

SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMAS  
KARŠTAM VANDENIUI RUOŠTI DAUGIABUČIAME NAMEGiedrius Šiupšinskas<sup>1</sup>, Solveiga Adomėnaitė<sup>2</sup>*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: <sup>1</sup>giedrius.siupsinskas@vgtu.lt, <sup>2</sup>solveiga.adomenaite@vgtu.lt*

**Santrauka.** Straipsnyje analizuojamos saulės kolektorių, skirtų karšto vandentiekio sistemai ant modernizuojamų daugiabučių namų stogų įrengti esamomis klimatinėmis sąlygomis galimybės. Nagrinėjamos įvairaus dydžio plokščiųjų ir vakuuminių saulės kolektorių su akumuliacinėmis talpyklomis sistemų kombinacijos. Kaip papildomas šilumos šaltinis karštam vandeniui pašildyti naudojama iš centralizuotų šilumos tinklų tiekiamas šiluma. Lyginami plokščiųjų, vakuuminių saulės kolektorių ir akumuliacinio bako dydžio kombinacijų energinių ir ekonominių skaičiavimų rezultatai. Įvertinama kai kurių esminių rodiklių pokyčių įtaka galutiniams ekonominiams rodikliams.

**Reikšminiai žodžiai:** saulės kolektoriai, akumuliacinė talpykla, karštas vanduo, ekonominis vertinimas.

### Įvadas

Kylant ekonomikai, šiuolaikinė visuomenė energijos naudoja vis daugiau – tokia tendencija būdinga ir pastatų sektoriui. Lietuvoje per 2010 metus gyvenamųjų namų sektoriuje buvo suvartota trečdalis viso galutinės energijos kiekio (Lietuvos statistikos departamentas 2011), iš kurio vidutiniškai 37 % sudarė šiluma ir 17 % elektra; kitas kiekis teko dujoms, angliai ir medienai (Lietuvos Respublikos energetikos ministerija 2009). Nors šie Lietuvos rezultatai ir yra šiek tiek geresni nei ES vidurkis, vis dėlto gyvenamųjų namų sektoriuje slypi didelis energijos taupymo potencialas.

Dauguma pastatų yra seni daugiabučiai pastatai (čia gyvena 59 % visų Lietuvos gyventojų), pastatyti iki praėjusio amžiaus devintojo dešimtmečio (96 %, apimantys 83 % daugiabučių namų gyventojų) pagal tuo metu galiojusias normas (Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra 2010). Todėl jų pasyviųjų ir aktyviųjų elementų faktinė techninė ir energinė būklė neatitinka dabar keliamų reikalavimų.

Populiariausi ir dažniausiai pasitaikantys daugiabučių pastatų modernizavimo sprendimai yra gana standartiniai ir remiasi pastato apvalkalo (sienų, stogo, langų) energinių charakteristikų gerinimu ir senų inžinerinių sistemų (dažniausiai tik šildymo sistemos) modernizavimu. Alternatyvių, atsinaujinančių išteklių ar sudėtingesnių sistemų integravimas yra labai retas. Tai galima paaiškinti tuo, kad šios priemonės reikalauja didelių santykinų investicijų, neiškus galimo sutaupymo dydį, nepakankama priežiūra ir eksploataavimo patirtis, teisinės naujos įrangos priklausomybės problemos, kvalifikuotų konsultacijų trūkumas.

ES direktyvoje 2010/31/EU „Energy Performance of Building Directive (EPBD)“ teigiama, kad visi ES šalyse nauji pastatai, pastatyti nuo 2020 metų (viešosios paskirties pastatai – nuo 2018 metų), privalo atitikti beveik nulines energijos pastato (angl. *nearly Zero Energy Building*) standartus (Directive 2010/31/EU. 2010). Realybėje, norint pasiekti mažaenergio pastato lygį, bazinės pastato modernizacijos gali nepakakti, todėl tokie atsinaujinantieji energijos šaltiniai, kaip saulės energija, turi būti įtraukti į modernizavimo priemonių sąrašą. Saulės energija plačiai naudojama karštam vandeniui ruošti, kur slypi didelis energijos taupymo potencialas, kadangi Europoje gyvenamieji pastatai karštam vandeniui ruošti suvartoja apie 25 % jiems tenkančio galutinės energijos kiekio (Balaras *et al.* 2005).

Šiame darbe analizuojamos saulės kolektorių, skirtų karšto vandentiekio sistemai ant modernizuojamų daugiabučių namų stogų įrengimo esamomis klimatinėmis sąlygomis galimybės.

