

TIEKIAMO ORO DEBITO ĮTAKA SAULĖS SIENOS EFEKTYVUMUI

Violeta MISEVIČIŪTĖ¹, Lukas RUDZINSKAS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹violeta.miseviciute@vgtu.lt; ²lukas.rudzinskas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama saulės sienos, skirtos orui, patenkančiam į vėdinimo įrenginį, pašildyti, tiekiamo oro debito įtaka saulės sienos efektyvumui. Apžvelgti eksperimentiniai ir teoriniai darbai. Pateiktos išraiškos saulės sienos efektyvumo rodikliams nustatyti. Atliktas saulės sienos eksperimentinis tyrimas (nuo 2014 m. balandžio 5 d. 00:00 val. iki 2014 m. balandžio 6 d. 00:00 val.), kai oro debitas pastovus. Nustatyti 100 m² ploto vertikaliuos saulės sienos, kuri sumontuota ant Vilniaus Gedimino technikos universiteto pietinio fasado, temperatūrinis ir bendrasis efektyvumai bei temperatūrinis prieaugis. Vidutinis temperatūrinis prieaugis tyrimo metu siekė 7,5 °C. Esant pastoviam debitui, bet didėjant saulės spinduliotei, didėja ir temperatūrinis efektyvumas. Apskaičiuotas vidutinis temperatūrinis efektyvumas yra 72 %. Didėjant saulės spinduliotei, bendrasis saulės sienos efektyvumas mažėja.

Reikšminiai žodžiai: bendrasis (šiluminis) efektyvumas, saulės energija, saulės siena, temperatūrinis prieaugis, vėdinimas.

Įvadas

Atsižvelgiant į Europos Sąjungos (ES) strateginius klimato ir energetikos tikslus, būtina, kad iki 2020 metų galutiniame energijos balanse būtų 20 proc. atsinaujinančiųjų energijos šaltinių (AEŠ), 20 proc. pagerinti energijos vartojimo efektyvumą ir 20 proc. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (Europos parlamento ir tarybos direktyva 2010/31/EB). Viena didžiausių problemų – organinio kuro atsargos yra baigtinės ir nepalijamajai senka. Esamų atsargų gali užtekti vos keliems dešimtmečiams.

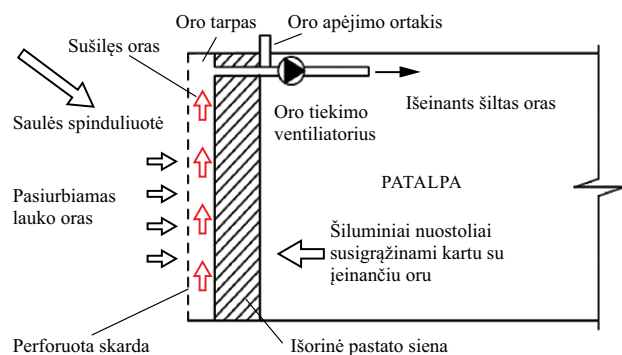
ES vidinių energijos išteklių dabar užtenka tenkinti jau tik pusei jos poreikių. Deja, jie taip pat pastebimai senka, o energijos suvartojama kaskart daugiau. Antroji, ne mažiau svarbi ne tik ES, bet ir pasaulinė problema – vis didėjanti aplinkos tarša deginant organinį kurą ir jo sukelta globali klimato kaita, lemianti dažną ir stiprėjantį gamtos stichijų siautėjimą. Sprendžiant šias problemas nėra kitos alternatyvos, kaip kad mažinti vartojamos energijos kiekį didinant jos vartojimo efektyvumą, taip pat vis didesnę dalį iškasamo organinio kuro pakeisti AEŠ.

Saulės energija – bene galingiausias AEŠ žemėje, kurios potencialas yra didesnis už visų kitų energijos rūšių potencialą. Ji naudojama ne tik elektros, bet ir šilumos gamybai. Saulės energiją vartoja saulės kolektoriai, naudojami tiek karštam vandeniui ruošti, tiek šildymui (Rodriguez-Hidalgo *et al.* 2012), fotovoltiniai moduliai, naudojami elektros gamybai (Jakubiec, Reinhart 2013), ir

vis populiarėjančios saulės sienos (Kozubal *et al.* 2008), kurios pradėtos naudoti džiovinant daržoves ir vaisius (Rodriguez-Hidalgo *et al.* 2012).

Tyrimo objektas

Saulės sienos mokslinėse publikacijose įvardijamos kaip neįstiklintas pratakus saulės kolektorius (angl. *unglazed transpired solar collector*) arba tiesiog kolektorius (1 pav.). Sistema yra paprasta: ant pietinio pastato fasado sumontuojama perforuota tamsaus metalo danga, kuri yra tam tikru atstumu atitraukta nuo išorinės pastato sienos.



