

## Atitvaros renovacijos variantinė analizė vertinant temperatūrinio lauko pokytį

**Loreta Kelpšienė**

*Šiaulių valstybinė kolegija, doc. dr.*

**Deividas Nesovas**

*Šiaulių valstybinė kolegija, lekt.*

### Anotacija

Straipsnyje analizuojami gyvenamojo namo išorinės sienos renovavimo variantai. Remiantis termografinio tyrimo rezultatais nustatyta atitvarinės konstrukcijos šiluminė būklė. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad analitiškai tiriamą sieną tenkina tik dabartinius C energinio naudingumo klasės reikalavimus. Remiantis teoriniais skaičiavimais ir konstrukciniais ribojimais atitvarą rekomenduojama papildomai šiltinti iš vidaus. Nagrinėjami du šiltinimo variantai leistų pakelti atitvaros šilumos izoliavimo savybes iki A+ energinio naudingumo klasės. Statybos darbų technologijos ir kainos požiūriu tinkamesnis būtų šiltinimas akmens vata su plieno karkasu. Temperatūrinio lauko pokyčio po renovacijos vertinimas parodė, kad efektyvesnis būtų antrasis iš nagrinėtų šiltinimo būdas – priklijuojant polistireninio putplasčio plokštes.

**Reikšminiai žodžiai:** šiluminės charakteristikos, termografija, temperatūrinis laukas, atitvara.

### Įvadas

*Temos aktualumas.* Klimato kaita ir riboti energijos ištekliai skatina efektyvesnę energijos panaudojimą gyvenamuosiuose būstuose. Tokios laikinios konstrukcijos kaip išorinės sienos visų pirma skirtos pastato patvarumui ir stabilumui užtikrinti [1], todėl joms naudojamos tankios ir didelio stiprio medžiagos. Be to, jos turi užtikrinti patogiam darbui, poilsiui ir kitoms veikloms tinkamą vidaus mikroklimatą. Šiluminis komfortas – patalpos mikroklimatas, kuris mažiausiai veikia organizmo termoreguliacinę sistemą ir ilgą laiką arba sistemingai veikdamas žmogaus organizmą nesukelia nemalonių žmogui pojūčių bei sveikatos sutrikimų [2].

Sukūrus pastato viduje komfortišką mikroklimatą, svarbu jį išlaikyti kuo mažesnėmis sąnaudomis: šaltuoju metų laikotarpiu neprarasti šilumos („nešildyti lauko“), o šiltuoju periodu – neleisti prikaisti patalpoms. Pastatų vėsinimas ir atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimas šioje srityje ypač akcentuojamas pietų regiono šalyse [3], tačiau ir Lietuvoje tam būtina skirti dėmesio. Kuriant komfortą pastatų ūkis yra didžiausias (apie 40 proc.) energinių išteklių vartotojas. Todėl Europos Sąjungos politikoje išskirtinis dėmesys skiriamas gyvenamųjų namų modernizacijai [4]. Gyvenamojo fondo modernizacija jau atsispindi statistikoje: per pastarąjį dešimtmetį šiluminės energijos suvartojimas šildymui namų ūkiuose sumažėjo apie 15 proc., nors gyvenamojo fondo plotas per šį laikotarpį padidėjo apie 14 proc.

*Tyrimo problema.* Dėl temperatūrinio lauko pokyčių papildomą atitvarų šiltinimą dažniausiai rekomenduojama įrengti iš išorės, nes atitvaros temperatūrinis režimas gali lemti šio sluoksnio rasoją. Tačiau straipsnyje nagrinėjama išorinė siena su ventiliuojamu fasadu, kurio apdailinis sluoksnis yra klinkerinių apdailos plytų mūras – tai yra brangus, bet ilgaamžis sluoksnis. Todėl tiriamą galimybę šiltinti konstrukciją iš vidaus.

*Tyrimo tikslas* – atlikti gyvenamojo namo atitvaros šiltinimo variantų analizę ir palyginimą.

*Tyrimo metodai* – mokslinės literatūros analizė, atitvarinės konstrukcijos termografinio tyrimo duomenų analizė, šiluminių charakteristikų analitinis vertinimas, temperatūrinio lauko pokyčių palyginimas.

*Tyrimo rezultatų naujumas* – atlikta variantinė atitvarinės konstrukcijos temperatūrinio lauko kitimo prognozė priklausomai nuo šiltinimo varianto pasirinkimo, remiantis termografinio tyrimo rezultatais. Pagrįsta galimybė pritaikyti modelį kitokių variantų įvertinimui.

