



NEJSTIKLINTO ORINIO SAULĖS KOLEKTORIAUS EFEKTYVAUS VEIKIMO TYRIMAS

Dovydas RIMDŽIUS¹, Vytautas MARTINAITIS², Juozas BIELSKUS³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹dovydas.rimdzius@vgtu.lt; ²vytautas.martinaitis@vgtu.lt; ³juozas.bielskus@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje pristatoma VGTU Aplinkos inžinerijos fakulteto pietiniame fasade integruoto neįstiklinto orinio saulės kolektoriaus efektyvaus veikimo analizė bei jos rezultatai. Ankstesnio tyrimo metu pastebėta, kad, analizuojant tokio tipo kolektorių, svarbu atsižvelgti į jo poveikį vėdinimo sistemai. Įvertinus analizuojamojo kolektoriaus aerodinamines savybes, nustatyta, kad, esant tam tikroms oro srautų ir saulės spinduliuočių vertėms, įrenginio pagamintas energijos kiekis gali būti mažesnis už orui siurbti naudojamų ventiliatorių vartojamą energijos kiekį. Tyrime pateikiama kolektoriaus energijos transformavimo rodiklių bei pagamintų ir suvartotų energijos kiekių kitimo analizė, esant skirtingiems veikimo režimams. Nustatyti kolektoriaus efektyvaus veikimo režimai gali būti naudingi projektuojant ar kuriant tokio tipo įrenginių valdymo algoritmą.

Reikšminiai žodžiai: neįstiklintas pratakus saulės kolektorius, orinis saulės kolektorius, saulės siena, slėgio nuostoliai, energijos transformavimas, COP, pagamintas energijos kiekis, efektyvaus veikimo režimai.

Įvadas

Pastaruoju metu daug dėmesio skiriama atsinaujinančios energijos panaudojimui pastatuose. Vertinant atsinaujinančios energijos šaltinius, nustatyta, kad didžiausią energijos potencialą turi saulė (Quaschnig 2005), todėl šiuo metu intensyviai ieškoma būdų, kaip šią energiją transformuoti į šilumą ar elektrą. Pagal saulės energijos transformavimo į šilumą technologinius sprendimus pastatuose labiausiai taikomi aktyvūs ir pasyvūs saulės kolektoriai. Atliekamo tyrimo metu analizuojamas VGTU Aplinkos inžinerijos fakultete integruotas pasyvaus tipo įrenginys – neįstiklintas pratakus saulės kolektorius (angl. *Unglazed transpired solar collector*).

Vertinant šių dienų mokslinių tyrimų apimtį, galima išskirti dvi valstybes, kuriose buvo padarytas itin didelis mokslo indėlis nagrinėjant neįstiklintus pratakus saulės kolektorius. Šiuo metu tai yra JAV ir Kanada. Nagrinėjamos mokslo krypties pagrindai pradėti JAV mokslininkų. Jie sukūrė kolektoriaus šilumos mainų teoriją, atliko eksperimentinius tyrimus, kūrė skaitinius modelius, atliko kolektoriuje vykstančių šilumos mainų modeliavimą, vertino vėjo įtaką kolektoriaus efektyvumui, atliko ekonominius vertinimus (Kutscher *et al.* 1993; Summers 1995; Dymond, Kutscher 1997; Gawlik *et al.* 2005).

Panašiu laikotarpiu tokio įrenginio ne ką mažiau domėjosi ir Kanados mokslininkai. Žvelgiant į jų atliktų

mokslinių darbų sąrašą, galima išskirti šiuos esminius vystymosi etapus: sukurtas šilumos mainų skaitinis modelis, empirinė šilumos perdavimo lygtis, atlikta skaičiuojamasis fluidų dinamikos analizė modeliuojant kolektorių, oro pasiskirstymo kolektoriuje analizė, vertinti įvairūs kolektoriaus geometrijos aspektai (Cao *et al.* 1993; Van Decker *et al.* 2001; Fleck *et al.* 2002; Arulanandam *et al.* 1999; Gunnewiek 1994).

