



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė

Baigiamasis magistro studijų projektas

Aurelijus Dabrikas

Projekto autorius

Asist. dr. Donatas Aviža

Vadovas

Panevėžys, 2026



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė

Baigiamasis magistro studijų projektas

Integruotas projektavimo ir statybos valdymas (6211EX076)

Aurelijus Dabrikas

Projekto autorius

Asist. dr. Donatas Aviža

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2026



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Aurelijus Dabrikas

Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Aurelijus Dabrikas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraite

Baigiamojo magistro projekto užduotys

Diplomantui **Aurelijui Dabrikui**

Baigiamojo projekto tema *Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė*

Baigiamojo projekto tema *Comparative Analysis of the Effectiveness of Window-Wall Linear Thermal Bridges*

Patvirtinta 2025 m. lapkričio 24 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-27.

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2026 m. sausio 5d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Išanalizuoti vieno buto gyvenamo namo lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių įtaką A++ klasės pastato energiniam naudingumui.

Baigiamasis magistro projektas turi atitikti KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto baigiamųjų projektų rengimo metodinius reikalavimus.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

1. Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio mokslininkų publikacijas bei norminius reikalavimus keliamus lango-sienos šiluminiams tilteliams.
2. Pateikti daugiakriterio vertinimo metodo COPRAS algoritmą, aprašyti tyrimui naudotas priemones ir metodus.
3. Ištirti trijų skirtingų langų montavimo būdų sienoje ilginius šiluminius tiltelius, jų įtaką pastato energiniam naudingumui, nustatyti efektyviausią lango montavimo vietą sienos atžvilgiu, parinkti racionaliausią lango montavimo sistemos variantą COPRAS vertinimo metodu.

Vadovas

Asist. dr. Donatas Aviža

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau

Aurelijus Dabrikas

(studento vardas, pavardė, parašas)

2025 m. lapkričio 24 d.

Dabirkas, Aurelijus. Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas asist. dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė): statybos inžinerija, technologijos mokslai (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: lango-sienos mazgas; ilginiai šiluminiai tilteliai, COPRAS.

Panevėžys, 2026. 74 p.

Santrauka

Klimato šiltėjimas daro vis didesnę poveikį mus supančiai aplinkai bei energetikos, statybos ir kitiems sektoriams, todėl energijos suvartojimas pastatuose tampa vienu iš svarbiausių veiksnių siekiant mažinti neigiamas pasekmes aplinkai, ekonomikai. Kadangi pastatai sudaro reikšmingą dalį visos sunaudojamos energijos, ypač šildymo ir vėsinimo srityse, būtina siekti didesnio energinio efektyvumo. Europos sąjunga, atsižvelgdama į klimato krizę, yra numačiusi Europos žaliąjį kursą, kuriuo siekiama, kad ES taptų klimatui neutraliu regionu. Trijuose ketvirtadaliuose pastatų energija naudojama netinkamai ir netaupiai. Energetinių išteklių poreikio suvaldymas ir optimizavimas yra viena iš svarbiausių priemonių, kuri leis Europos Sąjungai daryti įtaką pasaulinei energetikos rinkai.

Tikslas – atlikti lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamąją analizę.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio mokslininkų publikacijas bei norminius reikalavimus, keliamus lango-sienos šiluminiams tilteliams.
2. Pateikti daugiakriterio vertinimo metodo COPRAS algoritmą, aprašyti tyrimui naudotas priemones ir metodus.
3. Ištirti trijų skirtingų langų montavimo būdų sienoje ilginius šiluminius tiltelius, jų įtaką pastato energiniam naudingumui, nustatyti efektyviausią lango montavimo vietą sienos atžvilgiu bei parinkti racionaliausią lango montavimo sistemos variantą, taikant COPRAS vertinimo metodą.

Magistro baigiamojo projekto pirmoje dalyje atlikta mokslinių straipsnių apžvalga, iš kurios matyti, kad, keičiantis klimatui ir įvertinus pastatų įtaką energijos suvartojimui, ypač svarbu didinti pastatų energinį naudingumą taip mažinant CO₂ įtaką aplinkai. Antroje dalyje aprašyta ilginių šiluminių tiltelių, šiluminių varžų skaičiavimo metodika, išnagrinėtas ir aprašytas daugiakriteris vertinimo metodas COPRAS. Trečioje baigiamojo projekto dalyje ištirti trys skirtingi langų montavimo būdai, įvertintos šešios galimos lango montavimo vietos, nustatytas efektyviausias sienos-lango montavimo būdas. Vertinamieji kriterijai: ilginio šiluminio tiltelio vertė, šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti bei vėsinti, pastato išmetamas CO₂ bei sienos – lango mazgo įrengimo sudėtingumas.

Magistro studijų baigiamąjį projektą sudaro: santrauka Lietuvių ir anglų kalbomis, trys skyriai, išvados, literatūros ir šaltinių sąrašas bei priedai. Projekto apimtis 74 puslapiai, su 3 puslapių priedu. Naudotos literatūros ir šaltinių sąrašą sudaro 50 įrašų.

Dabrikas, Aurelijus. *Comparative Analysis of the Effectiveness of Window-Wall Linear Thermal Bridges*. Master's Final Degree Project / supervisor: Assoc. Prof. Donatas Aviža; Panevėžys Faculty of Technology and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Civil Engineering, Technology Sciences (Engineering Sciences).

Keywords: wall-window junction, linear thermal bridges, COPRAS.

Panevėžys, 2026. 74 pages.

Summary

Global warming is having an increasing impact on the environment and on the energy, construction, and other sectors, making the energy consumption of buildings one of the most important factors in reducing negative consequences for the environment and the economy. Since buildings account for a significant proportion of total energy consumption, particularly in the areas of heating and cooling, it is necessary to strive for greater energy efficiency. In response to the climate crisis, the European Union has introduced the European Green Deal, which aims to make the EU a climate-neutral region. Approximately three-quarters of buildings use energy inefficiently and wastefully. Controlling and optimizing energy demand is therefore one of the most important measures enabling that will enable the European Union to influence the global energy market.

The objective of this study is to perform a comparative analysis of the effectiveness of window-wall linear thermal bridges.

Tasks:

1. To analyze publications by Lithuanian and foreign researchers, as well as ~~and~~ regulatory requirements related to window-wall thermal bridges.
2. To present the COPRAS multi-criteria evaluation algorithm and describe the tools and methods used in the study.
3. To investigate the longitudinal thermal bridges of three different window installation methods in walls, assess their impact on the energy efficiency of buildings, to determine the most effective window installation location in relation to the wall, and to select the most rational window installation system option using the COPRAS evaluation method.

The first part of the master's thesis presents a review of scientific literature, which demonstrates that, in the context of climate change and considering the impact of buildings on energy consumption, it is particularly important to improve the energy efficiency of buildings, thereby reducing their environmental impact. The second part describes the methodology for calculating longitudinal thermal bridges and thermal resistance, and examines and describes the COPRAS multi-criteria evaluation method. The third part of thesis investigates three different window installation methods, evaluates six possible window installation locations, and determines the most effective wall-window installation solution. The evaluation criteria include the value of the longitudinal thermal bridge, thermal energy demand for heating and cooling the building, the CO₂ emissions of the building, and the complexity of installing the wall-window junction.

The master's thesis consists of: a summary in Lithuanian and English, three chapters, conclusions, a list of references and appendices. The project is 74 pages long, with a 3-page appendix. The list of references consists of 50 sources.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Mokslinės literatūros analizė.....	15
1.1. Pastatų energinio efektyvumo raida Lietuvoje	15
1.2. Pastatų energinio efektyvumo raida Europoje.....	16
1.3. Pastatų šilumos nuostoliai	17
1.4. Pastatų ilginiai šiluminiai tilteliai	17
1.5. Pagrindiniai veiksniai sienos-lango mazge, darantys įtaka energiniam efektyvumui.....	21
1.5.1. Sienos-lango mazgo sandarumas.....	21
1.5.2. Lango padėtis sienos atžvilgiu.....	22
1.6. Lango šilumos perdavimo koeficientas	28
1.6.1. Langų rėmų energinio efektyvumo didinimas.....	28
1.6.2. Langų įstiklinimo energinio efektyvumo didinimas.....	31
2. Tyrimo metodika	34
2.1. Daugiakriteris vertinimo metodas COPRAS.....	34
2.2. Atitvaros šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimas.....	36
2.3. Ilginių šiluminių tiltelių apskaičiavimo metodika	38
2.4. Ekspertų apklausos įverčių suderinamumas	38
2.5. Kompiuterinė programa THERM.....	39
2.6. Energinio naudingumo vertinimas programa NRG 7.....	39
3. Tiriamoji dalis.....	40
3.1. Tiriamieji modeliai	40
3.1.1. Tiriamasis modelis Nr.1	41
3.1.2. Tiriamasis modelis Nr. 2	42
3.1.3. Tiriamasis modelis Nr. 3	43
3.1.4. Tiriamasis PENS modelis.....	44
3.2. Tiriamojo pastato atitvarų šiluminės charakteristikos.....	46
3.3. Modelio Nr.1 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimas.....	47
3.4. Modelio Nr.2 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimas.....	51
3.5. Modelio Nr.3 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimas.....	54
3.6. Sienos – lango ilginių šiluminių tiltelių įtaka pastato energiniam naudingumui	60
3.7. Ekspertų apklausos rezultatų įvertinimas	61
3.8. Efektyviausios alternatyvos nustatymas COPRAS vertinimo metodu.....	64
Išvados	66
Literatūros sąrašas	67
Priedai.....	72

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų vertės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių [1].....	20
2 lentelė. Tyrime tirtų sienų sąrašas [26]	23
3 lentelė. Tyrimo rezultatai [31]	29
4 lentelė. Sienos-lango modelio Nr.1 konstrukciją sudarančių statybos produktų sąrašas	42
5 lentelė. Sienos-lango modelio Nr.2 konstrukciją sudarančių statybos produktų sąrašas	43
6 lentelė. Sienos-lango modelio Nr.3 konstrukciją sudarančių statybos produktų sąrašas	44
7 lentelė. Tiriamojo modelio (vieno buto gyvenamo namo) pagrindiniai techniniai rodikliai	45
8 lentelė. Tiriamojo vieno buto gyvenamojo namo patalpų eksplikacija.....	46
9 lentelė. Sienos šilumos perdavimo koeficiento $U, W/(m^2 \cdot K)$, skaičiavimas	46
10 lentelė. Sienos šilumos perdavimo koeficiento $U, W/(m^2 \cdot K)$, skaičiavimas	47
11 lentelė. Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi, (W/(m \cdot K))$ vertės	47
12 lentelė. Modelio Nr. 1 ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi, (W/(m \cdot K))$ vertės	48
13 lentelė. Modelio Nr. 2 ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi, (W/(m \cdot K))$ vertės	51
14 lentelė. Modelio Nr. 3 be stiklo pluošto laikiklių ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi, (W/(m \cdot K))$ vertės	54
15 lentelė. Modelio Nr. 3 su stiklo pluošto laikikliais ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi, (W/(m \cdot K))$ vertės	56
16 lentelė. Modelio Nr.3 vidutinės ilginių šiluminių tiltelių vertės	59
17 lentelė. Sienos – lango ilginių šiluminių tiltelių įtakos tyrimo pastato energiniam naudingumui rezultatai	60
18 lentelė. Statybos specialistų apklausos rezultatai	62
19 lentelė. Pirminė sprendimų priėmimo matrica	64
20 lentelė. Normalizuota matrica	64
21 lentelė. Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos	64
22 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis.....	65

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pastatų energinio efektyvumo klasifikavimas į klases [5]	12
2 pav. Šilumos nuostolių pasiskirstymas pagal pastato atitvaras [16]	17
3 pav. Sienos, sienos-pamato mazgai, kuriuose sudaro šiluminiai tilteliai [17]	18
4 pav. Lango (durų)-sienos mazgai, kuriuose susidaro šiluminiai tilteliai [17].....	18
5 pav. Perdangos-sienos mazgai, kuriuose susidaro šiluminiai tilteliai [17]	19
6 pav. Balkono-sienos, stogo-sienos mazgai, kuriuose susidaro šiluminiai tilteliai [17]	19
7 pav. Langų rėmų montavimo būdai: a) ant inkarinių tvirtinimo detalių (kairėje); b) ant medžio drožlių plokštės rėmo (viduryje); c) akmens vatos plokštėse (dešinėje) [25]	23
8 pav. Ilginių šiluminių tiltelių verčių priklausomybė nuo lango padėties lango angoje medinio rėmo sienose. Spalvomis pažymėtos medžiagos: šviesiai pilka – gipso kartonas; oranžinė – statybinė mediena; geltona – izoliacija [26]	24
9 pav. Ilginių šiluminių tiltelių verčių priklausomybė nuo lango padėties lango angoje betoninės sienos, izoliuotos iš vidaus ir išorės, atvejais. Spalvomis žymimos šios medžiagos: šviesiai pilka – gipso kartonas, tamsiai pilka – tinkas, raudona – betonas, oranžinė – konstrukcija [26].....	24
10 pav. Analizuojama montavimo sistema: a) montavimo sistemos sudedamosios dalys; b) lango	25
11 pav. Analizuotų langų montavimo variantai [27]	26
12 pav. Apskaičiuotų linijinių šiluminių tiltelių sienos ir lango sandūros vietos schemos ir bandymo pozicijų nustatymas: T1 – prie išorinės šilumos izoliacijos krašto; T2 – 1/3 šilumos izoliacijos nuo išorinio krašto; T3 – 1/2 šilumos izoliacijos; T4 – 1/3 šilumos izoliacijos nuo vidinio krašto; T5 – prie vidinio šilumos izoliacijos krašto; T6 – prie išorinio mūro krašto; T7 – prie mūro sienos; T8 – prie vidinio mūro krašto[5]	27
13 pav. Tyrimo rezultatai, apskaičiuoti šilumos tilteliai ir šilumos nuostoliai [5].....	27
14 pav. Tiriamų langų rėmų schema [29]	29
15 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemos [31]	29
16 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemos [34]	30
17 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemos [34]	30
18 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemos [37]	31
19 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemos [40]	33
20 pav. COPRAS metodo sprendimo algoritmas.....	35
21 pav. Tiriamųjų lango padėčių schema.....	40
22 pav. Tiriamųjų lango padėčių schema.....	41
23 pav. Tiriamojo modelio Nr. 1 konstrukcija (sluoksnių aprašymas pateiktas 4 lentelėje)	41
24 pav. Tiriamojo modelio Nr. 2 konstrukcija (sluoksnių aprašymas pateiktas 5 lentelėje)	42
25 pav. Tiriamojo Nr. 3 modelio konstrukcija (sluoksnių aprašymas pateiktas 6 lentelėje)	43
26 pav. Tiriamojo pastato vaizdas.....	44
27 pav. Tiriamojo namo aukšto planas	45
28 pav. Modelio Nr.1 sienos – lango ilginiai šiluminiai tilteliai.....	50
29 pav. Modelio Nr.2 sienos–lango ilginiai šiluminiai tilteliai.....	53
30 pav. Modelio Nr.3 sienos – lango ilginiai šiluminiai tilteliai.....	60
31 pav. NRG-sert programos langas su keičiamais ilginiai šiluminiais tilteliais.....	60
32 pav. Kriterijų reikšmingumo pasiskirstymas	63
33 pav. Metodo COPRAS vertinimo rezultatai.....	65

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

ES – Europos Sąjunga;

LR AM – Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija;

STR – statybos techninis reglamentas.

Terminai:

Pastato (jo dalies) energinis naudingumas – apskaičiuotas energijos kiekis, reikalingas patenkinti su įprastu pastato naudojimu siejamą energijos poreikį, įskaitant energiją pastato šildymo, vėsinimo, vėdinimo, karšto vandens ruošimo ir pastato apšvietimo reikmėms [1].

Mažai energijos naudojantys pastatai (jų dalys) – pastatai (jų dalys), atitinkantys Reglamento reikalavimus B, A ir A+ klasės pastatams [1].

Energijos beveik nevartojantys pastatai – pastatai, atitinkantys Reglamento reikalavimus A++ energinio naudingumo klasės pastatams, t. y. labai aukšto energinio naudingumo pastatai, kuriuose energijos sunaudojimas beveik lygus nuliui arba energijos sunaudojimas labai mažas; didžiąją sunaudojamos energijos dalį sudaro atsinaujinančių išteklių energija, įskaitant vietoje ar netoliese pagamintą atsinaujinančių išteklių energiją [1].

Šilumos tiltelis – pastato atitvaro dalis, kurioje paprastai vienoda šiluminė varža yra gerokai pakitusi dėl skirtingą šilumos laidumo koeficientą turinčių medžiagų dalinio ar visiško prasiskverbimo į pastato atitvarą, ir (arba) dėl konstrukcijos storio pokyčio ir (arba) dėl skirtumo tarp vidinių ir išorinių plotų, atsirandančio sienų, grindų ar lubų jungtyse [2].

Ilginis šilumos tiltelis – šilumos tiltelis, kurio skerspjūvis yra vienodas išilgai vienos iš trijų ortogonalųjų ašių [2].

Taškinis šilumos tiltelis – lokalizuotas šilumos tiltelis, kurio įtaką galima išreikšti taškiniu šilumos perdavimo koeficientu [2].

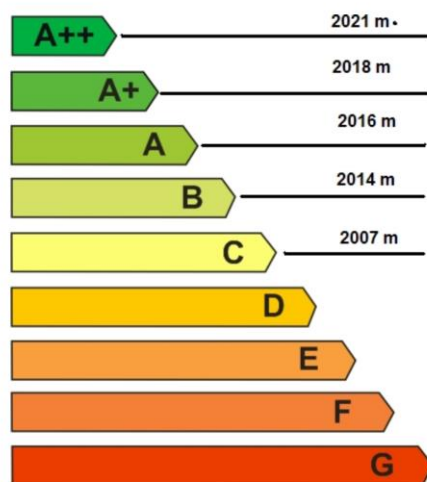
Ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas (Ψ) – šilumos srauto tankis, tenkantis šiluminio tiltelio ilgio vienetui, kai oro temperatūrų skirtumas abiejose atitvaros pusėse yra 1 °C (W/(m·K)) [1].

Įvadas

Darbo aktualumas. Europos Sąjunga, atsižvelgdama į klimato krizę, yra numačiusi Europos žaliąjį kursą, kuriuo siekiama, kad klimato šilimas neviršytų 1,5 °C, o iki 2050 m. Europos Sąjunga taptų klimatui neutraliu regionu [3].

2023 m. liepą Europos Parlamentas patvirtino naujus tikslus: iki 2030 m. Europos Sąjungos mastu bendrą energijos suvartojimą numatyta sumažinti bent 11,7 proc., lyginant su 2020 m. pamatinio scenarijaus prognozėmis [4]. Europos Sąjungoje pastatai sunaudoja apie 40 proc. energijos ir sudaro maždaug 36 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų. Trijuose ketvirtadaliuose pastatų energija naudojama netinkamai ir netaupiai. Įvertinus šią aplinkybę, t. y. neefektyvų energijos resursų naudojimą, Europos Sąjunga yra priėmusi nuostatą dėl pastatų išmetamo anglies dvideginio kiekio mažinimo. Ši nuostata yra ilgalaikio pobūdžio, t. y. jai įgyvendinti skiriamas laikotarpis iki 2050 metų. Energetinių išteklių poreikio suvaldymas ir optimizavimas yra viena iš svarbiausių priemonių, kuri leis ES i daryti įtaką pasaulinei energetikos rinkai. Taip būtų užtikrinama energijos išteklių gamyba ir tiekimas vidutiniu bei ilgalaikiu laikotarpiu.

2006 m. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu buvo patvirtintas statybos techninis reglamentas STR 2.01.09:2005 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ reglamentas kuriuo yra nustatomi minimalūs reikalavimai pastatų energinio naudingumo parametrui statant, rekonstruojant, remontuojant pastatus, taip pat įtvirtinta pastatų energinio naudingumo sertifikavimo tvarka ir metodai. Šį statybos techninį reglamentą vėliau pakeitė STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [1], kuriame buvo nustatyti reikalavimai, kad naujai statomų pastatų minimali energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip C – nuo 2007 m., B – nuo 2014 m., A – nuo 2016 m., A+ – nuo 2018 m., A++ – nuo 2021 m. (žr. 1 pav.).



1 pav. Pastatų energinio efektyvumo klasifikavimas į klases [5]

Problematika. Iki 2010 m. pastatytų pastatų šilumos nuostoliai yra dideli, o ilginiai šiluminiai tilteliai neturi reikšmingos įtakos pastatų energiniam naudingumui. Nuo 2021 m. naujai statomi tik A++ energinio naudingumo klasės pastatai, kurių šilumos nuostoliai yra maži, palyginti su C ir žemesnių energinio naudingumo klasių pastatais, todėl ilginių šiluminių tiltelių įtaka bendram pastato

energiniam naudingumui yra didelė ir gali sudaryti iki 39 proc. visų šilumos nuostolių [6]. Mazgų projektavimas ir įrengimas reikalauja daugiau žinių ir dėmesio iš projektuotojų bei rangovų.

Temos iširtumas. Mažėjant šilumos nuostolių daliai per sienas bendruose pastato šilumos nuostoliuose, didėja pastato konstrukcijose susidarantių ilginių ir taškinių šiluminių tiltelių įtaka bei jų tikslaus apskaičiavimo svarba, vertinant šilumos nuostolius per pastatų atitvaras [7]

Ge ir Baba [8] nustatė, kad neįvertinus šiluminių tiltelių poveikio, šalto klimato zonoje esančių pastatų energijos poreikis šildymui padidėja 18 proc., o karšto klimato zonoje energijos poreikis tokiam pačiam pastatui padidėja 30 proc. šildymui ir 20 proc. vėsinimui. Metinis energijos poreikis šildymui sudaro tik 5 proc. metinės energijos, reikalingos vėsinimui [8].

Mokslinėje literatūroje yra nepakankamai išnagrinėti lango-sienos ilginiai šiluminiai tilteliai ir jų efektyvumas A++ klasės pastatuose, todėl šiame studijų projekte bus atlikta šių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė.

Tyrimų objektas – lango – sienos ilginiai šiluminiai tilteliai.

Tikslas – atlikti A++ energinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato palyginamąją lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo analizę, taikant daugiakriterį vertinimo metodą COPRAS.

Darbo uždaviniai:

1. išanalizuoti Lietuvos ir užsienio mokslininkų publikacijas bei norminius reikalavimus keliamus lango-sienos šiluminiams tilteliams.
2. pateikti daugiakriterio vertinimo metodo COPRAS algoritmą ir aprašyti tyrimui naudotas priemones bei metodus.
3. ištirti trijų skirtingų langų montavimo būdų sienoje ilginius šiluminius tiltelius, jų įtaką pastato energiniam naudingumui, nustatyti efektyviausią lango montavimo vietą sienos atžvilgiu bei parinkti racionaliausią lango montavimo sistemos variantą COPRAS vertinimo metodu.

Tyrimų metodas – mokslinių šaltinių analizė, empirinis tyrimas taikant COPRAS metodą.

Rengiant baigiamąjį magistro projektą naudotos šios programinės įrangos:

- ilginiams šiluminiams tilteliams skaičiuoti naudota „LBNL THERM 7.6“ programa.
- Pastato energiniam naudingumui vertinti naudojama „NRG7 – Sert“ programa.
- Anketai sudaryti ir ekspertų apklausai naudota „Microsoft Forms“ programa.
- Duomenim apdoroti ir skaičiavimams atlikti naudota „Microsoft Excel“ programa

Autoriaus publikuotas straipsnis:

DABRIKAS, Aurelijus, AVIŽA, Donatas. A++ energinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato lango – sėamos ilginių šiluminių tiltelių palyginamoji analizė. // Technologijų ir verslo aktualijos – 2024: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2024 m. lapkričio 22 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. ISSN 2538- 8045. 2024.

Autoriaus konferencijoje skaitytas pranešimas:

Dabrikas, Aurelijus. A++ energinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato lango–sąramos ilginių šiluminių tiltelių palyginamoji analizė. Studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2024“. Panevėžys: Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, 2024 m. lapkričio 22 d.

Magistro studijų baigiamąjį projektą sudaro: santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, trys skyriai, išvados, literatūros ir šaltinių sąrašas bei priedai. Projekto apimtis 74 puslapiai, su 3 puslapių priedu. Naudotos literatūros ir šaltinių sąrašą sudaro 50 įrašų.

1. Mokslinės literatūros analizė

1.1. Pastatų energinio efektyvumo raida Lietuvoje

Aplinkos apsaugos ir energijos taupymo politika Lietuvoje prasidėjo 1992 m., patvirtinus pirmuosius pastatų energijos vartojimo efektyvumo reikalavimus. Dėl šių reikalavimų pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų normos buvo sumažintos apie tris kartus. Pastatų energijos vartojimo efektyvumo reikalavimai antrą kartą buvo atnaujinti 1999 m., o trečią kartą – 2005 m [9].

