

---

# Šilumos režimai daugiasluoksniėje pastato atitvaroje veikiant saulės spinduliuotei

---

**Kęstutis Valančius,  
Alfonsas Skrinska,  
Sabina Paulauskaitė**

*Vilniaus Gedimino technikos  
universitetas,  
Saulėtekio al. 11,  
LT-2040 Vilnius*

Straipsnyje pateikiami nestacionarių temperatūros laukų daugiasluoksniėje vertikaloje atitvaroje eksperimentinių tyrimų, veikiant saulės spinduliuotei, rezultatai. Eksperimento metu išmatuotos temperatūros bei šilumos srautai įvairiuose tiriamos atitvaros taškuose, taip pat saulės spinduliuotės intensyvumas. Pateikta eksperimentinių tyrimų metodika. Nustatyta, kad saulės spinduliuotė turi įtakos temperatūros laukams daugiasluoksniėje atitvaroje per visą parą, nors tiesiogiai saulė spinduliuoja tik keletą valandų. Suminis saulės spinduliavimo intensyvumas eksperimento metu  $800 \text{ W/m}^2$ . Nagrinėjant saulės spinduliuotės įtaką per savaitę išryškėja, kad temperatūros laukai atitvaroje kiekvieną parą išlieka panašūs. Atlikti taip pat analitiniai šilumos srauto tankio ant išorinio atitvaros paviršiaus balanso skaičiavimai, remiantis eksperimentinio tyrimo rezultatais.

Gauti duomenys gali praversti sudarant nestacionarių šilumos mainų dėl saulės spinduliuotės įtakos skaičiavimo metodiką.

**Raktažodžiai:** saulės spinduliuotė, nestacionarus šilumos srautas, šilumos srauto tankis, temperatūros laukai, daugiasluoksniė atitvara

---

## 1. ĮVADAS

Saulės spinduliuotė, veikianti vertikalias ir horizontalias išorines pastato atitvaras, turi įtakos šilumos mainams per sieną. Daugelio uždavinių, tokių kaip pastato šildymo ir šaldymo sistemų galios, energijos sąnaudų, optimalios pastato orientacijos, higienos reikalavimai, oro kondicionavimo ir kt., susieti su saulės spinduliuotės įtakos atitvarinių konstrukcijų šilumos mainams įvertinimu.

Paprastai šilumos mainai ir temperatūros laukai pastatų sienoje vyksta palyginti lėtai, nes priklauso nuo lauko oro parametrų.

Dažnai šie šilumos mainai traktuojami kaip stacionarūs. Nors per metus saulė šviečia palyginti neilgai (Lietuvoje apie 1700 val.), tačiau jos spindulių energijos, krentančios į pastato paviršius, kiekis kelis kartus didesnis už energijos kiekį, kuris sunaudojamas tame pastate per visus metus. Be to, pastato paviršius gauna difuzinės spinduliuotės perteikiamos energijos kiekį. Nors pastarasis yra kur kas mažesnio intensyvumo, tačiau ši įtaka taip pat įvertintina. Tiesioginiai saulės spinduliai veikia pastatą be apibrėžtos laiko atžvilgiu tvarkos. Jei ilgesnį laikotarpį nedebebuota, galima kalbėti apie tiesioginės saulės spinduliuotės periodiškumą, kurio trukmė – para. Tai gi įvertinant šios spinduliuotės įtaką pastato sienai, turime spręsti nestacionarių šilumos mainų klausimus.

Šių klausimų sprendimas aktualus, kai pastaruoju metu dirbtinai palaikoma kintama temperatūra pastato viduje (mokymo įstaigose, administraciniuose, visuomeniniuose bei kitos paskirties pastatuose). Tokio kintamo šildymo periodas dažnai yra taip pat para, tik temperatūra kinta iš kitos sienos pusės.

Paprastai būna sunku analitiškai nustatyti tokio periodinio šildymo energijos ekonomiją, ypač naudojant daugiasluoksnes atitvaras, sudarytas iš įvairių medžiagų su skirtinga savitąja šiluma.

Šiame straipsnyje pateikiami šiluminių procesų, vykstančių daugiasluoksniėje sienoje saulės spinduliuotei veikiant vertikalų paviršių, eksperimentinių tyrimų rezultatai.

