



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Ugnius Tyla**

**A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamasis tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Dr. Donatas Aviža

**PANEVĖŽYS, 2018**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamasis tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

**Statyba (621J80001)**

**Vadovas**

(parašas) Dr. Donatas Aviža

2018-01-09

**Recenzentas**

(parašas)

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Ugnius Tyla

2018-01-09

**PANEVĖŽYS, 2018**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Ugnius Tyla

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamasis tyrimas“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. sausio 9d.

Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Ugniui Tylai**, baigiamasis projektas tema „**A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamasis tyrimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

## BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

**Išduota studentui:** Ugniui Tylai Grupė PMS-6

---

**1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba: A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamasis tyrimas

---

Anglų kalba: Comparative research of A++ public buildings' external walls

---

Patvirtinta 2017 m. lapkričio mėn. 7 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-18

**2. Darbo tikslas:**

Atlikti A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamąjį tyrimą.

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

*Darbas turi būti paruoštas pagal „KTU PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETO TECHNOLOGIJOS MOKSLŲ SRITIES BAIGIAMŲJŲ PROJEKTŲ RENGIMO IR GYNIMO METODINIAI REIKALAVIMAI“ potvarkio Nr. V25-13-10*

**4. Projekto struktūra.** Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

Įvadas

1. Literatūros apžvalga.
2. Metodinė dalis.
3. Analitinis tyrimas.

išvados

literatūros šaltinių sąrašas.

**5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.**

**6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas**

	(data)	(data)
Užduotį gavau:		
	(studento vardas, pavardė, parašas)	(data)
Vadovas:		
	(pareigos, vardas, pavardė, parašas)	(data)

Ugnius Tyla. A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamasis tyrimas Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: statybų technologijos, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: visuomeninis, išorinės, sienos, lyginamasis, tyrimas.

Panevėžys, 2018. 42 p.

## SANTRAUKA

Išorinės pastato sienos ne vien laikančioji pastato konstrukcija, bet ir labai svarbi dalis pastato šilumos išlaikymui, kadangi per išorines sienas netenkama ~20 porc. bendro šilumos kiekio. Kiekvienais metais tradicinės statybos pastatai per atitvaras netenka ~80 kWh/m<sup>2</sup>. Tam, kad sumažinti energijos suvartojimą būtina įrengti tinkama termoizoliacinę sistemą.

Šiame darbe nagrinėjama dažniausiai naudojamos termoizoliacinės plokštės išorės sienų apšiltinimui: mineralinė vatos, poliuretano, polistireninio putplasčio. Darbe buvo atliktas tyrimas, kurio metu buvo nustatyta efektyviausia termoizoliacinė medžiaga išorės sienų apšiltinimui. Tyrimas buvo atliekamas pasitelkiant daugiakriterinį vertinimo modelį – COPRAS (Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment).

Atlikus skaičiavimus pagal išsirinktus kriterijus ir įvertinus rezultatus buvo nustatyta jog, efektyviausia apšiltinimo medžiaga yra mineralinė vata.

Ugnius Tyla. Comparative Research of A++ Public Buildings' External Walls: Master's thesis in Construction / supervisor assoc. prof. Donatas Aviža. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Building Technology, Technology Science.

Key words: public, external, walls, comparative, research.

Panevėžys, 2018. 42 p.

## SUMMARY

The external walls of the building not only maintain the structure of the building but also plays a very important role in maintaining the heat of the building, as ~ 20 percent total heat is lost through the external walls. Each year, traditional buildings loses ~ 80 kWh / m<sup>2</sup> of energy. In order to reduce energy consumption it is necessary to install an appropriate thermo-insulation system.

In this work I will evaluate the most commonly used thermo-insulating materials for insulation of exterior walls, i.e. mineral wool, polyurethane, polystyrene foam. In the work, a study was carried out to identify the most effective thermo insulating material for the insulation of exterior walls. The study was conducted using the COPRAS (Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment).

After calculations and evaluations of the results, the most effective insulation material is mineral wool.

## TURINYS

Apibrėžimai.....	8
Įvadas .....	9
1. Literatūros apžvalga .....	10
1.1. Pastatų energijos suvartojimo mažinimo svarba .....	10
1.2. Energetiškai efektyvūs pastatai .....	11
1.3. A+ ir A++ energinės klasės pastatai.....	13
1.4. Išorinių sienų apšiltinimo būdai ir izoliacinių medžiagų savybės.....	14
2. Metodinė dalis .....	16
2.1. Pastato išorės sienų šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimo metodologija.....	16
2.2. Daugiakriterinio vertinimo modeliai .....	18
2.3. Daugiakriterinio vertinimo metodologija .....	19
2.4. Objektivių reikšmingumų nustatymas.....	21
2.5. Daugiatiksliis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas - COPRAS.....	22
3. ANALITINIS TYRIMAS.....	24
3.1. Tyrimo COPRAS metodu uždavinio formulavimas .....	24
3.2. Šilumos perdavimo koeficiento ir visuminė šiluminės varžos skaičiavimas .....	24
3.3. Sienų alternatyvų analizė pagal atskirus kriterijus .....	28
3.4. Alternatyvų reikšmingumo nustatymas.....	30
3.5. Alternatyvų racionalumo nustatymas COPRAS metodu .....	33
3.6. Alternatyvų racionalizavimo programa.....	36
Išvados .....	40
Literatūros šalinių sarašas .....	41

## **APIBRĖŽIMAI**

CO<sub>2</sub> – anglies dioksidas

COPRAS – daugiatislis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas (Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment)

ES – Europos Sąjunga

EPS – polistireninis putplastis

XPS – ekstruzinis polistireninis putplastis

PIR/PUR – Poliuretano putplastis



## IVADAS

Pagal Lietuvos norminius reikalavimus, nuo 2018 – ujų sausio 1 dienos naujai statomiems pastatams yra taikomi A+ klasės energinio naudingumo reikalavimai, o jau nuo 2021 – ujų sausio 1 dienos bus taikomi A++ klasės energinio naudingumo reikalavimai. Statant naują pastatą didelis dėmesys skiriamas pastato statybos išlaidoms, tačiau vis dažniau priimamas ekonomiškai naudingas sprendimas t.y. renkamsi statyti energetiškai efektyvų pastatą. Norit pastatyti tokį pastatą tenka atsižvelgti į daugelį kriterijų, kurie turi įtakos pastato statybos kaštams, todėl siekiant sumažinti statybos kaina, pasitelkiamos įvairios technologijos.

Darbe nagrinėjamos dažniausiai naudojamos termoizoliacinės plokštės: mineralinė vatos, poliuretano, polistireninio putplasčio. Atliktas tyrimas, kurio metu buvo nustatyta efektyviausia termoizoliacinė medžiaga A++ visuomeninio pastato išorių sienų apšiltinimui.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti literatūra rašoma tema.
2. Apžvelgti ir aprašyti tyrimo metodologiją.
3. Surinkti reikiama informaciją tyrimui atlikti.
4. Surasti efektyviausia apšiltinimo medžiagą naudojant COPRAS metodą.
5. Sukurta programa galinčia greitai apskaičiuoti efektyviausia apšiltinimo medžiagą.
6. Aptarti gautus rezultatus ir pateikti išvadas.

Darbo tikslas:

Atlikti A++ visuomeninio pastato išorinių sienų lyginamąjį tyrimą.

Darbo aktualumas:

Keičiantis standartams energinio efektyvumo srityje, tiek Lietuvoje tiek Europoje, būtina prie jų prisitaikyti ir numatyti kokių priemonių ateityje teks imtis norint užtikrinti tinkama pastatų energijos suvartojimą bei jos išsaugojimą.

Tyrimo metodai:

Rengiant darbą buvo remtasi Lietuvos mokslininkų mokslinių straipsnių ir disertacijų duomenimis apie energinio naudingumo sertifikavimą. Daugiakriteriniam vertinimui buvo taikomas COPRAS metodas, objektyvaus reikšmingumo nustatymo metodas, atliktas gautus rezultatų apibendrinimas.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

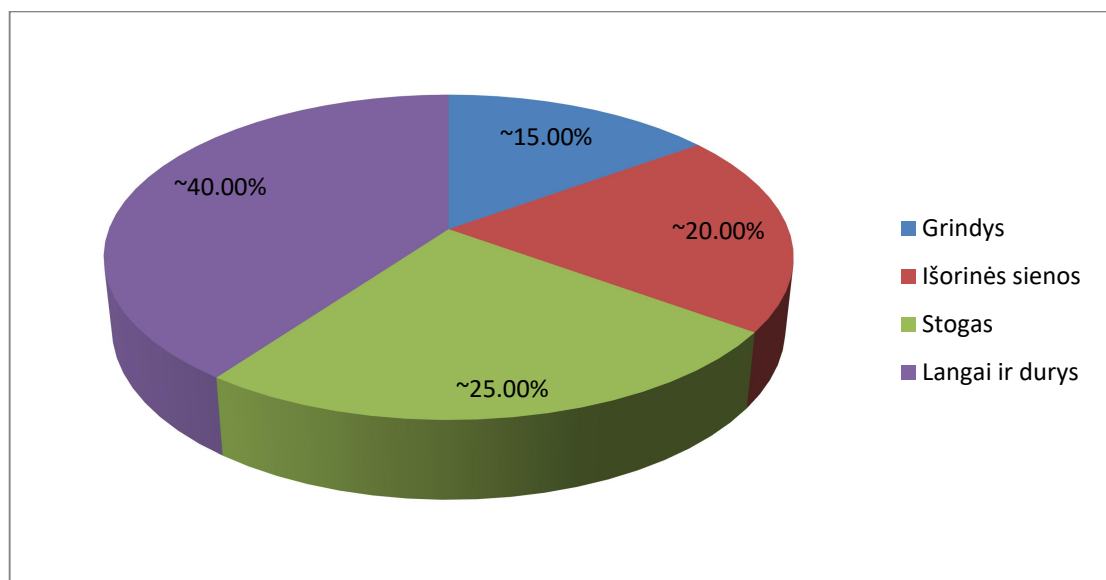
### 1.1. Pastatų energijos suvartojimo mažinimo svarba

Statistiškai Europoje esantys pastatai yra atsakingi už 40% energijos sunaudojimą ir 36% CO<sub>2</sub> emisijos išleidimą į aplinką. Naujiems pastatams reikalinga mažiau nei trys litrai degalų kvadratiniam metrui metams, o kai senieji pastatai vidutiniškai suvartoja apie 25 litrus degalų kas met. Kai kurių pastatų sunaudojimas siekia net 60 litrų į metus vienam kvadratiniam metrui ploto.