Viena svarbiausių tokių įrenginių charakteristikų – šiluminis efektyvumas. Šis rodiklis svarbus skaičiuojant kolektoriaus galią bei oro temperatūros prieaugį įrenginyje. Norint pasiekti didesnę įrenginio efektyvumą ir galią, reikia didinti kolektoriumi siurbiamo oro srautą (Kutscher *et al.* 1993), tačiau tai sukelia neigiamą efektą – didėja slėgio nuostoliai kolektoriuje. Įrenginio gamintojas deklaruoja, jog kolektorių eksploatuojant projektinėmis sąlygomis slėgio nuostoliai neturėtų viršyti 50 Pa, tačiau pristatomo tyrimo metu pastebėta, kad pastarosios vertės yra daug didesnės. Dėl šios priežasties, įrenginiui veikiant dideliu oro srauto režimu, orą siurbiantys ventiliatoriai vartoja didesnę energijos kiekį, nei numatyta. Esant tam tikroms sąlygoms, analizuojamojo įrenginio pagamintas šilumos kiekis gali būti net mažesnis už ventiliatorių suvartotą energiją.

Atsižvelgiant į šią problemą, pristatomame straipsnyje atliekama įrenginio pagamintų ir suvartotų energijos kiekių analizė, esant įvairiems kolektoriaus eksploatavimo

režimams. Publikacijoje pateikti rodikliai tinkami tik analizuojamajam kolektoriui, tačiau tyrimo metu naudoti įrenginio efektyvaus veikimo skaičiavimo principai gali būti pritaikyti ir kitiems kolektoriams. Naudojantis pristatoma skaičiavimo metodika galima sukurti valdymo algoritmą, kuris užtikrintų efektyvų tokių įrenginių veikimą.

Tyrimo objektas

Analizuojamasis kolektorius yra Kanados gamintojo *SolarWall* (SolarWall 2016) įrenginys. Kolektorius prijungtas prie Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorijos vėdinimo sistemos. Įrenginys suskirstytas į 3 skirtingo pločio sekcijas. Mažiausios sekcijos plotis 1 m, kitų sekcijų plotis atitinkamai 2 m ir 3 m. Sekcijų aukštis – 16,6 m, o bendras kolektoriaus paviršiaus plotas – 100 m² (žr. 1 pav.).



1 pav. Tyrimo objektas

Fig. 1. Research object

Tokio tipo kolektoriai yra paprastos konstrukcijos. Šiuo atveju kolektoriaus konstrukcijos pagrindą sudaro tamsiai dažyti perforuoti aliumininiai profiliai, kurie per 10–15 cm atitraukti nuo išorinės pastato atitvaros. Profiliuose esančių skylučių skersmuo apie 1,4 mm, o atstumai tarp jų – nuo 25 mm iki 30 mm. Šviečiant saulei šildomas perforuotas kolektoriaus paviršius bei siurbiamas lauko oras. Įrenginyje pašilęs oras toliau gali būti tiekiamas į patalpas, oro paruošimo įrenginius, šilumos siurblius ar kitus įrenginius ir taip sumažinti pirminės energijos poreikius.

Tyrimo metodika

Anksčiau atlikto eksperimentinio tyrimo metu buvo nustatytos analizuojamojo kolektoriaus šiluminės charakteristikos (Rimdzius, Martinaitis 2016), todėl pristatomame darbe remiamasi ankstesniame tyrime pateiktomis empirinėmis lygtimis. Šiuo atveju pagrindinė analitiniuose skaičiavimuose taikoma empirinė formulė – temperatūros prieaugio.

$$\Delta T = \frac{I_S \cdot (31,552 \cdot \ln(\dot{I}) - 71,066)}{\dot{m} \cdot c_p \cdot 100}, \quad (1)$$

čia ΔT – temperatūros prieaugis kolektoriuje, °C; I_S – saulės spinduliuotės intensyvumas, W/m²; \dot{I} – kolektoriumi pratekantis santykinis oro srautas, m³/(h·m²); \dot{m} – kolektoriumi pratekantis santykinis masinis oro srautas, kg/(s·m²); c_p – savitoji oro šiluma, kJ/(kg·K).

