

SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO MODERNIZUOJAMUOSE DAUGIABUČIUOSE ANALIZĖ

Kęstutis VALANČIUS¹, Jonas GRIGALIŪNAS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹kestutis.valancius@vgtu.lt; ²jonas.grigaliunas@stud.vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje yra apžvelgiamos ir nagrinėjamos energinės ir finansinės galimybės daugiabučiuose namuose įdiegti atsinaujinančius energijos išteklius (saulės energiją) generuojančias sistemas. Darbo tikslas – išanalizuoti didžiausias saulės energijos sistemų panaudojimo galimybes, modernizuojant (5-ųjų aukštų, 9-ųjų aukštų ir 16-os aukštų) daugiabučius pastatus, pateikiant išsamias išvadas apie šių sistemų tinkamumą energiniu ir finansiniu aspektais. Siekiama nustatyti optimalius technologinius derinius ir sprendinius, kurių energinė vertė būtų didžiausia. Tyrime pasirinktas būdas yra naujų sistemų modeliavimas kompiuterinėmis „EnergyPRO“ ir „PV*SOL Premium“ programomis. Taip pat naudojami sukaupti faktiniai šilumos ir elektros energiniai individualių daugiabučių duomenys. Šie duomenys apima visus 2015 metus, kai atitinkamai ant 5-ųjų aukštų daugiabučio stogo ir 9-ųjų aukštų daugiabučio fasado sumontuotais prietaisais buvo kaupiami saulės spinduliuotės duomenys.

Reikšminiai žodžiai: daugiabučiai namai, šiluminiai saulės kolektoriai, fotovoltiniai saulės elementai, atsinaujinančių sistemų integravimas, modernizacija, modeliavimas.

Įvadas

Šių dienų klimato prognozės, energijos tiekimo saugumo problemos, senkantys iškastinio kuro ištekliai verčia atkreipti dėmesį į atsinaujinančios energijos išteklius (AEI) ir jų integravimą į pastato inžinerines sistemas. Vis daugiau mąstoma, kaip panaudoti saulės energiją.

Europos Sąjungoje buvo priimta direktyva EPBD (European Commission 2013), kurios viena iš pagrindinių esmių yra ta, kad visi viešosios paskirties pastatai nuo 2018 m., o likusieji nuo – 2020 m. privalo atitikti nulinei kategorijai artimus energinius pastatų standartus. Šiuo metu Lietuvoje vykdoma pastatų modernizavimo programa tik iš dalies atitinka šią ES direktyvą. Lietuva yra įsipareigojusi vykdyti visas ES direktyvas ir nuostatus, todėl, norint pasiekti aukštus energinio efektyvumo reikalavimus, būtina integruoti AEI naudojančias priemones (vėjo, geotermišką, saulės spindulinę energiją) į modernizuojamus daugiabučius (Energijos vartojimo... 2014). Lietuvoje vykstanti namų ūkio sektoriaus modernizavimo programa dar tik įgauna pagreitį, vykdoma programa apima tik dalinę vidaus inžinerinių tinklų modernizaciją (šildymo sistemos) ir su lauku besiribojančių atitvarų (sienų, stogo, langų) šiluminių charakteristikų atkūrimą ir gerinimą (Valstybinio audito... 2010; Alchimovienė 2012).

Išnagrinėjus Europos ir ne tik valstybių pavyzdžius (Crafford, Treloar 2004; Karteris *et al.* 2013), kur saulės atsinaujinančią energiją naudojančios sistemos integruojamos į pastatų inžinerines sistemas, prieita prie išvados, kad šiame sektoriuje slypi didelis energijos taupymo potencialas, ir būtų galima sutaupyti energijos, teisingai įvertinus poreikių, technologinių galimybių ir darnios energijos vartojimo priklausomybę.