Šiuo metu vidutinis pastatų amžius Europoje yra apie 50 metų. Naudojant naujesnias technologijas, bendrą pastatų energijos sunaudojimą Europoje galima sumažinti 5-6%, o CO<sub>2</sub> emisiją galima sumažinti ~5%.

Statinių sektorius Europoje yra pagrindinis faktorius norint pasiekti 20/20/20 (iki 2020 norima pasiekti 20% sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija, 20% sumažinti energijos sunaudojimą, padidinti atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimą 20%, palyginus su 1990 metais.) normatyvus. Taip pat iki 2050 Europa siekia drastiškai sumažinti šiltnamio sąlygas didinančių dujų emisija iki 88-91% palyginti su 1990 metais. Su pertvarkomis pastatų energinio naudingumo direktyvoje (EPBD - Energy Performance of Buildings Directive) yra siekiama tai įvykdyti.

Viešosios paskirties pastatų Lietuvoje skaičius didėja kiekvienai metai. Senos statybos namai be normalaus apšiltinimo sluoksnio per grindis gali netekti ~15 %, per išorines sienas ~25 %, per stogą ~30 %, per langus ~35 % bendro netenkamo šilumos kiekio.



1 pav. Netenkamos šilumos kiekis per pastato dalis

Lietuvoje beveik ketvirtadalis šilumos netenkama išorinės pastato sienas. Todėl tinkamai parinkta termoizoliacinė medžiaga yra didelis faktorius tiek paties pastato statybos, tiek jo gyvavimo etapais. Termoizoliacinių medžiagų pasirinkimas tampa sunkumu susiduriant su didėjančia jų pasiūla. Prie viso to prideda didėjančios kainos visose šilumos išgavimo srityse. Užsakovai nori pastatą pastatyti kuo pigiau ir kad pastatas atitiktų keliamus techninius bei architektūrinius standartus. Kita pusė (rangovas) siekia jog tai būtų padaryti su kuo mažesniais kaštais. To pasekoje atsiranda poreikis atrasti racionaliausia sienų apšiltinimo variantą.

## 1.2. Energetiškai efektyvūs pastatai

Paskutiniuoju metu vis dažniau išgirstame tokias sąvokas kaip „mažai energijos naudojantis pastatas“, „pasyvusis pastatas“ ir pan. Pastatų skirstymas pagal energijos sąnaudas atsirado kaip palaipsniui perėjimo prie labai efektyvių namų statybos proceso išraiška. Nėra vieningo apibrėžimo, kas yra „pasyvusis pastatas“ ar „mažai energijos naudojantis pastatas“ – skirtingose šalyse šie pastatai apibūdinami skirtingai (1).

1 lentelė. Pastatų šilumos energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus (1)

Pastato tipas	Bendras metinis šilumos poreikis, kWh/m <sup>2</sup>	Energijos poreikis karštam vandeniui paruošti, kWh/m <sup>2</sup>	Šilumos nuostoliai per atitvaras, kWh/m <sup>2</sup>	Šilumos nuostoliai dėl vėdinimo, kWh/m <sup>2</sup>
Pasyvieji pastatai	30	15	10	5
Mažai energijos naudojantys pastatai	85	15	35	35
Tradiciniai pastatai	145	15	80	50
Senesni pastatai	225	15	160	50

Mažai energijos naudojančių pastatų bendras metinis šilumos poreikis neviršija 85 kWh/m<sup>2</sup>.

Projektuojant, statant ir naudojant mažai energijos naudojančius pastatus svarbu:

1. kompaktiška pastato forma (sumažinamas paviršių, per kuriuos netenkama šilumos, plotas);
2. gerai apšiltintos ir sandarios atitvaros;
3. šiluminių tiltelių sumažinimas rūpestingai sudūrus konstrukcijas;
4. pasyvusis (tiesioginis) saulės energijos naudojimas pro langus;
5. laikinas langų apšiltinimas naktį, naudojant langines, žaliuzes, storas užuolaidas;
7. vėdinimo sistema su šilumos grąžinimu;
8. paprastai reguliuojama šildymo sistema;
9. aktyvus saulės ir vėjo energijos naudojimas (vandens šildymas saulės kolektoriuose, saulės foto elementai ar vėjo jėgainė elektros energijai, šilumai gaminti);
10. taupus elektros energijos naudojimas (A ir aukštesnės klasės buitinė įranga, energiją efektyviai naudojančios lempos, maksimalus natūralaus apšvietimo naudojimas, kt.) (2).

Laikantis šių principų, panašiomis į Lietuvos klimato sąlygomis galima sutaupyti 1/3–2/3 patalpų šildymui reikalingos energijos (2).

Pasyviojo pastato apšildomoms patalpoms šildyti sunaudojama iki 15 kWh/m<sup>2</sup> energijos per metus. Įvertinus ir karšto vandens paruošimą, sunaudojama ne daugiau nei 50 kWh/m<sup>2</sup> šilumos energijos per metus. Bendras energijos suvartojimas – energijos sąnaudos patalpoms šildyti, karštam vandeniui paruošti ir buitiniams elektros prietaisams – pasyviuosiuose pastatuose neviršija 120 kWh/m<sup>2</sup> per metus. (1).

Pasyviojo pastato šilumos nuostoliai per atitvaras – sienas, langus, duris, stogą ir kt. – yra labai maži, šildymui pakanka geros vėdinimo ir šilumos grąžinimo sistemos, šilumos siurblio arba mažo galingumo katilo. Komfortas pastato viduje užtikrinamas ir vasarą, ir žiemą: nuolat į vidų tiekiamas išvalytas (naudojami filtrai) ir pašildytas ar atvėsintas lauko oras, masyvios sienos ir tinkami langai pastate pagerina garso izoliaciją. Būtina naudoti A ir aukštesnės klasės elektros prietaisus. Laikantis pasyviojo namo standarto, reikia projektuoti pastatus su sandariomis ir itin gerai apšiltintomis atitvaromis. Svarbūs veiksniai yra pasyviojo namo langų ir kitų skaidrių atitvarų skaičius, jų kryptis pasaulio šalių atžvilgiu. Saulės spinduliai, žmonės, elektros prietaisai yra reikšmingi šilumos energijos šaltiniai (1).

### 1.3. A+ ir A++ energinės klasės pastatai

Nuo 2018 metų visose ES šalyse nauji pastatai ir jų dalys turi atitikti energinio naudingumo A+ klasės pastatams keliamus reikalavimus, o jau nuo 2020 metų visi nauji pastatai ir jų dalys turi atitikti energinio naudingumo A++ klasės reikalavimus (3).

Tam, kad pastatas būtų priskirtas A+ arba A++ energinio naudingumo klasei, reikia užtikrinti geras pastato konstrukcijų šilumines savybes, sandarumą, pasirinkti kokybiškus ir šilumai nepralaidžius langus, užsandarinti visus šalčio tiltelius, įdiegti patikimą mechaninę vėdinimo sistemą. Pastato energinis naudingumas - energijos kiekis, reikalingas naudojant pastatą pagal paskirtį. Išreiškiamas pastato energijos vartojimo rodikliu ir žymimas raide C. Remiantis statinių energinio naudingumo klasių skirstymu duomenimis, A+ klasės namas yra statinys, kurio  $C < 0,375$ , o A++ klasės namas yra statinys, kurio  $C < 0,25$ . A+ ir A++ energinio naudingumo klasės namai naudoja labai mažai energijos. Vieni didžiausių A+ ir A++ klasės namų privalumų yra tai, kad statinio kokybė yra itin aukšta, o didžioji dalis sunaudojamos energijos yra gaunama iš atsinaujinančių energijos šaltinių (4).

**Pastato (jo dalių) šiluminės savybės**, išreiškiamos konstrukcijų šilumos laidumo koeficientais (koeficientai yra pateikiami  $m^2K/W$  išraiška) (4).

2 lentelė. Šilumos laidumo koeficientas, pagal klases (4)

Konstrukcija	A+ energinio naudingumo klasė	A++ energinio naudingumo klasė
Stogas	0,10 $m^2K/W$	0,09 $m^2K/W$
Perdangos	0,10 $m^2K/W$	0,09 $m^2K/W$
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	0,14 $m^2K/W$	0,12 $m^2K/W$
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	0,14 $m^2K/W$	0,12 $m^2K/W$
Sienos	0,13 $m^2K/W$	0,11 $m^2K/W$
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	1,0 $m^2K/W$	0,85 $m^2K/W$
Durys, vartai	1,0 $m^2K/W$	0,85 $m^2K/W$

#### **1.4. Išorinių sienų apšiltinimo būdai ir izoliacinių medžiagų savybės**

Sienos yra vienos iš pagrindinių pastato konstrukcijos dalių. Sienos atskiria patalpas nuo išorinės erdvės (išorinės) arba nuo kitų patalpų (vidinės) ir taip atlieka atitvėrimo funkciją. Be to, kai kurios sienos gali laikyti ne tik savo, bet ir stogo, perdangų ir kitų statybinių elementų svorį.

Sienos, kurios be savo svorio atlaiko dar ir kitų konstrukcijų svorį ir perduoda jį pamatams, yra vadinamos laikančiosiomis.

Sienos, kurios remiasi į pamatus ir perduoda jiems savo masę, bet neperima kitų pastatų elementų (pvz. perdangų) svorio, vadinamos tik save laikančiomis sienomis (5).

Nelaikančios sienos riboja namą iš išorės ir laiko savo svorį tik vieno aukšto ribose, remdamosi į kitas pastato laikančiuosius elementus (5).

Šiuo metu egzistuoja trys pagrindinės išorinių sienų šiltinimui naudojamos medžiagos – Mineralinė vata, polistireninis putplastis, poliuretanas.