## 2. TYRIMO METODIKA

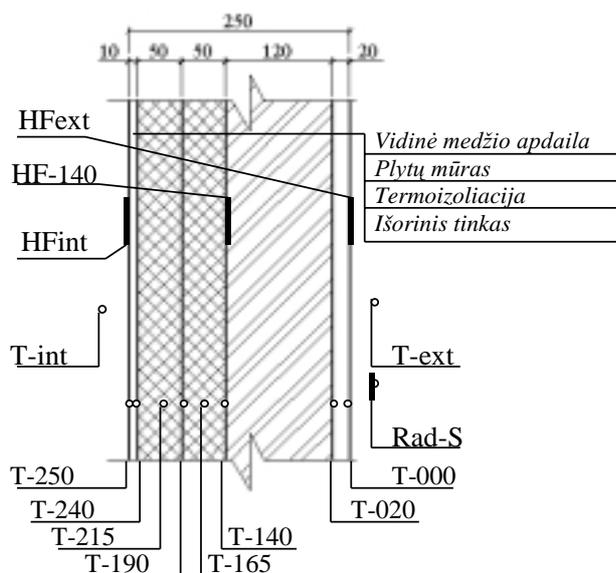
Eksperimentiniai tyrimai atlikti Europos saulės energijos panaudojimo tyrimų centro bazėje, Ispanijoje. Šiame centre tiesioginė saulės spinduliuotė trunka ilgiau nei 3000 val. per metus. Tai beveik du kartus daugiau nei mūsų šalyje.

Viena iš keleto tyrimo krypčių šioje bazėje yra statybinių elementų šiluminių savybių tyrimai. Šios krypties laboratorinę bazę sudaro keturių atskirų laboratorijų, kuriose tiriami šilumos mainų per atitvarinių konstrukcijų elementus procesai, tinklas. Laboratorijose

procesų valdymas, matavimo rezultatų fiksavimas ir perdavimas į centrinį punktą visiškai automatizuotas. Visų laboratorijų atitvarinės konstrukcijos turi 40 cm storio putų polistirolo šilumos izoliaciją, o tiriamąją atitvarinę konstrukciją pasirenka kiekvienas eksperimentatorius. Viena laboratorija turi judančią platformą, kuria galima keisti tiriamos konstrukcijos orientaciją. Tyrimų metu galima nustatyti tokius šiluminius parametrus, kaip saulės spinduliuotės intensyvumas, šilumos srautas, atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, temperatūros atskiruose atitvaros sluoksniuose ir kt.

Šiems tyrimams pasirinkome daugiasluoksnię sieną, analogišką naudojamoms mūsų Respublikos statyboje. Tai atitvara, turinti efektyvų šilumos izoliacijos sluoksnį. Atitvaros šiluminė varža yra apie 3 m<sup>2</sup>K/W. Elektriniu šildytuvu patalpoje buvo palaikoma pastovi +39°C temperatūra visą tyrimų laikotarpį. Išorės oro temperatūra kito nuo +15°C iki +28°C.

Šioje sienoje, tarp skirtingų sluoksnių, buvo sumontuota devyniolika termoporų. Dvi termoporos bu-



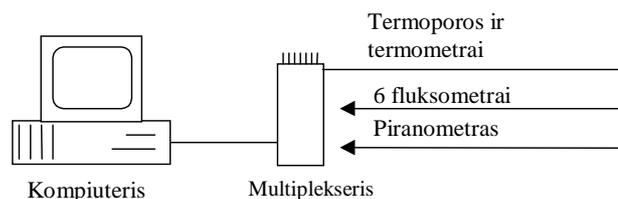
1 pav. Matavimo jutiklių išdėstymo sienoje schema:

- T-ext – termometras išorėje
- T-000 – 3 termoporos ant išorinio paviršiaus
- T-020 – 2 termoporos tarp tinko ir plytų mūro
- T-140 – 2 termoporos tarp mūro ir šiluminės izoliacijos sluoksnio
- T-165 – 2 termoporos 1-ojo izoliacijos sluoksnio viduje
- T-190 – 2 termoporos tarp izoliacijos sluoksnių
- T-215 – 2 termoporos 2-ojo izoliacijos sluoksnio viduje
- T-240 – 3 termoporos tarp izoliacijos sluoksnio ir vidaus medžio apdailos
- T-250 – 3 termoporos ant vidinio paviršiaus
- T-int – termometras viduje
- HFInt – fluksometras ant vidinio paviršiaus
- HF-140 – 4 fluksometrai tarp šiluminės izoliacijos ir plytų mūro sluoksnių
- HFExt – fluksometras ant išorinio paviršiaus
- Rad-S – piranometras

vo vidinėje ir išorinėje sienos pusėse, jomis buvo matuojamos atitinkamai patalpos vidaus ir lauko oro temperatūros. Saulės spinduliuotės intensyvumas buvo matuojamas piranometru.

