

Vėdinimo sistemos šilumos perdavimo reguliavimo mazgo termoizoliacijos termografinė analizė

Edita Mockienė

Šiaulių valstybinė kolegija, Inžinerijos mokslų katedros lektorė
Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution, Lithuania; Lecturer at the Department of Engineering Sciences
e.mockiene@svako.lt

Deividas Nesovas

Šiaulių valstybinė kolegija, Inžinerijos mokslų katedros lektorius
Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution, Lithuania; Lecturer at the Department of Engineering Sciences
d.nesovas@svako.lt

Viktorija Valaitytė

Šiaulių valstybinė kolegija, Statybos studijų programos studentė
Šiaulių valstybinė kolegija / Higher Education Institution, Lithuania; Student of the Construction study program

Anotacija

Straipsnyje analizuojamos viešosios paskirties pastato vėdinimo sistemos rekuperatoriaus šilumos perdavimo mazgo termoizoliacijos charakteristikos. Termografinio tyrimo rezultatai parodė temperatūrų pasiskirstymą sistemos elementų paviršiuje. Lyginant „karščiausių“ vietų temperatūrą su „šalčiausių“ aplinkos vietų temperatūra skaičiuoti šilumos nuostoliai. Tyrimas atliktas vėlyvą rudenį, kai lauko temperatūra svyravo tarp +4 ir -2 laipsnių. Tikėtina, kad šalčiausio žiemos penkiadienio laikotarpiu šilumos nuostoliai būtų ženkliai didesni.

Reikšminiai žodžiai: šilumos perdavimas, termografija, rekuperatorius, termoizoliacija.

Thermographic analysis of the thermal insulation of the heat transfer regulation unit of the ventilation system

Summary

The article analyses the thermal insulation characteristics of the recuperator heat transfer unit of the ventilation system of the public building. The results of the thermographic study showed the temperature distribution on the surface of the system elements. Heat losses are calculated by comparing the temperature of the "hottest" places with the temperature of the "coldest" places in the environment. The research was carried out in late autumn when the outdoor temperature fluctuated between +4 and -2 degrees. It is likely that the heat loss would be significantly higher during the coldest five-day period of winter.

Keywords: heat transfer, thermography, recuperator, thermal insulation.

Įvadas

Tyrimo aktualumas. Energijos taupymas yra svarbi tema šiuolaikiniame pasaulyje, kai energijos išteklių taupymas ir jų panaudojimo efektyvumas susilaukia vis didesnio dėmesio. Tai ne tik padeda sumažinti išlaidas už energiją, bet ir mažina aplinkos taršą, prisideda prie tvarumo ir kovos su klimato kaita.

Energijos taupymo procesas pastatuose apima įvairias strategijas ir technologijas: nuo šilumos izoliacijos gerinimo iki pažangių energijos valdymo sistemų diegimo. Šiuolaikiniai pastatai ir jų inžinerinės sistemos vis dažniau projektuojami atsižvelgiant į energijos efektyvumo standartus, o planuojant senesnių pastatų atnaujinimą, statyboje taikoma pastatų ir jų inžinerinių sistemų

diagnostika, siekiant aptikti trūkumus ir juos šalinti, taip išvengiant nuostolių dėl netinkamo sistemų veikimo ir taupant energijos resursus.

Taikant tokį neardantį diagnostikos metodą kaip termografija tyrėjai pajungia dronus ir, netrikdydami pastato eksploataavimo proceso, registruoja viso objekto paviršiaus infraraudonąją spinduliuotę. Rezultatai įgalina nustatyti esamų konstrukcijų problemines vietas ir numatyti tobulinimo priemones [1, 2].

Tyrimo problema. Temperatūrinis skirtumas tarp pastato inžinerinių sistemų ir aplinkos lemia šilumos energijos nuostolius. Jiems sumažinti sistemų elementai termoizoliuojami. Šiame darbe nagrinėjamas pastato šilumos perdavimo rekuperatoriaus tiekiamam orui reguliavimo mazgo termoizoliacijos stovis, analizuojant termografinio tyrimo duomenis, siekiant nustatyti problemines vietas ir parengti rekomendacijas šilumos nuostolių mažinimui.