##### **Polistireninio putplasčio savybės:**

- labai lengva medžiaga su puikiomis mechaninėmis savybėmis (atsparumas plėšimui – maždaug 80 kPa, atsparumas suspaudimui – maždaug 130 kPa) (6);
- nesugeria drėgmės ir nepraranda savo termoizoliacinių savybių net ir pastoviai veikiamas vandens (6);
- vandens garų perdavimo koeficientas gana žemas, bet retkarčiais polistireninio putplasčio sluoksnyje atsirandanti vandens garų kondensacija rimtesnių problemų nesukelia. Beje, polistireninio putplasčio vandens garų pralaidumas nenusileidžia, o daugeliu atvejų lenkia, pagrindinių statybinių medžiagų, kurios sudaro tą pačią apšildomą sieną, analogiškus rodiklius (6);
- jame nėra jokių sveikatai kenksmingų medžiagų (6);
- garso izoliacinės savybės nėra išskirtinai aukštos (6);
- pažeidžiamas aukštesnėje kaip +80 °C temperatūroje, o taip pat yra neatsparus daugeliui organinių tirpiklių (6);

- fasadų šiltinimo sistemose galima naudoti polistireninį putplastį, kuris atitinka EN 13163:2004 standarto reikalavimus CS(10)70 arba CS(10)80 (70 arba 80 kPa jėga spaudžiamo polistireninio putplasčio deformacija neviršija 10 %) (6);

- medžiagos gamintojas papildomai turi pateikti patvirtinimą, kad medžiaga yra nedegi ir savaime gęstanti bei išlaikanti stabilius gabaritus. Iš išlaikytų blokų (įprastai 6–8 savaites) išpjautos polistireninio putplasčio plokštės turi išlikti plokščios ir nekeisti savo gabaritų (6);

- leidžiama naudoti ne didesnes kaip 120x60 cm plokštes (6);

Šiuo metu rinkoje siūlomos baltos, taškuotos arba grafito (pilkos) spalvos EPS plokštės. Šios plokštės skiriasi ne tik savo spalva, bet ir šilumos laidumo koeficientu – pilkojo šiluminės savybės apie 20 % geresnės nei baltojo polistirolu. Nuomonė apie mažesnę pilkos spalvos plokščių sukibimą su klijuojamaisiais mišiniais nepagrįsta – plokščių spalva neturi jokios įtakos plokščių sukibimui (6).

#### **Mineralinės vatos savybės:**

- mineralinė vata yra atspari aukštai temperatūrai. Vatos pluoštas gaminamas iš natūralaus lydytis pradėjusio akmens, kuris dvi valandas veikiamas aukštesne kaip 1000 °C temperatūra. Mineralinė vata yra priskiriama prie nedegių ir nesprogių medžiagų, taip pat atspari daugeliui cheminių medžiagų. Vandens garų perdavimo koeficientas yra ypač aukštas – maždaug  $480 \times 10^{-6}$  g/(mhPa) (6);

- Mineralinė vata gerai atstumia vandenį ir jo neįgeria. Veikiant slėgiui, vanduo gali būti įstumtas į plokštes, bet drėgnos akmens vatos plokštės greitai džiūsta (6);

- Mineralinės vatos plokštės yra gana sunkios, minkštos ir palyginti nestiprios. 40 kPa jėga sukelia maždaug 10 % deformaciją. Labiau deformacijai pasiduodanti vata fasadų šiltinimui negali būti naudojama (6);

- Šių plokščių pluoštinė struktūra užtikrina puikią garso izoliaciją (6);

- fasadų šiltinimo sistemose gali būti naudojamos dviejų tipų vatos plokštės. Pirmosios – su netvarkinga pluošto struktūra (tankis nuo 120 iki 160 kg/m<sup>3</sup>, atsparumas plokštės paviršiui statmenam lūžiui >10 kPa), o jų gabaritai 50–60 cm x 100–120 cm. Antrosios – tai plokštės su lygiagrečiai ir statmenai plokštės paviršiui išsidėstyta sluoksniuoto pluošto struktūra (tankis nuo 80 iki 120 kg/m<sup>3</sup>). Dėl pailgos formos (standartiniai matmenys 20x120 cm) šios plokštės dažnai vadinamos juostinėmis plokštėmis (6).

### **Poliuretano plokščių savybės:**

- šilumos laidumo koeficientas  $\lambda_d$  nuo 0,021 W/mK. Tai lemia plonesnį PIR plokštės storį, reikalingą tai pačiai varžai gauti (7);
- mažas vandens įgeriamumas <2%. Pagal šį rodiklį poliuretanas nusileidžia tik dar mažiau drėgmės įgeriančiam ekstruziniam polistireniniam putplasčiui XPS. Bet palyginus su mineraline vata, polistireniniu putplasčiu – PIR/PUR plokštė lenkia šias medžiagas savo savybėmis. Kai termoizoliacinė medžiaga priima daug drėgmės, jos šilumos perdavimo koeficientas suprastėja labai ženkliai, pastatuose atsiranda dideli šiluminiai nuostoliai. Dėl drėgmės termoizoliacinės medžiagos (tai itin aktualu mineralinei vatai) pasunkėja, dėl svorio deformuojasi ir susmunka, atsiranda plyšiai konstrukcijose, pati medžiaga tampa laidu išeinančiai šilumai, o užsilaikiusi drėgmė gadina pastatų konstrukcijas. PIR/PUR tuo tarpu ir toliau funkcionuoja nepraradusi savo šiluminių savybių. Svarbu tai, kad poliuretano plokštės dažniausiai yra padengtos aliuminio folija ar bitumuotu stiklo pluoštu, tad sumontavus plokštes drėgmės patekimo galimybė per šoninius paviršius praktiškai visiškai eliminuojama (7);
- poliuretano plokštės nepalaiko degimo, jos nuo liepsnos anglėja, taip neleisdamos ugniai plisti. Nors vienintelė visiškai nedegi šiltinimo medžiaga yra mineralinė vata, bet PIR savybės konstrukcijoje beveik nenusileidžia vatai. Sutapdinto stogo konstrukcijoje atitinka *Broof t1* priešgaisrinę klasę. Tad palyginus su polistireniniu putplasčiu ar ekstrudiniu polistirolu XPS, PIR medžiaga yra gerokai saugesnė (7);
- mažas plokštės svoris. Ši savybė ypatingai aktualu stogų konstrukcijoms. PIR plokštės mažina apkrovas, tenkančias stogo atramoms. Plokštės nesukrenta, dėl mažo svorio, ilginiui neatsiranda plyšių, konstrukcija išlieka sandari (7).

## **2. METODINĖ DALIS**

### **2.1. Pastato išorės sienų šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimo metodologija**

Išorės sienos visuminė šiluminė varža  $R_t$  ( $m^2 \cdot K/W$ ) ir šilumos perdavimo koeficientas  $U$  ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) apskaičiuotas pagal formules (8):

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se} \quad (2.1)$$



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

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

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

3 lentelė. Vidaus ir išorės paviršių šiluminės varžos  $R_{si}$  ir  $R_{se}$  (8)

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

Išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas skaičiuojamas pagal statybos techninį reglamentą STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ metodologiją.

Atitvaros suminė šiluminė varža  $R_s$  ( $m^2 \cdot K/W$ ) apskaičiuojama pagal formulę (8):

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_q ; \quad (2.2)$$

čia:  $R_q$  – plono sluoksnio (plėvelės) šiluminė varža ( $m^2 \cdot K/W$ );

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos ( $m^2 \cdot K/W$ ) apskaičiuojamos pagal formulę (8):

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}} ; \quad (2.3)$$

čia:  $d$  – sluoksnio storis (m);

$\lambda_{ds}$  – sluoksnio projektinis šilumos laidumo koeficientas,  $W/(m \cdot K)$ . Statybos produkto projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė nustatoma pagal STR 2.01.02:2016 3 priedo reikalavimus.

Jei yra termoizoliacinių statybos produktų deklaruojamąją šilumos koeficiento vertę įrodantys dokumentai, projektinė termoizoliacinės medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė  $\lambda_{ds}$  ( $W/(m \cdot K)$ ) apskaičiuojama taip (8):

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_\omega + \Delta\lambda_{cv} \quad (2.4)$$

čia:  $\lambda_D$  – deklaruojamoji termoizoliacinio statybos produkto šilumos laidumo koeficiento vertė (W/(m·K));  
 $\Delta\lambda_\omega$  – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl termoizoliacinio statybos produkto papildomo įdrėkimo atitvaroje (W/(m·K)). Imama iš 3 lentelės;

4 lentelė. Pataisa  $D_{lw}$  dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamose ir nevėdinamose atitvaruose (8)

Eil. Nr.	Termoizoliaciniai statybos produktai	Pataisa $D_{lw}$ , W/(m·K)	
		vėdinama	nevėdinama
1.	Akytieji betonai, $\rho > 400 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,03
2.	Akytieji betonai, $\rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02
3.	Mineralinė vata	0,001	0,002
4.	Birioji celiuliozės pluošto vata	0,01	0,02
5.	Fenolio-formaldehidinis ir karbamido–formaldehidinis putplastis	0,02	0,03
6.	Keramzito žvyras ir smėlis	0,01	0,02
7.	Medienos plaušo plokštės MPP ir MDF, $\rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,02
8.	Medienos plaušo plokštės MPP ir MDF, $500 > \rho > 300 \text{ kg/m}^3$	0,04	0,04
9.	Polistireninis putplastis „EPS“	0,001	0,002
10.	Polistireninis putplastis „XPS“	0	0
11.	Putstiklis, $\rho \leq 200 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02
12.	Putstiklis, $\rho > 200 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,03
13.	Poliuretalinis putplastis	0,001	0,002

Atitvaros be oro sluoksnių šilumos perdavimo koeficientas  $U$  (W/(m<sup>2</sup>·K)) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (2.5)$$

čia:  $R_t$  – atitvaros visuminė šiluminė varža (m<sup>2</sup>·K/W).