Žinant empirinę temperatūros skaičiavimo lygtį (1), kolektoriaus pagamintas šilumos srautas apskaičiuojamas pagal (2) formulę.

$$\dot{Q}_k = c_p \cdot \dot{m} \cdot A_k \cdot \Delta T = A_k \cdot I_S \cdot \frac{(31,552 \cdot \ln(\dot{I}) - 71,066)}{100}, \quad (2)$$

čia \dot{Q}_k – kolektoriaus pagamintas šilumos srautas, W; A_k – kolektoriaus plotas, m².

Kitas tyrime aktualus rodiklis – slėgio nuostoliai kolektoriuje. Minėtasis rodiklis apskaičiuojamas pagal (3) lygtį:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (3)$$

čia Δp – slėgio nuostoliai kolektoriuje, Pa; ζ – slėgio nuostolių koeficientas, vnt. Pagal LST EN 12238: 2003 standarto reikalavimus atliktus matavimus nustatyta koeficiento vertė $\zeta = 3,3$; ρ – oro tankis, kg/m³; v – oro judėjimo greitis ortakyje, m/s.

Žinant slėgio nuostolius kolektoriuje, siurbiamo oro srautą bei ventiliatorių naudingumo koeficientą, pagal (4) lygtį gali būti apskaičiuojama ventiliatorių vartojama elektros galia:

$$\dot{Q}_{ev} = \frac{\Delta p \cdot \dot{L}}{\eta_v}, \quad (4)$$

čia \dot{Q}_{ev} – ventiliatorių vartojama elektros galia, W; \dot{L} – kolektoriumi pratekantis oro srautas, m³/s; η_v – ventiliatorių naudingumo koeficientas. Šiuo atveju skaičiavimuose laikomasi prielaidos, jog ventiliatorių naudingumo koeficientas yra 85 %.

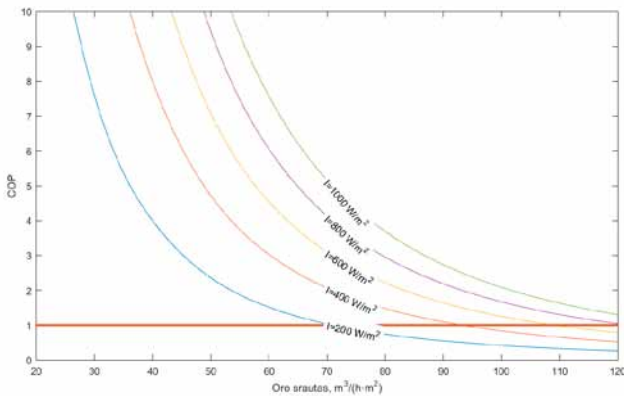
Kadangi įrenginiui veikti netiesiogiai būtina elektra, todėl jo charakteristikas išreiškiantis rodiklis gali būti energijos transformavimo koeficientas (*COP*). Šiuo atveju analizuojamajam kolektoriui minėtasis rodiklis apskaičiuojamas pagal (5) lygtį:

$$COP = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_{ev}}, \quad (5)$$

čia COP – energijos transformavimo koeficientas, vnt.; \dot{Q}_k – kolektoriui pagamintas šilumos srautas, W; \dot{Q}_{ev} – veikiant kolektoriui ventiliatorių vartojama elektros galia, W.

Energijos transformavimo rodikliai

2 pav. pateikiami pagal (5) lygtį apskaičiuoti įrenginio energijos transformavimo rodiklių rezultatai.



2 pav. Kolektoriaus energijos transformavimo koeficiento kitimas

Fig. 2. Coefficient of performance variation of collector

Šiuo atveju energijos transformavimo koeficientas įvertina saulės spinduliuotę ir kolektoriaus siurbiamą santykinį oro srautą (didžiausioji oro srauto vertė nustatyta atsižvelgiant į gamintojo pateiktus duomenis). Remiantis 2 pav. grafiku matyti, kad intensyvėjant saulės spinduliuotei įrenginio transformavimo koeficientas didėja. Analizuojamojo kolektoriaus atveju nustatyta, jog esant $20 m^3/(h \cdot m^2)$ santykiniam oro srautui ir $1000 W/m^2$ saulės spinduliuotei šis rodiklis gali pasiekti apie 84. O saulės spinduliuotei sumažėjus iki $200 W/m^2$, šis koeficientas sumažėtų 4,7 karto (iki 18).