**Pastatų išorinių konstrukcijų šiluminių charakteristikų moksliniai tyrimai**

Kadangi beveik nulinės energijos pastatų koncepcija turi būti pagrindinis Europos Komisijos paskelbtos energetikos politikos tikslas Europos Sąjungoje, pastaruoju dešimtmečiu labai svarbu pagerinti pastatų šiluminės savybes. Todėl infraraudonųjų spindulių termografijos (IRT) diegimas siekiant vizualizuoti ir analizuoti paslėptus pastatų atitvarų defektus yra labai perspektyvus, siekiant pagerinti pastatų energinį efektyvumą [5].

Didžioji pastato šilumos nuostolių dalis prarandama per pastato apvaskalą. Todėl, norint numatyti tinkamą modernizavimo strategiją, būtina tiksliai įvertinti energijos nuotėkį, išreikštą šilumos pralaidumu ( $U$  verte). Vienas iš būdų yra kiekybinės IRT taikymas [6].

Eksperimentiškai tiriant atitvarų šilumos perdavimo koeficiento  $U$  vertę gali būti taikoma infraraudonųjų spindulių termografija (IRT). Paprastai IRT naudojamas kokybinei objektų analizei, tačiau ir kiekybiniai duomenys gali būti naudojami  $U$  vertei matuoti viduje [7]. Eksperimentinis šiluminių atitvarų charakteristikų nustatymo būdas gali būti sėkmingai keičiamas teoriniais skaičiavimais ir skaitmeniniu modeliavimu, jeigu pakankamai tiksliai surenkami duomenys apie konstrukciją sudarančias medžiagas [8]. Naudojant analitinius modelius, nustatoma izoliacijos medžiagos padėties ir storio įtaka temperatūrinio lauko pokyčiams, atsižvelgiant į skirtingus konstruktyvius sprendimus [9].

Termografija – bekontaktė infraraudonųjų (IR) duomenų įrašymo sistema, skirta aptikti, apdoroti ir vizualiai parodyti objekto skleidžiamos šiluminės spinduliuotės pasiskirstymą. Kokybinėje termografijoje radiacijos srautas ar temperatūra, fazės kampas ar antriniai parametrai nematuojami skaitiniais rodikliais. Lyginamoji termografinė procedūra lygina temperatūros, fazių arba antrinių parametrų skirtumus. Kiekybinė termografija nustato radiacijos srauto ar temperatūros, fazės kampo ar antrinių parametrų reikšmes [10].

Termografiniams tyrimams svarbus šešėlių efektas, kurį sukuria aplinka ant analizuojamo fasado, nes jis gali užmaskuoti arba iškreipti šiluminę difuziją. Norint išvengti šio efekto, mokslininkai siūlo daugialypės duomenų analizės metodą – iteracinį filtravimą (IF), leidžiantį apibūdinti elektromagnetinio signalo daugialypį pobūdį ir mažinti šešėlių įtaką fasado tyrimo rezultatams [11]. Tyrinėjant atitvaras su vėdinamo fasado sistemomis, yra tikslingesnė vidinių paviršių termografija. Jeigu vėsiuoju metų laikotarpiu išorinėse termografijose ieškoma šilčiausių paviršiaus taškų, tai vidinėse termografijose yra priešingai – probleminiais laikomi vėsiausi paviršiaus taškai.

Atlikę vakuuminėmis plokštėmis renovuojamų sienų termofizinės būklės analizę, Italijos mokslininkai palygino daugiau kaip metų laikotarpio duomenis su neapšiltinta siena, reprezentuojančia Europos etaloninę bazę, ir priėjo išvados, kad galima pasiekti stabilią ir mažiau kasdien svyruojančią vidinio paviršiaus temperatūrą, sumažinant žiemą išeinantį šilumos srautą. Padidėjęs atitvaros inertiškumas leidžia taupyti energiją tiek žiemą, tiek vasarą [12].

