

PLOKŠČIOJO SAULĖS KOLEKTORIAUS TYRIMAS

Andrius Klevinskis¹, Vytautas Bučinskas²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹klevinskis@gmail.com; ²vytautas.bucinskas@vgtu.lt*

Santrauka. Darbe tirtas plokščiasis saulės kolektorius. Baigtinių elementų metodu nustatytas teorinis saulės kolektoriaus efektyvumas ir didžiausius šilumos nuostolius lemiantys veiksniai. Atliktas eksperimentas, kurio metu ištirtas kolektoriaus efektyvumas naudojant skirtingas skaidrias dangas: 5 mm skaidrų stiklą ir 5 mm skaidrų stiklą su 120 μm storio papildoma plėvele.

Reikšminiai žodžiai: saulės kolektorius, šiluma, baigtiniai elementai, eksperimentiniai tyrimai.

Įvadas

Energijos gamybos būdai susiję su žmonių pastangomis spręsti klimato kaitos problemą. Didžiąją energijos išteklių dalį vis dar sudaro iškastinis kuras, kuriam degant išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančios dujos. O štai naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius išsiskiria labai nedaug šiltnamio efektą sukeliančių dujų arba jų neišsiskiria visai. Didinant jų dalį mūsų naudojamuose energijos šaltiniuose, galima sumažinti išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Atsinaujinanti energija taip pat padėtų mažinti oro taršą.

Europos Sąjungos (toliau – ES) šalys labai priklauso nuo transportui ir elektros energijai gaminti reikalingo iškastinio kuro (naftos ir dujų) importo, ir ši priklausomybė nuolat didėja. Iš esmės ES nuo energijos importo priklauso maždaug pusė visos sunaudojamos energijos. 79 % visos ES sunaudojamos energijos pagaminama iš iškastinio kuro. Problema ta, kad iškastinio kuro ištekliai riboti, be to, jo tiekimas bet kada gali sutrikti dėl kainų svyravimo ir logistinių bei politinių kliūčių. Todėl labai svarbu mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro importo ir diversifikuoti energijos atsargas. Atsinaujinantys energijos šaltiniai padeda tai pasiekti, nes tada sunaudojama daugiau energijos, pagamintos iš vietinių ES gamtos išteklių.

Saulės spinduliavimo metinis energijos potencialas Lietuvoje yra apie 1 MWh/m². Kaip teigia E. Perednis ir A. Kavaliauskas (Perednis, Kavaliauskas 2005), techniškai ir ekonomiškai galima energijos gamybos potencialą, naudojant saulės energiją, sudaro 1,5 TWh/metus, t. y. per metus iš 1 m² saulės kolektoriaus ploto vidutiniškai galima gauti apie 0,55 MWh energijos. Saulės švietimo laikas ilgiausias pajūryje ir trumpėja rytinės sienos link. „Vidutiniškai saulėtų valandų skaičius pajūryje siekia

1840–1900 val. kasmet, o šalies rytiniame pakraštyje jis neviršija 1700 val./m. Maksimali saulės švietimo trukmė yra Nidoje – siekia 1908 val. per metus. Vilniuje vidutinis suminis saulės energijos kiekis horizontaliojoje plokštumoje yra apie 3500 MJ/m² per metus, tai tik šiek tiek mažiau nei Centrinėje Europoje“ (Saulės šildymo sistemos 2006). Palyginimui: Vokietijoje kasmet horizontalusis žemės paviršius gauna nuo 925 kWh/m² šiaurinėje dalyje iki 1170 kWh/m² pietinėje, vadinasi, vidutinis dienos vidurkis yra apie 3 kWh/m² (Eicker 2003), t. y. tris kartus didesnis nei Lietuvoje.

Praktikoje saulės energija naudojama vandeniui ir pastatams šildyti, aušinti, elektrai gaminti, cheminėms reakcijoms stimuliuoti vykstant fototerminiai, fotoelektrinei ar fotocheminei konversijoms (Perednis, Kavaliauskas 2005). Pagal konstrukciją saulės kolektoriai vandeniui šildyti skirstomi į plokščiuosius, vakuuminius ir koncentruotuosius.

