

Laikančiųjų konstrukcijų sandūrų termografinis tyrimas

Thermographic Analysis of Joints of Supporting Structures

Laima Skridailaitė

Šiaulių valstybinė kolegija
E. p. l.skridailaite@svako.lt

Loreta Kelpšienė

Šiaulių valstybinė kolegija
E. p. loreta.kelpsiene@gmail.com

Edita Mockienė

Šiaulių valstybinė kolegija
E. p. e.mockiene@svako.lt

Santrauka. Išorinės pastato atitvaros (sienos, stogas ir kt.), be laikančiosios funkcijos, turi užtikrinti žmogaus patogiam darbui, poilsiui ir kitoms veikloms tinkamą vidaus mikroklimatą. Straipsnyje analizuojamos gyvenamojo namo išorinių sienų šiluminės charakteristikos ir termografiškai tiriamos skirtingų pastato konstrukcijų sandūros. Termografiniai tyrimai gali būti atliekami aktyviai arba pasyviai. Pirmuoju atveju tiriamas objektas specialiai šildomas (kaitinamas) iki nustatytos temperatūros ir tada analizuojami jo termografiniai vaizdai, o antruoju – atliekama objekto su nusistovėjusiu temperatūriniu režimu natūraliomis sąlygomis termografija. Straipsnyje nagrinėjamos gyvenamojo namo atitvarinių konstrukcijų šiluminės charakteristikos. Medžiagų šiluminių savybių reikšmės paimtos iš jų gamintojų pateiktos dokumentacijos, tokios nesant, remtasi statybos techninio reglamento duomenimis. Suskaičiavus analitiškai: vakarinio priestato siena tenkina tik C energinės klasės reikalavimus, senosios pastato dalies šiltinimas pakėlė atitvaros šilumos perdavimo koeficientą iki A energinės klasės reikalavimų, rytinio priestato sienos charakteristika atitinka A+ energinės klasės rodiklį. Termografinis tyrimas parodė mažesnę fibrocementinių dailylenčių fasado įšilimą, lyginant su mūriniais fasadais. Remiantis teoriniais skaičiavimais ir termografinė analize, vakarinę priestatą rekomenduojama papildomai šiltinti iš vidaus. Esant galimybei, siūloma abi fasadų sandūras papildomai apšiltinti poliuretano putomis ir užsandarinti hidroizoliacine mastika, kad putų nepasiektų saulės spinduliai.

Prasminiai žodžiai: šiluminės charakteristikos, termografinis tyrimas, laikančiosios konstrukcijos.

Summary. The external partitions of a building (walls, roof, etc.) in addition to their supporting functions must also ensure an internal microclimate suitable for comfortable human work, recreation and other activities. This article analyzes the thermal characteristics of the external walls of a residential house and thermographically examines the joints of the different structures of the building. Thermographical examination may be performed either passively or actively. In the former case, the object of the examination is heated up to a given temperature,

Received: 2021-05-18. Accepted: 2021-06-15

Copyright © 2021 Laima Skridailaitė, Loreta Kelpšienė, Edita Mockienė. Published by Vilnius University Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution Licence](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

after which thermographical images of the object are taken and analyzed. In the latter case, thermographical analysis is made of the object in its naturally established thermal conditions. This article examines the thermal characteristics of the partition structures of a residential building. The values of the thermal properties of the materials are taken from the documentation provided by their manufacturers, and in their absence, the data of the technical building regulations is used. Calculated analytically: the wall of the western annex only meets the C energy class requirements, the insulation of the old part of the building raised the heat transfer coefficient of the partition to class A, the thermal characteristic of the eastern annex wall corresponds to the A + energy class. This thermographic examination showed that the facade covered by the fibrous cement siding absorbed less heat compared to the masonry facades. Based on theoretical calculations and the thermographic analysis, it is recommended to additionally insulate the western annex from the inside. If possible, it is also recommended to additionally insulate both facade joints with polyurethane foam and to seal them with waterproofing mastic to prevent the sunrays from reaching the foam.