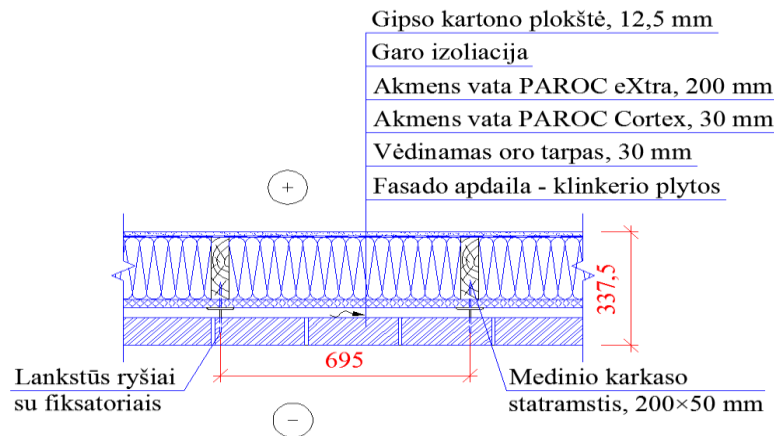
Nusistovinės pastato atitvaros sluoksnių temperatūros lemia jos reakciją į tokią svarbią aplinkos būklę kaip drėgmė. Temperatūra, iki kurios turi atvėsti paviršius, kad vandens garai pasiektų soties būseną, vadinama rasos taško temperatūra. Paviršiui atvėsus iki šios temperatūros, jame susidaro kondensatas. Drėgmės išorinių sienų konstrukcijoje visiškai išvengti neįmanoma, tačiau jos turi būti projektuojamos taip, kad šaltuoju metų periodu susikaupęs drėgnis išgaruotų šiltuoju periodu.

Kanados mokslininkų penkerių metų tyrimas parodė, kad į pietryčius ir į pietus orientuotas pastato konstrukcijas metų eigoje veikia temperatūrų svyravimai: nuo  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  iki  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  sienos paviršiuje ir  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  iki  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$  stogo paviršiuje. Tuo tarpu vidutinis absoliučiosios drėgmės kiekis atitvaros medžiagose yra apie  $7\text{ g/m}^3$ . Jų teigimu, vertinant pastato mazgų senėjimo procesus temperatūrinis laukas ir drėgminė būklė turi lemiamos įtakos [13].

Drėgmės balanso patalpose ir konstrukcijose sprendiniams naujose oro kondicionavimo sistemose taikomi rasos taško garavimo temperatūros davikliai. Mokslininkų [14] pasiūlyta sistema daugiausia tinka Vidurio Europos klimato sąlygomis. Įrenginys gali veikti kaip įprastas rekuperacinis oro aušintuvas: kai lauko oras yra sausesnis nei patalpų oras, jis veikia tik kaip priešpriešinio srauto šilumos atgavimo įrenginys, o kai patalpos oras sausesnis nei lauke, gali veikti kaip abiejų charakteristikų balansavimo įrenginys.

## Energijos nuotėkio per atitvarą tyrimas

Nagrinėjamoji pastato dalis įrengta (1 pav.) pagal 2007 m. statybos reglamentus, kada pakankama sienos šiluminė varža buvo  $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Tuo tarpu dabartinio reglamento *STR 2.01.02:2016* [15] reikalavimas A++ energinio naudingumo gyvenamųjų pastatų sienoms – ne mažiau  $9 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Renovuojamoms konstrukcijoms keliami žemesni reikalavimai.



**1 pav.** Analizuojamos sienos konstrukcija (vaizdas plane)

Šaltinis: sudaryta autorių

Vėdinamo fasado sistema lemia tai, kad, skaičiuojant šilumos perdavimą per atitvarą pagal reglamente [15] numatytą metodiką, nevertinamas išorinis sluoksnis, esantis už vėdinamo oro tarpo, o vėjo izoliacijos paviršiaus varža vertinama kaip vidinio paviršiaus, nes jo nepasiekia tokie išorės veiksniai kaip saulė, lietus, vėjas ir pan.

Medinio karkaso sienoje reikia įvertinti medienos ir akmens vatos skirtingas šilumos laidumo charakteristikas. Skaičiavime įvertinamas sluoksnio nevienalytiškumas, taikant šią formulę [16]:

$$R_2 = \frac{A_v + A_m}{\frac{A_v}{R_v} + \frac{A_m}{R_m}} = \frac{0,645 + 0,05}{\frac{0,645}{5,263} + \frac{0,05}{1,111}} = 4,148 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}};$$

čia:  $R_2$  – bendra antro sluoksnio (karkaso su šilumos izoliacija) šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;  $A_v$  – akmens vatos užimamas plotas,  $\text{m}^2$ ;  $A_m$  – medienos statinio užimamas plotas,  $\text{m}^2$ ;  $R_v$  – akmens vatos šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;  $R_m$  – medienos šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

Nagrinėjamos sienos suminė šiluminė varža skaičiuojama pagal formulę [15]:

$$R_w = R_{si} + R_1 + R_q + R_2 + R_3 + R_{se} = 0,13 + 0,059 + 0,04 + 4,148 + 0,882 + 0,13 = 5,389 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}};$$

čia:  $R_w$  – suminė sienos šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;  $R_{si}$  – vidinio paviršiaus šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , imama iš 2.3 lentelės [13];  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;  $R_{se}$  – išorinio paviršiaus šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  [15].