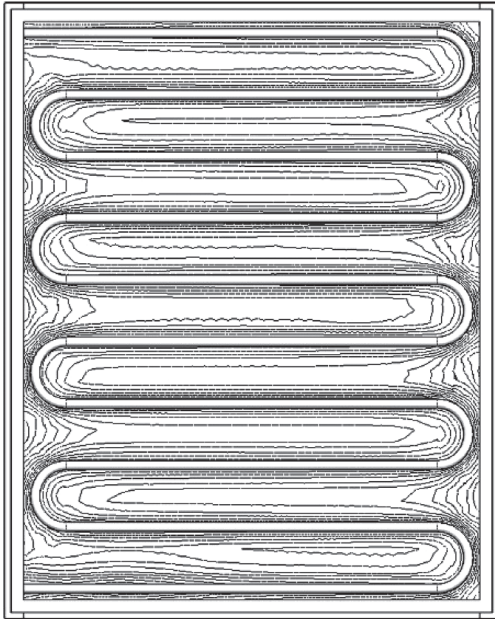
Koncentruotieji kolektoriai plačiai naudojami šilumos gamybos sistemose, jų efektyvumas didesnis nei vakuuminių saulės kolektorių, nes šilumnešis dažnai įkaitinamas iki 100–200 °C (Eicker 2003). Didžiausias šio tipo kolektorių trūkumas – jie nesugeria išsklaidytos saulės šviesos, kuri Lietuvoje gali sudaryti iki 40 % visos saulės spinduliuojamos energijos, todėl koncentruotieji kolektoriai namams šildyti Lietuvoje netinka (Kytra 2006).

Vakuuminių saulės kolektorių efektyvumas (1 pav.) didesnis už plokščiųjų, tačiau vakuuminiai kolektoriai turi nemažai trūkumų. Pagrindiniai vakuuminių saulės kolektorių trūkumai:

- žiemą vakuuminės kolbos gali būti apsnigtos, todėl sumažėja efektyvumas;
- vakuuminės kolbos gaminamos iš plonasienio sti-

klo, todėl dažniau dūžta (lyginant su plokščiaisiais saulės kolektoriais);

- juos sudėtinga montuoti;
- laikui bėgant kolbose dingsta vakuumas.



1 pav. Saulės kolektoriaus absorberio temperatūra, esant 650 W/m^2 šviesos srauto šiluminei galiai

Fig. 1. The temperature of the absorber of the solar collector at a 650 W/m^2 thermal power of the light flux

Tyrimo tikslas

Pagrindinis atliekamų teorinių eksperimentinių tyrimų tikslas – nustatyti plokščiojo saulės kolektoriaus naudingumo koeficientą esant Lietuvos klimato sąlygoms. Tikslui pasiekti keliami tokie uždaviniai:

- palyginti teorinių skaičiavimų ir eksperimentinio tyrimo rezultatus;
- įvardyti didžiausius šilumos nuostolius lemiantį veiksni;
- įvertinti šilumos pernašą iš saulės šilumą sugeriančio paviršiaus į šildomąjį vandenį.

Tyrimo metodika Teoriniai skaičiavimai

Erdvinio modeliavimo programa „SolidWorks“ buvo sukurtas trimatis saulės kolektoriaus modelis. Šio modelio analizė atlikta baigtinių elementų metodu, taikant „SolidWorks flow simulation“ programą. Keturi kolektoriaus modelio analizės etapai:

1. Modelio optimizavimas. Šiame etape iš trimačio modelio pašalintos detalės, kurios skaičiavimų rezultatams neturi įtakos arba šių detalių įtaka labai maža.

Iš modelio pašalintas kolektoriaus tvirtinimo rėmas, tvirtinimo varžtai ir stiklo tvirtinimo elementai.

2. Kraštinių sąlygų aprašymas. Šiame etape nurodytos plokščiąjį saulės kolektorių sudarančių detalių medžiagų fizinės savybės, šiluminė saulės galia, debitas ir aplinkos temperatūra.
3. Kolektoriaus modelio baigtinių elementų tinklelio kūrimas. Šiame etape sukurtas modelio baigtinių elementų tinklelis, sudarytas iš keturių tipų baigtinių elementų:
 - skysčių baigtinių elementų – elementų, kurie visiškai apsupti skysčio;
 - kūnų baigtinių elementų – elementų, kurie visiškai apsupti kietojo kūno;
 - pasienio sluoksnio baigtinių elementų (angl. *partial*) – elementų, kurių dalis patenka į skystį, o dalis – į kietąjį kūną;
 - mišriųjų baigtinių elementų.
4. Rezultatų įvertinimas.