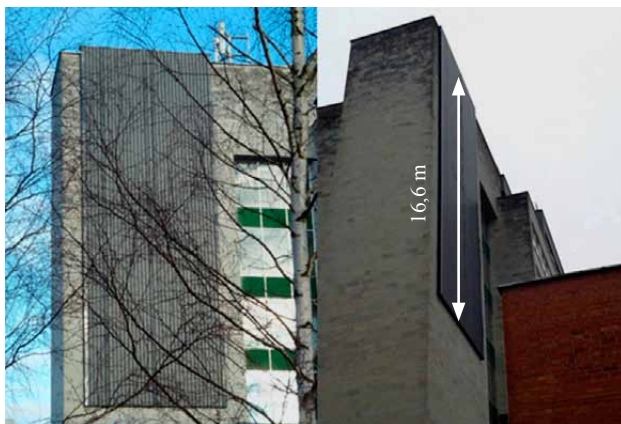
1 pav. Neįstiklinto pratakus saulės kolektoriaus (saulės sienos) veikimo principinė schema

Fig. 1. Principal scheme for an unglazed transpired solar collector (solar wall)

Saulės siena ortakiais sujungiama su vėdinimo įrenginiu, kuris sukuria dirbtinę oro trauką. Oras siurbiamas visu saulės sienos plotu, per tūkstančius mažų skylučių. Taip oras yra sušildomas, paskui patenka į vėdinimo įrenginį ir paskirstomas pastate.

Saulės siena ne tik pašildo orą šaltuoju laikotarpiu, bet ir šiltuoju laikotarpiu veikia kaip pasyvaus vėsinimo priemonė – saulės siena apsaugo išorinę pastato sieną nuo tiesioginių saulės spindulių, o įkaitęs oras nukreipiamas ne į vėdinimo įrenginį (kaip šaltuoju laikotarpiu), tačiau per apeigos vožtuvą natūralios konvekcijos būdu pašalinamas į lauką. Šviežias oras į vėdinimo įrenginį siurbiamas per atskirą ortakį, specialiai sumontuotą šviežiam orui paimti.

Pirmoji saulės siena, naudojama statinio inžinerinėms sistemoms Lietuvoje, sumontuota ant Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Aplinkos inžinerijos fakulteto (AIF) antrųjų rūmų pietinio fasado pusės (SRK-II) (2 pav.). Ši saulės siena priklauso Pastato energinių ir mikroklimato sistemų (PEMS) laboratorijai.



2 pav. VGTU saulės siena
Fig. 2. A solar wall of VGTU building

Saulės siena – dar nauja, veiksminga sistema, kuri gali būti taikoma ne tik šildymo, bet ir vėdinimo sistemoms. Tyrimų, susijusių su saulės siena, vidutinių platumų klimato, būdingo Lietuvai, zonoje atlikta nedaug.

Kutscher (1992) pirmasis atliko skaitinius, eksperimentinius ir analitinius tyrimus, detaliai aprašė šilumos mainų teoriją neįtikintam pratakiam saulės kolektoriui. Jis nustatė, kad, didėjant vėjo greičiui, mažėja šilumos mainų efektyvumas, įvertino kolektoriaus aerodinaminius nuostolius, ištyrė, kad skylių skersmuo turi įtakos šilumos mainų efektyvumui. Taip pat nustatė, kad, skaičiuojant saulės sienos efektyvumą, galima naudoti vidutinę logaritminę kolektoriaus paviršiaus temperatūrą, o didinant siurbiamo oro kiekį, didėja ir bendrasis efektyvumas, o temperatūrinis efektyvumas mažėja.

Kutscher (1992) gauti rezultatai buvo palyginti su Van Decker *et al.* (2001) vykdytų eksperimentų rezultatais. Jie tyrė kolektoriaus efektyvumą, kai yra skirtingas skardos storis, skylių skersmuo, oro siurbimo greitis ir skardos šilumos laidumo koeficientas. Šie autoriai savo rezultatais papildė saulės sienos efektyvumo skaičiavimo metodikas, kai dar įvertinami šilumos mainai skylutės priekyje, viduryje ir galinėje dalyse.

Hollick (1994), atlikęs skaitinį saulės sienos eksperimentą, nustatė, kad didėjant vėjo greičiui, mažėja kolektoriaus efektyvumas, taip pat kolektorius sugrąžina šilumą, prarandamą per pastato atitvarą ir tą šilumą grąžina per vėdinimo sistemą. Eksperimentas taip pat parodė, kad kuo mažesnis oro debitas siurbiamas per saulės sieną, tuo labiau didėja jo temperatūrinis prieaugis.