Saulės energiją konvertuojančios ir apdorojančios sistemos

Pasaulyje saulės energiją generuojančios ir į elektros ar šilumos energiją konvertuojančios sistemos (Dikici, Akbulut 2008) yra taikomos jau ilgą laiką. Straipsnyje, siekiant pateikti daugiabučiui gyvenamajam namui optimalias sistemas, yra plačiai nagrinėjamos trys technologijos: saulės elementai (angl. *photovoltaic*) – elektros gamybai, saulės kolektoriai (angl. *solar collector*), kompensuojantys šilumos poreikį šildyti, vėdinti ir karštam vandeniui ruošti. Taip pat, remiantis užsienio šalių pavyzdžiu, daugiaaukščiuose pastatuose kartais diegiamos saulės sienos (angl. *solar wall*) (Voss 2000), kitur literatūroje dar vadinamos neįstiklintais pratakiais saulės kolektoriais (angl. *unglazed transpired solar collector*).

Elektrą generuojantys saulės elementai

Saulės elementas (SE) – tai prietaisas, kuris, panaudodamas saulės šviesos energiją, tiesiogiai paverčia į elektros energiją (Mokslas, technologijos 2014). Pasaulyje naudojami tokie saulės elementų tipai:

- monokristaliniai saulės elementai, gaminami iš gryno silicio. Jų efektyvumas siekia net 24 % (iš vieno kilovato [kW] krintančios saulės šviesos pagamina 240 W elektros energijos);
- polikristaliniai saulės elementai. Gaminant šiuos elementus, pakinta dalies silicio kristalų struktūra. Jų efektyvumo lygis yra mažesnis – apie 18 %;
- fotovoltiniai saulės elementai – fotovoltiniai moduliai, gaminami pagal plėvelinę technologiją. Šios rūšies moduliai, be gero kainos ir kokybės santykio, puikiai generuoja elektros energiją net esant aukštai temperatūrai. Temperatūra yra svarbus elementų efektyvumo rodiklis, nes su kiekvienu aplinkos temperatūros laipsnio padidėjimu jų efektyvumas sumažėja 0,5 %;
- plėveliniai saulės elementai – amorfiniai arba plonų celių elementai, gaminami siliciu padengiant stiklą ar kitą skaidrų paviršių. Jų gamybos procesas yra pats pigiausias, efektyvumo lygis – apie 13 % (naudojami tik mažos galios įrenginiuose, pavyzdžiui, laikrodžiuose, kišeninėse skaičiavimo mašinėlėse).

Šilumą generuojantys saulės kolektoriai

Plokštieji saulės kolektoriai. Saulės spindulių energija kolektoriuose transformuojama į šilumą, kurią į šildymo sistemą perneša šilumnešis (tai gali būti oras, vanduo ir kiti skysčiai). Saulės šilumą galima panaudoti karštam vandeniui ruošti ar patalpoms šildyti.

Vakuuminiai saulės kolektoriai. Siekiant sumažinti saulės kolektorių šilumos nuostolius, pradėti gaminti vakuuminiai kolektoriai iš stiklinių vamzdelių, kuriuose sudaromas vakuumas. Saulės kolektoriaus konstrukcija panaši į buitinio termosio: stiklinis/metalinis kolektoriaus vamzdelis yra įstatytas į didesnio skersmens vamzdelį, tarp jų yra vakuumas, kuris yra puikus šilumos izoliatorius, o po absorberiu yra įtaisyta cirkuliacinis vamzdelis, lanksčia jungtimi sujungtas su kondensatoriumi. Pagrindinis šios sistemos privalumas yra galimybė dirbti esant žemai temperatūrai: iki $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ su stiklinės konstrukcijos vamzdeliu ir iki $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ su metalinės konstrukcijos vamzdeliu. Šiuose kolektoriuose nėra jokios izoliacinės medžiagos, kadangi kiekviename vamzdelyje yra vakuumas, tampantis pačia efektyviausia šilumos izoliacija – tokiu būdu žymiai sumažinami šilumos nuostoliai.

