
Šiluminės energijos nuostolių įvertinimas ir defektų nustatymas infraraudonųjų spindulių termografija

**Rimantas Deksnys,
Žydrūnas Čeponis,
Alfonsas Morkvėnas**

*Kauno technologijos universitetas,
Elektros sistemų katedra,
Studentų g. 48, LT-3031 Kaunas*

Didėjančios šiluminės energijos kainos skatina ieškoti efektyvių šilumos nuostolių nustatymo ir mažinimo priemonių. Vienas perspektyvių šilumos nuostolių nustatymo būdų yra infraraudonųjų spindulių matavimas. Straipsnyje nagrinėjamos termografinio pastatų šilumos nuostolių tyrimo galimybės panaudojant termovizorių. Aprašyti termografinio tyrimo tikslumą sąlygojantys veiksniai, panaudojimo apimtis ir galimybės, pastatų atitvarų temperatūros ir šiluminės varžos nustatymo metodika. Ištirta ir apibendrinta įvairių konstrukcijų pastatų šiluminės izoliacijos lygis bei pagrindiniai termografiniu būdu nustatomi defektai. Pateiktos rekomendacijos, kaip termografiniu tyrimu aptikti šildymo sezonu pastatuose susidarančius šalčio tiltelius ir šiluminės izoliacijos gebos sumažėjimą.

Raktažodžiai: temperatūra, šiluminė izoliacija, šiluminė varža, termografija, defektavimas

1. ĮVADAS

Energijos vartotojų interesai, siekiant gerinti gyvenamųjų būstų techninę būklę, sumažinti pastatų šildymo sąnaudas ir racionaliai investuoti pastatų šildymui verčia ieškoti efektyvių šilumos energijos nuostolių ir izoliacijos būklės įvertinimo būdų. Vienas tokių būdų yra termografinis infraraudonųjų spindulių matavimas. Jis gali būti panaudotas pastatų šiluminės izoliacijos būklės auditui.

Pagal TSRS GOST'ą statyti namai suvartoja dvigubai daugiau energijos, palyginti su tokiais pat pastatais Vakarų Europos šalyse. Tiriant būsto šilumos nuostolius [1] buvo nustatyta, kad pro sienas prarandama 51%, langus – 26%, lubas – 13% ir grindis – 10% šilumos. Tai rodo, kad tokiuose namuose yra didelės energijos taupymo galimybės. Todėl reikia rekonstruoti pastatų šildymo ir karšto vandens tiekimo sistemas, šiltinti sienas, rūsijų bei palėpių perdangas, sandarinti langus, įrengti energijos apskaitos ir reguliavimo prietaisus. Tai didelis darbas, reikalaujantis nemažai investicijų. Todėl, prieš atnaujinant pastatą, reikėtų atlikti energetinį auditą ir ekonomiškai įvertinti rekonstrukcijos strategiją.

Dėl išildytų konstrukcijos elementų skirtingų šiluminių varžų jų paviršiuose netolygiai pasiskirsto temperatūra. Pasitelkus pastatų termografiją, galima nustatyti temperatūros pasiskirstymą konstrukcijos elemente ir gauti šilumos srauto vaizdą. Paviršiaus temperatūros pasiskirstymą galima panaudoti kon-

strukcijos termoizoliacijos savybių pokyčiams įvertinti ir oro srautams aptikti. Dėl nesandarumų 100 m² namo viduje oras gali kisti nuo 0,4 iki 2 kartų/val. Todėl skysto kuro sąnaudos gali keistis nuo 300 iki 1500 l/metus [2].

Šio darbo tikslas – išanalizuoti ir nustatyti infraraudonųjų spindulių panaudojimo pastatų šiluminės izoliacijos efektyvumui ir rekonstrukcijos investicijų poreikiui įvertinti galimybes.

Atlikus pastato termografinį tyrimą iš vidaus ir išorės, infraraudonųjų spindulių nuotraukose galima aptikti šiluminės izoliacijos defektus, neprojektinius oro srautus, apskaičiuoti faktinę sienos izoliacijos varžą ir šilumos nuostolius ekstremaliomis eksploatacijos sąlygomis. Remiantis tyrimais, galima geriau suprojektuoti pastato apšiltinimą, kontroliuoti apšiltinimo darbų kokybę, sumažinti šildymo sistemos nuostolius ir pan.

2. PANAUDOJIMO SRITYS

Dėl infraraudonųjų spindulių matavimo specifikos ir patogumo termografinė diagnostika plačiai taikoma elektros ir šilumos energetikoje, naftos chemijos pramonėje, statybose, metalurgijoje, medicinoje ir pan.

Pasaulinėje praktikoje termografija statybos pramonėje ir šilumos energetikoje pradėta taikyti 1960 metais [4]. Šios srities pradininkai – Švedijos firma „AGEMA Infrared Systems“. Energetinio audito metu pastatas pirmiausia apžiūrimas. Tačiau plika aki-

mi neįmanoma pamatyti šilumos, išeinančios per mažesnius ar didesnius plyšius, nepakankamą šilumos izoliaciją. Energetikos auditorių darbą palengvina modernūs taškiniai infraraudonųjų spindulių matavimo prietaisai ir ypač termovizoriai. Pagrindinis infraraudonųjų spindulių termovizorių ir termometrų (pirometrų) skirtumas yra unikali termovizoriaus galimybė fiksuoti temperatūrą iki 10^2 taškų televizijos dažnio diapazone. Šiuolaikinių termovizorių standartinės charakteristikos: formatas – 320X240 eilučių esant 50–60 Hz kadrų dažniui, jautris – $0,1^\circ\text{C}$, matavimo temperatūros diapazonas – nuo -20 iki $+2000^\circ\text{C}$, skaitmeninė atminties korta, talpinanti 200–1000 termogramų.

Termografiniu tyrimu galima pamatyti visus pastatų šiluminės izoliacijos trūkumus ir įvertinti ugniai atsparių, šilumą izoliuojančių medžiagų efektyvumą ir susidėvėjimą. Jis taikomas garo ir karšto vandens tiekimo sistemose nustatant pačių vamzdinių ir jų izoliacijos pažeidimo vietas, elektros tiekimo sistemų įrenginiuose nustatant padidėjusios temperatūros taškus orinėse, elektros energijos tiekimo linijose, galios ir matavimo transformatorių, komutacijos aparatų, saugiklių, mechaninių įrengimų pavarų, velenų temperatūros padidėjimo vietas ir kt.

Termografija statybose gali būti naudojama bendram šiluminio režimo ir kiekybiniam atskirų zonų šilumos nuostolių įvertinimui, statybos defektų aptikimui ir pastatų konstrukcijų šiluminės varžos įvertinimui. Jau dabar termografinė diagnostika efektingai pritaikoma pastato pridavimo ir priėmimo kontrolės darbuose, remonto darbų apimčiai nustatyti, savininkų nusiskundimams tirti, pastato energetiniam auditui atlikti, naujų statybinių medžiagų ir konstrukcijų efektyvumui įvertinti bei naujiems architektūriniam sprendimams optimizuoti.