Keywords: thermal characteristics, thermographical analysis, supporting structures.

Įvadas

Laikančiosios konstrukcijos visų pirma skirtos pastato patvarumui ir stabilumui užtikrinti [13], todėl joms naudojamos tankios ir didelio stiprio medžiagos. Išorinės atitvaros (sienos, stogas ir kt.), be laikančiosios funkcijos, 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 veikia žmogaus organizmą nesukelia nemalonių žmogui pojūčių bei sveikatos sutrikimų [5].

Skirtingos laikančiųjų ir termoizoliacinių medžiagų šiluminio laidumo savybės lemia šiluminių tiltelių atsiradimą, kadangi apkrovų perdavimas konstrukcijų sandūroje riboja termoizoliavimą. Straipsnyje analizuojamos gyvenamojo namo išorinių sienų šiluminės charakteristikos ir termografiškai tiriamos skirtingų pastato konstrukcijų sandūros.

Termografinės analizės rezultatų vertinimas dažnai subjektyvus, t. y. daug lemia tyrėjo patirtis, todėl apdorojant termografinius vaizdus, be apibūdinimo pagal jų geometrines charakteristikas ir temperatūros skirtumus, būtina atlikti kiekvieno tiriamo objekto termofizinių savybių skaičiavimus [3].

Tikslas – atlikti gyvenamojo namo laikančiųjų konstrukcijų sandūrose susidarančių šiluminių tiltelių termografinį tyrimą.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, laikančiųjų konstrukcijų šiluminių charakteristikų analitinis vertinimas, termografinio tyrimo duomenų analizė.

Termografijos taikymas objektų šiluminių charakteristikų analizei

Šiluminiai tilteliai – silpnoji pastato apvalkalo dalis. Energinio efektyvumo siekti nėra lengva, nors tai tampa vis aktualiau bendros pastatų energijos sklaidos požiūriu, nes tiek nepermatomų, tiek skaidrių medžiagų termoizoliacijos lygis nuolat didėja. Vertinti energijos sklaidą per šias zonas reikia gerai žinant medžiagas ir geometriją ir tinkamai analizuojant termografinius vaizdus [1].

Mokslininkai [11] akcentuoja pastatų atitvarų šilumos pralaidumo (U vertės) svarbą, ypač energijos poreikio įvertinimo ar miesto energijos planavimo tikslais. Pastaraisiais

metais vis plačiau taikomas U vertės įvertinimo metodas, naudojant kiekybinę infraraudonųjų spindulių termografiją (IRT), dėl patikimų rezultatų, greito patikrinimo. Išskiriamos pasikartojančios su energija susijusios problemos, tokios kaip šiluminio tilto aptikimas ir įvertinimas, taip pat statybinių medžiagų šiluminio spinduliavimo įvertinimas.

Eksperimentiškai tiriant atitvarų šilumos perdavimo koeficiento U vertę įprastai taikomas šilumos srauto matuoklio (angl. *heat flux meter – HFM*) metodas, kuriuo įvertinama pastato atitvaros šiluminė kokybė pastovios būsenos sąlygomis. Tačiau šis neardomasis bandymo metodas reikalauja mažiausiai 72 valandų, o jo tikslumas yra 14–28% ir mažai patikimas nevienalyčiams pastato elementams nagrinėti. Alternatyvi technika remiasi infraraudonųjų spindulių termografija (IRT). Paprastai IRT naudojamas kokybinei objektų analizei, tačiau ir kiekybiniai duomenys gali būti naudojami U vertei matuoti viduje [15].

Termografiniai tyrimai gali būti atliekami aktyviai arba pasyviai. Pirmuoju atveju tiriamas objektas specialiai šildomas (kaitinamas) iki nustatytos temperatūros ir tada analizuojami jo termografiniai vaizdai, o antruoju – atliekama objekto su nusistovėjusiu temperatūriniu režimu natūraliomis sąlygomis termografija. Tyrimo duomenys vertinami kokybiškai, palyginant ar kiekybiškai (1 lentelė).

