



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, naudojamų  
namo cokoliui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriteris  
vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Karina Maldarytė**

Projekto autorė

**dr. Donatas Aviža**

Vadovas

---

**Panevėžys, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, naudojamų  
namo cokoliui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriteris  
vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Statybos valdymas (6211EX007)

---

**Karina Maldarytė**

Projekto autorė

**dr. Donatas Aviža**

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

---

**Panevėžys, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Karina Maldarytė

## **Modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, naudojamų namo cokoliui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriteris vertinimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Karina Maldarytė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**Kauno technologijos universitetas**  
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**TVIRTINU**  
TVKC vadovė  
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

**Baigiamojo magistro projekto užduotis**

Diplomantui *Karinai Maldarytei*

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	<i>Modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, naudojamų namo cokolui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriteris vertinimas</i>
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	<i>Multicriteria Evaluation of Increasing the Efficiency of Insulation Materials for the Basement Wall of a Modernized Multi-apartment Building</i>

Patvirtinta 2021 m. lapkričio 19 d. dekanų potvarkiu Nr.V25-13-34.

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2022 m. sausio 4 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

*Pastato paskirtis – daugiabutis gyvenamasis namas.*

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

- 1. Apžvalginėje dalyje išnagrinėti Lietuvos ir užsienio modernizuojamų daugiabučių pastatų energinio efektyvumo didinimo poreikį, metodus bei dažniausiai naudojamas atitvarų apšiltinimo medžiagas.*
- 2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją, TOPSIS ir COPRAS metodų bei ekspertų apklausos vertinimo algoritmus.*
- 3. Tiriamojoje dalyje pateikti skirtingų cokolio apšiltinimo medžiagų vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausių variantų TOPSIS ir COPRAS metodais. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į spėdimų matricos charakteristikas.*

Vadovas **dr. Donatas Aviža**  
(vadovo pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau **Karina Maldarytė**  
(studento vardas, pavardė)

2021 m. lapkričio 22 d.

Maldarytė, Karina. Modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, naudojamų namo cokoliui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriteris vertinimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas 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: energinis efektyvumas, cokolio apšiltinimo medžiagos, daugiabutis namas.

Panevėžys, 2022. 64 p.

## Santrauka

Statybos sektorius yra labai svarbus siekiant įgyvendinti Europos Sąjungos energetikos ir aplinkosaugos taisyklių reikalavimus. Efektyviai energiją vartojantys pastatai gerina žmonių gyvenimo kokybę bei suteikia papildomos naudos ekonomikai ir visuomenei [3]. Vienas paprasčiausių ir efektyviausių būdų, padedančių taupyti energiją – pastatų izoliacija. Pagrindinis uždavinys šildant pastatą – pasirinkti tokią šiltinimo medžiagą, kad būtų padidinta pastato atitvarų šiluminė varža [6]. Taip pat stebint ir analizuojant tyrimus pastebėta, daugybę gedimų patirianti pastato dalis yra - cokolis. Gedimai atsiranda dėl įvairių priežasčių [35], viena iš jų - netinkamai įrengta nuogrinda, lietus ir teršalai aptaško cokolių apdailą. Todėl drėgmė ir teršalai prasiskverbia pro atsiktines pastato vietas, pasiekia rūšio sienų ir cokolio šilumos izoliaciją bei padidina tikimybę ją sugadinti arba pažeisti [35].

Pirmoje magistro baigiamojo projekto dalyje yra išnagrinėti Lietuvos bei užsienio moksliniai straipsniai, atlikta jų analizė. Antroje dalyje aprašyti daugiakriteriniai vertinimo metodai, išnagrinėti TOPSIS ir COPRAS metodo algoritmai, pateiktos ekspertų apklausos atsakymų suderinamumui patikrinti reikalingos formulės bei skaičiavimai. Trečioje dalyje daugiakriteris vertinimas atliktas TOPSIS ir COPRAS metodais bei galutiniams rezultatams suskaičiuoti pasirinktas tiriamasis modelis - cokolio mazgas bei įvertintos 3 skirtingos cokolio apšiltinimo medžiagos: polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100*, ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300*, šiloporos *Šillofoam Premium*. Remiantis atlikta mokslinių straipsnių analize parinkti rodikliai, kuriais buvo vertinamas efektyvumas: šiltinimo medžiagos kaina, šilumos perdavimo koeficientas, stipris gniuždant, ilgalaikis vandens įmirkis.

**Darbo tikslas** – atlikti modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, skirtų namo cokoliui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriterių vertinimą.

### Darbo uždaviniai:

1. Apžvalginėje dalyje išnagrinėti Lietuvos ir užsienio modernizuojamų daugiabučių pastatų energinio efektyvumo didinimo poreikį, metodus bei dažniausiai naudojamas atitvarų apšiltinimo medžiagas.
2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją, TOPSIS ir COPRAS metodų bei ekspertų apklausos vertinimo algoritmus.

3. Tiriamojoje dalyje pateikti skirtingų cokolio apšiltinimo medžiagų vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą TOPSIS ir COPRAS metodais. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į spendimų matricos charakteristikas.

**Tyrimo metodai:** Lietuvos ir užsienio mokslinės literatūros, techninės dokumentacijos ir statybos techninių reglamentų analizė, TOPSIS ir COPRAS daugiakriteriai vertinimo metodai, ekspertų apklausa.

**Pagrindiniai tyrimo rezultatai ir išvados:** Atlikus cokolio šiltinimo medžiagų daugiakriterį vertinimą TOPSIS ir COPRAS metodais, gauta, kad nepaisant taikyto metodo racionaliausia medžiaga yra ekstruzinis polistireninis putplastis „*Finnfoam XPS FL-300*“, ši medžiaga taikytuose metoduose surinko daugiausiai balų. Mažiausiai balų surinko polistireninio putplasčio plokštės „*ETNA EPS 100*“ ir ji yra neefektyviausia medžiaga iš vertintų alternatyvų.

**Baigiamojo projekto sudėtis ir apimtis:** Darbą sudaro santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbą sudaro 64 puslapiai, 23 lentelės, 23 paveikslėliai, priedas.

Maldarytė, Karina. Multicriteria Evaluation of Increasing the Efficiency of Insulation Materials for the Basement Wall of a Modernized Multi-apartment Building. Master's Final Degree Project/supervisor 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 efficiency, insulation materials for the basement wall, multi-apartment building.

Panevėžys, 2022. 64 p.

### Summary

The construction sector is crucial for satisfy the requirements of the European Union's energy and environmental rules. Energy - efficient buildings increase people's standarts of living and bring added value to the economy and society [3]. One of the simplest and most effective ways to save energy is to insulate buildings. The main task when heating a building is to choose such an insulation material that would increase the thermal resistance of the building envelopes [6]. Faults occur for a variety of reasons [35], one of which is the improper installation of the floor, rain and contaminants on the plinth finish. In this way, moisture with contaminants penetrates through random locations and into the thermal insulation of the plinth and basement walls and increases the likelihood of irreparable damage [35].

In the first part of the master's final project, Lithuanian and foreign scientific articles are examined and analyzed. The second part describes the multi-criteria evaluation methods, examines the algorithms of the TOPSIS and COPRAS methods, and provides the formulas and calculations required to verify the consistency of the expert survey responses. In the third part, the research model was chosen for the multi-criteria evaluation using TOPSIS and COPRAS methods and for the calculation of the final results - the plinth unit and 3 different plinth insulation materials were evaluated: polystyrene foam boards *ETNA EPS 100*, extruded polystyrene foam *Finnfoam XPS FL-300*, *silosor* Based on the analysis of scientific articles, the selected indicators were used to evaluate the efficiency: the cost of the insulation material, the heat transfer coefficient, the compressive strength, long-term water absorption.

The aim of the work is to perform a multi-criteria evaluation of the efficiency improvement of the materials of the modernized multi-apartment house for the insulation of the plinth of the house.

#### Work tasks:

1. To examine the need to increase the energy efficiency of modernized multi-apartment buildings, methods and the most commonly used insulation materials for partitions in Lithuania and abroad.
2. To examine the multi-criteria evaluation methods of TOPSIS and COPRAS and to determine the significance of the indicators of basement wall insulation materials with the help of an expert survey.
3. Carry out the study of basement wall insulation materials by TOPSIS and COPRAS methods and select the most effective basement wall insulation material.

**Research methods:** Analysis of Lithuanian and foreign scientific literature, technical documentation and construction technical regulations, TOPSIS and COPRAS multi-criteria evaluation methods, survey of experts.

**The main results and conclusions of the research:** After a multi-criteria evaluation of the basement wall insulation materials, the TOPSIS and COPRAS methods showed that, despite the method used, the most rational material is *Finnfoam XPS FL-300* extruded foam, this material scored the highest in the applied methods. *ETNA EPS 100* polystyrene foam boards received the lowest score and are the least efficient material of the evaluated materials.

**The master's final project consists of:** summaries in Lithuanian and English, introduction, 3 chapters, conclusions, references. The work consists of 64 pages, 23 tables, 23 figures, appendix.



## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Santrumpų sąrašas .....</b>	<b>12</b>
<b>Įvadas .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Mokslinės literatūros analizė .....</b>	<b>14</b>
1.1. Energinio efektyvumo samprata Europos šalyse .....	14
1.2. Energinio efektyvumo didinimo metodai .....	15
1.3. Atsinaujinanti energija .....	16
1.4. Efektyvių rezultatų siekimas Europos šalyse .....	17
1.5. Investavimo į daugiabučių namų atnaujinimą nauda.....	19
1.6. Daugiabučių namų modernizavimo procesas Lietuvoje.....	21
1.7. Energijos vartojimo ir intensyvumo prognozės.....	23
1.8. Daugiabučio namo atnaujinimo (modernizavimo) priemonės .....	24
1.9. Energinio efektyvumo didinimo poreikis Lietuvoje.....	26
1.10. Cokolio ir rūsio sienos energinio efektyvumo didinimas .....	26
1.11. Cokolio šiltinimo nauda.....	27
<b>2. Daugiakriteriai TOPSIS ir COPRAS vertinimo metodai.....</b>	<b>30</b>
2.1. Daugiakriterinių vertinimų klasifikacija.....	30
2.2. TOPSIS metodo algoritmas .....	31
2.3. COPRAS metodo algoritmas.....	32
2.4. Ekspertų apklausos vertinimas .....	33
<b>3. Tiriamaoji dalis.....</b>	<b>34</b>
3.1. Tiriamieji rodikliai.....	34
3.2. Ekspertų nuomonių suderinamumo tikrinimas.....	35
3.3. Cokolio šiltinimo efektyvumo daugiakriteris vertinimas TOPSIS metodu.....	39
<b>Išvados .....</b>	<b>54</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>55</b>
<b>Priedas .....</b>	<b>60</b>

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Energijos taupymo priemonių ir pastato charakteristikų prieš ir po modernizavimo palyginimas [15].....	17
2 lentelė. Energinį efektyvumą didinančios priemonės [32].....	25
3 lentelė. Izoliacinių medžiagų klasifikacija .....	28
4 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai.....	36
5 lentelė. Norminė $x_{lent}^2$ reikšmė .....	38
6 lentelė. TOPSIS metodo galimų sprendimų priėmimo matrica.....	41
7 lentelė. TOPSIS metodo normalizuota sprendimų matrica .....	41
8 lentelė. TOPSIS metodo svartinė normalizuota sprendimų matrica.....	42
9 lentelė. TOPSIS metodo idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva .....	43
10 lentelė. TOPSIS metodu apskaičiuoti atstumai .....	43
11 lentelė. TOPSIS metodu apskaičiuoti santykiniai atstumai.....	43
12 lentelė. TOPSIS metodo normalizuota sprendimų matrica, kai rodiklių reikšmingumai vienodi	45
13 lentelė. TOPSIS metodo svartinė normalizuota sprendimų matrica, kai rodiklių reikšmingumai vienodi .....	45
14 lentelė. TOPSIS metodo idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva, kai rodiklių reikšmingumai vienodi .....	46
15 lentelė. TOPSIS metodu apskaičiuoti atstumai, kai rodiklių reikšmingumai vienodi.....	46
16 lentelė. TOPSIS metodu apskaičiuoti santykiniai atstumai, kai rodiklių reikšmingumai vienodi	47
17 lentelė. Galimų sprendimų priėmimo matrica COPRAS metodu.....	48
18 lentelė. Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos apskaičiuotos COPRAS metodu.....	49
19 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis apskaičiuotas COPRAS metodu .....	49
20 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs.....	50
21 lentelė. Normalizuota matrica COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs.....	51
22 lentelė. Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos apskaičiuotos COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs .....	52
23 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis apskaičiuotas COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs .....	52

## Paveikslų sąrašas

1 pav. Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas [1].....	14
2 pav. Apšildinto ir neapšildinto daugiabučio namo termografija [10] .....	15
3 pav. Imituojamas saulės jėgainės vaizdas ant daugiabučio namo stogo [13].....	16
4 pav. Oro teršalų emisijų palyginimas prieš ir po renovacijos [21].....	19
5 pav. Ekonominio modeliavimo rezultatai [26] .....	21
6 pav. Daugiabučių namų modernizavimo procesas [27] .....	22
7 pav. Daugiabučių namų modernizavimo analizė ir statistika [27] .....	23
8 pav. Energijos suvartojimo ir BVP augimo prognozės iki 2050 m. [27] .....	23
9 pav. Energijos intensyvumo mažėjimo prognozės iki 2050 m. [27] .....	24
10 pav. Kairėje – lietaus vandens tiškimo schema esant uždarai nuogrindai, dešinėje – lietaus vandens tekėjimo schema esant atvirai vėdinamai ir drenuojamai nuogrindai [35].....	27
11 pav. Daugiakriterių vertinimų etapai [38] .....	30
12 pav. Statybos srities specialistų pasiskirstymas pagal užimamas pareigas .....	35
13 pav. Statybos srities specialistų darbo stažas turint kvalifikacijos atestatus .....	35
14 pav. Apklauso metu gautų vidutinių rangų reikšmės.....	37
15 pav. Apklauso metu gautų rodiklių rangų suma .....	37
16 pav. Apklauso metu gautos rodiklių reikšmės .....	39
17 pav. Cokolio magas (tiriamasis modelis, kur „x“ skirtinga šiltinimo medžiaga).....	40
18 pav. TOPSIS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai .....	44
19 pav. TOPSIS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai, kai reikšmingumai yra vienodi .....	47
21 pav. COPRAS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai .....	50
22 pav. COPRAS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai, kai reikšmingumai yra vienodi .....	52
23 pav. Lyginamoji COPRAS metodu apskaičiuotų tyrimų rezultatų diagrama .....	53

## **Santrumpų sąrašas**

Dr. – daktaras;

STR – statybos techninis reglamentas;

ES – Europos Sąjunga;

BVP – bendras vidaus produktas;

TOPSIS – daugiakriteris vertinimo metodas, artumo idealiajam taškui metodas;

COPRAS – kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas.

## Įvadas

**Temos aktualumas.** Laikui bėgant keičiasi ne tik žmonės ir gamta, tačiau keičiasi ir pastatai. Pastatai sensta, jų konstrukcijas veikia įvairūs faktoriai (drėgmė, temperatūros pokyčiai, eksploatacijos laikas ir pan.), todėl konstrukcijos praranda savo fizikines savybes, išvaizdą ir tampa prastos techninės būklės. Kita senų pastatų irimo problema – statybos metu neteisingai parinkti sprendimai, medžiagos, netinkamai atliktas darbas. Todėl tobulėjant žmonių įpročiams, gebėjimams, žinioms ir technologijoms, imta saugoti gamtą bei energijos išteklius. Pastatai pradedami atnaujinti, modernizuojami, siekiant padidinti jų energinį efektyvumą ir sumažinti šilumos nuostolius patiriamus per cokolį, sienas, stogą, langus, duris ir kitas atitvaras. Modernizavimas leidžia sumažinti būsto išlaidas už komunalines paslaugas ir padidina būsto rinkos vertę. Daugiabučių gyvenamųjų namų energinio efektyvumo didinimas yra nagrinėjamas Lietuvos ir užsienio mokslininkų darbuose. Atliekami tyrimai, siekiant išsiaiškinti racionaliausius efektyvumo didinimo būdus, priemones, medžiagas. Ieškomi nauji būdai, kurie galėtų prisidėti prie pastatų būklės gerinimo.

**Tyrimo objektas** – modernizuojamo daugiabučio namo medžiagos, naudojamos namo cokoliui apšiltinti.

**Darbo tikslas** – atlikti modernizuojamo daugiabučio namo medžiagų, skirtų namo cokoliui apšiltinti, efektyvumo didinimo daugiakriterį vertinimą.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Apžvalginėje dalyje išnagrinėti Lietuvos ir užsienio modernizuojamų daugiabučių pastatų energinio efektyvumo didinimo poreikį, metodus bei dažniausiai naudojamas atitvarų apšiltinimo medžiagas.
2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją, TOPSIS ir COPRAS metodų bei ekspertų apklausos vertinimo algoritmus.
3. Tiriamojoje dalyje pateikti skirtingų cokolio apšiltinimo medžiagų vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą TOPSIS ir COPRAS metodais. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į spėdimų matricos charakteristikas.

**Tyrimo metodai:** Lietuvos ir užsienio mokslinės literatūros, techninės dokumentacijos ir statybos techninių reglamentų analizė, TOPSIS ir COPRAS daugiakriteriai vertinimo metodai, ekspertų apklausa.

**Autoriaus publikuotų straipsnių bibliografinis sąrašas:** Maldarytė, Karina. A++ klasės daugiabučio gyvenamojo pastato cokolio apšiltinimo efektyvumo daugiakriteris vertinimas // Technologijų ir verslo aktualijos 2021: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2021 balandžio 23 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas. Panevėžys: Kauno technologijos universitetas. 2021.

**Autoriaus konferencijose skaityti pranešimai:** Maldarytė, Karina. A++ klasės daugiabučio gyvenamojo pastato cokolio apšiltinimo efektyvumo daugiakriteris vertinimas. Studentų mokslinė konferencija „Technologijų ir verslo aktualijos 2021“. Panevėžys: Kauno technologijos universitetas, 2021 m. balandžio 23 d.

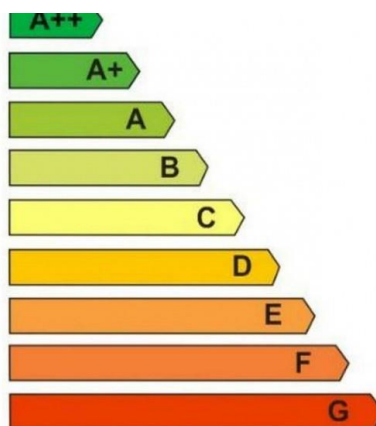
**Baigiamojo projekto sudėtis ir apimtis:** Darbą sudaro santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbą sudaro 64 puslapiai, 23 lentelės, 23 paveikslėliai, priedas.

## 1. Mokslinės literatūros apžvalga

### 1.1. Energinio efektyvumo samprata Europos šalyse

Pastato (jo dalies) energinis naudingumas – apskaičiuotas energijos kiekis, reikalingas patenkinti su įprastu pastato naudojimu siejamą energijos poreikį, įskaitant energiją pastato šildymo, vėsinimo, vėdinimo, karšto vandens ir pastato apšvietimo reikmėms. Pastatai (jų dalys) pagal energinį naudingumą klasifikuojami į 9 klases (žr. 1 pav.): A++, A+, A, B, C, D, E, F, G. A++ klasė laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą (jo dalį) [1]. Tuo tarpu G klasė yra mažiausiai efektyvi, sukelti didelių energijos nuostolių.

Statybos sektorius yra labai svarbus siekiant įgyvendinti Europos Sąjungos aplinkosaugos ir energetikos taisyklių reikalavimus. Tuo pat metu efektyviau energiją vartojantys pastatai gerina žmonių gyvenimo kokybę bei suteikia papildomos naudos visuomenei bei ekonomikai. ES sukūrė teisinę sistemą, siekiant padidinti pastatų energinį naudingumą. Sistema apima energijos vartojimo efektyvumo direktyvą 2012/27 Es ir pastatų energinio naudingumo direktyvą 2010/31/ES. Kartu šios direktyvos skatina politiką, kuri padės iki 2050 m. sukurti stabilią aplinką investiciniams sprendimams priimti ir sudaryti sąlygas priimti labiau pagrįstus sprendimus taupant energiją ir finansus. Todėl ES šalys turi parengti tvirtas ilgalaikes renovacijos strategijas, nustatyti ekonomiškai optimalius minimalius energinio naudingumo reikalavimus naujiems pastatams, esamiems pastatams, tiems, kurie yra kapitališkai renovuojami ar modernizuojami. Visi nauji pastatai nuo 2021 m. turi būti beveik energijos nenaudojantys, jiems turi būti išduodami energinio naudingumo sertifikatai (pastato energinis sertifikavimas atliekamas nepriklausomų ekspertų – tam tikrų specialistų, kurie turi kvalifikaciją patvirtinančius atestatus, suteikiančius jiems teisę atlikti pastatų energinio naudingumo sertifikavimą [2]) - bei nustatytos šildymo ir oro kondicionavimo sistemų tikrinimo schemas [3].

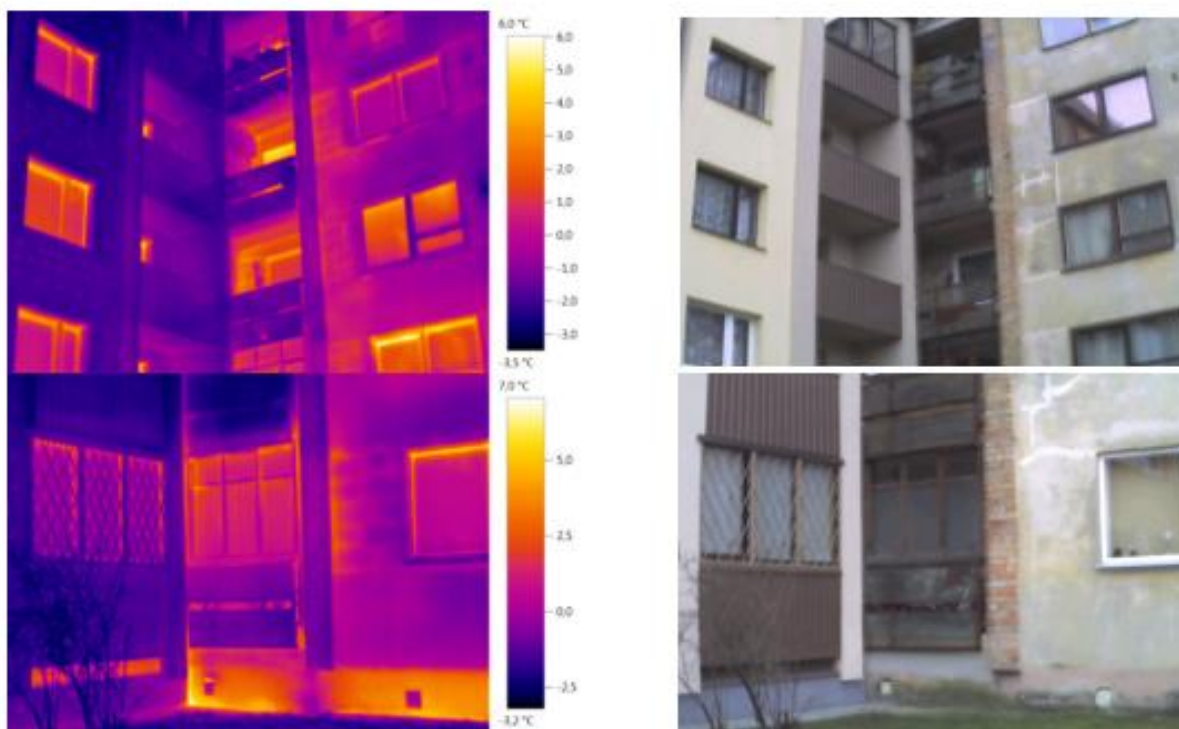


1 pav. Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas [1]

Daugiabučių namų energijos suvartojimo šildymui kiekį lemia ne tik žmonių elgesys (atidarant langus ar naudojant tam tikros rūšies radiatorius), bet ir vidinė šilumos perdavimo sistema bei šilumos skirtumas tarp gretimai esančių butų. Mokslininkų atlikti tyrimai [4] rodo, kad vyrauja 2 svarbiausi faktoriai energijos pokyčiams išgauti: šildymas ir vėdinimas. O kiti tyrėjai [5] konkrečiai išnagrinėjo vėdinimo potencialą bei jo naudą daugiabučiuose namuose. Jų eksperimentiniai temperatūros tyrimų rezultatai parodė, kad dabartiniai daugiabučiai namai neužtikrina reikalingo oro keitimosi-mainų, kuris yra privalomas pagal sanitarines sąlygas, taip darant neigiamą poveikį gyventojų sveikatai, energiniam efektyvumui bei žmonių gyvenimo trukmei.