Pagrindinis analizuojamas objektas yra 4–5 aukštų modernizuojami daugiabučiai. Straipsnyje remiamasi 7-osios Bendrosios programos „Gyvenimo kokybės gerinimas ES vystant darnių CO<sub>2</sub> neutralių EKO-miestų plėtrą“ („Sustainable Zero Carbon ECO-Town Developments Improving Quality of Life across EU“ (ECO-Life) projekto medžiaga.

### Metodologija

Saulės kolektorių integravimas į modernizuojamą esamą sistemą yra sudėtingas investicijų ir darbo režimų derinys.

Saulės kolektoriai parenkami pagal vasaros laikotarpį atsižvelgiant į saulės spinduliuotės intensyvumą, pastato karšto vandentiekio sistemos poreikių svyravimą. Saulės energija yra nemokama, tačiau jos tiesiogiai mes galime gauti tik kelias valandas per parą. Tačiau šilumos poreikis karšto vandentiekio sistemoje išlieka nuolat. Tokiose sistemose, siekiant užtikrinti optimalų sistemos veikimą ir didžiausią saulės energijos panaudojimą, būtina numatyti šilumos kaupimo įrenginius ir papildomą / esamą šilumos šaltinį, jei saulės pagamintos ir sukauptos energijos nepakaktų. Tinkamas saulės kolektorių, akumuliacinės talpyklos dydžio ir papildomo šaltinio derinys leidžia pasiekti mažiausias investicijas įrangai, remontui ir priežiūrai.

Saulės kolektoriams įrengti daug įtakos turi įvairūs parametrai, kuriuos būtų galima suskirstyti į tokius:

- techniniai (techniškai įmanomas įrengti ant stogo saulės kolektorių plotas, numatomos pagaminti šilumos dalis, akumuliacinės talpyklos dydis, stogo konstrukcijos stiprumas, pastato orientacija ir pan.);
- ekonominiai (saulės kolektorių ir visos papildomos įrangos investicijų dydis, paramos dydis, įrangos priežiūros kaina, įrangos atsipirkimo laikas ir pan.);
- teisiniai (teisinė įrangos priklausomybė).

Visų šių parametru geriausias derinys leistų nustatyti optimalų sprendinį, tinkantį konkrečiam pastatui.

Terminį kolektoriaus efektyvumą apibūdina jo efektyvumo koeficientas, kuris priklauso nuo įvairių veiksnių: saulės spinduliuotės intensyvumo, saulės kolektoriaus nuostolių koeficiento, aplinkos temperatūros, kolektoriaus paviršiaus temperatūros ir pan. Todėl saulės kolektorių sistemoms optimizuoti pasaulyje taikomi įvairūs metodai ir kompiuteriniai modeliai (programinė įranga).

Saulės kolektorių pagaminamas šilumos kiekis apskaičiuojamas:

$$Y = A \cdot \left( (I_{beam} \cdot K_{\theta} + I_{dif} \cdot K_{60}) \cdot \eta_0 - k_1 \cdot (T_{abs} - T_{amb}) - k_2 \cdot (T_{abs} - T_{amb})^2 \right), \quad (1)$$

čia:  $A$  – saulės kolektorių plotas,  $m^2$ ;  $I_{beam}$  – spinduliuotė į horizontalų paviršių,  $W/m^2$ ;  $K_{\theta}$  – saulės spinduliuotės kritimo kampo pataisa;  $I_{dif}$  – išsklaidyta spinduliuotė į pasvirusį paviršių,  $W/m^2$ ;  $K_{60}$  – saulės spinduliuotės kritimo kampo pataisa esant  $60^\circ$ ,  $\eta_0$  – optinis kolektoriaus efektyvumas (nurodomas kolektoriaus gamintojo specifikacijoje);  $k_1$  ir  $k_2$  – nuostolių koeficientai (nurodomi kolektoriaus gamintojo specifikacijoje);  $T_{abs}$  – saulės kolektoriaus absorberio plokštelės paviršiaus vidutinė temperatūra,  $^\circ C$ ;  $T_{amb}$  – saulės kolektorių supančios aplinkos oro temperatūra,  $^\circ C$ .

Šiame darbe saulės kolektorių veikimas buvo modeliuojamas imitaciniu modeliu *energyPRO*. Jis įvertina

kolektoriaus charakteristikas ir jo posvyrio kampą saulės atžvilgiu, kasvalandiniu tikslumu sumodeliuoja pagaminamos šilumos kiekį. Plačiau apie šio modelio skaičiavimo principus pateikiama (EMD International 2009).

