

EKSPERIMENTINIS PRATAKAUS SAULĖS KOLEKTORIAUS EFEKTYVUMO TYRIMAS

Alfonsas Miežėnas¹, Vytautas Martinaitis²

¹magistrantas, ²profesorius,
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
el. p. ¹a.miezenas@yahoo.com; ²vsmart@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje yra pateikiamas eksperimentinis VGTU SRK-II korpuso pratakaus saulės kolektoriaus tyrimas. Pagal atliktus atmosferos ir kolektoriaus parametrų matavimus, nagrinėjama kolektoriaus tiekiamojo oro temperatūros, terminio šilumos mainų efektyvumo ir bendro kolektoriaus efektyvumo kitimo priklausomybė esant kintamam tiekiamo oro debitui. Gavus rezultatus, nustatyta, jog tiekiamojo oro temperatūros prieaugio dydis labiau priklauso nuo saulės spinduliavimo ir nežymiai kinta keičiantis tiekiamojo oro debitui (~2200÷630 m³/h). Šiame debito intervale terminis šilumos mainų efektyvumas išlieka aukštas 70%÷80%, o bendras efektyvumas prie pastovios saulės spinduliuotės (~450 W/m², ±25 W/m²) kinta 20%÷65% intervalu ir atitinkamai išauga, didinant tiekiamojo oro debitą.

Reikšminiai žodžiai: pratakus saulės kolektorius, eksperimentinis tyrimas, vėdinimo sistema, šildymas, saulės energija.

Įvadas

Lietuvoje pastatų ūkis suvartoja daugiau nei 30 % galutinės energijos. Pagal energijos rūšį daugiausiai suvartojimo tenka šiluminei ir kuro energijai, o pagal galimas taikyti priemones didžiausias galutinės energijos suvartojimo efektyvumo didinimo potencialas priklauso pastatams ir jų inžinerinėms sistemoms (Jaraminienė 2006). Todėl mažinant energijos suvartojimą yra skatinamas ne tik senų pastatų modernizavimas, bet ir atsinaujinančių išteklių panaudojimas.

Šiomis dienomis vienas populiariausių ir labiausiai išvystytų atsinaujinančios energijos panaudojimo būdų yra šiluminės saulės energijos panaudojimas įvairiais kolektoriais. Saulės spinduliuotės transformavimas į šiluminę energiją ir jos panaudojimas labiausiai yra aktualus pastatų šildymo-vėdinimo inžinerinėms sistemoms.

Šiame straipsnyje yra nagrinėjama viena iš saulės spinduliuotės panaudojimo sistemų – pratakus saulės kolektorius (angl. *UTC- unglazed transpired solar collector*), kuris yra naudojamas vėdinimo sistemose kaip pirminis tiekiamojo oro pašildymo įrenginys.

Tyrimo objektas ir tikslas

Tiriamasis objektas – pratakus saulės kolektorius yra sumontuotas 2011 metais ant Vilniaus Gedimino

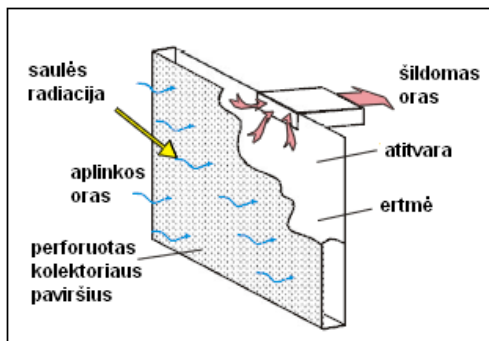
technikos universiteto (VGTU) Aplinkos inžinerijos fakulteto (AIF) antrojo korpuso (SRK-II) pietinio fasado (1 pav).



