinkimu ir baigiant juridiniais klausimais. Be to, naujos sistemos nesunkiai įrengiamos ir suderinamos su kitomis statant naują pastatą, tačiau viskas komplikuojasi renovuojant seną pastatą su ten jau veikiančiomis (kartais ir ne) senomis inžinerinėmis sistemomis.

Tiriamojo darbo problematika, tikslai ir uždaviniai

Kylant ekonomikai, šiuolaikinė visuomenė energijos naudoja vis daugiau – tokia tendencija būdinga ir pastatų sektoriui. Lietuvoje per 2010 metus gyvenamųjų namų sektoriuje buvo suvartotas trečdalis viso galutinės energijos kiekio [3], iš kurio vidutiniškai 37 % buvo šiluminė ir 17 % elektros energijos; likęs kiekis teko dujoms, angliai ir medienai [4]. Panašus suvartojamas pastebimas ir daugumoje kitų ES valstybių, kuriose metinis galutinės energijos kiekis, tenkantis namų ūkių sektoriui, sudaro apie 40 % [5, 6, 7]. Nors šie Lietuvos rezultatai ir yra šiek tiek geresni nei ES vidurkis, vis dėlto galybė patobulinimų gyvenamųjų namų sektoriuje gali būti atlikta.

Dauguma pastatų yra seni daugiabučiai pastatai (čia gyvena 59 % visų Lietuvos gyventojų), pastatyti devintojo dešimtmečio pradžioje ir anksčiau (96 %, talpinantys 83 % daugiabučių namų

gyventojų) [8]. Taigi pagrindinės probleminės sritys, kuriose galimi dideli energijos sutaupymai (siekiantys iki 80 % [4, 7]), yra senos pastato inžinerinės sistemos bei pats pastatas kaip visuma.

Daugiabučių pastatų renovavimo problema sulaukia vis daugiau dėmesio ir yra plačiai aptarinėjama. Vis dėlto, nusprendus seną pastatą renovuoti, atsiranda auksinė galimybė pakeisti jo, kaip energijos sistemos, veikimą [9]. To rezultatas, ne tik efektyvesnis inžinerinių sistemų (naujos ar renovuotos senosios) veikimas, o tai leidžia taupyti energiją (ir pinigus), bet taip pat gyvenamoji aplinka tampa sveikesnė, gerėjant mikroklimato sąlygoms.

Lietuvoje daugiabučių namų modernizavimo programos įgyvendinimas pradėtas 2005 m. pabaigoje. Vis daugiau daugiabučių namų savininkų bendrijų imasi atnaujinti savo būstus. Šiandien Lietuvoje jau yra 309 modernizuoti daugiabučiai namai. Į juos investuota daugiau nei 150 mln. Lt. 2009 m. spalio viduryje darbai buvo atliekami dar 135 pastatuose. Problema yra daugiabučių namų renovacijos efektyvumas ir naudingumas. [10]

Populiariausi ir dažniausiai pasitaikantys daugiabučių pastatų renovavimo sprendimai yra paremti pastato apvalkalo (sienų, stogo, langų) gerinimu bei senų inžinerinių sistemų (dažniausiai tik šildymo sistemos) modernizavimu. Dažnai nepagalvojama apie alternatyvių, dažniausiai atsinaujinančių energijos išteklių, papildomų energijos sistemų integravimą. Nepaisant to, yra keletas pavyzdžių, kada modernizavimo procesas buvo atliktas žvelgiant į pastatą visapusiškai ir gilinantis į smulkias detales, taip sukuriant galimybę panaudoti AEI. Vis dėlto, tokia „bazine“ modernizacija pasiekiami riboti energijos sutaupymai, o pastatas ir toliau lieka priklausomas nuo centralizuotai tiekiamų energijų tinklų. ES direktyvoje 2010/31/EU „Energy Performance of Building Directive (EPBD)“ teigiama, jog visi ES šalyse nauji pastatai, pastatyti nuo 2020 metų (viešosios paskirties pastatai – nuo 2018 metų) privalo atitikti beveik nulinės energijos pastato (angl. *nearly Zero Energy Building*) standartus [6]. Realybėje, norint pasiekti mažaenergio pastato lygį, „bazinės“ pastato renovacijos gali nepakakti, todėl tokie AEI, kaip saulės energija, turi būti įtraukti į modernizavimo priemonių sąrašą.

Iki šiol Lietuva vadovaujasi tik ES direktyvomis, o pagrindinės priežastys, kodėl išsivystė tokia nevisapusiško ir bazinio modernizavimo proceso mada, galėtų būti šios: didelės su AEI sistemų įdiegimu susijusios išlaidos bei siauras ir netgi iš anksto nusistatytas požiūris į tai, jog Lietuvos klimatologinės sąlygos nėra tinkamos efektyviam AEI sistemų veikimui.

Modernizuojant pastatus, populiariausias ir dažniausiai naudojamas AEI yra saulės energija. Taip yra todėl, jog saulės energijos sistemos nereikalauja jokios specialios ir sudėtingos priežiūros, tokiose sistemose esant mažam kiekiui judančių elementų, kurie gali būti nesunkiai pakeičiami. Taip pat saulės energijos sistemos veikia tyliai ir yra nesunkiai bei estetiškai integruojamos į pastato apvalkalą (į fasadą arba ant stogo), o svarbiausia – ir į senas inžinerines sistemas. Nepaisant šių aplinkybių yra vienas didelis tokių sistemų trūkumas – kaina. Šilumą gaminančių vakuuminių

saulės kolektorių įrengimo kaštams viršijant 3100 Lt/kW, o plokščiųjų 2900 Lt/kW, jų atsipirkimo laikas siekia atitinkamai 11 ir 15 metų [11]. Elektros gamybos, naudojant saulės energijos sistemas, atveju gali būti susiduriama su reiškiniu, kada atsipirkimo laikas netgi viršija projektinį sistemos gyvavimo ciklo laikotarpį (angl. *Life Cycle*). Taigi prieinama prie išvados, jog, nors ir įtraukiant į sistemos įrengimo išlaidas visų reikalingų elementų tinkamam sistemos veikimui kaštus, saulės energijos sistemos, veiksiančios kaip papildomos, o ne pagrindinės energetinės sistemos, yra pakankamai brangios.

Be to, įrengus ir eksploatuojant sistemas susiduriama ir su teisinėmis problemomis, kadangi turi būti aiškiai įvardytas sistemų savininkas bei jo pareigos. Tai gali būti tiek jas įrengusi įmonė, tiek sistemos vartotojai arba pareigos ir atsakomybės gali būti padalintos tarp jų ar netgi įtraukta trečiųjų šalių.

Galiausiai įrengimo metu kai kurie techniniai aspektai gali sukelti nenumatytų problemų. Tai dažniausiai yra susiję su akumuliacine talpa, parenkant jos montavimo vietą. Įrengiant ją rūsyje, atsiranda nemaži šilumos nuostoliai perdavimo linijose, tuo tarpu įrengiant talpą ant stogo, be padidėjusių šilumos nuostolių dėl jos nuolatinio buvimo aplinkos temperatūroje (ir žiemą), taip pat atsiranda papildomos ir kartais gana didelės apkrovos stogo konstrukcijoms.

Taigi, iš pirmo žvilgsnio labai naudingos ir nemokamą energiją vartojančios sistemos iš tikrųjų nėra paprastos ir lengvai įsisavinamos. Vis dėlto, pasitelkus specialistus šie AEI panaudojimo sprendimai gali būti įgyvendinami ne tik statant naujus, bet ir renovuojant senus daugiabučius pastatus. Kita priežastis, kodėl saulės energijos sistemų panaudojimas modernizavimo procese nėra populiarus – pasyvus ir dažnai neigiamas pačių energijos vartotojų, daugiabučių gyventojų, požiūris į naujoves (šiuo atveju saulės energijos sistemas).

Didžiausia problema yra įrengtų pavyzdinių sistemų trūkumas, tokių sistemų veikimo rezultatų publikavimas bei Lietuvos klimatinių sąlygų tinkamumo tokioms sistemoms pagrindimas. Taip pat manoma, jog saulės sistemos integravimas į jau esančias inžinerines sistemas ir jų tarpusavio suderinamumas pilnam poreikio patenkinimui yra komplikuotas. Todėl kaip pagrindinė baigiamojo magistro darbo problema galėtų būti įvardyta: tinkamų saulės energijos sistemų parinkimas modernizuojamam daugiabučiui pastatui, jų pritaikymas vartojimo poreikiams, stengiantis racionaliai (energiniu ir ekonominiu požiūriais) išgauti kiek įmanomą didesnį energijos kiekį.

Baigiamojo darbo tikslas yra išanalizuoti maksimalias saulės energijos sistemų panaudojimo galimybes, modernizuojant daugiabučius pastatus, įrodant tokių sistemų tinkamumą esamoms Lietuvos klimatinėms sąlygoms.

Siekiant įvykdyti užsibrėžtus tikslus, baigiamajame darbe numatomi tokie uždaviniai:

- Atlikti literatūros apžvalgą susipažįstant su tyrimo kryptimi, technologijomis bei jau įgyvendintais ir išanalizuotais saulės energijos panaudojimo daugiabučiuose pastatuose sprendimais.
- Atliekant literatūros apžvalgą kaupti reikalingus statistinius ir eksperimentinius kitų autorių duomenis bei juos vėliau panaudoti analizei;
- Apžvelgus galimas analizės priemones pasirinkti vieną, pasirinkimą pagrįsti bei detaliai aprašyti ją ir darbą su pasirinkta programa;
- Atlikti realiai veikiančios panašios sistemos analizę, kaupiant jos veikimo parametrus, o vėliau juos apdorojus ir susisteminus panaudoti tyrime;
- Kaupti ir sisteminti kitus baigiamojo darbo tikslo įgyvendinimui reikalingus įvesties duomenis bei juos panaudoti;
- Įvardijus tiriamąjį objektą, sumodeliuoti jam skirtingų sistemų derinius ir aptarti rezultatus;
- Gautus rezultatus išnagrinėti skirtingais (energiniu ir ekonominiu) požiūriais bei pasiūlyti optimalų variantą, kartu išanalizuojant visų variantų privalumus ir trūkumus;
- Pateikti išsamias išvadas, atsižvelgiant į tyrimo metu gautus rezultatus.

Pasirinkto atlikti darbo naujumas pasireiškia tuo, jog siekiama išanalizuoti maksimaliai įmanomo saulės energijos panaudojimo, įrengiant aktyvias saulės energijos sistemas, galimybes, modernizuojant senus daugiabučius pastatus, įvertinti jų patrauklumą ekonominiu požiūriu, nustatyti su naujų sistemų integravimu susijusius pirminės energijos sutaupymus. Taip pat šiame darbe kaip bendra sistema kombinuojamos skirtingas energijos rūšis generuojančios saulės energijos sistemos – saulės kolektoriai bei saulės elementai.

Autorius: ARNOLDAS VAIČAITIS

1. PASIRINKTOS TYRIMO KRYPTIES BŪSENOS APIBŪDINIMAS

AEI atlieka vis svarbesnį vaidmenį sparčiai tobulėjančiame pasaulyje. Pagrindinės tokio reiškinio priežastys AEI patrauklumas, kuris pasireiškia [12]:

- Darniu vystymusi (energija neišsemiama, begalinė);
- Buvimu visur (esanti ir panaudojama visur aplink pasaulį, atvirkščiai negu iškastinis kuras);
- Būtinumu naudoti (neteršianti aplinkos ir neišskirianti anglies junginių).

Saulės energija yra svarbiausia tarp kitų AEI, kadangi ji ne tik teikia galimai panaudotiną didžiausią energijos kiekį, bet ir tuo pačiu yra kitų energijos šaltinių pradas. Būtent todėl tokios sistemos kelią didesnį vartotojų susidomėjimą [13].

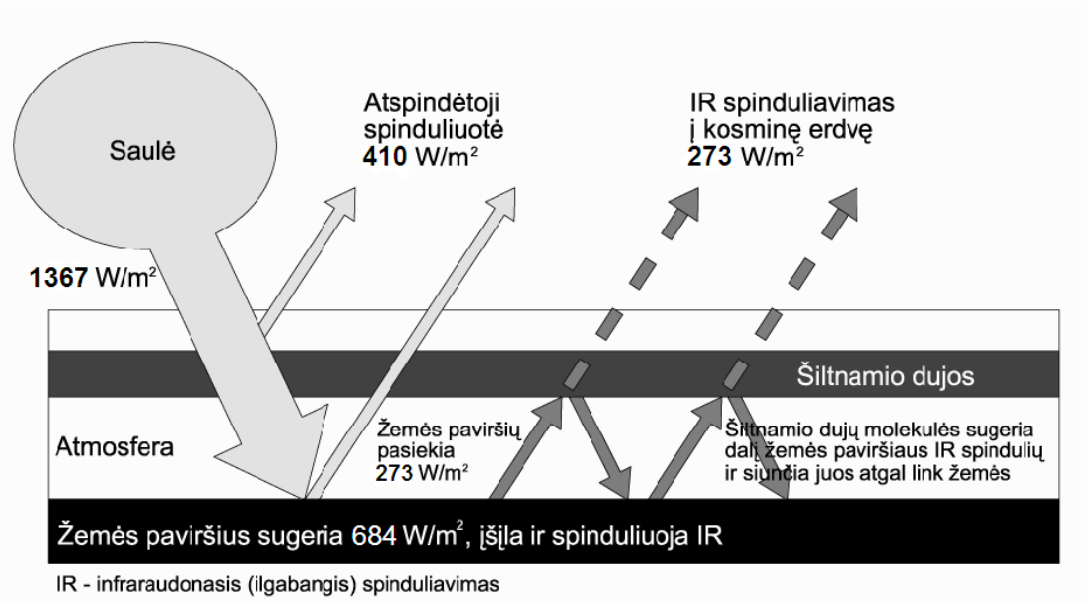
Siekiant saulės energiją panaudoti kuo plačiau, pasyviomis ir aktyviomis sistemomis ji dažniausiai konvertuojama į šilumą arba elektrą, rečiau – į vėsą. Nagrinėjant daugiabučių pastatų modernizavimą ir saulės energijos panaudojimo derinimą, vėsos gamyba nėra tokia aktuali problema, kadangi tokios sistemos praktiškai nenaudojamos ir nemontuojamos pagrinde dėl nykstamai mažo vartotojų poreikio joms. Vis dėlto, sistemų tinkamumas įrodytas [14] literatūros šaltinyje.

Pasyvusis saulės energijos naudojimas – tai būdas, kai atitinkamai suprojektuotas pastatas sugeria ir sulaiko patalpų viduje saulės spindulius. Tuo tarpu aktyviosiose sistemose yra naudojami įrenginiai (pavyzdžiui, saulės kolektorių sistema, fotoelementai).

Tolimesniuose poskyriuose apžvelgiamas ne tik saulės, kaip energijos šaltinio, potencialas, bet ir dažniausiai namų ūkiuose (ne tik daugiabučiuose pastatuose) taikomos saulės energijos sistemos.

1.1. Saulės energijos potencialas

Per metus viršutinę žemės atmosferos ribą pasiekia $5{,}6 \cdot 10^{24}$ J saulės energijos srautas [15]. Žemės atmosfera atspindi apie 30 % šios energijos atgal į kosmosą, o likusi energija sušildo žemės paviršių, naudojama garavimo – kritulių cikle, bangų, vėjo, oro ir vandenyno srovių susidarymui (1 pav.). Metinis, pasiekiantis žemę, saulės energijos kiekis yra $1{,}05 \cdot 10^{18}$ kWh, iš kurių sausumai tenka $2 \cdot 10^{17}$ kWh. Be ekologinio pakenkimo aplinkai galima panaudoti 1,5 % ($1{,}62 \cdot 10^{16}$ kWh/m²) šio kiekio. Tai ekvivalentu $2 \cdot 10^{12}$ tne. Per dieną ant žemės paviršiaus krintančio kiekio užtektų padengti viso pasaulio metinius energijos poreikius [13]. Visas šiuo metu išgaunamas pasaulyje organinis kuras taip pat susidarė fotosintezes reakcijų metu, veikiant saulės energijai.



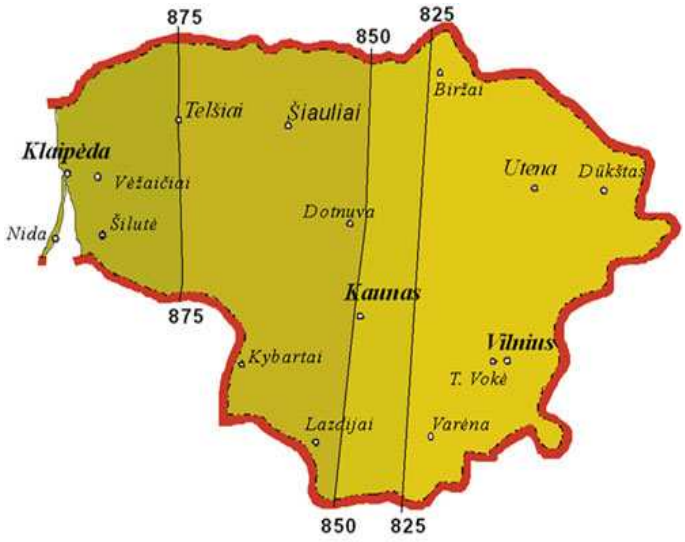
1 pav. Saulės energijos kiekiai (W/m²) per metus [2], [16]

Saulės spinduliams praeinant pro atmosferos sluoksnius, dalis jų išsisklaido ir yra sugeriami ozono, oro ir garo molekulių bei dulkių dalelių, todėl tiesioginė saulės radiacija silpnėja, tačiau atsiranda difuzinė (išsklaidyta) saulės spinduliavimo dedamoji. Difuzinė saulės spinduliavimo dalis bendrame radiacijos sraute priklauso nuo geografinių ir klimatologinių veiksnių ir per metus kinta. [16]

Saulės energija, pasiekianti Žemės paviršių Lietuvos teritorijoje, matuojama dviejose meteorologinėse stotyse – Kaune ir Šilutėje. Daugiamečių stebėjimų duomenimis, vidutinis metinis suminės saulės radiacijos kiekis, krintantis į horizontalų paviršių yra 970 kWh/m² Šilutėje ir 1025 kWh/m² Kaune. Kitų miestų vidutinės ir pilnutinės metinės saulės energijos kiekio reikšmės pateikiamos 1 lentelėje ir iliustruojamos 2 paveiksle. Paros suminės radiacijos kiekiai į horizontalų paviršių labai skiriasi per metus ir kinta nuo 0,55 kWh/m²/d. sausį iki 5,8 kWh/m²/d. birželio mėnesį.

1 lentelė. Lietuvos regionų perspektyvumas pagal saulės energijos išteklius [17]

Lietuvos HMS	**Pilnutinė spindulinė energija per metus, E_h, kWh/m^2**	**Pilnutinė spindulinė energija per metus, E_h, kWn/m^2**	**Perspektyva**
Klaipėda, Kybartai, Telšiai, Lazdijai, Šilutė, Nida	1015 – 1042	1405 – 1439	Didžiausia
Utena, Kaunas, Vėžaičiai, Dotnuva, Šiauliai	946 – 1042	1316 – 1380	Vidutinė
Biržai, Varėna, Dūkštas, Vilnius	926 – 939	1290 – 1306	Mažiausia



2 pav. Vidutinės daugiametės pilnutinės spindulinės saulės energijos kWh/m2, gaunamos Lietuvoje horizontalioje plokštumoje per laikotarpį nuo 04 01 d. iki 10 31 d., pasiskirstymas šalies teritorijoje [17]

Metinis saulėtų valandų skaičius matuojamas 11-oje Lietuvos Respublikos meteorologinių stočių. Saulės švietimo laikas Lietuvoje ilgiausias pajūryje ir trumpėja rytinės sienos link, kadangi visoje šalies teritorijoje debesuotumo tikimybė didėja rytų kryptimi. Vidutiniškai saulėtų valandų skaičius pajūryje siekia 1840-1900 val. kasmet. Šalies rytiniame pakraštyje jis neviršija 1700 val. per metus. Maksimali saulės švietimo trukmė yra Nidoje ir siekia 1908 val. per metus. Lyginant saulėtų valandų skaičių Vilniuje (1690 val. per metus) su kai kurių Europos miestų duomenimis (Mančesteryje, Didžiojoje Britanijoje, saulėtų valandų per metus yra 1360, Hamburge, Vokietijoje – 1570, Ženevoje, Šveicarijoje – 1500, Kirunoje, Švedijoje – 1470) matyti, jog saulės išteklių Lietuvoje daug. [2]

1.2. Saulės energijos sistemos

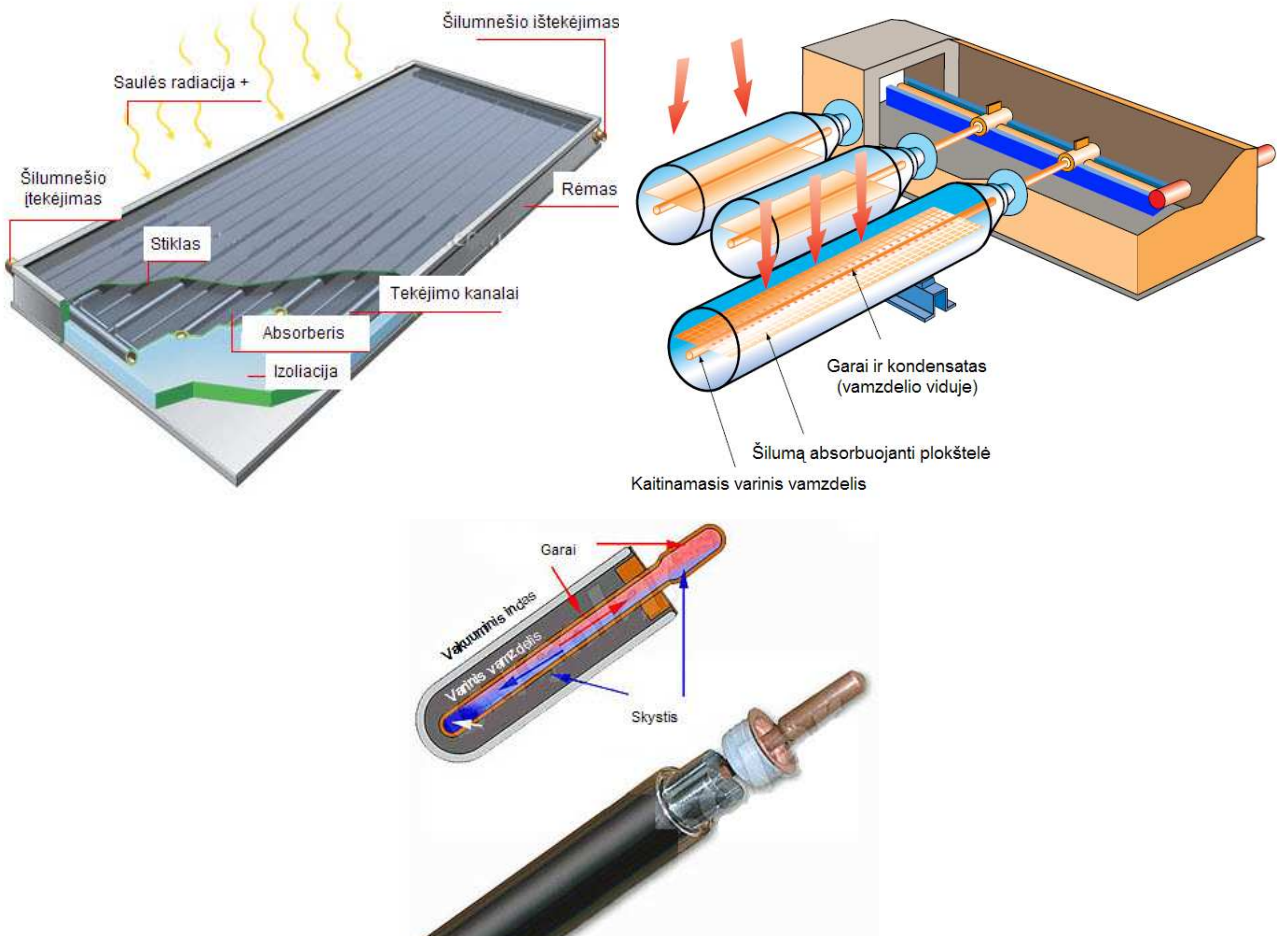
Pagrinde saulės energija daugiabučiuose pastatuose gali būti panaudota dvejopai, iš dalies ar visiškai tenkinant pagrindinius tokio gyvenamojo būsto vartotojų poreikius: fotoelektriniais moduliais gaminant elektrą, o saulės kolektoriais ruošiant šilumą, vėliau panaudojamą patalpų šildymui ar karšto vandens ruošimui. Pastarieji yra dviejų tipų – vakuuminių vamzdelių ir plokštieji. Vis dėlto yra ir dar vienas saulės energijos panaudojimo būdas daugiabučiuose pastatuose, kuris galėtų būti priskirtas tiek prie aktyvaus, tiek prie pasyvaus energijos panaudojimo būdų – „saulės siena“ (angl. *SolarWall*) arba verčiant tiesiogiai iš anglų kalbos – orą praleidžiantis saulės kolektorius (angl. *transpired solar collector*). Galiausiai, esant vėsos poreikiui, saulė gali būti panaudota netgi šiai energijos rūšiai gaminti.

1.2.1. Saulės kolektoriai

Saulės spindulių energija kolektoriuose transformuojama į šilumą, kurią į šildymo sistemą perneša šilumnešis (tai gali būti oras, vanduo ar kitas skystis). Saulės šilumą galima panaudoti vandeniui, baseinui ar patalpoms šildyti.

Dėl ekonominio patrauklumo Lietuvoje labiausiai paplitę plokštieji kolektoriai (3 pav. kairėje) sudaryti iš absorberio, sugeriančio saulės energiją, ir vamzdelių, kuriais teka šilumos nešėjas. Absorberis įtaisytas į apšiltintą dėžę skaidriu paviršiumi (dažniausiai stikliniu), pro jį patenka saulės spinduliai. Tarp absorberio ir šilumą akumuliuojančios talpos cirkuliuoja vandens ir aplinkai nepavojingo antifrizo mišinys. Paprastai saulės kolektoriuose yra temperatūros matuoklis. Kai skysčio temperatūra kolektoriuje tampa didesnė už vandens temperatūrą akumuliacinėje talpoje, reguliatorius įjungia cirkuliacinį siurblį ir šilumos nešėjas pradeda cirkuliuoti sistemoje.

Plokštieji kolektoriai gali būti dedami ant stogo, žemės, kabinami ant sienos. Kiekvieną plokščiojo kolektoriaus elementą galima tobulinti, siekiant didesnio įrenginio našumo. Svarbu absorbcijos, stiklo visuminės saulės energijos praleisties (naudojamas mažai geležies turintis stiklas), vamzdžių šilumos laidumo koeficientai ir kiti veiksniai.

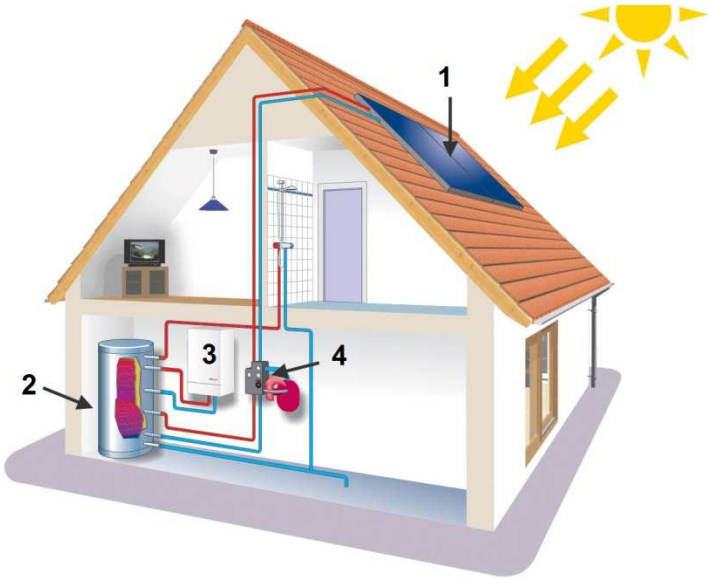


3 pav. Kolektorių tipai: plokščiasis kolektorius (kairėje) [18]; vakuuminis kolektorius (dešinėje) [19]; vakuuminis kolektorius (apačioje) [20]

Siekiant sumažinti šilumos nuostolius dėl konvekcijos kolektoriaus viduje, buvo sukurti vakuuminiai kolektoriai. Vakuuminiame kolektoriuje (3 pav. apačioje) absorberis įdėtas į spaudimui atsparų stiklinį vamzdį, iš kurio išsiurbtas oras. Tai vakuumo kolba (vamzdis), panaši į termosą. Išorinis selektyvinis boro silikato stiklas, kaip ir langų paketuose, įleidžia platų saulės šviesos spektrą ir sulaiko šilumą. Vidinė tokio vamzdžio kolba padengta specialiomis juodomis absorbuojančiomis dangomis, kad sugertų visą saulės šviesos spektrą ir paverstų jį šiluma. Vamzdžiai tarpusavyje sujungiami viršutine dalimi.

Vakuuminio kolektoriaus vidiniame vamzdyje, kuris gali turėti prie šonų pritaisytas šilumą absorbuojančias plokšteles (3 pav. dešinėje) efektyvumui padidinti, yra specialus žemoje temperatūroje lengvai garuojantis skystis. Pašvietus saulei ir didėjant temperatūrai, garai kyla į šilumokaitį, o šis atiduoda šilumą jos nešėjui ir atvėsta. Tada garai kondensuojasi ir suteka į vamzdžio apačią. Šiuose kolektoriuose pasiekiama didesnė temperatūra nei plokščiuosiuose, jie yra veiksmingesni, bet brangesni. Kai kurie vakuuminiai kolektoriai veiksmingai veikia ir ūkanotomis dienomis, tinka ir patalpų šildymo sistemose. Kai kurių vakuuminių kolektorių vamzdžių kiekį galima lengvai padidinti jau pradėjus eksploatuoti sistemą.

Pagrinde saulės kolektoriai skirti karštam vandeniui ruošti, gyvenamosioms patalpoms šildyti arba naudojami abiem atvejais sistemas kombinuojant ir nustatant prioritetus. Tačiau vienu ar kitu atveju saulės sistemos sandara yra praktiškai identiška ir ji veikia kaip papildoma, o ne pagrindinė energijos sistema. Tiesa, karšto vandens ruošimui reikalingos energijos poreikiams esant žemesniems negu patalpų šildymui, per metus (dažniausiai vasarą) keletą mėnesių saulės energijos sistema gali veikti kaip pagrindinė, patenkinanti visus šilumos poreikius.



4 pav. Principinė karšto vandens ruošimo schema [21]:
1) saulės kolektorius; 2) tūrinė vandens talpa; 3) papildomas šildytuvas; 4) siurblys.

Karšto vandens ruošimo sistemą (4 pav.) sudaro saulės kolektorius, akumuliacinė talpa, vamzdynas, siurbliai, reguliatoriai, davikliai, papildomo šildymo įrenginiai, kt. Ji komplektuojama atsižvelgiant į poreikius ir paskirtį, nes geras saulės kolektorius ar jų grupė dar nereiškia gero visos sistemos darbo. Kad karšto vandens ruošimo sistema būtų veiksminga, svarbu tinkamai įvertinti karšto vandens poreikius. Remiantis nerašyta taisykle skaičiuojama, jog vienas žmogus sunaudoja apie 50 *l* karšto vandens per dieną, tuomet vienam žmogui reikia apie 1,2-1,5 m^2 saulės kolektorių.

Akumuliacinės talpos paskirtis – sukaupti šilumą, kad karšto vandens užtektų kelioms dienoms (vasarą), todėl jos tūris yra 1,5-2 kartus didesnis nei vienos dienos poreikis (75-100 litrų vienam žmogui). Svarbu, jog talpa būtų pritaikyta saulės kolektorių sistemai. Daugelyje dabartinių buitinių tūrinių vandens turi tokio tipo šilumokaičius, kurie skirti prijungti katilus, bet ne saulės kolektorius. Vandens šildytuvuose naudingiausia turėti kelias spirales-šilumokaičius, kad būtų galima pajungti ir biomasės, ir kitokį katilą ar įmontuoti elektrinį šildytuvą.

Tinkama vieta, skirta išdėstyti saulės kolektorius – stogo šlaitas, nukreiptas į pietų pusę (+/-30º). Stogo nuolydis gali būti 40-60º – tai lemia šilumos gamybą skirtingais sezonais – kuo lėkštesnis, tuo daugiau šilumos bus pagaminama vasarą. Jei stogas plokščias, naudojami specialūs padėklai, pakeliantys kolektorius reikiamu kampu (Lietuvoje tinkamiausiu posvyrio kampu laikomas 38º kampas [11]). Kai kurių vakuuminių kolektorių vamzdžius su absorbuojamuoju paviršiumi galima lengvai sukinėti pagal saulę, net jei netinkamas stogo nuolydis.

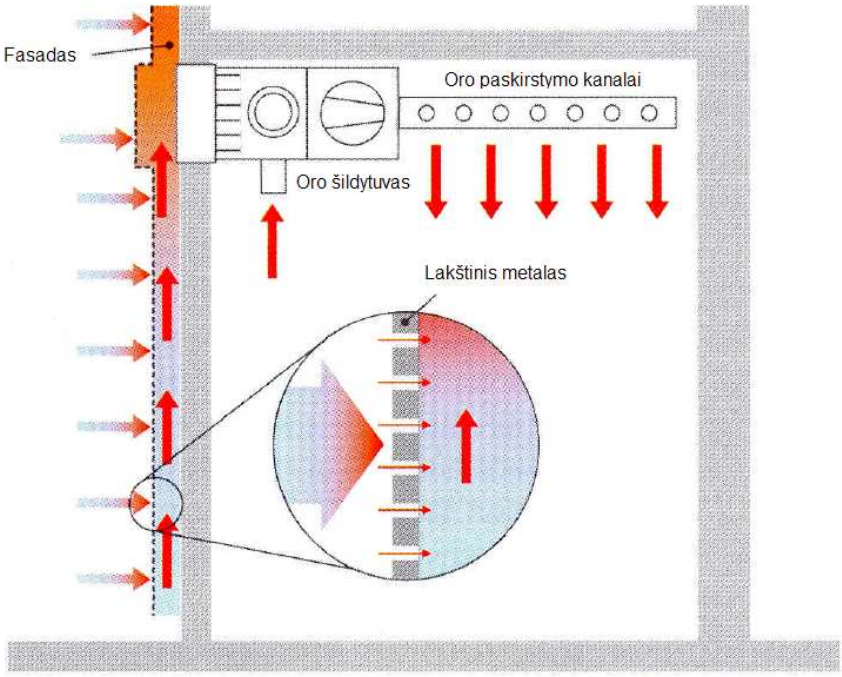
Praktinė patirtis Lietuvoje ir kitose Europos šalyse parodė, kad naudojant saulės kolektorius dažniausiai galima patenkinti iki 50 % metinio karšto vandens poreikio. Žiemą paruošti 100 % karšto vandens, naudojant saulės energiją, kol kas sudėtinga. Tokia energijos gamyba pasiekiama nebent vasarą ar kitu metų laiku, kada saulė yra aukštai danguje, o aplinkos temperatūra artimai vasarai būdingai temperatūrai.