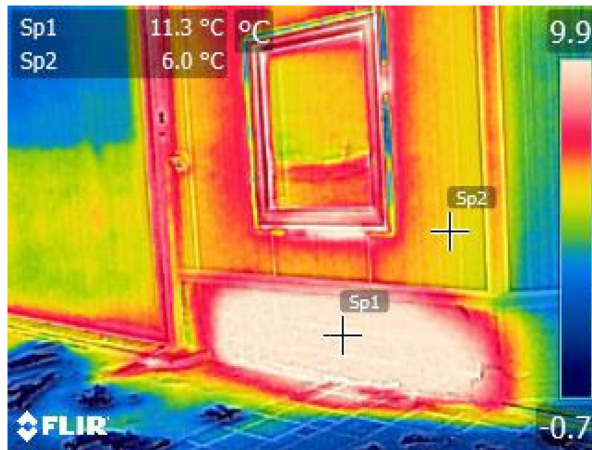
1 lentelė. Termografinių procedūrų apžvalga [9]

Procedūra	Sužadinimas	
	Aktyvus	Pasyvus
Kokybinė	Terminių modelių (radiacijos pasiskirstymo) tyrimas	
Palyginimo	Dydžių skirtumas (pvz., $\Delta\varphi$, ΔT)	Dydžių skirtumas (pvz., ΔT)
Kiekybinė	Absoliutūs dydžiai (pvz., φ , T)	Absoliutūs dydžiai (pvz., T)

Termografija – bekontaktė infraraudonųjų (IR) duomenų įrašymo sistema, skirta aptikti, apdoroti ir vizualiai parodyti objekto skleidžiamos šiluminės spinduliuotės pasiskirstymą. Kokybinėje termografijoje radiacijos srautas ar temperatūra, ar fazės kampas, ar antriniai parametrai neišmatuoti skaitiškai. Lyginamoji termografinė procedūra – kai lyginami temperatūros, fazių arba antrinių parametrų skirtumai. Kiekybinė termografija – kai nustatomas radiacijos srauto ar temperatūros, ar fazės kampo, ar antrinių parametrų reikšmės [10].

IRT yra labai perspektyvus metodas šilumos pasiskirstymo netolygumams, oro nuotėkiam ir net drėgmės kiekio pokyčiams pastato atitvarose nustatyti. Beveik nulinės energijos pastatų koncepcija yra pagrindinis energetikos politikos tikslas Europos Sąjungoje, pastarąjį dešimtmetį ypač daug pastangų skiriama pastatų šiluminėms savybėms gerinti. Todėl IRT taikomas siekiant vizualizuoti ir analizuoti kitais būdais sunkiai aptinkamus pastatų atitvarų defektus ir taikytinas siekiant gerinti pastatų energinį efektyvumą [7].

Mokslininkai [4], tyrinėję paveldo objektus, kaip pavyzdžius pateikia nustatytą nepakankamą pramoninio objekto sienos izoliaciją (1 pav.) ir atkreipia dėmesį į šalčiausią šaligatvio zoną, kuri yra šlapia, o garuodamas vanduo atima šiluminę energiją, sudarydamas žemesnės temperatūros zoną.



1 pav. Priešais radiatorių nėra išorinės atitvaros izoliacijos [4]

Kita mokslininkų grupė [2], planavusi pastatų reabilitacijos procesus, atliko fasadų įtrūkimų ir degradacijos tyrimus, kuriuose, norėdami suprasti šilumos srauto dinamiką, padėjusią interpretuoti termogramą skirtingomis šildymo ar aušinimo sąlygomis, naudojo higotermiņį modeliavimą. Šiame tyrime kiekybinė pasyvioji termografija naudota matuojant pastato fasado įtrūkimų pažeidimo laipsnį. Pastebėta, kad termografiniais tyrimais įmanoma gauti kiekybines pažeidimo laipsnio vertes.