Pastatų energinio naudingumo sertifikavimas Lietuvoje prasidėjo 2006 m., kai buvo perkelta pirmoji Europos direktyva (2002/91/EB). Sertifikavimas atliekamas naudojant patvirtintą skaičiavimo metodiką, kurioje atsižvelgiama į tokius aspektus kaip pastato atitvaros, šildymo ir vėsinimo sistemos, apšvietimas ir kitos esamos energetinės sistemos, tačiau neatsižvelgiama į vartotojų elgesio poveikį pastatų energijos vartojimo efektyvumo rodikliams [10].

Sertifikavimo skaičiavimo metodika nuo jos įvedimo buvo reguliariai atnaujinama. Iki 2012 m. skaičiavimai buvo atliekami pagal metinį skaičiavimo metodą, vėliau buvo pradėtas taikyti mėnesinis metodas. 2014 m. į skaičiavimo metodiką buvo įtrauktas pirminės energijos suvartojimas. Šiuo metu sertifikavimo metodikos pagrindą sudaro statybos techninis reglamentas STR 2.01.02: 2016 „Pastatų energijos vartojimo efektyvumo projektavimas ir sertifikavimas“ [1], pagal kuriuos turi būti vertinami šie pastatų energijos suvartojimo aspektai:

- pastatui šildyti, įskaitant ventiliacijos sistemų oro šildymą, sunaudota šiluminė ir pirminė energija;
- šiluminės ir pirminės energijos suvartojimas, susijęs su karšto vandens gamyba pastate, įskaitant vandens šildymo įrenginių energijos suvartojimą ir energijos nuostolius dėl vamzdinių;
- šiluminės ir pirminės energijos suvartojimas, susijęs su pastato vėsinimu;
- pirminė energija elektros energijos pavidalu, naudojama apšvietimo sistemoms ir prietaisams, taip pat elektros energija, suvartojama už pastato ribų bei elektros energija, suvartojama ventiliatoriuose, esančiuose ventiliacijos sistemoje.

Pastatų energijos vartojimo efektyvumas Lietuvoje nėra susijęs su konkrečiu energijos suvartojimo skaičiumi, bet yra apibūdinamas pagal konkretaus pastato energijos vartojimo charakteristikas.

Pastatai pagal jų energijos vartojimo charakteristikas yra suskirstyti į devynias klases: A++, A+, A, B, C, D, E, F ir G [11]. Remiantis šiuo principu, teisės aktuose nustatyti minimalūs normatyviniai reikalavimai pastatų apvalkalų šiluminėms charakteristikoms, pavyzdžiui, stogų, išorinių sienų, langų, durų ir kt. U vertė, kurią pastatas turi atitikti, kad būtų priskirtas tam tikrai energijos vartojimo efektyvumo klasei [12]. Tai taikoma visoms energijos vartojimo efektyvumo klasėms, pradedant nuo C klasės. Skiriant pastatui tam tikrą energijos vartojimo efektyvumo klasę taip pat atsižvelgiama į pastato inžinerinių sistemų veikimą ir kitas pastato charakteristikas, pavyzdžiui, apskaičiuotą pastato sandarumą, vėdinimo įrenginio šilumos atgavimo sistemos efektyvumą ir atsinaujinančius energijos šaltinius.

2011 m. statybos norminiuose dokumentuose buvo atlikti esminiai pastatų energijos vartojimo efektyvumo reikalavimų pakeitimai, kuriais nustatyti etapai, skirti pereiti prie beveik nulinės energijos pastatų (NZEB). Nurodyta, kad nuo 2016 m. bus statomi ne žemesnės kaip A klasės, nuo 2018 m. – A+ klasės, o nuo 2021 m. – tik A++ energijos vartojimo efektyvumo klasės pastatai [13].

Kaip teigia Bliūdžius ir kt. [13] išanalizavus pastatams išduotų pastatų energetinio naudingumo sertifikatų duomenis, paaiškėjo, kad 2006–2021 m. laikotarpiu Lietuvos statybos sektoriaus normatyvinėje bazėje įgyvendinti Pastatų energetinio naudingumo direktyvos reikalavimai turėjo didelį poveikį biurų pastatų energijos vartojimo efektyvumui. Palyginus C ir A++ energijos vartojimo efektyvumo klasių pastatų energijos suvartojimą, paaiškėjo, kad vidutinis šiluminės energijos poreikis šildymui sumažėjo apie 10 kartų, vėsinimui – apie 35 proc., o karštam vandeniui – apie 2 kartus. Atitinkamai sumažėjo ir pirminės energijos suvartojimas.

1.2. Pastatų energinio efektyvumo raida Europoje

ES nuo 1970-ųjų ir 1980-ųjų priėmė politikos priemones ir programas, skirtas bendram energijos vartojimo efektyvumui skatinti. Pagrindiniai žingsniai energijos vartojimo efektyvumo didinimo srityje buvo žengti 2002 m., priėmus Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2002/91/EB dėl pastatų energinio naudingumo (EPBD). Vėliau energijos vartojimo efektyvumo politika buvo plėtojama Ekologinio projektavimo direktyvos (2005 m.), Energijos paslaugų direktyvos (ESD, 2006 m.), EPBD perrašymo (2010 m.) ir Energijos vartojimo efektyvumo direktyvos (EED, 2012 m.) pagrindu. Griežtesni statybos standartai ir reikalavimai šildymo prietaisams prisidėjo prie šildymo energijos suvartojimo, kuris yra pagrindinė energijos naudojimo sritis ES statybos sektoriuje, sumažėjimo. Kaip nurodyta, EPBD buvo pagrindinė ES politika, skirta skatinti energijos vartojimo efektyvumo didinimą pastatuose. Priėmus Pastatų energinio naudingumo direktyvą (EPBD), buvo pereita nuo atskirų privalomų reikalavimų, pavyzdžiui, pastatų sienų U verčių, prie eksploatacinių reikalavimų. Tai leido įtraukti sąnaudų optimalumo koncepcijas į statybos kodeksus ir taikyti naujiems pastatams peržiūrėtoje EPBD numatytus beveik nulinės energijos lygius. Be to, EPBD ragino valstybes nares nustatyti standartus esamiems pastatams jų renovacijos metu [14].

García-Hooghuis ir Neila [15] pabrėžia teigiamą EPBD įtaką valstybėms narėms, remdamiesi priemonių, įtvirtintų nacionaliniuose teisės aktuose, analize. Todėl daugelyje valstybių narių, perkėlus Europos direktyvas, buvo priimti nacionaliniai teisės aktai, kuriais siekiama nustatyti energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones:

- įsipareigojimus atnaujinti tam tikrą procentinę dalį bendro šildomų ir (arba) vėsinamų viešųjų pastatų ploto, kad būtų įvykdyti minimalūs energijos vartojimo efektyvumo reikalavimai;
- techninius reikalavimus beveik nulinės energijos pastatams (NZEB) ir pastatų sistemoms;
- minimalius reikalavimus pastatams, pastatų komponentams ir techninėms pastatų sistemoms, įskaitant energijos konversijos koeficientų taikymą;
- atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimą pastatuose;
- nepriklausomų ekspertų, tikrinančių oro kondicionavimo sistemas, taisyklių atnaujinimą;
- energijos poreikio apribojimus, apšvietimo įrenginių energijos vartojimo efektyvumo reikalavimus, energijos suvartojimo ribas ir NZEB apibrėžtis.

Pagrindiniai reikalavimai NZEB pastatams:

- aukštas energinis efektyvumas, t.y. pastate suvartojamos energijos kiekis turi būti minimalus;
- energijos poreikis šildymui, vėdinimui, karštam vandeniui, vėsinimui turi būti beveik nulinis arba labai mažas;
- likęs energijos poreikis turi būti padengiamas iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių, gaminant energiją vietoje arba netoliese;

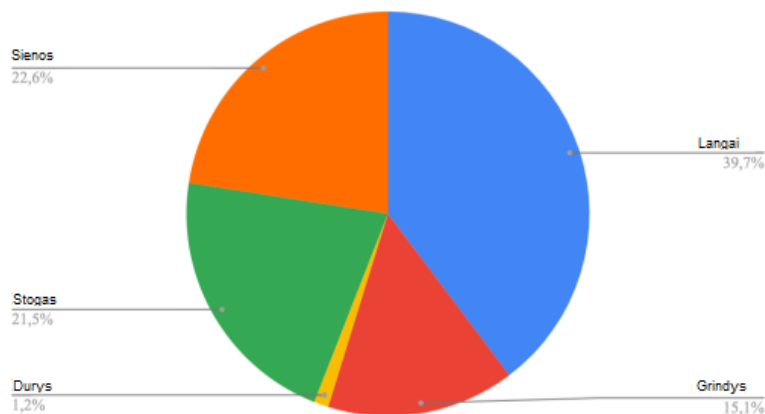
- pastato atitvaros (šiltinimas, langai, sandarumas) turi būti efektyvios, kad minimalizuotų šilumos nuostolius;
- efektyvios inžinerinės sistemos (šildymo, vėdinimo, ir vėsavimo), užtikrinančios aukštą energinį efektyvumą;
- dažnai taikomas rekuperacinis vėdinimas ir atsinaujinančios energijos sprendimai (pavyzdžiui, saulės kolektoriai, fotovoltiniai moduliai).

1.3. Pastatų šilumos nuostoliai

Šilumos nuostoliams pastate, t. y. šilumos srautui, kuris pereina per atitvaras iš patalpų į lauką, esant 1 °C temperatūrų skirtumui, priskiriami šie šiluminės energijos praradimai [1]:

- šiluminės energijos praradimai per pastato stogą;
- šiluminės energijos praradimai per pastato sienas;
- šiluminės energijos praradimai per atitvaras, kurios ribojasi su gruntu;
- šiluminės energijos praradimai per pastato perdangas, kurios ribojasi su išore;
- šiluminės energijos praradimai per pastato duris, garažo vartus, neįskaitant nuostolių dėl durų varstymo;
- šiluminės energijos praradimai per pastato skaidriąsias atitvaras (švieslangius, stoglangius, langus);
- šiluminės energijos praradimai per pastato ilginius šiluminius tiltelius.

Valentina [16] atliktame vieno buto gyvenamojo namo energijos suvartojimo audite pateikia duomenis, kad pastato savitieji šilumos nuostoliai sudaro 69,6 proc. visų energijos nuostolių (žr. 2 p pav.).



2 pav. Šilumos nuostolių pasiskirstymas pagal pastato atitvaras [16]

Pagal pateiktą grafiką (žr. 2 pav.) pastebima, kad šiuo atveju šilumos nuostoliai per langus yra didžiausi, lygint su kitomis pastato atitvaromis, ir sudarė 39,7 proc.

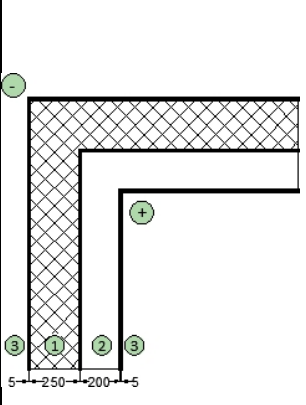
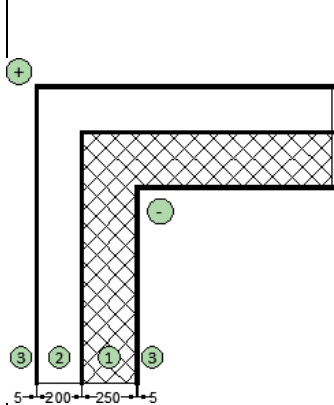
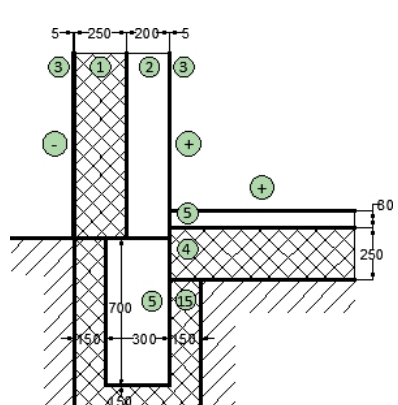
1.4. Pastatų ilginiai šiluminiai tilteliai

Standarte LST EN ISO 10211:2008 šiluminiai tilteliai apibrėžiami kaip pastatų atitvaros dalis, kurioje tolygi šiluminė varža yra ženkliai pakitusi dėl skirtingų medžiagų, turinčių nevienodą šilumos perdavimo koeficientą, dalimi ar visu ilgiu įsiskverbimo į pastatų atitvarą, ir (arba) dėl skirtingų konstrukcijų storių pasikeitimo ir (arba) dėl skirtumų tarp išorinio ir vidinio ploto, atsirandančio grindų, lubų ir sienos susikirtimo mazguose [2].

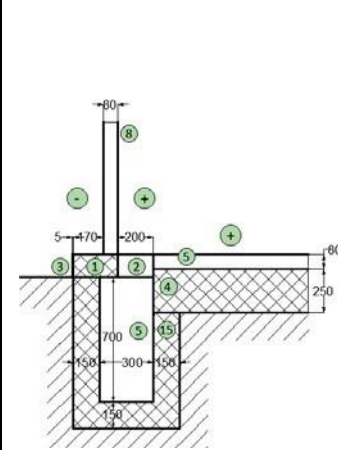
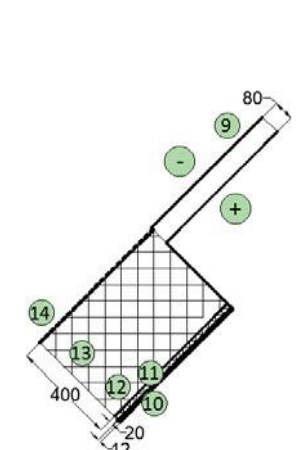
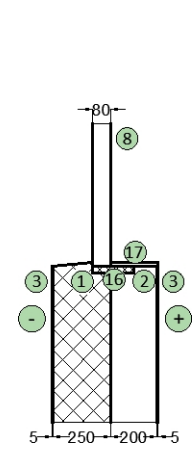
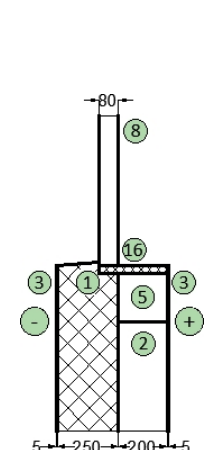
Šiluminiai tilteliai skirstomi į dvi grupes:

- ilginiai šilumos tilteliai – skerspjūvis yra vienodas išilgai vienos iš trijų ortogonalinių ašių [2];
- taškiniai šilumos tilteliai – lokalizuoti šilumos tilteliai, kurių įtaką galima išreikšti taškiniu šilumos perdavimo koeficientu [2].

Černeckienės, Zdankaus, Valančiaus atliktame tyrime [17] pateikiami pastato konstrukcijų mazgai, kuriuose susidaro ilginiai šiluminiai tilteliai (žr. 3–6 pav.).

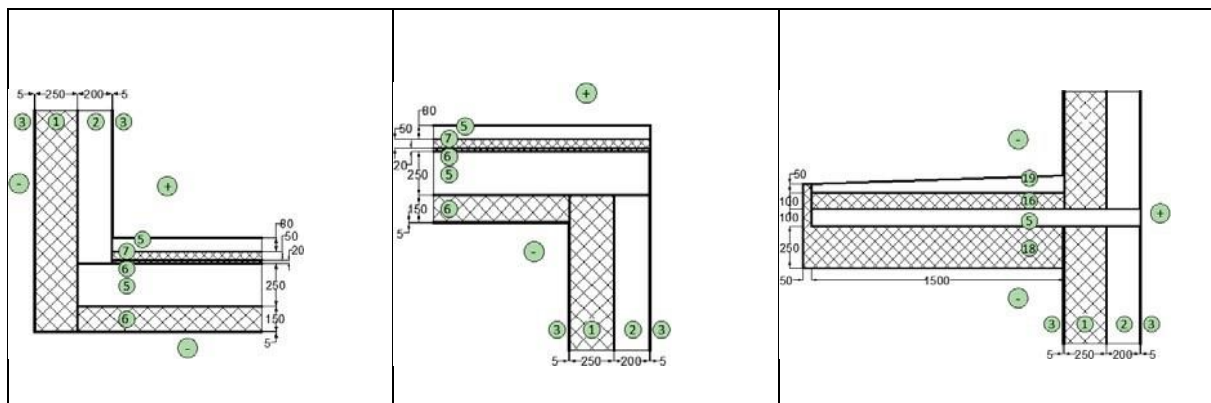
Siena: išorinis kampas	Siena: vidinis kampas	Pamatai-sienos
		

3 pav. Sienos, sienos-pamato mazgai, kuriuose sudaro šiluminiai tilteliai [17]

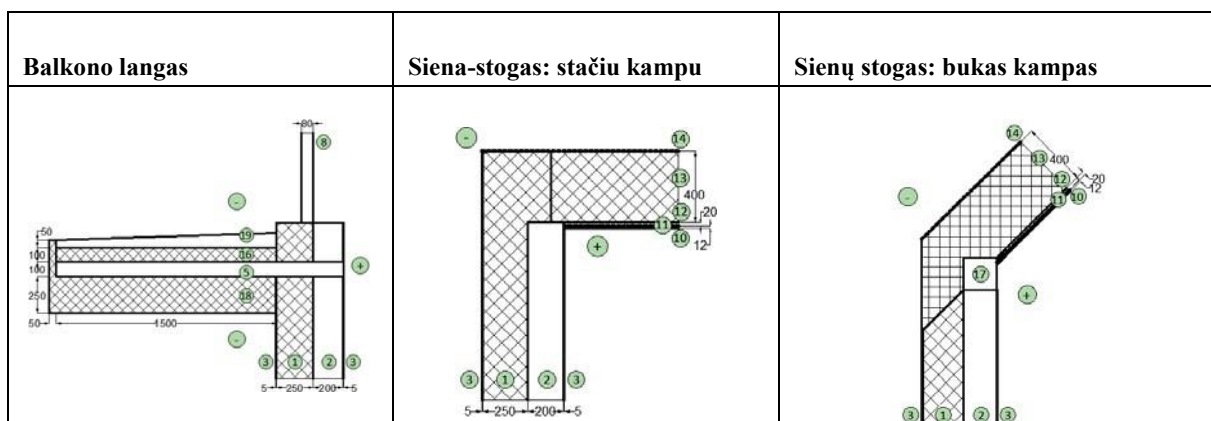
Pamatas-langas / durys	Stoglangis-stogas	Siena-langas / durys	Siena, langas ir durys: iki sąramos
			

4 pav. Lango (durų)-sienos mazgai, kuriuose susidaro šiluminiai tilteliai [17]

Išorinė perdangos siena: išorinis kampas	Išorinė perdangos siena: vidinis kampas	Balkonas-siena
---	---	----------------



5 pav. Perdangos-sienos mazgai, kuriuose susidaro šiluminiai tilteliai [17]



6 pav. Balkono-sienos, stogo-sienos mazgai, kuriuose susidaro šiluminiai tilteliai [17]

Černeckienė, Zdankus, Valančius straipsnyje [17] išskiria du pagrindinis vyraujančius būdus ilginių šiluminių tiltelių savybėms tirti:

1. naudoti pažangias skaitmenines priemones, įskaitant baigtinių elementų metodus;
2. eksperimentinių metodų, ypač infraraudonosios spinduliuotės termografijos, taikymas

STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [1] numato, kad atliekant pastatų energinio naudingumo sertifikavimą pastatų energinio naudingumo projektavimo bei sertifikavimo skaičiavimuose privaloma vertinti šilumos nuostolius, patiriamus per tokius ilginius šiluminius tiltelius:

1. išorinės sienos ir pastato pamato sankirtoje;
2. vartų, durų angos išorinį perimetrą;
3. pastato stogo ir sienos sankirtoje;
4. fasado išoriniame ir vidiniame kampo mazge;
5. balkono plokštės susikirtimo su išorine siena vietoje;
6. tarp su išore besiribojančios perdangos ir sienos mazge;
7. skaidrių atitvarų (švieslangių, langų, stoglangių) angos perimetrą.

Taip pat minėtasis reglamentas [1] numato, kad ilginio šiluminio tiltelio skaičiuojamoji šilumos perdavimo koeficiento vertė gali būti nustatyta vienu iš trijų galimų nurodytų būdų:

1. Išilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficiento vertė apskaičiuojama vadovaujantis reikalavimais, nurodytais LST EN ISO 10211:2008. Atliekant skaičiavimus ilginio šiluminio

tiltelio ilgis turi būti priimamas pagal išorinius pastatų matmenis; skaidrių atitvarų (švieslangių, stoglangių, langų) ir vartų bei durų angos perimetru – pagal mažiausią išorinį angos matmenį; su gruntu besiribojančios atitvaros ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficiento vertei apskaičiuoti priimama, kad būdingasis grindų matmuo yra 4 metrai.

2. Jei ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficiento vertė pagal LST EN ISO 10211:2008 reikalavimus neskaičiuojama, jos nustatomos pagal Reglamento 6 priedo 6.1 lentelės duomenis.
3. Ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficiento vertės taip pat gali būti nustatomos iš kitų duomenų, kurie atitinka tiltelių įrengimo schemas, bei tokie duomenys apskaičiuoti vadovaujantis 31.1 papunkčio reikalavimais, taip pat nustatant tarpines vertes tarp šiuose duomenyse nurodytų šiluminių ilginių tiltelių šilumos perdavimo koeficiento verčių;

1 lentelė. Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų vertės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių [1]

Eil. Nr.	Ilginio šiluminio tiltelio apibūdinimas	Tiltelį žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
				Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi_{(C,B)}$ (W/(m·K)) vertės C ir B energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminiams savitiesiems šilumos nuostoliams skaičiuoti					
1.	Tarp pastato pamatų ir išorinių sienų	f-w	0,18	0,2	0,25
2.	Aplink langų angas sienose	wdp			
3.	Aplink durų angas sienose	dp			
4.	Tarp pastato sienų ir stogo	w-r			
5.	Fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose	c			
6.	Balkonų grindų susikirtimo vietose su išorinėmis sienomis	bc-w			
7.	Tarp perdangų, kurios ribojasi su išore, ir sienų	c-w			
8.	Stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų angų perimetru	s			
Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi_{(A)}, \Psi_{(A+)}, \Psi_{(A++)}$ (W/(m·K)) vertės A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminiams savitiesiems šilumos nuostoliams ir energinio naudingumo rodikliams skaičiuoti					
9.	Tarp pastato pamatų ir išorinių sienų	f-w	0,1	0,1	0,1
10.	Aplink langų angas sienose	wdp	0,05	0,05	0,05
11.	Aplink išorinių įėjimo durų angas sienose	dp	0,05	0,05	0,05
12.	Tarp pastato sienų ir stogo	w-r	0	0	0
13.	Fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose	c	0	0	0

14.	Balkonų grindų susikirtimo vietose su išorinėmis sienomis	bc-w	0,01	0,01	0,01
15.	Tarp perdangų, kurios ribojasi su išore, ir sienų	c-w	0	0	0
16.	Stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų angų perimetru	s	0,05	0,05	0,05

Sertifikuojant pastato energinio naudingumą, ilginių šiluminių tiltelių vertės imamos tik tuo atveju, jei šiluminiai tilteliai neskaičiuojami pagal LST EN ISO 10211:2008 reikalavimus.

Ilometis [18] teigia, kad tiksliausias būdas nustatyti šiluminių ilginių tiltelių šilumos perdavimo koeficientą yra skaitmeniniai skaičiavimai – paklaida apie 5 proc; šiluminių tiltelių (mazgų) katalogų ir rankinių skaičiavimų paklaida siekia apie 20 proc, o šiluminių tiltelių verčių numatytų standartuose ((EN ISO 13789:2008; EN ISO 14683:2008) paklaida gali siekti iki 50%.

1.5. Pagrindiniai veiksniai sienos-lango mazge, darantys įtaką energiniam efektyvumui

Langų sistemose dažnai susidaro sudėtingi šiluminiai tilteliai, kuriuos lemia kelių ilginių ir (ar) taškinių šiluminių tiltelių sąveika. Langų šiluminis pralaidumas priklauso ne tik nuo paties lango savybių, bet ir nuo jo montavimo vietos sienoje [19].

Didžiausią įtaką sienos-lango mazgo šiluminio tiltelio susidarymui ir jo poveikiui pastato energiniam naudingumui turi šie veiksniai:

1. išorinių sienų medžiagiškumas sandūroje su langu bei langų tipas;
2. lango padėtis sienos atžvilgiu;
3. sienos-lango mazgo sandarumas.

1.5.1. Sienos-lango mazgo sandarumas

Siekiant pastatų energinio efektyvumo ypač svarbus pastato sandarumas, kurį galima pasiekti tinkamai sandarinant konstrukcijų jungtis. Netinkamas sienos-lango konstrukcijos sandarinimas gali turėti didelę įtaką pastato oro kokybei, mikroklimatui ir pastato energiniam efektyvumui. Neteisingas langų įrengimas gali lemti iki 40 proc. šilumos nuostolių, priklausomai nuo vidaus patalpų ir lauko temperatūrų skirtumo [20].

