



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Šiuolaikinių technologijų taikymo pastato sandarumo
defektams identifikuoti tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Oleksii Beshketo
Projekto autorius

Dr. Loreta Kelpšienė
Vadovė

Panevėžys, 2019



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Šiuolaikinių technologijų taikymo pastato sandarumo defektams identifikuoti tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Statybos valdymas (6211EX007)

Oleksii Beshketo
Projekto autorius

Dr. Loreta Kelpšienė
Vadovė

Recenzentas

Panevėžys, 2019



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Oleksii Beshketo

Šiuolaikinių technologijų taikymo pastato sandarumo defektams identifikuoti tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Oleksii Beshketo, baigiamasis projektas tema „Šiuolaikinių technologijų taikymo pastato sandarumo defektams identifikuoti tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Diplomantui **Oleksii Beshketo**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	Šiuolaikinių technologijų taikymo pastato sandarumo defektams identifikuoti tyrimas
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	Research of Modern Technologies Application for Identifying Defects of Building Tightness

Patvirtinta 2018 m. spalio mėn. 31 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-26.

Irišto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2019 m. sausio 03 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrimų tikslas – atlikti metodų ir įrangos, taikomų pastatų atitvarinių konstrukcijų orinio ir šiluminio sandarumo defektams nustatyti, apžvalgą.

Darbas turi būti atliktas laikanti magistriniam darbui keliamų reikalavimų.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai / klausimai, kurie turi būti atskleisti baigiamajame projekte

- išanalizuoti reikalavimus atitvarų charakteristikoms skirtingose šalyse;
- apibūdinti atitvarų orinio sandarumo tyrimo metodus ir įrangą;
- apibūdinti atitvarų šiluminio sandarumo tyrimo metodus ir įrangą;
- atlikti gyvenamųjų pastatų atitvarų orinio ir šiluminio sandarumo tyrimą.

Vadovė

dr. Loreta Kelpšienė

(parašas, pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

Oleksii Beshketo

(studento parašas, vardas, pavardė)

2018 m. lapkričio mėn. 15 d.

Oleksii Beshketo. Šiuolaikinių technologijų taikymo pastato sandarumo defektams identifikuoti tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė dr. Loreta Kelpšienė; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: statybos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: sandarumas, termovizija, šiluminiai tilteliai, termografija
Panevėžys, 2019. 64 p.

SANTRAUKA

Sandarumas – vienas iš pačių svarbiausių faktorių įvertinant pastatų energinį ir eksploataavimo efektyvumą. Šiuolaikiniams A+ ir A++ klasių pastatams numatomos griežčiausios šilumos nutekėjimos normos (apribojimai), todėl būtina vengti sandarumo defektų atsiradimo.

Šiame darbe analizuojami pagrindiniai norminiai aktai, dekretyvos, įstatymai susiję su pastatų energiniu efektyvumu ir reikalavimais atitvaroms skirtinguose šalyse.

Apžvelgiami ir nagrinėjami pagrindiniai šiuolaikiniai nesandarumo nustatymo metodai ir technologijos, ypatingą dėmesį skiriant termovizijos metodui.

Tiriamajoje dalyje išanaliti termovizinio matavimo duomenys iš skirtingų objektų, pateiktos rekomendacijos. Vienas objektas analizuotas taikant *Blower Door* technologiją derinant su termoviziniu tyrimu. Galutiniam apibendrinimui pasitelkta ekspertų apklausa, bendrauta su įmonių, dirbančių šioje srityje profesionalais, nagrinėti dažniausi šilumos nutekėjimo atvejai ir sudaryta nesandarumo zonų pasiskirstymo diagramą.

Oleksii Beshketo. Research of Modern Technologies Application for Identifying Defects . of Building Tightness . Master's Final Degree Project /Dr. Loreta Kelpšienė; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.
Study field and area: Civil Engineering, Engineering Sciences.
Keywords: tightness, thermovision, cold bridges, thermography.
Panevėžys, 2019.64p.

SUMMARY

Airtightness is one of the most important factors for assessment of energy efficiency and building performance. Heat leakage norms (restrictions) applied for modern class A + and A ++ buildings are very strict and therefore avoidance of occurrence of airtightness defects is compulsory.

This work analyses the main regulatory acts, directives, laws related to energy efficiency of buildings and the respective requirements for building envelopes in different countries.

A review and study of the main modern methods and technologies of airtightness problems detection is presented in this paper with special attention paid to the method of thermal imaging.

Research section of the paper is dedicated to analysis of thermal images of different objects with further practical advices. One object was analyzed with Blower Door technology along with thermal imaging. For the final conclusions the author used survey of opinions of the experts from companies working in this sphere. The author studied the most frequent cases of heat leakages and presented the diagram of heat leakage zones (pathways) location.

TURINYS

IŽANGA	8
1. REIKALAVIMAI ATITVARŲ CHARAKTERISTIKOMS SKIRTINGOSE ŠALYSE	9
1.1. Ukrainos energinio efektyvumo reguliavimas	9
1.1.1. Pastato energinio naudingumo rodiklis ir energetinis pasas Ukrainoje.....	10
1.1.2. Šiluminės varžos koeficientas	12
1.1.3. Reikalavimų durims ir langams ypatumai	14
1.1.4. Minimali vidinių paviršių temperatūra	14
1.1.5. Minimalus eksploatavimo laikas	14
1.1.6. Oro kaita pagal pastato klasę	15
1.2. Lietuvos energijos efektyvumo normos ir reikalavimai pastatams	15
1.3. Europos Sąjungos energijos efektyvumo reguliavimas	19
2. PASTATŲ SANDARUMO REIKALAVIMAI IR JO TYRIMO BŪDAI	21
2.1. Statybos defektai	21
2.2. Mikroklimato reikalavimai pastatams	22
2.3. Orinio sandarumo analizės metodai	23
2.4. LST EN ISO 9972:2015 rekomendacijos pastato sandarumo analizei	34
2.5. Statybinių konstrukcijų diagnostika termografijos metodu	35
2.6. IR termografijos, patvirtinančios higroterminį perdavimą pastatuose, taikymas	38
2.7. Šiluminių tiltelių savybės	40
3. ATITVARŲ ŠILUMINIO IR ORINIO SANDARUMO TYRIMAS	43
3.1. Termovizinis tyrimas	43
3.2. Termovizijos įrangos naudojimas vykdant sandarumo testą	49
3.3. Tyrimų duomenų interpretavimas	54
IŠVADOS	56
LITERATŪROS SARAŠAS	57

IŽANGA

Pagal Lietuvos teisinę bazę, norint pirkti ar parduoti pastatą ar jo dalį, be kitų privalomų dokumentų yra būtina sandorio objekto energinio naudingumo pasas. Ankstesnių metų statybos ir žemesnės energinės naudingumo klasės pastatams šį dokumentą specialistai parengia remdamiesi analitiniais skaičiavimais. Tačiau pradedant eksploatuoti naujai pastatytus A klasių pastatus būtina ne tik šiluminių charakteristikų ir energijos poreikio analizė, bet ir jų sandarumo vertinimas.

Vertinant pastato energinį efektyvumą daug dėmesio skiriama ilginiams šiluminiam tilteliams, šilumos nuostoliai per juos gali siekti 13 ir daugiau procentų visų B klasės gyvenamojo namo šilumos nuostolių. Modernizuojant gyvenamuosius namus, tikimasi pasiekti būtent B energinio efektyvumo klasę. Projektuojamiems ir statomiems A klasių namams visiškai neleistini tokie dideli šilumos nuostoliai dėl šiluminių tiltelių.

Šiluminiai tilteliai gali susidaryti dėl skirtingų medžiagų šiluminio laidumo savybių. Montavimo siūlėje esant kitokių šiluminių savybių medžiagų tarpams, kurių šilumos laidumas didesnis nei aplinkinių medžiagų, yra didelė tikimybė susidaryti šiluminiam tilteliui. Tokie tarpai sudaro izotermos poslinkį ir reikšmingą temperatūros pokytį, todėl atsiranda sąlygos susidaryti rasos taškui ir atitinkamai kondensatui, tai gali būti montavimo mazgo erozijos priežastimi (Statybos taisyklės ST 2491109.01:2015).

Kitas labai svarbus pastato energinio efektyvumo vertinimo kriterijus – sandarumas. Todėl yra atsižvelgiama į atitvarų laidumą orui ir dujoms: angų ir išorinių durų oro skverbis – standartizuotu bandymu įvertinta gaminio savybė praleisti oro srautą esant tam tikram vėjo slėgiui (STR 2.05.20:2006).

Jau projektavimo etape stengiamasi numatyti sudėtingų konstrukcijų jungimų vietas, išspęsti mazgus taip, kad nesusidarytų šiluminiai tilteliai arba orinio nesandarumo vietos. Statybos metu vykdant projekto ir darbų priežiūrą tikimasi išvengti netikslumų ir netinkamo medžiagų naudojimo.

Tyrimų tikslas – atlikti metodų ir įrangos, taikomų pastatų atitvarinių konstrukcijų orinio ir šiluminio sandarumo defektams nustatyti, apžvalga.

Siekiant užsibrėžto tikslo, magistriniame projekte sprendžiami uždaviniai:

- apžvelgti reikalavimus atitvarų charakteristikoms skirtingose šalyse;
- apibūdinti atitvarų orinio sandarumo tyrimo metodus ir įrangą;
- apibūdinti atitvarų šiluminio sandarumo tyrimo metodus ir įrangą;
- atlikti gyvenamųjų pastatų atitvarų orinio ir šiluminio sandarumo tyrimą.

Darbe taikyti mokslinės literatūros ir šaltinių analizės metodai, orinio sandarumo tyrimui naudota *Retrotec Model 1000 Blower Door* durų sistema, šiluminių charakteristikų analizei – termovizorius *Flir B50*.

1. REIKALAVIMAI ATITVARŲ CHARAKTERISTIKOMS SKIRTINGOSE ŠALYSE

1.1. Ukrainos energinio efektyvumo reguliavimas

Ukrainoje teisinį reguliavimą energetikos srityje reglamentuoja Ukrainos Respublikos įstatymai, Ukrainos Respublikos Prezidento dekretai, Ukrainos Respublikos Ministrų Kabineto nutarimai, įsakymai ir daugybė kitų norminių aktų. Ukrainos teisės aktuose yra apie 70 dokumentų, susijusių su energiniu efektyvumu ir atsinaujinančiais energijos šaltiniais, įskaitant Ukrainos Respublikos įstatymą „Dėl energijos taupymo“ 75 94-BR, patvirtintą 1994 m. liepos 1 d. [1].

Įstatymas apibrėžia teisinius, ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius energijos taupymo pagrindus visoms Ukrainos teritorijoje esančioms įmonėms, asociacijoms ir organizacijoms, taip pat piliečiams.

Įstatyme yra šie skyriai: I. Bendrosios nuostatos. II. Ekonominis energijos taupymo mechanizmas. III. Standartizavimas ir normavimas energijos taupymo srityje. IV. Energijos taupymo ekspertizė. V. Kontrolė energijos taupymo srityje ir atsakomybė už šio įstatymo pažeidimą. VI. Tarptautiniai Ukrainos įsipareigojimai energijos taupymo srityje [1].

Gyvenamųjų ir viešųjų pastatų energinio efektyvumo ir energinio sertifikavimo srityje nuo 2017 m. balandžio 1 d., po normatyvinių reikalavimų įvedimo, Ukrainoje galioja DBN B.2.6-31 (ДБН – Valstybinės statybos normos) [2]. Pastatų energinio paso rengimas iki 2009 m. buvo tik rekomenduojamas. Nuo 2009 m. sausio 1 d. statant ir rekonstruojant gyvenamuosius ir viešuosius pastatus energinis pasas yra privalomoji pastatų projekto dokumentacijos dalis. Nuo 2018 m. liepos 1 d. įsigaliojo DSTU-N B A.2.2-5 (ДСТУ – Valstybinis Ukrainos standartas) [3], kuriame pateiktos metodinės nuostatos, reikalingos energinio paso parametrams apskaičiuoti.

Energinio pastato paso rengimo ir papildymo privalomumas:

- projektuojant pastatą ir jį susiejant su konkrečios statybvietės sąlygomis „darbinis projektas“ arba „darbo dokumentacija“ atsižvelgiant į pastato sudėtingumą;
- perduodant statybos objektą eksploatavimui;
- eksploatuojant, pasirinktinai po vienerių pastato eksploatavimo metų, remiantis namo energetikos audito, kurį vykdo licencijuotos organizacijos ir institucijos, rezultatais;
- eksploatuojant, privalomai pasibaigus atitvarinių konstrukcijų naudingo eksploatavimo trukmei;
- eksploatuojant, privalomai po pažeidimų, kurie galėjo sukelti žalą atitvarinėms konstrukcijoms ar jų sudedamosioms dalims [1].

Suderinant nacionalinę reguliavimo sistemą su Europos Sąjungos standartais Ukraina sukūrė normas ir standartus pastatų energinio efektyvumo srityje, apimančius reikalavimus atitvarų konstrukcijoms, patalpų mikroklimatui, pastatų energinėms charakteristikoms, ir jų sistemų skaičiavimo metodiką.

1.1.1. Pastato energinio naudingumo rodiklis ir energetinis pasas Ukrainoje

Ukrainos pastatų energinio efektyvumo klasifikavimas remiasi šilumos energijos suvartojimo ventilijai ir šilumai apskaičiuotų (faktiškų) ir normatyvinių reikšmių santykio nustatymu DBN B.2.6-31 [2].

Projektuojamiems pastatams minimali klasė yra „C“. Baigus statybą, turi būti patvirtintas atitikimas normatyviniams reikalavimams pagal DBN B.2.6-31 [2].

Bendras energinio efektyvumo rodiklis nustatomas pagal formulę:

$$EP \leq EP_{max}; \quad (1) [2]$$

čia: EP – apskaičiuotas arba faktinis metinis pastato energijos sunaudojimo rodiklis, kuris nustatomas pagal formulę:

-gyvenamiesiems pastatams:

$$EP = \frac{Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DNN,nd}}{A_f}; \quad (2) [2]$$

-civiliniams pastatams:

$$EP = \frac{Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DNN,nd}}{V}; \quad (3) [2]$$

čia: $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$ ir $Q_{DNN,nd}$ – metinis pastato energijos poreikis šildymui, aušinimui, karšto vandens tiekimo sistemai (kW·h) ir nustatomas pagal DSTU B A 2.2-12 [4];

EP_{max} – maksimalus metinis pastato energijos sunaudojimas (kW·h/m²), kuris nustatomas pagal 1.1 lentelę.

1.1 lentelė

EP_{max} – maksimalus metinis pastato energijos sunaudojimas kW h/m² [4]

Eil. Nr.	Pastato paskirtis	EP_{max} , kW h/m ² [kW h/m ³], Ukrainos temperatūros zonoms	
		I	II
1.	Gyvenamieji namai:		
	Nuo 1 iki 3 aukštų	120	110
	Nuo 4 iki 9 aukštų	83	81

1.1 lentelės tęsinys kitame puslapyje

1.1 lentelės tęsinys

Eil. Nr.	Pastato paskirtis	EP_{max} , kW h/m ² [kW h/m ³], Ukrainos temperatūros zonoms	
		I	II
	Nuo 10 iki 16	77	75
	17 ir daugiau	70	68
2.	Civiliniai pastatai ir statiniai		
	Nuo 1 iki 3 aukštų	$[20\Lambda_{bci}+31]$	$[19,4\Lambda_{bci}+33]$
	Nuo 4 iki 9 aukštų	[38]	[40]
	Nuo 10 iki 24	[37]	[39]
	25 ir daugiau	[34]	[36]
3.	Prekybos įmonės	$[28\Lambda_{bci}+31]$	$[32\Lambda_{bci}+31]$
4.	Viešbučiai		
	Nuo 1 iki 3 aukštų	110	100
	Nuo 4 iki 9 aukštų	75	70
	Nuo 10 ir daugiau	65	60
5.	Mokymo įstaigų pastatai ir statiniai	[28]	[30]
6.	Ikimokyklinio ugdymo įstaigų pastatai ir statiniai	[48]	[50]
7.	Sveikatos apsaugos įstaigos	[48]	[50]

Pagal DBN B.2.6-31 2016 Ukrainos teritorija yra padalyta į dvi klimato zonas (1.1 pav.).



1.1 pav. Klimato zonos Ukrainos teritorijoje [2]

Tuo pat metu padidėjo norminiai reikalavimai pastatams: pavyzdžiui, anksčiau gyvenamosios paskirtiems pastatams nuo 4 iki 9 aukštų pirmosios klimato zonos buvo $E_{max} = 55 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$, o naujuose standartuose – $83 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$.

Maksimalus energijos suvartojimo rodiklio padidėjimas susijęs su apskaitos filosofijos pasikeitimu.

Ankstesnėse DBN (DBN B V.2.6-31:2006), apskaičiuojant pastato energijos suvartojimą, buvo atsižvelgta tik į šildymą; naujose normose į energinio balanso apskaičiavimo sudėtį buvo įtraukti kondensavimas ir karšto vandens paruošimas, kaip yra numatyta formulėse 2 ir 3, kur energijos poreikis gyvenamiesiems pastatams koreliuoja su bendru vidaus plotu ir tūriu – viešiesiems pastatams.

Naudojamų pastatų klasifikacija (1.2 lentelė) grindžiama energetiniu auditu pagal DSTU B standarto B.2.2-21:2008 metodus [5].

1.2 lentelė

Pastatų klasifikavimas pagal energijos efektyvumą Ukrainoje [2]

Energijos efektyvumo klasės pagal energijos suvartojimą	Skirtumas %, apskaičiuotos arba faktiškos reikšmės energijos sunaudojimui (<i>EP</i>) nuo maksimalios leidžiamosios vertės
A	-50 ir mažiau
B	nuo -49 ir mažiau
C	nuo -9 iki 0
D	nuo 1 iki 25
E	nuo 26 iki 50
F	nuo 51 iki 75
G	76 ir daugiau

Ukrainoje energinis pasas yra sudarytas iš penkių lentelių, kurių identiška forma galioja Rusijoje, Kazachstane, Baltarusijoje. Energinio paso duomenų užpildymo ir apskaičiavimo patogumui Mokslinių tyrimų institutas (MTI) sukūrė specializuotą programinę įrangą.

Šiuo metu Ukraina siekia suderinti nacionalinius standartus su Europos Sąjungos standartais, peržiūrėti ir papildyti reikalavimus.

1.1.2. Šiluminės varžos koeficientas

Nepaisant to, kad pastato elementų šiluminės varžos skaičiavimai 4.5 papunktyje taikomi kaip alternatyvūs atitvarinių konstrukcijų projektavimo principai, reikalavimas dėl šiluminės varžos lieka privalomas.

DBN B.2.6-31-2016 reglamentuoja minimalią šiluminę varžą (R_{qmin} , m²·K/W), kuri priklauso nuo temperatūros zonos:

1.3 lentelė

Minimalios leistinos gyvenamųjų ir civilinių pastatų atitvarinių konstrukcijų šiluminės varžos vertės R_{qmin} [2]

Eil. Nr.	Atitvarinių konstrukcijų tipas	R_{qmin} , m ² ·K/W	
		I	II
1.	Išorinės sienos	3,3	2,8
2.	Sutapdintas stogas	6,0	5,5
3.	Šildomosios palėpės denginys (techninių aukštų) ir mansardinio tipo denginys	4,95	4,5
4.	Nešildomų palėpių perdangos	4,95	4,5
5.	Perdangos virš pravažiavimų ir nešildomos rūšių	3,75	3,3
6.	Atitvarinės šviesą praleidžiančios konstrukcijos	0,75	0,6
7.	Išorinės durys	0,6	0,5

4.6 papunktyje DBN B.2.6-31-2016 teigiama, kad paviršiaus temperatūros skirtumai turi tenkinti higienos normas ir turi būti būtinai patikrinti. Taigi, be lango šiluminės varžos koeficiento 0,75, reikia įrodyti, kad profilių sistemos ir jungimo mazgų paviršiai atitinka visus reikalavimus (iki 13% lango šiluminių charakteristikų lemia rėmo matmenys ir konkretaus lango architektūra esant identiškoms sudedamosioms dalims). Koeficientas R turi būti pateiktas visai konstrukcijai, o ne tiesiog atsižvelgiantį stiklo paketo charakteristikas (6.1 papunktis naujo DBN) [2].

Šiuo metu daugeliu atvejų koeficientas $R = 0,75$ yra laikomas optimaliu, o ne minimaliu reikalavimu.

Tačiau, atsižvelgiant į naujausius DBN B.2.6-31-2016 reikalavimus, rekomenduojama projektuoti ir gaminti šviesą praleidžiančias atitvarines konstrukcijas su $R > 0,75$, taigi 0,9, 1 ir aukštesniais rodikliais, kad būtų užtikrintas aukštas energijos naudojimo efektyvumas ir laikomasi būsimų reikalavimų, kurie periodiškai didėja.

Sanuojamiems objektams yra leidžiama langų minimalią šiluminę varžą mažinti padauginus iš koeficiento 0,8, jei nebus viršytas viso pastato minimalus energinis balansas, minimalios paviršių temperatūros ir maksimalūs temperatūrų skirtumai [2]:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{qmin} ; \quad (4) [2]$$

$$T_{Bmin} > T_{min} ; \quad (5) [2]$$

$$\Delta T_{pr} \geq \Delta T_{cr} ; \quad (6) [2]$$

$T_{b \min}$ – minimalios leistinos vidinio paviršiaus temperatūros reikšmė, šilumai laidesnių medžiagų intarpų vietose atitvarinėse konstrukcijose;

T_{\min} – minimalios leistinos vidinio paviršiaus temperatūros reikšmė, apskaičiuotoms vidinėms ir išorinėms oro temperatūroms;

ΔT_{pr} – temperatūrų skirtumas tarp vidaus oro temperatūros ir atitvarų vidinio paviršiaus pateiktos temperatūros

ΔT_{cr} – pagal sanitarines-higienos normas leistinas skirtumas tarp vidaus oro temperatūros ir atitvarų vidinio paviršiaus pateiktos temperatūros.