Kadangi oro srauto didinimas pastebimai didina ventiliatorių elektros energijos galią, debito kitimas nuo $20 m^3/(h \cdot m^2)$ iki $120 m^3/(h \cdot m^2)$ šį rodiklį gali sumažinti iki 65 kartų. Šiuo atveju nustatyta, kad kolektoriui veikiant $120 m^3/(h \cdot m^2)$ oro srauto režimu, koeficiento vertė tampa mažesnė už 1, kai saulės spinduliuotė neviršija $800 W/m^2$. O esant mažesnei nei $200 W/m^2$ saulės spinduliuotei, šis rodiklis mažesnis už 1, kai oro srautas viršija $75 m^3/(h \cdot m^2)$.

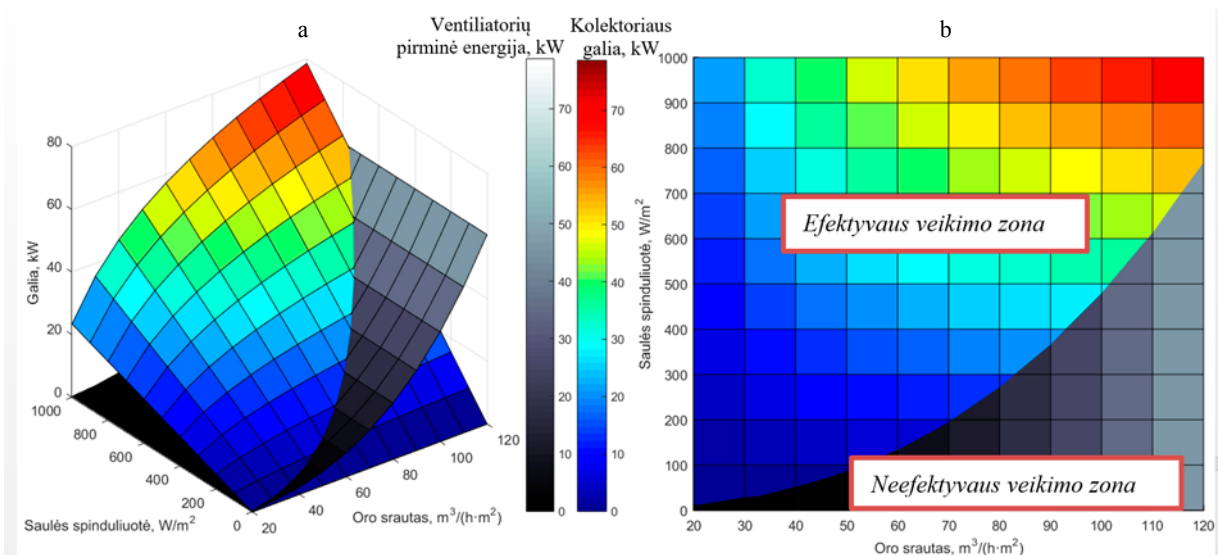
Efektyvaus veikimo režimai

Anksčiau pateiktos (2) ir (4) skaičiavimų lygtys leidžia nustatyti kolektoriaus pagamintą šilumos srautą ir veikiant įrenginiui ventiliatorių vartojamą elektros galią, tačiau tai yra dvi kokybiniu požiūriu skirtingos energijos rūšys. Norint šias energijos formas objektyviai palyginti reikalingas kokybinis suvienodinimas. Šiuo atveju vienas iš būdų gali būti perskaičiavimas į pirminę energiją. Toliau pateikiama (6) lygtis, skirta ventiliatorių vartojamai elektros galiai perskaičiuoti į pirminę energiją:

$$\dot{Q}_{pev} = \dot{Q}_{ev} \cdot f_{PRn}, \quad (6)$$

čia \dot{Q}_{pev} – ventiliatorių vartojama pirminė energija, W; f_{PRn} – pirminės energijos faktorius, vnt.