Summers *et al.* (1996) atliko skaitinį saulės sienos tyrimą su programa TRNSYS. Atlikus ekonominį ir energinį Viskonsino valstijoje įrengto kolektoriaus skaičiavimus, gauta, kad šis kolektorius yra ekonomiškai nepatrauklus, nebent jeigu pastato, kuriame sumontuota saulės siena, bazinis šildymas būtų tik elektrinis. Summers *et al.* rekomenduoja saulės sieną įrengti naujai statomuose dideliuose pastatuose.

Kozubal *et al.* (2008) atliko Kolorade sumontuotos saulės sienos ekonominį tyrimą ir nustatė, kad kolektorius panaudodavo tik 8–11 % saulės, patenkančios ant saulės sienos paviršiaus energijos, patalpoms šildyti. Remiantis skaičiavimais gauta, kad tiriamas kolektorius galėtų efektyviai panaudoti apie penkis kartus daugiau saulės energijos. Žemas kolektoriaus efektyvumas gautas dėl nesubalansuoto vėdinimo sistemos veikimo.

Cordeau, Barrington (2011) nagrinėjo, kaip saulės siena naudojama pradiniam oro pašildymui. Tyrimo metu buvo matuojama saulės spinduliuotė, vėjo greitis ir iš kolektoriaus gaunamos energijos kiekis. Nustatyta, kad kai vėjo greitis mažesnis nei 2 m/s, vidutinis temperatūrinis kolektoriaus efektyvumas siekia 65 %, o kai didesnis nei 7 m/s, kolektoriaus efektyvumas sumažėja 25 %.

Gao *et al.* (2011) sukūrė realų saulės sienos modelį, kuris sumontuotas ant išorinės pastato sienos. Modelis buvo naudotas eksperimentiniams tyrimams atlikti ir efektyvumams nustatyti. Nustatyta, kad temperatūrinis prieaugis mažėja, kai didinamas siurbiamo oro debitas. Didinant siurbiamo oro debitą, didėja bendrasis efektyvumas, bet mažėja temperatūrinis efektyvumas.

Tas pats tyrimas parodė, kad vėjo greitis ir aplinkos oro temperatūra turi nedidelę įtaką efektyvumams, lyginant su saulės spinduliuote ir siurbiamo oro debitu. Tyrimo metu bendrojo efektyvumo reikšmės svyravo nuo 61 % iki 78 %.

Cho *et al.* (2012) modeliavo saulės sieną su programa SBET ir atliko skaitinius eksperimentus, keisdami siurbiamo oro kiekį, kolektoriaus absorbcijos koeficientą ir saulės spinduliuotę. Nustatyta, kad, didinant siurbiamo oro kiekį, didėja kolektoriaus efektyvumas, bet viršutinė efektyvumo riba nebuvo pasiekta net esant 200 m³/h/m² oro kiekiui. Lyginant kolektorius su skirtingais absorbcijos koeficientais (1,0 ir 0,7), nustatyta, kad, esant geresniam absorbcijos koeficientui, efektyvumas yra didesnis apie 30 % (50–200 m³/h/m²). Nustatyta, kad didesnis temperatūrinis prieaugis, kai oro debito charakteristika m³/h/m² mažesnė tomis pačiomis aplinkos sąlygomis.

Bastarache *et al.* (2012) eksperimentiniu tyrimu nustatė saulės sienos efektyvumo kitimą, kai didinamas tiekiamo oro debitas. Šie autoriai oro debito charakteristikai m³/h/m² suteikė paviršiaus oro kiekio (angl. *surface air flow*) pavadinimą. Jie nustatė, kad didėjant paviršiaus oro kiekiui, didėja ir bendrasis kolektoriaus efektyvumas. Kai paviršiaus oro kiekis viršija 200 m³/h/m² ribą, efektyvumas nebedidėja ir, pasiekęs maksimalią 75 % vertę, išlieka pastovus, net jei ir toliau didinamas debitas.

Badache *et al.* (2012) atliko skaitinį tyrimą, kuriuo nustatė, kaip keturis parametrus (saulės spinduliuotę, oro debitą, skylių skersmenį ir kolektoriaus paviršiaus medžiagą) derinant tarpusavyje gaunamas didžiausias saulės sienos efektyvumas. Nustatyta, kad didžiausią įtaką efektyvumui, išskyrus saulės spinduliuotę, turi siurbiamo oro kiekis ir kolektoriaus paviršiaus padengimas.

Šaltajame Kinijos regione eksperimentinio tyrimo metu buvo nustatytas kolektoriaus efektyvumas esant dviem skirtingiems debitams. Gauta, kad didinant debitą, didėja bendrasis efektyvumas – geriau pasisavinama saulės spinduliuotė, bet krinta temperatūrinis efektyvumas – mažėja tiekiamo oro temperatūra. Nustatyta, kad tirta saulės siena padengia 6,4 % šildymo poreikių (Gao *et al.* 2013).