1 pav. Aplinkos inžinerijos fakulteto pratakus saulės kolektorius (kairėje – bendras vaizdas, dešinėje – kolektoriaus paviršius ir vidinė konstrukcija)

Pratakus saulės kolektorius yra sudarytas iš tamsaus metalo absorbuojamojo paviršiaus, nedidelio tarpo tarp kolektoriaus paviršiaus ir pastato išorinės atitvaros bei tiekiamojo oro magistralės. Įkaitintas kolektoriaus paviršius konvekcijos būdu atiduoda šilumą tiekiamam orui, kuris iš aplinkos patenka pro smulkiai perforuotą kolektoriaus paviršių (2pav.). Kadangi patiekti šviežią pašildytą orą į patalpą neužtenka vien tik natūralios konvekcijos judėjimo, papildomą oro patraukimą užtikrina oro paruošimo įrenginio ventiliatorius. Kolektoriaus bendras plotas yra 100m^2 , plotis – 6m, o aukštis – 16,6m. Kolektorius yra suskirstytas į tris atskiras sekcijas, kurių tarpusavio tūriai nesusisiekia. Pirmosios sekcijos plotis – 3 m., antrosios – 2 m., trečiosios – 1m.

Pagrindinė kolektoriaus funkcija yra perduoti šilumą nuo jo įkaitinto paviršiaus tiekiamam orui, tačiau teoriškai kolektorius papildomai sumažina šilumos nuostolius, kurie patenka į kolektorių per išorinę pastato atitvarą iš vidinių patalpų. Tačiau atliekant tyrimą, šis papildomas šilumos srautas iš vidinių patalpų nėra vertinamas, tik aptariamas galutinėse išvadose.



2 pav. Kolektoriaus principinė veikimo schema

Darbo tikslas – atlikti eksperimentinį pratakaus saulės kolektoriaus efektyvumo tyrimą pagal išmatuotus atmosferos ir pratakaus saulės kolektoriaus parametrus, bei išanalizuoti tiekiamojo oro temperatūros ir efektyvumo kitimus, esant kintamam tiekiamojo oro debitui.

Tyrimo metodika ir įranga

Kolektoriaus veikimas ir tiekiamojo oro temperatūra priklauso nuo įvairių parametrų:

- išorės sąlygų, tokių kaip oro temperatūra, saulės spinduliavimas, vėjo greitis ir kryptis, oro drėgnumas ir krituliai ir pan.;

- vidinių sąlygų – kolektoriaus paviršiaus fizikinių savybių: (šilumos atidavimo koeficientas, juodumo laipsnis ir pan.), paviršiaus porėtumo, tiekiamojo oro debito ir pan. bei išorinės atitvaros savybių (šilumos imlumo, laidumo ir pan.).

Kolektoriaus veikimas gali būti išreikštas terminiu šilumos mainų efektyvumu (ε) ir bendru kolektoriaus efektyvumu (η).

Kadangi kolektoriaus paviršius perduoda šilumą tiekiamam orui, todėl momentinis terminis šilumos mainų efektyvumas apibūdina santykinį dydį tarp tiekiamojo oro faktinio temperatūros prieaugio ir galimo didžiausio temperatūros prieaugio (Van Decker *et al.* 2001). Šis dydis apskaičiuojamas eksperimentiškai pagal (1) formulę:

$$\varepsilon = \frac{T_{oro} - T_{iš}}{T_{kol.} - T_{iš}}, \quad (1)$$

čia: $T_{iš}$ – išorės oro temperatūra, °C;

T_{kol} – kolektoriaus paviršiaus temperatūra, °C;

T_{oro} – šildomo oro išeinančio iš kolektoriaus temperatūra, °C.

Šioje išraiškoje kolektoriaus paviršiaus temperatūra ($T_{kol.}$) daugumai mokslininkų, atliekančių eksperimentinius tyrimus, sukėlė nemažai problemų, kadangi kolektoriaus paviršiaus temperatūra nėra izoterminė paviršiaus aukščio ir pločio atžvilgiu, todėl dauguma jų daro prielaidą, jog ji yra izoterminė per visą kolektoriaus paviršių (Frank *et al.* 2006, Kutscher *et al.* 1991). Mūsų atveju atliekant tyrimus kolektoriaus paviršiaus temperatūra buvo matuojama ir fiksuojama termoporomis, o skaičiavimuose kolektoriaus paviršiaus temperatūra įvertinta kaip aritmetinis visų matuotų taškų vidurkis.