Tyrimo objektai

Straipsnyje modeliuotos saulės energiją naudojančios sistemos skirtingo tipo (plano, aukštų) daugiabučiams. Kad analizė būtų kuo platesnio profilio, pasirinkti 5-ių, 9-ių ir 16-os aukštų daugiabučiai kaip tipiniai renovuoti Lietuvoje. Šiems daugiabučiams, remiantis faktiniais ir modeliavimo duomenimis, atlikta energinių poreikių (šildymo, karšto vandens paruošimo, elektros energijos poreikių bendroms reikmėms ir butams) sisteminė analizė.

5-ių aukštų daugiabutis

Modernizuojamas 5-ių aukštų daugiabutis, esantis Jonavoje, Žalioji g. 6 (namo plotas – $2596,14\text{ m}^2$, butų skaičius – 50). Pagal surinktus duomenis šiame daugiabutyje gyvena 139 gyventojas.

Energijos sąnaudos: šilumos kiekis šildymui – $244,19\text{ MWh/metus}$, gyvatukų karšto vandens temperatūros palaikymui sąnaudos – $101,22\text{ MWh/metus}$, šilumos vandens pašildymui sąnaudos – $103,08\text{ MWh/metus}$. Viso pastato šilumos sąnaudos per metus sudaro $453,54\text{ MWh/metus}$. Modernizuojamas namas per 2015 m. suvartojo 66 MWh elektros. Elektros sąnaudos butams per metus siekia 62 MWh , tai sudaro 94 % viso vartojimo. Poreikis laiptinių apšvietimui per metus yra $3,8\text{ MWh}$ elektros energijos ir sudaro 6 % bendro elektros poreikio. Šiame pastate metinis reikalingas elektros energijos kiekis gyvenamosios patalpoms yra $25,39\text{ kWh/m}^2$, vienas gyventojas vidutiniškai suvartojo $474,04\text{ kWh}$ elektros energijos per metus.

9-ių aukštų daugiabutis

Antrasis detalai išnagrinėtas modernizuojamas daugiabutis – standartinis stambiaplokštis 9-ių aukštų daugiabutis pastatas (toks daugiabučių projektas yra vienas iš dažniausiai pasitaikančių visoje Lietuvoje). Analizuoti



1 pav. Analizuojamas 5-ių aukštų daugiabutis
Fig. 1. Analyzed 5 floor building



2 pav. Analizuojamas 9-ių aukštų daugiabutis
Fig. 2. Analyzed 9 floor building

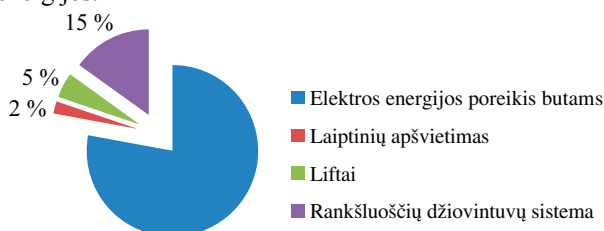
pasirinktas modernizuojamas daugiabutis, esantis Jonavoje, Žeminių take 4A. Daugiabutyje gyvena 161 gyventojas.

Energijos sąnaudos: šilumos vartojimas šildymui per 2015 m. – 307,06 MWh/metus, šilumos sąnaudos karšto vandens temperatūrai palaikyti gyvatukuose – 135,19 MWh/metus, šilumos vandens pašildymui sąnaudos – 102,50 MWh/metus, visas pastatas suvartojo šilumos 544,75 MWh/metus.

Metinis elektros vartojimas sistemoms sudaro 109MWh elektros energijos. Daugiabutyje faktiškai pastoviai gyvena 161 žmonės, vidutiniškai vienam gyventojui per metus tenka 679,8 kWh elektros energijos. Poreikis, reikalingas butuose naudojamiems prietaisams – 84 %, 6 % – laiptinėms apšviesti, 10 % sudaro liftų suvartojama elektros energija.