## 2.2. Daugiakriterinio vertinimo modeliai

Daugiakriterinio vertinimo modeliai padeda išspręsti uždavinius atsižvelgiant į daugelį tikslų. Daugiakriterinis sprendimų priėmimas (angl. Multiple Criteria Decision Making – MCDM) leidžia įvertinti uždavinius atsižvelgiant į daugelį kriterijų. MCDM problemos (uždaviniai) gali būti skirstomi į

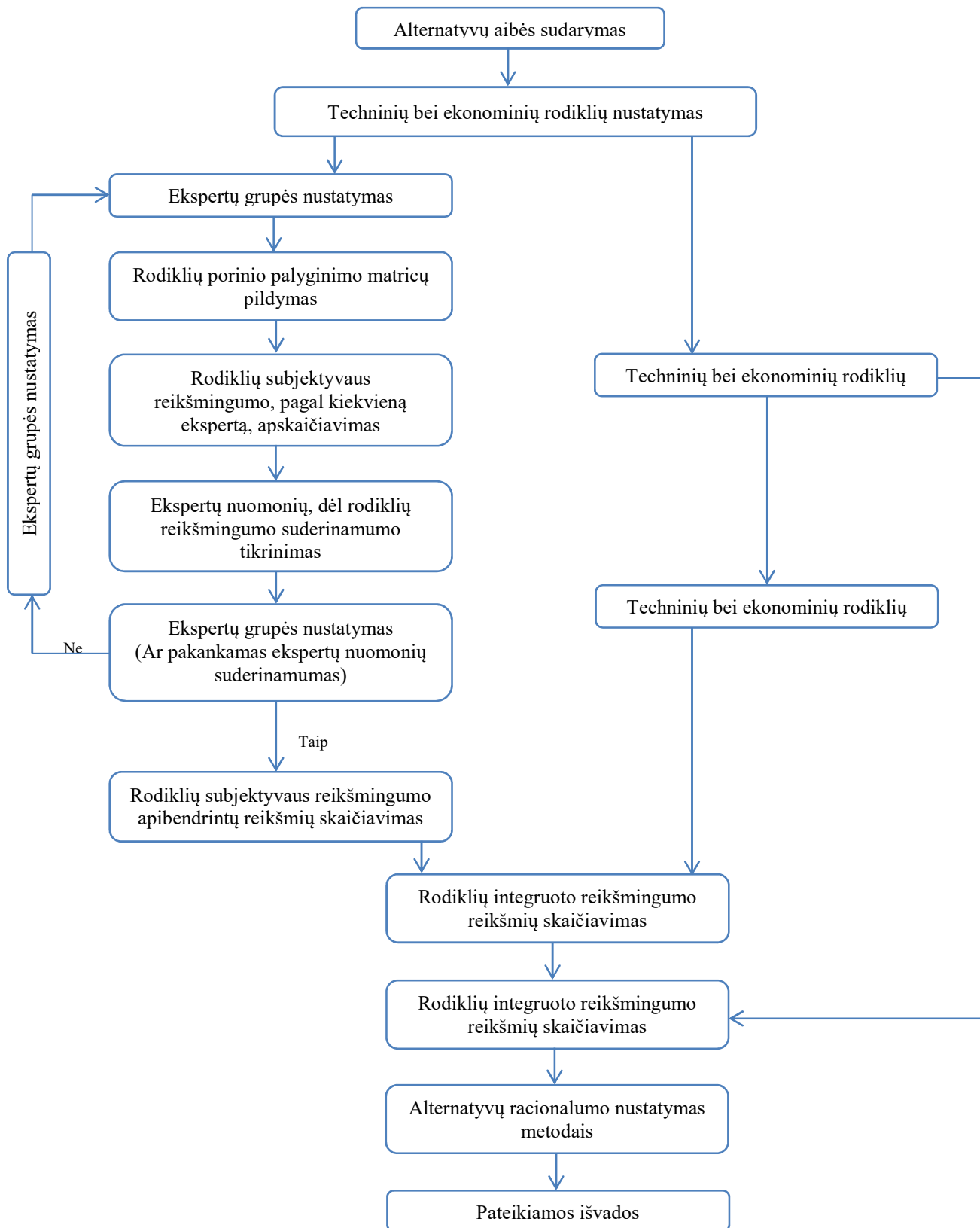
dvi plačiausias kategorijas: 1) daugiakriterinį sprendimų priėmimą (angl. Multiple Objective Decision Making – MODM) – šioje srityje nagrinėjamos begalinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos; 2) apsisprendimą daugelio rodiklių atžvilgiu (angl. Multiple Attribute Decision Making – MADM) – šioje srityje nagrinėjamos baigtinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos, Sprendimų paieškai taikomi diskrečiojo optimizavimo metodai, daugiamačių atstumų matavimu paremti metodai (SAW, AHP, COPRAS, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ir kt.). MADM modeliai sudaromi atsižvelgiant į analizės tikslą: gali būti siekiama pasirinkti tinkamiausią vietą statybai, pelningiausią investicijų sritį ir pan. Tikslą atitinkančioms dimensijoms priskiriami jas identifikuojantys rodikliai – taip suformuojama rodiklių sistema. Remiantis rodiklių sistema sudaroma atsakų matrica  $X$ . Jos elementai  $x_{ij}$  atitinka  $i$ -tosios alternatyvos atsaką pagal  $j$ -tąjį kriterijų. Ši matrica pirmiausia turi būti apdorojama vertikalčiai (normalizuojamos atitinkamų kriterijų reikšmės), tuomet horizontalčiai (įvertinama kiekviena alternatyva). Priklausomai nuo naudojamų metodų, kriterijai gali būti kiekybiniai arba kokybiniai. Taip pat kriterijus galima skirstyti į objektyvius ir subjektyvius. Objektyvūs kriterijai, pavyzdžiui, investicijų kaštai, darbo užmokestis, paprastai išreiškiami piniginiiais ar kitais kiekiniais dydžiais. Subjektyvūs kriterijai dažniausiai yra kokybiniai. C. W. Churchman ir kt. (1957) išskiria du svėrimo (weighting) etapus: 1) normalizavimą; ir 2) tikslų reikšmingumo nustatymą. (9).

### 2.3. Daugiakriterinio vertinimo metodologija

Vertinant daugiakriteriniais vertinimo metodais, sprendimų priėmimo procesą sudaro trys pagrindiniai etapai:

- 1) alternatyvų sąrašo sudarymas. Šiuo etapu sudaroma alternatyvų, kurios bus naudojamos uždaviniams spręsti, aibė. Šios alternatyvos trumpai vadinamos sprendimo variantais.
- 2) sudaroma rodiklių, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, aibė, nustatomos tų rodiklių reikšmės kiekvienai alternatyvai;
- 3) alternatyvų rangavimas (10).

Tobulėjant valdymo metodams ir skaičiavimo technikai, daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai tampa vis svarbesni priimanant sprendimus įvairiose veiklos srityse. Vienkriteriniais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti problemų sudėtingose statybų technologijų sistemose. Sudaroma daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų veiklos diagrama (2 pav.) (10).



2 pav. Daugiakriterinių metodų veiklos diagrama

## 2.4. Objektyvių reikšmingumų nustatymas

Rodiklių objektyvaus reikšmingumo reikšmės nustatomos naudojant objektyvią informaciją ir visiškai neveikiamos asmens nuomonės apie rodiklio svarbą. Šių reikšmingumų nustatymui taikomas entropijos metodas. Sprendimų matricos stulpeliai nurodo rodiklius, eilutės – alternatyvas. Kai sprendimų matricoje yra rodiklių, kuriuos reikia minimizuoti, jie pertvarkomi taikant formulę (11):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} \quad (2.6)$$

o rodiklių, kuriuos reikia maksimizuoti, reikšmės paliekamos nepakeistos:  $\bar{x}_{ij} = x_{ij}$ , kai  $i = \overline{1, m}$ ;  $j = \overline{1, n}$ . Rodikliai, turinys neigiamų reikšmių, keliami kvadratu, o su minuso ženklu dalinami iš vieneto. Taip sudaroma modifikuota matrica (11):

$$\bar{X} = [\bar{x}_{ij}], (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (2.7)$$

Modifikuotos matricos visi elementai normalizuojami pagal formulę (11):

$$p_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij}}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (2.8)$$

Kai gaunama normalizuota matrica  $\bar{P} = [p_{ij}]$ , nustatomas kiekvieno rodiklio entropijos lygis  $E_j$  (12):

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \cdot \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (2.9)$$

Entropijos reikšmė kinta ribose  $[0,1]$ , todėl j-ojo rodiklio kitimo lygis nustatomas skaičiuojant rodiklius (11):

$$d_j = 1 - E_j, (j = \overline{1, n}) \quad (2.10)$$

Rodiklių objektyvusis reikšmingumas nustatomas pagal formulę (12):

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, (j = \overline{1, n}) \quad (2.11)$$

## 2.5. Daugiatikslis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas - COPRAS

Šiam tyrimui buvo pasirinktas COPRAS metodas, kadangi yra tekia su juo susidurti ankščiau ir lyginant jį su kitais daugiakriterinio vertinimo metodais leidžia tiksliau įvertinti skaičiavimų rezultatus.

COPRAS metodas - Daugiatikslis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas (angl. Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment):

1996 metais sukurtas metodas COPRAS (kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas). Pagrindinis COPRAS metodo principas – lyginamųjų alternatyvų santykinis reikšmingumas  $Q_i$  nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis  $S_{+i}$  ir neigiamomis  $S_{-i}$  savybėmis. Kuo  $Q_i$  reikšmė didesnė, tuo alternatyva labiau atitinka sprendimą priimančio asmens poreikius. Metodo algoritmą sudaro 6 etapai (12).

1 etapas. Sudaroma sprendimų matrica.  $P = [x_{ij}]_{[m \times n]}, (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$

kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos. Apskaičiuojamos efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės (12).

2. etapas. Sprendimų matricos  $P$  elementai normalizuojami pagal formulę (13):

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}; (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}) \quad (2.12)$$

čia  $x_{ij}$  –  $i$  – osios alternatyvos  $j$  -ojo rodiklio reikšmė. Gauta normalizuota sprendimų matrica  $\hat{P} = [\hat{x}_{ij}]_{[m \times n]}, (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$ .

3 etapas. Normalizuotos sprendimų matricos elementus dauginant iš atitinkamų rodiklių reikšmingumo reikšmių, gaunama svertinė normalizuota sprendimų matrica (12).  $\tilde{P} = [\tilde{x}_{ij}]_{[m \times n]}, (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$ . Tarkim turim efektyvumo rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmių vektorių ( $q_1^*, q_2^*$ ,

...,  $q_n^*$ ), tuomet svertinės normalizuotos sprendimų matricos elementai apskaičiuojami pagal formulę (13):

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j^*, (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}) \quad (2.13)$$

4 etapas. Apskaičiuojamos  $i$  – osios alternatyvos, svertinėje normalizuotoje sprendimų matricoje, maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos, atitinkamai  $S_{+i}$  ir  $S_{-i}$ . Jos apskaičiuojamos pagal formules (12):

$$S_{+1} = \sum_{j=1}^k \tilde{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad (2.14)$$

$$S_{-1} = \sum_{j=1+k}^n \tilde{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad (2.15)$$

čia  $k$  – maksimizuojamų rodiklių skaičius;  $n-k$  – minimizuojamų rodiklių skaičius.

5 etapas. Alternatyvų santykinis reikšmingumas (efektyvumas)  $Q_i$  nustatomas pagal formulę (12):

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-1} \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, (j = \overline{1, n}) \quad (2.16)$$

čia  $S_{-min} = \min_i S_{-i}, (i = \overline{1, m})$ .

6 etapas. Sudaroma alternatyvų prioritėtinė eilutė (alternatyvas suranguojame). Kuo didesnis  $Q_i$ , tuo alternatyvos efektyvumas yra didesnis (13).