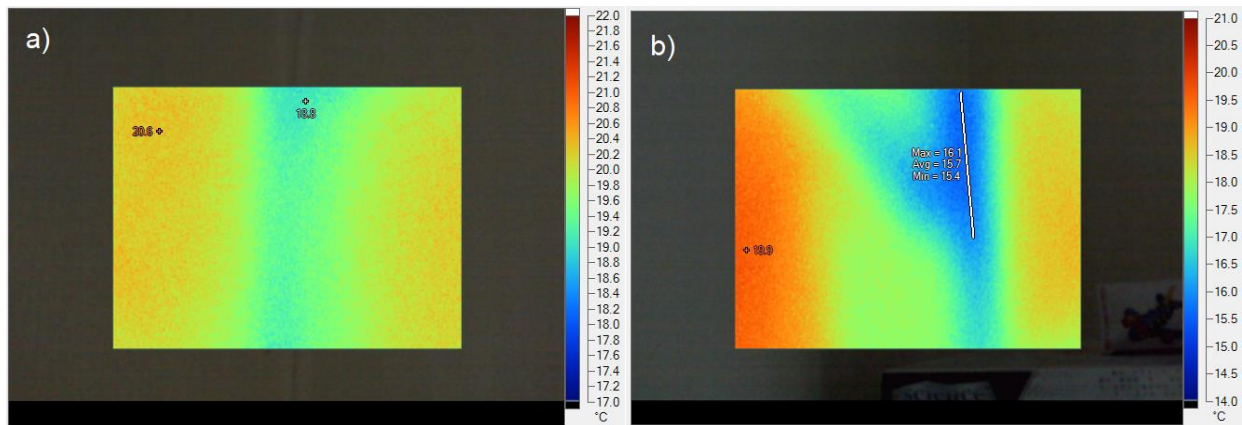
Pagal skaičiavimų rezultatą siena tenkina šiandieninės C energinio naudingumo klasės reikalavimus [15]:

$$U_w = \frac{1}{R_w} = \frac{1}{5,389} = 0,186 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} < U_{w(C)} = 0,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

Termografinį tyrimą rekomenduojama atlikti ilgesnį laiką nusistovėjus temperatūrai [17], esant nedideliame vėjuotumui ir nesant tiesioginių saulės spindulių [18]. Sienos termografijai naudotas *FLUKE T110* termovizorius, o vaizdai nagrinėti naudojant *SmartView 3.1.82.0* programą. Plane konstrukcijos orientuotos į pietus, vakarus ir šiaurę, tad fotografuojant rytą nebuvo apšviestos saulės. Lauko temperatūra matavimo metu buvo  $-7,5^\circ\text{C}$ , o pastato viduje  $+21^\circ\text{C}$ .

Kadangi vėdinamo fasado apdailos sluoksnis su vidiniais šiltais paviršiais liečiasi tik lanksčių ryšių taškuose ir laikančių konstrukcijų sandūrose, išorės termografiniai vaizdai yra svarbūs nagrinėjant šiluminius tiltelius [19]. Vidinėje termografijoje (2 pav.) išryškėja vėsesni medinio karkaso

elementai, lemiantys didesnius šilumos nuostolius. Šilčiausias termografinių vaizdų taškas yra +20,6°C, o vėsiausias yra +15,4°C.



**2 pav.** Tiriamos sienos termografija iš vidaus: a) karkaso elementų sandūra kampe; b) vertikalaus ir horizontalaus karkaso elementų sandūra

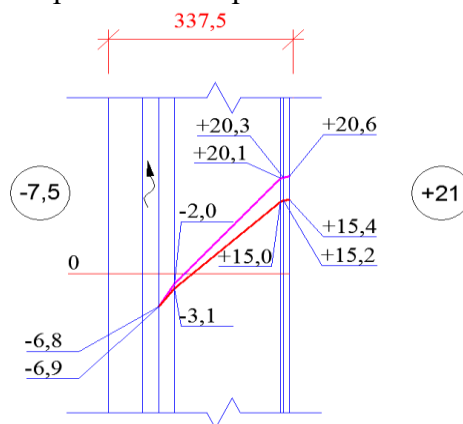
Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal termografinio tyrimo rezultatą galima atlikti sienos temperatūrinio lauko skaičiavimus, kurių pagalba apibūdinamas vidinių sluoksnių paviršių temperatūros. Mokslininkų Sun, Y., Guo, Y., Elsheikh, A. H., Bedov, A. I. ir kt. [20, 21, 22] nuomone, tikslus temperatūrinio lauko prognozavimas praplečia galimybes efektyviau koreguoti įvairių skaitinių skaičiavimo ribines sąlygas. Daugiasluoksnės atitvaros bet kokio taško temperatūra nustatoma pagal šią formulę [16]:

$$\Theta_n = \Theta_i - \frac{\Theta_i - \Theta_e}{R_t} \left( R_{si} + \sum_i^n R \right) \Rightarrow \Theta_{2-3} = 21 - \frac{21 - (-7,5)}{5,408} (0,13 + 0,05 + 0,04) = 20,1^\circ\text{C};$$