Teoriškai apskaičiavus saulės kolektoriaus modelį nustatyta, kad daugiausia šilumos netenkama per skaidrią kolektoriaus dangą. Tai sudaro apie 87 % visų šilumos nuostolių. Taip pat nustatyta, kad, esant $0,003 \text{ m}^3/\text{h}$ šilumnešio debitui ir 650 W/m^2 saulės apšvitai, įtekantis $20 \text{ }^\circ\text{C}$ šilumnešis sušildomas iki $39 \text{ }^\circ\text{C}$.

Eksperimentiniai matavimai

Po teorinių saulės kolektoriaus modelio skaičiavimų buvo atliktas eksperimentinis tyrimas, kurio tikslas – patikrinti baigtinių elementų metodu gautus teorinius rezultatus. Plokščiasis saulės kolektorius (2 pav.) tirtas naudojant standą (3 pav.), kurį sudaro $0,838 \text{ m}^2$ aktyvaus paviršiaus ploto saulės kolektorius 1 (lentelė), 20 l akumuliacinė talpa 2, siurblys 3, pratekančio skysčio kiekio matuoklis 4, temperatūros jutikliai 5, 6, 7, 8, temperatūros jutiklių duomenis apdorojantis įrenginys 9, temperatūros jutiklių duomenis registruojantis kompiuteris 10, anemometras 11 ir piranometras 12. Saulės kolektorius su akumuliacine talpa sujungtas 12 mm vidinio skersmens gumine žarna, kurios bendras ilgis yra $2,1 \text{ m}$.

Pratekančio skysčio kiekis matuotas B klasės vandens skaitikliu, kurio mažiausias galimas vandens srautas Q_{\min} yra $0,003 \text{ m}^3/\text{h}$, didžiausias galimas vandens srautas Q_{\max} yra $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$, o šio intervalo paklaida $\pm 5 \%$.

Temperatūrą registruojančio prietaiso konstrukcijoje buvo įtaisyti DS1820 tipo temperatūros jutikliai, įrenginio tikslumas – $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, matavimo ribos nuo $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $+125 \text{ }^\circ\text{C}$. Įrenginys su kompiuteriu sujungtas COM jungtimi. Kompiuteryje registruojamų temperatūros rodmenų dažnis iš kiekvieno jutiklio – 1 signalas per sekundę.



2 pav. Tyrimams naudotas plokščiojo saulės kolektoriaus stendas
Fig. 2. The stand of the flat solar plate collector used for carrying out experiments

Lentelė. Plokščiojo saulės kolektoriaus techninės charakteristikos
Table. General specifications of the flat solar collector

Nr.	Pavadinimas	Reikšmė
1	Paviršiaus plotas	0,838 m ²
2	Efektyvaus paviršiaus plotas	0,8 m ²
3	Gabaritiniai matmenys	821/1021/73 mm
4	Šilumos izoliacija	Akmens vata (50 mm apačia, 25 mm šonai)
5	Skaidri danga	5 mm stiklas
6	Absorberis	Varinė plokštė su variniu vamzdeliu (Dišor = 15 mm)
7	Absorberio danga	Juodi matiniai dažai
8	Vamzdelio ilgis	7,67 m
9	Šilumnešio tūris	0,6 l
10	Papildoma skaidri danga	120 μm polietileno plėvelė

Vėjo greičio matuoklis „Wind Prospector WP-1“ matuoja momentinį ir vidutinį vėjo greičius. Optoelektrinis keitiklis vėjo sukamų anemometro sparnų sukimosi paverčia įtampos impulsais, kurie apdorojami „Wind Prospector“ mikroprocesoriuje ir pavaizduojami ekrane. Prietaiso matavimo diapazonas yra 1–60 m/s, tikslumas – <5 % (0,36 m/s).