### **3. ANALITINIS TYRIMAS**

#### **3.1. Tyrimo COPRAS metodu uždavinio formulavimas**

Daugiakriterinis sprendimo priėmimo uždavinys pradedamas formuluoti nuo problemos užrašymo. Šiame darbe nagrinėjama geriausios apšiltinimo medžiagos problema. Siekiant nustatyti, kuri termo izoliacinė medžiaga geriausia

Formuluojame daugiakriterinį sprendimo priėmimo uždavinį:

1. Galimų alternatyvų aibę sudaro trys tinkuojamu fasadų tipus su skirtingomis izoliacinėmis medžiagomis: mineralinė vata, polistireninis putplastis, poliuretanai.

2. Pasirinktoms alternatyvoms nustatomi jas apibūdinantys rodikliai: izoliacinės medžiagos kubinio metro kaina ( $\text{€/m}^3$ ), izoliacijos storis (mm), sudėtinės izoliacinės sistemos svoris ( $\text{kg/m}^2$ ),  $1\text{m}^2$  apšiltinimo sluoksnio įrengimo darbų laikas ( $\text{h/m}^2$ ), apšiltinimo darbų kainą ( $\text{€/m}^2$ ).

3. Surandami duomenys apie kiekvieną alternatyvą t.y. suskaičiuojama kiekvienos sienos šiluminė varža, surandamos visi sienas apibūdinantys rodikliai remiantis antrą punktu.

4. Rodiklių reikšmingumo nustatymui buvo taikomas entropijos metodas.

5. Kiekvienam rodikliui nustatoma jo kryptis, ar jis bus minimizuojamas ar maksimizuojamas. Nagrinėjamu atveju, visus rodiklius siekiama minimizuoti.

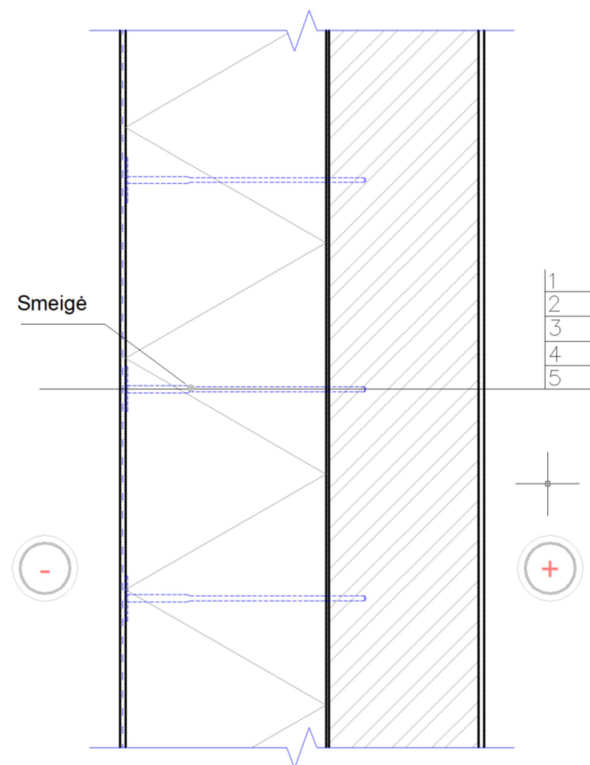
6. Alternatyvų racionalumo nustatymas COPRAS motodu.

#### **3.2. Šilumos perdavimo koeficiento ir visuminė šiluminė varžos skaičiavimas**

Norint pradėti tyrimą reikia surasti tinkama apšiltinimo sluoksnio storį A++ visuomeninio pastato sienoms.

Tyrimo naudosisime trys skirtingas apšiltinimo sluoksnio medžiagas : mineralinę vatą, polistireninį putplastį, poliuretaną.

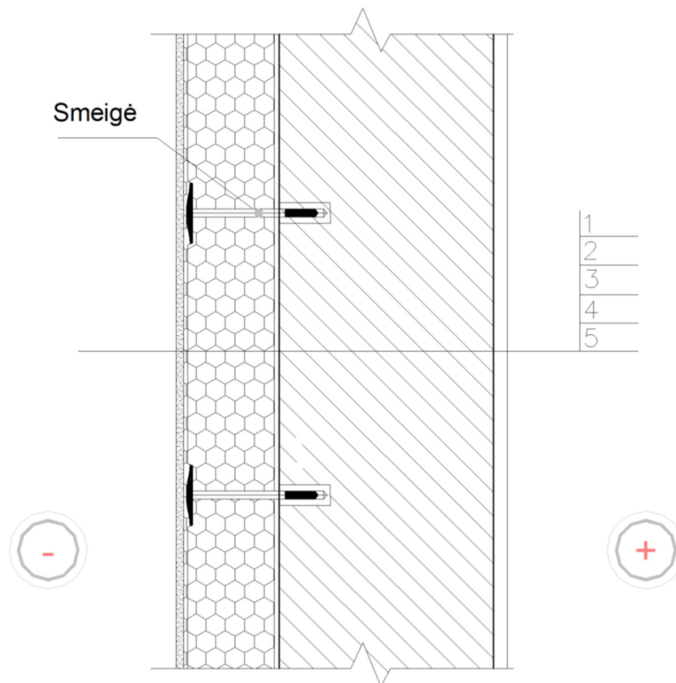




3 pav. Sienos konstrukcija su mineralinės vatos apšiltinimu: 1 – Plonasluoksnis tinkas; 2 - pilnavidurių silikatinių plytų mūras; 3 –klijai ; 4 – akmens vata Paroc Linio 10 ; 5 – tinkas.

5 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientas ir visuminė šiluminė varža sienos konstrukcijos su mineralinės vatos apšiltinimu

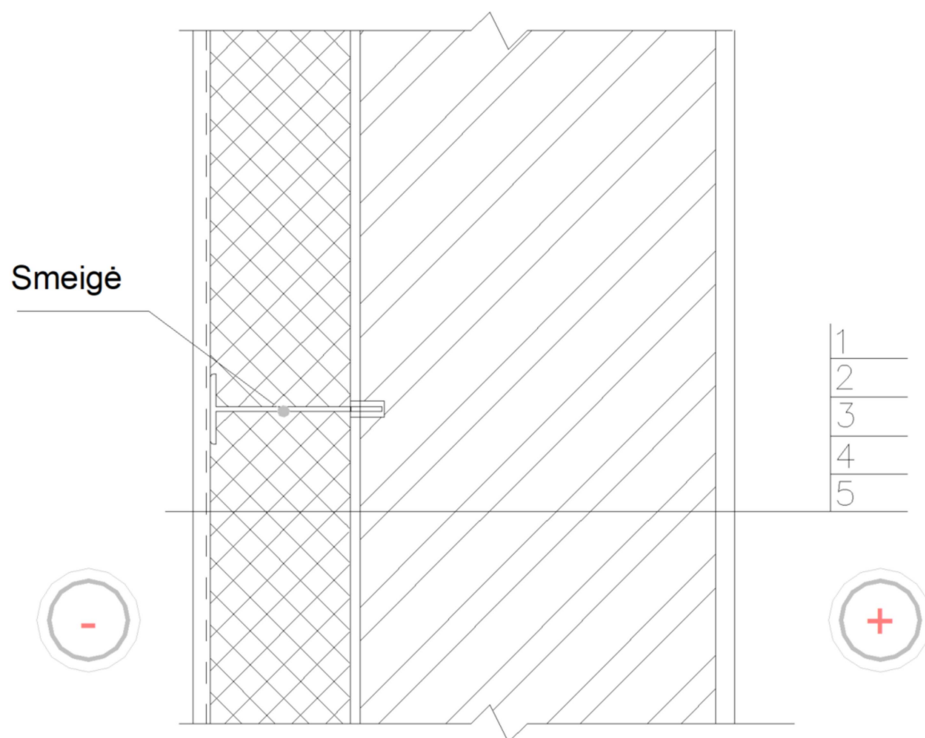
Eil. Nr.	Pavadinimas	Sluoksnio storis d (m)	$\lambda_d$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1	R <sub>si</sub>	-	-	0,13
2	Tinkas	-	-	0,02
3	Silikatiniai blokeliai	0,18	1,00	0,18
4	Klijai	-	-	0,04
5	Paroc Linio 10 + 4 smeigės	0,35	0,04	8,70
6	Tinkas	-	-	0,02
7	R <sub>se</sub>	-	-	0,04
R <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> K/W)				9,13
U (W/m <sup>2</sup> K)				0,11



4 pav. Sienos konstrukcija su polistireninio putplasčio apšiltinimu: 1 – Plonaslauksnis tinkas; 2 - pilnavidurių silikatinių plytų mūras; 3 –klijai ; 4 – polistireninis putplastis Šiloporas EPS 70N; 5 – tinkas.

6 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientas ir visuminė šiluminė varža sienos konstrukcijos su polistireninio putplasčio apšiltinimu .

Eil. Nr.	Pavadinimas	Sluoksnio storis d (m)	$\lambda_d$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
1	R <sub>si</sub>	-	-	0,13
2	Tinkas	-	-	0,02
3	Silikatiniai blokeliai	0,18	1,00	0,18
4	Klijai	-	-	0,04
5	Šiloporas EPS 70N + 4 smeigės	0,3	0,034	8,76
6	Tinkas	-	-	0,02
7	R <sub>se</sub>	-	-	0,04
R <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> K/W)				9,19
U (W/m <sup>2</sup> K)				0,109



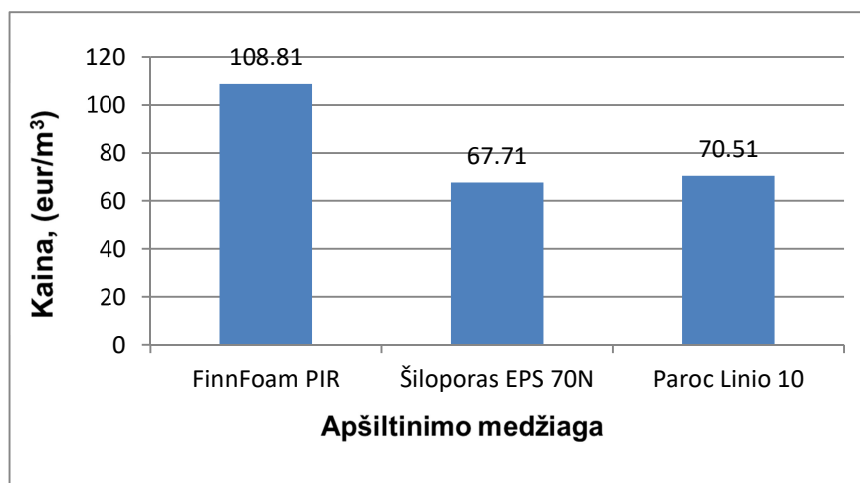
5 pav. Sienos konstrukcija su poliuretano apšiltinimu: 1 – Plonaslauksnis tinkas; 2 - pilnavidurių silikatinių plytų mūras; 3 –klijai ; 4 – poliuretano plokštė Finnfoam FF-PIR; 5 – tinkas.