Tyrimo tikslas – atlikti viešosios paskirties pastato šilumos perdavimo sistemos reguliavimo mazgo termoizoliacijos termografinį tyrimą.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, standartų apžvalga, termografinio tyrimo nuotraukų analizė.

Tyrimo rezultatų naujumas – šilumos nuostolių pasiskirstymo inžineriniame mazge analizė suteikia galimybę neardant esamos šilumos izoliacijos nustatyti didžiausių šilumos nuostolių vietas ir pasiūlyti šilumos izoliavimo gerinimo priemonių variantus.

Pastatų inžinerinių sistemų termografiniai tyrimai

Statyboje matuojant pastatų infraraudonųjų spindulių intensyvumą, galima nustatyti juose susidariusius šiluminius tiltelius, pastatų šilumos izoliacijos, stogų būklę, durų ir langų įstatymo kokybę bei sandarumą. Taip aptinkamos ir drėgmės kaupimosi vietos, rasos taško zonos, elektros instaliacijos ir grindinio šildymo defektai bei nustatoma trūkusių vandentiekio vamzdžių vieta. Tyrimo metu nustatomi konkretūs konstrukcijų defektai ir vietos, kur reikalinga renovacija, siekiant didinti šiluminės energijos naudojimo efektyvumą.

Mokslininkai teigia, kad temperatūra yra vienas iš plačiausiai taikomų įrangos ir komponentų struktūrinės būklės rodiklių. Sugedę įrenginiai, korozijos pažeistos jungtys, pažeisti medžiagų komponentai ir kiti defektai gali sukelti nenormalų temperatūros pasiskirstymą, kuris ilgainiui lemia sistemos veikimo sutrikimus, gali sukelti pavojingas avarijas bei mažina energijos panaudojimo efektyvumą [3].

Apibūdinant pastatų energinį efektyvumą svarbi ne tik šildymo, bet ir vėdinimo sistema. Jeigu žiemą vėdinimo sistema orientuojama į pritekančio oro sušildymą, tai vasarą tampa svarbus oro atvėsinimas.

Lenkijos ir JAV mokslininkų grupė, analizuodama hibridinės oro kondicionavimo sistemos rekuperatorių veikimą Vidurio Europos klimato sąlygomis, ieškojo jų efektyvumo gerinimo galimybių, atsižvelgdami į skirtingas išorės ir vidaus oro rasos taško temperatūros reikšmes [4].

Šilumos spinduliuotė, veikiant šildymo ir vėsinimo procesams, gali būti analizuojama naudojant grafines priemones, kurios suteikia galimybę išvelgti temperatūros pokyčius bėgant laikui. Lyginant gautus tyrimo duomenis su pradinėmis medžiagų charakteristikomis, galima efektyviai nustatyti medžiagų būklės pakitimus per eksploatacijos laikotarpį [5].

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 [6].