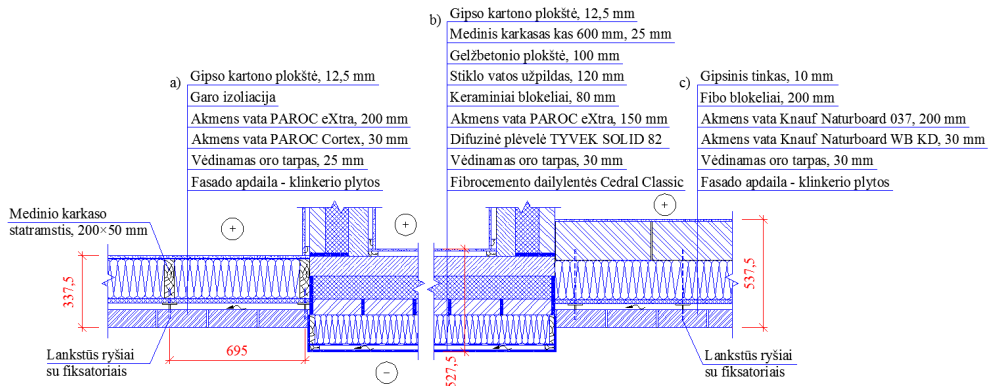
Termografiniams tyrimams svarbus šešėlių efektas, kurį sukuria aplinka ant analizuojamo fasado, nes jis gali užmaskuoti / modifikuoti šiluminę difuziją. Šiam efektui eliminuoti mokslininkai siūlo daugialypės duomenų analizės metodą – iteracinį filtravimą (IF), leidžiantį apibūdinti elektromagnetinio signalo daugialypį pobūdį ir mažinti šešėlių įtaką fasado tyrimo rezultatams [12].

Gyvenamųjų pastatų ventiliuojami fasadai yra gana patrauklūs dėl tokių priežasčių, kaip estetika, drėgmės kontrolė ir atsparumas aplinkos veiksniams. Tyrimų rezultatai [16] rodo, kad dėl šiluminių tiltelių, susidarančių jungiant laikančiąją konstrukciją ir apdailos sluoksnį ventiliuojamose sistemose, žymiai sumažėja šilumos izoliacijos efektyvumas, jei projektavimo procese tam nebuvo skirtas ypatingas dėmesys.

Analizuojamų laikančiųjų konstrukcijų charakteristikos

Straipsnyje nagrinėjamos gyvenamojo namo atitvarinių konstrukcijų šiluminės charakteristikos. Skaičiuojant vadovautasi statybos techniniame reglamente [14] aprašyta metodika. Medžiagų šiluminių savybių reikšmės imtos iš jų gamintojų pateiktos dokumentacijos, tokios nesant, remtasi minėto reglamento duomenimis. Senoji pastato dalis įrengta pagal 1993 m., vakarinis priestatas – pagal 2007 m., rytinis – pagal 2017 m. statybos reikalavimus. Atkreiptinas dėmesys, kad šilumos izoliavimo reikalavimai su laiku griežtėjo: 1993 m. pakankama sienos šiluminė varža buvo $2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, 2007 m. – $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, o 2017 m. –

8 m²·K/W. Po rekonstrukcijos senoji pastato dalis buvo papildomai apšiltinta akmenų vata, įrengiant vėdinamą fasadą su CEDRAL fibrocementinių dailylentčių apdaila (2 pav.).



2 pav. Analizuojamos konstrukcijos:

a) vakarinio priestato siena, b) senosios pastato dalies siena, c) rytinio priestato siena

Visų trijų nagrinėjamų konstrukcijų bendras bruožas – vėdinamas fasadas. Tai lemia, kad skaičiuojant (2 lentelė) nevertinamas išorinis sluoksnis, einantis po vėdinamo oro tarpo, o vėjo izoliacijos paviršiaus varža vertinama kaip vidinio paviršiaus, nes jo tiesiogiai neveikia tokie išorės reiškiniai, kaip saulė, lietus, vėjas ir pan.

