



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

**TINKUOJAMOJO IR VĖDINAMOJO FASADO LYGINAMASIS**  
**TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Donatas Aviža

**PANEVĖŽYS, 2018**

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

**TINKUOJAMOJO IR VĒDINAMOJO FASADO LYGINAMASIS**  
**TYRIMAS**

magistro projektas  
**Statyba (kodas 621J80001)**

**Vadovas**

(parašas) Dr. Donatas Aviža  
2018-01-09

**Recenzentas**

(parašas) Dr. Danas Garuckas  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Linas Raicevičius  
2018-01-09

**PANEVĖŽYS, 2018**



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

(Fakultetas)  
**LINAS RAICEVIČIUS**

(Studento vardas, pavardė)

**Statyba (kodas 621J80001)**

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Tinkuojamojo ir vėdinamojo fasado lyginamasis tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2018 m. sausio 9d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Lino Raicevičiaus**, baigiamasis projektas tema „Tinkuojamojo ir vėdinamojo fasado 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 nesažiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

2017 09 02

## **BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

**Išduota studentui:** Linui Raicevičiui Grupė PMS-6

**1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba: Tinkuojamo ir vėdinamo fasado lyginamasis tyrimas

Anglų kalba: Comparative study of a plastered and ventilated facade

Patvirtinta 2017\_ m. \_\_\_\_\_ mėn. \_\_\_\_\_ d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-18

**2. Darbo tikslas:**

*Palyginti skirtingų tipų fasadus, naudojant daugiakriterinius vertinimo metodus, ir atrasti optimaliausių variantų konkrečiomis sąlygomis.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

*Baigiamasis magistro darbas turi atitikti visus potvarkio Nr. V25-13-10 reikalavimus.*

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

1. Apžvalga
2. Metodinė dalis
3. Fasadų lyginamasis tyrimas: eiga ir rezultatai
4. Išvados
5. Literatūra ir informaciniai šaltiniai.
6. Priedai.

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

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

Užduotį gavau:

\_\_\_\_\_

*(studento vardas, pavardė, parašas)*

\_\_\_\_\_

*(data)*

Vadovas:

\_\_\_\_\_

*(pareigos, vardas, pavardė, parašas)*

\_\_\_\_\_

*(data)*

Raicevičius, Linas. Tinkuojamojo ir vėdinamojo fasado lyginamasis tyrimas. *Magistro*) baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Statyba

Reikšminiai žodžiai: *siena, šiltinimas, tinkuojamas fasadas, vėdinamas fasadas, palyginimas, daugiakriterinė analizė, SAW, TOPSIS, COPRAS.*

Panevėžys, 2018. 56 p.

## SANTRAUKA

*Darbe apžvelgiama tinkuojamų ir vėdinamų fasadų praktika Lietuvoje ir užsienio šalyse, taip pat apžvelgiami šių skirtingų sienų šiltinimo sistemų įrengimo ypatumai. Darbe pateikta metodika leidžianti apskaičiuoti sienų varžas, pagal kurių skaičiavimus galima pradėti lyginti skirtingas fasadų apšiltinimo sistemas. Skirtingi fasadų šiltinimo tipai lyginami tiek pavieniais kriterijais, tiek daugiakriterinio vertinimo metodais, tokiais kaip: SAW, TOPSIS, COPRAS. Tyrimo metu atlikta ekspertų apklausa apie kriterijų reikšmingumą. Pasitelkus subjektyvaus kriterijų reikšmingumo nustatymo metodą, apskaičiuoti vertinimo kriterijų svoriai. Naudojant daugiakriterinius metodus, iš pasirinktų sienų šiltinimo sistemų alternatyvų, mažaaukščiams +A energetinės efektyvumo klasės gyvenamiesiems pastatams, išrinktas geriausias variantas. Apibendrinti vėdinamų ir tinkuojamų fasadų privalumai ir trūkumai.*

Raicevičius, Linas. A comparative study of plastered and ventilated facade thesis in Master's thesis in construction engineering / supervisor doc. dr. Donatas Aviža The Faculty of Technologies and business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Construction engineering.

Key words: wall, insulation, plastering facade, ventilated facade, comparison, multicriteria analysis, SAW, TOPSIS, COPRAS.

Panevėžys, 2018. 56 p.