1.1.3. Reikalavimų durims ir langams ypatumai

Ankstesniame DBN V.2.6-31: 2006 reikalavimai daugiabučių namų ir kotedžų durims skiriasi: mažaukštei statybai jie buvo didesni, o daugiaaukštei – žemesni. Kodėl įėjimo durys į daugiaaukštį galėjo būti šaltesnės, nežinoma.

Daugiaaukščiuose pastatuose dažniausiai buvo įrengiamos metalinės durys, kurios negalėjo užtikrinti (aprūpinti) net minimalios šiluminės izoliacijos ir neatitiko dabartinių reikalavimų. Taip pat reikia atkreipti dėmesį į terminijos pakeitimą: "įėjimo durų" sąvoka pakeičiama "išorinėmis durimis" [8].

Naujame DBN durų šilumos perdavimo koeficientai tapo vienodi, tačiau vis tiek yra mažesni nei reikalavimai langams.

Ankstesniojo DBN 1.10 punkte buvo reikalaujama, kad langas būtų montuojamas ne arčiau kaip 50 mm nuo išorinės sienos plokštumos angokraščio.

Gal būt ši taisyklė egzistavo dėl ribojimo montuoti lango bloką iškeliant už laikančiosios sienos dalies (pavyzdžiui, mūro) dėl nepakankamos stabimulo garantijos. GOST nurodytas skaičiavimo metodas iš esmės atitinka Europos standartus pagal EN ISO 10077-1: 2006 [9].

1.1.4. Minimali vidinių paviršių temperatūra

Nepasikeitė leistino šviesai laidžių atitvarų visų paviršių – rėmo, skaidriosios plokštumos, tarpiklių – temperatūrų skirtumo dydis: 6°C. Inžinieriai ir montuotojai šį reikalavimą vertina kaip paradoksalų, nes stiklinių fasadų rėmų ir sijų paviršiaus temperatūra neturėtų būti žemesnė už rasos taško temperatūrą. Tai reiškia, kad langai, visiškai tenkinantys DBN reikalavimus, būtinai „verks“ – esant ekstremalioms temperatūroms jų paviršiuje susidarys kondensatas [2].

1.1.5. Minimalus eksploatavimo laikas

Minimalaus eksploatavimo laiko reikalavimas keičiamiems elementams, pvz., sandarikliams liko toks pats – mažiausiai 15 metų [2].

Įvestas privaloma išorinė apsauga nuo Saulės (roletai, markizės, išorinės žaliuzės) patalpų, kuriuose įrengta oro kondicionavimo sistema, langams (išimtis – Šiaurės kryptis). Anksčiau ši taisyklė buvo taikoma tik ketvirtajai architektūros ir klimato zonai, o dabar ji pritaikyta visai Ukrainos teritorijai. Pirmiems aukštams apsaugos nuo Saulės priemonėmis gali būti laikomas apželdinimas.

1.1.6. Oro kaita pagal pastato klasę

Oro kaitos norminiai rodikliai pagal pastato klasę – ne rekomenduojamos arba optimalios, o maksimalios reikšmės. Jos gali būti daug mažesni pagal oro kaitos pasikartojimą (oro tūrio pasikeitimas patalpoje per valandą).

Čia reikia atžvelgti visa oro kaita, įskaitant montavimo spragos, langų, durų, sienų oro pralaidumas ir įvairios ventiliacijos (vedinimo) ir rekuperacinės sistemos. Toms langų pardavimo įmonėms, kurios papildomai parduoda langų vedinimo sistemas arba su įmontuotomis į langą vedinimo sistemomis, būtina laikytis nustatytų reikalavimų.

Punkte 4.16 DBN teigiama, kad „Langų ir durų jungimo išorinių sienų konstrukcijose mazgų projektavimas turėtų būti atliekamas atsižvelgiant į DSTU V.2.6-79:2009 nuostatas [7].

Langų pardavimo įmonėms reikia atkreipti dėmesį į šį punktą, nes bet kuris klientas turi teisę reikalauti montavimo pagal GOST, net jeigu jie pirmą kartą susitarė dėl "palengvintos" versijos [8].

1.2. Lietuvos energijos efektyvumo normos ir reikalavimai pastatams

Lietuvos Respublikoje teisinį reguliavimą energetikos srityje reglamentuoja Lietuvos statybos įstatymai, atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymai, ūkio ministro įsakymai, Statybos techniniai reglamentai (STR), LST EN standartai.

Įstatymas apibrėžia teisinius, ekonominius, socialinius ir aplinko sauginius energijos taupymo pagrindus visoms Lietuvos teritorijoje esančioms įmonėms, asociacijoms ir organizacijoms, dalyvaujančioms bet kuriame statybos proceso etape.

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo reikalavimai privalomi [Statybos įstatymas] tokiais atvejais:

- 1) naujiems statomiems pastatams (jų dalims);
- 2) rekonstruojamiems, atnaujinamiems (modernizuojamiems) ar remontuojamiems pastatams (jų dalims), kai jų rekonstravimo, atnaujinimo (modernizavimo) ar remonto, kuriais atkuriamos ar pagerinamos pastato atitvarų ir (ar) inžinerinių sistemų fizinės ir energinės savybės, kaina sudaro daugiau kaip 25 procentus pastato vertės, neįskaitant žemės sklypo, ant kurio stovi

pastatas, vertės. Šio punkto reikalavimai taikomi tiek, kiek tai techniškai, funkciniu požiūriu ir ekonomiškai įmanoma.

Lietuvos statybos techniniame reglamente [STR 2.01.02:2016] naujai statomo pastato (jo dalies) energinio naudingumo A+ klasė nustatoma pagal šių pastato rodiklių vertes:

1. Pastato (jo dalies) energijos vartojimo efektyvumo rodiklių $0,25 \leq C_1 < 0,375$ (pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui) ir $C_2 \leq 0,80$ (pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo karštam buitiniam vandeniui ruošti) vertės.

2. Pastato (jo dalies) atitvarų skaičiuojamieji savitieji šilumos nuostoliai turi būti ne didesni už šios energinio naudingumo klasės pastatų atitvarų norminius savituosius šilumos nuostolius $H_{env.(A+)}$ (W/K).

3. Jei pastate (jo dalyje) įrengta mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, rekuperatoriaus naudingumo koeficientas turi būti ne mažesnis už 0,80, o rekuperatoriaus ventiliatorių naudojamas elektros energijos kiekis neturi viršyti $0,55 \text{ Wh/m}^3$.

4. Pastato (jo dalių) pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės turi atitikti Reglamento IX skyriaus reikalavimus (skyriuje apibūdinami reikalavimai atitvaroms tarp autonomiškai šildomų ir galinčių turėti skirtingus temperatūrinius režimus patalpų).

5. Pastato (jo dalies) sandarumas pagal [LST EN ISO 9972:2015] sandarumo bandymo sąlygų reikalavimus, esant 50 Pa slėgių skirtumui tarp pastato vidaus ir išorės, turi neviršyti oro apykaitos verčių: gyvenamosios, administracinės, mokslo ir gydymo paskirties pastatuose – $n_{50.N} \leq 0,6 \text{ l/h}$; maitinimo, prekybos, kultūros, viešbučių, paslaugų, sporto, transporto, specialioji ir poilsio paskirties pastatuose – $n_{50.N} \leq 1,0 \text{ l/h}$.

6. Šiluminės energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti turi atitikti Reglamento 2 priedo XXIX skyriaus reikalavimus (neviršyti metinės norminės $Q'_{N.H}$ (kWh/(m²·metai)), kur įvertinama pastato paskirtis, aukšto aukštis bei šildomas plotas).

7. Ilginių šiluminių tiltelių skaičiuojamosios šilumos perdavimo koeficientų vertės turi būti pagrįstos skaičiavimais: tarp pastato pamatų ir išorinių sienų; durų angų perimetru; tarp pastato sienų ir stogo; fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose; balkonų grindų susikirtimo su išorinėmis sienomis vietose; tarp perdangų, kurios ribojasi su išore, ir sienų; langų, stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų angų perimetru.

Nuo 2021-ųjų metų metų tapus privaloma A++ klasei, sugriežtės kai kurių jau išvardintų punktų reikalavimai bei atsiras papildomas: pastate (jo dalyje) sunaudota energijos dalis K_{ers} (vnt.) iš atsinaujinančių išteklių turi sudaryti didžiąją sunaudojamos energijos dalį, t.y. būti didesnė už 1.

Projektuojant pastato (jo dalies) energinį naudingumą, turi būti įvertinta pastato (jo dalies) vidaus šiluminė talpa. Pastato atitvarų ir vidaus konstrukcijų masyvumo didinimas leidžia pasiekti aukštesnę pastato energinio naudingumo klasę. Siekiant suprojektuoti efektyviausius energinio

naudingumo požiūriu pastatus (jų dalis), pirmenybė turi būti teikiama masyvioms atitvaroms ir masyvioms pastato (jo dalies) vidaus konstrukcijoms [STR 2.01.02:2016]. Projektuojant šiluminiu požiūriu efektyvias skirtingas atitvaras ir tiriant jų šiluminės savybės statybos ar eksploataavimo metu, vadovaujamas norminiais šilumos perdavimo koeficientų dydžiais (1.4 lentelė).

1.4 lentelė

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(A+)}$ ($W/(m^2 \cdot K)$) vertės A+ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui [STR 2.01.02:2016]

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Stogai	r	0,09	0,10	$0,14 \cdot \kappa_1^{5)}$
Perdangos ⁶⁾	ce			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg	0,12	0,14	$0,18 \cdot \kappa_1^{5)}$
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	cc			
Sienos	w	0,11	0,13	$0,17 \cdot \kappa_1^{5)}$
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	wda	0,85	1,0	$1,2 \cdot \kappa_1^{5)}$
Durys, vartai	d	0,85	1,0	$1,2 \cdot \kappa_1^{5)}$

Pastabos:

¹⁾ viešosios paskirties pastatams priskiriami: administracinės, prekybos, paslaugų, maitinimo, transporto, kultūros, mokslo, gydymo, poilsio, sporto, viešbučių ir specialiosios paskirties pastatai;

²⁾ pramonės pastatams priskiriami: sandėliavimo, garažų, gamybos ir pramonės paskirties pastatai;

⁵⁾ $\kappa_1 = 20/(\theta_{IH} - 0,6)$ – temperatūros pataisa pramonės pastatų atitvaroms, θ_{IH} – pramonės pastatų vidaus temperatūra šildymo sezono metu (°C). Imama iš pastato projekto, o nesant duomenų, imama iš Reglamento 2 priedo 2.4 lentelės;

⁶⁾ perdangos virš pravažiavimų ar praėjimų.

Pastato savitųjų šiluminių nuostolių skaičiavimuose vertinami ilginiai šiluminiai tilteliai (1.5 lentelė), kurių tyrinėjimas – viena pagrindinių temovizijos nagrinėjamų sričių.

Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi_{(A+)}$ (W/(m·K)) vertės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui [STR 2.01.02:2016]

Ilginio šiluminio tiltelio apibūdinimas	Tiltelį žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Tarp pastato pamatų ir išorinių sienų	$f-w$	0,1	0,1	0,1
Aplink langų angas sienose	$w dp$	0,05	0,05	0,05
Aplink išorinių įėjimo durų angas sienose	dp	0,05	0,05	0,05
Tarp pastato sienų ir stogo	$w-r$	0	0	0
Fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose	c	0	0	0
Balkonų grindų susikirtimo vietose su išorinėmis sienomis	$bc-w$	0,01	0,01	0,01
Tarp perdangų, kurios ribojasi su išore, ir sienų	$c-w$	0	0	0
Stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų angų perimetru	s	0,05	0,05	0,05

Reglamento skyrius, aptariantis reikalavimus pastato sandarumo matavimams, numato, kad, tik sertifikuojant atskirą butą arba pastato dalį, galimas vieno buto ar pastato dalies sandarumo tyrimas. Kitais atvejais būtina tirti visą pastatą. Tiesa numatomi atvejai, kaip pastato struktūra (atskiri įėjimai, nešildomomis galerijomis sujungtos pastatų dalys) neleidžia atlikti viso pastato tyrimo. Tada numatomas atskirų dalių matavimo rezultatų vertinimas pagal 2.617 formulę [STR 2.01.02:2016]:

$$n_{50} = \frac{\sum_{x=1}^n (n_{50,x} \cdot V_{n50,x})}{\sum_{x=1}^n V_{n50,x}}, \quad (7)[10]$$

čia: n_{50} – pastato (jo dalies) sandarumas esant 50 Pa slėgių skirtumui tarp pastato vidaus ir išorės (h^{-1});

$n_{50,x}$ – bandymais pagal LST EN ISO 9972:2015 reikalavimus nustatytas atitinkamos „x“ patalpos pastate (jo dalyje) sandarumas (h^{-1});

$V_{n50,x}$ – atitinkamos „x“ patalpos pastate (jo dalyje) tūris (m^3), nustatytas pagal LST EN ISO 9972:2015 reikalavimus [11].

1.3. Europos Sąjungos energijos efektyvumo reguliavimas

Pagrindiniai ES šalių teisės aktai yra direktyvos. Direktyvos įgyvendinimui ES valstybės narės turi parengti atitinkamus nacionalinius įstatymus ir standartus savo šalyse.

2002 m. gruodžio mėn. buvo sukurta ir patvirtinta direktyva 2002/91/ES [12] "Dėl pastatų energinio naudingumo", kuria gavo nužymėjimą EPBD.

Šios direktyvos [12] tikslas – padėti gerinti pastatų energinio naudingumą charakteristikas, atsižvelgiant į patalpų mikroklimatą, pastato vietą ir rentabilumą. EPBD direktyvoje pateikta:

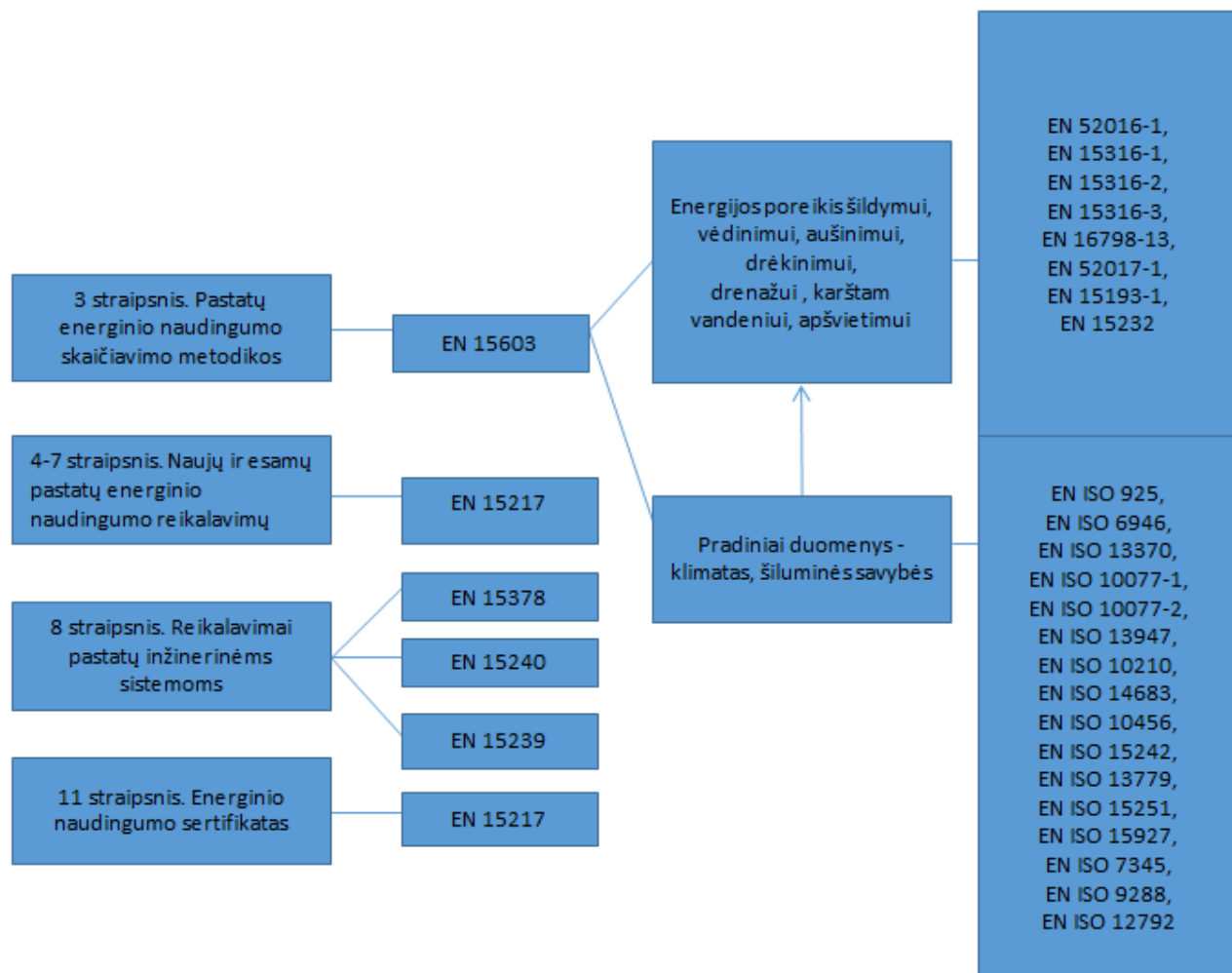
- bendroji integruota pastatų energinio naudingumo apskaičiavimo metodika;
- minimalūs energinio naudingumo reikalavimai naujiems pastatams ir pastatams, kuriuos būtina atnaujinti;
- pastato energinio sertifikavimo tvarka;
- būtinybė reguliariai tikrinti šilumos generatorius ir oro kondicionavimo sistemas namuose, taip pat įvertinti šildymo įrangą, kurios eksploatavimo laikas viršija 15 metų.

2010 m. gegužės mėn. Direktyva 2002/91/EB buvo peržiūrėta ir pakeista į Direktyvą 2010/31/ES [13], siekiant sugriežtinti pastatų energinio naudingumo reikalavimus ir patikslinti ankstesnės Direktyvos 2002/91/EB nuostatas.

Pastatų energinio naudingumo nustatymo metodiką sudaro:

- viso pastato energijos suvartojimo rodikliai, įskaitant šildymą, vėdinimą, oro kondicionavimą, karšto vandens tiekimą ir apšvietimo sistemas;
- naujų pastatų arba renovuojamų pastatų energinio poreikio nustatymo metodai;
- norminių verčių nustatymo tvarka;
- pastatų energinio naudingumo sertifikavimo tvarka.

Energijos efektyvumo požiūriu pastato klasė nustatoma pagal EP (energijos vartojimo efektyvumo) skalę. Remiantis [14], ES pastatų energijos vartojimo efektyvumo didinimo pastatų bendrasis principas grindžiamas reguliuojamų pastatų (Rr - atitinka šiuolaikinių standartų šiuolaikinių standartų reikalavimus) ir tipišku pastatų energijos suvartojimo duomenų faktinį (- atitinka vidutinį faktinį tokio tipo pastato rodiklį) (žr. 1.2 pav. pavyzdį).



1.2 pav. ES standartų sujungimo schema pagal Direktyvą 2002/91 / EB [12]

Visų pirma dėmesys kreipiamas į tai, kad pastatų eksploataavimo poreikiai sudaro 40 proc. suvartojamos energijos ir 36 proc. išmetamo CO₂ kiekio ES šalyse. Energijos vartojimo efektyvumas apibrėžiamas kaip priemonė ES energetikos ir aplinkos apsaugos tikslams pasiekti, tai yra iki 2020 metų tikimasi 20 proc. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir 20 proc. energijos taupymą. Be to, naujoje Direktyvos 2010/31/ES [13] redakcijoje atsirado nuoroda į būtinybę įvesti universalų energinio naudingumo sertifikavimo mechanizmą, leidžiantį palyginti skirtingų šalių pastatų energines charakteristikas. Priede pateikiama pastatų energinio naudingumo minimalių reikalavimų lyginamoji analizė atsižvelgiant į optimalų energijos taupymo priemonių sąnaudų lygį. Nustatyta, kad jei esamų nacionalinių reikalavimų ir ekonomiškai optimalių minimalių reikalavimų lygių skirtumas bus didesnis nei 15%, ES valstybė narė turės paaiškinti priežastis [15].

2. PASTATŲ SANDARUMO REIKALAVIMAI IR JO TYRIMO BŪDAI

2.1. Statybos defektai

Pagrindinis pastato tikslas – apsaugoti gyventojus ir turtą nuo atmosferinių reiškinių, daugiausiai lietaus, vėjo ir temperatūros svyravimų. Svarbiausia užtikrinti pagrindinius poreikius, kurie leis įgyvendinti visus šiuos tikslus. Tokie elementai kaip langai, vamzdžiai, oro kondicionavimo sistema ir apdaila yra tik papildomi. Akivaizdu, kad pastatas turi būti konstruktyviai saugus, kad būtų galima gyventi, o grindys turi būti atsparios bet kokiai įprastai apkrovai.

Statybos defektai yra viena iš pagrindinių statybos problemų, į kurias verta atkreipti dėmesį. Kai pastatas funkcionuoja netinkamai, mes turime nedelsiant nustatyti ir išspręsti problemą [16].