Ekonominiai skaičiavimai atliekami taikant tokius vertinimo kriterijus: paprastasis atsipirkimo laikas (PAL), grynoji dabartinė vertė (GDV) ir vidinė grąžos norma (VGN). Sutaupymas vertinamas, kaip saulės kolektoriuje pagaminamos šilumos kaina atitinka nedidelio miestelio šilumos tiekimo tinklų kainą analizės metu (224,3 Lt/MWh).

## Tyrimo objektas

Analizei pasirinktas tipinis daugiabutis, kurio dydis, butų išdėstymas, pastato konstrukcijos, atitvarų charakteristikos atitinka daugelio Lietuvoje esančių daugiabučių charakteristikas. Nagrinėjamas daugiabutis yra keturių aukštų ir keturių laiptinių, plokščiu sutapdintu stogu (plotas  $719 m^2$ ), butų skaičius 40, bendrasis naudingasis šildomas plotas  $1945 m^2$ .

Darbe nagrinėjama galimybė ant daugiabučio stogo įrengti saulės kolektorių sistemą. Atsižvelgiant į kitų panašioje platumoje esančių šalių patirtį (The German Solar Society 2005), efektyviausias saulės kolektorių panaudojimas yra karšto vandentiekio sistemoje, kur esant optimaliam saulės kolektorių ploto ir akumuliacinės talpyklos santykiui galima užtikrinti beveik visą šilumos poreikį karštam vandeniui ruošti nešildymo sezono metu. Apskritai per visus metus tokia sistema techniškai gali padengti daugiau kaip 50 % viso šilumos poreikio karštam vandeniui ruošti (Cassard *et al.* 2011). Tačiau tokiai sistemai būtina akumuliacinė talpykla, kurios paskirtis yra išlyginti šilumos poreikio ir gamybos kreivių nesutapimą, t. y. sukaupti tokią šilumos dalį saulėtos dienos metu, kad nakties metu būtų užtikrintas reikiamas šilumos kiekis karštam vandeniui ruošti ir cirkuliuoti.

Saulės kolektorių ploto ir akumuliacinės talpyklos optimalaus dydžio paieška yra sudėtingas ir kompleksinis uždavinys, kuris apima šilumos poreikio, saulės spinduliuotės intensyvumo, karšto vandens temperatūrinio režimo, išorės oro temperatūros kitimo ir pan. rodiklių analizę.

Analizuojamam objektui parenkami du šilumos poreikio karšto vandens sistemoje užtikrinimo variantai:

- šiluma ruošiama **plokščiuosiuose** saulės kolektoriuose ( $\eta_0 = 0,79$ ;  $k_1 = 2,34$ ;  $k_2 = 0,015$ );
- šiluma ruošiama **vakuuminiuose** saulės kolektoriuose ( $\eta_0 = 0,791$ ;  $k_1 = 1,14$ ;  $k_2 = 0,007$ ).

Abiem atvejais kolektoriuose paruošta šiluma tiekiamą į karšto vandentiekio sistemą arba kaupiama talpykloje. Tuo metu, kai kolektoriuose pagamintos ar talpykloje sukauptos šilumos nepakanka karšto vandentiekio sistemos

poreikiui užtikrinti, trūkstanta dalis tiekama iš centralizuotų šilumos tiekimo tinklų.

Pagrindinis skirtumas tarp šių dviejų analizuojamų variantų yra saulės kolektorių tipas. Plokštieji kolektoriai pasižymi geru kainos / pagaminto energijos kiekio santykiu, yra pigesni nei vakuuminiai, tačiau netinkami aukštų temperatūrų (+100 °C) šilumai gaminti, nes reikia didesnio stogo ploto, be to, jie yra mažesnio efektyvumo negu vakuuminiai saulės kolektoriai. Tačiau vakuuminiai kolektoriai labiau tinka pastatams šildyti nei plokštieji, pasiekia aukštą efektyvumą net esant dideliam temperatūrų skirtumui tarp absorberio ir aplinkos.

Analizuojamo daugiabučio metinis šilumos poreikis karšto vandentiekio sistemoje sudaro **120 MWh** (50 MWh karštam vandeniui pašildyti, 70 MWh – nuostoliai / poreikis rankšluosčių džiovinuvų cirkuliacijai užtikrinti).

Modeliuojant karšto vandentiekio sistemos darbą panaudotas tipinis karšto vandens poreikio kasvalandinis paros grafikas (Trutnevytė 2008). Laikoma, kad šilumos poreikis karšto vandens cirkuliacijai ir rankšluosčių džiovinuvuose nekinta ir yra pastovus visus metus.