Van Den Bosschas [21] atliktame tyrime – mūrinių sienų ir langų mazgų hermetiškumas, analizuojami 13 skirtingų montavimo būdų. Rezultatai rodo, kad atrinkti sprendimai apima platų sandarumo lygių diapazoną – nuo 0 m³/h.m iki 31 m³/h.m, esant 50 Pa oro slėgiui. Kaip teigiama šio tyrimo išvadose, jokios izoliacijos arba birios pluoštinės izoliacijos nepakanka tinkamam sandarumui užtikrinti: oro nuostoliai viršijo 3,3 m³/h.m (esant 50 Pa slėgiui), o tankiai supakuoto mineralinio pluošto izoliacija buvo tik šiek tiek mažesnė už šią ribą. Tik iš dalies užpildžius ertmę tarp lango rėmo ir plytų sienos SP-PUR izoliacine medžiaga, galima teigti, kad situacija gerokai pagerėjo, tačiau vidinė plytų siena nėra labai sandari ir vis dar praleidžia šiek tiek oro per plyšius. Kai visa ertmė užpildoma SP-PUR medžiaga, iš esmės nuo sienos iki lango rėmo susidaro ištisinis sandarus sluoksnis. Paaiškėjo, kad montavimo metodo efektyvumas jautrus montavimo klaidoms: erdvė už montavimo laikiklių gali būti sunkiai pasiekiamą, todėl ją reikia labai kruopščiai užbaigti, kad būtų

užtikrintas sandarumas. Tačiau tokie trūkumai šalinami įrengiant sandariklį lango korpuso ir lango rėmo sandūroje; šiuo atveju oro nuotėkis sumažėja iki mažiau nei $0,33 \text{ m}^3/\text{h}$ [21].

Rutė, Drizgaitė, savo straipsnyje konstatuoja [22], jog problema susidarydavo dėl to, kad nebuvo įrengiamos hidroizoliacinės ir garo plėvelės, langai būdavo apipurškiami poliuretano putomis tikintis taip juos užsandarinti, o ant viršaus įrengiamas apdailinis sluoksnis. Poliuretano montavimo putų perteklius būdavo apipjaustomas siekiant išlyginti jį su siena ir taip atveriamos poros, per kurias vandens garai iš patalpos skverbiasi į šaltesnę išorinę pusę, susidaro kondensatas ir esant neigiamai aplinkos oro temperatūrai užšąla. Susidaręs ledas plėsdamasis suardo medžiagos struktūrą taip atverdamas plyšius, per kuriuos prarandama šiluminė energija, susidaro drėgmė ir atsiranda sąlygos pelėsiui. Visų šių padarinių galima išvengti sumontavus garo ir hidroizoliacines plėveles [22].

Cuce [20] atliko eksperimentinį tyrimą kuriame dviejų varčių langas buvo tiriamas skirtingomis sąlygomis – viena varčia modernizuota 1 mm storio specialia skaidria danga, užtikrinančia sandarumą, o gretima varčia palikta nepakitusi. Natūrinių matavimų rezultatai parodė, kad varčios su oro užpildu šilumos perdavimo koeficiento U vertė siekia $2,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, o sandarios lango varčios U vertė – $1,79 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Tai reiškia, kad sandarūs langai leidžia sumažinti šilumos nuostolius apie 33 proc.

1.5.2. Lango padėtis sienos atžvilgiu

Langu montavimo ilginio šilumos perdavimo koeficiento (Ψ_i) vertė kitimas, priklauso nuo lango padėties sienoje, yra parabolinis ir pirmiausia priklauso nuo lango, sienos bei montavimo detalių šiluminių savybių [23].

Vieną didžiausių įtakų sienos-lango ilginiam šiluminiam tilteliui daro lango padėtis sienos atžvilgiu bei tai, ar langas montuojamas į termoizoliacinį sluoksnį, ar į mūrą.

Cappelletti, Gasparella, Romagnoni ir Baggio [24], atliktame tyrime išanalizuota šilumos tiltelių įtaka langų eksploatacinėms savybėms, kai molinės sienos yra apšiltintos iš išorės ir kai apšiltintos iš vidaus. Rezultatai rodo, kad, atsižvelgiant į lango rėmo padėtį, linijiniai šilumos perdavimo koeficientai, perkeltant langą iš vidinės padėties į išorinę, nuosekliai mažėja iki 70–75 proc. Šis sumažėjimas labiausiai priklauso nuo izoliacinio sluoksnio padėties lango angoje. Langu angų izoliacija yra itin svarbi siekiant pagerinti lango šilumines savybes konkrečioje montavimo padėtyje [24].

Šiuolaikiniuose, naujai statomuose energiškai efektyviuose pastatuose langai dažniausiai montuojami termoizoliaciniame sluoksnyje (žr. 7 pav.).



(a)



(b)



(c)

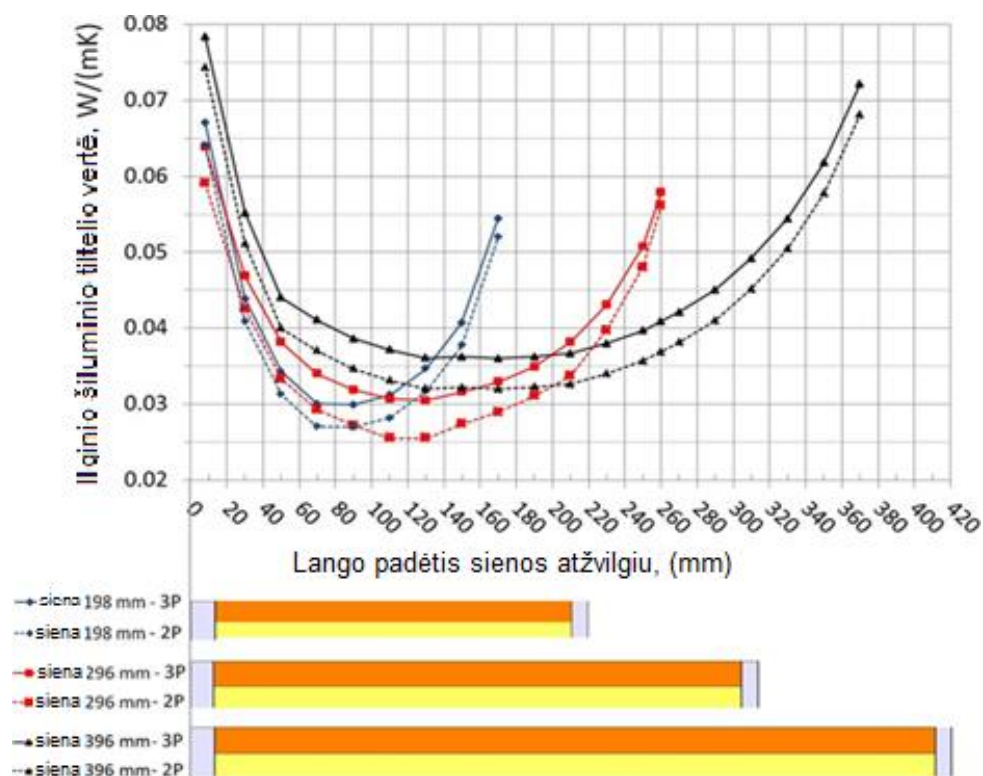
7 pav. Lango rėmų montavimo būdai: a) ant inkarninių tvirtinimo detalių (kairėje); b) ant medžio drožlių plokštės rėmo (viduryje); c) akmens vatos plokštėse (dešinėje) [25]

Misiopeckis, Bouquinas, Gustavsenas ir Jelle [26] atliko šiluminio modeliavimo ir efektyviausios lango padėties tyrimą, kurio metu nagrinėtos įvairios sienų konstrukcijos, pateikiamos 2 lentelėje.

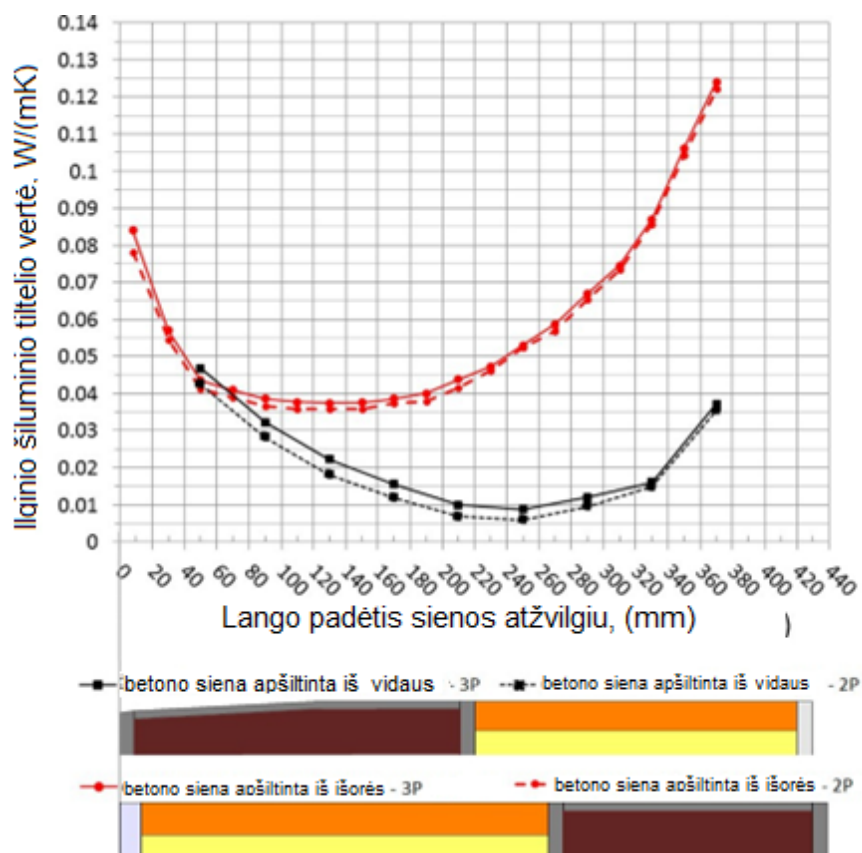
Iš pateiktų paveikslų (žr. 8–9 pav.) matyti, kad ilginio šiluminio tiltelio koeficiento vertė kinta, keičiantis lango padėčiai sienos atžvilgiu. Koeficiento vertė mažėja, kai langas pasislenka į išorę iki tam tikros padėties, tačiau toliau keičiant lango padėtį, koeficientas vėl didėja.

2 lentelė. Tyrime tirtų sienų sąrašas [26]

Etiketė	Sienos pavadinimas	Statybos	U vertė (W/(m·K)) ²
A	Medinio karkaso siena – 198 mm	Apdaila* – gipso kartono plokštė (GB) – izoliacinis sluoksnis – GB	0,21
	Medinio karkaso siena – 296 mm	Apdaila* – GB – termoizoliacinis sluoksnis – GB	0,15
	Medinio karkaso siena – 396 mm	Apdaila* – GB – termoizoliacinis sluoksnis – GB	0,11
B	GB siena su termoizoliaciniu sluoksniu iš vidaus	Tinkas – betoninė siena (210 mm) – termoizoliacinis sluoksnis (198 mm) – GB	0,14
C	GB siena su termoizoliaciniu sluoksniu iš išorės	Apdaila* – GB – termoizoliacinis sluoksnis (248 mm) – Betoninė siena (160 mm)	0,12
D	GB siena su termoizoliaciniu sluoksniu iš abiejų pusių	Tinkas – termoizoliacinės plokštės (50 mm) – betonas (150 mm) – termoizoliacinis sluoksnis – (148 mm)	0,17
E	Medinio karkaso siena (148 mm), papildomai įrengta su VIP	Polistireninis putplastis (EPS) (25 mm) – VIP (25 mm) – EPS (25 mm) – GB – termoizoliacinis sluoksnis (148 mm) – GB	0,06
	Medinio karkaso siena (198 mm), kurioje sumontuota VIP	EPS (25 mm) – VIP (25 mm) – EPS (25 mm) – GB – termoizoliacinis sluoksnis (198 mm)	0,05



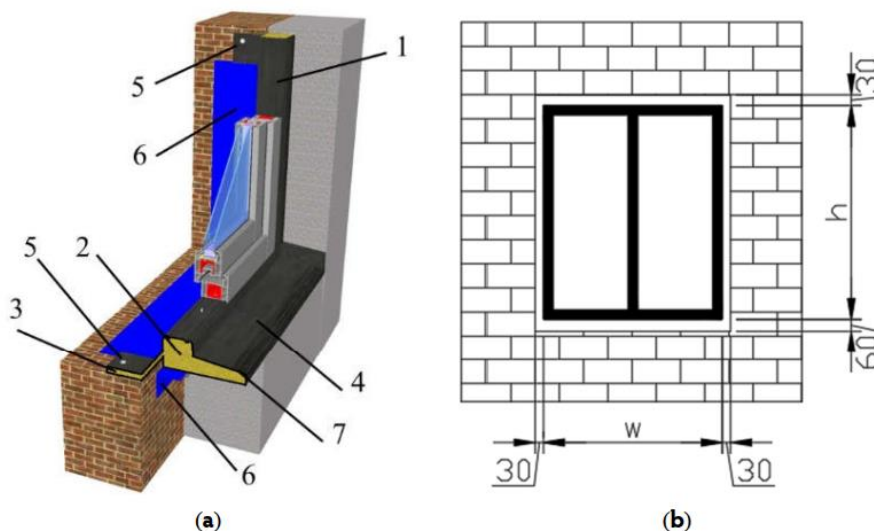
8 pav. Ilginių šiluminių tiltelių verčių priklausomybė nuo lango padėties lango angoje medinio rėmo sienose. Spalvomis pažymėtos medžiagos: šviesiai pilka – gipso kartonas; oranžinė – statybinė mediena; geltona – izoliacija [26]



9 pav. Ilginių šiluminių tiltelių verčių priklausomybė nuo lango padėties lango angoje betoninės sienos, izoliuotos iš vidaus ir išorės, atvejais. Spalvomis žymimos šios medžiagos: šviesiai pilka – gipso kartonas, tamsiai pilka – tinkas, raudona – betonas, oranžinė – konstrukcija [26]

Pomada [27] atlikto tyrimo tikslas išanalizuoti šilumos srautą per išorinę sieną su langu, sumontuotu pagal vadinamąją šilto montavimo sistemą, naudojant specialų sudėtinį rėmą, ir palyginti jį su įprastai sumontuotu langu, t. y. langu, įrengtu naudojant montavimo putas. Ypatingas dėmesys skirtas lango tipo, termoizoliacinio sluoksnio storio bei lango padėties termoizoliaciniame sluoksnyje įtakai ilginiam šilumos perdavimo koeficientui Ψ .

Apatinė rėmo dalis (žr. 10 pav.) yra palangės sija (2), atliekanti laikančiosios ir termoizoliacinės dalies funkciją. Ši sija praplatinama vietose, skirtose vidinėms (3) ir išorinėms (4) palangėms įrengti.



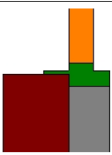
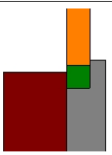
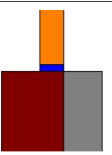
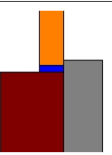
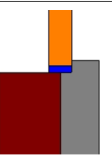
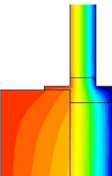
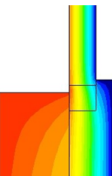
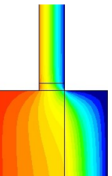
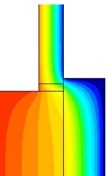
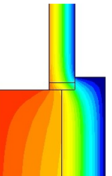
10 pav. Analizuojama montavimo sistema: a) montavimo sistemos sudedamosios dalys; b) lango montavimo vietos matmenys [27]

Rėmas su langu įstatomas į lango montavimo angą, kuri turi būti 60 mm platesnė už lango plotį w (30 mm kairėje ir 30 mm dešinėje lango pusėje) ir 90 mm didesnė už lango aukštį h (30 mm nuo lango viršaus ir 60 mm nuo apačios). Rėmo forma suprojektuota taip, kad jis uždengtų sieną ir glaudžiai užpildytų erdvę tarp sienos ir lango apdailos elementų. Rėmas prie sienos tvirtinamas tik iš vidaus pusės išplečiamaisiais kaiščiais (5), todėl šie tvirtinimo elementai neperduoda šilumos iš patalpos į išorę. Montavimo sistemos sandarumą užtikrina papildomos apsauginės juostelės (6), kurios prie rėmo prikljuojamos po jo sumontavimo sienoje. Iš vidaus naudojama garams nepralaidi juosta, o iš išorės – garams laidži juosta. Visos rėmo dalys pagamintos iš standaus putų kompozito, kurio šilumos perdavimo koeficientas yra $0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Kompozitinių dalių paviršius padengtas specialia poliesterio ir poliuretano dervų danga (7), todėl jos yra atsparios drėgmei ir ultravioletiniams spinduliams [27].

Analizuota montavimo sistema buvo lyginama su įprastiniu langų montavimu, naudojant montavimo putas. Buvo analizuojami šie montavimo variantai (žr. 11 pav.):

- V1 – montavimo sistema su kompozitine palangės sija ir rėmu aplink langą;
- V2 – lango montavimas palangės sijos termoizoliaciniame sluoksnyje, naudojant izoliaciją, uždengiančią lango rėmą;
- V3 – lango montavimas vienoje plokštumoje su sienos paviršiumi, naudojant putplasčio mazgą su neizoliuotu rėmu;
- V4 – lango montavimas vienoje plokštumoje su sienos paviršiumi, naudojant montavimo putas ir izoliaciją uždengiančią lango rėmą;

- V5 – lango montavimas iš dalies sienoje ir iš dalies šilumos izoliacijos sluoksnyje, naudojant montavimo putas ir izoliaciją, uždengiančią lango rėmą.

	Langų montavimo variantai				
	V1	V2	V3	V4	V5
Įrengimo schema					
$\Psi_{install} [W/(m \cdot K)]$	0.007	0.016	0.060	0.039	0.027
$f_{Rsi} [-]$	0.965	0.963	0.873	0.911	0.920
$\Delta U [W/(m^2 \cdot K)]$	0.038	0.085	0.324	0.211	0.145
$I_{diegta} [W/(m^2 \cdot K)]$	0.941	0.988	1.227	1.114	1.048
Vidutiniškai procentinė dalis padidėjimas $U_{installed}$ [%]	4.5	9.8	36.3	23.8	16.4
Temperatūros pasiskirstymas					

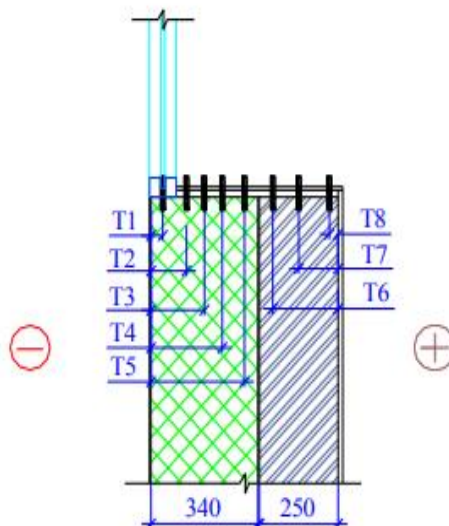
11 pav. Analizuotų langų montavimo variantai [27]

Kiekvieno analizuojamo įrenginio varianto atveju buvo remiamasi šiais duomenimis:

- išorinė siena: akytojo betono blokai, storis – 240 mm, laidumo koeficientas – $\lambda = 0,22 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$;
- izoliacinis sluoksnis – polistireninis putplastis, storis – 150 mm, laidumo koeficientas – $\lambda = 0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$;
- lango šilumos perdavimo koeficientas – $U_w = 0,9 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$;
- montavimo putų laidumo koeficientas – $\lambda = 0,035 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Iš analizuotų įrengimo variantų V1 variantas pasižymėjo geriausiais parametrais. Šis variantas buvo vienintelis, atitikęs Pasyvaus namo instituto reikalavimus. Palyginti su įprastiniais langų montavimo būdais naudojant montavimo putas (V3, V4, V5), linijinis šilumos perdavimo koeficientas Ψ buvo mažesnis atitinkamai apie 88 proc., 82 proc. ir 74 proc., o tai reiškia, kad V1 varianto atveju šilumos nuostoliai dėl linijinių šiluminių tiltelių lango ir sienos sandūroje buvo maždaug aštuonis kartus mažesni. Įrengus langą tik ant sudėtinės palangės sijos (V2), šilumos perdavimo koeficientas, palyginti su V3, V4 ir V5 variantais, sumažėjo atitinkamai 73 proc., 59 proc. ir 41 proc. Įrengus langą pagal V1 variantą, lango parametras $U_{installed}$ pablogėjo tik 4,5 proc., o įrengus langą naudojant montavimo putas (V3÷V5 variantai) $U_{installed}$ padidėjo nuo 16,4 proc. iki 36,3 proc. Be to, reikia pažymėti, kad montavimo rėmas buvo atsparesnis išoriniams veiksniams (UV spinduliams, vėjui, drėgmei) nei montavimo putos, nes pastarųjų savybės buvo linkusios sparčiai blogėti [27].

Kaupienė savo tyrime [5] analizavo aštuonių langų montavimo sienoje pozicijas (žr. 12 pav.).



12 pav. Apskaičiuotų linijinių šiluminių tiltelių sienos ir lango sandūros vietos schemas ir bandymo pozicijų nustatymas: T1 – prie išorinės šilumos izoliacijos krašto; T2 – 1/3 šilumos izoliacijos nuo išorinio krašto; T3 – 1/2 šilumos izoliacijos; T4 – 1/3 šilumos izoliacijos nuo vidinio krašto; T5 – prie vidinio šilumos izoliacijos krašto; T6 – prie išorinio mūro krašto; T7 – prie mūro sienos; T8 – prie vidinio mūro krašto[5]

Tiriamąjį modelį sudarė dviejų komponentų (išorinės sienos ir lango) sandūra su aštuoniomis langų montavimo padėtimis. Sieną mūrinę, apšiltintą putų polisterolo EPS70 plokštėmis. Sienos šilumos perdavimo koeficientas yra $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. A++ klasės pastatui parinktas langas, kurio parametrai: šilumos perdavimo koeficientas $U_w = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; lango rėmas – PVC; rėmo plotis 85 mm; trijų stiklų paketas.

Tyrimo [5] metu nustatyta, kad efektyviausia A++ klasės pastatų langų montavimo padėtis yra išorinio termoizoliacinio sluoksnio viduryje (centre) (žr. 13 pav.).

Tilto numeris	Linijinis tiltelis ψ , $\text{W}/(\text{mK})$	Šiluminiai nuostoliai, $\text{kWh}/1 \text{ vnt.}$
T1	0,0390	23,97
T2	0,0260	15,98
T3	0,0232	14,26
T4	0,0234	14,38
T5	0,0282	17,33
T6	0,0538	33,07
T7	0,0829	50,95
T8	0,1319	81,06

13 pav. Tyrimo rezultatai, apskaičiuoti šilumos tilteliai ir šilumos nuostoliai [5]

Šiuo atveju (T3 padėtis) lango ir sienos linijinis šiluminis tiltelis bus mažiausias ir lygus $0,0232 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Didžiausi šiluminiai nuostoliai T8 padėtyje gali padidėti iki $81,06 \text{ kWh}$ šildymo sezono metu dėl vieno netinkamai sumontuoto lango, o metinės išlaidos gali išaugti 5,7 karto [5].

1.6. Lango šilumos perdavimo koeficientas

Lango šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal metodiką, pateiktą standarte LST EN ISO 10077-1: „Šiluminės langų, durų ir anginių charakteristikos. Šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimas. 1 dalis. Bendrieji dalykai“ [28]:

$$U_W = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g + \sum l_{gb} \Psi_{gb}}{A_f + A_g} \quad (1)$$

čia A_g – įstiklinimo plotas, m^2 ;

U_g – tai įstiklinimo šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

A_f – rėmo plotas, m^2 ;

U_f – rėmo šilumos perdavimo koeficientas $W/(m^2 \cdot K)$;

Ψ_g – linijinis šilumos perdavimo koeficientas dėl bendro įstiklinimo, tarpinės ir rėmo šiluminio poveikio, $W/(m \cdot K)$;

Ψ_{gb} – linijinis šilumos pralaidumas dėl bendro stiklinimo ir stiklinimo juostos šiluminio poveikio, $W/(m \cdot K)$.

Iš formulės (1) matyti, kad lango šilumos perdavimo koeficientui didelę reikšmę turi lango įstiklinimo, rėmo ir tarpinių šilumos perdavimo koeficientai.

1.6.1. Langų rėmų energinio efektyvumo didinimas

Smuze su kolegomis parengė tiriamąjį projektą [29], kuriame atliekami skaičiuojamieji ir eksperimentiniai PVC langų rėmų energinių savybių tyrimai. PVC rėmui sutvirtinti buvo naudojami uždari metaliniai profiliai, o siekiant pagerinti lango šiluminės savybes ir sumažinti neigiamą energinį poveikį, kurį sukelia uždarytų metalinių profilių naudojimas, PVC rėmo oro tarpai buvo papildomai šiltinami (žr. 14 pav.).