## 1.2. Energinio efektyvumo didinimo metodai

Vienas paprasčiausių ir efektyviausių būdų, padedančių taupyti energiją, – pastatų šilumos izoliacija. Pagrindinis uždavinys šildant pastatą – pasirinkti tokią šiltinimo medžiagą, kad būtų padidinta pastato atitvarų šiluminė varža. Tyrimų rezultatai rodo [6], kad tiek išorinės, tiek vidinės sienos šilumos izoliacija žymiai sumažina bendrą energijos poreikį, tačiau daro įtaką sienoms, t. y. jų apsaugai ir pelėsio atsiradimui. Šilumos izoliacijos montavimas yra tinkamesnis išorėje nei viduje, įrengus izoliacinį sluoksnį, šis neleidžia išorinėms sienoms atvėsti nakties metu (nukritus temperatūrai). Jei siena nėra izoliuota, šilumos perdavimo greitis tarp vidaus ir išorės oro yra greitesnis, dėl ko sumažėja sienos temperatūra (ji perduodama į lauką) – (žr. 2 pav.). Fasadas su oro koridoriumi taip pat sumažina energijos suvartojimą 30 proc., palyginti su to paties dydžio pastatais [7]. Energijos vartojimo efektyvumo priemonės apima papildomą rūšio sienų, išorinių sienų ir palėpės grindų izoliaciją, patobulintus energiją taupančius langus ir duris, subalansuotą vėdinimą su šilumos grąžinimu, apšvietimą, buitinius prietaisus, taip pat vandens čiaupus ir net dušo galvutes. Tyrimų rezultatai rodo, kad patobulinti energiją taupantys veiksniai leidžia žymiai sutaupyti galutinės ir pirminės energijos patalpų šildymui. Bendras galutinės ir pirminės energijos suvartojimas vidutiniškai sumažėja atitinkamai 54 – 58 proc., kai visos priemonės taikomos kartu pagal dabartinius ir būsimus klimato scenarijus. Veiksmingi buitiniai prietaisai ir apšvietimas bei tinkamos perkaitimo kontrolės priemonės žymiai sumažina kondicionavimo poreikį ir perkaitimo riziką [8]. Skandinavijos šalyse buvo atlikti tyrimai ir padarytos išvados, jog, siekiant taupyti energiją, fasadams reikia naudoti naujus, energetiškai efektyvius tinkus. Tokie tinkai savo sudėtyje turi aerogelio dalelių. Tai akyta medžiaga, kurios šilumos laidumas yra labai mažas ( $0,018 \text{ W}/(\text{mK})$ , 15 mm) lyginant su įprastomis izoliacinėmis medžiagomis. Tyrimų rezultatai rodo, kad jeigu bent 10 proc. Švedijos daugiabučių namų būtų izoliuota šia medžiaga, per metus  $\text{CO}_2$  emisija būtų sumažinta 78 GWh ir 1 000 tonų [9].



2 pav. Apšiltinto ir neapšiltinto daugiabučio namo termografija [10]

### 1.3. Atsinaujinanti energija

Šiais laikais miestai priima daugiau nei pusę pasaulio gyventojų, remiantis naujausiomis prognozėmis, tikimasi, kad iki 2050 m. šis skaičius padidės 68 proc., tai reiškia, kad statybos sektoriui, kuris šiuo metu sunaudoja beveik 40 proc. metinio pirminės energijos suvartojimo, reikės dar daugiau energijos [11]. Nuolat didėjant energijos naudojimo paklausai, svarbu pagalvoti ir apie energijos išteklių stygių. Imta ieškoti naujų būdų, kaip galima būtų apsirūpinti energijos ištekliais [12]. Tyrėjai Valančius bei Mikučionienė analizuoja ir tiria energijos ir technines galimybes, įdiegiant sistemas, kurios naudoja atsinaujinančius elektros šaltinius (saulės energiją). Straipsnyje autoriai aprašo saulės energijos sistemų naudojimo galimybes atnaujinant daugiabučius namus (5, 9 ir 16 aukštų), kurie yra pastatyti Lietuvoje. Nustato optimalius technologinius derinius bei sprendimus, leidžiančius pasiekti maksimalią energijos naudą: saulės kolektoriai buitiniam karšto vandens ruošimui, fotovoltinės plokštės – elektros naudojimui. Šiai analizei atlikti naudotasi faktiniais šilumos ir elektros duomenimis. Naudojant saulės kolektorius (žr. 3 pav.) su suprojektuotomis šiluminėmis zonomis, šiluminę saulės energiją generuojanti sistema padengė 60,9 proc. penkių aukštų pastato vandens paruošimo poreikį, 43 proc. – devynių aukštų pastato ir 33,7 proc. – šešiolikos aukštų pastato. Ištyrus fotovoltinės saulės elektrinės naudingumą, gauti tokie rezultatai: išnaudojant visą penkių aukštų pastato stogo plotą, būtų patenkinta 49,8 proc. viso pastato metinio elektros poreikio, tuo pačiu būdu naudojant devynių aukštų pastato stogą – 19 proc. o šešiolikos aukštų pastate – 11 proc. pastato poreikių [11].



3 pav. Imituojamas saulės jėgainės vaizdas ant daugiabučio namo stogo [13]

Atsinaujinantys energijos šaltiniai turi daugybinių poveikį skatinant ekonomiką ir plėtojant ne tik energetikos sektorių, bet ir visą su šia pramone susijusią pagalbinę veiklą. Atsinaujinančios energijos plėtros poveikis yra vienas iš veiksnių, plėtojančių technologijų inovacijų plėtros kokybę [14]. Siekiant racionalaus taupymo Rogoža, Šiupšinskas, Bielskus, Misevičiūtė palygino energijos taupymo priemones bei pastato charakteristikas prieš ir po modernizavimo. Tyrimo rezultatai pateikti lentelėje (žr. 1 lent.). Tyrimo objektu pasirinko daugiabutį namą. Modernizavus jį buvo apšiltintas pastato cokolis, fasado sienos, stogas, įrengta nauja stogo danga, atlikta apdaila, pakeistos duris ir langai, įstiklinti balkonai, prijungti saulės kolektoriai, pakeisti liftai bei atnaujintos pastato inžinerinės sistemos. Name įrengta priverstinio oro ištraukimo sistema, kurios metu oras ištraukiamas per



vėdinimo šachtas iš tualetų, vonios bei dušo patalpų. Vėliau oras yra paduodamas į išorinius siurblių blokus. Pastato šilumos punkte naudojant šilumos siurblius bei saulės kolektorius yra ruošiamas karštas vanduo. Šilumos dalis, kurios trūksta karšto vandens ruošimui yra padengiama iš centralizuotos sistemos, skirtos šilumai tiekti.

1 lent. nurodyta, jog šilumos nuostoliai gali būti patiriami per sienas, langus, duris bei stogą ir jie yra apibūdinami šilumos perdavimo ir oro kaitos koeficientu – šilumos kiekiu, kuris pereina per 1 m<sup>2</sup> medžiagą, pasikeičiant 1 K temperatūrai per tam tikrą laiką. Apibendrinant pateiktus duomenis galime daryti išvadas, jog šilumos nuostoliai, kuriuos pastatas praranda per atitvaras, po modernizavimo sumažėja 67 proc., tačiau modernizuojant pastatą ir jame įrengiant šilumos siurblius prasideda priverstinis oro šalinimas per vėdinimo kanalus – oro kaita patalpose padidėjo ir pastato šilumos suminiai nuostoliai nuo 67 proc. sumažėja iki 54 proc.

**1 lentelė.** Energijos taupymo priemonių ir pastato charakteristikų prieš ir po modernizavimo palyginimas [15]

Atitvara	Šilumos perdavimo ir oro kaitos koeficientai		Šilumos poreikis norminėmis sąlygomis				Sutaupytos šilumos kiekis norminėmis sąlygomis		
	prieš	po	prieš		po				
	U, W/(m <sup>2</sup> K)		MWh/metus	kWh/m <sup>2</sup>	MWh/metus	kWh/m <sup>2</sup>	MWh/metus	kWh/m <sup>2</sup>	%
Sienos	1,27	0,22	364,0	99,3	59,9	17,2	286,0	82,1	83
Butų langai ir balkonų durys	1,69	0,90	96,0	27,5	51,2	14,7	44,8	12,9	47
Stogas	0,85	0,44	40,6	11,6	21,0	6,0	19,6	5,6	48
Durys	1,80	1,60	0,8	0,2	0,7	0,2	0,1	0,03	11
Iš viso per atitvaras			519,5	149,0	168,9	48,5	350,5	100,6	67
Oro kaita	0,2 h <sup>-1</sup>	0,35 h <sup>-1</sup>	52,7	15,1	93,3	26,8	-40,6	-11,6	-77
Pastato šilumos nuostoliai:			572,2	164,2	262,3	75,3	309,9	88,9	54
Naudingai panaudotas šilumos pritekis			-96,6	-27,7	-118,4	-34,0	21,7	6,2	23
Iš viso šilumos nuostolių:			475,6	136,5	1439	41,3	331,7	95,2	70

Įdiegus šilumos taupymo priemones nustatyta, kad pastatui šildyti reikia 70 proc. mažiau šilumos. Skaičiavimams atlikti buvo imta, jog elektra yra gaminama mišriuoju būdu, o šiluma – deginant biokurą ir gamtines dujas, jų santykis atitinkamai 80 proc. ir 20 proc. taip pastatas tampa energetiškai efektyvesnis [15].

#### 1.4. Efektyvių rezultatų siekimas Europos šalyse

Efektyvių energijos naudojimo rezultatų siekė ir Reinis Aboltins'as bei Dagnija Blumberga. Jie atliko tyrimą ir rezultatus pateikė viename iš savo straipsnių [16]. Pasitelkdami strategijos politinę analizę, išnagrinėjo 16 skirtingų modulių, kad išspręstų hipotezę: kokie žingsniai siekiant energinio

efektyvumo yra svarbiausi, kokias priemonių grupes reikėtų grupuoti norint turėti efektyviausius rezultatus ir kokią strategiją pasirinkti. Šie modeliai buvo skirstomi į tokias grupes:

1. Dabartinė energijos vartojimo efektyvumo analizė šalyje.
2. Energijos efektyvumo politika Europoje.
3. Kliūčių nustatymas ir klasifikavimas.
4. Kliūčių priežasčių analizė.
5. Energijos vartojimo efektyvumo strategijos priemonės, nurodytos literatūroje.
6. Energijos vartojimo priemonių efektyvumo seka.
7. Strategijos pasirinkimas ir keitimas.
8. Energijos vartojimo efektyvumo strategijos koordinavimas.
9. Vienu metu įgyvendinamų priemonių strategija.
10. Strateginės priemonės.
11. Strateginė peržiūra.
12. Pasiekimų lygio įvertinimas.
13. Sprendimai nutraukti strategiją.
14. Strategijos tęsimas.
15. Strategijos keitimas.
16. Naujos strateginės priemonės įvedimas.

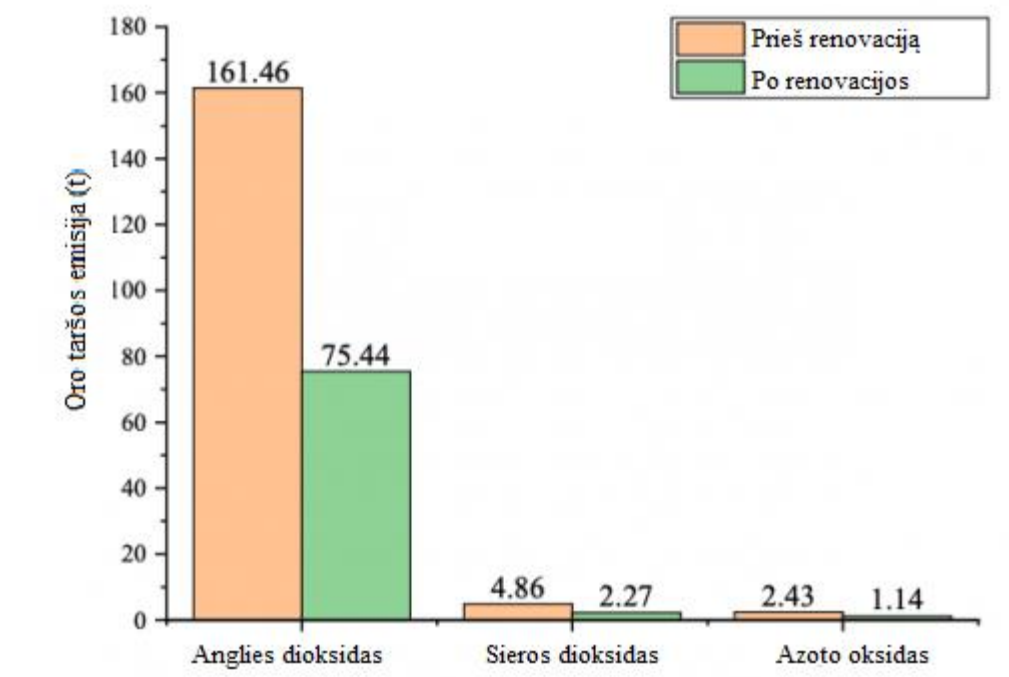
Analizuojant šiuos modulius buvo nagrinėjamas energinis efektyvumo didinimas daugiabučiuose namuose, viešosiose erdvėse bei transporto sektoriuje Latvijoje. Išanalizavus šiuos 16 modulių, padarytos išvados, kad kelias strategines priemones reikia įgyvendinti vienu metu, jas reikia sukoordinuoti teisinga seka, t. y. atsižvelgti į dabartinius energijos vartojimo rodiklius, identifikuoti galinčias atsirasti kliūtis, naudotis strategijomis ir pan. [16]. Yra daugybė kliūčių, trukdančių renovuoti daugiabučius pastatus: trūksta galimybių gauti kapitalą ir žinių, kaip teisingai atlikti renovaciją, taip pat nevienodos iniciatyvos ir namų ūkių sunkumai priimant bendrą sprendimą dėl pastatų atnaujinimo, dėl pajamų, profesijų skirtumo, butų dydžių ir kt. [17]. Tikslingas energijos vartojimas yra ilgalaikis darbas, todėl kyla didesnė rizika, jog strategija, kaip didinti efektyvumą, gali būti pasirinkta neteisingai. Norint pasiekti rezultatus reikia nepamiršti įvertinti finansines, informacines, reguliavimo priemones, kurios turės įtakos tolesniems veiksniams [16]. Straipsnyje taip pat pritariama energinio efektyvumo didinimui, tačiau pabrėžiama, jog energinio efektyvumo didinimui turi įtakos ir valstybė, jų nuomone, tai turėtų būti vienas iš valstybės strateginių tikslų.

Pastatų atnaujinimas yra svarbus būdas sumažinti senų pastatų poveikį aplinkai. Aplinkosaugos aspektas dažnai yra vienintelis rūpestis priimant sprendimus dėl renovacijos, taigi, norint atsižvelgti į perspektyvius ir visapusiškus renovacijos sprendimus, reikia atkreipti dėmesį ir į aplinkosauginį, ir

į finansinį aspektą [18]. Dar vieni tyrėjai [19] taip pat analizavo, kas turi įtakos energijos praradimui bei patiriamies nuostoliams. Jų tyrimų rezultatai rodo, kad šildymo sąnaudų padidėjimas 29 proc. yra susijęs su žmonių kasdienine elgsena, 20 proc. nuostolių patiriama nenaudingai naudojant ir netaupant karšto vandens.

### 1.5. Investavimo į daugiabučių namų atnaujinimą nauda

Energinis pastatų atnaujinimas turi įtakos ne tik ekonominei veiklai, bet teikia ir daug kitokių privalumų, tokių kaip: energijos taupymas, mažėjantis išmetamų CO<sub>2</sub> teršalų kiekis, energetinių medžiagų ir produktų importas (nafta, gamtinės dujos, anglis, kuras, atsinaujinantys energijos ištekliai). Mikulic, Slijepčević ir Buturac [20] ištyrė ekonomikos ir klimato pokyčių ryšį. Taikydami įvesties ir išvesties modelį, jie tyrė tiesioginį ir netiesioginį sukeliama poveikį. Tyrimas atliktas remiantis Kroatijos šalies analize 2017 – 2020 m. Gauti rezultatai parodė, jog egzistuoja netiesioginis socialinis-ekonominis energijos atkūrimo projektas, kuris yra finansuojamas nacionalinio valstybės biudžeto arba Europos Sąjungos struktūrinių fondų. Bendrosios pridėtinės vertės ir užimtumo sąlygotas augimas teigiamai veikia pajamas iš mokesčių ir įmokų, ir tokiu būdu bendras renovacijos darbų finansavimas netrikdo viešųjų finansų stabilumo. Investavimas į daugiabučių namų modernizavimą padidina vidaus ekonomikos energijos pakankamumą dėl to, kad per visą investicijos laiką mažėja importuojamos energijos poreikis. Sumažėjus priklausomybei nuo importo, sumažėja ir neigiamas poveikis pasaulinei energetikos rinkai. Todėl tyrimų rezultatai rodo teigiamą poveikį klimato pokyčiams: mažėjantį energijos suvartojimą renovuotoje aplinkoje, mažėjantį kenksmingų dalelių išmetimą, šiltnamio efekto mažėjimą, ozono sluoksnio saugojimą. 4 pav. pateikta diagrama, parodanti oro taršos emisijos pokytį prieš ir po renovacijos.



4 pav. Oro teršalų emisijų palyginimas prieš ir po renovacijos [21]

Didžiausias skirtumas yra anglies dioksido, jis sumažėja 86,02 t, sieros dioksidas ir azoto dioksidas sumažėja apie 2 kartus. Prieš renovaciją anglies dioksido kiekis sudarė 161,46 t, po jos – 75,44 t, t. y.

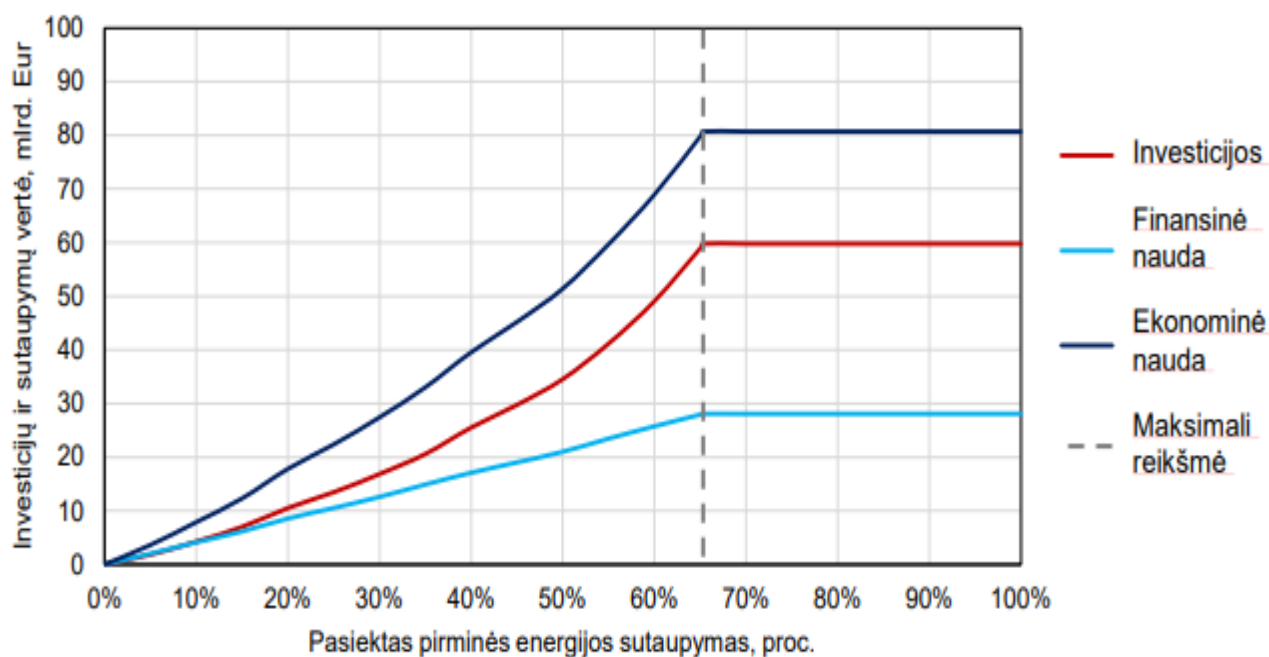
sumažėjo 86,02 t. Sieros dioksidas prieš renovaciją sudarė 4,86 t, po renovacijos sumažėjo 46,7 proc. Azoto dioksido kiekis prieš renovaciją siekė 2,43 t, po renovacijos šis kiekis sumažėjo iki 1,14 t.

Šiais laikais bendras žmonijos energijos suvartojimas viršija 120 mlrd. MWh per metus. Energijos gamyboje daugelį dešimtmečių metinis prieaugis siekia apie 3 proc. Efektyvus energijos naudojimas valstybei reiškia: taupyti išteklius, didinti pramonės našumą ir konkurencingumą, aplinkai – ribojamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas į atmosferą, gyventojams – žymiai sumažintos komunalinės išlaidos. Energijos vartojimo efektyvumas statybose – kuomet siekiama panaudoti mažiau išteklių, kad būtų pasiektas tas pats energijos tiekimo lygis [22].

Justas Matačiūnas bei Darius Migilinskas išanalizavę nustatė bei pritarė kitiems tyrėjams, kad pagrindinė priežastis, kuri skatina išnaudojamos energijos ir išskiriamo CO<sub>2</sub> kiekį yra šiltnamio efektas. Straipsnyje [23] pateikė Lietuvoje dažniausiai taikomas energinį efektyvumą didinančias priemones, tokias kaip: išorinių atitvarų šiltinimas, šildymo sistemos modernizavimas ar keitimas, langų keitimas, tačiau ieškoma ir naujų inovatyvių alternatyvų, kurios padidintų energinį efektyvumą. Tyrėjai taip pat išnagrinėjo pasiūlymą projektavimo etape pritaikyti BIM modeliavimą, kurio pagalba būtų įvertinami tikslesni darbų kiekiai, ir taip išvengiamos klaidos ankstyvame projekto etape, naudojant BIM modelį būtų galima analizuoti suvartojamos energijos kiekius. Svarbu paminėti, kad pertvarkymas iš iškastinio kuro į biokurą Lietuvos centrinio šildymo sistemoje leido šilumos gamybos įrenginiuose įvesti įvairias efektyvumo priemones. Tai leido per 20 m. sumažinti išmetamo CO<sub>2</sub> kiekį net 60 proc. [24].

Energijos poreikio sumažėjimas nebūtinai reiškia panašius didžiausius energijos poreikio pokyčius. Straipsnyje [25] išnagrinėti keturių skirtingų tipų daugiabučiai namai, atstovaujantys Suomijos daugiabučių namų fondui. Jie buvo ištirti atlikus optimalų energijos modifikavimą, siekiant nustatyti modifikavimo įtaką energijos poreikiui. Rezultatai parodė, kad perėjimas nuo centralizuoto šildymo prie žemės šilumos siurblių, atsižvelgiant į dabartinę energijos rūšį, žymiai sumažino išmetamų teršalų kiekį.