Mieženo (2013) moksliniame darbe atliktas saulės sienos eksperimentinis tyrimas, kurio metu nustatyti kolektoriaus efektyvumo rodikliai. Energiniams ir ekonominiams skaičiavimams naudota „RetScreen“ programa, nustatyta, kad jei bazinis šildymas būtų elektra, saulės sienos paprastas atsipirkimo laikas būtų 9,6 metų.

Mieženas (2013) nustatė, kad VGTU sumontuoto kolektoriaus vidutinis temperatūrinis efektyvumas siekia 71 %. Gauta, kad, didinant debitą, didėja ir bendrasis efektyvumas, tačiau maksimali efektyvumo reikšmė nepasiekta. Kaip matyti, mokslininkus dominanti sritis – tiekiamo oro debito įtaka kolektoriaus temperatūriniam ir bendrajam efektyvumams. Todėl šio tyrimo tikslas – ištirti, kokią įtaką Lietuvos klimatinėmis sąlygomis tiekiamo oro debitas turi minėtiems saulės sienos efektyvumams.

Saulės sienos bendrasis, temperatūrinis efektyvumas ir temperatūrinis prieaugis

Saulės spinduliuotė yra pagrindinis veiksnys, lemiantis temperatūrinį prieaugį, tačiau šio veiksnio kontroliuoti negalime. Parametras, kurį galima kontroliuoti ir taip daryti didžiausią įtaką (lyginant su kitais kontroliuojamais veiksniais) temperatūrinio ir bendrojo efektyvumų pokyčiams – tai tiekiamo oro debitas. Bendrasis (šiluminis) efektyvumas parodo, kaip efektyviai naudojama saulės spinduliuotė, patenkanti ant kolektoriaus ploto, o temperatūrinis efektyvumas parodo, kaip efektyviai yra sušildomas tiekiamas lauko oras, pratekėjęs per visą kolektorių. Eksperimentai su tiekiamo oro debitu buvo atlikti realiomis sąlygomis ir atliekant kompiuterinius modeliavimus. Vienais atvejais saulės spinduliuotė buvo kintanti, kai buvo atliekami eksperimentai, kitais atvejais buvo sukuriamos dirbtinės apšvietimo sąlygos arba atliekamas kompiuterinis modeliavimas su nustatyta pastovia saulės spinduliuote. Nagrinėtuose darbuose vyrauja išvados, kad, didėjant siurbiamo oro kiekiui, didėja bendrasis efektyvumas, tačiau mažėja temperatūrinis efektyvumas ir temperatūrinis prieaugis.

Bendrasis efektyvumas (η) (1) išreiškiamas kaip santykis tarp šilumos kiekio, suteikto šildomam orui, ir saulės spinduliuotės intensyvumo, tenkančio kolektoriaus paviršiaus plotui:

$$\eta = \frac{Q}{I_s A_k} = \frac{\dot{M} c_p (T_o - T_{is})}{I_s A_k}, \quad (1)$$

čia Q – šilumos kiekis suteiktas šildomam orui, W; I_s – saulės spinduliuotės intensyvumas, W/m²; A_k – kolektoriaus plotas, m²; \dot{M} – oro srauto masinis debitas, kg/s; T_o – išeinančio oro iš saulės sienos temperatūra, °C; T_{is} – lauko oro temperatūra, °C; c_p – oro savitoji šiluma, J/kgK.

Saulės sienos temperatūrinis efektyvumas (ε_t) (2) išreiškiamas santykiu tarp sušilusio oro, kuris išeina iš saulės sienos, ir saulės sienos paviršiaus temperatūros, abiem atvejais iš kiekvienos temperatūros atėmus lauko oro temperatūrą:

$$\varepsilon_t = \frac{T_o - T_{is}}{T_{kol} - T_{is}}, \quad (2)$$

čia T_{kol} – kolektoriaus paviršiaus temperatūra.

Šis efektyvumo rodiklis parodo šilumos mainų tarp kolektoriaus paviršiaus ir oro srauto kolektoriuje efektyvumą.