Saulės kolektorių pasiekiančios spinduliuotės energijos kiekis matuotas integratoriumi „SolData 80-220“. Įtampos ir dažnio keitiklyje piranometro signalai verčiami į impulsus, kurių dažnis tiesiogiai proporcingas piranometro signalo stipriui. Keitiklio impulsai registruojami kaupiklyje.

Naudojant saulės kolektoriaus stendą atlikti du eksperimentiniai bandymai. Per pirmąjį bandymą tirtas kolektoriaus efektyvumas kaip skaidrią dangą naudojant 5 mm storio stiklą. Atliekant antrąjį bandymą kolektoriaus stiklas buvo padengtas 120 μm storio polietileno plėvele. Per bandymus temperatūros matavimo jutikliu 5 (3 pav.) matuota į kolektorių įtekančio šilumnešio temperatūra, o

jutikliu 6 – iš kolektoriaus ištekančio šilumnešio temperatūra. Temperatūros jutiklis 7 buvo sumontuotas saulės kolektoriaus centre ir prijungtas prie šviesą absorbuojančios plokštelės. Šiuo jutikliu buvo matuota didžiausia kolektoriaus absorberio temperatūra. Aplinkos temperatūra fiksuota temperatūros jutikliu 8. Siurblys 3 užtikrino pastovų šilumnešio debitą – 0,003 m³/h. Tyrimo metu „SolData 80-220“ integratoriumi buvo matuojama saulės teikiama šiluminė galia, o anemometru – vėjo greitis. Bandymai buvo atliekami keletą dienų, o rezultatams palyginti pasirinktos tos dienos, kurių metu vėjo greitis neviršijo 2 m/s, o šviesos srauto šiluminė galia buvo 650 W/m².

Remiantis ISO 9806 standartu, kolektoriaus naudingumo koeficientas apskaičiuojamas taikant formulę:

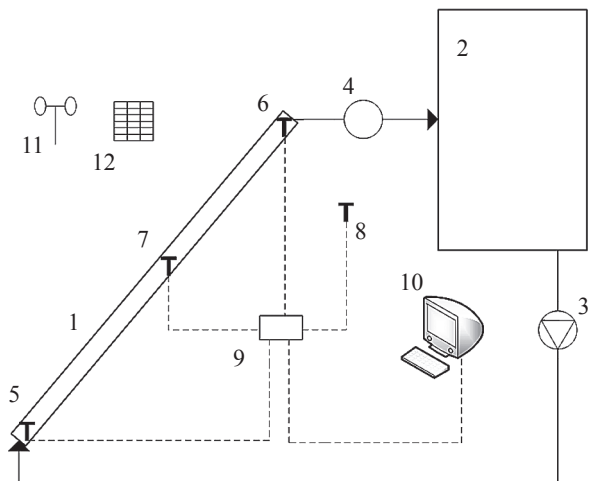
$$\eta = \frac{Q}{G \cdot A}, \quad (1)$$

čia Q – šilumnešiui suteikta momentinė šiluminė galia, W; G – šiluminė saulės galia, W/m²; A – skaidrios dangos plotas, m².

Saulės kolektoriaus šilumnešiui suteikiama momentinė šiluminė galia skaičiuojama taip (*Test methods for solar collectors* 1994):

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{is} - T_{it}), \quad (2)$$

čia m – šilumnešio debitas, kg/s; c_p – šilumnešio savitoji šiluma, J/(kg °C); T_{is} – iš kolektoriaus ištekančio šilumnešio temperatūra, °C; T_{it} – į kolektorių įtekančio šilumnešio temperatūra, °C.