7 lentelė. Šilumos perdavimo koeficientas ir visuminė šiluminė varža sienos konstrukcijos su poliuretano apšiltinimu .

Eil. Nr.	Pavadinimas	Sluoksnio storis d (m)	$\lambda_d$ (W/mK)	R ( $m^2K/W$ )
1	$R_{si}$	-	-	0,13
2	Tinkas	-	-	0,02
3	Silikatiniai blokeliai	0,18	1,00	0,18
4	Klijai	-	-	0,04
5	FinnFoam FF-PIR + 4 smeigės	0,25	0,029	8,62
6	Tinkas	-	-	0,02
7	$R_{se}$	-	-	0,04
$R_t$ ( $m^2K/W$ )				9,05
U ( $W/m^2K$ )				0,11

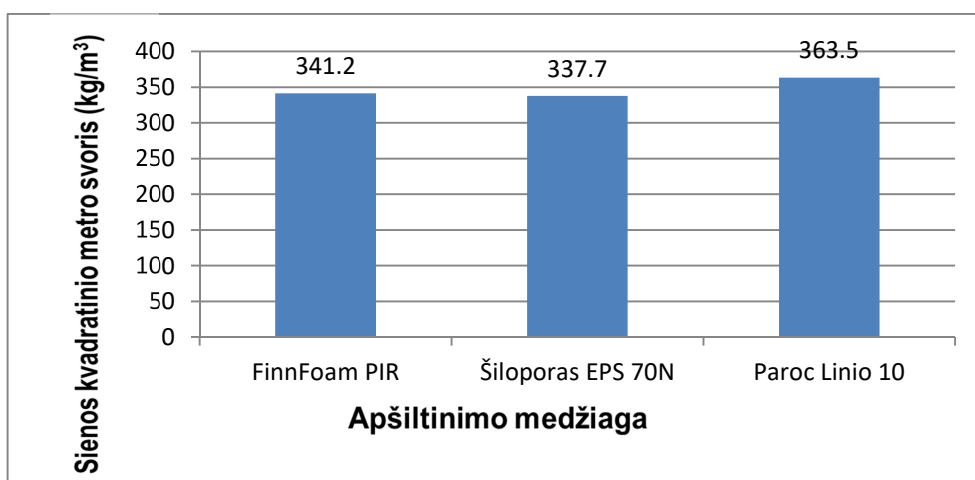
### 3.3. Sienų alternatyvų analizė pagal atskirus kriterijus

**Izoliacinės medžiagos kubinio metro kaina.** Statant pastato sienas medžiagų kaina sudaro didžiausią dalį išlaidų, tad ji labai dažnai, ypač Lietuvoje, yra vienas lemiamų veiksnių, kokį apšiltinimo sluoksnį pasirinkti. 6 pav. matyti, jog brangiausia sudėtinė termoizoliacinė sistema yra su poliuretano plokšte, o pigiausia su polistireniniu putplasčiu. Sudėtinių termoizoliacinių sistemų kainos buvo renkamos iš įvairių informacijos šaltinių ir išvestas aritmetinis kainos vidurkis.



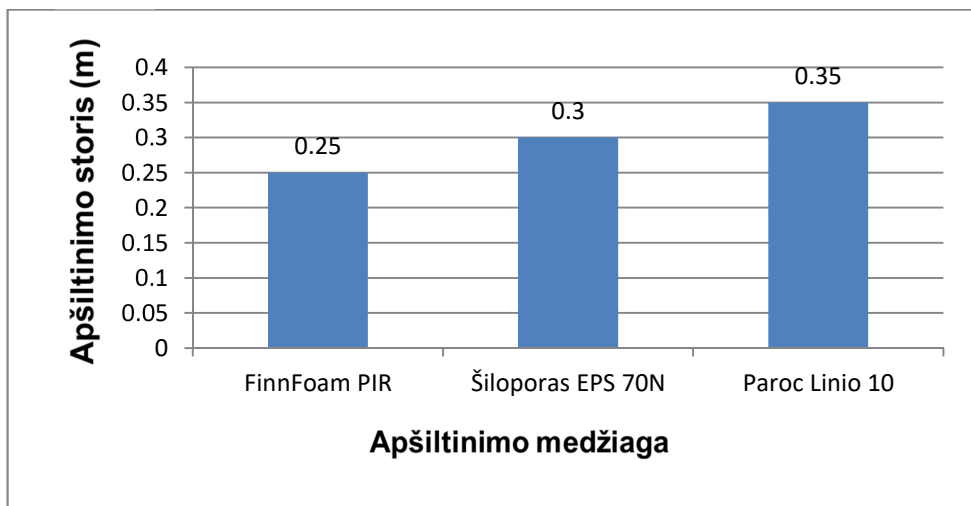
6 pav. Izoliacinių medžiagų kvadratinio metro kainos (eur/m<sup>3</sup>)

**Sienos kvadratinio metro svoris.** Sienų svoris daro didelę įtaką galutinėje konstrukcijos schemeje, 7 pav. matoma jog didžiausias sudėtinės termoizoliacinės sistema svoris yra su mineralinės vatos plokštėmis, o lengviausias su polistireniniu putplasčiu.



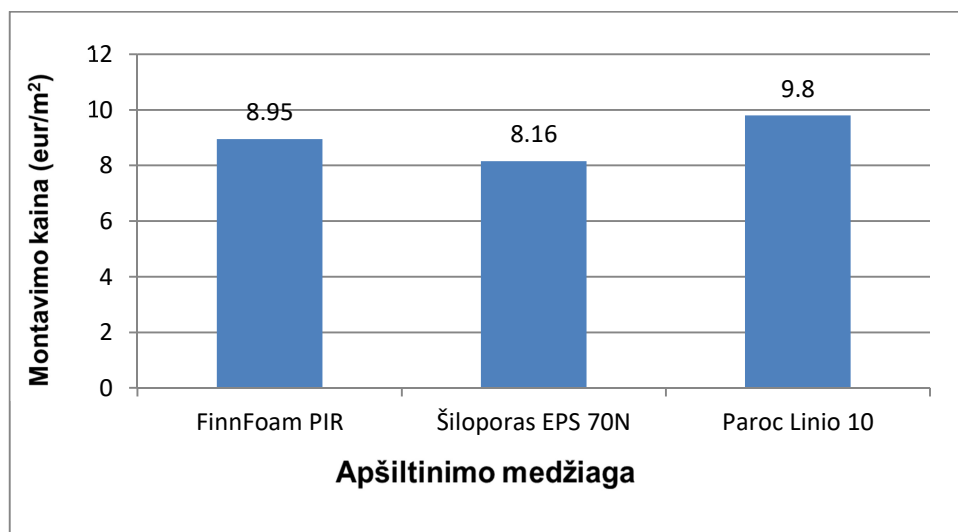
7 pav. Sienos kvadratinio metro svoris (kg/m<sup>2</sup>)

**Apšiltinimo storis.** Apšiltinimo storis daro didelę įtaką tiek pastato estetiniai pusei, tiek darbų kiekiui ir kainai. 8 pav. matyti, jog storiusias termoizoliacinės medžiagos sluoksnis yra su mineralinės vatos plokštėmis, o ploniausias su poliuretano plokštėmis.



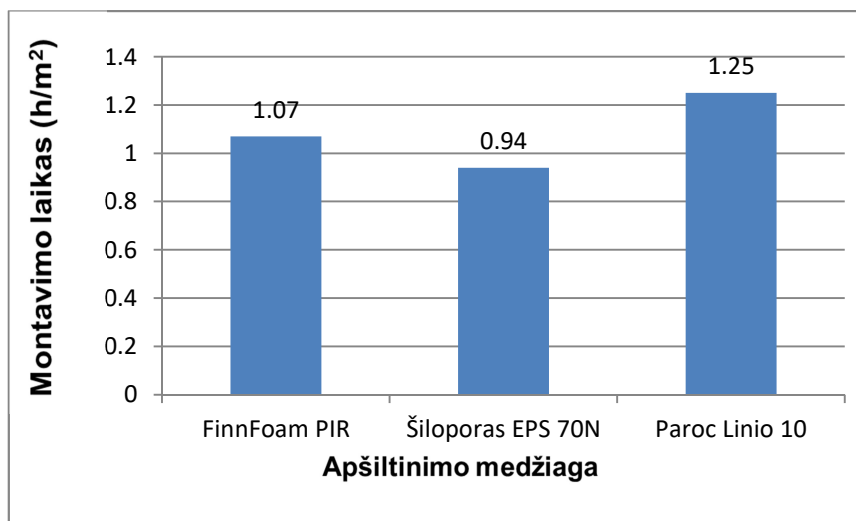
8 pav. Apšiltinimo storis (m)

**Izoliavimo darbų kaina.** Apšiltant pastato sienų izoliavimo darbų kaina turbūt yra sekanti didžiausia dalis išlaidų po medžiagų. Kaip matyti 9 pav. didžiausia darbų kaina yra mineralinės vatos, pigiausia polistireninio putplasčio.



9 pav. Izoliavimo darbų kaina (eur/m<sup>2</sup>)

**Termoizoliacijos įrengimo laikas.** Laikas svarbus faktorius norit užbaigti objektą laiku. Kaip matyti 10 pav. ilgiausiai įrengti užtrunka mineralinę vata.



10 pav. Termoizoliacijos įrengimo laikas (h/m<sup>2</sup>)

### 3.4. Alternatyvų reikšmingumo nustatymas

Pradiniai alternatyvių projektinių sprendimų duomenys imami iš 6,7,8,9,10 paveikslėlių.

#### Skaičiavimo eiga:

Paruošiami duomenys skaičiavimui, sudarant pradinių duomenų matricą P.