## **SUMMARY**

*This paper reviews the practice of plastered and ventilated facades in Lithuania and other foreign countries, as well as peculiarities of installation of different wall-warming systems. The paper presents a methodology for calculating resistance of the wall, which allows to compare different facades insulation systems. Different types of facades insulation are compared by both individual criteria and multi-criteria evaluation methods, such as: SAW, TOPSIS, COPRAS. The study conducted a survey of experts opinions about the significance of criteria. Using the method for determining the significance of subjective criteria, weights of the evaluation criteria were calculated. The best option from chosen alternatives of walls insulation systems for small storey +A energy efficiency class living buildings was selected using multi-criteria methods. The advantages and disadvantages of ventilated and plastered facades were summarized.*

# TURINYS

IVADAS .....	9
1. APŽVALGA .....	11
1.1. Energijos taupymo poreikio apžvalga .....	11
1.2. Vėdinamų fasadų įrengimas ir apžvalga .....	12
1.2.1. Vėdinamų fasadų paskirtis .....	12
1.2.2. Vėdinamo fasado sudėtis ir įrengimas. ....	13
1.2.3. Vėdinamojo fasado pranašumai .....	14
1.2.4. Vėdinamojo fasado trūkumai .....	14
1.3. Tinkuojamųjų fasadų įrengimas ir apžvalga .....	16
1.3.1. Technologijos sudėtinės dalys.....	16
1.3.2. Šilumos izoliacijos tvirtinimas .....	17
1.3.3. Armavimas .....	17
1.3.4. Gruntavimas .....	18
1.3.5. Baigiamoji apdailinė dalis.....	18
1.3.6. Bendras tinkuojamo fasado teigiamų ir neigiamų savybių aptarimas.....	18
2. METODINĖ DALIS .....	19
2.1. Tyrimui reikalingų metodų parinkimas.....	19
2.2. Daugiakriterinio vertinimo metodų sprendimo eiga .....	19
2.3. Sienų varžos nustatymo metodika.....	21
2.4. Subjektyvaus reikšmingumo nustatymo metodai.....	24
2.5. Daugiakriterinis vertinimo metogas SAW .....	27
2.6. Daugiakriterinis vertinimo metodas TOPSIS.....	28
2.7. Daugiakriterinis vertinimo metodas COPRAS .....	30
3. FASADŲ LYGINAMASIS TYRIMAS: EIGA IR REZULTATAI.....	31

3.1. Alternatyvų pasirinkimas .....	31
3.2. Alternatyvų varžų skaičiavimas .....	32
3.3. Kriterijų pasirinkimas.....	37
3.4. Atskirų sienų kriterijų lyginimas.....	40
3.5. Kriterijų reikšmingumo nustatymas .....	43
3.6. Ekspertų nuomonių suderinamumo skaičiavimas .....	46
3.7. Daugiakriterinis vertinimas .....	48
3.7.1. Pradiniai uždavinio duomenys. ....	48
3.7.2. Daugiakriterinio tyrimo rezultatai.....	49
3.7.3. Daugiakriterinio vertinimo išvados.....	52
IŠVADOS.....	53
LITERATŪRA IR INFORMACINIAI ŠALTINIAI .....	54
PRIEDAI.....	57



## IVADAS

Šiomis dienomis, sparčiai didėjant energijos vartojimui, kyla poreikis mažinti suvartojamos energijos kiekius visose srityse. Pagal pateiktus 2016 metų statistikos duomenis namų ūkiai Lietuvoje suvartoja net 28% galutinės energijos (1). Didžiausia energijos dalis namų ūkiuose išnaudojama pastatams šildyti bei vėsinti. Norint išvengti didelių nuostolių, tiek Lietuvoje, tiek visoje Europoje sparčiai tobulinamos atitvarų šiltinimo technologijos, keliami vis aukštesni energetinio efektyvumo reikalavimai.

Šiame darbe norime apžvelgti sienos atitvaros populiariausius šiltinimo būdus. Lietuvoje sienų ir kitų atitvarų projektavimą ir sertifikavimą reglamentuoja STR 2.01.02:2016 „PASTATŲ ENERGINIO NAUDINGUMO PROJEKTAVIMAS IR SERTIFIKAVIMAS“ reglamentas, bet visada iškyla klausimas: kokį fasado šiltinimo būdą pasirinkti? Lietuvoje plačiausiai naudojami dviejų tipų fasadų šiltinimo būdai. Tai - tinkuojamieji ir vedinamieji fasadai. Kiekvienas fasado šiltinimo būdas turi nemažai kriterijų, kurie padeda išsirinkti tinkamiausią šiltinimo būdą.