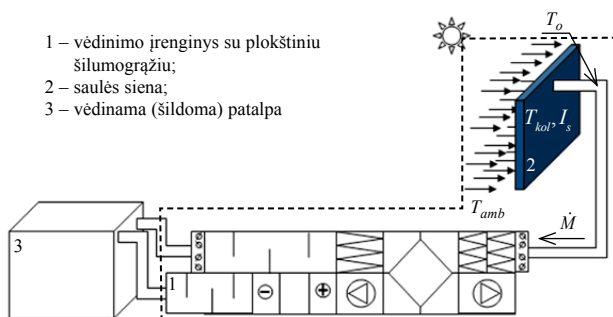
Temperatūrinis prieaugis (ΔT) – sušilusio kolektoriuje tiekiamo oro (T_o) ir išorės oro (T_{amb}) temperatūrų skirtumas – yra apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$\Delta T = T_o - T_{amb}. \quad (3)$$

Tyrimo eiga ir prielaidos

Straipsnyje nagrinėjami saulės sieną apibūdinantys rodikliai ir oro debito įtaka šiems rodikliams, kai oro debitas pastovus.

Tiriamos saulės sienos, naudojamos vėdinimo sistemai, schema pavaizduota 3 pav.



3 pav. Tiriamos sistemos schema

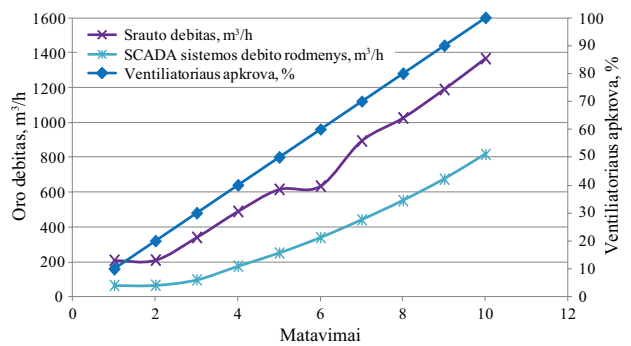
Fig. 3. Scheme for the investigated system

3 pav. pažymėtos sistemos ribos (punktyrine linija) ir reikalingi eksperimento metu išmatuoti parametrai (išorės oro temperatūra (T_{amb}), tiekiamo oro iš saulės sienos temperatūra (T_o), tiekiamo oro debitas (\dot{M}), Saulės spinduliuotės intensyvumas į vertikalų paviršių (I_s), kolektoriaus paviršiaus temperatūra (T_{kol})) atsižvelgiant į (1–2) formules.

Minėtų parametru matavimams buvo naudojami šie matavimo prietaisai: meteorologinė stotelė HOBO U30 (kaupiami meteorologiniai duomenys 1 minutės intervalu); optinis pirometras (saulės spinduliuotei matuoti); HOBO S-TMB-M017 jutiklis (kolektoriaus paviršiaus ir tiekiamo oro temperatūrai iš saulės sienos matuoti); termoanemometras (tiekiamojo oro srauto greičiui matuoti); nešiojamoji meteorologinė stotis HOBO H21-002 (duomenims kaupti); SCADA sistema (duomenims stebėti); „Pitot“ vamzdelis (oro debitui matuoti).

Rezultatai

Palyginti oro debitai išmatuoti naudojant „Pitot“ vamzdelį ir stebėti SCADA sistemoje pateikti 4 pav. Jame matyti, kad SCADA sistemos rodmenys nesutampa su eksperimentinio matavimo rezultatais. SCADA sistemos debito rodmenys yra mažesni nei išmatuotieji. Taip pat iš vėdinimo įrenginio techninių dokumentų žinoma, kad nominalus PEMS laboratorijos vėdinimo įrenginio tiekiamojo ventiliatoriaus našumas yra $1450 \text{ m}^3/\text{h}$ (esant 100 % ventiliatoriaus apkrovai). SCADA sistemos rodmenys, esant maksimaliai apkrovai, beveik perpus mažesni nei projektinis debitas.



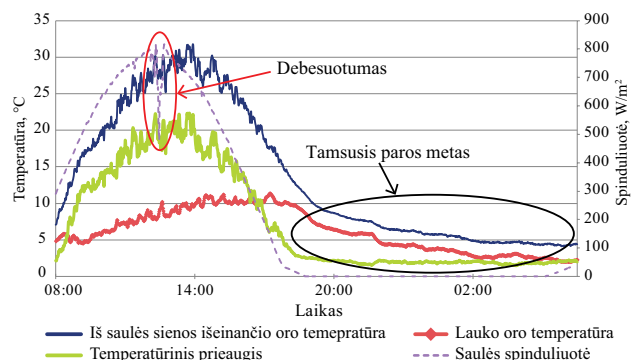
4 pav. Oro debitų matavimo duomenų nesutapimas

Fig. 4. A solar wall in the SCADA system

Kadangi debito matavimai su „Pitot“ vamzdeliu (Rudzinskas 2014) buvo atliekami pagal visus reikalavimus, tolimesniuose eksperimentuose, naudojant SCADA sistemos debito duomenis, buvo įvedami atitinkami daugikliai (pataisos koeficientai) debitams perskaičiuoti.