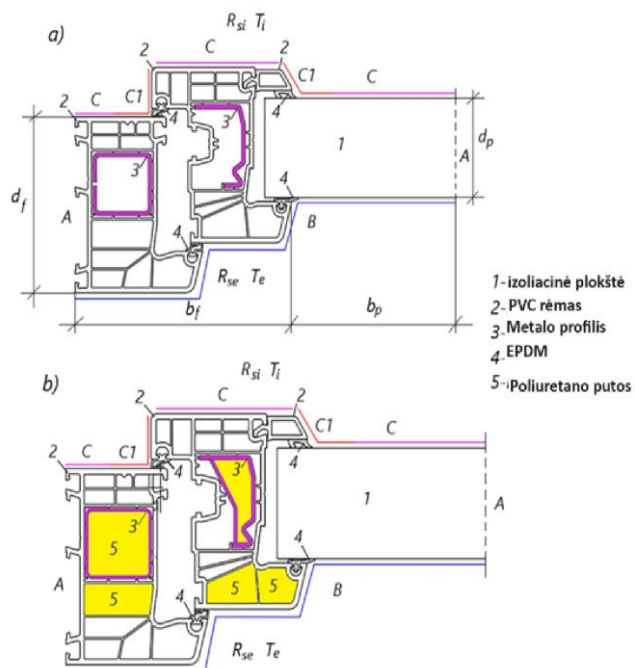
Modeliavimo rezultatai parodė, kad oro ertmės užpildžius izoliacine medžiaga, rėmo šilumos perdavimo koeficientas U_f sumažėjo daugiau kaip 10 proc. Be to, lango ir sienos sandūroje sumažėjo linijinių šiluminių tiltelių įtaka šilumos nuostoliams. Ilginio šilumos perdavimo koeficiento Ψ sumažėjimas, lyginant su rėmu be izoliacijos, buvo 9,7 proc. palangėje, 1,2 proc. – sąramoje ir 3,6 proc. – staktose. Tai reiškia, kad PVC karkaso šilumos izoliacija ne tik sumažina karkaso šilumos perdavimo koeficientą U_f , bet ir turi teigiamą poveikį mažinant linijinių šiluminių tiltelių įtaką lango jungtyje su siena. Be to, nustatyta, kad taikant šiluminę izoliaciją šilumos srautas sumažėjo daugiau kaip 6 proc. [29]

Gojak [30] atliko aliuminio rėmo profilio tyrimą, kuriame visos ertmės buvo užpildytos poliuretano putomis, kurių šilumos laidumo koeficientas yra 0,026 $W/m \cdot K$. Šilumos perdavimo per aliuminio lango rėmą modeliavimo rezultatas siekė 2,28 $W/m \cdot K$, o U_f vertė sumažėjo mažiau nei 0,5 proc.

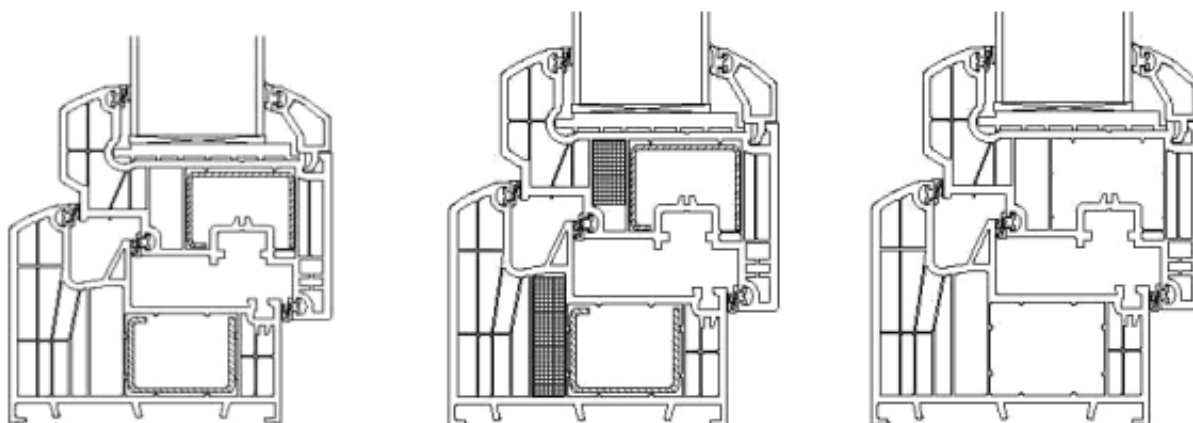
Valachova ir kt. atliko langų rėmų tyrimą [31], kurio metu analizuoti rėmai su armatūra, su armatūra ir įterpta aerogelio izoliacija bei rėmai be armatūros ir be izoliacijos (žr. 15 pav.).

Aerogelį sudaro daugiau kaip 95 proc. oras, likusi dalis – silicio dioksidas (SiO_2 – silicio oksidas) [31]. Silicio aerogeliai kol kas yra efektyviausia šiluminių superizoliatorių šeimos medžiaga [32].

Silicio aerogelis pasižymi keliomis išskirtinėmis savybėmis, įskaitant mažą tankį (0,003–0,1 g/cm^3) ir mažą šilumos laidumą (0,01–0,02 $W/m \cdot K$) [33].



14 pav. Tiriamų langų rėmų schema [29]



15 pav. Tyrimė analizuotų langų rėmų schemas [31]

Tyrimo rezultatai, kurie pateikti 3 lentelėje, rodo, kad į rėmą įdėtas aerogelis turi didelę įtaką rėmo U vertės sumažėjimui. Atlikus matavimus paaiškėjo, kad rėmo su įdėtu aerogeliu U vertė sumažėjo 0,09 $W/(m^2 \cdot K)$;

3 lentelė. Tyrimo rezultatai [31]

Rėmo sandara	Rėmo U vertė $U_f W/(m^2 \cdot K)$	
	Išmatuota vertė	Apskaičiuota vertė
1. Be įterptos izoliacijos ir su	0,90	1,06
2. Su įterptu aerogeliu ir armatūra	0,81	0,95

3. Sudėtinis karkasas be izoliacijos ir	0,77	0,92
---	------	------

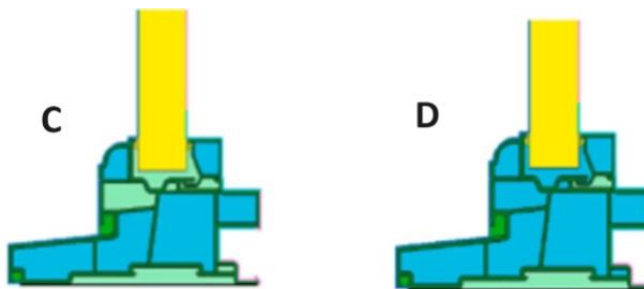
Lyginant matavimo rezultatus su skaičiavimo rezultatais, nustatyti reikšmingi skirtumai. Matavimų duomenimis, U vertė yra geresnė – $0,81 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Šį skirtumą lemia supaprastintas lango rėmo modelis, kuris buvo naudojamas skaičiavimui. Tačiau akivaizdu, kad tarp išmatuotos ir apskaičiuotos rėmų U vertės nėra didelių skirtumų [31].

Berardi ir kiti [34] taip pat atliko tyrimą, kurio metu buvo analizuojami langų rėmai su skirtingais rėmo užpildymo aerogeliu variantais:

- aerogelis įterptas į rėmo pagrindinę ertmę (žr. 16 pav.);
- aerogelis įterptas į rėmo dvi pagrindines centrines ertmes (žr. 16 pav.);
- aerogelis įterptas į visas ertmes, išskyrus drenažines (žr. 17 pav.);
- aerogelis įterptas į visas ertmes (žr. 17 pav.).



16 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemas [34]



17 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemas [34]

Atliktas modeliavimas ir eksperimentiniai bandymai patvirtino teigiamą aerogelio, užpildančio oro ertmes PVC rėmuose, poveikį. Išbandyto karkaso atveju galima gauti maždaug U_f vertę $0,80 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$, o užpildžius pagrindines standartinio PVC rėmo ertmes aerogeliu, rėmo šilumos perdavimo koeficientas sumažėjo 30 proc., o visiškai užpildžius visas ertmes, U_f vertė sumažėjo 5 proc. [34].

Koper [35] su kolegomis taip pat atliko papildomos izoliacinės medžiagos lango rėme eksperimentinį tyrimą, kuriame buvo analizuojami trys bandiniai:

1. Lango rėmo profilis su papildoma PIR termoizoliacija. PIR juostos įterptos į šešias išorines rėmo kameras.
2. Lango rėmas su papildoma aerogelio izoliacine juosta, įterpta į šešias išorines kameras.

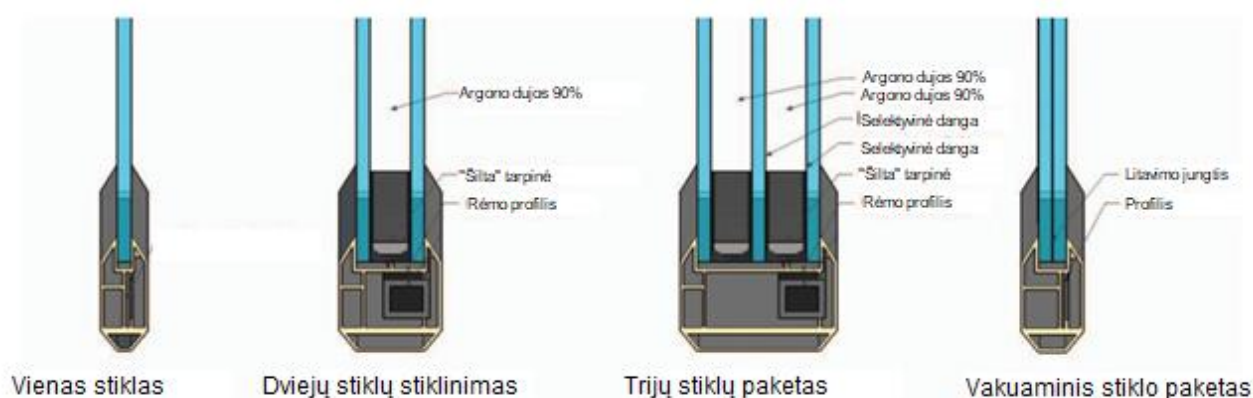
3. Lango rėmas su papildomu akrilnitrilbutadienstireno (ABS) gaminiu, atspausdintu 3D spausdintuvu. Įterpus šį gaminį į lango rėmą, kamera suskaidoma į mažesnes erdves.

Rezultatai parodė, kad 3D spausdintuvu atspausdintų elementų įtaka šilumos srauto sumažėjimui, palyginti su nemodifikuotu profiliu, buvo nedidelė – apie 4,3 proc. Lango rėmo izoliacinės savybės labai pagerėjo naudojant aerogelio kilimėlį – apie 10 proc., o tai rodo, kad jis yra efektyviausia izoliacinė medžiaga. Papildomas šios medžiagos privalumas – lankstumas, todėl ją lengva įtaisyti profilio viduje. Tačiau tokio sprendinio kaina, lyginant su kitomis medžiagomis, yra labai didelė [35].

Atsižvelgiant į medžiagos kainą ir izoliacines savybes, PIR plokštė atrodo geriausia iš visų išbandytų izoliacijos rūšių. Nors šilumos srauto sumažėjimas (apie 7 proc.) buvo kiek mažesnis nei aerogelinio kilimėlio atveju, ši medžiaga, lyginant su kitomis izoliacijos rūšimis, buvo labai pigi. Tai leistų izoliaciją užpildyti dar daugiau oro kamerų labai nepadidinant gaminio kainos [35].

1.6.2. Langų įstiklinimo energinio efektyvumo didinimas

Siekiant sumažinti šilumos nuostolius per langus, galima taikyti keletą metodų, pavyzdžiui, optimizuoti dvigubo lango stiklo paketo oro sluoksnio storį, užpildyti ertmę tarp stiklų inertinėmis dujomis (žr. 18 pav.) arba aerogeliu, sukurti vakuumą, padengti stiklo paviršių mažo skvarbumo dangomis arba saulės spinduliuotės selektyvinėmis dangomis, taip pat taikyti kai kuriuos iš šių metodų vienu metu [36].



18 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemas [37]

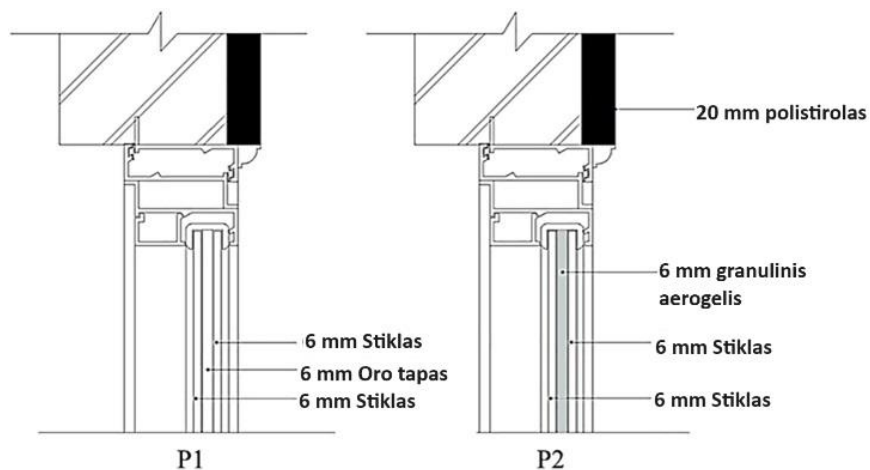
Langų konstrukcija turi įtakos šilumos tiltelio vertei įrengiant langą. Taip yra todėl, kad apskaičiuojant linijinio šiluminio tiltelio vertę įkišant langą, įskaičiuojama lango U vertė. Vidiniai šiluminiai tilteliai lange susidaro stiklo ir rėmo bei rėmo ir varčios sandūrose. Šie šiluminiai tilteliai jau įskaičiuoti į lango U vertę, todėl apskaičiuojant šilumos tiltelių vertę papildomai nebevertinami. Lango U vertei įtakos turi tiek stiklo paketo konstrukcija, tiek lango rėmo bei varčios profilis. Šiandien dažniausiai naudojami langai su trijų sluoksnių stiklu. Oro ir dujų užpildai tarp stiklų padeda užtikrinti gerą izoliaciją. Dažniausiai naudojamos argonas, nes jis izoliuoja geriau nei oras. Taip pat galima naudoti kriptono ir ksenono dujas, kurios izoliuoja šiek tiek geriau nei argonas, tačiau jos nėra plačiai naudojamos dėl riboto prieinamumo ir didelės kainos. Atstumas tarp stiklų stiklo pakete turi būti ne didesnis kaip 20 mm. Taip yra todėl, kad stiklo paketo tarpinis stiklas yra labiau veikiamas mechaninio įtempimo dėl išlinkimo, o tai savo ruožtu gali lemti jo skilimą.

Stiklas su mažo skvarbumo (low-E) danga gaminamas su plona skaidria danga iš metalo oksido, pavyzdžiui, alavo, sidabro ar cinko, siekiant sumažinti stiklo paviršiaus skvarbą. Tokie stiklai pagerina lango energines savybe iki 7 proc. [37].

Vienas perspektyviausių būdų sumažinti šilumos nuostolius per lango įstiklinimą yra naudoti silicio aerogelį. Aerogelis yra puikus šilumos izoliatorius, nes slopina du iš trijų šilumos perdavimo būdų: laidumą, kadangi aerogelį daugiausia sudaro oras ir (arba) dujos, ir konvekciją, nes oro ir (arba) dujų judėjimui trukdo jo mikrostruktūra. Tačiau aerogelis yra prastas spinduliavimo izoliatorius, nes jo pralaidumas infraraudonajai spinduliutei yra didelis. Šiuo metu stiklinimo rinkoje naudojami dviejų pagrindinių rūšių aerogeliai, vadinami monolitiniiais ir granuliuotais [38].

Buratti [39] straipsnyje nagrinėjamos didelio energinio efektyvumo langų su granuliuotu silicio dioksido aerogeliu galimybės taupyti energiją renovuojant pastatus. Buvo tiriamos skirtingos įstiklinimo sistemos, atsižvelgiant į dvi granuliuoto silicio dioksido aerogelio rūšis ir skirtingus stiklo sluoksnius. Kaip atskaitos tašką laikant tipinį biurų pastatą, pastatytą praėjusio amžiaus dešimtajame dešimtmetyje kurio išoriniai matmenys yra $80\text{ m} \times 20\text{ m} \times 10\text{ m}$, o dideli juostiniai langai (langų ir sienų santykis apie 50 proc.) yra rytinėje ir vakarinėje sienose. Tyrimui pasirinktas pastato vidurinis aukštas, kad tik fasadai būtų veikiami išorinės aplinkos sąlygų (oro, saulės, vėjo ir kt.), o stogas ir grindys keistųsi šiluma su vienodos temperatūros zonomis. Be to, grunto temperatūra neturi įtakos pasirinktos zonos eksploatacinėms savybėms. Vidinės apkrovos (žmonės, apšvietimas ir įranga) buvo apibrėžtos taip, kaip nurodyta 2 lentelėje. Siekiant užtikrinti energijos taupymą, apšvietimas yra visiškai reguliuojamas: dirbtinė šviesa automatiškai sumažinama ir išjungiama, kai apšvietos pasiekia 500 liuksų. Šildymo ir vėsinimo sistemų veikimo laikotarpiai nustatyti pagal klimato zoną, atsižvelgiant į atitinkamai $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ patalpų oro temperatūrą. Biuro užimtumas nustatytas nuo 8:00 val. iki 18:00 val., penkias dienas per savaitę. Įvertinta aerogelinių stiklų įtaka pastato energiniam naudingumui, atsižvelgiant į šildymo, vėsinimo ir apšvietimo energijos poreikius skirtingomis klimato sąlygomis. Modeliavimas atliktas trims skirtingiems miestams: Romoje (Italija), kuriam būdingas karštas klimatas, Paryžiuje (Prancūzija), kurio klimatas vidutinio šilto, ir Otavoje (Kanada), kurio klimatas šaltas. Stiklo su granuliuotu aerogeliu tarpuose (DGU-AEROGEL) sistemos yra efektyviausios šildymo sistemos bet kokiomis klimato sąlygomis: Otavoje energijos poreikis sumažėja 13 proc., Paryžiuje – 24 proc., o Romoje – 29 proc., palyginti su įprastiniais stiklais. Sumažėjimas atitinka langų U ir g verčių. Otavoje, kur saulės spinduliuotė yra didesnė, ypač žiemą, dėl sumažėjusio saulės faktoriaus sumažėja aerogelio langų šilumos srautas, o tai pablogina bendrą rezultatą. Dėl tų pačių priežasčių įstiklinimai su žemo e sluoksnio danga dėl mažesnės g vertės yra mažiau efektyvūs už kitus sprendimus. DGU-AEROGEL metinis vėsinimo energijos poreikis, palyginti su DGU, sumažėja nuo maždaug 18 proc. (Romoje) iki 21 proc. (Otavoje). Kaip ir tikėtasi, energijos poreikis vėsinimui yra mažiausias stiklinimo sistemoms su mažo efektyvumo danga (LOW-E DGU ir LOW-E DGU AEROGEL) dėl gerokai sumažėjusio saulės faktoriaus (t. y. 0,36–0,41): palyginti su DGU, jis sumažėja nuo 40 proc. (Roma) iki 56 proc. (Otava).

Mohamed ir kiti [40] atliko dviejų etapų tyrimą kurio pirmajame etape lyginami du kambariai įstiklinti langais su aerogeliu ir įprastiniu įstiklinimu (žr. 19 pav.). Tyrime nagrinėjamas aerogelio pagrindu pagamintų įstiklinimo sistemų, derinamų su pasyvaus projektavimo metodais, naudojimo efektyvumas, siekiant pagerinti energijos vartojimo efektyvumą pastatuose karštuose sausringuose regionuose.



19 pav. Tyrime analizuotų langų rėmų schemas [40]

Pagal 3-ąjį tyrimo scenarijų, pagal kurį langai su aerogelio įstiklinimu naudojami pietiniame fasade, metinis energijos suvartojimas sumažėjo 26,3 proc., palyginti su įstiklinimu be aerogelio. Tuo tarpu pagal 5-ąjį tyrimo scenarijų – pusiau atviras kiemas su aerogelio įstiklinimo sistema ir 2,40 kraštinių santykiu – buvo galima sutaupyti 25,7 proc. daugiau energijos nei pagal 1-ąjį scenarijų. Šiame tyrime teigiama, kad, izoliavus išorinius langų stiklus, pritaikius aerogelines stiklinimo sistemas, langai gali tapti ekonomiškесni ir ekologiškai tvaresni [40].

Monolitiniai aerogelio stiklo paketai lengvai pasiekia $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ar mažesnes šilumos pralaidumo vertes, kai jų storis yra keli milimetrai [41].

Didelė Aerogelių kaina stabdo jų naudojimą masinėje gamyboje. Bastian ir kiti [42] nagrinėja alternatyvų būdą – naudoti silicio dioksido aerogelio tarpines, kurių plotas sudaro tik 10 proc., ir iš dalies vakuumuoti tūrį tarp stiklų, taip nuslopinama konvekcija tarp aerogelio tarpinių ir stiklų. Atlikus modeliavimą paaiškėjo, kad šiuos silicio dioksido aerogelius panaudojus kaip stulpelius iš dalies vakuumuoto dvigubo izoliacinio stiklo viduje, gaunamos išskirtinės U_g vertės – iki $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Be to, lango elementas pasižymi dideliu regimojo spektro pralaidumu ir užtikrina didelius saulės energijos srautus. Gaminant naujuosius langų elementus, tik 10 proc. tūrio tarp stiklų reikia užpildyti inertinėmis dujomis, todėl galima naudoti brangesnį kriptoną [42].

2. Tyrimo metodika

2.1. Daugiakriteris vertinimo metodas COPRAS

COPRAS metodą 1996 m. sukūrė Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslininkai Zavadskas ir Kaklauskas.

COPRAS yra vienas iš MCDM (daugiakriterių sprendimų priėmimo) metodų, kuris dažnai yra naudojamas įvairiose srityse, pavyzdžiui: inžinerijoje, neurologijoje, socialiniuose moksluose, energetikoje ir matematikoje. COPRAS naudojamas įvairiems alternatyviems variantams reitinguoti pagal skirtingus kriterijus, pasitelkiant kriterijų svorius ir alternatyvių variantų naudingumo laipsnį. Geriausias alternatyvus variantas atrenkamas atsižvelgiant į idealius ir neidealius sprendimus. COPRAS metodas remiasi tiesiogine ir proporcinga tiriamų variantų svarbos ir naudingumo laipsnio priklausomybe nuo kriterijų sistemos, kuri efektyviai apibrėžia alternatyvius variantus.

COPRAS metodas turi keletą privalumų, palyginti su kitomis sprendimų priėmimo sistemomis. Jis vertina palankiausius ir nepalankiausius sprendimus tolesniam vertinimui, išlaikydamas trumpus ir paprastus skaičiavimus, todėl apdorojimas yra greitesnis. Metodas laipsniškai reitinguoja ir vertina galimybes pagal jų svarbą ir reikšingumo lygį[43].

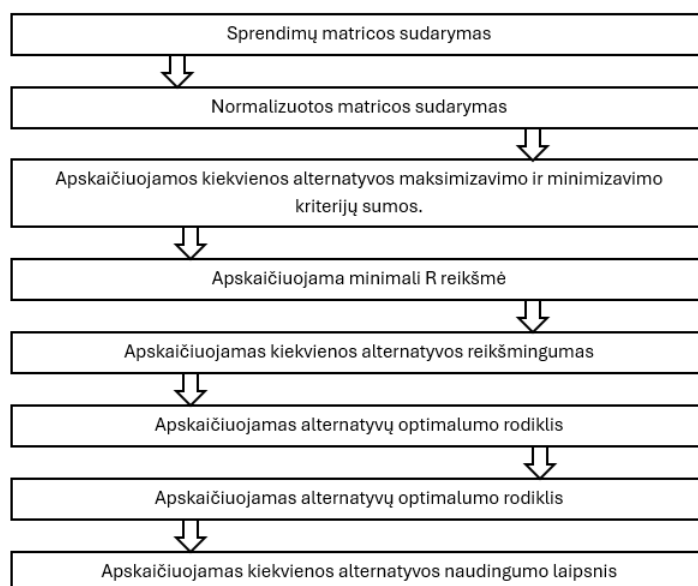
COPRAS metodo privalumai [44] :

- Paprastumas ir lengvas suprantamumas, todėl jis prieinamas įvairaus žinių lygio s vartotojams;
- Gebėjimas tvarkyti tiek kiekybinius, tiek kokybinius kriterijus, palengvinantis visapusišką sprendimų priėmimą;
- Santykinės kriterijų svarbos įtraukimas, leidžiantis pritaikyti svorius pagal sprendimų priėmėjo pageidavimus;
- Veiksmingas įvairių sričių alternatyvų vertinimas ir atranka, atskleidžiantys universalumą ir pritaikomumą.