čia:  $\Theta_n$  – tarp sluoksnių temperatūra, °C;  $\Theta_i$  – patalpos vidaus temperatūra, °C;  $\Theta_e$  – išorės temperatūra, °C;  $R_t$  – suminė atitvaros šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;  $R_{si}$  – vidinio paviršiaus šiluminė varža,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

Iš temperatūrinio lauko skaičiavimo rezultatų (3 pav.) matyti, kad žemesnės vidaus paviršiaus temperatūros zonoje žemėja ir išorės paviršiaus temperatūra.



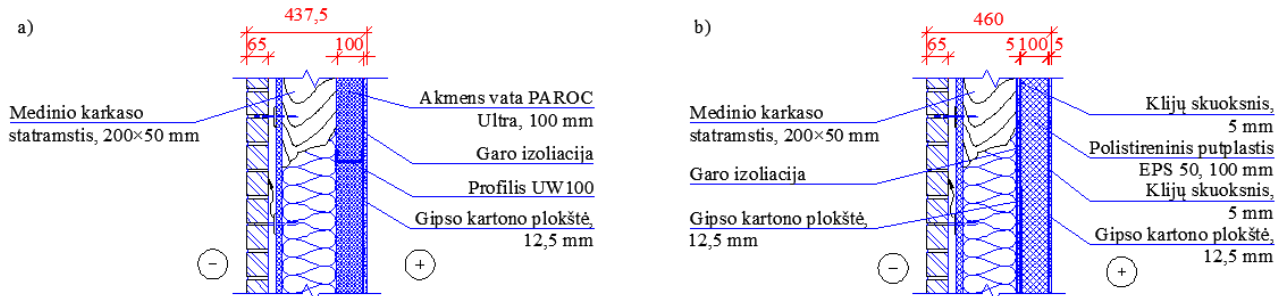
**3 pav.** Tiriamos sienos temperatūrinio lauko skaičiavimo rezultatų grafinis vaizdas

Šaltinis: sudaryta autorių

Vėsesnės temperatūrinės laužtinės sankirta su nuline reikšme artėja link patalpos vidaus. Tai reiškia rasos susidarymo atitvaroje tikimybės didėjimą, o tai grėstų šlapiu termoizoliacijos sluoksniu arba pūvančiu medinio karkaso elementu.

### Atitvaros šiltinimo variantų analizė

Esant galimybei, rekomenduojama apšiltinti sieną iš vidaus, nors šiltinant iš vidaus sumažėja būsto naudingas plotas ir kambario tūris. Šiltinant akmens vata PAROC Ultra, tikslinga naudoti metalinių profilių karkasą, kurio elementai būtų statmeni medinio karkaso statiniams, tačiau reikėtų nuardyti vidaus apdailos gipso kartono plokštės ir garo izoliaciją (4 pav. a). Kitas šiltinimo variantas – polistireninio putplasčio plokštės, kurios būtų klijuojamos prie gipso kartono plokščių gipsiniais klijais (4 pav. b). Kadangi akmens vatos vandens garų varžos faktorius daug mažesnis negu polistireninio putplasčio –  $\mu_{MW} = 1 < \mu_{EPS} = 60$  [23] – pirmojo šiltinimo variantu būtinas garo izoliacijos sluoksnis.



**4 pav.** Tiriamos sienos šiltinimo variantai (vertikaliame pjūvyje): a) akmens vata PAROC Ultra sudėta į metalinį karkasą; b) gipsiniais klijais priklijuotos polistireninio putplasčio EPS 50 plokštės  
Šaltinis: sudaryta autorių

Paprastesnis parengiamasis etapas būtų šiltinant putplaciu, nes galima neardyti esamos konstrukcijos. Tačiau reikalingi „šlapieji“ statybos darbų procesai – du klijų sluoksniai. Įrengus po toki pat 100 mm šilumos izoliacijos sluoksnį, gaunamas skirtingas izoliavimo savybių pagerėjimas (1 lentelė).