16-os aukštų daugiabutis

Trečiasis tiriamasis objektas baigiamajame magistriniame darbe yra užbaigtas modernizacijos projektas Vilniuje, Architektų g. 77. Projektas baigtas įgyvendinti 2008-ais metais. Šildymui 2015 m. buvo suvartota 201,28 MWh/metus, šilumos, sąnaudos karštam vandeniui paruošti – 112,83 MWh/metus, o šilumos reikalingos karšto vandens cirkuliacijai (rankšluosčių džiovintuvams), – 34,53 MWh/metus. Visas pastatas 2015 m. suvartojo 348,65 MWh šiluminės energijos.



3 pav. Metinis elektros poreikių balansas
Fig. 3. Annual electricity demand balance

Metinės elektros sąnaudos visoms sistemoms sudaro 173 MWh, 78 % iš jų sudaro reikalingas kiekis butuose naudojamiems prietaisams ir sistemoms, 2 % – laiptinėms apšviesti, 5 % – liftų suvartojama elektros energija ir 15 % – šilumos siurblio oras–vanduo sistema (3 pav.). Šilumos vartojimas šildymui 2015 m. buvo 201,28 MWh/metus, šilumos sąnaudos karštam vandeniui paruošti – 112,83 MWh/metus, o šilumos, reikalingos karšto vandens cirkuliacijai (rankšluosčių džiovintuvams), – 34,53 MWh/metus. Visas pastatas 2015 m. suvartojo 348,65 MWh šiluminės energijos.

Kompiuterinis modeliavimas

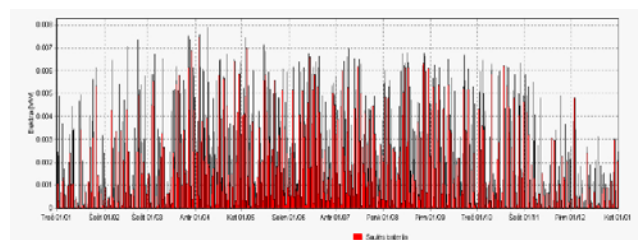
Norint įvertinti pastatų elektros poreikius ir gamybą pasitelkiant saulės elektrines, rezultatams gauti buvo taikomos toliau aprašytos kompiuterinės programos.

„EnergyPRO“. Norint nustatyti optimalius energijos generavimo būdus, pasirinktam objektui buvo atliekamas kompiuterinis modeliavimas taikant imitacinio modeliavimo programą „energyPRO“, kuri skirta energijos gamybai modeliuoti esant bet kokioms numatytoms aplinkos sąlygoms, nustatant galimą energijos (elektros ir (arba) šilumos) gamybos apimtį. Taip pat yra galimybė modeliuoti keletą energijos generavimo bloką, sudaryti sistemos veikimo strategiją, numatyti elektros energijos pardavimą į tinklą (energyPRO 2014).

4 pav. pateikti „EnergyPRO“ modeliavimo programa gauti rezultatai, modeliuojant 13,2 kW saulės elektrinę ant pietryčių pusės fasado. Sumontavus 48 vienetus 275 W modulių, per metus gaunama 5900 kWh elektros energijos.

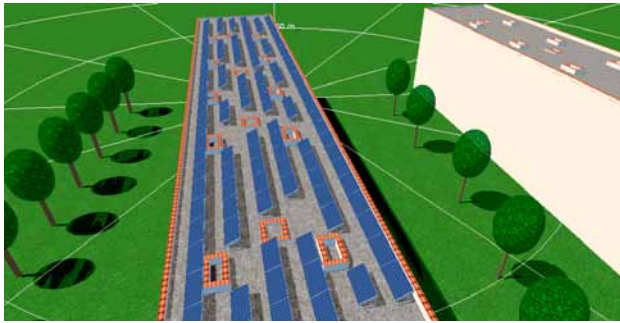
Visų saulės elektrinių instaliuotos galios parenkamos atsižvelgiant į galimą užstatymo plotą, tam naudojama toliau aprašyta modeliavimo programa.