7 lentelė. Pradiniai duomenys skaičiavimui

<b>Matrica P</b>					
<b>Kriterijai</b>	<b>K1 Kaina,</b>	<b>K2 Svoris</b>	<b>K3 Apšiltinimo</b>	<b>K4 Montavimo</b>	<b>K5 Laikas</b>
<b>Alternatyvūs</b>	<b>(€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>storis (m)</b>	<b>kaina (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>(h/m<sup>2</sup>)</b>
<b>sprendimai</b>					
A1 Paroc Linio 10	70,51	363,50	0,35	9,80	1,25
A2 Šiloporas EPS 70N	67,71	337,70	0,30	8,16	0,94
A3 FinnFoam FF-PIR	108,81	341,20	0,25	8,95	1,07
$\Sigma X_{ij}$	247,03	1042,4	0,90	26,91	3,26

Atliekamas pradinių duomenų matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą  $\bar{P}$   
 Normalizavimas atliekamas pagal formulę :

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum X_{ij}}; \quad 3.1$$

Čia  $X_{ij}$  – normalizuojamas matricos P narys;

$\sum X_{ij}$  - stulpelio, kuriame yra normalizuojamas narys, suma

Normalizuotos reikšmės surašomos į normalizuotą matricą  $\bar{P}$ :

8 lentelė. Normalizuotos kriterijų reikšmės

<b>Matrica <math>\bar{P}</math></b>					
<b>Kriterijai</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>
<b>Alternatyvūs sprendimai</b>	Kaina, (€/m <sup>3</sup> )	Svoris (kg/m <sup>2</sup> )	Apšiltinimo storis (m)	Montavimo kaina (€/m <sup>2</sup> )	Laikas (h/m <sup>2</sup> )
A1	0,285	0,349	0,389	0,364	0,383
A2	0,274	0,324	0,333	0,303	0,288
A3	0,440	0,327	0,278	0,333	0,328

Nustatomas kiekvieno kriterijaus entropijos lygis  $E_j$  pagal formules.

$$E_j = -k \cdot \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad 3.2$$

Čia :  $p_{ij}$  – normalizuotos matricos narys;

m- nagrinėjamų alternatyvių sprendimų skaičius.

$$k = \frac{1}{\ln m} = 1/\ln(3) = 0,91 \quad 3.3$$

Nustatomas kiekvieno rodiklio entropijos lygis  $E_j$ :

$$E_1 = -0.91 \cdot (0,285 \cdot \ln 0,285 + 0,274 \cdot \ln 0,274 + 0,44 \cdot \ln 0,44) = 0,977$$

$$E_2 = -0.91 \cdot (0,349 \cdot \ln 0,349 + 0,324 \cdot \ln 0,324 + 0,327 \cdot \ln 0,327) = 0,9995$$

$$E_3 = -0.91 \cdot (0,389 \cdot \ln 0,389 + 0,333 \cdot \ln 0,333 + 0,278 \cdot \ln 0,278) = 0,991$$

$$E_4 = -0.91 \cdot (0,364 \cdot \ln 0,364 + 0,303 \cdot \ln 0,303 + 0,333 \cdot \ln 0,333) = 0,997$$

$$E_5 = -0.91 \cdot (0,383 \cdot \ln 0,383 + 0,288 \cdot \ln 0,288 + 0,328 \cdot \ln 0,328) = 0,994$$

Nustatomas kiekvieno kriterijaus rodiklio kitimo lygis  $\bar{d}$ ,

$$\bar{d}_j = 1 - E_j; \quad 3.4$$

Čia:  $E_j$ - kiekvieno kriterijaus entropijos lygis

$$\bar{d}_1 = 1 - 0,977 = 0,023$$

$$\bar{d}_2 = 1 - 0,999 = 0,000489$$

$$\bar{d}_3 = 1 - 0,991 = 0,008468$$

$$\bar{d}_4 = 1 - 0,997 = 0,002537$$

$$\bar{d}_5 = 1 - 0,994 = 0,0062$$

Nustatomas teorinis kriterijaus reikšmingumas  $\bar{q}_{j(t)}$ .

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, (j = \overline{1, n}) \quad 3.5$$

Čia:  $\sum d_{ij}$  – visų rodiklių kitimo lygio suma;

$$\sum d_{ij} = 0,042$$

Termoizoliacinės medžiagos kubinio metro kainos reikšmingumas:

$$q_1 = \frac{0,023}{0,040313} = 0,56 = 56 \%$$

Sienos kvadratinio metro svorio reikšmingumas:



$$q_2 = \frac{0,000489}{0,042} = 0,02 = 1 \%$$

Apšiltinimo storio reikšmingumas:

$$q_3 = \frac{0,008468}{0,042} = 0,21 = 21\%$$

Apšiltinimo sluoksnio 1 m<sup>2</sup> montavimo kainos reikšmingumas :

$$q_4 = \frac{0,002537}{0,042} = 0,07 = 6 \%$$

Apšiltinimo sluoksnio 1 m<sup>2</sup> motavimo laiko reikšmingumas:

$$q_5 = \frac{0,0062}{0,042} = 0,15 = 15 \%$$

### 3.5. Alternatyvų racionalumo nustatymas COPRAS metodu

1 etapas. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos sudarymas. Šio etapo tikslas - iš lyginamųjų rodiklių gauti bedimensius dydžius. Pradiniai duomenys, kurių reikia daugiakriterinei išorinių sienų analizei atlikti (13), pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica

Išorės sienų alternatyvos apšiltinimo (variantai)	Rodikliai				
	Kvadratinio metro kaina, €/m <sup>3</sup>	Kvadratinio metro svoris, kg/m <sup>2</sup>	Apšiltinimo storis, mm	Montavimo kaina €/m <sup>2</sup>	Montavimo laikas h/m <sup>2</sup>
FinnFoam PIR	108,81	341,20	0,25	8,95	1,07
Šiloporas EPS 70N	67,71	337,70	0,30	8,16	0,94
Paroc Linio 10	70,51	363,50	0,35	9,80	1,25
Rodiklių suma	247,03	1042,40	0,90	26,91	3,26
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklių reikšmingumai, q <sub>j</sub>	0,56	0,01	0,21	0,06	0,15

2. etapas. Sprendimų matricos P elementai normalizuojami pagal formulę:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}; (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}) \quad 3.6$$

10 lentelė. Normalizuota matrica

Išorės sienų alternatyvos apšiltinimo (variantai)	Rodikliai				
	Kvadratinio metro kaina, €/m <sup>3</sup>	Kvadratinio metro svoris, kg/m <sup>2</sup>	Apšiltinimo storis, mm	Montavimo kaina €/m <sup>2</sup>	Montavimo laikas m <sup>2</sup> /h
FinnFoam PIR	0,247	0,004	0,058	0,021	0,050
Šiloporos EPS 70N	0,160	0,004	0,082	0,023	0,044
Paroc Linio 10	0,154	0,004	0,070	0,019	0,059
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.

3 etapas. Normalizuotos sprendimų matricos elementus dauginant iš atitinkamų rodiklių reikšmingumo reikšmių, gaunama svartinė normalizuota sprendimų matrica.  $\tilde{P} = [\tilde{x}_{ij}]_{[m \times n]}$ ,  $(i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$ . Tarkim turim efektyvumo rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmių vektorių  $(q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$ , tuomet svartinės normalizuotos sprendimų matricos elementai apskaičiuojami pagal formulę (13):

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j^*, (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}) \quad 3.7$$

4 etapas. Apskaičiuojamos i – osios alternatyvos, svartinėje normalizuotoje sprendimų matricoje, maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos, atitinkamai  $S_{+i}$  ir  $S_{-i}$ . Jos apskaičiuojamos pagal formules (13):

$$S_{+1} = \sum_{j=1}^k \tilde{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad 3.8$$

$$S_{-1} = \sum_{j=1+k}^n \tilde{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad 3.9$$

11 lentelė. Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos

$S_{+1} =$	0,000	$S_{-1} =$	0,381
$S_{+2} =$	0,000	$S_{-2} =$	0,313
$S_{+3} =$	0,000	$S_{-3} =$	0,306

5 etapas. Alternatyvų santykinis reikšmingumas (efektyvumas)  $Q_i$  nustatomas pagal formulę:

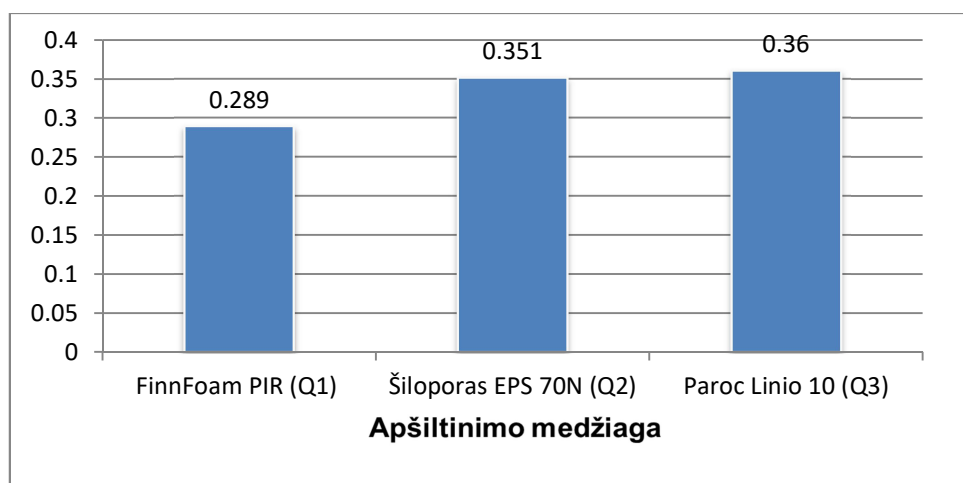
$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-1} \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, (j = \overline{1, n}) \quad 3.10$$

čia  $S_{-min} = \min_i S_{-i}, (i = \overline{1, m})$ .

6 etapas. Sudaroma alternatyvų prioritėtinė eilutė (alternatyvas suranguojame). Kuo didesnis  $Q_i$ , tuo alternatyvos efektyvumas yra didesnis (13).

12 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis

						Prioritetų eilutė
FinnFoam PIR	$Q_1 =$	0,289	$N_1 =$	80,288	%	<b>3</b>
Šiloporos EPS 70N	$Q_2 =$	0,351	$N_2 =$	97,594	%	<b>2</b>
Paroc Linio 10	$Q_3 =$	0,360	$N_3 =$	100,000	%	<b>1</b>



11 pav. Alternatyvų efektyvumas

Pagal prioritetų eilutes iš 12 lentelę ir 11 pav. matome, jog efektyviausia medžiaga visuomeminio pastato išorinių sienų apšiltinimui yra mineralinė vata. Ji polistireninį putplastį lenkia – 2,4 proc., o poliuretaną - 19,7 proc.

### 3.6. Alternatyvų racionalizavimo programa

Programos kūrimas susideda iš trijų dalių:

1. pradinių duomenų lentelės sukūrimas;
2. Sukuriamas objektyvaus reikšmingumo nustatymo algoritmas;
3. efektyviausios termoizoliacinės medžiagos apskaičiavimas.