3. INFRARAUDONŲJŲ SPINDULIŲ MATAVIMĄ SĄLYGOJANČIŲ VEIKSNIŲ ĮVERTINIMAS

Termografinio tyrimo esmę sudaro tai, jog visi kūnai, kurių temperatūra yra aukštesnė už absoliutų nulį, išspinduliuoja elektromagnetinę energiją, tarp jų ir įvairaus ilgio infraraudonųjų spindulių bangas. Juodo kūno išspinduliuojamos energijos temperatūrinę priklausomybę nustato Planko dėsnis [3]:

$$W_{\lambda b} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{hc/K\lambda\vartheta} - 1)}; \quad (1)$$

čia $\pi = 3,14$; h – Planko konstanta; c – šviesos greitis; K – Bolcmano konstanta; λ – numatytas bangos ilgis; ϑ – juodo kūno absoliuti temperatūra.

Realaus kūno išspinduliuojama energija W_E priklauso nuo kūno absoliučios temperatūros, medžiagos ir jo paviršiaus lygumo ir yra lygi:

$$W_E = f(\vartheta, \varepsilon); \quad (2)$$

čia ε – spinduliavimo koeficientas.

Taigi termografinis tyrimo būdas yra pagrįstas infraraudonųjų bangų ilgio ir realaus kūno spinduliavimo gebos įvertinimu. Termografinį tyrimą galima atlikti taškiniais infraraudonųjų spindulių termometrais arba termovizoriumi. Šie prietaisai priklausomai nuo infraraudonųjų spindulių bangų ilgio ir intensyvumo skleidžia atitinkamus elektrinius signalus, kuriuos sulygina su turimu temperatūros etalonu ir apskaičiuoja matuojamo paviršiaus temperatūrą. Taip galima atlikti temperatūros matavimus ir įvertinti temperatūrų pasiskirstymą objekto paviršiuje prietaiso techninėse charakteristikose numatytu tikslumu. Termovizoriai yra pranašesni už kontaktinius ir taškinis infraraudonųjų spindulių termometrus. Termovizoriumi infraraudonuosius spindulius galima matuoti per atstumą nuo objekto, o tai leidžia registruoti įvairaus temperatūrų diapazono, dydžio ir sudėtingumo objektus. Jis turi displesį, rodantį matuojamo paviršiaus bendrą temperatūrų spalvinį vaizdą, programinė įranga gali nustatyti atskirų zonų bei taškų absoliučias temperatūras. Tai labai svarbu įvertinant didelių paviršių šilumos nuostolius.

Tačiau atliekant temperatūros matavimus termovizoriumi reikia įvertinti tai, jog realūs kūnai turi savybę energiją spinduliuoti (spinduliavimo koeficientas ε), absorbuoti (absorbcijos koeficientas α), atspindėti (atspindžio koeficientas ρ) ir praleisti (pralaidumo koeficientas τ) [3]. Todėl atliekant termografinį tyrimą bendra kūno spinduliuojama energija gali būti išreikšta formule:

$$W_{\Sigma} = W_E + W_R + W_T; \quad (3)$$

čia W_E , W_R , W_T – kūno išspinduliuojamos, atspindėtos ir pro kūną praleidžiamos energijos dedamosios (būdinga skaidriems kūnams, pvz., stiklui).

Dėl tiriamų kūnų medžiagos neskaidrumo nebūdinga W_T dedamoji, todėl (3) formulė supaprastėja:

$$W_{\Sigma} = W_R + W_E. \quad (4)$$

Atliekant termografinį tyrimą, gali atsirasti išmatuotos kūno temperatūros paklaidos dėl netikslaus kūnų energijos spinduliavimo, skirtingo paviršiaus atspindžio ir atstumo iki objekto įvertinimo. Tyrimo tikslumui turi įtakos ir aplinkos veiksniai – temperatūra, vėjo greitis, saulės atspindžiai, drėgmė, lietus, sniegas ir pan. Šiuos veiksnis turi nustatyti operatorius ir įvesti į prietaiso programinę įrangą temperatūroms apskaičiuoti.

Didžiausios paklaidos gali atsirasti dėl kūno spinduliavimo gebos ir atspindžio koeficientų. Atstumas, drėgmė ir aplinkos temperatūra matavimo tikslumui

įtakos turi labai mažai (dešimtosios laipsnio dalys). Kūno spinduliavimo koeficientas ϵ gali būti nuo 0 iki 1, todėl jį būtina žinoti ir įvertinti. Kuo šis koeficientas yra artimesnis 1, tuo bus tiksliau išmatuota kūno temperatūra termovizoriumi. Kuo ϵ yra mažesnis, tuo didesnę įtaką turės kūno atspindėta energija, kuri nagrinėjama atveju yra nepageidautina. Temperatūrų matavimui optimaliausia kūno paviršiaus spalva yra juoda ir matinė. „Juodas kūnas“ pasižymi tuo, kad gali pilnai energiją apsorbuoti ir maksimalų srautą išspinduliuoti ($\epsilon = 1$). Jam nebūdingas energijos atspindys. Koeficientas ϵ įvairiems tiriamo objekto paviršiams yra parenkamas iš statistinių lentelių pagal medžiagą ir jos paviršiaus lygumo laipsnį [3, 9]. Pastatų sienoms $\epsilon = 0,95$. Dar tiksliau ϵ nustatomas termovizoriumi jį kalibruojant. Tam tiriamo kūno paviršius lyginamas su tos pačios temperatūros „juodu kūnu“ kaip etalonu. Termovizoriuje, keičiant nustatikliu ϵ , sulyginama tiriamo kūno temperatūra su „juodo kūno“ ($\epsilon = 1$). Pasiekę šią lygybę, gausime tikrąjį matuojamo kūno ϵ . Spinduliavimo koeficiento ϵ kitimo įtaka realiai objekto temperatūrai gali būti įvertinta išraiška:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_{i\dot{m}}}{\sqrt[4]{\epsilon}}; \quad (5)$$

čia $\vartheta_{i\dot{m}}$ – termovizoriumi išmatuota objekto temperatūra °C.