Lietuvos ilgalaikėje renovacijos strategijoje yra pateiktas paveikslėlis (žr. 5 pav.) parodantis, kokia nauda iš renovacijos proceso yra teikiama valstybei.



5 pav. Ekonominio modeliavimo rezultatai [26]

Grafike punktyrinė linija pateikta „Maksimali reikšmė“ (65 proc.) parodo ribą, kiek maksimaliai galima sutaupyti, jeigu visas fondas pasiektų A+ arba A++ energinio naudingumo klases. Žydros spalvos linija rodo finansinę naudą ir jos pokytį, mėlyna linija – pasiekta ekonominė nauda „Investicijų“ kreivė, parodo kiek investicijų reikia papildomam energijos sutaupymui pasiekti. Norint pasiekti 65 proc. pirminės energijos sutaupymą, reikia investicijų už 80 mlrd. Eur. Už „Investicijų“ ir „Maksimalios reikšmės“ susikirtimo vietos kiekvienas investuotas euras, atneš mažiau nei 1 euro finansinę naudą.

### 1.6. Daugiabučių namų modernizavimo procesas Lietuvoje

Valstybinio audito ataskaitoje „Daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas). 2020 m. sausio 20 d.“ pateiktas 6 paveikslėlis, kuris apibūdina daugiabučių namų modernizavimo procesą. Taigi, galime matyti, jog procesas susideda iš trijų pagrindinių procesų: planavimas, įgyvendinimas ir stebėseną. Kiekvieną procesą kontroliuoja bei vykdo tam tikri atstovai. Už modernizavimo planavimą yra atsakinga aplinkos ministerija bei savivaldybė [55]. Jie sudaro palankias sąlygas vystyti procesui, bei parengia energijos efektyvumo didinimo programas. Įgyvendinimo procese dalyvauja butų ir kitų patalpų savininkai, projekto administratorius bei agentūra. Bendru nutarimu žmonės priima sprendimą modernizuoti pastatą, projekto administratorius organizuoja sprendimo įgyvendinimą, o agentūra atsako už projekto įgyvendinimo priežiūrą. Paskutinis proceso žingsnis – stebėseną, agentūra organizuoja ir vykdo proceso stebėseną, o aplinkos ministerija vertina proceso eigą, bei pateikia tobulinimo sprendimus. Taigi, daugiabučių pastatų modernizavimo procese dalyvauja 5 atstovai, kurie yra atsakingi už 3 proceso vystymosi dalis [27].

Valstybinio audito ataskaitoje yra pateikta daugiabučių namų modernizavimo analizė bei statistika, kuri parodo kiek ir kokių rezultatų Lietuvą pasiekė nuo 2005 m. (žr. 7 pav.) Iš šios statistikos galime matyti, kad Lietuvoje yra apie 35 tūkst. energetiškai neefektyvių pastatų, pastatytų pagal statybos techninius reglamentus, galiojusius iki 1993 m. (Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo)

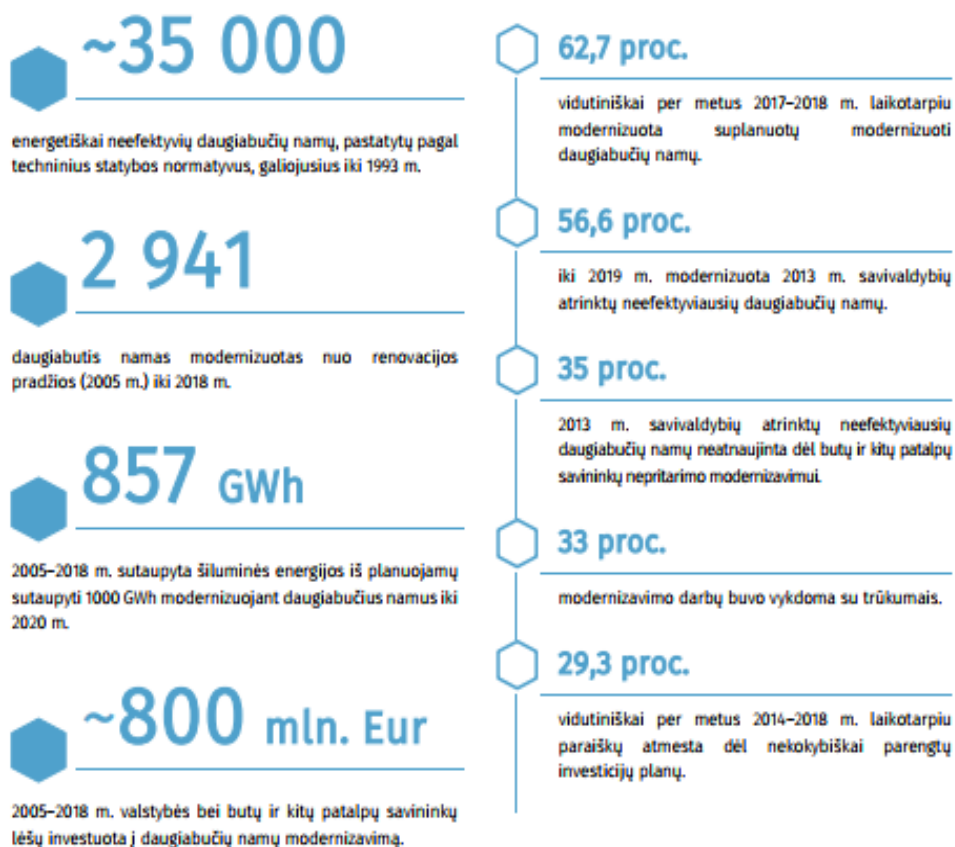
programa – skatina daugiabučių namų, kurie yra pastatyti remiantis iki 1993 m. galiojusiais statybos techniniais normatyvais, savininkus atnaujinti (modernizuoti) daugiabučius namus, tokiu būdu didinant jų energinį naudingumą, bei sudaryti sąlygas tai atlikti [27]).



6 pav. Daugiabučių namų modernizavimo procesas [27]

Tačiau modernizavimas neapsiėjo ir be kliūčių (žr. 7 pav.). Per metus laiko buvo modernizuojami 62,7 proc. iš 100 proc. planuojamų rekonstruoti daugiabučių, 35 proc. neefektyvių daugiabučių nebuvo atnaujinti dėl butų ir kitų patalpų savininkų nepritarimo, 29,3 proc. paraiškų buvo atmesta dėl nekokybiškai parengtų investicijų planų, o 33 proc. daugiabučių atnaujinti su trūkumais.

Statistiniai duomenys leidžia daryti išvadas, jog Lietuvai pavyko įgyvendinti daugiau nei pusę užsibrėžtų tikslų. Daugiabučių namų modernizavimas tampa vis paklausesnis. Daugiabučių savininkai ima suprasti modernizavimo tikslą bei svarbą – užtikrinamas efektyvus būsto naudojimas, gerinama žmonių gyvenamoji aplinka bei gyvenimo kokybė, visi energijos ištekliai yra panaudojami racionaliai, sumažėja šiluminės energijos sąnaudos [55].

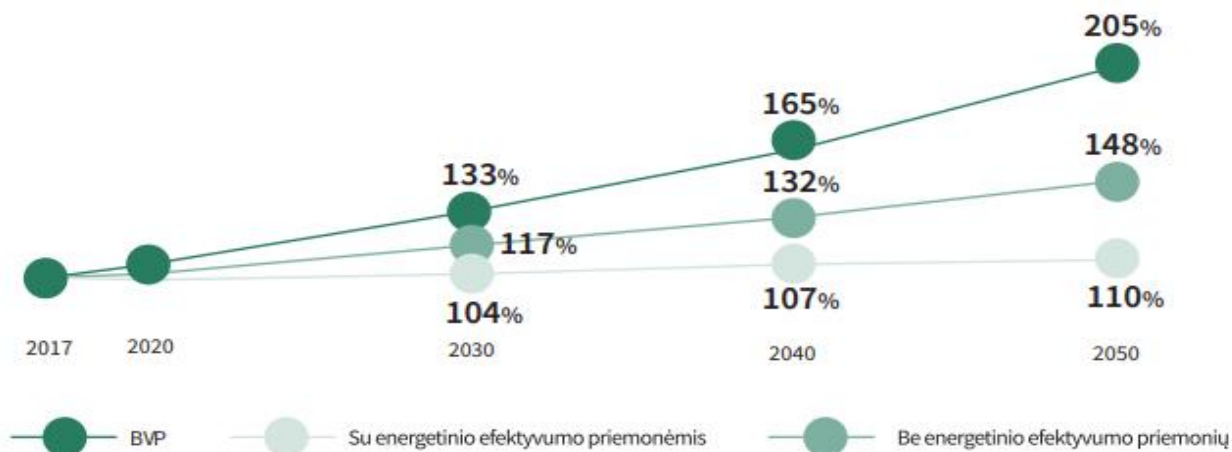


7 pav. Daugiabučių namų modernizavimo analizė ir statistika [27]

Nuo 2005 m. iki 2018 m. buvo modernizuojami 2941 namai ir taip sutaupyta 857 GWh šiluminės energijos. Visa tai kainavo apie 800 mln. Eur.

### 1.7. Energijos vartojimo ir intensyvumo prognozės

Lietuvos Respublikos energetikos ministerija pateikia nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją, joje galime matyti energijos suvartojimo ir BVP augimo prognozes iki 2050 m. Ši prognozė parodo energinių efektyvumo priemonių ir BVP priklausomybę (žr. 8 pav.).

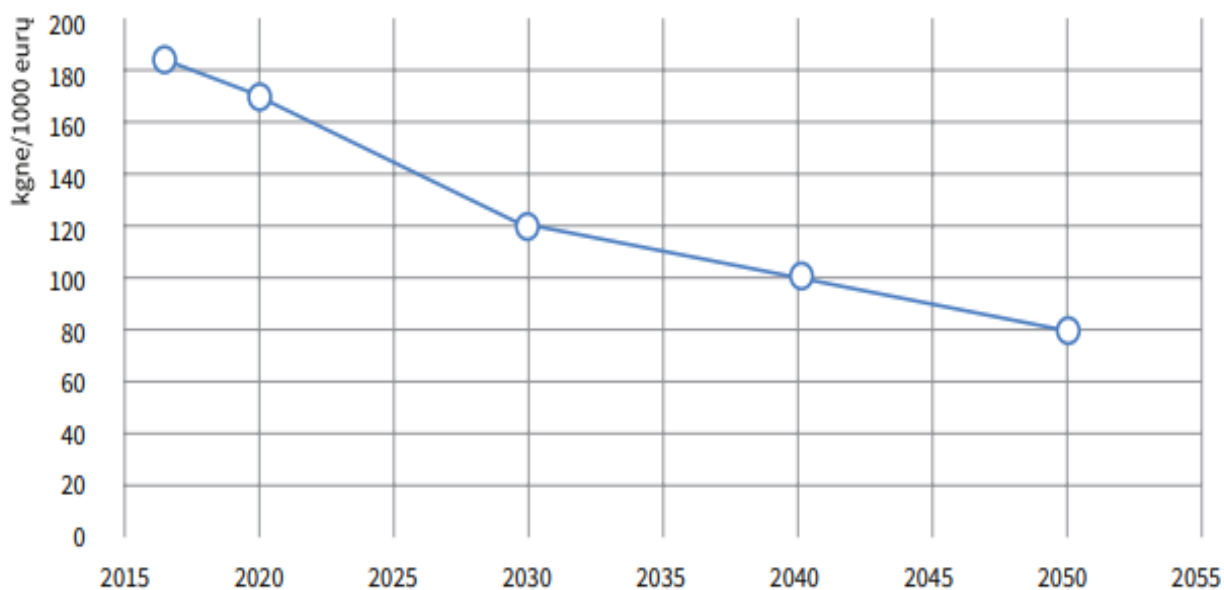


8 pav. Energijos suvartojimo ir BVP augimo prognozės iki 2050 m. [27]

Matome, kad su energinio efektyvumo priemonėmis iki 2050 m. energijos vartojimo poreikis padidėtų iki 110 proc. O bendras vidaus produktas tuomet pakiltų iki 205 proc.

Lyginant duomenis energijos vartojimo be energinio efektyvumo priemonių, galime matyti, kad energijos poreikis būtų intensyvesnis ir jis 2050 m. siektų 148 proc.

Lietuvos Respublikos energetikos ministerija pateikia dar vieną grafiką su energijos intensyvumo mažėjimo prognozėmis iki 2050 m. Matome, jog didinant energinį efektyvumą šalyje, nuo 2020 m. iki 2050 m. galima energijos poreikį sumažinti apie 2,13 kartus. Tačiau norint pasiekti šiuos rezultatus yra reikalingas ekonominis priemonių pagrįstumas, t. y. pirmumas energetiškai efektyviausios priemonėmis, energijos naudotojų švietimas, supažindinimas bei konkurencija tarp investuotojų – daugiausiai ekonominės naudos duodančių projektų įvykdymas (žr. 9 pav.) [29].



9 pav. Energijos intensyvumo mažėjimo prognozės iki 2050 m. [27]

Lietuva užsibrėžė tikslą padidinti atsinaujinančiųjų energijos išteklių dalį galutiniame energijos suvartojime 30 proc. iki 2020 m., 45 proc. iki 2030 m. ir 80 proc. iki 2050 m. [30]. Taip pat yra nustatyti ilgalaikiai Europos sąjungos tikslai, kuriuos šalys narės turės atlikti iki 2030 m.:

- 40 proc. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (lyginant su 1990 m.);
- ~32,5 proc. pagerinti energijos vartojimo efektyvumą;
- iki 32 proc. padidinti atsinaujinančiųjų energijos išteklių dalį visoje energetikoje [31].

### 1.8. Daugiabučio namo atnaujinimo (modernizavimo) priemonės

Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa (2004 m. priimta ir 2010 m. atnaujinta). Šios programos tikslas modernizuoti 70 proc. daugiabučių gyvenamųjų namų, kurie yra pastatyti iki 1993 m., siekiant padidinti jų energinį efektyvumą. Valstybės remiamos daugiabučio namo atnaujinimo (modernizavimo) priemonės yra pateiktos lentelėje (žr. 2 lent.).



**2 lentelė.** Energinį efektyvumą didinančios priemonės [32]

I.	ENERGINĮ EFEKTYVUMĄ DIDINANČIOS PRIEMONĖS
1.	Šildymo ir (ar) karšto vandens sistemų atnaujinimas (modernizavimas):
1.1.	šilumos punkto ir (ar) karšto vandens ruošimo įrenginių įrengimas, keitimas ar pertvarkymas; arba biokuro katilinių ar katilų šilumos energijai gaminti ir (ar) karštam vandeniui ruošti įrengimas ar keitimas, jeigu daugiabutis namas nepatenka į savivaldybės šilumos ūkio specialiajame plane numatytą centralizuoto šilumos tiekimo teritoriją
1.2.	šildymo sistemos atnaujinimas ar pertvarkymas ir (ar) balansinių ventilių ant stovų įrengimas, ir (ar) šildymo sistemos balansavimas, ir (ar) šildymo prietaisų ir (ar) vamzdynų keitimas, ir (ar) vamzdynų izoliavimas, ir (ar) termostatinė ventilių įrengimas, ir (ar) individualių šilumos apskaitos prietaisų ar daliklių sistemos įrengimas
1.3.	karšto vandens sistemos pertvarkymas, atnaujinimas, vamzdynų keitimas ir (ar) izoliavimas
1.	Energinis iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginių (saulės, vėjo, geoterminės ar aeroterminės energijos) įrengimas šilumos ir (ar) elektros, ir (ar) vėsumos energijai gaminti, ir (ar) karštam vandeniui ruošti
2.	Vėdinimo sistemos sutvarkymas arba pertvarkymas, įskaitant <i>mechaninio vėdinimo sistemos su šilumogrąžos</i> (rekuperacijos) funkcija įrengimas
3.	Stogo ar perdangos pastogėje šiltinimas, įskaitant stogo konstrukcijos sustiprinimą ar deformacijų šalinimą, stogo dangos keitimą, lietaus nuvedimo sistemos sutvarkymą ar įrengimą, arba naujo šlaitinio stogo (be patalpų pastogėje) įrengimas (įskaitant kopėčias ar laiptus į pastogę), apšiltinant jį arba perdangą pastogėje
4.	Išorinių sienų (taip pat ir cokolio) šiltinimas, įskaitant sienų (cokolio) konstrukcijos defektų pašalinimą, esamų lietvamzdžių demontavimą, įrengimą ar keitimą, elektros, dujų ar kitų sistemų ar įrengimų nuo šiltinamos sienos (cokolio) atitraukimą (išskyrus keitimą naujais) ir nuogrindos sutvarkymą
5.	Balkonų ar lodžijų įstiklinimas, įskaitant esamos balkonų ar lodžijų konstrukcijos sustiprinimą ir (ar) naujos įstiklinimo konstrukcijos įrengimą pagal vieną projektą
6.	Bendrojo naudojimo patalpose esančių langų keitimas ir (ar) bendrojo naudojimo lauko durų (įėjimo, tambūro, balkonų, rūšio, konteinerinės, šilumos punkto) keitimas (įskaitant susijusius apdailos darbus), įėjimo laiptų remontas ir pritaikymas neįgaliųjų poreikiams (panduso įrengimas)
7.	Butų ir kitų patalpų langų ir balkonų durų keitimas į mažesnio šilumos pralaidumo langus
8.	Rūšio perdangos šiltinimas
9.	Liftų atnaujinimas (modernizavimas) – jų keitimas techniniu energiniu požiūriu efektyvesniais liftais, įskaitant lifto ir priėjimo prie lifto pritaikymą neįgaliųjų poreikiams
10.	Bendrojo naudojimo elektros inžinerinės sistemos ir (ar) apšvietimo sistemos atnaujinimas (modernizavimas) (elektros kabelių keitimas, šviesos diodų (LED) apšvietimo ir automatinės apšvietimo valdymo sistemos įrengimas)
II.	KITOS NAMO ATNAUJINIMO (MODERNIZAVIMO) PRIEMONĖS
11.	Kitų pastato bendrojo naudojimo inžinerinių sistemų (priešgaisrinės saugos, geriamojo vandens, buitinių ir lietaus nuotekų, drenažo, taip pat ir namui priklausančių vietinių įrenginių) atnaujinimas ar keitimas
12.	Konstrukcijų (balkonų laikančiųjų konstrukcijų ir saugos aptvarų, stogelių virš įėjimo į pastatą), kurios nesusijusios su energinį efektyvumą didinančiomis priemonėmis, nurodytomis pirmajame šios lentelės skyriuje, keitimas – teisės aktų nustatyta tvarka pripažintos jų avarinės būklės likvidavimas
13.	Bendrojo naudojimo laiptinių paprastasis remontas (vidaus sienų, lubų, grindų paruošimas dažymui ir dažymas ir laiptų, laiptų turėklų atnaujinimas ir dažymas)

2 lentelėje pateiktos energinį efektyvumą didinančios priemonės, kurios sumažina neigiamą poveikį aplinkai bei žmonių sveikatai, padidina pastato gyvavimo trukmę, padidina komfortą gyventojams bei padidina pastato vertę. Šildymas, oro kondicionavimas, vėdinimas ir šaldymas, apšvietimas yra pagrindiniai veiksniai, lemiantys tiesioginį energijos suvartojimą ir anglies dvideginio išmetimą į atmosferą. Norint pasiekti šiuos rezultatus Europos Sąjunga sukūrė sistemą – pastatų sertifikavimą ir jį įteisino Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2010/31/ES „Dėl pastatų energinio

naudingumo“ [33] kuomet yra įvertinamas pastato energinis naudingumas. Šiame sertifikate pateikiami pastato bendrieji duomenys bei pastato priskyrimas energinio naudingumo klasei bei naudojant reitingą nuo G - mažiausiai efektyvaus iki A++ geriausio energinio naudingumo pastato. Pastatai, priskirti A+, A ir B klasei, priskiriami mažai energiją naudojantiems pastatams, o A++ klasės pastatai yra žinomi kaip pastatai, kurie atitinka reikalavimus, taikomus pastatams nuo 2021 m. [33].

Lietuvoje didžioji dalis daugiabučių yra G ir E klasių. Didžiausias CO<sub>2</sub> kiekis išmetamas iš G klasės pastatų, kurie šildomi termiškai neefektyviu kietojo kuro katilu.

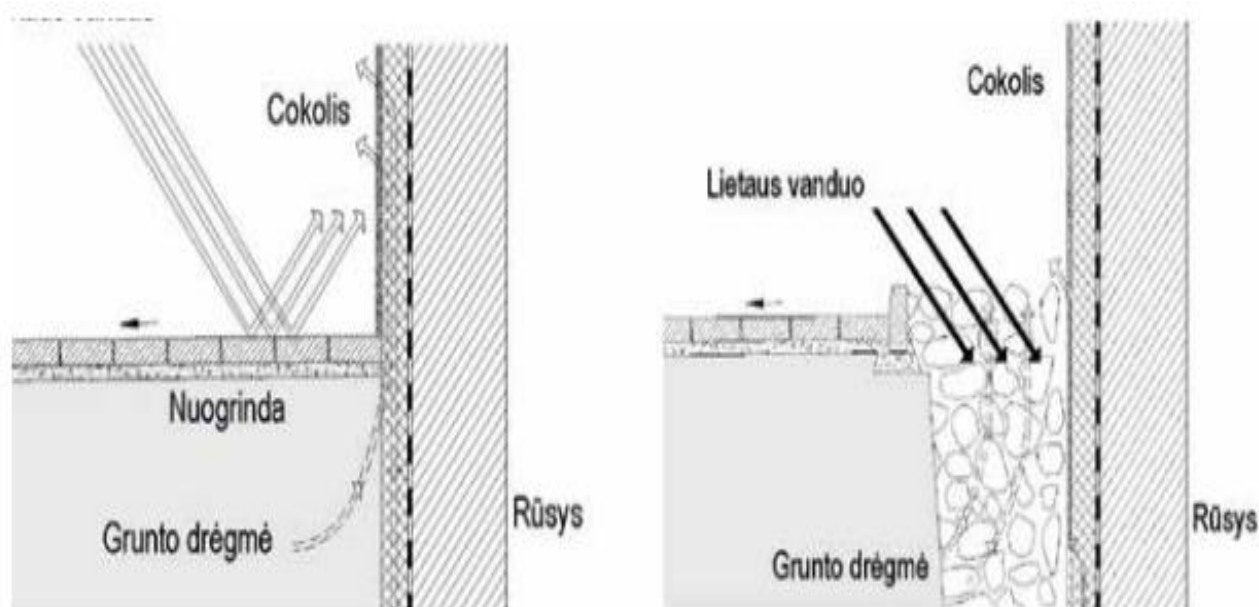
### **1.9. Energinio efektyvumo didinimo poreikis Lietuvoje**

Lietuvoje daugiabučių namų paklausa yra du kartus didesnė nei Vakarų šalyse, tuo metu kai buvo statomi pirmieji daugiabučiai namai, valstybės požiūris buvo nukreiptas į masines statybų apimtis, negalvojant apie racionalią energijos išteklių vartojimą. Dėl prastos kokybės medžiagų bei prastai atliktų statybos darbų, neteikiant priežiūros namams – pastatų kokybė gerokai pablogėjo. Daugelio Lietuvos gyventojų energijos vartojimo įpročiai susiformavo tuo laikotarpiu, kai niekas nesvarstė apie išteklių išekvojimo ir tvaraus energijos vartojimo svarbą. Todėl akivaizdu, kad šie pastatai turi didžiausią energijos taupymo potencialą, o delsimas spręsti šią problemą turi rimtų ekonominių pasekmių.