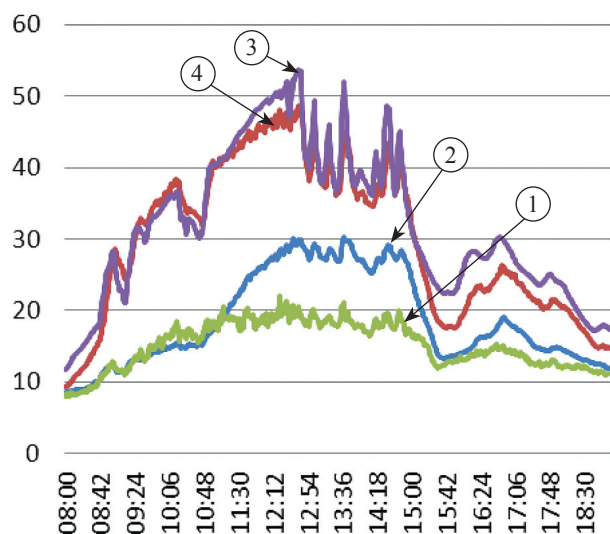


3 pav. Plokščiojo saulės kolektoriaus stendas: 1 – kolektorius; 2 – akumuliacinė talpa; 3 – siurblys; 4 – skysčio kiekio matuoklis; 5, 6, 7, 8 – temperatūros jutikliai; 9 – temperatūros jutiklių duomenis apdorojantis įrenginys; 10 – kompiuteris; 11 – anemometras; 12 – piranometras

Fig. 3. A stand of the flat solar collector: 1 – collector, 2 – storage; 3 – pump; 4 – water meter; 5, 6, 7, 8 – temperature sensors; 9 – data processing device; 10 – computer; 11 – anemometer; 12 – pyranometer

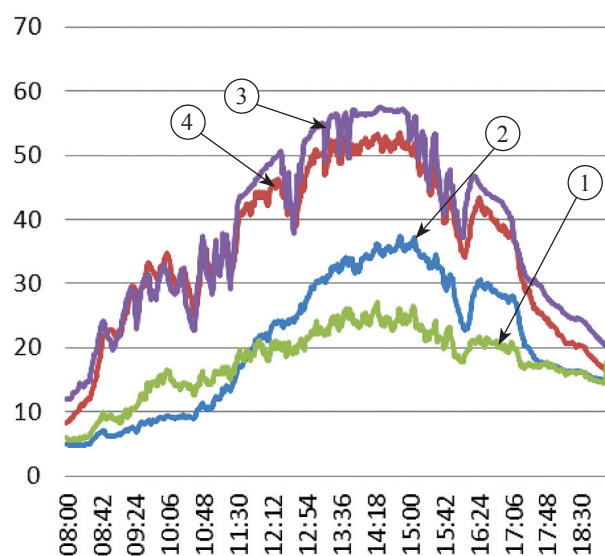
Tyrimo rezultatai

4 ir 5 pav. grafiškai pavaizduotos saulės kolektoriaus, naudojant skirtingas skaidrias dangas, tyrimo metu kintančios temperatūros.



4 pav. Naudojant saulės kolektorių su 5 mm stiklu, kintančios temperatūros šviesiu paros metu: 1 – aplinkos temperatūra; 2 – įtekančio šilumnešio temperatūra; 3 – absorberio temperatūra; 4 – ištekančio šilumnešio temperatūra

Fig. 4. Varying temperatures during daylight hours using a solar collector with a glass of 5 mm: 1 – ambient temperature; 2 – inlet fluid temperature; 3 – absorber temperature; 4 – outlet fluid temperature



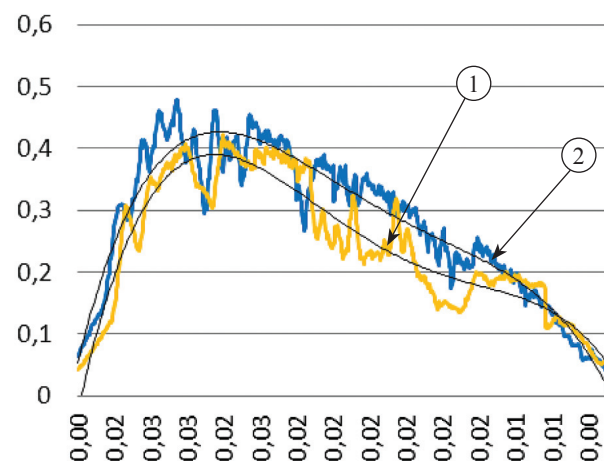
5 pav. Naudojant saulės kolektorių su 5 mm stiklu ir 120 µm polietileno plėvele, kintančios temperatūros šviesiu paros metu: 1 – aplinkos temperatūra; 2 – įtekančio šilumnešio temperatūra; 3 – absorberio temperatūra; 4 – ištekančio šilumnešio temperatūra