Tuo atveju, kada saulės kolektoriai panaudojami ir patalpų šildymui, reikalingas didesni jų plotas. Tuomet padidėjus energijos gamybai ir vasaros metu, atsiranda būtinybė perteklinės šilumos utilizacijai. Šiluma gali būti tiesiog išmetama į orą (naudojant aušinimo įrangą) arba utilizuojama naudingiau, pavyzdžiui baseino vandens šildymui. Tiesa, tokia išeitis dažnai nėra ekonomiškai efektyvi ir retai pritaikoma modernizuojant daugiabučius pastatus.

1.2.2. Saulės siena

Ši sistema veikia gana paprastai – lauko oras, prieš jam patenkant į pastatą, sušildomas „saulės sienoje“. Po to šiluma paskirstoma pastato šildymo sistemoje (5 pav.). „Saulės siena“ suteikia galimybę ir vėdinti patalpas.

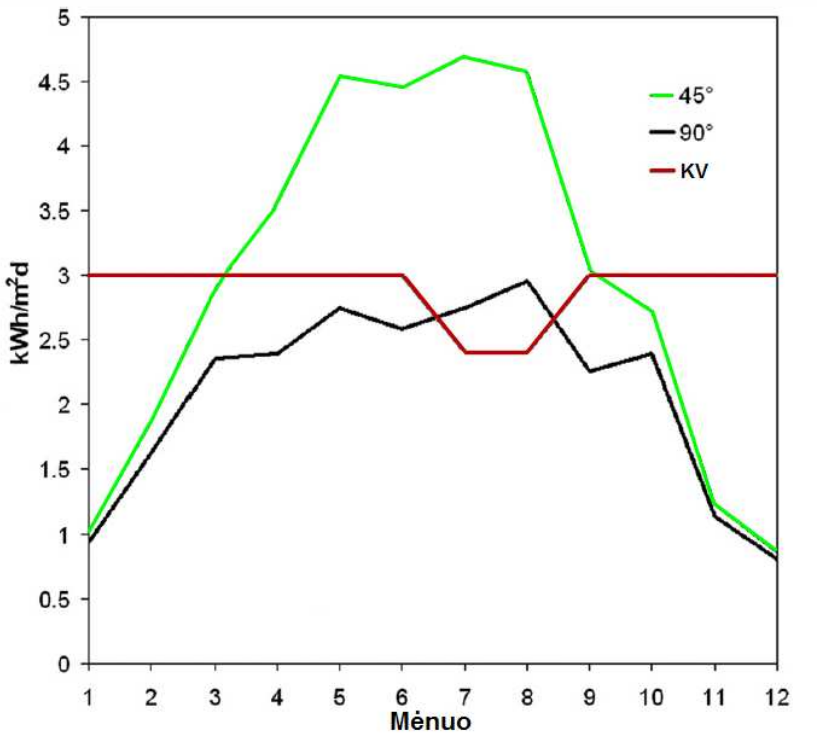
Vis dėlto, tokiai saulės energijos sistemai pasižymint paprastumu ir sąlyginai mažomis įrengimo išlaidomis, ji kol kas retai taikoma daugiabučiuose pastatuose. Pagrindinė priežastis – nemažo ploto poreikis. Dabartinių renovuojamų pastatų tinkamiausi „saulės sienai“ fasadai (kaip ir visoms saulės energijos sistemoms) dažniausiai sudaryti iš langų, kurie nėra naikinami. Tokiu būdu, galimai „saulės sienai“ panaudotini fasadai yra netinkami geografinių šalių atžvilgiu, o jų plotas dažnai būna nedidelis, lyginant su anksčiau minėtais.



5 pav. Saulės sienos veikimo principas [22]

Nors iš pirmo žvilgsnio „saulės sienos“ sistema gali pasirodyti labai paprasta, taip iš tiesų nėra. Pietinėje išorinėje pastato sienoje, sugeriančioje daugiausiai saulės spindulių, paprastai įkomponuojama tamsaus metalo danga. Danga gali būti bet kokios tamsios spalvos – kuo tamsesnis metalas, tuo daugiau šilumos absorbuojama. Dažniausiai tam naudojamas gofruotas ir perforuotas (su tūkstančiais skylučių) aliuminis. Tamsųjį „apvalkalą“ skrodžianti saulės energija sušildo orą maždaug iki 30 °C. Šis per nedideles skylutes įtraukiamas į siaurus tarpus, esančius tarp pastato ir metalo sienos, bei nukreipiamas į ventiliacijos sistemą. Taip sukuriama pirminė saulės šildymo sistema. Kita vertus, šiame cikle „pagamintas“ karštas oras taip pat gali būti nukreiptas ir į įprastinę pastato šildymo sistemą, kuri paprastai įrengta kiekviename pastate, ir taip panaudojus šilumokaičius perduota šiluminė energija. „Saulės sienos“ sistema gali būti diegiama didelėse parduotuvėse, gamyklose, ligoninėse ar mokyklose, įvairiuose pramoniniuose objektuose, taip pat – gyvenamuosiuose namuose, turinčiuose didelio ploto fasadus, orientuotus į pietų ar artimas jai puses.

Taip pat, naudojant tokią sistemą, atsiranda puiki galimybė ruošti karštą vandenį. Kaip matyti 6 paveiksle, „saulės sienos“, kuri įrengiama vertikaliai (90°), skirtumas tarp žiemos ir vasaros pikinių galių yra daug artimesnis karšto vandens poreikiui, negu ant stogo sumontuotų ir 45° pakreiptų saulės kolektorių. Tinkamai parinkus „saulės sienos“ plotą yra išvengiamas sistemos neveiksnumas vasarą, kada saulės kolektoriai kai kuriais atvejais gali pagaminti per daug energijos.



6 pav. Saulės spinduliavimo į pakreiptą paviršių ir karšto vandens poreikio profilis [23]

„Saulės sienos“ sistema taip pat suteikia galimybę susigrąžinti prarastą šilumos energiją. Žinia, didelė dalis šilumos iššvaistoma per nesandarias pastatų sienas, nuostolių patiriama ir dėl paliktų erdvių ventiliacijai. Net ir naudojant modernias termoizoliacijos medžiagas, tam tikri nuostoliai neišvengiami. Tuo metu „saulės sienos“ sistemoje per atitvaras į aplinką besiskverbianti šiluma vėl surenkama tamsiu metalo apvalkalu ir grąžinama atgal į pastatą. [24]

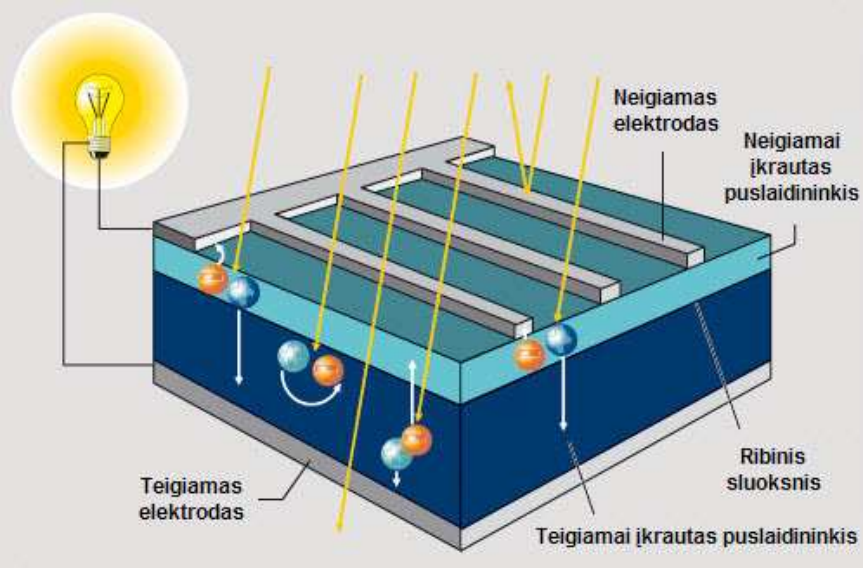
1.2.3. Saulės elementai (PV)

Saulės fotoelementas – tai įrenginys, kuris saulės šviesos energiją paverčia elektros energija. Fotoelementų gamybai naudojami puslaidininkiai (90 % visų rinkos saulės fotoelementų pagrindinė medžiaga – silicis).

Veikimo principas pagrįstas elektronų išlaisvinimu, panaudojant saulės šviesą (procesas vadinamas foto efektu), ir jų judėjimu tarp skirtingų puslaidininkių plokštumų. Elemento viršuje (7

pav.) yra puslaidininkis, turintis elektronų perteklių, o apačioje – trūkumą. Atskirai šie puslaidininkiai yra elektriškai neutralūs. Sudėjus šias plokštumas jų sandūroje (ribiniame sluoksnyje) atsiranda elektrinis laukas. Saulei pašvietus ir elektronas įgavus daugiau energijos šie atsiskiria nuo viršutinio puslaidininkio ir juda link apatinio. Jų vietą, judėdami priešinga kryptimi, užima elektronai iš apatinio puslaidininkio taip sukurdami elektros srovę.

Tiesa, pagaminta srovė yra labai maža – iš vienos celės pagaminama nuo 1 iki 2 W energijos [13]. Būtent todėl celės grupuojamos į daug didesnius fotoelementų modelius, kurie ir yra naudojami kaip išoriniai saulės sistemos elementai.



7 pav. Fotoelemento sandara [25]

Fotoelemento darbui poveikį turi saulės spindulių kritimo kampas, saulės intensyvumas, aplinkos temperatūra. Šiuo metu fotoelementų naudingumo koeficientas svyruoja apie 20 %, nors laboratorijose pasiekti 50 % ir daugiau. Kylant temperatūrai, fotoelemento naudingumo koeficientas mažėja, todėl jau yra gaminami kombinuoti šilumos ir elektros energijos gamybos įrenginiai, kai perteklinė temperatūra perduodama šilumos nešėjui saulės kolektoriuje. Paminėtinas faktas, jog fotoelementai veikia ne tik esant giedram orui, bet ir kai debesuota, tiesa mažesniu efektyvumu.

Fotoelementai patogūs naudoti, nes yra palyginti lengvi, neužima daug vietos, juose nėra besisukančių, triukšmą keliančių dalių. Daugiabučių pastatų modernizavimo procese, įrengiant naują saulės energijos sistemą, fotoelementai dažniausiai montuojami ant stogų, sienų ir dera prie aplinkos.

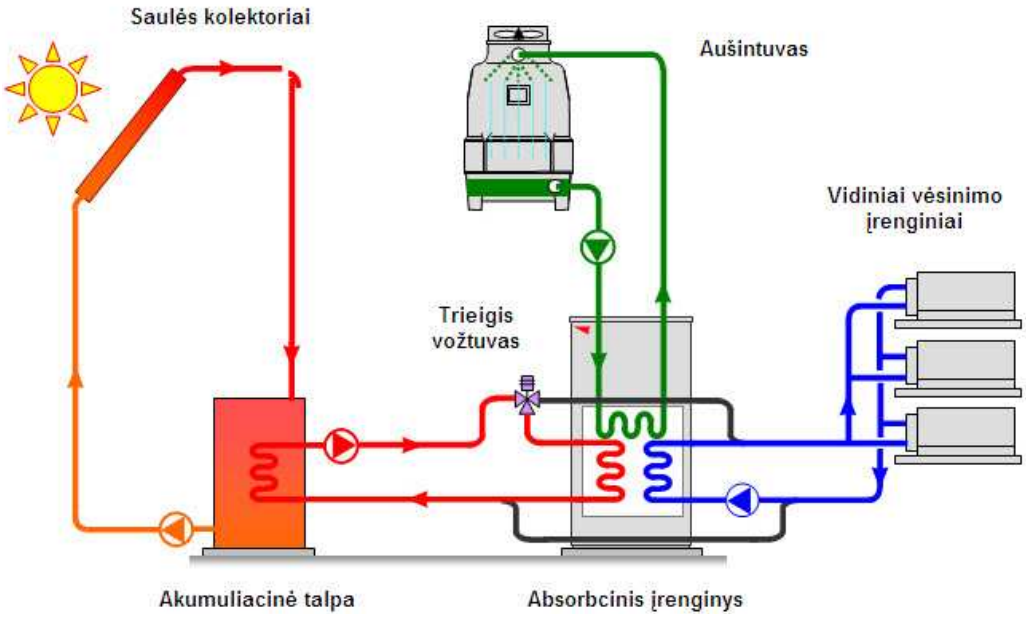
1.2.4. Vėsinimas saulės šiluma

Ne visada saulė ir jos skleidžiama šiluma yra pageidautinas reiškinys gyvenamosiose patalpose, ypač vasarą. Lietuvoje tyrimo metu nustatyta, kad didžiąją dalį (apie 90 %) metinės

perteklinės energijos sudaro į patalpą iš išorės pritekėjusi šiluma dėl saulės spinduliuotės, o kita – vidiniai šilumos išsiskyrimai [26].

Tam, kad vasarą gaunama perteklinė (ji gali atsirasti dėl įdiegtų kitų saulės sistemų galios apribojimų, energijos poreikių sumažėjimo, akumuliatorių ir akumuliacinių talpų pilno įkrovimo) saulės šiluma būtų panaudota vėsinimo procesuose, yra naudojami adsorbciniai ir absorbciniai įrenginiai. Dažniausiai sutinkamas yra pastarasis variantas.

Skystas šaltnešis (vanduo) iš kondensatoriaus patenka į garintuvą. Čia, perimdamas šilumą iš vėsinimo sistemoje cirkuliuojančio vandens, jis virsta garu. Absorberyje šaldymo agento garą (vandens garą) absorbuoja aukštos koncentracijos tirpalas (ličio borido ar amoniako tirpalas vandenyje). Šio proceso metu išsiskyrusi šiluma nuvedama į aušintuvą. Susidaręs mažesnės koncentracijos tirpalas siurbiamas siurbliu ir paduodamas į temperatūros keitiklį, kur kartu patenka ir aukštos koncentracijos tirpalas. Pastarasis tirpalas gaunamas kaitinant saulės šiluma, kai išgarinama didesnė dalis žemos koncentracijos tirpalo vandens. Susidaręs temperatūros keitiklyje aukštos koncentracijos tirpalas grąžinamas į absorberį, o išgarintas vanduo patenka į kondensatorių, kuriame kondensuojasi. Panaši veikimo schema pateikta 8 paveiksle [27].



8 pav. Absorbcinės vėsinimo sistemos veikimo schema [28]

Kraštuose, kur klimatas yra palankus, o saulės energijos daug ir ilgą laiką, atsiranda galimybė įrengti vėsinimo saulės energija jėgaines. Puikus pavyzdys yra Sevilijoje (Ispanijoje) veikianti 174 kW galios jėgainė, kurios pagrindinis energijos šaltinis – saulės energija, kurią surenka 352 m^2 koncentruojančių saulės kolektorių [29].

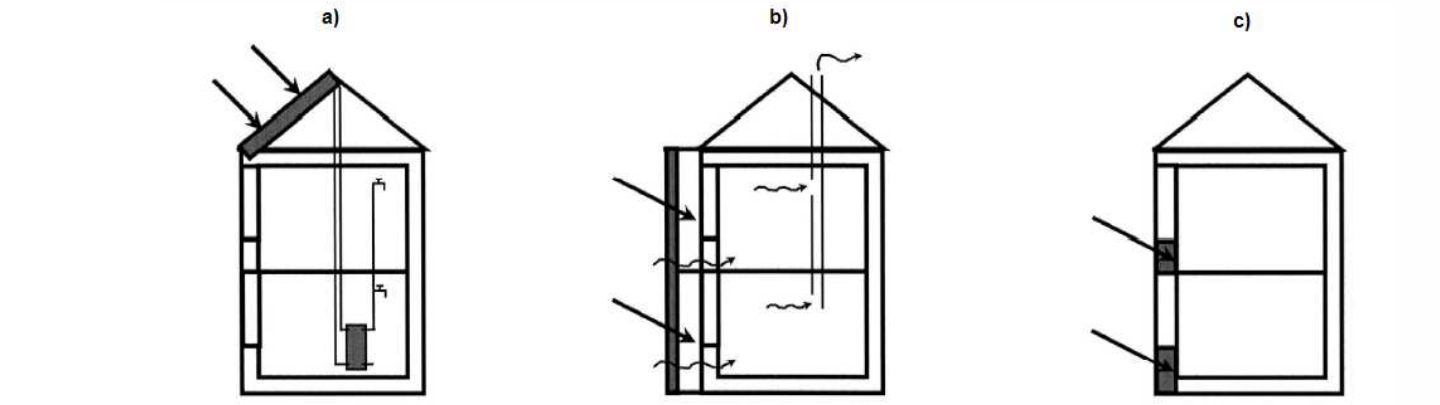
2. SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO DAUGIABUČIUOSE PASTATUOSE SPRENDIMAI IR REZULTATAI KITOSE ŠALYSE

Nagrinėjant tyrimo sritį ir jo problematika, užsibrėžtam tikslui pasiekti, vienas iš uždavinių yra įgyvenditnų saulės energijos panaudojimo daugiabučiuose pastatuose sprendimų apžvalga bei analizė. Tai yra svarbu, kadangi, pirmiausia visą darbą pakreipia nauja linkme, stengiantis išvengti to, kas jau atlikta, t. y., įneša darbui naujumo. Antra, nagrinėjant pristatytus projektus yra gilinamos žinios, įsisavinant ir pastebint naujus, kartais labai drąsius sprendimus, formuojama ar redaguojama galutinė baigiamojo darbo vizija. Vadinasi, teisinga literatūros apžvalga, atlikta tyrimo pradžioje, stipriai veikia galutinius jo rezultatus ne skaitine prasme, bet iš esmės (kokios technologijos naudojamos, kaip jos derinamos). Be to, pradedančiajam tyrėjui šis žingsnis ypatingai svarbus siekiant susipažinti su pačia tyrimų atlikimo eiga ir ją pritaikyti savo darbe.

Saulės kolektoriai (plokštieji ir vakuuminiai)

Daugelyje pasaulio valstybių sėkmingai plėtojama koncepcija, kada ne tik statant naują daugiabutį pastatą, tačiau ir renovuojant seną, yra diegiama nauja (veikianti kaip pagalbinė) saulės energijos sistema, tiekianti pastatui šilumą.

Jau prieš dešimtmetį daugiabučiuose pastatuose juos renovuojant buvo diegiami saulės kolektoriai, gaminantys šilumą, o tokių parodomųjų sistemų rezultatai buvo atvirai publikuojami [30], siekiant sudominti potencialius saulės energijos vartotojus. Tiesa seniau, kada aktyvios saulės energijos sistemos nebuvo taip toli pažengusios, populiaresnis buvo pasyviųjų sistemų naudojamas. Šveicarijoje, Vokietijoje, Olandijoje, Švedijoje ir Danijoje pasirinktuose pavyzdiniuose projektuose buvo panaudoti 9 paveiksle pateikti saulės energijos panaudojimo sprendimai:



9 pav. Saulės energijos panaudojimo sprendimai pastatų renovacijai [30]

- Ant pastato montuojami saulės kolektoriai (9 pav. a)), naudojami karšto vandens ruošimui arba dalinai šildymo poreikiams padengti;

- Papildomai įstiklinti balkonai (9 pav. b)), įrengiant atidaromus stiklo elementus ir taip iš dalies išsprendžiant šiluminių tiltelių susidarymą;
- Sienų šildymas naudojant pusiau permatomą izoliaciją (9 pav. c)).

Kaip ir tikėtasi, dėl skirtingų projektuotojų, įrengimo kompanijų bei pačios saulės panaudojimo koncepcijos rezultatai buvo gauti skirtingi. Atsižvelgiant į skirtingus daugiabučių renovavimo sprendimus, saulės energijos sistemos padėjo sutaupyti 3-70 % nuo viso renovacijos metu sutaupyto energijos kiekio.

Lietuvoje atlikta studija [31] parodė, jog saulės energiją karšto vandens ruošimui panaudoti nėra sunku. Atlikus daugiabučio namo Panevėžyje centralizuoto šilumos tiekimo alternatyvų analizę nustatyta, jog pastatą renovuojant ir įrengiant saulės sistemą, turinčią šiek tiek daugiau nei 55 m^2 plokščiųjų saulės kolektorių plotą, per metus šia sistema bus užtikrinti 42 % viso karšto vandens ruošimui reikalingo energijos kiekio. Tiesa, įvertinus tai, jog AEI sistemų įrengimui valstybės parama yra nepakankama, padaryta išvada, jog energijos gamybos kaštai nesumažėja, tačiau sumažinamas į aplinką išsiskiriantis CO_2 kiekis. Panašus efektyvumas pasiektas ir Didžiojoje Britanijoje [32].

Tuo tarpu labiau saulėtose šalyse, tokiose kaip Graikija (šaltinis [33]) ar Indija (šaltinis [34]), saulės kolektoriais pagaminto šilumos indėlis gali viršyti ir 80 % metinio energijos, reikalingos karštam vandeniui ruošt, kiekio.

Be įprastų sprendimų, saulės energijos sistema daugiabučiame pastate Siguldoje (Latvija) puikiai suderinta su įprastine šildymo sistema, naudojančią biomasę (medienos granules) [35].

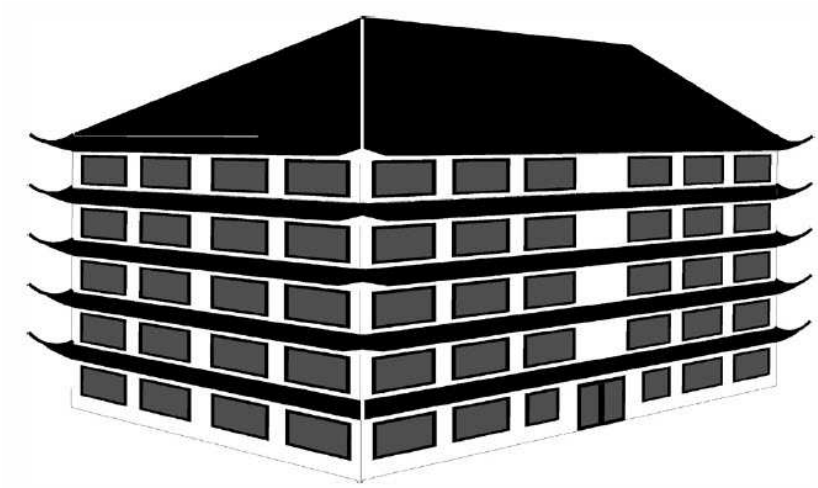
„Saulės siena“

Kaip minėta anksčiau, „saulės sienos“ įdiegimas modernizuojant daugiabučius pastatus nėra toks populiarus. Vis dėl to galima rasti pavyzdžių, kur tai atlikta sėkmingai.

Čekijoje ant daugiabučio pastato sienos sumontavus „saulės sieną“, ši kuo puikiausiai funkcionuoja [23]. Įrengus vienam butui (straipsnyje įvardyta kaip zona) 9 m^2 „saulės sienos“ ir išnagrinėjus šios sistemos veikimą nustatyta, jog norint, kad ši sistema savo pagaminta energija pasiektų 60 % indėlį į karšto vandens ruošimą ir taip indėliu susilygintu su alternatyva – saulės kolektorių sistema, reikia ją padidinti 30 %. Taigi peršasi išvada, jog nors tokia sistema ir nėra labai „patogi“ reikalaujamu plotu, pasiekiami rezultatai geri.

Saulės elementai

Elementarus pavyzdys, kaip galima įrengti saulės kolektorius ant fasado (šiuo atveju patogiau įrengti fotoelementus, kadangi jie lengvesni ir užtenka paprastesnių konstrukcinių sprendimų), galėtų būti gyvenamieji daugiabučiai pastatai Kinijoje (14 pav.).



10 pav. Kinų tipo daugiabutis pastatas [36]

Tokios suformuotos (ar mūsų atveju Lietuvoje kolektorių suformuojamos) pastogės turi daug pliusų:

- Pastogės suteikia papildomo ploto, todėl saulės kolektoriai ar fotoelektros moduliai gali būti montuojami ne tik ant stogo, bet ir ant šių nuožulnių ar horizontalių pastogių;
- Ant pastogių sumontuotais įrenginiais energijos kaupiamas yra tolygiai paskirstytas visame pastato aukštyje, todėl mažėja skirstomieji tinklai pastato viduje ir taip mažėja energijos nuostoliai juose;
- Atitinkamai pagal metų ir paros laiką pastogės sudaro šešėlį ir taip apsaugo nuo nepageidautinų saulės šilumos pritekių. [36]

Tokiu būdu saulės kolektoriai pritaikyti ir Belgrade, iš karto po II-ojo Pasaulinio Karo statytame daugiabučiame name (Lietuvos situacija panaši) [37].

Dar vienas įdomus sprendimas – kombinuoti saulės baterijas jas naudojant kaip permatomą dangą, kuri iš vienos pusės ribojasi su aplinka, o iš kitos – oru, vėliau patenkančiu į šildymo sistemą. Turint omenyje, kad fotoelementai įšyla ir perduoda šilumą už savęs esančiai medžiagai, taip „sugaunama“ šiluma, kuri kitu atveju tiesiog šildytų konstrukcijas. Šaltinyje [38] atlikta analizė įrodė, jog taip modifikavus sistemą, bendras efektyvumas (elektra + šiluma) padidėja nuo 14 % iki 20 %.

3. NAUDOTINI SAULĖS ENERGIJOS SISTEMŲ TYRIMO METODAI

Labiausiai paplitus saulės energijos panaudojimo sritis gyvenamuosiuose pastatuose – karšto vandens ruošimas, panaudojant saulės kolektoriais pasisavinamą saulės spinduliuojamą šilumą [39]. Rečiau gyvenamajame sektoriuje saulės energija panaudojama patalpų šildymui ar elektros

gamybai, vienas, kitas atvejis – vėsinimui. Jei individualių namų savininkai vis dažniau investuoja ir įsidiegia tokias sistemas, tai daugiabučių namų bendrijos kol kas pasyvios.

Tačiau saulės energijos sistemos visą laiką tobulėja ir darosi efektyvesnės. Žinoma, gerėjančių rodiklių nebūtų įmanoma pasiekti neatliekant sistemų tyrimų jų projektavimo, gamybos, diegimo ar eksploatavimo fazėse. Pasaulyje yra nemažai tyrimų metodų, kurie skiriasi savo metodologija, požiūriu į nagrinėjamą objektą, nagrinėjančiojo asmens poziciją siekiamų gauti rezultatų skirtumu (apimties, tikslumo, laiko intervalo).

Nors tyrimo metodo pasirinkimas daugiausia priklauso nuo atliekamo darbo tikslo, tačiau dažniausiai pasitaikantys yra energiniai [40, 41, 42, 43], ekologiniai [44] ar ekonominiai [45, 46] saulės energiją vartojančių sistemų vertinimo metodai, o taip pat kombinuotų sistemų, kuriose bent nedidelę dalį užima energijos gamyba iš saulės spinduliavimo energijos. Šiuose metoduose sistemos tiriamos griežtai vienu požiūriu, nesigilinant kaip vieni ar kiti įvesties duomenys paveikia sistemą kitu požiūriu. Vis dėlto, siekiant gauti geriausią rezultatą, atliekamos dagiakriterės analizės [47], šiuo atveju vadinamos 3E (energija-ekologija-ekonomika), kuriomis galima nustatyti optimalią sistemą ar jos elementų derinius, kuriems veikiant tenkinamos užduotos sąlygos ir pasiekiami norimi parametrai.

Siekiant sistemas išnagrinėti energiniu požiūriu, tačiau ne taip paviršutiniškai, gali būti atliekama sistemų ar jų kombinacijų eksergininė analizė, leidžianti energijos srautus įvertinti ne tik kiekybiškai, bet ir kokybiškai. Tokio tyrimo metodo pavyzdžiai pateikti [40, 41, 48, 49] šaltiniuose.

Dažnai susiduriama su problema, jog jau įrengtos ir veikiančios sistemos veikia ne taip, kaip numatyta jų projektavimo stadijoje. Atsiranda poreikis sistemą atnaujinti ir grąžinti ją į pradinę padėtį ar net padaryti efektyvesne negu planuota. Tam tikslui naudojamas optimizavimo procesas. Jo metu pakeičiami ar apjungiami sistemos energijos srautai. Remiantis šiuo procesu yra taikomas sistemų tyrimo būdas ieškant galimų optimizacijos variantų ar juos praktiškai taikant. Tokių tyrimų jau yra atlikta hibridinėms saulės ir vėjo sistemoms [50], saulės vėsinimo sistemoms [51] ir netgi sistemoms, kurios geba panaudoti saulės energiją kosmose [52].

Norint įvertinti sistemos elementų (ar visos sistemos) tiesioginių ir netiesioginių veiksnių aplinkai ir visuomenei poveikį per visas jo gyvavimo fazes – gamybą, įrengimą, naudojimą ir sunaikinimą – atliekama GCA. Tai metodas, apimantis veiksmų etapus, įvertinant galimus veiksnius ir interpretuojant rezultatus, kurie susiję su produkto ar proceso poveikį žaliavoms, energijai ir aplinkai, nuo jų atsiradimo iki sunaikinimo (angl. *"from-cradle-to-grave"*). Remiantis šiuo apibrėžimu, bendras GCA teiginys – žaliavų pakartotino panaudojimo galimybės [53]. Taigi gyvavimo ciklo įvertinimas (angl. *life-cycle assessment*) – tai veiksnių, nustatytų gyvavimo ciklo analizės keliu, įvertinimas, naudojant ekonominės ar daugiakriterinės analizės metodą, esant politikos nustatytiems skirtingų tipų veiksnių svoriams. Tokiu metodu atlikti tyrimai leidžia

tarpusavyje įvairiais požiūriais palyginti skirtingas sistemas. Dažniausiai nagrinėjant saulės energijos sistemas GCA metodas taikomas saulės elementams [54, 55], siekiant rasti energiniu ir ekonominiu požiūriu tinkamiausias saulės elementų gamybos medžiagas ir būdą, atsižvelgiant į sistemos pasiekiamus rezultatus.

Galiausiai prieinama prie to, jog eksploatuojamos sistemos yra stebimos – atliekamas jų monitoringas – kas leidžia įvertinti projektavimo rezultatų atitikimą realiose situacijose. Tokiu būdu eksperimentiškai bandomos sistemos arba tiesioginiais matavimais nustatomos pagrindinės jų charakteristikos, reali jų teikiama nauda. Toks tyrimo metodas nėra sudėtingas, tačiau reikalauja daug laiko ir yra vienas iš tiksliausių, kurio rezultatais abejojama retai. [39, 56, 57, 58] šaltiniuose pateikti tokių tyrimų rezultatai, tiriant saulės kolektorius, naudojamus karšto vandens ruošimui, patalpų šildymui, bei kombinuotą saulės energijos sistemą, gaminančią elektrą, kurią naudoja šilumos siurblys.

Prieš įrengiant saulės energiją naudojančias sistemas esamame ar naujai statomame pastate, yra pareikalaujama daug darbo, laiko ir piniginių išteklių. Projektuojant reikia nustatyti optimalią sistemą ar jų kompoziciją, numatomą „pasiimti“ galutinį energijos kiekį, sutaupymų mastą ekonominiu požiūriu. Būtent modeliavimo programos ir padeda atlikti šias užduotis [22]. Jei individualių namų saulės energijos sistemos sąlyginai mažos ir nesudėtingos, tai tuo tarpu planuojant tokią sistemą daugiabutyje pastate skaičiavimų tikslumas ir lengvesnis jų atlikimas tampa labai svarbūs faktoriai. Ta pati padaryta netinkama prielaida ar neteisingai pasirinktas įvesties duomuo daug labiau veiks rezultatus projektuojant didelę saulės sistemą (daugiabutis pastatas) negu mažą (individualus namas). Saulės sistemų projektavimas turėtų apimti įvairių sistemų ir jų komponentų optimizavimą, laikantis energinių, ekologinių ir ekonominių principų.

Vis dažniau naudojant šios paskirties kompiuterines programas ir aiškiai jaučiant darbo laiko bei išlaidų sutaupymus, jos tampa vis populiaresnėmis, o tai sąlygoja spartų programų vystymąsi ne tik efektyvinant darbą su jomis, tačiau ir suteikiant programoms naujų funkcijų. Tokiu būdu atsiranda galimybė atlikti modeliavimus sistemingiau ir su didesniu tikslumu.

Pagal savyje įdiegtus skaičiavimo metodus programos gali būti klasifikuojamos į [22]:

- **Skaičiavimo programos** (f-Chart);
- **„Laiko žingsnio“ programos** (T*SOL, Polysun, GetSolar, RETScreen);
- **Modeliavimo programos** (TRNSYS, DesignBuilder, HOMER, energyPRO);
- **Pagalbinės programos** (SUNDI, METEONORM).

Visos jos skiriasi paskirtimi ir požiūrių į projektuojamą sistemą, turi savų pliusų ir minusų.

Be anksčiau paminėtų, praktikoje sutinkamos ir tokios saulės sistemas modeliuoti padedančios programos, kuriose glaudžiai surištas aktyvus ar pasyvus saulės energijos panaudojimas su architektūra [59]:

- bSOL;
- DAYSIM;
- DPV (Design Performance Viewer);
- Ecotect;
- EDG II;
- EliteCAD;
- ENERGIEplaner;
- eQUEST;
- Green Building Studio;
- IDA ICE;
- IES VE;
- LESOSAI;
- PVsyst;
- PV*SOL;
- Radiance;
- VisualDOE.

3.1. Skaičiavimo programos

Skaičiavimo programos yra gana paprastos ir paremtos statiniais skaičiavimo veiksmais. Dažniausiai jos kaip rezultatą pateikią kas mėnesines skaičiuojamų dydžių reikšmes tam tikrai pasirinktai vietai. Rezultatai gaunami iš kart, jie nereikalauja gilesnės analizės.

Tokiomis programomis sistemų veikimo tam tikromis (išskirtinėmis) sąlygomis arba rezultatų pateikimas trumpesniais laiko periodais dažniausiai nėra įmanomi.

3.2. „Laiko žingsnio“ programos

„Laiko žingsnio“ programos suteikia galimybę gauti labiau dinamiškus rezultatus – trumpesniais laiko periodais. Šių programų skaičiavimai atliekami tiesiogiai remiantis klimatologiniais duomenimis ir įvestais energijos vartojimo režimais, pateikiant valandinius ar dar trumpesnio laiko periodo rezultatus. Dažniausiai programos turi nuosavas integruotas klimato ir produktų duomenų bazes.

Sąsaja su vartotoju yra interaktyvi, paprasta ir nereikalauja didelių darbo su kompiuteriu gabumų.

3.3. Modeliavimo programos

Kai pasiekiamos „laiko žingsnio“ programų ribos, pavyzdžiui projektuojant sudėtingas, daugiau nei 100 m^2 ir daugiau paviršiaus ploto saulės sistemas [22], atsiranda dinaminio modeliavimo poreikis. Būtent tą gali suteikti modeliavimo programos, kurias naudojant galima lanksčiai išanalizuoti bet kokio tipo sistemas ir jų konfigūracijas, esant bet kokioms veikimo sąlygoms. Žinoma, sudėtingesnės sistemos tyrimas ir projektavimas pareikalauja ir didesnio žmogiškojo indėlio. Kartais funkcionalios programos perpratimas gali užtrukti ne vieną mėnesį.