## Modeliavimo rezultatai

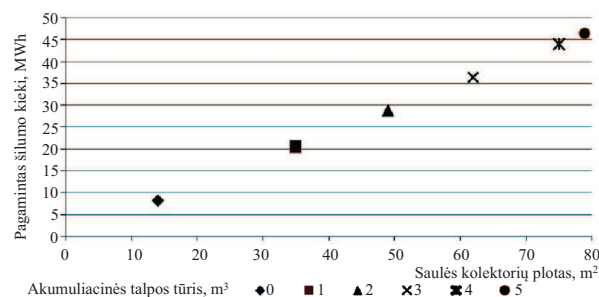
Remiantis kasvalandiniu karšto vandentiekio sistemos šilumos apkrovimu kompiuterinis modelis *energyPRO* leidžia nustatyti didžiausią techniškai galimą saulės kolektorių plotą. Analizuoti įvairūs akumuliacinių talpyklų tūriai. Tai nuo akumuliacinės talpyklos nenaudojimo iki 5 m<sup>3</sup> tūrio talpyklos. Nustatyta, kad didžiausias sukaupiamas tokios talpyklos šilumos kiekis sudaro apie 260 kWh (temperatūrų skirtumas talpykloje lygus 50 °C, o talpykla naudingai išnaudojama 90 %). Tuo atveju, kai šilumos gamyba saulės kolektoriuose yra didesnė už šilumos poreikį, perteklius yra perduodamas į akumuliacinį įrenginį.

Visais analizuojamais atvejais numatytas saulės kolektorių plotas gali užtikrinti tik dalį karšto vandentiekio sistemos šilumos poreikio, nemažą dalį turi ruošti papildomas šilumos šaltinis. Šiuo atveju papildomas šilumos šaltinis yra iš centralizuotų šilumos tinklų tiekiamas šiluma (šilumos punktas). Tokiu būdu centralizuotuose šilumos tiekimo tinkluose (CŠT) turi būti užtikrinamas reikiamų parametru šilumnešio cirkuliacijavimas. Šiuo atveju CŠT operatorius praranda dalį pajamų dėl neparduotos šilumos namo karšto vandentiekio sistemoje, o nuostoliai CŠT sistemoje išlieka nepakitę. Saulės kolektorių įrengimo atveju tik vartotojas gali tikėtis naudos dėl sutaupyto sistemoje šilumos.

1 ir 2 paveiksluose pateikiamas didžiausias plokščiųjų ir vakuuminių saulės kolektorių ir akumuliacinės talpyklos sistemoje pagamintas šilumos kiekis, priklausomai

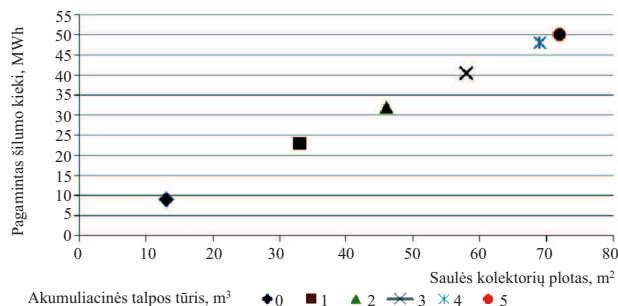
nuo sistemos įrangos dydžio derinio. Paveiksluose pateikiami taškai rodo didžiausią galimą pagaminti šilumos kiekį esant saulės kolektoriaus ir akumuliacinio bako sistemos deriniui. Kuo didesnis sistemoje akumuliacinio bako tūris (daugiau sukaupiamas šilumos), tuo didesnis gali būti saulės kolektorių plotas ir galima pagaminti daugiau šilumos karšto vandentiekio sistemai. Pavyzdžiui, jei nagrinėjamoje sistemoje numatoma 2 m<sup>3</sup> tūrio akumuliacinė talpykla, tuomet didžiausias saulės kolektorių plotas yra 49 m<sup>2</sup>, o didžiausias galimas pagaminti šilumos kiekis – 28,8 MWh per metus. Kadangi karšto vandentiekio sistemos šilumos poreikis visais nagrinėtais atvejais vienodas, galima pastebėti, kad tarp pateiktų variantų ribinių verčių egzistuoja tiesinė priklausomybė, kurią galima išreikšti lygtimi.