COPRAS metodo trūkumai [44]:

- Priklausomybė nuo subjektyvaus kriterijų svorio nustatymo, dėl kurio gali atsirasti šališkumas, pagrįstas sprendimų priėmėjo nuomone;
- Ribotas naudojimas itin sudėtingose sprendimų priėmimo situacijose, kai yra daug kriterijų ir alternatyvų;
- Metodas neatsižvelgia į kriterijų verčių neapibrėžtumą ar kintamumą, kurie gali turėti įtakos sprendimų rezultatams;
- Lyginamasis našumas labai priklauso nuo pasirinktų kriterijų ir jų svorių, todėl juos reikia kruopščiai parinkti ir pagrįsti.

COPRAS (COMplex PROportional ASsessment of alternatives) –kiekybiniais matavimais pagrįstas, kompleksinį proporcingumą vertinantis daugiakriterio vertinimo metodas.



20 pav. COPRAS metodo sprendimo algoritmas

1. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica [45] :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

čia: m – rodiklių skaičius n – alternatyvų skaičius;

2. Reikšmės normalizuojamos taikant formulę (3), o tuomet sudaroma normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\bar{X}$:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}; j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

čia: j – alternatyvos numeris; i – rodiklio numeris.

3. Dauginant normalizuotas reikšmes iš atitinkamų rodiklių reikšmingumų pagal formulę (4) sudaroma pasverta normalizuota sprendimų matrica $\hat{X}$:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j, \quad (4)$$

čia: j – rodiklio numeris, q_j – j -tojo rodiklio reikšmingumas.

4. Apskaičiuojamos kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) rodiklių, kurių optimizavimo kryptis yra maksimizavimas, reikšmių sumos:

$$P_j = \sum_{i=1}^k \hat{x}_{ij}, \quad (5)$$

čia: k – rodiklių, kurių optimizavimo kryptis yra maksimumas, skaičius.

5. Skaičiuojamos kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmių, kurių optimizavimo kryptis yra minimumas, sumos:

$$R_j = \sum_{i=k+1}^m \hat{x}_{ij}, \text{ čia } i = \overline{k, m}, \quad (6)$$

čia: k – rodiklių, kurių optimizavimo kryptis yra minimumas, skaičius.

6. Nustatoma minimali R_j reikšmė:

$$R_{\min} = \min_j R_j. \quad (7)$$

7. Apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas:

$$Q_j = P_j + \frac{R_{\min} \sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{R_{\min}}{R_j}} \quad (8)$$

Formulė (8) pakeičiama į (9):

$$Q_j = P_j + \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}}, \quad (9)$$

8. Optimalumo rodiklis apskaičiuojamas taikant (10) formulę:

$$K = \max_j Q_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (10)$$

9. Taikant formulę (11) apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} 100 \%. \quad (11)$$

čia Q_j ir $Q_{\max}$ – alternatyvos reikšmės, apskaičiuojamos pagal formulę.

10. Sudaroma alternatyvų prioritetų eilutė.

2.2. Atitvaros šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimas

Atitvaros suminė šiluminė varža R_s ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) apskaičiuojama pagal (12) formulę [1]:

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n + (R_g + R_q), \quad (12)$$

čia: R_g – nevėdinamo oro tarpo šiluminė varža ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), nustatom pagal Reglamento 2.1 lentelę. Jei nevėdinamo oro tarpo storis nėra žinomas, skaičiavimuose taikoma 10 mm storio oro tarpo šiluminė varža;

R_q – plono sluoksnio (plėvelės) šiluminė varža ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), nustatoma pagal Reglamento 2.2 lentelę;

$R_1, R_2, \dots, R_n$ – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) apskaičiuojamos pagal formulę (13) [46]:

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}}, \quad (13)$$

čia: d – sluoksnio storis (m);

λ_{ds} – sluoksnio projektinis šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$.

Atitvaros termoizoliacinių sluoksnių šiluminės varžos turi būti apskaičiuojamos vadovaujantis Reglamento 3 priedo nuostatomis, t. y. skaičiavimuose privalo būti įvertinta [1]:

- papildomi šilumos nuostoliai per termoizoliacinius sluoksnius kertančias metalines jungtis;
- termoizoliacinio sluoksnio tvirtinimui naudojamo karkaso įtaka šio sluoksnio šiluminei varžai.

Projektinė termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė λ_{ds} ($W/(m \cdot K)$) apskaičiuojama taikant formulę (14) [47]:

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_\omega; \quad (14)$$

čia: λ_D – deklaruojama termoizoliacinio statybos produkto šilumos laidumo koeficiento vertė ($W/(m \cdot K)$);

$\Delta\lambda_\omega$ – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl termoizoliacinio statybos produkto papildomo įdrėkimo atitvaroje ($W/(m \cdot K)$).

Atitvarų visuminė šiluminė varža ($m^2 \cdot K/W$) apskaičiuojama pagal formulę (15) [47]:

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}; \quad (15)$$

čia: R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža ($(m^2 \cdot K)/W$), imama iš 2.3 lentelės;

R_s – atitvaros sluoksnių suminė šiluminė varža ($(m^2 \cdot K)/W$);

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža ($(m^2 \cdot K)/W$), imama iš 2.3 lentelės.

Atitvaros be oro sluoksnių šilumos perdavimo koeficientas U ($W/(m^2 \cdot K)$) apskaičiuojamas pagal formulę (16) [48]:

$$U = \frac{1}{R_t}; \quad (16)$$

čia: R_t – atitvaros visuminė šiluminė varža ($m^2 \cdot K/W$).

Tuo atveju, kai atitvaros sluoksnį kerta metalinės jungtys, tokios atitvaros šilumos perdavimo koeficientas U^I ($W/(m^2 \cdot K)$) apskaičiuojamas pagal formulę (17) [1]:

$$U^I = U + \Delta U_f; \quad (17)$$

čia: U – atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, apskaičiuotas nevertinant metalinių jungčių atitvaroje ($W/(m^2 \cdot K)$).

ΔU_f – atitvaros šilumos perdavimo koeficiento pataisa dėl metalinių jungčių atitvaroje ($W/(m^2 \cdot K)$). Apskaičiuojama pagal LST EN ISO 6946:2008 D.3.2 punkto reikalavimus arba tikslesniais LST EN ISO 6946:2008 nurodytais skaičiavimo metodais skaičiavimams naudojant 3.13 lentelėje nurodytas metalų šilumos laidumo koeficientų vertes. Jei pastato energinio naudingumo sertifikavimo metu sertifikavimo užsakovas nurodo, kad termoizoliaciniam sluoksniui tvirtinti buvo panaudotos plastikinės smeigės su metaline šerdimi, tačiau smeigių kiekis viename kvadratiname metre nežinomas – skaičiavimuose turi būti įvertintos 4 smeigės vienam kvadratiniam metrui; jei nežinomas smeigės plieninės šerdies skersmuo, šis skersmuo turi būti priimtas 5 mm; jei nežinomas

plieninės šerdies įgilinimas į termoizoliacinį sluoksnį – turi būti priimta, kad plieninė šerdis neįgilinta [1].

ΔU_f vertė gali būti apskaičiuota ir taip [7]:

$$\Delta U_f = n \cdot \chi; \quad (18)$$

čia: χ – taškinio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficiento vertė vienam tvirtikliui (W/K).

Apskaičiuojama pagal LST EN ISO 10211 reikalavimus;

n_f – tvirtiklių skaičius viename kvadratiname metre atitvaros (vnt./m²).

2.3. Ilginių šiluminių tiltelių apskaičiavimo metodika

Ilginiai šiluminiai tilteliai apskaičiuojami vadovaujantis standartu LST EN ISO 10211:2017 „Statybinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“ [2].

Ilginiai šiluminiai tilteliai apskaičiuojami pagal (19) formulę [49]:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j; \quad (19)$$

čia: L_{2D} – šiluminio sąryšio koeficientas, gautas atliekant dvi tiriamas aplinkas skiriančio 2D komponento 2D skaičiavimą; U_j – 1D komponento j , skiriančio dvi tiriamas aplinkas, šilumos perdavimo koeficientas W/(m²·K); l_j – 2D geometrinio modelio ilgis, kuriam taikoma U_j vertė, m; N_j – 1D komponentų skaičius [2].

Langą montuojant termoizoliaciniame sluoksnyje naudojant stiklo pluošto, ar metalinius kronšteinus lango angokraščio vidutinis šiluminis tiltelis apskaičiuojamas pagal (20) formulę:

$$\Psi_{vid} = \frac{\Psi_1 \cdot l_1 + \Psi_2 \cdot l_2}{l_1 + l_2}; \quad (20)$$

čia: Ψ_1 – linijinis šilumos perdavimo koeficientas per sienos–lango pjūvį be stiklo pluošto laikiklio, W/(m·K);

Ψ_2 – linijinis šilumos perdavimo koeficientas per sienos–lango pjūvį su stiklo pluošto laikikliu, W/(m·K);

2.4. Ekspertų apklausos įverčių suderinamumas

Ekspertų apklausos įverčių suderinamumo nustatymui naudojamas Kendallo konkordacijos koeficientas (Kendall W) – tai statistinis rodiklis, naudojamas įvertinti, kiek keli vertintojai tarpusavyje sutaria, kai jie ranguoja (surikiuoja pagal svarbą, kokybę, prioritetą) tuos pačius objektus [50].

Efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų suma nustatoma pagal (21) formulę:

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^r C_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r C_{ij} \right]^2; \quad (21)$$

čia: r – apklausoje dalyvavusių ekspertų skaičius, n – rodiklių skaičius; t_{ij} – ojo rodiklio įverčio (rango) reikšmė, suteikta j -ojo ekspertui.

Konkordacijos koeficientas W apskaičiuojamas pagal (22) formulę:

$$\bar{W} = \frac{12S}{r^2 \cdot (n^3 - n)}; \quad (22)$$

Naudojant X^2 kriterijų nustatomas konkordacijos koeficiento reikšmingumas:

$$X^2 = \frac{12S}{r \cdot n \cdot (n+1)}. \quad (23)$$

Jeigu $X^2 > X^2_{krit}$, laikoma kad ekspertų nuomonės suderintos. Tuo atveju jei $X^2 < X^2_{krit}$, priimama, kad ekspertų nuomonės nesuderintos.

2.5. Kompiuterinė programa THERM

THERM yra moderni kompiuterinė programa, sukurta Lorenzo Berklio nacionalinėje laboratorijoje (LBNL), skirta dvimačiams šilumos perdavimo (šilumos srautų) skaičiavimams atlikti. THERM šilumos perdavimo analizė leidžia įvertinti gaminio energinį efektyvumą ir vietinius temperatūros modelius, kurie gali būti tiesiogiai susiję su kondensacijos, drėgmės pažeidimų ir konstrukcijos vientisumo problemomis.

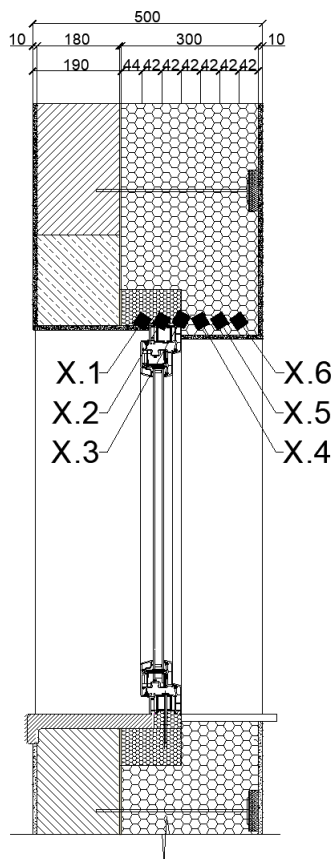
2.6. Energinio naudingumo vertinimas programa NRG 7

Lietuvoje pastatų energinio naudingumo vertinimo metodika ir jai taikomi reikalavimai nustatyti statybos techniniame reglamente STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“. Atliekant pastatų energinio naudingumo sertifikavimą taikoma kompiuterinė programa „NRG-sert 7“, skirta atestuotiems pastatų energinio sertifikavimo ekspertams ir naudojama energinio naudingumo vertinimui pagal STR 2.01.02:2016 reikalavimus. Programa pagal įvestus pastato parametrus (šildomas plotas, pastato atitvarų plotai, atitvarų šilumos perdavimo koeficientai, inžinerinių sistemų duomenys) apskaičiuoja normines ir skaičiuojamąsias energijos sąnaudas bei nustato energinio naudingumo klasę.

3. Tiriamoji dalis

3.1. Tiriamieji modeliai

Tyrimui pasirinkta tipinė A++ energinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato siena. Tiriamieji modeliai turi bendrą konstrukciją, kurią sudaro: silikatinų blokelių mūras, pilkasis polistireninis putplastis, išorės ir vidaus apdailinis tinkas, plastikinis langas; keičiama tik lango „išnešimo“ į šiltinimo sluoksnį sistema ir lango padėtis sienos atžvilgiu.



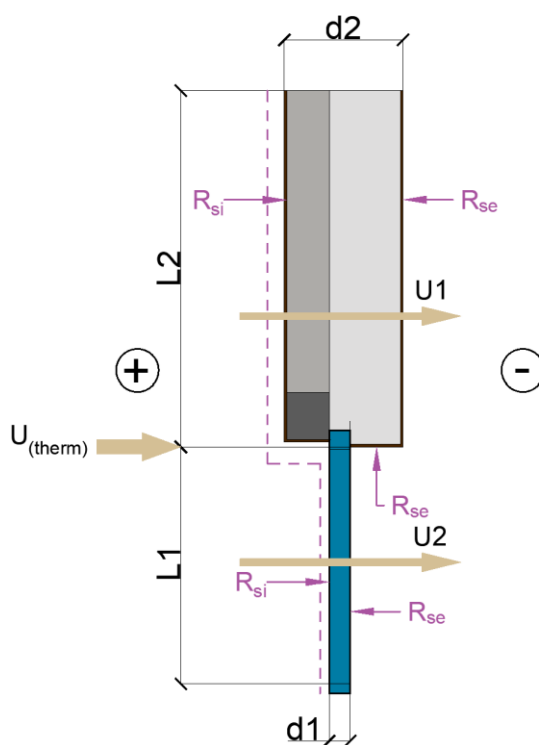
21 pav. Tiriamųjų lango padėčių išdėstymo schema

Tiriamos šešios lango padėtys (X1–X6) ir trys jungtys: sąrama–langas, siena–langas, palangė–langas. Lango padėtis kinta kas 42 mm, X1 padėtis – langas priglaustas prie blokelių mūro išorinio paviršiaus, X2–X6 padėtys kas išdėstomos kas 42 mm (žr. 21 pav.).

LST EN ISO 10211 Statybinių konstrukcijų šilumos tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai (ISO 10211:2017) nustato reikalavimus skaičiuojamajai schemai [2]:

- $3 \cdot d_1 \leq L_1 \leq 1 \text{ m}$;
- $3 \cdot d_2 \leq L_2 \leq 1 \text{ m}$;

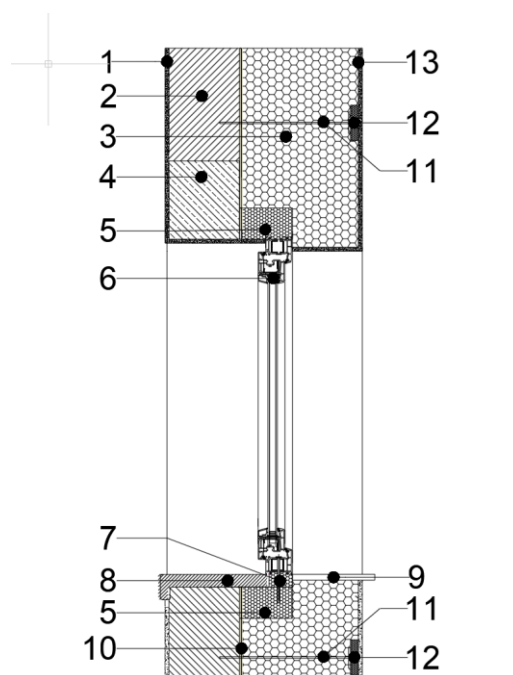
Skaičiuojamojoje schemoje (žr. 22 pav.) priimama, kad $L_1=1,0 \text{ m}$; $L_2=1,50 \text{ m}$.



22 pav. Skaičiuojamoji schema

3.1.1. Tiriamasis modelis Nr.1

Tiriamajame modelyje Nr. 1 lango montavimui termoizoliaciniame sluoksnyje parinktas tankaus polistireninio putplasčio EPS profilis, kuris prie sienos klijuojamas ir papildomai tvirtinamas varžtais (žr. 23 pav.).



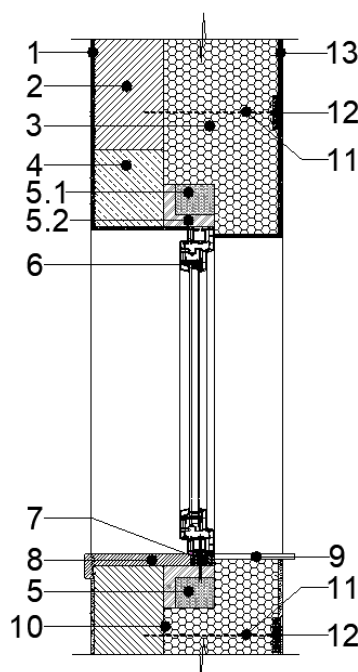
23 pav. Tiriamojo modelio Nr. 1 konstrukcija (sluoksnių aprašymas pateiktas 4 lentelėje)

4 lentelė. Sienos-lango modelio Nr.1 konstrukciją sudarančių statybos produktų sąrašas

Eil. Nr.	Statybos produktas / Sluoksnių pavadinimas	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas λ_D , W/(m·K).	Pataisa dėl papildomo įdrėkimo atitvaroje $\Delta\lambda_o$, (W/(m·K)).	Projektuojamas šilumos laidumo koeficientas λ_{ds} , W/(m·K).
1	Tinkas			1,0000
2	Silikatinių blokelių mūras d=180 mm			0,9000
3	Polistireninis putplastis EPS 70 NEO d=300 mm	0,032	0,002	0,0340
4	G/B sąrama			2,5000
5	Didelio tankio EPS profilis	0,0374	0,002	0,0394
6	Langas d=88 mm (U=0,8 (W/(m²·K)))			0,0815
7	Didelio tankio popalanginis profilis	0,0403	0,0020	0,0423
8	Medinė palangė			0,13
9	Palangė			2,50
10	Klijai			
11	Smeigė			
12	Polistireninė tabletė			
13	Tinkas (kalkių-smėlio)			0,800

3.1.2. Tiriamasis modelis Nr. 2

Tiriamajame modelyje Nr. 2 lango montavimui termoizoliaciniame sluoksnyje parinkta sistema susidedanti iš PUR kompozito laikančiojo sluoksnių, bei polistireninio putplasčio XPS užpildo. Sistema prie sienos klijuojama ir papildomai tvirtinama varžtais (žr. 24 pav.).



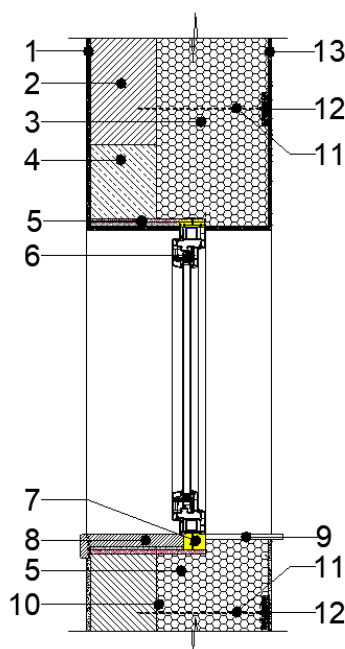
24 pav. Tiriamojo modelio Nr. 2 konstrukcija (sluoksnių aprašymas pateiktas 5 lentelėje)

5 lentelė. Sienos-lango modelio Nr.2 konstrukciją sudarančių statybos produktų sąrašas

Eil. Nr.	Statybos produktas / Sluoksnių pavadinimas	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas λ_D , W/(m·K).	Pataisa dėl papildomo įdrėkimo atitvaroje $\Delta\lambda_w$, (W/(m·K)).	Projektuojamas šilumos laidumo koeficientas λ_{ds} , W/(m·K).
1	Tinkas			1,00
2	Silikatinių blokelių mūras d=180 mm			0,90
3	Polistireninis putplastis EPS 70 NEO d=300 mm	0,032	0,002	0,034
4	G/B sąrama			2,50
5.1	Puratherm (PUR) kompozito) profilis			0,0960
5.2	Didelio tankio XPS užpildas			0,034
6	Langas d=88 mm (U=0,8 (W/(m²·K)))			0,0815
7	Didelio tankio popalanginis profilis	0,0403	0,0020	0,0423
8	Medinė palangė			0,13
9	Palangė			2,50
10	Klijai			
11	Smeigė			
12	Polistireninė tabletė			
13	Tinkas (kalkių-smėlio)			0,800

3.1.3. Tiriamasis modelis Nr. 3

Tiriamajame modelyje Nr. 3 lango montavimui termoizoliaciniame sluoksnyje parinktas stiklo pluošto laikikliai (žr. 25 pav.).



25 pav. Tiriamojo Nr. 3 modelio konstrukcija (sluoksnių aprašymas pateiktas 6 lentelėje)

6 lentelė. Sienos-lango modelio Nr.3 konstrukciją sudarančių statybos produktų sąrašas

Eil. Nr.	Statybos produktas / Sluoksnio pavadinimas	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas λ_D , W/(m·K).	Pataisa dėl papildomo įdrėkimo atitvaroje $\Delta\lambda_{\omega}$, (W/(m·K)).	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas λ_{ds} , W/(m·K).
1	Tinkas			1,00
2	Silikatinių blokelių mūras d=180 mm			0,90
3	Polistireninis putplastis EPS 70 NEO d=300 mm	0,032	0,002	0,034
4	G/B sąrama			2,50
5	Stiklo pluošto laikikliai (kronšteinai)			0,032
6	Langas d=88 mm (U=0,8 (W/(m²·K)))			0,0815
7	Sandarinio puto			0,05
8	Medinė palangė			0,13
9	Palangė			2,50
10	Klijai			
11	Smeigė			
12	Polistireninė tabletė			
13	Tinkas (kalkių-smėlio)			0,800

3.1.4. Tiriamasis PENS modelis

Siekiant išsiaiškinti kokią įtaką pastato energiniam naudingumui daro sienos –lango ilginiai šiluminiai tilteliai, kaip tiriamasis modelis pasirinktas vieno buto gyvenamasis pastatas. Pastato projektas sukurtas BIM aplinkoje, naudojant ArchiCAD programinį paketą. Pasirinktas gyvenamasis namas yra vieno aukšto su sutapdintu stogu, skirtas gyventi 4 –5 asmenų šeimai (žr. 26 pav.).



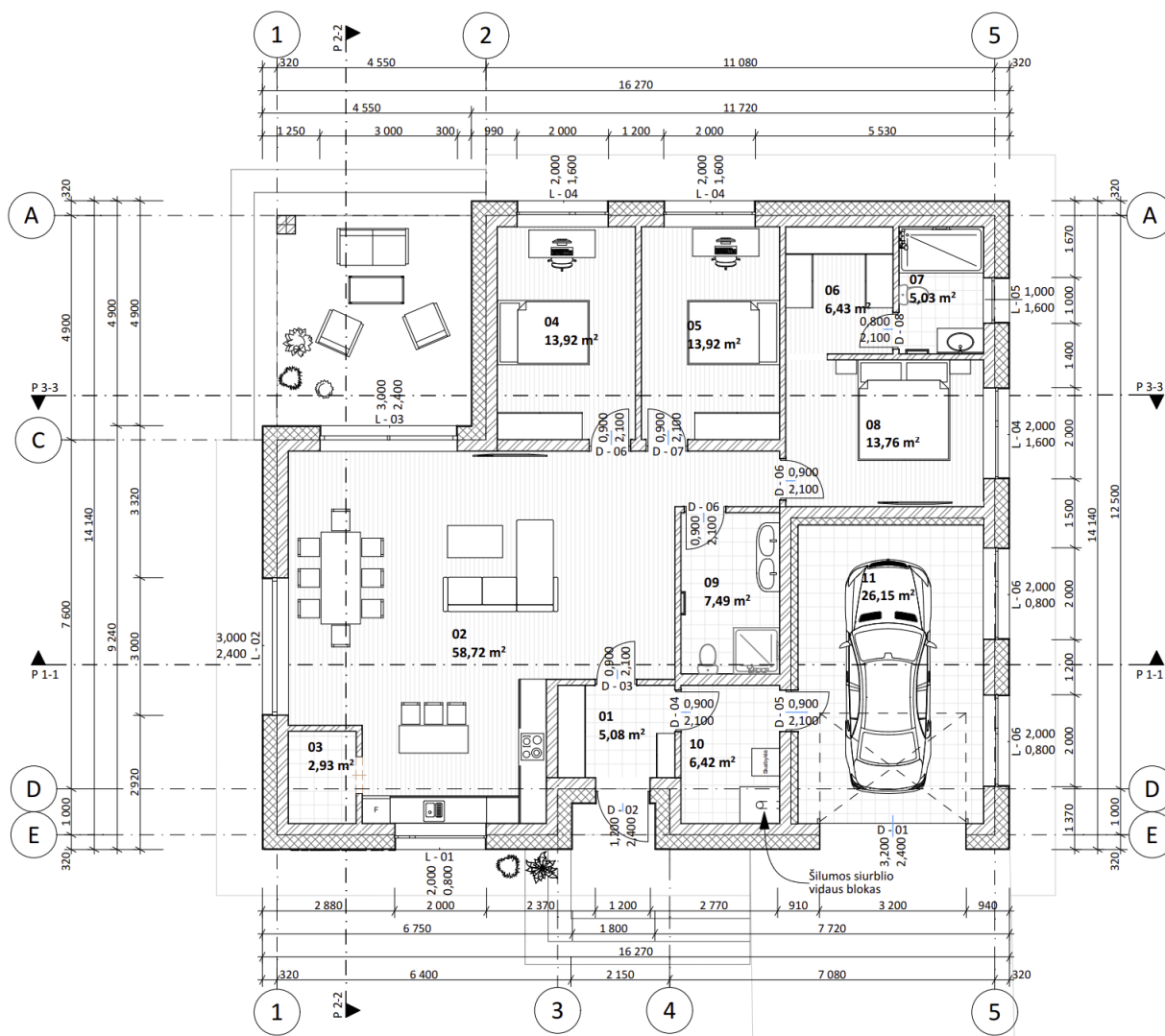
26 pav. Tiriamojo pastato vaizdas

Pagrindiniai pastato techno-ekonominiai rodikliai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Tiriamojo modelio (vieno buto gyvenamo namo) pagrindiniai techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Parametrai	Mato vnt.	Kiekis
1	Bendrasis plotas	kv.m.	164,65
2	Pastato naudingasis plotas	kv.m.	137,23
3	Pastato tūris	kub.m	822
4	Aukštų skaičius	Vnt.	1
5	Pastato aukštis	m	5,30
6	Energinio naudingumo klasė		A++

Tiriamasis pastatas yra kelių tarpusavyje susikertančių taisyklingų stačiakampių tūrių su plokščiu stogu. Pastate (žr. 27 pav.) suprojektuotos tambūro, virtuvės-svetainės, dvi pagalbinės patalpos, trys kambariai, drabužinė, dvi dušo –WC patalpos ir nešildomas garažas.