Praktiniam naudojimui (5) išraišką galima supaprastinti:

$$\vartheta = k_{\epsilon} \cdot \vartheta_{i\dot{m}}; \quad (6)$$

čia k_{ϵ} – kūno spinduliavimo įvertinimo koeficientas, kurio reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Pataisos koeficiento k_{ϵ} reikšmės										
ϵ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
k_{ϵ}	1,0	1,02	1,05	1,1	1,15	1,2	1,27	1,35	1,5	1,79

Saulės spinduliai ant objekto paviršiaus sudaro atspindžius, vadinamąsias karštas zonas, kurios temperatūros matavimuose yra nepageidautinos. Kad įsitikintume, ar karšta zona – ne saulės spindulių atspindys, būtina zonos temperatūros matavimus pakartoti skirtingu kampu. Taip galima išvengti atspindžio paklaidų. Esant tam pačiam šilumos srautui pro tiriamą sienos konstrukciją, atspindžio įtaką galima eliminuoti įvertinus saulės apšviesto ir šešėlyje esančių paviršių temperatūrų skirtumą. Ta pati taisyklė galioja ir aplink objektą esančių karštų kūnų atspindžių eliminavimui. Be to, karšto sezono metu termogramų temperatūrų kontrastiškumas sumažėja. Norint išvengti atspindžių paklaidų, termog-

rafinį tyrimą geriausia atlikti apsiniaukusią dieną arba naktį.

Mažiausi rūko vandens lašai, vandens garai, lietūs ir sniegas sukelia infraraudonųjų spindulių išsi-barstymą ir sumažina temperatūros matavimo jautrumą. Be to, jie atšaldo tiriamąjį objektą, trukdo matavimams ir sumažina termogramų kontrastiškumą. Silpnai lyjant arba sausai sningant galima pasiekti patenkinamų temperatūros matavimo rezultatų.

Matavimų tikslumui didelę įtaką turi vėjo greitis, kuris sumažina realią kūno paviršiaus temperatūrą. Priverstinis objekto aušinimas prasideda vėjo greičiui pasiekus 0,2 m/s. Vėjo greičio nuo 1 iki 7 m/s ribose galioja išraiška:

$$\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{0,45}; \quad (7)$$

čia ϑ_1 – objekto temperatūra esant vėjo greičiui v_1 ; ϑ_2 – objekto temperatūra esant vėjo greičiui v_2 .

Matavimų rezultatai gali būti palyginti tik esant vienodoms matavimų sąlygoms. Todėl tikslinga išmatuotą temperatūrą perskaičiuoti tam pačiam vėjo greičiui. Skaičiavimams baziniu vėjo greičiu siūloma priimti 1 m/s. Jeigu ϑ_1 yra objekto temperatūra esant baziniam greičiui $v_1 = 1$ m/s, tuomet temperatūros matavimams vėjo dedamoji apskaičiuojama taip:

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 \cdot (v_2)^{0,45} = \vartheta_{i\dot{m}} \cdot (v_{i\dot{m}})^{0,45}; \quad (8)$$

čia: $v_{i\dot{m}}$ – išmatuotas vėjo greitis m/s matavimo metu.

Praktiniuose temperatūros matavimuose vėjo greičio įtaką patogiau įvertinti pataisos koeficientu k_v (2 lentelė):

$$\vartheta = k_v \cdot \vartheta_{i\dot{m}}. \quad (9)$$

Tiriamo kūno temperatūra, įvertinus ϵ ir vėjo paklaidas matavimams, gali būti apskaičiuota pagal formulę:

$$\vartheta = k_{\epsilon} \cdot k_v \cdot \vartheta_{i\dot{m}} = \frac{v_{i\dot{m}}^{0,45}}{\sqrt[4]{\epsilon}} \cdot \vartheta_{i\dot{m}}. \quad (10)$$

2 lentelė. Vėjo įtakos pataisos koeficientas							
v m/s	1	2	3	4	5	6	7
k_v	1	1,36	1,64	1,86	2,06	2,23	2,4

Siekiant sumažinti išorinių veiksnių įtaką matavimų tikslumui, reikėtų vengti tiesioginių saulės spindulių ant matuojamo paviršiaus, matavimus atlikti debesuotu oru ir prietemoje, matuojamas paviršius neturi būti paveiktas kritulių, vėjo greitis neturėtų būti didesnis nei 5 m/s. Taigi, matavimų tikslumą lemia ir operatoriaus kvalifikacija bei termografinių matavimų patirtis įvairiomis meteorologinėmis sąlygomis.

4. NAMŲ KONSTRUKCIJŲ DEFEKTŲ NUSTATYMAS IR ĮVERTINIMAS

Pastatams termografiškai ištirti bei šiluminės izoliacijos būklei nustatyti taikomi kokybinis ir kiekybinis metodai. Kokybinis metodas skirtas šiluminės termoizoliacijos gebos svyravimų priežastims ir statybos defektams įvertinti. Kiekybinis metodas taikomas pastato šiluminiam auditui. Jis skirtas sienų šiluminės izoliacijos varžai ir prarandamam šilumos kiekiui įvertinti.

Kokybinis metodas

Paviršiaus temperatūrai nustatyti galima naudoti termografiją, kuri matuoja temperatūros pasiskirstymą konstrukcijos elemente ar jo dalyje ir pavaizduoja infraraudonųjų spindulių kameros pagalba. Infraraudonųjų spindulių kamera paverčia šilumos spinduliavimą, kintantį priklausomai nuo spinduliavimo pasiskirstymo paviršiuje, į „spalvinį šilumos vaizdą“. Šis kokybinis defektų įvertinimo metodas daugiausia taikomas nustatyti, ar yra ryškių šiluminės varžos ir oro srautų svyravimų [5, 8]. Konstrukcijos elementų kokybinio termografavimo funkcijos:

- infraraudonųjų spindulių kamera nustatyti paviršiaus temperatūros pasiskirstymą konstrukcijos elemente;
- nustatyti nenormalų paviršiaus temperatūros pasiskirstymą ir jo priežastį – sumažėjusią termoizoliacijos gebą ir/arba oro nuotėkį;
- įvertinti nuokrypių pobūdį ir apimtį.

Pastatų konstrukcijos elementų termografija atliekama rudens–žiemos–pavasario laikotarpiu, kada naudojama šildymo sistema. Tyrimo pasirinkimo laiką lemia daugelis sąlygų (3 skyrius). Paprastai termografija atliekama vidinei ir išoriniai konstrukcijos elemento daliai. Temperatūros skirtumas ir slėgio kitimas konstrukcijos elemente turi būti kuo pastovesni. Siekiant išvengti išorinių klimato veiksnių trukdymo, nederėtų termografijos atlikti, kai į konstrukcijos elementą krintant saulės šviesa, yra ryškūs temperatūros svyravimai arba vėjo kaita. Be to, kad šiluminiame vaizde būtų pakankamas kontrastas, turi būti gana didelis temperatūros skirtumas tarp pastato vidaus ir išorės [3, 8], t. y. konstrukcijos elemen-

tui šis skirtumas turi būti bent 10°C. Didesniam termogramų kontrastui pasiekti pageidautina, kad oro temperatūra lauke būtų neigiama. Tuo pačiu metu oro temperatūros skirtumas neturi nukrypti daugiau kaip $\pm 30\%$ temperatūros skirtumo termografijos pradžioje. Termografijos metu oro temperatūra viduje neturi kisti daugiau nei $\pm 2^\circ\text{C}$. Bent pusę paros prieš termografavimą ir jo metu ant konstrukcijos elemento neturi kristi saulės šviesa.