Pagal „Websterio žodyną“, defektas apibrėžiamas kaip to, kas reikalinga užbaigtumui, trūkumas. Tai taip pat apibrėžiamas kaip netobulumas; kaltė. Kitas defekto terminas yra trūkumas. Kalbant apie trūkumą, jis apibrėžiamas kaip, tam tikra kokybės stoka, reikalinga išsamumui. Defektas yra "komponento neatitiktis nurodytos charakteristikos standartui" [17].

Pastato defektas gali apimti bet kokią problemą, kuri sumažina namų, pastatų arba statinių vertę. Statybos defektus gali sukelti architekto projektinė klaida, gamybos trūkumas, medžiagų defektai, netinkamas medžiagų naudojimas ar montavimas, rangovų normų, ar bet koks jų derinys.

Dažni statybos defektų tipai: konstrukciniai defektai, dėl kurių atsiranda įtrūkimai ar sugriovimai; elektros instaliacijos ar apšvietimo defektai; netinkama santechnika; netinkamos drenažo sistemos; nepakankamos ar netinkamos ventiliacijos, aušinimo ar šildymo sistemos; netinkama šilumos ar garso izoliacija; ir netinkamos priešgaisrinės apsaugos sistemos. Be to, pastato defektai gali kilti dėl sausojo puvinio, medžio puvinio, pelėsių, grybų, termitų ar kitų kenkėjų. Įrodymai, kad pastatas turi defektų, paprastai reikalauja aukštos kvalifikacijos eksperto samdymo ir išvadų. Ekspertas, pavyzdžiui inžinierius ar architektas, gali išsiaiškinti, ar statybos problema atsirado dėl netinkamo projektavimo, medžiagų ar statybos darbų [18].

Statybos brokas. Statybos brokas pasireiškia tada, kai pastatas praranda galimybę atlikti numatytą (projektavimo) funkciją. Taigi, pastatų sutrikimai gali būti suskirstyti į dvi plačias grupes: fizinių sutrikimų, dėl kurių prarandamos tam tikros charakteristikos (pvz., stiprumas), ir veiklos sutrikimų, kai funkcija sumažėja žemiau nustatytos leistinos ribos [19].

Konstrukcinį broką gali lemti deformacijos dėl pamatų sėdimo ir konstrukcijų nestabilumo dėl pernelyg didelės apkrovos, t.y. apkrova, viršijanti konstrukcinių elementų galią. Susitraukimas yra pagrindinė ir rimčiausia konstrukcinio broko priežastis, tačiau pernelyg didelis plėtimasis taip pat tampa akivaizdus ankstyvuose etapuose, lemiantis deformaciją ir lūžius. Jei

konstrukcija yra tinkamai suprojektuota ir pagaminta pagal brėžinį, o apkrova nėra pernelyg didelė, gali būti kitų trūkumų, pvz., netinkamų medžiagų naudojimo. Tačiau ir tinkamos medžiagos gali tam tikromis sąlygomis būti panaudotos taikant netinkamą darbų technologiją [18].

Statybos defektai atsiranda tiek naujame, tiek sename pastate. Defektai naujuose namuose gali kilti dėl Statybos įstatymo arba priimtinių standartų nesilaikymo. Tuo tarpu seni pastatai ar statiniai su garantiniu eksploatacijos laikotarpiu gali neatitikti šių standartų, tad juos reikia vertinti pagal normatyvinius dokumentus ir standartus, galiojusius jų statybos metu [18].

Defektus galima padalinti į dvi kategorijas:

– **Konstruktinis defektas** – bet koks pastato konstrukcijos elemento defektas, kurį sukelia defektinis projektavimas, defektinis montavimas arba defektinė medžiaga, o kartais – bet kuri šių parametrų kombinacija. Remiantis Technine enciklopedija, konstrukcinis defektas gali būti siejamas su įtrūkimais pamate, plyšiais grindyse arba perdangose ir įtrūkimais sienose.

Šie defektai gali atsirasti dėl netinkamos grunto analizės, netinkamos vietos parinkimo ir defektnių medžiagų naudojimo. Dauguma konstrukcinių problemų gali būti išvengta taikant tikslų ir išsamų projektavimą ir planavimą. Konstrukciniai pastato defektai gali pasireikšti per tam tikrą laiką dėl pastato nusidėvėjimo, perkrovimo arba netinkamo techninio aptarnavimo. Jie turi būti šalinami siekiant išlaikyti pastato konstrukciją ir išvengti tolimesnių sutrikimų.

Reguliarus patikrinimas yra esminis dalykas, siekiant apsaugoti pastato konstrukcijos "sveikatą". Konstrukcinis defektas, kuris visada išryškėja – plieno korozija, įtrūkimai ir nukrypimai.

– **Nekonstrukcinis defektas.** Pagal techninę enciklopediją nekonstrukciniams defektams priskiriami mūro defektai, drėgmė sienų konstrukcijose ir tinkavimo defektai.

Apskritai, yra statybos defektų, kurie paprastai kyla dėl statybos detalių, tokių kaip stogai, sienos, grindys, lubos, sanitarinė įranga, durys ir langai jungimo [20].

Defektus – sienų įtrūkimus – gali lemti dažų išsisluoksniavimo, drėgmės, medžio puvinio, grybų, pelėsio ir nedidelių augalų atakos, deformacijų atsiradimas, skiedinio erozija, gipso defektai, vabzdžių ar termitų antpuolis, stogo nesandarumas, taip pat nestabilus pamatas ar netinkama eksploatacija [16].

2.2. Mikroklimato reikalavimai pastatams

Patalpos mikroklimato parametrai turi turėti tarpusavyje tam tikrą santykį ir nenukrypti nuo leistinųjų ribų, t. y. būti tam tikroje šiluminio komforto zonoje. Patalpoje mikroklimato sąlygos gali būti nustatytos taip pat pagal požymius:

- siekiant užtikrinti komforto sąlygas žmogui;
- siekiant užtikrinti optimalias sąlygas technologiniams procesams;
- siekiant užtikrinti bendrus komforto ir technologinius reikalavimus.

Lietuvoje viena higienos norma (HN 42:2009)[21] apibūdina mikroklimato reikalavimus gyvenamosioms ir visuomeninėms patalpoms, o kita (HN 69:2003)[22] – darbo patalpoms. Normose apibrėžiamos mikroklimato sąlygos įvertina ne tik temperatūrinį patalpų režimą, bet ir drėgmės lygį ir oro judėjimo greitį:

2.1 lentelė

Gyvenamųjų patalpų ir lankytojams skirtų visuomeninių patalpų mikroklimato parametrų ribinės vertės [HN 42:2009]

Eil. Nr.	Mikroklimato parametrai	Ribinės vertės	
		Šaltuoju metų laikotarpiu	Šiltuoju metų laikotarpiu
1.	Oro temperatūra, °C	18–22	18–28
2.	Temperatūrų skirtumas 0,1 m ir 1,1 m aukštyje nuo grindų, ne daugiau kaip °C	3	3
3.	Santykinė oro drėgmė, %	35–60	35–65
4.	Oro judėjimo greitis, m/s	0,05–0,15	0,15–0,25

2.3. Orinio sandarumo analizės metodai

Atitvarų sandarumas – vienas iš faktorių, turinčių įtakos pastatų energijos vartojimui. Direktyvos 2010/31 tikslas – padidinti energijos vartojimo efektyvumo analizės svarbą. Orinio sandarumo matavimai gali būti naudingi ir vertinant pastato energijos naudingumą ir kuriant naujus statybinius metodus. Orinis sandarumas daro įtaką energijos vartojimo efektyvumui per nevalingą ventiliaciją, atitvarinių medžiagų izoliaciją ir ventiliacijos šilumokaičio efektyvumą [23].

Orinis sandarumas taip pat daro įtaką žmogaus būnančio patalpoje sveikatai ir produktyvumui dėl:

- oro kokybės ir taršiųjų medžiagų kiekio normų ir reikalavimų pažeidimo;
- priešgaisrinės saugos normų ir reikalavimų pažeidimo;
- dėl akustinės izoliacijos problemų;
- dėl problemų susijusių su padidėjusia drėgme ir atsiradusiu pelėsiu [24, 25].

Perėjimas prie energiją taupančių pastatų reikalauja privalomojo pastato bandymo, todėl sandarumo analizės svarba tik padidėja.

Oro pralaidumo klausimas skirtinguose leidiniuose aptariamas skirtingais aspektais. Pranešimuose ir ataskaitose buvo aptariami oro nepralaidumo lyginimo sunkumai dėl skirtingų matavimo vienetais taikymo [26, 27].

Bendrieji kriterijai:

- oro pasikeitimas per valandą, $n_{\Delta p}$;
- oro pralaidumas, $q_{\Delta p}$;
- specifinis nuotėkio lygis, $w_{\Delta p}$;
- veiksminga nuotėkio zona, ELA .

Straipsnyje [24] nagrinėjami metodai, skirti pastatų atitvarų sandarumui nustatyti keliose šalyse. Taip pat aptariamas normalizavimas ir skirtingo spaudimo per atitvarą skirtumo naudojimas. Pastato apimtis žymima n_{Apr} , pastato atitvaros plotas – q_{Ap} (kuris tampa porėtumo matavimo priemone), o grindų plotas – w_{Ap} .

Oro infiltracija priklauso nuo slėgio skirtumo per atitvarą, tačiau neturi įtakos sandarumui. Sandarumas didesniu tikslumu matuojamas esant dideliame slėgiui, tačiau natūraliomis sąlygomis infiltracijos matavimas negalimas. 50 Pa dažniausiai naudojamas vieno taško matavimams, sekantys skirtumai po 25 Pa 75 Pa naudojami atskiriems komponentams [23].

Straipsniuose [28] ir [29] pateikiami sandarumo kriterijai ir matavimo metodai. Tyrime [30] daugiausia dėmesio skiriama dujų matavimo metodams ir oro kokybės ISO 9972 standarto [31] peržiūrai keliose Europos šalyse. Tyrime [25] aprašyti alternatyvūs sandarumo analizės metodai.

Pagrindiniai hermetiškumo analizės metodai:

- **Vizualinis metodas.** Vizuali apžiūra yra pagrindinis metodas, naudojamas sandarumui įvertinti viso statybos proceso metu. Pastatai ar jų dalys yra vizualiai tikrinami; vertinami įtrūkimai ir nuotėkių rizikos. Tikrinimas dažnai vyksta naudojant pastato brėžinius. Vizualinio metodo metu patikrinimo kokybė priklauso nuo specialisto žinių ir patirties [25].

- **Akustinių matavimų metodai.** ISO 140 standartas [32] aprašo garso izoliacijos matavimo metodus atskirose fasado dalyse ir visame fasade. Signalas su tam tikro dažnio turiniu generuojamas, kad būtų galima išmatuoti garsą per angą, skylutes ir įtrūkimus [33]. Didelis garso perdavimas gali rodyti oro nutekėjimą. Reikalingas siūstuvus arba triukšmo šaltinis, mikrofono pavidalo imtuvas ir dažnio analizatorius, rodantis impulsų atspindį [Hz]. Infrazija, remiantis bangos ilgiu, gali būti naudojama viso pastato matavimui; fiksuojant garsą – skirtas pastato detalėms; ultragarso matavimas – skirtas matuoti paskiro įtrūkimo atvejus. Ultragarso veikia tik esant nuosekliems įtrūkimams sienose, kitu atveju garsas susigeria. Girdimam garsui taip pat reikalinga pradinė reikšmė [25]. Rezultatus galima pateikti, lyginant teoriškai apskaičiuotą garso mažinimo indeksą R [dB] su išmatuotuoju. Tokiu būdu gali būti apskaičiuotas nuotėkio plotas [34].

- **Šviesos matavimai.** Šviesos matavimai pirmiausiai naudojami vamzdelių patikrinimui, bet taip pat gali būti naudojami pastato atitvaroms apžiūrėti. Šiame metode naudojamos baltos ar ultravioletinės šviesą skleidžiančios lempos ir vizualiai patikrinama, kur šviesa spinduliuoja per atitvarą. Naudojant baltą šviesą, aplinka turėtų būti tamsi. Naudodamiesi šiuo metodu, galime rasti tik nuoseklius plyšius per sieną [25].

– **Matavimai rankomis.** Jei tikrinant sandarumą naudojate rankas, pastatas turi būti po slėgiu, siekiant pagerinti konstrukciją esant dideliems nuotėkos taškams (mažinant skersvėjų atsiradimą vietose su dideliais nuotėkiais). Šaltesnė lauko nei patalpų temperatūra leidžia lengviau atsirasti skersvėjams. Patikrinimas rankomis dažnai derinamas su oro greičio matavimais [25].

– **Paviršiaus temperatūros matavimai – termografija.** Paviršiaus temperatūros matavimai, naudojant paviršiaus temperatūros matavimo prietaisą arba IR kamerą, gali būti naudojami pastatų dalims, pavienėms zonoms ir visam pastatui. Kai nustatomi nuotėkio taškai, galima atlikti papildomą oro greičio matavimą. Šitam matavimui reikalingas minimalus temperatūrų skirtumas – 5 laipsniai. Infraraudonieji spinduliai, kuriuos matuoja infraraudonųjų spindulių kamera, priklauso nuo nuotėkio, paviršiaus spinduliavimo, izoliacijos ir šiluminių tiltelių [25]. 2.4 punkte pateikti termovizijos taikymo metodų reikalavimai.

– **Oro greičio matavimai.** Oro greičio matavimai yra įtraukti į ISO 7726 [34] ir ISO 7730 [35] standartus. Europos standarte EN 13182 [36] aprašytos oro greičio matavimo prietaisų charakteristikos. Matavimai atliekami esant neigiamam slėgiui, kai žinomos nuotėkio zonos. Šiems tikslams siūlomas anemometras su paklaida <3% [37].

– **Dūmų matavimai.** Dūmų matavimams nėra tarptautinis ISO standartas. Duomenys apie šį metodą aprašyti Amerikos tyrimų ir medžiagų standarte (ASTM) [37]. Dūminis tušinukas arba dūminis butelis naudojamas esant slėgiui ir atliekamas vizualus įvertinimas. Teigiamas slėgis padeda įtraukti dūmų per įtrūkimus į pastatą, esant neigiamui slėgiui – iš pastato [25].

– **Muilo burbulo metodas.** Šis metodas nėra tarptautinis ISO standartas, tačiau jis aprašytas Amerikos testų ir medžiagų asociacijos (ASTM) standarte [37]. Matavimai atliekami esant neigiamam slėgiui. Paviršius padengiamas muilo burbulais, kuriuose susidaro oro burbuliukai. Dideli nutekėjimai gali būti sunkiai nustatyti, kai burbuliukai greitai sprogs [25].

– **Trasuojančių (judančių) dujų metodas.** Trasuojančios (judančios) dujos gali būti naudojamos norint įvertinti orinį sandarumą esant normalioms slėgio sąlygoms. Galima tirti visus pastatus ir atskiras zonas; kelias zonas, kuriose naudojamos kelios dujų rūšys. Bendras oro pasikeitimo greitis matuojamas su tikėtina 5-10% paklaida [31]. Naudojamos indikatorinės dujos ir analizatoriai koncentracijai išmatuoti. Azoto oksidas (N₂O) yra plačiai naudojamas Europoje [38]. Pagrindinis matavimo principas – dujų, kurios gali būti užfiksuotos elektroniniais prietaisais, tiekimas. Šie matavimai gali būti atliekami trimis skirtingais būdais:

1) koncentracijos sumažėjimas – šis metodas numato tiesioginę nedidelio trasuojančių dujų kiekio emisiją į patalpą ir rekomenduojamas atliekant oro kaitos greičio matavimus. Trasuojančių dujų paskirstymo tolygumas užtikrinamas ventiliatoriumi. Kadangi nutraukiant trasuojančių dujų tiekimą jo koncentracijos sumažinimas vyksta pagal eksponentinį įstatymą, oro kaitos greitis gali būti išreikštas taip:

$$K_p = \frac{\ln \cdot C_{(0)} - \ln C_{(t_1)}}{t_1}; \quad (8)[39]$$

čia: $C_{(0)}$ – koncentracija, išmatuota 0 metu, tai yra iš karto po trasuojamų dujų emisijos nutraukimo;

$C_{(t_1)}$ – koncentracija t_1 metu;

t_1 – laikas valandomis, praėjęs tarp matavimų $C_{(0)}$ ir $C_{(t_1)}$.

2) nuolatinė emisija – šis metodas numato nuolatinę emisiją tam tikrą trasuojančių dūmų kiekį patalpoje tam tikru matavimo laikotarpiu. Norint atlikti tokį matavimą reikalingas trasuojančių dujų balionas, dujų tiekimo reguliatorius, elektroninis dujų jutiklis ir ventiliatorius, užtikrinantis vienodą trasuojančių dujų paskirstymą patalpoje. Dujų jutiklis turi būti pakankamai toli nuo trasuojančių dujų emisijos šaltinio (ne mažiau kaip du metrai), o matavimas atliekamas tik esant pusiausvyrai, kuri atsiranda kelias valandas po trasuojančių dujų pasklidimo pradžios (8 valandos, jei be ventiliatoriaus). Kadangi trasuojančių dujų koncentracija patalpos ore yra tiesiogiai proporcinga trasuojančių dujų emisijai ir atvirkščiai proporcinga patalpos tūriui ir oro kaitos greičiui, esant balansui šis rodiklis bus lygus:

$$K_p = \frac{F}{V \cdot C}; \quad (9)[39]$$

čia: F – trasuojančių dujų emisijos kiekis m^3/h ;

C – trasuojančių dujų koncentracija ore m^3/m^3 (be dimensijos);

V – kambario tūris, m^3 .

Šis metodas numato nepertraukiamą trasuojančių dujų emisiją patalpoje ilgą laiko tarpą. Šiuo požiūriu patartina naudoti mažai kainuojančias trasuojančias dujas ir, žinoma, ne toksiškas, tai yra kurios nekenkia žmonių, esančių patalpoje, sveikatai, pavyzdžiui, azoto oksidas, nors tiesa reikėtų pastebėti, kad jo koncentracija neturėtų viršyti 25 ppm (jei kitaip nėra numatyta galiojančiuose teisės aktuose, nes šios dujos turi anestetinių savybių (ppm – tarptautinis koncentracijos vienetas g/kg) – pastovios koncentracijos.

3) pastovi koncentracija – metodas užtikrina, kad būtų išsaugotas tam tikras trasuojančių dujų koncentracijos ore rodiklis. Reikalinga įranga yra dujų balionas, prijungtas prie trasuojančių dujų srovės mechaninio dozavimo vožtuvo, elektroninis dujų jutiklis, prijungtas prie kompiuterio, kuris valdo dozuojančią dujų vožtuvą ir užtikrina pastovų matuojamos koncentracijos lygį, ir ventiliatorius, kuris paskirsto trasuojančias dujas po patalpą. Jei trasuojančių dujų koncentracija patalpos ore išlieka tokio paties lygio, oro kaitos greitis bus proporcingas išmetamų dujų kiekiui ir atvirkščiai proporcingas pačiam tūriui ir koncentracijai, tai yra:

$$K_{p(r)} = \frac{F_{(t)}}{V \cdot C_{(r)}}; \quad (10)[39]$$

čia: $K_{p(t)}$ – oro kaitos greiti per laiką t ;

$C_{(r)}$ - trasuojančių dujų koncentracija ore m^3/m^3 (be dimensijos) per laiką t ;

V – patalpos tūris, m^3 ;

$F_{(t)}$ - trasuojančių dujų emisijos tūris per laiką t .

Šis metodas leidžia nustatyti oro kaitos greitį per gana ilgą laiką. Matavimai gali būti ypač naudingi tais atvejais, kai pasikeitimų skaičius nėra pastovus. Jei duomenis paversti į laisvo grafiko formą, galima įsivaizduoti oro kaitą laike [39].

-Ventiliatoriaus slėgio (Blower door) technologija. Nekontroliuojamas vidaus šilumos ir drėgno oro nutekėjimas, o taip pat išorinio oro pritekėjimas (taip vadinamosios eksfiltracija ir infiltracija) turi įtakos patalpų šildymui, aušinimui ir techniniam aptarnavimui, daro didelę įtaką tiek gyvenimo patogumui, tiek pastato eksploatavimo išlaidoms. Tokiu atveju šilumos nuostoliai patalpose gali būti iki 25%. Išlaidos, susijusios su oro izoliavimo pažeidimų pašalinimu, paprastai yra daug kartų didesnės už jos įrengimo kainą.

Net labai nedidelis nesandarumas garus izoliuojančioje sistemoje, atsiradęs, pavyzdžiui, dėl netinkamo membraninių jungčių kljavimo arba membranų prišlijimo prie sienų ir grindų, turi ilgalaikių pasekmių. Tokie defektai gali sukelti tokias pačias rimtas pasekmes kaip ir tai, jei tai būtų kiaura išdroža tarp lango rėmo ir mūrinės sienos.

Padidėjusios šildymo ir oro kondicionavimo sąnaudos, atsiradusios dėl izoliacijos nehermetiškumo, lemia mažą būsto rentabilumą. Remiantis Statybos fizikos instituto Štutgarte (Vokietija) atliktu tyrimu, 80 m^2 gyvenamojo ploto namui, kuriame yra spragos ir nesandarios jungtys garo izoliacijoje, reikia tiek pat energijos šildymui kaip ir 400 m^2 namui, kur visos garus izoliuojančios membranos jungtys yra atliktos techniškai nepriekaištingai.