27 pav. Tiriamojo namo aukšto planas

Pastato patalpų eksplikacija pateikiama 8 lentelėje.

8 lentelė. Tiriamojo vieno buto gyvenamojo namo patalpų eksplikacija

Eil. Nr.	Parametrai	Mato vnt.	Kiekis
1	Tambūras	kv.m.	5,08
2	Svetainė - virtuvė	kv.m.	58,72
3	Pagalbinė patalpa	kub.m	2,93
4	Kambarys	Vnt.	13,92
5	Kambarys	m	13,92
6	Drabužinės		6,43
7	San. mazgas		5,03
8	Kambarys		13,76
9	San.mazgas		7,49
10	Pagalbinė patalpa		6,64
11	Garažas		26,15

3.2. Tiriamojo pastato atitvarų šiluminės charakteristikos

Sienos šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal 2.2 punkte pateiktą metodiką ir pateikiamas 9 lentelėje. Termoizoliacinių medžiagų tvirtiklių įtaka neskaičiuojama, priimama, kad naudojami tvirtikliai su termoizoliacine „tablete“ kurių taškinio šiluminio tiltelio χ šilumos perdavimo koeficiento vertė vienam tvirtikliui 0,000 (W/K).

9 lentelė. Sienos šilumos perdavimo koeficiento U, W/(m²·K), skaičiavimas

Eil. Nr.	Statybos produktas		Sluoksni o storis, m	Deklaruojamoji šilumos laidumo koeficiento vertė λ_D (W/(m·K))	Projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė, $\lambda_{d,s}$, W/(m·K)	Sluoksni o šiluminė varža R, (m ² ·K/W)
1	Tinkas		0,01		0,8	0,013
2	Arko blokelių mūras		0,18		0,9	0,200
3	Polistireninis putplastis NEO EPS70+		0,3	0,032	0,034	8,824
4	Tinkas		0,01			0,01
					Rs	9,046
					Rsi	0,13
					Rse	0,04
					Rt	9,216
					U	0,109

Kitų pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento vertės neskaiciuojamos ir priimamos norminės pagal STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ reikalavimus bei pateikiamos 10 lentelėje.

10 lentelė. Sienos šilumos perdavimo koeficiento U , $W/(m^2 \cdot K)$, skaičiavimas

Eil. Nr.	Atitvaros apibūdinimas	Projekte priimtos atitvaros konstrukcijos trumpas aprašymas	Norminis šilumos perdavimo koeficientas U , ($W/(m^2 \cdot K)$)
1	Stogas	1. GKP plokštė $d=12,5$ mm; 2. Kiaurymėtosios perdangos plokštės $d=220$ mm; 3. Garo izoliacinė plėvelė; 4. Polistireninis putplastis EPS 100 NEO, $d=300$ mm 5. Kieta mineralinė vata, $d=30$ mm 6. Du sluoksniai prilydomos dangos	0,100
2	Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu (grindys)	1. Apdaila; 2. Betonas, $d=80$ mm 3. Hidroizoliacinė plėvelė; 4. Polistireninis putplastis EPS 100 NEO, $d=300$ mm 5. Hidroizoliacinė plėvelė; 6. Juodgrindės, betonas, $d=60$ mm	0,120
3	Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	Plastikiniai, dviejų kamerų stiklo paketas, du selektyviniai stiklai	0,8
4	Durys, vartai		1,2

Ilginiai šiluminiai tilteliai skaičiuojami tiksliai sienos–lango sandūroje, kitų konstrukcijų ilginių šiluminių tiltelių vertės priimamos norminės pagal STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ reikalavimus bei pateikiamos 11 lentelėje.

11 lentelė. Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ , ($W/(m \cdot K)$) vertės

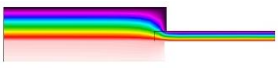
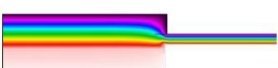
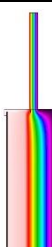
Eil. Nr.	Ilginio šiluminio tiltelio apibūdinimas	Ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ , ($W/(m \cdot K)$) vertės
1	Tarp pastato pamatų ir išorinių sienų	0,1
2	Aplink langų angas sienose	0,05
3	Aplink išorinių įėjimo durų angas sienose	0,05
4	Tarp pastato sienų ir stogo	0
5	Fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose	0

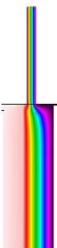
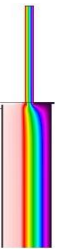
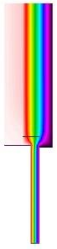
3.3. Modelio Nr.1 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimas

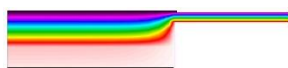
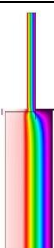
Modelio Nr.1 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimai atliekami THERM programa; skaičiuojamos šešios lango padėties termoizoliaciniame sluoksnyje, kiekvienai lango padėčiai skaičiuojami trys

ilginiai šiluminiai tilteliai: sąramos–lango jungtis; mūro–lango (šonas); palangės–lango jungtis (žr. 12 lentelę).

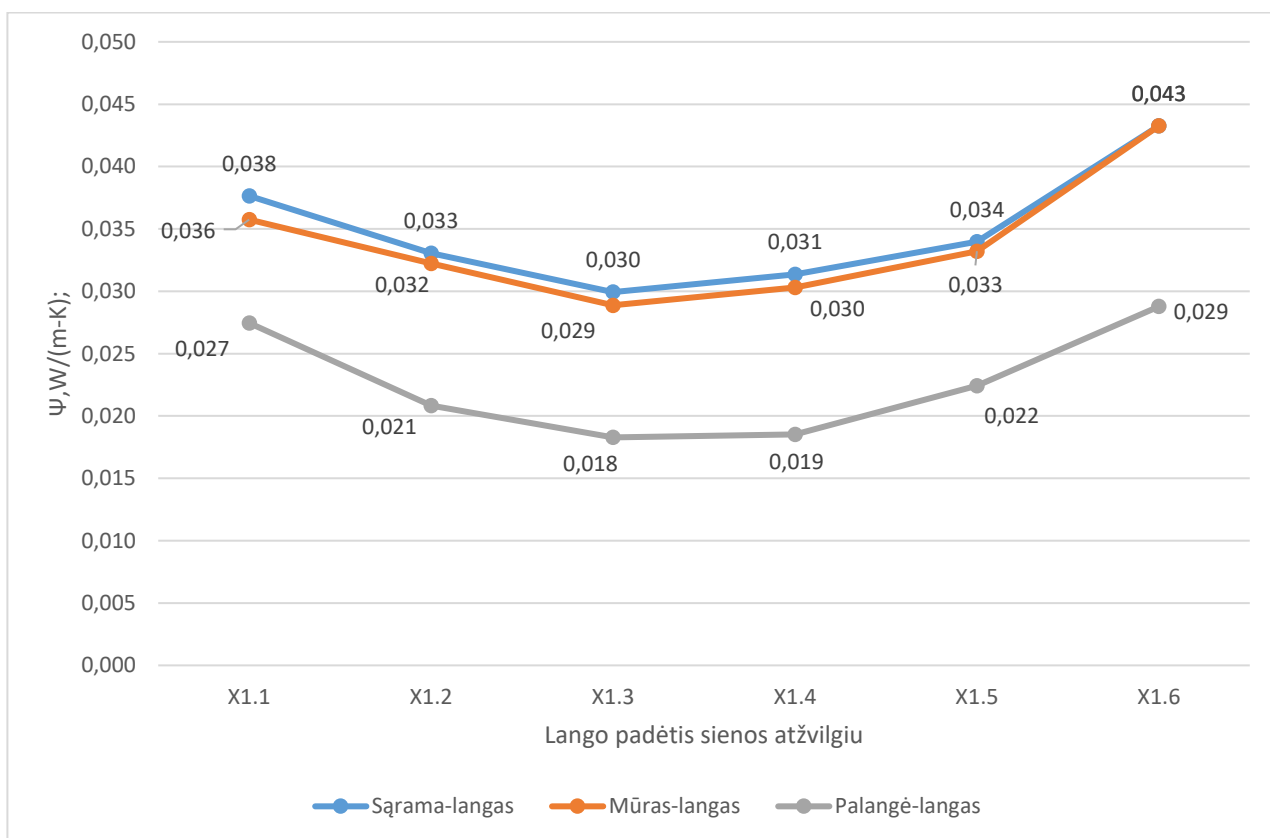
12 lentelė. Modelio Nr. 1 ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ , (W/(m·K)) vertės

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L_{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
X1	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3678	0,8	0,1090	0,038	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L_{2D} ,	1,001151	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3671	0,8	0,1090	0,036	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,999246	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3562	0,8	0,1090	0,027	
		L, m	2,782	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,990948	0,8	0,1635		
X2	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3719	0,8	0,1090	0,033	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,996543	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3716	0,8	0,1090	0,032	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,995739	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3593	0,8	0,1090	0,021	
		L, m	2,7396	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,984338	0,8	0,1635		
X3	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3767	0,8	0,1090	0,030	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,993433	0,8	0,1635		

	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3763	0,8	0,1090	0,029	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,992378	0,8	0,1635		
	Palangè -langas	U, (W/(m ² ·K))	0,364	0,8	0,1090	0,018	
		L, m	2,6972	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,981781	0,8	0,1635		
X4	Sarama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3834	0,8	0,1090	0,031	
		L, m	2,5948	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,994846	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,383	0,8	0,1090	0,030	
		L, m	2,5948	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,993808	0,8	0,1635		
	Palangè -langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3699	0,8	0,1090	0,019	
		L, m	2,6548	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,982011	0,8	0,1635		
X5	Sarama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3908	0,8	0,1090	0,034	
		L, m	2,5524	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,997478	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3905	0,8	0,1090	0,033	
		L, m	2,5524	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,996712	0,8	0,1635		
	Palangè -langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3774	0,8	0,1090	0,022	
		L, m	2,6124	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,98592	0,8	0,1635		
X6	Sarama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,4011	0,8	0,1090	0,043	

		L, m	2,51	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,006761	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,4011	0,8	0,1090	0,043	
		L, m	2,51	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,006761	0,8	0,1635		
	Palangė-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3861	0,8	0,1090	0,029	
		L, m	2,57	1	1,5		
		L _{2D} ,	0,992277	0,8	0,1635		

Modelio Nr.1 skaičiavimų rezultatai pateikiami grafiškai (žr. 28 pav.)



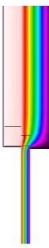
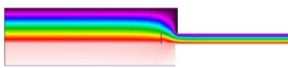
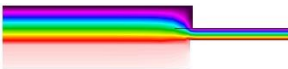
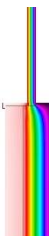
28 pav. Modelio Nr.1 sienos – lango ilginiai šiluminiai tilteliai

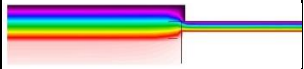
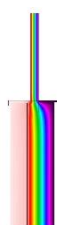
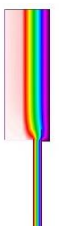
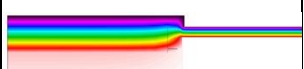
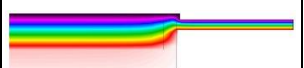
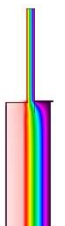
Atlikus Modelio Nr.1 sienos - lango ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimus, galima daryti išvadą, kad mažiausios vertės gaunamos X3 padėtyje – kai langas atitrauktas per 130 mm nuo blokelių mūro sluoksnio, o prasciausi rezultatai – kai langas atitrauktas labiausiai į išorę, t.y.X6 padėtyje.

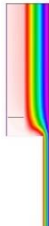
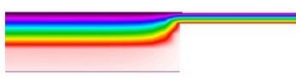
3.4. Modelio Nr.2 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimas

Modelio Nr.2 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimų rezultatai pateikiami 13 lentelėje

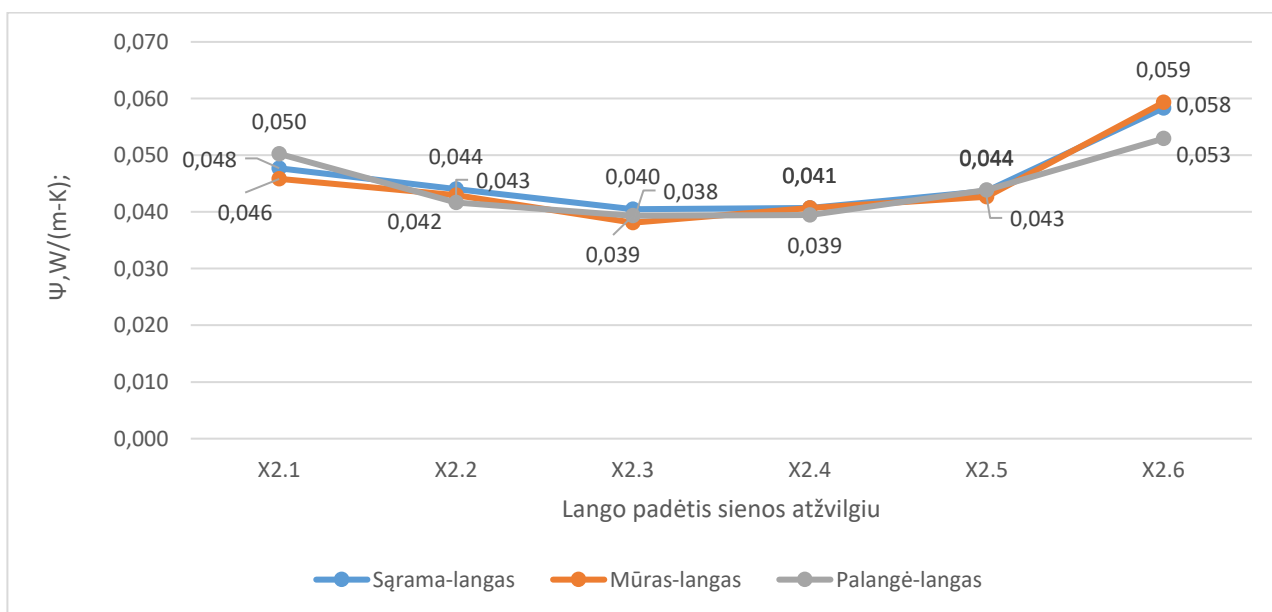
13 lentelė. Modelio Nr. 2 ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ , ($W/(m \cdot K)$) vertės

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L2D	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , ($W/(m \cdot K)$)	Modelio grafinis vaizdas
X1	Sąrama - langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,3715	0,8	0,1090	0,048	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,011223	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,3708	0,8	0,1090	0,046	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,009318	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,3644	0,8	0,1090	0,050	
		L, m	2,782	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,013761	0,8	0,1635		
X2	Sąrama - langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,376	0,8	0,1090	0,044	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,00753	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,3756	0,8	0,1090	0,043	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,006458	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,3669	0,8	0,1090	0,042	
		L, m	2,7396	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,005159	0,8	0,1635		
X3	Sąrama - langas	U, ($W/(m^2 \cdot K)$)	0,3807	0,8	0,1090	0,040	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,003982	0,8	0,1635		

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L2D	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3798	0,8	0,1090	0,038	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,001609	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3718	0,8	0,1090	0,039	
		L, m	2,6972	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,002819	0,8	0,1635		
X4	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,387	0,8	0,1090	0,041	
		L, m	2,5948	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,004188	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,387	0,8	0,1090	0,041	
		L, m	2,5948	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,004188	0,8	0,1635		
X5	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3946	0,8	0,1090	0,044	
		L, m	2,5524	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,00717704	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3942	0,8	0,1090	0,043	
		L, m	2,5524	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,006156	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3856	0,8	0,1090	0,044	
		L, m	2,6124	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,007341	0,8	0,1635		

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L2D	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
X6	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,4071	0,8	0,1090	0,058	
		L, m	2,51	1	1,5		
		L2D,	1,021821	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,4075	0,8	0,1090	0,059	
		L, m	2,51	1	1,5		
		L2D,	1,022825	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3955	0,8	0,1090	0,053	
		L, m	2,57	1	1,5		
		L2D,	1,016435	0,8	0,1635		

Vertintos 6 lango padėtys (X1–X6) ir 3 jungtys: sąrama–langas, siena–langas, palangė–langas. Atlikus Modelio Nr.2 sienos–lango ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimus, matome, kad Ψ reikšmių intervalas kinta nuo 0,038 iki 0,059 W/(m·K). Mažiausia – X3 (siena–langas 0,038 W/(m·K)), didžiausia – X6 (siena–langas 0,059 W/(m·K)). Geriausia lango padėtis sienos atžvilgiu, „šiluminio tiltelio“ požiūriu yra padėtyje X3–X4, nes visose trijose jungtyse Ψ yra žemiausios (0,038–0,041 W/(m·K)). Blogiausia lango montavimo pozicija – X6: visų jungčių Ψ šokteli iki 0,053–0,059 W/(m·K), t. y. apie ~45% didesnės nei X3 vidurkis. Modelio Nr.2 skaičiavimų rezultatai pateikiami grafiškai (žr. 27 pav.)



29 pav. Modelio Nr.2 sienos–lango ilginiai šiluminiai tilteliai

3.5. Modelio Nr.3 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimas

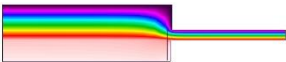
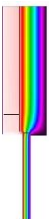
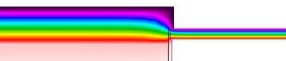
Modelio Nr.3 ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimai THERM programoje atliekami per du pjūvius:

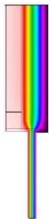
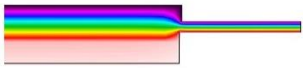
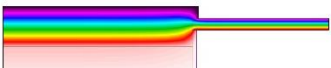
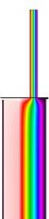
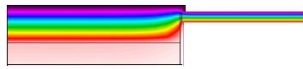
a) per sienos – lango pjūvį be stiklo pluošto laikiklio;

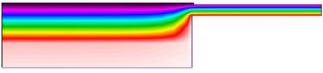
b) per sienos – lango pjūvį su stiklo pluošto laikikliu.

Vidutinis sienos–lango ilginis šiluminis tiltelis apskaičiuojamas pagal formulę (20).

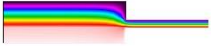
14 lentelė. Modelio Nr. 3 be stiklo pluošto laikiklių ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ , (W/(m·K)) vertės

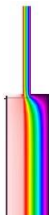
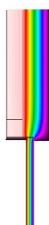
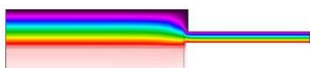
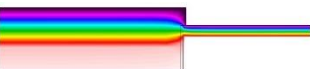
Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L_{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
X1	Sąrama - langas	U , (W/(m ² ·K))	0,367	0,8	0,1090	0,035	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,998974	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U , (W/(m ² ·K))	0,3666	0,8	0,1090	0,034	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,997885	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U , (W/(m ² ·K))	0,3614	0,8	0,1090	0,042	
		L, m	2,782	1	1,5		
		L_{2D} ,	1,005415	0,8	0,1635		
X2	Sąrama - langas	U , (W/(m ² ·K))	0,3707	0,8	0,1090	0,030	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,993328	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U , (W/(m ² ·K))	0,3705	0,8	0,1090	0,029	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,992792	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U , (W/(m ² ·K))	0,365	0,8	0,1090	0,036	
		L, m	2,7396	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,999954	0,8	0,1635		

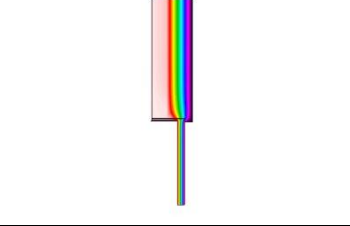
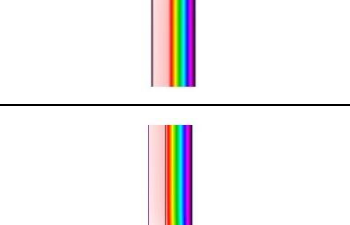
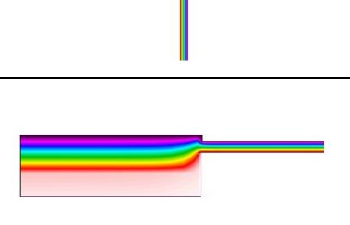
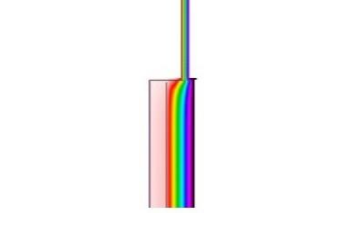
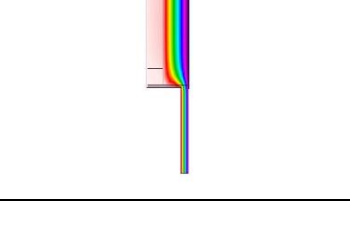
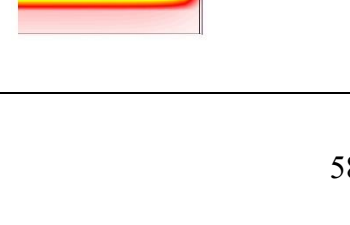
Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L_{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis $\Psi, (W/(m \cdot K))$	Modelio grafinis vaizdas
X3	Sąrama - langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,376	0,8	0,1090	0,028	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,991587	0,8	0,1635		
	Siena-langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,3759	0,8	0,1090	0,028	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,991323	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,3706	0,8	0,1090	0,036	
		L, m	2,6972	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,999582	0,8	0,1635		
X4	Sąrama - langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,382	0,8	0,1090	0,028	
		L, m	2,5948	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,991214	0,8	0,1635		
	Siena-langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,3819	0,8	0,1090	0,027	
		L, m	2,5948	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,990954	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,3756	0,8	0,1090	0,034	
		L, m	2,6548	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,997143	0,8	0,1635		
X5	Sąrama - langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,3894	0,8	0,1090	0,030	
		L, m	2,5524	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,993905	0,8	0,1635		
	Siena-langas	$U, (W/(m^2 \cdot K))$	0,3893	0,8	0,1090	0,030	
		L, m	2,5524	1	1,5		
		L_{2D} ,	0,993649	0,8	0,1635		

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L _{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
X6	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3831	0,8	0,1090	0,037	
		L, m	2,6124	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,00081	0,8	0,1635		
	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3996	0,8	0,1090		
		L, m	2,51	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,002996	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3997	0,8	0,1090		
		L, m	2,51	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,003247	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3909	0,8	0,1090		
		L, m	2,57	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,004613	0,8	0,1635		

15 lentelė. Modelio Nr. 3 su stiklo pluošto laikikliais ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų Ψ , (W/(m·K)) vertės

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L _{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
X1	Sąrama - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3713	0,8	0,1090	0,047	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,010679	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m ² ·K))	0,3706	0,8	0,1090	0,045	
		L, m	2,722	1	1,5		
		L _{2D} ,	1,008773	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m ² ·K))	0,365	0,8	0,1090	0,052	
		L, m	2,782	1	1,5		