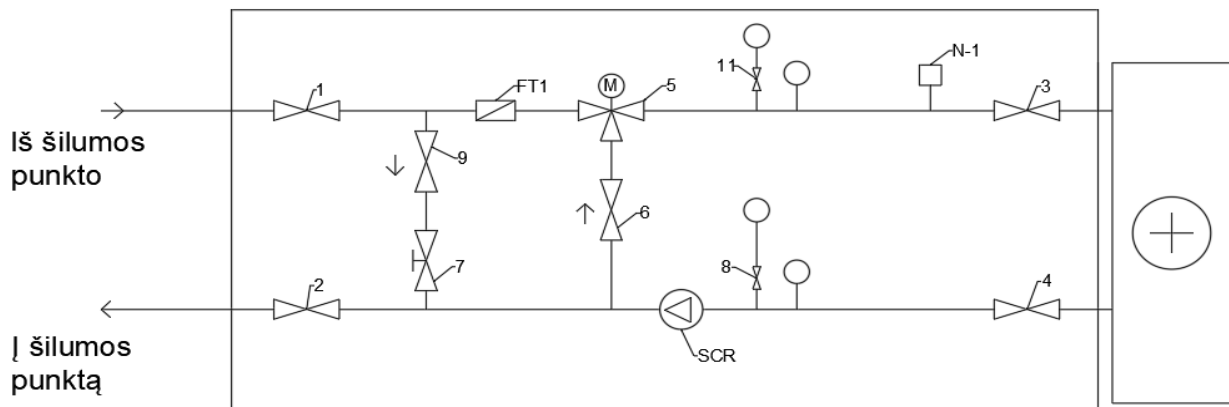
Termografija skirstoma į aktyviają ir pasyviają. Pirmuoju atveju tyrime nepastovus šilumos srautas sukuriamas naudojant dirbtinį arba natūralų energijos šaltinį, antruoju – naudojamas tik šilumos srautas, atsirandantis dėl tiriamo objekto vidinės šilumos [6].

Infraraudonųjų spindulių kamera (termovizorius) yra optinis įtaisas, įskaitant lęšį, filtrus, židinio plokštumos matricą ir vidinį duomenų apdorojimą, skirtą tiriamojo objekto sklaidžiamai infraraudonajai spinduliuotei rinkti ir vaizduoti, kuris matuoja spinduliuotės srautą ir (arba) temperatūrą [6].

Infraraudonųjų spindulių kameros svarbūs parametrai yra šie [7]: spektrinis jautrumas; temperatūros diapazonas; šiluminė skiriamoji geba; erdvinė raiška; kadro dažnis.

Tyrimo objekto termografija

Tyrimui naudotas *FLIR* termovizorius, kurio skiriamoji geba 160×120 pikselių, temperatūros diapazonas nuo -20°C iki $+250^{\circ}\text{C}$, tikslumas: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ arba $\pm 2\%$, terminis jautrumas $< 0,06^{\circ}\text{C}$. Tyrimo metu buvo sudarytos vėdinimo sistemos rekuperatoriaus šilumos perdavimo mazgo (žr. 1 ir 2 pav.) termogramos.



1 pav. Rekuperatoriaus šilumos perdavimo mazgo schema:

1, 2, 3, 4 – rutuliniai ventiliai; 5 – triegis pamašymo vožtuvas su elektrine pavara; 6, 9 – atbuliniai vožtuvai; 7 – balansinis ventilis; 8, 11 – manometriniai ventiliai