Kadangi kolektoriui pagamintas šilumos srautas yra priskiriamas atsinaujinančiai energijos formai, nebūtina perskaičiuoti šį rodiklį į pirminę energiją. 3 pav. grafiškai palyginamas energijos srautų kitimas. Ventiliatorių vartojamos galios skaičiavimuose laikomasi prielaidos, jog pirminės energijos faktorius atitinka elektros įvairiais gamybos būdais vidurkį – 2,8 (STR 2.05.01:2013).



3 pav. Kolektoriaus pagamintų ir suvartotų energijos srautų kitimas

Fig. 3. Generated and consumed energy flows of collector variation

Vertinant kolektoriaus pagaminto šilumos srauto kitimą demonstruojantį paviršių (žr. 3 pav., a) matoma, kad galios kitimo gradientas atitinka ankstesniame tyrime nustatytą efektyvumo kitimo pobūdį (Rimdžius, Martinaitis 2016). Intensyviausias galios priaugis yra esant mažiems oro srautams, o, siurbiamo oro kiekiui didėjant, galios priaugio kitimas mažėja. Analizuojamojo kolektoriaus atveju nustatyta, kad į 100 m² kolektoriaus paviršių patenkant 1000 W/m² saulės spindulių srautui ir esant 20 m³/(h·m²) siurbimo srautui, galima pasiekti 23 kW šiluminę galią. O siurbiamą oro srautą padidinus iki 120 m³/(h·m²), galia būtų apie 79 kW. Kitas grafike pavaizduotas paviršius rodo, jog, esant tokiam oro srauto kitimo diapazonui, veikiant kolektoriui ventiliatorių vartojama pirminė energija būtų nuo 0,3 kW iki 63 kW.

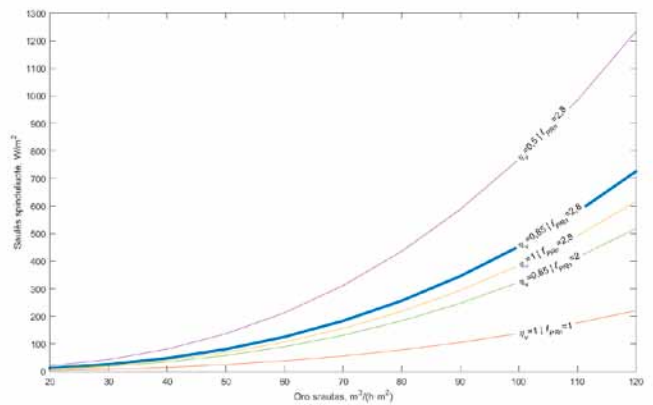
Suprantama, jog, į kolektorių patenkant mažesniai saulės spinduliuotės srautui, generuojamas šilumos srautas bus taip pat mažesnis. Dėl šios priežasties, esant tam tikroms oro srauto ir saulės spinduliuotės intensyvumo vėrtėms, ventiliatorių vartojamas pirminės energijos srautas viršys kolektoriaus generuojamą šilumos srautą. Remiantis grafiku (žr. 3 pav., b) matyti, kad, kolektoriumi siurbiant 50 m³/(h·m²) oro srautą, saulės spinduliuotė turėtų būti ne mažesnė nei 90 W/m², kitu atveju įrenginio veikimas tampa neracionalus, t. y. vartojamas energijos kiekis tampa didesnis už pagamintą energijos kiekį (neefektyvus veikimo zona). Šiuo atveju parinkus kitą įrenginio veikimo režimą matoma, kad, kolektoriumi siurbiant 120 m³/(h·m²) oro srautą, saulės spinduliuotė turėtų būti ne mažesnė nei 760 W/m². Akivaizdu, kad norint pasiekti optimalų analizuojamo įrenginio veikimą itin svarbu atsižvelgti į saulės spinduliuotės kitimą ir pagal tai valdyti kolektoriumi siurbiamo oro srautą.