Kaip rodo modeliavimo rezultatai, per metus 1 m<sup>2</sup> plokščiųjų saulės kolektorių kartu su akumuliacine talpykla sistema vidutiniškai pagamina apie 580 kWh šilumos. Remiantis Lietuvoje esančio objekto monitoringo rezultatais (UAB „AF-Terma“ 2007) šis kiekis buvo apie 400 kWh/m<sup>2</sup>. Šių modeliavimo rodiklių ir faktinių objekto matavimo rezultatų skirtumą būtina įvertinti atliekant jautrumo analizę.



**1 pav.** Didžiausias plokščiuosiuose saulės kolektoriuose pagamintas šilumos kiekis per metus, priklausomai nuo kolektorių ploto ir akumuliacinės talpyklos dydžio

**Fig. 1.** The production of the largest annual heat amount using flat plate solar collectors depending on the area covered by the used equipment and the size of the storage tank



**2 pav.** Didžiausias vakuuminiuose saulės kolektoriuose pagamintas šilumos kiekis per metus, priklausomai nuo kolektorių ploto ir akumuliacinės talpyklos dydžio

**Fig. 2.** The production of the largest annual heat amount using vacuum tube solar collectors depending on the area covered by the used equipment and the size of the storage tank

2 paveiksle pateikti vakuuminių saulės kolektorių kartu su akumuliacinio talpyklos modeliavimo rezultatai rodo, kad 1 m<sup>2</sup> kolektorių ir akumuliacinės talpyklos sistema pagamina vidutiniškai apie 697 kWh šilumos. Lyginant abu paveikslus matyti, kad esant mažesniai vakuuminių saulės kolektorių plotui galima pagaminti daugiau šilumos, nei gaminant plokščiais kolektoriais.

Kaip matyti iš ankščiau pateiktų paveikslų, esant 5 m<sup>3</sup> dydžio talpyklai ir 79 m<sup>2</sup> ploto plokščiesiems saulės kolektoriams, analizuojamame daugiabutyje galima užtikrinti iki 39 % viso metinio karšto vandentiekio sistemos šilumos poreikio; esant tokiai pat talpyklai vakuuminių saulės kolektorių sistemoje, kurios plotas 72 m<sup>2</sup>, galima užtikrinti iki 41,8 % metinio poreikio. Teoriškai galima būtų didinti saulės kolektorių plotą ir akumuliacinės talpyklos tūrį siekiant pagaminti kiek įmanoma daugiau šilumos, tačiau kyla patalpos, kurioje būtų galima įrengti akumuliacinę talpyklą, problema.

### Ekonominis vertinimas

Populiariausias ir lengviausiai suprantamas ekonominis rodiklis yra paprastas atsipirkimo laikas (PAL), tačiau jo nepakanka norint objektyviau įvertinti investicijų teikiamą naudą. Todėl įvertinus pagamintą šilumos kiekį ir darant prielaidą, kad nagrinėjamų CŠT šilumos kaina nekinta per 20 metų laikotarpį (šis laikotarpis apima kolektorių gyvavimo laikotarpį), nustatytas paprastas atsipirkimo laikas, grynoji dabartinė vertė (GDV) ir vidinė grąžos norma (VGN). Geriausias variantas parenkamas įvertinus šių trijų ekonominių rodiklių kombinaciją.

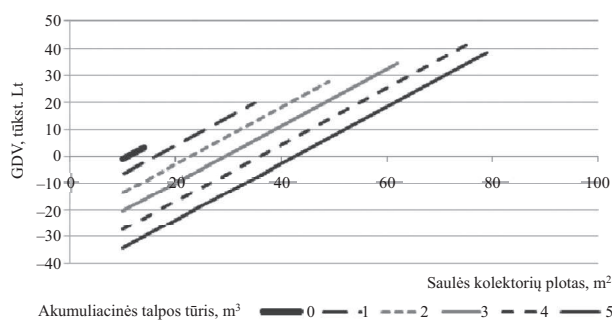
Skaičiuojant ekonominius rodiklius daroma prielaida, kad investicijos finansuojamos lengvatine paskola esant 3 % metinėms palūkanoms 20 metų laikotarpiu. Siekiant paprastesnio ekonominio rodiklių vertinimo, saulės kolektorių sistemos priežiūros išlaidos nevertinamos. Kiekvieno analizuojamo varianto galimas sutaupymas nustatomas įvertinus saulės kolektorių sistemoje pagamintą šilumos kiekį ir jį padauginus iš šiuo metu esamos šilumos kainos nagrinėjamoje CŠT sistemoje. Investicijos vertintos atsižvelgiant į preliminarinius prekiaujančių ir montuojančių saulės kolektorių sistemas įmonių pateiktus pasiūlymus, įvertinančius įrangos kainą ir jos sumontavimą. Pavyzdžiui, didžiausio ploto 79 m<sup>2</sup> plokščių saulės kolektorių sistema su akumuliaciniu baku, kurio tūris yra apie 5 m<sup>3</sup>, kainuotų apie 120 tūkst. Lt, o mažiausio ploto – 10 m<sup>2</sup>, be akumuliacinės talpyklos sistema – apie 20 tūkst. Lt. Įrengus vakuuminius saulės kolektorių apie 70 m<sup>2</sup> ploto su 5 m<sup>3</sup> akumuliaciniu baku sistema kainuotų apie 160 tūkst. Lt ir daugiau, nes vertinant taikomos vidutinės vakuuminių saulės kolektorių kainos.