Vis dėlto pastangos pasiteisina, nes tokiomis programomis galima spręsti diferencinėmis lygtimis aprašytas užduotis, nagrinėti daugiazonių pastatų modelius, analizuoti sudėtingas sąsajas tarp pastato šildymo, karšto vandens ruošimo, aktyvaus ir pasyvaus vėdinimo, vėsinimo sistemų.

3.4. Pagalbinės programos

Pagalbinės programos yra lengviau prieinamos, negu anksčiau aprašytos, tačiau projektuojant ir modeliuojant vaidina pakankamai svarbų vaidmenį. Jose yra sukaupti papildomi duomenys, reikalingi tinkamam skaičiavimo, projektavimo ir modeliavimo programų veikimui. Saulės energetikos sektoriuje tokios programos teikia duomenis apie saulės poziciją danguje, išspinduliuojamą energijos kiekį, saulės judėjimo ypatumus tam tikrose vietovėse bei kitus klimatologinius duomenis.

Be programų, tokie duomenys gali būti išmatuoti tiesiogiai ar nemokamai gaunami iš internetinių šaltinių, pavyzdžiui, NASA matavimų [60].

Baigiamojo darbo tyrimui bei analizei atlikti pasirinkta danų sukurta modeliavimo programa „energyPRO“ (4.1 versija). Detalesnis programos bei darbo su ja aprašymas pateikiamas 5 skyriuje.

4. REALIOS SISTEMOS STEBĖSENA IR VEIKIMO ANALIZĖ

Nuo 2011 m. birželio 8 d. stebima saulės kolektorių sistema, skirta karšto vandens ruošimui ir dalinai patalpų šildymui, kuri įdiegta 7 asmenų gyvenamajame pastate. Individualus 3 aukštų namas yra Vilniaus mieste, Tolimoji g. 16A. Saulės sistema įrengta ir pradėta eksploatuoti 2011 m. kovo 8 d.

4.1. Sistemos aprašymas

Įrengta SONNENKRAFT saulės kolektorių sistema COMFORT–1000 su 6 saulės kolektoriais SKR 500, įrengtais 60˚ kampu į horizontalią plokštumą. Informacija apie projektą [61]:

- 420 m^2 apšildomo ploto (šildymas);
- 7 gyventojai (karštas vanduo);
- saulės kolektorių plotas – 15,5 m^2;
- akumuliacinė talpa – 1000 *l*;
- sistemos galingumas: 12 kW;
- namo statybos metai: 1995.

Saulės kolektoriai orientuoti į pietryčių pusę. Saulės kolektorių sistemos šilumnešio kontūro ilgis yra 40 m. 25 metrai nutiesti trečiu aukštu, kuris nėra apgyvendintas ir šildomas. Dėl to šioje atkarpoje yra didesni nei įprasta nuostoliai perdavimo vamzdynuose. Kaip šilumnešis naudojamas vandens ir etilenglikolio mišinys, santykiu 70/30. SONNENKRAFT saulės kolektorių sistemų šilumokaičio našumas yra labai aukštas - 35 *l*/min, o karšto vandens temperatūra pagal poreikį gali būti nustatyta iki 70 °C. Esant tokioms sąlygoms atsiranda galimybė ir yra naudojamas šviežio vandens modulis, kurio dėka užtikrinamas 100 % higieniškas karštas vanduo.

Su sistema kartu komplektuojami: valdymo bloko modulis, sistemos veiklos parametrų stebėjimo modulis (su galimybe prisijungti per internetą), kaitinimo elementas, šviežio vandens modulis (jo pagrindinė dalis - šilumokaitis, kuris ruošia karštą vandenį), energetiškai efektyvus GRUNDFOS cirkuliacinis siurblys (SOLAR 15-65 130).

Sistemos veikimo rodikliai, kurie gali būti stebimi per internetą realiu laiku, yra šie [61]:

- temperatūros ant kolektorių;
- temperatūra akumuliacinės talpos žemesniame taške (vanduo skirtas namo šildymui);
- temperatūra akumuliacinės talpos aukštesniame taške (vanduo skirtas karšto vandens ruošimui per šilumokaitį - šviežio vandens modulį);
- katilo temperatūra;
- šilumnešio kontūro siurblio darbo lygis (procentais nuo maksimalaus greičio);
- šildymo sistemos kontūro siurblio darbo lygis (procentais nuo maksimalaus greičio);
- šilumnešio kontūro siurblio darbo laikas (kaupiamasis rodiklis);
- šildymo sistemos kontūro siurblio darbo laikas (kaupiamasis rodiklis);
- pagamintas šilumos kiekis kWh (prieinama ne visiems saulės kolektorių sistemų pajungimo variantams).

Artimiausiu metu prie šios sistemos dar bus prijungta saulės baterijų sistema, kuri jau sumontuota ant vertikalios į pietryčius orientuotos išorės sienos. Naudojant ją bus gaminama elektra

ir esant reikalui, pastato šildymas taps visiškai autonomišku, sukauptą pagamintą elektros energiją panaudojant cirkuliacinių siurblių veikimui. Naująją sistemą sudaro 2 saulės moduliai po 230W, sujungti su dviem 190 Ah akumuliatoriais.

4.2. Matuojami parametrai

Naudojant CIMC įrangą, kurią sudaro JAV įmonės „ONSET“ matavimo ir kaupimo įrangos HOBO paketas, tiriamoje sistemoje fiksuota 16 skirtingų parametrų (kaupimo intervalas – 5 min):

Saulės kolektorių kontūras (žr. 11 pav.):

- Įeinančio į kolektorių bloką šilumnešio temperatūra;
- Išeinančio iš kolektorių bloko šilumnešio temperatūra;
- Šilumnešio temperatūros išeinančios iš kiekvieno kolektoriaus atskirai (5 taškai);
- Saulės spinduliuotė į horizontalią plokštumą;
- Saulės spinduliuotė statmenai kolektoriams.

Akumuliacinė talpa (žr. 12 pav.):

- Šilumnešio, išeinančio iš akumuliacinės talpos į kolektorių bloką, temperatūra;
- Šilumnešio, įeinančio į akumuliacinę talpą iš kolektorių bloko, temperatūra.

Karšto vandens ruošimo mazgas (žr. 12 pav.):

- Paruošto karšto vandens temperatūra;
- Cirkuliacinėje linijoje esančio karšto vandens temperatūra;
- Šilumnešio, paimto iš akumuliacinės talpos karštam vandeniui ruošti, temperatūra;
- Šilumnešio, grąžinamo į akumuliacinę talpą iš šilumokaičio, temperatūra.



11 pav. Tiriamos saulės kolektorių sistemos matavimo taškai (saulės kolektorių kontūras)



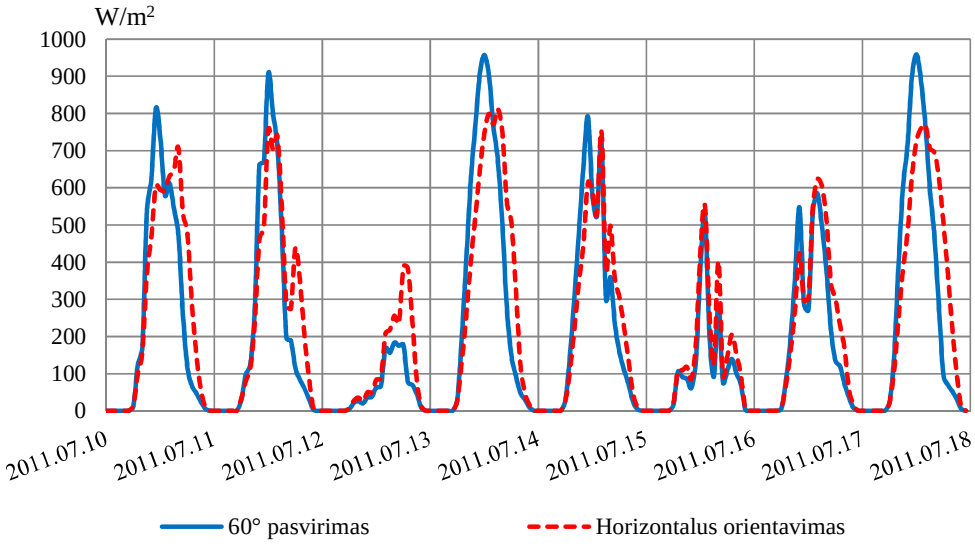
12 pav. Tiriamos saulės kolektorių sistemos matavimo taškai (akumuliacinės talpos ir KV ruošimo mazgas)

4.3. Stebėsenos analizė

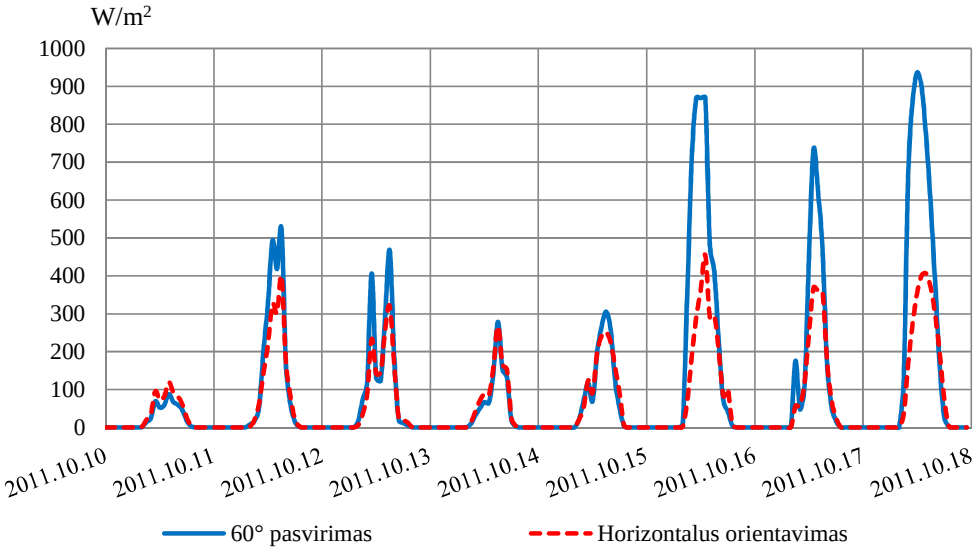
Atlikta analizė apėmė beveik 5 mėnesių intervalą: nuo 2011-06-08 iki 2011-10-31. Vėlesni duomenys dėl techninių ir klimatinių sąlygų kliūčių neįsisavinti, nors toliau kaupiami.

Atlikus įvairiapusę surinktų duomenų analizę buvo parašytas mokslinis straipsnis (Priedas A) šia tema. Pagrindiniai straipsnyje nagrinėti aspektai yra susiję su kolektorių bloko veikimu.

Pirmiausia tyrimo metu nustatyta, jog esamoje vietovėje 60° kampu pasvirę saulės kolektoriai „pagauna“ didesnį saulės spinduliuotės kiekį ir taip pagamina daugiau energijos, negu tuo atveju, jei jie būtų orientuoti horizontaliai. Esant gana trumpam turimų duomenų periodui (ne visiem metam) analizei buvo pasirinktos dvi savaitės – tipinė vasaros (13 pav.) ir tipinė rudens (14 pav.).



13 pav. Saulės spinduliuotė tipinę vasaros savaitę

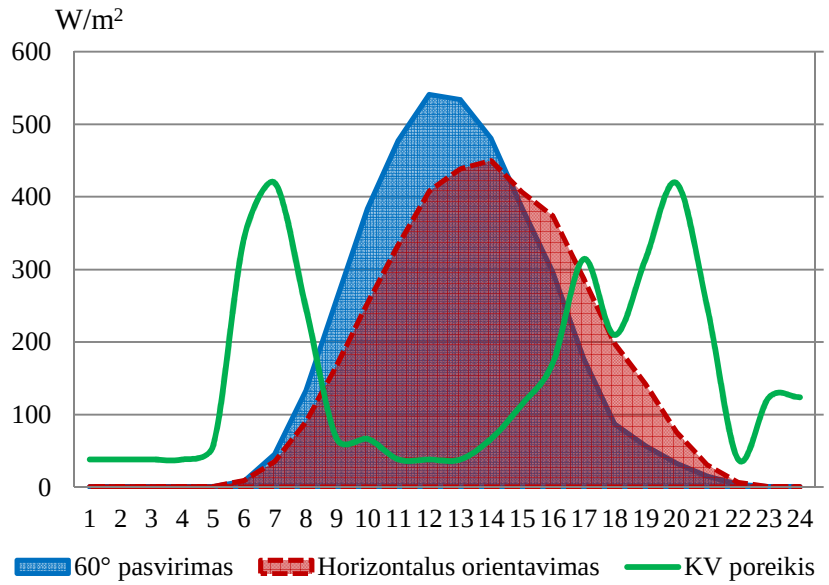


14 pav. Saulės spinduliuotė tipinę rudens savaitę

Nors vasaros metu į horizontalią plokštumą saulės spinduliuotė buvo 9,8 % didesnė negu į pasvirusią, tačiau tipinę rudens savaitę skirtumas buvo atvirkštinis. Šią savaitę į 60° kampu pasvirusią plokštumą saulė išspinduliavo net 34,7 % daugiau energijos. Turint galvoje, jog Lietuvoje vyraujantis klimatas yra labiau panašus į rudeninį, o ne vasarinį (kada saulė danguje pakyla aukščiau negu kitu metų laiku), galima teigti, jog bendro kiekio, išspinduliuoto per metus į šias dvi nagrinėtas plokštumas, skirtumas būtų dar akivaizdesnis 60° pasvirimo kampo naudai. Ši hipotezė būtų patvirtinta arba paneigta sistemą stebint ištisus metus, ko ir yra siekiama. Taip pat esant galimybei ir išmatavus saulės spinduliavimą į dar kelias skirtingu kampu pasvirusias plokštumas (pavyzdžiui 30°, 45° ir 90°) būtų galima sudaryti saulės energijos kiekio kitimo grafiką ir iš jo grafiškai rasti optimaliausią saulės kolektorių pasvirimo kampą nagrinėjamai vietovei. [11]

šaltinyje teigiama, jog optimaliausiu Lietuvos klimatinėms sąlygoms yra laikomas 38° pasvirimo kampas.

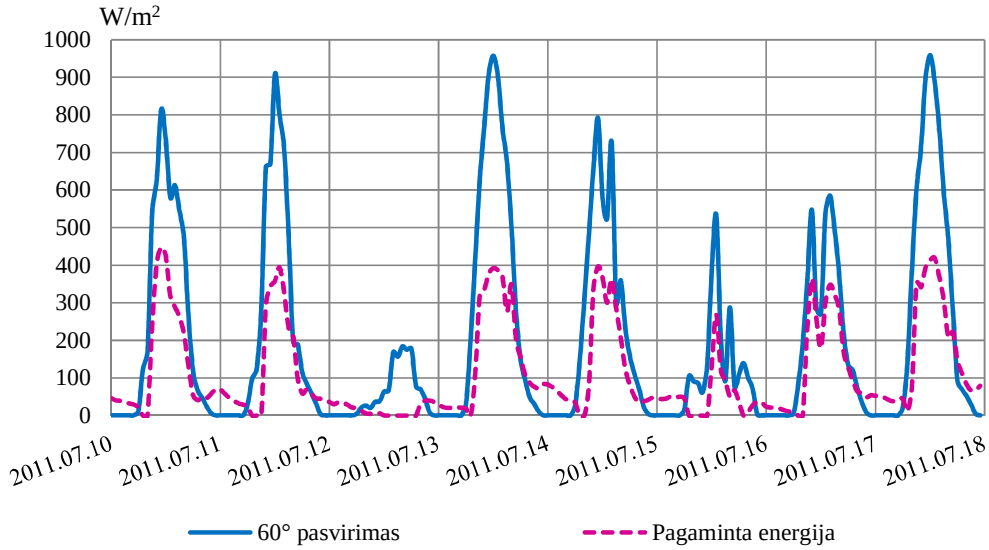
Kitas nagrinėtas aspektas – saulės spinduliavimo intensyvumas kiekvieną valandą. Vidutinės analizuoto periodo valandinės reikšmės pateiktos 15 paveiksle. Taip pat pavaizduotas karšto vandens dienos vartojimo profilis. Tokiu būdu atsiranda galimybė pastebėti saulės energijos spinduliavimo ir karšto vandens vartojimo maksimumų neatitikimus, o tai įrodo tinkamos akumuliacinės talpos būtinumą.



15 pav. Vidutinė analizuoto periodo saulės valandinė spinduliuotė ir tipinis karšto vandens vartojimo grafikas

Iš grafiko matyti, jog 60° kapu orientuoti kolektoriai gauna didesnį saulės išspinduliuotą energijos kiekį (užtušuoti plotai) negu horizontaliai orientuoti. Tiesa, nors saulės spinduliuotės didesnis maksimumas pasiekiamas pasviraisiais kolektoriais (~540 W/m^2 12:00 val.) negu horizontaliai orientuotais (~450 W/m^2 14:00 val.), tačiau pastaruoju atveju gaunamas saulės energijos kiekis labiau atitinka karšto vandens vartojimo grafiką.

Galiausiai, remiantis išmatuotomis šilumnešio temperatūromis, apskaičiuotas pagamintas energijos kiekis per analizuojamą laikotarpį. Nustatyta, jog per beveik 5 mėnesių laikotarpį, kuomet daugiausia vyravo vasarinis klimatas 15,5 m^2 kolektorių blokas pagamino 5715 kWh šiluminės energijos (369 kWh/m^2). Žinant, jog ši kolektorių sistema pakeitė anksčiau naudotus elektrinius tūrinius karšto vandens šildytuvus, šis pagamintas energijos kiekis atstoja tą patį sutaupytą elektros energijos kiekį. Po elementarių ekonominių skaičiavimų galima teigti, jog buvo sutaupyta daugiau negu 2500 Lt (166 Lt/m^2). Taip pat, vertinant krentantį energijos kiekį į kolektorius, nustatytas jų faktinis efektyvumas, kuris yra 65,3 % (gamintojo deklaruotas efektyvumas yra 60,2 %). Rezultatai pateikti 16 paveiksle.



16 pav. Pagamintos energijos kiekis iš 1 m^2 saulės kolektorių

Apskaičiuotas efektyvumas logiškai galimas, tačiau abejotinas. Netikslūs rezultatai galėjo būti gauti dėl to, jog skaičiavimuose naudotas ne faktinis, bet teorinis šilumnešio debitas, rastas iš naudojamo cirkuliacinio siurblio techninių charakteristikų grafiko. Siekiant gauti tikslesnį rezultatą turi būti atliktas faktinio debito nustatymas. Be to, blogai atliktas pirometro, matuojančio saulės spinduliuotę, kalibravimas, kadangi minimali jo reikšmė nustatyta 0,6 W/m^2, tai reiškia jog negali būti visiškos tamsos, tad saulės kolektoriai gamina energiją ir naktį, o tai nėra realu.

4.4. Rezultatų panaudojimas

Atlikta analizė privertė įsigilinti į pačią sistemą, perprasti jos veikimo ypatumus, konstrukcinius sprendimus, suderinamumo su kitomis sistemomis niuansus.

Dalis gautų rezultatų ir nustatytų reikšmių, tokių kaip kolektorių efektyvumas, šilumnešio temperatūros įvairiuose kontūro taškuose, šiluminiai nuostoliai perdavimo vamzdynuose, bus panaudota tiesiogiai. Kita dalis rezultatų (saulės spinduliuotė, santykinis pagamintas energijos kiekis) bus naudojami kaip lyginamieji rodikliai. Tokiu būdu modeliuojant naują sistemą ir gavus rezultatus atsiranda galimybė juos palyginti su faktinėmis reikšmėmis ir įvertinti jų tikslumą, atitikimą realioms sąlygoms. Tai leidžia išvengti klaidų ir pakelia paties darbo kokybę.

Tęsiant veikiančios sistemos stebėseną ilgiau ir sukaupus duomenis visiems metams, atsirastų galimybė panaudoti daugiau rodiklių modeliavimuose, o tai dar labiau priartintų rezultatus prie galimų realių sąlygų.

5. ANALIZĖS PRIEMONĖS APRAŠYMAS

“energyPRO” yra Windows operacinei sistemai pritaikyta kompiuterinė programa bei jos papildymo paketas, skirta atlikti techno-ekonominę tiek kogeneracinių, tiek trigeneracinių, tiek kitų sudėtingų energijos sistemų analizę bei optimizaciją. Programa suteikia galimybę nagrinėti kombinuotą elektros ir šilumos (garo, karšto vandens arba vėsos) gamybą skirtingais šaltiniais (įskaitant AEI) bei tiekimą vartotojams [62]. Šiuo metu programa galima detaliai modeliuoti geotermines, saulės elementų, saulės kolektorių, vėjo jėgaines. Naudojant “energyPRO” suteikiama galimybė nagrinėti šiluminės akumuliacinės talpos poveikį sistemai.

Programoje vartotojas pagal pageidavimą gali labai išsamiai ir detaliai aprašyti nagrinėjamą sistemą bei jos aplinką: programoje įdiegtas platus įvairių anksčiau minėtų energijos jėgainių katalogas, kurį galima modifikuoti ar kurti pačiam; galimybė į analizę įtraukti vartotojo jau turimus dienolaipsnius, lauko oro parametrus, energijos poreikius, jos vartojimo grafikus, jėgainių veikimo strategiją, įvairių mokesčių srautus bei tarifus, investicijas, finansinius įsipareigojimus, nagrinėjamos jėgainės nuvertėjimą ir kt. Visi šie faktoriai skaičiuojami, analizuojami bei gali būti įvertinti tame pačiame skaičiavimo procese nenaudojant jokių papildomų programų. Siekiant dar tikslesnių rezultatų, yra galimybė apibūdinti tam tikrų parametrų (aplinkos temperatūra, saulės spinduliuotė, vėjo vėsa, energijos poreikiai) priklausomybes nuo pasirinktų kintamųjų.

Priklausomai nuo įvesties duomenų ir dėka unikalaus „energyPRO“ programavimo kodo viename procese įvertinami techniniai bei finansiniai sistemos niuansai, rezultatuose pateikiant detalius sumodeliuotus energijos (šildymo, vėsinimo, elektros) vartojimo grafikus.

Galiausiai nepamirštas ir aplinkosauginis aspektas. Programoje aprašant sistemą pateikus reikalingus duomenis kaip vieną iš rezultatų ataskaitose galima rasti ir teršalų (CO_2, NO_X, SO_2, kt.) emisijas į aplinką.

Įvertinus kitas modeliavimo programas kaip alternatyvas („GetSolar Professional“, „RETScreen“, „HOMER“), pagrindiniai baigiamojo darbo tiriamajai daliai „energyPRO“ programa pasirinkta dėl kelių svarbių priežasčių. Pirmiausia ši programa nėra nemokama, tačiau gana plačiai paplitusi ES valstybės (dažnai sutinkama Lietuvoje įgyvendinamuose projektuose modeliuojant AEI), todėl ją galima laikyti kaip patikimą ir prestižinę modeliavimo programą. Antra, programa leidžia detaliai ir visapusiškai išnagrinėti energijos sistemą pradedant techniniais bei baigiant ekonominiais aspektais. Galiausiai, naudojant „energyPRO“, nebereikia jokių kitų papildomų pagrindinių ar pagalbinių programų, kadangi joje yra įdiegtas platus pasirinkimas ne tik įvairių energijos konvertavimo sistemų (įskaitant dominantį AEI – saulę), tačiau ir galimybė naudotis internetine klimatologinių duomenų baze.

6. BAIGIAMOJO DARBO TIRIAMASIS OBJEKTAS

Baigiamojo darbo nagrinėjamu pastatu pasirinktas Birštone esantis daugiabutis pastatas, esantis B. Sruogos g. 12, kartu su kitais gyvenamaisiais namais bei visu miestu dalyvaujantis CONCERTO (angl. *Sustainable Zero Carbon ECO-Town Developments Improving Quality of Life across EU* [Gyvenimo kokybės gerinimas ES vystant darnių CO_2 neutralių EKO-miestų plėtrą]) „ECO-life“ projekte.



17 pav. Tiriamasis objektas

Daugiabučio gyvenamojo namo apibūdinimas:

- Namo tipas (pagal sienų medžiagas) – mūrinis;
- Aukštų skaičius – 4 aukštai;
- Statybos metai – 1969;
- Užstatytas plotas, m^2 – 718;
- Butų skaičius, vnt. – 40;
- Butų naudingasis plotas, m^2 – 1311,25;
- Pastato naudingasis plotas, m^2 – 1945,11.

Pastatas prijungtas prie miesto CŠT tinklų priklausomo jungimo būdu. Šilumnešis reguliuojamas automatine sklende, priklausomai nuo lauko išorės temperatūros. Pastato šilumos punktas yra renovuotas prieš keletą metų (2008 metais), magistraliniai vamzdynai esantys šilumos punkto patalpoje yra naujai izoliuoti (žr. 18 pav.). Karštas vanduo ruošiamas pastato šilumos punkte momentiniu dvipakopiu plokštiniu lituotu moviniu izoliuotu šilumokaičiu „XB51H-2-30/30“.

Šilumokaičio techninės charakteristikos yra: galia – 240 kW, maksimalus slėgis iki 25 bar, maksimali darbinė temperatūra iki 180 °C.



18 pav. Pastato šilumos punktas su karšto vandens ruošimo šilumokaičiu

Visų pastato atitvarų šiluminės charakteristikos yra žinomos iš atlikto EVA [63], parengto Vilniaus Gedimino technikos universiteto Pastatų energetikos ir Statybos technologijos ir vadybos katedrų 2010 metais. Bendri šilumos poreikiai šildymui, vėdinimui ir karšto vandens ruošimui sudaro 450 MWh (231 kWh/m^2 šildomo ploto) per metus.

7. TYRIMUI REIKALINGI DUOMENYS: JŲ RINKIMAS IR SISTEMINIMAS

Baigiamajame magistro darbe atliekamam tyrimui reikalingas nemažas kiekis įvairaus tipo duomenų. Jie apima nuo bendrų vietovės geografinės padėties duomenų iki saulės energijos sistemos elementų charakteristikų. Lengvesniam jų sisteminimui reikia surinktus duomenis suskirstyti į 3 grupes, kurios turi būti apibūdintos, o patys duomenys aprašyti toliau esančiuose poskyriuose.

7.1. Pastato duomenys

Prieš pradedant modeliuoti naujas sistemas yra būtina žinoti, kam jos bus skirtos ir dar svarbiau, kokį poreikį teks jomis patenkinti. Dėl šios priežasties duomenys apie tiriamąjį objektą turi būti kuo tikslesni ir išsamesni.

Baigiamojo darbo tiriamasis objektas detaliau aprašytas 6 skyriuje. 2010 metais šiam pastatui buvo atliktas EVA [63]. Todėl didelė dalis informacijos, susijusios su šiluminės energijos srautais, yra pateikta būtent čia. Pagrindiniai duomenys – karšto vandens vartojimas ir jo paruošimui sunaudojama šiluma. Kadangi planuojama nagrinėti ir naujos saulės energijos sistemos dalinį integravimą į šildymo sistemą, todėl šie poreikiai taip pat aktualūs. Šie įvesties parametrai randami 2 lentelėje, kuri yra paimta iš tiriamojo pastato EVA.

2 lentelė. Šilumos poreikis B. Sruogos g. 12 name norminiais metais

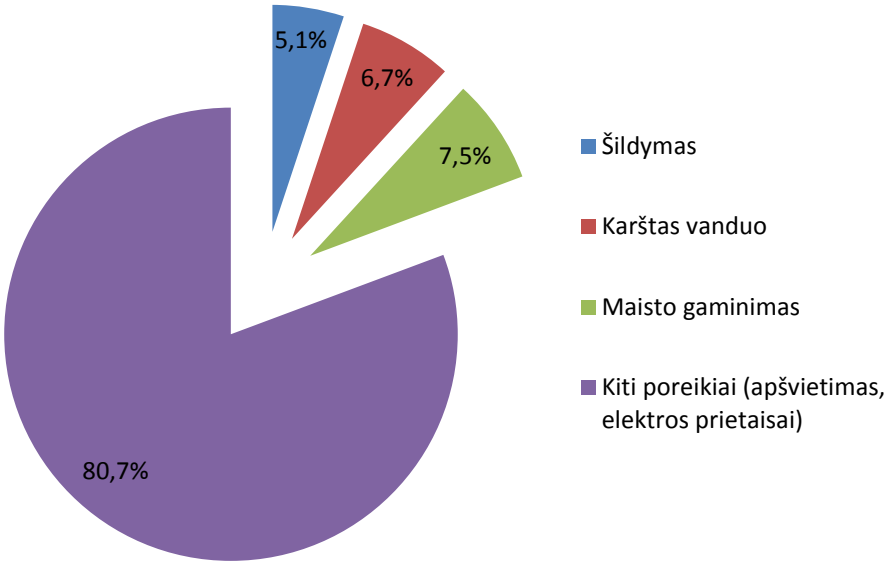
Mėnuo	Dienų skaičius	Išorės temperatūra (^oC)	DL	Karšto vandens poreikis (m^3)	Karšto vandens poreikis (MWh)	Nuostoliai karšto vandentiekio vamzdyne (MWh)	Šiluma šildymo sistemoje (MWh)	Viso sunaudota šilumos (MWh)
Sausis	31	-5,0	713	89	4,8	4,8	70,0	79,6
Vasaris	28	-4,1	624	81	4,4	4,4	60,7	69,4
Kovas	31	-0,3	567	89	4,8	4,8	52,2	61,8
Balandis	30	6,0	360	86	4,6	4,6	27,5	36,7
Gegužė_1	3	9,9	24	9	0,5	0,5	1,3	2,2
Gegužė_2	28	12,6	-	80	4,3	4,3	0	8,6
Birželis	30	16,2	-	86	4,6	4,6	0	9,3
Liepa	31	17,4	-	89	4,8	4,8	0	9,6
Rugpjūtis	31	16,7	-	89	4,8	4,8	0	9,6
Rugsėjis_2	25	12,8	-	72	3,9	3,8	0	7,7
Rugsėjis_1	5	10,3	38	14	0,8	0,8	1,9	3,5
Spalis	31	7,3	332	89	4,8	4,8	23,4	33,0
Lapkritis	30	2,2	474	86	4,6	4,6	41,4	50,6
Gruodis	31	-2,1	623	89	4,8	4,8	59,1	68,6
METINIS	**365**	**6,64**		**1045**	**56,5**	**56,2**	**337,6**	**450,3**

Jeigu šildymo poreikis gali būti apskaičiuojamas pagal išorės temperatūrą, tai karšto vandens suvartojimas šiuo būdu negali būti nustatytas. Nors nuostoliai tiekimo vamzdynuose ir kinta, keičiantis aplinkos temperatūrai, tačiau jie rezultatų praktiškai neveikia. Bene vienintelis dalykas, lemiantis šilumos kiekio poreikį karšto vandens ruošimui – jo suvartojimas kubiniais metrais. Tačiau šis suvartojimas atliktame EVA pateikiamas mėnesinėmis reikšmėmis. Tuo tarpu saulės spinduliavimas stipriai svyruoja dienos metu. Tam reikalingas paros vartojimo grafikas, kuris leistų mėnesinį poreikį išskirstyti į vienodą paros.

Išorinė saulės sistemų dalis – saulės kolektoriai – dažniausiai įrengiami ant pastatų stogų (ant plokščių montuojant laikiklius pasvirimo kampui sudaryti; ant šlaitinių montuojant laikikliu arba montuojant tiesiai ant stogo dangos). Atlikto EVA metu nustatyta, jog tiriamojo pastato stogo plotas yra 718,6 m^2.

Kadangi planuojama modeliuoti ne tik saulės šildymo sistemas, bet ir gaminančias elektrą, todėl elektros poreikis taip pat yra būtinas. Deja, faktiniai elektros vartojimai EVA metu nustatyti nebuvo. Siekiant įvertinti saulės energijos sistemos, gaminančios elektrą, indėlį, naudojami

Lietuvos Statistikos departamente pateikiami 2009 duomenys. Nustatyta, jog vidutiniškai gyvenamuose būstuose 15,5 % viso energijos suvartojimo sudaro elektra. Apskaičiuota, jog elektros energijos kiekis, 2009 metais tekęs 1 m^2 būsto ploto, yra 31,4 kWh. Tiesa, elektros energijos suvartojimas būstuose yra pasiskirstęs taip:



19 pav. Elektros energijos sunaudojimo būstuose pasiskirstymas

Žinant, jog į tiriamąjį pastatą šiluma tiekiama iš CŠT tinklų, kuri vėliau naudojama tiek patalpų šildymui, tiek karšto vandens ruošimui, perskaičiuotas elektros suvartojimas lieka 27,7 kWh/m^2. Tuomet, viso pastato elektros suvartojimas per metus siekia 53,870 MWh.

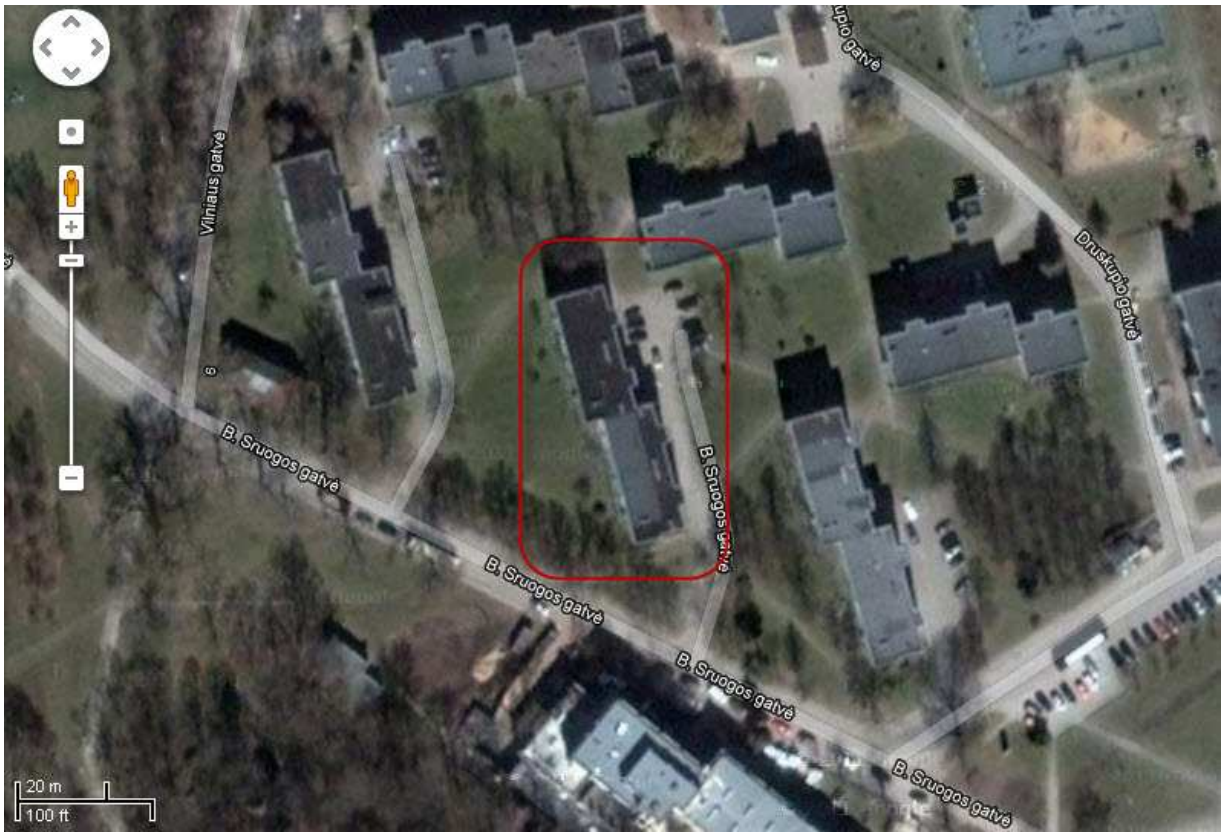
Šiuo atveju atsiranda kitas faktorius – saulės sistemos, gaminančios elektrą yra mažiau efektyvios (labiausiai paplitusių polikristalinių saulės elementų efektyvumas priklausomai nuo gamintojo ir elemento dydžio svyruoja nuo 15 iki 17 % [11]), nėra tokios galingos skaičiuojant vienam m^2 kolektorių, kaip šilumą gaminančios sistemos. Dėl šios priežasties norint patenkinti didesnį elektros poreikį (pvz., daugiabučio pastato) yra reikalingas didesnis plotas saulės kolektoriams įrengti negu jo stogo, ar tinkamai orientuotų išorės sienų plotas.