Turi būti išnagrinėti konstrukcijos elemento, kuris bus tiriamas, brėžiniai. Įvertinamas medžiagos paviršiaus spinduliavimo koeficientas ϵ . Pažymimi orientaciniai duomenys apie oro temperatūrą lauke, debesuotumą, kritulių kiekį ir galintį pasitaikyti konstrukcijos elemento išorinės pusės sudrėkimą, vėjo greitį bei duomenys apie pastato orientaciją.

Įvertinamas galinčių pasitaikyti įmontuotų šilumos šaltinių (vamzdžių, vamzdynų ir pan.) poveikis tiriamojo konstrukcijos elemento temperatūrai. Prieš pradedant termografuoti perkeliama matavimų rezultatai galintys paveikti baldai, paveikslai ir pan., kad būtų atidengti matuojamieji paviršiai. Esant reikalui, nuo sienų ir stogo nuvalomas sniegas.

Prieš termografavimą fiksuojama vidaus ir išorės temperatūros $\pm 0,5^\circ\text{C}$ tikslumu. Tuo pačiu tikslumu matuojama konstrukcijos elemento paviršiaus bazinė temperatūra, reikalinga absoliutinei temperatūros skirtumų vertei šiluminiame vaizde nustatyti.

Termografavimas pradedamas konstrukcijos elemento paviršiaus orientaciniu tyrimu. Dominančios paviršiaus dalys nagrinėjamos nuodugniau. Fotografuojami pasirinktų objekto dalių kokybiški ir pasižymintys mažesne šiluminės izoliacijos geba ar nesandarių konstrukcijų šiluminiai vaizdai. Termogramų tiriamų zonų temperatūrų skirtumas apskaičiuojamas pagal kameros gamintojų instrukcijas. Šiuo atveju reikia atsižvelgti į kameros orientaciją paviršiaus atžvilgiu ir spinduliavimo koeficientą ϵ (plačiau 3 skyriuje). Jei paviršių sudaro keletas medžiagų, reikia įvertinti kiekvienos paviršiaus medžiagos ϵ . Esant dideliems palyginamųjų ir išmatuotų konstrukcijų izotermų šiluminės varžos skirtumams, prieš nustatant galutines išvadas, reikia įvertinti susidariusius oro srautus, šiluminio spinduliavimo sąlygas patalpose bei galintį pasitaikyti konstrukcijos elemento paviršiaus sudrėkimą. Dideles pastatų konstrukcijas pradedama tirti iš išorės, kad greičiau būtų identifikuoti konstrukcijų nesandarumai ir dalis su mažesne termoizoliacija.

Matavimais gautos termogramos lyginamos su numatomu temperatūros pasiskirstymu matuojamam paviršiui, siekiant nustatyti, ar aptiktieji temperatūrų svyravimai nenormalūs. Numatomą temperatūros pasiskirstymą sąlygoja konstrukcijos elemento sandara ir matavimo objekto aplinka matavimo metu. Nustatant numatomą temperatūros pasiskirstymą, naudo-

jamos „palyginamosios termogramos“. Kaip palyginamosios termogramos naudojamos arba „tipinės termogramos“, atliktos laboratorijoje, arba anksčiau tirtų pastatų termogramos. Jos parenkamos taip, kad konstrukcijos elementas, kuriam taikoma palyginamoji termograma, bei išorinės sąlygos būtų kuo panašesnės į tirtą konstrukcijos elementą ir išorines termografavimo sąlygas.

Nukrypimų pobūdį ir mastą galima įvertinti, palyginus gautas termogramas su konstrukcijos elementų, turinčių įvairių izoliavimo defektų ir nesandarių vietų, palyginamosiomis termogramomis (pvz., 1–5 pav.).

Jeigu aptiktam defektui tinkamų termogramų nesuskaupta, nukrypimai vertinami remiantis patirtimi. Tuomet keliami didesni reikalavimai vertinimo motyvavimui pagal termogramų spalvų intensyvumą. Atliekant analizę iš išorinės pastato pusės, bazinė temperatūra būna lauko oro temperatūra. Visos zonos, turinčios aukštesnę temperatūrą už aplinkos, yra vertinamos kaip defektinės. Defekto arba šilumos nuostolių dydis kokybiškai vertinamas pagal bazinės sienos ir defektinės zonos temperatūros vidurkių skirtumą $\Delta\vartheta$. Kuo defektinės zonos temperatūra aukštesnė už bazinę, tuo defektas, t. y. prarandami šilumos nuostoliai didesni 3 ir 4 pav. Atliekant tyrimą iš pastato vidinės pusės, įvertinimo principas tas pats, tačiau šiuo atveju defektas aptinkamas, kai sienos defektinės zonos temperatūra bus žemesnė už bazinę sienos 5 pav. Atlikus termografinio vaizdo spalvinį fokusavimą, galima tiksliai vizualiai surasti oro srauto vietą pagal žemiausią temperatūros tašką iš vidinės pastato pusės 2 ir 5 pav.

Kiekybinis metodas

Šiluminė varža – pagrindinė kiekybinė pastatų atitvarų įvertinimo charakteristika. Statybinėje praktikoje yra svarbu namui su veikiančia šildymo sistema nustatyti pasipriešinimą šilumos nuotėkiui, kad būtų galima sulygtinti faktinės šiluminės varžos atitikimą projektinei ir įvertinti. Šiluminės varžos nustatymą reglamentuoja GOST 26254–84. Matavimų pagrindu šiluminė varža gali būti apskaičiuota pagal formulę [7]:

$$R = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{1}{\alpha_l} + \frac{\vartheta_{ov} - \frac{\alpha_l}{\alpha_v} \cdot (\vartheta_{sl} - \vartheta_{ol}) - \vartheta_{sl}}{\alpha_l \cdot (\vartheta_{sl} - \vartheta_{ol})}; \quad (11)$$

čia α_v ir α_l – atitinkamai sienos vidinio ir lauko paviršių šilumos atidavimo koeficientai, ϑ_{ov} ir ϑ_{ol} – atitinkamai patalpos vidaus ir lauko oro temperatūros, ϑ_{sl} – sienos lauko paviršiaus temperatūra.

Praktiniuose skaičiavimuose atskirų zonų termoizoliacijos varžos palyginimui yra patogesnė formulė,

kurioje įvertinama sienos vidaus paviršiaus temperatūra, nes matavimo sąlygos patalpos viduje yra pastovesnės ir termoizoliacijos gebos svyravimai ryškesni [1, 10, 11]:

$$R = [(\vartheta_{ov} - \vartheta_{ol}) / (\vartheta_{ov} - \vartheta_{sv}) - 1] : \alpha_v; \quad (12)$$

čia ϑ_{sv} – sienos vidaus paviršiaus temperatūra.