Vertinant plokščiuosius saulės kolektorių beveik visi ribiniai sistemų atvejai (t. y. esant didžiausiam kolektorių plotui, kai yra atitinkamas talpyklos tūris) pagal PAL rodiklį yra priimtini – jis yra šiek tiek didesnis nei 10 metų. Pagal šį rodiklį geriausi yra du variantai: saulės kolektorių plotas 49 m<sup>2</sup>, o akumuliacinės talpos tūris 2 m<sup>3</sup> ir atitinkamai 35 m<sup>2</sup> ir 1 m<sup>3</sup>.

Vakuuminių kolektorių sistemos atžvilgiu taip pat beveik visi ribiniai saulės kolektorių sistemų atvejai pagal PAL rodiklį yra priimtini (apie 14 metų), tačiau blogesni nei plokščiųjų saulės kolektorių.

Tačiau šiuo atveju nevertintos paskolos palūkanos, todėl reiktų labiau remtis kitais ekonominiais rodikliais.

Pagal grynosios dabartinės vertės rodiklį (3 pav.) geriausias variantas yra tas, kuris apima 75 m<sup>2</sup> ploto plokščiuosius saulės kolektorių ir 4 m<sup>3</sup> tūrio akumuliacinės talpyklos bendrą sistemą. Šios konkrečios sistemos GDV po 20 metų, įvertinus 3 % diskonto normą, yra teigiama ir sudarytų daugiau kaip 40 tūkst. Lt.



**3 pav.** Plokščiųjų saulės kolektorių grynosios dabartinės vertės priklausomybė nuo saulės kolektorių ploto ir akumuliacinės talpyklos tūrio

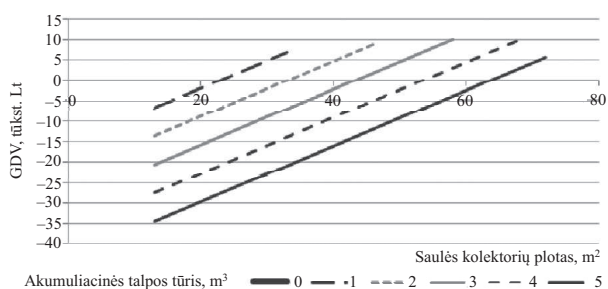
**Fig. 3.** Net present value of flat plate solar collectors depending on the area covered by the used equipment and the size of the storage tank

Vakuuminių kolektorių (4 pav.) beveik visi nagrinėjami ribiniai variantai generuoja panašius GDV rodiklius, kurių skirtumas yra labai nedidelis. Tačiau geriausi ribiniai variantai yra du:

- 58 m<sup>2</sup> ploto saulės kolektorių ir 3 m<sup>3</sup> tūrio akumuliacinės talpyklos bendra sistema;
- 69 m<sup>2</sup> ploto saulės kolektorių ir 4 m<sup>3</sup> tūrio akumuliacinės talpyklos bendra sistema.

Šių konkrečių sistemų GDV po 20 metų, įvertinus 3 % diskonto normą, yra teigiama ir sudarytų šiek tiek daugiau nei 10 tūkst. Lt. Tačiau šis dydis yra daug mažesnis nei plokščiųjų saulės kolektorių atveju.