Šilumos srauto per sieną tankis matuotas šešiais fluksometrais (šilumos srauto matuokliais), kurių vienas buvo sumontuotas ant išorinio sienos paviršiaus, keturi tarp plytų ir termoizoliacinio sluoksnių ir vienas ant vidinio paviršiaus (1 pav.).

Visi matavimo prietaisai buvo prijungti prie kompiuterio (2 pav.). Kompiuteris buvo padėtas kitame, šalia laboratorijos esančiame, namelyje. Iš šio kompiuterio apdoroti duomenys perduoti į darbo kompiuterį, kuris buvo darbo kabinete.



2 pav. Matavimo prietaisų prijungimas prie kompiuterio

Duomenys fiksuoti kas dešimt minučių visą tyrimo laikotarpį. Tyrimai atlikti rugsėjo–spalio mėn. Atitvara orientuota į pietus.

### 3. TYRIMO REZULTATAI

Vienos būdingesnės savaitės rezultatai, temperatūrinio lauko ir vidaus bei išorės temperatūrų kitimas pavaizduotas 3 pav. Pateiktame grafike matyti panaši temperatūrų kitimo paros metu tendencija, todėl išsamesnei analizei galima pasirinkti vieną būdingą parą.

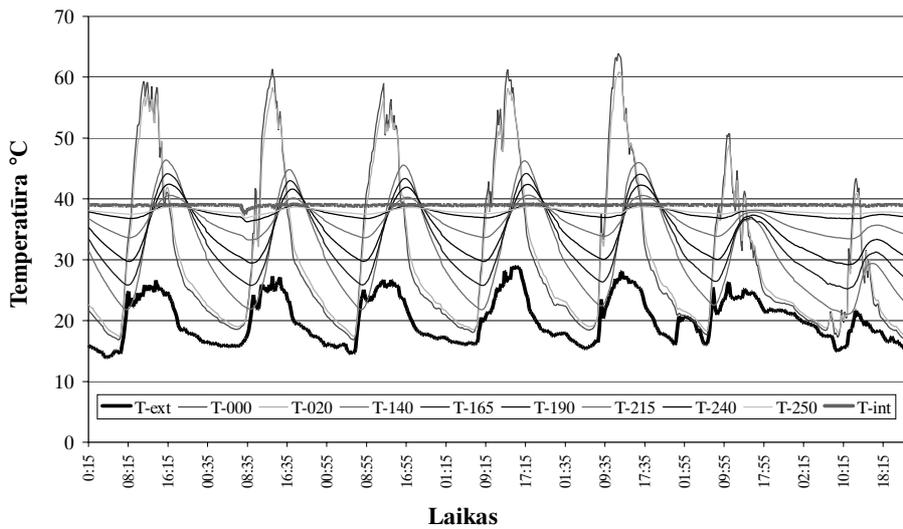
Grafike matyti, kad didžiausia lauko oro temperatūra ir sienos išorinio paviršiaus temperatūra yra 11–14 val.

Penktos paros rezultatai yra išskirtiniai. Paprastai tam tikrų sluoksnių temperatūra kinta tendencingai tarp vidaus ir išorės oro temperatūrų. Tačiau minėtu atveju yra išimtis, kai vidinių sluoksnių temperatūra aukštesnė už išorės oro temperatūrą, o išorinio paviršiaus temperatūra kartais būna net +60°C. Vadinasi, atitvaros viduje dėl saulės spinduliuotės įtakos šilumos srautas keičia savo kryptį.