Šilumos atidavimo koeficientai tiksliai apskaičiavimams matuojami eksperimentiniu būdu pagal vidutinius šilumos srautus ir temperatūras. Tai palyginus sudėtingas, reikalaujantis ilgų paruošiamųjų darbų ir praktiniuose matavimuose nenaudojamas būdas. Remiantis atliktais tyrimais, praktiniams skaičiavimams gali būti naudojami statistinis atitvarų sienų vidaus ir išorės šilumos atidavimo koeficientai $\alpha_v = 7,2$; $\alpha_l = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$ [1, 7, 10]. Temperatūros matavimo sąlygos ir ypatumai aprašyti 2 ir 3 skyriuose.

Turint atitvaros šiluminę varžą ir paviršių temperatūras, apskaičiuojami faktiniai šilumos nuostoliai per tiriamosios atitvaros menamąją dalį:

$$Q_{at} = \frac{1}{R_{at}} \cdot A_{at} \cdot (\vartheta_{sv} - \vartheta_{sl}); \quad (13)$$

čia A_{at} – tiriamos atitvaros menamas plotas m.

Kai atitvarai turi vietinius, iš bendro fono išsiskiriančius šilumos nutekėjimus, analogiškai apskaičiuojama šių zonų šiluminė varža ir šilumos nuostoliai. Turint bendrą atitvaros apžiūros temperatūrinę vaizdą apskaičiuojami visi faktiniai šilumos nuostoliai pro atitvarą:

$$Q_p = Q_{at} + Q_{viet.}; \quad (14)$$

čia $Q_{viet.}$ – šilumos nuostoliai dėl vietinių šilumos nutekėjimų W.

5. GYVENAMŪJŲ NAMŲ TERMOGRAFINIS TYRIMAS

Lietuvoje eksploatuojamų pastatų atliktų auditų patirtis leidžia daryti išvadas, kad nesandariausios pastatų vietos yra panelių, panelių ir perdangų sujungimai, prie langų ir balkonų, netolygi atitvarų izoliacijos varža, drėgmė dėl stogo nesandarumų ar garų kondensacijos. Nemažai šilumos prarandama pro durų, langų ir jų montavimo nesandarumus, ypač susidarius tiesioginiams oro srautams. Atsiradus stogo nesandarumams, susidaro kamino efektas. Visi šie nuostoliai aiškiai matyti termografinėse nuotraukose (1–5 pav.).

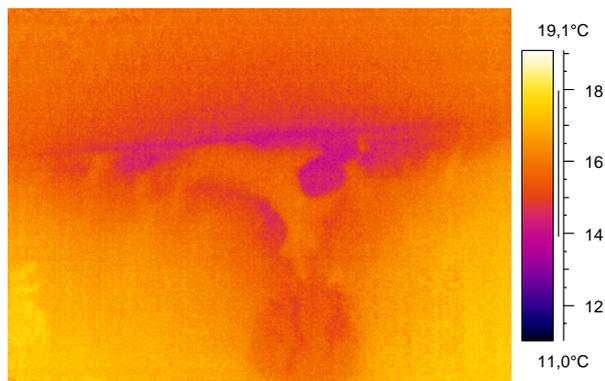
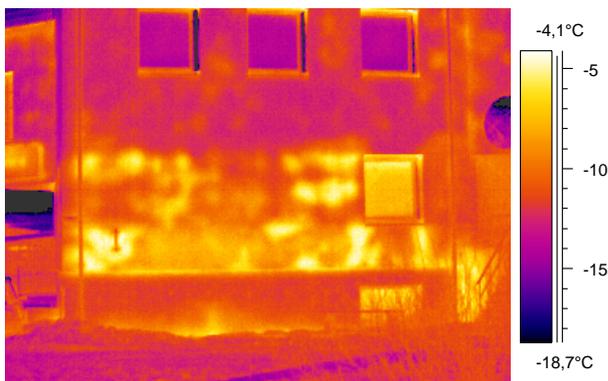
Termografinis tyrimas buvo atliktas termovizoriu **TERMOVISION 570**, kurio temperatūrų matavimo diapazonas nuo -20 iki $+1500^\circ\text{C}$, matavimo pa-

klaida $\pm 2\%$ nuo matuojamos temperatūros, bet ne daugiau kaip $\pm 2^\circ\text{C}$, skiriami geba mažiau kaip $0,15^\circ\text{C}$ ir atstumas iki objekto nuo 0,5 m iki 100 m.

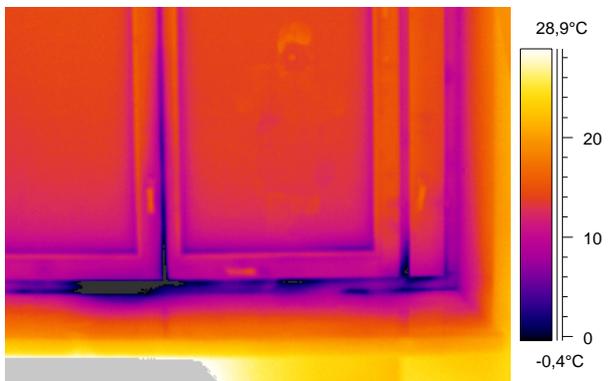
Atlikus Lietuvoje eksploatuojamų pastatų termografinį tyrimą, buvo aptikti šie tipiniai pastatų defektai [6]:

- konstrukcijų sudrėkimas iš vidinės ir lauko pusių (1 pav.);
- langų ir durų nesandarumai (2 pav.);
- langų ir durų montavimo nesandarinimai (3 pav.);
- pastatų apšiltinimo kokybės trūkumai (4 pav.);
- vietiniai šilumos nutekėjimai (5 pav.).

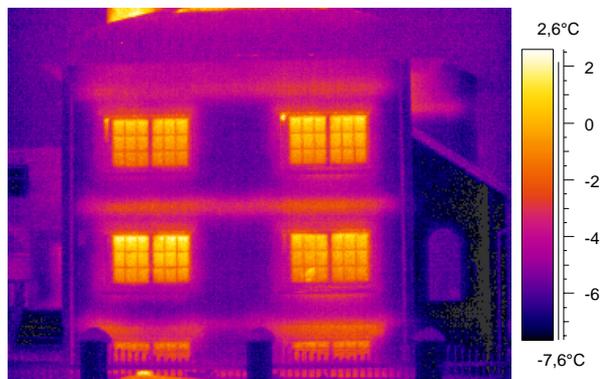
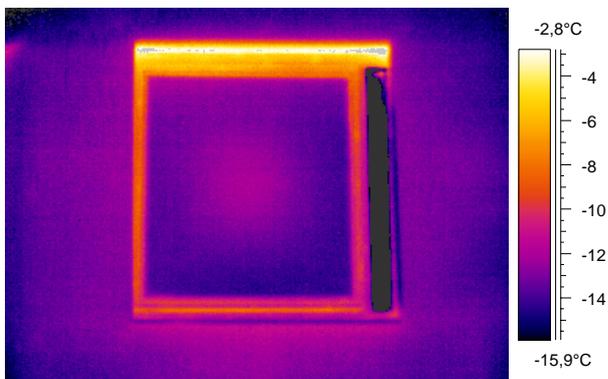
Termografiniams tyrimams panaudota anksčiau aprašyta gedimų nustatymo metodika. Nesandarumų oro srauto temperatūros amplitudė priklauso nuo slėgio skirtumo tarp vidinės patalpos ir išorės atmosferos. Daugeliu atvejų būtent oro srautai sudaro termografiniu būdu lengvai aptinkamus temperatūros signalus, kurių amplitudė ant pastato vidinių paviršių $6\text{--}12^\circ\text{C}$, išorinių – $3\text{--}6^\circ\text{C}$. Oro srautai yra būdingi langų ir durų konstrukcijoms (2 pav.), palangėms, pastatų konstrukcijų sujungimams, balkonų grindims, langų rėmų ir sienų sandarinimams (3 pav.) ir pan. Šalčio tilteliai pastato konstrukcijose susidaro pro atraminių konstrukcijų elementus dėl neapgalvotų ar-