Pratakaus saulės kolektoriaus bendras momentinis efektyvumas (η) yra išreiškiamas kaip santykis tarp viso saulės spinduliavimo energijos srauto, krintančio ant kolektoriaus paviršiaus, ir tiekiamojo oro šilumos kiekio, praėjusio pro kolektoriaus paviršių, pokyčiu (Duffie ir Beckman *et al.* 2006). Šis dydis apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_{oro} - T_{iš})}{I_s A_K}, \quad (2)$$

čia: I_s – saulės spinduliuotės intensyvumas, W/m^2 ;

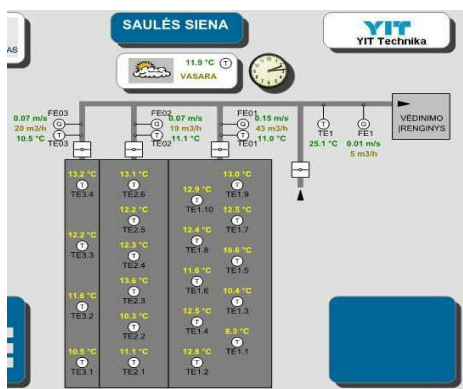
A_K – kolektoriaus plotas, m^2 ;

$\dot{m}$ – oro srauto debitas, $\text{m}^3/\text{val.}$;

C_p – oro savitoji šiluma, $\text{J}/(\text{kgK})$.

Reikalingiems skaičiavimams atlikti buvo fiksuojami ir kaupiami atmosferos ir kolektoriaus parametrai. Naudojama įranga yra ONSET HOBO gamintojo:

- saulės spinduliuotės intensyvumo jutiklis (pirometras) S-LIB-M003 (1vnt.) – matavimo ribos $0 \div 1280 \text{ W/m}^2$. Jutikliai sumontuoti vertikalia kryptimi (toku pačiu kampu kaip kolektoriaus paviršius), siekiant nustatyti saulės spinduliuotės intensyvumą į vertikalų paviršių. Kryptis pasaulio šalių atžvilgiu yra tokia pati kaip ir kolektoriaus paviršiaus;
- kiti atmosferos parametrai – išorės oro temperatūros, drėgnio, vėjo krypties, vėjo greičio, kritulių kiekio matavimai yra atliekami greta esančioje meteorologinėje stotyje HOBO U30;
- tiekiamojo oro temperatūros matavimai atliekami termoporomis, kurios sumontuotos kolektoriaus vidinėje ertmėje kiekvienoje iš atskirų sekcijų. Taip pat atliekamas iš kiekvienos sekcijos ištekančio oro temperatūros matavimas ir bendro srauto magistraliniame ortakyje temperatūros matavimas (3pav.).



3 pav. Kolektoriaus parametrų fiksuojimo vietas jo principinėje veikimo schemoje

- tiekiamojo oro srauto greitis – šis parametras yra tiesiogiai matuojamas ir perskaičiuojamas pagal ortakio plotą į srauto debitą;
- kolektoriaus paviršiaus temperatūros jutiklis HOBO S-TMB-M017 (14vnt.) – matavimo ribos – $40 \div +100^\circ\text{C}$. Jutikliai (10vnt.) yra išdėstyti 1,5 m atstumu vertikalia kryptimi ir 1,0 m atstumu horizontalia kryptimi (4 vnt.).

Atmosferos ir pratakaus saulės kolektoriaus parametrų duomenys buvo fiksuojami realiuoju laiku – 24val. per parą, duomenų fiksavimo intervalas buvo nustatytas 1 min periodu.

Duomenų analizei pasirinkta 2013 m. sausio 9 d., šią dieną tyrimas buvo atliekamas su kintamu debitu vėdinimo sistemoje (1 lentelė). Debitas buvo keičiamas mažinant oro paruošimo įrenginio ventiliatoriaus apkrovą nuo 100 % iki 40 %. Mažinimas atliekamas kas 15 min po 10 % apkrovos.