Svarbu atsižvelgti į faktą, kad šildymo sezonas Lietuvoje vidutiniškai trunka 219 dienų per metus. Taip pat verta paminėti, anot Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo asociacijos (LDHA), senų daugiabučių namų, turinčių centrinį šildymą, gyventojai paprastai turi mokėti 2 - 3 kartus arba daugiau atvejų – net 10 kartų daugiau nei gyventojai, kurie gyvena energiją taupančiuose būstuose, todėl modernizuoti esamą pastatą gali būti ekonomiškiau nei investuoti į naują statybą. Kadangi pastatai sunaudoja daug energijos, svarbu įgyvendinti modifikacijas, kurios sumažintų energijos suvartojimą, ir taip pagerintų pastatų energinio efektyvumo didinimo strategija [34].

### **1.10. Cokolio ir rūsio sienos energinio efektyvumo didinimas**

Stebint ir analizuojant tyrimus pastebėta dar viena, daugybę defektų patirianti pastato dalis – cokolis. Defektai atsiranda dėl įvairių priežasčių [35], viena iš jų – netinkamai įrengta nuogrinda. Lietus ir teršalai aptaško cokolių apdailą. Taip drėgmė su teršalais prasiskverbia pro atsiktines vietas į cokolio bei rūsio sienų šilumos izoliaciją ir padidina tikimybę ją nepataisomai sugadinti. Vienas iš būdų išvengti šio proceso – įrengti vėdinamas - drenuojamas nuogrindas (žr. 10 pav.), kurios nukreiptų lietaus vandenį.



**10 pav.** Kairėje – lietaus vandens tiškimo schema esant uždarami nuogrindai, dešinėje – lietaus vandens tekėjimo schema esant atvirai vėdinamai ir drenuojamai nuogrindai [35]

Mokslininkų rezultatai rodo [35], kad prieš atliekant cokolių bei rūšio sienų papildomą šiltinimą yra svarbu sutvarkyti jų hidroizoliaciją. Norint, kad šiltinimo sistemoje kauptųsi mažiau drėgmės, rekomenduojama šilumos izoliacijos klijuojamą plokščių paviršių tepti klizais ištisai.

Dar vienas svarbus momentas – grunte esančią šilumos izoliaciją dengti gumbuota, drenuojančia membrana. Jeigu rūsyje yra įrengiamos patalpos su patogumais, tuomet išorines rūšio sienas reikėtų šiltinti per visą sienos aukštį, įrengiant tik dalį šildomų patalpų – šiltinti būtent šių patalpų išorines sienas bei kitas atitvaras, gaubiančias patalpas.

### 1.11. Cokolio šiltinimo nauda

Nuolat brangstant žemės sklypams, gyvenamojo namo naudingojo ploto išplėtimo problema gali būti sėkmingai išspręsta apšiltinus pastato pamatus. Tai leidžia racionaliau panaudoti požemines gyvenamųjų pastatų dalis. Mažaaukščio gyvenamojo namo rūsyje arba rūsyje galima įrengti garažą, sporto salę ar pirtį, daugiaaukščiame gyvenamajame name - automobilių stovėjimo aikštelę, sandėlį ar kitas pagalbines patalpas. Norint sukurti jaukų mikroklimatą rūšio ar rūšio grindų patalpoje, jo išorinės barjerinės konstrukcijos turi turėti pakankamą šilumos izoliaciją.

Tyrėjai išnagrinėjo [36], kad kokybiška rūšio sienų šilumos izoliacija leidžia požeminę konstrukciją paversti šilumos akumuliatoriumi, kuris užtikrina pastovią komfortišką temperatūrą žiemą ir vasarą. Pamatų šilumos izoliacija padeda žymiai sumažinti šilumos nuostolius per juos, apsaugo sienas nuo kondensato, pelėsio ir grybelio. Rūšio grindų patalpos išorinių barjerinių konstrukcijų šilumos izoliacija leidžia palaikyti 5-10 °C kambario temperatūrą be papildomo šildymo.

Šiuo metu rūšio sienų šiluminė izoliacija dažniau apšiltinama naudojant polistireninio putplasčio medžiagas ir rečiau - pluoštines medžiagas. Šios medžiagos, tokios kaip polistireninis putplastis: užtikrina tinkamą šilumos izoliaciją. Tačiau tyrėjai nustatė, kad jų naudojimas turi nemažai trūkumų - tai daug darbo jėgos reikalaujantis procesas, tačiau tuo pačiu nėra pakankamai efektyvus. Pluoštinės

medžiagos labai gerai sugeria vandenį į save, todėl nuo dirvožemio drėgmės poveikio reikėtų apsaugoti sustiprintu hidroizoliaciniu sluoksniu [36].

Šiam sprendimui pritaria ir dar vieni mokslininkai [37]. Kapiliarinė drėgmė, kuri kyla ant cokolio sienų iš drėgnos žemės, gali išsiplėsti ir pasiekti apatinių aukštų sienas. Esant požeminio vandens agresyvumui, pamatų medžiagos ir požeminės pastato dalys gali būti labai pažeistos. Todėl siekiant apsaugoti pastatą nuo gruntinio vandens įtakos, reikia numatyti kovos su vandens judėjimu ir kritulių prasiskverbimu priemones. Tyrėjų teigimu, aplink pastatą reikia sukurti nuolydį, kuris leistų pasišalinti paviršiniam vandeniui iš pastato. Vienas iš tokių sprendimų - aplink daugiabutį namą įrengti tankių, vandeniui atsparių (asfalto, asfaltbetonio ir kt.) medžiagų akląją zoną.

### 1.12. Izoliacinių medžiagų klasifikacija

Įvairių izoliacinių medžiagų rūšių pritaikymas statybos srityje sparčiai auga. Taip pat atsiranda daug inovatyvių, alternatyvių medžiagų, kurios priskiriamos aplinką tausojančių medžiagų grupei ir yra draugiškos aplinkai. Izoliacinės medžiagos yra skirstomos į 2 pagrindines grupes:

- organinės medžiagos;
- neorganinės medžiagos.

Organinių medžiagų grupė išskiriama į naftos chemijos ir natūralių (atsinaujinančių) medžiagų grupę (žr. 3 lent.).

3 lentelė. Izoliacinių medžiagų klasifikacija

Izoliacinės medžiagos		
Neorganinės medžiagos	Organinės medžiagos	
Stiklo vata	Naftos chemija	Natūralios (atsinaujinančios)
Akmens vata	Putų polistirenas (EPS)	Celiuliozė
Kalcio silikatas	Ekstruzinis polistirenas (XPS)	Kokosas
Putplasčio stiklas	Fenolio formaldehidai (PF)	Linių vilna
Perlitas	Poliuretanas (PUR)	Kanapės
Varmikulitas	Poliizocianuratas (PIR)	Perdirbta medvilnė
Vakuuminės izoliacinės plokštės	Karbamido formaldehidai (UF)	Avies vilna
Termoso lakštai	Išsklaidyta polipieno rūgštis (PLA)	Medienos vilna
Aerogelis	Šiloporai	Išplėstas kamštis

Izoliacinės medžiagos išsiskiria savo unikaliais gamybos būdais:

- Stiklo vata yra gaminama iš perdirbto stiklo ir smėlio, sodos pelenų ir kalkakmenio. Tada stiklas yra susukamas į milijonus smulkių pluoštų, užtepamas dervą ir pluoštai yra sujungiami. Jis gali būti gaminamas ritiniais arba plokštėmis.
- Akmens vata yra gaminama iš išlydytos krosnyje uolienos, per kurią pučiamas maždaug 1600 °C garas. Šią medžiagą galima presuoti į ritinius ir lakštus, todėl tokio tipo izoliacija veikia kaip geras šilumos ir garso izoliatorius.
- Standžios izoliacinės plokštės skirstomos į: PUR, PIR ir Polistirenines plokštes. Poliuretano (PUR) plokštės užpildytos ne CFC (fluoruotos šiltnamio efektą sukeliančios dujos), tačiau, kad dujos neišbėgtų, jos padengiamos aliuminio folija. Poliizocianurato (PIR) plokštės yra

panašios į PUR plokštes, tačiau šių plokščių struktūroje taip pat yra ilgo pluošto stiklo pluošto. Polistireno plokštės yra labai geras izoliatorius nuo ekstremalių temperatūrų ir triukšmo.

- Atspindinti folijos izoliacija yra labai svarus ir labai efektyvus gaminys, dažnai naudojamas statybų pramonėje. Izoliacinė folija sumažina šilumos perdavimą iki 97 proc. Atspindinti folija veikia kaip puikus garų barjeras ir sumažina drėgmės kondensaciją, kuri gali būti problema kai kurioms stiklo pluošto izoliacinėms medžiagoms [54].

Europos pastatų izoliacinių medžiagų rinkoje dominuoja mineralinės ir iškastinio kuro gamybos izoliacinės medžiagos, kurios pasižymi geriausiomis vieneto savikainomis.

Stiklas (36 proc.) ir akmens vata (22 proc.) sudaro 58 proc. rinkos Europoje, po to seka EPS (27 proc.), PUR/PIR (8 proc.) ir XPS (6 proc.), kurie, kaip tikimasi, padidins savo rinką [56].

Tyrėjai išnagrinėjo, kad visos šios izoliacinės medžiagos skiriasi ir savo aplinkosauginėmis savybėmis. Šių savybių skirtumus lemia [56]:

- izoliacinių medžiagų tipologija (pučiama, besiplečianti, laisva medžiaga, plokštė);
- gamybos metodai ir technologijos;
- šalių, kuriose vyksta gamybos procesai, energijos deriniai;
- perdirbtos medžiagos, įvestos į gamybos grandinę, procentas;
- žaliavos kilmė ir atstumas nuo gamybos vietos.

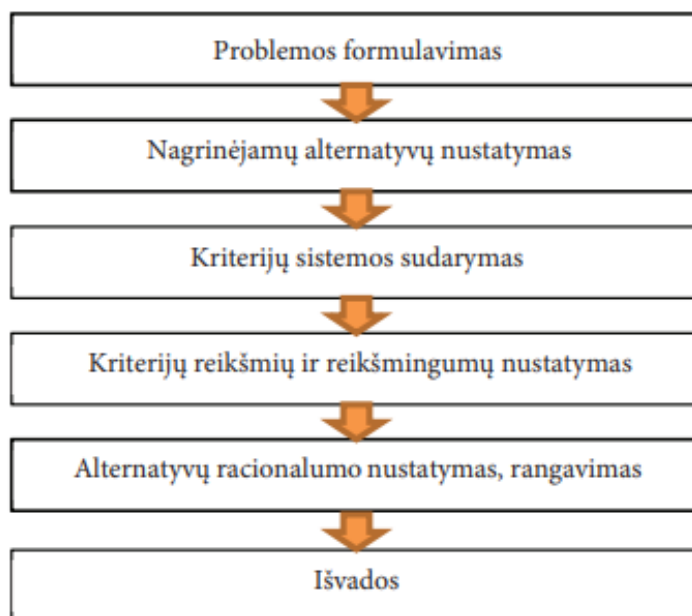
## 2. Daugiakriteriniai TOPSIS ir COPRAS vertinimo metodai

### 2.1. Daugiakriterinių vertinimų klasifikacija

Daugiakriteriniai vertinimai yra plačiai naudojami įvairiose srityje, tačiau vertinimams atlikti yra pasirenkami skirtingi metodai. Daugiakriterių vertinimo metodų klasifikacija yra plati, pagrindiniai ir dažniausiai naudojami metodai:

- SAW (angl. *Simple Additive Weighting*);
- TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)
- COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*);
- ARAS (angl. *Additive Ratio Assessment*);
- MOORA (angl. *Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis*);

Šie metodai turi skirtingus privalumus bei trūkumus: vieni iš jų išsiskiria savo lankstumu, kiti patikimumu, dar kiti yra greičiau išsprendžiami. Šie daugiakriteriniai vertinimai turi savo eigos etapus (žr. 11 pav.).



11 pav. Daugiakriterių vertinimų etapai [38]

Pirmiausiai yra suformuluojama problema, vėliau išskiriamos nagrinėjamos alternatyvos, tuomet formuluojama kriterijų sistema ir nustatomos kriterijų reikšmės ir reikšmingumas, vėliau vyksta nagrinėtų alternatyvų rangavimas pagal alternatyvų racionalumą ir yra pateikiamos išvados.

Atsižvelgus į straipsniuose [39, 41 - 46] nagrinėtą medžiagą, šiame darbe buvo pasirinktas TOPSIS ir COPRAS metodai. TOPSIS ir COPRAS metodai pasižymi racionali ir suprantama logika, bendras šių metodų supratimas pateiktas paprasta matematine forma, skaičiavimo procesas yra nesudėtingas, nuoseklus ir patikimas, greičiau išsprendžiami nei kiti metodai, lanstus bei dažnai kombinuojami su kitais metodais [40].

## 2.2. TOPSIS metodo algoritmas

1981 m. Yoon ir Hwang sukūrė metodiką, remiantis variantų prioritetiškumo nustatymu, kuri yra pagrįsta samprata, kad alternatyva, kuri yra mažiausiai nutolusi nuo idealaus sprendimo ir labiausiai nutolusi nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo yra optimali. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymu artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [39].

Jeigu priimame, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat mažėja arba nuolat didėja. Tuomet yra įmanoma nustatyti „idealu“ sprendimą, kuris būtų sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealu“ sprendimą, kuris būtų sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių. Norint pritaikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą  $D$ . Šioje matricoje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $x$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kurias yra vertinamos alternatyvos [39]:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (2.1)$$

čia  $x_{ij}$  –  $i$  - osios alternatyvos;

$j$ -ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant TOPSIS metodą, sprendimų matrica  $D$  normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.2)$$

Gauta normalizuotoji matrica  $\bar{D}$ , kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiai dydžiai [41]:

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės  $w_j^*$ , ( $j = \overline{1, n}$ ).

Taikant formulę (2.4) sudaroma svartinė normalizuota matrica  $\bar{D}^*$  [42]:

$$\bar{D}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1^* \bar{x}_{11} & w_2^* \bar{x}_{12} & \dots & w_n^* \bar{x}_{1n} \\ w_1^* \bar{x}_{21} & w_2^* \bar{x}_{22} & \dots & w_n^* \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1^* \bar{x}_{m1} & w_2^* \bar{x}_{m2} & \dots & w_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) yra nustatomas pagal (2.5) formulę [43]:

$$A^+ = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}; \quad (2.5)$$

čia  $J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

$J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamas idealus“ sprendimas nustatomas pagal formulę (2.6) [44]:

$$A^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}. \quad (2.6)$$

Atstumas tarp lyginamojo  $i$ -tojo ir „idealiai geriausio“  $A^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$ -matėje Euklido erdvėje, pagal formulę [45]:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, (i = \overline{1, m}). \quad (2.7)$$

Tarp  $i$ -tojo ir „neigiamas idealus“  $A^-$ , pagal formulę:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, (i = \overline{1, m}). \quad (2.8)$$

Galutinius TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno  $i$ -tojo varianto santykinis skirtumas atstumas iki „idealiai geriausio“ varianto [46]:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } C_i \in [0, 1]. \quad (2.9)$$

Taigi, kuo  $C_i$  reikšmė yra artimesnė vienetui, tuo  $i$ -asis variantas yra artimesnis  $A^+$ , tai yra, racionalus variantas bus tas, kurio  $C_i$  reikšmė yra didžiausia.

### 2.3 COPRAS metodo algoritmas

1994 m. Zavadskas ir Kaklauskas pristatė proporcingą vertinimą COPRAS, kuris yra galingas ir naudingas daugiakriterių sprendimų priėmimo įrankis [47]. COPRAS metodas yra sprendimų priėmimo metodas, kuris sujungia kriterijų reikšmes su kriterijų svoriais. COPRAS metodą naudojo daugelis tyrinėtojų, pvz. Ghose ir Pradhan remiantis šiuo metodu išanalizavo atsinaujinančius energijos šaltinius Indijoje. Tolga ir Durak naudojo šį metodą vertindami inovacijų projektus. Amoozad Mahdiraji pasinaudojo COPRAS tam, kad nustatytų tvarios architektūros veiksnius Irane ir jų prioriterus. Kundakci ir Isik ši metodą naudojo norėdami pasirinkti tekstilės įmones oro kompresorių. Šis metodas yra universalesnis įrankis, apimantis daugybę panaudojimo sričių.

COPRAS metodu normalizavimas atliekamas pagal formulę [48]:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_j}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n.. \quad (3.1)$$

čia  $x_{ij}$  –  $i$  kriterijaus reikšmė  $j$  sprendimo variantu;

$m$  – kriterijų skaičius;

$n$  – lyginamųjų variantų skaičius;

$q_i$  – kriterijaus reikšmingumas.

Kitas žingsnis po normalizavimo – yra apskaičiuojamos tam tikrą variantą apibūdinančių minimizuojančių  $S_{-j}$  ir maksimizuojančių  $S_{+j}$  įvertintų normalizuotų rodiklių sumos pagal pateiktas formules [49]:



$$S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (3.2)$$

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (3.3)$$

Toliau yra nustatomas lyginamų variantų santykinis reikšmingumas, remiantis juos apibūdinančiomis  $S_{-j}$  ir  $S_{+j}$ . Santykinis reikšmingumas žymimas  $Q_j$  ir apskaičiuojamas pagal formulę [50]:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{S_{-min}}{S_{-j}}}; j = 1, \dots, n. \quad (3.4)$$

$$N_i = \frac{Q_j}{Q_{max}} \cdot 100\%. \quad (3.5)$$

Remiantis gautomis santykinio reikšmingumo reikšmėmis atliekamas kriterijų rangavimas. Kuo gauta reikšmė yra didesnė, tuo rango numeris yra aukštesnis ir atvirkščiai.

## 2.4 Ekspertų apklausos vertinimas

Vienas iš galimų ekspertų apklausos kūrimo būdų – apklausos anketa internetinėje svetainėje. Pirmajame etape yra sukuriama anketos klausimai bei pateikiami atsakymų variantai. Kitame etape, surinkti duomenys analizuojami ir apdorojami *Microsoft Excel* programine įranga. Vėliau pagal pateiktas formules yra nustatomas ekspertų nuomonių suderinamumas, tam kad būtų validūs gauti apklausos rezultatai. Taigi apskaičiuojant ekspertų nuomonės suderinamumą, visų pirma yra nustatomas vidutinis rangas pagal (4.1) formulę:

$$\bar{t}_j = \frac{(\sum_{k=1}^r t_{jk})}{r}; \quad (4.1)$$

čia  $t_{jk}$  eksperto  $j$ -ojo rodiklio įvertinimas (kur „3“ – aukščiausias, „1“ – žemiausias įvertinimo balas);

$r$  – ekspertų skaičius.

Siekinat išsiaiškinti ekspertizės patikimą, jis gali būti išreikšiamas Kendalo konkordacijos koeficientu, kuris nusako atskirų nuomonių panašumo laipsnį. Kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų suma nustatoma pagal (4.2) formulę:

$$S = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2; \quad (4.2)$$

čia  $n$  – efektyvumo (tiriamųjų) rodiklių skaičius.

Konkordacijos koeficiento nustatymas (kai susijusių rangų nėra):

$$\bar{W} = \frac{12S}{r^2 \cdot (n^3 - n)}; \quad (4.3)$$

Norint nustatyti Konkordacijos koeficiento reikšmę reikia žinoti  $r$  ekspertų skaičiaus ir  $n$  lyginamų objektų skirtingų reikšmių pasiskirstymo dažnį. Konkordacijos koeficiento reikšmei nustatyti yra naudojama formulė:

$$\chi^2 = \frac{12S}{r \cdot n \cdot (n+1)}; \quad (4.4)$$

Jei gauta  $\chi^2$  reikšmė yra didesnė už norminę reikšmę, priklausančią nuo laisvumo laipsnio ( $v = n - 1 = 4 - 1 = 3$ ) ir reikšmingumo lygio (0,01), tuomet yra laikoma, kad ekspertų nuomonės suderintos.

### 3. Tiriamoji dalis

Pastatų cokoliams šiltinti gali būti naudojamos įvairios medžiagos. Šiltinimo medžiagų tinkamas parinkimas yra svarbus etapas pastatų šiltinimo procese. Šiame darbe bus nagrinėjami šiltinimo medžiagų parinkimo svarbiausi kriterijai, analizuojami atestuotų statybos srities specialistų apklausos duomenys. Taip pat bus patikrinta ar apklausoje dalyvavusių ekspertų nuomonės yra suderintos.

#### 3.1. Tiriamieji rodikliai

Siekiant išsiaiškinti, kurios šiltinimo medžiagų savybės lemia didžiausią pasirinkimo apsisprendimą renkantis šiltinimo medžiagą, tyrimui atlikti buvo naudojami keturi pagrindiniai rodikliai. Remiantis atlikta literatūros analize pasirinkti šie pagrindiniai rodikliai:

- Šiltinimo medžiagos kaina – vienas iš pagrindinių kriterijų vertinant bet kokio projekto medžiagų sąmatą. Medžiagos kainos kitimas lemia projekto kaštus, pelningumą arba nuostolį.
- Deklaruojamos šilumos laidumo koeficientas (DŠLK) – vienas iš medžiagos fizikinių parametru, parodantis kaip medžiaga geba praleisti šilumos srautą. Šią savybę apibūdina šilumos laidumo koeficientas  $\lambda$ . Kuo mažesnė koeficiento vertė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga.
- Stipris gniuždant – medžiagos gebėjimas atlaikyti gniuždymo jėgą nesuirstant.
- Ilgalaikis vandens įmirkis – medžiagos gebėjimas priimti vandenį savo tūryje visiškai panardinus.

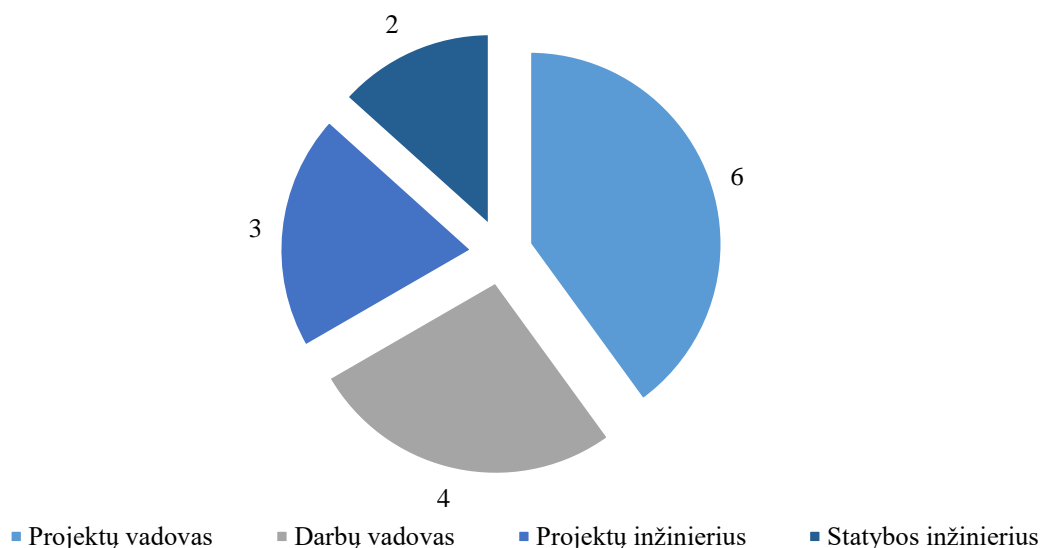
Šios medžiagų savybės yra surašytos kiekvienoje šiltinimo medžiagos eksploatacinių savybių deklaracijoje, o medžiagos kainą nustato tiekėjas.

Tyrimui atlikti buvo pasirinktos 3 skirtingos cokolio šiltinimo medžiagos: polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100*, ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300*, 100 mm, *Šillfoam Premium* (medžiagos yra vienodo – 100 mm storio). Literatūros analizė parodė, kad šių 3 medžiagų savybių tarpusavio palyginimas plačiai nebuvo nagrinėtas, todėl šio darbo tyrimui atlikti buvo pasirinktos būtent tokios alternatyvos.

- Polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100* – tai termoizoliacinė medžiaga, kuri susideda iš 2 proc. polistireno ir 98 proc. oro. Polistireninis putplastis yra nekenksmingas sveikatai, neperpučiamas vėjo, turi mažą vandens įmirkį, tad tinkamas naudoti vidutinio apkrovimo konstrukcijų apšiltinimui [51].
- Ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300* – šiltinimo medžiaga, kuri pasižyminti uždromis porų struktūromis bei vientisumu. Ekstruzinis polistireninis putplastis yra atsparus šalčiui ir drėgmei, užtikrina geras šilumos izoliacijos savybes bei pasižymi tvirtumu. *Finnfoam* plokštės yra vienos iš geriausių medžiagų pamatams izoliuoti bei apšiltinti, tinkamos naudoti grindims ant grunto, rūšio sienoms, bei kitoms požeminėms konstrukcijoms, kurios yra veikiamos drėgmės ir šalčio [52].
- Šiloporos – *Šillfoam Premium* – tai specialios paskirties formuoto polistireninio putplasčio gaminy, efektyviai naudojamas ten, kur yra sąlytis su gruntu, arba izoliacija yra veikiamą drėgmės ir turi atlaikyti apkrovas, kur apkrova, veikianti grindų paviršių yra didelė, taip pat pastatų šilumos izoliacijai, eksploatuojamų stogų, atvirkštinių stogų šilumos izoliacijai [53].

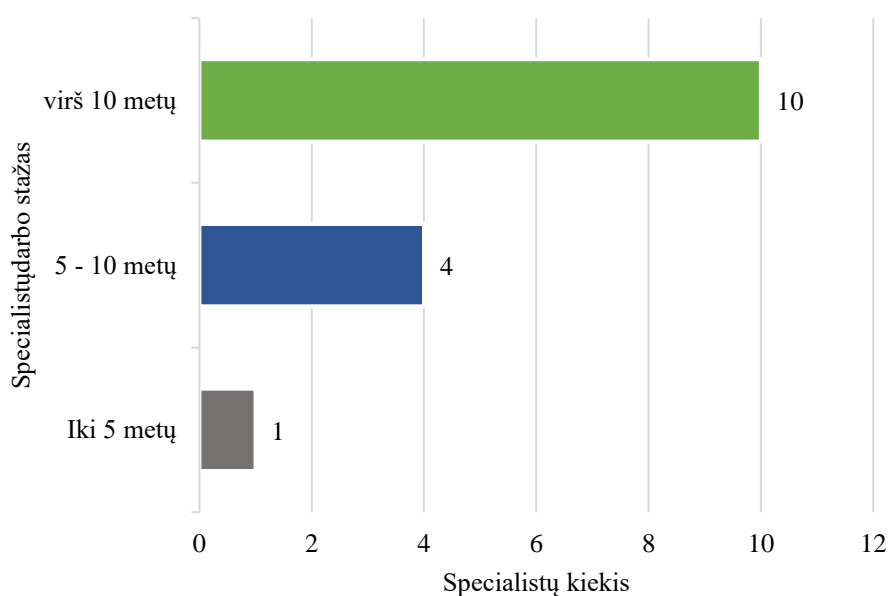
### 3.2. Ekspertų nuomonių suderinamumo tikrinimas

Ekspertų apklausoje dalyvavo 15 atestuotų specialistų: 6 projektų vadovai, 3 projektų inžinieriai, 2 statybos inžinieriai bei 4 darbų vadovai. Jų pasiskirstymas pateiktas 12 paveikslėlyje.



12 pav. Statybos srities specialistų pasiskirstymas pagal užimamas pareigas

Svarbus kriterijus vertinant apklausos duomenis yra specialisto darbo stažas. Šiam tikslui pasiekti apklausoje buvo vertinamas šis kriterijus. Tam, kad išsiaiškinti ekspertų darbo patirtį ir sužinoti kiek laiko jie yra kvalifikuoti statybos srities specialistai, buvo paprašyta atsakyti į klausimą koks yra jų darbo stažas. Atsakymų rezultatai pateikti 13 pav.



13 pav. Statybos srities specialistų, turinčių kvalifikacijos atestatus, darbo stažas

Remiantis apklausos duomenimis, didžiausią apklaustųjų dalį sudaro (~66 proc.) dirbantys daugiau nei 10 m statybos sektoriuje, iki 5 metų dirbantis kaip atestuotas specialistas apklausoje dalyvavo 1 ekspertas, likusieji 4 dalyviai buvo dirbantys 5-10 metų.

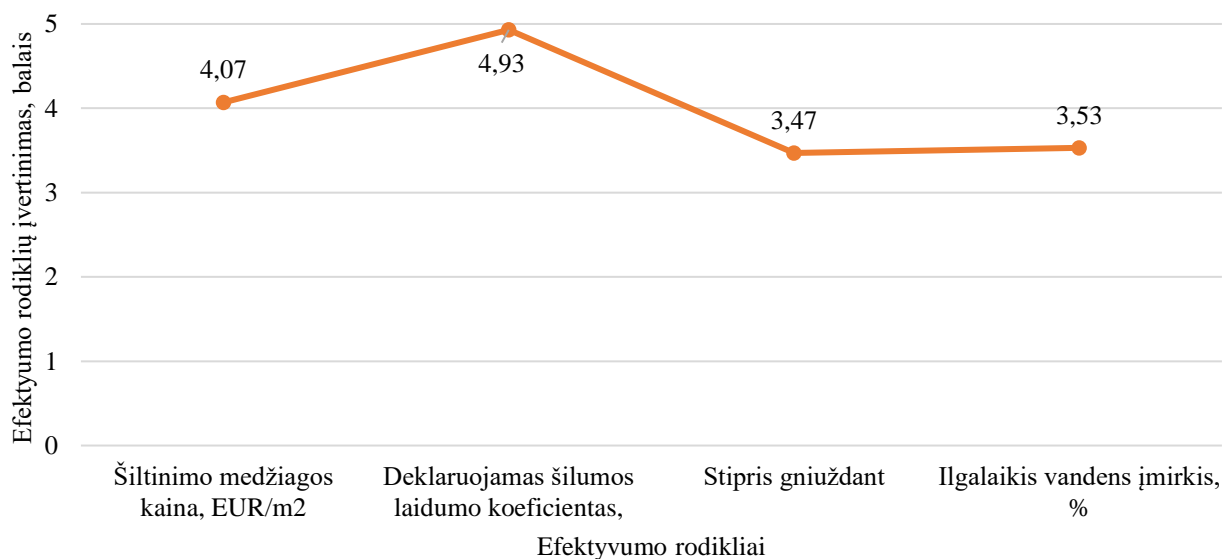
Apklausoje dalyvavę statybų srities ekspertai sudėliojo cokolio šiltinimo medžiagų rodiklius pagal jų nuomone svarbiausius reikšmingumus. Anketoje buvo pateiktas klausimas: „Kuris (-ie) iš išvardintų kriterijų Jūsų nuomone yra svarbiausias (-i) renkantis medžiagas pastato cokolio šiltinimui“. Pateikti 4 galimi pasirinkimo variantai (žr. 4 lent.). Taip pat ekspertai turėjo galimybę pasiūlyti savo variantą. Kadangi apklausos metu ekspertai naujo, papildomo varianto nepasiūlė, galime daryti išvadą, jog šie efektyvumo rodikliai atlikti tyrimui buvo pasirinkti teisingai.

Apklauskos rezultatų duomenys pateikti 4 lent.

**4 lentelė.** Ekspertų apklausos rezultatai

Ekspertas	Efektyvumo rodiklis (įvertinimo balais)			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	Stipris gniuždant, kPa	Ilgalaikis vandens įmirkis, %
Ekspertas 1	5,00	5,00	2,00	4,00
Ekspertas 2	5,00	5,00	5,00	5,00
Ekspertas 3	3,00	5,00	3,00	4,00
Ekspertas 4	3,00	5,00	3,00	4,00
Ekspertas 5	3,00	5,00	4,00	4,00
Ekspertas 6	4,00	5,00	4,00	4,00
Ekspertas 7	3,00	5,00	5,00	5,00
Ekspertas 8	5,00	5,00	3,00	2,00
Ekspertas 9	4,00	5,00	3,00	3,00
Ekspertas 10	5,00	5,00	2,00	1,00
Ekspertas 11	3,00	5,00	4,00	4,00
Ekspertas 12	5,00	4,00	3,00	2,00
Ekspertas 13	5,00	5,00	3,00	3,00
Ekspertas 14	5,00	5,00	3,00	3,00
Ekspertas 15	3,00	5,00	5,00	5,00
Rangų suma	61,00	74,00	52,00	53,00
Vidutinis rangas	4,07	4,93	3,47	3,53
Prioritetas	2,00	1,00	4,00	3,00
Rodiklio subjektyvus reikšmingumas (santykinis svoris)	$61/(61+74+52+53) = 0,254$	$74/(61+74+52+53) = 0,308$	$52/(61+74+52+53) = 0,217$	$53/(61+74+52+53) = 0,221$

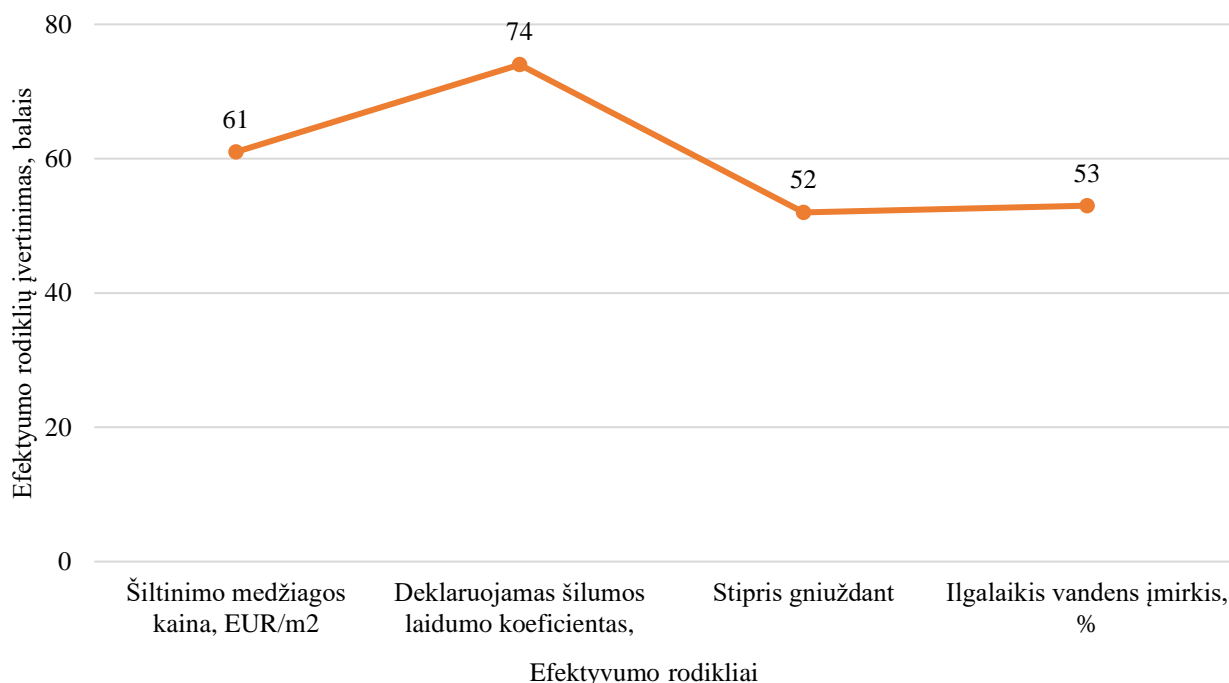
Apklauso metu gauti rezultatai (balais) buvo susumuoti ir buvo nustatytas vidutinis rangas, parodantis kiekvieno rodiklio gautų atsakymų vidurkį (žr. 14 pav.).



14 pav. Apklauso metu gautų vidutinių rangų reikšmės

Didžiausią vidutinį rangą turi – deklaruojamas šilumos laidumas – 4,93, mažiausią – stipris gniuždant – 3,47. Didžiausias vidutinis rangas nuo mažiausio skiriasi 1,46 balais.

Susumavus rezultatus buvo gauta rangų suma, kuri yra pateikta 15 pav.



15 pav. Apklauso metu gautų rodiklių rangų suma

Iš 15 pav. diagramos matyti, kad deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas surinko daugiausiai balų – 74, mažiausią kiekį balų surinko stipris gniuždant ir ilgalaikis vandens įmirkis. Šiems atsakymų variantams atitinkamai buvo skirti 52 ir 53 balai, šie vertinimo kriterijai ekspertų nuomone yra

mažiausiai svarbūs. Šiltinimo medžiagos kaina surinko 61 balą ir tai yra antras pagal svarbumą kriterijus renkantis medžiagą cokolio apšiltinimui.

Pasitelkiant nagrinėtomis formulėmis nuo (5.1) iki (5.3) atlikti skaičiavimai, siekiant įvertinti subjektyvų reikšmingumą.

Ekspertizės patikimumas gali būti išreikštas Kendalo konkordacijos koeficientu, nusakančiu atskirų nuomonių panašumo laipsnį. Šis metodas - tai skirtingų vertintojų susitarimo matas.

Kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų sumos nustatymas atliekamas pagal (5.1) formulę:

$$S = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2 ; \quad (5.1)$$

čia  $n$  – efektyvumo (tiriamųjų) rodiklių skaičius.

$$S = \left( 61 - \frac{1}{4} \cdot 240 \right)^2 + \left( 74 - \frac{1}{4} \cdot 240 \right)^2 + \left( 52 - \frac{1}{4} \cdot 240 \right)^2 + \left( 53 - \frac{1}{4} \cdot 240 \right)^2 = 310;$$

Konkordacijos koeficiento nustatymas (kai susijusių rangų nėra):

$$\bar{W} = \frac{12 \cdot 310}{15^2 \cdot (4^3 - 4)} = 0,276; \quad (5.2)$$

Koeficientas turi atsitiktinį dydį. Konkordacijos koeficiento reikšmei nustatyti reikia žinoti  $r$  ekspertų skaičiaus ir  $n$  lyginamų objektų skirtingų reikšmių pasiskirstymo dažnį. Konkordacijos koeficiento reikšmė nustatoma pagal formulę:

$$\chi^2 = \frac{12S}{r \cdot n \cdot (n+1)}; \quad (5.3)$$

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 310}{15 \cdot 4 \cdot (4 + 1)} = 12,40;$$

Jei gauta reikšmė  $\chi^2$  didesnė negu norminė reikšmė, priklausanti nuo laisvumo laipsnio ( $\nu = n - 1 = 4 - 1 = 3$ ) ir reikšmingumo lygio (0,01), laikoma, kad ekspertų nuomonės suderintos.

**5 lentelė.** Norminė  $\chi_{lent.}^2$  reikšmė

$\nu$	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,1	0,05	0,025	<b>0,01</b>
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,01	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21
<b>3</b>	0,07	0,11	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	<b>11,34</b>
4	0,21	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28

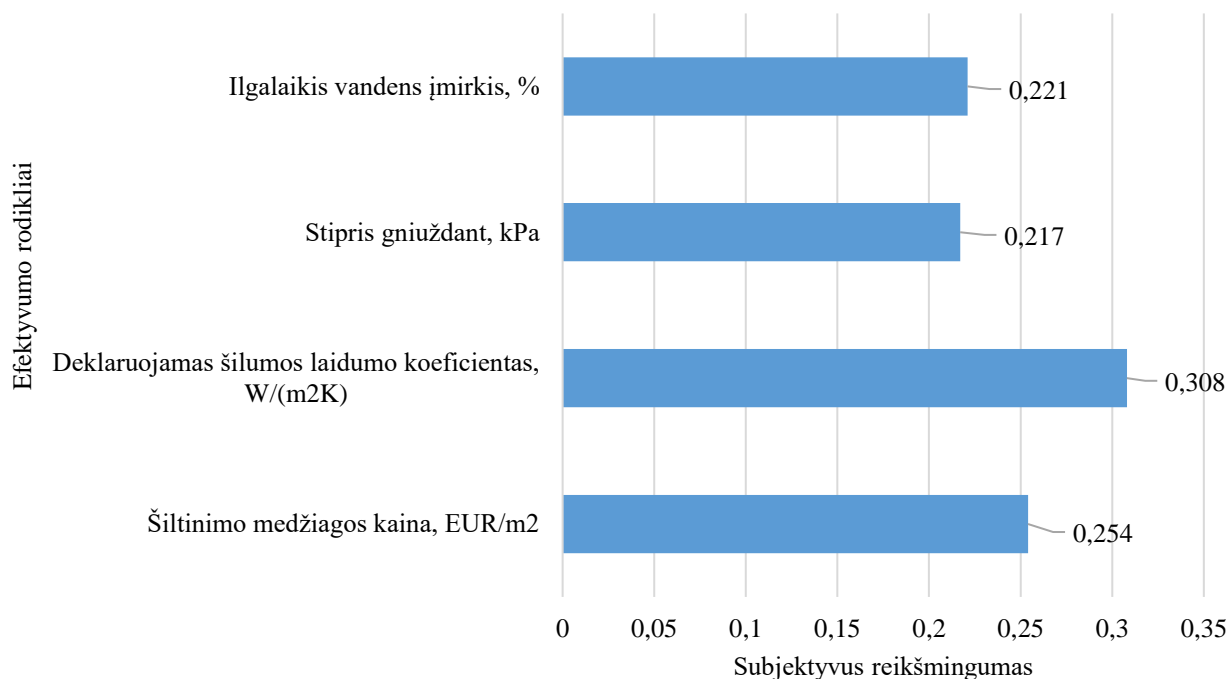
Pagal pateiktus duomenis 5 lentelėje nustatome ar gauta reikšmė  $\chi^2$  yra didesnė negu norminė reikšmė:

$$\chi^2 > \chi_{lent.}^2.$$

$$12,40 > 11,34. \quad (5.4)$$

Išvada: Atlikus skaičiavimus ir patikrinus sąlygą:  $\chi^2 > \chi_{lent.}^2$ , gaunama nelygybė yra teisinga, todėl ekspertų nuomonės suderintos.

Apklausoje buvo išsiaiškintas efektyvumo rodiklių subjektyvus reikšmingumas (žr. 16 pav.), kuris parodė, kuris rodiklis turi didžiausią įtaką ir kuris yra mažiausiai svarbus.

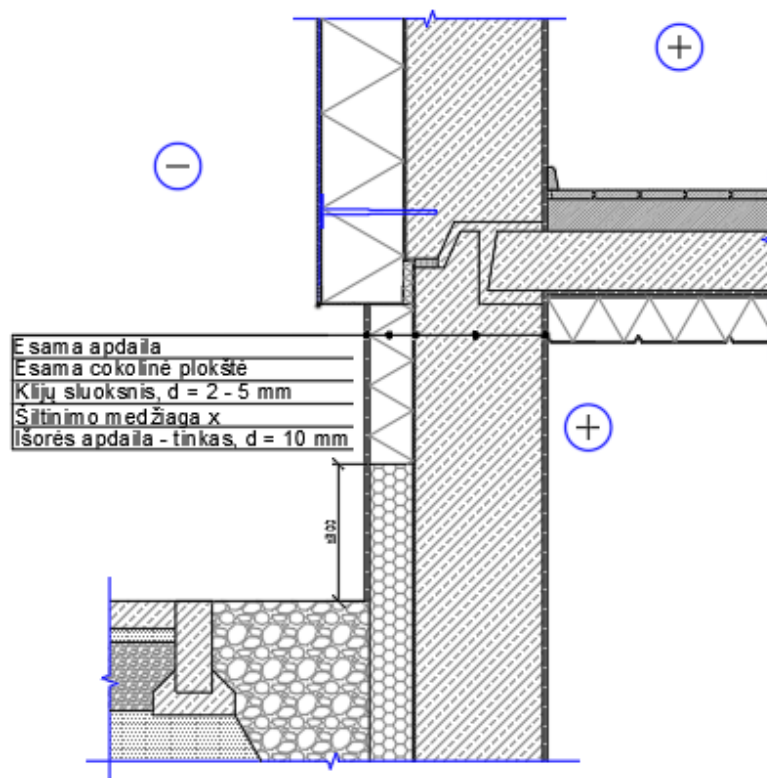


16 pav. Apklausoje gautos rodiklių reikšmės

Statybos srities specialistų nuomone svarbiausias kriterijus renkantis cokolio šiltinimo medžiagą yra deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas – šis apklausos atsakymas prilygsta didžiausiam reikšmingumui iš galimų variantų - 0,308, o mažiausiai svarbūs iš šių vertintų kriterijų yra stipris gniuždant ir ilgalaikis vandens įmirkis, jų subjektyvus reikšmingumas atitinkamai yra lygus 0,217 ir 0,221. Šiltinimo medžiagos kaina surinko 0,254 reikšmingumo balus, kas leidžia suprasti, jog tai yra antras pagal svarbumą kriterijus renkantis šiltinimo medžiagą.

### 3.3. Cokolio šiltinimo efektyvumo daugiakriteris vertinimas TOPSIS metodu

Daugiakriteriui vertinimui atlikti TOPSIS ir COPRAS metodais bei galutiniams rezultatams suskaičiuoti yra pasirinktas tiriamasis modelis - cokolio mazgas (žr. 17 pav.), kuriame bus vertinamos 3 skirtingos cokolio apšiltinimo medžiagos (pažymėta „x“).



17 pav. Cokolio magas (tiriamasis modelis, kur „x“ skirtinga šiltinimo medžiaga)

Atliekant cokolio šiltinimo medžiagų daugiakriterį vertinimą, visų pirma yra sudaroma pradinė galimų sprendimų matrica (žr. 6 lent.), matricai sudaryti yra parenkamos vertinimo alternatyvos – skirtingos šiltinimo medžiagos (pagal konstravimo taisyklės medžiagos yra vienodo – 100 mm storio):

- polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100*;
- ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300*;
- šiloporas *Šillfoam Premium*.

Remiantis atlikta mokslinių straipsnių analize, yra parinkti rodikliai, kuriais bus vertinamas apšiltinimo medžiagų efektyvumas:

- šiltinimo medžiagos kaina;
- deklaruojamas šilumos perdavimo koeficientas;
- stipris gniuždant;
- ilgalaikis vandens įmirkis.

Vertinami rodikliai yra minimalizuojami arba maksimalizuojami priklausomai nuo rodiklio reikšmingumo: kaina – minimizuojama, dėl renkamo pigiausio varianto. Šilumos laidumo koeficientas – minimizuojamas, kuo mažesnis šis koeficientas, tuo patiriami mažesni šilumos nuostoliai, stipris gniuždant – maksimalizuojamas, kuo didesnis stipris tuo medžiaga pasižymi



geresnėmis savybėmis - atlaiko didesnes apkrovas, ilgalaikis vandens įmirkis – minimizuojamas, kuo mažesnis, tuo mažesnė įtaka šilumos perdavimui.

Atliekant TOPSIS daugiakriterį vertinimą, vertinimo rodikliai bei medžiagų alternatyvos yra surašomos į lentelę (žr. 6 lent.). Priklausomai nuo rodiklio reiškingumo jis yra priskiriamas prie *min* arba *max* rodiklio.

**6 lentelė.** TOPSIS metodo galimų sprendimų priėmimo matrica

Medžiagų alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)		
	Min rodiklis	Min rodiklis		
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	15,280		0,035	
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	16,920		0,036	
<i>Šillfoam Premium</i>	20,010		0,034	
Medžiagų alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa	Ilgalaikis vandens įmirkis, %		
	Max rodiklis	Min rodiklis		
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	100		3,000	
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	300		0,700	
<i>Šillfoam Premium</i>	200		0,500	

Gautą galimų sprendimų priėmimo matricą reikia normalizuoti. Atliekant matricos normalizavimą yra vykdoma vektorinė normalizacija pagal (2.2) formulę, rezultatai pateikti 7 lent.

