



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Modernizuojant daugiabučio pastato fasadą naudojamų
išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso
konsolėmis palyginamoji analizė**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Virginijus Karaliūnas

Projekto autorius

Asist. dr. Donatas Aviža

Vadovas

Panevėžys, 2026



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Modernizuojant daugiabučio pastato fasadą naudojamų
išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso
konsolėmis palyginamoji analizė**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Integruotas projektavimo ir statybos valdymas (6211EX076)

Virginijus Karaliūnas

Projekto autorius

Asist. dr. Donatas Aviža

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2026



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Virginijus Karaliūnas

Modernizuojant daugiabučio pastato fasadą naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamoji analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis 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;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Virginijus Karaliūnas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Virginijui Karaliūnui**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	<i>Modernizuojant daugiabučio pastato fasadą naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamoji analizė</i>
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	<i>Comparative Analysis of External Ventilated Thermal Insulation Systems with Frame Consoles Used in Modernization of Apartment Building Facade</i>

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

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

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Daugiabučio pastato energinio naudingumo klasė po modernizavimo: „B“ ir „A“. Palyginti tokias konsoles: bazalto pluošto kompozito, nerūdijančio plieno, cinkuoto plieno ir aliuminio lydinio.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

1. Išanalizuoti užsienio ir Lietuvos mokslininkų publikacijas bei mokslinius tyrimus, susijusius su daugiabučių namų modernizavime naudojamomis fasadinėmis sistemomis.
2. Aprašyti tyrime naudotų skaičiavimų, TOPSIS metodo ir ekspertų apklausos vertinimo metodikas.
3. Atlikti išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis, naudojamų modernizuojant daugiabučio pastato fasadą, palyginamąją analizę, taikant TOPSIS metodą.

Vadovas	asist. dr. Donatas Aviža
---------	--------------------------

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau	Virginijus Karaliūnas
---------------	-----------------------

(studento vardas, pavardė, parašas)

2025 m. lapkričio 24 d.

Karaliūnas Virginijus. Modernizuojant daugiabučio pastato fasadą naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamoji analizė. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas asist. dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: energinio naudingumo klasė, išorinė vėdinama termoizoliacinė sistema, karkaso konsolė, TOPSIS metodas.

Panevėžys, 2026. 66 p.

Santrauka

Lietuvoje sparčiai augant daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizacijos proceso mastams, itin svarbu parinkti tinkamą fasadinę sistemą, atsižvelgiant į jos panaudojimo efektyvumą. Siekiant nustatyti efektyviausią fasadinės sistemos alternatyvą, būtina atlikti daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavime naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių fasadinių sistemų palyginamąją analizę.

Tikslas – atlikti daugiabučių gyvenamųjų pastatų atnaujinimo (modernizavimo) procese naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamąją analizę, taikant TOPSIS metodą.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti užsienio ir Lietuvos mokslininkų publikacijas bei mokslinius tyrimus, susijusius su daugiabučių namų modernizavime naudojamomis fasadinėmis sistemomis.
2. Aprašyti tyrime naudotų skaičiavimų, TOPSIS metodo ir ekspertų apklausos vertinimo metodikas.
3. Atlikti išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis, naudojamų modernizuojant daugiabučio pastato fasadą, palyginamąją analizę, taikant TOPSIS metodą.

Magistro baigiamojo projekto pirmojoje dalyje buvo atlikta mokslinės literatūros apžvalga. Antrojoje dalyje pateikta tyrime naudotų skaičiavimų, TOPSIS metodo ir ekspertų apklausos vertinimo metodika. Magistro baigiamojo projekto tiriamojoje dalyje atlikta daugiabučių pastatų modernizavime naudojamų vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamoji analizė. Ištirtos keturios skirtingos fasadinės sistemos su skirtingomis karkaso konsolėmis (nerūdijančio plieno, bazalto pluošto kompozito, cinkuoto plieno ir aliuminio lydinio). Šios keturios alternatyvos lygintos vertinant „A“ ir „B“ modernizuojamo pastato energinio naudingumo klases.

Magistro baigiamąjį projektą sudaro: santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Projekto apimtis 66 puslapiai. Naudotos literatūros ir informacinių šaltinių sąrašą sudaro 65 įrašai.

Karaliūnas, Virginijus. Comparative Analysis of External Ventilated Thermal Insulation Systems with Frame Consoles Used in Modernization of Apartment Building Facade. Master's Final Degree Project / supervisor asist. dr. Donatas Aviža; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: energy performance class, external ventilated thermal insulation system, structural frame bracket, TOPSIS method.

Panevėžys, 2026. 66 pages.

Summary

With the rapid expansion of modernization in Lithuania's multi-apartment residential buildings, the selection of a high-performance facade system has become particularly important. Therefore, to determine the most effective facade system alternative, a comparative analysis of external ventilated thermal insulation facade systems used in the modernization of multi-apartment buildings is conducted.

The aim of this study is to perform a comparative analysis of external ventilated thermal insulation facade systems with structural frame brackets used in the renovation (modernization) of multi-apartment residential buildings by applying the TOPSIS method.

Tasks:

1. To analyse foreign and Lithuanian scientists' publications and research related to facade systems used in the modernization of multi-apartment buildings.
2. To describe the calculation procedures, the TOPSIS method, and the expert survey evaluation methodologies used in the study.
3. To perform a comparative analysis of external ventilated thermal insulation facade systems with structural frame brackets used in the modernization of multi-apartment building facades by applying the TOPSIS method.

The first part of the Master's thesis provides a comprehensive review of the scientific literature. The second part delineates the calculation procedures, the TOPSIS method, and the methodology applied for expert survey evaluations. In the research section of the Master's thesis, a comparative analysis was undertaken of ventilated thermal insulation systems incorporating structural frame brackets, as implemented in the modernization of multi-apartment buildings. Four facade systems featuring different types of frame brackets (stainless steel, basalt fiber composite, galvanized steel, and aluminum alloy) were examined. These alternatives were evaluated in terms of the energy performance classes "A" and "B" of the modernized building.

The Master's thesis consists of summaries in Lithuanian and English, an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. Its total length is 66 pages, and the list of literature and information sources comprises 65 entries.

.

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas	9
Santrumpų sąrašas	10
Įvadas	11
1. Mokslinės literatūros šaltinių apžvalga	13
1.1. Pagrindiniai daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimo aspektai	13
1.2. Modernizavimui naudojamų fasadinių sistemų ypatumai	16
2. Tyrimo metodika	31
2.1. Pastato atitvarų šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimo metodika	31
2.2. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų atsiperkamumo skaičiavimo algoritmas	33
2.2.1. Šilumos nuostolių per pastato sienas skaičiavimas	33
2.2.2. Sutaupyto lėšų dėl pastato sienų termoizoliacinio sluoksnio įrengimo skaičiavimas	34
2.2.3. Sienų apšiltinimo paprastojo atsipirkimo laiko skaičiavimas	34
2.3. Daugiakriteris vertinimo metodas TOPSIS	34
2.4. Ekspertų apklausos nuomonių suderinamumo skaičiavimas	37
3. Tiriamojo dalis	40
3.1. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimas	40
3.2. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų atsiperkamumas	46
3.2.1. Šilumos nuostoliai per pastato išorines sienas	46
3.2.2. Vėdinamos išorinės termoizoliacinės sistemos įrengimo kainos skaičiavimas	49
3.2.3. Energinio taupymo priemonių ekonominio efektyvumo vertinimas	50
3.3. Vėdinamos termoizoliacinės sistemos montavimo trukmė	50
3.4. Termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina	51
3.5. Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm	52
3.6. Statybų srities atestuotų specialistų apklausa	52
3.7. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų racionalumo vertinimas	55
Išvados	60
Literatūros ir informacinių šaltinių sąrašas	61
Priedai	67
1 priedas. Racionaliausios alternatyvos lokalinė sąmata	67
2 priedas. Racionaliausios alternatyvos darbo užmokesčio žiniaraštis	69
3 priedas. Racionaliausios alternatyvos medžiagų poreikio žiniaraštis	71
4 priedas. Statybos srities ekspertų apklausos anketa	73
5 priedas. Statybos srities ekspertų apklausos rezultatai	74

Paveikslų sąrašas

1 pav. Konstrukcija, pagaminta naudojant didelių blokų technologiją ir suskirstyta į vidutinio dydžio fasado ir lubų plokštes [2]	13
2 pav. „Snow Hill“ pastatas, Birminghamas [1 p. 3]	17
3 pav. „Plug and Play“ modulinė fasadų modernizavimo sistema [16].....	18
4 pav. Rinkiniu pagrįstos projektavimo matricos skaitymo proceso ir galimo scenarijaus nustatymo pavyzdys [13 p. 79]	19
5 pav. Trijų lygių PnP modulio demonstravimas [13]: a) preliminarus modulio prototipas; b) pilno mastelio fasado prototipas; c) fasado prototipas realioje aplinkoje.....	20
6 pav. „Meefs“ fasadų sistemos sudedamosios dalys [17]: 1. Daugiafunkcinė plokštė; 2. Esamas fasadas; 3. Technologinis mazgas; 4. Konstrukcinis modulis; 5. Konstrukcinė plokštė; 6. Šilumos izoliacija.....	21
7 pav. Sienos apšiltinimo detalė [25]: 1. Fasado apdaila; 2. Oro tarpas; 3. Vėjo izoliacinis sluoksnis; 4. Termoizoliacinis sluoksnis; 5. Garo izoliacinis sluoksnis; 6. Kompensacinis sluoksnis (minkšta termoizoliacinė vata, tankis $\rho = 22 \text{ kg/m}^3$); 7. Esamas fasadas	24
8 pav. IVTS schema: 1. Fasado danga; 2. Karkasas; 3. Vėdinamas oro tarpas; 4. Šilumos izoliacija; 5. Išorinė siena [27 p. 2]	25
9 pav. Surenkamojo ventiliuojamo fasado elemento montavimas [32 p. 4]	27
10 pav. Šilumos perdavimas: a) vėdinamame fasade; b) ETICS fasade [33 p. 227]	27
11 pav. Kairėje: superizoliaciniai tinkai, užtepti purkštuvu pagalba ant demonstracinės sienos. Dešinėje: superizoliaciniai tinkai, užtepti ant gyvenamojo namo išorinės sienos Ciuriche, Šveicarijoje [38 p.2]	30
12 pav. Sienų šilumos perdavimo koeficiento $U \text{ (W/(m}^2\cdot\text{K))}$ vertės „A“ ir „B“ energinio naudingumo klasės gyvenamiesiems pastatams [41].	40
13 pav. Termoizoliacinio sluoksnio storis	46
14 pav. Šildymo sezono šilumos nuostoliai per išorines pastato sienas $\text{kWh/(m}^2\cdot\text{metus)}$	48
15 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal darbo patirtį	53
16 pav. Apklausoje dalyvavusių respondentų pasiskirstymas pagal turimų atestatų skaičių	53
17 pav. IVTS alternatyvų palyginimas. Kai pastato energinio naudingumo klasė „A“.....	58
18 pav. IVTS alternatyvų palyginimas. Kai pastato energinio naudingumo klasė „B“.....	59

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Daugiabučių serijinių pastatų vidutinė eksploataavimo trukmė [11 p. 380].....	15
2 lentelė. Modernizuojamo daugiabučio šiltinimo sprendimų gyvavimo ciklo sąnaudos vienam fasado m ² (su PVM) [25]	23
3 lentelė. Dažniausiai naudojamos IVTS sistemų rūšys [29,30].....	25
4 lentelė. Vidaus ir išorės paviršių šiluminės varžos R_{si} ir R_{se} (m ² ·K/W) [41].....	32
5 lentelė. 2025 m. moksliniai straipsniai apie TOPSIS metodo taikymą statybos inžinerijoje (sudaryta autoriaus)	35
6 lentelė. Pastato techniniai-ekonominiai rodikliai	40
7 lentelė. IVTS su bazalto kompozito konsolėmis („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	41
8 lentelė. IVTS su bazalto kompozito konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	41
9 lentelė. IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	42
10 lentelė. IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	42
11 lentelė. IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	43
12 lentelė. IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	43
13 lentelė. IVTS su aliuminio lydinio („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita.	44
14 lentelė. IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t (m ² ·K/W) skaičiavimo ataskaita	44
15 lentelė. Konsolių medžiagos šilumos laidumo koeficientų vertės λ , W/(m·K) [41, 64].....	45
16 lentelė. Taškinių šilumos tiltelių įtaka šilumos perdavimo koeficiento vertei.....	45
17 lentelė. Šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas „A“ energinio naudingumo klasės pastate	47
18 lentelė. Šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas „B“ energinio naudingumo pastate	47
19 lentelė. Šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas neapšildintame pastate	48
20 lentelė. Sutaupomas šilumos energijos kWh/(m ² ·metus) ir lėšų kiekis.	49
21 lentelė. Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimo kaina, 100 m ² /Eur. (be PVM)	49
22 lentelė. Paprastas investicijų atsipirkimo laikas (m.)	50
23 lentelė. Darbo sąnaudos	51
24 lentelė. Išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina.....	51
25 lentelė. Laikančiųjų konsolių vertikali apkrova prie kurios konsolės deformuojasi 3 mm	52
26 lentelė. Kriterijų subjektyvus reikšmingumas.....	54
27 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica	55
28 lentelė. Normalizuota matrica	56
29 lentelė. Svertinė normalizuota matrica.....	56
30 lentelė. Idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva	57
31 lentelė. Atstumai tarp lyginamųjų ir idealiai geriausios ir idealiai blogiausios alternatyvos.....	57
32 lentelė. Alternatyvų santykinio atstumo iki idealaus nustatymas	58

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

CFD (angl. *Computational Fluid Dynamics*) – skaitmeninis skysčių dinamikos metodas;

EIFS (angl. *Exterior Insulation and Finish System*) – išorės izoliacijos ir apdailos sistema;

ESD – eksploatacinių savybių deklaracija;

ETICS (angl. *External Thermal Insulation Composite System*) – išorinė tinkuojama sudėtinė termoizoliacinė fasado sistema;

IVTS – išorinė vėdinama termoizoliacinė sistema;

MCDM (angl. *Multi-criteria decision making*) – daugiakriterio vertinimo metodai;

PAL – paprastasis atsipirkimo laikas;

PnP (angl. *Plug and Play*) – fasadinė sistema „pritvirtink ir naudok“;

TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – artumo idealiajam taškui metodas.

Įvadas

Aktualumas. Pastatų energinio naudingumo didinimas yra vienas iš esminių Lietuvos ir Europos Sąjungos strateginių tikslų, siekiant mažinti energijos suvartojimą bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. Didelė dalis Lietuvos gyvenamųjų pastatų, ypač tų, kurie pastatyti iki 1993 m., pasižymi prastomis termoizoliacinėmis savybėmis. Todėl tiek Lietuvoje, tiek Europos Sąjungoje vienas iš prioritetų, leidžiančių padidinti gyvenamųjų pastatų energinį naudingumą, yra pastatų modernizavimas (atnaujinimas).

Modernizavimo procese esminį vaidmenį atlieka išorinių atitvarų termoizoliacinio sluoksnio įrengimo sprendiniai, kurie lemia bendrą pastato energinį naudingumą, vidaus patalpų mikroklimatą ir šilumos nuostolių per išorines atitvaras mažėjimą. Kintantis klimatas ir didėjantys energijos kainų svyravimai skatina ieškoti efektyvių, ilgaamžių ir ekonomiškai pagrįstų išorinių atitvarų modernizavimo technologijų, tinkamų įvairių tipų pastatams ir skirtingoms eksploatavimo sąlygoms.

Temos ištirtumas. Mokslinių literatūros šaltinių analizė parodė, kad yra daug straipsnių ir atliktų mokslinių tyrimų, susijusių su modernizavimo procese naudojamomis fasadinėmis sistemomis bei medžiagomis. Tačiau trūksta informacijos apie išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų naudojamų „A“ ir „B“ energinio naudingumo klasės modernizuojamuose pastatuose efektyvumą. Todėl šiame darbe bus atlikta daugiabučio pastato fasadui modernizuoti (atnaujinti) naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamoji analizė, taikant TOPSIS vertinimo metodą.

Tyrimo objektas – fasado išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos su karkaso konsolėmis.

Tikslas – atlikti „A“ ir „B“ energinio naudingumo klasės daugiabučio gyvenamojo pastato atnaujinimo (modernizavimo) procese naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamąją analizę, taikant TOPSIS metodą.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti užsienio ir Lietuvos mokslininkų publikacijas bei mokslinius tyrimus, susijusius su daugiabučių namų modernizavime naudojamomis fasadinėmis sistemomis.
2. Aprašyti tyrime naudotų skaičiavimų, TOPSIS metodo ir ekspertų apklausos vertinimo metodikas.
3. Atlikti išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis, naudojamų modernizuojant daugiabučio pastato fasadą, palyginamąją analizę, taikant TOPSIS metodą.

Tyrimo metodai – mokslinės ir techninės literatūros analizė, ekspertų apklausa ir empirinis tyrimas taikant TOPSIS metodą.

Atliekamo tyrimo pagrindimui bus naudojama programinė įranga:

- skaičiavimams atlikti naudota „Microsoft Excel 2025“ programa.
- ekspertų apklausai ir anketos sudarymui naudota „Microsoft Forms“ programa.
- sąmatos sudarymui naudota programa „Sistela“.
- mazgų braižymui naudota „Autodesk AutoCad“ programa.

Autoriaus publikuotas straipsnis:

KARALIŪNAS, Virginijus, AVIŽA, Donatas. *Išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos karkaso konsolių efektyvumo vertinimas SAW metodu.* // Technologijų ir verslo aktualios – 2025: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2025 m. lapkričio 21 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. ISSN 2538-8045. 2025.

Autoriaus konferencijose skaityti pranešimai:

Karaliūnas, Virginijus. *Išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos karkaso konsolių efektyvumo vertinimas SAW metodu.* Studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2025“. Panevėžys: Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, 2025 m. lapkričio 21 d.

Magistro baigiamąjį projektą sudaro: santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Projekto apimtis 66 puslapiai. Naudotos literatūros ir informacinių šaltinių sąrašą sudaro 65 įrašai.

1. Mokslinės literatūros šaltinių apžvalga

Daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavime naudojamų fasadinių sistemų teorinei analizei atlikti pasirinktas mokslinės ir techninės literatūros analizės metodas.

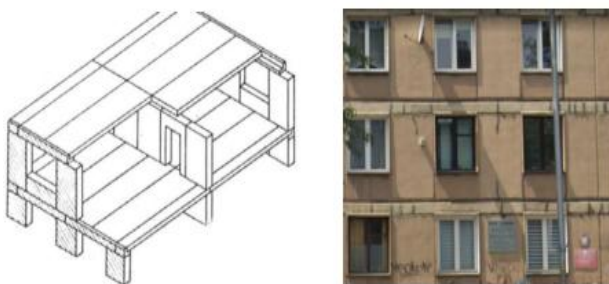
1.1. Pagrindiniai daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimo aspektai

Po Antrojo pasaulinio karo, susiformavo dvi pagrindinės būsto plėtros kryptys: viena jų buvo skirta karo padarinių šalinimui, kita – šiuolaikinio būsto valdymo pagrindams, atitinkantiems dabartinius poreikius, diegti.

Vis dėlto vėlesniais metais būsto situacijos gerėjimą sušvelnino kūdikių bumas ir po jo sekusi kaimo gyventojų migracija į miestus, daugiausia paskatinta pramonės plėtros ir aukštesnio pragyvenimo lygio. Tuomet būstai vis dar buvo statomi tradiciniais metodais, t. y. daugiausia iš plytų, naudojant žmogiškuosius išteklius. Toks metodas pasirodė esąs gana neveiksmingas dėl statybinių medžiagų ir kvalifikuotų darbuotojų trūkumo [1].

Nowakowski savo straipsnyje [2] teigia, kad jau 6-ajame dešimtmetyje daugelyje Europos sąjungos (ES) šalių pradėtos taikyti priemonės, kuriomis siekta daug darbo reikalaujančias mūro technologijas pakeisti efektyvesniais pramoniniais metodais, susijusiais su didelių surenkamųjų sienų ir grindų plokščių naudojimu daugiabučių namų statyboje. Be to, buvo sukurtos vidutinio dydžio surenkamųjų elementų (didelių blokų) sistemos, o bendrai šių priemonių taikymas padėjo išplėtoti vidutinio dydžio surenkamųjų konstrukcijų gamybos principus, kurie tapo esminiu veiksnio didinant daugiabučių statybos efektyvumą.

Pagrindiniai vidutinių gabaritų surenkamųjų konstrukcijų gamybos principai: 1) industrializuota paruoštų statybinių elementų gamyba; 2) lengvas jų transportavimas ir naudojimas statybvietyje; 3) mažesni daugiabučių pastatų statybos kaštai (žr. 1 pav.).



1 pav. Konstrukcija, pagaminta naudojant didelių blokų technologiją ir suskirstyta į vidutinio dydžio fasado ir lubų plokštes [2]

Amirbekova ir kt. [3] akcentuoja, kad beveik visose buvusios Sovietų Sąjungos šalyse, kuriose kadaise buvo pastatyti dideli tokių pastatų kvartalai, kyla masinė daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimo problema dėl pastatų nepritaikymo šiuolaikiniams standartams. Kitų mokslininkų [4] teigimu, siekiant įgyvendinti klimato kaitos tikslus iki 2050 m., būtina modernizuoti daugiau nei 97 proc. visų ES gyvenamųjų pastatų. Šiandien daugiabučių modernizavimas laikomas viena svarbiausių tvarios miestų plėtros dalių. Jis riboja teritorijų plėtrą, didina komforto sąlygas ir skatina viešųjų erdvių formavimąsi.

Daugiabučių modernizavimas – vienas pagrindinių žingsnių siekiant tvarios miestų plėtros. Tačiau šie procesai sudėtingi ne tik technine ar inžinierine, bet ir komunikacine prasme. Mokslininko Derkach'as [5] teigimu neretai modernizavimo darbai išprovokuoja ginčus tarp daugiabučių namų savininkų, bendrasavininkų ir kitų suinteresuotųjų šalių. Daugiausia ginčai kyla dėl projekto pritarimo ir finansinių klausimų.

Modernizacija, kaip architektūros, inžinerijos, statybos ir apskritai miestų plėtros procesas, nėra privaloma, o atspindi bendruomenių norą gerinti gyvenimo kokybę. Ginčų dėl modernizavimo sprendimas reikalauja ypatingo visų suinteresuotųjų šalių dėmesio. Tarpininkavimas yra beveik vienintelis būdas spręsti daugiabučių namų savininkų ir bendrasavininkų ginčus, susijusius su modernizavimu ir būsto eksploatavimu bei priežiūra.

Pastatų modernizavimas laikomas viena iš miestų plėtros priemonių. ES pastatų fondą sudaro daugiau kaip 220 mln. vienetų, iš kurių maždaug 85 proc. pastatyti iki 2001 m. Prognozuojama, kad 2050 m. dabartinių pastatų (85-95 proc.) vis dar stovės. Atsižvelgiant į šiuos duomenis, pastatų energinio naudingumo direktyvoje numatyta, kad iki 2050 m. visi esami pastatai turi būti pertvarkyti į nulinės emisijos pastatus.

Siekiant sumažinti anglies dioksido išmetimo kiekius ir gauti papildomos naudos, tokios kaip naujų darbo vietų kūrimas bei energijos suvartojimo kiekio mažinimas, būtina modernizuoti daugiabučius gyvenamuosius pastatus, sutaupant ne mažiau kaip 60 proc. suvartojamos energijos. Šiuo metu apie 75 proc. pastatų fondo yra energetiškai neefektyvūs. Kasmet dalinai atnaujinama tik apie 1 proc. pastatų, o visiškai atnaujinama tik 0,2 proc. fondo objektų per metus [6]. Todėl tiek Lietuvoje, tiek užsienio šalyse pastatų modernizavimas prisideda prie energetinių ir aplinkosaugos iššūkių sprendimo bei gyvenimo kokybės gerinimo. Pasak mokslininkų He'as ir kt. [7], daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimas turėtų atitikti darnaus vystymosi principus, apimančius tris svarbius aspektus: aplinkosaugą, ekonomiką ir socialinį vystymąsi. Nors būtina atsižvelgti į pastatui keliamus techninius reikalavimus, išsamių ir didelės apimties modernizavimo darbų ekonominis bei ekologinis pagrįstumas turėtų būti vertinamas kartu su kitomis galimybėmis – pastato griovimu, naujos statybos pasirinkimu ar jo paskirties keitimu. Mokslinėje literatūroje [2, 3, 5] nurodomi tokie daugiabučių namų modernizavimo tikslai:

- sumažinti energijos suvartojimą;
- sumažinti pastatų eksploatavimo išlaidas;
- pagerinti pastatų būklę ir partęsti jų eksploatacijos laikotarpį (30–40 metų);
- pagerinti patalpų komfortą;
- padidinti pastatų rinkos vertę.

Kadangi prognozuojama, kad iki 2025 m. energijos suvartojimas kasmet didės 1,7 proc., daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimas gali reikšmingai prisidėti prie galutinio energijos vartojimo mažinimo. Mokslininkai [7] ne tik pripažįsta, kad modernizavimas yra pagrindinė šių pastatų energijos vartojimo efektyvumo didinimo strategija, bet ir mano, kad tai veiksminga priemonė, leidžianti sumažinti energijos sąnaudas ir pagerinti pastato eksploatacines savybes.