Šaltinis: sudaryta autorių

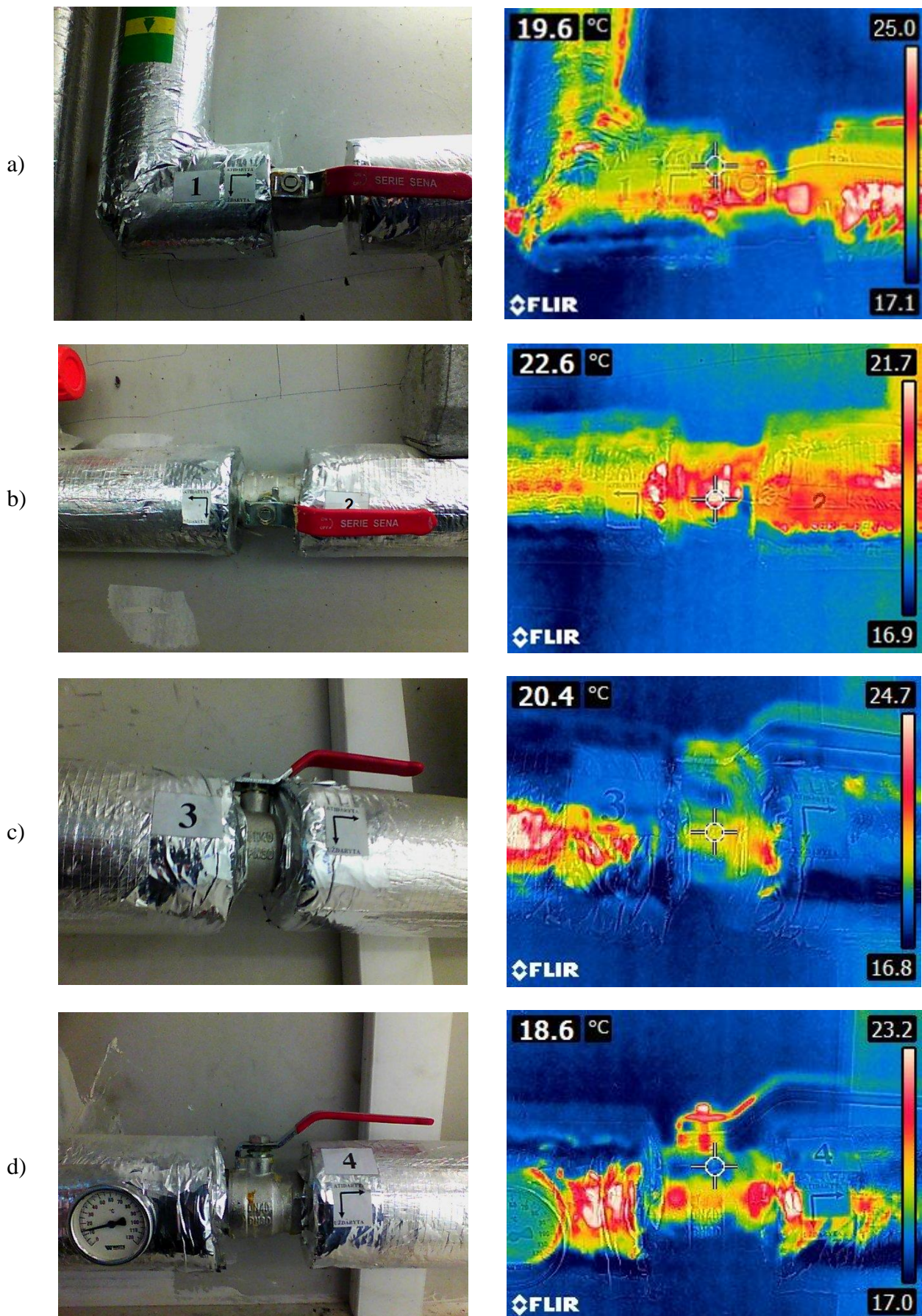
Svarbiausi reikalavimai šilumos perdavimo mazgo termoizoliacijai numatyti įrengimo taisyklėse [8] ir standarte [9], kuriuose akcentuojama, kad šilumos izoliacija turi būti tvirta, atspari įvairiam išoriniam poveikiui, chemiškai ir mechaniškai stabili, nedegi, o armatūrą, junges reikia izoliuoti taip, kad izoliaciją būtų galima nuimti jos nesuardant. Šilumos vartojimo įrenginių įrengimo ir priežiūros (eksploatavimo) bendrieji reikalavimai [10] numato, kad visos išorinės šilumos vartojimo įrenginių dalys ir šilumos vamzdynai turi būti taip izoliuoti, kad, kai aplinkos oro temperatūra yra $+25^{\circ}\text{C}$, izoliacijos paviršiaus temperatūra neviršytų $+45^{\circ}\text{C}$.



2 pav. Rekuperatoriaus šilumos perdavimo mazgo bendras vaizdas

Šaltinis: sudaryta autorių

Mazgo schemeje (1 pav.) nurodyti keturi rutuliniai ventiliai. Pirmojo ventilio termografijoje šilčiausių taškų temperatūra siekia +25°C (3 pav. a). Šiluminių nuostolių koncentracija yra pačiame ventilyje. Ventilio paviršius sudaro apie 10 % šioje termogramoje nagrinėjamo sistemos paviršiaus.