Atlikto eksperimento metu buvo išmatuoti saulės sienos efektyvumai, kai oro debitas pastovus. Pastovaus oro debito per visą saulės sienos plotą eksperimentas buvo atliekamas vieną parą (nuo 2014 m. balandžio 5 d. 00:00 valandos iki 2014 m. balandžio 6 d. 00:00 valandos). Tiekiamojo oro ventiliatoriaus apkrova buvo 50 %, oras siurbiamas visą parą per visą saulės sienos plotą, vidutinis siurbiamo oro debitas $567 \text{ m}^3/\text{h}$. Dienos metu dangus buvo giedras, saulėta. Naudojant (1–2) formules, buvo nustatyti šie dydžiai: tiekiamo oro debitas, lauko oro temperatūra, saulės sienoje pašildyto oro temperatūra, vertikali saulės spinduliuotė, saulės sienos paviršiaus temperatūra. Kiti dydžiai buvo priimti pastovūs: oro savitoji šiluma ($1,006 \text{ kJ/kgK}$), kolektoriaus plotas (100 m^2), oro tankis ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$).

5 pav. pavaizduotos keturios kreivės: lauko oro temperatūra, iš saulės sienos išeinančio oro temperatūra, temperatūrinis prieaugis, kuris apskaičiuojamas pagal (3) formulę, ir saulės spinduliuotės intensyvumas.



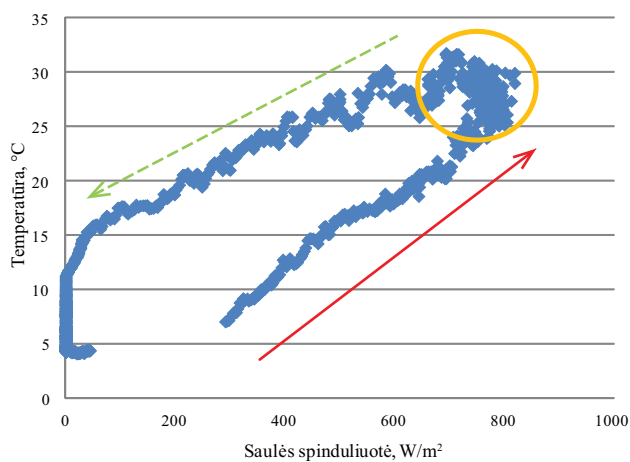
5 pav. Lauko oro ir išeinančio iš saulės sienos temperatūrų bei prieaugio priklausomybės nuo saulės spinduliuotės

Fig. 5. Dependencies of ambient air and an increase in outlet air temperatures maintained by the solar wall on solar irradiation

Eksperimento pradžioje saulės spinduliuotės intensyvumas siekė 290 W/m^2 , išeinančio oro temperatūra iš kolektoriaus $7,1 \text{ }^\circ\text{C}$, kai lauko oro temperatūra $4,9 \text{ }^\circ\text{C}$, o temperatūrinis prieaugis sudarė tik $2,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Spinduliuotė sparčiai didėjo iki pat $12:00$. Tuomet pasiektas spinduliuotės intensyvumas 800 W/m^2 . Išeinančio oro temperatūra iš kolektoriaus $27,2 \text{ }^\circ\text{C}$, kai lauko oro temperatūra $8,5 \text{ }^\circ\text{C}$, o temperatūrinis prieaugis sudarė $18,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Vidutinis temperatūrinis prieaugis tyrimo metu, įskaitant ir tamsųjį paros metą, siekė $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Viso bandymo metu iš saulės sienos tiekiamo oro temperatūra buvo aukštesnė už lauko oro temperatūrą.

Kaip kinta temperatūra kintant saulės spinduliuotei pavaizduota 6 pav.



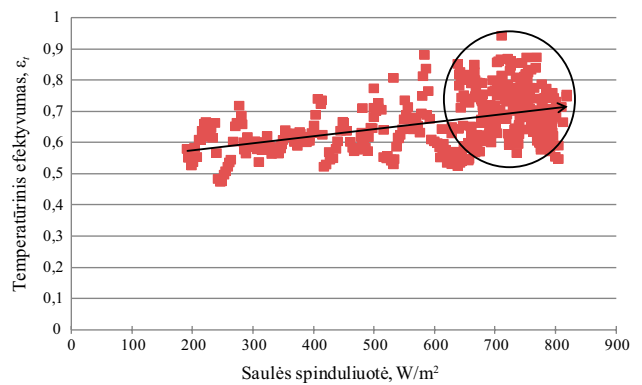
6 pav. Išeinančio iš saulės sienos oro temperatūros nuo saulės spinduliuotės priklausomybė

Fig. 6. The dependency of outlet air temperature maintained by the solar wall on solar irradiation

6 pav. vaizduojamos dvi rodyklės, kurios nurodo temperatūros didėjimo ir mažėjimo kryptis. Apibrėžta sritis nurodo mažai kintančias temperatūras, kadangi tuo metu saulės spinduliuotės kitimas taip pat nedidelis. Žemyn nukreipta rodyklė rodo temperatūros mažėjimą, mažėjant saulės intensyvumui.