„PV*SOL Premium“. Taikant programą „PV*SOL Premium“ (PV*SOL Premium 2015) buvo sumodeliuoti visi reprezentatyvūs 5-ių, 9-ių ir 16-os aukštų daugiabučiai. Atkurtas stogų faktinę būseną atitinkantis architektūrinis planas, atsižvelgiant į visas inžinerines sistemas, kurios yra sumontuotos ant būdingųjų analizuotų pastatų.



4 pav. Elektros energijos kiekis, pagamintas iš fotovoltinių saulės elementų

Fig. 4. Electricity produced by photovoltaics



5 pav. Taikant „PV*SOL Premium“ programą sumodeliuota saulės elektrinė

Fig. 5. „PV*SOL Premium“ simulation model

Modeliuojant ant nagrinėjamų daugiabučių stogų – 5-ųjų aukštų, kurio stogo plotas 723,50 m², 9-ųjų aukštų, kurio plotas 545,24 m², ir 16-os aukštų daugiabučio 541,80 m² sumontuojami „YingliSolar YL275C-30b_IEC“ fotovoltiniai saulės elementai, kurie yra derinami su Vokiečių gamintojo „SMA“ TripowerTL“ (8, 10, 17 kW) keitikliais.

Modeliavimo rezultatai: gavus duomenis apie 9-ųjų aukštų pradedamo modernizuoti daugiabučio su sumodeliuota 17 kW fotovolinių elementų saulės elementų elektrine, matyti, kad vasarą padengiama 27–34 % elektros energijos poreikio (butams, laiptinėms apšviesti ir liftams reikalingo kiekio). Iš viso per metus kompensuojama 16 % viso elektros poreikio.

Išanalizavus 16-os aukštų daugiabučio duomenis, paaiškėjo, kad gegužės–rugpjūčio mėnesiais bus kompensuojama 18–21 % elektros energijos poreikio. Ant daugiabučio įrengus 16 kW saulės elektrinę ir gaminant energiją iš atsinaujinančių energijos išteklių, būtų padengiama 8 % bendro metinio namo elektros poreikio.

Remiantis anksčiau pateiktais duomenimis, matyti, kad didžiausia dalis elektros energijos poreikių yra užtikrinama įrengiant 30 kW fotovoltinę saulės elektrinę ant 5-ųjų aukštų daugiabučio. Įrengus elektrinę ant modernizuoto daugiabučio stogo gegužės–rugpjūčio mėnesiais būtų pagaminama 93–98 % elektros energijos poreikio. Iš viso per metus būtų padengiama 44 % viso 5-ųjų aukštų namo elektros energijos poreikio.

Eksperimentinis tyrimas

Darbe norėta gautus modeliavimo rezultatus palyginti su realiais sistemų rezultatais, tam pasitelkti du „SMA sunny sensorbox“ matavimo prietaisai, sujungti per kaupimo sistemą „SolarLOG“ ir modeliavimo įrankį „CloudIndustries“.

Gruodžio mėnesio pabaigoje (2014 m.) ant 5-ųjų aukštų daugiabučio stogo (Žalioji g. 6) buvo sumontuoti minėti saulės spinduliuotę į paviršių matuojantys prietaisai. Analizės prietaisai „SMA sunny sensorbox“ sumontuoti ant