Sprendžiant kokią fasado šiltinimo sistemą išsirinkti, yra daugybė kriterijų pagal kuriuos deliojami prioritetai. Dažnai kaina nėra vienintelis kriterijus pagal kurį būna parenkamas sienų šiltinimo sistemų tipas. Visada norima, kad fasadai gražiai atrodytų, būtų ilgaamžiai, greitai ir nesudėtingai įrengiami ir, žinoma, atsitikus neplanuotam pažeidimui, greitai ir nebrangiai remontuojami. Tiek daug kriterijų apsunkina tinkamos sistemos išsirinkimą prieš tai neatlikus detalių skaičiavimų. Kuo daugiau sistemų lyginame, tuo darosi sudėtingiau. Norint išsirinkti geriausią variantą, vis dažniau praktikoje naudojami daugiakriteriniai vertinimo metodai, kurie įvertina ne tik kriterijus bet ir jų reikšmingumą. Pasaulyje yra sukurta nemažai daugiakriterinių vertinimo metodų, kurie skiriasi savo logika, sudėtingumu, specifika. Nėra geriausio metodo, tiesiog vertinant sudėtingą procesą, geriausia pasitelkti kelis metodus, kad būtų tikslesni duomenys, ir išvengtume skaičiavimo klaidų.

**Darbo objektas** - Mažaaukščių gyvenamųjų pastatų sienų apšiltinimo sistemos, kurios atitinka +A energetinio efektyvumo klasės reikalavimus.

**Darbo tikslas** - Palyginti vedinamas ir tinkuojamas sienų šiltinimo sistemas ir atrasti geriausią variantą esamomis sąlygomis.

### **Darbo uždaviniai:**

- Apžvelgti užsienio praktiką sienų atitvarų šiltinime.
- Išanalizuoti SAW, TOPSIS ir COPRAS daugiakriterinio skaičiavimo metodikas.
- Atlikti kriterijų reikšmingumo apklausą, ir įvertinti jų reikšmingumus.
- Palyginti vėdinamų ir tinkuojamų fasadų privalumus ir trūkumus.
- Atlikti daugiakriterinį pasirinktų sienų šiltinimo sistemų vertinimą skirtingais metodais, iškeliant vienodas energetinio efektyvumo sąlygas mažaaukščiams gyvenamiesiems pastatams, ir užduodant prioritetingas norimo fasado sąlygas.
- Iš pasirinktų alternatyvų išrinkti efektyviausią.
- Sukurti įrankį, gebantį iš pradinių duomenų, išrinkti efektyviausią alternatyvą
- Apžvelgti gautus rezultatus ir suformuoti išvadas apie vėdinamų ir tinkuojamų fasadų sistemas.

### **Tyrimo metodai:**

Šiame darbe naudojami sienų varžos skaičiavimo metodai, skirti apskaičiuoti skirtingų sienų šiltinimo konstrukcijų varžas ir nustatyti sienų storius. Tyrimui atlikti naudota ekspertų apklausa, kurios duomenys apdoroti subjektyvaus reikšmingumo skaičiavimo metodu. Daugiakriteriniam vertinimui atlikti pasitelkti SAW, COPRAS, TOPSIS metodai, skirti apdoroti surinktus duomenis ir spręsti sudetingus uždavinius. Fasadų šiltinimo sistemų  $1m^2$  kainoms, darbo sanaudoms ir darbuotojų kategorijoms gauti naudota sąmatų programa „Prosama“ su (2017m.10mėn.) įkainiais.

### **Darbo rezultatų praktinė reikšmė:**

Pagal atliktą tyrimą galima sužinoti nagrinėjamų kriterijų skirtumus vėdinamiems ir tinkuojamiems fasadams, bei pasirinkti tinkamus fasadus pagal konkrečius, reikalingus pastatų kriterijus (fasadų sistemų plusų ir minusų nustatymas). Taip pat pagal atliktą daugiakriterinį tyrimą galima pasirinkti prioritetingą sienos šiltinimo sistemą, kuri daugiakriteriniu požiūriu bus naudingiausia, ne tik įrengiant, bet ir eksploatuojant.

# 1. APŽVALGA

## 1.1. Energijos taupymo poreikio apžvalga

Europos Sąjungoje (ES) pastatai yra vienas iš pagrindinių aplinkosaugos sektorių, kurie sudaro daugiau kaip 40 % visos suvartojamos energijos ir poveikio aplinkai (2). Tačiau pastatų sektorius yra sritis, kuri turi didelį potencialą .