**7 lentelė.** TOPSIS metodo normalizuota sprendimų matrica

Projekto alternatyvos (variantai)	Normalizuoti rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)		
	Min rodiklis	Min rodiklis		
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,504		0,577	
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,558		0,594	
<i>Šillfoam Premium</i>	0,660		0,561	
	Rodiklių reikšmingumai, <i>q</i>			
	0,254	0,308		

## 7 lentelės tęsinys

Projekto alternatyvos (variantai)	Normalizuoti rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens įmirkis, %	
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,267		0,961	
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,802		0,224	
<i>Šillfoam Premium</i>	0,535		0,160	
	Rodiklių reikšmingumai, q			
	0,217		0,221	

Norint sužinoti nagrinėjamų rodiklių reikšmingumą buvo atlikta ekspertų apklausa ir reikšmingumas 7 lentelėje buvo priimtas pagal apklausoje gautus rezultatus (žr. 16 pav.).

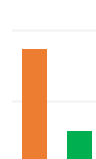
Taikant formulę (2.4) yra sudaroma svartinė normalizuota sprendimų matrica (žr. 8 lent.).

## 8 lentelė. TOPSIS metodo svartinė normalizuota sprendimų matrica

Projekto alternatyvos (variantai)	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>		Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,128		0,178	
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,142		0,183	
<i>Šillfoam Premium</i>	0,168		0,173	
Projekto alternatyvos (variantai)	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens įmirkis, %	
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,058		0,212	
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,174		0,050	
<i>Šillfoam Premium</i>	0,116		0,035	


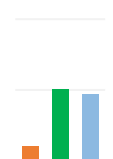
„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) yra nustatomas pagal (2.5) formulę (žr. 9 lent.).

**9 lentelė.** TOPSIS metodo idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva

Idealus variantas	Rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>		Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	
a <sup>+</sup>	0,128		0,173	
a <sup>-</sup>	0,168		0,183	
Idealus variantas	Rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens įmirkis, %	
a <sup>+</sup>	0,174		0,035	
a <sup>-</sup>	0,058		0,212	

„Atstumams“ tarp lyginamųjų ir idealiai geriausių bei blogiausių alternatyvų nustatymui yra naudojamos (2.7) ir (2.8) formules (žr. 10 lent.).

**10 lentelė.** TOPSIS metodu apskaičiuoti atstumai

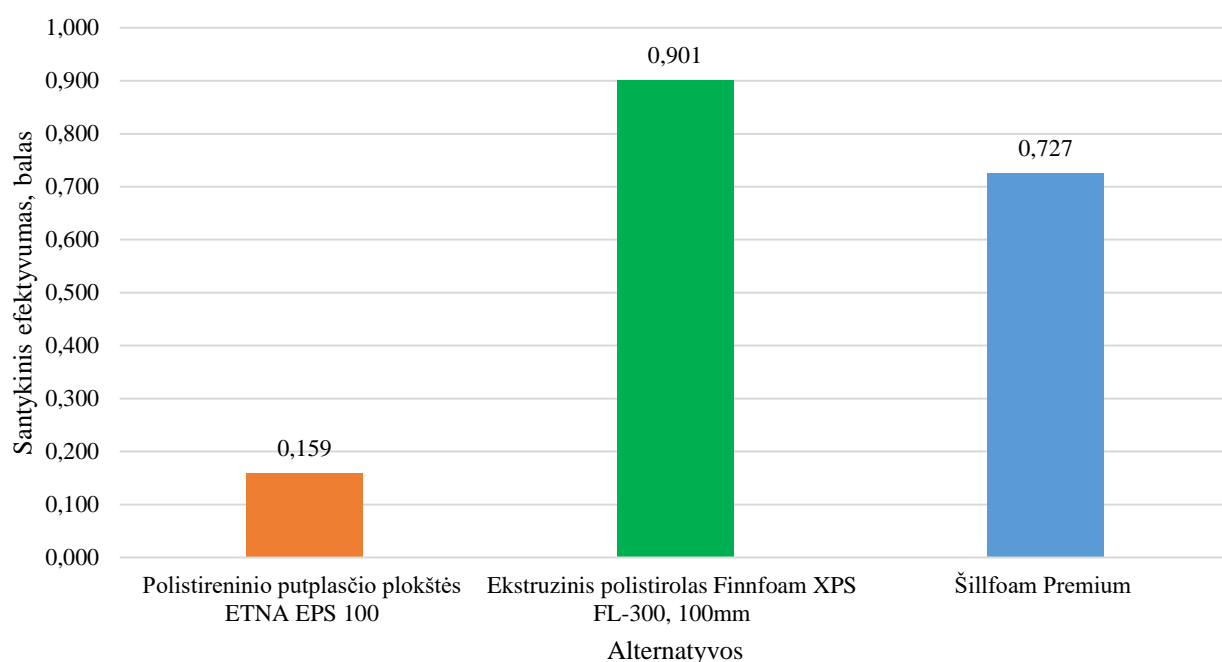
„Atstumas“ tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos		„Atstumas“ tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos	
$L_1^+ = 0,212$		$L_1^- = 0,040$	
$L_2^+ = 0,022$		$L_2^- = 0,202$	
$L_3^+ = 0,070$		$L_3^- = 0,187$	

Norint nustatyti alternatyvos santykinį atstumą iki idealaus varianto pasinaudojame (2.9) pateikta formule. Atsakymų rezultatai pateikti 11 lent.

**11 lentelė.** TOPSIS metodu apskaičiuoti santykiniai atstumai

Santykinis atstumas	Prioritetų eilutė
$K_1 = 0,159$	3
$K_2 = 0,901$	1
$K_3 = 0,727$	2

Santykinių atstumų reikšmės pateiktos diagramoje (žr. 18 pav.).



18 pav. TOPSIS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai

Iš tyrimo rezultatų galime teigti, kad pigiausias iš visų vertinamų alternatyvų yra polistireninio putplasčio plokštės „ETNA EPS100“, mažiausią deklaruojamą šilumos laidumo koeficientą turi – „Šillfoam Premium“ medžiaga, didžiausią stiprį gniuždant atlaiko ekstruzinis polistireninis putplastis „Finnfoam XPS FL-300“, mažiausias ilgalaikis vandens mirkis – „Šillfoam Premium“ medžiagos.

TOPSIS metodu atlikus daudiakriterinį tyrimą nustatyta, kad racionaliausias cokolio apšiltinimas daugiabučiam gyvenamajam pastatui yra ekstruzinis polistireninis putplastis „Finnfoam XPS FL-300“. Ši medžiaga surinko 0,901 balus, o mažiausiai tinkama šiltinimui naudoti medžiaga surinko 0,159 balus - polistireninio putplasčio plokštės „ETNA EPS100“. Geriausias variantas nuo blogiausio skiriasi 0,742 efektyvumo balais arba 82,35 proc. (žr. 18 pav.).

Siekiant išsiaiškinti kokią įtaką turi ekspertų apklausos metu nustatytas rodiklių reikšmingumas, palyginame TOPSIS metodu apskaičiuotus rezultatus, kai rodiklių reikšmingumas yra nustatytas remiantis ekspertų apklausos rezultatais ir kai rodiklių reikšmingumai yra parinkti proporcingai vienodi. Normalizuotoje sprendimų matricioje rodiklių reikšmingumai priimami vienodų reikšmių – 0,25 (žr. 12 lent.).

**12 lentelė.** TOPSIS metodo normalizuota sprendimų matrica, kai rodiklių reikšmingumai vienodi

Projekto alternatyvos (variantai)	Normalizuoti rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>			Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,504			0,577
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,558			0,594
<i>Šillfoam Premium</i>	0,660			0,561
	<b>Rodiklių reikšmingumai, q</b>			
	0,25		0,25	
Projekto alternatyvos (variantai)	Normalizuoti rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa			Ilgalaikis vandens įmirkis, %
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,267			0,961
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,802			0,224
<i>Šillfoam Premium</i>	0,535			0,160
	<b>Rodiklių reikšmingumai, q</b>			
	0,25		0,25	

Sudaroma svartinė normalizuota sprendimų matrica bei surašytos projekto alternatyvų svertinių normalizuotų rodiklių reikšmės (žr. 13 lent.)

**13 lentelė.** TOPSIS metodo svartinė normalizuota sprendimų matrica, kai rodiklių reikšmingumai vienodi

Projekto alternatyvos (variantai)	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>			Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,126			0,144
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,139			0,148
<i>Šillfoam Premium</i>	0,165			0,140
Projekto alternatyvos (variantai)	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa			Ilgalaikis vandens įmirkis, %
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,067			0,240
Ekstruzinis polistireninis putplastis <i>Finnfoam XPS FL-300, 100mm</i>	0,200			0,056
<i>Šillfoam Premium</i>	0,134			0,040





Pasinaudojant lentelių duomenimis yra išrenkamos bei surašomos idealiai geriausios ir blogiausios alternatyvos (žr. 14 lent.)

**14 lentelė.** TOPSIS metodo idealiai gerusia ir blogiausia alternatyva, kai rodiklių reikšmingumai vienodi

Idealus variantas	Rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>		Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	
a <sup>+</sup>	0,126		0,140	
a <sup>-</sup>	0,165		0,148	
Idealus variantas	Rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens įmirkis, %	
a <sup>+</sup>	0,200		0,040	
a <sup>-</sup>	0,067		0,240	

Suskaičiuojami atstumai tarp lyginamosios idealiai geriausios ir idealiai blogiausios alternatyvų. Atsakymų rezultatai pateikti 15 lent.

**15 lentelė.** TOPSIS metodu apskaičiuoti atstumai, kai rodiklių reikšmingumai vienodi

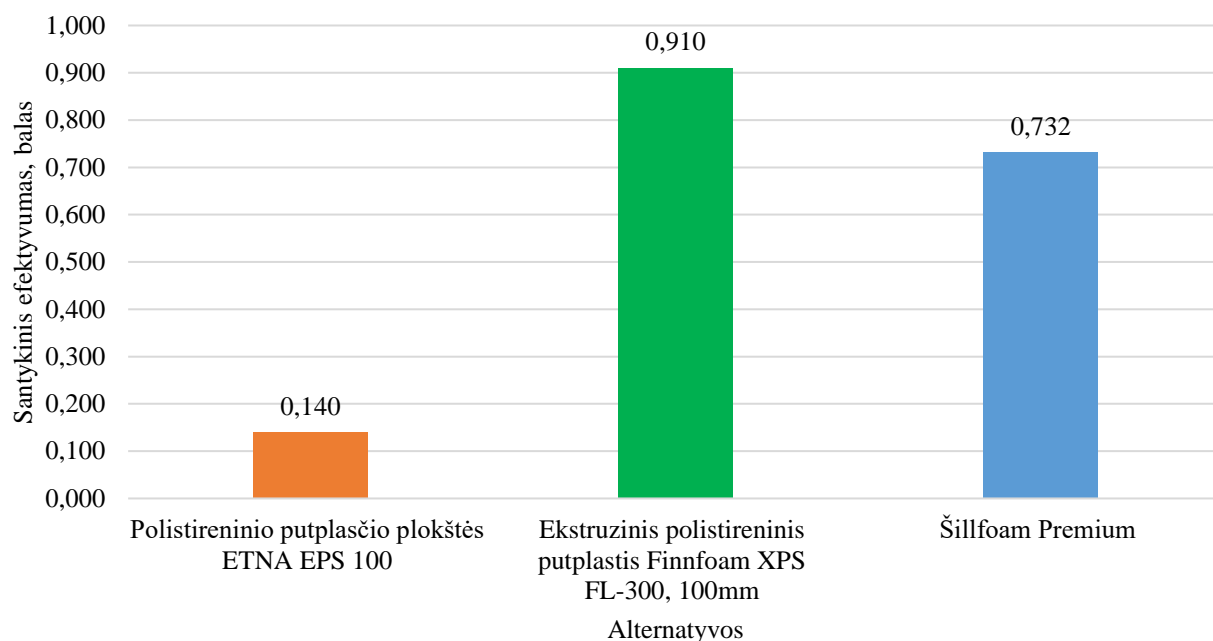
„Atstumas“ tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos		„Atstumas“ tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos	
$L_1^+ = 0,241$		$L_1^- = 0,039$	
$L_2^+ = 0,023$		$L_2^- = 0,229$	
$L_3^+ = 0,077$		$L_3^- = 0,211$	

Remdamiesi TOPSIS metodologija ir pasitelkiant minėtais skaičiavimais bei naudodami (2.1) – (2.9) formules gauname santykinų atstumų reikšmes (žr. 16 lent.). Gautas reikšmes išdėstome pagal prioritetų eilutę.

**16 lentelė.** TOPSIS metodu apskaičiuoti santykiniai atstumai, kai rodiklių reikšmingumai vienodi

Santykinis atstumas	Prioritetų eilutė
$K_1 = 0,140$	3
$K_2 = 0,910$	1
$K_3 = 0,732$	2

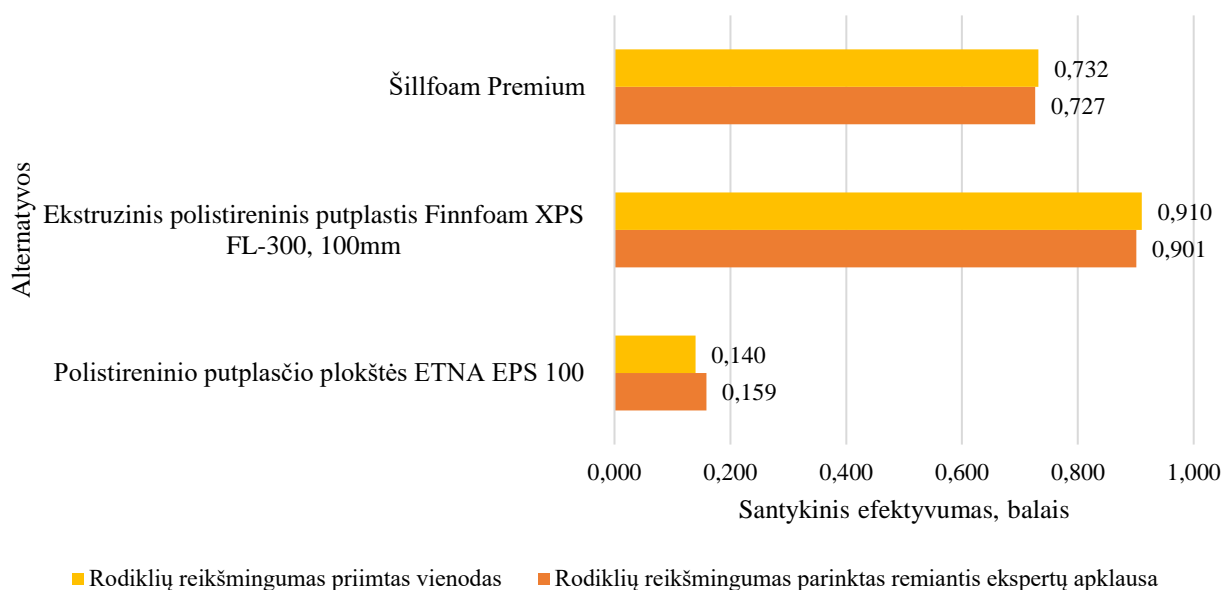
Santykinių atstumų reikšmės pateiktos diagramoje (žr. 19 pav.).



**19 pav.** TOPSIS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai, kai reikšmingumai yra vienodi

Remiantis gautos diagramos duomenimis, kai rodiklių reikšmingumai yra priimti vienodi, nustatyta, kad ekstruzinis polistireninis putplastis „*Finnfoam XPS FL-300*“ surinko 0,910 balus, mažiausiai surinko polistireninio putplasčio plokštės „*ETNA EPS100*“ - 0,140 balus. Geriausias variantas nuo blogiausio skiriasi 0,77 efektyvumo balais – 84,62 proc.

Remiantis 7 ir 12 lent. duomenimis buvo sukurta lyginamoji diagrama (žr. 20 pav.), siekiant palyginti 2 tyrimų, rodiklių reikšmingumus: tiriant, kai ekspertų apklausos metu gautų rodiklių reikšmingumai skiriasi ir kuomet rodikliai yra vienodi.



**20 pav.** Lyginamoji TOPSIS metodu apskaičiuotų tyrimų rezultatų diagrama

Tyrimo rezultatai rodo, kad ekstruzinis polistireninis putplastis surinko daugiausiai balų 0,910 ir 0,901. Abejais tyrimais gauti rezultatai skiriasi 0,99 proc. Didžiausias gauto santykinio efektyvumo skirtumas yra polistireninio putplasčio plokščių ETNA EPS 100 siekiantis 11,95 proc. Mažiausiai santykinis efektyvumas skiriasi Šillfoam Premium medžiagos – 0,68 proc. Atlikus tyrimą ekstruzinio polistirolo santykinis efektyvumas skiriasi (sumažėjo) 0,009 balais. Gauti tyrimo rezultatai rodo, kad parinkta medžiagos alternatyva yra patikima, dėl gauto santykinai nedidelio skirtumo.

Norint išsamiau atlikti modernizuojamo daugiabučio namo cokolio šiltinimo medžiagų tyrimą bei įsitikinti ar TOPSIS metodu gauta racionaliausia medžiaga yra efektyviausia, buvo nuspręsta patikrinti gautus rezultatus ir palyginti su kitu metodu apskaičiuotais rezultatais. Šiam tikslui įgyvendinti buvo pasirinktas dar vienas daugiakriteris metodas - COPRAS. Remiantis 2 skyriuje pateikta metodika ir naudojantis pateiktomis (3.1) – (3.5) formulėmis atliekamas COPRAS daugiakriterio vertinimo metodo sprendimas.

Sudaroma galimų sprendimų priėmimo matrica, jos duomenys pateikti 17 lent.

**17 lentelė.** Galimų sprendimų priėmimo matrica COPRAS metodu

Projekto alternatyvos (variantai)	Rodikliai		
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>		Šilumos perdavimo koeficientas W/m <sup>2</sup> K
Polistireninio putplasčio plokštės ETNA EPS 100	15,280		0,035
Ekstruzinis polistireninis putplastis Finnfoam XPS FL-300, 100mm	16,920		0,036
Šillfoam Premium	20,010		0,034
Rodiklių suma	52,210		0,105
Min. ar max. rodiklis	min.		min.
Rodiklių reikšmingumai, q <sub>j</sub>	0,254		0,308



**17 lentelės tęsinys**

Projekto alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens mirkis, %	
Polistireninio putplasčio plokštės ETNA EPS 100	100		3,0	
Ekstruzinis polistirolas Finnfoam XPS FL-300, 100mm	300		0,7	
Šillfoam Premium	200		0,5	
Rodiklių suma	600,000		4,200	
Min. ar max. rodiklis	max.		min.	
Rodiklių reikšmingumai, $q_j$	0,217		0,221	

Sudedami maksimizuojantys arba minimizuojantys (priklausomai nuo rodiklio reikšmingumo) rodikliai. Gautos reikšmės surašytos į 18 lent.

**18 lentelė.** Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos apskaičiuotos COPRAS metodu

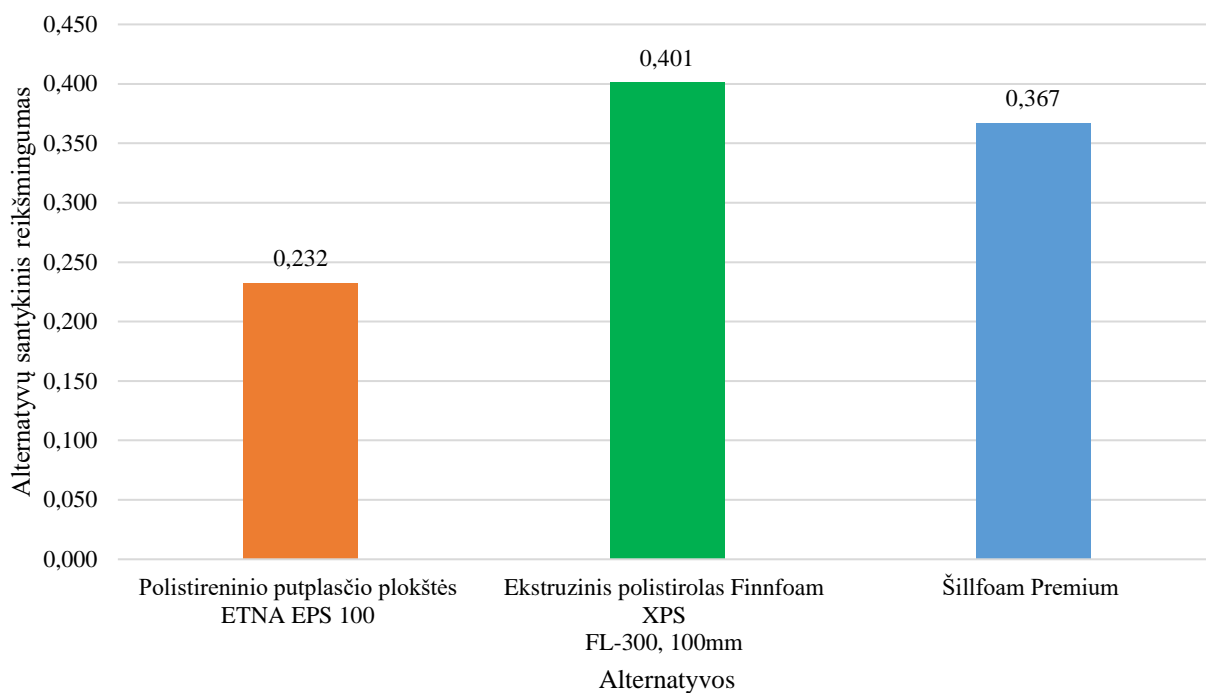
Maksimizuojančių normalizuotų rodiklių sumos		Minimizuojančių normalizuotų rodiklių sumos	
$S_{+1} = 0,036$		$S_{-1} = 0,335$	
$S_{+2} = 0,109$		$S_{-1} = 0,225$	
$S_{+3} = 0,072$		$S_{-1} = 0,223$	

Remiantis minėtomis formulėmis yra apskaičiuojamas santykinis alternatyvų reikšmingumas bei naudingumo laipsnis. Nustatoma kiekvieno rodiklio prioritetų eilutė. Rezultatai yra pateikti 19 lent.

**19 lentelė.** Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis apskaičiuotas COPRAS metodu

Santykinis reikšmingumas	Naudingumo laipsnis, %	Prioritetų eilutė
$Q_1 = 0,232$	$N_1 = 57,975$	3
$Q_2 = 0,401$	$N_2 = 100,000$	1
$Q_3 = 0,367$	$N_3 = 91,423$	2

Atlikus cokolio šiltinimo medžiagų tyrimą COPRAS metodu, gauti atsakymų rezultatai iš 14 lentelės buvo perkelti į diagramą (žr. 21 pav.)



**21 pav.** COPRAS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai

Iš gautų tyrimo rezultatų matyti, kad racionaliausiu variantu yra laikomas ekstruzinis polistirolas *Finnfoam XPS FL-300* surinkęs 0,401 santykinio reikšmingumo balus, mažiausiai racionalios yra polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100*, jų santykinio reikšmingumo reikšmė 0,232. *Šillfoam premium* surinko 0,367. Geriausia alternatyva nuo blogiausios skiriasi 42,14 proc.

Analogiškai kaip ir tiriant daugiakriteriu TOPSIS metodu, priimta, jog ekspertų reikšmingumo vertinimas yra nepaisomas, o jo reikšmė yra proporcinga ir lygi 0,25. Atliekami skaičiavimai pagal (3.1) – (3.5) formules.

Sudaroma sprendimų priėmimo matrica, rodiklių reikšmingumai priimami vienodi (žr. 20 lent.)