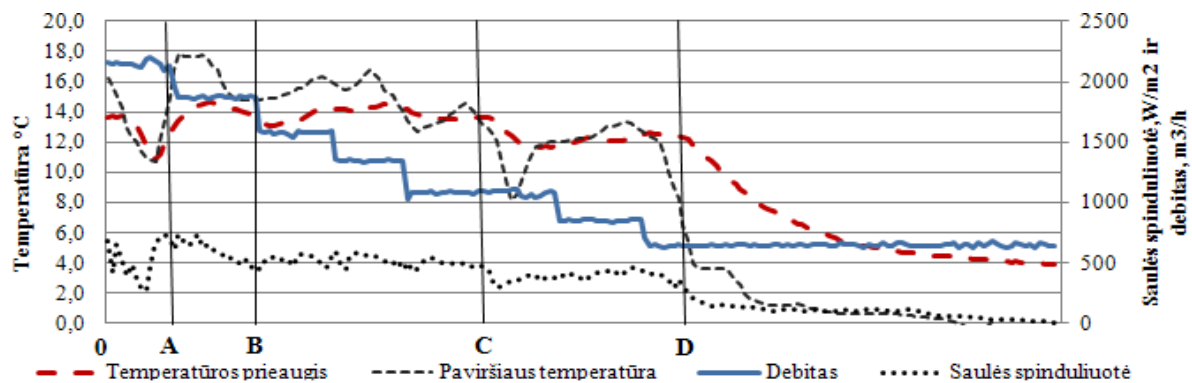
1 lentelė. Tyrimą charakterizuojantys parametrai

Data	2013 m. Sausio 9 d.
Veikimo laikas	12:40 – 16:10
Debitas	Kintamas – $100 \% \div 40 \%$ (10 % dalimi). Debito kitimas $\sim 2200 \div 630 \text{ m}^3/\text{h}$.
Lauko oro temperatūra	$-4,3 \div -2,9^\circ\text{C}$
Vyraujantis vėjas	$1,3 \div 5,6 \text{ m/s}$
Vėjo kryptis	P - PV

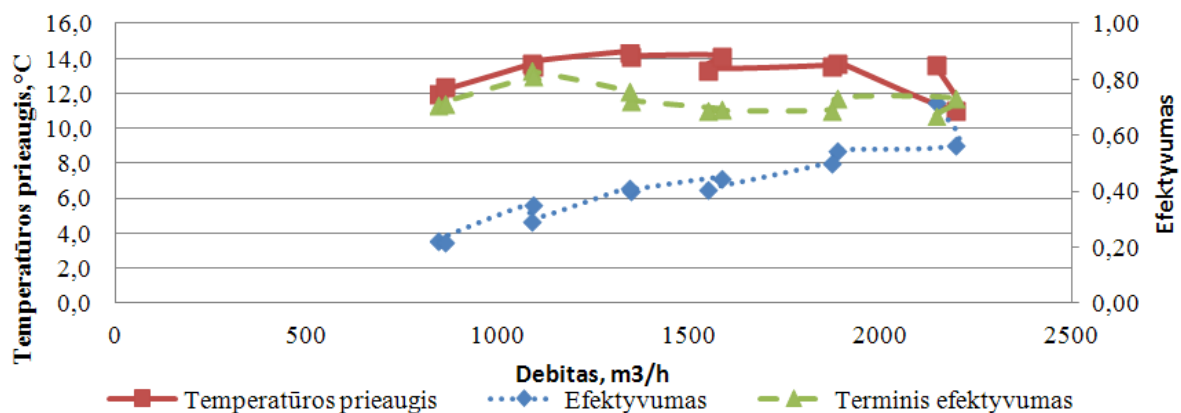
Rezultatai

Atliekant pratakaus saulės kolektoriaus tyrimą, pagrindinis tiriamasis parametras, kuris apibūdina kolektoriaus veikimo našumą – temperatūros prieaugis. Tai skirtumas tarp lauko oro temperatūros ir tiekiamojo oro temperatūros į vėdinimo įrenginį.

4 paveiksle matome, jog dienos metu vyrauja nedidelis $\sim \pm 2^\circ\text{C}$ temperatūros prieaugio kitimas. Saulės spinduliuotė dienos metu (ruožas 0-D) kinta $\sim 200 \div 740 \text{ W/m}^2$ intervalu, o spinduliuotės vidurkis yra $\sim 480 \text{ W/m}^2$, tačiau tai didelės įtakos temperatūros prieaugiui nesudaro. Eksperimentinio tyrimo metu keičiamas vėdinimo sistemos debitas puikiai atsispindi grafike. Ruože 0-A matyti, jog esant pastoviam debitui ir mažėjant saulės spinduliuotei, temperatūros prieaugis taip pat mažėja, o augant – didėja. Ruože B-C išryškėja, jog esant saulės spinduliuotei intervalu $450 \div 580 \text{ W/m}^2$ (vidurkis $\sim 514 \text{ W/m}^2$) ir nedideliame jos kitime, taip pat sumažinus tiekiamojo oro srauto debitą nuo 90 % iki 60 % (nuo $\sim 1900 \text{ m}^3/\text{h}$ iki $\sim 1100 \text{ m}^3/\text{h}$), nepastebimas didelis kitimas temperatūros prieaugyje. Tai leidžia teigti, jog tiekiamojo oro debitas didelės įtakos temperatūros prieaugiui neturi.