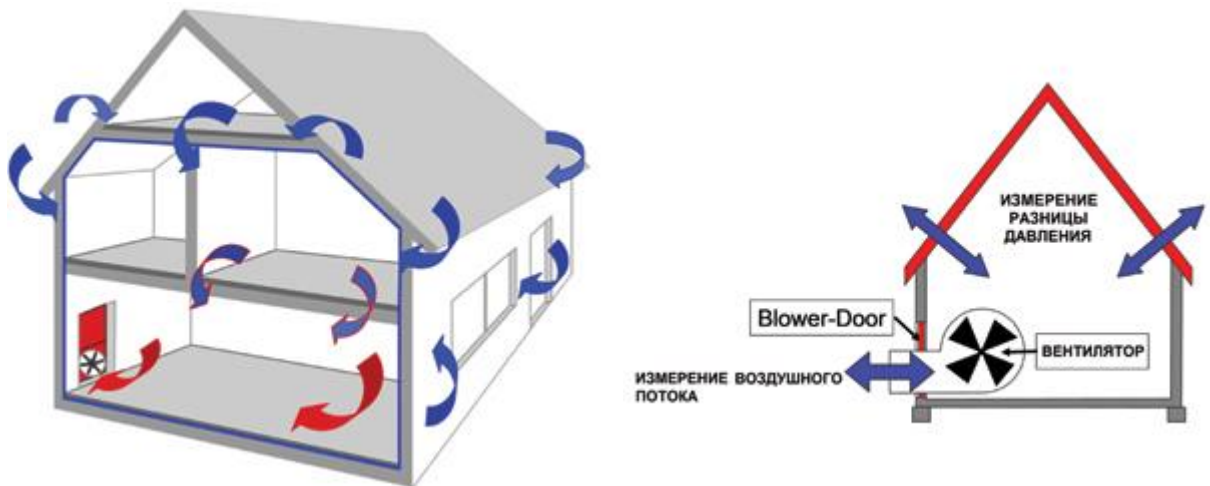
Žiemą patalpoje dažnai pastebimas "sausos oro" reiškinys kyla dėl to, kad šaltas išorinis oras, kuriame yra nedidelis absoliutus vandens garų kiekis, prasiskverbia į namą per nesandarius tarpus ir įtrūkimus. Po įkaitinimo dėl šildymo dar labiau sumažėja jo santykinė drėgmė (talpos drėgmė). Rezultatas yra nekomfortiška atmosfera patalpoje – kartais santykinė sušildyto oro drėgmė yra daug mažesnė už minimalų priimtina 40% lygį.

Per tarpą, kurio dydis siekia vos 1 mm garus izoliuojančioje sistemoje, konvekcijos būdu per vieną žiemos dieną į konstrukciją gali patekti iki 800 g drėgmės 1 m tarpelio ilgiui. Per tą patį laikotarpį per izoliuojančią konstrukciją be tarpelių, garus izoliuojančioje sistemoje difuzijos būdu patenka maždaug 5 g drėgmės.

Siekiant išvengti tokių problemų yra specialūs įrenginiai oro nutekėjimui aptikti – BLOWER DOOR (kartais vadinamas DOOR FAN) ir PRO CLIMA WINCON. Įrenginio kaina, įskaitant programinę įrangą ir įvairius atnaujinimus, svyruoja nuo 1300 iki 1800 eurų (priklausomai nuo sistemos).

Šių prietaisų naudojimas yra ypač veiksmingas mažuose gyvenamuosiuose pastatuose, tačiau šis metodas taip pat naudojamas ir dideliuose objektuose. Statybos organizacijos gali naudoti šią metodiką (toliau pagal įrangos pavadinimą BLOWER DOOR) siekiant nustatyti atskirus oro nuotėkio konstrukcijoje riužus, o taip pat tikrinant viso pastato sandarumą. Galimų defektų nustatymas prisideda ne tik prie jų pašalinimo, bet ir galimų klaidų ateityje išvengimo. Šios metodikos taikymo procese įgyta patirtis ir žinios apie pastato oro srauto dinamiką gali būti naudojami tiek projektuojant tiek ir statant.

Hermetiškumo patikra atliekama sukuriant slėgio skirtumą – naudojant ventiliatorių, sumontuotą duryse arba namo lange, pastate sukūriamas 50 Pa „mini vakuumas“. Tuo pat metu per izoliacinio sluoksnio defektus oro srautai spaudžiasi į vidų. Geriausia, kad šis patikrinimas būtų atliekamas prieš įrengiant apdailą. Tokiu atveju visi nutekėjimai ir įtrūkimai gali būti nustatyti iškart per patikrinimą. Defektų nebuvimas ir buvimas dokumentuojamas formalaus priėmimo metu. Toks patikrinimas trunka kelias valandas, priklausomai nuo pastato dydžio ir formos sudėtingumo [40].



2.1 pav. Oro srauto matavimo schema [40]

Reikia nepamiršti, kad stogo konstrukcijų patikrinimas yra įmanomas tik įrengiant tarpinę izoliaciją ir negalimas montuojant šilumos izoliaciją virš stogo konstrukcijos, kai pastato atitvara yra baigta (įskaitant langų rėmų montavimą) [40].



2.2 pav. Aerodurys [40]

Sistemos sudėtyje yra:

- galingas ventiliatorius su keliais greičiais;
- rėmas, skirtas sistemos montavimui į durų angą ir valdymo skydelyje;
- manometras slėgio pusėje ir srauto greičio matuoklis (kanalas A fiksuoja slėgio pokyčius pastato viduje, kanalas B fiksuoja ventiliatoriaus išpūsto oro srauto jėgą);
- valdymo skydelis (ventiliatoriaus greičio valdymas ir perjungimas, įmanomas automatinis bandymas).

Blower-Door metodą galima trumpai aprašyti taip:

- pastate uždaromos visos durys ir langai, ventiliacijos kanalai, krosnys ir dūmtraukiai;
- sukuriama įprastinės būsto eksploataavimo sąlygos;
- laukinių namo durų angoje sumontuojamos aerodurys (pažodžiui "BLOWER DOOR" reiškia "ventiliatorius duryse", 2.2 pav.);
- naudojant ventiliatorių, oras ištraukiamas iš namo, kol skirtumas tarp vidinio ir išorinio slėgio siekia 50 Pa, tuo pat metu išmatuojamas oro praėjusio per ventiliatorių tūris ir laikas, per kurį toks slėgio kritimas buvo sukurtas.

Dėl įsiurbimo išorinis oras pradeda sunktis į namą per bet kokius nesandarius sujungimus ir spragas. Žinoma, kuo mažesnė oro apykaitos reikšmė, tuo kokybiškesnis oro / garų izoliacijos sluoksnis.

Moderniems Vokietijos namams, kuriuose įrengta tiekimo ir ištraukimo ventiliacijos sistema, maksimali oro pasikeitimo vertė yra $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$, o namams, pastatytiems naudojant

"passiv haus" technologiją, – tik $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Tai leidžia namų savininkui ne tik sumažinti savo išlaidas, bet ir gauti vyriausybės subsidijas šildymui.

Garams ir vėjui atsparias plėveles reikia sandariai sujungti persidengimo zonoje ir sutankinti stogo konstrukcinių elementų jungties taškuose (2.3 pav.). Nehermetiškų zonų nustatymas vidaus patalpose atliekamas kaip paprastas patikrinimas: ar nepučia mansardos kampuose, aplink angas ar atramas (langų ir durų angos, elektros kištukų ir jungiklių lizdai, šildytuvų konstrukcijos ir t.t.). Tai gali būti padaryta pakišant ranką. Be to, galima naudoti specialius miltelių arba dūmų generatorius.



2.3 pav. Garams ir vėjui atsparias plėvelių sandarinimas [40]

Vien tik technologijos BLOWER DOOR naudojimas turi apribojimų. Visų pirma, jis gali būti naudojamas nustatant sandarumo laipsnį, taip pat nutekėjimo vietą, tačiau sunku tiksliai nustatyti šaltinį. Nutekėjimo trajektorija gali eiti per visą pastato korpusą (kertant visas nesandarias vietas). Tokio tipo nutekėjimas leidžia patekti į vidų gana dideliame oro tūriui. Oro srautų judėjimas priklauso nuo vėjo stiprumo ir krypties, pastato formos, ypač nuo jo stogo ir kt. Paslėptus oro nuotėkio ir šilumos kelius galima aptikti naudojant IR skenavimo ir išorinės kontrolės derinį.

Naudojant mišrų BLOWER DOOR, infraraudonųjų spindulių termografijos ir termoanemometrų metodiką galima pasiekti maksimalų namo konstrukcijos oro laidumo kontrolės patikimumą. Be to, infraraudonųjų spindulių kameros leidžia grafiškai dokumentuoti oro infiltracijos ir eksfiltracijos sritis.

Termoanemetrai yra efektyviausias instrumentinės kontrolės metodas. Tai yra oro srauto greičio matavimo prietaisai nuo $0,1 \text{ m/s}$ ir didesni, kurių veikimo principas grindžiamas srauto greičiu ir vielos šilumos perdavimo santykiu, patalpintos į srautą ir įkaitintos elektros srove.

Prietaisai leidžia patikrinti konkrečią vietą stogo konstrukcijoje, atsižvelgiant į apsaugą nuo konvekcinio oro apykaitos. Kontrolė atliekama prieš patalpų apdailos pradžią [40].

Duomenų taškų ekstrapoliacija. Slėgio skirtumas 50 Pa gali būti apsunkintas naudojant standartinę ventiliatorių įrangą dideliuose arba nesandariuose pastatuose. Tada rekomenduojama ekstrapoliacija iki 50 Pa nuo mažesnio slėgio, kad būtų galima palyginti pastatus [25]. Ekstrapoliacija taip pat naudojama oro pasiskirstymui esant 50 Pa į slėgio diapazoną, kuri natūraliomis sąlygomis patiria pastatas. Tyrimai rodo, kad įprasti aukštesnio slėgio matavimų rezultatai gali būti ekstrapoliuoti iki natūralaus slėgio [41]. Netikslumas atlikus tik 2 matavimus siekia 13% [42].

Slėgio bandymas atskirose zonose arba butuose. Didelių pastatų tyrimams galite išmatuoti ir naudoti atskiras zonas arba butus.

Matavimai gali būti atliekami:

- bendram pastato plotui;
- pastato išorinės aptvaros paviršiui;
- atitvarai susietai su kaimyniniais butais.

Šis metodas, vadinamas "subalansuoto slėgio ventiliatoriumi", yra tikslesnis, tačiau reikalauja daugiau įrangos. Oro nuotėkiai gali būti tarp butų viename pastate; dideli butai dažniausiai yra daug pralaidesni, nes jie turi daugiau išorinių sienų [25].

Šis metodas yra paskelbtas tarptautinių organizacijų, tokių kaip ASHRAE. Matavimo paklaida yra 15% [43].

Atskiri pastato komponentai. Statybiniai komponentai gali būti tiksliausiai išbandyti slėgiui laboratorijoje. Moksliniai tyrimai laboratorijoje dažnai atliekami su langais ir durimis, tačiau jie netinka sienoms ar stogams. Objekte gali būti naudojama kamera arba papildoma siena. Vidiniai nuotėkiai gali būti pašalinti, jei kambarys už kameros ar sienos ribų sandarinimas iki subalansuoto slėgio [25]. Viso pastato slėgis gali būti naudojamas nustatant nutekamus selektyviai sandarinant įvairias vietas. Slėgio kompensavimo jutiklis, veikiantis nulinio slėgio principu, gali būti naudojamas redukavimo sutankinimui, bandymo kamerei arba papildomai sienai. Vidaus nuotėkio srautai tada bus minimalūs [30].

Sandarimas su pastato sistema. Pastatų ventiliacijos sistema gali būti naudojama padidinant spaudimą, sukant atgalinį ir ištraukiamą orą. Šis metodas aprašytas Kanados standarte CAN / CGSB-149.15-96 [43]. Tam, kad slėgis būtų keičiamas tiksliai, reikalinga ventiliacijos sistemos valdymo sistema [25]. Oro srautas gali būti matuojamas naudojant matavimo dujas, jei skaitiklių neįmanoma įdiegti vėdinimo sistemoje [8]. Metodas gali būti naudojamas visam pastatui ar atskiroms zonoms, kurios naudoja savo orą. Atskirose zonose taip pat reikia slėgti visas gretimąsias zonas. Slėgio kritimas turėtų būti nuo 10 iki 60 Pa, intervalais 5-10 Pa. Buvo įrodyta,

kad oro srauto apimtį matavimai naudojant oro srauto matavimo zondus nėra tikslūs 2,1-6,3% [39].

Kintamosios srovės įtampa. Kai kintamosios srovės slėgis kyla, vožtuvas naudojamas kuriant svyruojantį slėgį, dėl ko vidinis tūris nepastebimai keičiasi sinusoidiškai. Šis metodas veikia tik laminariniam tekėjimui, o dideli nutekėjimai gali likti nepastebėti. Šis metodas šiuo metu nenaudojamas; nes tai sunku, bet gali būti naudojamas, kai negalima naudoti ventiliatoriaus. Tai taip pat leidžia analizuoti oro sandarumą žemo slėgio kritimo metu su minimaliais klimato jėgos trukdžiais [25, 39]. Gautas slėgio tūrinio nuokryois yra apie 4 Pa, o oro srauto matavimo paklaida, atitinkanti slėgio skirtumą 5 Pa, yra įvertinta 5% [40].

Impulsinis slėgis. Impulsinis slėgis – dar vienas dinaminis sandarumo matavimas. Impulsinis slėgis atliekamas viduje su oro rezervuaru, taikant spaudimą ir išmatuojant slėgio kritimą. Šis metodas tinkamas tik laminariniam tekėjimui, o tai apriboja jo panaudojimą mažuose namuose ar butuose, nes nestacionarus srautas gali išsivystyti dėl slėgio skirtumo matuojamoje erdvėje [24]. Šis metodas nėra labai tikslus, bet jam nereikalinga sunki įranga.

Apibendrintos plačiausiai taikomų sandarumo matavimo metodų charakteristikos pateiktos 2.4 paveiksle.

Table 1: Measurement methods for air tightness.

	Ocular	Acoustic	Light	Hand	Surface temperature	Air velocity	Smoke	Soap bubble	Tracer gas	Building system pressure	AC pressure	Pulse pressure
Standardization	General	x	-	x	x	-	-	x	x	-	-	-
	National	-	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-
	International	-	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-
	Experimental	-	-	-	-	-	-	-	x ^a	-	x	x
Aim	Improve (qualitative)	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
	Verify (quantitative)	-	-	-	-	x ^b	-	-	x	x	x	x
Building phase	In the building process ^c	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
	New building	-	x	- ^d	-	x	x	-	-	x	x	x
	Existing building	x	x	-	-	x	x	x	-	x	x	x
Measured space	Building components	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
	Single zones	x	x	x	x	x	x	x	x	x ^e	x	x
	Whole buildings	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Multi- zone buildings	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-
Measured quantity of air tightness	q _{Δp}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
	w _{Δp}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
	n _{Δp}	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	-
	ELA	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Unit	-	Hz/dB	-	-	°C	m/s	-	-	1/h	1/h	1/h m ³ /h,m ²	m ²
ΔP	-	-	-	Negative	>±5 Pa	Negative	Positive/ Negative	Negative	-	10 – 60 Pa	≈4 Pa	Any
Normalization used	Volume	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	-
	Floor area	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
	Envelope area	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
Uncertainty	-	-	-	-	-	-	-	-	5-10% ^f	2,1-6,3% ^g	5% ^h	- ⁱ
Technology complexity	Low	x	-	x	x	-	-	x	x	-	-	x
	Medium	-	x	-	-	x	x	-	-	x ^j	-	-
	High	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-

2.4 pav. Sandarumo matavimo metodai [23]

2.4. LST EN ISO 9972:2015 rekomendacijos pastato sandarumo analizei

Šis tarptautinis standartas apibūdina kelis bandymų metodo tipus, priklausomai nuo tikslo. Pastato paruošimas priklauso nuo pasirinkto tyrimo metodo:

- I. Visos pastato natūralaus vėdinimo angos uždaromos, o mechaninio vėdinimo ar kondicionavimo angos užsandarinamos.
- II. Pastato kevalo sandarumo bandymas, kai visos numatytos atitvarų angos yra užsandarinamos, o langai, durys ir liukai uždaromi.
- III. Tikslingai atliekamas pastato bandymas, kai atitvarų angos turi būti uždarytos arba atidarytos, siekiant patikrinti jų atitiktį šalyje galiojantiems standartams [44].

Pirmu atveju būtina uždaryti visus langus ir duris išorinėje atitvaroje. Taip pat turi būti uždaryti natūralaus vėdinimo ventiliacijos angos.

Visa pastato mechaninė ventiliacija arba oro kondicionavimo angos turi būti užsandarintos:

- pagrindiniai ortakiai tarp ventiliatoriaus ir pastato atitvaros;
- visi atskiri oro terminalai;
- angos į išorę (per kurias paduodamos ir išmetamos dujos)

Kitos atitvarų angos, įskaitant pertraukiamą mechaninį vėdinimą ar oro kondicionavimą, turi būti uždarytos.

Apsaugos nuo ugnies ir dūmų priemonės turi būti įprastose jų naudojimo vietose, pvz., gaisro skydai (gesintuvai) ir dūmų detektoriai. Angos, kurios nėra skirtos vėdinimui atitvarose, pvz., pašto dėžutė, sumontuota išorinėse duryse ar sienose, šildymo prietaisas ir pan., turi būti uždarytos. Negalima naudoti jokių papildomų priemonių, kad pagerintumėte pastato apvalkalo sandarumą.

Antruoju atveju, uždarius visus langus, duris atitvarose, ventiliacija atidaroma natūraliam vėdinimui. Mechaninio vėdinimo arba oro kondicionavimo įtaisai sandarinami, kaip nurodyta 1-ame variante.

Visos likusios numatytosios atitvarų angos turi būti užsandarinamos, uždaromos arba atidaromos pagal konkretų bandymo tikslą (pavyzdžiui, siekiant atitikti pastato projektą ar sandarumo standarto specifikaciją)

Trečiuoju atveju tikslinės atitvarų angos turi būti užsandarinamos, uždaromos arba atidaromos pagal konkretų bandymo tikslą (pavyzdžiui, siekiant atitikti pastato projektą ar sandarumo standarto specifikaciją).

Angos, kurios nėra skirtos vėdinimui atitvaroje, užsandarinamos, uždaromos arba atidaromos pagal konkretų bandymo tikslą.

Visiems metodams atliekamas bendras pastato būklės stebėjimas. Fiksuojamos pastabos apie langus, duris, nepermatomas sienas, stogą ir grindis, reguliuojamą angos padėtį ir bet kokį

sandariniamą, pritaikytą numatomoms angoms. Visas bandomasis pastatas ar jo dalis turi būti sukongigūruoti taip, kad reaguotų į suspaudimą kaip viena zona. Praktiniais ir saugos sumetimais leidžiama uždaryti kai kurias duris, pavyzdžiui, prieigą prie lifto ar aukštos įtampos.

Prie pastato kevalo prijungiama orą nukreipianti įranga, naudojant langą, duris arba ventiliacijos angą. Užtikrinama, kad tarp įrangos ir pastato sandūros būtų sandarios, kad būtų išvengiama bet kokio nuotėkio.

Jei pastato šildymo, vėdinimo ir kondicionavimo sistemoje naudojama oro įranga, ventiliatorius ir amortizatorius pastate galima naudoti, kad sistema galėtų sukelti arba staigiai sumažinti pastato slėgį ir tokiu būtu galima išmatuoti bendrą arba išorinį oro srautą [44].

2.5. Statybinių konstrukcijų diagnostika termografijos metodu

Infraraudonųjų spindulių termovizija yra šiuolaikinis nestruktūrinis matavimo metodas, skirtas iširti rekonstruotus arba ne renovuotus pastatus. Infraraudonųjų spindulių kameros suteikia galimybę atlikti temperatūros analizę statybinėse konstrukcijose tiek iš vidaus, tiek iš išorės. Tokiu būdu galima aptikti šiluminius tiltelius. Buvo įrodyta, kad infraraudonųjų spindulių termovizija taikoma izoliacijos apžiūrai, nustatant oro nuotėkį ir šilumos nuostolių šaltinius, nustatant tikslią šildymo vamzdelių padėtį arba nustatant priežastis, dėl kurių pelėsis arba drėgmė auga tam tikroje vietoje, ir taip pat naudojama siekiant aptikti paslėptas charakteristikas, statybinių konstrukcijų pablogėjimą [45].

Pastatų konstrukcijų diagnostikos ir testavimo metodai skirstomi į ardомуosius, pusiau ardомуosius ir neardомуosius. Neardومیieji testavimo metodai yra neinvaziniai metodai, naudojami medžiagos ar struktūros vientisumui nustatyti ir kiekybiškai išmatuoti keletą objekto charakteristikų. Skirtingai nuo ardomojo testavimo metodo, neardومیieji metodai gali būti atliekami nedarant nepataisomos žalos testuojamiems objektams bei nenaudojant fizinių išteklių. Infraraudonųjų spindulių termovizija yra ne ardomoji tyrimo technologija. Ji buvo naudojama pastaruosius 30 metų, siekiant išbandyti ir diagnozuoti pastatus, statinius ir kultūrinį paveldą. Tai pasirodė esąs efektyvus, patogus ir ekonomiškąs metodas, naudojamas išsaugojimo srityje, siekiant nustatyti paslėptus pastatų struktūros ypatumus (egzistuojančias formas, struktūrinius pokyčius, ertmės buvimas), rodyti morfologiją, įvertinti ŠVOK (šilumos, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos) veikimo charakteristikas, aptikti degradaciją (įtrūkimus), nustatyti oro nuotėkio šaltinius, nustatyti šilumos nuostolius, nustatyti drėgmę izoliacijoje ir įvertinti apsaugos priemonės (operacijų stiprinimas) [46].