6 pav. Sumontuota eksperimentinio tyrimo įranga ant daugiabučio stogo

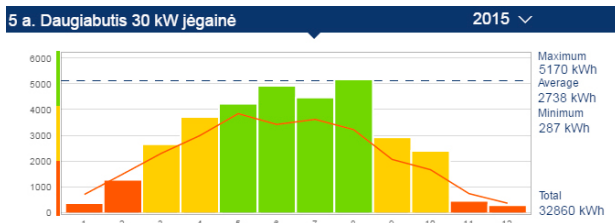
Fig. 6. Experimental research equipment installed on the roof

25° kampu pastatytos konstrukcijos (6 pav.), siekiant atkurti realią darbinę situaciją. Naudojantis šiomis priemonėmis, galima realiu laiku, pagal norimus parametrus susimodeliuoti fotovoltines saulės arba saulės kolektorių jėgaines ir gauti realius faktinius duomenis apie energijos produkciją iš atitinkamų AEI generuojančių inžinerinių sistemų.

Tiriant sistemų kompleksą, eksperimentiškai nustatyta realiai gautina elektros energijos produkcija tuo atveju, jei būtų sumontuota 30 kW saulės elektrinė. Susiejus tarpusavio ryšį su visomis sistemomis, buvo nustatyti realūs elektrinės galios parametrai, nustatytas modulių padėties kampas (25° horizonto atžvilgiu), pasirinkti „YingliSolar YL275C-30b_IEC“ moduliai (tokie patys kaip naudoti modeliuoti taikant „PV*SOL Premium“ programą). Pasirinkti srovės keitikliai „SMA Sunny Tripower 17000TL-10“ ir „SMA Sunny Tripower 15000TL-10“, siekiant, kad eksperimentinio tyrimo rezultatai kuo mažiau skirtųsi nuo rezultatų, gautų modeliuojant sistemas. Pasirinkta, kad elektra bus tiekama prioritetu į vidinį tinklą, o esant pertekliui perduodama į skirstymo tinklus pasinaudojus „feed-in“ principu, taip bus išvengta akumuliavimo sistemų poreikių. Buvo pasirinkta elektros perteklių dienos metu tiekti į elektros skirstymo tinklus, o tamsiuoju metu – perduoti atgal vartotojui.

Rezultatai

7 pav. pateiktas sumodeliuotas 2015 m. grafikas vaizduoja visų mėnesių faktinę elektros gamybą. Raudona kreivė žymi projektinę 30 kW fotovoltinės saulės elektrinės elektros gamybą, remiantis meteorologinės bazės duomenimis, kuriais vadovojasi didžioji dalis modeliavimo programų, kai modeliuojama Vilniaus mieste. Stulpeliai žymi faktinę (iš tyrimo metu surinktų duomenų) gautą elektros gamybą sausio–gruodžio mėnesiais. Raudoni stulpeliai žymi nepasiektos elektros gamybos normą, geltoni stulpeliai – optimali elektros gamybos norma ir žalios – viršyta elektros gamybos norma.



7 pav. 2015 m. fotovoltinės saulės elektrinės elektros gamybos suvestinė

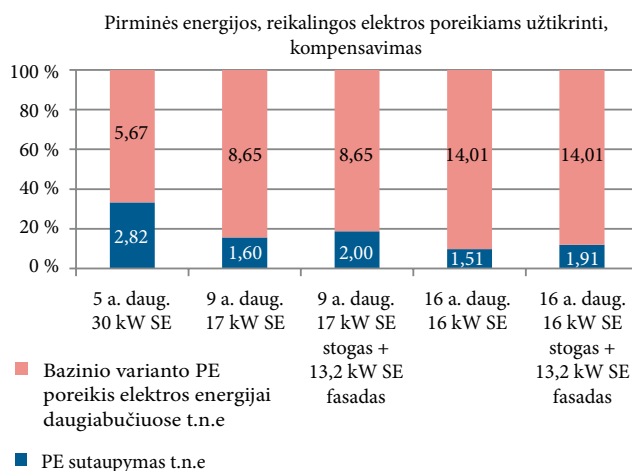
Fig. 7. Photovoltaic electric power production summary of 2015 year

Teorinė metinė elektros gamybos prognozė Lietuvoje yra 27 000 kWh arba 900 kWh/kW. Apibendrinus eksperimentinį tyrimą, atliktą ant 5-ųjų aukštų daugiabučio stogo, matyti, kad per praėjusius 2015 m. sugeneruota 32 860 kWh elektros energijos arba 1095 kWh iš instaliuoto kW, tai yra, 18 % daugiau nei teorinės prognozės, kuriomis vadovaujasi modeliavimo programos.