4 pav. Temperatūros prieaugio kitimas esant kintamam debitui

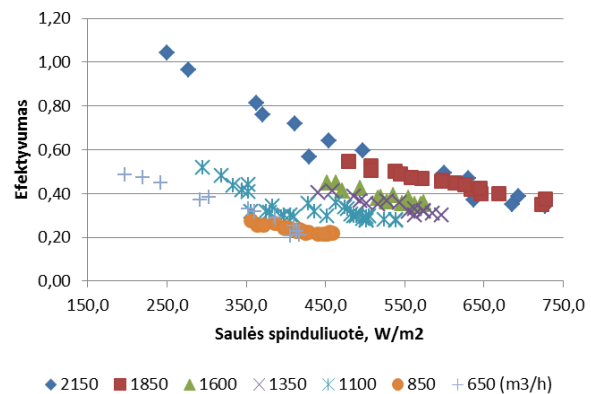


5 pav. Kolektoriaus efektyvumų kitimas esant kintamam debitui

5 paveiksle yra pateikiamas grafikas kuriame atspindi kolektoriaus šilumos mainų efektyvumo ir bendro efektyvumo momentiniai kitimai. Priešingai nei 4 paveiksle, kuriame saulės spinduliavimo intensyvumas yra kintantis, šiame grafike buvo atrinktos ir pavaizduotos tos reikšmės, kurios buvo gautos esant beveik vienodam saulės spinduliavimo intensyvumo vidurkiui – $\sim 450 \text{ W/m}^2$ su $\pm 25 \text{ W/m}^2$ paklaida.

Taip pat 5 paveiksle matome, jog didėjant tiekiamojo oro debitui šilumos mainų terminis efektyvumas išlieka nepastovus ir kinta tarp $0,7 \div 0,8$ ribų, tačiau negalime teigti, jog jis didėja arba mažėja, todėl tirtame debitų intervale šilumos atidavimo efektyvumas išlieka aukštas ir stabilus.

Tą patį galime teigti ir matydami tiekiamojo oro temperatūros prieaugio kitimą didėjant tiekiamojo oro debitui. Temperatūros prieaugio svyravimai atsiranda ne tik dėl besikeičiančio debito, bet ir dėl saulės spinduliuotės svyravimų.



6 pav. Kolektoriaus efektyvumo kitimas esant kintamam debitui ir saulės spinduliuotei

Nors momentinės reikšmės buvo pasirinktos esant beveik vienodai saulės spinduliuotei, tačiau didesni spinduliuotės svyravimai tarp šių taškų veikia pasirinktų taškų reikšmes. Temperatūros kitimas nors ir nepastovus, tačiau jis smarkiai nekinta ir išlieka tarp $12 \div 14^\circ\text{C}$ ribose.

Tačiau iš grafiko matyti, jog keičiantis tiekiamojo oro debitui, kolektoriaus bendras efektyvumas kinta

intensyviau – didėjant debitui kartu auga ir efektyvumas. Tai paaiškinti galima (2) formule – esant pastoviam saulės spinduliuotės intensyvumui ir mažai kintančiam tiekiamojo oro temperatūros prieaugiui, tačiau didėjančiam debitui, atitinkamai didėja bendras šilumos kiekis Q , kuris yra suteikiamas orui, todėl didėja ir bendras pratakaus kolektoriaus efektyvumas.

6 paveiksle yra pateikiamas grafikas (6 pav.), kuriame pavaizduotas pratakaus saulės kolektoriaus efektyvumo η kitimas, esant kintamam debitui ir saulės spinduliuotei. Iš grafiko matyti, jog efektyvumo taškų išsidėstymas yra chaotiškas ir netvarkingas, todėl yra sudėtinga nustatyti spinduliuotės įtaką kolektoriaus efektyvumui, kai yra kintamas debitas. Esant saulės spinduliuotės kitimui $\sim 200\div 740\text{W/m}^2$, kolektoriaus efektyvumas kinta $19\div 98\%$, tačiau iš grafiko matyti, jog daugiausia taškų yra susikoncentravę ties $19\div 52\%$ riba. Vidutinis kolektoriaus efektyvumas siekia 37% .