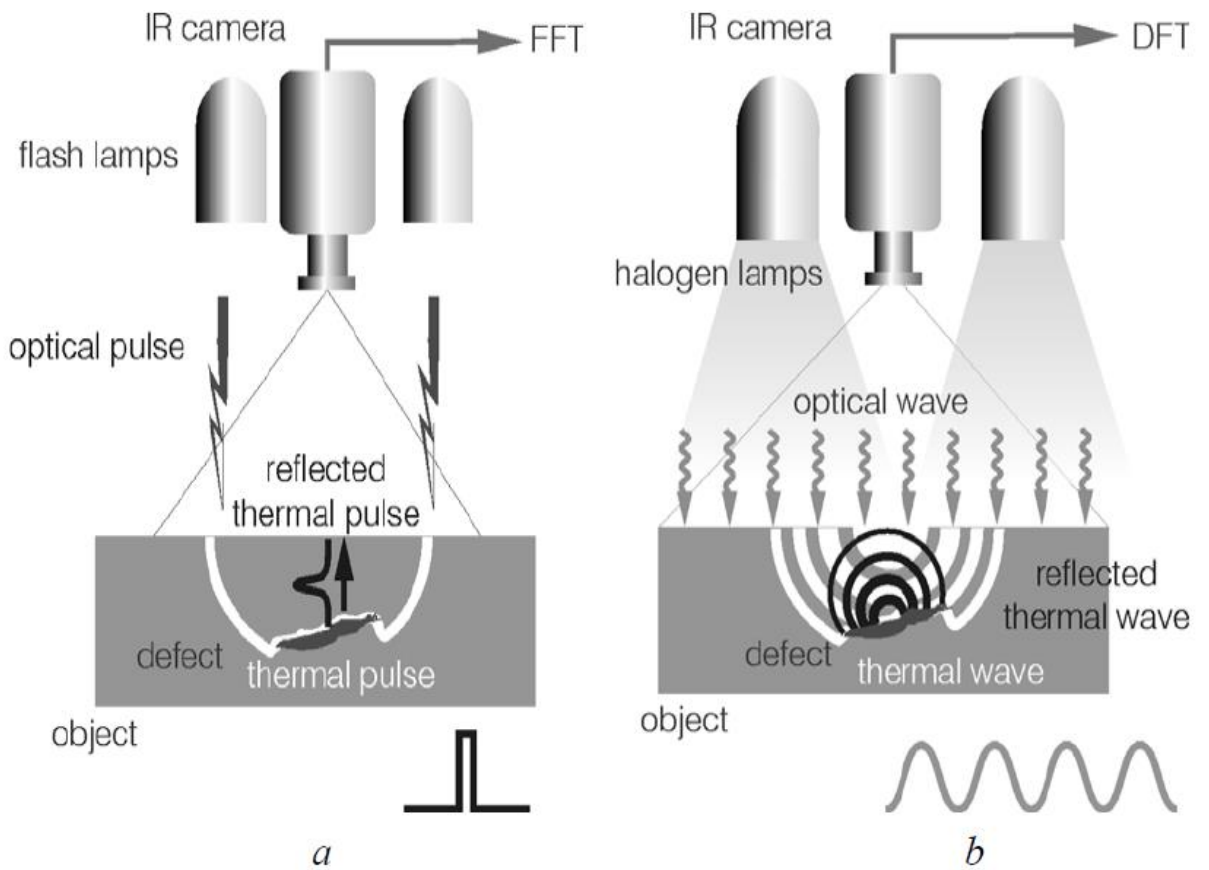
Termografinė nuskaitymo sistema gali matuoti ir nustatyti temperatūros pasiskirstymą spinduliavimo, išsiskiriančiomis iš šildomo objekto paviršiaus, be fizinio kontakto tarp matavimo įrangos ir tiriamojo paviršiaus bandymo metu pagrindu. Kaip rezultatas, gaunamas terminis dvimatis objekto vaizdas, skirtingais atspalviais arba pilka spalva. Matavimo bandymo principas grindžiamas

tu, kad bet kokia medžiaga nuolat išmeta energiją (elektromagnetinį spinduliavimą), proporcingą jų paviršiaus temperatūrai. Ši energija priklauso nuo spektro savybių (spinduliuotės, atspindžio), šiluminių savybių (laidumo, pačios medžiagos talpos perdavimo šilumos, specifinės šilumos, šilumos difuzijos) ir kitų fizikinių medžiagų savybių (poringumo, tankio, vandens kiekio). Norint gauti stebimo elemento paviršiaus temperatūros skirtumą, reikia matyti ankstesnį paviršiaus šildymą. Tai galima gauti pasyviu ar aktyviu metodu. Statiška (pasyvioji) termografijos technologija pasiekama naudojant saulės spinduliavimą, siekiant užfiksuoti šiluminius vaizdus nenaudojant išorinės šildymo ar vėsinimo sistemos ir esant normalioms aplinkos sąlygoms [47].

Matuojamą temperatūrą įtakoja trys veiksniai: paviršiaus konfiguracija, paviršiaus charakteristikos ir aplinkos sąlygos. Paviršiaus konfiguracija nustato skirtingus izoliacinius gebėjimus ir įvairias šilumos laidumo reikšmes (orinės ir mažo tankumo ruožai kuria mažesnę šilumos laidumą). Paviršiaus būklė turi poveikį paviršiaus spinduliavimui (didesni šiurkštumo paviršiaus vertės ir mažesnės vertės sklandžiam paviršiui). Aplinkos sistema (saulės spinduliuotė, debesys, aplinkos temperatūra, vėjo greitis, paviršiaus drėgmė), kuris supa paviršių, daro įtaką vaizdo aiškinimo pagrįstumui [48].

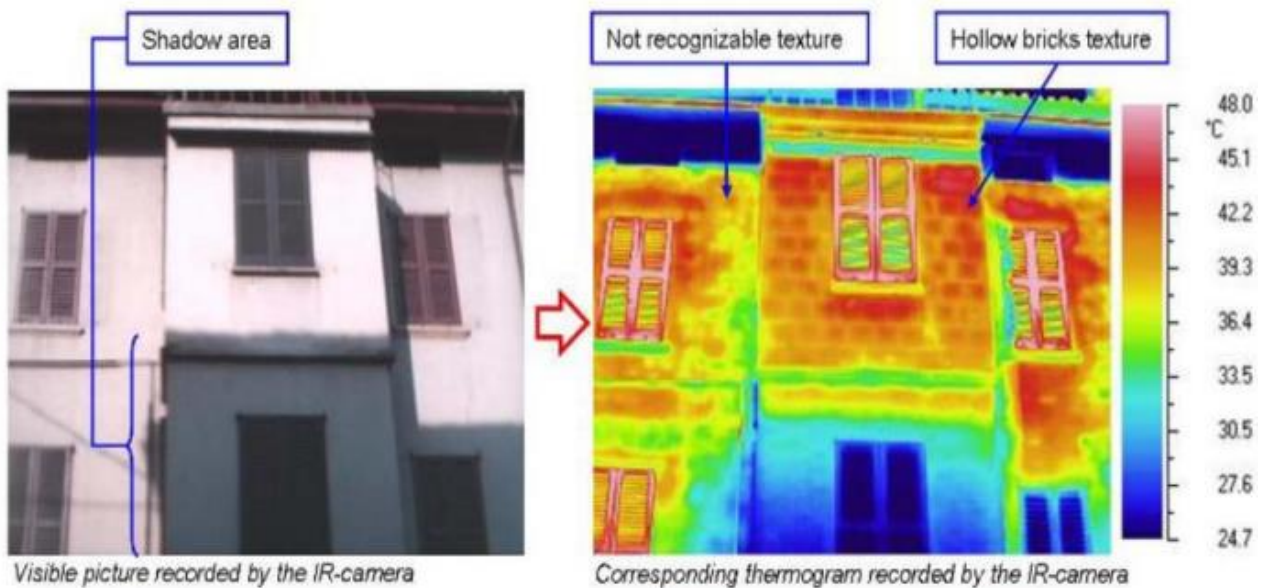
Nustačius tinkamas tyrimo sąlygas, vaizdo įrašus galima įrašyti per natūralų aušinimo procesą nakties metu, kai saulės spinduliavimo nebėra. Dauguma anomalijų bus aptiktą termografinio vaizdo srityse, kuriose yra žemesnės temperatūros nei gretimose srityse. Dienos šviesos analizė parodys atvirkščius rezultatus – pažeistuose plotuose bus aukštesnė temperatūros vertė. Šis metodas dažnai naudojamas bandant didelius plotus, suteikiant šilumos šaltinį nedideliu kaštu ir užtikrinant tolygų paskirstymą bandomajame paviršiuje [48].

Dinaminė (aktyvi) termografija dažnai yra pasirinkta, norint išnagrinėti pastato vidų, naudojant išorinį švitinimo šaltinį (IR). Energija tiekama į objektą dinamiškai periodiškai (lockin thermography) arba dinamiškai vieno šūvio būdu (impulsinė termografija). Šiluma įsiskverbia į tiriamąjį objektą, o paviršiaus temperatūros pasiskirstymas priklauso nuo medžiagos ir jos vidinių sluoksnių šiluminių savybių. Nematomi tiriamo objekto paviršiaus defektai bus aptikti išmatuojamiems temperatūros skirtumams (trukdantiems šilumos srautui) vietiniame paviršiaus rajone, kai vyksta vėsinimo procesas [49].



2.5 pav. Impulsų fazės termografija (a) ir optiškai sužadinta spindulinė termografija (b) [50]

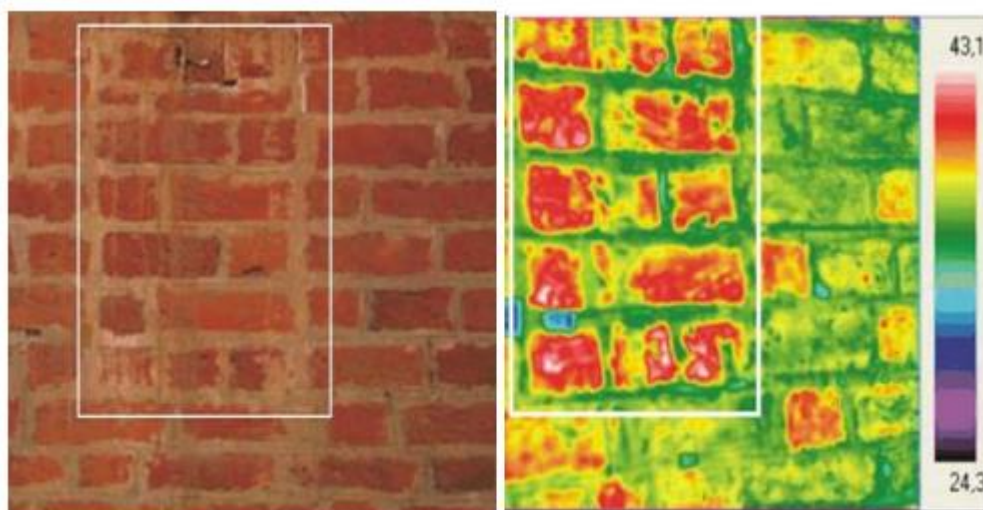
Termografinis nestruktūrinis metodas nuolat gerėja ryšium su naudojimo paplitimu, besivystančiomis technologijomis ir šio metodo naudojimo optimizavimu. Yra daug pavyzdžių (2.6 paveikslas), kai termografinis metodas naudojamas siekiant nustatyti paslėptus statybinių konstrukcijų ypatumus išsaugant pastato struktūrą.



2.6 pav. Istorinio pastato mūrinės tekstūros aptikimas [47]

Termogramoje parodytas objektas, sudarytas iš tuščiavidurių plytų, bet dėl tinko storio ir atstumo nuo fotografavimo taško originalios mūrinės sienos tekstūra nėra atpažįstama [47].

Pasyvi termovizija, pritaikyta istorinių pastatų fasadams Atėnų Akademijoje Pirėjoje (Graikija), siekiant ištirti, išnagrinėti paviršiaus pakeitimus (2.7 pav). Jis buvo pritaikytas siekiant gauti terminius vaizdus su ketinimu įvertinti jų temperatūros pasiskirstymą ir aptikti problemines sritis. Šie terminiai vaizdai buvo matuojami laboratorijoje pagal ASTM standartą E1933-97, siekiant kiekybiškai įvertinti problemines sritis [51].



2.7 pav. Mūrinės sienos analizė senoje bažnyčioje Lady Mary Malborke [49]

2.6. IR termografijos, patvirtinančios higroterminį perdavimą pastatuose, taikymas

Termografijos kameroje detektoriai nustato atsekamąjį bangos ilgio diapazoną ir labai svarbu išlaikyti atmosferos langus nes tik šiuose languose oro perdavimo greitis yra pakankamai didelis aptikti nepažeistą IR. Dauguma kamerų veikia bendruose dviejuose bangų ilgio intervaluose nuo 3 iki 5 μm arba 8 ... 12 μm (mikrometrais). Kitas langas yra tarp infraraudonųjų spindulių 0,78 ... 3,0 μm . IR spinduliuotė yra elektromagnetinė banga, kurios bangos ilgis svyruoja nuo 0,78 μm (netoli IR arba trumpo bangos ilgio) iki 1 000 μm (tolimojo infraraudonojo spindulio arba ilgio bangos ilgis). "Ilgųjų bangų" skaitytuvams naudojamas ir filtruojamas 8 ... 12 μm bangų juostos diapazonas, kuris yra labiausiai efektyvus naudojant statybos tikrinimams, kurio tikslinė temperatūra yra nuo 27 ° C iki 65 ° C [52].

Specialistai mano, kad dauguma pastatuose naudojamų medžiagų, skirtų apdailos procesams, turi emisijos koeficientus nuo 0,90 iki 0,96 ir todėl geras pastato šiluminių savybių įvertinimas gali būti atliekamas tik su vienu, atskleidžiančiu tokį pat spinduliavimo poveikio, tačiau yra daug veiksnių, negrindžiančių šio teiginio [45].

Dažniausiai naudojamų statybinių medžiagų spinduliavimo koeficientai [51]

Medžiaga	ε
Betonas	0.94
Smėlis	0.76
Plytos	0.75...0.80
Kalkakmenis	0.95
Gipsas	0.90...0.96
Stiklas	0.90...0.96
Mediena	0.80...0.90
Stogo danga	0.93
Gipsas	0.80...0.90
Dažai (visos spalvos)	0.90...0.96
Molis	0.95

Skirtingi bandymai naudojant keturias skirtingas spinduliavimo vertes (0,62, 0,85, 0,91 ir 0,95) parodė, kad radiacijos spinduliuotė sukelia šilumos vaizdų pokyčius tiek absorbcijos, tiek džiovinimo metu. Terminiai vaizdai, gauti su 0,62 spinduliavimu, skiriasi nuo kitų vaizdų, bet skirtumai tarp kitų termogramų (spinduliuotės yra 0,85, 0,91 ir 0,95) nebuvo labai reikšmingi. Buvo padaryta išvada, kad gautose terminiuose vaizduose su spinduliavimo koeficientu 0,85 izotermija paprastai buvo aiškesnė. Tačiau protingas spinduliavimo vertės pasirinkimas gali supaprastinti terminį vaizdą bet apskritai spinduliavimo įtaka tapo mažiau svarbi [53].

Kita pagrindinė termografijos naudojimo pastatų kontrolei sąlyga – turi būti užtikrintas 20°C skirtumas tarp vidinės ir išorinės temperatūros, bet kartais net ir 10° C temperatūros skirtumas yra pakankamas. Šie parametrai reikalauja, kad būtų atlikti pastatų tyrimai tik per šaltus laikotarpius, kai aplinkos temperatūra yra arti nulio. Viduje spinduliavimo įtaka turi didesnę reikšmę dėl tokių atmosferos sąlygų kaip vėjas, lietus, sniegas ar saulė, o taip pat pastato parametrai (pavyzdžiui ventiliuojami fasadai) turi įtakos poveikio rezultatams. Tuo metu kai šiluminiai tilteliai gali būti matomi iš išorės, viduje gali būti pastebimi šaltieji tilteliai. Šaltosios vietos aiškiai išsiskiria ant sienų, grindų kampų arba langų rėmų [54].

Pagrindiniai veiksniai, įtakojantys IR termografijos tyrimo svarbai nurodyti žemiau:

- a) klimato sąlygos: izoliacija, vėjas, aplinkos temperatūra, santykinė drėgmė, šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija (vandens garai, CO₂).
- b) modelio charakteristikos: spinduliavimo / atspindžio koeficientas, šiurkštumas ar netolygumas; dėmės ir sienų paviršiaus spalva; sienų apdailos konstrukcija (pvz. labai stora apdaila).

c) aplinkos trūkumai: regėjimo kampas ir filmavimo atstumas, saulės spindulių poveikis tyrimo rezultatams, bet kokių šilumą generuojančių įrenginių buvimas pastato viduje, ekranuojantys (užstojančios) objektai (pvz., medžiai, šešėlis nuo karnizo ar šalia esantis pastatas)[55].

Paprastai galima aptikti šildymo sistemų nutekėjimą, netinkamai sumontuotą izoliacijos sluoksnį ar rasti netinkama šildymo sistemos izoliacija arba paslėptas medienos ruošinys, kuris buvo apmuštas. Neardomasis infraraudonųjų spindulių termografijos metodas tiksliai atskleidžia higroterminį perdavimą per pastato atitvaros sistemas [55].

2.7. Šiluminių tiltelių savybės

Pastato apvalkalas – fizinis atskyrimas nuo sąlyginės ir besąlyginės pastato aplinkos, įskaitant atsparumą oro, vandens, šilumos, šviesos ir triukšmo perdavimui [56].

Tarp įvairių elementų, kurie sudaro pastatą, atitvara daro didesnę poveikį energijos vartojimui. Labai efektyvios atitvaros termofizinės savybės leidžia žymiai sumažinti pastatų energetinę vertę. Šis atitvaras paprastai susideda iš skirtingo storio sluoksnių ir šilumos laidų, kurie lemia jų šilumos pralaidumą. Tačiau yra atitvaros sričių, kuriose skirtingų elementų jungtis sukelia šiluminius tiltelius. Šiluminiai tilteliai suprantami kaip atitvaros dalis, kuri rodo šiluminės varžos pasikeitimus dėl tokių veiksnių, kaip medžiagų, turinčių didelį šilumos laidumą ir geometrinius pokyčius, kaip tai įvyksta sienų, grindų, lubų arba langų jungtyse [57].

Šie šiluminiai tilteliai yra atsakingi už šilumos nuostolius žiemą ir šilumos padidėjimą vasarą [56]. Šia prasme šiluminiai tilteliai gali pakisti net 30% šilumos poreikio tose patalpose su apvalkalais, turinčiais didelį izoliacinį sluoksnį. Tai atsitinka, nes šiluminiai tiltai gali padidinti šilumos perdavimo vertę iki 35% [58]. Taigi, dėl mažos šiluminės varžos ir su tuo susijusiais energijos nuostoliais, šilumos tiltelių analizė įtakoja pastato energetinę paklausą ir energijos išsidėstymą apsaugos priemonėse (ECM) [59, 60].

Be to, šiluminiai tilteliai yra atsakingi už tam tikras patologijas, kurios gali atsirasti pastatuose, pvz., plotų formų atsiradimas ir kondensatas dėl vidinės paviršiaus temperatūros sumažinimo [61], taip pat nuo medžiagos dėl šių pažeidimų [62]. Šilumos tiltelių aptikimas ir kiekybinis nustatymas yra viena iš svarbiausių veiklos rūšių atliekant energijos vartojimo auditą. Bandymų, tokių kaip infraraudonųjų spindulių termografija arba pūstuvai, naudojimas leidžia rasti tam tikrus šiluminius tiltelius [63].

Kalbant apie kiekybinį įvertinimą, ISO 10211 standartas nustato dvimatį ir trimatį skaičiavimo tvarką rezultatų vertinimui [64]. Nepaisant programinės įrangos, kuri apskaičiuoja linijinis šilumos perdavimo koeficientas su didelio tikslumu (pvz., THERM), charakteristika šiluminiai tiltai yra vienas iš pagrindinių tyrimų trūkumų per pastaruosius metus: Ascione ir kt. [65], Asdrubali ir kt. [66, 67] pateikė skirtingas metodikas aptikti automatiškai ir kiekybiškai įvertinti

šiluminius tiltus termografijos pagalba; Zalewski ir kt. [68] sukūrė trijų matmenų šiluminių tiltelių charakterizavimo metodiką ir palygino rezultatus su matavimais, naudojant temperatūros zondus ir termografijas; Tadeu ir kt. [69] pasiūlė specialią terminio kiekio nustatymo metodiką tiltai per pasienio elemento modelį; ir Dilmac ir kt. [70] pasiūlė konkretų metodą šiluminio tilto plokštės, sijos ir sienos dvimačio vertinimo. Be to, šiluminių tiltų kiekybinis nustatymas realiose situacijų studijose ir jų įtaka pastatų energetinis elgesys yra viena pagrindinių mokslinių tyrimų kryptų pastaraisiais metais. Mokslinėje literatūroje yra atlikta keletas skirtingų šiluminių tiltų tipologijų tyrimų. Theodosiou ir Papadopoulou [75] ištyrė Graikijos šiluminių tiltelių poveikį reprezentacinės sienos konstrukcijos konfigūracijai pagal energijos paklausą, ir nusprendė, kad įskaitant šiluminius tiltus energijos poreikio skaičiavimo metodikoje tiksliai ją nustatys.