Esant galimybei saulės elementus montuoti ir ant pastato fasadų (palankiausiai orientuoto), iš atlikto EVA bus panaudoti kolektorių montavimui palankių išorės sienų (be langų ir durų) plotai: orientuotos į pietryčius sienos plotas yra 156,4 m^2; sienos į pietvakarius – 471,1 m^2.

7.2. Vietovės ir klimato duomenys

Pirmiausia iš literatūros šaltinio [64] nustatyta, jog Birštono koordinatės pasauliniame žemėlapyje yra: 54° 36′ 10″ N, 24° 1′ 14″ E. Šie duomenys vėliau bus panaudoti NASA meteorologinės stoties duomenų bazėje [60].

Vertinant saulės energijos sistemas, labai svarbus saulės šešėliavimo faktorius. Pasinaudojus atvirojo kodo programa „Google Earth“ nustatyta, jog aplink tiriamąjį objektą nėra jokių aukštų pastatų ar medžių, kurie sudarytų šešėlius sumontuotiems saulės kolektoriams. 20 paveiksle pateikta tiriamojo objekto (apvestas raudona linija) aplinkos nuotrauka.



20 pav. Tiriamojo pastato apsupties nuotrauka

Vienas iš svarbiausių rodiklių modeliuojant saulės energijos sistemas yra saulės spinduliuotė. Šiame darbe surinkti duomenys iš keleto šaltinių:

- NASA duomenų bazės [60], kuri pateikia vidutines 22 metų reikšmes (įvestis – Birštono koordinatės);
- Atvirojo kodo kanadiečių programos „RETScreen“ (įvestis – Kaunas);
- Kaune 2009/2010 metais atliktų tiesioginių matavimų;
- Realiai veikiančios sistemos Vilniuje atliktų matavimų (nuo 2011 birželio iki dabar).

Saulės spinduliuotės duomenys pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Vidutinis išspinduliuotos saulės energijos kiekis per dieną, kWh/m^2/d

	BIRŠTONAS (1983-2005) metų vidurkis [horizontali plokštuma]	**„RETScreen“ (KAUNAS)** [horizontali plokštuma]	**KAUNAS 2009/2010 metų matavimai** [horizontali plokštuma]	**VILNIUS (Tolimoji g. 16A) 2011-dabar** [60° pasvirimo kampas]
Sausis	0,75	0,54	0,46	-
Vasaris	1,51	1,23	1,13	-
Kovas	2,63	2,32	1,86	-
Balandis	3,71	3,54	5,11	-
Gegužė	4,95	5,16	5,71	-
Birželis	4,99	5,65	4,72	5,05
Liepa	4,75	5,19	5,35	4,39
Rugpjūtis	4,26	4,31	5,14	4,66
Rugsėjis	2,72	2,72	3,29	3,47
Spalis	1,44	1,39	1,11	2,21
Lapkritis	0,75	0,55	0,51	-
Gruodis	0,54	0,33	0,28	-
METŲ VIDURKIS	**2,75**	**2,75**	**2,89**	**-**

Kaip pagrindiniai duomenys, naudotini modeliavimo programoje, pasirinkti Kauno 2009/2010 matavimų rezultatai. Tokį sprendimą lėmė ne tik tai, jog duomenys yra pakakamai nauji, kaupti arti analizuojamo pastato vietovės, tačiau ir tikslūs – fiksavimo intervalas 1 minutė. NASA bei programos RETScreen duomenys pateikiami pavalandžiui. Pirmuoju atveju jie seni ir nustatyti nuotoliniu būdu, o kitu – normalizuoti pagal vietovės (šiuo atveju Kauno) ilgumą ir platumą. Tuo tarpu veikiančios sistemos stebėsenos metu sukaupti duomenys neapima visų metų, o antra – tirta vietovė yra toliau nuo Birštono, negu Kaunas. Vis dėlto, jautrumo analizėje bus panaudoti ir kiti sukaupti ir susisteminti duomenys.

Dar vienas labai svarbus faktorius modeliuojant saulės sistemas – aplinkos temperatūra. Tam panaudoti taip pat keli šaltiniai ir iš jų pasirinktas vienas variantas:

- Modeliavimo programos pavyzdyje pateikti 2002 Lietuvos temperatūrų duomenys;
- Modeliavimo programos internetinėje duomenų bazėje pateikti duomenys;
- Kaune 2009/2010 metais atlikti tiesioginiai matavimai.

Naudojamoje techno-ekonominio modeliavimo programoje „energyPRO“, leidžiančioje nagrinėti sistemą veikimą 1 valandos laiko žingsniu, yra pateikiama keletas pavyzdinių projektų. Keletas iš jų yra skirti Lietuvai ir iš jų yra galimybė panaudoti Lietuvos temperatūrų duomenis, tačiau jie yra pakankamai seni. Kita vertus, internetinėje programos duomenų bazėje yra pateikti naujesni duomenys. Tačiau Lietuvos teritorijoje galima pasirinkti tik 2 punktus (21 pav.) iš kurių nė vienas nėra arčiau Birštono, negu Kaune atliktų tiesioginių matavimų taškas. Dėl šios priežasties yra išvestas aritmetinis vidurkis iš šių dviejų parametrų rinkinių.



21 pav. „energyPRO“ programos klimatologinių parametrų matavimo taškų žemėlapis

Be to, internetinėje „energyPRO“ duomenų bazėje faktiniai duomenys pateikiami tik 6 valandų intervalu, o norint turėti 1 valandos intervalą jie tarpusavyje interpoliuojami ir pateikiami tik perskaičiuoti rezultatai. Tuo tarpu Kaune tiesioginiu būdu fiksuotų parametrų reikšmės buvo registruojamos kas 1 minutę. Būtent dėl to pasirenkami šie duomenys pagrindiniam modeliavimui, tačiau jautrumo analizėje bus panaudoti ir kiti surinkti ir susisteminti klimatologiniai duomenys.

Visais atvejais duomenys turi būti naudojami juos perskaičiavus norminiams metams. Tuo tarpu tiesioginių matavimų metu surinkta informacija yra faktinė ir tie patys matavimai atlikti kitais metais gali parodyti visiškai kitokius rezultatus. Būtent dėl to ir bus atliekama jautrumo analizė panaudojant kitų šaltinių duomenis.

7.3. Saulės sistemų ir jų elementų charakteristikos

Pats kruopščiausias darbas turi būti atliktas surenkant ir įvedant į modeliavimo programą saulės sistemos charakteristikas bei jos elementų parametrus. Šių duomenų šaltiniais dažniausiai būna pačių kolektorių detaliosios specifikacijos arba jų bandymų metu laboratorijose nustatytos vertės.

7.3.1. Saulės kolektoriai

Modeliavimui pasirinkta naudoti „Sonnenkraft“ firmos plokščiuosius kolektorius SKR500. Tokį sprendimą lėmė tai, jog stebėta veikianti sistema buvo komplektuojama būtent su šiais kolektoriais, todėl išmatuoti ir apskaičiuoti parametrai (efektyvumas, šilumnešio temperatūros prieš ir už kolektorių) gali būti tiesiogiai panaudoti modeliuojant, neįvedus jokių pataisos koeficientų.

Pagrindiniai techniniai parametrai, reikalingi modeliavimui, buvo paimti iš kolektorių specifikacijų [65], jų įrengimo taisyklių [66] bei jų testavimo laboratorijoje ataskaitos [67].

7.3.2. Saulės elementai (PV)

Modeliuojant elektros gamybą iš saulės energijos pasirinkti „Schüco” firmos MPE MS 08 serijos saulės elementai. Pasirinkimą lėmė tai, jog šie produktai vieni iš patikimiausių, kokybiškiausių ir labiausiai vertinamų rinkoje. Naudojamomis monokristalinėmis celėmis pasiekiamas 15,9 % bendras modulio efektyvumas. Vardinė vieno saulės modulio galia – 260W.

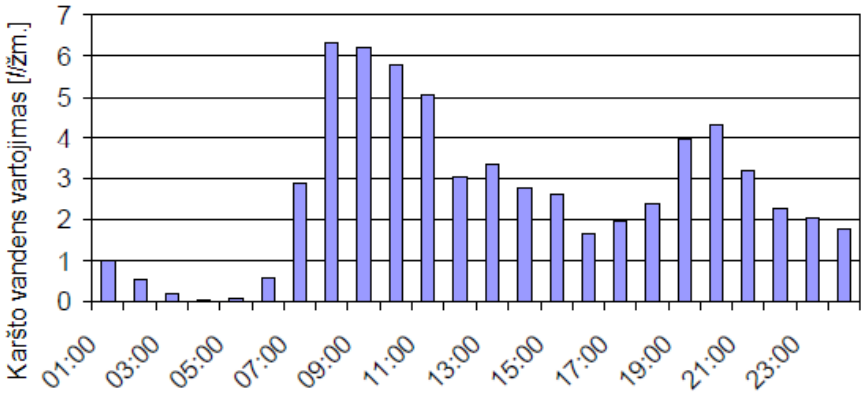
Kita reikalinga modeliavimui informacija parenkama iš gamintojo pateikiamos techninės saulės elementų specifikacijos [68].

7.4. Energijos vartojimo grafikai

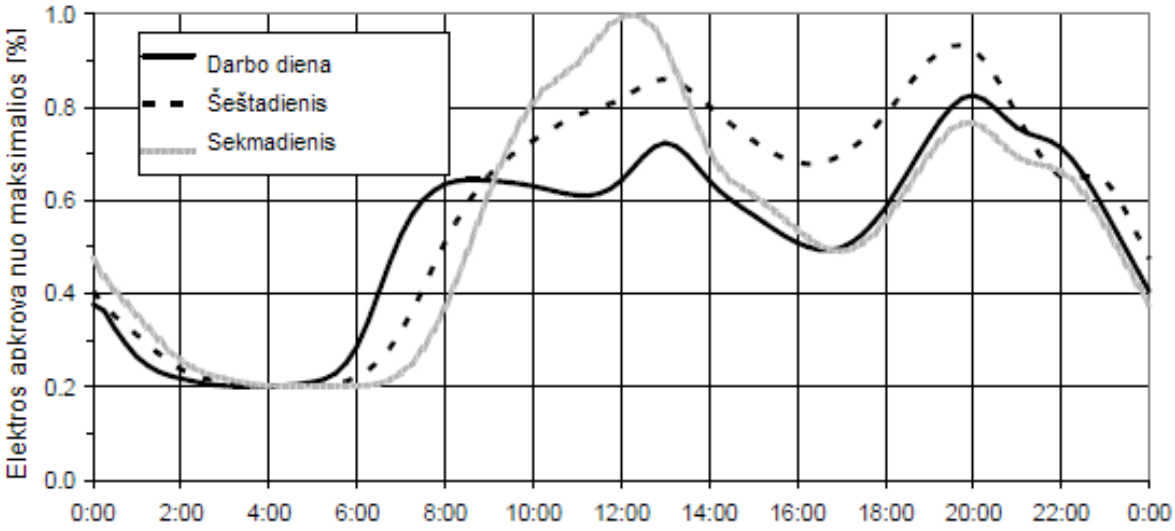
Modeliuojant energijos sistemas, kuriose energijos gamyba nėra pastovi, t. y. laikui bėgant kinta, yra svarbu turėti kuo tikslesnį ir trumpiausias įmanomais laiko tarpais apibūdintą energijos poreikį. Tokiu atveju modeliavimo rezultatai atvaizduoja galimai realiausią sistemos veikimą. Taip pat nuo energijos gamybos ir jos poreikio grafikų atitikimo priklauso papildomų sistemos elementų, tokių kaip akumuliacinės talpos, baterijų ar papildomo energijos šaltinio, parinkimas.

Dažniausia išraiška, kuria yra kaupiami energijos ir karšto vandens poreikiai, yra mėnesiniai duomenys tiesiogiai ar skaičiavimo būdu nustatyti iš energijos vartojimo sąskaitų. Rečiau jie registruojami trumpesniu periodu. Galiausiai, norint itin tikslių duomenų, belieka pasitelkti brangius matavimo ir registravimo prietaisus arba duomenis registruoti nurašymo būdu.

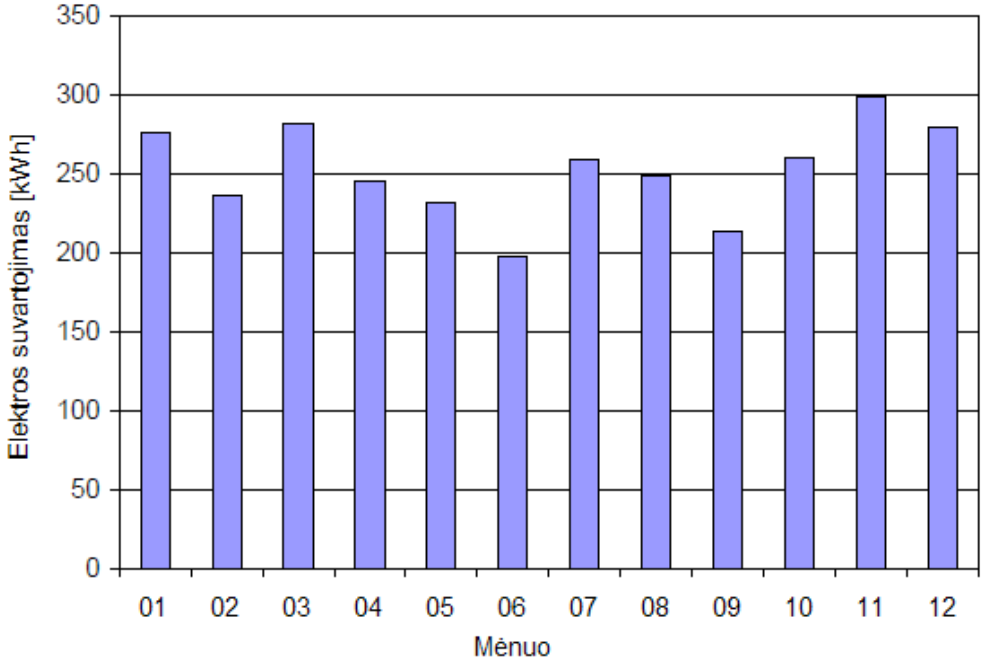
Lengvesnis būdas, naudojamas šiame tyrime ir sistemų modeliavimui, yra mėnesinių faktinių suvartojimų ir specifinių vartojimo grafikų sujungimas. Šiame darbe panaudoti įvairūs energijos ir karšto vandens vartojimo grafikai paimti iš [69] šaltinio.



22 pav. Vidutinis paros karšto vandens vartojimas Vokietijoje



23 pav. Vidutinis paros elektros energijos vartojimas Vokietijoje pavasario/rudens mėnesiais



24 pav. Vidutinis metinis elektros energijos vartojimas Europos Sąjungoje vidutinio elektros vartojimo zonoje

Kiek įmanoma, grafikai parinkti artimiausios Lietuvai šalies – Vokietijos arba imtos visos Europos mastu nustatytos reikšmės. Integruojant grafikus į turimus duomenis grafikas paverčiami procentinėmis reikšmėmis ir tokiu būdu surandami reikalingi vartojimai ir sudaromi nauji grafikai (su naujomis vertėmis).

8. DUOMENŲ PAGRĮSTUMO, PATIKIMUMO ĮVERTINIMAS IR ANALIZĖ

Teisingų, realių ir pagrįstų rezultatų gavimas yra kiekvieno tyrimo siekiamas tikslas. Į tyrimą įtraukiant kuo daugiau žemą patikimumo laipsnį turinčių įvesties duomenų, galutinių rezultatų patikimumas atitinkamai regresuoja.

8.1. Pastato duomenų įvertinimas

Charakteringi pastato duomenys ir energijos bei karšto vandens vartojimas nustatytas EVA metu. Žinant, jog EVA buvo atlikta atestuotų specialistų, galima teigti, jog jų rezultatai yra tikslūs ir patikimi. Pastato matmenys išmatuoti, o vartojimas perskaičiuotas į norminius metu naudojant realių sąskaitų už energiją išrašus bei išmatuotus atitvarų faktinius šilumos perdavimo koeficientus, remiantis patvirtintomis EVA atlikimo taisyklėmis.

Keli faktoriai, galintys veikti rezultatus ir sumažinti jų patikimumą yra galimai atlikta žmogaus skaičiavimų ar matavimų problema arba neteisingas matavimo ir kaupimo prietaisų veikimas. Tiesa, EVA atliekant ne vienam, o 3 specialistams, ši tikimybė stipriai sumažėja. Taip pat visi naudoti prietaisai yra neseniai įsigyti ir sukalibruoti.

8.2. Vietovės ir klimato duomenų patikimumas

Vietovės ir klimato duomenys yra viena iš sunkiausiai prognozuojamų tyrimui naudojamų duomenų grupių. Taip yra todėl, jog dažniausiai šiam tikslui yra naudojami statistiniai, vidutiniai ar gretimos vietovės klimatiniai duomenys. Dėl to visuose tyrimuose stengiamasi panaudoti kuo daugiau paties tyrėjo įvairia metodika užfiksuotų duomenų.

Šiame tyrime naudojami tiesioginių matavimų metu surinkti duomenys. Tiek saulės spinduliuotė, tiek išorės oro temperatūra yra naudojama remiantis 2009/2010 metais Kaune atliktais stebėjimais ir matavimais. Pagrindiniam modeliavimui kiti duomenų rinkiniai yra atmesti ir panaudojami tik jautrumo analizei.

Kalbant apie saulės spinduliuotę, kaip jau minėta, NASA domenų bazė pateikia gan plačius vidurkinius rodiklius, tačiau gana seno periodo (1983-2005). Atvirojo kodo „RETScreen“

skaičiavimo programoje duomenys pateikti yra pakankamai nauji ir labai panašūs į NASA duomenis (žr. 3 lentelę), tačiau vietovė neatitinka tiriamojo objekto vietovės. Tuo tarpu realiai veikiančios sistemos stebėsenos rezultatai kol kas yra nepakankami (laiko periodo atžvilgiu). Tiesa, nors pasirinktas duomenų rinkinys taip pat nėra užfiksuotas toje vietovėje, kur yra tiriamasis objektas, tačiau šie duomenys patikimesni dėl tiesioginių matavimų. Taip pat iš 3 lentelėje pateiktų reikšmių matyti, jog metinis vidurkis skiriasi tik 5 % (labiausia tikėtina dėl skirtingo pasvirimo kampo). Galiausiai pastaruoju atveju saulės spinduliuotė pateikta į 45° pasvirusią plokštumą, tuo tarpu pirmais atvejais (NASA ir „RETScreen“) – į horizontalią plokštumą. Kadangi modeliuojant kolektoriai bus orientuoti 38° kampu (palankiausias kampas Lietuvoje [11]), matavimų Kaune duomenys ir dėl šio faktoriaus yra priimtinesni ir patikimesni, labiau atitinka planuojamas sąlygas.

Išorės oro temperatūra taip pat buvo pasirinkta naudoti Kaune atliktų matavimų rezultatais. Tokį pasirinkimą pirmiausia lėmė ne tokie patikimi ar tikslūs kitų šaltinių duomenys. Modeliavimo programoje „energyPRO“ pateiktuose pavyzdžiuose Lietuvos duomenys buvo apibendrinti bei seni (2002 metų), o jos internetinėje duomenų bazėje – dideliu atstumu nuo analizuojamos vietovės bei gan dideliu intervalu (6 valandų). Oro temperatūra dažnai priklauso nuo saulės spinduliuotės, o naudojant šių dviejų kategorijų duomenis iš to paties šaltinio, gaunami tikslesni tyrimo rezultatai. Lietuvoje patikrinto statybinės klimatologijos duomenų naudojimas nebuvo svarstytas, kadangi modeliavimas atliekamas valandos intervalu, o pastarasis šaltinis tokių duomenų pateikti negali.

8.3. Saulės sistemų ir jų elementų charakteristikų įvertinimas

Šios grupės duomenys gali būti laikomi vieni iš patikimiausių ir tinkamiausių tyrimui. Taip yra dėl to, jog kaupiant duomenis nebuvo padaryta jokių prielaidų, o visos reikiamos reikšmės ir charakteristikos paimtos iš techninių specifikacijų ir bandymų, atliktų specializuotose laboratorijose, ataskaitų.

Kita dalis parametrų, tokių kaip šilumnešio temperatūros, buvo išmatuotos realiai veikiančioje sistemoje, o galiausiai naudojamos kaip vidutinės, pakankamai ilgo (5 mėnesių) periodo reikšmės.

8.4. Energijos vartojimo grafikų tinkamumas

Siekiant atkurti kuo realesnes vartojimo sąlygas, į mėnesinį energijos vartojimą buvo integruoti dienos vartojimo grafikai.

Patikimumo atžvilgiu jie nėra visiškai tokie pat, kaip tiriamajam objektui, kadangi tokiu atveju kiekvienam vartotojui ar jų grupei turi būti sudarytas atskiras grafikas. Vis dėlto karšto vandens ir elektros vartojimo paros vartojimo grafikai buvo pasirinkti kaip ES vidurkiai arba tam

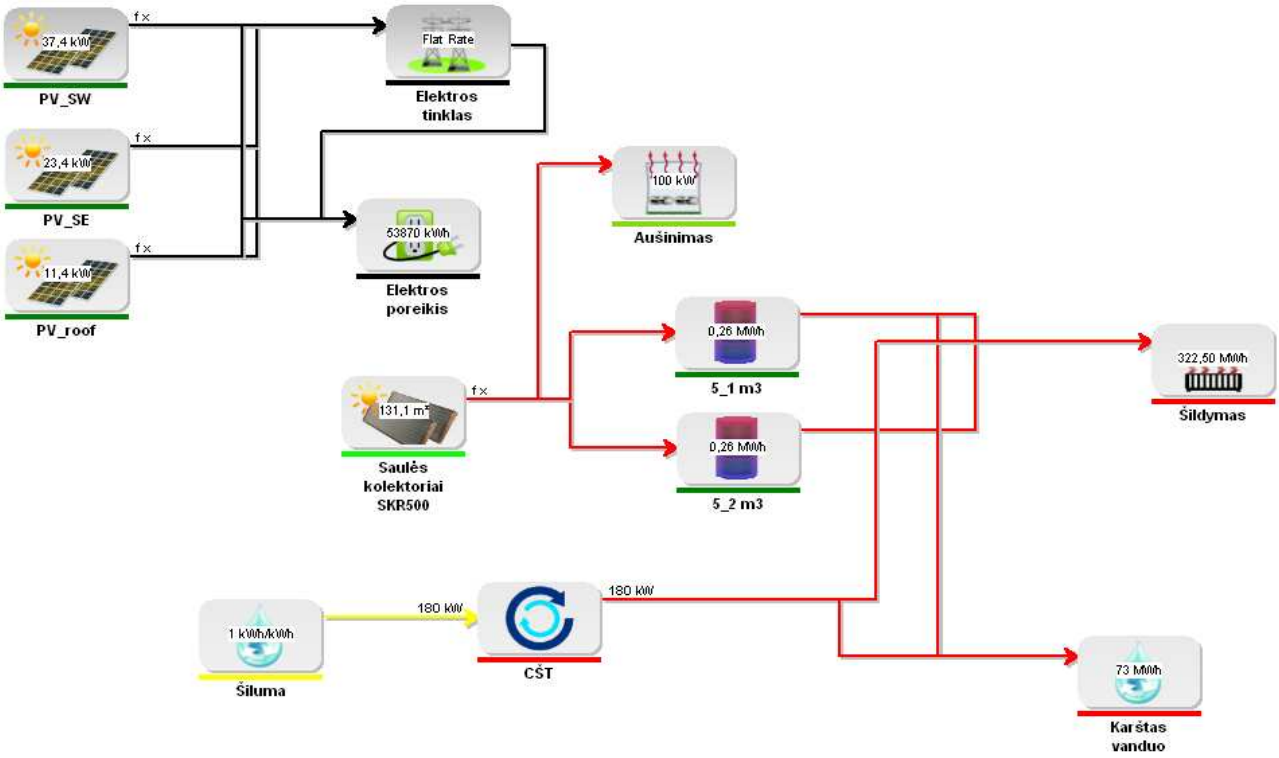
tikros šalies. Stengiantis neatitolti nuo realybės, buvo pasirinkta galima artimiausia (klimato ir su juo susijusio energijos vartojimo) Lietuvai šalis – Vokietija.

Nors grafikai ir nėra realūs tiriamajam objektui, tačiau tai suteikia modeliavimui daugiau tikslumo sistemų veikimo analizėje, negu įvedus tik mėnesines suvartojimų reikšmes. Nagrinėjant saulės energijos sistemas ir saulei spinduliuotei kintant kiekvieną akimirką tokio faktoriaus įtraukimas į analizę suteikia jai papildomą visapusiško įvertinimo galimybę.

Kaip stipriąją tyrimo pusę duomenų patikimumo požiūriu galima įvardyti tai, jog vieni iš pagrindinių rezultatus veikiančių įvesties duomenų – klimatologiniai duomenys – yra to paties laikotarpio (2009/2010) metų kaip ir EVA metu apskaičiuoti pastato energijos ir karšto vandens poreikiai, nors jie ir buvo standartizuoti norminiams metams.

9. NAUJŲ SAULĖS ENERGIJOS SISTEMŲ MODELIAVIMAS

Modeliavimą atliekant licenzijuota „energyPRO“ programa, remiantis surinktais ir susistemintais duomenimis bei pasirinkus saulės energijos sistemas, joje sukurtas eksperimentinis modelis (25 pav.).



25 pav. Eksperimentinio modelio principinė schema

9.1. Modeliavimo scenarijai

Tiriamojo darbo scenarijų sudarymas atliktas derinant tarpusavy dvi saulės energijos sistemas – saulės kolektorius ir saulės elementus. Paminėtina, jog abi, modeliuojant naudotos, sistemos saulės energiją naudoja aktyviai. Be šių, galėtų būti nagrinėjamas ir pasyvus saulės energijos panaudojimas, pavyzdžiui įstiklinant balkonus ar įrengiant šešėlį sudarančius stogelius virš langų ir taip kontroliuojant saulės spindulių patekimą į patalpas.

Taigi derinant dvi skirtingas aktyvaus saulės energijos panaudojimo sistemas buvo siekiama kiek įmanoma daugiau išnaudoti saulę, t. y. šiomis sistemomis racionaliai pagaminti kuo daugiau energijos. Kai kurią energijos rūšį – šilumą – lėmė jos poreikis ir vartojimo grafikas, kadangi kai kuriais atvejais (vasarą) perteklinė šiluma turėtų būti išmetama, jei galima talpa šilumos akumuliacijai viršijama. Tuo tarpu pagaminta perteklinė elektra gali būti tiesiog parduota į centralizuotą tiekimo tinklą. Būtent todėl nagrinėjami atvejai skiriasi sąlyginai nedaug, o skirtumas pastebimas ne sistemų deriniuose, tačiau jų elementų išdėstyme bei kiekiuose.

Tolimesnei analizei sudaryti tokie scenarijai:

{1}. Scenarijuje analizuojamas maksimaliai įmanomas pagaminti energijos kiekis, saulės sistemų išorinius elementus (kolektoriams ir PV moduliams) įrengiant ant pastato išorės atitvarų. Ant stogo kiek įmanoma daugiau (iš viso 80 kolektorių, kurių bendras plotas 205,6 m^2), montuojami saulės kolektoriai, ruošiantys šiluminę energiją. Kolektorių pasvirimo kampas – 38°, o orientavimas į pietus. Į pietryčius orientuota (16° nuo pietų pusės) siena padengiama saulės elementais – iš viso 90 elementų, kurių bendras plotas 148,5 m^2. Elementai tvirtinami vertikaliai žemės paviršiui. Į pietvakarius orientuotoje (71° nuo pietų pusės) sienoje 1 m atstumu virš langų įrengiami saulės elementai, kurie kartu sudaro natūralų šešėlį langams, tačiau ne kitai elementų eilei. Iš viso įrengiamos 4 eilės po 36 saulės elementus. Jų bendras plotas – 237,6 m^2, o pasvirimo kampas – 45°. Priimama, jog akumuliacinių įrenginių talpa tokia, kad galėtų sukaupti visą perteklinę šilumą.

{2}. Scenarijus identiškas {1}, tačiau į pietryčius orientuoti kolektoriai montuojami 45° kampu. Šešėliavimas nevertinamas.

{3}. Scenarijus identiškas {1}, tačiau į pietryčius orientuoti kolektoriai montuojami 45° kampu. Vengiant šešėliavimo įrengiamos 5 eilės po 11 kolektorių, kurių bendras plotas – 90,8 m^2.

{4}. Scenarijuje nagrinėjamas atvejis, kada ant stogo įrengiama tiek plokščiųjų saulės kolektorių, kad būtų visiškai patenkintas KV poreikis intensyviausiu saulės

spinduliavimo metu, t. y. vieną iš vasaros mėnesių. Ant likusios stogo dalies įrengiami saulės elementais. Abiejų tipo saulės kolektoriai įrengiami 38° kampu.

{5}. Scenarijus identiškas {4}, tačiau į pietvakarius orientuotoje sienoje 1 m atstumu virš langų įrengiami saulės elementai, kurie kartu sudaro natūralų šešėlį langams. Iš viso įrengiamos 4 eilės po 36 saulės elementus. Bendras plotas – 237,6 m^2, o pasvirimo kampas – 45°.

{6}. Scenarijus identiškas {4}, tačiau į pietryčius orientuota siena padengiama saulės elementais – iš viso 90 elementų, kurių bendras plotas 148,5 m^2. Elementai tvirtinami vertikaliai žemės paviršiui.

{7}. Derinami du anksčiau aprašyti scenarijai – {1} ir {4} – įrengiant optimalų kiekį saulės kolektorių, o likęs plotas panaudojamas elektros gamybai saulės elementais. Tokiu būdu viršijus elektros energijos poreikius ir pagaminus perteklinį elektros energijos kiekį, jis gali būti parduotas į centralizuotą elektros tiekimo tinklą.

Sumodeliavus ir išanalizavus šiuos scenarijus tiriamajam pastatui bus nustatyta, koks kiekis energijos gali būti pagamintas skirtingomis saulės sistemų kombinacijomis, nustatytas galimas metinis saulės sistemų indėlis į karšto vandens ruošimo sistemą, įvertintas pastato fasadų tinkamumas elektrą gaminančioms sistemoms, taip pat bus parinkta tokia saulės kolektorių sistema, kuri šiltuoju metų laikotarpiu negamintų šilumos pertekliaus (optimali sistema).

9.2. Įvesties duomenys

7 skyriuje aprašyti duomenys yra suvedami į atitinkamas programos „energyPRO“ (šios programos aprašymas bei jos pasirinkimo pagrindimas pateikti 7 skyriuje) kuriamos sistemos aprašymo korteles. Energijų vartojimo grafikai perskaičiuojami naudojant EVA metu apskaičiuotas normines vertes bei literatūroje pateiktus paros ir mėnesinius vartojimo grafikus.

Projektuojant saulės kolektorius ant pastato stogo yra laikomasi tokių sąlygų: saulės kolektoriai turi būti nutolę nuo stogo krašto per 1 metrą; vengiant jų šešėliavimo, kolektoriai montuojami 3 kolektorių aukščio (įvertinant pasvirimo kampą) atstumu tarp kolektorių blokų (eilių).

Sistemų veikimo atžvilgiu pirmenybė suteikiama saulės kolektoriams ir saulės elementams. Tai reiškia, jog esant palankioms sąlygoms ir vykstant energijos gamybai šiose sistemose, būtent jomis pagaminta energija ir yra naudojama. Jei poreikis visiškai nepatenkinamas, tuomet papildomai naudojama centralizuotais tinklais (šilumos ir elektros) gaunama energija.

{4} scenarijuje nustatant optimalią saulės kolektorių sistemą, kuri vasarą negamintų šilumos pertekliaus, kolektorių plotas randamas keičiant bendrą kolektorių plotą (šalinant po vieną) kol pasiekiamas situacija, kada nėra perteklinės šilumos utilizavimo vasarą.

Toliau pateikiami pagrindiniai 9.1. poskyryje aprašytų scenarijų įvesties į programą skaičiai:

{1}. Saulės kolektorių plotas – 205,6 m^2, iš viso 80 kolektorių (žr. 26 pav. a). Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

4 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {1} scenarijuje

	Stogas	**Pietvakarinė siena**	**Pietrytinė siena**
Skaičius, vnt.	0	144	90
Pasvirimo kampas	38°	45°	90°
Plotas, m^2	0	237,6	148,5
Instaliuota galia, kW			

{2}. Saulės kolektorių plotas – 205,6 m^2, iš viso 80 kolektorių (žr. 26 pav. a). Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

5 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {2} scenarijuje

	Stogas	**Pietvakarinė siena**	**Pietrytinė siena**
Skaičius, vnt.	0	144	90
Pasvirimo kampas	38°	45°	45°
Plotas, m^2	0	237,6	148,5
Instaliuota galia, kW			

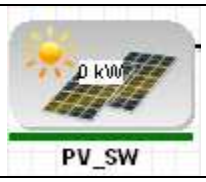
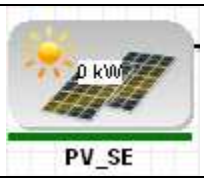
{3}. Saulės kolektorių plotas – 205,6 m^2, iš viso 80 kolektorių (žr. 26 pav. a). Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

6 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {3} scenarijuje

	Stogas	**Pietvakarinė siena**	**Pietrytinė siena**
Skaičius, vnt.	0	144	55
Pasvirimo kampas	38°	45°	45°
Plotas, m^2	0	237,6	90,8
Instaliuota galia, kW			

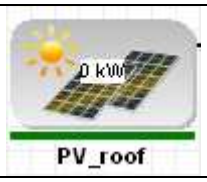
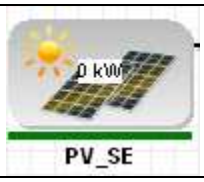
{4}. Saulės kolektorių plotas – 131,1 m^2, iš viso 51 kolektorių (žr. 26 pav. b), akumuliacinė saulės kolektorių talpa – 2 po 5 m^3. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

7 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {4} scenarijuje

	Stogas	Pietvakarinė siena	Pietrytinė siena
Skaičius, vnt.	44	0	0
Pasvirimo kampas	38°	45°	90°
Plotas, m^2	72,6	0	0
Instaliuota galia, kW			

{5}. Saulės kolektorių plotas – 131,1 m^2, iš viso 51 kolektorių (žr. 26 pav. b), akumuliacinė saulės kolektorių talpa – 2 po 5 m^3. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

8 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {5} scenarijuje

	Stogas	Pietvakarinė siena	Pietrytinė siena
Skaičius, vnt.	0	144	0
Pasvirimo kampas	38°	45°	90°
Plotas, m^2	0	237,6	0
Instaliuota galia, kW			

{6}. Saulės kolektorių plotas – 131,1 m^2, iš viso 51 kolektorių (žr. 26 pav. b), akumuliacinė saulės kolektorių talpa – 2 po 5 m^3. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

9 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {6} scenarijuje

	Stogas	Pietvakarinė siena	Pietrytinė siena
Skaičius, vnt.	0	0	90
Pasvirimo kampas	38°	45°	90°
Plotas, m^2	0	0	148,5
Instaliuota galia, kW			

{7}. Saulės kolektorių plotas – 131,1 m^2, iš viso 51 kolektorių (žr. 26 pav. b), akumuliacinė saulės kolektorių talpa – 2 po 5 m^3. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys pateikti sekančioje lentelėje.