1 pav. Pastato sienos konstrukcijos išorinės ir vidinės pusių sudrėkimas ($\Delta\vartheta = 7^\circ\text{C}$ ir $\Delta\vartheta = 4^\circ\text{C}$)

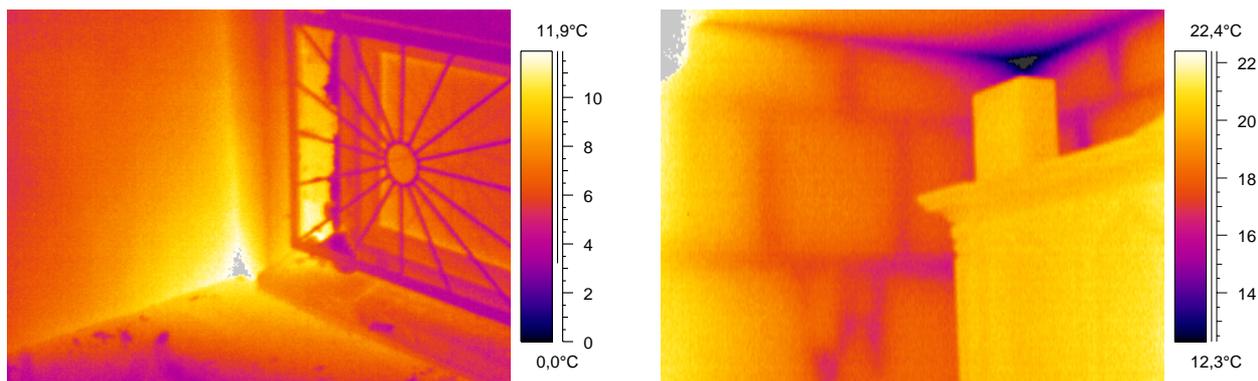


2 pav. Oro srautai susidarę dėl langų ir durų konstrukcijų nesandarumų ($\Delta\vartheta = 16^\circ\text{C}$ ir $\Delta\vartheta = 8,7^\circ\text{C}$)



3 pav. Lango sandarinimo defektas ($\Delta\vartheta = 12,6^\circ\text{C}$)

4 pav. Nekokybiška termoizoliacija ($\Delta\vartheta = 4,6^\circ\text{C}$)



5 pav. Sienose susidarę šalčio tilteliai, vaizdai iš išorinės ir vidinės pusių ($\Delta\vartheta = 9,7^{\circ}\text{C}$ ir $\Delta\vartheta = 7,2^{\circ}\text{C}$)

chitektūrinių sprendimų (4 pav.) arba statybos broko (5 pav.).

Vietiniai termoizoliacijos varžos R pokyčiai sukelia mažesnes temperatūros anomalijas: ant pastato konstrukcijos išorinio paviršiaus temperatūros signalas siekia $0,5\text{--}3^{\circ}\text{C}$. Tai gali būti dėl prasto mūro, apšiltinimo medžiagos sukritimo, konstrukcijų sudrėkimo (1 pav.) ir pan. Esant tai pačiai temperatūrai patalpos viduje, atitvarų defektai apibūdinami pagal atitvaro lauko pusės temperatūros padidėjimus. Išsamus pastato defektų termografinis tyrimas atliekamas iš vidinės pastato pusės.

Pagal anksčiau aprašytą gedimų nustatymo metodiką 1999–2001 m. buvo atlikti gyvenamųjų namų termografiniai tyrimai (1–5 pav., 3 lentelė).

1999 04 Romainių gyvenvietėje, Kalno g. 8, buvo atliktas nuo 1997 m. eksploatuojamo vienaukščio lengvų konstrukcijų, su daugiasluoksne termoizoliacija namo termografinis tyrimas. Projektinė pastato sienų termoizoliacijos varža $3,18\text{ m}^2\text{K/W}$. Tyrimo metu buvo giedra, meteorologijos centro duomenimis, 11 valandą pūtė vakarų 6 m/s vėjas. Gyvsidabrio termometru išmatuota lauko aplinkos temperatūra – $4,5^{\circ}\text{C}$, temperatūra pastato viduje $+15,5^{\circ}\text{C}$. Šiluminės izoliacijos kokybei įvertinti pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką ir termogramų spalvų intensyvumą surandami pastato konstrukcijų bei šiluminės izoliacijos defektai. Aptikta, jog namo pamatas du kartus šiltesnis už lauko sienos vidutinę temperatūrą, $\Delta\vartheta = 4^{\circ}\text{C}$. Termoizoliacijos sumažėjimo pavienės zonos pamato lygmenyje stebimos ir iš vidinės pastato pusės, $\Delta\vartheta = 4^{\circ}\text{C}$. Aptikti pavieniai oro srautai dėl lauko durų nesandarumų. Pagal 3 skyriuje aprašytą metodiką pastato šiluminės izoliacijos varžai apskaičiuoti termogramose pasirenkamas kokybiškas sienos vaizdas ir užfiksuojamas iš išorinės bei vidinės pusių. Termovizoriumi išmatuojama abiejų pusių pasirinktų zonų vidutinė temperatūra ir pagal (10) formulę įvertinama vėjo pastato vakarinei sienai ir atspindžio koeficiento įtaka. Pagal (12) formulę apskaičiuota pasirinktos kokybiškos sienos zonos vidutinė šiluminės

izoliacijos varža yra $2,08\text{ m}^2\text{K/W}$. Skirtumas nuo projektinės izoliacijos šiluminės varžos apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta R = \frac{R_{tyr.}}{R_{pr.}} \cdot 100\% ; \quad (15)$$

čia R_{pr} ir $R_{tyr.}$ – atitinkamai projektinė ir tyrimais nustatyta šiluminė izoliacijos varža $\text{m}^2\text{K/W}$.