Analizuojamojo kolektoriaus atveju efektyvus ir neefektyvus veikimo zonas skirianti riba nustatyta pagal anksčiau nustatytas ventiliatorių naudingumo koeficiento ir pirminės energijos faktorius prielaidas. Esant kitoms parametru vėrtėms, ši riba gali būti nustatoma pagal (7) lygtį:

$$I_s = - \frac{f_{PRn} \cdot \dot{I}^3}{\eta_v \cdot 10^3 \cdot (7 - 3,1 \cdot \ln(\dot{I}))} \quad (7)$$

4 pav. parodoma, kaip kinta šios ribos esant įvairioms prielaidų reikšmėms.

Palyginus esamą efektyvus ir neefektyvus veikimo ribą (žymima ryškia mėlyna linija) su ribomis, kai taikomos kitos prielaidų vėrtės, nustatyta, kad pasirinktų scenarijų atveju ribinės saulės spinduliuočių reikšmės gali kisti iki 3,5 karto. Lyginant blogiausią ir geriausią veikimo scenarijų, šios reikšmės gali skirtis net apie 6 kartus. Blogiausio



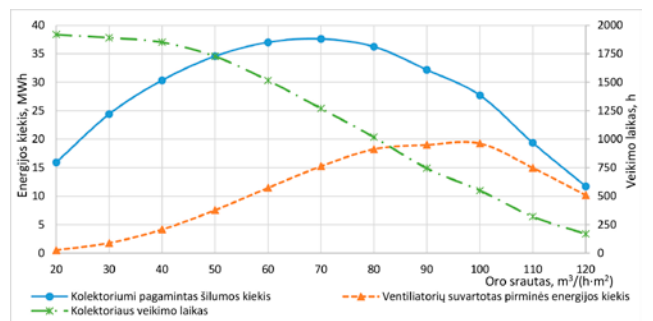
4 pav. Efektyvus ir neefektyvus veikimo zonas skiriančių ribų kitimas

Fig. 4. Changes of efficient and inefficient operation zones boundaries

scenarijaus atveju, kai ventiliatorių naudingumo koeficiento vėrtė būtų 50 %, o kolektorius veiktų maksimaliu oro srauto režimu, minimalus saulės spinduliuotės intensyvumas turėtų būti ne mažesnis nei 1230 W/m². Geriausio scenarijaus atveju, kai ventiliatorių naudingumo koeficiento vėrtė būtų 100 % ir elektros gamybai būtų naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai, minimalus saulės spinduliuotės intensyvumas galėtų būti tik 220 W/m².

Pagaminti ir suvartoti energijos kiekiai

Suprantama, kad įrenginį eksploatuojant realiomis sąlygomis saulės spinduliuotė kinta, todėl didelį oro srautą siurbiantis kolektorius turėtų veikti trumpesni laikotarpį, lyginant su mažesni oro srautą siurbiančiu kolektoriumi. Remiantis 2014 metų meteorologiniais duomenimis, buvo suskaičiuota, kiek kolektorius pagamino ir suvartojo pirminės energijos, esant pastoviams oro srautams. 5 pav. pateikiamas šiuos skaičiavimus iliustruojantis grafikas.



5 pav. Kolektoriaus energijos kiekiai ir veikimo laikai esant skirtingiems oro srautams

Fig. 5. Energy quantities and operation times of collector on different air flows

Analizuojamu atveju daroma prielaida, kad įrenginys veikia nuo spalio iki balandžio mėnesio, o šiuo laikotarpiu jis naudojamas tik tuomet, kai momentinis pagamintos energijos kiekis didesnis už suvartotą pirminę energiją. Momentiniai energijos kiekiai buvo apskaičiuoti pagal vienos valandos vidurkį.

Remiantis skaičiavimų rezultatais matyti, kad kolektorių eksploatuojant $20 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ santykinio oro srautu būtų galima pagaminti apie 16 MWh šilumos, o ventiliatoriams sunaudotas pirminės energijos kiekis tesiektų 0,5 MWh. Veikdamas tokiu pajėgumu, tiriamasis kolektorius per analizuojamą laikotarpį galėtų veikti apie 1900 valandų.