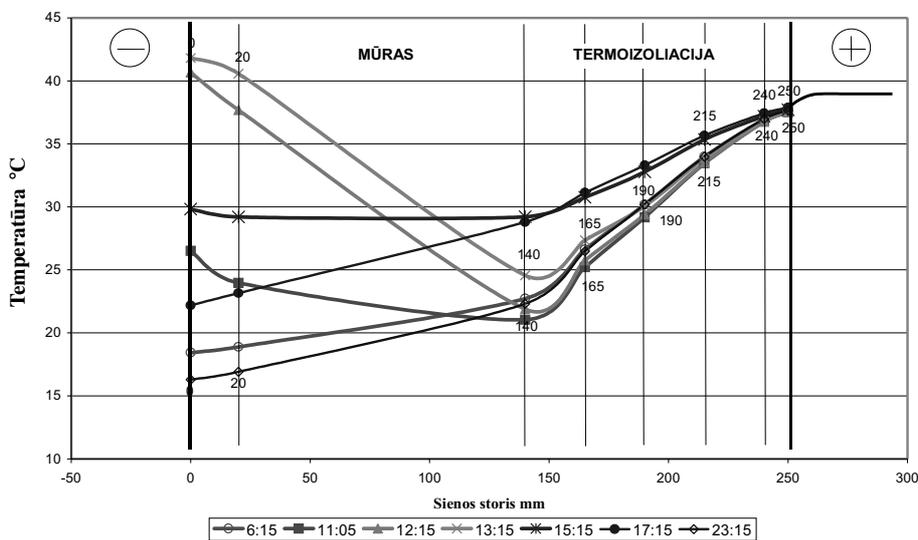
Nestacionarus temperatūris laukas atitvaros pjūvyje pavaizduotas 4 pav.

Iš eksperimentinių duomenų matyti, kad netgi esant palyginti nedideliame saulės spinduliuotės intensyvumui (apie 50 W/m<sup>2</sup>) ji turi didesnę įtaką temperatūrinio lauko atitvaroje pasiskirstymui, nei išorės oro temperatūra.

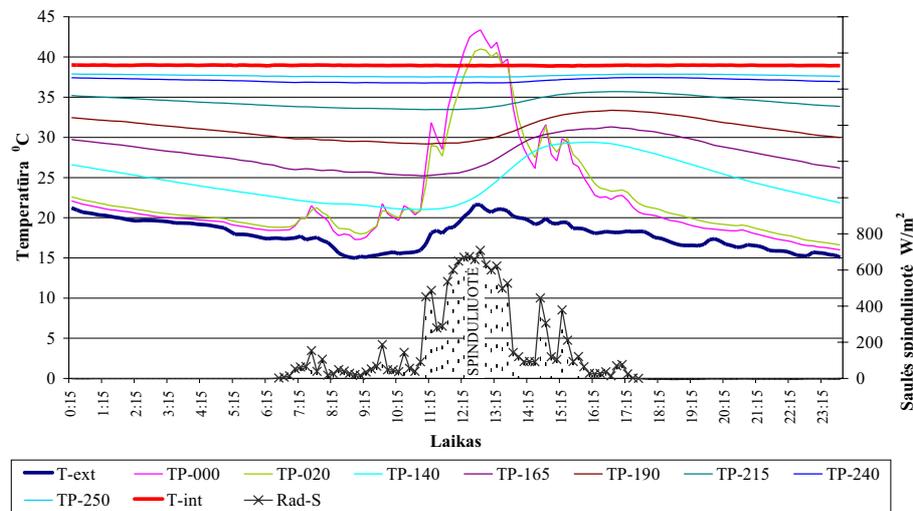
Eksperimentinio tyrimo rezultatų analizei buvo pasirinkta septintoji diena (5 pav.) iš 3 pav.



3 pav. Temperatūrų pasiskirstymas per savaitę



4 pav. Temperatūros pokytis sienos pjūvyje per parą skirtingais laiko momentais



5 pav. Temperatūrų ir saulės spinduliuotės pasiskirstymas per parą

Ją galima lyginti su Lietuvos šiltojo sezono sąlygomis: Ispanijos sąlygos šiuo atveju – vidutinis konkrečios paros saulės spinduliuotės intensyvumas 198 W/m<sup>2</sup>, vidutinė temperatūra 17,9°C; Lietuvos sąlygos Klaipėdoje liepos mėn. – vidutinis paros saulės spinduliuotės intensyvumas 216 W/m<sup>2</sup>, vidutinė temperatūra 17,4°C.

Ekspirimentinio tyrimo rezultatų analizės esmė – remiantis tyrimo rezultatais, sudaryti šilumos srautų ant išorinio paviršiaus balansą.

Išorinio paviršiaus bet kurio elemento šilumos balansas:

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} = 0; \quad (1)$$

čia  $q_{lr}$  – ilgųjų bangų spinduliavimo šilumos srauto į išorinį paviršių tankis;

$q_{sr}$  – trumpųjų bangų spinduliavimo šilumos srauto tankis, absorbuotas išorinio paviršiaus;

$q_c$  – konvekcinio šilumos srauto į aplinkos orą tankis;

$q_{cd}$  – šilumos srauto laidumu tankis.

Šilumos srauto laidumu tankis  $q_{cd}$  mūsų atveju yra lygus fluksometro HFext rodmenims.