Daugiabučiai gyvenamieji pastatai, mokslininkų Onyszkiewicki ir Sadowski teigimu [8], pagal paskutinius skaičiavimus, susiję su nemaža dalimi išmetamųjų teršalų. Europos Komisija (EK) rekomenduoja, kad iki 2050 m. Europa taptų neutrali klimato atžvilgiu ir kad ekonomikos augimas būtų atsietas nuo išteklių vartojimo. Dėl šios priežasties 2019 m. gruodį buvo pristatytas veiksmų

planas – Europos žaliasis planas, kuriuo siekiama iki 2030 m. išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti 55 proc. (palyginti su 1990 m.), o iki 2050 m. užtikrinti neutralumą išmetamųjų teršalų atžvilgiu. Viena iš programų, skirtų pastatų energiniam naudingumui gerinti yra „Renovacijos bangos“ strategija. EK duomenimis, kasmet atnaujinama tik 1 proc. pastatų. Todėl vienas iš minėtos strategijos įgyvendinimo tikslų – padidinti šį rodiklį iki 3 proc.. 2030 m. siekiama atnaujinti 35 mln. pastatų, kartu sprendžiant energetinio skurdo mažinimo problemą. 2021 m. liepos 14 d. EK priėmė pasiūlymų paketą „Fit for 55“, kuriame apibendrinami šie projektai ir jiems suteikiamas dar konkretesnis teisinis pagrindas. Taigi, galima teigti, kad ES pasirinktas 2050 m. klimato neutralumo tikslas ir jam pasiekti priimti reglamentai įpareigoja valstybes nares dėti daug pastangų. Viena iš pagrindinių priemonių – didinti esamų pastatų energinį efektyvumą, o tai praktiškai reiškia jų modernizavimą. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų, pastatytų iš surenkamųjų gelžbetoninių plokščių ir sudarančių svarbią, Europos būsto fondo dalį, fasadų atnaujinimo metodų kūrimas ir taikymo skatinimas gali tapti svarbiu etapu siekiant įgyvendinant šiuos įsipareigojimus. Be to, statistika rodo, kad statybos pramonė yra didžiausia pasaulyje pagal kapitalo ir darbo jėgos apimtį. Atsižvelgiant į tai, kad ji turi tiesioginį poveikį ekonomikai, visuomenei ir aplinkai, priemonė laikoma viena svarbiausių ir labiausiai augančių pramonės šakų, ypač besivystančiose šalyse. Šiuo metu ypač akcentuojama, kad pastatai laikomi vienais didžiausių energijos vartotojų pasaulyje. Remiantis naujausia Tarptautinės klimato kaitos komisijos paskelbta klimato kaitos ataskaita, pastatams tenka 32 proc. visos suvartojamos energijos [9]. Fasadas yra svarbiausias pastato elementas. Fasadų kompozicija gali būti vertinama kaip funkcinė visuma (stogas, langai, durys), kuri turi sudaryti harmoningą bendrą vaizdą. Tai pasiekama derinant kompozicinius ir proporcingus sprendinius, tinkamai parenkant medžiagas, spalvas, dekoratyvinius akcentus, taip pat vertikalius bei horizontalius struktūrinius elementus. Pastato fasadui įtakos gali turėti šie komponentai: stogas, sienos, langai ir durys [10].

Mokslininkų Luce ir kt. [11], įvertinusių daugiabučių gyvenamųjų namų Latvijoje problemas, teigimu, bendrą padėtį apsunkina tai, kad daugelio sovietmečiu statytų daugiabučių serijinių pastatų eksploatavimo laikas artėja prie pabaigos (žr. 1 lentelę). Todėl artimiausiu metu ypatingą dėmesį reikėtų skirti šių pastatų atnaujinimui.

1 lentelė. Daugiabučių serijinių pastatų vidutinė eksploatavimo trukmė [11 p. 380]

Pastato serija, tipas	Statybų laikotarpis	Vidutinė eksploatavimo trukmė, m	Eksploatacijos laikas
Stalino laikų projektas	1945–1950	150	2095–2100
316 ir 318 serijos (Chruščiovo laikų projektas)	1955–1970	70	2025–2040
464 serija	1960–?	60	2020–+
467 serija	1970–1980	60	2030–2040
103 serija	1970–1990	60	2030–2050
104 serija	1970–?	60	2030–+
Čekų projektas	1970–1980	60?	2030–2040
602 serija	1975–1980	60	2035–2040
19 serija	1980–?	70	2050–+

Be to, daugelis pastatų, mokslininkų [11] pastebėjimu, nėra tinkamai prižiūrimi, o tai sutrumpina jų bendrą tarnavimo laiką. Daugiabučių namų butų savininkai dažnai savavališkai perplanuoja ir

rekonstruoja patalpas, o tai ypač pavojinga tais atvejais, kai pažeidžiamos laikančiosios sienos arba sumažinamas jų tūris, tokiu atveju atsiranda papildoma apkrova kitoms laikančiųjų elementų konstrukcijoms. Apibendrinus minėtus veiksnius, galima daryti išvadą, kad pasitvirtina anksčiau minėtas teiginys: esamas gyvenamasis fondas Latvijoje yra prastos techninės būklės ir sensta. Tai lemia kelių veiksnių sąveikos visuma: valstybės politika būsto srityje nėra aiškiai apibrėžta, butų savininkai nesugeba prisiimti atsakomybės ir rūpintis daugiabučiais namais kaip bendra nuosavybe, mažos pajamos neleidžia įsigyti naujo būsto, todėl stabdoma bendra būsto rinkos plėtra [11].

Kiek kitokia situacija stebima Lietuvoje. Daugiabučių ir viešųjų pastatų modernizavimas yra viena iš dviejų prioritetinių sričių, nustatytų Lietuvos nacionaliniame energetikos ir klimato kaitos plane, siekiant iki 2030 m. sutaupyti 5–6 TWh energijos. Remiantis Europos žaliojo sandėrio ir renovacijos bangos principais, atnaujintas pastatų fondas Lietuvoje laikomas gyvybiškai svarbiu pereinant prie dekarbonizuotos ir švarios energetikos sistemos [12].

1.2. Modernizavimui naudojamų fasadinių sistemų ypatumai

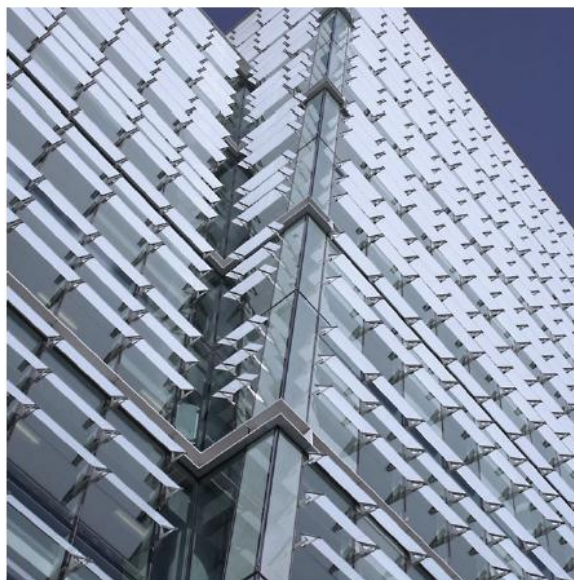
Prieš pradedant nagrinėti literatūros šaltinius apie daugiabučiams gyvenamiesiems pastatams modernizuoti naudojamas fasadines sistemas, būtina apibrėžti fasadinių sistemų sampratą. Fasadinės sistemos, pasak Vila ir kt. [13], tai išorinė pastato riba, atliekanti reprezentacinę funkciją miesto erdvėje. Kartais fasadinės sistemos vadinamos integravimo priemonėmis, skirtomis pastato išvaizdos ir aplinkos bei suvokimo požymiams realizuoti, funkciniais požymiais apibūdinti. Šiuo požiūriu fasadinių sistemų koncepcija, gamyba ir statyba, naudojant pusgaminis arba nedidelius paruoštus komponentus, kuriuos reikia surinkti vietoje, apima produktų parinkimą, pritaikymą ir sujungimą į bendrą visumą. Kitų mokslininkų Kamal'as [14] teigimu, fasadai – tai pirmasis estetiškas pastato bruožas, išskiriantis vieną pastatą iš kito. Fasado pavadinimas kilęs iš prancūziško žodžio „*facade*“, kuris pažodžiui reiškia „priekis“ arba „veidas“. Pastato fasadas yra pagrindinis matomas pastato elementas, tai yra riba tarp vidaus ir išorės, gyvenamųjų patalpų ir išorės aplinkos sąsaja, turinti įtakos gyventojų komfortui ir pastato energijos naudojimo efektyvumui. Fasadų sistemas sudaro konstrukciniai elementai, užtikrinantys atsparumą vėjo apkrovoms, krituliams ir atmosferos poveikiui. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų fasadų sistemos pasižymi termoizoliacinėmis, akustinėmis ir priešgaisrinėmis savybėmis. Šiuolaikinėje aukštybinių pastatų projektavimo praktikoje fasadas formuojamas kaip riba tarp pastato vidaus ir išorės, siekiant užtikrinti komfortišką pastato vidaus aplinką. Kartu su nuolat besikeičiančių technologijų naujovėmis fasadai tapo sudėtinga, bet įdomia daugiasluoksne sistema.

Founti'as ir kt. [15] pastebi, kad pastato fasadas visada buvo esminis elementas, lemiantis namo ilgaamžiškumą. Pagrindinis jo vaidmuo – apsaugoti namą nuo gamtos stichijų: sniego, lietaus, vėjo ir saulės. Kadangi pastaraisiais dešimtmečiais daugėja ekstremalių oro sąlygų reiškinių, ypač svarbu tinkamai pasirengti įvairioms situacijoms ir užtikrinti pakankamą namo sienų apsaugą.

Be pastato laikančiųjų konstrukcijų apsaugos, fasadas atlieka dar vieną svarbią funkciją, į kurią statytojas būtinai turėtų atsižvelgti. Fasadas mažina energijos suvartojimą, nes atlieka šilumos izoliacijos funkciją. Jis taip pat užtikrina malonų patalpų mikroklimatą, geresnę priešgaisrinę apsaugą ir izoliuoja nuo išorinio triukšmo.

Apie daugiabučiam gyvenamiesiems pastatams modernizuoti naudojamas fasadines sistemas rašė Italijos mokslininkai Paoletti ir Nastri [1]. Savo darbuose jie analizuoja fasadų sistemas, vertindami plokščiąją vertikaliąją kompoziciją ir įvairių funkcijų – tokių kaip užstatytų erdvių ribų formavimas

ir apsauga, matomumo užtikrinimas, šilumos nuostolių reguliavimas ir kontrolė, natūralus apšvietimas bei vėdinimas – visumą. Be to, atsižvelgiama į klimato sąlygas ir apkrovas (mechanines, vėjo, akustines ir pan.). Fasadinių sistemų projektavimas, gamyba ir montavimas grindžiami lengvų, už pagrindinio konstrukcinio fasado ribų išdėstytų fasadų geometriniu ir medžiagiškumo vientisumu (žr. 2 pav.).



2 pav. „Snow Hill“ pastatas, Birminghamas [1 p. 3]

2 paveiksle pateiktas fasadinės sistemos, suprojektuotos kaip lengvos surenkamos sistemos pavyzdys, atsižvelgiant į natūralaus apšvietimo ir vėdinimo reguliavimą, vidaus klimato sąlygų kontrolę bei mechaninių, temperatūros, drėgmės ir akustinių apkrovų valdymą.

Kaip matyti, evoliucionuojanti lengvų fasadinių sistemų konfigūracija formuojasi pagal poreikius ir pasiūlą, atsirandančią iš plataus fasadinių sistemų pasirinkimo. Mokslininkai, analizuodami daugiabučių fasadinių sistemų projektavimą, apibrėžia sritį, kuriai būdinga kombinacijų įvairovė ir elementų bei medžiagų sinergija. Ji turi būti glaudžiai susijusi su daugiabučio fasado konstrukciniais elementais ir sujungimo bei surinkimo metodu. Visa tai turi būti įgyvendinta atsižvelgiant į aplinkosaugines ir technologines pastato charakteristikas. Visos fasadinių sistemų medžiagos, naudojamos daugiabučiams modernizuoti, gali būti naudojamos vienu ar keliais sluoksniais (galbūt su izoliacinės medžiagos įterpimu), o jų išorinis paviršius gali būti įvairiai apdirbtas pagal bendrą ar specializuotą paskirtį. Modernizuojant daugiabutį ir įrengiant fasadines sistemas, gali būti naudojamos įvairių tipų jungtys tarp dalių, sudarančių patį fasadą (vidinės jungtys) ir tarp jo ir esamos pastato fasado konstrukcijos (išorinės jungtys). Sujungimų tipai ir būdai priklauso nuo naudojamų medžiagų ir gaminių, pastato konstrukcijos tipologijos ir funkcinių sluoksnių, iš kurių sudarytas fasadas, skaičiaus. Pasak mokslininkų [1], šiuolaikinėje statyboje daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavime naudojami fasadinės sistemos elementai gali būti įterpti tarp pastato išorinės konstrukcijos arba gali būti atremti į išorę, tiesiogiai pritvirtinti prie sijų ir kolonų arba susieti su kita, specialiai paruošta laikančiąja konstrukcija.

Ispanijos mokslininkai Torres'as ir kt. [16] daugiausia dėmesio skiria architektūrinėms ir konstrukcinėms savybėms, reikalingoms užtikrinti, kad pastatų fasadų modernizavimas būtų saugus,

funkcionalus ir pritaikytas prie esamų pastatų. Straipsnyje ypatingas dėmesys skiriamas modulinėms fasadų konstrukcijų sistemoms „Plug and Play“ (toliau – PnP) (žr. 3 pav.).



3 pav. „Plug and Play“ modulinė fasadų modernizavimo sistema [16]

Sistemos koncepcija pagrįsta modulių sienų sistema, kai moduliai kabinami ant viršutinėje pastato fasado dalyje esančių profilių, pritvirtintų inkariniais varžtais. Kiekvienai plokštei reikia dviejų laikančiųjų tvirtinimo taškų, išskyrus apatines plokštes, kurios kabinamos ant keturių tvirtinimo taškų. Atstumas tarp tvirtinimo taškų nustatomas pagal montuojamos plokštės plotį, o visi tvirtinimo taškai yra tos pačios sistemos ir konstrukcijos. Montavimas visada pradedamas nuo apatinių šoninių plokščių ir tęsiamas iki gretimų plokščių, kurios kabinamos ant keturių tvirtinimo taškų. Baigus montuoti pirmojo lygio plokštes, pradedamas antrojo lygio plokščių montavimas. Plokštės kabinamos tik ant dviejų viršutinėje srityje esančių tvirtinimo taškų, juos remia apatinės plokštės. Taip procesas tęsiamas tol, kol bus uždengtas visas modernizuojamo pastato fasado paviršius.

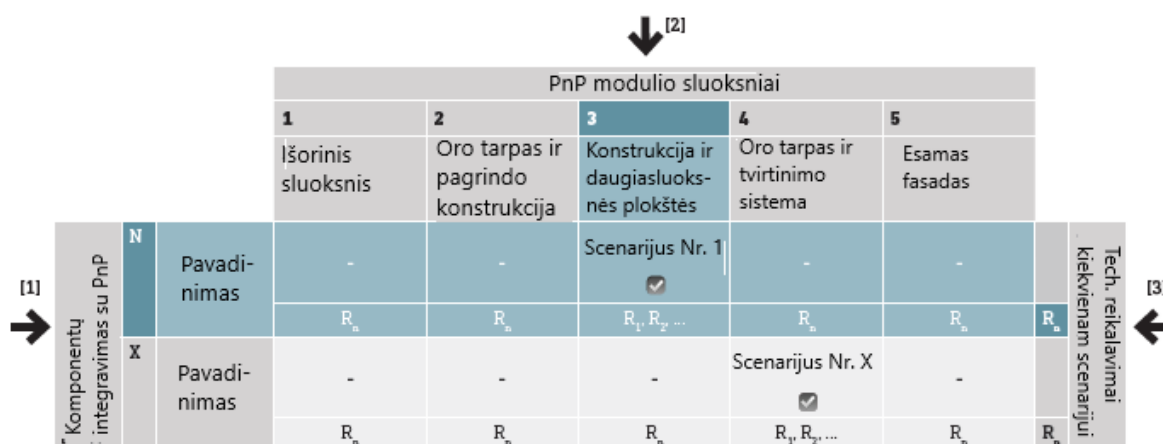
Modulinis fasadas PnP uždengia esamą pastatą nepašalinant jo originalaus fasado ir atlieka šias funkcijas:

- padidina termoizoliacines savybes;
- pagerina fasado sandarumą;
- pakeičia atitvaras;
- integruoja saulės sistemas ir kitas pastato sistemas, pvz. šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo.

Kaip teigiama straipsnyje [16], rengiant modernizavimo projektus labai svarbu gauti išsamią ir patikimą informaciją apie esamo fasado būklę naudojantis šiuolaikinėmis technologijomis, pavyzdžiui, topografiniais tyrimais arba 3D skenavimu. Detalusis projektas reikalingas siekiant užtikrinti modernizuojamo pastato fasado ir fasadinių sistemų suderinamumą. Be to, būtina patikrinti visas kitas sistemas (pvz., vėdinimo), kad būtų galima lanksčiai reaguoti į bet kokius netikėtumus, atsiradusius modernizavimo procese. Svarbu atkreipti dėmesį, kad statybos procesai, modernizuojant daugiabučio gyvenamojo pastato fasadą, turi vykti atsižvelgiant į kiekvieno modernizuojamo pastato architektūrinius ypatumus.

Apie PnP modulinę fasadų modernizavimo sistemą taip pat rašoma straipsnyje [13]. Mokslininkai daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimui siūlo naudoti PnP fasado sistemą. PnP modulis

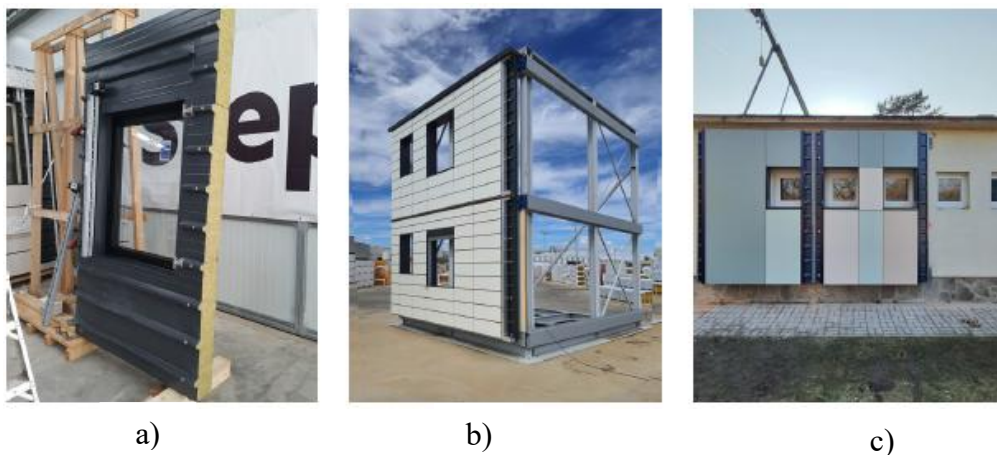
sudarytas iš lengvo plieninio rėmo ir daugiasluoksnės plokštės su metaliniu paviršiumi, derinamas su įvairiais rinkai paruoštais komponentais. Moksliniame straipsnyje pabrėžiamas efektyvus šių produktų integravimas demonstruojant projektavimo procesą ir įgyvendinant sprendimą, kurio galimybės lemia pramoninė gamyba, paprastas modulių surinkimas ir montavimas bei pritaikymas prie esamų pastatų. Šios fasadinės sistemos modulinė konstrukcija leidžia pasirinkti PnP modulių matmenis: aukštis gali būti nuo 2,5 iki 4 metrų, o plotis – nuo 1,30 iki 3 metrų. Atsižvelgiant į projektinių sprendinių reikalavimus, modulio storis gali svyruoti nuo 20 iki 35 centimetrų, o energinio naudingumo požiūriu sistema leidžia pasiekti mažesnes nei $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ šilumos perdavimo koeficiento (U) vertes. Naudojant rinkiniais pagrįstą projektavimo matricą, virtualiais prototipais tiriami įvairūs fasado modernizavimo scenarijai. Matricoje pateikiama kelių projektavimo scenarijų vizualizacija, padedanti ištirti poveikį moduliui tiek techninių charakteristikų, tiek įgyvendinimo požiūriu. Matricoje pateikiami komponentų ir PNP modulio fasado sluoksniai bei eksploataciniai reikalavimai (žr. 4 pav.).



4 pav. Rinkiniu pagrįstos projektavimo matricos skaitymo proceso ir galimo scenarijaus nustatymo pavyzdys [13 p. 79]

Be to, siekiant palengvinti perėjimą nuo projektavimo prie integruoto PnP modulio konstravimo, tyrime siūlomi trys prototipų kūrimo lygiai. Siekiama pademonstruoti PnP daugiabučio pastato fasadų sistemos projektavimo integravimo metodikos veiksmingumą ir įvairių modulio konfigūracijų bei viso modulio technines galimybes, jas tiriant, realizuojant preliminarinius, pilno mastelio fasado ir realios aplinkos taikomuosius prototipus. Vienas pagrindinių mokslininkų [13] darbo tikslų – praktiškai pademonstruoti įvairių scenarijų įgyvendinamumą virtualioje aplinkoje taikant rinkiniais pagrįstą projektavimo metodiką. Siekiant pašalinti silpniausius rinkinio sprendinius ir taip susikonsoliduoti į fasado sistemų projektavimo galimybes, galinčias užtikrinti lankstumą bei įvairovę. Remiantis literatūros [13] duomenimis, vienas iš aspektų, kurį reikia įvertinti atliekant tokius tyrimus, yra virtualus ir fizinis prototipų kūrimas, kuris, kaip manoma, yra būtinas pagrįstam pastato fasado sistemų mokslo ir technologijų pažangos procesui vykdyti. Virtualus modeliavimas buvo preliminarus lygio tyrimas, naudojamas kaip galimybių prototipas, o fizinis demonstravimas įgyvendinamas siekiant supaprastinti perėjimą nuo mokslinių tyrimų prie realaus taikymo. Prototipų kūrimo etape taikyta metodika leidžia demonstruoti integruotas PnP sistemas realiuose scenarijuose, atsižvelgiant į tris tyrimo lygius: preliminarų, demonstracinį ir galutinį. Šiais trimis prototipų kūrimo lygiais siekiama ištirti įvairius aspektus. Pirmuoju prototipų kūrimo lygiu PnP fasado sistemos modulis buvo tiriamas gilinantis į modulio dalį, siekiant ištirti įvairias sąsajas su esamais

komponentais. Antruoju lygiu ketinama pademonstruoti pilno mastelio fasadą, sudarytą iš šešių užbaigtų PnP modulių. Trečiuoju prototipu demonstruojamas perėjimas nuo projektavimo prie realaus fasado konstrukcijos sprendimo (žr. 5 pav.).



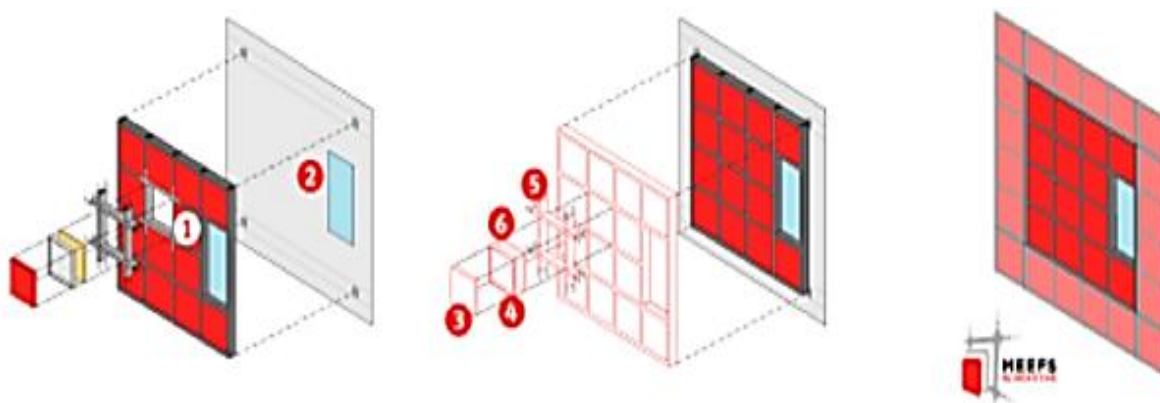
5 pav. Trijų lygių PnP modulio demonstravimas [13]: a) preliminarus modulio prototipas; b) pilno mastelio fasado prototipas; c) fasado prototipas realioje aplinkoje

Mokslininkų Paoletti ir Nastri [1] siūloma metodika, paremta pagrindine PnP modulio technologija, kurią sudaro lengvo plieno rėmo konstrukcija, daugiasluoksnė plokštė ir tvirtinimo sistema, sukuria tvirtą pagrindą sklandžiam daugiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavimui. Pagrindinė mokslininkų Vila ir kt. [13] išvada: pastatų modernizavime naudojant PnP modulio technologiją, galima veiksmingai kombinuoti įvairius komponentus, integruojant juos į fasadą. Be to, sėkmingam esamo fasado integravimui į PnP modulį reikia pastangų ankstyvajame technologijų atrankos etape. Kad integruotą PnP modulį būtų galima lengvai gaminti ir pramoniniu būdu, pasirinktas fasadas turėtų būti modifikuojamas. Įvairių esamų fasadų integracijos scenarijų tyrimas, atliekant preliminarų prototipų iteracijas, atskleidė tikslų techninių detalių svarbą, taip pat glaudaus projektavimo grupės, gamintojų ir PnP tiekėjų bendradarbiavimo svarbą siekiant sklandesnės skirtingų produktų integracijos. Pirmasis demonstravimo lygis buvo naudojamas priimant sprendimus ankstyvuosiuose esamo fasado integravimo į PnP modulį bandymuose, o antrasis prototipų kūrimo lygis leido supaprastinti suprojektuoto modulio gamybos ir montavimo etapą. Toliau tobulinant ir demonstruojant montavimo ir gamybos procesą buvo pasiekta, kad prototipas būtų kuriamas realioje aplinkoje, išryškinant perėjimą nuo projektavimo prie konstravimo. PnP modulio pritaikomumui pademonstruoti buvo pasirinktas pavyzdinis pastatas, kuriame imituojami kai kurie scenarijai, nustatyti rinkiniais pagrįstoje projektavimo matricoje, leidžiantys geriau suprasti, kaip PnP modulį galima integruoti į įvairius architektūrinius projektus, patvirtinant jo plataus naudojimo statybos projektuose potencialą.

Suomių mokslininkai Paiho ir kt. straipsnyje [17] pateikė kitos fasadų sistemos „Meefs“ analizę. Daugiausia dėmesio jų darbe skiriama apsaugos nuo drėgmės ir termoizoliacinio efektyvumo vertinimui, nors aptariami ir kiti aspektai. Todėl prieš modernizuojant daugiabutį pastatą būtina atidžiai išanalizuoti jo šiluminės ir drėgmės kaupimo savybes. Supažindinus su „Meefs“ sistemos temperatūros bei drėgmės sąveikos efektyvumo iššūkiais, atlikta skaitinė atvejų analizė trimis skirtingomis klimato sąlygomis.

Pagrindinė „Meefs“ sistemos idėja yra ta, kad tai yra efektyviai energiją vartojanti fasado sistemų koncepcija, pagrįsta modulinės technologijos sudedamosiomis dalimis (daugiafunkcine plokšte,

technologiniu mazgu, konstrukciniu moduliu, konstrukcine plokšte, šilumos izoliacija). Jos leidžia integruoti aktyviasias ir pasyviasias technologijas į pastato fasadą nekeičiant išorinių atitvarų. Kiekvienas modulis reprezentuos skirtingus energetiškai efektyvius inovacinius sprendimus ir bus integruotas į lengvai montuojamas plokštes (žr. 6 pav.).