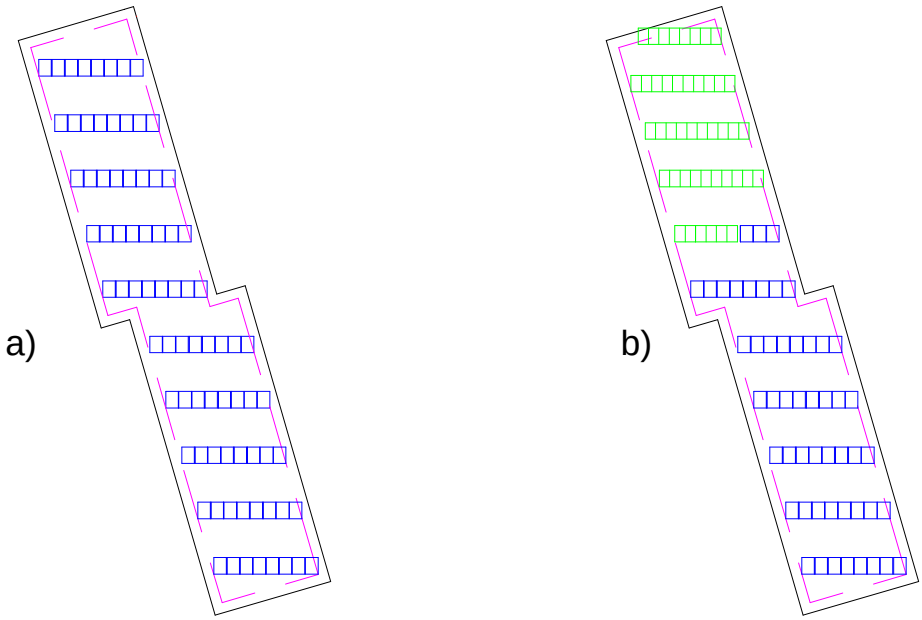
10 lentelė. Saulės elementų sistemų įvesties duomenys {7} scenarijuje

	Stogas	Pietvakarinė siena	Pietrytinė siena
Skaičius, vnt.	44	144	90
Pasvirimo kampas	38°	45°	90°
Plotas, m^2	72,6	237,6	148,5

10 lentelės pabaiga

Instaliuota galia, kW			

26 paveiksle pateiktas principinis stogo planas nagrinėjamiems scenarijams.



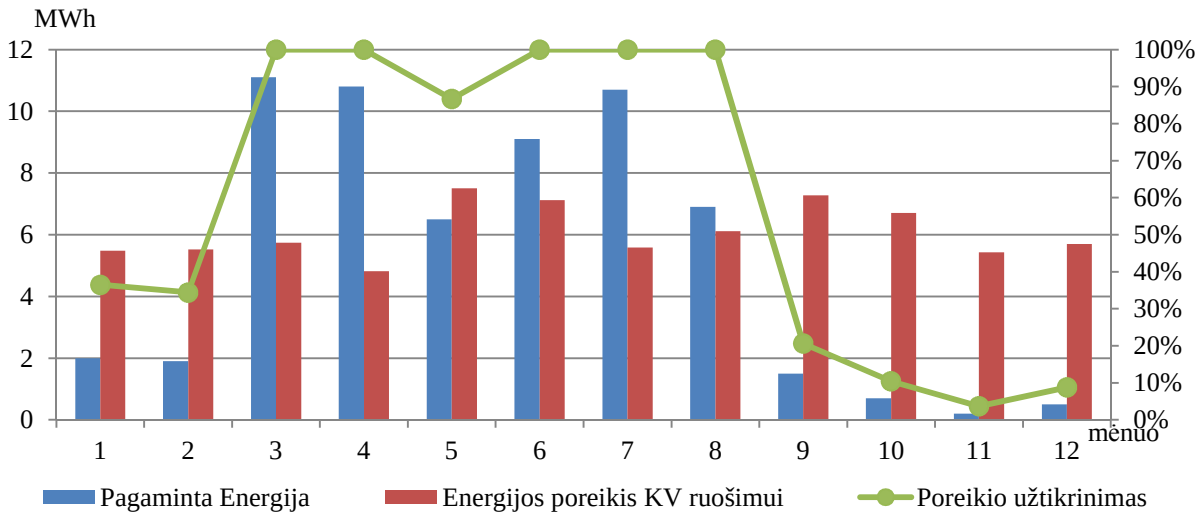
26 pav. Saulės kolektorių (mėlyna spalva) ir saulės elementų (žalia spalva) išdėstymas ant tiriamojo objekto stogo: a) {1}, {2} ir {3} scenarijaus atvejais; b) {4} ir {7} scenarijų atvejais.

Programos „energyPRO“ automatiškai sukurtos sumodeliuotų scenarijų ataskaitos pateikiamos Priede B.

9.3. Modeliavimo rezultatai

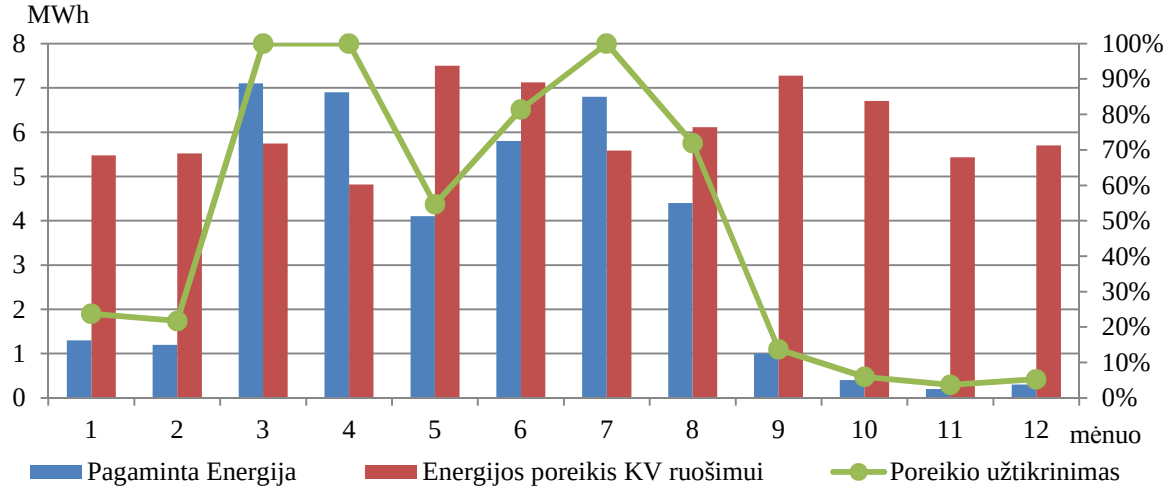
Išanalizavus bei apdorojus gautus rezultatus, pirmiausia apžvelgiama šilumos gamyba, naudojant saulės kolektorių sistemas. Kaip ir scenarijuose, išsiskiria du atvejai, kada visas tiriamojo objekto stogo plotas yra panaudojamas saulės kolektoriams, ir kai įrengiamas toks kolektorių skaičius, jog sistema vasarą negamintų perteklinės šilumos, kurią reiktų utilizuoti jos nepanaudojant.

27 paveiksle pateikiamas šilumos kiekis, pagamintas saulės sistema, {1}-{3} scenarijų atvejais.



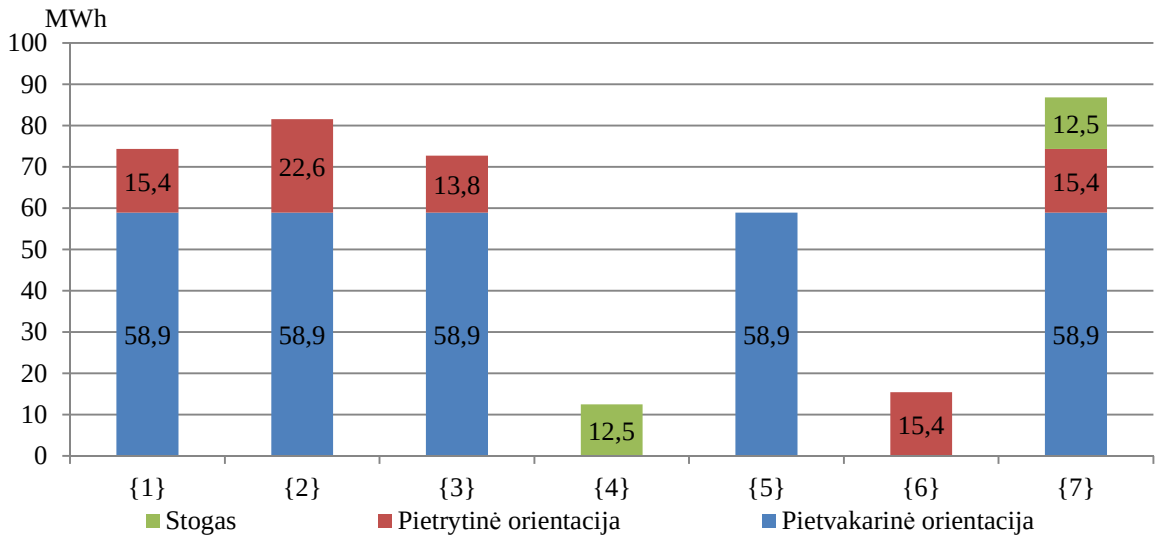
27 pav. Kolektorių veikimas, ruošiant karštą vandenį, {1}, {2} ir {3} scenarijuose

Bendras energijos kiekis, pagamintas saulės kolektoriais šiais scenarijais – 61,9 MWh, o tai sudarytų net 85 % energijos reikalingos metiniam karšto vandens ruošimui. Tačiau ne visas jis panaudojamas, kadangi kai kuriais mėnesiais (žr. 27 pav.) karšto vandens poreikis patenkinamas 100 %, o perteklius panaudojamas patalpų šildymui arba tiesiog išmetamas į aplinką. Taigi, įvertinus tik energiją, galimai panaudotiną karšto vandens ruošimui, esant apibrėžtam karšto vandens vartojimo grafikui, saulės kolektoriai per metus patenkintų 58 % energijos poreikių.



28 pav. Kolektorių veikimas, ruošiant karštą vandenį, {4}, {5}, {6} ir {7} scenarijuose

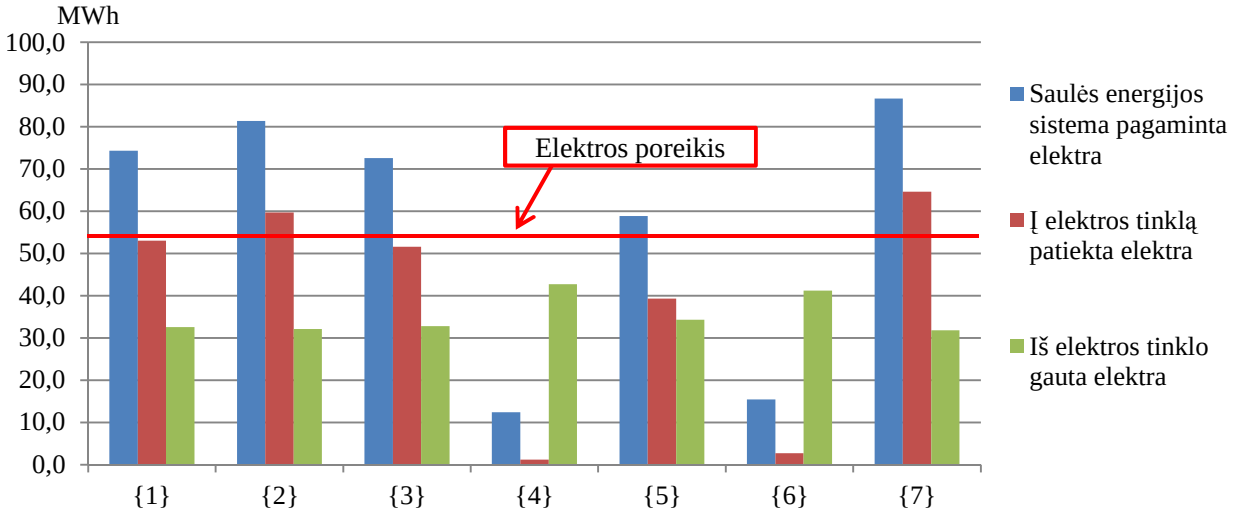
Radus tokį saulės kolektorių plotą, kada vasarą patenkinama 100 % karštam vandeniui ruošti reikalingos energijos kiekio, bet negaminamas jos perteklius, bendras saulės pagaminamas kiekis per metus sumažėja iki 39,5 MWh. Tai sudarytų 54 % metinio energijos kiekio, reikalingo karšto vandens ruošimui. Tačiau perteklinę šilumą kovo ir balandžio mėnesiais panaudojus patalpų šildymui metinis saulės kolektorių indėlis į karšto vandens ruošimo sistemą sumažėja iki 48%.



29 pav. Saulės elementų pagamintas energijos kiekis skirtingais scenarijais

Analizuojant saulės elementų sistemų veikimą pastebima, jog pats patraukliausias yra paskutinis – {7} – scenarijus, kada elementų skaičius yra maksimalus. Vertinant pasvirimo kampus galima palyginti {1}, {2} ir {3} scenarijus. Matyti, jog orientuojant elementus, sumontuotus ant pietrytinės sienos, 45° kampu, pagaminamas didesnis energijos kiekis. Taip pat {3} scenarijuje beveik per pus (nuo 90 iki 55) sumažinus elementų skaičių, tačiau orientuojant juos 45°, o ne vertikaliai, kaip {1} scenarijuje, pagamintas energijos kiekis sumažėja apie 10 %. Tai yra labai mažai turint galvoje sutaupytų elementų skaičių ir sutaupytas investicijas.

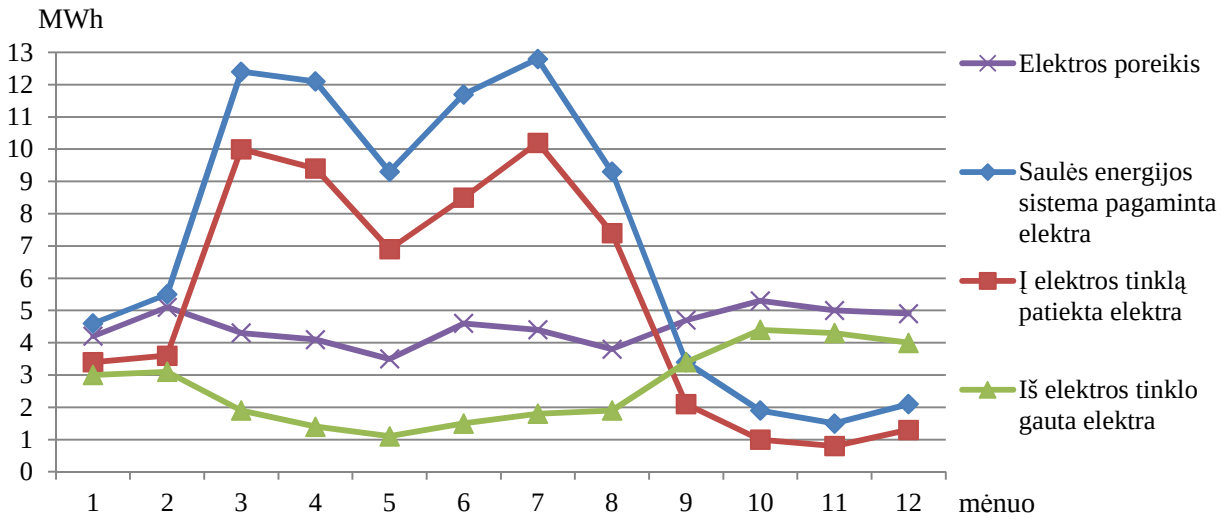
Remiantis statistiniais duomenimis (žr. 7.1. skyrių), apskaičiavus tiriamojo objekto elektros energijos metinį poreikį, kuris yra 53,9 MWh, matyti, jog praktiškai visais nagrinėtais scenarijais (išskyrus tuos, kada įdiegta minimalios galios saulės energijos, gaminančios elektrą, sistema), šis poreikis yra visiškai patenkinamas ir netgi pagaminamas tam tikras perteklinės energijos kiekis.



30 pav. Metiniai elektros srautai tiriamajame pastate skirtingais scenarijais

30 paveiksle pavaizduoti visi elektros energijos metiniai srautai. Modeliavimo rezultatai rodo, jog net gaminant perteklinį elektros energijos kiekį, ją vis tiek reikia pirkti. Taip yra todėl, jog esant pikinei elektros gamybai nėra tokio didelio jos poreikio ir atvirkščiai – gamybai nevykstant (tamsiu paros metu) elektra vartojama. Dėl to daugeliu atveju iš elektros tinklo yra įsigyjama 40-50 % nuo viso saulės elementais pagaminto energijos kiekio, o priduodama – apie 70 % kiekio.

31 paveiksle detaliau pavaizduotas {7} scenarijuje vykstantys elektros energijos srautai.



31 pav. Metiniai elektros srautai tiriamajame pastate {7} scenarijuje

Iš rezultatų matyti, jog šiltuoju ir labiau saulėt metų laiku, kada saulė danguje pakyla aukščiau ir išsilaiko ilgiau, saulės elementų sistemos pagamina žymiai didesnį elektros kiekį, negu realus jos poreikis. Tokiu atveju perteklius yra tiekiamas į elektros tinklą. Likusiais mėnesiais (pagrinde rudenį ir žiemos pradžioje) pastebimas gaminamos elektros trūkumas, o priduotos elektros kiekis yra minimalus, skirtingai nei įsigyjamos.

Ekonominiuose skaičiavimuose tokie elektros srautais turi būti įvertinti, kadangi tai gali stipriai veikti sistemos priimtinumą ekonominiu požiūriu. Suvedus metinį pirktos ir patiektos į elektros tinklą elektros balansą, gali būti gautas papildomas pelnas arba nustatytos reikalingos išlaidos už papildomai gautą iš tinklų elektrą, reikalingą jos poreikiui užtikrinti. Taip pat pastebima, jog integruotai saulės elementų sistemų galiai esant mažiau negu 30 kW ({4} ir {6} scenarijai) perteklinės parduodamos elektros nėra.

10. PIRMINĖS ENERGIJOS IŠRAIŠKA

Pirminė energija tai energija, sutelkta gamtiniuose ištekliuose (anglis, gryna nafta, saulė, vėjas, uranas), kurios dar niekas netransformavo, neišgrynino ar kitaip pakeitė jos struktūrą, t. y. nebuvo paveikta žmogaus veiksmų.

Europoje kasmet PE suvartojimui didėjant 1-2 % [70], šis rodiklis tampa vis aktualesnis siekiant palygint tarpusavyje įvairių šalių energijos srautus. Lygiai toks pat rodiklis gali būti naudojamas lyginant skirtingus šalies miestus ar netgi skirtingas energijos sistemas.

Žinant, jog visa energija, gauta iš AEI, yra laikoma pirmine, tiriamajame objekte pritaikius naujas saulės energijos sistemas atsiranda galimybė įvertinti, koks kiekis pirminės energijos yra sutaupomas, atsisakant įprastinių energijos gamybos technologijų ir pasirenkant atsinaujinančiąsias.

10.1. Šiluma

Remiantis [71] šaltiniu, esamoje padėtyje visa šiluma tiriamajam pastatui yra tiekiama centralizuotais tinklais iš UAB „Birštono šiluma“. 2010 metais deginant įvairų kurą Birštono katilinėse buvo pagaminta 23500 MWh šilumos tam sunaudojant 2486 t.n.e. (sutartinio kuro) [71]. Pasiektas 105,79 kg n. e./MWh efektyvumas. Perskaičiavus šį rodiklį gauname, jog 1 MWh šilumos pagaminti buvo sunaudota 1,230 MWh pirminė energijos.

{1}-{3} scenarijų atvejais, saulės energijos šiluma, skirta karšto vandens ruošimui, pagamino 61,9 MWh šilumos sunaudodama lygiai tokį patį kiekį pirminės (saulės) energijos, kuri yra atsinaujinanti. Tuo tarpu tokio šilumos kiekio gamyba UAB „Birštono šiluma“ katilinėse būtų pareikalavęs 76,1 MWh pirminės energijos kiekio. Šis 15,8 MWh pirminės energijos (1,36 t.n.e.) skirtumas iš dalies nėra didelis, kadangi įprastu būdu gaminant šilumą net 75 % jos yra gaunama deginant medieną, malkas, pjuvenas, skiedras ir kitą biokurą [71], o tai yra laikoma AEI.

{4}-{7} scenarijų atvejais, parinkus optimalią saulės energijos sistemą, t. y. vasarą nesant šiluminės energijos pertekliaus, ši sistema pagamintų 39,5 MWh šilumos panaudodama tiek pat pirminės energijos. Įprastiniu būdu suvartotos pirminės energijos kiekis būtų 9,1 MWh (0,78 t.n.e.) didesnis – 48,6 MWh.

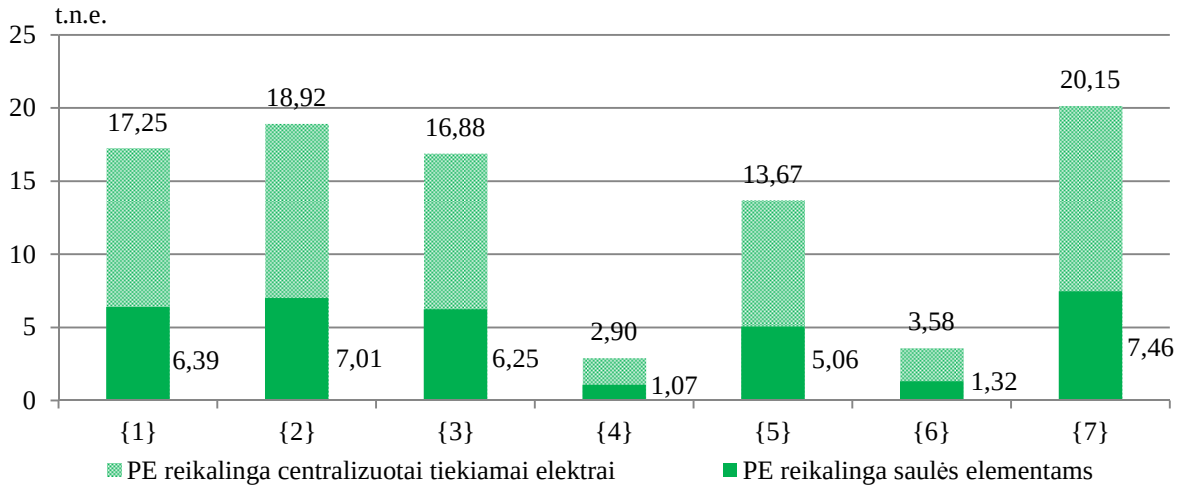
10.2. Elektros energija

Elektros energijos perskaičiavimas į pirminę energiją yra labiau komplikuotas, negu šiluminės energijos. Pirmiausia tai yra dėl gana sunkiai randamų duomenų: koks ir kiek kuro buvo panaudota tam tikram elektros energijos kiekiui pagaminti. Taip pat, Lietuvai uždarius atominę elektrinę, šiuo metu yra importuojama daugiau negu 60 % elektros iš kitų šalių [72, 73]. Vadinasi norint nustatyti tikslią elektros sudėtį (kokį kurą naudojant ji buvo pagaminta) reikia gilintis ir į kitos šalies energijos balansus bei elektros gamybos niuansus.

Šiame darbe pasirenkamas kitas būdas, siekiant įvertinti pirminę energiją, reikalingą elektros gamybai. Tiek [74] šaltinyje, apskaičiuojant viso pasaulio elektros gamybai reikalingą vidutinį

pirminės energijos kiekį, tiek šiuo metu plačiai populiarėjančių pasyvių pastatų projektavimui skirtoje programoje PHPP yra pateikiamas 2,7 elektros konvertavimo koeficientas. Tai reiškia, jog norint pagaminti 1 MWh elektros energijos, pateikiamos vartotojams, reikia 2,7 MWh (232 kg n. e.) pirminės energijos.

Nagrinėjamame pastate skirtingais modeliavimo scenarijais pagamintas elektros kiekis taip pat buvo skirtingas. 32 paveiksle pateikiamas pirminės energijos kiekis, sunaudotas saulės elementų elektrai gaminti, bei pirminės energijos kiekis, kuris būtų reikalingas elektros energijai, įsigyjamai centralizuotai, pagaminti.



32 pav. Pirminės energijos, reikalingos tam pačiam elektros kiekiui pagaminti, pasiskirstymas

Pagaminus tam tikrą kiekį elektros, naudojant saulės energijos sistemą, lygiai toks pat kiekis yra išvengiamas jo negaminant kitais būdais. Rezultatai rodo, jog ir gana nedidelė elektros gamyba naudojant AEI stipriai veikia PE poreikį įprastinėje sistemoje, t. y. kai elektra gaminama kogeneracinėse jėgainėse ar branduoliniuose reaktoriuose.

11. EKONOMINIS VERTINIMAS

Viena iš didžiausių ir daugiausiai diskusijų sukelianti daugiabučių pastatų modernizavimo projekto pusė – ekonominė dalis. Lietuvoje taip susiklostė, jog daugiabučių gyventojai, įsikėlę į naujus namus, nepradėjo kaupti jokių santaupų pastatų ateities priežiūrai, tuo labiau renovacijai. Todėl dabar, susidarius tokiai situacijai, kada iš esamų gyventojų yra tarsi pareikalaujamas nemažas finansinis indėlis į jų pastato renovaciją, ši problema dar labiau išryškėja, o renovacijos projektai dažniausiai stringa dėl šios priežasties.

Įsikišus tiek ES, tiek šalies vyriausybei buvo numatyta keletas lengvatų, skirtų daugiabučių pastatų modernizacijai kompensuoti. Šiuo metu valstybės teikiama parama [75, 76]:

- Lengvatiniai kreditai, kurių fiksuotos palūkanos – ne didesnės kaip 3 %;
- 15-30 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms;
- 50 % parama namo atnaujinimo projekto rengimo išlaidoms ir statybų techninei priežiūrai;
- 100 % parama nepasiturintiesiems.

Iš pirmo žvilgsnio tai nėra dideli indėliai ir kas svarbiau, galima teigti, paliečia ne pačius pagrindinius piniginius srautus. Kalbant apie AEI sistemų diegimą, šios pareikalauja tikrai nemažų investicijų, kurios Lietuvoje gali sudaryti apie 20 % [31] visos renovacijos kainos. Todėl baigiamajame darbe modeliuojant naują saulės energijos sistemą yra tiesiog būtina įvertinti ne tik jos energinį patrauklumą (pagamintos/sutaupytos energijos kiekiu) bet ir ekonominį.

Tolimesniuose skaičiavimuose naudojami tokie duomenys, vertės, kainos ir padarytos prielaidos:

- Saulės kolektorius SONNENKRAFT SKR500 – **2586 LT/vnt** [77];
- 5 m^3 akumuliacinė talpa su izoliacija SONNENKRAFT PS-5000E – **19850 LT** [77];
- Karšto vandens modulis su cirkuliaciniais siurbliais SONNENKRAFT FWM150– **36631 LT** [77];
- Saulės elementų SCHÜCO MPE-MS-08, įrengtų ant stogo, 11,4 kW sistemos kaina – **76512 LT** [78];
- Saulės elementų SCHÜCO MPE-MS-08, įrengtų pietvakarinio fasado, 37,4 kW sistemos kaina – **254243 LT** [78];
- Saulės elementų SCHÜCO MPE-MS-08, įrengtų ant pietrytinio fasado, 23,4 kW sistemos kaina – **157610 LT** [78];
- Saulės elementų SCHÜCO MPE-MS-08, įrengtų ant pietrytinio fasado (mažiau kolektorių), 14,3 kW sistemos kaina – **93814 LT** [78];
- Eksploatacinės saulės sistemų išlaidos:
    - kad užtikrinti planuojamą saulės kolektorių šilumos ir elektros gamybą, būtina nuvalyti juos bent kartą per metus, išlaidos aukštalipiams samdyti gali sudaryti – **1000 LT** skirtingai saulės sistemai [31];
    - Neužšąlantis šilumnešis saulės kolektorių sistemos kontūre turi būti keičiamas kas 5 metus (nepakeitus iškyla užšalimo grėsmė) – 3000 Lt kas 5 metu (arba galima vertinti kaip **600 Lt/metus**) [31];
- Sistemų įrengimo kaina yra **20 %** bendros investicijos į sistemas kainos;
- Projekto vertinimo laikotarpis – **20 metų**;
- Nominali diskonto norma – **5 %**;

- Vidutinis metinis energijos kainų augimas – **2 %** (ilgalaikis naftos kainų augimo koeficientas) [31];
- Paskolos terminas – **20 metų**;
- Paskolos palūkanos – **3 %** [76];
- Šilumos energijos kaina iš CŠT tinklų – **227,80 LT/MWh** su PVM (UAB "Birštono šiluma" 2012.04.01);
- Elektros energijos kaina (dieninė) – **47,6 ct/kWh** su PVM (AB "LESTO" 2012);
- Elektros supirkimo tarifas, elektrą gaminant integruotose saulės jėgainėse, kai instaliuota galia ≤ 30 kW – **1,80 LT/kWh** be PVM (tarifas galioja 12 metų) [79];
- Elektros supirkimo tarifas, elektrą gaminant integruotose saulės jėgainėse, kai instaliuota galia > 30 kW, bet ≤ 100 kW – **1,66 LT/kWh** be PVM (tarifas galioja 12 metų) [79];
- Daroma prielaida, jog saulės elementus įrengiant keliose vietose, sistemų kainos sudedamos ir, dėl bendrų tinkamam veikimui reikalingų elementų, mažinamos 30 %.

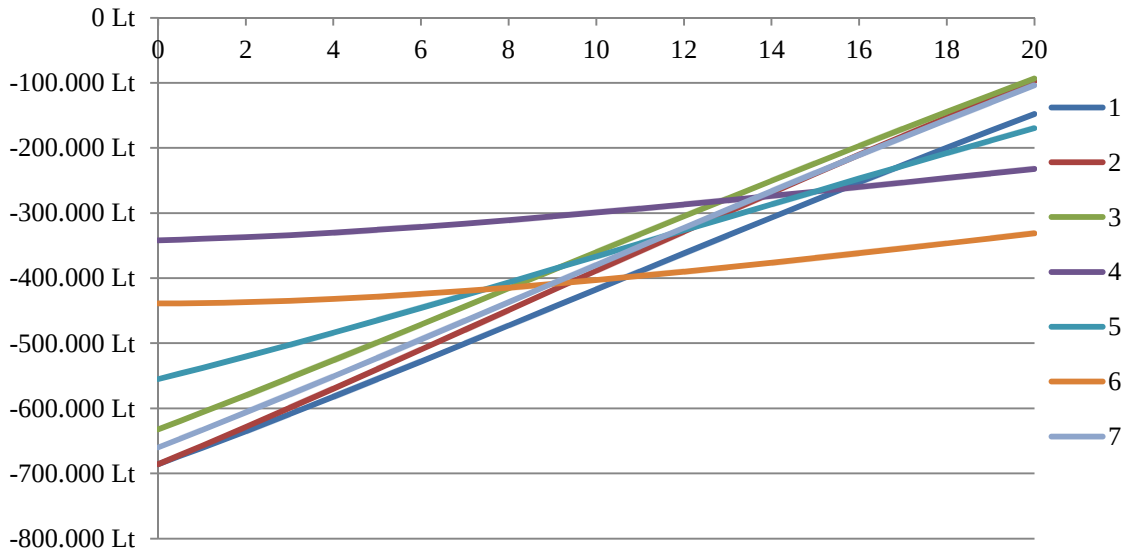
Lentelėse apskaičiuotas PAL lyginant skirtingus scenarijus su padėtimi, kada pastate nėra įrengta jokia saulės energijos sistema.

11 lentelėje pateikiami su naujomis saulės energijos sistemomis susiję pinigų srautai, renovacijos procese neįvertinant jokios valstybės paramos, bei pagamintas energijos kiekis.

11 lentelė. Naujų sistemų ekonominio skaičiavimo duomenys esant nulinei valstybės paramai

Scena-rijus	Įranga, LT	Įrengimo darbai, LT	Bendros investicijos, LT	Palūkanos (3%), LT	Eksploatacinės išlaidos LT/metus	Pagaminta šilumos, MWh/metus	Pagaminta elektros, MWh/metus	PAL, metai
1	571508	114302	685810	216031	2600	61,9	74,3	26,1
2	571508	114302	685810	216031	2600	61,9	81,5	23,1
3	526851	105370	632221	199150	2600	61,9	72,7	23,3
4	284729	56946	341675	107628	2600	39,5	12,5	162,9
5	462460	92492	554952	174810	2600	39,5	58,9	31,2
6	365827	73165	438992	138282	2600	39,5	15,4	785,7
7	550073	110015	660087	207927	2600	39,5	86,8	23,6

Skaičiavimo rezultatai grafiškai pavaizduoti 33 paveiksle. Pateikiamos GEV, po *n* metų, reikšmės kiekvienam scenarijui.