Kaip jau buvo minėta anksčiau, kolektoriui veikiant didesniu oro srauto režimu, reikalinga intensyvesnė saulės spinduliuotė. Kitu atveju įrenginys ima veikti neefektyviai. Akivaizdu, jog realiomis sąlygomis diapazono nuo didesnės saulės spinduliuotės laikotarpis yra trumpesnis nei diapazono nuo mažesnės saulės spinduliuotės, todėl kolektoriui veikiant didesniu oro srauto režimu veikimo laikas turėtų būti trumpesnis. Analizuojamąjį kolektorių eksploatuojant $120 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto režimu, veikimo laikas sutrumpėtų iki 168 valandų, t. y. daugiau nei 11 kartų lyginant su $20 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto variantu, o pagamintos ir suvartotos energijos kiekiai atitinkamai siektų 11,7 MWh ir 10,2 MWh.

Pateikti pavyzdžiai rodo, kad veikimas didelio oro srauto režimu nėra racionalus. Matoma, jog įrenginį naudojant dideliu intensyvumu jis pagamintų 37 % mažesnę šilumos kiekį, o suvartojamas energijos kiekis padidėtų net 20 kartų. Šiuo atveju didžiausias pagamintos energijos kiekis būtų įrenginiui veikiant $70 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto režimu, tačiau didžiausias skirtumas tarp pagamintos ir suvartotos energijos būtų pasiektas veikiant $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto režimu. Pirmuoju atveju pagamintos energijos kiekis siektų beveik 38 MWh, o skirtumas tarp pagamintos ir suvartotos energijos apie 22 MWh. Antruoju atveju pagamintos energijos kiekis būtų beveik 35 MWh, tačiau skirtumas tarp pagamintos ir suvartotos energijos pasiektų 26 MWh. Akivaizdu, kad analizuojamas kolektorius veiktų efektyviai esant $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto režimui.

Išvados

1. Analizuojamam kolektoriui veikiant didelio oro srauto režimu, smarkiai padidėja ventiliatorių elektros poreikis, todėl, esant tam tikroms oro srautų ir saulės spinduliuotės vertėms, kolektorius ima veikti neefektyviai. Dėl šios priežasties įrenginys veikti didelio oro srauto režimu turėtų trumpiau nei veikdamas mažų oro srautų režimais.
2. Nustatyta, kad, kolektoriui veikiant $120 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto režimu, energijos transformavimo koefi-

ciento vertė didesnė už 1, kai saulės spinduliuotė viršija $800 \text{ W}/\text{m}^2$. Esant mažesnei nei $200 \text{ W}/\text{m}^2$ saulės spinduliuotei, šis rodiklis didesnis už 1, kai oro srautas neviršija $75 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

3. Atlikus kokybinį pagamintos ir suvartotos energijos suvienodinimą nustatyta, kad, kolektoriui siurbiant $120 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srautą, jo veikimas efektyvus tik tuomet, kai saulės spinduliuotė didesnė nei $760 \text{ W}/\text{m}^2$. O oro srautą sumažinus iki $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, saulės spinduliuotė turėtų būti ne mažesnė nei $90 \text{ W}/\text{m}^2$.
4. Darant prielaidą, kad įrenginys veiktų tik tuomet, kai pagamintas energijos kiekis viršija suvartotą pirminės energijos kiekį, nustatyta, jog analizuojamas kolektorius veiktų efektyviai esant $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ oro srauto režimui. Įrenginiui veikiant tokiu režimu nuo spalio iki balandžio mėnesio, skirtumas tarp pagamintos ir suvartotos energijos būtų apie 26 MWh.

Rekomendacijos

1. Analizuojamoje sistemoje kolektoriaus slėgio nuostoliai daug kartų viršija gamintojo deklaruojamas vertes. Manoma, kad prie kolektoriaus sekcijų prijungtų ortakijų skersmenys yra per maži tokio dydžio įrenginiui, todėl projektuojant ir įrengiant kolektorių labai svarbu atkreipti dėmesį į prijungimo prie vėdinimo sistemos būdą.
2. Tyrimo metu taikyti kolektoriaus efektyvaus veikimo skaičiavimo principai gali būti naudingi projektuojant ar kuriant tokio tipo įrenginių valdymo algoritmą.