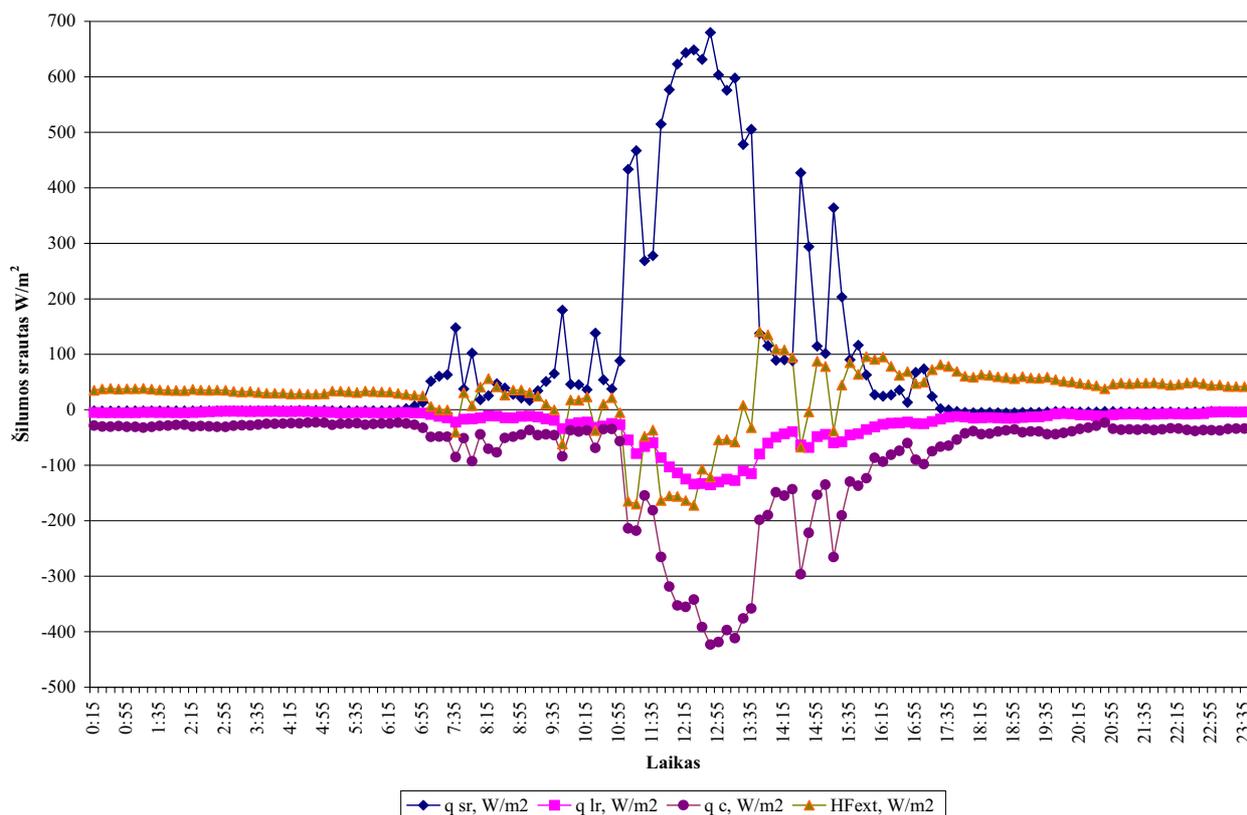
Trumpųjų bangų spinduliavimo šilumos mainai ant neskaidraus išorinio paviršiaus:

$$q_{sr,e} = \alpha_{sr} I_{sp}; \quad (2)$$

čia  $\alpha_{sr}$  – saulės absorbcija = 0,96;  $I_{sp}$  = Rad-S (piranometro rodmenys).

Ilgųjų bangų spinduliavimo šilumos srauto tankis  $q_{lr,e}$  priklausomai nuo skirtingų sąlygų sienai:

$$q_{lr,e} = \varepsilon \sigma (T_e^4 + T_{se}^4); \quad (3)$$



6 pav. Šilumos srautų ant išorinio paviršiaus, apskaičiuotų remiantis eksperimentinio tyrimo rezultatais, balansas

čia  $\epsilon$  – kūno juodumo laipsnis = 0,96;  $\sigma$  – absoliučiai juodo kūno spinduliavimo konstanta =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $T_e$  – išorės oro temperatūra K;  $T_{se}$  – išorinio paviršiaus temperatūra K.