33 pav. Skirtingų saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, kai valstybės parama nulinė

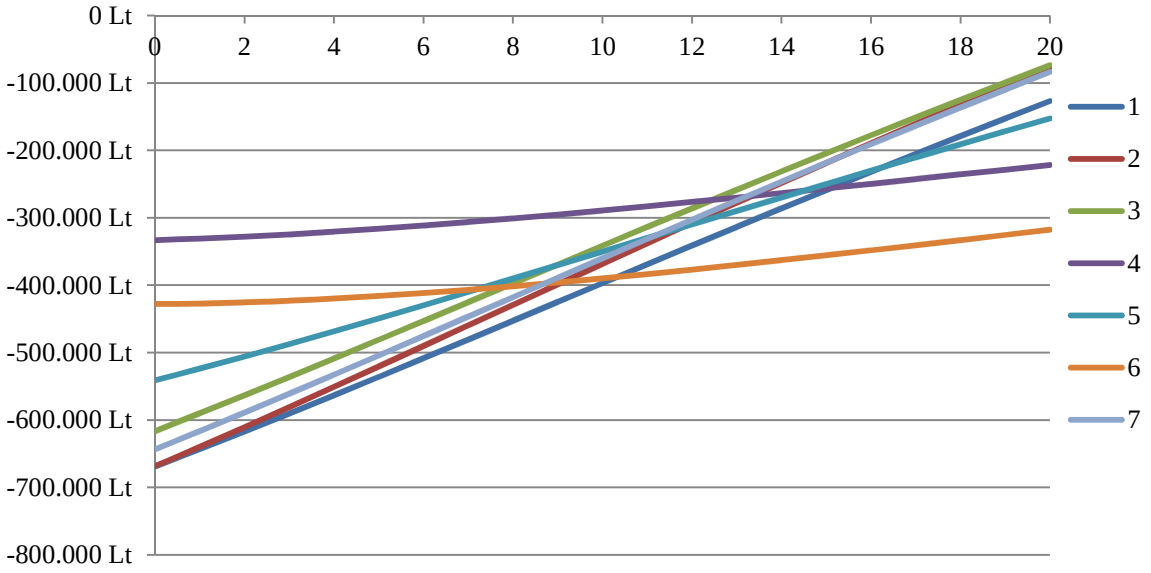
Iš rezultatų matyti, jog nesant jokiai valstybės paramai per 20 metų nė viename scenarijuje nagrinėta saulės sistemų kombinacija neatsiperka, tai yra jos GEV yra neigiama. Taip pat iš 11 lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog kai kurių sistemų įgyvendinimas nesuteiktų ekonominės naudos, kadangi jų PAL keletą kartų viršija tiek pačios sistemos, tiek renovuojamo pastato gyvavimo ciklo trukmę. Labiausiai priimtini yra {2}, {3} ir {7} scenarijai. Turint galvoje, jog {2} ir {3} scenarijaus atveju, vasarą yra pagaminama per daug šilumos, kurią reiktų utilizuot (kas reikalauja papildomų išlaidų įrangai), logiškiausiai priimtinas yra {7} scenarijus, kuris ir energiniu požiūriu yra tinkamiausias tiriamajam objektui.

12 lentelėje pateikiami su naujomis saulės energijos sistemomis susiję pinigų srautai, renovacijos procese yra įvertinant valstybės suteikiama 15 % kompensaciją darbų įvykdymo išlaidoms, bei pagamintas energijos kiekis.

12 lentelė. Naujų sistemų ekonominio skaičiavimo duomenys esant 15 % kompensacijai darbų vykdymo išlaidoms

Scena-rijus	Įranga, LT	Įrengimo darbai, LT	Bendros investicijos, LT	Palūkanos (3%), LT	Eksploatacinės išlaidos LT/metus	Pagaminta šilumos, MWh/metus	Pagaminta elektros, MWh/metus	PAL, metai
1	571508	97156	668664	210629	2600	61,9	74,3	24,9
2	571508	97156	668664	210629	2600	61,9	81,5	22,1
3	526851	89565	616416	194171	2600	61,9	72,7	22,3
4	284729	48404	333133	104936	2600	39,5	12,5	141,5
5	462460	78618	541078	170440	2600	39,5	58,9	29,7
6	365827	62191	428018	134826	2600	39,5	15,4	482,0
7	550073	93512	643585	202729	2600	39,5	86,8	22,7

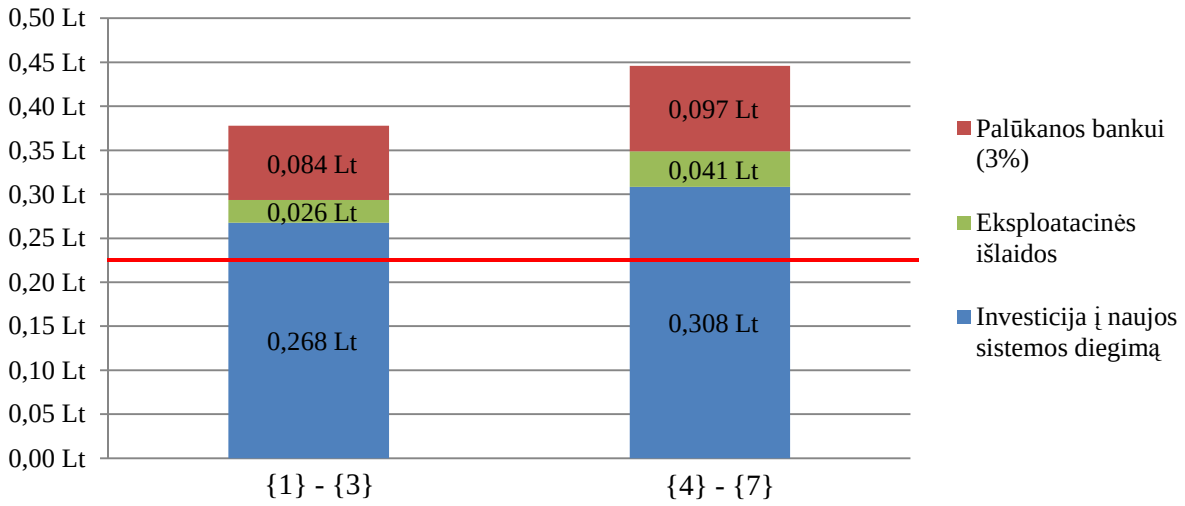
Skaičiavimo rezultatai grafiškai pavaizduoti 34 paveiksle. Pateikiamos GEV, po *n* metų, reikšmės kiekvienam scenarijui.



34 pav. Saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms

Iš rezultatų matyti, jog valstybei kompensuojant 15 % darbų įvykdymo išlaidų, situacija lyginant su nuline kompensacija pasikeičia nežymiai. Taip yra todėl, jog įrengimo išlaidos bendruose pinigų srautuose nėra žymios, o tik 15 % jų kompensavimas daro minimaliai teigiamą poveikį rezultatam. Lyginant su 33 paveikslu situacija scenarijų pasiskirstyme ir atsipirkime nepasikeitė, o tik sutrumpėjo atsipirkimo laikai.

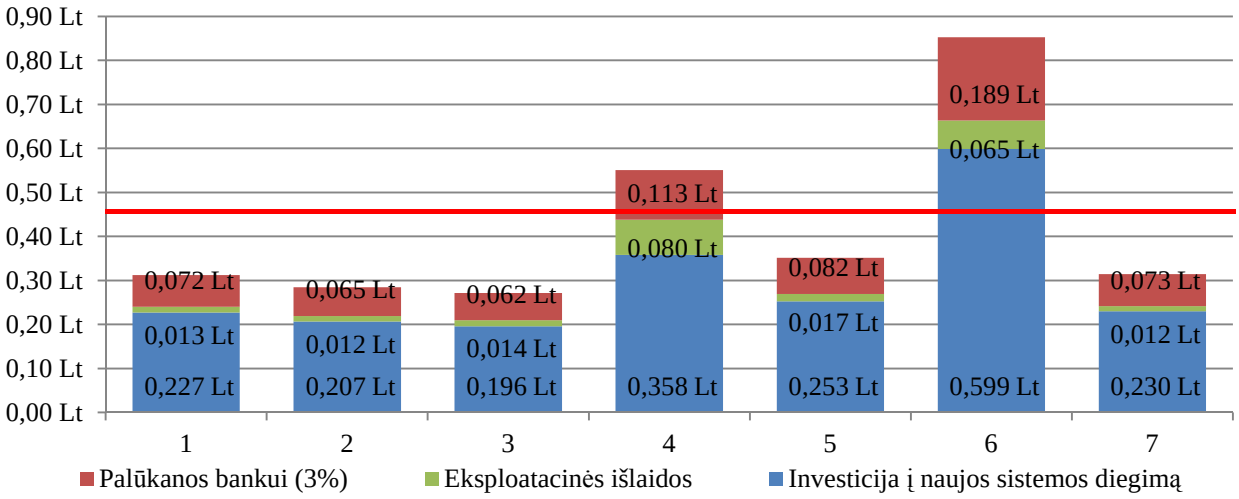
Tiesa, tiek 33, tiek 34 paveiksluose pateikiami pinigų srautai, vertinant dvejas skirtingas saulės energijos sistemas iš karto. Tokiu būdu neįvertinama, ar abi sistemos, ar būtent kažkuri duoda ne tokią naudą, kokios tikėtasi („dirba nuostolingai“). Todėl pasirenkamas kitas būdas įvertinti kiekvienos saulės sistemos teikiamą naudą atskirai – apskaičiuoti sistema pagaminamos energijos savikainą. 35 paveiksle pateikta naujomis saulės sistemomis pagaminama šilumos, o 36 paveiksle elektros energijos savikainos.



35 pav. Pagamintos šiluminės energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms

Kaip matyti iš apskaičiuotų šilumos kainų skirtingais scenarijais, tuo atveju, kuomet įrengiama per didelė sistema, vasarą generuojanti šilumos perteklių, šilumos savikaina yra 37,8 ct/kWh, tuo tarpu parinkus optimalią sistemą, pagamintos šilumos savikaina – 44,6 ct/kWh. Vis dėlto, {1}-{3} scenarijų atvejais pagamintas šilumos perteklius turi būti utilizuojamas (nėra jam poreikio), todėl jokių energijos ir tuo pačiu išlaidų sutaupymų nėra. Deja, atsipirkimo ir energiniu požiūriu priimtiniausiame scenarijuje įdiegta saulės kolektorių sistema pagaminamos šilumos savikaina, įvertinant valstybės teikiamą 15 % kompensaciją darbų įvykdymo išlaidoms, viršija dabartinę iš CŠT tinklų perkamos šilumos savikainą (raudona linija) beveik dvigubai – 22 ct/kWh arba 49 %.

Nagrinėjant kainos dedamąsias matyti, jog didžiąją dalį (apie 70 %) sudaro investicija į naujai diegiamą sistema, tuo tarpu eksploatacinės išlaidos savikainą veikia mažiausiai.



36 pav. Pagamintos elektros energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms

Išnagrinėjus naujomis saulės fotoelementų sistemomis pagamintos elektros savikainas matyti, jog praktiškai visais nagrinėtai scenarijais jos yra žemesnės negu dabar centralizuotai tiekiamos elektros kaina (raudona linija). Vadinasi, tik {4} ir {6} scenarijais, kada saulės elementai įrengiami tik ant stogo arba ir ant pietrytinės sienos, tačiau ne pietvakarinės, elektrą gaminančios saulės sistemos įrengimas ekonomiškai yra nepriimtinas. Kitais atvejais, saulės elementus montuojant ant pietvakarinės sienos, sistemos veikia pelningai, t. y. jais pagamintos energijos savikaina yra žemesnė ({7} scenarijuje – 16 ct/kWh arba 34 %) negu centralizuotai tiekiamos 47,6 ct/kWh.

Kaip ir šiluminės energijos savikainoje, didžiausią jos dalį (apie 70 %) sudaro investicija į pačia sistemą bei jos įrengimą, o mažiausią (išskyrus {4} scenarijų) – eksploatacinės išlaidos.

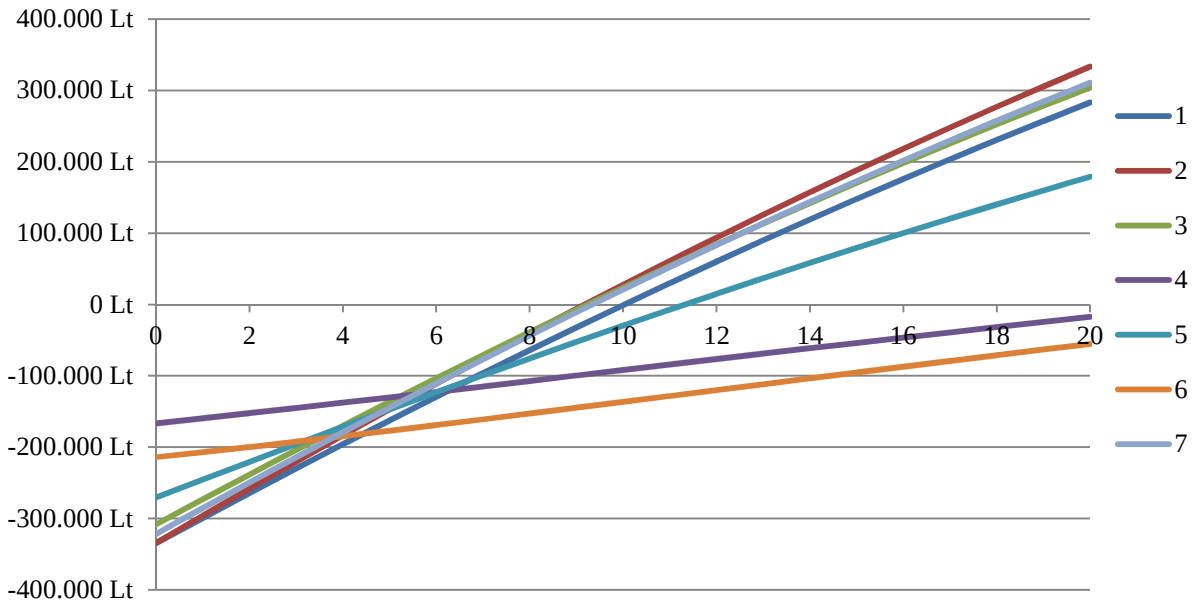
Tačiau nagrinėtinas ir kitas variantas darant prielaidą, jog valstybė galėtų kompensuoti 50 % AEI sistemų įsigijimui reikalingų lėšų kartu kompensuodama 15 % darbų įvykdymo išlaidų.

13 lentelėje pateikiami su naujomis saulės energijos sistemomis susiję pinigų srautai, renovacijos procese įvertinant valstybės suteikiamą 15 % kompensaciją darbų įvykdymo ir 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms, bei pagamintas energijos kiekis.

13 lentelė. Naujų sistemų ekonominio skaičiavimo duomenys esant 15 % kompensacijai darbų vykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms

Scena-rijus	Įranga, LT	Įrengimo darbai, LT	Bendros investicijos, LT	Palūkanos (3%), LT	Eksploatacinės išlaidos LT/metus	Pagaminta šilumos, MWh/metus	Pagaminta elektros, MWh/metus	PAL, metai
1	285754	48578	334332	105315	2600	61,9	74,3	9,1
2	285754	48578	334332	105315	2600	61,9	81,5	8,3
3	263425	44782	308208	97086	2600	61,9	72,7	8,4
4	142365	24202	166566	52468	2600	39,5	12,5	22,7
5	231230	39309	270539	85219	2600	39,5	58,9	10,3
6	182914	31095	214009	67413	2600	39,5	15,4	29,3
7	275036	46756	321792	101364	2600	39,5	86,8	8,5

Skaičiavimo rezultatai grafiškai pavaizduoti 37 paveiksle. Pateikiamos GEV, po *n* metų, reikšmės kiekvienam scenarijui.

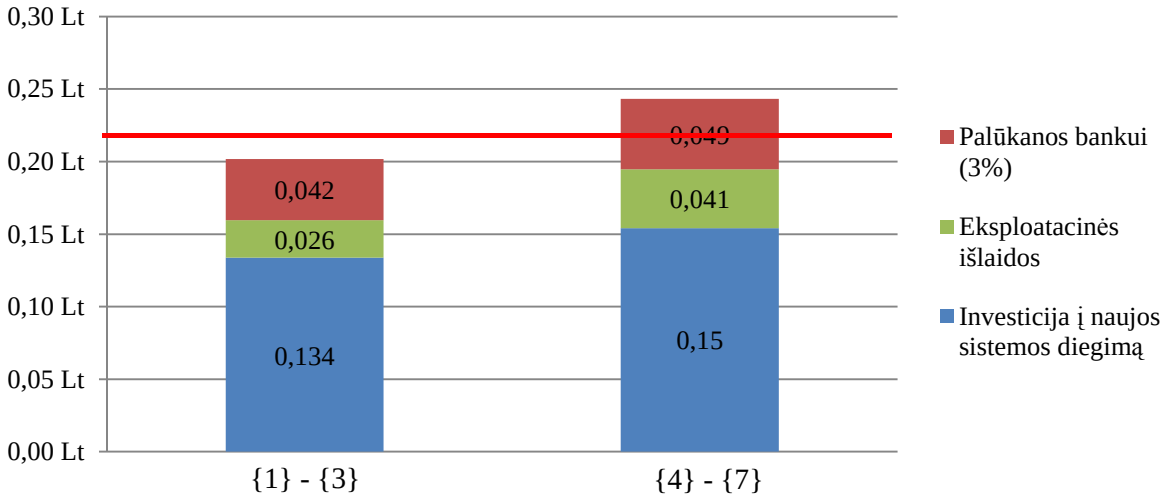


37 pav. Saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms

Šiuo atveju, valstybei skiriant žymiai didesnę paramą, didžioji dalis skirtinguose scenarijuose sumodeliuotų saulės energijos sistemų kombinacijų patenka į 10 metų atsipirkimo laikotarpį. {4} ir {6} scenarijų atvejais PAL pastebimai sumažėjęs, tačiau vis tiek viršija 20 metų. Tuo tarpu energiniu požiūriu priimtiniausias {7} scenarijus nors ir reikalauja bene didžiausių investicijų, tačiau atsiperka beveik greičiausiai – per kiek daugiau nei 8 metus. Lyginant 20, 21 ir 24 paveikslus

matyti, jog norint sėkmingai naudoti saulės energijos sistemas bei skatinti jų įrengimą modernizuojant daugiabučius pastatus, yra būtina nemaža valstybės parama.

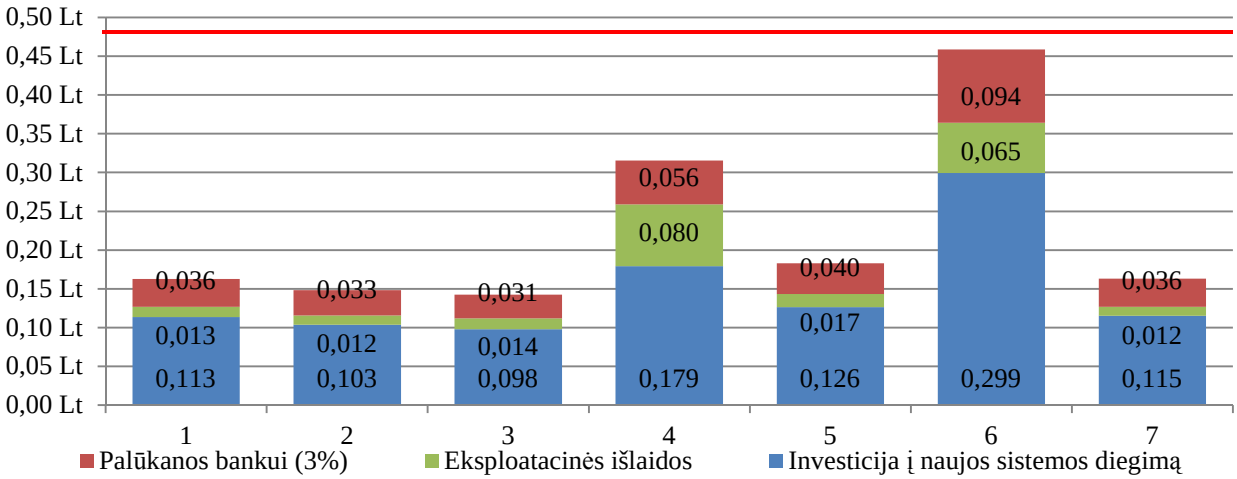
Šiuo atveju pastebimos ir stipriai sumažėjusios saulės energijos sistemomis pagaminamos energijos savikainos.



38 pav. Pagamintos šiluminės energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms

Iš 38 paveikslo matyti, jog pagamintos energijos savikainos daug patrauklesnės, negu prieš tai nagrinėtame valstybės paramos atvejyje. {1}-{3} scenarijų atvejais pagaminti 1 kWh šilumos kainuotų apie 2,5 ct pigiau, negu pirkti iš CŠT. Tuo tarpu {4}-{7} scenarijų atvejais pagaminamos šilumos savikaina būtų šiek tiek aukštesnė nei CŠT, tačiau tik 1,5 ct/kWh. Taigi, lyginant {7} scenarijaus kainas su ir be 50 % valstybės parama naujų sistemų įsigijimui, pastebimas daugiau nei 45 % (20,3 ct/kWh) šilumos savikainos sumažėjimas (nuo 44,6 ct/kWh iki 24,3 ct/kWh).

Ir toliau didžiausią savikainos dalį sudaro investicija į naujos sistemos diegimą – apie 65 %.



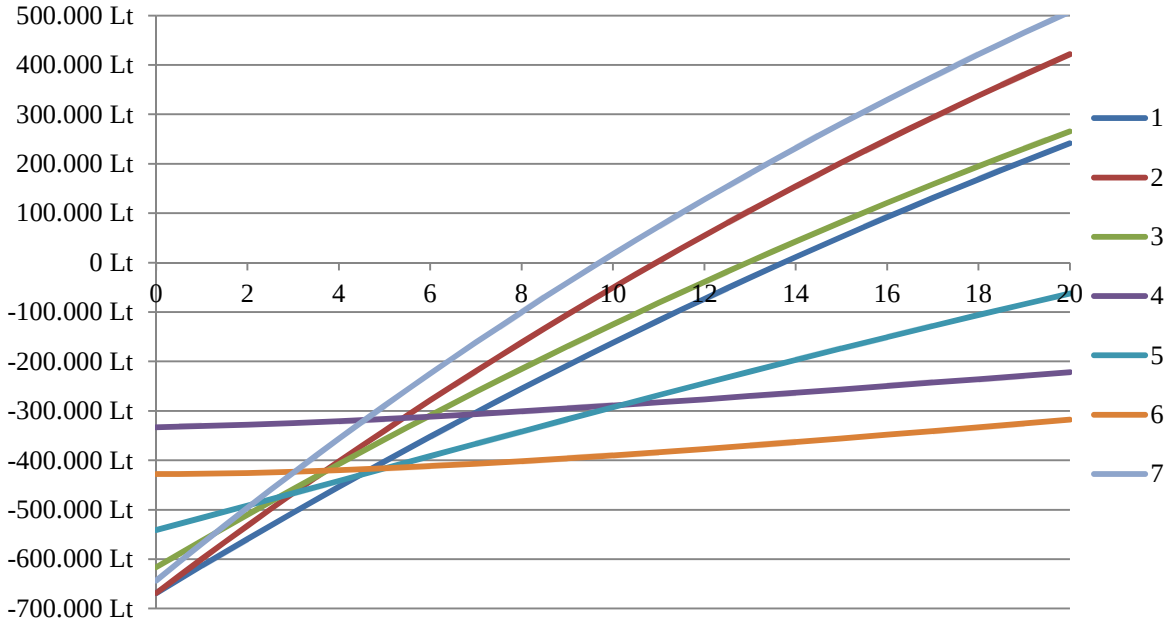
39 pav. Pagamintos elektros energijos 1 kWh savikaina, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo bei 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms

Įvertinus 50 % valstybės paramą įrangos įsigijimo išlaidoms, elektros, pagamintos naujomis saulės energijos sistemomis, savikaina bet kuriuo scenarijumi yra mažesnė už dabartinę, mokamą UAB „LESTO“ už centralizuotai tiekiamą elektros energiją. Išskyrus {4} ir {6} scenarijus, pagamintos elektros kaina už perkamos mažesnė net iki 3 kartų. Tai rodo, jog saulės energijos, gaminančios elektrą, sistemos yra ypatingai paklausios ir leidžia pasiekti nemažus sutaupymus. Įvertinus tokią valstybės kompensaciją, {7} scenarijaus elektros savikaina sumažėja beveik per pus – iki 16,3 ct/kWh. Savikainos sandara išlieka nepakitus, didžiausiai daliai (apie 70 %) tenkant investicijai į naujos sistemos diegimą.

Galiausiai analizei pasirinktas atvejis, kuomet saulės elementų sistemoms gaminant perteklinę energiją, ši būtų parduota į elektros tinklą (atsižvelgiant į metinį patiektos į ir gautos iš centralizuoto tiekimo tinklo elektros balansą). Be to, vertinama 15 % valstybės teikiama parama darbų įvykdymo išlaidoms kompensuoti. Rezultatai pateikiami 14 lentelėje bei grafiškai pavaizduojami 40 paveiksle.

14 lentelė. Metiniai elektros srautai bei su jais susijusios išlaidos

Scenarijus	Instaliuota galia, kW	Elektros poreikis, MWh	Saulės energijos sistema pagaminta elektra, MWh	Į elektros tinklą patiekta elektra, MWh	Iš elektros tinklo gauta elektra, MWh	Parduotas kiekis, MWh	Gautos pajamos, LT
1	60,84	53,9	74,3	53	32,6	20,4	40975
2	60,84		81,5	59,7	32,1	27,6	55437
3	51,74		72,7	51,6	32,8	18,8	37762
4	11,44		12,5	1,2	42,7	0,0	0
5	37,44		58,9	39,3	34,3	5,0	10043
6	23,40		15,4	2,7	41,2	0,0	0
7	72,28		86,8	64,6	31,8	32,8	65882



40 pav. Saulės energijos sistemų kombinacijų GEV grafikas, esant 15 % kompensacija darbų įvykdymo išlaidoms, o perteklinė elektra parduodama

Įvertinus pajamas, gautas už parduotą perteklinę elektrą, scenarijų rezultatai pradeda labiau skirtis. Ekonomiškai priimtinesniais tampa tie, kuriuose instaliuota saulės elementų sistemų galia yra didesnė. Dėl šios priežasties pagaminama daugiau perteklinės energijos ir gaunama daugiau pajamų ją pardavus. Šiuo atveju, patraukliausiu tampa {7} scenarijus, kuomet ir be didesnės valstybės paramos jo realusis (diskontuotas) atsipirkimo laikas sutrumpėja iki kiek daugiau nei 9 metų, nors ir reikalingos didžiausios investicijos. Išsiskiria ir {3} scenarijus, kuriame saulės elementai orientuoti palankesniu kampu ir su sąlyginai mažesne instaliuota galia yra pagaminamas panašus elektros energijos kiekis. Tai įrodo, jog elementų orientavimas daro didelį poveikį rezultatams. {4} ir {6} scenarijų atvejais, neparduodant jokio pagamintos elektros pertekliaus, rezultatai nekinta lyginant su anksčiau nagrinėtu atveju (tik 15 % valstybės parama darbų įvykdymo išlaidoms).

Atlikus ekonominę analizę matyti, jog valstybės parama yra labai svarbi, renkantis integruoti AEI renovuojant daugiabučius pastatus, ar ne. Parama leidžia ne tik sulyginti tokių sistemų gaminamos energijos savikainas iki šiuo metu iš CŠT tinklų perkamos energijos kainų, tačiau elektros gamybos atveju, netgi sumažinti pagamintos energijos savikainą iki 3 kart (lyginant su centralizuotai tiekiamos elektros energijos kaina). Taip pat, nesant valstybės paramai, naujai įdiegtų sistemų atsipirkimas viršija 20 metų, o tai viršija numatomą pačios sistemos gyvavimo trukmę. Įvertinus paramą atsipirkimo laikas sutrumpėtų iki priimtinų 8-10 metų (priklausomai nuo scenarijaus) laikotarpio.

Labai panašūs rezultatai gaunami vertinant perteklinės elektros energijos pardavimą į tinklą. Tokia sąlyga daugelyje scenarijų sumodeliuotų sistemų atsipirkimo laikus sutrumpina iki priimtinų – 9 ir šiek tiek daugiau metų.

12. LYGINAMIEJI RODIKLIAI

Atliekant mokslinį darbą yra svarbu, jog jis būtų aktualus ir naudingas ne tik dabar, bet ir ateityje, o jame gautais rezultatais galėtų pasinaudoti kiti tyrėjai. Skirtinguose darbuose nagrinėjant vis kitokias problemas tiesioginis gautų rezultatų palyginimas gali būti labai sunkus ar netgi neįmanomas. Vis dėlto, apskaičiavus ir pateikus lyginamuosius rodiklius, netgi ir labai skirtingų problemų sprendimas gali būti palygintas tarpusavyje.

Baigiamajame darbe atlikus pagrindinį tyrimą (naujų sistemų modeliavimą) ir jo analizę gaunami tokie lyginamieji rodikliai:

- Daugiabučio pastato buto naudingas plotas, tenkantis vienam saulės kolektorių, gaminančių šilumą, ploto vienetui (vasarą negaminant perteklinės šilumos) – **10,0 m^2/m^2**;

- Daugiabučio pastato naudingas plotas, tenkantis vienam saulės kolektorių, gaminančių šilumą, ploto vienetui (vasarą negaminant perteklinės šilumos) – **14,8 m^2/m^2**;
- Pagamintas metinis šiluminės energijos kiekis, naudojant saulės kolektorius (vasarą negaminant perteklinės šilumos) – **301 kWh/m^2**;
- Saulės kolektorių sistemos (vasarą negaminant perteklinės šilumos) įrengimo išlaidos (valstybei kompensuojant 15 % darbų įvykdymo išlaidų), įvertinant visą reikalingos įrangą bei užmokestį už darbą – **1859 LT/m^2**;
- Saulės kolektorių sistemos (vasarą negaminant perteklinės šilumos) įrengimo išlaidos (valstybei kompensuojant 15 % darbų įvykdymo išlaidų), įvertinant visą reikalingos įrangą bei užmokestį už darbą, tenkančios buto naudingo ploto vienetui – **185,8 LT/m^2**;
- Vidutinis metinis pagamintos elektros energijos kiekis, naudojant saulės elementus (vertinant įvairius sistemų derinius), tenkantis instaliuotai galiai – **1213 kWh/kW**;
- Vidutinės saulės elementų sistemų įrengimo išlaidos (valstybei kompensuojant 15 % darbų įvykdymo išlaidų), įvertinant visą reikalingos įrangą bei užmokestį už darbą (vertinant įvairius sistemų derinius) – **1030 LT/m^2** arba **6540 LT/kW**.

13. JAUTRUMO ANALIZĖ

Jautrumo analizei pasirenkamas {7} scenarijus, kadangi juo maksimaliai bei optimaliai (šilumos gamybos atžvilgiu), taip pat įvairiausiai (saulės elementai montuojami 3 skirtingose vietose), išnaudojamas pastato apvalkalo plotas saulės sistemų įrengimui.

Saulės kolektoriai

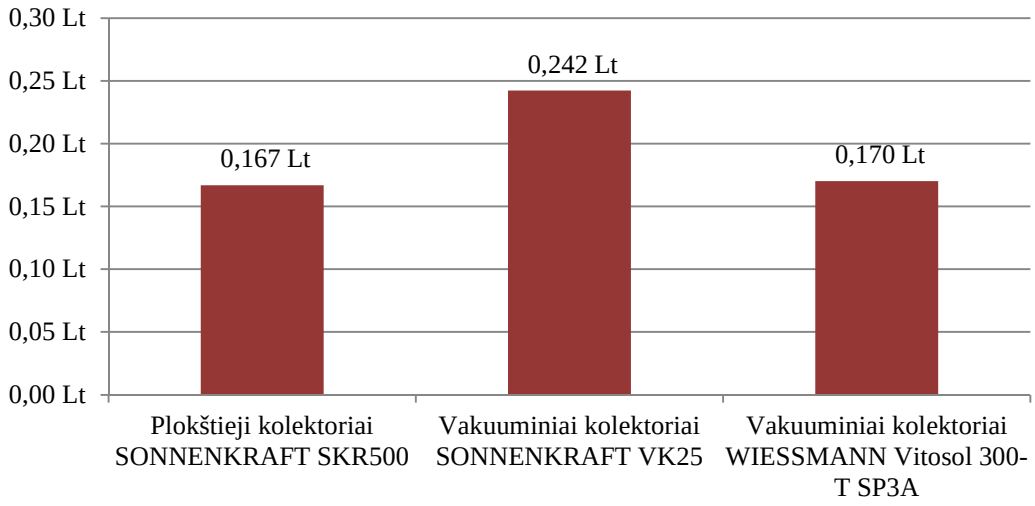
Šiuo metu saulės kolektorių įvairovė rinkoje yra labai plati. Tarpusavyje kolektoriai skiriasi parametrais bei veikimo charakteristikomis, todėl tam tikrų kolektorių pasirinkimas nulemia pagamintos energijos kiekį. Dar didesnis pagamintos šilumos skirtumas jaučiamas tarp sistemų, kuriose naudojami plokštieji arba vakuuminiai saulės kolektoriai. Dėl šios priežasties jautrumo analizėje nagrinėjami atvejai, kuomet toje pačioje sistemoje modeliuojant naudojami ne plokštieji, o skirtingų gamintojų vakuuminiai kolektoriai. Visi kiti įrengimai lieka nepakitę.

Pirmuoju atveju pasirenkami tos pačios firmos vakuuminiai saulės kolektorius SONNENKRAFT VK25, kurių kaina – 4765 LT/vnt [80]. Išvengiant perteklinės šilumos gamybos vasarą, įrengiamas kolektorių plotas turėtų būti 120,79 m^2 (47 kolektoriai). Tokia sistema per metus būtų pagaminamas 46,2 MWh (sutaupoma 0,91 t.n.e. PE) energijos kiekis, kuris leistų užtikrinti 63

% karštam vandeniui ruošti reikalingos energijos kiekio (vietoje ankstesnių 54 %). Vakuuminių kolektorių įrengimas sistemoje kainuotų 223955 Lt.

Antruoju atveju įrengiami WIESSMANN Vitosol 300-T SP3A vakuuminiai saulės kolektoriai, kurių kaina – 6198 LT/vnt [81]. Dėl jų didelio ploto (4,32 m^2/kolekt.), iš viso reiktų instaliuoti 25 tokius kolektorius, kurių bendras plotas būtų 108,00 m^2. Tokios sprendimo kaina siekia 154950 Lt, o pagaminamas energijos kiekis yra 45,5 MWh (sutaupoma 0,90 t.n.e. PE), o tai leidžia užtikrinti 61 % karštam vandeniui ruošti reikalingos energijos kiekio.

Lyginant šias dvi alternatyvas matyti, jog pirmuoju atveju pabranginus sistemą 92069 Lt (51 plokščiojo kolektoriaus kaina – 131886 Lt), būtų pagamintas 6,7 MWh didesnis energijos kiekis (anksčiau pagaminamas 39,5 MWh šilumos kiekis). Įdiegus WIESSMANN vakuuminius saulės kolektorius sistema pabrangtų 23064 Lt, o pagamintas energijos kiekis būtų 6,0 MWh didesnis. Iš karto matyti, jog antroji alternatyva yra priimtinesnė, kadangi skiriantis kainai pagamintos energijos kiekis skiriasi labai mažai, lyginant su pirmąja alternatyva. Vis dėlto, nors vakuuminių kolektorių pasirinkimas rodo aiškią naudą energiniu požiūriu, ekonominiu požiūriu nė viena alternatyva negali būti tokia priimtina, kaip baziniuose scenarijuose sumodeliuotos sistemos, naudojant plokščiuosius saulės kolektorius. Siekiant atlikti palyginimą, apskaičiuota, kokią dedamąją šilumos savikainoje (20 metų laikotarpyje) sudaro tam tikri saulės kolektoriai. Rezultatai pateikiami 41 paveiksle.