Vėlesniame tyrime Theodosiou ir kt. [76] tyrė šiluminius tiltelius metalų apmušimo sistemose, nustatant, kaip pastato projektas daro įtaką šilumos nuostoliams. Ramalho de Freitas ir Grala da Cunha [77] įvertino gelžbetoninių konstrukcijų šiluminių tiltelių poveikį Brazilijos pastato energetiniam elgesiui įrodo, kad energijos paklausa gali svyruoti iki 20%. Ge ir kt. Tyrime [78], dėl balkone atsiradusių šiluminių tiltelių įtaka buvo analizuojamas gyvenamuosiuose namuose Kanadoje. Rezultatai parodė, kad poveikis yra nuo 5 iki 13% šilumos energijos poreikis ir 1% aušinimo energijos paklausa. Zedan ir kt. [79] ištyrė šiluminius tiltelius, pagamintus iš skiedinių siūlių, dėl kurių vidinis vidutinis padidėjimas gali padidėti iki 15% pastato apkrovos. Song ir kt. [79] tyrė šiluminius tiltus metalo plokščių uždangų sienų sistemose, siūlančios skirtingus variantus, dėl kurių 68% sumažėjo šilumos nuostoliai. Ascione ir kt. keturiose tipiškosiose biurų pastatuose ištirti plokščių nevienalyčių stogų šiluminiai tiltai skirtingose klimato regionose Italijoje. Šie šiluminiai tilteliai buvo gauti supaprastintose 1-D ir 2-D modeliose. 2-D modelio naudojimas leido autoriams nustatyti tikslesnį pastato energinio elgesio įvertinimą [45].

Evola ir kt. atliko dar vieną tyrimą Italijoje, kur šiluminių tiltelių poveikis dviem skirtingiems dviejų kambarių namams yra lengvas. Ištyrus Viduržemio jūros klimatą, nustatyta, kad šiluminių tiltelių pagerinimas šildymo apkrovą sumažino 25%, aušinimo apkrova sumažėjo 8,5% [80]. Naujose tyrimuose [81-83] buvo analizuojami iš lengvojo plieno rėmų (LSF) sienelių pagaminti šiluminiai tilteliai dėl plieninių strypų aukštos šilumos laidumo. Santos ir kt. ištyrė šilumos nuostolių sumažėjimo svarbą LSF sienose, nustatydamas, kad šilumos pralaidumas gali skirtis nuo -22% išorinio paviršiaus iki + 50% vidiniam paviršiui, o metalo fiksavimo elementai yra vienas iš svarbiausių elementų. Susilpninimo būdų, tokių kaip šilumos pertraukos juostelės ir išilginės plieno profiliai, naudojimas gali sumažinti šilumos perdavimą 8,3% [82].

Vėlesniame tyrime [84] autoriai įvertino šilumos izoliacijos padėtį LSF sienose, analizuodama tris skirtingus statybos tipus (šaltą, šiltą ir hibridinę konstrukciją). Rezultatai nustatė, kad šilta konstrukcija (izoliacija iš išorės) yra LSF sienų, kurių šiluminis tiltas mažiau paveiktas,

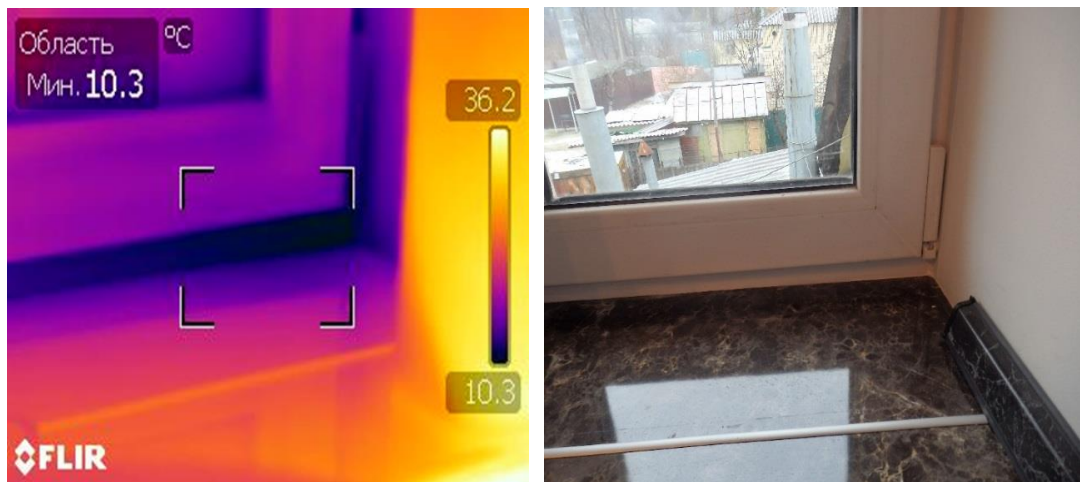
tipologija. Levinskytė, Banionis ir Geležiūnas [85] ištyrė šiluminių tiltelių svarbą labai efektyviuose Lietuvos pastatuose, o šilumos nuostoliai tarp sienų ir plokščių buvo tarp svarbiausių sąnarių. Siena tarp plokščių ir fasadų yra viena iš sudėtingiausių sankryžų, siekiant sumažinti šilumos tiltelį, nes šios sankryžos yra konsoliduotos konstrukcijos elementai, kuriuos reikėtų tirti projektavimo etape, kad būtų galima sukurti veiksmingus konstruktyvius sprendimus. Norėdami tai padaryti, šiuo metu yra skirtingų patentų, siūlančių sumažinti statybos šilumos nuostolius šiluminių tiltelių plokščių fasaduose. Tačiau nėra tyrimų, kuriuose būtų analizuojamas tokių patentų veiksmingumas. Ankstesnė apžvalga rodo, kad svarbu šilumos nuostolius šiluminiais tiltais moksliniu požiūriu silpninti dėl jų įtakos pastato energiniam elgesiui. Tačiau nėra tyrimų, kuriuose būtų išnagrinėti esami patentai, skirti sumažinti šilumos nuostolius arba pelną per šiluminius tiltus. Taigi šio darbo tikslas buvo išanalizuoti kai kurių esamų patentų, apibūdinančių plokščių fasadų konstrukcinius sprendimus, šiluminę elgseną, sutelkiant dėmesį į šias jungtis dėl jų reikšmingos įtakos šilumos nuostoliams per fasadą [85].

3. ATITVARŲ ŠILUMINIO IR ORINIO SANDARUMO TYRIMAS

3.1. Termovizinis tyrimas

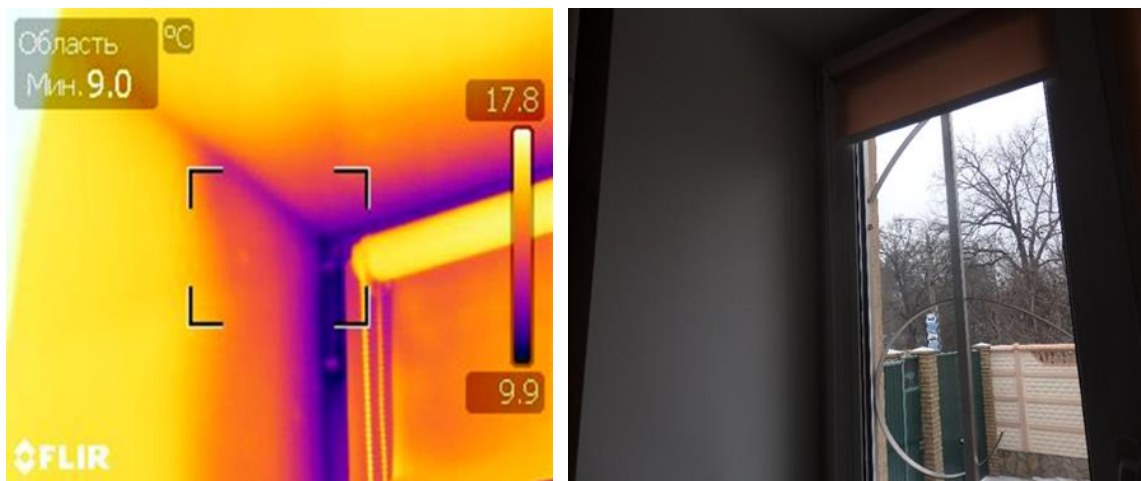
Buvo atlikta keletas termovizinių įrašų įvairiuose objektuose (pastatų ir patalpų su skirtingomis gyvenamųjų patalpų konfigūracijomis, skirtingomis energijos vartojimo efektyvumo klasėmis) analizė. Dėl nustatytų defektų ir šiluminių tiltelių atsiradimo rezultatų buvo aptiktos ir išnagrinėtos tokios problemos:

- **Langai.** Langai praranda iki 20-25% visos pastato šilumos. Tyrimų patalpose buvo nustatyta keletas defektų, susijusių su netinkamu langų montavimu ar netinkamos tolesnės eksploatacijos (išsikreipus lango blokui, neužtikrinamas varstomos dalies užsidarymo sandarumas).
- **Sandūra tarp palangės ir rėmo.** Sandūroje tarp palangės ir lango rėmo pastebėtas nesandarumas, per kurį į kambarį patenka šaltas oras. Termogramoje (3.1 pav.) matomi šalto oro plitimo pėdsakai ties palange. Tai sukuria skersvėjus ir atvėsina kambarį.



3.1 pav. Sandūros tarp palangės ir rėmo termografija

- **Angokrasčio ir rėmos sujungimas.** Problema yra analogiška ankstesnei, tačiau šiuo atveju (3.2 pav.) yra tarpas tarp lango rėmo ir angokrasčio.



3.2 pav. Sandūros tarp angokraščio ir rėmo termografija

– **Langų ir durų rankenos.** 3.3 paveiksle galima pastebėti, kad per lango atidarymo rankena yra nedidelis šilumos nuotėkis. Greičiausiai, kad ši problema kilo dėl netinkamų tvirtinimo detalių. Durų ir langų rankenos gali neturėti didelės įtakos bendram šilumos nuostoliui pastatuose (patalpoje), tačiau vis dėlto tai yra papildomas šalto oro šaltinis, kuris prisideda prie skersvėjų atsiradimo.



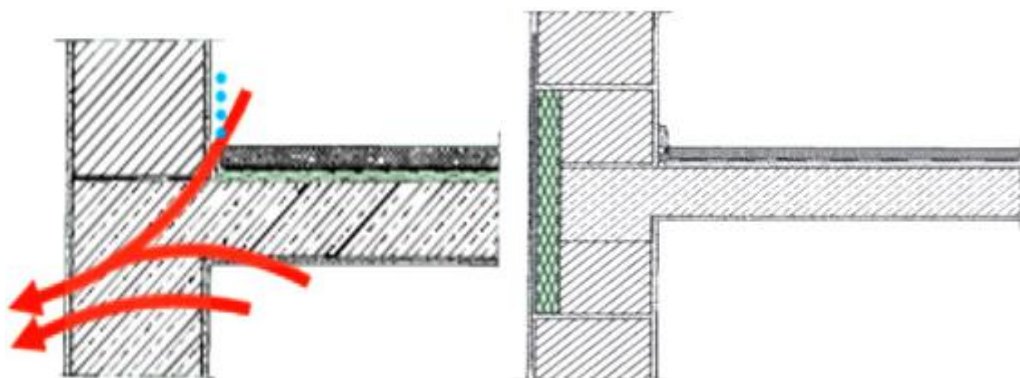
3.3 pav. Langų ir durų rankenų termografija

– **Grindjuostė.** 3.4 paveiksle pavaizduota šilumos nuotėkio zona grindjuostės srityje. Šiluminis tiltelis atsiranda dėl nekokybiško armuotų grindų ir sienos konstrukcijų sujungimo.



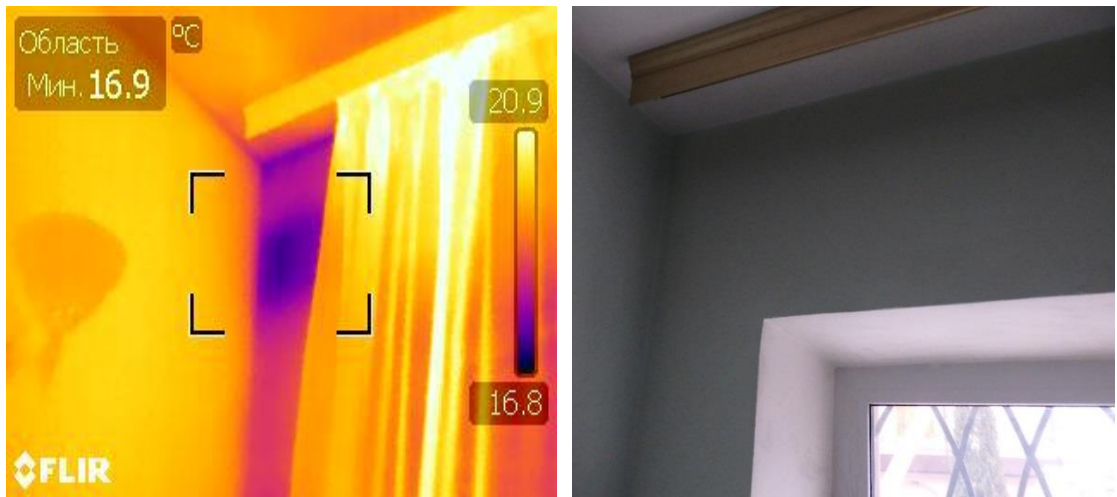
3.4 pav. Nuotėkio zona grindjuostės srityje

Spręsti problemą galima įrengiant išorinę izoliaciją (3.5 pav.) arba įrengiant šildomas grindjuostas. Tačiau antruoju atveju dalis šilumos kelias tiesiai į lauką, o pirmasis gali sumažinti šilumos nuostolius per visą perimetrą iki 5%. Taip pat galima būtų rekomenduoti pašalinus grindjuostę užpildyti tarpą tarp sienos ir grindų išsiplėtimo putomis.



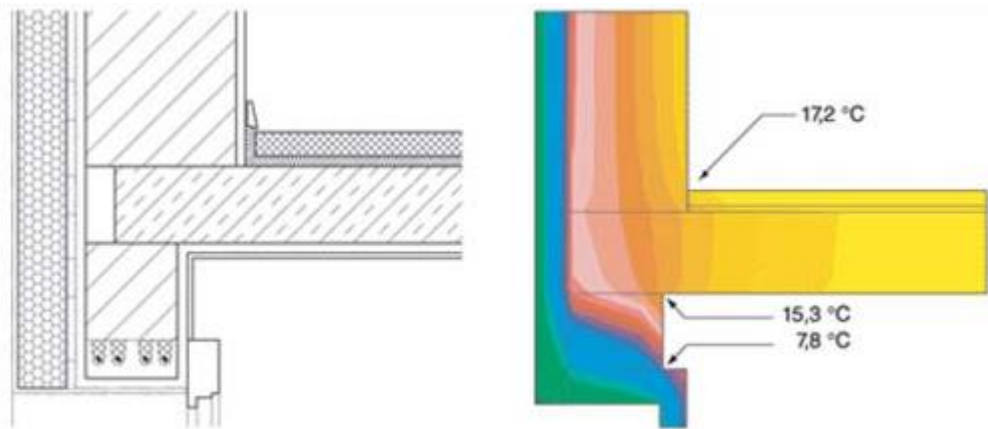
3.5 pav. Kairėje esantis variantas be izoliacijos su šiluminiu tilteliu, dešinė – iš išorės apšiltintas variantas [85]

– **Sąrama.** 3.6 paveiksle aiškiai matoma sąramos zona virš lango. Dėl to, kad namas nepakanka apšiltintas iš išorės.



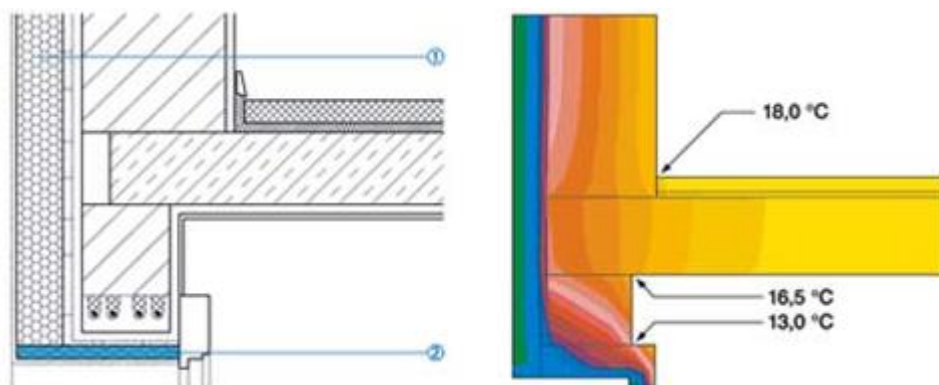
3.6 pav. Sąramos defektas

Dėl pasiūlytos išorinės izoliacijos (3.7 pav.) yra kondensacijos ir pelėsių pavojus.



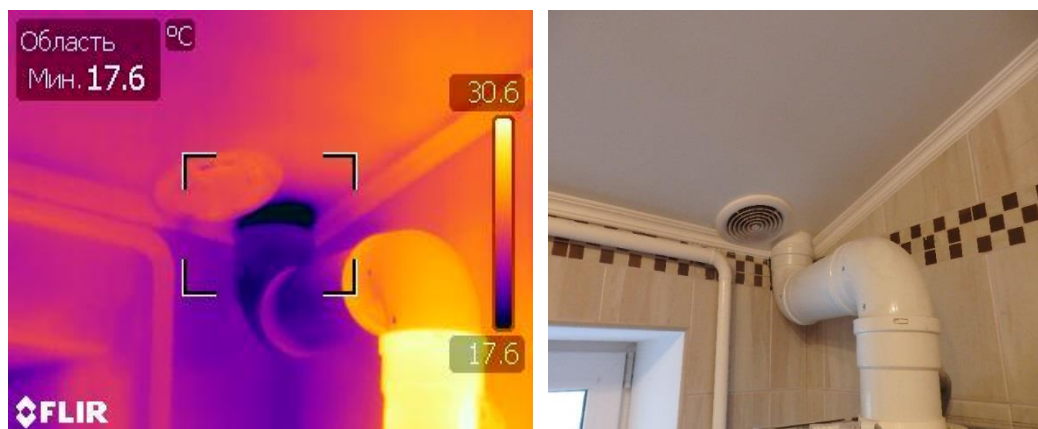
3.7 pav. Izotermos išsidėstymas ties lango sąrama [86]

Šiltinant ne vien fasado plokštumą, bet ir skiriant dėmesio angokraščiui (3.8 pav.), papildomai sumažinamas kondensacijos ir pelėsių atsiradimo pavojus.

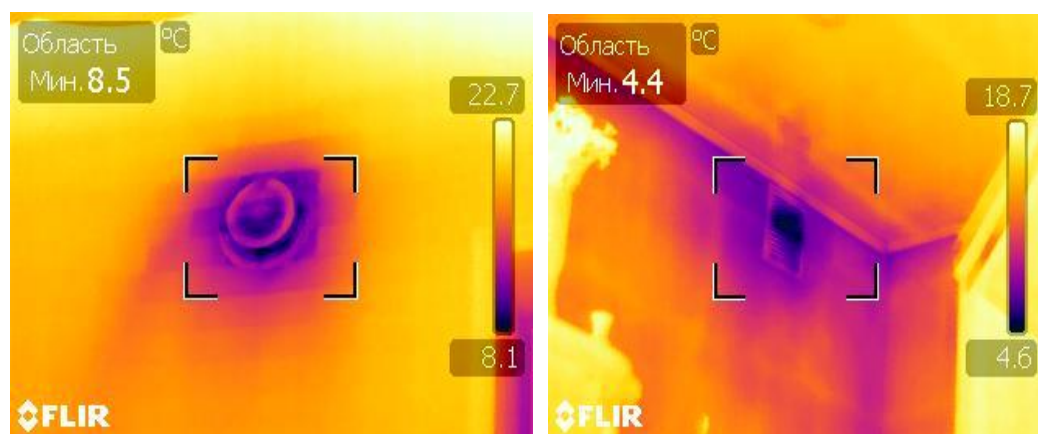


3.8 pav. Izotermos išsidėstymas ties lango sąrama, papildomai apšiltinus angokraštį [86]

– **Vėdinimo kanalai ir dūmtraukiai.** 3.9 paveiksle išmetimo kanalas, o 3.10 paveiksle vėdinimo kanalas, kuriais priteka šaltas oras iš lauko.



3.9 pav. Išmetimo kanalo defektas virtuvės patalpoje

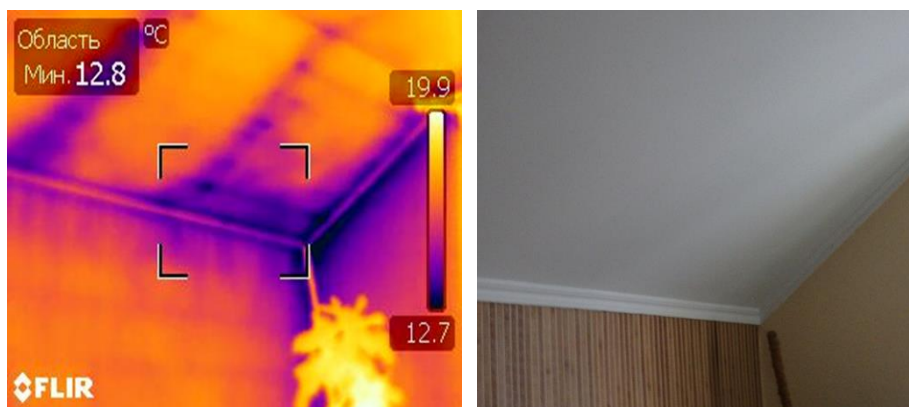


3.10 pav. Šilumos nuotekėjimo zonos vėdinimo kanalo srityje

Šiuo atveju ventiliacija dirba "atvirkščiai". Vietoj oro pašalinimo į lauką, iš lauko traukiamas šaltas oras. Šis pavyzdys, panašus į pavyzdį su langais, sukuria skersvėjį ir atvėsina patalpą. Nagrinėjamoje zonoje temperatūra yra 17,6°C, kada kambario temperatūra ~ 20-22°C.