Pirminės energijos išraiška

Nagrinėjamuose daugiabučiuose sumontavus šiluminių saulės kolektorių sistemas, atitinkamai 5-ųjų aukštų daugiabučio su 100 m² saulės kolektorių sistema būtų sugeneruota 62,76 MWh energijos ir būtų sutaupyta 5,40 t.n.e., 9-ųjų aukštų daugiabutyje su 70 m² plokščiųjų saulės kolektorių sistema būtų sugeneruota 45 MWh ir sutaupyta 3,86 t.n.e., 16-os aukštų daugiabutyje su 60 m² kolektorių sistema būtų sugeneruota 37,7 MWh ir sutaupyta 3,24 t.n.e. pirminės energijos.

8 pav. pateiktas raudonas stulpelis perteikia pirminės energijos kiekį t.n.e. kuris reikalingas daugiabučių namų elektros poreikiams per metus užtikrinti. Apatinis tamsesnis stulpelis žymi pirminės energijos kiekį, kuris būtų



8 pav. Pirminės energijos, reikalingos daugiabučių elektros poreikiams sutaupyti, pasiskirstymas

Fig. 8. Distribution of primary energy for electricity demand saving

sutaupomas įdiegus atitinkamai 13,2 kW, 16 kW, 17 kW ir 30 kW saulės elementų elektrines ant nagrinėjamų daugiabučių stogo ir fasado.

Ekonominiai skaičiavimai

Palyginus integruotų saulės elektrinių ant skirtingų aukštų (5-ųjų, 9-ųjų ir 16-os) daugiabučių įrengimo sąnaudas, taip pat įvertinus TAL (tikrasis atsiperkamumo laikas), greičiausiai, tai yra per 9 metus, atsiperka 30 kW saulės elektrinė ant 5-ųjų aukštų daugiabučio stogo. Ilgiausias tikrasis atsiperkimo laikas yra 16 kW elektrinės ant 16-os aukštų stogo, kuris siekia 14 metų.

Vertinant technologines sistemas, kai plokščiųjų saulės kolektorių sistemomis gaminamas karštas vanduo, geriausias TAL – 23 metai – yra tuomet, kai įrengiama 100 m² sistema ant 5-ųjų aukštų daugiabučio stogo. Prasčiausias tikrasis atsiperkamumo laikas – 30 metų, kai įrengiamos 60 m² plokščiųjų kolektorių sistemos ant 16-os aukštų daugiabučio stogo.

Atlikus ekonominę analizę padaryta išvada, kad investuoti į šiluminių saulės kolektorių sistemas karštam vandeniui ruošti, negaunant jokios paramos iš išorės fondų, yra finansiškai nenaudinga.

Remiantis atlikta saulės elektros energiją gaminančių technologinių sistemų analize, investuoti į jas yra tikslinga, nes sistemų TAL svyruoja nuo 9 iki 14 metų. Šių elektrinių eksploatacinės sąnaudos, lyginant su šilumos energiją generuojančiomis sistemomis, sąlygiškai yra nedidelės.