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L_{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
		L2D,	1,01543	0,8	0,1635		
X2	Sąrama - langas	U, (W/(m²·K))	0,3745	0,8	0,1090	0,040	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L2D,	1,00351	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m²·K))	0,3744	0,8	0,1090	0,040	
		L, m	2,6796	1	1,5		
		L2D,	1,003242	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m²·K))	0,3679	0,8	0,1090	0,044	
		L, m	2,7396	1	1,5		
		L2D,	1,007899	0,8	0,1635		
X3	Sąrama - langas	U, (W/(m²·K))	0,38	0,8	0,1090	0,039	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L2D,	1,002136	0,8	0,1635		
	Siena-langas	U, (W/(m²·K))	0,38	0,8	0,1090	0,039	
		L, m	2,6372	1	1,5		
		L2D,	1,002136	0,8	0,1635		
	Palangė - langas	U, (W/(m²·K))	0,373	0,8	0,1090	0,043	
		L, m	2,6972	1	1,5		
		L2D,	1,006056	0,8	0,1635		
X4	Sąrama - langas	U, (W/(m²·K))	0,3859	0,8	0,1090	0,038	
		L, m	2,5948	1	1,5		

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L_{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
	Siena-langas	L_{2D} ,	1,001333	0,8	0,1635	0,038	
		U, (W/(m²·K))	0,3858	0,8	0,1090		
		L, m	2,5948	1	1,5		
	Palangė - langas	L_{2D} ,	1,001074	0,8	0,1635	0,043	
		U, (W/(m²·K))	0,3791	0,8	0,1090		
		L, m	2,6548	1	1,5		
	Sąrama - langas	L_{2D} ,	1,006435	0,8	0,1635	0,041	
		U, (W/(m²·K))	0,3936	0,8	0,1090		
		L, m	2,5524	1	1,5		
X5	Siena-langas	L_{2D} ,	1,004625	0,8	0,1635	0,041	
		U, (W/(m²·K))	0,3936	0,8	0,1090		
		L, m	2,5524	1	1,5		
	Palangė - langas	L_{2D} ,	1,010738	0,8	0,1635	0,047	
		U, (W/(m²·K))	0,3869	0,8	0,1090		
		L, m	2,6124	1	1,5		
	Sąrama - langas	L_{2D} ,	1,021068	0,8	0,1635	0,058	
		U, (W/(m²·K))	0,4068	0,8	0,1090		
		L, m	2,51	1	1,5		
X6	Siena-langas	L_{2D} ,	1,022072	0,8	0,1635	0,059	
		U, (W/(m²·K))	0,4072	0,8	0,1090		
		L, m	2,51	1	1,5		
	Palangė - langas	L_{2D} ,	1,010738	0,8	0,1635	0,047	
		U, (W/(m²·K))	0,3869	0,8	0,1090		
		L, m	2,6124	1	1,5		

Lango padėtis	Tiltelio vieta	Rodiklis	L_{2D}	Langas	Siena	Ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))	Modelio grafinis vaizdas
	Palangė-langas	U , (W/(m ² ·K))	0,3978	0,8	0,1090	0,059	
		L, m	2,57	1	1,5		
		L_{2D} ,	1,022346	0,8	0,1635		

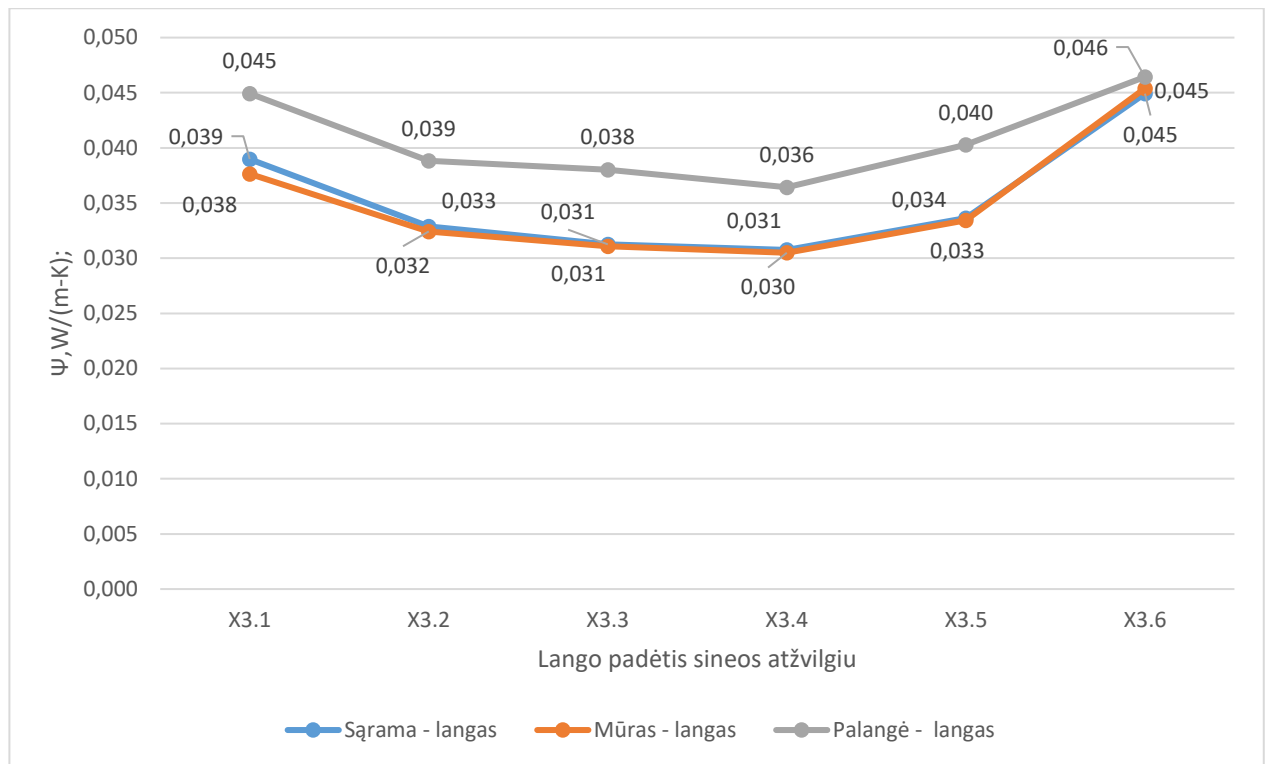
Modelio Nr.3 apskaičiuotos vidutinės ilginių šiluminių tiltelių vertės pateikiamos 16 lentelėje

16 lentelė. Modelio Nr.3 vidutinės ilginių šiluminių tiltelių vertės

Lango padėtis	Tiltelio padėtis	Vidutinis ilginis šiluminis tiltelis Ψ , (W/(m·K))
X1	Sąrama–langas	0,039
	Mūras–langas	0,038
	Palangė–langas	0,045
X2	Sąrama–langas	0,033
	Mūras–langas	0,032
	Palangė–langas	0,039
X3	Sąrama–langas	0,031
	Mūras–langas	0,031
	Palangė–langas	0,038
X4	Sąrama–langas	0,031
	Mūras–langas	0,030
	Palangė–langas	0,036
X5	Sąrama–langas	0,034
	Mūras–langas	0,033
	Palangė–langas	0,040
X6	Sąrama–langas	0,045
	Mūras–langas	0,045
	Palangė–langas	0,046

Atlikus Modelio Nr.3 sienos–lango ilginių šiluminių tiltelių skaičiavimus, pjūvyje be stiklo pluošto laikiklių, ilginių šiluminių tiltelių koeficiento Ψ reikšmės gaunamos nuo 0,027 W/(m·K) iki 0,042 W/(m·K). Pjūvyje su stiklo pluošto laikikliais ilginių šiluminių tiltelių koeficiento Ψ reikšmės didėja ir yra nuo 0,038 W/(m·K) iki 0,059 W/(m·K), didžiausios vertės fiksuojamos padėtyje X6 - kai langas atitrauktas labiausiai į išorę, geriausi rezultatai fiksuojami padėtyje X4. Stiklo pluošto laikikliai šiame modelyje padidina ilginių šiluminių tiltelių Ψ reikšmes visose padėtyse.

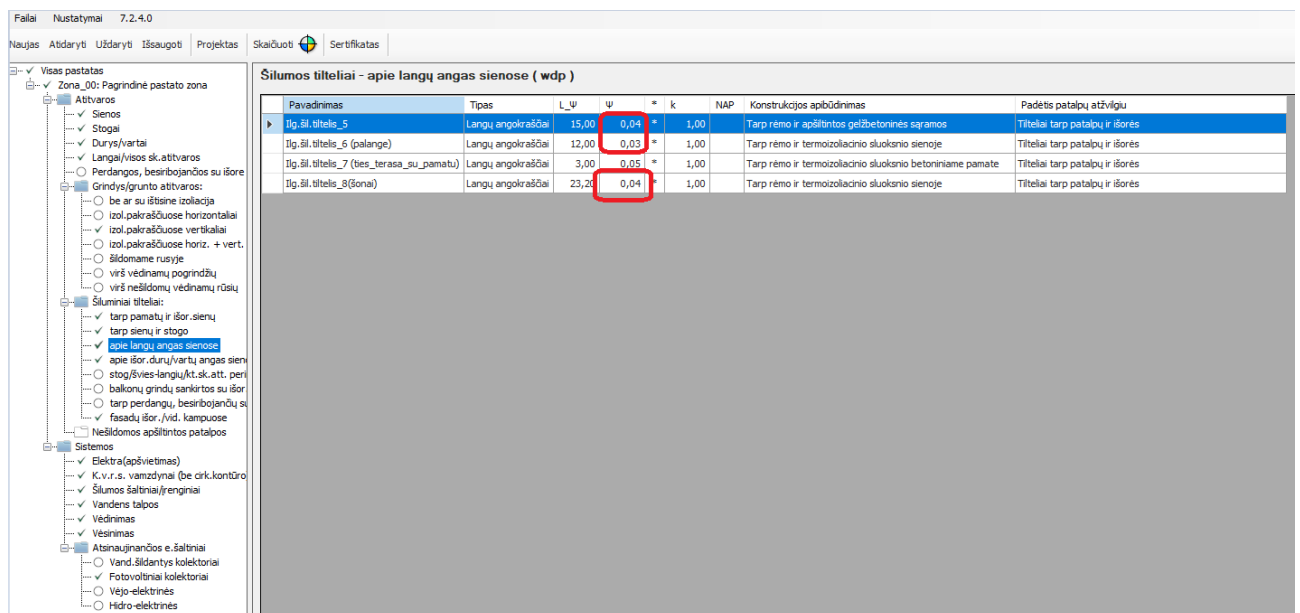
Modelio Nr.3 skaičiavimų rezultatai pateikiami grafiškai (žr. 30 pav.).



30 pav. Modelio Nr.3 sienos – lango ilginiai šiluminiai tilteliai

3.6. Sienos – lango ilginių šiluminių tiltelių įtaka pastato energiniam naudingumui

Naudojant NRG-sert programinę įrangą, atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti kokią įtaką šiluminiai tilteliai turi pastato energinio naudingumo rodikliams. Pastato parametrai programoje nekeičiami, keičiamos tik sienos–lango šiluminių tiltelių vertės (žr. 31 pav.).



31 pav. NRG-sert programos langas su keičiamais ilginiais šiluminiais tilteliais

Skaičiavimo rezultatai pateikiami lentelėje (žr. 17 lentelę).

17 lentelė. Sienos – lango ilginių šiluminių tiltelių įtakos tyrimo pastato energiniam naudingumui rezultatai

Modelis	Lango padėtis	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti kWh/(m ² ·metai)	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti, kWh/(m ² ·metai)	Pastato į aplinką išmetamas CO ₂ kiekis, kgCO ₂ /(m ² ·metai)
Modelis Nr.1	X1	12,160	2,679	11,809
	X2	12,129	2,698	11,8135
	X3	12,110	2,710	11,790
	X4	12,116	2,706	11,8130
	X5	12,136	2,694	11,8139
	X6	12,190	2,660	11,820
Modelis Nr.2	X1	12,279	2,601	11,845
	X2	12,239	2,630	11,830
	X3	12,2100	2,6500	11,8200
	X4	12,218	2,644	11,823
	X5	12,243	2,627	11,832
	X6	12,350	2,550	11,870
Modelis Nr.3	X1	12,236	2,629	11,831
	X2	12,173	2,673	11,808
	X3	12,160	2,683	11,803
	X4	12,1500	2,6900	11,8000
	X5	12,185	2,665	11,812
	X6	12,290	2,590	11,850

Atlikus skaičiavimus galima teigti, kad Modelio Nr.1 rezultatai yra geriausi – jie pasižymi mažiausiomis energijos sąnaudomis šildymui bei mažiausia CO₂ emisija.

3.7. Ekspertų apklausos rezultatų įvertinimas

Siekiant nustatyti efektyviausią sienos–lango montavimo mazgą, nustatomi vertinimo kriterijai:

- 1) ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas Ψ , W/(m·K);
- 2) šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti kWh/(m²·metai);
- 3) šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti kWh/(m²·metai);
- 4) pastato į aplinką išmetamas CO₂, kgCO₂/kWh;
- 5) lango–sienos mazgo įrengimo sudėtingumas, balai.

Nustant vertinimo kriterijų reikšmingumus, buvo parengta apklausos anketa su klausimais, kurie padėtų atskleisti specialistų nuomonę apie kriterijų reikšmingumą, lemiantį efektyvų sienos–lango mazgo įrengimą. Siekiant efektyvesnio apklausos rezultatų apdorojimo, bei patogumo respondentams, apklausa vykdyta naudojant „Microsoft Forms“ programinį įrankį. Ekspertams pateikti keturi klausimai:

- 1) Ar esate atestuotas statybos techninės veiklos pagrindinių sričių vadovas ir turite tai patvirtinantį kvalifikacijos atestatą.
- 2) Nurodykite, kokį (kokius) kvalifikacijos atestatus turite.

3) Sienos–lango mazgo kriterijų reikšmingumas (reikšmingiausias kriterijus 5 balai, mažiausiai reikšmingas kriterijus 1 balas):

- Ψ ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m \cdot K)$;
- šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$;
- šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$;
- pastato į aplinką išmetamas CO_2 kiekis, $kgCO_2/kWh$;
- lango-sienos mazgo įrengimo sudėtingumas, balai.

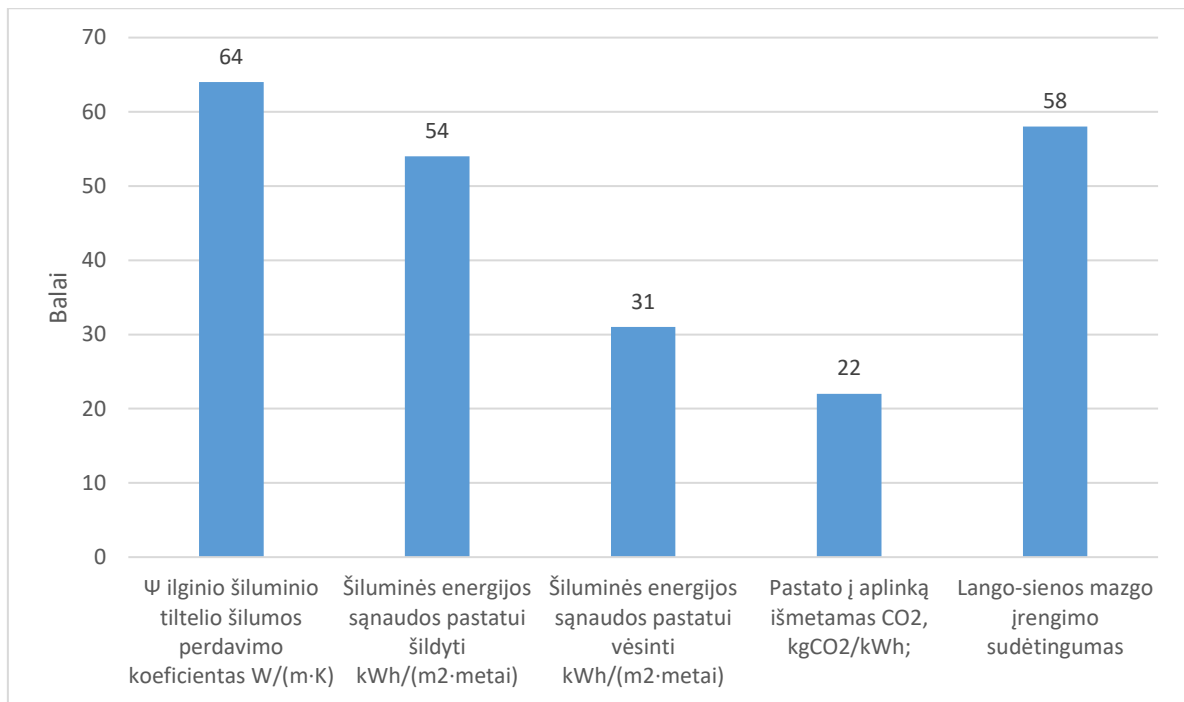
4) Įvertinkite sienos–lango mazgo įrengimo sudėtingumą (sudėtingiausias įrengimas 1 balas; mažiausiai sudėtingas įrengimas 3 balai).

Apklausoje dalyvavo 14 atestuotų statybos specialistų. Apklausos rezultatai pateikiami 18 lentelėje.

18 lentelė. Statybos specialistų apklausos rezultatai

Eil. Nr.	Ψ ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m \cdot K)$	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$	Pastato į aplinką išmetamas CO_2 kiekis, $kgCO_2/(m^2 \cdot metai)$	Lango-sienos mazgo įrengimo sudėtingumas, balai
Ekspertas 1	4	3	3	2	5
Ekspertas 2	5	4	2	1	4
Ekspertas 3	5	4	2	2	4
Ekspertas 4	3	4	2	2	4
Ekspertas 5	5	4	2	3	3
Ekspertas 6	4	3	2	1	5
Ekspertas 7	5	5	3	2	4
Ekspertas 8	5	4	2	1	5
Ekspertas 9	4	4	2	1	5
Ekspertas 10	4	4	3	1	4
Ekspertas 11	5	4	2	1	3
Ekspertas 12	5	4	2	1	4
Ekspertas 13	5	3	2	1	4
Ekspertas 14	5	4	2	3	4
Rangų suma	64	54	31	22	58
Vidutinis rangas	4,571	3,857	2,214	1,571	4,143
Prioritetas	1	3	4	5	2
Rodiklio santykinis svoris	0,279	0,236	0,135	0,096	0,253

Vertinimo kriterijų reikšmingumai pavaizduoti diagramoje (žr. 32 pav.)



32 pav. Kriterijų reikšmingumo pasiskirstymas

Pagal apdorotus duomenis matyti, kad pagrindinis kriterijus yra ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, kuris apklausoje surinko 64 balus, o mažiausiai reikšmingas kriterijus – pastato į aplinką išmetamas CO₂ kiekis, apklausoje surinkęs 22 balus.

Toliau atliekamas ekspertų nuomonių suderinamumo vertinimas, naudojant Kendall'o konkordacijos koeficiento W metodą. Efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų suma nustatoma pagal (21) formulę:

$$S = ((64 - \frac{1}{5} * (64 + 54 + 31 + 22 + 58))^2 + ((54 - \frac{1}{5} * (64 + 54 + 31 + 22 + 58))^2 + ((31 - \frac{1}{5} * (64 + 54 + 31 + 22 + 58))^2 + ((22 - \frac{1}{5} * (64 + 54 + 31 + 22 + 58))^2 + ((58 - \frac{1}{5} * (64 + 54 + 31 + 22 + 58))^2 = 1332,8$$

Apskaičiuojamas konkordacijos koeficientas pagal (22) formulę:

$$W = \frac{12 * 1332,8}{14^2 * (5^3 - 5)} = 0,68.$$

Apskaičiuojamas konkordacijos koeficiento reikšmingumas pagal (23) formulę

$$X^2 = \frac{12 * 1332,8}{14 * 5 * (5 + 1)} = 38,08.$$

Nustatoma X_{krit}^2 reikšmė:

$\nu = 5 - 1 = 4$; reikšmingumo lygis $\alpha = 0,01$.

Pagal Kendalo lentelę $X_{krit}^2 = 13,28$.

Tikrinama sąlyga $X^2 > X_{krit}^2 = 38,08 > 13,28$.

Atlikus skaičiavimus galima daryti išvadą, kad ekspertų nuomonės yra suderintos.

3.8. Efektyviausios alternatyvos nustatymas COPRAS vertinimo metodu

Efektyviausio sienos–lango įrengimo mazgo nustatymas atliekamas naudojant COPRAS daugiakriterį vertinimo metodą. Vertinimui atrenkamos kiekvieno modelio lango padėtis su geriausiomis savybės. Pirmajame vertinimo etape sudaroma pirminė sprendimų priėmimo matrica (žr. 19 lentelę).

19 lentelė. Pirminė sprendimų priėmimo matrica

Sienos – lango montavimo mazgo modelis	Lango padėtis	Kriterijai				
		Ψ ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m \cdot K)$	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$	Pastato į aplinką išmetamas CO_2 kiekis, $kgCO_2/(m^2 \cdot metai)$	Lango-sienos mazgo įrengimo sudėtingumas, balai
Modelis Nr.1	X3	0,026	12,110	2,710	11,790	1
Modelis Nr.2	X3	0,039	12,210	2,650	11,820	2
Modelis Nr.3	X4	0,033	12,150	2,690	11,800	3
Rodiklių suma		0,098	36,470	8,050	35,410	6,000
Min. arba max rodiklis		min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklio reikšmingumas		0,279	0,236	0,135	0,096	0,253

Naudojant (3) formulę atliekamas duomenų normalizavimas (žr. 20 lentelę).

20 lentelė. Normalizuota matrica

Sienos – lango montavimo mazgo modelis	Lango padėtis	Kriterijai				
		Ψ ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m \cdot K)$	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$	Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti, $kWh/(m^2 \cdot metai)$	Pastato į aplinką išmetamas CO_2 kiekis, $kgCO_2/(m^2 \cdot metai)$	Lango-sienos mazgo įrengimo sudėtingumas, balai
Modelis Nr.1	X3	0,07362	0,07830	0,04557	0,03199	0,04221
Modelis Nr.2	X3	0,11259	0,07895	0,04456	0,03207	0,08443
Modelis Nr.3	X4	0,09327	0,07856	0,04524	0,03201	0,12664
Min. arba max rodiklis		min.	min.	min.	min.	min.

Remiantis (6) formule, atliekamas alternatyvas apibūdinančių maksimizuojamų ir minimizuojamų normalizuotų rodiklių sumų nustatymas (žr. 21 lentelę).

21 lentelė. Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos

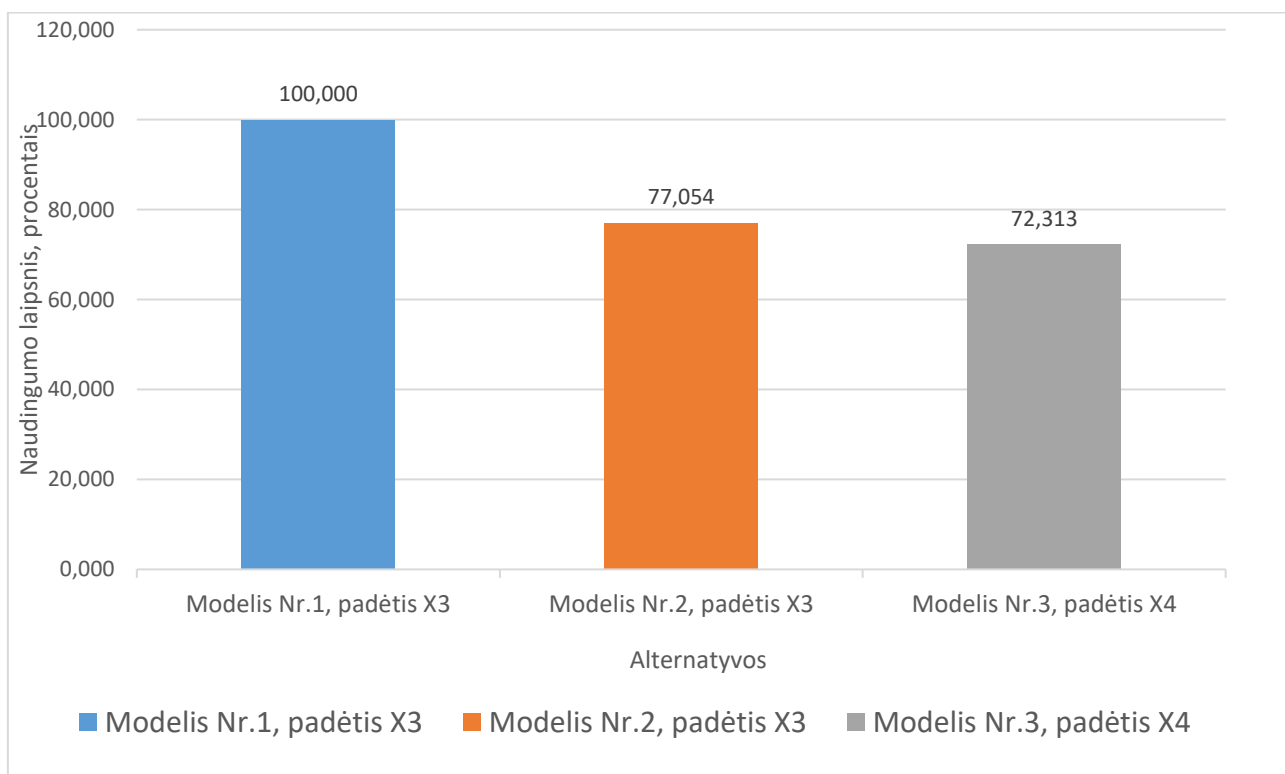
Sienos – lango montavimo mazgo modelis	Lango padėtis	Rodiklių sumos			
		Maksimizuojamos		Minimizuojamos	
Modelis Nr.1	X3	S+1=	0,000	S-1=	0,2717
Modelis Nr.2	X3	S+2=	0,000	S-2=	0,3526
Modelis Nr.3	X4	S+2=	0,000	S-3=	0,3757

Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis nustatomas remiantis formulėmis (10 ir 11), o rezultatai pateikiami lentelėje (žr. 22 lentelę).