Išspręsti problemas galima naudojant atbulinį vožtuvą, kuris išleidžia orą tik iš kambario. Tai sumažintų šalto srautą ir vėsiniimą.

– **Stogas.** 3.11 paveiksle šiluminis tiltelis ties lubomis. Jis atsiranda dėl nepakankamos šilumos izoliacijos ir sandarumo tarp stogo ir sienos (tikrinant palėpę, buvo nustatytas nepakankamas stogo izoliacijos kiekis ir hidroizoliacijos defektas). Dėl to kambarys yra papildomai atvėsinamas ir atsiranda skersvėjis.

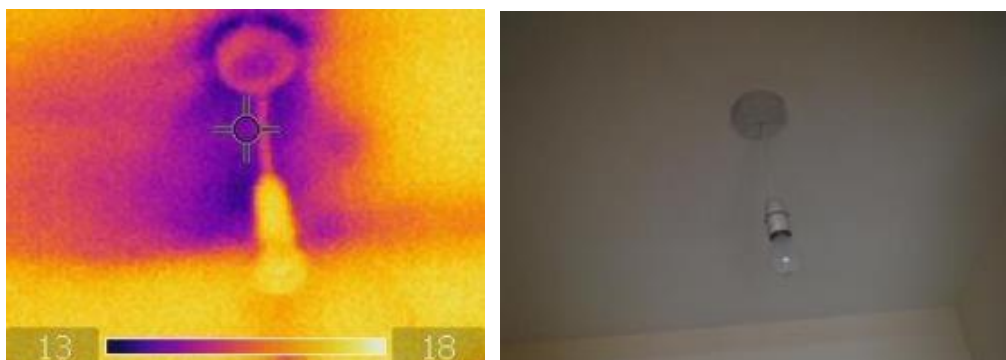


3.11 pav. Šilumos nuostoliai per perdangą

– **Elektros instaliacija.** Šakučių lizdų (3.12 pav.) ir elektros šviestuvų (3.13 pav.) zonose atsiranda šilumos nuostoliai dėl nepakankamai užsandarintų kiaurymių ir netinkamai sumontuotų laidų. Tokiais atvejais siūloma tuštumas elektros instaliacijos įrenginių įleidimo angose užpildyti besiplečiančiomis putomis.



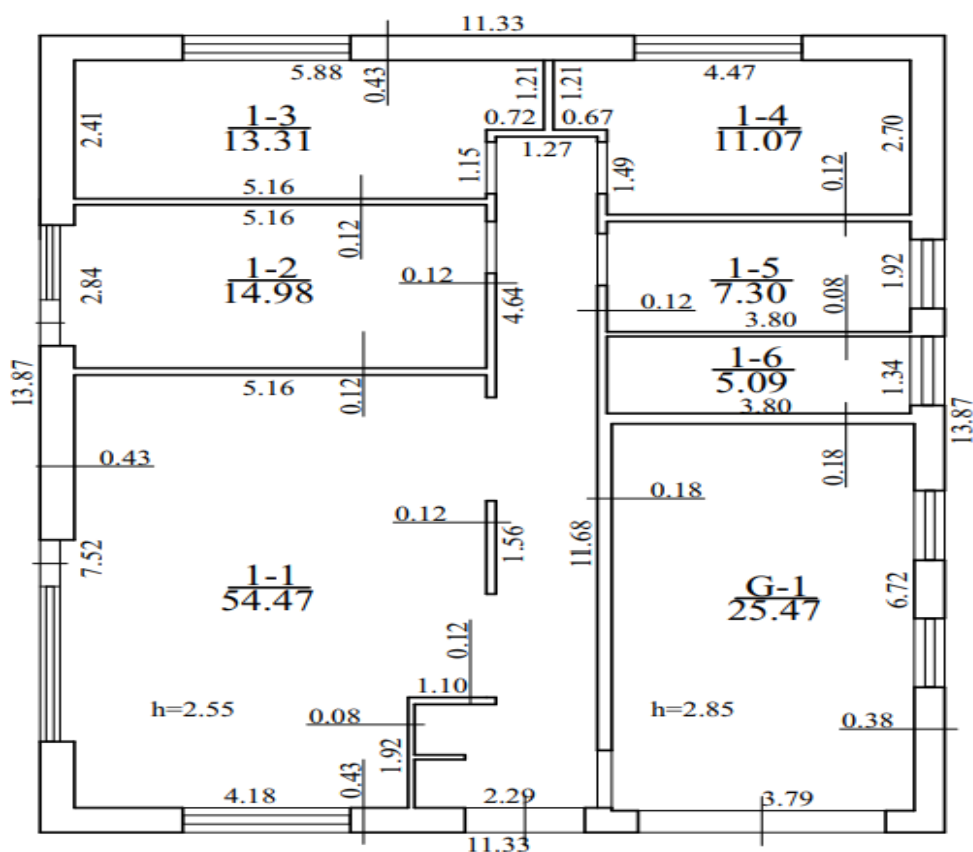
3.12 pav. Šilumos nuostoliai per šakučių lizdus



3.13 pav. Šilumos nuostoliai šviestuvo tvirtinimo zonoje

3.2. Termovizijos įrangos naudojimas vykdant sandarumo testą

Siekiant atlikti sandarumo bandymą buvo pasirinktas namas Šiauliuose, A+ energijos vartojimo efektyvumo klasės. Namas yra vieno aukšto (3.14 pav.), yra atskira katilinės patalpa, kur įrengtas kieto kuro katilas. Pagrindinis fasadas orientuotas į vakarus. Sienų konstrukcija: aktybetonis, šiltinamas mineraline vata (100 mm.). Stogo denginį laikančioji konstrukcija – medinės gegnės, pastogės perdanga šiltinta 200 mm mineralinės vatos. Bendras patalpų plotas – 167 m².



3.14 pav. Pastato planas

Tyrimo metu oro temperatūra lauke buvo 5°C, patalpos vidaus temperatūra – 22°C.

Tyrimo metu buvo naudojamos:

- **Retrotec** programinė įranga;
- **Retrotec Model 1000 Blowe Door** durų sistema (3.15 pav.), kurią sudaro ventiliatorius, plėvelė ir durelių rėmas, montuojami į durų angą;
- manometras **Retrotec DM-2** (3.16 pav.);
- termometras **Kimo VT 110** (3.17 pav.);
- barometras **Greisinger GPB 3300** (3.18 pav.);
- termovizorius **Flir B50** (3.19 pav.), su vaizdo dažniu 9 Hz, matymo lauku 25° × 25°, rankiniu fokusavimu.



3.15 pav. Aerodurys *Model 1000 Blower Door*



3.16 pav. Manometras *Retrotec DM-2* [88]



3.17 pav. Termometras *Kimo VT 110* [89]



3.18 pav. Barometras *Greisinger GPB 3300*



3.19 pav. Termovizorius *Flir B50* [90]

Prieš tyrimo pradžią buvo uždaryti langai ir išorinės durys, plėvele užsandarintas virtuvės vėdinimo kanalas (3.20 pav.).



3.20 pav. Plėvele užsandarintas virtuvės vėdinimo kanalas.

Tyrimą galima suskirstyti į kelius etapus:

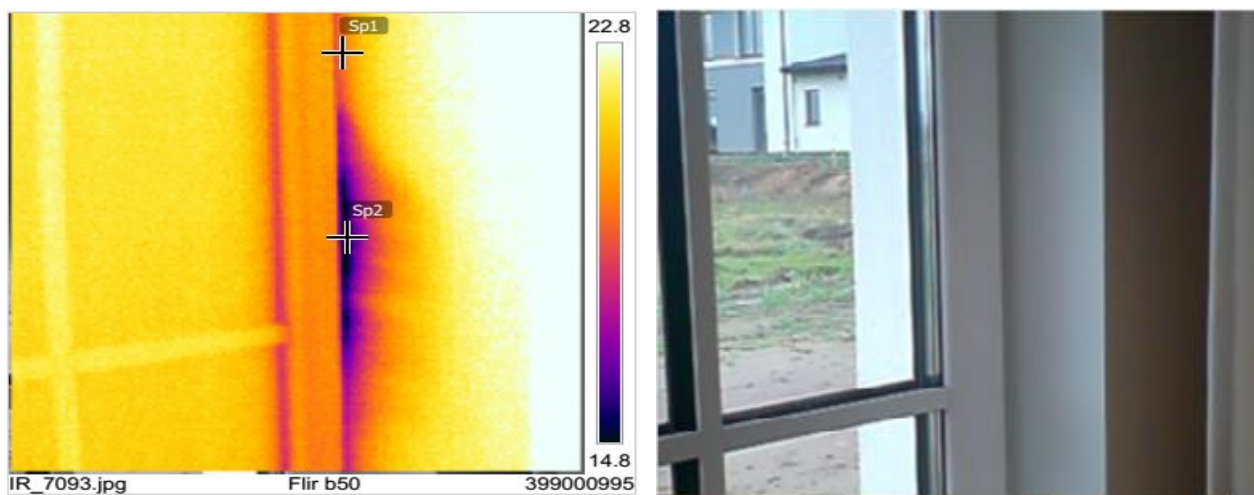
1) pagrindinių durų angoje, orientuotoje į vakarus, buvo sumontuotos aero durys (ventiliatorius);

2) ventiliatoriaus pagalba buvo sukeltas oro slėgis bandomame pastate, o vėliau, ištraukiant orą, sumažinamas slėgis; dėl atsiradusio slėgių skirtumo oras iš lauko per įvairius nesandarumus pradeda veržtis į vidų;

3) sulaukus stabilaus oro srauto per ventiliatorių nusistovėjimo esant fiksuotam slėgio skirtumui (50 Pa) tarp bandomų patalpų ir išorinės aplinkos (naudojamas barometras Greisinger GPB 3300), manometru matuojamas oro srautas per ventiliatorių (šis srautas bus lygus srautui per objekto atitvėrimo konstrukciją);

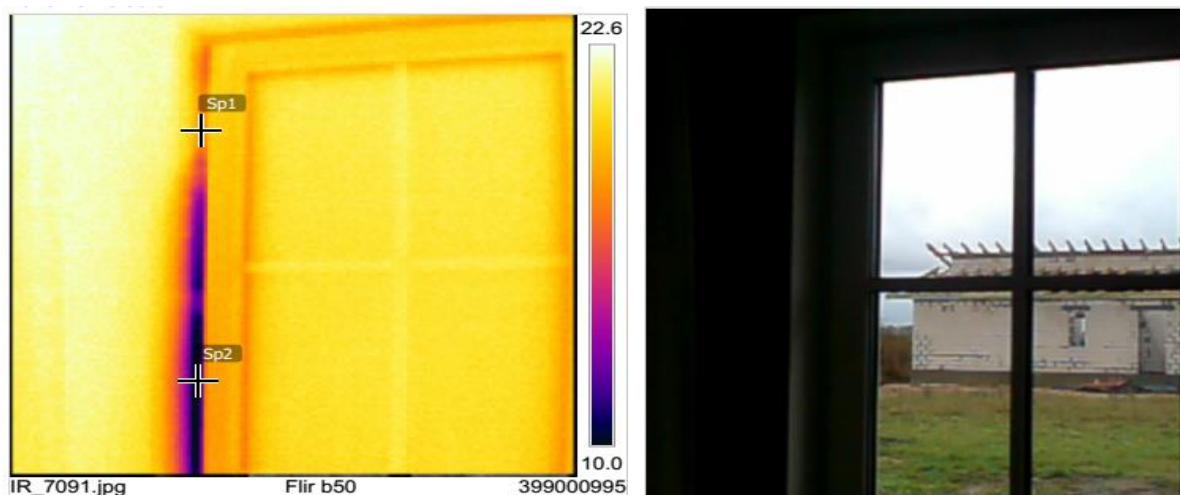
4) konkrečios nesandarumo vietos pastate nustatomos naudojant termovizorių (šalto oro srautas iš gatvės, prasiskverbiantis per mažiausius plyšius, atvėsina aplink juos esančią erdvę, todėl aptikimo procesas yra garantuojamas).

Pagal skaičiavimus, naudojant oro įpūtimą (ventiliatoriumi), oro kaita esant 50 Pa, n_{50} buvo $0,75 \text{ h}^{-1}$, esant normai $0,6 \text{ h}^{-1}$ pasyviųjų tipų namams. Naudojant termovizorių buvo aptiktos defektinės (probleminės) sritys.



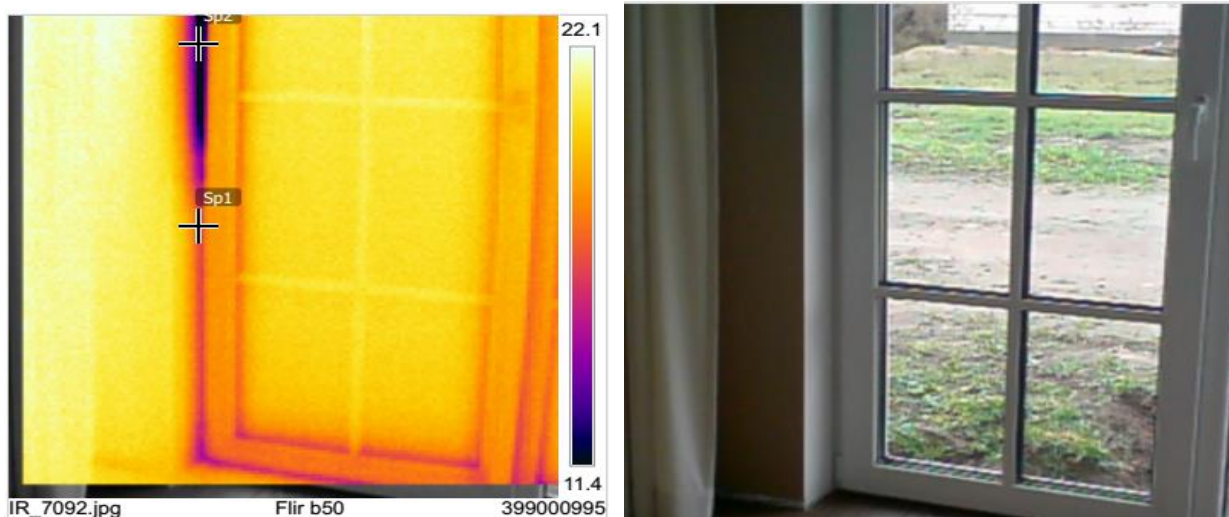
3.21 pav. Lango nr. 1 nuotrauka

Pirmuoju atveju Sp_1 (pirmasis matavimo taškas) yra lygus $19,4^{\circ}\text{C}$, Sp_2 (antrasis matavimo taškas) $15,2^{\circ}\text{C}$. Spinduliuotoji temperatūra yra 22°C .



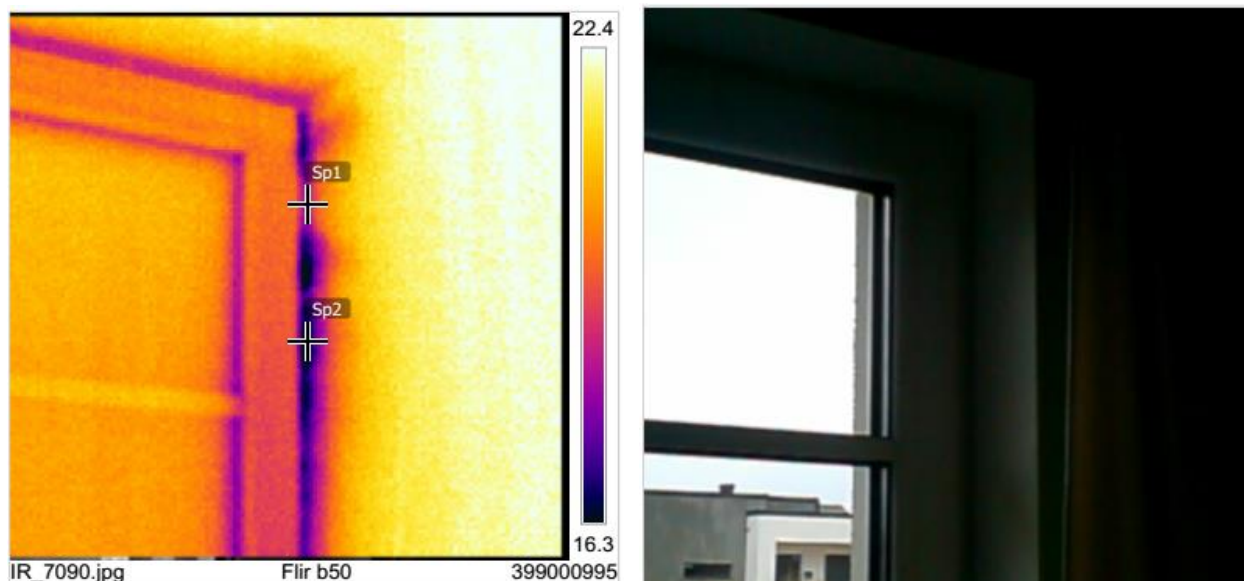
3.22 pav. Lango nr. 2 nuotrauka

Antruoju atveju Sp_1 (pirmasis matavimo taškas) yra lygus $18,2^{\circ}\text{C}$, Sp_2 (antrasis matavimo taškas) $9,8^{\circ}\text{C}$. Spinduliuotoji temperatūra yra 22°C .



3.23 pav. Lango nr. 3 nuotrauka

Trečiuoju atveju Sp_1 (pirmasis matavimo taškas) yra lygus $16,8^{\circ}\text{C}$, Sp_2 (antrasis matavimo taškas) $11,3^{\circ}\text{C}$. Spinduliuotoji temperatūra yra 22°C .



3.24 pav. Lango nr. 4 nuotrauka

Ketvirtuoju atveju Sp_1 (pirmasis matavimo taškas) yra lygus $16,8^{\circ}\text{C}$, Sp_2 (antrasis matavimo taškas) $11,3^{\circ}\text{C}$. Spinduliuotoji temperatūra yra 22°C .

Tokiu atveju tarp lango rėmo ir angokraščio yra tarpas, kuris gali būti dėl kelių priežasčių:

- nepakankamo lango varčios prispaudimo į lango rėmą;
- sudėvėtos sandarinimo gumos;
- prastos langų montavimo kokybės.

Per kambario plyšius nuolat prasiskverbia šaltas oras, dėl kurio susidaro sveikatai kenksmingi skersvėjai ir padidėja pastato šilumos nuostoliai.

Šiuo atveju ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas dar langų įrengimo etape: būtina atidžiai izoliuoti sandūras – jos lemia šalčio tiltelių atsiradimą. Angokraščiai turi būti izoliuojami iš išorės. Tos vietos, kur rėmas liečiasi su stiklu, apdorojami antibakteriniu silikono hermetiku.

Lango perimetru reikia pakloti sandarinimo gumines juostas, o po to sekti, kad jos būtų keičiamos laiku: kartą per 3-4 metus.

Paskutiniame paveiksle aiškiai matoma, kad angorkaščiai papildomai atvėsunami dėl metalinių inkarų, ant kurių yra fiksuojamas rėmas. Metaliniai inkarai turi mažesnę šilumos perdavimo varžą negu siena. Be to, montuojant inkarą, rėmas yra gręžiamas kiaurai, kas sumažina jo sandarumą. Ši problema kyla dėl medžiagų šiluminių savybių, o ne konstrukcijų montavimo.

Norint ištaisyti šį defektą, galima papildomai izoliuoti sieną ir šlaitus. Tai neišsprendžia problemos iki galo, bet sumažins inkarų įtaką šilumos nuostoliams.

Remiantis šiais paveikslėliais, galime padaryti bendrą išvadą, kad langai yra svarbi šilumos nutekėjimo vieta. Būtina ypač atkreipti dėmesį į jų užsidarymo savybes ir atidžiai rinktis sandarinimo medžiagas ir būdus..

3.3. Tyrimų duomenų interpretavimas

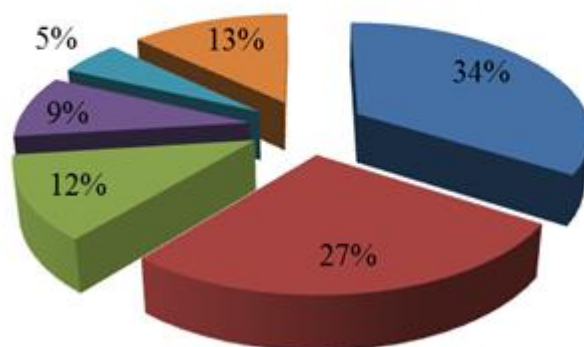
Apklausus skirtingų šalių (Lietuvos, Latvijos, Ukrainos) įmonių, atliekančių pastatų sandarumo tyrimus, specialistus, aiškėja, kad kotedžo tipo namuose dažniausio šilumos nuotėkio ir sandarumo trūkumo vietos:

- langų ir durų nesandarumas (sandūros ir sujungimai);
- pamatai (įskaitant cokolinę dalį);
- sienos (tuštumų, dėl prastos kokybės mūro arba izoliacijos);
- medinės grindys;
- ventiliacijos kanalai;
- dūmtraukiai;
- liukai (išlipimas ant stogo, stoglangai);
- kanalizacijos vamzdžiai;
- elektros instaliacija, rozetės, komunikacijos;
- lubų ir sienų sandūra karnizo srityje.

Dažniausių nutekėjimo taškų procentinė schema pagal apklausą atrodo taip kaip parodyta 3.25 paveiksle.