Temperatūrinio efektyvumo kitimas, kai debitas yra pastovus, o saulės spinduliuotė per parą kinta, pavaizduotas 7 pav. Didėjant saulės spinduliuotei, didėja ir temperatūrinis efektyvumas.

Temperatūrinių efektyvumų reikšmės svyruoja nuo 38 % iki 94 %. Vidutinis temperatūrinis efektyvumas viso bandymo metu siekia 64 %. Didžiausia matavimo taškų koncentracija apibrėžta elipse, kai saulės intensyvumas svyruoja $650\text{--}800 \text{ W/m}^2$. Tuomet temperatūrinis kolektoriaus efektyvumas svyruoja nuo 57 % iki 86 %, ir vertinant tai, kad tuo metu saulės spinduliuotės kitimas nėra didelis, apskaičiuotas vidutinis temperatūrinis efektyvumas siekia 72 %.



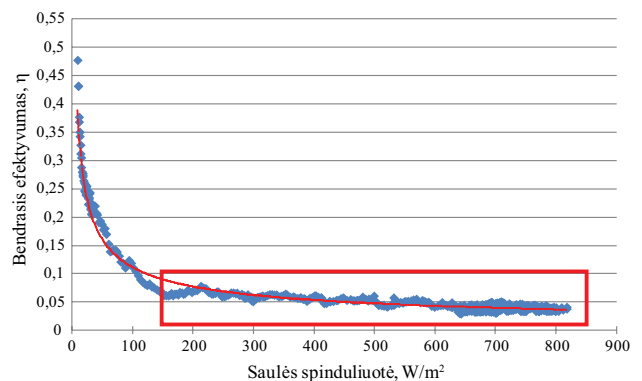
7 pav. Temperatūrinis efektyvumas, kai debitas yra pastovus

Fig. 7. The efficiency of temperature under constant airflow rate

Bendrojo efektyvumo kitimas, kai debitas yra pastovus, o saulės spinduliuotė per parą kinta, pateiktas 8 pav.

Iš 8 pav. matyti, kad, didėjant saulės spinduliuotei, bendrasis efektyvumas krinta, nes nepasisavinama didelė dalis saulės spinduliuotės, patenkančios ant kolektoriaus. Didėjant spinduliuotės intensyvumui mažėja jos pasisavinimas. Šio bandymo metu bendrojo efektyvumo reikšmės kito nuo 48 % iki 2 %. 8 pav. stačiakampiu išskirta sritis, kai bendrojo efektyvumo reikšmės kito minimaliai nuo 0,06 iki 0,02, o saulės spinduliuotė kito dideliu diapazonu (nuo 200 W/m^2 iki 820 W/m^2). Vidutinis bendrasis efektyvumas šioje srityje siekia tik 4,5 %, o tai reiškia, kad efektyviai buvo panaudota tik mažiau nei $1/20$ visos saulės spinduliuotės, kuri pasiekė kolektoriaus paviršių. Viso eksperimento metu apskaičiuotas vidutinis bendrasis saulės sienos efektyvumas siekia 10 %.

Dėl oro sušilimo saulės sienoje oro paruošimo procesui vėdinimo įrenginyje gali būti naudojami mažesnio galingumo šildytuvai, o tai reiškia, kad vėdinimo sistema energiją naudos efektyviau.



8 pav. Bendrasis (šiluminis) saulės sienos efektyvumas, kai debitas nekinta

Fig. 8. The overall (thermal) efficiency of the solar wall under constant airflow rate

Išvados

1. Vidutinis temperatūrinis prieaugis tyrimo metu, įskaitant ir tamsųjį paros metą, siekė 7,5 °C.
2. Esant nekintančiam debitui, bet didėjant saulės spinduliutei, didėja ir temperatūrinis efektyvumas. Esant nedideliame saulės intensyvumo svyravimui kolektoriaus temperatūrinis efektyvumas svyruoja nuo 57 % iki 86 %, apskaičiuotas vidutinis temperatūrinis efektyvumas siekia 72 %.
3. Didėjant saulės spinduliutei, bendrasis efektyvumas mažėja. Vidutinis bendrasis kolektoriaus efektyvumas, kai debitas 567 m³/h siekia 4,5 %.