Medinio karkaso vakarinio priestato sienoje reikia įvertinti medienos ir akmenų vatos skirtingas šilumos laidumo charakteristikas. Mineralinės vatos sluoksnio šiluminė varža:

$$R_v = \frac{d_3}{\lambda_{3,ds}} = \frac{0,2}{0,038} = 5,263 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}};$$

čia: d_3 – sluoksnio storis, m; $\lambda_{3,ds}$ – akmenų vatos šilumos laidumo koeficientas, įvertinus pataisą dėl papildomo medžiagos įdrėkimo konstrukcijoje, W/(m·K) [14].

Medienos tašų šiluminė varža yra lygi:

$$R_m = \frac{d_3}{\lambda_{m,ds}} = \frac{0,2}{0,18} = 1,111 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}.$$

čia: $\lambda_{m,ds}$ – projektinė pušinio tašo šilumos laidumo koeficiento vertė, W/(m·K) [14].

Bendra trečio sluoksnio šiluminė varža:

$$R_3 = \frac{A_v + A_m}{\frac{A_v}{R_v} + \frac{A_m}{R_m}} = \frac{0,55 + 0,05}{\frac{0,55}{5,263} + \frac{0,05}{1,111}} = 4,013 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}};$$

čia: A_v – akmenų vatos užimamas plotis, m; A_m – medienos statinio užimamas plotis, m; R_v – akmenų vatos šiluminė varža, m²·K/W; R_m – medienos šiluminė varža, m²·K/W.

2 lentelė. Šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimas

Eil. Nr.	Paviršius / sluoksnis	Žymėjimas	Šilumos laidumas λ , W/(m·K)	Storis d , m	Šiluminė varža R , m ² ·K/W
Vakarinio priestato siena					
	Vidinis paviršius	R_{si}	–	–	0,13
	Gipso kartono plokštė	R_1	0,25	0,0125	0,05
	Garų izoliacija	R_2	–	–	0,04
	Akmens vata PAROC eXtra ir kar-kasas	R_3	–	0,2	4,013
	Akmens vata PAROC Cortex	R_4	0,033	0,03	0,91
	Išorinis paviršius	R_{se}	–	–	0,13
Iš viso:				$R_{t,1}$	5,273
Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)			$U_{w,1} = 1/R_{t,1} = 0,19$		
Senosios pastato dalies siena					
	Vidinis paviršius	R_{si}	–	–	0,13
	Gipso kartono plokštė	R_1	0,25	0,0125	0,05
	Nevėdinamas oro tarpas	R_2	–	0,025	0,18
	Gelžbetonio plokštė	R_3	2,5	0,1	0,04
	Stiklo vata	R_4	0,039	0,12	3,077
	Keraminiai blokeliai	R_5	0,19	0,08	0,421
	Akmens vata PAROC eXtra ir kar-kasas	R_6	–	0,15	3,01
	Difuzinė plėvelė TYVEK SOLID 82	R_7	–	–	0,02
	Išorinis paviršius	R_{se}	–	–	0,13
Iš viso:				$R_{t,2}$	7,058
Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)			$U_{w,2} = 1/R_{t,2} = 0,14$		
Rytinio priestato siena					
	Vidinis paviršius	R_{si}	–	–	0,13
	Gipso tinkas	R_1	0,65	0,01	0,015
	Fibo blokeliai	R_2	0,26	0,2	0,769
	Akmens vata Knauf Naturboard 037	R_3	0,036	0,2	5,556
	Akmens vata Knauf Naturboard WB KD	R_4	0,031	0,03	0,968
	Išorinis paviršius	R_{se}	–	–	0,13
Iš viso:				$R_{t,3}$	7,568
Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m ² ·K)			$U_{w,3} = 1/R_{t,3} = 0,13$		