Literatūra

- Arulanandam, S. J. A.; Hollands, K. G. T.; Brundrett, E. 1999. A CFD heat transfer analysis of the transpired solar collector under no-wind conditions, *Solar Energy* 67: 93–100. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00042-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00042-6)
- Cao, S.; Hollands, K. G. T.; Brundrett, E. 1993. Heat exchange effectiveness of unglazed transpired-plate solar collector in 2D flow, in *Proceedings of the ISES World Congress*, 1993, Budapest, Hungary, 351–366.
- Dymond, C.; Kutscher, C. F. 1997. Development of a flow distribution and design model for transpired solar collectors, *Solar Energy* 60: 291–300. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00157-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00157-0)
- Fleck, B. A.; Meier, R. M.; Matovic, M. D. 2002. A field study of the wind effects on the performance of an unglazed transpired solar collector, *Solar Energy* 73(3): 209–216. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00007-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00007-5)
- Gawlik, G.; Christensen, C.; Kutscher, C. 2005. A numerical and experimental investigation of low conductivity unglazed, transpired solar air heaters, *Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME* 127(1): 153–155.

- Gunnawiek, L. H. 1994. *An investigation of the flow distribution through unglazed transpired-plate solar air heaters*: Master's thesis. University of Waterloo, Waterloo, Canada.
- Kutscher, C. F.; Christensen, C.; Barker, G. 1993. Unglazed transpired solar collectors: heat loss theory, *Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME* 115(3): 182–188.
- LSTEN 12238. 2003. *Pastatų vėdinimas. Galiniai oro paskirstymo įtaisai. Aerodinaminis bandymas ir charakteristikų nustatymas, esant sroviniam tekėjimui*. Lietuvos Standartizacijos departamentas, Vilnius, 36 p.
- Quaschnig, V. 2005. *Understanding Renewable Energy Systems*. London, UK, 271 p.
- Rimdžius, D.; Martinaitis, V. 2016. Neįstiklinto orinio saulės kolektoriaus šiluminių charakteristikų tyrimas iš 19-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos *Pastatų inžinerinės sistemos*, įvykusios 2016 m. balandžio 21 d. Vilniuje, Lietuvoje: 48–53.
- STR 2.05.01:2013. 2013. *Pastatų energinio naudingumo projektavimas*. Vilnius, 50 p.
- SolarWall. 2016. *Solar air heating efficiency versus temperature rise* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 4 d.]. Prieiga per internetą: <http://solarwall.com/en/products/architects-and-leedr/solar-air-heating-efficiency-vs-temperature-rise.php>
- Summers, D. N. 1995. *Thermal simulation and economic assessment of unglazed transpired collector systems*: Master's Thesis. University of Wisconsin-Madison, USA.
- Van Decker, J. E.; Hollands, A.; Brunger, A. 2001. Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch, *Solar Energy* 71: 33–45. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(01\)00014-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00014-7)

EFFECTIVE OPERATION INVESTIGATION OF UNGLAZED SOLAR AIR COLLECTOR

D. Rimdžius, V. Martinaitis, J. Bielskus

Abstract

The article presents results of an effective operation analysis of VGTU Environmental Engineering Faculty southern facade integrated unglazed transpired solar collector. During previous research the importance to evaluate influence to ventilation system by such type of collectors was observed. The assessment of analysed collector aerodynamics showed that under specific solar radiation and air flow conditions the amount of energy generated by collector could be smaller than the energy quantity consumed by fans for air suction. The study provides analysis of the coefficient of performance rates and quantities of generated and consumed energy under different operation conditions. The effective operation conditions of collector committed during this research could be useful for designing or creating algorithm for such device.

Keywords: Unglazed Transpired Solar Collector, UTC, solar wall, pressure loss, COP, generated energy, effective operation modes.