Padėka

Tyrimą finansavo Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-03/2012). Autoriai dėkoja už pagalbą VGTU Civilinės inžinerijos mokslo centro Pastato energetikos ir mikroklimato sistemų laboratorijai.

Literatūra

- 2010/31/EB Europos Parlamento ir Tarybos direktyva. *Dėl pastatų energinio naudingumo*. 2010 m. gegužės 19 d. Europos Sąjungos oficialusis leidinys L 153: 13–35.
- Badache, M.; Halle, S.; Rouse, D. 2012. A full 34 factorial experimental design for effectiveness optimization of an unglazed transpired solar collector prototype, *Solar Energy* 86(9): 2802–2810. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.020>
- Bastarache S.; Savary, Y. D.; Dutil, Y.; Geneves, C.; Rouse, D. R.; Brizard, F. B. 2012. In situ measurements of the thermal performance of several unglazed transpired solar collectors in Canada, in *6th International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications*, 29 May – 01 June 2012, Istanbul, Turkey.
- Cho Y.; Shukla, A.; NKwetta, D. N.; Jones, P. J. 2012. Thermal modelling and parametric study of transpired solar collector, in *CIBSE ASHRAE Technical Symposium*, 18–19 April 2012, Imperial College, London, UK.
- Cordeau S., Barrington S. 2011. Performance of unglazed solar ventilation air pre-heaters for broiler barns, *Solar Energy* 85(7): 1418–1429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.03.026>
- Gao, L.; Bai, H.; Fang, X. 2011. Experimental study of solar air heating system based on unglazed transpired collector, in *5th International Conference on Energy Sustainability*, 7–10 August 2011, Washington, USA, 297–302.
- Gao, L.; Bai, H.; Fang, X.; Wang, T. 2013. Experimental study of a building-integrated solar air heating system in cold climate of China, *Energy and Buildings* (65): 359–367.
- Hollick, J. C. 1994. Unglazed solar wall air heaters, *Renewable Energy* 01: 415–421. [http://dx.doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90408-1](http://dx.doi.org/10.1016/0960-1481(94)90408-1)
- Jakubiec J. A.; Reinhart, C. F. 2013. A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on

LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations, *Solar Energy* 93: 127–143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.022>

- Kozubal, E.; Deru, M.; Slayzak, S.; Norton, P.; Berker, G.; McClendon, J. 2008. Evaluating the performance and economics of transpired solar collectors for commercial applications, *ACEEE summer study on energy effectiveness in buildings*, 193–208.
- Kutscher, C. 1992. *An investigation of heat transfer for air flow through low porosity perforated plates*. University of Colorado. 266 p.
- Miežėnas, A. 2013. *Eksperimentinis Aplinkos inžinerijos fakulteto saulės sienos efektyvumo tyrimas*: magistro baigiamasis darbas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius. 80 p.
- Rodriguez-Hidalgo, M. C.; Rodríguez-Aumente, M. C.; Lecuona, A.; Nogueira, J. 2012. Instantaneous performance of solar collectors for domestic hot water, heating and cooling applications, *Energy and Buildings* 45: 152–160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.060>
- Rudzinskas, L. 2014. *Saulės sienos efektyvumo eksperimentinis tyrimas*: magistro darbas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius.
- Summers, D. N.; Mitchell, J. W.; Klein, S. A.; Beckman, W. A. 1996. Thermal simulation and economic assessment of unglazed transpired collector systems, in *Annual Meeting SOLAR 1996*, April 1996, Asheville, NC. American Solar Energy Society, Madison.
- Van Decker, G. W. E.; Hollands, K. G. T.; Brunger, A. P. 2001. Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch, *Solar Energy* 71(1): 33–45. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(01\)00014-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00014-7)

THE IMPACT OF THE SUPPLIED AIRFLOW RATE ON THE EFFECTIVENESS OF THE SOLAR WALL

V. Misevičiūtė, L. Rudzinskas

Abstract

The paper analyses the impact of the supplied airflow rate of the solar wall used for heating air in an air handling unit on the effectiveness of the solar wall. The article reviews experimental and theoretical papers and presents the expressions determining the efficiency indicators of the solar wall. Experimental research into the solar wall at a constant airflow rate was carried out on 5–6 April 2014. Temperatures, overall efficiencies and an increase in temperature were established on the vertical solar wall counting the area of 100 m² and fixed on the south façade of Vilnius Gediminas Technical University. An increase in the average temperature, in the course of the conducted experiment, reached 7.5 °C. Under constant airflow rate, temperature efficiency increases along with solar irradiation. The average estimated temperature efficiency reaches 72 percent. The overall effectiveness of the solar wall decreases when solar irradiation increases.

Keywords: overall (thermal) efficiency, solar energy, solar wall, increase in temperature, ventilation.