Grafike taip pat matome tašką, kurio reikšmė viršija 100% , vadinasi tuo momentu šilumos kiekis atiduotas tiekiamam orui, viršijo saulės spinduliuotę, kritusią ant kolektoriaus paviršiaus. Tai galėjo nutikti dėl staiga sumažėjusios saulės spinduliuotės, kadangi matavimo įrangą fiksuoja vienos minutės reikšmių vidurkis. Taip pat įtakos galėjo turėti įšilusi išorinė pastato atitvara, kuri tuo momentu neleido staigiai nukristi tiekiamojo oro temperatūrai.

Išvados

1. Pratakaus saulės kolektoriaus veikimui ir tiekiamojo oro temperatūros prieaugio dydžiui didžiausią įtaką turi saulės spinduliavimo spinduliuotė, o tiekiamojo oro debitas šiems parametrams turi nedidelę įtaką.
2. Atlikus tyrimą esant kintamam pratakaus saulės kolektoriaus debitui ($\sim 2200\div 630\text{m}^3/\text{h}$), nustatyta, jog šilumos mainų efektyvumas šiame debitų intervale išlieka aukštas $70\%\div 80\%$. Todėl galima teigti, jog prie šių tyrimo sąlygų kintamas debitas neturėjo ženklios įtakos šilumos mainų efektyvumui.
3. Įvertinus bendrą kolektoriaus efektyvumą esant kintamam debitui ($\sim 2200\div 630\text{m}^3/\text{h}$) ir pastovios saulės spinduliuotei ($\sim 450\text{W/m}^2$, $\pm 25\text{W/m}^2$), nustatyta, jog didėjant tiekiamojo oro debitui auga kolektoriaus efektyvumas, nes didėja šilumos kiekis, kuris yra suteikiamas orui.
4. Tyrimu nustatyta, jog esant kintamam tiekiamojo oro debitui ir saulės spinduliuotei, vidutinis kolektoriaus efektyvumas yra 37% (0-D intervalas).

Literatūra

- Duffie J., Beckman W. 2006. *Solar engineering of thermal processes*. New Jersey.
- Frank E., Budig C., Vajen K. 2006. *Experimental and theoretical investigation of unglazed transpired air collectors in a multicomponent solar thermal system*.
- Van Decker G.W.E. 2001. *Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch*. Canada.
- Jaraminienė E. 2006. *Energijos vartojimo efektyvumo potencialo atskiruose Lietuvos ūkio sektoriuose analizė ir rekomendacijų, atsižvelgiant į ES teisės aktų reikalavimus, dėl energijos vartojimo efektyvumo didinimo bei šio didinimo veiksmų plano projekto parengimas*. Ataskaita. Prieiga per internetą: <http://www.ena.lt/Ataskaitos/Potencial.pdf>. Vilnius.
- Kutscher C.F. 1991. *Unglazed transpired solar collectors: an analytic model and test results*. University of Colorado.

Padėkos

Dėkoju Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Civilinės inžinerijos mokslo centro (CIMC) Pastatų energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorijai (PEMS) už suteiktą galimybę atliekant eksperimentinį tyrimą naudotis matavimo įranga.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRANSPIRED SOLAR COLLECTOR

A. Miežėnas, V. Martinaitis

Summary

An experimental investigation of unglazed transpired solar collector (UTC) was carried out, which is located on the Vilnius Gediminas Technical University SRK-II south wall. According to the experiment data of collector and atmosphere, the performance of the collector was analysed. Investigation goal was to determine the dependency of supply air temperature, thermal heat exchange effectiveness and total effectiveness of solar irradiance, when supply air volume is variable ($\sim 2200\div 630\text{m}^3/\text{h}$). Observations indicate that supply air temperature depends more on solar irradiance than in the change of supply air volume. In this range of supply air yield the thermal heat exchange effectiveness remains high $70\%\div 80\%$ and total collectors' effectiveness at constant solar irradiance ($\sim 450\text{W/m}^2$, $\pm 25\text{W/m}^2$) ranges from $20\%\div 65\%$, and increases as supply air volume grows.