Bendri viso pastato šilumos nuostoliai pro išorines sienas yra tolygūs. Pagal termogramų spalvinę gamą, t. y. sienų paviršiaus temperatūras sienos suskirstomos į kelias kategorijas, kurioms apskaičiuojama šiluminės izoliacijos varža. Pagal (13) ir (14) formules galima apskaičiuoti pro visas namo konstrukcijas prarandamos šilumos kiekį. Tokiu būdu būtų įmanoma atlikti pastato šilumos sąnaudų auditą. Termovizorius šiuose skaičiavimuose yra pranašesnis už taškinius ir kontaktinius termometrus, nes nufotografuotose termogramose pasitelkus programinę įrangą pagal spalvinį spektrą numatytu temperatūros žingsniu išskiriamos šiluminės izoliacijos sumažėjimo zonos ir apskaičiuojama vidutinė pasirinkto ploto temperatūra. Taškiniu matavimo būdu paviršiaus temperatūra matuojama bandymų keliu pasirinktuose taškuose ir apskaičiuojamas vidurkis. Šio metodo trūkumas – didelės laiko sąnaudos ir mažas zonų temperatūros vidurkio nustatymo tikslumas (taškiniu būdu 1 m^2 pasirenkami apie 25 temperatūros matavimo taškai, o tokio pačio ploto termogramoje temperatūra skaičiuojama iki 10^6 taškų).

1999 12 27 Kauno mieste, Gražinos g. 50–24, buvo atliktas nuo 1996 m. eksploatuojamo devynių aukštų mūrinio namo termografinis tyrimas. Projektinė pastato sienų termoizoliacijos varža $2,05\text{ m}^2\text{K/W}$. Tyrimo metu buvo giedra, 11 valandą pūtė 4 m/s rytų vėjas, aplinkos temperatūra – 6°C , temperatūra pastato viduje $+21^{\circ}\text{C}$. Didžiausi šilumos nuostoliai pamato zonoje ties boilerine. Pamato temperatūra vietomis siekia 3° šilumos, $\Delta\vartheta = 9^{\circ}\text{C}$. Blogai izoliuoti sienų ir balkonų kampų sujungimai, nemaži

3 lentelė. Pastatų termografinio tyrimo rezultatų suvestinė					
Eil. Nr.	Pastato apibūdinimas	Projektinė sienos šiluminė varža R _{pr.} m ² K/W	Tyrimais nustatyta sienos šiluminė varža R _{tyr.} m ² K/W	ΔR %	Nustatyti defektai
1.	Mūrinis gyv. namas, Vilnius, Pagirių r., Alyvų g. 9, 1990 m.	0,83	0,53	36,1	Šilumos nuostoliai pro langus, jų sąramas, sienų sujungimų kampus, Δθ iki 11,6°C. Išorėje šiltos dėmės radiatorių zonoje.
2.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Kulautuva, Maceinos g. 4, 1990 m.	3,03	2,0	34,0	Šilumos nuostoliai pamato zonoje, pro pirmo ir antro aukšto perdengimo plokštes, langus ir jų sąramas. Netolygi sienų šiluminė varža R = 0,71–2,03 m ² K/W.
3.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Kulautuva, Maceinos g. 7, 1991 m.	3,42	2,15	37,1	Didelių trūkumų nepastebėta. Temperatūra sienos paviršiuje pasiskirsčiusi vienodai. Šilumos nuostoliai pro langų sandarinimo detales. Nekokybiškai apšiltinta palėpė.
4.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Vilnius, Kryžokų g. 219, 1991 m.	2,12	1,5	29,3	Šilumos nuostoliai pro pamatą, sienų kampus (Δθ = 9–14°C), nekokybiškai sumontuotus langus ir jų nesandarumus.
5.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Alytus, Liepų g. 6, 1993 m.	2,48	2,0	24,0	Šilumos nuostoliai pro perdengimo plokštes, sienų kampus (Δθ = 4°C), langų stiklus, blogus rėmų sandarinimus, pamatą.
6.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Vilnius, Sėlių g. 6, 1995 m.	4,2	3,0	28,6	Šiaurinės ir rytinės namo sienos apatinio kampo vidutinė temperatūra 8,0°C žemesnė už vidutinę sienos temperatūrą.
7.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Vilnius, Gineitiškių gyv., Atžalyno g. 40, 1996 m.	4,25	2,75	35,3	Šilumos nuostoliai pro viršutinę stogo dalį (Δθ = 2–9°C), pamatą, sienų kampus ir pavienes sienų zonas, langų sandarinimus. 1,5 m ² sienos zona be termoizoliacijos.
8.	Lengvų konstrukcijų gyv. namas, Romainių gyv., Kalno g. 8, 1997 m.	3,18	2,08	34,6	Sumažėjusi šiluminės izoliacijos varža pamato zonoje, Δθ = 4°C. Aptikti lauko durų nesandarumai.
9.	Mūrinis 9 aukštų gyv. namas su daugiasluoksne siena, Kaunas, Gražinos g. 50, 1999 m.	2,05	1,56	23,9	Šilumos nuostoliai pro pamatą, sienų ir balkonų kampus, langų sąramas. Aptikti oro srautai pro langų konstrukcijas.
10.	Mūrinis gyv. namas su daugiasluoksne siena, Kaunas, Vytėnų gyv., Daugirdiškių g. 5, 2000 m.	4,0	2,87	28,3	Šilumos nuostoliai pro pamatą (Δθ = 3°C), betonines sijas (Δθ = 4°C), lauko sienų kampus, nekokybiškai sumontuotus langus ir duris.

šilumos nuostoliai yra per balkonų perdengimo plokštes, langų sąramas. Tyrimui iš vidaus buvo pasirinktas butas Nr. 24. Pagrindiniai trūkumai – bloga langų sandarinimo detalių būklė (2 pav.), dėl to susidaro dideli oro srautai. Lauko sienos sujungimų kampuose yra šaltų zonų (5 pav.). Tai dar kartą įrodo, kad namo sienų sujungimai yra blogai izoliuoti. Pagal matavimų duomenis apskaičiuota vidutinė sienos šiluminės izoliacijos varža 1,56 m²K/W. Šis dydis atitiko minimalius higienos reikalavimus iki energeti-

nės krizės (1,5–1,9 m K/W). Tada buvo teikiama pirmenybė ne šilumos, bet statyboms skiriamų lėšų ir darbo sąnaudų taupymui. Dabartinės Lietuvos Respublikos statybos normos RSN 143–92 reikalauja, kad projektinė daugiasluoksnės sienos varža būtų 3,3 m²K/W.