Šilumos nuostoliai

■ Langai ■ Sienos ■ Durys ■ Pamatai ■ Stogas ■ Kiti



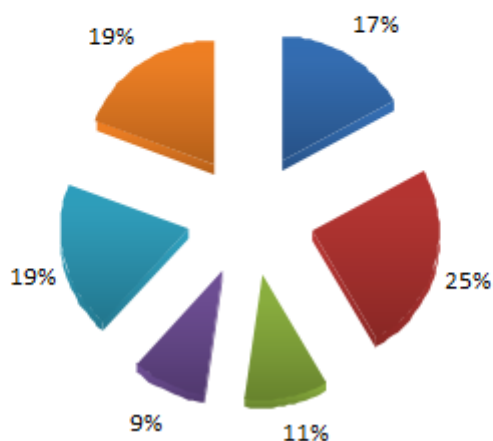
3.25 pav. Nuostolių zonų diagrama

Grupė „kiti“ apima medines grindis, ventiliacijos ir dūmų kanalus, liukus, kanalizacijos vamzdynus, elektros instaliaciją, komunikacijas, lubų ir sienų sandūras.

Didžiausia šilumos nuostolių dalis tenka langų ir durų angoms. Nuostolių per šias atitvaras pasiskirstymas pagal vietą konstrukcijoje pavaizduotas 3.26 paveiksle.

Nuostoliai per langus ir duris

■ Palangės ir rėmo sandūra ■ Rėmo ir varčios sandūra
■ Amgokraščio ir rėmo sandūra ■ Ankeriai
■ Langų ir durų rankenos ■ Langų ir durų vryiai



3.26 pav. Nuostoliai per langus ir duris

IŠVADOS

1. Buvo apžvelgti reikalavimai atitvarų charakteristikoms skirtingose šalyse- Ukrainoje, Lietuvoje, Europos Sąjungoje:
 - Ukrainos Respublikoje pagrindiniais teisiniais dokumentais, kurie reglamentuoja reikalavimus atitvarinėms konstrukcijoms, DSTU (ДСТУ – Valstybiniai Ukrainos standartai), DBN (ДБН- Valstybinės statybos normos), įstatymai (įskaitant Ukrainos Respublikos įstatymą „Dėl energijos taupymo“ 75 94-BR);
 - Lietuvos Respublikoje teisinį reguliavimą energinio pastatų efektyvumo srityje ir reikalavimus atitvarinėms konstrukcijoms reglamentuoja Lietuvos statybos įstatymai, atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas, ūkio ministro įsakymai, Statybos techniniai reglamentai (STR), LST EN standartai;
 - Pagrindiniai ES šalių teisės aktai yra direktyvos. Direktyvos įgyvendinimui ES valstybės narės turi parengti atitinkamus nacionalinius įstatymus ir standartus savo šalyse. Viena iš pagrindinių – 2002/91/ES "Dėl pastatų energinio naudingumo", kuri 2010 m. gegužės mėn. buvo peržiūreta ir pakeista į Direktyvą 2010/31/ES, siekiant sugriežtinti pastatų energinio naudingumo reikalavimus ir patikslinti ankstesnės Direktyvos nuostatas.
2. Išnaginėjus atitvarų orinio sandarumo tyrimo metodus ir įrangą, kaip vienas iš naudingiausių išskirtinas – trasuojančių (Judančių) dujų metodas, kurio pagrindinis matavimo principas: dujų, kurios gali būti išmatuotos elektroniniais prietaisais, tiekimas.
3. Atitvarų šiluminio sandarumo tyrimo metodų ir įrangos gausoje vienas iš efektyviausių metodų – termovizijos ir Ventiliatoriaus slėgio (Blower door) technologijos metodų apjungimas, kuris padeda tiksliai nustatyti šilumos nuostolius, naudojant specialią įrangą.
4. Buvo atliekamas gyvenamųjų pastatų atitvarų orinio ir šiluminio sandarumo tyrimas, naudojant ventiliatoriaus slėgio (Blower door) technologiją kartu su termovizija. Aptiktos defektų vietos pastate. Pagrindinė šilumos nutekėjimo zona – langai. Paaikškėjo, kad jų sandarikliai nėra pakankamai tankūs, ir bendra rekomendacija gali būti lango permontavimas, kad būtų užtikrintas sandarus uždarymas ir sandariklio pakeitimas.
5. Remiantis apklaustų ekspertų nuomonėmis ir surinktais duomenimis nustatytas toks šilumos nutekėjimo pasiskirstymas per zonas: langai – 34%, sienos – 27%, durys – 12%, pamatai – 9%, stogas – 5%.

LITERATŪROS SARAŠAS

1. Ukrainos Aukščiausioji Rada. *Ukrainos įstatymas dėl energijos taupymo: Об энергосбережении 75 94-BR: 1994 т. липос 1 д.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: <http://samd.com.ua/low.html>
2. ДБН В.2.6-31 *Тепловая изоляция зданий: 2016* . [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: <http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13>
3. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2008 *Руководство по разработке и составления энергетического паспорта домов при новом строительстве и реконструкции.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: http://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_a_2_2_5_2007_nastanova_z_rozroblennja_energetichnogo_pasporta_budinkiv/5-1-0-341
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 *Энергетическая эффективность здания. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: http://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_a_2_2_12/5-1-0-1781
5. ДСТУ Б В.2.2—21:2008 *Метод определения теплопотерь на отопление дома.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: <http://energodom.org/zakonodatelno-normativnaya-baza-proektov/16-ukr/normuukr/262-dstu-b-v-2-2-21-2008-metod-viznachennya-pitomikh-teplovitrat-na-opalennya-budinkiv>
6. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 *Настанова з розробки та складання енергетичного паспорта будівель.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: http://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_a_2_2_5_2007_nastanova_z_rozroblennja_energetichnogo_pasporta_budinkiv/5-1-0-341
7. ДСТУ Б В.2.6-79:2009 *Шви з'єднувальні місць примикань віконних блоків до конструкції стін. Загальні технічні умови.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: <http://interiorfor.com/dstu/dstu-b-v-2-6-79-2009/>
8. ЛЕСЬО, Андрей. (2017). *Что нового в нормативах по теплоизоляции зданий для оконного рынка? ДБН В.2.6-31:2016 «Тепловая изоляция зданий»: анализ изменений.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://okna.ua/library/dbn-v26-312016-teplovaya>
9. *LST EN ISO 10077-1:2017 Šiluminės langų, durų ir anginių charakteristikos. Šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimas. 1 dalis. Bendrieji dalykai (ISO 10077-1:2017): Lietuvos standartas.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017.
10. STR 2.01.02:2016 *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas.* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb>

11. *LST EN ISO 9972:2015 Šiluminės Pastatų Charakteristikos. Pastatų Pralaidumo Orui Nustatymas. Ventilatorinis Slėgių Skirtumo Metodas (ISO 9972:2015): Lietuvos standartas.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015.
12. *Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.* [interaktyvus] [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0091&from=EN>
13. *Directive 2010/31/ EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast):* Prieiga per internetą <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0091&from=EN>
14. EN 15217, 2007. *Energy Performance of Buildings—Methods for Expressing Energy Performance and for Energy Certification of Buildings.* European Committee for Standardization, Brussels.
15. Проект ПРООН/ГЭФ «Улучшение энергоэффективности в секторе жилищного строительства Туркменистана». (2017) *.Существующие системы энергетических сертификатов зданий в мире.* Программа развития Организации Объединенных Наций Глобальный Экологический Фонд: Ашхабад.
16. Michael S.Poles. (1997). *What are Construction Defect.* An I.C.B.O. Symposium Prieiga per internetą <http://www.mmgroup.com>
17. Robert T.Ratay. (2005). *Structural Condition Assessment, Survey and Assessment of Structural Conditions,* (p.127- 495).
18. N. Ahzahar*, N.A. Karim, S.H. Hassan, J. Eman. (2011). *.A Study of Contribution Factors to Building Failures and Defects in Construction Industry.* The 2nd International Building Control Conference 2011.
19. J. Douglas, B. Ransom. (2007). *Understanding building failures: Third edition.* Taylor & Francis, 326 psl. DOI: 10.4324/9780203030141
20. Tan Wei Cheun (2008). *Masalah Kecacatan Bangunan Sekolah.* Universiti Teknologi Malaysia : Under graduate, Degree Thesis.
21. Lietuvos higienos norma HN 42:2009. „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ 2009 m. (gruodžio 29 d. Nr. V-1081). [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.362676>
22. Lietuvos higienos norma HN 42:2009. „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ 2003 m. (gruodžio 24 d. Nr. V-770). [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880?jfwid=fhhu5mggf>

23. I. Allard, T. Olofsson & O. A. B. Hassan. (2012) *Methods for air tightness analysis for residential buildings in Nordic countries*. Department of Applied Physics and Electronics, Umeå University, Sweden
24. M. Sherman, *Building Airtightness: Research and Practice*. Lawrence Berkley National Laboratory, 2009.
25. E. Sikander and P. Wahlgren.(2008). *Alternativa metoder för utvärdering av byggnadsskalets lufttätthet*. SP
26. F. Carrie and B. Rosenthal. (2008). *An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness*. Air Infiltration and Ventilation Centre.
27. H. Fennell and J. Haehnel. (2005). *Setting Airtightness Standards*. ASHRAE.
28. M. J. Limb. (2001). *A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria*. Air Infiltration and Ventilation Centre.
29. J. McWilliams.(2002). *Review of Airflow Measurement Techniques*.Lawrence Berkley National Laboratory.
30. M. J. Limb. (2001). *A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria*. Air Infiltration and Ventilation Centre.
31. J. McWilliams. (2002) *Review of Airflow Measurement Techniques*. Lawrence Berkley National Laboratory.
32. LST EN ISO 140-11:2005. *Akustika. Statinio Atitvarų Ir Jo Dalių Garso Izoliavimo Matavimas: Europos Standartas EN ISO 140-11:2005 Turi Lietuvos Standarto LST EN ISO 140-11:2005 Statusą = Acoustics. Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements, 31. (2007).*
33. O. Hassan. (2009). *Building Acoustics and Vibration, Theory and Practice* World Scientific, 2009.
34. García-Ruiz, López-Martínez, Blanco-Claraco, Pérez-Alonso, & Callejón-Ferre. (2018). On air temperature distribution and ISO 7726-defined heterogeneity inside a typical greenhouse in Almería. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 264-275.
35. ISO 7730 Ergonomics of the thermal environment. *Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. ISO, 2005.
36. Pastatų Vėdinimas. *Vėdinamų Patalpų Oro Greičio Matavimo Prietaisams Keliami Reikalavimai* (elektroninis Išteklius), 19. (2002).
37. ASTM E1186 – 03 *Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems*. ASTM, 2009.

38. J. Kronvall, *Mätningar och mätmetoder för lufttäthet*, Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.1979.
39. Roberto Candiani. (2001). *Measurement of air through tracing gases* [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=456
40. Технологии BLOWER DOOR. *Проверка воздушной герметичности изоляции ограждающих конструкций*. [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą [<http://www.krovlirossia.ru/rubriki/materialy-i-texnologii/texnologii-blower-door-proverka-vozdushnoj-germetichnosti-izolyacii-ograzhdayushhix-konstrukcij>]
41. I. Walker, D. Wilson and M. H. Sherman. *A comparison of the power law to quadratic formulations for air infiltration calculations*. Energy and Buildings, Vol. 27, No.3, 1997.
42. *Standard Test Methods for Determining Airtightness of Buildings Using an Orifice Blower Door*, ASTM, 2007.
43. CAN/CGSB-149.15-96.*Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Building's Air Handling System*. Ottawa: CGSB, 1996.
44. LST EN ISO 9972:2015 Šiluminės pastatų charakteristikos. Pastatų pralaidumo oriu nustatymas. *Ventiliatorinis Slėgių Skirtumo Metodas (ISO 9972:2015)*. (elektroninis Išteklius), 29. (2015).
45. Iraluca Pleșu, Gabriel Teodoriu and George Tăranu. *Infrared thermography applications for building investigation*. 2012
46. Ostrowski et. al., 2003;. Gamidi, 2009; Bianco & Ceradini, 2010; Nuzzo et. Al., 2010. Din Iași.*Infrared thermography applications for building investigation* . Buletinul Institutului Politehnic
47. L. Binda, A. Anzani & G. Cardani *Methodologies for the evaluation of seismic vulnerability of complex masonry buildings: case histories in the historic centre of Sulmona*-Politecnico di Milano, Italy 2012 ISSN 1743-3509
48. Stimolo M., *Passive Infrared Thermography as Inspection and Observation Tool in Bridge and Road Construction*. Proc. in the Internat. Symp. (NDT-CE 2003) Sept 16-19, 2003, Berlin , Germany, 1-6
49. Wiecek B., Poksinska, *Passive and Active Thermography Application for Architectural Monuments*. Proc. in the 8th Conf. on Quantitative Infrared Thermography, June 28-30, Padova, Italy, 1-10 (2007)
50. Spiesbergen. *Erawatch Country Reports 2010: Russian Federation*. European Commision: Erawatch. Retrieved April 2, 2012 from <http://erawatch.jre.ee.europa.eu/erawatch>

51. Moropoulou A., Avdelidis N. P., Delegou E. T., Kouli M., *Infrared Thermography in the Evaluation of Cleaning Interventions on Architectural Surfaces*. National Techn. Univ. of Athens, 2002, 1-5.
52. Lo Y.T., Choi K.T.W. *Building Defects Diagnosis by Infrared Thermography*. *Struct. Survey*, 22, 5, 259-263 (2004).
53. EN 13187 (ISO6781:1999 modified) *Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method*. CEN, 1993.
54. Standard SFS 5511. *Field measurements of the thermal environment*. SFS. 1991.
55. Vavilov V.P., A Pessimistic *View of the Energy Auditing of Building Structures with the Use of Infrared Thermography*. *Russ. J. of Nondestructive Testing*, 46, 12, 906-910 (2010).
56. European Environment Agency. *Final Energy Consumption by Sector and Fuel*. [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-1> (accessed on 19 August 2018).
57. Battista, G.; Evangelisti, L.; Guattari, C.; Basilicata, C.; de Lieto Vollaro, R.. *Buildings Energy Efficiency: Interventions Analysis under a Smart Cities Approach*. *Sustainability* .2014, 6, 4694–4705, doi:10.3390/su6084694.
58. International Organization for Standardization. *ISO 10211:2017-Thermal Bridges in Building Construction- Heat Flows and Surface Temperatures-Detailed Calculations*. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2017.
59. Capozzoli, A.; Gorrino, A.; Corrado, V. *A building thermal bridges sensitivity analysis*. *Appl. Energy* 2013, 107, 229–243, doi:10.1016/j.apenergy.2013.02.045.
60. Aguilar, F.; Solano, J.P.; Vicente, P.G. *Transient modeling of high-inertial thermal bridges in buildings using the equivalent thermal wall method*. *Appl. Therm. Eng.* 2014, 67, 370–377, doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.03.058.
61. Martin, K.; Erkoreka, A.; Flores, I.; Odriozola, M.; Sala, J.M. *Problems in the calculation of thermal bridges in dynamic conditions*. *Energy Build.* 2011, 43, 529–535, doi:10.1016/j.enbuild.2010.10.018.
62. Fantucci, S.; Isaia, F.; Serra, V.; Dutto, M. *Insulating coat to prevent mold growth in thermal bridges*. *Energy Proced.* 2017, 134, 414–422, doi:10.1016/j.egypro.2017.09.591.
63. Brás, A.; Gonçalves, F.; Faustino, P. *Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation*. *Energy Build.* 2014, 72, 296–308, doi:10.1016/j.enbuild.2013.12.022.
64. Echarri, V. *Thermal ceramic panels and passive systems in mediterranean housing: Energy savings and environmental impacts*. *Sustainability* 2017, 9, doi:10.3390/su9091613.

65. Ascione, F.; Bianco, N.; De Rossi, F.; Turni, G.; Vanoli, G.P. *Different methods for the modelling of thermal bridges into energy simulation programs: Comparisons of accuracy for flat heterogeneous roofs in Italian climates*. Appl. Energy 2012, 97, 405–418, doi:10.1016/j.apenergy.2012.01.022.
66. Asdrubali, F.; Baldinelli, G.; Bianchi, F. *A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings*. Appl. Energy 2012, 97, 365–373, doi:10.1016/j.apenergy.2011.12.054.
67. Asdrubali, F.; Baldinelli, G.; Bianchi, F.; Costarelli, D.; Rotili, A.; Seracini, M.; Vinti, G. *Detection of thermal bridges from thermographic images by means of image processing approximation algorithms*. Appl. Math. Comput. 2018, 317, 160–171, doi:10.1016/j.amc.2017.08.058.
68. Zalewski, L.; Lassue, S.; Rouse, D.; Boukhalfa, K. *Experimental and numerical characterization of thermal bridges in prefabricated building walls*. Energy Convers. Manag. 2010, 51, 2869–2877, doi:10.1016/j.enconman.2010.06.026.
69. Tadeu, A.; Simões, I.; Simões, N.; Prata, J. *Simulation of dynamic linear thermal bridges using a boundary element method model in the frequency domain*. Energy Build. 2011, 43, 3685–3695, doi:10.1016/j.enbuild.2011.10.001.
70. Dilmac, S.; Guner, A.; Senkal, F.; Kartal, S. *Simple method for calculation of heat loss through floor/beamwall intersections according to ISO 9164*. Energy Convers. Manag. 2007, 48, 826–835, doi:10.1016/j.enconman.2006.08.015.
71. LST EN ISO 13790:2007. *Šiluminės Pastatų Charakteristikos. Energijos Poreikio Patalpoms šildyti Skaičiavimas (ISO 13790:2004): Europos Standartas EN ISO 13790:2004 Turi Lietuvos Standarto Statusą = Thermal Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Space Heating*, 64. (2007).
72. Wild W., *Application of Infrared Thermography in Civil Engineering*. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 4, 436–444 (2007).
73. Ascione, F.; Bianco, N.; De Rossi, F.; Turni, G.; Vanoli, G.P. *Different methods for the modelling of thermal bridges into energy simulation programs: Comparisons of accuracy for flat heterogeneous roofs in Italian climates*. Appl. Energy 2012, 97, 405–418, doi:10.1016/j.apenergy.2012.01.022.
74. Bianchi, F.; Pisello, A.L.; Baldinelli, G.; Asdrubali, F. *Infrared thermography assessment of thermal bridges in building envelope: Experimental validation in a test room setup*. 7107–7120, doi:10.3390/su6107107.
75. Theodosiou, T.G.; Papadopoulos, A.M. *The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions*. Energy Build. 2008, 40, 2083–2089, doi:10.1016/j.enbuild.2008.06.006.

76. Theodosiou, T.; Tsikaloudaki, K.; Bikas, D. *Analysis of the Thermal Bridging Effect on Ventilated Facades*. *Proced. Environ. Sci.* 2017, 38, 397–404, doi:10.1016/j.proenv.2017.03.121.
77. Ramalho de Freitas, J.; Grala da Cunha, E. *Thermal bridges modeling in South Brazil climate: Three different approaches*. *Energy Build.* 2018, 169, 271–282, doi:10.1016/j.enbuild.2018.03.044.
78. Ge, H.; McClung, V.R.; Zhang, S. *Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study*. *Energy Build.* 2013, 60, 163–173, doi:10.1016/j.enbuild.2013.01.004
79. Zedan, M.F.; Al-Sanea, S.; Al-Mujahid, A.; Al-Suhaibani, Z. *Effect of Thermal Bridges in Insulated Walls on Air-Conditioning Loads Using Whole Building Energy Analysis*. *Sustainability* 2016, 8, 1–20, doi:10.3390/su8060560.
80. Song, J.H.; Lim, J.H.; Song, S.Y. *Evaluation of alternatives for reducing thermal bridges in metal panel curtain wall systems*. *Energy Build.* 2016, 127, 138–158, doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.078.
81. Evola, G.; Margani, G.; Marletta, L. *Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate*. *Energy Build.* 2011, 43, 2385–2393, doi:10.1016/j.enbuild.2011.05.028.
82. Santos, P.; Martins, C.; Da Silva, L.S.; Bragança, L. *Thermal performance of lightweight steel framed wall: The importance of flanking thermal losses*. *J. Build. Phys.* 2014, 38, 81–98, doi:10.1177/1744259113499212.
83. Santos P, Martins C, da Silva LS, Braganca L. *Thermal performance of lightweight steel framed wall: the importance of flanking thermal losses*. *J Build Phys.* 2014;38(1):81–98.
84. Roque, E.; Santos, P. *The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position*. *Buildings* 2017, 7, 13, doi:10.3390/buildings7010013.
85. Levinskyte, A.; Banionis, K.; Geleziunas, V. *The Influence of Thermal Bridges for Buildings Energy - Consumption of "A" Energy Efficiency Class*. *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 2016, 15, 47–58, doi:10.5755/j01.sace.15.2.15351.
86. Styrodur C. (2011). Thermal insulation of cold bridges. Information. on design. and styling. Rules of work. [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <http://docplayer.ru/51186434-Styrodur-c-teploizolyaciya-mostikov-holoda-informaciya-po-proektirovaniyu-i-ukladke-pravila-raboty.html>
87. Thermal insulation of cold bridges. [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą [://www.ppu21.ru/article/295.html](http://www.ppu21.ru/article/295.html)
88. DM2 - Digital Manometer. [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://retrotec.com/dm2-digital-manometer.html>

89. Kimo Hotwire Thermo-Anemometer, VT 110. [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://www.indiamart.com/proddetail/kimo-hotwire-thermo-anemometer-vt-110-13533542130.html>

90. Flir b50 [žiūrėta 2018-09-11]. Prieiga per internetą <https://tideo.ru/p154602610-teplovizor-flir-b50.html>

PRIEDAI