6 pav. „Meefs“ fasadų sistemos sudedamosios dalys [17]: 1. Daugiafunkcinė plokštė; 2. Esamas fasadas; 3. Technologinis mazgas; 4. Konstrukcinis modulis; 5. Konstrukcinė plokštė; 6. Šilumos izoliacija

Aktyviosios technologijos – tai tokios technologijos, kurios gali gerokai sumažinti energijos (oro kondicionavimo ir šildymo) sąnaudas, užtikrinti puikias akustines savybes ir didesnę komfortą pastato gyventojams. Mokslininkai Hameedalden‘as ir Mostafa [18] suskirstė aktyviasias pastatų technologijas, kurias galima integruoti į pastato fasadą, į penkias pagrindines kategorijas: 1) naudotojo valdomas aktyvusis fasadas; 2) šviesos valdomas aktyvusis fasadas; 3) energijos valdomas aktyvusis fasadas; 4) vandens valdomas aktyvusis fasadas; 5) aktyvusis fasadas, reaguojantis į vėją.

Pasyviosios technologijos įprastai yra pastatų projektuotojų atspirties taškas. Joms būdinga tiesioginė pastato fasadų ir aplinkos sąveika. Pasyviųjų technologijų dėka gali būti sprendžiami pastato šildymo, vėsinimo ir apšvietimo poreikiai, siekiant išvengti arba valdyti šilumos srautus ir (arba) natūralų apšvietimą, nenaudojant elektros ar mechaninės įrangos [19]. Alvarez-Alav‘as ir kt. [20] analizavo atnaujinamo pastato fasadų sistemas, į kurias buvo įkomponuotos saulės baterijos. Sistema pristatyta kaip pramoninis sprendimas, kuriame naudojamos saulės energijos generavimo technologijos, padedančios sumažinti pastato energijos suvartojimą taikant pasyviųjų technologijų fasado koncepciją. Pasyvios technologijos leidžia sprendimą pritaikyti bet kokiam atnaujinamo pastato langų išdėstymui ir dydžiui, atsižvelgiant į konstrukcinį lankstumą ir architektūrinį pritaikomumą. Tačiau tyrėjų [20] siūloma sistema labiau tinka plokšties fasadams nei fasadams su balkonais. Modulinės fasadų sistemos storis yra didelis, todėl sumažėja naudojamų saulės elementų naudingasis plotas. Jos konstrukcija leidžia pasiekti skirtingas šilumos perdavimo koeficiento vertes, nes termoizoliacinio sluoksnio storis yra pritaikomas prie kiekvieno modulio. Projektavimo etape buvo nustatyta, kad modulinės sistemos izoliacinio sluoksnio sąlyčio su pastato siena užtikrinimas yra sudėtingas uždavinys dėl daugybės netaisyklingų vertikaliosios plokštumos išsidėstymų, kurie dažnai pasitaiko pastatuose. Modulinės sistemos pagrindinio karkaso negalima pritaikyti prie šių nelygumų. Todėl, siekiant išvengti oro tarpo tarp fasado modulio ir pastato sienos susidarymo, ant pagrindinio karkaso galinės dalies reikia įrengti visą paviršių dengiantį mažo tankio izoliacijos sluoksnį. Toks sluoksnis apriboja karkaso sąlytį su esama siena, o šiluminiai tilteliai susidaro tik tam tikroje įtvirtinimų zonoje.

Šiuolaikinėje architektūroje fasadai atlieka svarbų vaidmenį ne tik estetiniam pastatų patrauklumui, bet ir jų energiniam efektyvumui. Tobulėjant technologijoms, galima rasti daugybę inovacinių fasadų sprendinių, kuriuose funkcionalumas dera su išpūdingu dizainu. Mokslininkų Kaminska ir Michalak'as [21] teigimu, šiuolaikinės medžiagų technologijos, pagrįstos gebėjimu reaguoti į aplinkos pokyčius, dinamiškų, daigafunkcinių fasadų, integruojančių pastato išorinę ir vidinę aplinką, naudojimas kartu su išmaniosiomis technologijomis leidžia kurti inovacines pastatų fasadų sistemas. Inovatyvias pastatų fasadų sistemas savo straipsnyje analizuojantis Sugini [22] padarė išvadą, kad naudojant inovacinius sprendimus modernizuojamo daigiabučio pastato fasado įrengimo metu, galima užtikrinti geresnes pastato gyventojų gyvenimo kokybės sąlygas, sumažinti energijos sąnaudas ir pagerinti pastato išvaizdą.

Savo straipsnyje Goni ir Padro [23] akcentuoja, kad kitaip nei sudėtingos technologinės inovacijos, standartinės daigiabučiams gyvenamiesiems pastatams modernizuoti naudojamos fasadinės sistemos ar jų elementai laikomi mažomis inovacijomis, palengvinančiomis fasado atnaujinimo sprendimus. Daugelis šių naujovių atsiranda vizualinio ir konstruktyvaus prototipo kūrimo eigoje, kurio reikia siūlomam sprendimui patvirtinti. Todėl norint koreguoti ir patvirtinti nuoseklius sprendimus, būtinas realaus masto prototipo kūrimas. Mokslininkai straipsnyje [23] teigia, kad projektavimo procese viskas yra įmanoma. Tačiau tai turi būti atlikta technologiškai – šis etapas atsiranda tik realiai sukūrus siūlomą fasadą. Pažymėtina, kad vaizdai, kurių projektavimo stadijoje neperžiūri statybos specialistai, gali būti klaidinantys, nes jie gali būti skirti tik idėjoms pristatyti, neatsižvelgiant į pagrindinius materializavimo veiksmius. Nupiešta architektūra turėtų išsaugoti savo konstruktyvų pagrindimą, nes galimos idėjos įgyvendinimui reikalingi tinkami sprendiniai. Tai reiškia, kad reikia projektuoti ir traktuoti daigiabučių gyvenamųjų pastatų modernizavime naudojamas fasadines sistemas kaip išorinius pastatų atvaizdus, parodant jų reikšmingą įtaką, siūlant išskirtinių fasadų unikalius ir originalius projektus pasitelkiant technologines naujoves ir naudojant naujas medžiagas, įsitikinus, kad tai bus išspręsta konstruktyviai.

Pastaruoju metu ypač aktualu atlikti daigiabučių gyvenamųjų pastatų fasadų modernizavimą, atitinkanti žiedinės statybų ekonomikos tikslus. Žiedinės statybos ekonomikos principų taikymas modernizavimo procesuose padeda sumažinti atliekų susidarymą statybų pramonėje. Kuusk'as ir kt. [24] sukūrė prototipą ir pademonstravo daigiabučio modernizavimo procesą: prototipo ir pilnos modernizacijos parengimą, medžiagų montavimą, akcentuojant medžiagų išmontavimo ir pakartotinio naudojimo galimybes. Modernizuojamo pastato fasadų sistema įvertinta naudojant „Alba Concepts“ pastato žiediškumo indeksą. Žiedinio modernizavimo sprendimai buvo parengti skirtingais tikslais:

- pakartotinai panaudotos arba perdirbtos medžiagos panaudotos modernizuojamo pastato fasade;
- pakartotinai panaudotos esamos modernizuojamo pastato medžiagos renovuojamame pastate;
- pakartotinai panaudotos esamos modernizuojamo pastato medžiagos kito pastato fasado sistemoje;
- pakartotinai panaudotos esamos modernizuojamo pastato medžiagos [24].

Tokia vertinimo metodika grindžiama medžiagų naudojimo principais. Rodiklis, naudojamas modernizavimo sprendimų žiediškumo laipsniui įvertinti, yra supaprastinta DfD (angl. design for disassembly) kriterijų versija. Žiediškumas vertinamas remiantis keturiais kintamaisiais, kurių santykiniai svoriai priklauso nuo konkrečių modernizuojamo fasado sudedamųjų dalių ir jungčių

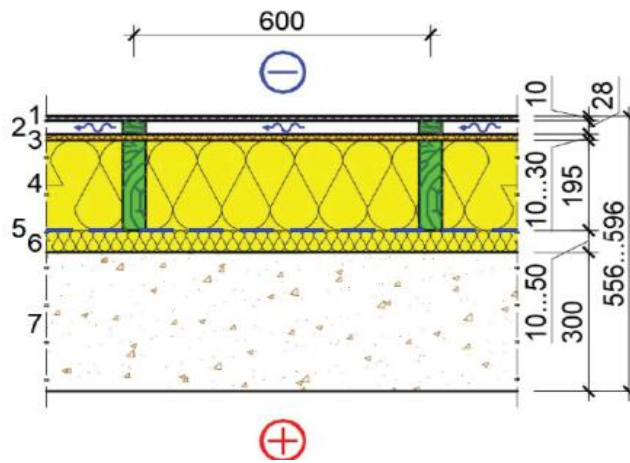
savybių. Mokslininkai Niguman'as ir kt. [25], atsižvelgiant į žiediško principo modernizavimo procese, išanalizavo įvairių fasado šiltinimo sprendimų gyvavimo ciklo sąnaudas, atsižvelgdami į pradinės sąnaudas ir priežiūros išlaidas per 50 m. laikotarpį (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Modernizuojamo daugiabučio šiltinimo sprendimų gyvavimo ciklo sąnaudos vienam fasado m² (su PVM) [25]

Pavadinimas	Pradinės sąnaudos, fasadas, Eur./m ²	Techninės priežiūros išlaidos, Eur./m ²	Techninė priežiūra per 50 eksploataavimo metų Eur./m ²	Bendra fasado kaina, Eur./m ²
Pluoštinio cemento sluoksnis nuo vėjo ir pluoštinio cemento fasado danga	151	0	0	151
Pluoštinio cemento sluoksnis nuo vėjo ir medinė fasado danga	128	18	3	182
Mineralinės vatos termoizoliacinis sluoksnis ir pluoštinio cemento fasado danga	155	0	0	155
Mineralinės vatos termoizoliacinis sluoksnis ir medinė fasado danga	132	18	3	186
Išorinė sudėtinė termoizoliacinė fasado sistema ETICS (termoizoliacinis sluoksnis akmens vata)	86	36	2	158
Išorinė sudėtinė termoizoliacinė fasado sistema ETICS (termoizoliacinis sluoksnis EPS)	78	36	2	150

Į pradinės išlaidas įskaičiuotos vieno kvadratinio metro modernizuojamo pastato fasado sistemos gamybos ir montavimo išlaidos. Medinę fasado sistemą reikia naujai dažyti kas 10–15 m., o išorinę termoizoliacinę sudėtinę kompozicinę sistemą – kas 15–20 m. dengti nauju tinko sluoksniu. Nors išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų (ITVS) sprendinių pradinės išlaidos yra didesnės, dėl mažesnių eksploatacijos ir priežiūros kaštų bendros išlaidos per 50 metų yra panašios tiek vėdinamų daugiabučio pastato fasado sprendinių, tiek išorinės sudėtinės termoizoliacinės fasado sistemos (ETICS) atveju.

Analizuojant įvairias daugiabučiams gyvenamiesiems pastatams modernizuoti naudojamas fasadines sistemas, Nigumann'as ir kt. [25] pademonstravo prototipo veikimą eksploatacinėje aplinkoje. ITVS elemento konstrukcijos pagrindą sudarė (žr. 7 pav.) medinis karkasas išdėstytas 600 mm žingsniu su 195 mm mineralinės vatos izoliacija (4 sluoksnis), oro ir garų sandarumą iš vidinės pusės užtikrino oro ir garų izoliacinė membrana (5 sluoksnis), ši konstrukcija iš išorinės pusės buvo uždengta vėjo izoliaciniu sluoksniu (3 sluoksnis), vėdinamas oro tarpas (2 sluoksnis) su vertikaliais 28 × 70 mm mediniais tašeliais užtikrinančiais į vidų patekusios drėgmės pašalinimą, o pastato fasado dailylentės užtikrina konstrukcijų apsaugą nuo atmosferos poveikio (1 sluoksnis). Siekiant sumažinti konvekciją tarp konstrukcijų ir užpildyti tarpą tarp nelygaus esamo fasado paviršiaus ant surenkamųjų elementų galinės pusės numatytas mineralinės vatos kompensacinis sluoksnis, kurio tankis $\rho = 22 \text{ kg/m}^3$.



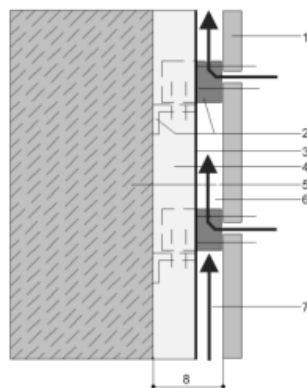
7 pav. Sienos apšiltinimo detalė [25]: 1. Fasado apdaila; 2. Oro tarpas; 3. Vėjo izoliacinis sluoksnis; 4. Termoizoliacinis sluoksnis; 5. Garo izoliacinis sluoksnis; 6. Kompensacinis sluoksnis (minkšta termoizoliacinė vata, tankis $\rho = 22 \text{ kg/m}^3$); 7. Esamas fasadas

Suprojektuotos modernizuojamo pastato sienos, papildomai apšiltintos surenkamaisiais medinio karkaso izoliaciniais elementais, šilumos perdavimo koeficientas, priklausomai nuo izoliacijos storio, buvo $U_{išorinės\ sienos} = 0,12\text{--}0,14 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Dinamiška technologijų plėtra, naujų inovatyvių statybinių medžiagų atradimai, taip pat vis didėjančios techninės, gamybos ir panaudojimo galimybės lemia, kad pastato fasadai tampa vis sudėtingesnių formų. Tradicines betono formas, simbolizuojančias ilgaamžiškumą ir stabilumą, pakeitė lengvi fasadai – aliuminio-stiklo, vėdinami fasadai. Aliuminio-stiklo fasadai naudojami statant naujus pastatus, tuo tarpu modernizuojant daugiabučius gyvenamuosius pastatus vis dažniau, pasak mokslininkų Lesniak ir Gorka [26], naudojamos IVTS. Tai tokios fasadų sistemos kurias sudaro izoliacinis sluoksnis, išdėstytas dažniausiai išoriniame sienos paviršiuje, oro ertmė ir išorinis fasadas. Oro tarpas leidžia orui patekti į fasadą ir tekėti per jį. Išorinė vėdinamo fasado dalis yra plokštė, pakabinta, priklijuota arba prisukta prie modernizuojamo pastato laikančiosios sienos. Vėdinamuose fasaduose galima formuoti išorės apdailą iš įvairių medžiagų, struktūrų, tekstūrų ar spalvų. Plokštės gali būti pagamintos iš daugelio medžiagų, įskaitant medieną, pluoštinį betoną, aliuminį ir keramiką. Dėl to vėdinamas fasadas yra efektyvi pastato apdailos forma: jis suteikia pastatui unikalumo ir išskiria jį iš aplinkos. Modernizuojamų daugiabučių gyvenamųjų pastatų fasadai nebėra tik išorinė apdaila, bet gali atlikti ir kitas svarbias funkcijas tokias kaip energijos gamyba, patalpų vėsinimo ir kt. Juose stabilumas ir patikimumas derinamas su estetika, patogumu naudoti, energijos vartojimo efektyvumu ir ekologija. Visi šie aspektai turi įtakos fasado sistemų surinkimo proceso kokybei, montavimo laikui ir patiriamoms išlaidoms. Šie trys elementai lemia kiekvieno daugiabučio gyvenamo pastato modernizacijos projekto sėkmę.

Mokslininko Kopylov [27] pastebėjimu, vėdinamų fasadų sistemos tampa vis populiareesnės dėl savo techninių, eksploatacinių ir estetinių savybių. Šių fasadų sistemos principinė schema pavaizduota paveiksle (žr. 8 pav.).

Teigiama, kad šių sistemų naudojimas daugiabučių atnaujinime yra svarbus kriterijus kuriant aplinkai nekenksmingą statybų procesą [28].



8 pav. IVTS schema: 1. Fasado danga; 2. Karkasas; 3. Vėdinamas oro tarpas; 4. Šilumos izoliacija; 5. Išorinė siena [27 p. 2]

Tinkamai suprojektuotos ir pagamintos vėdinamos fasadų sistemos pasižymi dideliu ilgaamžiškumu, teigiamai veikia išorinių atnaujinamo pastato sienų termoizoliacines savybes. Platus galimų fasado apdailos medžiagų, tvirtinimo prie pastato būdų pasirinkimas leidžia architektams sukurti unikalią ir šiuolaikinę daugiabučio pastato fasado sistemą, pritaikant ją prie bet kokios urbanistinės aplinkos. Baciū ir kt. [29] teigia, kad šiuo metu, modernizuojant daugiabučius gyvenamuosius pastatus, dažniausiai naudojamos kelios vėdinamų fasadų sistemų rūšys (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Dažniausiai naudojamos IVTS sistemų rūšys [29,30]

Pavadinimas	Pavyzdys	Apibūdinimas
Fasadui skirtos metalinės plokštės		Metalinės plokštės suteikia daugybę galimybių pasiekti norimą estetiką ir eksploatacines savybes. Tačiau ši medžiaga dažnai yra brangesnė už kitas. Izoliuotos metalinės sienų plokštės gali duoti geresnę sienos šiluminės varžos R ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) vertę nei įprastos izoliacinės fasadų konstrukcijos. Priklausomai nuo sistemos ir atraminės sienos konstrukcijos.
Keraminės fasado dangos		Fasadinė keramika montuojama ant pastatų kartu su atramine aliuminio konstrukcija. Sistema užkerta kelią drėgmės susidarymui pastate dėl nuolatinės oro cirkuliacijos jo viduje. Keraminė fasadų apdailos sistema yra populiarus sprendimas dėl savo savybių, tokių kaip didelis atsparumas nusidėvėjimui ir smūgiams, lengvas montavimas, atsparumas išorės oro sąlygoms ir platus spalvų bei dydžių pasirinkimas.
Išorinė izoliacijos ir apdailos sistema (EIFS)		Tai ventiliuojama fasadų sistema, kuri gali atrodyti labai įvairiai: sistemos medžiaga buvo sukurta taip, kad savo išvaizda atkartotų kitas medžiagas. Yra EIFS sistemų, kurios atkartoja plytų ir metalo plokštes. Pagrindinis šios sistemos trūkumas – trumpas eksploatacinis laikas. Praktika rodo, kad ši sistema gali būti lengvai pažeista. Spalvos kartais gali išblukti arba paviršius laikui bėgant gali nusidažyti ir užsiteršti. .

Pavadinimas	Pavyzdys	Apibūdinimas
Plokštės pagamintos iš cementinės medžiagos		Cementinės dailylentės vis plačiau naudojamos daugiabučių pastatų modernizavime. Medžiaga labiausiai primena medines lentų dailylentes. Ši fasado sistema yra labai patvari ir nereikalauja daug priežiūros. Pagal kainą ji prilygsta EIFS, tačiau yra patvaresnė ir reikalaujanti mažiau priežiūros.

Nepriklausomai nuo pasirinktos IVTS rūšies, turi būti nustatomi apribojimai, taikytini naudojamai sistemai. Bikas'as ir kt. [28] teigimu, pagrindiniai kriterijai, į kuriuos reikia atsižvelgti, nustatant šių sistemų apribojimus, apima daugiausia hidrotermines savybes, energijos vartojimo efektyvumą, akustines savybes ir atsparumą ugniai. Be to, techniniai klausimai dažniausiai susiję su problemomis, kurios gali kilti integruojant sistemas į pastato fasadą. Paprastai jie susiję su struktūriniais, architektūriniais ir funkciniais klausimais. Mokslininkai [28] atkreipia dėmesį, kad išorinės aplinkos sąlygos ir projektavimo sprendimai, t. y. fasado komponentų ir paties pastato savybės, turi tiesioginės įtakos IVTS savybėms. Svarbu fasado projektą pritaikyti prie konkrečių vietos klimato sąlygų. Fasadą reikėtų projektuoti taip, kad jis būtų pritaikytas situacijoms, kuriose energijos suvartojimas yra didžiausias atsižvelgiant į nepalankiausias metų laiko sąlygas.

Mokslininkų Santos Pizzatto ir kt. [31] teigimu, kalbant apie IVTS, nėra vieningos nuomonės dėl jų tinkamo pavadinimo. Šis pastatų fasadų sprendimas gali būti klasifikuojamas pagal įvairius kriterijus. Pavyzdžiui, vėdinamos daugiabučių pastatams modernizuoti naudojamos fasadų sistemos gali būti klasifikuojamos pagal ventiliacijos tipą, oro konvekciją ir fasado konfigūraciją, daugiausia susijusią su naudojamomis medžiagomis. Kai kurios analizuojamos charakteristikos yra fasado komponentų ir paties pastato savybės, pvz., geometrinės, fizinės, terminės ir optinės savybės, energijos vartojimo efektyvumas ir valdymo optimizavimas. Modernizuojant pastatą, vėdinama fasado sistema gali būti įrengta skirtingais būdais.

Kitas nemažiau inovatyvus pastatų modernizavimo metu naudojamas fasadų atnaujinimo būdas yra surenkamų modulių plokščių panaudojimas. Šio modernizacijos būdo panaudojimo galimybes išanalizavo Estijos mokslininkai Kuusk'as ir kt. savo straipsnyje [32]. Atliekant pastato atnaujinimą pastato fasadas buvo apšiltintas surenkamomis modulinėmis plokštėmis. Rūsio sienos apšiltintos išorine termoizoliacine kompozicine sistema. Surenkamąsias modulines plokštes sudarė medienos karkaso konstrukcija, užpildyta mineraline vata. Siekiant gauti tikslią informaciją apie esamus paviršius ir langų vietos išdėstymo netolygumą, prieš projektuojant atliktas 3D lazerinis fasado skenavimas.

Kaip teigiama straipsnyje [32], buvo pasirinktas bendras suprojektuotų modulių sienų elementų storis 340–380 mm, priklausomai nuo esamos sienos paviršiaus lygumo: 30 mm vėjo izoliacinis sluoksnis, 70 + 195 mm termoizoliacinis sluoksnis tarp medinių rėmų ir 10–50 mm lengvos elastingos, mažo tankio mineralinės vatos sluoksnis esamų pastato sienų nelygumams užpildyti. Sienų šilumos perdavimo koeficientas siekė $U_{wall} = 0,11 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Sumontavus plokštes, sandūros tarp jų buvo užpildytos poliuretano putomis, kad būtų užtikrintas atitvarų sandarumas, ir uždengtos vėjo

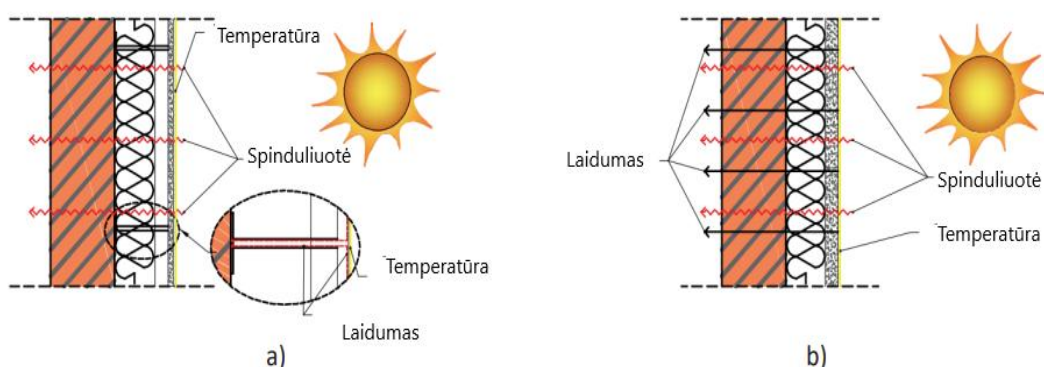
izoliacija bei plieninėmis juostomis, apsaugančiomis nuo lietaus vandens skverbimosi į konstrukcijas (žr. 9 pav.).



9 pav. Surenkamojo ventiliuojamo fasado elemento montavimas [32 p. 4]

9 paveiksle pavaizduotas pastatas buvo pirmasis Estijoje modernizuotas daugiabutis namas, kuriame panaudoti surenkamieji vėdinamo fasado elementai. Rezultatai panašūs į kitų projektų Europoje rezultatus: surenkamieji fasado elementai yra efektyvus sprendimas pastatų modernizavimui, jie leidžia užtikrinti geresnę kokybę ir padidinti modernizacijos proceso greitį. Šalies mastu montavimo greitis leistų padidinti pastatų atnaujinimo apimtį. Apytikriais skaičiavimais, pastato išorinių sienų apšiltinimas naudojant surenkamąsias vėdinamas fasado plokštes užtruktų maždaug 2–3 savaites, palyginti su 2–3 mėnesiais, kai naudojamos dabartinės technologijos. Šiuo metu Estijoje daugiabučių namų modernizavimo lygis yra maždaug 1 proc. (~200 pastatų) per metus. Paklausa yra didesnė, tačiau dėl dabartinių technologijų, sunku gerokai padidinti pastatų modernizavimo apimtį..

Schabowicz‘as ir kt. savo straipsnyje [33] analizavo IVTS ir lygino jas su ETICS fasadais. Vėdinamas fasadas užtikrina, kad sumažėtų šilumos perdavimas iš aplinkos saulėtomis dienomis į pastato vidų poveikis. Tai lemia ribotas šilumos laidumas. Didesnis vėdinamo fasado efektyvumas, palyginti su ETICS fasadu, ribojant šilumos perdavimą šilumos laidumu, parodytas paveiksle (žr. 10 pav.).