1 lentelė

**Sienos šiluminės varžos skaičiavimas**

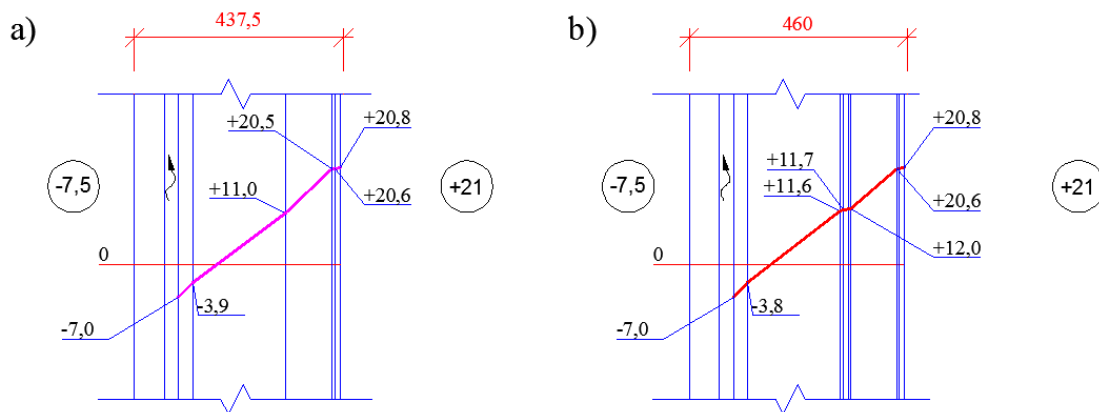
Eil. Nr.	Paviršius / sluoksnis	I variantas			II variantas		
		Šilumos perdavimas $\lambda$ , W/(m·K)	Storis $d$ , m	Šiluminė varža $R$ , m <sup>2</sup> ·K/W	Šilumos perdavimas $\lambda$ , W/(m·K)	Storis $d$ , m	Šiluminė varža $R$ , m <sup>2</sup> ·K/W
1.	Vidinis paviršius	-	-	0,13	-	-	0,13
2.	Gipso kartono plokštė	0,21	0,0125	0,059	0,21	0,0125	0,059
3.	Garo izoliacija / gipsiniai klijai	-	-	0,04	0,56	0,005	0,009
4.	Papildomas šiltinimas	0,038	0,1	2,632	0,043	0,1	2,326
5.	Gipsiniai klijai	-	-	-	0,56	0,005	0,009
6.	Gipso kartono plokštė	-	-	-	0,21	0,0125	0,059
7.	Garo izoliacija	-	-	-	-	-	0,04
8.	Medinis karkasas su akmens vata PAROC eXtra	0,180 / 0,037	0,2	4,148	0,180 / 0,037	0,2	4,148
9.	Akmens vata PAROC Cortex	0,034	0,03	0,882	0,034	0,03	0,882
10.	Išorinis paviršius	-	-	0,13	-	-	0,13
			Viso:	<b>8,021</b>	Viso: <b>7,792</b>		

Pagal skaičiavimų rezultatai tiek pirmuoju, tiek antruoju variantu apšiltinta siena tenkintų A+ energinės klasės reikalavimus [15]:

$$U_{w(I)} = \frac{1}{R_{w(I)}} = \frac{1}{8,021} = 0,125 \frac{W}{m^2 \cdot K} < U_{w(A+)} = 0,13 \frac{W}{m^2 \cdot K};$$

$$U_{w(II)} = \frac{1}{R_{w(II)}} = \frac{1}{7,792} = 0,128 \frac{W}{m^2 \cdot K} < U_{w(A+)} = 0,13 \frac{W}{m^2 \cdot K}.$$

Temperatūrinio lauko reikšmės po apšiltinimo (5 pav.) atitvaros kraštuose yra labai panašios (skirtumai yra šimtųjų laipsnio dalių ribose).



**5 pav.** Apšiltintos sienos temperatūrinio lauko skaičiavimo rezultatų grafinis vaizdas: a) pirmasis šiltinimo variantas su akmens vata; b) antrasis šiltinimo variantas su polistireninium putplasčiu  
Šaltinis: sudaryta autorių

Sienos viduje temperatūrinio lauko pasiskirstymas yra skirtingas: pirmo šiltinimo variantu (5 pav. a) neigiamų temperatūrų zona nuo vidutinio 31,2 proc. sumažėjo iki 23,7 proc., o antruoju (5 pav. b) – iki 21,5 proc.