**20 lentelė.** Sprendimų priėmimo matrica COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs

Projekto alternatyvos (variantai)	Rodikliai		
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>		Šilumos perdavimo koeficientas W/m <sup>2</sup> K
Polistireninio putplasčio plokštės ETNA EPS 100	15,280		0,035
Ekstruzinis polistirolas Finnfoam XPS FL-300, 100mm	16,920		0,036
Šillfoam Premium	20,010		0,034
Rodiklių suma	52,210		0,105
Min. ar max. rodiklis	min.		min.
Rodiklių reikšmingumai, $q_j$	0,250		0,250

20 lentelės tęsinys

Projekto alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens mirkis, %	
Polistireninio putplasčio plokštės ETNA EPS 100	100		3,0	
Ekstruzinis polistirolas Finnfoam XPS FL-300, 100mm	300		0,7	
Šillfoam Premium	200		0,5	
Rodiklių suma	600,000		4,200	
Min. ar max. rodiklis	max.		min.	
Rodiklių reikšmingumai, $q_j$	0,250		0,250	


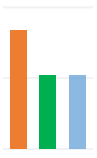
Vykdomas sprendimų matricos normalizavimas, gauti atsakymų rezultatai pateikti 21 lent.

21 lentelė. Normalizuota matrica COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs

Projekto alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>		Šilumos perdavimo koeficientas W/m <sup>2</sup> K	
Polistireninio putplasčio plokštės ETNA EPS 100	0,073		0,083	
Ekstruzinis polistirolas Finnfoam XPS FL-300, 100mm	0,081		0,086	
Šillfoam Premium	0,096		0,081	
Min. ar max. rodiklis	min.		min.	
Projekto alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Stipris gniuždant, kPa		Ilgalaikis vandens mirkis, %	
Polistireninio putplasčio plokštės ETNA EPS 100	0,042		0,179	
Ekstruzinis polistirolas Finnfoam XPS FL-300, 100mm	0,125		0,042	
Šillfoam Premium	0,083		0,030	
Min. ar max. rodiklis	max.		min.	

Atsižvelgus į rodiklių reikšmingumą, priklausomai ar rodiklis minimizuojamas ar maksimizuojamas, šie rodikliai yra susumuojami (žr. 22 lent.).

**22 lentelė.** Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos apskaičiuotos COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs

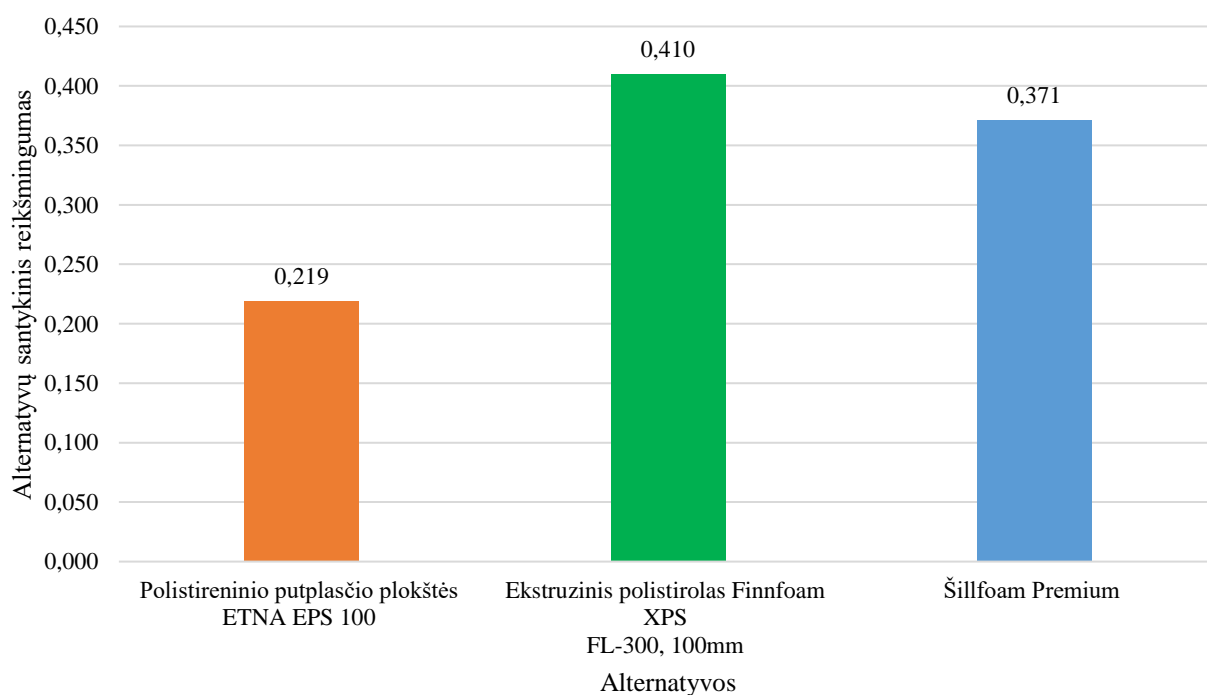
Maksimizuojančių normalizuotų rodiklių sumos		Minimizuojančių normalizuotų rodiklių sumos	
$S_{+1} = 0,042$		$S_{-1} = 0,335$	
$S_{+2} = 0,125$		$S_{-1} = 0,208$	
$S_{+3} = 0,083$		$S_{-1} = 0,207$	

Naudojantis COPRAS metodo formulėmis yra nustatomas alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis, rezultatai pateikti 23 lentelėje.

**23 lentelė.** Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis apskaičiuotas COPRAS metodu, kai rodiklių reikšmingumai lygūs

Santykinis reikšmingumas	Naudingumo laipsnis, %	Prioritetų eilutė
$Q_1 = 0,219$	$N_1 = 53,398$	3
$Q_2 = 0,410$	$N_2 = 100,000$	1
$Q_3 = 0,371$	$N_3 = 90,469$	2

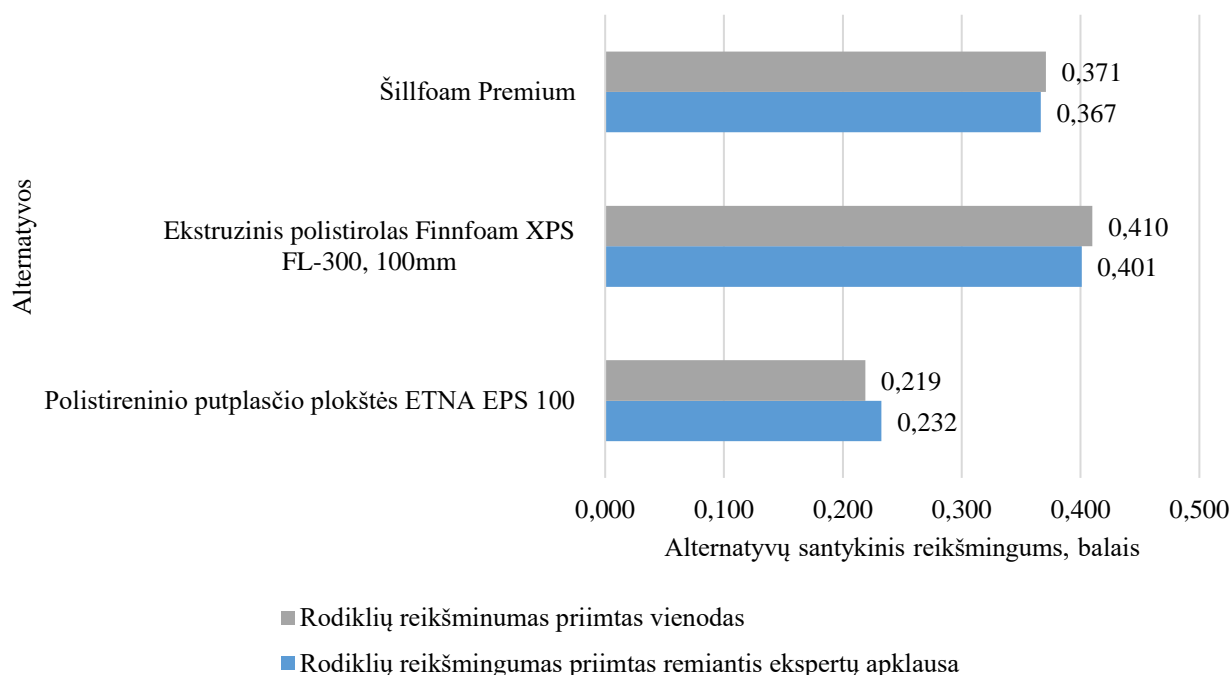
Gauti alternatyvų santykinio reikšmingumo bei naudingumo laipsnio skaičiavimo rezultatai pateikti 22 pav.



**22 pav.** COPRAS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai, kai reikšmingumai yra vienodi

Iš 22 pav. matyti, kad ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300* užima pirmą vietą pagal prioritetus, jo santykinis reikšmingumas lygus 0,410 balams, mažiausias reikšmingumas yra polistireninio putplasčio plokščių *EPS 100*, jis lygus 0,219. *Šillfoam Premium* šiltinimo medžiaga surinko 0,371 balo ir nuo geriausio varianto skiriasi 46,59 proc.

Remiantis 19 ir 23 lent. duomenimis buvo sudaryta lyginamoji diagrama (žr. 23 pav.), kuri parodo rodiklių reikšmingumų įtaką COPRAS tyrimo rezultatams.



**23 pav.** Lyginamoji COPRAS metodu apskaičiuotų tyrimų rezultatų diagrama

Iš pateiktos 23 pav. diagramos matyti, kad didžiausias alternatyvų santykinų reikšmingumų skirtumas yra polistireninio putplasčio plokščių *ETNA EPS 100*, jis siekia 0,013 balų – 5,60 proc. Ekstruzinio polistireninio putplasčio *Finnfoam XPS FL-300* alternatyvų santykinis reikšmingumas skiriasi 2,20 proc., o *Šillfoam Premium* skiriasi 1,08 proc.

Atlikus palyginamąjį tyrimą TOPSIS ir COPRAS metodais, galima teigti, jog racionaliausia bei energiškai efektyviausia medžiaga skirta šildyti modernizuojamo daugiabučio namo cokolį yra ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300*. Šis variantas abiejuose tyrimuose surinko daugiausia balų: TOPSIS tyrime jo santykinis efektyvumas buvo lygus 0,901 balui, COPRAS tyrime jo santykinis reikšmingumas buvo 0,401. Mažiausiai efektyvios yra polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100*, jos abiejuose nagrinėtuose tyrimuose surinko mažiausiai balų: TOPSIS – 0,159, COPRAS - 0,232 ir yra vertinamos kaip neefektyviausios iš tirtų alternatyvų. *Šiloporos Šillfoam Premium* užimė poziciją tarp prieš tai minėtų medžiagų, tai yra antra pagal efektyvumą medžiaga.

Šis tyrimas leidžia teigti, kad nepaisant didžiausio šilumos laidumo koeficiento (iš tirtų medžiagų), įvertinus šiltinimo medžiagos kainą, stipri gniuždant bei ilgalaikį vandens įmirkį – ekstruzinis polistireninis putplastis *Finnfoam XPS FL-300* yra tinkamiausia medžiaga šiltinti pastato cokolį.

## Išvados

1. Atlikus atestuotų statybos specialistų apklausą galima teigti, kad svarbiausias kriterijus renkantis modernizuojamo daugiabučio namo cokolio apšiltinimo medžiagą yra deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas – šis apklausos atsakymas prilygsta didžiausiam reikšmingumui iš galimų variantų - 0,308, o mažiausiai svarbūs iš šių vertintų kriterijų yra stipris gniuždant ir ilgalaikis vandens įmirkis. Jų subjektyvus reikšmingumas atitinkamai yra lygus 0,217 ir 0,221. Šiltinimo medžiagos kaina surinko 0,254 reikšmingumo balus ir tai yra antras pagal svarbumą kriterijus renkantis šiltinimo medžiagą.
2. Atlikus daugiakriterinį tyrimą TOPSIS metodu nustatyta, kad racionaliausias cokolio apšiltinimas daugiabučiam gyvenamajam pastatui iš vertintų alternatyvų yra ekstruzinis polistireninis putplastis „*Finnfoam XPS FL-300*“. Ši medžiaga surinko 0,901 balus iš 1 galimo balo, o mažiausiai efektyvi šiltinimo medžiaga surinko 0,159 balus - polistireninio putplasčio plokštės „*ETNA EPS100*“. „*Šillfoam premium*“ medžiaga surinko 0,727 balus. Santykinis skirtumas tarp efektyviausios alternatyvos ir mažiausiai efektyvios yra 82,35 proc.
3. Atlikus tyrimą COPRAS metodu taip pat nustatyta, kad racionaliausias variantas yra ekstruzinis polistireninis putplastis „*Finnfoam XPS FL-300*“, surinkęs 0,401 santykinio reikšmingumo balus, mažiausiai racionalios yra polistireninio putplasčio plokštės „*ETNA EPS 100*“, jų santykinio reikšmingumo reikšmė 0,232. „*Šillfoam premium*“ medžiagos santykinis naudingumo laipsnis 53,40 proc.
4. Atlikus cokolio šiltinimo medžiagų palyginamąją analizę TOPSIS ir COPRAS metodais, nustatyta, kad nepaisant taikyto metodo (santykinis skirtumas tarp metodų 10,44 proc.) racionaliausia medžiaga yra ekstruzinis polistireninis putplastis „*Finnfoam XPS FL-300*“. Ši medžiaga taikytuose metoduose surinko daugiausiai balų. Mažiausiai balų surinko polistireninio putplasčio plokštės „*ETNA EPS 100*“, todėl ši medžiaga yra mažiausiai efektyvi iš vertintų apšiltinimo alternatyvų.

## Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-10-20]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>.
2. Registrų centras. *Energinio naudingumo sertifikavimas*. [interaktyvus] [žiūrėta 2021 m spalio 16 d.]. Prieiga per internetą: [https://www.registrucentras.lt/energinis\\_efektyvumas/](https://www.registrucentras.lt/energinis_efektyvumas/)
3. Energy performance of buildings directive. 2010/31/EU (EPBD) [žiūrėta 2021 m. rugpjūčio 7 d.]. Prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)
4. MOELLER, Simon, WEBER, Ines, SCHRODER, Franz, BAUER, Amelie, HARTER, Hannes. Apartment related energy performance gap – How to address internal heat transfers in multi – apartment buildings. *Statybos inžinerija ir technologijos* [interaktyvus]. 2020, 215 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 21 d.]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109887>.
5. VASILYEV, Gregory, GORNOV, Viktor, TIMOFEEV, Nikolay, DMITRIEV, Alexander, SHAPKIN Pavel, KOLESOVA Marina. Experimental research of the temperature potential of ventilation emissions in apartment buildings. 2020, p. 1-7 [žiūrėta 2020 gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/424/1/012002/pdf>.
6. PARASCHIV, L. S., PARASCHIV, S., ION, V. Ion. Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation. 2017, 128, p. 393-399 [žiūrėta 2020 m. lapkričio 11 d.]. Prieiga per: Science Direct.
7. AYDIN, Dincer, MIHLAYANLAR, Esmā. A case study on the impact of building envelope on energy efficiency in high-rise residential building. *Architecture Civil Engineering Environment* [interaktyvus]. 2020, 13(1), p. 5-18 [žiūrėta 2020 m. spalio 14 d.]. Prieiga per doi: 10.21307/ACEE-2020-001.
8. UNIBEN Yao Ayikoe Tettey, LEIF Gustavsson. Energy savings and overheating risk of deep energy renovation of a multi - store residential building in a cold climate under climate change. [interaktyvus]. July 2020, vol. 202 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117578>.
9. KARIM, Naman Ali, JOHANSSON, Par, SACIC KALAGASIDIS, Angela. Super insulation plasters in renovation of buildings in Sweden: energy efficiency and possibilities with new building materials. [interaktyvus] vol. 588, 2020 [žiūrėta 2021 m. liepos 7 d.]. Prieiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/588/4/042050/pdf>
10. UPITIS, M., AMOLINA, L., GEIPELE, I., ZELTINS, N. Measures to achieve the energy efficiency improvement targets in the multi-apartment residential sector. *Latvian journal of physics and technical sciences*. [interaktyvus] 2020, vol. 57 [žiūrėta 2021 m. lapkričio 3 d.]. Prieiga per doi: 10.2478/lpts-2020-0032
11. AMPATZIDIS, P., SERASIDOU, A., TSIAOUSI, A., MANTINOPOULOS, G. High energy efficiency renovation options for typical apartment. The case study of the SPITI project. [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 10 d.]. Prieiga per doi: doi:10.1088/1755-1315/410/1/012060
12. VALANČIUS, K., MIKUČIONIENĖ, R. Solar energy as a tool of renovating soviet – type multi apartment buildings. 2020, 198, 93 - 100 [žiūrėta 2020 m. lapkričio 3 d.]. Prieiga per: Science Direct.
13. LOBACCARO, G., CROCE, S., LINDKVIST, C., MUNARI PROBST, M. C., SCOGNAMIGLIO, A., DAHLBERG, J., LUNDGREN, M., WALL, M. A cross-country

- perspective on solar energy in urban planning: Lessons learned from international case studies. *Renewable and sustainable energy reviews*. [interaktyvus] July 2016 p. 206-237 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per doi: 10.1016/j.rser.2019.03.041.
14. BUŽINSKIENĖ, R. European Journal of sustainable development. *Impact of the Renewable energy development in Lithuania's energy economy*. 2019, vol. 8, no. 4. ISSN 2239-6101.
  15. ROGOŽA Artur, ŠIUPŠINSKAS Giedrius, BIELSKUS Juozas, MISEVIČIŪTĖ Violeta. Atsinaujinančios energijos šaltinių diegimo modernizuojamuose pastatuose įvertinimas gyvavimo ciklo požiūriu: atvejo analizė. [interaktyvus] 2019-07-03, ISSN 2029-2341 [žiūrėta 2020 m. lapkričio 11 d.]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.3846/mla.2019.10579>.
  16. ABOLTINS Reinis, BLUMBERGA Dagnija. Key factors for successful implementation of energy efficiency policy instruments: a theoretical study and the case of Latvia. [interaktyvus]. 2019, 23(2) [žiūrėta 2020 m. lapkričio 15 d.]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2019-0063>.
  17. STREIMIKIENE, D., BALEZENTIS, T. Willingness to pay for renovation of multi-flat buildings and to share the costs of renovation. [interaktyvus] 2020, 13(11) [žiūrėta 2020 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3390/en13112721>.
  18. GULCK, L. V., DE PUTTE, V. S., DELGHUST, M., DEN BOSSCHE, V. N., STEEMAN, M. Environmental and financial assessment of facade renovations designed for change: developing optimal scenarios for apartment buildings in Flanders. *Building and Environment*. [interaktyvus] vol. 183, October 2020 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 8 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107178>.
  19. HAMBURG Anti, KUUSK Kalle, MIKOLA Alo, KALAMEES Targo. Realisation of energy performance targets of an old apartment building renovated to nZEB. [interaktyvus] 2020, 194 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116874>.
  20. MIKULIC, D., SLIJEPČEVIC, S., BUTURAC, G. Energy renovation of multi apartment buildings: Contributions to economy and climate changes. 2020, 224 [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 29 d.]. Prieiga per: Science Direct
  21. RUI, Chen, XIAOPING, Feng, CHENGJING, Li, HUAPENG, Chen. Reduction in Carbon Dioxide Emission and Energy Saving Obtained by Renovation of Building Envelope of Existing Residential Buildings. *Aerosol and Air Quality Research*. [interaktyvus] October 2021, vol. 21 [žiūrėta 2021 m. spalio 15 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.4209/aaqr.210084>.
  22. GABITOV, A. I., GAISIN A. M, UDALOVA, E. A, SALOV, A. S, YAMILOVA, V. V. Energy efficient technologies for the construction and buildings reconstruction. *IOP Conference series: Materials Science and Engineering* .[interaktyvus] vol. 753 (1) 2020 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 10 d.]. Prieiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/2/022086/pdf>.
  23. MATAČIŪNAS, Justas, MIGILINSKAS, Darius. Prienų daugiabučių namų atnaujinimo analizė. [interaktyvus] 2020, vol. 12. [žiūrėta 2020 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3846/mla.2020.11393>.
  24. JONYNAS, R., PUIDA, E., POŠKAS, R., PAUKŠTAITIS, L., JOUHARA, H., GUDZINSKAS, J., MILIAUSKAS, G., LUKOŠEVIČIUS, V. Renewables for district heating: The case of Lithuania. [interaktyvus] vol. 211, 15 November 2020 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119064>.
  25. HIRVONEN, J., JOKISALO, J., HELJO, J., KOSEN, R. Effect of apartment building energy renovation on hourly power demand. [interaktyvus] May 9, 2019, p. 918-936 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/14786451.2019.1613992>.