Atlikus visų analizuojamų variantų vidinės grąžos normos rodiklio skaičiavimus gauta, kad plokščiųjų kolektorių sistemos visų nagrinėtų variantų ribiniai dydžiai



**4 pav.** Vakuuminių saulės kolektorių gryniosios dabartinės vertės priklausomybė nuo saulės kolektorių ploto ir akumuliacinės talpyklos tūrio

**Fig. 4.** Net present value of vacuum tube solar collectors depending on the area covered by the used equipment and the size of the storage tank

viršija paskolos palūkanas, todėl galima daryti išvadą, kad esant apibrėžtomis sąlygoms analizuojami projektai atspirtų. Pagal šį rodiklį geriausi yra du variantai: plokščiųjų saulės kolektorių plotas  $49 \text{ m}^2$ , o akumuliacinės talpyklos tūris  $2 \text{ m}^3$ ; saulės kolektorių plotas  $35 \text{ m}^2$ , o akumuliacinės talpos tūris  $1 \text{ m}^3$ . Jų VGN rodiklis yra šiek tiek didesnis nei 7 %. Tačiau pagal GDV rodiklį pirmavęs variantas atsilieka labai nedaug.

Vakuuminių kolektorių sistemos atveju visų nagrinėtų variantų ribinių dydžių VGN viršija paskolos palūkanas, tačiau šis skirtumas labai nedidelis. Vakuuminių saulės kolektorių VGN rodiklis yra gerokai žemesnis nei plokščiųjų saulės kolektorių, o tai ekonominiu požiūriu didina projekto rizikingumą. Jei nagrinėjamu 20 metų laikotarpiu palūkanos būtų pakeltos daugiau kaip 4 %, projektas prarastų ekonominę naudą.

Apibendrinus visus tris ekonominius rodiklius galima daryti išvadą, kad geriausias variantas būtų tas, kuris generuoja didžiausią grynąją dabartinę vertę. Plokščiųjų kolektorių atveju jis apima  $75 \text{ m}^2$  ploto saulės kolektorių ir  $4 \text{ m}^3$  tūrio akumuliacinės talpyklos bendrą sistemą, vakuuminių –  $58 \text{ m}^2$  ploto saulės kolektorių ir  $3 \text{ m}^3$  tūrio akumuliacinės talpyklos bei  $69 \text{ m}^2$  ploto saulės kolektorių ir  $4 \text{ m}^3$  tūrio akumuliacinės talpyklos bendrą sistemą.

### Jautrumo analizė

Šiuo metu Lietuvoje tik viename daugiabutyje yra įrengta saulės kolektorių sistema, nėra pakankamos patirties vertinant tokios apimties darbų investicijų, montavimo ir priežiūros išlaidų, todėl šiame skyrelyje analizuojama pagrindinių rodiklių svyravimo įtaka galutiniams ekonominiams rezultatams.

Pagal šiuo metu Lietuvoje galiojančią pastatų modernizavimo programą tam tikros energijos taupymo priemonės gali pretenduoti į 15–30 % investicijų paramą. Atliekant

jautrumo analizę įvertinamas tiek investicijų sumažėjimas, tiek padidėjimas. Plokščiųjų kolektorių atveju gaunami rezultatai:

- Tuo atveju, kai investicijos sumažėja 15 %, geriausio varianto paprastasis atspirkimo laikas sutrumpėja taip pat 15 %. GDV padidėja beveik 40 %, o VGN – daugiau kaip 31 % (daugiau kaip 9 %). Tačiau geriausi variantai išlieka tie patys (jie jau buvo aptarti ankstesniame skyrelyje).
- Tuo atveju, kai investicijos padidėja 10 %, lyginant su baziniu variantu, o finansinis sutaupymas krenta iki 10 %, geriausio varianto paprastasis atspirkimo laikas pailgėja net 22 %, t. y. iki 13 metų. GDV krenta net 61 %, o VGN – apie 35 % ir sudaro apie 7 % (daugiau, negu nustatyta palūkanų norma). Tačiau kaip ir bazinio ekonominio scenarijaus atveju geriausi ekonominiu požiūriu išlieka tie patys jau išanalizuoti variantai.

Vakuuminių kolektorių atlikta jautrumo analizė parodė, kad jei investicijos į vakuuminių kolektorių saulės sistemą būtų didesnės 10 %, nei skaičiuota bazinio ekonominio scenarijaus atveju, tuomet grynoji dabartinė vertė visų analizuotų variantų atvejais būtų neigiama ir projektas taptų ekonomiškai nepatrauklus. Tokie patys neigiami rezultatai pasiekiami, jei pagamintos šilumos kiekis vakuuminiuose saulės kolektoriuose būtų mažesnis 10 %, nei tai numatyta baziniame scenarijuje.