Pradinių duomenų lentelė						
Išorės sienų alternatyvos (variantai)	Rodikliai					
	Kvadratinio metro kaina, Eur/m <sup>3</sup>	Kvadratinio metro svoris, kg/m <sup>2</sup>	Apšiltinimo storis, m	Montavimo kaina Eur/m <sup>2</sup>	Montavimo laikas h/m <sup>2</sup>	
FinnFoam PIR	108.81	341.20	0.25	8.95	1.07	
Paroc Linio 10	70.51	363.50	0.35	9.80	0.94	
Šiloporos EPS 70N	67.71	337.70	0.30	8.16	1.25	

12 pav. Pradinių duomenų lentelė

Alternatyvų racionalizavimo programa [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

Pradiniai duomenys skaičiavimui						
	K1 Kaina, (€/m <sup>3</sup> )	K2 Svoris (kg/m <sup>2</sup> )	K3 Apšiltinimo storis (m)	K4 Montavimo kaina (€/m <sup>2</sup> )	K5 Laikas (h/m <sup>2</sup> )	
4						
5	FinnFoam PIR	108.81	341.20	0.25	8.95	1.07
6	Paroc Linio 10	70.51	363.50	0.35	9.80	0.94
7	Šiloporas EPS 70N	67.71	337.70	0.30	8.16	1.25
8	$\Sigma X_{ij}$	247.03	1,042.40	0.90	26.91	3.26
Normalizuotos kriterijų reikšmės						
	K1 Kaina, (€/m <sup>3</sup> )	K2 Svoris (kg/m <sup>2</sup> )	K3 Apšiltinimo storis (m)	K4 Montavimo kaina (€/m <sup>2</sup> )	K5 Laikas (h/m <sup>2</sup> )	
12						
13	FinnFoam PIR	0.440	0.327	0.278	0.333	0.328
14	Paroc Linio 10	0.285	0.349	0.389	0.364	0.288
15	Šiloporas EPS 70N	0.274	0.324	0.333	0.303	0.383
Nustatomas kiekvieno kriterijaus entropijos lygis						
	E1	E2	E3	E4	E5	
18						
19	0.977	0.9995	0.992	0.997	0.994	
kiekvieno kriterijaus entropijos lygis						
	d1	d2	d3	d4	d5	$\Sigma d_{ij}$
22						
23	0.023	0.0004888	0.0084676	0.002537418	0.006200437	0.0403128
Nustatomas teorinis kriterijaus reikšmingumas						
	q1	q2	q3	q4	q5	
26						
27	0.56	0.01	0.21	0.06	0.15	

13 pav. Objektyvus reikšmingumo nustatymo algoritmas

Alternatyvų racionalizavimo programa [Compatibility Mode] M

139

**1 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica**

Išorės sienų alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kvadratinio metro kaina, Eur/m <sup>3</sup>	Kvadratinio metro svoris, kg/m <sup>3</sup>	Apšiltinimo storis, mm	Montavimo kaina, Eur/m <sup>2</sup>	Montavimo laikas h/m <sup>2</sup>
FinnFoam PIR	108.81	341.20	0.25	8.95	1.07
Paroc Linio 10	70.51	363.50	0.35	9.80	0.94
Šiloporas EPS 70N	67.71	337.70	0.30	8.16	1.25
Rodiklių suma	247.03	1,042.40	0.90	26.91	3.26
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.
Rodiklių reikšmingumai, g <sub>j</sub>	0.56	0.01	0.21	0.06	0.15

**2 lentelė. Normalizuota matrica**

Butų alternatyvos (variantai)	Rodikliai				
	Kvadratinio metro kaina, Eur/m <sup>3</sup>	Kvadratinio metro svoris, kg/m <sup>3</sup>	Apšiltinimo storis, mm	Montavimo kaina, Eur/m <sup>2</sup>	Montavimo laikas m <sup>3</sup> /h
FinnFoam PIR	0.247	0.004	0.058	0.021	0.050
Šiloporas EPS 70N	0.160	0.004	0.082	0.023	0.044
Paroc Linio 10	0.154	0.004	0.070	0.019	0.059
Min. ar max. rodiklis	min.	min.	min.	min.	min.

Alternatyvas apibūdinančių maksimizuojančių ir minimizuojančių normalizuotų rodiklių sumų nustatymas:

**3 lentelė. Maksimizuojančios ir minimizuojančios normalizuotų rodiklių sumos**

$S_{11} = 0.000$	$S_{12} = 0.381$
$S_{22} = 0.000$	$S_{23} = 0.313$
$S_{33} = 0.000$	$S_{34} = 0.306$

Alternatyvų santykinio reikšmingumo (efektyvumo) ir naudingumo laipsnio nustatymas:

**4 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir naudingumo laipsnis**

	Q <sub>j</sub>	N <sub>j</sub>	%	Prioritetų eilutė
	Q <sub>1</sub> = 0.289	N <sub>1</sub> = 80.288	%	3
	Q <sub>2</sub> = 0.351	N <sub>2</sub> = 97.594	%	2
	Q <sub>3</sub> = 0.360	N <sub>3</sub> = 100.000	%	1

*Efektyviausia medžiaga: Paroc Linio 10*

14 pav. Efektyviausios termoizoliacinės medžiagos apskaičiavimas

Surašius duomenis į pradinių duomenų lentelę programa automatiškai suskaičiuoja kiekvienos apšiltinimo medžiagos naudingumo laipsnį ir pagal jį suranguoja kiekvieną medžiagą bei parašo kuri medžiaga yra efektyviausia.

## IŠVADOS

Pagal statybos techninį reglamentą STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ kiekvienai sienai buvo apskaičiuotas šilumos perdavimo koeficientas. A++ visuomeniniams pastatams reikiami apšiltinimo sluoksnių storiai: mineralinė vata – 35 cm, polistireninis putplastis – 30 cm, poliuretanai – 25cm.

Žinant visų kriterijų reikšmes, naudojantis COPRAS metodu buvo apskaičiuota efektyviausia išorės sienų apšiltinimo medžiaga.

Atlikus daugiakriterinį tyrimą paaiškėjo, jog efektyviausia išorinių sienų šiltinimo medžiaga yra mineralinė vata. Ji polistireninį putplastį lenkia – 2,4 proc., o poliuretaną - 19,7 proc.

Keičiantis pradinėms prielaidoms gali keistis galutiniai tyrimo rezultatai, todėl tyrimą reikėtų kartoti. Skaičiavimams palengvinti buvo sukurta alternatyvų racionalizavimo programa.

Atliekant tyrimą buvo pastebėta jog termoizoliacinės medžiagos kubinio metro kaina, savo reikšmingumu smarkiai lenkia kitus kriterijus (termoizoliacinės medžiagos kubinio metro kainos reikšmingumas – 56 proc., kvadratinio metro sienos svorio reikšmingumas – 1 proc., apšiltinimo stovo reikšmingumas – 21 proc., montavimo kainos reikšmingumas – 6 proc., montavimo laiko reikšmingumas – 15 proc). Galima daryti išvadą, jog objektyvus reikšmingumo nustatymas, entropijos metodu, gali neatspindėti tikrojo reikšmingumo, todėl patartina panaudoti kitus metodus reikšmingumui nustatyti.



## LITERATŪROS ŠALINIŲ SARAŠAS

1. Energetiškai efektyvūs pastatai. Prieiga per internetą: [http://www.ena.lt/pat\\_ee\\_pastatai.html](http://www.ena.lt/pat_ee_pastatai.html) [žiūrėta 2017–10–02].
2. Energiškai efektyvūs namai. Prieiga per internetą: <http://gabesta.lt/paslaugos/energiskai-efektyviu-namu-statyba/> [žiūrėta 2017–10–15].
3. Energiškai efektyvūs namai. Prieiga per internetą: <http://www.taupusnamai.lt/2-kas-tie-energiskai-efektyvus-namai-kas-ta-energinio-naudingumo-klase-kokie-yra-reikalavimai-dabar-statomiems-namams-ir-kaip-jie-keisis/> [žiūrėta 2017–10–23].
4. A+ ir A++ energinės klasės namai. Prieiga per internetą: <http://www.irmus.lt/a-ir-a-klases-namai> [žiūrėta 2017–10–15].
5. Pastato konstrukcijų klasifikacija. Prieiga per internetą: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/95/1/0/1/article/597/pastato-konstrukciju-klasifikacija> [žiūrėta 2017–11–03].
6. Mineralinė vata ir putų polistirolas. Prieiga per internetą: <http://www.iris.lt/prekes/fasadai/mineraline-vata-ar-polistirolas/> [žiūrėta 2017–11–05].
7. Poliuretano putas . Prieiga per internetą: <http://www.stogrenta.lt/poliuretano-putos-nauja-ir-efektyvi-siltinimo-medziaga/> [žiūrėta 2017–11–06].
8. Statybos techninio reglamento STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“
9. Kaimo darnaus vystymo strateginis valdymas: daugiakriterinio vertinimo metodai ir integruotas lietuvių ūkininkų ūkių veiklos efektyvumo vertinimas / A. Baležentis , T. Baležentis; Mykolo Romerio universitetas, Vilniaus universitetas - ISSN 1822-6760.
10. Aviža, D. (2016). Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiatikslė selektonovacija: daktaro disertacija. vilniaus gedimino technikos universitetas. [žiūrėta 2017-12-06]. Prieiga per internetą: [http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/2496/6/2361M\\_Disertacija\\_D\\_AVIZA\\_04%2006%20leidys\\_kla.pdf](http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/2496/6/2361M_Disertacija_D_AVIZA_04%2006%20leidys_kla.pdf)

11. Kriterijų reikšmingumo nustatymo metodai/ V. Podvezko , A. Podvezko; Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Mykolo Romerio universitetas – Vilnius: ISSN 0132-2818.
12. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview / E. K. Zavadskas, Z. Turskis; Technological and Economic Development of Economy 17(2), 2011.
13. Simanavičienė, R. (2011). Kiekybinių daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analize. Vilniaus gedimino technikos universitetas. [žiūrėta 2017-12-15]. Prieiga per internetą: [http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/926/3/1973\\_Simanaviciene\\_Disertacija\\_WEB.pdf](http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/926/3/1973_Simanaviciene_Disertacija_WEB.pdf).
14. Multiple criteria evaluation of projects in construction / E. K. Zavadskas, F. Peldschus, A. Kaklauskas; Vilnius Technical University. Institute of Technological and Economic Development (ITED) - Vilnius: Technika, 1994. ISBN 9986-05-046-4.
15. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė / E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, N. Banaitienė; Vilniaus Gedimino technikos universitetas - Vilnius: Technika, 2001. ISBN 9986-05-441-9