22 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis

Sienos – lango montavimo mazgo modelis	Lango padėtis	Rodiklių sumos					
		Alternatyvų santykinis reikšmingumas		Alternatyvų naudingumo laipsnis			Prioritetų eilutė
Modelis Nr.1	X3	Q1=	0,4010	S-1=	100,000	%	1
Modelis Nr.2	X3	Q2=	0,3090	S-2=	77,054	%	2
Modelis Nr.3	X4	Q3=	0,2900	S-3=	72,313	%	3

Daugiakriterio vertinimo metodo COPRAS rezultatai pateikiami grafike (žr. 33 pav.).



33 pav. Metodo COPRAS vertinimo rezultatai

Išvados

1. Išanalizavus mokslinę ir techninę literatūrą, nustatyta, kad ilginių šiluminių tiltelių vertės gali būti nustatytos trimis būdais: apskaičiuojamos vadovaujantis reikalavimais, nurodytais standarte LST EN ISO 10211:2008 „Statybinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“; nustatomos pagal statybos techninio reglamento STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 6 priedo 6.1 lentelės duomenis; taip pat gali būti nustatomos iš kitų duomenų, kurie atitinka tiltelių įrengimo schemas, bei tokie duomenys apskaičiuoti, vadovaujantis STR 2.01.02:2016 reglamento 31.1 papunkčio reikalavimais, taip pat nustatant tarpines vertes tarp šiuose duomenyse nurodytų ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficiento verčių. Tiksliausias būdas nustatyti ilginių šiluminių tiltelių vertes – apskaičiuoti vadovaujantis reikalavimais, nurodytais standarte LST EN ISO 10211:2008. Remiantis mokslinių tyrimų duomenimis, minėtas būdas iki 50% tikslesnis, lyginant su ilginių šiluminių tiltelių reikšmėmis pateiktomis kataloguose.
2. Remiantis ekspertų apklausa nustatyta, kad ilginio šiluminio tiltelio vertė, bei sienos-lango įrengimo sudėtingumas yra reikšmingiausi vertinimo kriterijai, atitinkamai surinkę 64 ir 58 ekspertų įvertinimo balus. Mažiausiai reikšmingu vertinimo kriterijumi nustatytas pastato į aplinką išmetamas CO₂ rodiklis, surinkęs 22 ekspertų įvertinimo balus.
3. Keičiant lango padėtį (X1–X6) visų trijų mazgų sprendinių atveju, nustatyta aiški tendencija - šiluminiai tilteliai didėja, kai langas labiau pastumiamas į išorinę pastato pusę. Prasčiausi rezultatai fiksuojami X6 padėtyje.
4. Atlikus A++ energinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato palyginamąją lango–sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo analizę COPRAS metodu, nustatyta, kad efektyviausias sienos–lango montavimo mazgas yra modelyje Nr.1, X3 padėtyje, kuris surinko 100% santykinio naudingumo balų. Mažiausiai efektyvus sienos–lango montavimo mazgas yra modelyje Nr.3, X6 padėtyje. NRG-sert programa atlikti skaičiavimai parodė, kad vien sienos–lango Ψ ilginių šiluminių tiltelių pokyčiai lemia nedidelius, bet nuoseklius metinių energijos sąnaudų ir CO₂ emisijos pokyčius: šildymo sąnaudų iki 1,15 proc. tarp padėčių X1 ir X6.

Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“*. [interaktyvus], 2016. [žiūrėta 2025-09-01]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr>.
2. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *LST EN ISO 10211_2017 Statybinių konstrukcijų šilumos tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai*. Lietuvos standartizacijos departamentas, 2018. [žiūrėta 2023-05-01]. Prieiga per: <https://lsd.lrv.lt/lt/>.
3. EUROPOS PARLAMENTAS. *Žaliasis susitarimas: klimatui neutrali ir tvari ES*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: <https://www.europarl.europa.eu/news/lt/headlines/society/20200618STO81513/zaliasis-susitarimas-klimatui-neutrali-ir-tvari-es..>
4. *Energijos tausojimas: ES veiksmas mažinant energijos suvartojimą Europos Parlamentas*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-11-19]. Prieiga per: <https://www.europarl.europa.eu/news/lt/headlines/society/20221128STO58002/energijos-tausojimas-es-veiksmai-mazinant-energijos-suvartojima..>
5. KAUPIENĖ, Jovita et. al. Efficiency of the wall-window linear thermal bridge in the net-zero energy building / Jovita Kaupienė, Donatas Aviža, Rita Baltušnikienė, Zita Kasperiušienė. *12th international conference on intelligent technologies in logistics and mechatronics systems, ITELMS'2018, 26-27 April 2018, Panevėžys, Lithuania / editors Laszlo Koczy, Daiva Žostautienė, Olga Strikulienė, Elvyra Zacharovienė*. [Interaktyvus]. (2018) [žiūrėta 2025-12-05]. Prieiga per: http://www.edlearning.it/ebook/B427_ITELMS.pdf.
6. QUINTEN, Julien ir FELDHEIM, Véronique. Dynamic modelling of multidimensional thermal bridges in building envelopes: Review of existing methods, application and new mixed method. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2016), pp. 284–293 [žiūrėta 2024-11-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.003>.
7. STONKUVIENĖ, Aurelija. *Šilumos srautų per termoizoliacinius sluoksnius su šilumai laidžiomis jungtimis tyrimai : daktaro disertacija : technologijos mokslai, statybos inžinerija (T 002) / Aurelija Stonkuvienė ; Kauno Technologijos universitetas* [Interaktyvus]. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2021. Prieiga per: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:98225484/>.
8. GE, Hua ir BABA, Fuad. Dynamic effect of thermal bridges on the energy performance of a low-rise residential building. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2015), pp. 106–118 [žiūrėta 2025-09-18]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.023>.
9. MONSTVILAS, Edmundas et. al. Impact of the EPBD on Changes in the Energy Performance of Multi-Apartment Buildings in Lithuania. *Sustainability* [Interaktyvus]. (2023), nr. 3, pp. 2032. Prieiga per: [https://link.gale.com/apps/doc/A743433999/PPES?sid=summon&u=\[LOC_ID\]](https://link.gale.com/apps/doc/A743433999/PPES?sid=summon&u=[LOC_ID]).
10. ADOMAITIS, Rimvydas ir VALANČIUS, Kęstutis. Passive House Design Aspects and Analysis in Lithuania [Interaktyvus]. [Interaktyvus]. VILNIUS TECH, 2023-10-23. [žiūrėta 2025-09-13]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3846/enviro.2023.884>.
11. JONKUTĖ, Gintė et. al. Analysis of carbon dioxide emissions in residential buildings through energy performance certification in Lithuania. *Energy sources. Part B, Economics, planning and policy* [Interaktyvus]. (2021), nr. 2, pp. 198–215 [žiūrėta 2025-10-13]. Prieiga per: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567249.2020.1773581>.
12. . Analysis of carbon dioxide emissions in residential buildings through energy performance certification in Lithuania. *Energy sources. Part B, Economics, planning and policy* [Interaktyvus].

- (2021), nr. 2, pp. 198–215 [žiūrėta 2025-11-01]. Prieiga per: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567249.2020.1773581>.
13. BLIŪDŽIUS, Raimondas et. al. Analysis of Improvement in the Energy Efficiency of Office Buildings Based on Energy Performance Certificates. *Buildings (Basel)* [Interaktyvus]. (2024), nr. 9, pp. 2791 [žiūrėta 2025-11-19]. Prieiga per: [https://link.gale.com/apps/doc/A810841330/PPHI?sid=summon&u=\[LOC_ID\]](https://link.gale.com/apps/doc/A810841330/PPHI?sid=summon&u=[LOC_ID]).
14. ECONOMIDOU, M. et. al. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2020), pp. 110322 [žiūrėta 2025-11-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110322>.
15. GARCÍA-HOOGHUIS, A. ir NEILA, F. J. Modelos de transposición de las Directivas 2002/91/CE y 2010/31/UE “Energy Performance Building Directive” en los Estados miembros de la UE. Consecuencias e implicaciones. *Informes de la construcción* [Interaktyvus]. (2013), nr. 531, pp. 289–300 [žiūrėta 2025-11-05]. Prieiga per: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2814>.
16. VALENTINA, Daniela; GIMENO, García; GARCÍA, Daniela V.; JOHANSSON, Ida; MARDAN, Nawzad ir kt. *Department of Building Engineering, Energy Systems and Sustainability Science*. [žiūrėta 2025-09-18]..
17. CERNECKIENE, Jurgita et. al. Numerical Investigation of the impact of longitudinal thermal bridging on energy efficient buildings under humid continental climate conditions: The Case of Lithuania. *IOP conference series. Earth and environmental science* [Interaktyvus]. (2020), nr. 1, pp. 12105 [žiūrėta 2024-11-11]. Prieiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/410/1/012105>.
18. ILOMETS, Simo et. al. Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings. *Journal of civil engineering and management* [Interaktyvus]. (2017), nr. 1, pp. 96–104 [žiūrėta 2025-12-20]. Prieiga per: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/13923730.2014.976259>.
19. O'GRADY, Małgorzata et. al. Application of infrared thermography technique to the thermal assessment of multiple thermal bridges and windows. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2018), pp. 347–362 [žiūrėta 2025-09-27]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.034>.
20. CUCE, Erdem. Role of airtightness in energy loss from windows: Experimental results from in-situ tests. *Energy and Buildings* [Interaktyvus]. (2017), pp. 449–455 [žiūrėta 2024-11-11]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.027>.
21. VAN DEN BOSSCHE, Nathan et. al. Airtightness of the window–wall interface in cavity brick walls. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2012), pp. 32–42 [žiūrėta 2025-09-05]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.022>.
22. RUTĖ, Jevgenija ir DRIZGAITĖ, Jurgita. Pastatų Konstrukcijų Kompleksinio Apšiltinimo Metodai Ir Jų SSGG (SWOT) Analizė Lietuvoje [Interaktyvus]. In: *Inžinerinės ir edukacinės technologijos= Engineering and educational technologies* [Interaktyvus]., pp. 100–107. <https://hdl.handle.net/20.500.14172/24684>; Kauno technikos kolegija, 2018. [žiūrėta 2024-12-05].
23. HØYDAL, Gunvor H. *Kuldebroer ved vindusinnsetting / Thermal bridges for window-to-wall connections* [Interaktyvus] Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2019. [žiūrėta 2024-05-05]. Prieiga per: <http://hdl.handle.net/11250/2609267>.

24. CAPPELLETTI, Francesca et. al. Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: The case of clay block walls. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2011), nr. 6, pp. 1435–1442 [žiūrėta 2024-11-11]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.004>.
25. TERENCEVAS, Justas et. al. Numerical investigation of buildings point thermal bridges observed on window-thermal insulation interface. *Case Studies in Construction Materials* [Interaktyvus]. (2021) [žiūrėta 2024-11-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00768>.
26. MISIOPECKI, Cezary et. al. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2018), pp. 1079–1086 [žiūrėta 2024-01-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.021>.
27. POMADA, Marta et. al. Numerical and Experimental Analysis of Heat Flow at Window-to-Wall Interface. *Energies (Basel)* [Interaktyvus]. (2022), nr. 10, pp. 3837 [žiūrėta 2025-09-18]. Prieiga per: <https://www.proquest.com/docview/2670154672>.
28. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *LST EN ISO 10077-1 2017 Šiluminės langų, durų ir anginių charakteristikos. Šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimas. 1 dalis. Bendrieji dalykai.*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas [žiūrėta 2024-09-01]..
29. SMUSZ, Robert et. al. Experimental and Numerical Characterization of Thermal Bridges in Windows. *Advances in science & technology, research journal* [Interaktyvus]. (2023), nr. 1, pp. 315–331 [žiūrėta 2025-09-18]. Prieiga per: [http://www.astrj.com/pdf-159070-86522?filename=Experimental and.pdf](http://www.astrj.com/pdf-159070-86522?filename=Experimental%20and.pdf).
30. GOJAK, Milan et. al. Experimental and numerical investigation of thermal improvement of window frames. *Thermal science* [Interaktyvus]. (2021), pp. 2579–2588 [žiūrėta 2025-11-11]. Prieiga per: <http://www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=0354-98362000189G>.
31. VALACHOVA, Denisa et. al. Using of Aerogel to Improve Thermal Insulating Properties of Windows. *Civil and environmental engineering (Berlin)* [Interaktyvus]. (2018), nr. 1, pp. 2–11 [žiūrėta 2025-10-25]. Prieiga per: <https://reference-global.com/article/10.2478/cee-2018-0001>.
32. DRUEL, Lucile et. al. Starch Aerogels: A Member of the Family of Thermal Superinsulating Materials. *Biomacromolecules* [Interaktyvus]. (2017), nr. 12, pp. 4232–4239 [žiūrėta 2024-12-01]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.biomac.7b01272>.
33. HE, Song et. al. Effect of heat treatment on hydrophobic silica aerogel. *Journal of hazardous materials* [Interaktyvus]. (2019), pp. 294–302 [žiūrėta 2023-12-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.087>.
34. BERARDI, Umberto et. al. Experimental and numerical investigation of the thermal transmittance of PVC window frames with silica aerogel. *Journal of Building Engineering* [Interaktyvus]. (2020), pp. 101665 [žiūrėta 2025-12-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101665>.
35. KOPER, Piotr ir JANKOWSKA, Marta. Additional insulation materials in a window frame: experimental and CFD analyses. *Architecture, Civil Engineering, Environment* [Interaktyvus]. (2019), nr. 2, pp. 149–157 [žiūrėta 2025-10-27]. Prieiga per: <https://www.degruyter.com/doi/10.21307/acee-2019-031>.
36. BANIONIS, Karolis et. al. The Changes in Thermal Transmittance of Window Insulating Glass Units Depending on Outdoor Temperatures in Cold Climate Countries. *Energies (Basel)* [Interaktyvus]. (2021), nr. 6, pp. 1694 [žiūrėta 2025-09-18]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/6/1694/pdf?version=1616067888>.

37. AGUILAR-SANTANA, Jorge Luis et. al. Review on window-glazing technologies and future prospects. *International journal of low carbon technologies* [Interaktyvus]. (2020), nr. 1, pp. 112–120 [žiūrėta 2025-11-15]. Prieiga per: [https://link.gale.com/apps/doc/A766094880/PPES?sid=summon&u=\[LOC_ID\]](https://link.gale.com/apps/doc/A766094880/PPES?sid=summon&u=[LOC_ID]).
38. MICHAEL, Michalis et. al. A Systematic Review and Classification of Glazing Technologies for Building Façades. *Energies (Basel)* [Interaktyvus]. (2023), nr. 14, pp. 5357 [žiūrėta 2025-12-01]. Prieiga per: <https://www.proquest.com/docview/2843056257>.
39. BURATTI, Cinzia et. al. High Energy-Efficient Windows with Silica Aerogel for Building Refurbishment: Experimental Characterization and Preliminary Simulations in Different Climate Conditions. *Buildings (Basel)* [Interaktyvus]. (2017), nr. 1, pp. 8 [žiūrėta 2025-10-10]. Prieiga per: <https://www.proquest.com/docview/1889011477>.
40. MOHAMED, Abdelaziz Farouk et. al. Energy, Thermal, and Economic Benefits of Aerogel Glazing Systems for Educational Buildings in Hot Arid Climates. *Sustainability* [Interaktyvus]. (2023), nr. 8, pp. 6332 [žiūrėta 2025-10-01]. Prieiga per: [https://link.gale.com/apps/doc/A747539932/PPES?sid=summon&u=\[LOC_ID\]](https://link.gale.com/apps/doc/A747539932/PPES?sid=summon&u=[LOC_ID]).
41. BURATTI, Cinzia et. al. Aerogel glazing systems for building applications: A review. *Energy and buildings* [Interaktyvus]. (2021), pp. 110587 [žiūrėta 2024-11-11]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110587>.
42. BÜTTNER, Bastian et. al. Evacuated Glazing with Silica Aerogel Spacers. *Proceedings of EuroSun 2018* [Interaktyvus]. (2018) [žiūrėta 2025-11-11]. Prieiga per: <https://proceedings.ises.org/conference/eurosun2018/papers/eurosun2018-0092-Buttner.pdf>.
43. PATIL, Sairaj B. et. al. Complex Proportional Assessment (COPRAS) based Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) paradigm for hard turning process parameters. *Materials Today: Proceedings* [Interaktyvus]. (2022), pp. 835–840 [žiūrėta 2025-12-01]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.142>.
44. TAHERDOOST, Hamed ir MOHEBI, Atefeh. A Comprehensive Guide to the COPRAS method for Multi-Criteria Decision Making. *Journal of Management Science & Engineering Research* [Interaktyvus]. (2024), nr. 2, pp. 1–14 [žiūrėta 2025-11-05]. Prieiga per: <https://journals.bilpubgroup.com/index.php/jmser/article/download/6280/5329>.
45. PODVEZKO, Valentinas. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics* [Interaktyvus]. (2011), nr. 2, pp. 134–146 [žiūrėta 2025-04-05]. Prieiga per: <https://inzeiko.ktu.lt/index.php/EE/article/view/310>.
46. KALIBATAS, Darius ir Vilniaus Gedimino technikos universitetas. *The multi-attribute assessment of environmental factors influencing on dwelling-houses : summary of doctoral dissertation : technological sciences, civil engineering (02T) /* [Interaktyvus]. Vilnius: Technika, 2009. [žiūrėta 2025-10-15]. Prieiga per: <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/110134>.
47. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *LST EN ISO 6946:2017 Pastato komponentai ir elementai. Šiluminė varža ir šilumos perdavimo koeficientas. Skaičiavimo metodai (ISO 6946:2017, pataisyta 2021-12 versija)*. 2017th ed. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017. [žiūrėta 2025-09-14]. Prieiga per: https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primove&id=1246766.
48. YU, Jiaqi et. al. U-Values for Building Envelopes of Different Materials: A Review. *Buildings (Basel)* [Interaktyvus]. (2024), nr. 8, pp. 2434. Prieiga per: [https://link.gale.com/apps/doc/A807429808/PPHI?sid=summon&u=\[LOC_ID\]](https://link.gale.com/apps/doc/A807429808/PPHI?sid=summon&u=[LOC_ID]).

49. ZHANG, Xinwen et. al. Performance Evaluation of Thermal Bridge Reduction Method for Balcony in Apartment Buildings. *Buildings (Basel)* [Interaktyvus]. (2022), nr. 1, pp. 63 [žiūrėta 2025-12-16]. Prieiga per: <https://www.proquest.com/docview/2621273927>.
50. GIBBONS, Jean D. Kendall's Coefficient of Concordance, pp. 48 Anonymous United States: SAGE Publications Inc, 1993. [žiūrėta 2025-12-30].

Priedas

Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė

Esu Aurelijus Dabrikas, Kauno technologijų universiteto, Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto studentas studijuojantis statybos inžinerijos magistratūros studijų programoje "Integruotas projektavimo ir statybos valdymas". Rengiu magistro baigiamąjį darbą: "Lango-sienos ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo palyginamoji analizė". Siekiant objektyviai nustatyti kriterijų reikšmingumą reikalinga atestuotų statybos specialistų nuomonė. Prašau įvertinti pateiktų kriterijų reikšmingumą nuo 5 iki 1 balo, reikšmingiausias kriterijus - 5 balai, mažiausiai reikšmingas 1 balas.

* Būtina

1

Ar esate atestuotas statybos techninės veiklos pagrindinių sričių vadovas ir turite tai patvirtinantį kvalifikacijos atestatą *

☐ Taip

☐ Ne

2

Nurodykite kokį (kokius) kvalifikacijos atestatus turite *

- ☐ Esu statinio projekto vadovas
- ☐ Esu statinio projekto dalies vadovas
- ☐ Esu statinio projekto vykdymo priežiūros vadovas
- ☐ Esu statinio projekto dalies vykdymo priežiūros vadovas
- ☐ Esu statinio statybos vadovas
- ☐ Esu statinio specialiųjų statybos darbų vadovas
- ☐ Esu statinio statybos techninės priežiūros vadovas
- ☐ statinio specialiųjų statybos darbų techninės priežiūros vadovas
- ☐ Esu statinio projekto ekspertizės vadovas
- ☐ Esu statinio projekto dalies ekspertizės vadovas
- ☐ Esu statinio ekspertizės vadovas
- ☐ Esu statinio dalies ekspertizės vadovas
- ☐ Esu pastatų energinio naudingumo sertifikavimo (PEN) ekspertas

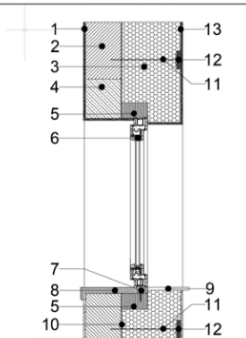
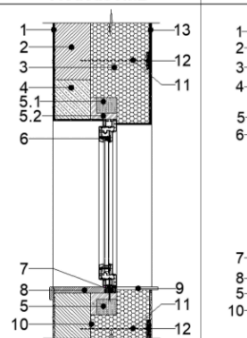
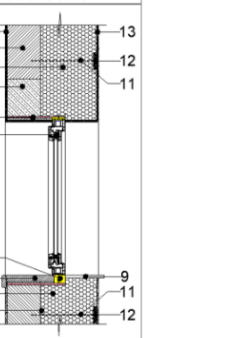
Lango-sienos mazgo kriterijų reikšmingumas

Reikšmingiausias kriterijus 5 balai, mažiausiai reikšmingas kriterijus 1 balas.

	1	2	3	4	5
<i>Ψ ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas $W/(m \cdot K)$</i>	☐	☐	☐	☐	☐
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti kWh/(m ² ·metai)	☐	☐	☐	☐	☐
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti kWh/(m ² ·metai)	☐	☐	☐	☐	☐
Pastato į aplinką išmetamas CO ₂ , kgCO ₂ /kWh;	☐	☐	☐	☐	☐
Lango-sienos mazgo įrengimo sudėtingumas	☐	☐	☐	☐	☐

Lango-sienos mazgo įrengimo sudėtingumo

Įvertinti pateiktų mazgų įrengimo sudėtingumą. Sudėtingiausias įrengimas 1 balas; mažiausiai sudėtingas įrengimas 3 balai

Modelis Nr.1	Modelis Nr.2	Modelis Nr.3
		
1. Tinkas; 2. Silikatinių blokelių mūras d=180 mm; 3. Polistireninis putplastis EPS 70 NEO d=300 mm; 4. G/B sąrama; 5. Didelio tankio EPS profilis; 6. Langas d=88 mm ($U=0,8$ ($W/(m^2 \cdot K)$)); 7. Didelio tankio popalginis profilis; 8. Medinė palangė; 9. Palangė; 10. Klijai; 11. Smeigė; 12. Polistireninė tabletė; 13. Tinkas (kaikių-smėlio).	1. Tinkas; 2. Silikatinių blokelių mūras d=180 mm; 3. Polistireninis putplastis EPS 70 NEO d=300 mm; 4. G/B sąrama; 5.1 Puratherm (PUR) kompozito profilis; 5.2. Didelio tankio XPS užpildas; 6. Langas d=88 mm ($U=0,8$ ($W/(m^2 \cdot K)$)); 7. Didelio tankio popalginis profilis; 8. Medinė palangė; 9. Palangė; 10. Klijai; 11. Smeigė; 12. Polistireninė tabletė; 13. Tinkas (kaikių-smėlio)	1. Tinkas; 2. Silikatinių blokelių mūras d=180 mm; 3. Polistireninis putplastis EPS 70 NEO d=300 mm; 4. G/B sąrama; 5. Stiklo pluošto laikikliai (kronšteinali); 6. Langas d=88 mm ($U=0,8$ ($W/(m^2 \cdot K)$)); 7. Sandarinimo putos; 8. Medinė palangė; 9. Palangė; 10. Klijai; 11. Smeigė; 12. Polistireninė tabletė; 13. Tinkas (kaikių-smėlio).

	1 parinktis	2 parinktis	3 parinktis
Sienos-lango mazgas Nr.1	☐	☐	☐
Sienos-lango mazgas Nr.2	☐	☐	☐
Sienos-lango mazgas Nr.3	☐	☐	☐

„Microsoft“ šio turinio nei sukūrė, nei patvirtino. Jūsų pateikti duomenys bus nusiųsti formos savininkui.