Konvekcinio šilumos srauto tankis išoriniam paviršiui:

$$q_c = h_{c,j}(\theta_a + \theta_{s,j}). \quad (4)$$

Dėl duomenų trūkumo šis šilumos srautas apskaičiuotas iš (1) balanso lygties:

$$q_{c,j} = - (q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{cd,j}). \quad (5)$$

Analizės rezultatai pavaizduoti (6 pav.).

#### 4. IŠVADOS

1. Tyrimų metu saulės spinduliuotės poveikis vertikaliam sienai prasidėjo apie 6.30 val. ir baigėsi apie 17.30 val. Šis spinduliuotės intensyvumas kinta ne sklandžia kreive, o staigiais padidėjimais ir sumažėjimais priklausomai nuo gamtinių sąlygų.

2. Saulės spinduliuotės įtaka laukui sienoje išlieka per visą parą (4, 5 pav.). Kai kuriose sienos plokštumose šilumos srautas laidumu keičia savo kryptį du kartus per parą.

3. Dieną, esant saulės spinduliutei, išorinio sienos paviršiaus šilumos balansas rodo, kad didžiausią balanso dalį sudaro saulės spinduliuotės suteikta energija, kurios dalis laidumu patenka į sienos vidinius sluoksnius, dalis ilgosiomis bangomis išspinduliuojama į aplinką ir dalis perduodama nuo paviršiaus konvekcijos būdu (6 pav.).

Gauta  
2002 06 18

#### Literatūra

1. Binet B. and Lacroix M. Melting from heat sources flush mounted on a conducting vertical wall // International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow. 2000. Vol. 10. No. 3. P. 286–306.
2. Plataforma Solar de Almería / Annual Technical Report. 1998. P. 2.1–2.9.
3. Паулаускайте С., Валанчюс К. Актуальные проблемы строительной теплофизики / Сборник докладов. Москва: НИИСФ, 2002.
4. Gimbutis G. ir kt. Šiluminė technika. Vilnius: Mokslas, 1993. P. 110–128.
5. prEN – ISO 13791:1995. Thermal performance of buildings – Internal temperatures in summer of a room without mechanical cooling – General criteria and calculation procedures. 1995. P. 7–20.

**Kęstutis Valančius, Alfonsas Skrinska,  
Sabina Paulauskaitė**

**HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE  
MULTILAYER WALL OF THE BUILDING UNDER  
THE INFLUENCE OF SOLAR RADIATION**

**S u m m a r y**

The paper presents results of an experimental investigation of the unstable temperature fields in the vertical multilayer wall under the influence of solar radiation. Temperatures and heat fluxes at different points of the wall and solar radiation have been metered.

Methods of the experimental investigation are presented. The influence of solar radiation on the temperature fields of the multilayer wall in the period of a whole day was established, considering that solar radiation lasts just several hours per day. The maximum of the total solar radiation was about 800 W/m<sup>2</sup>. Temperature field changes under the influence of solar radiation were similar every day of the week. Calculation of the heat flux balance on the external surface of the wall was carried out, based on the results of the experimental investigation.

The obtained results could be useful for compiling the calculation methods of unstable heat transfer processes under the influence of solar radiation.

**Key words:** solar radiation, unstable heat transfer, heat flux, temperature fields, multilayer wall

**Кястутис Валанчюс, Альфонсас Скринска,  
Сабина Паулаускайте**

**ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ВО МНОГОСЛОЙНОМ  
ОГРАЖДЕНИИ ЗДАНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ  
СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ**

**Р е з ю м е**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований нестационарных тепловых полей во многослойном вертикальном ограждении под влиянием солнечной радиации. В ходе эксперимента определены температуры и тепловые потоки в разных точках исследуемого ограждения, а также интенсивность солнечной радиации. Представлена методика экспериментальных исследований. Установлено, что солнечная радиация влияет на температурные поля во многослойном ограждении в течение суток, хотя прямая солнечная радиация длится лишь несколько часов. Суммарная интенсивность солнечной радиации во время эксперимента достигала 800 Вт/м<sup>2</sup>. Исследуя влияние солнечной радиации в течение недели, выявлено, что температурные поля в ограждении каждые сутки имеют похожий характер. Проведен также аналитический расчет баланса плотности теплового потока на наружной поверхности ограждения на основе экспериментальных данных.

Полученные данные могут быть полезны при создании методики расчета нестационарного теплообмена под влиянием солнечной радиации.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, нестационарный тепловой поток, теплопроводность, температурные поля, многослойное ограждение