Apibendrinus skaičiavimų rezultatus, nustatyta, kad vakarinio priestato siena tenkina tik C energinės klasės reikalavimus [14]; senosios pastato dalies šiltinimas pagerino atitvaros šilumos perdavimą iki A klasės; rytinio priestato sienos charakteristika šiuo momentu atitinka A+ energinės klasės rodiklį:

$$U_{w,1} = 0,19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} < U_{w(C)} = 0,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}};$$

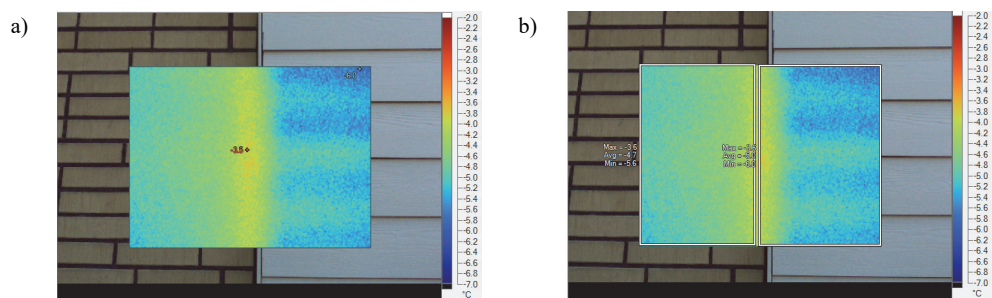
$$U_{w,2} = 0,14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} < U_{w(A)} = 0,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}};$$

$$U_{w,3} = 0,13 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} = U_{w(A+)} = 0,13 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

Lakančiųjų konstrukcijų sandūrų termografija ir analizė

Termografinį tyrimą rekomenduojama atlikti ilgesnį laiką nusistovėjus temperatūrai [6], esant nedideliam vėjotumui ir nesant tiesioginių saulės spindulių [8]. Termografijai naudotas *FLUKE T110* termovizorius, o vaizdai nagrinėti *SmartView 3.1.82.0* programa. Plane konstrukcijos orientuotos į pietų pusę, tad, fotografuojant rytą, nebuvo apšviestos saulės. Lauko temperatūra matavimo metu buvo $-7,5^{\circ}\text{C}$, pastato viduje skirtinga: $+20^{\circ}\text{C}$ – vakarinio, $+21^{\circ}\text{C}$ – rytinio priestato.

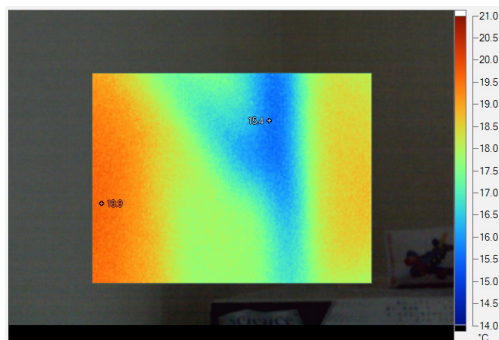
Vakarinio priestato ir senosios pastato dalies sandūros (3 pav., a) šiluminio tiltelio vietoje aukščiausia temperatūra yra $-3,5^{\circ}\text{C}$, o vėšiausioje termografinio vaizdo vietoje -6°C . Vaizde aiškiai išsiskiria fibrocementinių dailylenčių persidengimo linijos, kurios išyla nuo sąlyčio su šiluminiu tilteliu. Apdailos mūro išilimas tolygesnis. Lyginant tiriamų paviršių vidutinę temperatūrą (3 pav., b), ji skiriasi $0,3^{\circ}\text{C}$. Geresnes renovuotos senosios pastato dalies sienos šilumos izoliavimo savybes rodė ir teoriniai skaičiavimai.