Išvados

- Išnaudojus 5-ųjų aukštų daugiabučio visą stogo plotą ir instaliavus ant jo 30 kW fotovoltinę saulės elektrinę, per metus būtų padengiami 49,8 % viso namo elektros poreikio. Tokiu pačiu principu išnaudojus 9-ųjų aukštų daugiabučio stogą ir įdiegus 17 kW elektrinę, būtų padengiami 19 % viso namo poreikių. 16-os aukštų daugiabučio atveju instaliavus 16 kW fotovoltinę saulės elektrinę, būtų padengiami 11 % viso namo elektros poreikių.
- Atlikus ekonominį vertinimą šiluminių saulės kolektorių sistemoms gautas tikrasis atsiperkimo laikas: 5-ųjų aukštų daugiabučio sistemos TAL – 17 m., 9-ųjų aukštų daugiabučio sistemos TAL – 23 m., 16-os aukštų daugiabučio sistemos TAL – 30 m.
- Atlikus ekonominį vertinimą, kai modeliuojami skirtingi sistemų deriniai (13,2 kW elektros energiją generuojanti sistema ant pastato fasado kartu su šiluminių saulės kolektorių sistema), matyti, kad tokių sistemų derinių įdiegimas finansiškai neatsiperka.

– Atliktas visus 2015 m. trukęs eksperimentinis tyrimas, kai buvo matuojama saulės spinduliuotė ant 5-ių aukštų daugiabučio stogo ir 9-ių aukštų daugiabučio fasado. Eksperimento metu nustatyta, kad realūs gauti energijos kiekiai yra 18 % didesni, negu naudoja didžioji dalis modeliavimo programų (įskaitant „EnergyPRO“ ir „PV*SOL Premium“).

Literatūra

- Alchimovienė, J. 2012. *Daugiabučių namų miestų gyvenamuosiuose rajonuose darnaus atnaujinimo vertinimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Technika.
- Crafford, H.; Treloar, J. 2004. Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia, *Solar Energy* 76: 159–163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.030>
- Dikici, A.; Akbulut, A. 2008. Performance characteristics and energy – exergy analysis of solar – assisted heat pump system, *Building and Environment* 43: 1961–1972. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.11.014>
- Energijos vartojimo efektyvumo projektų Lietuvos viešajame sektoriuje rinkos paklausos studija*. 2014. Energetikos ministerija. 25 p.
- energyPRO. 2014. *Energy modelling Software Package* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. gruodžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.emd.dk/energypro/>
- European Commission. 2013. *The 2010 Energy Performance of Buildings Directive and the 2012 Energy Efficiency Directive* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. gruodžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- Karteris, M.; Slini, Th.; Papadopoulos, A. M. 2013. Urban solar energy potential in Greece: a statistical calculation model

of suitable built roof area for photovoltaics, *Energy and Buildings* 62: 459–468.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.033>

Mokslas, technologijos. 2014. *Saulės elementai* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. gruodžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.sumtp.lt/saules-elementai/>

PV*SOL Premium. 2015. *Valentin Software* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. gruodžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>

Valstybinio audito ataskaita: daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas). 2010. Lietuvos Respublikos Valstybės Kontrolė.

Voss, K. 2000. Solar energy in building renovation – results and experience of international demonstration buildings, *Energy and Buildings* 32: 291–302.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00052-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00052-9)

ANALYSIS OF SOLAR ENERGY USE FOR MULTI-FLAT BUILDINGS RENOVATION

K. Valančius, J. Grigaliūnas

Abstract

The paper analyses the energy and financial possibilities to install renewable energy sources (solar energy) generating systems when renovating multi-flat buildings. The aim is to analyse solar energy system possibilities for modernization of multi-flat buildings (5-storey, 9-storey and 16-storey), providing detailed conclusions about the appropriateness of the energy systems and financial aspects. It is also intended to determine the optimal technological combinations and solutions to reach the maximum energy benefits. For the research computer simulation tools “EnergyPRO” and “PV*SOL Premium” are chosen. Also actual collected heat and electricity consumption data is used for the analysis.

Keywords: multi-flat building, solar collectors, photovoltaic, renewable energy systems, modernization, simulation.