3 pav. Rekuperatoriaus šilumos perdavimo mazgo ventilių termografija:

a – pirmas rutulinis ventilis šilumos padavimo linijoje; b – antras rutulinis ventilis šilumos grąžinimo linijoje; c – trečias rutulinis ventilis; d – ketvirtas rutulinis ventilis

Šaltinis: sudaryta autorių

Nagrinėjant termografinius vaizdus, būtina atsižvelgti į šviesos refleksiją nuo termoizoliacijos folijos sluoksnio. Lyginant antro ventilio (3 pav. b) skaitmeninį ir termografinį vaizdus, aiškiai matomos atspindžių vietos kairiau ir dešiniau nuo ventilio, ir tik paties ventilio zonoje matomas temperatūros maksimumas gali būti vertinamas kaip realių šilumos nuostolių vieta. Trečio ir ketvirto ventilių vaizdai (3 pav. c ir d) labai panašūs į pirmų dviejų, skiriasi tik maksimalios temperatūros pagal šilumonešio judėjimo kryptį: $+25 - 24,7 - 23,2 - 21,7^{\circ}\text{C}$. Ventilių termoizoliacijai galima būtų rekomenduoti nesunkiai uždedamus ir nuimamus gobtuvus, nes papildomas izoliavimas nekenktų mazgų eksploatacijai ir jų technologinėms savybėms.

Trieigio pamaišymo vožtuvo su elektrine pavara termografijoje (4 pav.) šilčiausių taškų temperatūra siekia $+22,5^{\circ}\text{C}$.

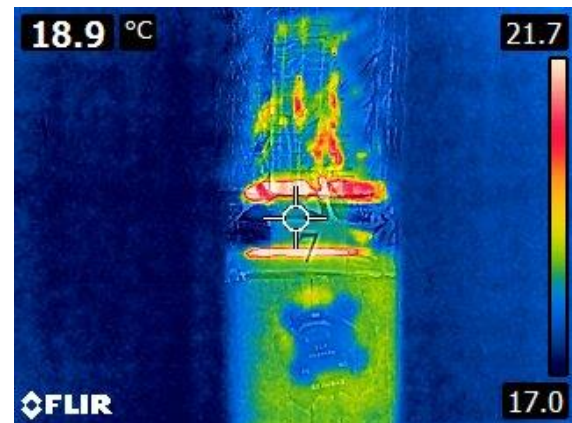


4 pav. Trieigio pamaišymo vožtuvo termografija

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiluminių nuostolių koncentracija yra pačiame pamaišymo vožtuve ir ties mazgu link rutulinio ir manometrinių ventilių bei atbulinio vožtuvo. Paties įrenginio termoizoliuoti nepatartina dėl neleistino jo perkaitimo, o jo pajungimo mazgą būtų galima izoliuoti papildomu termoizoliacijos kevalu.

Balansinio ventilio termografijoje (5 pav.) šilčiausių taškų temperatūra siekia $+21,7^{\circ}\text{C}$.



5 pav. Balansinio ventilio termografija

Šaltinis: sudaryta autorių

Pats ventilis tinkamai izoliuotas kevalu, o šiluminių nuostolių koncentracija matoma ties termoizoliacijos sandūra. Šilumos nuostolių sumažinimui reikėtų užsandarinti šią sandūrą, pvz., purškiamą termoizoliaciją (dėmesio: nenaudoti poliuretano putų dėl degumo apribojimų).

Manometrinio ventilio termografijoje (6 pav.) šilčiausi taškai $+24^{\circ}\text{C}$ pasiskirstę folijos atspindyje, o pats manometro pajungimo mazgas nėra didelis šilumos nuostolių taškas.



6 pav. Manometrinio ventilio termografija
Šaltinis: sudaryta autorių

Nuosėdų filtro FT1 paviršius termografijoje (7 pav.) siekia apie 15 % sistemos paviršiaus ir, neįvertinant atspindžių, pasižymi stabiliu $+20-22^{\circ}\text{C}$ temperatūriniu lauku.