10 pav. Šilumos perdavimas: a) vėdinamame fasade; b) ETICS fasade [33 p. 227]

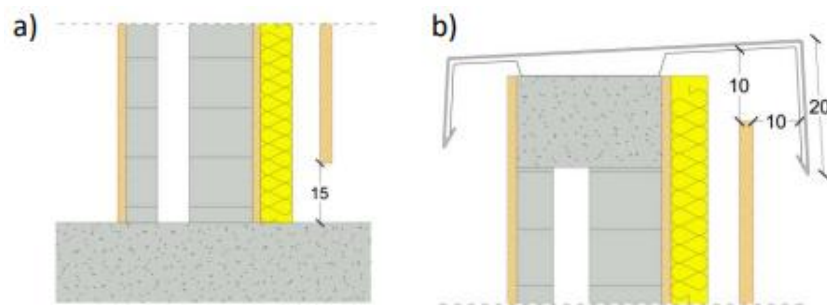
Šilumos laidumas, t. y. šilumos perdavimas per kietąsias medžiagas ETICS fasado atveju vyksta per visą paviršių, o IVTS atveju – tik per konsolas. Tyrimai patvirtina, kad šilumos pašalinimo iš vėdinamo oro tarpo efektyvumas priklauso nuo lauke vyraujančio vėjo greičio. IVTS su atviro tipo vėdinamu oro tarpu, nepaisant aukštesnės temperatūros vėdinamame oro tarpe, yra efektyvesnė dėl

mažesnio šilumos perdavimo į patalpos vidų ne tik be vėjo, bet ir esant mažesniai lauke vyraujančiam vėjo greičiui – 2,5 m/s. Kai į fasadą pučia 5 m/s vėjo greitis, vėdinamų fasadų efektyvumas, esant uždaram ir atviram oro tarpui, pasiekia panašias vertes. Vėliau padidėjęs vėjo patekimo į fasadą iš lauko pusės greitis minimaliai veikia šilumos pašalinimo per vėdinamą ertmę efektyvumą, todėl sumažėja šilumos perdavimas į vidų. Mokslininkų [33] atlikta tyrimo analizė parodė, kad tarpinės vėdinimo angos, naudojamos vėdinamame fasade su atviromis sandūromis, turi didelę įtaką oro apykaitai oro tarpe. Išnagrinėjame pavyzdyje galima aiškiai atskirti tarpinės vėdinimo ertmės, nuo kurių priklauso oro patekimas ir pašalinimas iš vėdinamos ertmės. Šios ertmės taip pat sukelia oro srauto nukrypimų vėdinimo oro tarpe, tačiau ši įtaka yra daug mažesnė už jų buvimo naudą. Todėl mokslininkai padarė išvadą, kad sąmoningas šios fasadų technologijos naudojimas gali padėti sumažinti energijos, reikalingos pastatams vėsinti vasarą, poreikį.

Tinkuojamos daugiabučiams atnaujinti naudojamos fasadų sistemos labai populiarios dėl savo kainos ir kokybės santykio. Šios sistemos ne tik sąlyginai nebrangios, bet ir užtikrina gerą izoliaciją bei siūlo daugybę individualių pastato fasado vizualinių sprendimų. Šią pastatų atnaujinimo sistemą galima lengvai derinti su bet kokio tipo pastato sienomis ar šilumine izoliacija. Kai kurie mokslininkai [34] teigia, kad per pastaruosius dešimt metų tinkavimas vėl tapo populiarius. Ypač atnaujinant 1960–1970 m. pastatytus daugiabučius.

Pasak Barrelas ir kt. [35] tinkuojamos fasadų sistemos dažniausiai sudarytos iš paprasto cementinio tinko, kuris yra kompozicinė medžiaga, susidedanti iš rišiklio (pvz., portlandcemenčio), užpildų (pvz., smėlio), vandens ir priedų, kurie pagerina tam tikras tinkavimo savybes. Įrenginėjant tinkuojamą fasado sistemą tinkai paprastai dengiami dviem arba trimis sluoksniais, kurių sudėtis šiek tiek skiriasi, o tai gali užkirsti kelią defektų (pvz., įtrūkimų) plitimui per visą tinkavimo storį. Rišiklio kiekis paprastai mažėja nuo sluoksnio, esančio arčiau pagrindo, iki išorinio sluoksnio. Tai pagerina išorinio sluoksnio deformacijos gebą, kuris yra svarbus reaguojant į cementiniuose tinkuose dažnai pasitaikančią tempimo įtampą (pvz., dėl susitraukimo) ir tolesnę standesnio vidinio sluoksnio apsaugą. Kalkių, kurios taip pat turi rišamųjų savybių, galima pridėti į mišinį, kad pakeistų dalį cemento. Šie mišrūs rišikliai paprastai pasižymi geresniu šviežio tinkavimo tinkamumu, pagerintu sukietėjusio tinkavimo deformavimo gebėjimu ir mažesniu polinkiu į įtrūkimų atsiradimą. Paprasti cementiniai tinkai tvirti, bei standūs, todėl dažnai susitraukia ir įtrūksta. Mišrios rišamosios medžiagos ypač naudingos fasadų atnaujinimui senesniuose pastatuose, kuriuose originaliame skiedinyje buvo naudojamos kalkės, o tai dažniau pasitaiko senuose pastatuose. Kalkių pridėjimas pagerina suderinamumą su esamais tinkais ir statybos sprendimais, be to tai gali padėti išvengti įtrūkimų.

Italijos mokslininkai Corr'as ir Plac'as savo straipsnyje [36] atliko CFD (angl. *computational fluid dynamics*) lyginamąją analizę, atskleidusią ETICS ir IVTS, skirtų modernių ir senovinių pastatų atnaujinimui tinkamumą. Vertinamo pastato esamas tinkuotas fasadas turi geras vėjo izoliacines savybes, todėl pasirinktas vėjo izoliacinės srities dydis (dešinėje pastato pusėje) yra pakankamai didelis, kad būtų galima atsižvelgti į vėjo srautą. Centrinės ir viršutinės srities (kairėje ir viršutinėje pastato pusėje) dydis buvo parinktas atsižvelgiant į pastato formos sukliamą oro srauto poveikį. Tuo tarpu vertinamo pastato nevėdinamą apšiltintą fasadą sudaro kalkakmenio blokeliai su oro ertme, įsiterpusia tarp dviejų mūro sluoksnių, tinko sluoksnis, akmens vatos sluoksnis ir išorinis tinko sluoksnis. Vėdinamo fasado sistemoje išorinėje pusėje buvo įrengta ventiliuojama oro ertmė ir apdailinis tinko sluoksnis. Ventiliacijos įleidimo ir išleidimo angų dydis ir išdėstymas buvo nustatyti pagal gamintojo plačiai naudojamus techninius reikalavimus (žr. 11 pav.).



11 pav. Ventiliacinio kanalo oro įėjimo (a) ir išėjimo (b) angos (matmenys pateikti centimetrais) [36 p. 4]

Lyginant vėdinamą fasadą su nevėdinamu, nustatyta, kad šilumos srautas vidutiniškai sumažėja 70 proc. Ventiliuojamos ertmės poveikį mažinantis efektas fiksuojamas ir pagal paviršiaus temperatūrą: vėdinamo fasado išorinis paviršius visada vėsesnis nei nevėdinamo, vidutinis skirtumas tarp 1,5 m ir 6 m aukščio yra 4 °C. Šis skirtumas akivaizdus vidiniame fasado paviršiuje ir teigiamai veikia pastato patalpų komfortą. Mokslininkai [36] taip pat nustatė, kad nevėdinamuose fasaduose perkaitimas dėl saulės spinduliuotės (radiacijos) poveikio yra ryškesnis: išoriniuose fasado sluoksniuose, užfiksuotas didesnis nei 15 °C temperatūrų skirtumas. Reikšmingi temperatūros pasiskirstymo skirtumai akivaizdūs ir vidurinėje fasado dalyje, kuri yra toli nuo šilumos perdavimo poveikio: vėdinamas tarpas sumažina šilumos poveikį iš išorinio tinko sluoksnio, be to, aiškiai matomas šilumos perdavimas tarp tinko sluoksnio ir akmens vatos sluoksnio. Galiausiai fasado viršuje buvo fiksuotas temperatūros pasiskirstymas oro srauto išėjimo iš ventiliacinio kanalo vietoje. Pučiant vėjui, priverstinė konvekcija yra stipresnė už plūdrumo efektą. Esant aprašytoms aplinkos ribinėms sąlygoms vėdinamo fasado oro cirkuliacijos srautas siekė 0,33 m³/s, o masės srautas 0,39 kg/s vienam ventiliacinių ertmių metrui. Analogiškai uždaros oro ertmės elgsena turi įtakos šilumos laidumui, jei neatsižvelgiama į konvekcinius reiškinius: naudojant ankstesnę išraišką, gautas 0,28 W/(m²·K) šilumos perdavimo koeficientas (12 proc. mažesnis, palyginti su šilumos perdavimo koeficientu, apskaičiuotu pagal termofizikines savybes). Siekiant geriau įvertinti vėdinamo fasado naudą, buvo atliktas dar vienas palyginimas. Buvo daroma prielaida, kad vietoje vėdinamo oro tarpo bus įrengtas papildomas šilumos izoliacijos sluoksnis, išlaikant tokį patį bendrą sienos storį. Naujasis išorinės sienos fasadas buvo suprojektuotas taip: 30 mm tinko sluoksnis, 80 mm kalkakmenio blokelis, 80 mm ventiliacinis oro tarpas, 160 mm kalkarenito blokelis, 30 mm tinko sluoksnis, 160 mm akmens vatos ir 30 mm tinko sluoksnis. Tokios konfigūracijos sienos šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, jei uždaras oro tarpas laikoma grynai laidžiu elementu, ir atvirkščiai, $U = 0,17 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ vertė gaunama įvertinus oro cirkuliacijos efektą tame pačiame sluoksnyje. Naujosios konfigūracijos šilumos srauto tendencija rodo mažesnes vertes, jei lyginsime su nevėdinamo oro tarpu ir didesnes nei vėdinamo oro tarpo atveju, nors pastarojo atvejo šilumos perdavimo koeficientas U yra mažesnis.

Tinkuojamos daugiabučiams pastatams modernizuoti naudojamos fasadų sistemos gali būti puikus sprendimas, siekiant greitai ir kokybiškai atlikti daugiabučio pastato atnaujinimą. Atliekant modernizavimą naudojant kitas fasadines sistemas, pavyzdžiui, skydų pagalba, jos turi būti kruopščiai pritaikytos ir tvirtinamos prie fasado, o tai reikalauja daug darbo ir laiko. Antra, plokštės turi dengti visą fasadą, kad būtų išvengta šilumos tiltelių, o tai yra problema kai kuriems senesniems pastatams, jų fasadai dažnai nelygūs, dekoruoti ar įtraukti į paveldo sąrašą. Patraukliu šių problemų sprendimu, pasak mokslininkų Zelder'as ir kt. [37] tampa mineralinis kompozicinis izoliacinis tinkas, kuris gali būti dengiamas, drėgnuoju purškimo būdu.

Karim'as ir kt. savo straipsnyje [38] teigia, kad superizoliaciniai tinkai yra naujos rūšies energiją taupančios tinkuojamos, daugiabučiams modernizuoti skirtos fasadų sistemos. Tai tinkai, sumaišyti su aerogelių dalelėmis. Aerogeliai yra labai porėti ir ultra lengvi. Šių tinkų šilumos laidumas yra vos $0,013 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Tinkai sudėtyje turi iki 90 proc. hidrofobizuoto silicio dioksido aerogelo ir dažnai kalkių pagrindo rišiklį. Kaip ir tradicinių tinkavimo sistemų atveju, superizoliaciniai tinkai taip pat gali būti dengiami ant sienų purkštuvais (žr. 12 pav.).



11 pav. Kairėje: superizoliaciniai tinkai, užtepti purkštuvu pagalba ant demonstracinės sienos. Dešinėje: superizoliaciniai tinkai, užtepti ant gyvenamojo namo išorinės sienos Ciuriche, Šveicarijoje [38 p.2]

Apie energiją taupančius ir šilumos izoliacinius tinkus rašo ir kiti mokslininkai Ovczarek'as ir kt. [39], teigdami, kad šilumos izoliaciniai tinkai gaminami iš mineralinių rišiklių, taip pat smulkių lengvųjų užpildų arba lengvųjų organinių ar neorganinių užpildų, kurie skirti pagerinti tinkų šiluminę izoliaciją. Viena iš rūšių yra perlito šilumos izoliacinis tinkas, kuriame vietoje smėlio naudojamas perlitas. Tai balta arba pilka mineralinė medžiaga, gaminama iš vulkaninių uolienų. Dėl savo akytos struktūros ji yra veiksminga šiluminė ir akustinė izoliacija, todėl gali būti naudojama pastatų termoizoliacijai. Be to, šis tinko užpildas yra biologiškai inertiška medžiaga, o tai reiškia, kad ji nėra žalinga aplinkai ar žmonių sveikatai. Perlito tinkas pasižymi dideliu patvarumu, atsparumu ugniai, šalčiui, drėgmei, biologinei ir mikrobiologinei korozijai bei garų pralaidumu, kuris neleidžia susidaryti drėgmei pertvaros viduje.

Mokslininkai Cuce'as ir kt. [40] pripažįsta, kad tinkuojamos pastatų fasadinės sistemos sukuria patogų mikroklimatą patalpose. Taikant šią sistemą stabilizuojami šilumos nuostoliai per atitvaras, mažinamas triukšmo lygis perduodamas į patalpas bei sprendžiamos drėgmės keliamos problemos. Labai gerai kvėpuojantis, ekologiškas tinkas, kuriame suderinta šiluminė izoliacija su drėgmės pertekliaus pašalinimu, užtikrina energijos vartojimo efektyvumą ir sveiką modernizuojamų patalpų oro kokybę.

Remiantis atlikta mokslinių šaltinių analize, galima teigti, kad nepriklausomai nuo to, kuri fasadinė sistema bus naudojama daugiabučiams modernizuoti, kai naudojamų fasadinių sistemų elementai sudaro praktiškai garams nepralaidų sluoksnį išorinėje konstrukcijos pusėje, sienų ventiliacija per vėdinamą oro tarpą turėtų užtikrinti drėgmės iš konstrukcijos pašalinimą. Priešingu atveju kyla drėgmės kaupimosi ant išorinių sluoksnių vidinio paviršiaus pavojus. Dėl to gali pablogėti medžiagų ir sistemų būklė, be to, tai turi įtakos pastato termoizoliacinėms atitvarų savybėms. Blogiausiu atveju drėgnos medžiagos, paveiktos besikeičiančių temperatūros sąlygų, gali visam laikui prarasti savo eksploatacines savybes.

2. Tyrimo metodika

Šiame skyriuje pateikiama analizės procese panaudotos metodikos teorinė informacija. Nagrinėjamas artumo idealiam taškui metodo TOPSIS (angl. *technique for order preference by similarity to ideal solution*) – vertinimo algoritmas, pateikiama ekspertų apklausos nuomonių suderinamumo ir Kendallo konkordacijos koeficiento skaičiavimo metodologija. Remiantis statybos techniniu reglamentu STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ aprašyta atitvarų šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimo metodika, bei pateiktos pagrindinės formulės. Siekiant nustatyti IVTS atsiperkamumą, pateiktas šilumos nuostolių per pastato išorines atitvarines sienas skaičiavimo algoritmas, aprašytos finansinio sutaupymo per metus ir paprastojo atsipirkimo laiko skaičiavimo formulės. Pasitelkiant IVTS tiekėjų apklausos metodą, suskaičiuota 1 m² sistemos kaina, remiantis 2025 m. (III ketvirčio) kainų vidurkiu. Fasadinės sistemos įrengimo laikas įvertinamas sąmatų sudarymo programa „Sistela“.

2.1. Pastato atitvarų šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimo metodika

Suminė atitvaros šiluminė varža yra skaičiuojama naudojant formulę [41]:

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n + (R_g + R_q); \quad (1)$$

čia $R_1, R_2, \dots, R_n$ – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos (m²·K/W) apskaičiuojamos pagal 2 formulę [41]; R_g – nevėdinamo oro tarpo šiluminė varža (m²·K/W), imama iš STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 2.1 lentelės. Jei nevėdinamo oro tarpo storis yra nežinomas, skaičiavimuose priimama 10 mm oro tarpo šiluminė varža; R_q – plono sluoksnio šiluminė varža (m²·K/W), imama iš STR 2.01.02:2016 2.2 lentelės.

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}}; \quad (2)$$

čia d – sluoksnio storis (m); λ_{ds} – sluoksnio projektinis šilumos laidumo koeficientas, (W/(m·K)).

Esant termoizoliacinių medžiagų deklaruojamąją šilumos laidumo vertę patvirtinantiems dokumentams, projektinė termoizoliacinės medžiagos šilumos laidumo vertė λ_{ds} apskaičiuojama taip [41]:

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \lambda_\omega; \quad (3)$$

čia λ_D – deklaruojamoji termoizoliacinio produkto šilumos laidumo koeficiento vertė (W/(m·K)); λ_ω – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl termoizoliacinių medžiagų papildomo įdrėkimo atitvaroje (W/(m·K)).

Jei nėra termoizoliacinių medžiagų šilumos laidumo vertę patvirtinančių dokumentų, turi būti naudojamos projektinės šilumos laidumo vertės λ_{ds} nurodytos STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 3.6, 3.7, 3.8 lentelėse.

Pastato atitvarų visuminė šiluminė varža yra apskaičiuojama pagal (4) formulę [42]:

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}; \quad (4)$$

čia R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), žiūrėti 4 lentelę; ; R_s – atitvaros sluoksnių suminė šiluminė varža ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$); R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), žiūrėti 4 lentelę.

4 lentelė. Vidaus ir išorės paviršių šiluminės varžos R_{si} ir R_{se} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) [41]

Vidinio paviršiaus šiluminė varža R_{si} , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$			Išorinio paviršiaus šiluminė varža R_{se} , $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Šilumos srauto kryptis			
horizontaliai	aukštyn	žemyn	visomis kryptimis
0,13	0,10	0,17	0,04

Atitvarinės sienos be oro tarpo šilumos perdavimo koeficientas U ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) apskaičiuojamas pagal (5) formulę [41]:

$$U = \frac{1}{R_t}; \quad (5)$$

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

Atitvarinės sienos su vėdinamu oro tarpsluoksniu šilumos perdavimo koeficientas U ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) apskaičiuojamas pagal (6) formulę [45]:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{se}}. \quad (6)$$

Skaičiuojant atitvarų termoizoliacinių sluoksnių šiluminės varžas, šiuose skaičiavimuose reikia įvertinti:

- papildomus šilumos nuostolius per termoizoliacinius sluoksnius kertančias metalines jungtis;
- termoizoliacinio sluoksnio tvirtinimui panaudoto karkaso įtaką šio sluoksnio šiluminei varžai [41].

Jei pastato atitvaros termoizoliacinį sluoksnį kerta metalinės jungtys, tokios atitvaros šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal (7) formulę [41]:

$$U^I = U + \Delta U_f; \quad (7)$$

čia U – atitvaros šilumos perdavimo koeficientas ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); ΔU_f – atitvaros šilumos perdavimo koeficiento pataisa dėl atitvarų termoizoliacinį sluoksnį kertančių metalinių jungčių ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).

ΔU_f vertė kai yra pateikta tvirtiklio taškinio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo vertė χ (W/K) apskaičiuojam pasinaudojant (8) formule [43]:

$$\Delta U_f = \chi \cdot n_f; \quad (8)$$

čia χ – konstrukcijoje naudojamo tvirtiklio taškinio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficiento vertė vienam tvirtikliui (W/K); n_f – tvirtiklių kiekis viename kvadratiniam metre atitvaros ($\text{vnt.}/\text{m}^2$).

Jei tvirtiklių taškinio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo vertė χ (W/K) yra nežinoma, ΔU_f – atitvaros šilumos perdavimo koeficiento pataisa dėl atitvarų termoizoliacinį sluoksnį kertančių metalinių jungčių (W/(m²·K)) yra apskaičiuojama remiantis LST EN ISO 6946:2017 nurodytais skaičiavimais, naudojantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 3.13 lentelėje pateiktomis metalų šilumos laidumo vertėmis. Šiuo atveju ΔU_f pataisa yra apskaičiuojama pagal (9) formulę [44]:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_1} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2; \quad (9)$$

čia λ_f – tvirtinimo elemento šilumos laidumo koeficientas (W/(m·K)); A_f – vieno tvirtinimo elemento plotas (m²); n_f – tvirtinimo elementų skaičius viename kvadratiniam metre atitvaros (vnt./m²); d_1 – tvirtinimo elemento dalies, kertančios atitvaros termoizoliacinį sluoksnį ilgis (m); R_1 – tvirtinimo elemento kertamo termoizoliacinio sluoksnio šiluminė varža (m²·K/W); R_{tot} – visos konstrukcijos visuminė šiluminė varža, nevertinant šiluminių tiltelių poveikio (m²·K/W); α – koeficientas, 0,8 jei konstrukcijos tvirtinimo elementas kerta visą termoizoliacinį sluoksnį. Jei tvirtinimo elementas yra įgilintas, koeficientas α yra randamas pagal formulę:

$$\alpha = 0,8 \cdot \frac{d_1}{d_0}; \quad (10)$$

čia d_0 – termoizoliacinio sluoksnio, kuriame yra tvirtinimo elementas, storis (m).

Jei skaičiavimo metu nėra žinoma ar termoizoliacijos tvirtinimo elementas yra įgilintas, ar kerta visą termoizoliacijos sluoksnį, tai atliekant skaičiavimą turi būti priimta, kad tvirtinimo elementas nėra įgilintas [41].

Skaičiavimų metu gauta šilumos perdavimo koeficiento vertė suapvalinama vienos šimtosios dalies tikslumu [41].

2.2. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų atsiperkamumo skaičiavimo algoritmas

2.2.1. Šilumos nuostolių per pastato sienas skaičiavimas

Siekiant nustatyti fasadinės sistemos atsiperkamumą, reikia įvertinti, kokie šilumos nuostoliai susidaro per pastato sienas šildymo sezono metu. Kiekvieno mėnesio skaičiuojamieji $Q_{H.w,m}$ (kWh/(m²·mėn)) šilumos nuostoliai per pastato atitvarines sienas yra apskaičiuojami pagal (11) formulę [41]:

$$Q_{H.w,m} = \frac{0,001 \cdot t_m \cdot 24}{A_p} \cdot A_{w,sum} \cdot U_{w,x} \cdot (\theta_{i,H} - \theta_{e,m}); \quad (11)$$

čia t_m – dienų skaičius atitinkamame metų mėnesyje. Imamas iš STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 2.6 lentelės; A_p – pastato šildomas plotas m²; $A_{w,sum}$ – pastato sienų suminis plotas m²; $U_{w,x}$ – pastato sienų skaičiuojamasis šilumos perdavimo koeficientas W/(m²·K); $\theta_{i,H}$ – pastato vidaus patalpų temperatūra šildymo sezono metu (°C), imama iš STR 2.01.02:2016, 2.4 lentelės; $\theta_{e,m}$ – atitinkamo mėnesio vidutinė išorės oro temperatūra (°C), imama iš STR 2.01.12:2024 „Statybų klimatologija“ 2 priedo 1 lentelės.

2.2.2. Sutaupytų lėšų dėl pastato sienų termoizoliacinio sluoksnio įrengimo skaičiavimas

Šiame skyriuje pateikiamos skaičiavimo formulės, skirtos nustatyti lėšų sutaupymą dėl energijos sąnaudų pastato šildymui sumažėjimo po modernizavimo. Kasmetinis finansinis sutaupymas apskaičiuojamas naudojant šią formulę [46]:

$$\Delta S = (Q_{m.1} - Q_{m.2}) \cdot E; \quad (12)$$

čia $Q_{m.1}$ – metiniai šilumos nuostoliai per neapšiltintas pastato atitvaras kWh/(m²·metai); $Q_{m.2}$ – metiniai šilumos nuostoliai per apšiltintas pastato atitvaras kWh/(m²·metai); E – šilumos energijos kaina, Eur/kWh.

2.2.3. Sienų apšiltinimo paprastojo atsipirkimo laiko skaičiavimas

Termoizoliacinės sistemos atsiperkamumas yra apskaičiuojamas pagal (13) formulę [47]:

$$PAL = \frac{I_0}{\Delta S}; \quad (13)$$

čia I_0 – investicija į planuojama energijos taupymo priemonę; ΔS - finansinis sutaupymas.

2.3. Daugiakriteris vertinimo metodas TOPSIS

Perven'as ir kt. [48] savo straipsnyje teigia, kad šiuolaikinėje visuomenėje vis dažnai susiduriama su daugiakriterio vertinimo metodais, kurie padeda pasirinkti optimalų sprendimą iš riboto galimų alternatyvų rinkinio. Daugiakriterio vertinimo metodai MCDM (angl. *multi-criteria decision making*) įgyja lemiamą reikšmę sudėtingoje sprendimų priėmimo aplinkoje, kurioje reikia atsižvelgti į daugybę kriterijų. MCDM leidžia sprendimų priėmėjams vertinti ir lyginti alternatyvas pagal įvairius kriterijus, pasiūlant geriausią metodą sudėtingoms problemoms spręsti. Daugiakriteris vertinimas, pasak mokslininkų Mathebula ir Mbuli [49], yra gerai žinoma sprendimų priėmimo sritis mokslinių tyrimų praktikoje. Šie vertinimo metodai jau seniai naudojami statybos valdymo srityje, nes suteikia papildomą naudą sprendimų priėmimo procese, ypač tais atvejais, kai reikia pasiekti kelis tikslus. Tai matematinis modelis, kuris vertina kelis skirtingus variantus, atsižvelgia į daugybę, dažnai prieštarų vienas kitam kriterijų, tikslų ir suinteresuotųjų šalių, siekiant iš kelių galimybių pasirinkti geriausią variantą. MCDM leidžia apibrėžti kriterijų rinkinį, vertinti alternatyvas pagal šiuos kriterijus ir suteikia sprendimų priėmėjams galimybę priimti struktūrizuotus, išsamius sprendimus, kai sprendžiami sudėtingi klausimai.

Vienas iš daugiakriterio vertinimo metodų – TOPSIS (angl. the technique for order preference by similarity to an ideal solution) metodas, skirtas prioritetų nustatymui pagal panašumą į idealų sprendimą. Manoma, kad TOPSIS buvo sukurtas kaip alternatyva ELECTRE (angl. elimination and choice expressing reality) metodų kategorijai. Šis metodas yra paprastas, suprantamas, patogus naudoti ir plačiai taikomas įvairiose srityse. TOPSIS teoriniai pagrindai, kaip teigia Taherdoost'as savo straipsnyje [50], suteikia sprendimų priėmėjams sistemingą metodą, leidžiantį vertinti ir ranguoti alternatyvas pagal keletą kriterijų. TOPSIS metodo pagrindinė prielaida yra ta, kad sprendimų priėmėjai turi pasirinkti iš kelių variantų, kurių kiekvienas apibrėžiamas keliais požymiais. Metodo tikslas – nustatyti optimalų variantą, atitinkantį visus šiuos kriterijus.

TOPSIS metodą 1981 m. pristatė Hwang'as ir Yoon'as knygoje „Sprendimų priėmimas remiantis keliais atributais: metodai ir taikymas – naujausių pasiekimų apžvalga“. TOPSIS metodas labai

veiksmingas sprendžiant problemas, susijusias su alternatyvų reitingavimu. 2006 m. mokslininkai Chen'as ir kt., [51] pasiūlė išplėstą TOPSIS metodo versiją tiekėjų atrankos problemai spręsti, esant neaiškios aplinkos sąlygoms.