## Išvados

1. Termografinis tyrimas pripažįstamas kaip efektyvus neardantis metodas galimiems šilumos nuostoliams per atitvaras ir jų sandūras aptikti. Šiluminių mainų konstrukcijose apibūdinimui naudojama temperatūrinio lauko analizė, kuri suteikia galimybę įvertinti konstrukcijų eksploataavimo pokyčius po renovacijos bei jų senėjimo tendencijas.
2. Tiriamos atitvaros termografinė analizė ir analitiniai skaičiavimai parodė, kad pagal šilumos izoliavimo savybes ji tenkina C energinės klasės reikalavimus. Šiltinimas dviem nagrinėjama būdais leistų pakelti efektyvumą iki A+ klasės, kas renovavimo atveju būtų labai geras rezultatas. Statybos darbų technologijos ir kainos požiūriu tinkamesnis būtų pirmasis šiltinimo variantas akmens vata su plieno karkasu.
3. Temperatūrinio lauko pokyčio po renovacijos vertinimas parodė, kad efektyvesnis būtų antrasis iš nagrinėtų šiltinimo būdų – priklijuojant polistireninio putplasčio plokštes: esamos sienos temperatūrinio lauko grafike neigiamų temperatūrų zonoje atsiduria vidutiniškai 31,2 proc. jos storio, pirmojo šiltinimo variante – 23,7 proc., o antrojo – 21,5 proc. Šiltinant atitvarą polistireninium putplasčiu, be labiau sumažėjusios konstrukcijos buvimo dalies neigiamų temperatūrų zonoje, rasos taško temperatūros atsiradimą ribotų ir geresnės garo izoliavimo savybės.

## Literatūra

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.01.01(1):2005. *Esminis statinio reikalavimas. Mechaninis atsparumas ir pastovumas*. N. d. [žiūrėta 2021-10-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.262694?jfwid=rivwzvpg>
2. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. HN 69:2003 *Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametų norminės vertės ir matavimo reikalavimai*. N. d. [žiūrėta 2021-10-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
3. BILARDO, M., Ferrara, M. & Fabrizio, E. Performance assessment and optimization of a solar cooling system to satisfy renewable energy ratio (RER) requirements in multi-family buildings. *Renewable Energy*. 2020, vol. 155, 990–1008 [žiūrėta 2021-10-10]. ISSN 0960-1481. Prieiga per: [doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.044](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.044)
4. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Kvietimas gyvenamųjų namų modernizavimui*. N. d. [žiūrėta 2021-10-10]. Prieiga per: <https://www.apva.lt/kvietimas-gyvenamujumu-modernizavimui-3/>