7 pav. Nuosėdų filtro termografija
Šaltinis: sudaryta autorių

Kadangi filtro valymas nėra dažnas, vertėtų šią sistemos detalę papildomai izoliuoti nesunkiai uždedamu ir nuimamu gaubtu.

Termoizoliacijos sluoksnis dėvėsi karščiausiose (raudonai – baltai) pažymėtose zonose, tačiau pagal reikalavimus sistemos dalių temperatūra tyrimo metu neviršija nustatytos normos. Žiemą, nukritus lauko temperatūrai, šis skirtumas padidėtų, todėl papildomas termoizoliavimas būtų prasmingas.

Išvados

Termografinis tyrimo metodas pripažįstamas kaip efektyvus neardantis būdas galimiems šilumos nuostoliams ir sistemos įrengimo bei eksploatavimo defektams aptikti.

Termografinių vėdinimo reguliavimo mazgo nuotraukų analizės duomenys parodė, kad rudens metu sistema tenkina jai keliamus reikalavimus.

Tyrimo metu aptiktiems sistemos mazgų izoliacijos defektams taisyti rekomenduojama: vamzdžiams naudoti įprastinę vamzdinių termoizoliaciją, kitiems sistemos komponentams pritaikyti nesunkiai uždedamus ir nuimamus gobtuvus, o termoizoliacijos detalių sandūras papildomai užsandarinti purškiamą termoizoliaciją.

Literatūra

1. FICAPAL, A., MUTIS, I. Framework for the Detection, Diagnosis, and Evaluation of Thermal Bridges Using Infrared Thermography and Unmanned Aerial Vehicles. *Buildings*. 2019; 9(8):179. <https://doi.org/10.3390/buildings9080179>
2. DAFFARA, C., MURADORE, R., PICCINELLI, N., GABURRO, N., DE RUBEIS, T., AMBROSINI, D. A. Cost-Effective System for Aerial 3D Thermography of Buildings. *Journal of Imaging*. 2020; 6(8):76. <https://doi.org/10.3390/jimaging6080076>
3. BAGAVATHIAPPAN, S., LAHIRI, B. B., SARAVANAN, T., PHILIP, J., JAYAKUMAR, T. Infrared thermography for condition monitoring – A review. *Infrared Physics & Technology*. 2013; 60: 35–55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
4. PANDELIDIS, D. ir kt. Performance study of a novel dew point evaporative cooler in the climate of central Europe using building simulation tools. *Building and Environment*. 2020; 181:107101. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107101>
5. KIM, H., LAMICHHANE, N., KIM, C., SHRESTHA, R. Innovations in Building Diagnostics and Condition Monitoring: A Comprehensive Review of Infrared Thermography Applications. *Buildings*. 2023; 13(11):2829. <https://doi.org/10.3390/buildings13112829>
6. 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.
7. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Neardomieji bandymai. Termografinis tyrimas. 2 dalis. Įranga*. LST EN 16714-2:2016. / *Non-destructive testing – Thermographic testing – Part 2: Equipment* EN 16714-2:2016.
8. *Įrenginių ir šilumos perdavimo tinklų šilumos izoliacijos įrengimo taisyklės*. Priėmė Lietuvos Respublikos energetikos ministerija 2017-09-18, Nr. 1-245. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/53a73f019e3e11e796fec328fe7809de?jfwid=-x5bl5vhjn>
9. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Pastatų įrangos ir pramonės įrenginių termoizoliacija. Skaičiavimo taisyklės*. LST EN ISO 12241:2022. / *Thermal insulation for building equipment and industrial installations – Calculation rules* EN ISO 12241:2022.
10. *Šilumos vartojimo įrenginių įrengimo ir priežiūros (eksploatavimo) bendrieji reikalavimai*. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija 2010-04-07, Nr. 1-111. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.369733>