Taherdoost'as [50] įvardijo pagrindines sąvokas, kurios palaiko TOPSIS funkcionalumą: optimalus (idealus) sprendimas yra hipotetinis taškas sprendimų erdvėje, kuriame kriterijai yra maksimaliai padidinti (nauda) arba minimaliai sumažinti (kaina) ir jis atspindi geriausią įmanomą rezultatą pagal kiekvieną kriterijų. Atotrūkis tarp alternatyvų ir šio optimalaus sprendimo matuoja našumą. Priešingai, neigiamas idealus sprendimas duoda blogiausius rezultatus pagal kiekvieną kriterijų. Be idealaus sprendimo gali būti apskaičiuoti atstumai nuo jo iki neigiamo idealaus (blogiausio) sprendimo. TOPSIS esmė yra nustatyti, kiek kiekviena alternatyva artima ar panaši į šiuos idealus (etalonus). Šis metodas duoda preferencijų funkciją, kuri apima normalizuotus atstumus ir reikšmingumus, kad būtų nustatytas galutinis alternatyvų reitingas.

Šis daugiakriteris metodas naudojamas įvairioms sritims vertinti, pradedant logistika, chemijos inžinerija, sveikata ir sauga, žmogiškaisiais ištekliais, energijos valdymu ir baigiant statybos inžinerija, projektavimu bei statybos valdymu. Mokslininkai Mathebula ir Mbuli [49] atkreipia dėmesį, kad dažnai naudojamas TOPSIS hibridinis modelis, kurio tikslas – spręsti įvairias problemas keliose disciplinose taikant reitingavimo metodus. Taip pat teigiama, kad TOPSIS naudojamas įvairiose sprendimų priėmimo situacijose ir dėl savo unikalios metodikos gali apimti tiek kiekybinius, tiek kokybinius kriterijus.

Atlikus mokslinės literatūros apžvalgą nustatyta, kad 2025 m. publikuota nemažai straipsnių, kuriuose aprašomas TOPSIS metodo naudojimas statybos inžinerijos srityje (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. 2025 m. moksliniai straipsniai apie TOPSIS metodo taikymą statybos inžinerijoje (sudaryta autoriaus)

Nr.	Straipsnio pavadinimas (autoriai, metai)	Trumpa TOPSIS metodo naudojimo santrauka	Nuoroda į šaltinį
1.	Ekologiškų pastatų sprendimų priėmimo gerinimas naudojant hibridinį neaiškų AHP TOPSIS modelį medžiagų pasirinkimui (Cheng, Hu, Wu, 2025)	Taikomas hibridinis modelis „fuzzy AHP + TOPSIS“ statybinių medžiagų atrankai atsižvelgiant į tvarumo kriterijus.	https://doi.org/10.1007/s13201-025-02481-7
2.	Integruota CRITIC-TOPSIS ir Monte Karlo jautrumo analizė, skirta optimaliam įvairių natūralių pluoštų pasirinkimui tvariose pastatų izoliacijos kompozituose, siekiant įgyvendinti darnaus vystymosi tikslus (Mohd Hidayat Ab Rahman ir kt., 2025)	Tvarios statybinių izoliacinių kompozitinių medžiagų atranka — naudojami CRITIC, TOPSIS metodai ir Monte Carlo jautrumo analizė.	https://doi.org/10.17509/ajse.v5i2.85614
3.	Kliūtys ir jų įveikimo strategijos, įgyvendinant „Lean Construction“ statybos principus Etiopijoje: integruota Fuzzy AHP ir Fuzzy TOPSIS sistema (Maru, Jekale, Astrey, 2025)	TOPSIS buvo naudojamas strategijų efektyvumui įvertinti ir jas išrikiuoti pagal prioritetą, leidžiant sistemingai pasirinkti veiksmingiausias priemones Lean metodų diegimui	https://doi.org/10.13167/2025.30.5
4.	Fuzzy AHP ir Fuzzy TOPSIS modelių integravimas statybinės įrangos techninės priežiūros strategijos pasirinkimui (Ayalew, Ayalew, 2025)	TOPSIS taikymas išlaikymo strategijų vertinimui.	https://doi.org/10.11648/j.ijmfs.20251102.11

Nr.	Straipsnio pavadinimas (autoriai, metai)	Trumpa TOPSIS metodo naudojimo santrauka	Nuoroda į šaltinį
5.	Kombinuota AHP ir TOPSIS pagrįsta sprendimų priėmimo sistema greitkelių dangos tipo pasirinkimui (Sahin, Aksoy, 2025)	TOPSIS metodas buvo taikytas kelių dangos tipo pasirinkimui. TOPSIS pagal nustatytus svorius įvertino ir išrikiavo alternatyvas, nustatydamas, kuri danga yra arčiausiai „idealaus“ sprendimo pagal visus kriterijus.	https://doi.org/10.3390/su17219396
6.	Surenkamųjų komponentų vertinimo metodika, pagrįsta daugiasluoksniu sudėtinio, derintu su patobulintu TOPSIS metodu (Xu ir kt., 2025)	TOPSIS naudojamas tam, kad, įvertinus įvairius komponentų rodiklius ir jų svorius, būtų nustatyta, kurie komponentai ar jų savybės yra artimiausios idealui ir geriausiai atitinka projektavimo reikalavimus.	https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322236

TOPSIS metodo vertinimo algoritmas:

1. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica [52]:

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (14)$$

čia m – vertinamų alternatyvų skaičius; n – vertinamų kriterijų skaičius.

2. Sprendimų priėmimo matricos normalizavimas [53]:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}; \quad (15)$$

čia x_{ij} – sprendimų priėmimo matricos nariai; i – alternatyva; m – alternatyvų skaičius; j – rodiklis; n – rodiklių skaičius.

3. Svertinės normalizuotos matricos sudarymas:

$$\bar{P}^* = [\bar{P}] \cdot [q]; \quad (16)$$

čia $[\bar{P}]$ – normalizuota matrica; q – integruotasis reikšmingumas.

4. Atliekant alternatyvų vertinimą TOPSIS daugiakriteriu metodu, vertinimo kriterijus galima suskirstyti į idealiai geriausius ir blogiausius. Idealiai geriausios ir blogiausios reikšmės nustatomos pagal (17 ir 18) formules [54]:

$$a^+ = \{(\max_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J), (\min_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J')\} / i = \overline{1, m} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}; \quad (17)$$

$$a^- = \{(\min_i \bar{x}_{ij} | j \in J), (\max_i \bar{x}_{ij} | j \in J')\} / i = \overline{1, m} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}; \quad (18)$$

čia a^+ – idealiai geriausia alternatyva; a^- – idealiai blogiausia alternatyva; J – kriterijų, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – kriterijų, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

5. Atstumų tarp lyginamųjų ir idealiai geriausių bei blogiausių alternatyvų nustatymas [55]:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^+)^2}; i = \overline{1, m}. \quad (19)$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^-)^2}; i = \overline{1, m}. \quad (20)$$

6. Alternatyvos santykinio atstumo iki idealaus nustatymas [56]:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}; \quad (21)$$

čia L_i^+ – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos; L_i^- – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos.

Racionaliausia alternatyva bus ta, kurios K_i reikšmė artimesnė 1 [55].

2.4. Ekspertų apklausos nuomonių suderinamumo skaičiavimas

Tiriamojame dalyje, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus, labai svarbu nustatyti alternatyvų kriterijų reikšmingumus. Šiems reikšmingumams nustatyti taikoma ekspertų apklausa. Apklausa skirta atitinkamos srities ekspertams, turintiems specializuotų žinių ir patirties savo srityje. Šis metodas dažnai taikomas statybos projektų inžinerijos tyrimuose, siekiant gauti patikimus, profesinę praktiką pagrįstus vertinimus ir įžvalgas. Šių tyrimų vaidmuo, pasak Radziszewska-Zielina [57] labai svarbus, o jų tinkamumas neabejotinas bent dviem aspektais:

1. pradiniuose tyrimų etapuose, kuriais siekiama nustatyti analizuojamą problemą;
2. duomenų rinkimo etape, kurio tikslas yra atlikti daugiakriterę analizę arba sukurti ekspertines sistemas akademiniuose straipsniuose ir galiausiai pateikti įrankius praktiniam taikymui.

Pirmuoju atveju apklausos tyrimai atliekami praktikuojančių specialistų ir profesionalų (pvz., atestuotų statybos darbų vadovų) grupėje. Tyrimai skirti atsakyti į klausimą, ar problema, kuri atkreipė tyrėjų dėmesį ir iš akademinės ir profesinės perspektyvos lieka nepakankamai išspręsta (trūksta veiksmingų jos sprendimo metodų ir priemonių), taip pat ar ji kelia problemų (kiek ji yra reikšminga?) grupėms ir asmenims, kurie susiduria su ja savo kasdieniame darbe. Tyrimai skirti nustatyti kylančias problemas, identifikuoti trūkstamus praktinių sprendimų būdus ir priemones joms spręsti, įvertinti esamus poreikius bei paskatinti didesnę susidomėjimą šia tema kaip tolesnių

akademinių studijų dalimi (problema, situacija, reiškinys yra modeliuojami, o tinkami tyrimo metodai bus atrinkti ir pritaikyti arba suformuluoti). Akademinių tyrimų rezultatas bus modelio ir metodų patvirtinimas, o praktikai po tam tikro laiko pasiūlys sprendimą minėtoms problemoms, pavyzdžiui, naudingos specializuotos sprendimų priėmimo priemonės forma. Todėl ekspertų apklausomis grindžiami tyrimai yra pirmasis svarbus etapas statybos inžinerijos tyrimuose. Antruoju atveju tyrimai taip pat naudojami kaip priemonė duomenims iš ekspertų gauti. Tokie duomenys gali būti labai svarbūs taikant konkrečius metodus tam tikroms mokslinių tyrimų problemoms spręsti. Šie metodai gali būti naudojami kuriant tiriamo reiškinio modelį. Šiuo atveju tyrimai naudojami, pavyzdžiui, parametrų ir jų reikšmingumui įvertinti arba taisyklių, taikomų ekspertų sistemose, rinkiniui suformuluoti. Tinkamas ekspertų atrinkimas – kompetentingi, turintys daug žinių ir patirties tiriamoje srityje asmenys (ką patvirtina eksperto profesinė patirtis) ir jų motyvacija dalyvauti tyrime – labai svarbūs organizuojamos apklausos aspektai. Tokiems tyrimams atrinktos patikimų ekspertų grupės paprastai sudaro keletas asmenų [57].

Minimali apklausos imtis (minimalus atsakytų anketų skaičius) nustatoma naudojantis Cochran'o formulę (22) [58]:

$$n = \frac{Nt^2 \cdot pq}{Nd^2 + t^2pq}; \quad (22)$$

čia N – anketų skaičius; t – patikimumo lygis (priimta 95 proc.); p – apklausoje dalyvavusių atestuotų specialistų dalis, $q = 1-p$; d – pageidautinas tikslumas (priimta ± 5 proc.) .

Atlikus ekspertų apklausą yra apdorojami apklausos rezultatai. Pasinaudojant (23) formule nustatoma kriterijaus $\bar{t}_j$ vidutinė įvertinimo reikšmė [59]:

$$\bar{t}_i = \left(\sum_{k=1}^r t_{ik} \right) / r; \quad (23)$$

čia t_{ik} – k -tojo eksperto j -tojo rodiklio įvertinimas; r – ekspertų skaičius.

Kiekvieno rodiklio reikšmingumas įvertinamas pasinaudojant (24) formulę:

$$q_j = \frac{\bar{t}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{t}_i}. \quad (24)$$

Daugiakriterių sprendimų priėmimo (MCDM) procesuose kriterijų reikšmingumo nustatymas dažniausiai grindžiamas ekspertų vertinimais. Tačiau norint pritaikyti rezultatus praktikoje, būtina įrodyti ekspertų nuomonių nuoseklumą. Šį nuoseklumą įvertina Kendall'o konkordancijos koeficientas, kuris vertinamas pagal ekspertų sudarytų kriterijų reikšmingumą ir jų pasikartojimą. Kendall'o konkordancijos koeficientas apskaičiuojamas pagal (25) formulę [60]:

$$\overline{W} = \frac{12S}{r^2 \cdot (n^3 - n)}. \quad (25)$$

Minėto koeficiento reikšmė yra atsitiktinis dydis, kurio nustatymui būtina žinoti ekspertų skaičių (r) bei lyginamų objektų (n) skirtingų reikšmių pasiskirstymo dažnį.

Koeficiento W reikšmės priklauso intervalui $[0;1]$. Kuo mažesnė ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnis, tuo arčiau nulio bus konkordancijos koeficiento W reikšmė, kuo didesnis suderinamumas, tuo labiau W artės prie 1 [60].

Kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų suma nustatoma pagal (26) formulę:

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{k=1}^r t_{ik} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2 ; \quad (26)$$

čia S – kiekvieno rodiklio įvertinimo rezultatų nukrypimo kvadratų suma; t_{ik} – k eksperto i rodikliui priskiriamas rangas; n – vertinimų rodiklių skaičius; r – ekspertų skaičius.

Jei, apdorojus ekspertų apklausos rangavimo rezultatus, nustatoma rangų sutapimų, jie įvertinami taikant (27) formulę [61]:

$$T_k = \sum_{l=1}^{H_i} (h_l^3 - h_l) ; \quad (27)$$

čia T_k – k -tojoje eilutėje sutampančių rangų rodiklis; H_i – lygių rangų grupių skaičius; h_l – lygių rangų, l -ajai susijusių rangų grupėje skaičius, įvertinant k ekspertui.

Konkordancijos koeficiento reikšmei nustatyti naudojama (28) formulė [62]:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{r \cdot n \cdot (n + 1)} . \quad (28)$$

Tikriname ar tenkinama sąlyga :

$$\chi^2 > \chi_{lent}^2 . \quad (29)$$

Jei naudojant (29) formulę, apskaičiuota reikšmė χ^2 yra didesnė už lentelės χ_{krit}^2 reikšmę, atitinkančią laisvės laipsnių skaičių ir nustatytą reikšmingumo lygį, laikoma kad ekspertų nuomonės yra suderinamos. Priešingu atveju laikoma, kad apklausos dalyvių nuomonės iš esmės skiriasi ir nesusuderintos.

Norminė χ_{lent}^2 reikšmė priklauso nuo laisvumo laipsnio ($\nu = n - 1$) ir reikšmingumo lygio (0,01).

3. Tiriamoji dalis

Šioje baigiamojo projekto dalyje lyginamos gyvenamosios paskirties trijų ir daugiau butų (daugiabučių) pastatų atnaujinimo (modernizavimo) procese naudojamos IVTS, norint pasiekti pastato „A“ ir „B“ energinio naudingumo klases:

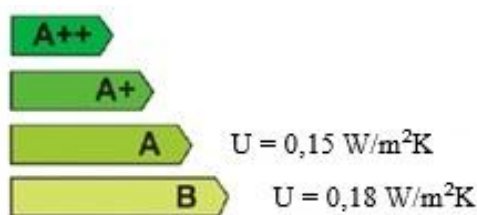
- IVTS su bazalto pluošto kompozito konsolėmis;
- IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis;
- IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis;
- IVTS su aliuminio konsolėmis.

Šio daugiabučio išorinių atitvarinių sienų šilumos perdavimo koeficientas priimamas, remiantis STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ 5 priedo, 5.1 lentelę: Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose. Šių sienų šilumos perdavimo koeficiento vertė yra $U = 1,27 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ [41]. Pagrindiniai techniniai-ekonominiai pastato rodikliai pateikiami 6 lentelėje:

6 lentelė. Pastato techniniai-ekonominiai rodikliai

Statybos užbaigimo metai	1991
Pastato aukštų skaičius	4
Pastato naudingas plotas, m ²	703,69
Pastato šildomas plotas, m ²	779,38
Išorinių sienų plotas (atėmus langų ir kitų angų plotą) įskaitant angokraščius m ²	847,50
Pastato aukštis, m	13,50
Išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas W/(m ² K)	1,27

Tolimesniam tyrimui priimta, kad po modernizacijos (atnaujinimo) šio pastato išorinės sienos turės atitikti vienu atveju „A“ energinio naudingumo klasę, o kitu – „B“ energinio naudingumo klasę keliamą gyvenamųjų pastatų išorinėms sienoms.



12 pav. Sienų šilumos perdavimo koeficiento U (W/(m²·K)) vertės „A“ ir „B“ energinio naudingumo klasės gyvenamiesiems pastatams [41].

Laikančiojo karkaso žingsnis pasirinktas atsižvelgiant į fasado apdailą – 600 mm. Konsolių skaičius 1 m² priimamas:

- laikančiųjų konsolių – 1,14 vnt./m²;
- prilaikančiųjų konsolių – 2,66 vnt./m².

3.1. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimas

Atitvarų visuminės šiluminės varžos reikšmės apskaičiuotos pagal (1-4) formules. Skaičiavimo rezultatai pateikti 7-14 lentelėse.

7 lentelė. IVTS su bazalto kompozito konsolėmis („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

Sistemos tvirtinimo elementas: kompozito konsolės 30 170 270 10 — + Smeigė Ejot DH Gipso - smėlio tinkas, 10 mm Išorinė atitvarinė siena, 270 mm Akmenis vata Isover Standart 35, 170 mm $\lambda_d = 0,035 \text{ W/mK}$ Akmenis vata Isover SKL, 30 mm $\lambda_d = 0,031 \text{ W/mK}$ Vėdinamas oro tarpas Išorės apdaila - lakštinė apdaila, 10 mm	Sluoksnių pavadinimas	Sluoksnių storis d, m	Sluoksnių varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,130
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,17	4,722
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,130
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	6,55

8 lentelė. IVTS su bazalto kompozito konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

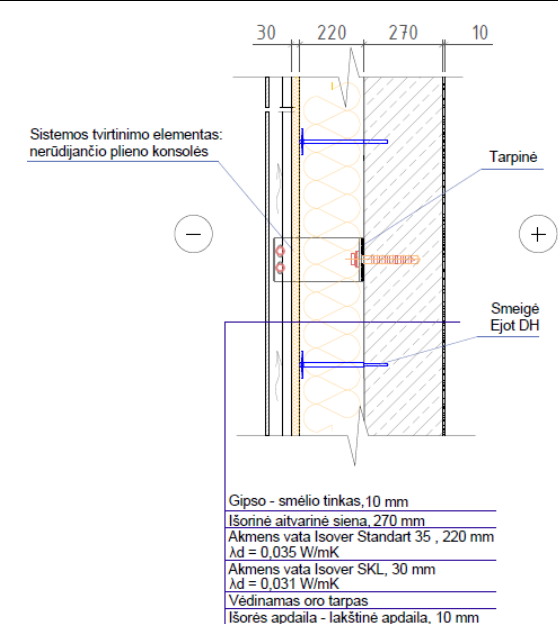
Sistemos tvirtinimo elementas: kompozito konsolės 30 140 270 10 — + Smeigė Ejot DH Gipso - smėlio tinkas, 10 mm Išorinė atitvarinė siena, 270 mm Akmenis vata Isover Standart 35, 140 mm $\lambda_d = 0,035 \text{ W/mK}$ Akmenis vata Isover SKL, 30 mm $\lambda_d = 0,031 \text{ W/mK}$ Vėdinamas oro tarpas Išorės apdaila - lakštinė apdaila, 10 mm	Sluoksnių pavadinimas	Sluoksnių storis d, m	Sluoksnių varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,14	3,889
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	5,71

Apskaičiuojamas IVTS su bazalto kompozito konsolėmis šilumos perdavimo koeficientas U $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, įvertinant pataisą dėl konsolių įtakos ΔU $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ remiantis (6, 7) formulėmis:

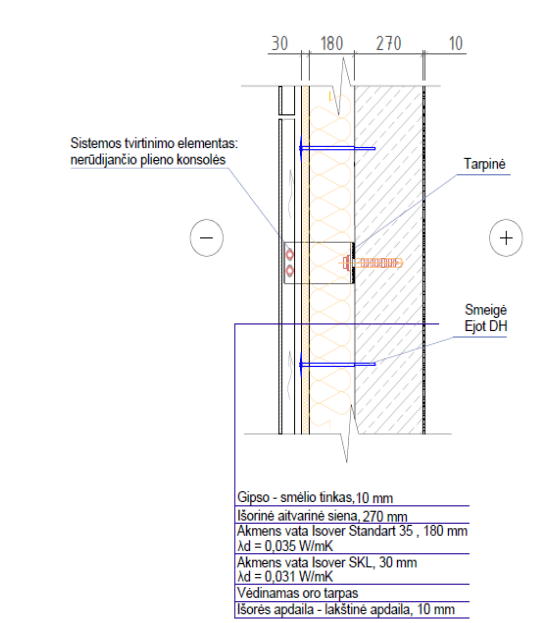
$$U_{(A)} = \frac{1}{6,55} + 0,0008 = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_{(B)} = \frac{1}{5,71} + 0,0009 = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

9 lentelė. IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

 Sistemos tvirtinimo elementas: nerūdijančio plieno konsolės Tarpinė Smeigė Eجت DH Gipso - smėlio tinkas, 10 mm Išorinė aitvarinė siena, 270 mm Akmens vata Isover Standard 35, 220 mm $\lambda_d = 0,035 \text{ W/mK}$ Akmens vata Isover SKL, 30 mm $\lambda_d = 0,031 \text{ W/mK}$ Vėdinamas oro tarpas Išorės apdaila - lakštinė apdaila, 10 mm	Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis d, m	Sluoksnio varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,22	6,111
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	7,94

10 lentelė. IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

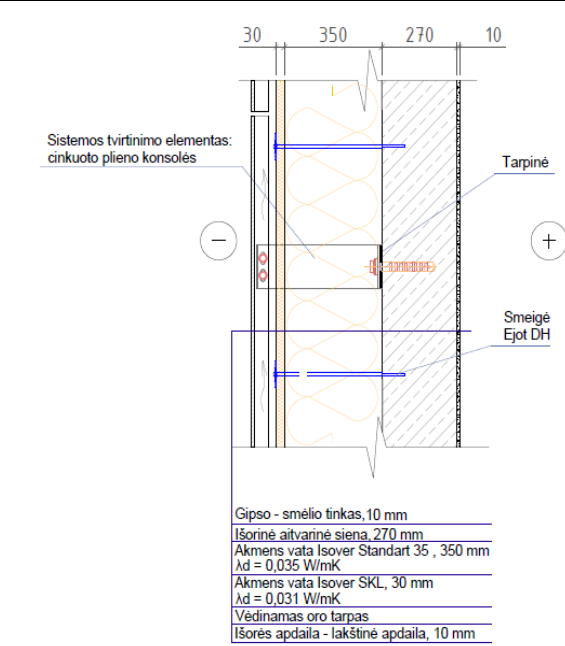
 Sistemos tvirtinimo elementas: nerūdijančio plieno konsolės Tarpinė Smeigė Eجت DH Gipso - smėlio tinkas, 10 mm Išorinė aitvarinė siena, 270 mm Akmens vata Isover Standard 35, 180 mm $\lambda_d = 0,035 \text{ W/mK}$ Akmens vata Isover SKL, 30 mm $\lambda_d = 0,031 \text{ W/mK}$ Vėdinamas oro tarpas Išorės apdaila - lakštinė apdaila, 10 mm	Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis d, m	Sluoksnio varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,18	5,000
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	6,82

Apskaičiuojamas IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis šilumos perdavimo koeficientas U $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, įvertinant pataisą dėl konsolių įtakos ΔU $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ remiantis (6, 7) formulėmis:

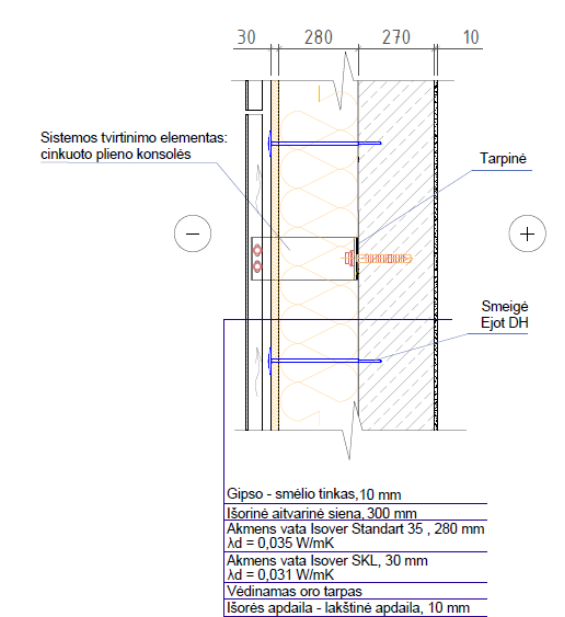
$$U_{(A)} = \frac{1}{7,94} + 0,0275 = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_{(B)} = \frac{1}{6,82} + 0,0318 = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

11 lentelė. IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

	Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis d, m	Sluoksnio varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,35	9,722
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	11,55

12 lentelė. IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

	Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis d, m	Sluoksnio varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,28	7,778
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	9,60

Apskaičiuojamas IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis šilumos perdavimo koeficientas U $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, įvertinant pataisą dėl konsolių įtakos ΔU $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ remiantis (6, 7) formulėmis:

$$U_{(A)} = \frac{1}{11,55} + 0,0649 = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_{(B)} = \frac{1}{9,60} + 0,0777 = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

13 lentelė. IVTS su aliuminio lydinio („A“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita.

Gipso - smėlio tinkas, 10 mm Išorinė atitvarinė siena, 270 mm Akmens vata Isover Standard 35, 660 mm $\lambda_d = 0,035 \text{ W/mK}$ Akmens vata Isover SKL, 30 mm $\lambda_d = 0,031 \text{ W/mK}$ Vėdinamas oro tarpas Išorės apdaila - lakštinė apdaila, 10 mm	Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis d, m	Sluoksnio varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,66	18,333
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	20,16

14 lentelė. IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis („B“ energinio naudingumo klasės pastato) principinė schema ir sienos visuminės šiluminės varžos R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) skaičiavimo ataskaita

Gipso - smėlio tinkas, 10 mm Išorinė atitvarinė siena, 270 mm Akmens vata Isover Standard 35, 560 mm $\lambda_d = 0,035 \text{ W/mK}$ Akmens vata Isover SKL, 30 mm $\lambda_d = 0,031 \text{ W/mK}$ Vėdinamas oro tarpas Išorės apdaila - lakštinė apdaila, 10 mm	Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis d, m	Sluoksnio varža R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Tinkas	0,01	0,010
	Gyvenamosios paskirties pastatų sienos iki 1992 m. pastatytuose pastatuose	0,27	0,617
	Isover Standart 35	0,56	15,556
	Isover SKL	0,03	0,938
	Atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža		0,13
	Atitvaros visuminė šiluminė varža	R_t ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	17,38

Apskaičiuojamas IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis šilumos perdavimo koeficientas $U \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, įvertinant pataisą dėl konsolių įtakos $\Delta U \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ remiantis (6, 7) formulėmis:

$$U_{(A)} = \frac{1}{11,55} + 0,0649 = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$U_{(B)} = \frac{1}{9,60} + 0,0777 = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

IVTS naudojamos konsolės skiriasi ne tik savo konstrukcija, bet ir gamyboje panaudotų medžiagų šilumos laidumu. Šiame darbe lyginamų konsolių gamyboje naudojamų medžiagų šilumos perdavimo koeficientų vertės pateiktos 15 lentelėje.