5. KIRIMTAT, A. & Krejcar, O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. *Energy and Buildings*. 2018, vol. 176, 390–406 [žiūrėta 2021-10-10]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.052
6. NARDI, I. et al. Quantification of heat energy losses through the building envelope: A state-of-the-art analysis with critical and comprehensive review on infrared thermography. *Building and Environment*. 2018, vol. 146, 190–205. [žiūrėta 2021-10-10]. ISSN 0360-1323. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.050
7. TEJEDOR, B. et al. Quantitative internal infrared thermography for determining in-situ thermal behaviour of façades. *Energy and Buildings*. 2017, vol. 151, 187–197 [žiūrėta 2021-10-10]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.040
8. KRASOŃ, J. et al. Analysis of the Thermal Characteristics of a Composite Ceramic Product Filled with Phase Change Material. *Buildings*. 2019, vol. 9, no. 10, 217 [žiūrėta 2021-10-11]. ISSN 2075-5309. Prieiga per: doi.org/10.3390/buildings9100217
9. LECCESE, F. et al. Passive thermal behaviour of buildings: Performance of external multi-layered walls and influence of internal walls. *Applied Energy*. 2018, vol. 225, 1078–1089 [žiūrėta 2021-10-12]. ISSN 0306-2619. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.090
10. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Neardomieji bandymai. Termografinis tyrimas. 3 dalis. Terminai ir apibrėžtys. LST EN 16714-3:2016. / Non-destructive testing – Thermographic testing – Part 3: Terms and definitions. EN 16714-3:2016.*
11. SFARRA, S. et al. Improving the detection of thermal bridges in buildings via on-site infrared thermography: The potentialities of innovative mathematical tools. *Energy & Buildings*. 2019, vol. 182, 159–171 [žiūrėta 2021-10-14]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.017
12. DE MASI, R. F. et al. Environmentally friendly opaque ventilated façade for wall retrofit: One year of in-field analysis in Mediterranean climate. *Solar Energy*. 1 November 2021, vol. 228, 495-515 [žiūrėta 2021-10-14]. ISSN 0038-092X. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.solener.2021.09.063
13. RIAHINEZHAD, M. et al. Field temperature and moisture loads from a building envelope as the basis for accelerated aging of barrier membranes1. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2019, vol. 46, no. 11, 969–978 [žiūrėta 2021-10-15]. ISSN 1208-6029. Prieiga per: doi.org/10.1139/cjce-2018-0757
14. PANDELIDIS, D. et al. Performance study of a novel dew point evaporative cooler in the climate of central Europe using building simulation tools. *Building & Environment*. 2020, vol. 181, N. p. [žiūrėta 2021-10-16]. ISSN 0360-1323. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107101
15. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *STR 2.01.02:2016. Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas. N. d. [žiūrėta 2021-10-17]. Prieiga per: https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr*
16. RAMANAUSKAS, J. *Statybinė fizika*. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2011. ISBN 978-9955-20-692-7.
17. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *ISO 10880:2017 null Non-destructive testing – Infrared thermographic testing - General principles ISO 10880:2017.*
18. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Šiluminės pastatų charakteristikos. Pastatų atitvarų šiluminio nevienalytiškumo aptikimas. Infraraudonosios spinduliuotės metodas. LST EN 13187:2000 (ISO 6781:1983 modifikuotas). / Thermal performance of buildings — Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. EN 13187:1998 (ISO 6781:1983 modified).*
19. SKRIDAILAITĖ, L., Kelpšienė, L., Mockienė, E. Thermographic Analysis of Joints of Supporting Structures. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. 2021, vol. 51, nr. 1, 94-103 [žiūrėta 2021-10-18]. eISSN 1648-8776. Prieiga per: doi.org/10.15388/JMD.2021.9
20. SUN, Y. & Guo, Y. Analysis of Temperature-Field and Stressfield of Steel Plate Concrete Composite Shear Wall in Early Stage of Construction. *Archives of Civil Engineering*, 2021, 351-366 [žiūrėta 2021-10-19]. ISSN 1230-2945. Prieiga per: doi.org/10.24425/ace.2021.136477
21. ELSHEIKH, A. H. et al. Temperature field sensing of a thin-wall component during machining: Numerical and experimental investigations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018, vol. 126, Part B, 935-945 [žiūrėta 2021-10-19]. ISSN 0017-9310. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.06.006
22. BEDOV, A. I. et al. CAD technologies under thermal properties analysis of wall cladding of framed buildings. In: *IOP conference series: Materials Science and Engineering*. 2018, 456 012065, 1-8 [žiūrėta 2021-10-21]. Prieiga per: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/456/1/012065/pdf

23. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Statybinės medžiagos ir gaminiai. Higroterminės savybės. Lentelinės projektinės vertės ir deklaruotų bei projektinių šiluminių verčių nustatymo procedūros. LST EN ISO 10456:2008 (ISO 10456:2007). / Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. EN ISO 10456:2007 (ISO 10456:2007).*

## **Variant Analysis of Partition Renovation by Assessing the Change in Temperature Field**

**Loreta Kelpšienė**

*Šiauliai State University of Applied Sciences, assoc. prof., dr.*

**Deividas Nesovas**

*Šiauliai State University of Applied Sciences, lect.*

### **Summary**

Climate change and limited energy resources encourage more efficient energy use in residential houses. The modernization of housing stock is already reflected in statistical data: in the last decade household thermal energy consumption for heating has decreased by about 15%, even though in the same time span the total area of housing stock has increased by about 14%. Thermographic analysis is acknowledged as an effective non-destructive method for detecting possible thermal energy losses through partitions and their joints. The heat exchange in constructions is described by using analysis of a temperature field, which allows the possibility to evaluate the changes in construction exploitation after renovation and their aging tendencies. The article analyses the renovation variations of a residential house outer partition. The thermal condition of the partition construction was determined according to the results of the thermographic analysis. After calculations, it was determined, that the analyzed wall satisfies only current C energy class requirements. Based on theoretical calculations and construction limitations it is recommended to additionally insulate the partition from the inside. The two analyzed insulations types would allow improving the thermal isolation properties of the partition up to the A+ energy efficiency class. The more fitting approach based on construction work technology properties and price would be the insulation by use of rock wool with a steel carcass. The evaluation of the temperature field after the renovation showed, that second analyzed insulation method – attaching polystyrene foam panels – would be more efficient: in the temperature field graph on average 31,2% of the width of the current wall is in the negative temperature zone, while the for the first method the number is 23,7%, the second – 21,5%. While insulating the partition by use of polystyrene foam, besides the lesser part of the construction in the negative temperature zone, the occurrence of a dew point would also be limited by the better steam isolation properties.

**Keywords:** thermal characteristics, thermography, temperature field, partition.