26. Lietuvos ilgalaikė renovacijos strategija. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2021 m. kovo 31 d. protokoliniu sprendimu Nr. 18 [žiūrėta 2021 m. rugpjūčio 26 d.]. Prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/lt\\_2020\\_ltrs.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/lt_2020_ltrs.pdf)
27. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Nutarimas dėl daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos patvirtinimo. 2004-09-23 Nr. 1213 [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. spalio 17 d.]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.242058/asr>.
28. VALSTYBINIO AUDITO ATASKAITA. Nr. VAE-1. Daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas). 2020 m. sausio 20 d.
29. AUKŠČIAUSIOJI AUDITO INSTITUCIJA. Daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas) 2020 m. sausio 20 d. Nr. VAE-1 [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per <https://www.vkontrole.lt/failas.aspx?id=4051>.
30. GAIGALIS, Vygandas, KATINAS, Vladislovas. Analysis of renewable energy implementation and prediction prospects in compliance with the EU policy: a case of Lithuania. [interaktyvus] vol. 151, May 2020, p. 1016–1027 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 6 d.]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.091>.
31. LIETUVOS RESPUBLIKOS aplinkos ministerija. Nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030m. [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/klimato-kaita/nacionalinis-energetikos-ir-klimato-srities-veiksmu-planas-2021-2030-m>.
32. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Dėl daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos patvirtinimo. 2004 m. rugsėjo 23 d. Nr. 1213 [interaktyvus]. 2004 [žiūrėta 2020 m. lapkričio 17 d.]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.242058/asr>.
33. EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2010/31/ES. „Dėl pastatų energinio naudingumo“ 2010-05-19 L153/13 [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>.
34. JONKUTĖ Gintė, NORVAIŠIENĖ Rosita, BANIONIS Karolis, MONSTVILAS Edmundas, BLIŪDŽIUS Raimondas. Analysis of carbon dioxide emissions in residential buildings through energy performance certification in Lithuania. [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2020 m. spalio 23 d.]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1773581>.
35. IGNATAVIČIUS, Česlovas, SKRODENIS, Saulius Vytautas, JATULIS, Tomas, GUREVIČIENĖ, Ana. *Pastatų modernizavimui skirtų tipinių detalių, priemonių ir techninių sprendinių katalogas*. 2018
36. PULATOVICH, Matyokubov Bobur. SHODIVEV, Kamoliddin. Thermal Insulation of Basement Walls of Low-Rise Residential Buildings and Calculation of its Thickness. *International Journal of Culture and Modernity*. 2021, vol. 9. Samarkand State Institute of Architecture and Construction, Uzbekistan. ISSN2697-2131
37. TULAKOV, E. S., INOVATOX, PH. D., KURBANOV, A. S. Waterproofing And Calculation Of The Thickness Of The Insulation Of The Basement Wall Of A Low-Rise Energy-Efficient House In Accordance With Domestic And Foreign Standards And Norms. *International Journal Of Scientific & Technology Research*. 2019, vol. 8, Issue 11. ISSN 2277-8616
38. LAURINAVIČIŪTĖ, Rimantė, TUPĖNAITĖ, Laura. Naujos statybos daugiabučių namų projektų Vilniaus mieste daugiakriteris vertinimas prieinamumo gyventojams aspektu. VGTU leidykla „Technika“. [interaktyvus] 2018 vol. 10 ] [žiūrėta 2021 m spalio 16 d. ]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3846/mla.2018.2203>
39. SIMANAVIČIENĖ, Rūta. Kiekybinių daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. *Daugiatikslių sprendimų priėmimo metodų analitinis tyrimas metodu TOPSIS*. VGTU

- leidykla TECHNIKA, 2011, p. 19-21. ISBN 978-609-457-055-1. Prieiga per internetą: <http://dspace.vgtu.lt/handle/1/926>.
40. SIKSNELYTĖ, Indrė. ZAVADSKAS, Edmundas, Kazimieras. STREIMIKIENĖ, Dalia. An overview of multi-criteria decision – making methods in dealing with sustainable energy development. *Energies* [interaktyvus] September 2018 [žiūrėta 2021 rugsėjo 17d.]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.3390/en11102754>
  41. FUKANG, Sun, JUNQI, Yu. Improved energy performance evaluating and ranking approach for office buildings using Simple-normalization, Entropy-based TOPSIS and K-means method. *Energy Reports* [interaktyvus] vol. 7, November 2021, p. 1560-1570 [žiūrėta 2021 m. rugsėjo 17 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.03.007>
  42. CHEN, Chun – Ho. A novel multi - criteria decision - making model for building material supplier selection based on entropy - AHP weighted TOPSIS. *Entropy*. [interaktyvus]. 2020, 22(2), p. 259 [žiūrėta 2021 m. spalio 14 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3390/e22020259>.
  43. STREIMIKIENĖ, Dalia, SKULSKIS, Virgilijus, BALEZENTIS, Tomas, AGNUSDEI, Giulio Paolo. Uncertain multi-criteria sustainability assessment of green building insulation materials. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. July 2020, vol. 219 [žiūrėta 2021 m. rugsėjo 21 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110021>.
  44. FATEMEH, Maryam, Shahpari, SARADJ MIR, Mehdizadeh, SAEID PIRI, Saman Pishvae. Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method. *Journal of Building Engineering*. [interaktyvus] January 2020, vol. 27 [žiūrėta 2021 m. rugsėjo 25 d.] Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100979>
  45. DU, Minggang, HAN, Tongyin, SHANG, Yanliang. Research on construction engineering safety Risk Control based on IAHP-TOPSIS. Authorea. [interaktyvus]. February 08, 2021. Prieiga per doi: [10.22541/au.161279084.48864897/v1](https://doi.org/10.22541/au.161279084.48864897/v1).
  46. STARYNINA, J. 2020. Modernizuojamų visuomeninių pastatų energijos vartojimo efektyvumo didinimas taikant darnius projektavimo metodus: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 144 p.
  47. MOVAFFAGHI, Hamid, YITMEN, Ibrahim. Multi-criteria decision analysis of timber-concrete composite floor systems in multi-storey wooden buildings. *Civil Engineering and Environmental Systems* [interaktyvus]. 2021, vol. 38, [žiūrėta 2021 m. spalio 12 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/10286608.2021.1934826>.
  48. ZLAUGOTNĖ, Beate, ZIHARE, Lauma , BALODE, Lauma ,KALNBALKITE, Antra, KHABDULLIN, Aset, BLUMBERGA, Dagnija. Multi – criteria decision analysis methods comparison. *Environmental and Climate Technologies*. [interaktyvus] 2020, vol. 24 [žiūrėta 2021 m. spalio 18d.] . Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0028>
  49. FAKHREHOSSEINI S. F. Selecting the Optimal Industrial Investment by Multi-Criteria Decision-Making Methods with Emphasis on TOPSIS, VIKOR and COPRAS (Case Study of Guilan Province). *International Journal of Research in Industrial Engineering*. [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2021 m. spalio 18d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.22105/riej.2020.216548.1117>.
  50. RUI, Chen, XIAOPING, Feng, CHENGJING, Li, HUAPENG, Chen. Reduction in Carbon Dioxide Emission and Energy Saving Obtained by Renovation of Building Envelope of Existing Residential Buildings. *Aerosol and Air Quality Research* [interaktyvus] October 2021, vol. 21 [žiūrėta 2021 m. spalio 15 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.4209/aaqr.210084>.

51. Statybinės ir apdailos medžiagos. ETNA. *ETNA EPS 100* [interaktyvus]. N. d. [žiūrėta 2021 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://putu-polistirolas.lt/lt/83-etna-eps-100>
52. Finnfoam insulation you can trust. *Finnfoam*. [interaktyvus] N. d. [žiūrėta 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://finnfoam.lt/produktai/finnfoam/>
53. Šiloputa polistireninis putplastis. *Šillfoam premium*. [interaktyvus] N. d. [žiūrėta 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://silputa.lt/formuotas-putplastis/premium>
54. ROW, Mark. Insulation materials classification. [interaktyvus] N. d. [žiūrėta 2021 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per internetą: [https://www.insulationshop.co/insulation\\_materials\\_classification](https://www.insulationshop.co/insulation_materials_classification)
55. TEISĖS AKTŲ REGISTRAS. Lietuvos Respublikos valstybės paramos daugiabučiams namams atnaujinti (modernizuoti) įstatymas. 1992-06-01 Nr. 79 - 0 [interaktyvus] [žiūrėta 2021 m. gruodžio 3 d.]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.9D04F98F7C14/asr>
56. GRAZIESCHI, Gianluca, ASDRUBALI, Francesco, THOMAS, Guilhem. Embodies energy carbon of building insulating materials: A critical review. *Cleaner Environmental Systems* [interaktyvus] June 2021, vol. 2 [žiūrėta 2021 m. gruodžio 9 d.]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100032>.



## A++ klasės Daugiabučio gyvenamojo pastato cokolio Apšiltinimo efektyvumo daugiakriteris vertinimas

Maldarytė K.<sup>1</sup>, Aviža D.<sup>1</sup>, Zacharovienė E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kauno technologijos universitetas

**Raktiniai žodžiai:** daugiabutis gyvenamasis pastatas, A++ klasė, cokolio mazgas, apšiltinimo medžiagų efektyvumas

### 1. Įvadas

Laikui bėgant keičiasi ne tik žmonės ir gamta, tačiau keičiasi ir pastatai. Pastatai sensta, jų konstrukcijas veikia įvairūs faktoriai (drėgmė, temperatūros pokyčiai, eksploatacijos laikas ir pan.), todėl konstrukcijos įrsta, praranda savo fizikines savybes, išvaizdą ir tampa prastos techninės būklės. Kita senų pastatų įrimo problema – statybos metu neteisingai parinkti sprendimai, medžiagos, neteisingai atliktas darbas. Todėl tobulėjant žmonėms ir technologijoms, imta saugoti gamtą bei energijos išteklius. Pastatai pradedami atnaujinti, modernizuojami arba statomi siekiant gauti kuo didesnę jų energinį efektyvumą ir sumažinti šilumos nuostolius patiriamus per sienas, stogą, langus, duris ir kt. Aukštesnė pastato energinio efektyvumo klasė leidžia sumažinti būsto išlaidas, komunalines paslaugas, padidina būsto rinkos vertę. Daugiabučių gyvenamųjų namų energinio efektyvumo didinimas yra nagrinėjamas Lietuvos ir užsienio moksliniuose straipsniuose. Atliekami tyrimai siekiant išsiaiškinti efektyviausius didinimo būdus, priemones, medžiagas ir ieškomi nauji būdai, kurie galėtų prisidėti prie pastatų būklės gerinimo.

**Darbo tikslas** – atlikti modernizuojamo A++ klasės daugiabučio gyvenamojo pastato cokolio apšiltinimo medžiagų efektyvumo daugiakriterį vertinimą.

**Darbo metodai** – mokslinių ir techninių šaltinių analizė, empirinis tyrimas TOPSIS metodu.

### 2. Energinio efektyvumo samprata ir metodai

Pastato (jo dalies) energinis naudingumas – apskaičiuotas energijos kiekis, reikalingas patenkinti su įprastu pastato naudojimu siejamą energijos poreikį, įskaitant energiją pastato šildymo, vėsinimo, vėdinimo, karšto vandens ir pastato apšvietimo reikmėms. Pastatai (jų dalys) pagal energinį naudingumą klasifikuojami į 9 klases: A++, A+, A, B, C, D, E, F, G. A++ klasė laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevarojantį pastatą (jo dalį) [1].

Vienas paprasčiausių ir efektyviausių būdų, padedančių taupyti energiją – pastatų izoliacija. Pagrindinis uždavinys šildant pastatą – pasirinkti tokią šiltinimo medžiagą, kad būtų padidinta pastato atitvarų šiluminė varža. Tyrimų rezultatai rodo [2], kad tiek išorinės tiek vidinės sienos šilumos izoliacija žymiai sumažina bendrą energijos poreikį, tačiau daro įtaką sienoms, t. y. jų apsaugai ir pelėsio formavimuisi. Šilumos izoliacijos montavimas yra tinkamesnis išorėje nei viduje, įrengus izoliacinį sluoksnį, šis neleidžia išorinėms sienoms atvėsti nakties metu. Jei siena nėra izoliuota, šilumos perdavimo greitis tarp vidaus ir išorės oro yra greitesnis, dėl ko sumažėja sienos temperatūra. [3]. Energijos vartojimo efektyvumo priemonės apima papildomą rūšio sienų, išorinių sienų ir palėpės grindų izoliaciją, patobulintus energiją taupančius langus ir duris, subalansuotą vėdinimą su šilumos grąžinimu, apšvietimą, buitinius prietaisus. Tyrimų rezultatai rodo, kad patobulinti energiją taupantys veiksniai leidžia žymiai sutaupyti galutinės ir pirminės energijos – patalpų šildymui. Bendras galutinės ir pirminės energijos suvartojimas vidutiniškai sumažėja atitinkamai 58-54 proc. kai visos priemonės taikomos kartu pagal dabartinius ir būsimus klimato scenarijus [4]. Taigi, tinkamai parinkti pastato šiltinimo bei kitų priemonių sprendiniai padeda pastatui tapti energiškai efektyvesniam.

### 3. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų A++ klasės cokolio mazgo energinio efektyvumo didinimo daugiakriteris vertinimas

Yoon ir Hwang 1981 m. sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių. Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą *D*, kurioje

eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $x$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos  $[0,0]$ :

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

čia  $x_{ij}$  –  $i$ -osios alternatyvos;  $j$ -ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant TOPSIS metodą, sprendimų matrica  $D$  normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją  $[0]$ :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad (2)$$

Gauta normalizuotoji matrica  $\bar{D}$ , kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiai dydžiai:

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės.

$$w_j^*, (j = \overline{1, n});$$

Taikant formulę (4) sudaroma svartinė normalizuota matrica  $\bar{D}^*$ :

$$\bar{D}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1^* \bar{x}_{11} & w_2^* \bar{x}_{12} & \dots & w_n^* \bar{x}_{1n} \\ w_1^* \bar{x}_{21} & w_2^* \bar{x}_{22} & \dots & w_n^* \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1^* \bar{x}_{m1} & w_2^* \bar{x}_{m2} & \dots & w_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) yra nustatomas pagal 5 formulę:

$$A^+ = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}. \quad (5)$$

čia  $J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;  $J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamas idealus“ sprendimas nustatomas pagal formulę (6):

$$A^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}. \quad (6)$$

Atstumas tarp lyginamojo  $i$ -tojo ir „idealiai geriausio“  $A^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$ -matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, (i = \overline{1, m}). \quad (7)$$

Tarp  $i$ -tojo ir „neigiamas idealus“  $A^-$ , pagal formulę:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, (i = \overline{1, m}). \quad (8)$$

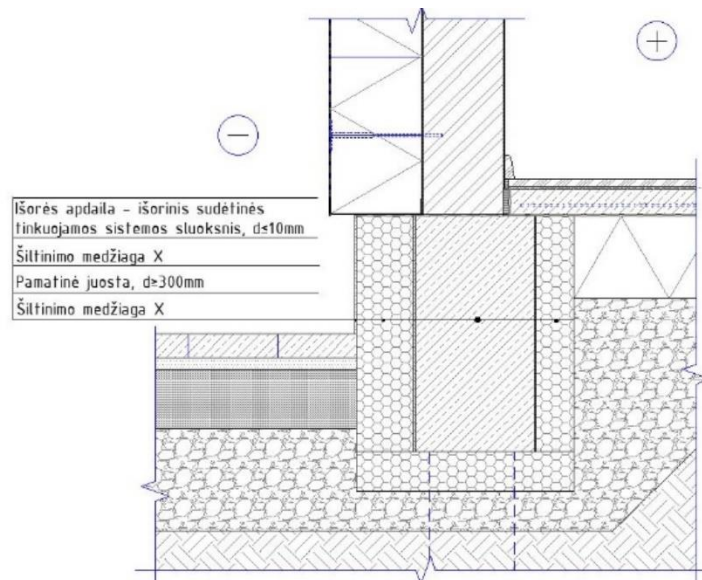
Galutinius TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno  $i$ -tojo varianto santykinis skirtumas atstumas iki „idealiai geriausio“ varianto:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } C_i \in [0, 1]. \quad (9)$$

Taigi, kuo  $C_i$  reikšmė yra artimesnė vienetui, tuo  $i$ -asis variantas artimesnis  $A^+$ , tai yra, racionalus variantas bus tas, kurio  $C_i$  reikšmė yra didžiausia.

#### 4. Cokolio šiltinimo medžiagų daugiakriteris vertinimas TOPSIS metodu

Daugiakriteriui vertinimui atlikti TOPSIS metodu yra pasirinktas tiriamasis modelis - cokolio mazgas (žr. 1 pav.), kuriame bus vertinamos 3 skirtingos cokolio apšiltinimo medžiagos (pažymėta „x“).



1 pav. Cokolio magas (tiriamasis modelis, kur „x“ skirtinga šiltinimo medžiaga)

Norint atlikti cokolio šiltinimo medžiagų daugiakriterį vertinimą, visų pirma yra sudaroma pradinė galimų sprendimų matrica (žr. 1 lentelę), kuriai sudaryti yra parenkamos vertinimo alternatyvos – skirtingos šiltinimo medžiagos: polistireninio putplasčio plokštės *ETNA EPS 100*, ekstruzinis polistirolas *Finnfoam XPS FL-300*, 100 mm, *Šillfoam Premium* (medžiagos yra vienodo – 100 mm storio). Rodikliai, kuriais bus vertinamas efektyvumas: šiltinimo medžiagų kaina, šilumos perdavimo koeficientas, stipris gniuždant, ilgalaikis vandens įmirkis.

Vertinami rodikliai yra minimalizuojami arba maksimalizuojami priklausomai nuo rodiklio reikšmingumo: kaina – minimizuojama, dėl renkamo pigiausio varianto, šilumos laidumo koeficientas – minimizuojamas, kuo mažesnis šis skaičius, tuo patiriami mažesni šilumos nuostoliai, stipris gniuždant – maksimalizuojamas, kuo didesnis stipris tuo medžiaga pasižymi geresnėmis savybėmis - atlaiko didesnes apkrovas, ilgalaikis vandens įmirkis – minimizuojamas, kuo mažesnis tuo mažesnė įtaka šilumos perdavimui.

1 lentelė

Galimų sprendimų priėmimo matrica

Medžiagų alternatyvos (variantai)	Rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	Stipris gniuždant, kPa	Ilgalaikis vandens įmirkis, %
	Min rodiklis	Min rodiklis	Max rodiklis	Min rodiklis
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	15,280	0,035	100	3,000
Ekstruzinis polistirolas <i>Finnfoam XPS FL-300</i> , 100mm	16,920	0,036	300	0,700
<i>Šillfoam Premium</i>	20,010	0,034	200	0,500

Tuomet yra atliekamas matricos normalizavimas, atliekant vektorinę normalizaciją pagal 2 formulę (žr. 2 lentelę).

2 lentelė

Normalizuota sprendimų matrica

Projekto alternatyvos (variantai)	Normalizuoti rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	Stipris gniuždant kPa	Ilgalaikis vandens įmirkis, %
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,504	0,577	0,267	0,961
Ekstruzinis polistirolas <i>Finnfoam XPS FL-300</i> , 100mm	0,558	0,594	0,802	0,224
<i>Šillfoam Premium</i>	0,660	0,561	0,535	0,160
	Rodiklių reikšmingumai, <i>q</i>			
	0,200	0,200	0,200	0,200

Kadangi nebuvo atlikta ekspertų apklausa, rodiklių reikšmingumas buvo priimtas proporcingai lygus visiems rodikliams. Taikant formulę 4 yra sudaroma svertinė normalizuota matrica (žr. 3 lentelę).

3 lentelė

Svertinė normalizuota sprendimų matrica

Projekto alternatyvos (variantai)	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	Stipris gniuždant kPa	Ilgalaikis vandens įmirkis, %
Polistireninio putplasčio plokštės <i>ETNA EPS 100</i>	0,101	0,115	0,053	0,192
Ekstruzinis polistirolas Finnfoam <i>XPS FL-300, 100mm</i>	0,112	0,119	0,160	0,045
<i>Šillfoam Premium</i>	0,132	0,112	0,107	0,032

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) yra nustatomas pagal 5 formulę (žr. 4 lentelę).

4 lentelė

Idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva

Idealus variantas	Rodikliai			
	Šiltinimo medžiagos kaina, EUR/m <sup>2</sup>	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m <sup>2</sup> K)	Stipris gniuždant kPa	Ilgalaikis vandens įmirkis, %
a <sup>+</sup>	0,101	0,112	0,160	0,032
a <sup>-</sup>	0,132	0,119	0,053	0,192

Atstumų tarp lyginamųjų ir idealiai geriausių bei blogiausių alternatyvų nustatymas yra vykdomas taikant 7 ir 8 formules (žr. 5 lentelę).

Taigi, TOPSIS metodu atlikus empirinį tyrimą nustatyta, kad racionaliausias cokolio apšiltinimas A++ energinio naudingumo klasės daugiabučiam gyvenamajam pastatui yra ekstruzinis polistireninis putplastis „*Finnfoam XPS FL-300*“. Šis variantas surinko 0,910 balus, o blogiausias variantas, surinkęs 0,140 balus, yra polistireninio putplasčio plokštės „*ETNA EPS100*“. Geriausias variantas nuo blogiausio skiriasi 0,77 efektyvumo balais arba 84,62 proc. (žr. 2 pav.).

5 lentelė

Atstumai

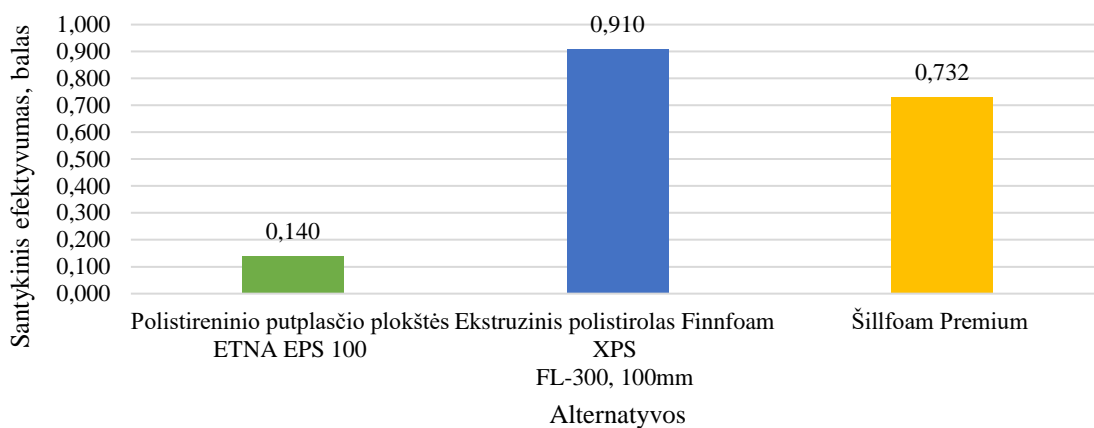
„Atstumas“ tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos	„Atstumas“ tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos
$L_1^+ = 0,193$	$L_1^- = 0,031$
$L_2^+ = 0,018$	$L_2^- = 0,183$
$L_3^+ = 0,062$	$L_3^- = 0,169$

Alternatyvos santykinio atstumo iki idealaus varianto nustatymas yra apskaičiuojamas naudojantis 9 pateikta formule (žr. 6 lentelę).

6 lentelė

Santykiniai atstumai

Santykinis atstumas	Prioritetų eilutė
$K_1 = 0,140$	3
$K_2 = 0,910$	1
$K_3 = 0,732$	2



2 pav. TOPSIS metodu apskaičiuoti tyrimų rezultatai

Pigiausios iš visų vertinamų alternatyvų yra polistireninio putplasčio plokštės „ETNA EPS100“, mažiausią deklaruojamą šilumos laidumo koeficientą turi – „Šillfoam Premium“ medžiaga, didžiausią stiprį gniuždant atlaiko ekstruzinis polistireninis putplastis „Finnfoam XPS FL-300“, mažiausias ilgalaikis vandens mirkis – „Šillfoam Premium“ medžiagos.

## 5. Išvados

Tiriamajame darbe buvo analizuojami pastatų cokolio izoliacijos būdai: polistireninio putplasčio plokštės „ETNA EPS100“, ekstruzinis polistireninis putplastis „Finnfoam XPS FL-300“ ir „Šillfoam Premium“. Pagal nagrinėjamus rodiklius, nustatyta kad, mažiausią kainą turi plokštės - „ETNA EPS100“, mažiausią šilumos laidumo koeficientą – „Šillfoam Premium“, didžiausią stiprį gniuždant – „Finnfoam XPS FL-300“, o mažiausią ilgalaikį vandens įmirkį – „Šillfoam Premium“ plokštės.

Atlikus empirinį tyrimą TOPSIS metodu nustatyta, kad iš tirtų medžiagų, efektyviausias cokolio apšiltinimas modernizuojamam A++ energinio naudingumo klasės daugiabučiui gyvenamajam pastatui yra ekstruzinis polistireninis putplastis „Finnfoam XPS FL-300“ (surinko balų 0,91 iš 1 galimo), o mažiausiai efektyvus - polistireninis putplastis „ETNA EPS100“ (kai visų vertinamųjų rodiklių reikšmingumas yra vienodo dydžio).

## Literatūra

1. Lietuvos Respublikos Seimas. STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2021-04-06]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>.
  2. PARASCHIV, L. S., PARASCHIV, S., ION, V. *Increasing the Energy Efficiency of Buildings by Thermal Insulation*. 2017, 128, 393–399 [žiūrėta 2021-03-11]. Prieiga per: Science Direct.
- AYDIN, DINCER, MIHLAYANLAR, ESMA. A case study on the impact of building envelope on energy efficiency in high-rise residential building. *Architecture Civil Engineering Environment* [interaktyvus]. 2020, 13(1), 5–18 [žiūrėta 2021-03-14]. Prieiga per doi:10.21307/ACEE-2020-001.
- UNIBEN YAO AYIKOE TETTEY, LEIF GUSTAVSSON. Energy savings and overheating risk of deep energy renovation of a multi-storey residential building in a cold climate under climate change. *Architecture, Civil Engineering, Environment*. [interaktyvus]. July 2020, 202 [žiūrėta 2021-04-01]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117578>.
- SIMANAČIENĖ, RŪTA. Kiekybinių daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. *Daugiatikslių sprendimų priėmimo metodų analitinis tyrimas metodu TOPSIS*. VGTU leidykla TECHNIKA, 2011, 19–21. ISBN 978-609-457-055-1. Prieiga per: <http://dspace.vgtu.lt/handle/1/926>.
- TZENG, G., HUANG, J. *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*. CRC Press LLC. 2011-06-22. ISBN 9781439861585.
- ANTUCHEVIČIENĖ, J. Alternatyvų vertinimo būdai TOPSIS metodu, esant neapibrėžtumui. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas*. XI (4), 2005, 242–247 [žiūrėta 2021-04-01]. ISSN 1822-3613.