3 pav. Vakarinio priestato ir senosios pastato dalies sandūros termografija iš lauko:
a) vėšiausias ir šilčiausias taškai, b) paviršių išilimas

Tos pačios sandūros vidinėje termografijoje (4 pav.) išryškėja medinio karkaso elementai, kurie, kaip šiluminis tiltelis, lemia didesnius šilumos nuostolius. Šilčiausias termografinio vaizdo taškas yra $+19,9^{\circ}\text{C}$, vėšiausias – net $+15,4^{\circ}\text{C}$. Esant patalpos temperatūrai

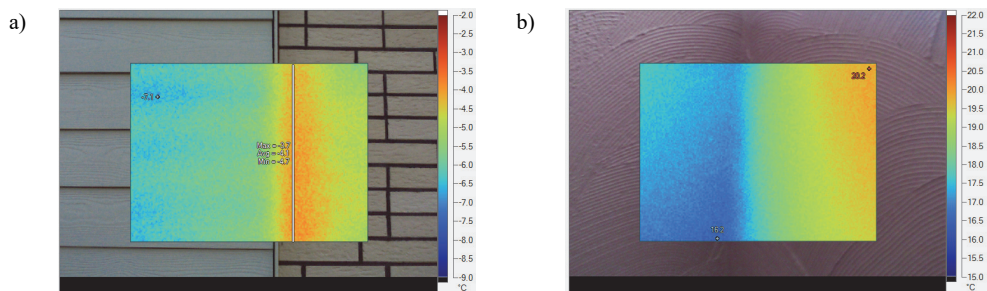
+20°C ir santykiniam drėgmeniui pakilus iki 70 proc., šis paviršius gali pradėti rasoti, nes būtų pasiektas rasos taškas.



4 pav. Vakarinio priestato ir senosios pastato dalies sandūros termografija iš vidaus

Remiantis teoriniais skaičiavimais ir termografinė analize, vakarinę priestatą rekomenduotina papildomai šiltinti iš vidaus. Stengiantis išvengti šiluminių tiltelių, patartina horizontaliai montuoti nerūdijančio plieno karkaso elementus, įrengti 100 mm akmens vatos sluoksnį, garo izoliaciją, 30 mm garo izoliacijos apsauginį sluoksnį ir vidaus apdailą.

Rytinio priestato ir senosios pastato dalies sandūros (5 pav., a) šiluminio tiltelio vidutinė temperatūra yra -4,1°C, kai vėsiausias termografinio vaizdo taškas yra -7,1°C. Lyginant su pirmąja sandūra, šilumos nuotėkis yra mažesnis, nes ir termoskalė 5 paveiksle yra dviem laipsniai platesnė, negu 3 paveiksle.



5 pav. Rytinio priestato ir senosios pastato dalies sandūros termografija: a) iš lauko; b) iš vidaus

Vidinė rytinio priestato ir senosios pastato dalies sandūros termografija (5 pav., b) nuo analogiško pirmosios sandūros vaizdo skiriasi aukštesniu temperatūriniu diapazonu. Vidinės pertvaros temperatūra artima patalpos temperatūrai ir šilčiausioje vietoje siekia +20,2°C. Išorinės sienos paviršius vėsus, o vėsiausias taškas prie pat sandūros yra +16,2°C. Vis tik matomas šiluminis tiltelis neturėtų rasoti, nes rasos taškas prie šio paviršiaus būtų pasiektas tik santykiniam drėgmeniui pakilus iki 80 proc.

Esant galimybei, rekomenduojama fasadų sandūras papildomai apšiltinti poliuretano putomis ir užsandarinti hidroizoliacine mastika, kad putų nepasiektų saulės spinduliai.