15 lentelė. Konsolių medžiagos šilumos laidumo koeficientų vertės λ , W/(m·K) [41, 64]

Eil. Nr.	Metalo pavadinimas	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas λ , W/(m·K)
1.	Aliuminio lydinys	160
2.	Cinkuotas plienas	50
3.	Nerūdijantis plienas	17
4.	Bazalto pluošto kompozitas	0,27

Kitas nemažiau svarbus aspektas, vertinant konsolių įtaką termoizoliacinio sluoksnio storiui, yra taškinių šilumos tiltelių poveikis atitvaros šilumos perdavimo koeficiento U (W/(m²·K)) projektinei vertei. Taškinių šilumos tiltelių įtakos skaičiavimui naudotos 8-10 formulės.

Taškinių šilumos tiltelių įtaka proc. pateikta 16 lentelėje.

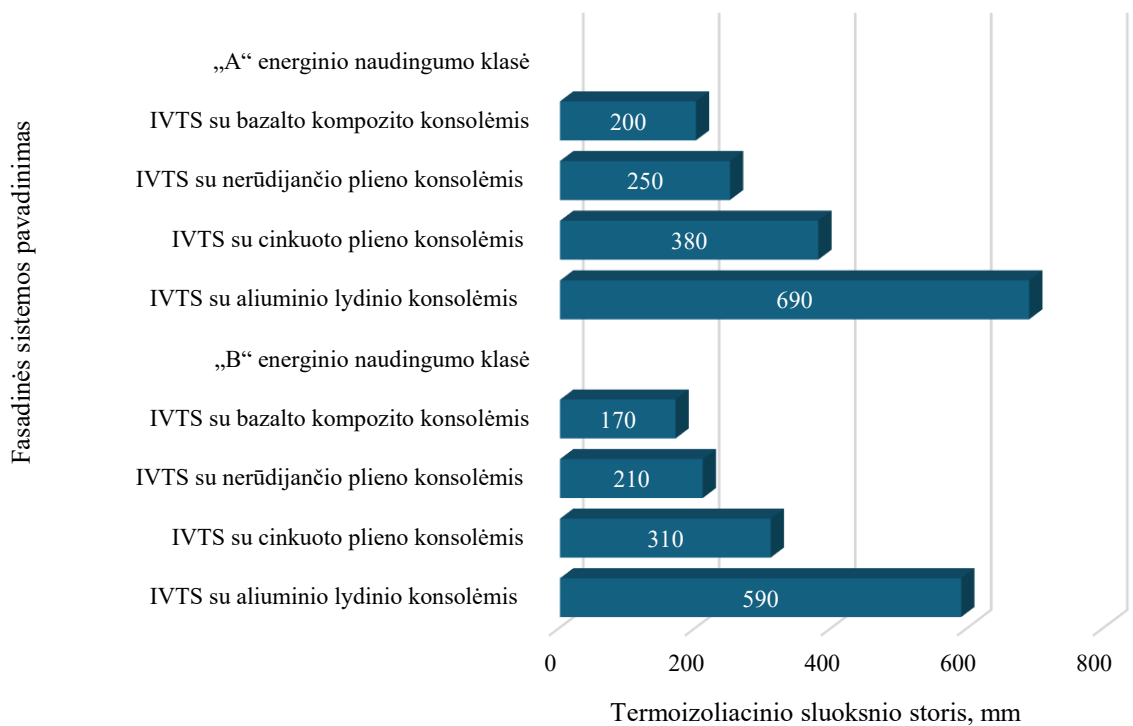
16 lentelė. Taškinių šilumos tiltelių įtaka šilumos perdavimo koeficiento vertei

Pavadinimas	Atitvaros šilumos perdavimo koeficiento pataisa, ΔU W/(m ² ·K)	Įtaka šilumos perdavimo koeficiento U vertei, proc.
A energinio naudingumo klasė		
Bazalto kompozito konsolės	0,0008	0,53
Nerūdijančio plieno konsolės	0,0275	18,33
Cinkuoto plieno konsolės	0,0649	43,27
Aliuminio lydinio konsolės	0,1045	69,67
B energinio naudingumo klasė		
Bazalto kompozito konsolės	0,0009	0,50
Nerūdijančio plieno konsolės	0,0318	17,67
Cinkuoto plieno konsolės	0,0777	43,17
Aliuminio lydinio konsolės	0,1209	67,17

Įvertinus konsolių, kertančių IVTS termoizoliacinį sluoksnį, taškinių šilumos tiltelių įtaką šilumos perdavimo koeficiento vertei, galima teigti, kad mažiausia įtaka daro bazalto pluošto kompozito konsolės. Vertinant „A“ energinio naudingumo klasės atitvaras – 0,53 procento, o vertinant „B“ energinio naudingumo klasės atitvaras – 0,50 procento.

Didžiausią įtaką atitvaros šilumos perdavimo koeficiento vertei turi aliuminio lydinio konsolės – „A“ energinio naudingumo klasės atitvaroms 69,67 procentų.

Termoizoliacinio sluoksnio storio priklausomybė nuo konsolių kertančių šilumos izoliacijos sluoksnį, panaudojimo IVTS pateikta 13 paveikslėlyje.



13 pav. Termoizoliacinio sluoksnio storis

Šioje diagramoje pateiktas reikalingas termoizoliacinės medžiagos sluoksnio storis, kuris yra panaudojamas siekiant užtikrinti išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientų U ($W/(m^2 \cdot K)$) normines vertes [41].

Kaip matyti iš 13 paveikslėlio, termoizoliacinio sluoksnio storis yra tiesiogiai priklausomas nuo IVTS panaudotų tvirtinimo elementų medžiagos fizikinių savybių. Konsolių šilumos laidumo vertė λ ($W/(m \cdot K)$) turi tiesioginę įtaką atitvaros šilumos perdavimo koeficiento U vertei [63].

Gauti rezultatai leidžia teigti, kad pats storiusias termoizoliacinės medžiagos sluoksnis, lyginant tos pačios energinės naudingumo klasės išorines atitvaras yra, IVTS įrengti naudojant aliuminio lydinio konsoles. Termoizoliacinės medžiagos sluoksnis „A“ energinio naudingumo klasės pastato sienoms 690 mm, o „B“ energinio naudingumo klasės sienoms 590 mm. Efektyviausia alternatyva fasadinėje sistemoje – panaudoti bazalto pluošto kompozito konsoles. Šiuo atveju reikalingas termoizoliacinės medžiagos sluoksnis, norint pasiekti „A“ energinio naudingumo klasę, yra 71 proc. plonesnis, palyginus su mažiausiai efektyvia alternatyva, kurioje naudojamos aliuminio lydinio konsolės. Tuo tarpu, siekiant kad atitvara atitiktų „B“ energinio naudingumo klasę, šis skirtumas yra 71,2 proc.

3.2. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų atsiperkamumas

3.2.1. Šilumos nuostoliai per pastato išorines sienas

Šilumos nuostoliai per pastato išorines sienas apskaičiuojami pasinaudojant šio baigiamojo projekto antroje dalyje pateikta 11 formulę. Kadangi šiame darbe analizuojamos alternatyvos, priskiriamos „A“ ir „B“ energinio naudingumo klasėms, kiekvienos alternatyvos šilumos perdavimo koeficientai U ($W/(m^2 \cdot K)$) yra vienodi ir atitinka normines šilumos perdavimo koeficiento vertes. Dėl šios

priežasties mėnesiniai šilumos nuostoliai per išorines pastato atitvaras kinta tik priklausomai nuo pastato energinio naudingumo klasės. Kiekvieno šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas „A“ energinio naudingumo klasės pastate, kurio projektinis šilumos perdavimo koeficientas yra lygus $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, pateikti 17 lentelėje.

17 lentelė. Šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas „A“ energinio naudingumo klasės pastate

Šildymo sezono, mėn.	Dienų skaičius atitinkamą mėn.	Pastato sienų plotas, m^2	Sienų šilumos perdavimo koeficientas, $\text{U W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Pastato vidaus patalpų temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Mėnesio vidutinė oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Mėnesio skaičiuojamieji šilumos nuostoliai, $(\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mėn}))$
Spalis	31	847,50	0,15	20	7,0	1,578
Lapkritis	30	847,50	0,15	20	2,4	2,067
Gruodis	31	847,50	0,15	20	-1,3	2,585
Sausis	31	847,50	0,15	20	-3,1	2,803
Vasaris	28	847,50	0,15	20	-2,8	2,499
Kovas	31	847,50	0,15	20	0,9	2,318
Balandis	30	847,50	0,15	20	7,4	1,480
Iš viso ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{metai})$)						15, 329

Pastato, kurio energinio naudingumo klasė yra „B“, o projektinis šilumos perdavimo koeficientas U yra lygus $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kiekvieno šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas pateikti 18 lentelėje.

18 lentelė. Šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas „B“ energinio naudingumo pastate

Šildymo sezono, mėn.	Dienų skaičius atitinkamą mėn.	Pastato sienų plotas, m^2	Sienų šilumos perdavimo koeficientas, $\text{U W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Pastato vidaus patalpų temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Mėnesio vidutinė oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Mėnesio skaičiuojamieji šilumos nuostoliai, $(\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mėn}))$
Spalis	31	847,50	0,18	20	7,0	1,893
Lapkritis	30	847,50	0,18	20	2,4	2,480
Gruodis	31	847,50	0,18	20	-1,3	3,102
Sausis	31	847,50	0,18	20	-3,1	3,364
Vasaris	28	847,50	0,18	20	-2,8	2,999
Kovas	31	847,50	0,18	20	0,9	2,781
Balandis	30	847,50	0,18	20	7,4	1,776
Iš viso: ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{metai})$)						18,395

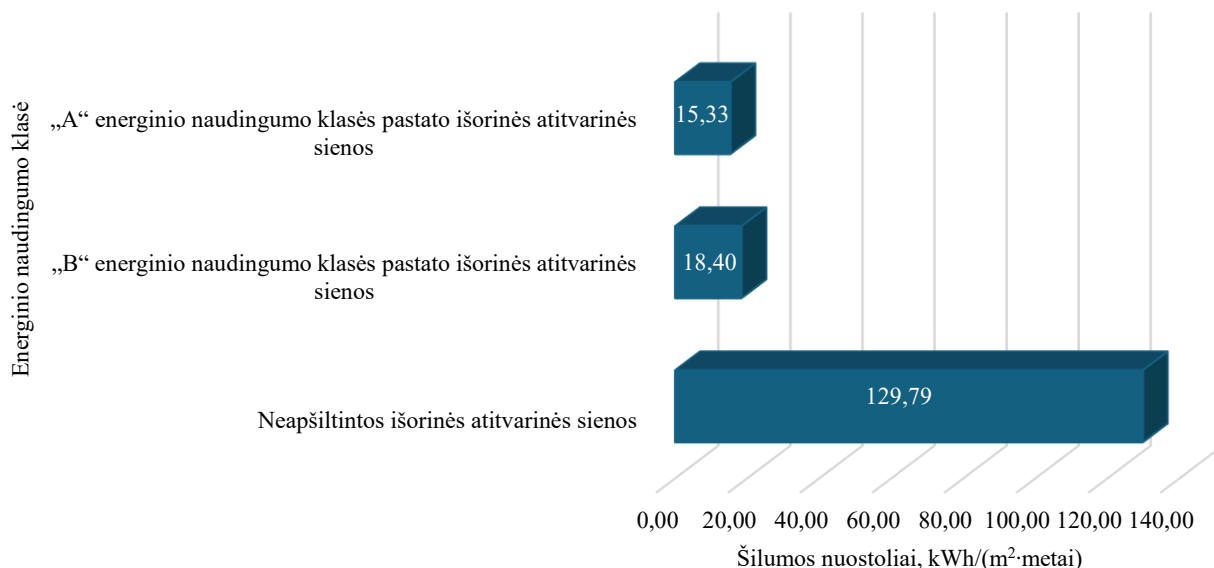
Pastato sutaupomos energijos kiekiu nustatyti, būtina įvertinti šilumos energijos nuostolius per pastato išorines sienas iki pastato modernizacijos, kai šių senų šilumos perdavimo koeficientas siekė

$U = 1,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Šių išorinių atitvarinių sienų šilumos nuostoliai per šildymo sezono mėnesius pateikti 19 lentelėje.

19 lentelė. Šildymo sezono mėnesio šilumos nuostoliai per išorines sienas neapšildintame pastate

Šildymo sezono, mėn.	Dienų skaičius atitinkamą mėn.	Pastato sienų plotas, m ²	Sienų šilumos perdavimo koeficientas, $U \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Pastato vidaus patalpų temperatūra, °C	Mėnesio vidutinė oro temperatūra, °C	Mėnesio skaičiuojamieji šilumos nuostoliai, (kWh/(m ² ·mėn))
Spalis	31	847,50	1,27	20	7,0	13,357
Lapkritis	30	847,50	1,27	20	2,4	17,500
Gruodis	31	847,50	1,27	20	-1,3	21,885
Sausis	31	847,50	1,27	20	-3,1	23,734
Vasaris	28	847,50	1,27	20	-2,8	21,159
Kovas	31	847,50	1,27	20	0,9	19,625
Balandis	30	847,50	1,27	20	7,4	12,528
Iš viso: (kWh/(m ² ·metai))						129,789

Šildymo sezono šilumos nuostolių kWh/(m²·metai), per išorines pastato sienas palyginimas, atsižvelgiant į pastato energinio naudingumo klasę, pateiktas 14 paveikslėlyje.



14 pav. Šildymo sezono šilumos nuostoliai per išorines pastato sienas kWh/(m²·metus)

Kaip matyti iš pateiktų skaičiavimų rezultatų, šilumos nuostoliai per neapšildintas pastato sienas, kurių šilumos perdavimo koeficientas $U = 1,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, sudaro 129,79 kWh/(m²·metus). Tai yra net 88,19 procentais didesni nuostoliai palyginus su apšildinta siena, kurios šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ir kuri atitinka norminius reikalavimus, taikomus „A“ energinio

naudingumo pastato išorinėms sienoms ir 85,82 procentais didesni nuostoliai lyginant su pastatu, kuris tenkina „B“ energinio naudingumo klasės reikalavimus.

Apskaičiuojamas sutaupomas šilumos energijos kiekis kWh/(m²·metus) pagal (12) formulę.

Sutaupomas šilumos kiekis ΔS per išorines sienas ir sutaupomas lėšų kiekis (procentais) įvertinus šilumos energijos kainą Eur/ kWh pateiktas 20 lentelėje.

Vertinant sutaupyto lėšų kiekį, šilumos energijos kaina buvo nustatyta remiantis AB „Panevėžio energija“ valdybos 2025 m. rugsėjo 24 d. sprendimu. Nuo 2025 m. spalio 1 d. centralizuotai tiekiamos šilumos ir karšto vandens kaina sudaro 6,28 ct/kWh (be PVM) [65].

20 lentelė. Sutaupomas šilumos energijos kWh/(m²·metus) ir lėšų kiekis.

Palyginamosios išorinės atitvarinės sienos	Sutaupomas šilumos energijos kiekis kWh/(m ² ·metus)	Sutaupomas lėšų kiekis proc.
Palyginus neapšiltintas išorines atitvarines sienas ir „A“ energinio naudingumo klasės pastato išorines atitvarines sienas.	114,46	88,1 proc.
Palyginus neapšiltintas išorines atitvarines sienas ir „B“ energinio naudingumo klasės pastato išorines atitvarines sienas.	111,39	85,7 proc.

Gautų rezultatų analizė rodo, kad, palyginus „A“ energinio naudingumo klasės pastato sienas su neapšiltintomis išorinėmis atitvaromis, sutaupomas lėšų kiekis yra 88,1 procentai, o „B“ energinio naudingumo klasės pastato sienas – 85,7 procentai.

3.2.2. Vėdinamos išorinės termoizoliacinės sistemos įrengimo kainos skaičiavimas

Atlikus IVTS naudotų medžiagų kiekių ir kainos skaičiavimą sąmatų sudarymo kompiuterine programa „Sistela“, rezultatai pateikti 21 lentelėje. Skaičiavimų lokalinė sąmata pateikta prieduose (žr. 1 priedą).

21 lentelė. Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimo kaina, 100 m²/Eur. (be PVM)

Pavadinimas	Vėdinamos termoizoliacinės sistemos kaina, 100 m ² /Eur. be PVM
A energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	13575,74
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	11818,95
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	12577,31
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	14957,83
B energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	13080,85
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	11396,72
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	11986,31
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	13542,19

Lyginant alternatyvas pagal termoizoliacinės sistemos 100 m² įrengimo kainą, pigiausia fasadinė sistema yra su nerūdijančio plieno konsolėmis. Ši alternatyva lyginant „A“ energinio naudingumo klasės atitvaras su brangiausia fasadine sistema, kurioje naudojamos aliuminio lydinio konsolės yra 26,56 procentų pigesnė, o lyginant „B“ energinio naudingumo atitvaras šis skirtumas yra 18,83 procentai.

3.2.3. Energinio taupymo priemonių ekonominio efektyvumo vertinimas

Energijos taupymo priemonių ekonominis efektyvumas įvertinamas skaičiuojant paprastąjį atsipirkimo laiką (PAL) [47]. Paprastas atsipirkimo laikotarpis apibrėžiamas kaip metų skaičius, per kurį dėl įgyvendintų energijos vartojimo mažinimo priemonių pasiekti sutaupymai, kompensuoja pradinės investicijos sąnaudas. Šiame darbe šis kriterijus skaičiuojamas įvertinant finansines investicijas, skirtas pastato išorinių atitvarinių sienų energinio naudingumo klasei didinti, įrengiant termoizoliacinę sistemą. Paprastas atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal (13) formulę, skaičiavimo rezultatai pateikti 22 lentelėje.

22 lentelė. Paprastas investicijų atsipirkimo laikas (m.)

Pavadinimas	Paprastas atsipirkimo laikas (PAL) m.
A energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	18,9
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	16,4
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	17,5
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	20,8
B energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	18,7
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	16,3
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	17,1
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	19,3

Įvertinus gautus skaičiavimų duomenis, nustatyta, kad tiek „A“, tiek „B“ energinio naudingumo klasės pastatų atveju ekonomiškiausios ir greičiausiai atsiperkančios yra IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis. Analizuojamų sistemų paprastas atsipirkimo laikotarpis sudaro atitinkamai 16,4 metų ir 16,3 metų. Naudojant termoizoliacinę sistemą su aliuminio lydinio konsolėmis, „A“ energinio naudingumo klasės pastatuose, paprastas atsipirkimo laikotarpis yra 4,4 metais ilgesnis, lyginant su ekonomiškiausia alternatyva, o „B“ energinio naudingumo klasės pastatuose šis laikotarpis yra 3 metais ilgesnis. Tuo tarpu palyginus efektyviausia alternatyvą su antroje vietoje likusia fasadine sistema su cinkuoto plieno konsolėmis skirtumas „A“ klasės pastatuose yra 1,1 metai, o „B“ – 1,2 metai.

3.3. Vėdinamos termoizoliacinės sistemos montavimo trukmė

Vertinant IVTS efektyvumą, svarbiu analizės kriterijumi laikomas kiekvienos nagrinėjamos alternatyvos montavimo trukmės įvertinimas. Šio rodiklio reikšmės nustatytos, remiantis skaičiavimais atliktais sąmatų sudarymo programa „Sistela“, darbo užmokesčio žiniaraščiu, žiūrėti 2 priedą. Apskaičiuotos darbo sąnaudos pateiktos 23 lentelėje.

23 lentelė. Darbo sąnaudos

Pavadinimas	Darbo sąnaudos žm. val./100 m ²
A energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	308,9
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	312,4
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	321,5
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	343,2
B energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	306,8
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	309,6
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	316,6
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	336,2

Išanalizavus 23 lentelėje pateiktus duomenimis, galima teigti, kad mažiausios darbo sąnaudos yra montuojant IVTS su bazalto pluošto kompozito konsolėmis. Darbo sąnaudos, įrengiant „A“ energinio naudingumo pastato fasadą, yra 308,9 žm. val./100 m², o įrengiant „B“ energinio naudingumo pastato fasadą – 306,8 žm. val./100 m². Darbo sąnaudų skirtumas tarp mažiausiai efektyvios išorinės vėdinamos sistemos su aliuminio lydinio konsolėmis sudaro „A“ energinio naudingumo pastate 11,10 procento, o „B“ klasės pastate šis skirtumas 9,58 procento.

3.4. Termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina

IVTS medžiagų kaina apskaičiuota remiantis apklausos duomenimis, gautais apklausiant šios sistemos tiekėjus. Alternatyvų palyginimui taikytos 2025 m. rugsėjo mėnesio vidutinės rinkos kainos. Skaičiavimai atlikti sąmatų sudarymo programa „Sistela“. Skaičiavimo rezultatai pateikti 24 lentelėje. Medžiagų poreikio žiniaraštis pateiktas (žr. 3 priedą).

24 lentelė. Išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina

Pavadinimas	Termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina, Eur/100 m ²
„A“ energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	6741,61
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	5198,16
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	5703,19
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	7392,84
„B“ energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	6353,72
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	4882,52
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	5276,30
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	6299,52

Lyginant alternatyvas pagal termoizoliacinės sistemos medžiagų kainą, pigiausia įrengti fasadinę sistemą su nerūdijančio plieno konsolėmis. Ši alternatyva, lyginant „A“ energinio naudingumo klasės

atitvaras su brangiausia fasadine sistema, kurioje naudojamos aliuminio lydinio konsolės, yra 42,22 procentų pigesnė, o lyginant „B“ energinio naudingumo atitvaras šis skirtumas sudaro 29,02 procentus.

3.5. Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm

Siekiant nustatyti apkrovas laikančių konsolių vertikalią apkrovą, prie kurios konsolės deformuojasi ne daugiau kaip 3 mm, duomenys buvo paimti iš tiekėjų pateiktų ESD (eksploatacinių savybių deklaracijų). Vertinamos laikančiosios konsolės, kurių ilgiai parinkti atsižvelgiant į termoizoliacinio sluoksnio storį. Šie duomenys pateikti 25 lentelėje.

25 lentelė. Laikančiųjų konsolių vertikali apkrova prie kurios konsolės deformuojasi 3 mm

Pavadinimas	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm, N
A energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	325,0
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	342,0
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	295,0
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	156,0
B energinio naudingumo klasė	
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis	350,0
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis	497,0
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis	350,0
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis	220,0

Kaip matyti iš lentelėje pateiktų duomenų, pačią didžiausią vertikalią apkrovą, prie kurios konsolės deformacija 3 mm, gali atlaikyti nerūdijančio plieno konsolės, kurių konstrukcinis ilgis yra: „A“ energinio naudingumo klasės fasaduose – 300 mm, o „B“ energinio naudingumo klasės fasaduose – 260 mm.

3.6. Statybų srities atestuotų specialistų apklausa

Alternatyvų vertinimo kriterijų reikšmingumui nustatyti buvo atlikta nuotolinė statybos dalyvių apklausa. Apklausos respondentais pasirinkti kvalifikuoti pagrindinių statybos sričių specialistai, turintys atestatus, patvirtinančius jų profesinę kvalifikaciją.

Atrinktos vienuolika statybos įmonių, kurioms elektroniniu paštu išsiųsti laiškai su nuoroda į „Microsoft Forms“ aplinkoje parengta apklausą (žr. 1 priedą) ir prašymu pasidalinti šia nuoroda su jų įmonėje dirbančiais pagrindinių statybos sričių atestuotais specialistais.

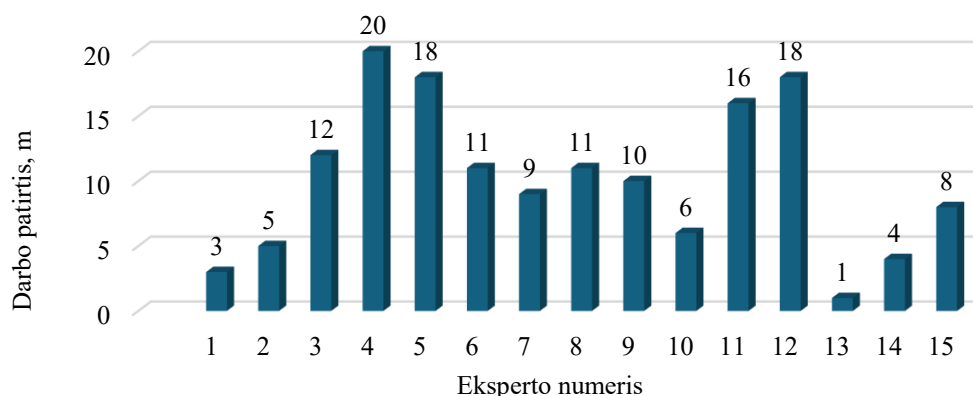
Šios apklausos sudarymo metu atestuotiems statybos srities specialistams pateikti šie klausymai:

1. Kiek metų dirbate pagrindinių statybos sričių atestuotu specialistu (-e) ?
2. Kokius turite pagrindinių statybos sričių vadovų atestatus ?
3. Įvertinkite pateiktų kriterijų reikšmingumą. Reikšmingiausią kriterijų reitinguokite 5 vietoje, mažiausiai reikšmingą – 1 vietoje.