2000 02 25 Vilniaus mieste, Sėlių g. 6, buvo atliktas nuo 1995 m. eksploatuojamo mūrinio su daugiasluoksne siena gyvenamojo namo termografinis tyrimas. Projektinė pastato sienų termoizoliacijos var-

ža 4,2 m²K/W. Atliekant šį tyrimą buvo didelis debesuotumas be kritulių, 9 valandą pūtė 4 m/s vakarų vėjas, aplinkos temperatūra +3,0°C, temperatūra pastato viduje +19,0°C. Tyrimu nustatyta, jog išorinės namo sienos paviršiuje temperatūros pasiskirsčiusios tolygiai, vidutinė lauko sienos temperatūra +4,2°C. Ištyrus pastatą iš vidaus, aptikta vienas šiaurinės ir rytinės namo sienos apatinis kampas su mažesne termoizoliacijos geba. Šio kampo vidutinė temperatūra 8,0°C žemesnė už vidutinę sienos temperatūrą. Tai byloja apie blogą sienų sujungimo šiluminę izoliavimą. Remiantis matavimų duomenimis, apskaičiuota vidutinė sienų šiluminės izoliacijos varža 3,0 m²K/W. Apibendrinant šį tyrimą galima teigti, kad namo šiluminė izoliacija yra kokybiška ir atitinka pastatams keliamus techninius reikalavimus.

Tyrimų rezultatų analizė rodo, kad pastatuose šilumos nuostoliai atsiranda dėl mažos pamatų, gelžbetoninių sąramų, sienų konstrukcijų ir nekokybiškos sienų kampų sujungimų šiluminės izoliacijos. Beveik visuose tirtuose objektuose aptikta šilumos nuostoliai pro langų rėmų ir sienų ertmes, langų ir durų konstrukcijas (susidaro nepageidaujami oro srautai). Tyrimais nustatyta, jog žiemos sąlygomis dėl susidariusių šalčio tiltelių išmatuota ir apskaičiuota sienų konstrukcijų šiluminės izoliacijos varža 25–35% mažesnė už projektinę. Tai galima paaiškinti tuo, jog atitvarų temperatūra matuojama įvairiomis aplinkos sąlygomis, termoizoliacija gali sumažėti dėl susikaupusios drėgmės atitvarų konstrukcijose ir pasirinkto pastato apšiltinimo projekto. Kai sienos termoizoliacinis sluoksnis klojamas arčiau vidinio sienos paviršiaus, rasos taškas taip pat pasislinks link vidinės atitvaro pusės. Dėl to sienoje kaupsis drėgmė ir sumažės termoizoliacinė geba. Atlikus termografinį pastato tyrimą ir įvertinus esamos termoizoliacijos varžą, galima parinkti reikiamą termoizoliacinę medžiagą, jos storį ir tinkamą apšiltinimo projektą.

6. IŠVADOS

1. Išanalizuota kūno spinduliavimo, vėjo greičio ir kitų veiksnių įtaka termografiniams matavimams.

2. Termografiniu tyrimu pastatams nustatyti neprojektiniai oro srautai, šalčio tilteliai ir šiluminės izoliacijos sumažėjimo zonos.

3. Termografinę pastatų diagnostiką tikslinga taikyti defektams aptikti statybos eigoje, prieš perduodant naujai pastatytą pastatą savininkui (valstybinei kontrolei), prieš pradėdant remonto darbus (šių darbų apimtims nustatyti), sudarant energetinį pastato žurnalą, kuriame būtų fiksuojami šiluminio režimo ypatumai ir įvertinami atskirų vietų ar viso pastato šilumos nuostoliai.

4. Žiemos sąlygomis išmatuota ir apskaičiuota sienų konstrukcijų šiluminės izoliacijos varža 25–35% mažesnė už projektinę.

5. Pastatų sienų defektinių zonų temperatūra nuo bazinės sienos temperatūros skiriasi 4–14°C.

6. Termoizoliacijos varža gali sumažėti dėl atitvarų konstrukcijose susikaupusios drėgmės, pasirinkto pastato apšiltinimo projekto ir rasos taško poslinkio sienoje.

Gauta
2001 03 12

Literatūra

1. Vektaris B. Pastatų šiluminis apšiltinimas, pastatų šiluminė renovacija // Architektūros ir statybos institutas. Kaunas, 1994.
2. Mano jaukus namas projektuotojams ir statybininkams // ROCKWOOL A/S Export Department. Denmark, 2000.
3. Academy of infrared thermography // Trainings course material. USA, 1999.
4. Платонович В. В. Диагностика строительных конструкций методом инфракрасной термографии // В мире неразрушающего контроля. 2000 №. 2(8). С. 8–11.
5. Termoizoliacija – pastatų termografija // Švedijos standartų komisija. Stokholmas, 1977.
6. UAB „Energetikos remontas“ termografinio tyrimo ataskaitos, aukštos įtampos laboratorija. Kaunas, 1999–2001 m.
7. ГОСТ 26254–84 „Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций“.
8. Международный стандарт ISO 6781–83 „Теплоизоляция. Качественное выявление теплотехнических нарушений в ограждающих конструкциях. Инфракрасный метод“.
9. ГОСТ 26629–85 „Здания и сооружения. Методы тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций“.
10. Ялышев Ф. Х. „Оптические методы контроля зданий и сооружений. Контроль качества теплозащиты“. Стройиздат, Ленинградское отд., 1988. 79 с.
11. STR 2.05.011:999 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“ // Techninių reikalavimų reglamentas. Vilnius, 1999.

Rimantas Deksnys, Žydrūnas Čeponis,
Alfonsas Morkvėnas

ESTIMATION OF THERMAL ENERGY AND ESTABLISHMENT OF DEFECTS BY INFRARED THERMOGRAPHY

S u m m a r y

The increasing price of thermal energy stimulates the interest towards methods of effective thermal energy loss determination and reduction. One of the most promising ways to determine thermal energy loss is infrared ray measuring. In the paper, the possibilities of thermographic investigations of thermal energy losses in buildings by using a thermovisor are analyzed. The factors that influence thermographic investigation, volume and possibilities of employment are described, methods of establishing building

temperature barriers and warm resistivity are discussed. Also, the resistivity level and the main defects defined in the thermographic mode are investigated and summarized. Recommendations how to detect thermographically “cold bridges” and heat insulation wearout during a heating season in buildings are presented.

Key words: temperature, warm insulation, warm resistivity, thermography

**Римантас Декснис, Жидрунас Чепонис,
Альфонсас Морквенас**

УЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

Р е з ю м е

Возрастающие цены тепловой энергии заставляют искать эффективных средств для определения и

уменьшения теплопотерь. Одним из перспективных методов определения теплопотерь является измерение инфракрасного излучения.

В статье рассматривается возможность термографического исследования теплопотерь зданий с использованием термовизора. Описаны факторы, влияющие на точность термографического исследования, объёмы и возможности применения, методика определения температуры и тепловой изоляции ограждений сооружений. Исследованы и обобщены уровни тепловой изоляции сооружений различной конструкции, а также термографическим методом обнаруживаемые главные дефекты. Предложены рекомендации как в сезон отопления термографическим исследованием обнаружить создавшиеся в зданиях мостики холода и уменьшение тепловой изоляции.

Ключевые слова: температура, термоизоляция, термосопротивление, термография