Išvados

1. Pastato išorinio apvalkalo konstrukcijoms yra keliami ne tik stiprio ir stabilumo, bet ir mikroklimato užtikrinimo kuo mažesnėmis išlaidomis reikalavimai. Termografinis metodas pripažįstamas kaip efektyvus būdas galimiems šilumos nuostoliams per atitvaras ir jų sandūras aptikti.
2. Tirtų konstrukcijų analitiniai skaičiavimai parodė skirtingas jų izoliavimo savybes: 2007 m. statybos vakarinio priestato siena tenkina C, 2017 m. statybos rytinio priestato – A+, senosios pastato dalies renovuota siena – A energinės klasės reikalavimus.
3. Termografinis tyrimas parodė mažesnę fibrocementinių dailylenčių fasado įšilimą, lyginant su mūriniais fasadais. Remiantis teoriniais skaičiavimais ir termografinė analize, vakarinį priestatą rekomenduotina papildomai šiltinti iš vidaus. Esant galimybei, siūloma abi fasadų sandūras papildomai apšiltinti poliuretano putomis ir užsandarinti hidroizoliacine mastika, kad būtų nepasiektų saulės spinduliai.

Literatūra

1. Baldinelli G. et al., 2018, A model for the improvement of thermal bridges quantitative assessment by infrared thermography. *Applied Energy*. Vol. 211, P. 854–864. DOI:10.1016/J.APENERGY.2017.11.091
2. Bauer E., Milhomem P. M. & Aidar L. A. G., 2018, Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. Vol. 8 (3), P. 517–528. DOI: 10.1007/s13349-018-0289-0
3. Garrido I. et al., 2018, Thermal-based analysis for the automatic detection and characterization of thermal bridges in buildings. *Energy and Buildings*. Vol. 158, P. 1358–1367. DOI:10.1016/J.ENBUILD.2017.11.031
4. Glavaš H. et al., 2019, Locating Hidden Elements in Walls of Cultural Heritage Buildings by Using Infrared Thermography. *Buildings*. Vol. 9(2):32. DOI: 10.3390/buildings9020032
5. *HN 69:2003 Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametru norminės vertės ir matavimo reikalavimai*. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880> [Žiūrėta 2021-05-07].
6. *ISO 10880:2017 null Non-destructive testing – Infrared thermographic testing – General principles ISO 10880:2017*. Lietuvos standartizacijos departamentas.
7. Kirimtat A., Krejcar O., 2018, A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. *Energy and Buildings*, Vol. 176, P. 390–406. DOI:10.1016/j.enbuild.2018.07.052
8. *LST EN 13187:2000 Šiluminės pastatų charakteristikos. Pastatų atitvarų šiluminio nevienalytiškumo aptikimas. Infraraudonosios spinduliuotės metodas (ISO 6781:1983 modifikuotas) / Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method (ISO 6781:1983 modified) EN 13187:1998*. Lietuvos standartizacijos departamentas.
9. *LST EN 16714-1:2016 Neardomieji bandymai. Termografinis tyrimas. 1 dalis. Bendrieji principai / Non-destructive testing – Thermographic testing – Part 1: General principles EN 16714-1:2016*. Lietuvos standartizacijos departamentas.
10. *LST EN 16714-3:2016 Neardomieji bandymai. Termografinis tyrimas. 3 dalis. Terminai ir apibrėžtys / Non-destructive testing – Thermographic testing – Part 3: Terms and definitions EN 16714-3:2016*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

11. Nardi I. et al., 2018, 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*. Vol. 146. P. 190–205. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.09.050
12. Sfarra S. et al., 2019, Improving the detection of thermal bridges in buildings via on-site infrared thermography: The potentialities of innovative mathematical tools. *Energy & Buildings*. Vol. 182. P. 159–171. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.017
13. STR 2.01.01(1):2005. *Esminis statinio reikalavimas. Mechaninis atsparumas ir pastovumas*. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.262694?jfwid=rivwzvvpvg> [Žiūrėta 2021-05-07].
14. STR 2.01.02:2016. *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas*. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr> [Žiūrėta 2021-03-14].
15. TejedorB. et al., 2017, Quantitative internal infrared thermography for determining in-situ thermal behaviour of façades. *Energy and Buildings*. Vol. 151. P. 187–197. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.06.040
16. Theodosiou T., Tsikaloudaki K., Bikas D., 2017, Analysis of the Thermal Bridging Effect on Ventilated Facades. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 38. P. 397–404. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.121