### Išvados

1. Sumodeliavus saulės kolektorių ir akumuliacinės talpyklos sistemas nustatyta, kad per metus  $1 \text{ m}^2$  plokštieji saulės kolektoriai gali pagaminti apie 580 kWh šilumos, o vakuuminiai – apie 697 kWh šilumos.
2. Vertinant plokščiųuosius kolektorius, techniškai ir ekonomiškai priimtinausia  $75 \text{ m}^2$  ploto saulės kolektorių ir  $4 \text{ m}^3$  tūrio akumuliacinės talpyklos bendra sistema (pagamintos šilumos kiekis yra 36,7 % metinio karšto vandentiekio sistemos šilumos poreikio, tai sudaro 44 MWh), tačiau galimi ir mažesnės apimties variantai, nes jų ekonominiai rezultatai labai artimi.
3. Vertinant vakuuminius saulės kolektorius, techniškai ir ekonomiškai priimtinausia  $58 \text{ m}^2$  ploto saulės kolektorių ir  $3 \text{ m}^3$  tūrio akumuliacinės talpyklos bendra sistema (pagamintos šilumos kiekis yra 33,7 % metinio šilumos poreikio karšto vandentiekio sistemoje, tai sudaro 40 MWh).
4. Atlikta techninė ir ekonominė galimų saulės kolektorių sistemų variantų analizė parodė, kad rezultatams didelę įtaką turi investicijų dydžio pokytis, palūkanų norma,

pagamintos (sutaupytos) šilumos kiekis ir papildomos eksploatacinės išlaidos. Tačiau beveik visi ribiniai variantai ekonominiu požiūriu priimtini per įrangos 20 metų gyvavimo laikotarpį. Tačiau šiuo atveju didžiausią naudą gauna daugiabučio gyventojai, o CŠT įmonės praranda pajamas, todėl tai gali atsiliiepti bendrai šilumos kainai nagrinėjamoje CŠT sistemoje.

5. Gautų rezultatų analizė parodė, kad nors vakuuminiai saulės kolektoriai efektyvesni ir pagamina daugiau šilumos nei plokštieji saulės kolektoriai, tačiau yra brangesni ir todėl labai jautrūs ekonominių ir techninių rodiklių pokyčiams. Taigi, analizuojamam pastatui rekomenduojama įrengti plokščiųjų saulės kolektorių ir akumuliacinės talpyklos sistemą.

## Literatūra

- Balaras, C. A., *et al.* 2005. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings, *Energy and Buildings* 37: 429–442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.003>
- Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra. 2010. *Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos visuomenės informavimo kampanijos I etapo komunikacijos strategija*. Vilnius. 25 p.
- Cassard, H.; Denholm, P.; Ong, S. 2011. Technical and economic performance of residential solar water heating in the United States, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3789–3800. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.016>
- 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.
- EMD International. 2009. *Solar Collectors and Photovoltaic in energyPRO*. Aalborg. 12 p.
- Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. 2009. *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. 133 p.
- Lietuvos statistikos departamentas. 2011. *Kuro ir energijos balansas 2010*. Vilnius. 54 p.
- The German Solar Society. 2005. *Planning and Installing Solar Thermal Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers*. London, Washington; Earthscan. 312 p.
- Trutnevytė, E. 2008. *Integruoto urbanistinio modulio aprūpinimo energija sistemų tyrimai*: baigiamasis magistro darbas. Vilnius. 98 p.
- UAB „AF-Terma“. 2007. *Pavyzdinio saulės energijos ir biokuro naudojimo projekto, įrengus Kačerginės vaikų sanatorijoje saulės kolektorių šilumai gaminti ir medienos atliekomis kūrenamą katilinę, efektyvumo tyrimai bei rekomendacijų tolimesniai tokių projektų taikymui parengimas*. Taikomasis mokslinis tyrimas (studija). Kaunas. 46 p.

## THE USE OF SOLAR ENERGY FOR PREPARING DOMESTIC HOT WATER IN A MULTI-STORY BUILDING

G. Šiupšinskas, S. Adomėnaitė

Abstract

The article analyses the possibilities of solar collectors used for a domestic hot water system and installed on the roofs of modernized multi-storey buildings under the existing climate conditions. A number of combinations of flat plate and vacuum solar collectors with accumulation tank systems of various sizes have been examined. Heat from the district heating system is used as an additional heat source for preparing domestic hot water. The paper compares calculation results of energy and economy regarding the combinations of flat plate and vacuum solar collectors and the size of the accumulation tank. The influence of variations in the main indicators on the final economic results has also been evaluated.

Research has been supported applying EC FP7 CONCERTO program (“Sustainable Zero Carbon ECO-Town Developments Improving Quality of Life across EU - ECO-Life” (ECO-Life Project) Contract No. TREN/FP7EN/239497/“ECOLIFE”).

**Keywords:** solar collectors, accumulation tank, domestic hot water, economic evaluation.