Vertinimui pateikti šie kriterijai:

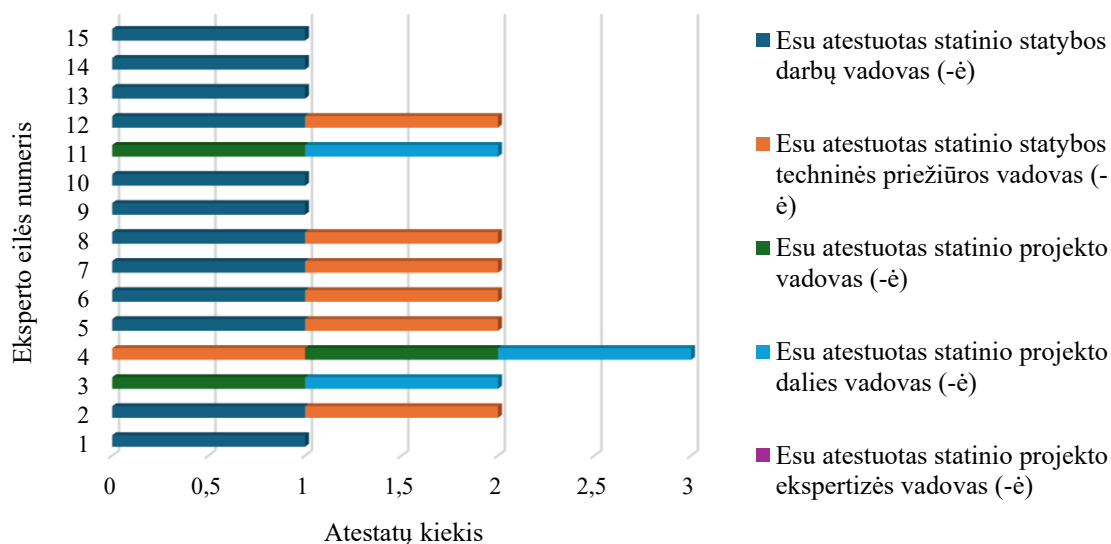
- Termoizoliacinio sluoksnio storis, mm.
- Sistemos medžiagų kaina, Eur/100 m².
- Sistemos montavimo trukmė, žm.val./100 m².
- Išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos atsiperkamumas, m.
- Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm, N.

Apklausoje dalyvavusių respondentų (atestuotų ekspertų) pasiskirstymas pagal darbo patirtį pateiktas diagramoje (žr. 15 pav.).



15 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal darbo patirtį

Apklausoje dalyvavusių respondentų (atestuotų ekspertų) pasiskirstymas pagal turimų atestatų skaičių pateiktas diagramoje (žr. 16 pav.).



16 pav. Apklausoje dalyvavusių respondentų pasiskirstymas pagal turimų atestatų skaičių

Apklausoje dalyvavo 15 atestuotų pagrindinių statybos sričių specialistų. Atsižvelgiant į jų profesinę darbo patirtį statybų sektoriuje ir turimų kvalifikaciją patvirtinančių atestatų skaičių, tolimesnei analizei buvo atrinkta 12 ekspertų. Jų pateikti vertinimai panaudoti nustatant kriterijų reikšmingumus.

Pasirinktų respondentų apklausos rezultatai pateikti 5 priede, kriterijų subjektyvaus reikšmingumo skaičiavimo rezultatus žiūrėti 26 lentelėje.

26 lentelė. Kriterijų subjektyvus reikšmingumas

Eksperto Nr.	Vertinamieji kriterijai				
	Termoizoliacinio sluoksnio storis, mm	Sistemos medžiagų kaina, Eur/100 m ²	Sistemos montavimo trukmė, žm. val./100 m ²	Paprastasis atsipirkimo laikas, metai	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm, N
Rangų suma	38	44	48	23	27
Vidutinis rangas	3,167	3,667	4,000	1,917	2,250
Prioritetas	3	2	1	5	4
Kriterijų subjektyvus reikšmingumas	0,211	0,244	0,267	0,128	0,150

Pasinaudoję 24 formule ir nustatę kriterijų reikšmingumą, matome, kad didžiausią subjektyvaus reikšmingumo balą surinko išorinės vėdinamos termoizoliacinės sistemos montavimo laikas, šis kriterijus gavo 0,267 santykinio reikšmingumo balo. Mažiausiai reikšmingas kriterijus apklausoje dalyvavusių ekspertų nuomone liko išorinės termoizoliacinės sistemos atsiperkamumas. Šis kriterijus surinko tik 0,150 santykinio reikšmingumo balo. Šiuos kriterijų subjektyvius reikšmingumus naudosime atliekant alternatyvų palyginamąją analizę TOPSIS daugiakriteriu metodu.

Sekančiame etape ekspertu nuomonių suderinamumui nustatyti, skaičiuojamas konkordancijos koeficientas W , kurį apibrėžia Kendall'o konkordancijos koeficientas [55].

Naudojant 26 formulę nustatoma kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų suma:

$$S = \left(38 - \frac{1}{5} \cdot 180\right)^2 + \left(44 - \frac{1}{5} \cdot 180\right)^2 + \left(48 - \frac{1}{5} \cdot 180\right)^2 + \left(23 - \frac{1}{5} \cdot 180\right)^2 + \left(27 - \frac{1}{5} \cdot 180\right)^2 = 462.$$

Pagal 25 formulę apskaičiuojamas konkordancijos koeficientas W :

$$\overline{W} = \frac{12 \cdot 462}{12^2 \cdot (5^3 - 5)} = 0,3208.$$

Konkordancijos koeficiento reikšmingumas nustatomas pagal 28 formulę:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 462}{12 \cdot 5 \cdot (5 + 1)} = 15,4.$$

Tikrinama sąlyga:

$$\chi^2 = 15,4 > \chi^2_{lent.} = 13,28.$$

Kadangi $\chi^2 > \chi^2_{lent.}$ laikoma, kad ekspertų nuomonės suderintos.

3.7. Išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų racionalumo vertinimas

Šioje baigiamojo projekto dalyje atlikta IVTS efektyvumo palyginamoji analizė, taikant TOPSIS vertinimo metodą. Kriterijų reikšmingumai nustatyti remiantis atliktos ekspertų apklausos rezultatais. Palyginimui taikyta TOPSIS daugiakriterio metodo skaičiavimo metodika, pateikta šio darbo antrame skyriuje.

Sudaroma pradinė sprendimo priėmimo matrica (žr. 27 lentelę). Pradinėje sprendimų priėmimo matricoje pateikiame po keturias alternatyvas kiekvienai lyginamajai energinio naudingumo klasei. Šių alternatyvų efektyvumui įvertinti pasirinkti penki kriterijai: termoizoliacinio sluoksnio storis, vėdinamos termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina, sistemos montavimo trukmė, paprastas atsipirkimo laikas ir vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm.

27 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica

Alternatyvos (variantai)	Kriterijai				
	Termoizoliacinio sluoksnio storis, mm	Sistemos medžiagų kaina, Eur/100 m ²	Sistemos montavimo trukmė, žm.val./100 m ²	Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL), metai	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm, N
A energinio naudingumo klasės alternatyvos					
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis (A1)	200	6741,61	308,9	18,9	325,0
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis (A2)	250	5198,16	312,4	16,4	342,0
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis (A3)	380	5703,19	321,5	17,1	295,0
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis (A4)	690	7392,84	343,2	20,7	156,0
B energinio naudingumo klasės alternatyvos					
IVTS su bazalto kompozito konsolėmis (B1)	170 309,6	6353,72	306,8	18,6	350,0
IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis (B2)	210	4882,52	309,6	16,2	497,0
IVTS su cinkuoto plieno konsolėmis (B3)	310	5276,30	316,6	17,1	350,0
IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis (B4)	590	6299,52	336,2	19,3	220,0
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	max.

Sekančiame etape atliekamas matricos normalizavimas remiantis 15 formule (žr. 28 lentelę).

28 lentelė. Normalizuota matrica

Alternatyvos (variantai)	Kriterijai				
	Termoizoliacinio sluoksnio storis,	Sistemos medžiagų kaina	Sistemos montavimo trukmė	Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL)	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm
A energinio naudingumo klasės alternatyvos					
A1	0,235	0,534	0,480	0,512	0,562
A2	0,294	0,411	0,485	0,444	0,592
A3	0,447	0,451	0,500	0,474	0,510
A4	0,811	0,585	0,533	0,563	0,270
B energinio naudingumo klasės alternatyvos					
B1	0,236	0,554	0,483	0,523	0,476
B2	0,292	0,425	0,488	0,456	0,676
B3	0,431	0,460	0,499	0,478	0,476
B4	0,820	0,549	0,529	0,539	0,299
Kriterijų reikšmingumai, q	0,211	0,244	0,267	0,128	0,150

Trečiajame etape apskaičiuojama svertinė normalizuota matrica naudojant 16 formulę (žr. 29 lentelę).

29 lentelė. Svertinė normalizuota matrica

Alternatyvos (variantai)	Kriterijai				
	Termoizoliacinio sluoksnio storis,	Sistemos medžiagų kaina	Sistemos montavimo trukmė	Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL) , metai	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm
A energinio naudingumo klasės alternatyvos					
A1	0,050	0,130	0,128	0,065	0,084
A2	0,062	0,100	0,130	0,057	0,089
A3	0,094	0,110	0,133	0,061	0,077
A4	0,171	0,143	0,142	0,072	0,040
B energinio naudingumo klasės alternatyvos					
B1	0,050	0,135	0,129	0,067	0,071
B2	0,062	0,104	0,130	0,058	0,101
B3	0,091	0,112	0,133	0,061	0,071
B4	0,173	0,134	0,141	0,069	0,045

Ketvirtame etape nustatomos idealiai geriausios ir idealiai blogiausios alternatyvos (žr. 30 lentelę).

30 lentelė. Idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva

Idealus variantas	Kriterijai				
	Termoizoliacinio sluoksnio storis	Sistemos medžiagų kaina	Sistemos montavimo trukmė	Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL) , metai	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm
A energinio naudingumo klasės alternatyvos					
a^+	0,050	0,100	0,128	0,057	0,089
a^-	0,171	0,143	0,142	0,072	0,040
B energinio naudingumo klasės alternatyvos					
a^+	0,050	0,104	0,129	0,058	0,101
a^-	0,173	0,135	0,141	0,069	0,045

Apskaičiuojami atstumai tarp idealiai geriausių ir idealia blogiausių alternatyvų (žr. 31 lentelę).

31 lentelė. Atstumai tarp lyginamųjų ir idealiai geriausios ir idealiai blogiausios alternatyvos

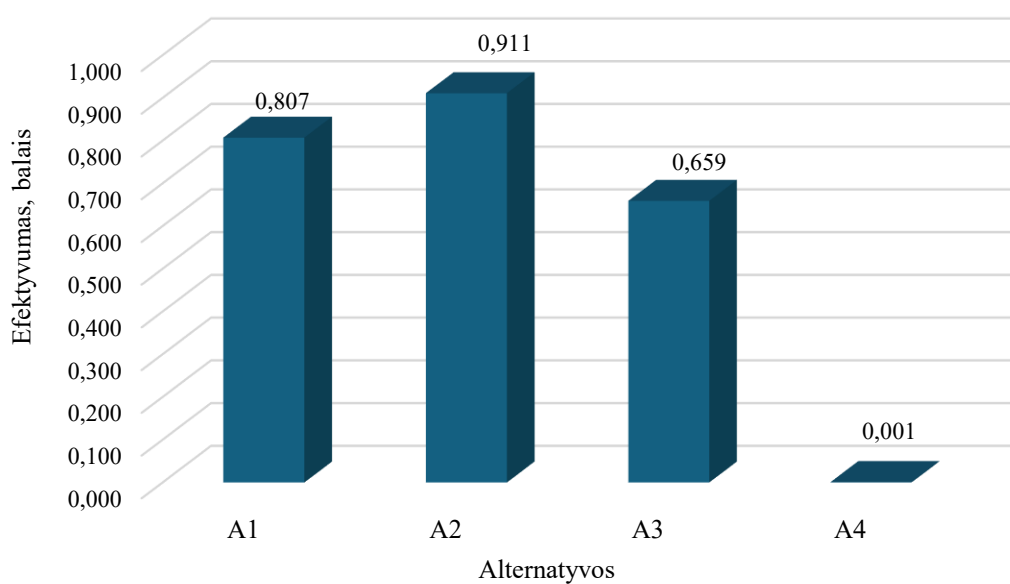
Idealus variantas	Kriterijai			
A energinio naudingumo klasės alternatyvos				
A1	$L_1^+ =$	0,031	$L_1^- =$	0,131
A2	$L_2^+ =$	0,012	$L_2^- =$	0,128
A3	$L_3^+ =$	0,048	$L_3^- =$	0,092
A4	$L_4^+ =$	0,139	$L_4^- =$	0,0001
B energinio naudingumo klasės alternatyvos				
B1	$L_1^+ =$	0,044	$L_1^- =$	0,127
B2	$L_2^+ =$	0,012	$L_2^- =$	0,130
B3	$L_3^+ =$	0,052	$L_3^- =$	0,090
B4	$L_4^+ =$	0,140	$L_4^- =$	0,001

Šiame etape yra apskaičiuojami alternatyvų santykiniai atstumai ir sudaroma prioritetų eilutė (žr. 32 lentelę).

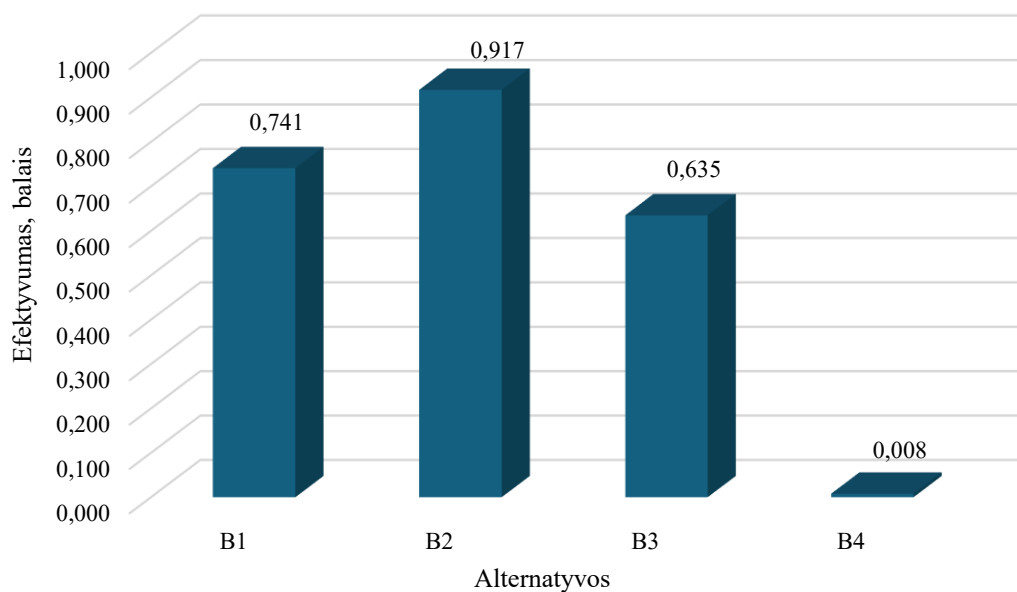
32 lentelė. Alternatyvų santykinio atstumo iki idealaus nustatymas

Idealus variantas	Kriterijai		
		Santykinis alternatyvų atstumas	Prioritetų eilutė
A energinio naudingumo klasės alternatyvos			
A1	$K_1 =$	0,807	2
A2	$K_2 =$	0,911	1
A3	$K_3 =$	0,659	3
A4	$K_4 =$	0,001	4
B energinio naudingumo klasės alternatyvos			
B1	$K_1 =$	0,741	2
B2	$K_2 =$	0,917	1
B3	$K_3 =$	0,635	3
B4	$K_4 =$	0,008	4

Atlikta daugiabučių pastatų modernizavime naudojamų IVTS, kurių karkaso tvirtinimo konsolės gaminamos iš bazalto pluošto kompozito, nerūdijančio plieno, cinkuoto plieno ir aliuminio lydinio, palyginamoji analizė. Vertinant atsižvelgta į pastato energinio naudingumo klasę, o analizei taikytas TOPSIS daugiakriteris vertinimo metodas. Palyginimo rezultatai pateikti (16 – 17 paveiksle).



17 pav. IVTS alternatyvų palyginimas. Kai pastato energinio naudingumo klasė „A“.



18 pav. IVTS alternatyvų palyginimas. Kai pastato energinio naudingumo klasė „B“.

Analizei pasirinktos alternatyvos buvo lygintos pagal penkis kriterijus. Tai termoizoliacinio sluoksnio storis, sistemos medžiagų kaina, sistemos montavimo trukmė, paprastasis atsipirkimo laikas ir konsolių vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm.

Įvertinus techninius ir ekonominius aspektus, racionaliausias pasirinkimas, įrengiant termoizoliacinės sistemos karkasą, yra naudoti IVTS su nerūdijančio plieno konsolėmis. Ši alternatyva „A“ energinio naudingumo klasės pastate surinko 0,911 efektyvumo balą, o „B“ klasės pastate – 0,917 balą iš 1 galimo. Mažiausiai racionali alternatyva – naudoti IVTS su aliuminio lydinio konsolėmis.

Išvados

1. Atlikus palyginamąją analizę TOPSIS metodu, nustatyta, kad daugiabučiams gyvenamiesiems pastatams modernizuoti (atnaujinti) efektyviausia naudoti išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą su nerūdijančio plieno konsolėmis. Ši alternatyva surinko 0,911 santykinio naudingumo balą iš 1 galimo „A“ energinio naudingumo klasės pastate ir 0,917 – „B“ klasės pastate. Antra pagal efektyvumą liko termoizoliacinė sistema su bazalto pluošto kompozito konsolėmis. Ši alternatyva nuo efektyviausios („A“ energinio naudingumo klasės pastate) skiriasi 11,42 procentais, o „B“ – klasės pastate šis skirtumas siekia 19,19 procentų. Šios alternatyvos termoizoliacinio sluoksnio storis „A“ energinio naudingumo klasės atitvarose yra 200 mm (tai yra net 20 procentų plonesnis sluoksnis lyginant su efektyviausia alternatyva), o „B“ klasės pastate šis skirtumas sudaro 19,05 procentų. Vertinant šios sistemos montavimo trukmę „A“ klasės pastate darbo sąnaudos yra 1,13 procentais mažesnės nei įrengiant efektyviausią išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą ir yra 0,9 procentais mažesnės, šią sistemą įrengiant „B“ klasės pastate.
2. Mažiausiai efektyvi alternatyva yra fasadinė sistema su aliuminio lydinio konsolėmis. Naudojant šias konsoles, termoizoliacinio sluoksnio storis „A“ energinio naudingumo klasės pastate yra 690 mm, o tai yra 176 procentais storesnis apšiltinamosios medžiagos sluoksnis, palyginus su efektyviausia alternatyva. Termoizoliacinės sistemos medžiagų kaina yra 7392,84 Eur/100 m². Ši sistema yra 42,2 procentais brangesnė už termoizoliacinę sistemą, kurioje laikančiajam karkasui naudojamos nerūdijančio plieno konsolės. Šiai sistemai įrengti darbo sąnaudos, palyginti su daugiausia naudingumo balų surinkusia alternatyva, yra 9,86 procento didesnės. Atitinkamai „B“ energinio naudingumo klasės pastate, termoizoliacinio sluoksnio storis yra 590 mm, o tai yra net 180,95 procento storesnis sluoksnis, nei naudojant nerūdijančio plieno konsoles. Sistemos medžiagų kainų skirtumas sudaro 1417,0 Eur/100 m², o tai yra net 29,02 procento brangesnė alternatyva, lyginant su nerūdijančio plieno konsolėmis. Darbo sąnaudos yra 26,6 žm. val./100 m² didesnės, o skirtumas siekia 8,59 procento.
3. Išorinei vėdinamai termoizoliaciniai sistemai naudoti aliuminio lydinio konsolės yra mažiausiai efektyvus pasirinkimas, todėl praktikoje, modernizuojant daugiabučius namus, šios sistemos naudoti nerekomenduojama. Tuo tarpu (iš gautų rezultatų) galima teigti, kad didėjant pastato energinio naudingumo klasei, santykinis skirtumas tarp termoizoliacinės sistemos su nerūdijančio plieno konsolėmis ir sistemos su bazalto pluošto kompozito konsolėmis – mažėja. Todėl vertinant kitų energinio naudingumo klasių pastatus (A+ ir A++), siekiant pasirinkti efektyviausią alternatyvą, reikėtų atlikti papildomus empirinius tyrimus.

Literatūros ir informacinių šaltinių sąrašas

1. PAOLETTI, I., NASTRI, M. Executive design of the façade systems. *Typologies and Technologies of the Advanced Building Envelopes* [interaktyvus]. Cham, 2024 [žiūrėta 2025-10-02]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44893-5>.
2. NOWAKOWSKI, P. Functional and aesthetic aspects of modernization of large panel residential buildings. *Advances in Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure* [interaktyvus]. 2019, 4, 335–346 [žiūrėta 2025-10-17]. Prieiga per: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-20151-7_32.
3. AMIRBEKOVA, A., ABDYKARIMOVA, S., OLIYNYK, O. Renovation of residential buildings of the first mass series from a sustainable development point of view. *Civil Engineering and Architecture* [interaktyvus]. 2023, 11(4), 1814–1823 [žiūrėta 2025-09-19]. Prieiga per: [doi:10.13189/cea.2023.110412](https://doi.org/10.13189/cea.2023.110412).
4. EGHOLM NIELSEN, A., HVIDTFELDT JAKOBSEN, O., MICHAEL Smith, K., KOLARIK, J. Simulation-based assessment of natural and mechanical ventilation solutions for renovated apartment buildings in Denmark. *E3S Web of Conferences* [interaktyvus]. 2024, 562, 1–15 [žiūrėta 2025-09-01]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456209003>.
5. DERKACH, S. Construction mediation: Global experience for alternative dispute resolution in the modernisation of multi-apartment residential buildings. *Modern Construction and Architecture* [interaktyvus]. 2024, 9, 7–19 [žiūrėta 2025-10-19]. Prieiga per: [doi:10.31650/2786-6696-2024-9-7-19](https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-9-7-19).
6. ALVAREZ-ALAVA, I., ELGUEZABAL, P., JORGE, N., ARMIJOS-MOYA, T., KONSTANTINOU, T. Definition and design of a prefabricated and modular façade system to incorporate solar harvesting technologies. *Journal of Facade Design and Engineering* [interaktyvus]. 2023, 11, 1–28 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: [http://doi.org/10.47982/jfde.2023.2.T1](https://doi.org/10.47982/jfde.2023.2.T1).
7. HE, Q., HOSSAIN, M. U., NG, T., AUGENBROE, G. L. Retrofitting high-rise residential building in cold and severe cold zones of China – A deterministic decision-making mechanism. *Sustainability* [interaktyvus]. 2020, 12, 1–28 [žiūrėta 2025-10-19]. Prieiga per: [doi:10.3390/su12145831](https://doi.org/10.3390/su12145831).
8. ONYSZKIEWICZ, J., SADOWSKI, K. Proposals for the revitalization of prefabricated building facades in terms of the principles of sustainable development and social participation. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2022, 46, 1–22 [žiūrėta 2025-10-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103713>.
9. JALALI, S., PARAPARI, D. M., MAHDAVINEJAD, M. J. Analysis of building facade materials usage pattern in Tehran. *Advanced Engineering Forum* [interaktyvus]. 2019, 31, 46–62 [žiūrėta 2025-10-25]. Prieiga per: [doi:10.4028/www.scientific.net/AEF.31.46](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.31.46).
10. RANGKUTY, G., WIDYASTUTI, D. Architectural typology of the malay Chinatown facade. *International Journal of Architecture and Urbanism* [interaktyvus]. 2019, 3(1), 95–110 [žiūrėta 2024-11-25]. Prieiga per: <https://talenta.usu.ac.id/ijau/article/view/874>.
11. LUCE, I., AMOLINA, I., NEIBERGS, M. Renovation of multi-apartment residential building in Latvia. *Proceedings of the 10th International Scientific Conference Rural Development 2021* [interaktyvus]. 2021, 378–385 [žiūrėta 2025-10-28]. Prieiga per: [http://doi.org/10.15544/RD.2021.065](https://doi.org/10.15544/RD.2021.065).