Fig. 5. Varying temperatures during daylight hours using a solar collector with a glass of 5 mm and 120 µm coated with polythene film: 1 – ambient temperature; 2 – inlet fluid temperature; 3 – absorber temperature; 4 – outlet fluid temperature

Kadangi tiriamajame stende kolektorių ir akumuliacinę talpyklą jungiantys vamzdžiai neapsaugoti nuo aplinkos poveikio, todėl aplinkos temperatūra daro didelę įtaką į kolektorių patenkančio vandens temperatūrai, o kartu ir iš kolektoriaus ištekančio vandens temperatūrai. Esant 0,003 m³/h šilumnešio debitui, temperatūros skirtumas tarp kolektoriaus absorberio ir šilumnešio yra nedidelis, todėl galima teigti, kad absorberis efektyviai perduoda šilumą šilumnešiui.

Plokščiojo saulės kolektoriaus stiklą uždengus 120 µm storio polietileno plėvele, absorberio plokštelės, įtekančio ir ištekančio šilumnešio temperatūros (5 pav.) buvo didesnės, lyginant su bandymu, kai skaidri kolektoriaus danga buvo stiklas.

Palyginus saulės kolektoriaus, kai naudojamos skirtingos dangos (5 mm stiklas be polietileno plėvelės ir 5 mm stiklas su 120 µm polietileno plėvele), naudingumo koeficientus (6 pav.), matyti, kad polietileno plėvelė didina kolektoriaus efektyvumą per visą kolektoriaus naudingo darbo intervalą.



6 pav. Plokščiojo saulės kolektoriaus skirtingomis dangomis efektyvumo priklausomybė nuo $(T_{is} - T_{vid}) / G$. 1 – saulės kolektorius su 5 mm stiklu; 2 – saulės kolektorius su 5 mm stiklu ir 120 µm polietileno plėvele

Fig. 6. Efficiency dependence of the flat plate solar collector with different coatings on $(T_{is} - T_{vid}) / G$. 1 – solar collector with a glass of 5 mm; 2 – solar collector with a glass of 5 mm and 120 µm coated with polythene film

Išvados

Teoriškai apskaičiuavus plokščiojo saulės kolektoriaus efektyvumą baigtinių elementų metodu ir gautus rezultatus palyginus su eksperimentiniais tyrimais, nustatyta:

- Didžiausi plokščiojo saulės kolektoriaus šilumos nuostoliai patiriami per skaidrią įrenginio dangą. Tai sudaro apie 87 % visų šilumos nuostolių.

- Baigtinių elementų metodu gauti saulės kolektoriaus modelio teorinės analizės rezultatai atitinka eksperimentinių tyrimų metu gautus tyrimų duomenis. Esant 0,003 m³/h šilumnešio debitui ir 650 W/m² saulės apšvitai, 20 °C įtekantis šilumnešis sušildomas iki 39 °C.
- Esant 0,003 m³/h debitui, šiluma gerai perduodama iš absorberio šilumnešiui, todėl absorberiui gaminti galima naudoti pigesnes medžiagas (pvz., aliuminį).

Literatūra

- Bučinskas, V. 2006. *Computer Aided Design in Mechanical Engineering Study Guide*. Vilnius: Technika.
- Eicker, U. 2003. *Solar Technologies for Buildings*. England: Wiley. doi:10.1002/0470868341
- Kytra, S. 2006. *Atsinaujinantys energijos šaltiniai*. Kaunas: Technologija.
- Perednis, E.; Kavaliauskas, A. 2005. Saulės energijos naudojimo šilumai gaminti Lietuvoje tyrimai, *Energetika* 4: 49–53.
- Saulės šildymo sistemos: mokymo kursų medžiaga*. 2006. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas. 86 p.
- Test methods for solar collectors. International standart ISO 9806-1*. 1994. Geneve. 60 p.

ANALYSIS OF A FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR

A. Klevinskis, V. Bučinskas

Abstract

The paper deals with a flat plate solar collector. The experiment was conducted using the finite element method and described the theoretical effectiveness of the flat solar collector as well as the factors that produce the major loss of heat. Investigation has concentrated on several different transparent surfaces used for determining the efficiency of the collector: 5 mm thick transparent glass and 5 mm thick transparent glass coated with a film of 120 μm.

Keywords: solar collector, heat, finite elements, experimental studies.