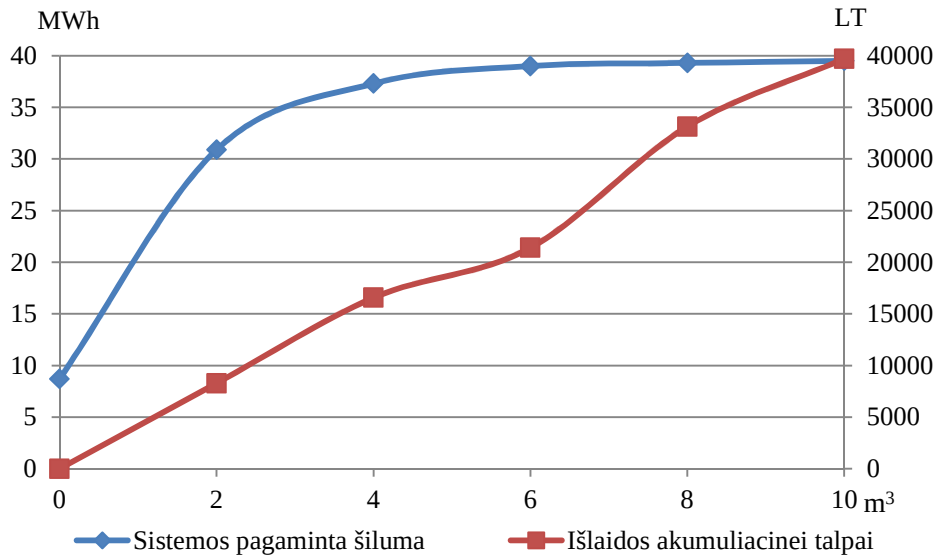


41 pav. Šilumos kainos dedamoji naudojant skirtingus kolektorius

Kaip matyti iš rezultatų, ekonomiškai patraukliausias variantas yra plokščiųjų SKR500 kolektorių naudojimas sistemoje. Vis dėlto, pasirinkus WIESSMANN vakuuminius saulės kolektorius, energijos kaina pakistų nežymiai, bet tuo pačiu būtų pagaminamas 15 % didesnis metinis šiluminės energijos kiekis. Be to, šiems kolektoriams reiktų 23 m^2 mažiau stogo ploto, kuris galėtų būti panaudotas papildomiems saulės elementams, kuriais pagaminus daugiau perteklinės elektros ir ją pardavus galėtų būti gautas didesnis pelnas.

Akumuliacinė talpa

Akumuliacinės talpos tūris taip pat svarbus faktorius saulės energijos sistemose. Jam esant per mažam ir esant mažam karšto vandens vartojimui, akumuliacinė talpa greitai pasiekia šiluminį talpumą ir atsiranda tikimybė perkaitinti pačius kolektorius. Talpai esant per didelei, joje esantis šilumnešis niekada nepasiekia aukštų temperatūrų ir dėl to krenta visos sistemos efektyvumas. Be to, didelės akumuliacinės talpos reikalauja daugiau investicijų. {7} scenarijuje numačius įrengti 10 m^3 akumuliacinę talpą, jautrumo analizėje nagrinėjamas pagamintos ir karštam vandeniui ruošti panaudotos energijos metinis kiekis bei skirtingoms talpos reikalingos investicijos, kai akumuliacinės talpos tūris yra: 2 m^3, 4 m^3, 6 m^3, 8 m^3. Didesnės akumuliacinės talpos pasirinkimas priverstų keisti (į didesnę pusę) ir saulės kolektorių plotą, kadangi dabar parinkta talpa optimaliai pritaikyta maksimaliai galimam pagamintos šilumos kiekiui.



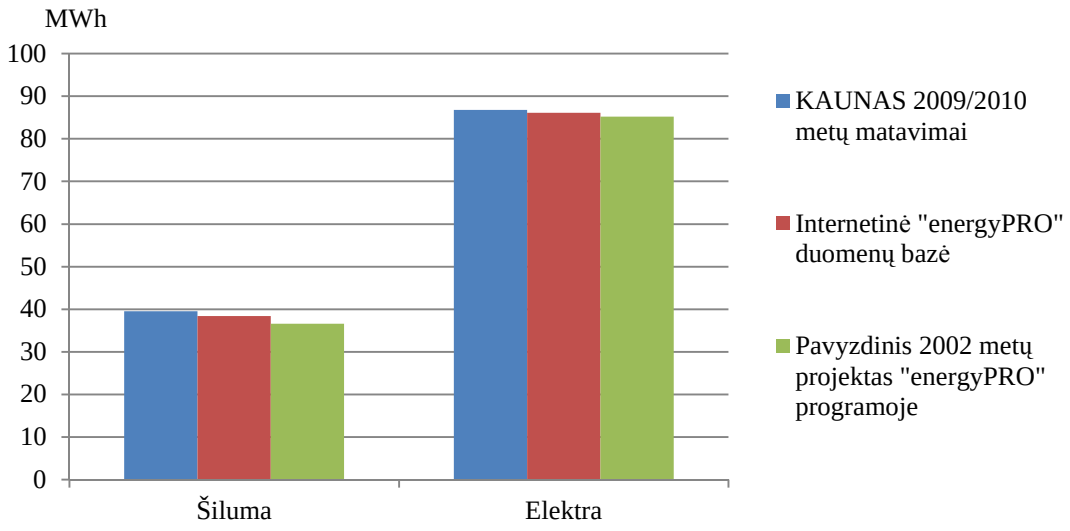
42 pav. Akumuliacinės talpos tūrio ir metinės pagamintos energijos bei kainos priklausomybė

Iš 42 paveiksle pateiktų rezultatų matyti, jog pradedant 6 m^3 ir akumuliacinei talpos tūriui didėjant, bendras metinis pagamintas energijos kiekis kinta nežymiai, nors kaina didėja proporcingai. Tačiau, mažėjant akumuliacinei talpai, kolektoriai turi dažniausiai išsijunginėti arba turi būti galimybė šilumą utilizuoti, ją tiesiog išmetant į orą. Tam reikalingi papildomi brangūs įrengimai. Kita išeitis norint sėkmingai naudoti mažesnę akumuliacinę talpą – mažinti kolektorių plotą. Galiausiai, rezultatus perskaičiavus 20 metų laikotarpiui, grafikas pasikeis ir sistemos pagamintos šilumos kreivės (mėlyna spalva) eksponentė taps panašesnė į išlaidų akumuliacinei talpai eksponentę.

Įdomu tai, jog nesant akumuliacinei talpai sistemoje, vis tiek būtų pagaminamas 8,7 MWh per metus šilumos kiekis. Vadinasi, tuo metu saulės kolektorių šilumos gamyba bent iš dalies arba visiškai sutampa su karšto vandens poreikiu.

Klimatologiniai duomenys

Modeliuojant klimatologiniai duomenys yra labai svarbūs, kadangi daugelis jų (lauko temperatūra, saulės spinduliuotė) tiesiogiai veikia sistemą ir tuo pačiu modeliavimo rezultatus. Būtent todėl yra labai svarbu naudoti kuo tikslesnius, geriausia norminius (ar perskaičiuotus į norminius), klimatologinius duomenis. Šio darbo jautrumo analizėje nagrinėjami keli atvejai, naudojant skirtingų duomenų bazių metines temperatūras. Duomenų šaltiniai detaliau aprašyti 7.2. poskyryje.



43 pav. Energijos gamyba, modeliavimui naudojant skirtingus metinių temperatūrų duomenis

Iš rezultatų matyti, jog {7} scenarijuje naudojant skirtingas metines temperatūras, gaunamas rezultatas (pagamintos energijos požiūriu) visais atvejais yra skirtingas. Pagamintas šilumos kiekis naudojant programos „energyPRO“ internetinę duomenų bazę, lyginant su realiai išmatuotų temperatūrų naudojimu, skiriasi 2,8 %, o naudojant temperatūras iš pavyzdinio 2002 metų projekto (taip pat „energyPRO“ programoje) – 7,3 %. Nagrinėjant pagamintos elektros kiekį skirtumai dar mažesni – atitinkamai 0,8 % ir 1,8 %.

Taigi galima daryti išvadą, jog nors klimatologiniai duomenys daro tiesioginį poveikį modeliavimo rezultatams, jis, žvelgiant iš vienų metų perspektyvos, nėra didelis. Kita vertus, nagrinėjant 20 metų laikotarpį, net ir nedidelis vienu ar kitu atveju nepagamintos energijos kiekis per metus, gali tapti svariu. Vis dėlto, darant prielaidas ir modeliuojant reali situacija niekada nebus pasiekta, o toks nedidelis klimatinių duomenų skirtumas didelių nuokrypių neįveda.

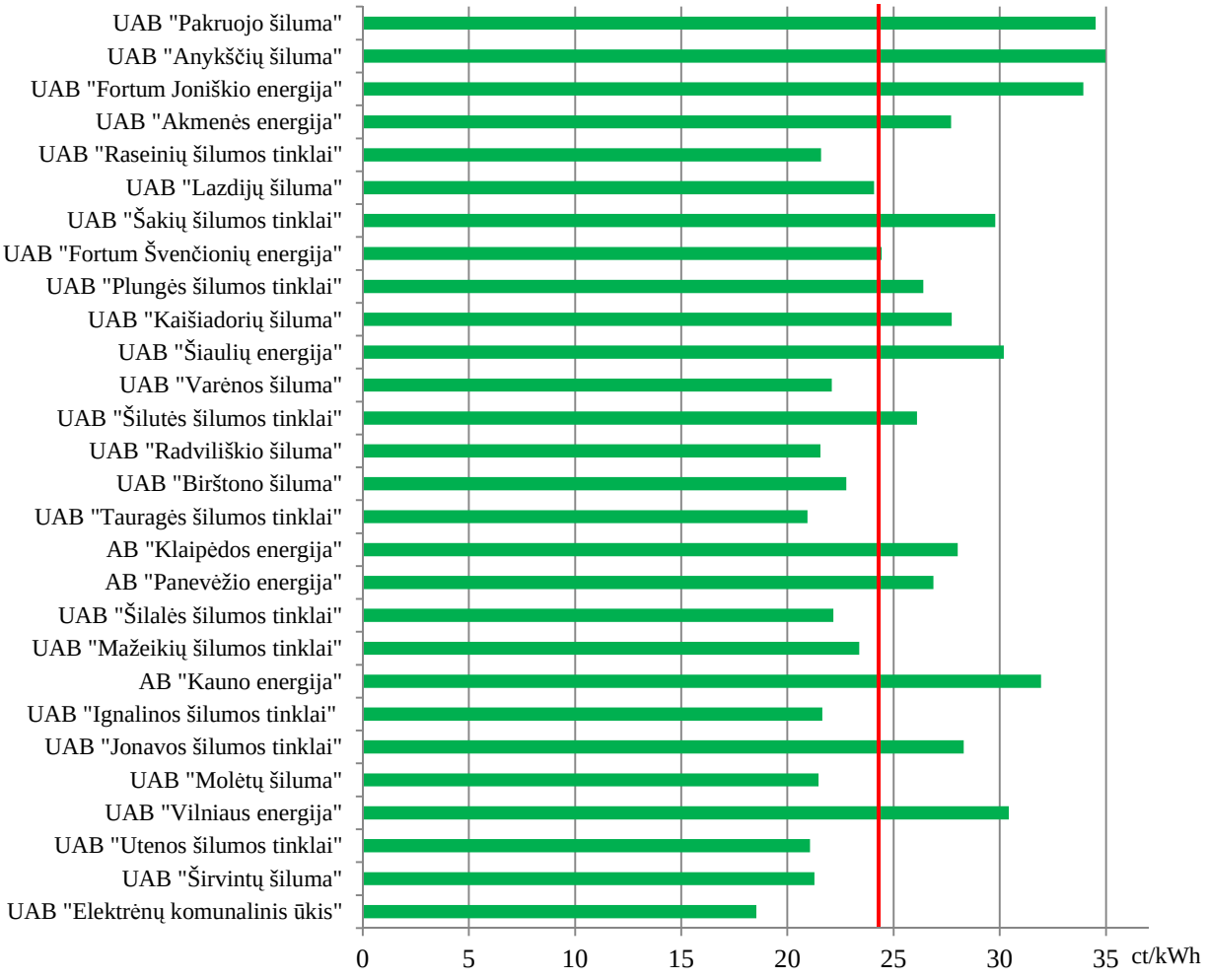
Kolektorių pasvirimo kampas

Atlikus įvairių scenarijų modeliavimą, o 9.3. poskyryje nagrinėjant rezultatus pastebėta, jog skirtingas saulės elementų orientavimo kampas daro nemažą poveikį pagamintos elektros energijos kiekiui. Nagrinėti du atvejai, kada saulės elementai orientuoti 90° ir 45°. Rezultatai parodė, jog panaudojant pietrytinės sienos plotą yra galimybė įrengti 90 vertikaliai orientuotų elementų arba 55

elementus, orientuotus 45° kampu. Antruoju atveju elementų skaičių sumažinus beveik per pus (apie 40 %), pagamintos energijos kiekis sumažėjo tik apie 10 % (nuo 15,4 iki 13,8 MWh), kaip ir sutaupytos PE kiekis (nuo 2,25 t.n.e. iki 2,02 t.n.e.). Tokia mažesnio galingumo, bet ne efektyvumo sistema kainuotų daugiau nei 63 tūkst. Lt pigiau.

Šilumos kaina

Skirtinguose Lietuvos miestuose šilumos, gaunamos iš CŠT, kaina skiriasi. Remiantis LŠTA, vidutinė šilumos kaina gyventojams (po 2012-05-11 atliktų perskaičiavimų) 44 paveiksle pavaizduojama grafiškai. Grafike raudona linija pažymėta {7} scenarijuje saulės kolektoriais pagamintos šilumos savikaina (24,3 ct/kWh), įvertinant valstybės suteikiamą 15 % kompensaciją darbų įvykdymo ir 50 % įrangos įsigijimo išlaidoms.



44 pav. Centralizuotai tiekiamos šilumos kaina skirtinguose Lietuvos miestuose [82]

Iš grafiko matyti, kuriuose miestuose {7} scenarijuje siūloma sistema, pagal dabartines šilumos kainas, yra priimtina, vertinant šilumos gamybos savikainą. Labiausiai išsiskiria Pakruojis, Anykščiai, Joniškis, Kaunas, kiek mažiau – Vilnius, Šakiai, Šiauliai. Įrengus siūlomą sistemą šiuose miestuose, karšto vandens ruošimo kaštai sumažėtų nuo 5 iki 10 ct/kWh.

IŠVADOS

1. Atlikus literatūros apžvalgą nustatyta, jog pagrindinė saulės energijos panaudojimo, renovuojant senus daugiabučius pastatus, problema yra įrengtų pavyzdinių sistemų trūkumas, tokių sistemų veikimo rezultatų publikavimas bei Lietuvos klimatinių sąlygų tinkamumo pagrindimas. Kitų šalių patirtis rodo, jog tiek saulės kolektorių, tiek saulės elementų sistemos efektyviai naudojamos.
2. Atlikus Vilniuje realiai veikiančios saulės sistemos, ruošiančios karštą vandenį, su 15,5 m^2 plokščiųjų saulės kolektorių, stebėseną ir analizę nustatyta, jog per analizuotą 5 mėnesių laikotarpį vidutiniškai buvo pagaminta daugiau nei 2,5 kWh/m^2 šilumos per parą, ko pakaktų paruošti beveik 1 m^3 karšto vandens (per parą karšto vandens kiekis vienam žmogui yra apie 200 *l*).
3. Matavimais nustatyta, jog analizuotoje vietovėje saulės kolektorių įrengimas 60° kampu yra geriau, negu montuojant juos horizontaliai. Atlikus skaičiavimus, vidutinis plokščiųjų kolektorių efektyvumas (65,3 %) gautas didesnis nei deklaruojamas gamintojo (60,2 %). Tokie rezultatai gauti dėl nedidelio matavimo įrangos kalibravimo nuokrypio, tačiau tai leidžia šį rodiklį panaudoti modeliuojant naujas sistemas.
4. Modeliuojant 2 skirtingas karšto vandens ruošimo plokščiaisiais saulės kolektoriais sistemas nustatyta, jog kolektoriais padengus visą tiriamojo objekto Birštone stogą (vengiant šešėliavimo įrengiant 80 kolektorių (plotas 205,6 m^2)), 58 % užtikrinamas metinis karštam vandeniui ruošti reikalingas energijos kiekis. Kitu atveju, vengiant perteklinės šilumos gamybos vasarą, įrengiamas 51 kolektorius (plotas 131,1 m^2), tačiau sistemos indėlis sumažėja iki 48 %. Sistemos per metus atitinkamai pagamina 61,9 MWh ir 39,5 MWh šilumos bei sutaupo 1,36 t.n.e. ir 0,78 t.n.e. PE kiekio.
5. Lyginant stebėtos ir sumodeliuotos ({7} scenarijus) sistemų rezultatus nustatyta, jog stebėtoje sistemoje per beveik 5 mėnesių laikotarpį, kuomet vyravo vasaris klimatas, 15,5 m^2 kolektorių blokas pagamino 5715 kWh šiluminės energijos (369 kWh/m^2). Tuo tarpu sumodeliuotoje sistemoje šis rodiklis siekia 301 kWh/m^2, o tai yra 18,4 % mažiau.
6. Modeliuojant 7 skirtingas saulės elementų sistemas, kurių galios svyravo nuo 11,4 kW iki 37,4 kW, jas kombinuojant tarpusavyje ir įrengiant ant palankiausių pastato atitvarų (stogo, pietrytinio fasado, pietvakarinio fasado), pagaminamas metinis elektros energijos kiekis, tenkantis pastato naudingam plotui, siekia nuo 8 kWh/m^2 iki 45 kWh/m^2. Daugeliu atvejų saulės elementų sistemomis buvo visiškai užtikrintas 53,9 MWh metinis elektros poreikis. Esant perteklinei elektros gamybai ji parduodama į tinklą, tokiu būdu sutaupant 2,7 karto didesnį pirminės energijos kiekį.

7. Tiek energiniu, tiek ekonominiu požiūriu priimtiniausiu įvertintas {7} scenarijus (įvairiausia sistema), kuomet užtikrinama 48 % metinio energijos kiekio, reikalingo karštam vandeniui ruošti. Saulės kolektorių sistemai pagaminant 39,5 MWh šilumos per metus, saulės elementų sistemos pagamina net 160 % metinio suvartojamos elektros poreikio.
8. Vertinant dabartines energijos kainas, 15 % valstybės paramą darbų įvykdymo išlaidoms, 3 % metines palūkanas ir 20 metų nagrinėjamą laikotarpį, sumodeliuotų scenarijų atsipirkimas viršija jų numatytą gyvavimo ciklą (20 metų). Siekiant atsipirkimo laiką turėti priimtinesnį, t. y. apie 8-10 metų, yra būtina 50 % valstybės parama įsigyjant AEI (šiuo atveju saulės energijos) sistemas. Parduodant pagamintą elektros perteklių, pasiekiamas apie 10 metų PAL.
9. Esant nulinei arba mažai (15 % darbų įvykdymo išlaidoms) valstybės paramai, pagamintos šilumos savikaina beveik dvigubai (iki 49 %) viršija dabartines šilumos kainas. Tuo tarpu elektros energijos savikaina, esant nulinei ar mažai valstybės paramai, beveik visais atvejais yra žemesnė, negu dabartinė rinkos kaina. Įvertinus 50 % paramą atsinaujinančios energijos sistemų įsigijimui, šilumos savikaina susilygina su rinkos kaina, o elektros savikaina tampa žemesnė net iki 3 kartų.
10. Atlikta jautrumo analizė parodė, jog karšto vandens ruošimui pasirinkti plokštieji saulės kolektoriai šilumos savikainą įtakoja mažiausiai, negu kiti. Skirtingų klimatologinių duomenų bazių naudojimas gali šiek tiek daugiau nei 7 % procentais paveikti galutinius rezultatus, tačiau tai pastebima tik naudojant pakankamai senus, 2002 metų duomenis. Kitais atvejais rezultatų neatitikimas neviršija 3 %.

LITERATŪRA

1. GOLIC K., KOSORIC V., KRSTIC A. *General models of solar water heating system integration in residential building refurbishment – Potential energy savings and environmental impact*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011), p. 1533-1544
2. MILUTIENĖ, E. *Saulės energijos naudojimas*. Kaunas: KTU, 2009. 26 p.
3. Lietuvos Statistikos Departamentas. *Kuro ir energijos balansas 2010*. Vilnius, 2011
4. Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija. *Taikomasis mokslinis tyrimas "Nacionalinės energijos vartojimo efektyvumo didinimo 2006-2010 metų programos įgyvendinimo analizė ir pasiūlymų dėl šios programos ir jos įgyvendinimo priemonių 2011-2015 metams parengimas"*. Vilnius: COWI, 2009. 133 p.
5. BALARAS, C., A.; DASCALAKI, E., G. *European efforts towards NZEBs and energy conservation in Hellenic buildings*. ASHRAE Transactions, 2011.
6. *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council. 2010 May 19 on the Energy Performance of Buildings (EPBD)*. The European Parliament and The Council of The European Union, 2010. 23 p.
7. LECHTENBÖHMER, S.; SCHÜRING, A. *The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU*. Energy Efficiency 4 (2011), p. 257-270
8. Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra. *Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos visuomenės informavimo kampanijos I etapo komunikacijos strategija*. Vilnius, 2010. 25 p.
9. KONSTANTINOU, T.; KNAACK, U. *Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrades*. Procedia Engineering 21 (2011), p. 666-675
10. RAPCEVIČIENĖ D. *Daugiabučių namų renovacijos efektyvumo vertinimas*. Mokslas – Lietuvos ateitis, 2 tomas, 2010. p. 83-89
11. Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra. *Taikomasis mokslinis tyrimas "Alternatyvių energijos šaltinių, taip pat ir rekuperacinės sistemos panaudojimo, įgyvendinant daugiabučių namų (atnaujinimo) modernizavimo programą, galimybių studija"*. Vilnius: COWI, 2010. 264 p.
12. FOSTER, R., GHASSEMI, M., COTA, A. *Solar Energy. Renewable Energy and the Environment*. CRC Press, 2010. 352 p. ISBN: 978-1-4200-7566-3

13. KHALIGH, A., ONAR, C. O. *Energy Harvesting. Solar, wind and ocean energy conversion systems.* CRC Press, 2010. 368 p. ISBN: 978-1-4398-1508-3

14. WANG R. Z., GE T. S., CHEN C. J., MA Q. XIONG Z. Q. *Solar sorption cooling systems for residential applications: options and guidelines*. International Journal of Refrigeration 32 (2009), p. 638-660

15. ASA.LT. *Saulės kolektoriai* (straipsnis) [žiūrėta 2010-11-18]. Prieiga per internetą: http://lt.lt.allconstructions.com/portal/index/article/3766

16. KYTRA, S. *Atsinaujinantys energijos šaltiniai*. Kaunas: Technologija, 2006. 301 p. ISBN 9955-25-159-X

17. TUBINYTĖ I. *Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo nedidelio kvartalo hibridinėse aprūpinimo energija sistemose analizė* (magistrinis darbas). Vilnius, 2007.

18. Grafinis paveikslas [žiūrėta 2011-01-25]. Prieiga per internetą: http://visual.merriam-webster.com/energy/solar-energy/flat-plate-solar-collector_2.php

19. RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre. *Solar Water Heating Project Analysis*. Canada: Minister of Natural Resources, 2004. 58 p. ISBN: 0-622-35674-8

20. Grafinis paveikslas [žiūrėta 2012-04-22]. Prieiga per internetą: http://www.your-solar-energy-home.com/Evacuated-tube-collectors.html

21. Grafinis paveikslas [žiūrėta 2011-04-22]. Prieiga per internetą: http://www.blueskyenergy.net/downloads-faq.html

22. DGS LV Berlin BRB. *Solar thermal systems.* Ecofys, 2005. 298 p. ISBN: 1-84407-125-1

23. MATUSKA T., SOUREK B. *Facade solar collectors*. Solar Energy 80 (2006). p. 1443-1452

24. VIČIULYTĖ I. *Alternatyva: saulės siena* (straipsnis) [žiūrėta 2011-01-15]. Prieiga per internetą: http://www.elektroklubas.lt/index.php?option=com_content&task=view&id=867

25. Grafinis paveikslas [žiūrėta 2012-05-08]. Prieiga per internetą: http://www.solar-is-future.com/index.php?id=293

26. PEREDNIS E., KATINAS V., TUMOSA A. *Pastatų vėsinimo tyrimai*. Energetika, 2007. p. 57-60

27. JAKŠTAS A. *Energijos transformavimo mašinos*. Vilnius: Technika, 2002. 124 p. ISBN 9986-05-552-0

28. Grafinis paveikslas [žiūrėta 2011-01-26]. Prieiga per internetą: http://www.yazaki-airconditioning.com/en/applications/solar_thermal.html

29. BERMEJO P., PINO F. J., ROSA F. *Solar absorption cooling plant in Seville*. Solar Energy 84 (2010). p. 1503-1512

30. VOSS K. *Solar energy in building renovation – results and experiences of international demonstration buildings*. Energy and Buildings 32 (2000). p. 291-302

31. ŠUKSTERIS, V., JONYNAS, R. *Daugiabučio namo centralizuoto šilumos tiekimo alternatyvų analizė*. Panevėžys, 2011. 9 p.

32. ALLEN, S. R., HAMMOND, G. P., HARAJLI, H. A., MCMANUS, M. C., WINNETT, A. B. *Integrated appraisal of a Solar Water system*. Energy 35 (2010). p. 1351-1362

33. KALDELLIS, J. K., EL-SAMANI, K., KORONAIS, P. *Feasibility analysis of domestic solar water heating systems in Greece*. Renewable energy 30 (2005). p. 659-682

34. VEERABOINA, P., RATMAN, G. Y. *Analysis of the opportunities and challanges of solar water heating system (SWHS) in India: Estimates from the energy audit surveys & review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012). p. 668-676

35. BOLONINA A., KIBURGE I., ROCHAS C., ROCHAS M., BLUMBERGA D. *Compact solar combisystem for an apartment building*. Riga: Scientific Journal of Riga Technical University, 2010. p. 29-34

36. JOHNSTON D. *Solar energy systems installed on Chinese-style buildings*. Energy and Buildings 39 (2007). p. 385-392

37. GOLIC K., KOSORIC V., KRSTIC A. *General models of solar water heating system integration in residential building refurbishment – Potential energy savings and environmental impact*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011). p. 1533-1544

38. GUIAVARCH, A., PEUPORTIER, B. *Photovoltaic collectors efficiency according to their integration in buildings*. Solar Energy 80 (2006). p. 65-77

39. MARTINEZ P.J., VELAZQUEZ A., VIEDMA A. *Performance analysis of a solar energy driven heating system* . Energy and Buildings 37 (2005). p. 1028-1034

40. OZGENERA O., HEPBASLI A. *A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007). p. 482-496

41. DIKICI A., AKBULUT A. *Performance characteristics and energy – exergy analysis of solar-assisted heat pump system*. Building and Environment 43 (2008). p. 1961-1972

42. BAKIRCI K., OZYURT O., COMAKLI K., COMAKLI O. *Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications*. Energy 36 (2011). p. 3224-3232

43. CRAWFORD H., TRELOAR J. *Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia*. Solar Energy 76 (2004). p. 159-163

44. SEONG Y., LIM J., YEO M., IL-DU GOH, KIM K. *HELIOS: Solar rights analysis system for apartment buildings*. Solar Energy 80 (2006). p. 723-741

45. KALOGIROU S. *Economic analysis of solar energy systems using spreadsheets*. Renewable Energy 9 (1996). p. 1303-1307

46. COLLE S., SAMUEL L., ABREU L., RUTHER R. *Uncertainty in economical analysis of solar water heating and photovoltaic systems*. Solar Energy 70 (2001). p. 131-142

47. MICHELSON E. *Multivariate optimization of a solar water heating system using the Simplex method*. Solar Energy 29 (2003). p. 89-99

48. GUNERHAN H., HEPBASLI A. *Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications*. Applied Energy 86 (2009). p. 509-516

49. TIWARI A., DUBEY S., SANDHU G., SODHA M., ANWAR S. *Exergy analysis of integrated photovoltaic thermal solar water heater under constant flow rate and constant collection temperature modes*. Applied Energy 86 (2009). p. 2592-2597

50. YANG H., ZHOU W.,LU L., FANG Z. *Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm*. Solar Energy 82 (2008). p. 354-367

51. FRENI A., MAGGIO G., VASTA S., SANTORI G., POLONARA F., RESTUCCIA G. *Optimization of a solar-powered adsorptive ice-maker by a mathematical method*. Solar Energy 82 (2008). p. 965-976

52. WU Y., REN J., GUO Z., LIANG X. *Optimal analysis of a space solar dynamic power system*. Solar Energy 74 (2003). p. 205-215

53. ROGOŽA A. *Centralizuoto šilumos tiekimo tinklų analizė gyvavimo ciklo požiūriu* (daktaro disertacija). Vilnius, 2003.

54. AZZOPARDI B., MUTALE J. *Life cycle analysis for future photovoltaic systems using hybrid solar cells*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010). p. 1130-1134

55. ESPINOSA N., VALVERDE R., URBINA A., KREBS F. *A life cycle analysis of polymer solar cell modules prepared using roll-to-roll methods under ambient conditions*. Solar Energy Materials & Solar Cells 95 (2011). p. 1293-1302

56. MEIR M., REKSTAD J., PETER M., HENDEN L., SANDNES B. *Determination of the performance of solar systems with the calorimetric method*. Solar Energy 73 (2002). p. 195-207

57. VALLADARES O., PILATOWSKY I., RUIZ V. *Outdoor test method to determine the thermal behavior of solar domestic water heating systems*. Solar Energy 82 (2008). p. 613-622

58. OZGENER O., HEPBASLI A. *Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system*. Energy and Buildings 37 (2005). p. 101-110

59. IEA Solar Heating and Cooling Programme. *State-of-the-Art of Digital Tools Used by Architects for Solar Design*. Report T.41.B.1, 2010. 121 p.

60. NASA Surface meteorology and Solar Energy [žiūrėta 2011-06-12]. Prieiga per internetą: http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=rokasj%40gmail.com&step=2&lat=54&lon=25&num=206145&submit=Submit&p=grid_id&sitelev=-999&veg=17&hgt=+100

61. UAB "Sprendimų biuras" demonstracinis projektas [žiūrėta 2011.06.01]. Prieiga per internetą: http://www.kitokiaenergija.lt/lt/lankytina_saules_kolektoriu_sistema_vilniuje/

62. Programos “energyPRO” internetinis puslapis [žiūrėta 2012.04.23]. Prieiga per internetą: http://www.emd.dk/energyPRO/Introduction/

63. Pastatų energetikos ir Statybos technologijos ir vadybos katedra. *Daugiabučio namo B. Sruogos g. 12 (Birštonas) atnaujinimo (modernizavimo) projekto dalies: namo atnaujinimo (modernizavimo) energinis auditas*. Vilnius, 2010.

64. GeoHack geografinių duomenų internetinė bazė [žiūrėta 2012.02.28]. Prieiga per internetą: http://toolserver.org/~geohack/geohack.php?pagename=Bir%C5%A1tonas&params=54_36_10_N_24_1_14.0_E_region:LT_type:city(3100)

65. Saulės kolektorių SONNENKRAFT SKR500 techninės specifikacijos. Prieiga per internetą: http://www.ecobuild.co.uk/var/uploads/exhibitor/4216/m3nbgqdc5h.pdf

66. Saulės kolektorių SONNENKRAFT SKR500 montavimo instrukcija ir techninės specifikacijos. Prieiga per internetą: http://www.termo-gas.rs/files/skr/100726-112921-66-SSPR-Manual-GB.pdf

67. Fraunhofer ISE. *Report of measurement according to EN 12975-1,2:2006* (kolektorių SONNENKRAFT SKR500 laboratoriniai tyrimai). Prieiga per internetą: http://www.sonnenkraft.si/slovenia/download/100629-111144-SKR500-keymark-test-report-ISE-GB-D.pdf

68. Saulės elementų SCHÜCO MPE MS 08 techninės specifikacijos. Prieiga per internetą: http://www.civicsolar.com/sites/default/files/library/panels/collateral/Schuco%20MPE%20MS%2008_250W%20data%20sheet.pdf

69. KNIGHT I., RIBBERINK H. *European and Canadian non-HVAC Electric and DHW Load Profiles for Use in Simulating the Performance of Residential Cogeneration Systems*. International Energy Agency, 2007. 72 p.

70. Europos Bendrijų komisija. *Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl pastatų energinio naudingumo*. 2010. 23 p.

71. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. *Šilumos tiekimo bendrovių 2010 metų ūkinės veiklos apžvalga*. Vilnius, 2011. 44 p.

72. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. *Elektros energijos rinkos stebėsenos ataskaita už 2010 metus.* Vilnius, 2011. 19 p.

73. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. *Lietuvos Respublikos elektros energijos ir gamtinių dujų rinkų metinė ataskaita Europos Komisijai.* Vilnius, 2011. 100 p.

74. International Energy Agency. *2008 Energy Balance for World*. 2009.

75. LR Vyriausybės 2009 m. rugpjūčio 26 d. nutarimas Nr. 1119. *Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa*. Vilnius, 2009.

76. LR Aplinkos ministerijos Statybos ir būsto departamentas. *Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa pagal JESSICA*. Vilnius, 2010.

77. SONNENKRAFT saulės energijos sistemų ir jos elementų 2012 metų kainynas [žiūrėta 2012.05.18]. Prieiga per internetą: http://www.fesenergy.nl/files/FILES/prijslijst/prijslijst_sks_2012.pdf

78. SCHÜCO saulės elementų sistemų 2011 metų kainynas [žiūrėta 2012.05.18]. Prieiga per internetą: http://www.solarelectricsupply.com/solar-panels/77/Schuco_MPE260MS08.html

79. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. *Energijos, pagamintos naudojant atsinaujinančius energetikos išteklius, tarifai* [žiūrėta 2012.05.18]. Prieiga per internetą: http://www.regula.lt/lt/naujienos/index.php?full=yes&id=14048

80. SONNENKRAFT vakuuminių saulės kolektorių kainynas [žiūrėta 2012.05.18]. Prieiga per internetą: http://www.vimirosolar.com/vimiro_products_v2_Solar_Collectors_pag2.html

81. WIESSMANN vakuuminių saulės kolektorių kainynas [žiūrėta 2012.05.18]. Prieiga per internetą: http://ecomfort.com/products/viessmann-vitosol-300t-sp3-direct-flow-vacuum-tube-solar-collector-universal--20-tubes-215-sq-feet-absorber-area/2647

82. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. *Šilumos kainos* [žiūrėta 2012.05.18]. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/lt/pages/apie-silumos-uki/silumos-kainos

Priedas A

ANALYSIS OF SOLAR DOMESTIC HOT WATER PREPARATION SYSTEM IN VILNIUS BY USING FLAT-PLATE SOLAR COLLECTORS

Arnoldas Vaičaitis[1], **Giedrius Šiupšinskas**[2]
[1]MSc. student, [2]assoc. professor,
Vilnius Gediminas technical university,
e-mail: [1]arnas.va@gmail.com; [2]giedrius.siupsinskas@vgtu.lt

Annotation. Refurbishment of old multi-storey buildings is a key subject of discussions nowadays. This is caused by present programmes and legal acts towards saving energy and making use of it more efficiently. Modernisation of buildings can be carried out starting with improvement of their thermal envelope and ending with installation of new engineering systems. However, in order to reach low energy building characteristics implementing only previous measures is not enough, thus renewable energy sources (RES) must be included into refurbishment plan. In Lithuania the most applicable RES for hot water preparation is solar energy systems. Nevertheless many doubts are arisen upon these systems concerning their suitability for certain building and weather conditions, operation peculiarities, payback periods and etc.
This paper is based on monitoring of operating solar energy system with flat-plate solar collectors that is used for domestic hot water preparation. The analysis of recorded data is made and some typical parameters and characteristics of system operation, it's elements, weather conditions are established.