12. ŠTREIMIKIENĖ, D. Pareikštų preferencijų metodų taikymas, priimant sprendimus dėl klimato kaitos švelninimo priemonių taikymo energetikos sektoriuje. *Monografija* [interaktyvus]. 2020. ISBN 978-609-418-004-0 [žiūrėta 2025-10-28]. Prieiga per: <https://www.lei.lt/files/leidiniai/D.Streimikiene-monografija-2020.pdf>
13. VILÀ, D. M., MARRONE, G., RIBAS, I. R. Implementation of a multifunctional Plug-and-Play façade using a set-based design approach. *Journal of Facade Design and Engineering* [interaktyvus]. 2023, 11(2), 71–96 [žiūrėta 2025-10-02]. Prieiga per: <http://doi.org/10.47982/jfde.2023.2.T4.m>
14. KAMAL, M. A. Recent advances in material science for facade systems in contemporary Architecture: An overview. *American Journal of Civil Engineering and Architecture* [interaktyvus]. 2020, 8(3), 97–104 [žiūrėta 2025-10-17]. Prieiga per: [doi:10.12691/ajcea-8-3-3](https://doi.org/10.12691/ajcea-8-3-3).
15. FOUNTI, M., AVESANI, S., ESNARRIZAGA, P. E. Multifunctional façades for renovation through industrialization. *Journal of Facade Design and Engineering* [interaktyvus]. 2023, 10, 1–2 [žiūrėta 2025-10-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.47982/jfde.2023.2.00>.
16. TORRES, J., GARAY-MARTINEZ, R., OREGI, X., TORRENS-GALDIZ, J. I., URIARTE-ARRIEN, A., PRACUCCI, A., CASADEI, O., MAGNANI, S., ARROYO, N., CEA, A. M. Plug and Play modular façade construction system for renovation for residential buildings. *Buildings* [interaktyvus]. 2021, 11, 1–21 [žiūrėta 2025-10-02]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/buildings11090419>.
17. PAIHO, S., OJANEN, T., SEPPÄ, I. P., PAAVOLA, M. Critical performance aspects of retrofitting apartment buildings using a multifunctional façade system. *Buildings* [interaktyvus]. 2019, 9, 1–28 [žiūrėta 2025-10-05]. Prieiga per: [doi:10.3390/buildings9080184](https://doi.org/10.3390/buildings9080184).
18. HAMEEDALDEEN, K. A., MOSTAFA, A. O. Adaptive façades technologies to enhance building energy performance and more. *Emirates Journal for Engineering Research* [interaktyvus]. 2022, 27(4), 1–16 [žiūrėta 2025-11-02]. Prieiga per: <https://scholarworks.uaeu.ac.ae/ejer/vol27/iss4/3>.
19. BRITO-COIMBRA, S., AELENEI, D., GLORIA GOMES, M., MORET RODRIGUES, A. Building façade retrofit with solar passive technologies: A literature review. *Energies* [interaktyvus]. 2021, 14, 1–18 [žiūrėta 2025-11-02]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en14061774>.
20. ALVAREZ-ALAVA, I., ELGUEZABAL, P., JORGE, N., ARMIJOS-MOYA, T., KONSTANTINOU, T. Definition and design of a prefabricated and modular façade system to incorporate solar harvesting technologies. *Journal of Facade Design and Engineering* [interaktyvus]. 2023, 11(2), 1–28 [žiūrėta 2025-11-03]. Prieiga per: <http://doi.org/10.47982/jfde.2023.2.T1>.
21. KAMIŃSKA, P., MICHALAK, H. Innovative, modular building facades – As a tool to counteract the effects of and to prevent climate change. *Civil and Environmental Engineering Reports* [interaktyvus]. 2023, 32(4), 184–209 [žiūrėta 2025-11-03]. Prieiga per: [doi:10.2478/ccer-2022-0052](https://doi.org/10.2478/ccer-2022-0052).
22. SUGINI, A. U. Innovative breathing facades technology as a solution for building energy efficiency. *International Journal of Architecture, Arts and Applications* [interaktyvus]. 2023, 9(3), 110–119 [žiūrėta 2025-11-01]. Prieiga per: [doi:10.11648/j.ijaaa.20230903.16](https://doi.org/10.11648/j.ijaaa.20230903.16)

23. GOÑI, P. M., PADRÓ, X. F. Upgrading façade systems, the art of simplification as a criterion. *Case Report* [interaktyvus]. 2024, 1–12 [žiūrėta 2025-11-05]. Prieiga per: [doi:10.20944/preprints202402.0016.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202402.0016.v1).
24. KUUSKA, K., RITZENB, M., DALYC, P., PAPADAKID, D., MAZZOLIE, C., ASLANKAYAF, G., VETRŠEKG, J., KALAMEES, T. The circularity of renovation solutions for residential buildings. *Circularity* [interaktyvus]. 2022, 1–7 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.34641/clima.2022.333>.
25. NIGUMANN, E., KALAMEES, T., KUUSK, K., PIHELO, P. Circular renovation of an apartment building with prefabricated additional insulation elements to nearly zero energy building. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* [interaktyvus]. 2024, 1(34), 22–34 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: [doi:10.5755/j01.sace.34.1.35674](https://doi.org/10.5755/j01.sace.34.1.35674).
26. LESNIAK, A., GÓRKA, M. Structural analysis of factors influencing the costs of facade system implementation. *Applied Sciences* [interaktyvus]. 2020, 10, 1–15 [žiūrėta 2025-11-07]. Prieiga per: [doi:10.3390/app10176021](https://doi.org/10.3390/app10176021).
27. KOPYŁOW, O. Ventilated façade systems. Design and workmanship faults affecting the functionality and safe use. *MATEC Web of Conferences* [interaktyvus]. 2019, 284, 1–9 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928MATEC>.
28. BIKASA, D., TSIKALLOUDAKIA, K., KONTOLEONA, K. J., GIARMAA, C., TSOKAA, S., TSIRIGOTIA, D. Ventilated facades: requirements and specifications across Europe. *Procedia Environmental Sciences* [interaktyvus]. 2017, 38, 148–154 [žiūrėta 2025-08-22]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.096>.
29. BACIU, I. R., ISOPESCU, D. N., LUPU, M. L., MAXINEASA, S. G., PRUNA, L., DAN, S. Ventilated façade solutions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2022, 1242, 1–10 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: [doi:10.1088/1757-899X/1242/1/012002](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1242/1/012002).
30. TOPLIČIĆ-ĆURČIĆ, G., GRDIĆ, D., RISTIĆ, N., GRDIĆ, Z. Ceramic facade cladding as an element of sustainable development. *Architecture and Civil Engineering* [interaktyvus]. 2015, 13(3), 219–231 [žiūrėta 2025-09-23]. Prieiga per: <https://doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-4605/2015/0354-46051503219T.pdf>.
31. SANTOS PIZZATTO, S. M., PIZZATTO, F., RAUPP-PEREIRA, F., ARCARO, S., ANGIOLETTO, E., MONTEDO, O. R. K. Ventilated facade system: A review. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [interaktyvus]. 2025, 64(3), 1–34 [žiūrėta 2025-08-22]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2025.100443>.
32. KUUSK, K., PIHELO, P., KALAMEES, T. Renovation of apartment buildings with prefabricated modular panels. *E3S Web of Conferences* [interaktyvus]. 2019, 111, 1–6 [žiūrėta 2025-11-01]. Prieiga per: [doi:10.1051/e3sconf/201911103023](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103023).
33. SCHABOWICZ, K., ZAWIŚLAK, L., STANIÓW, P. Efficiency of ventilated facades in terms of airflow in the air gap. *Studia Geotechnica et Mechanica* [interaktyvus]. 2021, 43(3), 224–236 [žiūrėta 2025-11-01]. Prieiga per: <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/sgem-2021-0014>.
34. Lahdensivu, J. Selection of repair methods for rendered façades. *Institute of Structural Engineering Publication* [interaktyvus]. 2024, 8, 1–6 [žiūrėta 2025-08-23]. Prieiga per: <https://framcos.org/FraMCoS-6/21.pdf>.
35. BARRELAS, J., SILVA, A., BRITO, J., TADEU, A. Effects of climate change on rendered façades: expected degradation in a progressively warmer and drier climate—A Review Based on

- the Literature. *Buildings* [interaktyvus]. 2023, 13(2), 1–26 [žiūrėta 2025-08-25]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/2/352>
36. CORRAO, R. PLACA, E. L. Plaster ventilated façade system for renovating modern and ancient buildings. A CFD analysis. *SBE21 Sustainable Built Heritage* [interaktyvus]. 2021, 863, 1–9 [žiūrėta 2025-09-20]. Prieiga per: [doi:10.1088/1755-1315/863/1/012046](https://doi.org/10.1088/1755-1315/863/1/012046).
37. ZELDER, S., ROSIN, A., HELLING, D., GERDES, T., SCHARFE, F., SCHAFFÖNER, S. Mineral composite plaster containing hollow glass microspheres and CSA cement for building insulation. *Applied Sciences* [interaktyvus]. 2022, 12, 1–14 [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/app12031152>.
38. KARIM, A. N., JOHANSSON, P., KALAGASIDIS, A. S. Super insulation plasters in renovation of buildings in Sweden: energy efficiency and possibilities with new building materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [interaktyvus]. 2020, 288, 1–10 [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per: [doi:10.1088/1755-1315/588/4/042050](https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042050).
39. OWCZAREK, M., SADOWSKA, B., KUCZEROWSKI, M. J., BARYŁKA, A. Application of thermal insulating plaster for retrofitting of a building under conservation protection. *Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych* [interaktyvus]. 2023, 2, 17–25 [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per: DOI:10.37105/iboa.172
40. CUCE, E., CUCE, P. M., ALVUR, E., YILMAZ, Y. N., SABOOR, S., USTABAS, I., LINUL, E., ASIF, M. Experimental performance assessment of a novel insulation plaster as an energy-efficient retrofit solution for external walls: A key building material towards low/zero carbon buildings. *Case Studies in Thermal Engineering* [interaktyvus]. 2023, 49, 1–12 [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103350>
41. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Statybos techninis reglamentas. *STR 2.01.02:2016* „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [interaktyvus]. 2016 m. lapkričio 11 d., Nr. D1-754 [žiūrėta 2025-09-10]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr>
42. Aviža, D., Turskis, Z., Kaklauskas, A. A Multiple criteria decision support system for analyzing the correlation between the thickness of a thermo-insulation layer and its payback period of the external wall. *Journal of Civil Engineering and Management* [interaktyvus]. 2015, 21(6), 827–835 [žiūrėta 2025-11-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1046910>
43. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN ISO 6946:2017. „Pastato komponentai ir elementai. Šiluminė varža ir šilumos perdavimo koeficientas. Skaičiavimo metodai“ [interaktyvus]. 2017-11-30 [žiūrėta 2025-09-09]. Prieiga per: <https://virtualbiblioteka.ktu.edu/discovery/fulldisplay?docid=alma9913096408608>
44. UAB PAROC. Vėdinamų sienų sprendimai ir projektavimo vadovas [interaktyvus]. 2022-04-22 [žiūrėta 2025-09-09]. Prieiga per: <https://www.paroc.com/lt-lt/article/ventilated-wall-solutions-and-design-guide>
45. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN ISO 52016-1:2017. „Energinės pastato charakteristikos. Energijos poreikis šildymui ir vėsinimui, vidaus temperatūra ir perduodamos bei slaptosios šilumos apkrova. 1 dalis. Skaičiavimo procedūros“ [interaktyvus]. 2017 m. lapkritis [žiūrėta 2025-09-27]. Prieiga per: https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primove&id=1246023

46. AVIŽA, D. Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiatakslė selektonovacija. *Daktaro disertacija*. VGTU leidykla „Technika“, 2016. ISBN 978-609-457-911-0. [žiūrėta 2025-09-18]. Prieiga per: <https://gs.elaba.lt/object/elaba:15868096/index.html>
47. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTRAS. Įsakymas „Dėl Išsamiojo energijos, energijos išteklių vartojimo audito atlikimo pastatuose metodikos patvirtinimo“ [interaktyvus]. 2023 m. kovo 30 d., Nr. D1-90 [žiūrėta 2025-10-23]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/7d6d8b51cf3911ed9b3c9397e1236c2a?jfwid=-1de87mi1j9>
48. PERVEEN, P. A., SUNIL, J. J., BAIJU, T. TOPSIS Method based on entropy measure for solving multiple-attribute group decision-making problems with spherical fuzzy soft information. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing* [interaktyvus]. 2023, 18, 1–12 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1155/2023/7927541>
49. MATHEBULA, J., MBULI, N. Application of TOPSIS for Multi-Criteria decision analysis (MCDA) in power systems: a systematic literature review. *Energies* [interaktyvus]. 2025, 18, 1–28 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en18133478>.
50. TAHERDOOST, H. A Comprehensive survey and literature review on TOPSIS. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology* [interaktyvus]. 2024, 15(1), 1–65 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: <https://www.igi-global.com/article/a-comprehensive-survey-and-literature-review-on-topsis/347947>
51. CHEN, C. T., LIN, C. T., HUANG, S. F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics* [interaktyvus]. 2006, 102(2), 289–301 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>
52. HASSAN, I., ALHAMROUNI, I., & AZHAN, N., H. A CRITIC–TOPSIS multi-criteria decision-making approach for optimum site selection for solar PV farm. *Energies* [interaktyvus]. 2023, 16(10), 4245 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en16104245>
53. TRUNG, D., THINH, H. A multi-criteria decision-making in turning process using the MAIRCA, EAMR, MARCOS and TOPSIS methods: A comparative study. *Advances in Production Engineering & Management* [interaktyvus]. 2021, 16 (4) , 443-456 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: [doi:10.14743/apem2021.4.412](https://doi.org/10.14743/apem2021.4.412)
54. CHAUBE, S., KUMAR, A., SINGH, M., KOTECHEA, K., KUMAR, A. An overview of multi-criteria decision analysis and the applications of AHP and TOPSIS methods. *International Journal of Mathematical Engineering and Management Sciences* [interaktyvus]. 2024, 9 (3), 581-615 [žiūrėta 2025-10-30]. Prieiga per: <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2024.9.3.030>
55. SIMANAVIČIENĖ, R., Kiekybinių daugiatakslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. Daktaro disertacija. *VGTU leidykla „Technika“* [interaktyvus]. 2011. ISBN 978-609-457-055-1 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: <https://www.zurnalai.vu.lt/IM/article/download/3138/2262>
56. RAHMAN, S., ALALI, A. S., BARO, N., ALI, S., KAKATI, P. A novel TOPSIS framework for Multi-Criteria decision making with random hypergraphs: enhancing decision processes. *Symmetry* [interaktyvus]. 2024, 16 (12), 1602 [žiūrėta 2025-10-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/sym16121602>
57. RADZISZEWSKA-ZIELINA, E. Survey Studies in Construction Project Engineering. *Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2020, 960, 1–11 [žiūrėta 2025-09-20]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/960/4/042035>

58. QING, S., VALLIANT, R. Extending Cochran's Sample Size Rule to Stratified Simple Random Sampling with Applications to Audit Sampling. *Journal of Official Statistics* [interaktyvus]. 2025, 41 (1), 309-328 [žiūrėta 2025-09-21]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/0282423X241277054>
59. TURSKIS, Z., ANTUCHEVIČIENĖ, J., KERŠULIENĖ, J., ir GAIDUKAS, G. Hybrid Group MCDM Model to Select the Most Effective Alternative of the Second Runway of the Airport *Symmetry* [interaktyvus]. 2019, 11(6), 792 [žiūrėta 2025-09-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/sym11060792>
60. FRANCESCHINI, F., MAISANO, D. Aggregating multiple ordinal rankings in engineering design: the best model according to the Kendall's coefficient of concordance. *Res Eng Design* [interaktyvus]. 2021, 32, 91–103 [žiūrėta 2025-09-30]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s00163-020-00348-3>
61. ŠARKIENĖ, E. Racionalaus investavimo į vienbučių gyvenamųjų namų statybą sprendimų modelis. *Daktaro disertacija. VGTU leidykla „Technika“* [interaktyvus]. 2010. ISBN 978-9955-25-840-7. [žiūrėta 2025-09-28]. Prieiga per: <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/111477>
62. ALTUN, G.. (2021). Analysis of the Multiraters Agreement with Log-Linear Models. *Bilge International Journal of Science and Technology Research* [interaktyvus]. 2021, 5, (2), 107-110 [žiūrėta 2025-09-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.30516/bilgesci.950797>
63. STONKUVIENĖ, A. Šilumos srautų per termoizoliacinius sluoksnius su šilumai laidžiomis jungtimis tyrimai. *Daktaro disertacija* [interaktyvus]. 2021. Kaunas. [žiūrėta 2025-10-03]. Prieiga per: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:98225484/index.html>
64. UAB „SERFAS“. Karkaso sistema vėdinamiems fasadams [interaktyvus], 2023. [žiūrėta 2025-10-03]. Prieiga per: <https://aloon-thermo.lt/>
65. AB „Panevėžio energija“. Šilumos ir karšto vandens kainos [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-10-03]. Prieiga per: <https://www.pe.lt/silumos-ir-karsto-vandens-kainos>

Priedai

1 priedas. Racionaliausios alternatyvos lokalinė sąmata

SUDERINTA: _____ TŪKST. EUR

TVIRTINU: _____ TŪKST. EUR.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2023 M. _____ MĖN. _____ D.

2023 M. _____ MĖN. _____ D.

LOKALINĖ SĄMATA

SĄMATA

Sudaryta pagal 2024.10 kainas

Statinių grupė 3 1

Statiny 3 Baigiamasis projektas

Žiniaraštis 3 Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimas A klasė, NP konsolės

2025.10.25

Suma žiniaraščiui 14300.93 EUR

Lapas 1

Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbo ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina	EUR
					Vieneto kaina	Iš viso
1 1						
1 F8-14-1		Fasadinių pastolių įrengimas ir išardymas, kai pastolių aukštis iki 15m ir plotis 0,73m (100m2 vertikalios projekcijos)	100m2	1.000	402.9122	402.91
2 N60-3-1		Karkaso įrengimas stambiaplokščių namų sienų apšiltinimui k9=1.15	100m2	1.000	3777.2316	3777.23
3 N26P-1203		Sienų (išorinių paviršių) šiltinimas įrengtuose karkasuose,naudojant universalias mineralinės vatos plokštes, kai izoliacijos sluoksnio storis 220 mm	100m2	1.000	1918.7129	1918.71
4 N26P-1204		Sienų vėjo izoliacijos įrengimas (izoliacija 30 mm storio , kai įrengti metaliniai karkasai)	100m2	1.000	786.3996	786.40
5 N26P-1207		Sienų šiltinamosios izoliacijos papildomas tvirtinimas smeigėmis	100vnt	5.000	92.1840	460.92
6 N15-11		Apdailinių akmens masės plytelių montavimas k9=1.15	100m2	1.000	4472.7848	4472.78
Skyriuje 1						11818.95
Žiniaraštyje 3						11818.95
Pridėtinės vertės mokestis 21.00%						2481.98
Iš viso žiniaraštyje 3						14300.93

Sudarė :

/Pavardė/

SUDERINTA: _____ TŪKST. EUR

TVIRTINU: _____ TŪKST. EUR.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2023 M. _____ MĖN. _____ D.

2023 M. _____ MĖN. _____ D.

LOKALINĖ SĄMATA

SĄMATA

Sudaryta pagal 2024.10 kainas

Statinių grupė **3 1**Statinys **3 Baigiamasis projektas**Žiniaraštis **4 Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimas B klasė, NP konsolės**

2025.10.25

Suma žiniaraščiui **13790.03 EUR**

Lapas 1

Sąm. cil.	Darbo kodas	Darbo ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Kaina EUR	
					Vieneto kaina	Iš viso
1 1						
1 F8-14-1		Fasadinių pastolių įrengimas ir išardymas, kai pastolių aukštis iki 15m ir plotis 0,73m (100m2 vertikalios projekcijos)	100m2	1.000	402.9122	402.91
2 N60-3-1		Karkaso įrengimas stambiaplokščių namų sienų apšiltinimui k9=1.15	100m2	1.000	3615.9670	3615.97
3 N26P-1203		Sienų (išorinių paviršių) šiltinimas įrengtuose karkasuose,naudojant universalias mineralinės vatos plokštes, kai izoliacijos sluoksnio storis 180 mm	100m2	1.000	1657.7896	1657.79
4 N26P-1204		Sienų vėjo izoliacijos įrengimas (izoliacija 30 mm storio , kai įrengti metaliniai karkasai)	100m2	1.000	786.3996	786.40
5 N26P-1207		Sienų šiltinamosios izoliacijos papildomas tvirtinimas smeigėmis	100vnt	5.000	92.1820	460.91
6 N15-11		Apdailinių akmens masės plytelių montavimas k9=1.15	100m2	1.000	4472.7395	4472.74
Skyriuje 1						11396.72
Žiniaraštyje 4						11396.72
Pridėtinės vertės mokestis 21.00%						2393.31
Iš viso žiniaraštyje 4						13790.03

Sudarė :

/Pavardė/

2 priedas. Racionaliausios alternatyvos darbo užmokesčio žiniaraštis

SĄMATA		DARBO UŽMOKESČIO ŽINIARAŠTIS	
		Sudaryta pagal 2024.10 kainas	
Statinių grupė	3	1	
Statiny	3	Baigiamasis projektas	
Žiniaraštis	3	Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimas A klasė, NP konsolės	

2025.10.25

Lapas 1

Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbu ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Darbo sąnaudų žm./val.	Kategori	Tarifinis atlygis	Darbo užmokesčio EUR
1 1								
1	F8-14-1	Fasadinių pastolių įrengimas ir išardymas, kai pastolių aukštis iki 15m ir plotis 0,73m (100m2 vertikalios projekcijos)	100m2	1.0	14.0	3.50	19.248	269.47
2	N60-3-1	Karkaso įrengimas stambiaplokščių namų sienų apšiltinimui k9=1.15	100m2	1.0	115.0	3.22	9.690	1114.35
3	N26P-1203	Sienų (išorinių paviršių) šiltinimas įrengtuose karkasuose, naudojant universalias mineralinės vatos plokštes, kai izoliacijos sluoksnio storis 220 mm	100m2	1.0	42.4	3.00	11.980	507.95
4	N26P-1204	Sienų vėjo izoliacijos įrengimas (izoliacija 30 mm storio, kai įrengti metaliniai karkasai)	100m2	1.0	21.0	3.00	11.980	251.58
5	N26P-1207	Sienų šiltinamosios izoliacijos papildomas tvirtinimas smeigėmis	100vnt	5.0	15.0	3.00	11.980	179.7
6	N15-11	Apdailinių akmenų masės plytelių montavimas k9=1.15	100m2	1.0	105.0	4.00	10.460	1098.3
Iš viso skyriuje 1					312.4			3421.35
Iš viso žiniaraštyje 3					312.4			3421.35

DARBO UŽMOKESČIO ŽINIARAŠTIS

SAMATA

Sudaryta pagal 2024.10 kainas

Statinių grupė **3 1**

Statiny **3 Baigiamasis projektas**

Žiniaraštis **4 Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimas B klasė, NP konsolės**

2025.10.25

Lapas 1

Sam. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vienetas	Kiekis	Darbo sąnau- dos žm./val.	Kate- gorija	Tarifinis atlygis	Darbo užmo- kestis EUR
1 1								
1 F8-14-1		Fasadinių pastolių įrengimas ir išardymas, kai pastolių aukštis iki 15m ir plotis 0,73m (100m2 vertikalios projekcijos)	100m2	1.0	14.0	3.50	19.248	269.47
2 N60-3-1		Karkaso įrengimas stambiaplokščių namų sienų apšiltinimui k9=1.15	100m2	1.0	115.0	3.22	9.690	1114.35
3 N26P-1203		Sienų (išorinių paviršių) šiltinimas įrengtuose karkasuose, naudojant universalias mineralinės vatos plokštes, kai izoliacijos sluoksnio storis 180 mm	100m2	1.0	39.6	3.00	11.980	474.41
4 N26P-1204		Sienų vėjo izoliacijos įrengimas (izoliacija 30 mm storio, kai įrengti metaliniai karkasai)	100m2	1.0	21.0	3.00	11.980	251.58
5 N26P-1207		Sienų šiltinamosios izoliacijos papildomas tvirtinimas smeigėmis	100vnt	5.0	15.0	3.00	11.980	179.7
6 N15-11		Apdailinių akmenų masės plytelių montavimas k9=1.15	100m2	1.0	105.0	4.00	10.460	1098.3
Iš viso skyriuje 1					309.6			3387.81
Iš viso žiniaraštyje 4					309.6			3387.81

3 priedas. Racionaliausios alternatyvos medžiagų poreikio žiniaraštis

MEDŽIAGŲ POREIKIO ŽINIARAŠTIS

SĄMATA

Sudaryta pagal 2024.10 kainas

Statinių grupė	3 1
Statiny	3 Baigiamasis projektas
Žiniaraštis	3 Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimas A klasė, NP konsolės

2025.10.25

Lapas 1

Resurso kodas	Pavadinimas	Matavimo vienetas	Kaina EUR	Kiekis	Vertė EUR
1 1					
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m3	42.57	23.1	983.37
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m3	110.1	3.15	346.82
90290-1	Laikantys profiliai	m	2.61	180.0	469.8
120047-1	Savigrėžiai 4,8x19	vnt	0.02	760.0	15.2
120063-3	Nerudijančio plieno konsolės (300 mm)	vnt	2.25	380.0	855.0
120063-4	Savigrėžiai 4,2x16	vnt	0.04	4444.48	177.78
120314-1	Mūrvarščiai EJOT SDF	vnt	0.39	554.0	216.06
220706-1	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt	0.3	500.0	150.0
491299-1	Kabliukas fasado plytelėms	vnt	0.32	2222.4	711.17
572155-1	Fasadinės akmens masės plytelės	m2	12.24	104.0	1272.96
Skyriuje 1:					5198.16
žiniaraštyje 3:					5198.16

Sudarė :
/Pavardė/

MEDŽIAGŲ POREIKIO ŽINIARAŠTIS

SAJATA

Sudaryta pagal 2024.10 kainas

Statinių grupė 3 1

Statiny 3 Baigiamasis projektas

Žiniaraštis 4 Vėdinamos termoizoliacinės sistemos įrengimas B klasė, NP konsolės

2025.10.25

Lapas 1

Resurso kodas	Pavadinimas	Matavimo vienetas	Kaina EUR	Kiekis	Vertė EUR
1 1					
220706	Smeigės izoliacijos tvirtinimui	vnt	0.3	500.0	150.0
570193	Universalios mineralinės vatos plokštės	m3	42.57	18.9	804.57
572319	Ventiliuojamų atitvarų mineralinės vatos plokštės	m3	110.1	3.15	346.82
90290-1	Laikantys profiliai	m	2.61	180.0	469.8
120047-1	Savigrėžiai 4,8x19	vnt	0.02	760.0	15.2
120063-4	Savigrėžiai 4,2x16	vnt	0.04	4444.8	177.79
120063-5	Nerudijančio plieno konsolės (250 mm)	vnt	1.89	380.0	718.2
120314-1	Mūrvarščiai EJOT SDF	vnt	0.39	554.0	216.06
491299-1	Kabliukas fasado plytelėms	vnt	0.32	2222.24	711.12
572155-1	Fasadinės akmenų masės plytelės	m2	12.24	104.0	1272.96
Skyriuje 1:					4882.52
žiniaraštyje 4:					4882.52

Sudarė :

/Pavardė/

4 priedas. Statybos srities ekspertų apklausos anketa

Modernizuojant daugiabučio pastato fasadą naudojamų išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis palyginamoji analizė

Apklausa skirta išorinių vėdinamų termoizoliacinių sistemų su karkaso konsolėmis vertinimo kriterijų reikšmingumui nustatyti

* Būtina

1. Kiek metų dirbate pagrindinių statybos sričių atestuotu specialistu (-e) ? *

Įrašykite darbo patirtį metais į laukelį žemiau.

Įveskite sveikąjį skaičių

2. Kokius turite pagrindinių statybos sričių vadovų atestatus ? *

Pažymėkite vieną ar kelias pasirinktis, pagal Jūsų kompetenciją.

- ☐ Esu atestuotas statinio statybos darbų vadovas (-ė)
- ☐ Esu atestuotas statinio statybos techninės priežiūros vadovas (-ė)
- ☐ Esu atestuotas statinio projekto vadovas (-ė)
- ☐ Esu atestuotas statinio projekto dalies vadovas (-ė)
- ☐ Esu atestuotas statinio projekto ekspertizės vadovas (-ė)
- ☐ Esu atestuotas statinio projekto dalies ekspertizės vadovas (-ė)
- ☐ Kita

3. Įvertinkite pateiktų kriterijų reikšmingumą *

Kriterijų, kuris yra reikšmingiausias, reitinguokite 5 vietoje, o mažiausiai reikšmingą - 1 vietoje.

Sistemos medžiagų kaina, Eur/100 m²

Termoizoliacinio sluoksnio storis, mm

Sistemos montavimo trukmė, žm.val./100 m²

Išorinės termoizoliacinės sistemos atsiperkamumas, m.

Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm, N

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

 Microsoft Forms

5 priedas. Statybos srities ekspertų apklausos rezultatai

Eksperto Nr.	Vertinamieji kriterijai				
	Termoizoliacinio sluoksnio storis, mm	Sistemos medžiagų kaina, Eur/100 m ²	Sistemos montavimo trukmė, žm. val./100 m ²	Paprastasis atsipirkimo laikas, metai	Vertikali apkrova prie kurios konsolės deformacija 3 mm, N
Ekspertas 2	3	5	4	2	1
Ekspertas 3	3	5	4	1	2
Ekspertas 4	3	4	5	2	1
Ekspertas 5	5	4	2	3	1
Ekspertas 6	2	3	4	1	5
Ekspertas 7	2	4	3	1	5
Ekspertas 8	1	5	4	3	2
Ekspertas 9	2	3	5	1	4
Ekspertas 10	5	4	3	1	2
Ekspertas 11	3	4	5	2	1
Ekspertas 12	5	1	4	3	2
Ekspertas 15	4	2	5	3	1