Key words: RES, solar energy, flat-plate collector, solar collector, DHW, refurbishment.

Introduction

In Lithuania in 2010 the amount of energy consumed in households was one third from the total final energy use (Statistics Lithuania 2011), from which 37 % was thermal energy and 17 % electricity in average, leaving rest shares for gas, coal and wood (Ataskaita 2009). In most European countries buildings account for approximately 40 % of the total energy use (Balaras *et al.* 2011; EPBD recast 2010; Lechtenböhmer *et al.* 2010). Although households in Lithuania are using smaller amount of final energy than the EU average, many improvements in household sector could be done. The majority is old multi-storey apartment buildings (here live 59 % of all residents), constructed in the beginning of 90's and earlier (96 % containing 83 % of inhabitants) (BUPA 2010). Thus, main problematic areas, that might have potentials in huge energy saving (up to 80 % (Ataskaita 2009; Lechtenböhmer *et al.* 2010)), are the old engineering systems and the buildings itself.

Refurbishing the existing multi-storey apartment buildings is an acknowledged issue. However, when a building is subjected for a refurbishment, there is a golden opportunity to change its behaviour as an energy system (Konstantinou *et al.* 2011). Thus it gives not only the better performance of the engineering systems that result in energy (and money) savings, but also the increment of living environment quality can be easily spotted.

The trend of refurbishing multi-storey apartment buildings in Lithuania is mainly based on improving the building's envelope (walls, windows, roof) and modifying old engineering systems (mostly heating) or in the best case changing with new. Despite this, there are examples where refurbishment was made on a big scale by taking into account as many as possible and even installing some new, usually RES technologies. However, such basic renovation without RES implementation allows to achieve only limited savings and refurbished building still remains dependant on centralized grid. Energy Performance of Building Directive (EPBD) states that all new buildings in EU countries built since 2020 (2018 for public buildings) must meet Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) standards (EPBD recast 2010). In order to accomplish the requirements of this directive RES must be included in construction and refurbishment of the buildings.

Yet, no similar directive is valid in Lithuania, thus the main reasons why the trend of such inadequate and basic renovation was developed could be the following: expenses of RES and narrow or preconceived notion about the improper climate conditions in Lithuania that could result in inefficient performance of such systems.

One of the most used RES in building refurbishment process is solar energy systems. Most likely it is because

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

such systems do not require any special maintenance as usually they have small amount of moving elements that could be changed easily, moreover, they operate silently and could be integrated nicely into building's envelope and what is more important – into old engineering systems' grid. However, besides these advantages, there is significant drawback – the price of such system. Having installation costs of more than 3100 Lt/kW for vacuum collectors and about 2900 Lt/kW for flat-plate collectors, usage of thermal energy producing systems results in 11 and 15 years of pay back period respectively (Ataskaita 2010). To make matter worse in this case it exceeds time of designed life cycle of the system. Although mentioned prices include all the components, required for proper and full operation the total investment is still rather high as for supplementary energy system.

Furthermore, juridical problems occur concerning which side will be the owner and responsible for the systems as it is related with additional duties and possible unexpected expenses. Finally, technical problems become present as buffer tank usually is fitted in the basements, what results in heat losses in transition lines. What is more, if mounting it on the roof, besides increased heat losses it also ends up in higher weight loads to the construction.

All in all, energy harvesting from the sun is very popular in European countries. Refurbishing old multi-storey buildings, solar collectors (thermal and PV) are usually mounted on the roofs. In Lithuania the best efficiency is obtained when the roof inclined and one side is oriented straight to the South and tilted 38° from horizon (Ataskaita 2010). In this case there is no need to make additional or special hangers for them. However, if the roof is flat, the collectors by special constructions can be easily orientated to the most desirable direction. Besides roof, solar collectors can be integrated vertically into buildings façade or installed horizontally near the building. Unfortunately, such fitments require additional investments and conditions.

The aim of this article is to analyse the data gathered in already operating solar thermal energy system and establish typical or specific parameters and characteristics of the processes and system elements themselves with purpose to use them in the future researches as main or comparative inputs.

Description of analysed object and solar system

Analysed solar thermal energy system, that produces domestic hot water (DHW) and utilizes redundant heat to heating system, is installed in individual 3-storey house, where live 7 inhabitants. The building itself is located in Vilnius, Tolimoji str. 16A. System, where main elements are flat-plate solar collectors, started to operate on 8th March 2011. On 8th June 2011 the monitoring and measurement of various parameters of interest was launched.



Fig. 1. Analysed object (Tolimoji str. 16A, Vilnius)

DHW is prepared by SONNENKRAFT COMFORT – 1000 solar system with 6 flat-plate collectors SKR500, tilted by 60° of the horizon. Other information about the system (Kitokia energija 2012a):

- 420 m^2 of heated floor area;
- 7 inhabitants;
- area of solar collectors – 15,5 m^2;
- buffer tank – 1000 *l*;
- peak capacity of the solar system – 12 kW;
- year of building construction – 1995.

Collectors are orientated to South-East. Length of the whole contour connecting solar collectors and buffer tank is 40 m. 25 m of it is laid in the 3rd floor that is not heated, so in this transition section quite big heat losses occur. As a heat carrier water and ethylene glycol mix is used. The flow rate of heat carrier is rather high – 35 *l*/min. For this, it is possible to use fresh water module to produce DHW in the moment of demand. Together with this equipment, also control unit, monitoring gauges, data collection elements, electric heater and efficient GRUNDFOS circulation pump SOLAR 15–65 130 are kitted with the buffer tank.

There already is a possibility to follow the operation of the whole system through the internet connection. Recorded parameters are the following:

- temperatures of inflow/outflow from the collectors;

– temperature in outlet from buffer tank to heating system;
– temperature in outlet from buffer tank to fresh water module;
– temperature at the outflow of heating system boiler;
– operation load of circulation pump in solar collector contour (in percentages from max speed);
– operation load of circulation pump in heating system contour (in percentages from max speed).

In order to make such system an autonomic one 2 PV collectors in the near future will be integrated (see Fig. 2).



Fig. 2. Solar PV collectors

They will have total power of 460 W and will charge 190 Ah accumulators. Collectors are already mounted on vertical outside wall orientated to South-East, but the system is not launched yet.

Research technique and equipment

For the analysis of described system direct measurement of additional parameters of interest was chosen. Primary monitoring system recorded only basic parameters with probes located near buffer tank. However more detailed analysis required more complex system monitoring by adding measurement equipment to other system's elements. Lastly, when data is gathered it is processed and obtained results are discussed.

The analysed system was divided into two virtual parts: inside (buffer tank and all accessories) and outside (solar collectors). It was done in order to simplify the data gathering and later processing. The interval of recording the parameters was chosen to be 5 minutes, the same as basic monitoring system's settings. In total 16 parameters were being recorded (all the measurements are still in progress).



Fig. 3. Solar collectors and measurement equipment

For the outside part – solar collectors contour (see Fig. 3) – following parameters were measured:
– Temperature of heat carrier at the inflow into solar collector block (Fig. 4, point 6);
– Temperature of heat carrier at the outflow from solar collector block (Fig. 4, point 0);
– Temperature of heat carrier between each separate solar collector (Fig. 4, points 1-5);
– Solar radiation flux to the horizontal plane;
– Solar radiation flux to the plane, perpendicular to solar collectors' tilt angle (60°).

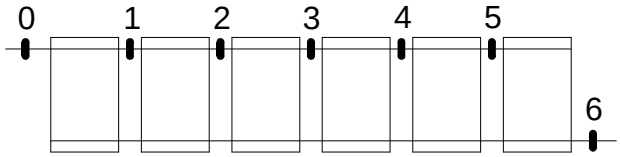


Fig. 4. Scheme of measurement points in solar collectors' block

For the inside part – buffer tank (see Fig. 5) – following parameters were measured:
– Temperature of heat carrier at the outflow from buffer tank to solar collectors;
– Temperature of heat carrier at the inflow to buffer tank from solar collectors;
– Temperature of prepared DHW;
– Temperature of DHW in circulation line;
– Temperature of heat carrier at the outflow from buffer tank to fresh water module for DHW preparation;

– Temperature of heat carrier at the inflow to buffer tank from fresh water module after DHW preparation.



Fig. 5. Buffer tank and measurement equipment

For the data collection ONSET measurement equipment was chosen. HOBO line's pack of devices and probes was used. Equipment is presented in Table 1.

Table 1. Composition of measurement equipment pack

Device	Model	Quantity
Meteorological station	HOBO U30-GSM	1
Pyrometer	S-LIB-M003	2
Temperature sensor	S-TMB-M017	8
Data logger	HOBO U12-006	2
Temperature sensor	TMC20-HD	6

The measurement equipment was installed by professional staff so the possibility of human mounting error is considered only in the case of big discrepancy.

Data analysis

The analysis of different characteristics of system was made. One of them represents systems ability to respond to changing climatic conditions and other show how the system operates when influenced by consumers. Thus there are several subchapters of different points of view to the analysed solar thermal system.

Tilt angle

There is often argued what the best tilt angle of solar collectors is in order to produce the highest possible amount of energy. These angles by experimental and practical observations are said to be different in different countries as it strongly depends on the common position of the sun in the sky. In Lithuania optional angle is calculated to be 36°–38° and orientated to South or from 30° to 60° in broader perspective (Ataskaita 2010).

In the research two different tilt angles were measured and analysis made for the system of interest. Probes were installed in such way that solar radiation incidenting perpendicular to solar collectors' surface and incidenting to horizontal plane were measured.

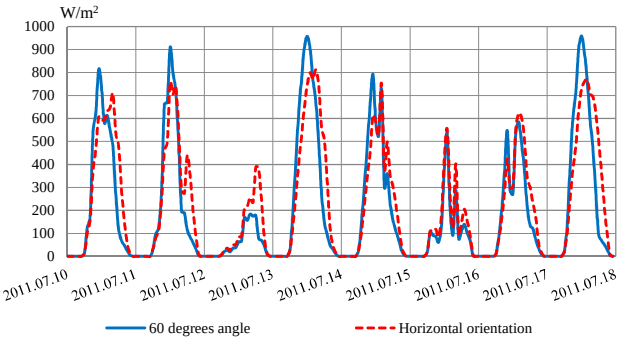


Fig. 6. Solar radiation per summer week

Graph shows solar radiation to different projections during one typical summer week. It is determined that solar radiation is more intense to 60° tilted plane in the first part of a day or approaching midday. However, in the afternoon, when the sun reaches its highest point in the sky, more energy is incidented to horizontal plane. Data shows, that during the analysed week total solar radiation to inclined plane was 39,3 kW/m^2, while horizontal plane was directed to 9,8 % more energy – 43,1 kW/m^2.

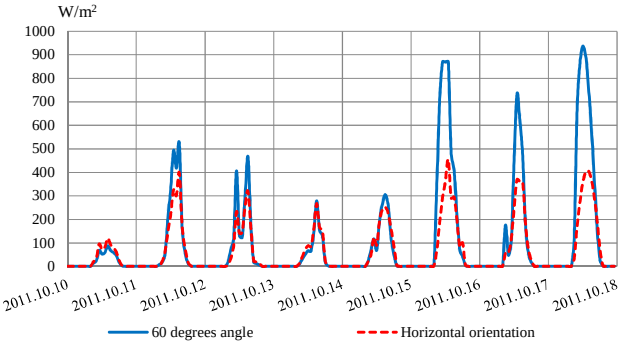


Fig. 7. Solar radiation per autumn week

Figure 7 shows solar radiation into different projections during one typical autumn week. In this case the obtained results were opposite as mostly inclined plane was the one, catching the highest amount of solar energy. During this specific autumn week energy amount, incidenting on inclined plane was 34,7 % higher (20,3 kW/m^2) than horizontal (13,3 kW/m^2).

Results show that although there is a period of time, when horizontal orientation with 0° tilt angle is better, the dominant conditions are more like the autumn ones. This means that the sun a longer period is in the lower position in the sky than in the position in the summer. Thus, choosing to tilt solar collectors at least 60° is better than installing them horizontally.

Moreover, analysing system in this way and adding additional tilt angles for measurement (e.g. 90° and 30°) there would be a possibility to experimentally, in graphical way, determine the best tilt angle for this specific analysed location.

Solar radiation per hour

Another interesting index is solar radiation each hour. Data is presented as average values for the whole analysed and processed time period: since 2011-06-09 till 2011-10-31.

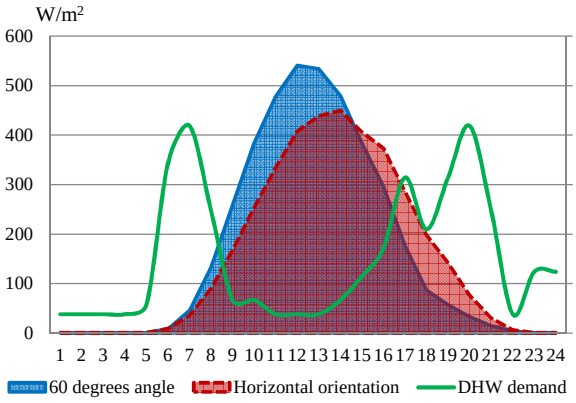


Fig. 8. Average solar radiation per analysed period and principal DHW consumption graph

Results show that highest peak of energy absorption is when solar collectors are tilted by 60°. Nevertheless, horizontal orientation of solar collectors prolongs time, when solar energy is being captured. If analysing DHW production the best scenario is when energy supply meets the demand. However, it is clearly seen, that peak consumption is in hours, when solar energy is produced not so intensively. If solar energy would be supplied straight to DHW production unit then it would be better to choose horizontally orientated solar collectors as their characteristics are more similar to the DHW consumption/production characteristics. On the other hand, inclined solar collectors can produce higher amount of energy (filled space in Fig. 8). Thus, it is obvious that proper buffer tank is in need in such system to store and accumulate energy when demand occurs.

Temperature of heat carrier

As distributional heat carrier supply pipes go through solar collectors it gets slightly warmer after each collector. Thus, at the exit of collectors the temperatures are slightly different. Figure 9 shows change in heat carrier's temperature after each separate collector. Data is presented as average values for the whole analysed and processed time period.

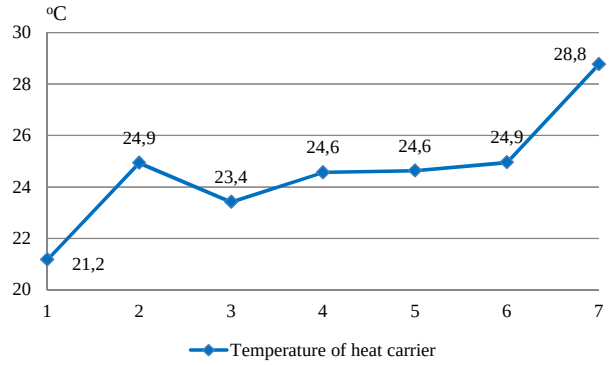


Fig. 9. Heat carrier temperatures after each collector

At the graph, point 1 represents the inflow point of heat carrier into collectors' block, while point 7 is at the outflow point (i.e. point 7 is just after last collector). Results show that the highest energy gain occurs in first (1-2) and last (6-7) collectors. Passing the rest collectors temperature of heat carrier tendentiously increased. The only discrepancy can be noticed in case of 2nd collector (2-3). Several reasons can be noted. Firstly, it could be the case that surface of certain collector is dirtier and so it absorbs less energy than others. However, the more likely explanation is that probe was mounted wrongly and the pipe isolation was not put back properly.

Produced energy

Operating as a supplementary DHW preparation system, it saves much energy and costs producing thermal energy almost for free. Thus, one of the most interesting results of the analysis is actual energy production from analysed system.

Heat carrier in the solar collector contour has a composition of 30 % ethylene glycol and 70 % of water in volume. Such mixture, being at average temperature in

contour of 25 °C, has a density of 1043,32 kg/m^3 and specific heat of 3,660 kJ/(kg·K) (ASHRAE 2009). Volume flow of heat carrier is determined from circulation pump performance chart and is calculated to be 0,2 m^3/h.

According these numbers the calculations show, that in time period since 2011-06-09 till 2011-10-31 energy produced by solar collectors was 5715 kWh, averaging 1,6 kW of instantaneous power. In comparison with total solar radiation incidented on solar collectors the calculated energy conversion efficiency of collectors' block is 65,3 % (60,2 % stated in specifications)

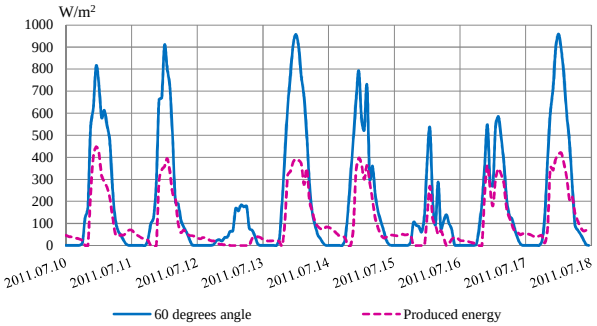


Fig. 10. Energy production from 1 m^2 of collectors

Graph shows how much energy was produced from 1 m^2 of solar collector when certain solar radiation was incidenting on it. By dividing two graphs instantaneous efficiency of solar collectors can be determined. Nevertheless, some discrepancies can be spotted. Mainly it is energy production at night, when the sun is not shining. This is due to the bad adjustment of measurement probes as the initial setting of pyrometer is 0,6 W/m^2.

Economic evaluation

Calculated produced energy by solar collectors can be stated the same as not produced energy from primary energy sources that were used before installing collectors. In this case, electric heaters were used for this purpose. As the result, converting 5715 kWh electricity that was saved in almost 5 months period into monetary value it is a bit more than 2571 Lt (almost 745 €).

In addition, payback time of such system could be calculated. However, the analysis is made not for the whole year thus imperfect results could be obtained. The possible solutions could be usage of other meteorological station, which is near analysed object, data or continuing to gather the results for the whole year.

At the moment, installation of such system involving all accessories and elements required for proper operation is 19544 Lt (5660 €) (Kitokia energija 2012b). 8 such periods (same as analysed) should pass to make solar system profitable what can be said to be more than 3 years. However, during this period mostly summer time conditions dominated, so the preliminary payback time will be prolonged after actual calculations.

Future perspectives

The analysis of the solar DHW system presented in this article could be called as a middle of the whole process. The data is continued to be recorded.

Besides that the analysis showed the need of additional measurements, such as actual flow rate of heat carrier in solar collectors' circuit. Also involving some additional solar radiation measurements to some new different angles would lead to more sophisticated results. In other case, collectors themselves can be adjusted to more suitable angles each several month.

Moreover, operation regimes of such system would be interesting to look into. For this, primary monitoring data from control unit of the system must be available. Then by combining to sets proper result can be obtained.

Finally, more comprehensive economical evaluation must be carried out.

Conclusions

1. Solar energy systems in multi-storey building refurbishment will give possibility to even higher energy savings and energy usage efficiency when integrating them into old engineering systems.

2. In the analysed area tilt angle of solar collectors of 60° is better than orientating them horizontally as it results in higher overall incidenting solar radiation fraction and in higher average energy peak (540 W/m^2) that occurred at 12 o'clock instead of 450 W/m^2 at 14 o'clock when orientated horizontally. Tilt angle of 38° is still considered to be the most appropriate.

3. Temperature of heat carrier after each collector is increased tendentious, except 2nd collector after inflow point. Collector might be dirtier than others or there was human error when installing the probes.

4. Calculated efficiency of solar collectors' block is 65,3 %, what is higher than in specifications (60,2 %).

5. During analysed period of almost 5 months solar energy system have produced 5715 kWh (369 kWh/m^2 of solar collector) and saved the same amount of electricity,

which would have cost more than 2500 Lt or 166 Lt/m^2 (more than 740 € or 48 €/m^2).

Acknowledgement

This article was mostly based on research and operating system's monitoring by using measurement equipment provided by Civil Engineering Research Centre (liet. *Civilinės Inžinerijos ir Mokslo Centras – CIMC*) at Vilnius Gediminas technical university (VGTU). The author would like to thank centre for providing measurement equipment and VGTU Building Energetics' laboratory workers for helping to install it.

Literature

ASHRAE, 2009. *Handbook – Fundamentals (I-P Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc;

Ataskaita, 2009. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Taikomasis mokslinis tyrimas "Nacionalinės energijos vartojimo efektyvumo didinimo 2006-2010 metų programos įgyvendinimo analizė ir pasiūlymų dėl šios programos ir jos įgyvendinimo priemonių 2011-2015 metams parengimas". COWI;

Ataskaita, 2010. Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra. Taikomasis mokslinis tyrimas "Alternatyvių energijos šaltinių, taip pat ir rekuperacinės sistemos panaudojimo, įgyvendinant daugiabučių namų (atnaujinimo) modernizavimo programą, galimybių studija". COWI;

Balaras, C., A.; Dascalaki, E., G. 2011. European efforts towards NZEBs and energy conservation in Hellenic buildings. ASHRAE Transactions;

BUPA, 2010. Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos visuomenės informavimo kampanijos I etapo komunikacijos strategija. Vilnius;

EPBD recast, 2010. *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council. 2010 May 19 on the Energy Performance of Buildings (recast)*;

Kitokia Energija, UAB [interactive] 2012a Įgyvendinti projektai. [accessed 2012 Jan 6th]. <http://www.kitokiaenergija.lt/lt/lankytina_saules_kolektoriu_sistema_vilniuje/>;

Kitokia Energija, UAB [interactive] 2012b Įgyvendinti projektai. [accessed 2012 Jan 4th]. <http://www.kitokiaenergija.lt/lt/sistemos_comfort/>;

Konstantinou, T.; Knaack, U. 2011. Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrades. *Procedia Engineering* 21 (2011) 666-675;

Lechtenböhmer, S.; Schüring, A. 2010. The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU. *Energy Efficiency* (2011) 4:257-270

Statistics Lithuania, 2011. Energy balance 2010. Vilnius.

KARŠTO VANDENS RUOŠIMO PLOKŠČIAISIAIS SAULĖS KOLEKTORIAIS SISTEMOS VILNIUJE ANALIZĖ

A. Vaičaitis, G. Šiupšinskas

Santrauka

Daugiabučių pastatų renovavimo problema sulaukia vis daugiau dėmesio ir yra plačiai aptarinėjama. Jos aktualumą parodo naujai įgyvendinamos tarptautinės programos, skatinančios didinti efektyvumą pastatuose. Pastatų modernizavimas apima ne tik jų esamos būklės atnaujinimą, tačiau ir naujų sistemų įdiegimą, bet norint pasiekti mažaenerginio pastato lygį, šių priemonių gali nepakati, todėl atsinaujinantys ištekliai, tarp kurių populiariausia Lietuvoje – saulės energija, turi būti įtraukti į modernizavimo priemonių sąrašą. Vis dėlto susiduriama su daugeliu nesklandumų, susijusių su tokių sistemų įdiegimu: jų tinkamumas specifiniam pastatui ir klimatinėms sąlygoms, veikimo ypatumai, atsipirkimo laikas ir t.t.

Šis straipsnis yra paremtas saulės energijos sistemos su plokščiaisiais saulės kolektoriais, skirtos karšto vandens ruošimui, stebėsena. Atlikta surinktų duomenų analizė ir nustatyti charakteringi sistemos veikimo, oro sąlygų, sistemos elementų parametrai.

Priedas B

Sruogos12_MBD_1
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	74,3	4,0	4,8	10,6	10,3	8,0	10,0	11,1	8,0	2,9	1,5	1,2	1,8
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	53,0	2,9	3,0	8,2	7,6	5,7	7,0	8,5	6,1	1,7	0,7	0,6	1,0
Peak [MW]	0,264	0,264	0,193	0,129	0,102	0,049	0,096	0,185	0,187	0,064	0,047	0,031	0,118
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	32,6	3,1	3,3	1,9	1,4	1,1	1,6	1,8	2,0	3,5	4,5	4,4	4,1
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	61,9	2,0	1,9	11,1	10,8	6,5	9,1	10,7	6,9	1,5	0,7	0,2	0,5
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	333.623,4	51.210,6	47.275,4	15.949,4	6.981,9	7.206,8	0,0	0,0	5.108,6	35.750,5	39.324,5	57.879,1	66.936,5
Fuel consum. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Heat prod. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Turn ons	95	5	6	24	16	20	0	0	11	8	2	1	2
Operating hours	5.387	667	730	351	217	307	0	0	187	722	719	744	743

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf: +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_1
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	58,9	3,0	3,9	8,5	8,2	6,5	8,2	9,1	6,4	2,1	1,0	0,8	1,2
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	15,4	1,0	0,9	2,2	2,1	1,5	1,8	2,0	1,6	0,7	0,5	0,4	0,6
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	333.623,4	51.210,6	47.275,4	15.949,4	6.981,9	7.206,8	0,0	0,0	5.108,6	35.750,5	39.324,5	57.879,1	66.936,5
Fuel consum. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,000	0,000	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf: +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_2
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	81,4	4,0	5,1	11,8	11,7	9,0	11,3	12,3	8,7	3,0	1,6	1,2	1,8
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	59,7	2,9	3,2	9,3	9,0	6,7	8,2	9,6	6,8	1,8	0,7	0,6	0,9
Peak [MW]	0,264	0,264	0,193	0,129	0,102	0,049	0,096	0,185	0,187	0,064	0,047	0,031	0,118
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	32,1	3,0	3,2	1,9	1,4	1,1	1,5	1,8	1,9	3,4	4,5	4,4	4,0
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	61,9	2,0	1,9	11,1	10,8	6,5	9,1	10,7	6,9	1,5	0,7	0,2	0,5
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	333.623,4	51.210,6	47.275,4	15.949,4	6.981,9	7.206,8	0,0	0,0	5.108,6	35.750,5	39.324,5	57.879,1	66.936,5
Fuel consum. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Heat prod. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Turn ons	95	5	6	24	16	20	0	0	11	8	2	1	2
Operating hours	5.387	667	730	351	217	307	0	0	187	722	719	744	743

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_2
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	58,9	3,0	3,9	8,5	8,2	6,5	8,2	9,1	6,4	2,1	1,0	0,8	1,2
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	22,6	1,0	1,2	3,4	3,5	2,5	3,1	3,2	2,3	0,9	0,5	0,4	0,5
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	333.623,4	51.210,6	47.275,4	15.949,4	6.981,9	7.206,8	0,0	0,0	5.108,6	35.750,5	39.324,5	57.879,1	66.936,5
Fuel consum. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,000	0,000	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_3
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	72,6	3,6	4,6	10,5	10,3	8,1	10,1	11,0	7,8	2,7	1,3	1,0	1,6
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	51,6	2,5	2,8	8,1	7,7	5,7	7,0	8,4	5,9	1,5	0,6	0,5	0,8
Peak [MW]	0,264	0,264	0,193	0,129	0,102	0,049	0,096	0,185	0,187	0,064	0,047	0,031	0,118
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	32,8	3,1	3,3	1,9	1,4	1,1	1,6	1,8	2,0	3,5	4,6	4,4	4,1
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	61,9	2,0	1,9	11,1	10,8	6,5	9,1	10,7	6,9	1,5	0,7	0,2	0,5
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	333.623,4	51.210,6	47.275,4	15.949,4	6.981,9	7.206,8	0,0	0,0	5.108,6	35.750,5	39.324,5	57.879,1	66.936,5
Fuel consum. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Heat prod. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Turn ons	95	5	6	24	16	20	0	0	11	8	2	1	2
Operating hours	5.387	667	730	351	217	307	0	0	187	722	719	744	743

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

energyPRO4.1.2.197
Printed/Page
2012.05.28 04:12:14/2
Licensed user:
Course Registration
Time-limited until June 1.2012

5001

Sruogos12_MBD_3
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	58,9	3,0	3,9	8,5	8,2	6,5	8,2	9,1	6,4	2,1	1,0	0,8	1,2
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	13,8	0,6	0,8	2,1	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	0,5	0,3	0,2	0,3
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	333.623,4	51.210,6	47.275,4	15.949,4	6.981,9	7.206,8	0,0	0,0	5.108,6	35.750,5	39.324,5	57.879,1	66.936,5
Fuel consum. [MWh]	333,6	51,2	47,3	15,9	7,0	7,2	0,0	0,0	5,1	35,8	39,3	57,9	66,9
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,000	0,000	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_4
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	12,4	0,7	0,7	1,8	1,8	1,3	1,6	1,8	1,3	0,5	0,3	0,2	0,3
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	1,2	0,1	0,0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Peak [MW]	0,020	0,020	0,006	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,004	0,002	0,001	0,002	0,013
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	42,7	3,6	4,3	2,8	2,5	2,3	3,1	2,8	2,7	4,2	5,0	4,7	4,6
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	39,4	1,3	1,2	7,1	6,9	4,1	5,8	6,8	4,4	1,0	0,4	0,2	0,3
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Heat prod. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Turn ons	139	0	2	24	26	23	14	15	27	4	1	1	2
Operating hours	6.301	672	743	455	377	412	154	146	401	734	720	744	743

energyPRO4.1.2.197

Sruogos12_MBD_4
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	12,4	0,7	0,7	1,8	1,8	1,3	1,6	1,8	1,3	0,5	0,3	0,2	0,3
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,040	0,048	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_5
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	58,9	3,0	3,9	8,5	8,2	6,5	8,2	9,1	6,4	2,1	1,0	0,8	1,2
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	39,3	2,1	2,3	6,1	5,6	4,3	5,3	6,5	4,6	1,1	0,4	0,3	0,6
Peak [MW]	0,264	0,264	0,193	0,129	0,102	0,049	0,096	0,185	0,187	0,064	0,047	0,031	0,118
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	34,3	3,2	3,5	2,0	1,5	1,3	1,7	1,9	2,1	3,7	4,7	4,5	4,2
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	39,4	1,3	1,2	7,1	6,9	4,1	5,8	6,8	4,4	1,0	0,4	0,2	0,3
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Heat prod. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Turn ons	139	0	2	24	26	23	14	15	27	4	1	1	2
Operating hours	6.301	672	743	455	377	412	154	146	401	734	720	744	743

energyPRO4.1.2.197

Sruogos12_MBD_5
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	58,9	3,0	3,9	8,5	8,2	6,5	8,2	9,1	6,4	2,1	1,0	0,8	1,2
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,040	0,048	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_6
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	15,4	1,0	0,9	2,2	2,1	1,5	1,8	2,0	1,6	0,7	0,5	0,4	0,6
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	2,7	0,3	0,1	0,5	0,4	0,2	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Peak [MW]	0,030	0,030	0,006	0,007	0,007	0,007	0,006	0,007	0,009	0,007	0,006	0,011	0,022
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	41,2	3,5	4,2	2,7	2,4	2,2	2,9	2,7	2,6	4,1	4,9	4,6	4,4
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	39,4	1,3	1,2	7,1	6,9	4,1	5,8	6,8	4,4	1,0	0,4	0,2	0,3
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Heat prod. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Turn ons	139	0	2	24	26	23	14	15	27	4	1	1	2
Operating hours	6.301	672	743	455	377	412	154	146	401	734	720	744	743

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

energyPRO4.1.2.197

Sruogos12_MBD_6
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	15,4	1,0	0,9	2,2	2,1	1,5	1,8	2,0	1,6	0,7	0,5	0,4	0,6
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,040	0,048	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

Sruogos12_MBD_7
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Calculated period: 02.2009 - 01.2010

	Total	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan
Heat demand [MWh]	395,5	53,2	49,2	26,0	18,2	13,8	8,2	9,8	14,3	37,3	40,0	58,1	67,4
Electricity demand [MWh]	53,9	4,2	5,1	4,3	4,1	3,5	4,6	4,4	3,8	4,7	5,3	5,0	4,9
Electricity produced by energy units [MWh]	86,7	4,6	5,5	12,4	12,1	9,3	11,7	12,8	9,3	3,4	1,9	1,5	2,1
Delivered electricity, Elektros tinklas [MWh]	64,6	3,4	3,6	10,0	9,4	6,9	8,5	10,2	7,4	2,1	1,0	0,8	1,3
Peak [MW]	0,264	0,264	0,193	0,129	0,102	0,049	0,096	0,185	0,187	0,064	0,047	0,031	0,118
Recieved electricity, Elektros tinklas [MWh]	31,8	3,0	3,1	1,9	1,4	1,1	1,5	1,8	1,9	3,4	4,4	4,3	4,0
Peak [MW]	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010
Energy unit: Saulės kolektoriai SKR500													
Heat prod. [MWh]	39,4	1,3	1,2	7,1	6,9	4,1	5,8	6,8	4,4	1,0	0,4	0,2	0,3
Turn ons	284	18	24	30	33	33	37	31	29	14	12	10	13
Operating hours	1.494	56	66	211	233	167	234	244	166	49	29	16	23
Energy unit: CŠT													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Heat prod. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Turn ons	139	0	2	24	26	23	14	15	27	4	1	1	2
Operating hours	6.301	672	743	455	377	412	154	146	401	734	720	744	743

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk

energyPRO4.1.2.197
Printed/Page
2012.05.28 04:13:52 / 2
Licensed user:
Course Registration
Time-limited until June 1.2012

5001

Sruogos12_MBD_7
VGTU
Pastatu Energetikos katedra
Magistrinis Baigiamasis Darbas
ARNOLDAS VAICAITIS

Energyconversion,monthly

Energy unit: PV_SW													
Elec. prod. [MWh]	58,9	3,0	3,9	8,5	8,2	6,5	8,2	9,1	6,4	2,1	1,0	0,8	1,2
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_SE													
Elec. prod. [MWh]	15,4	1,0	0,9	2,2	2,1	1,5	1,8	2,0	1,6	0,7	0,5	0,4	0,6
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Energy unit: PV_roof													
Elec. prod. [MWh]	12,4	0,7	0,7	1,8	1,8	1,3	1,6	1,8	1,3	0,5	0,3	0,2	0,3
Turn ons	394	33	38	31	32	31	33	32	32	37	38	38	19
Operating hours	5.297	315	421	464	532	568	558	495	414	375	308	302	545
Fuel consumption: Šiluma													
Fuel consum. [kWh]	356.053,8	51.943,4	47.968,1	19.140,4	11.386,8	9.595,8	2.162,5	3.086,0	9.840,7	36.297,2	39.561,7	57.966,7	67.104,4
Fuel consum. [MWh]	356,1	51,9	48,0	19,1	11,4	9,6	2,2	3,1	9,8	36,3	39,6	58,0	67,1
Peak [MW]	0,143	0,136	0,101	0,085	0,068	0,057	0,040	0,048	0,069	0,086	0,094	0,131	0,143

energyPRO is developed by EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, Homepage: www.emd.dk