Energijos vartojimo efektyvumas yra pagrindinis ES ir jos valstybių narių politinis tikslas. ES valstybės narės susitarė iki 2020 m. 20% sumažinti pirminės energijos sąnaudas, palyginti su 1990 m. Lygiu. Parengti statybų reglamentai, kuriuose nustatomi beveik nulinės energijos formavimo apibrėžtys, kaip Europos Parlamentas nustatė, kad iki 2020 m. Visi nauji ES pastatai turėtų būti beveik nulinės energinio efektyvumo klasės (3).

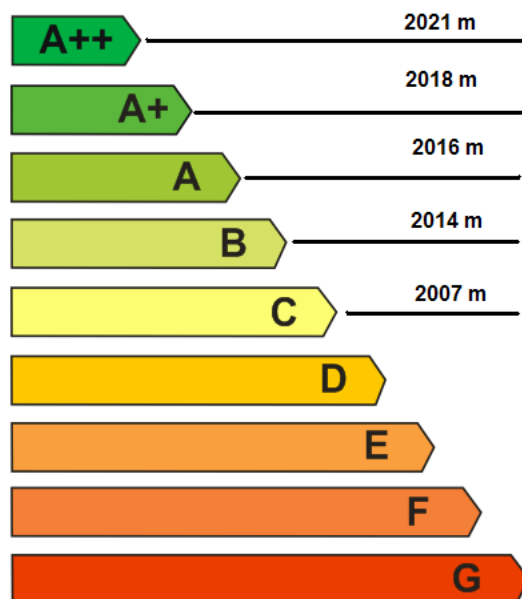
Švedija taip pat siekia iki 2020 m. 20 % sumažinti energijos suvartojimą vienoje šildomo ploto namuose ir kitose patalpose, o iki 2050 m. 50 %, palyginti su 1995 m. lygiu (4). Švedijoje vidaus ir paslaugų sektoriai sudaro apie 40% viso energijos sunaudojimo(5). Pasak Švedijos energijos vartojimo efektyvumo komiteto, daug ką dar reikia nuveikti norint spręsti energijos naudojimo klausimus, ir yra daug energijos taupymo galimybių, ypač būsto sektoriuje(4).

Apžvelgus padėtį kitoje Europos šalyje Ispanijoje, kurioje klimatas gerokai šiltesnis, matoma panaši energijos suvartojimo tendencija. Tiksliau, ši suma sudaro 28 % visos galutinės energijos suvartojimo Ispanijoje, iš kurių daugiau nei pusė gaunama naudojant oro kondicionavimo sistemas, ir jų augimas matomas pastaruosius 15 metų (6). Šis faktas kartu su Ispanijos energetine priklausomybe, kuri siekia 80 % (7), keičia vartotojų įpročius, pasirenka pastatus, kuriuose reikalaujama energijos taupymo, gyvenimo ir aplinkos kokybės.

Kaip matome visa Europa susiduria su energijos taupymo poreikiais. Lietuva- ne išimtis. Sovietinės valdžios metais pastatytų sienų panelės turėjo silpną šilumos izoliaciją. Todėl dabar susiduriama su prastesnių pastatų atnaujinimo problema (8). Tyrimas parodė, kad šilumos perdavimo vertė yra 1,6 - 5,85 karto didesnė už nurodytą vertę. Tai sukelia didelius šilumos nuostolius ir šilumos komforto trūkumą patalpose. Siekiant pagerinti sąlygas, pastatų išorinėse sienose turėtų būti įrengta

papildoma izoliacija. Tinkamiausias ir veiksmingiausias būdas tai pasiekti yra išorinių sienų izoliacija.

(9) Lietuva išskėlė uždavinį iki 2021 m. pasiekti A++



1.1 pav. Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas į klases: A++ klasė – aukščiausia, nurodanti energijos beveik nevartojantį pastatą, G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą (Aviža. 2015)

Norint pasiekti renovacijoje ar naujų namų statyboje gerų rezultatų, galima pasimokinti iš kaimyninės šalies Lenkijos. Pasak netoli Lietuvos esančio Augustavo miestelio mero Kazimiero Kuzochovskio, žmonės labai greitai suprato, kad reikia renovacijos, kai 1998 m. sausio 1 d. buvo pakeisti teisės aktai ir iš valstybės biudžeto baigėsi dotacijos, skiriamos daugiabučių namų gyventojų kompensacijoms už sunaudotą šilumos energiją. Kai visi daugiabučių namų gyventojai už šilumą pradėjo mokėti brangiai, tapo aišku, kad permainos būtinos (10).

## 1.2. Vėdinamų fasadų įrengimas ir apžvalga

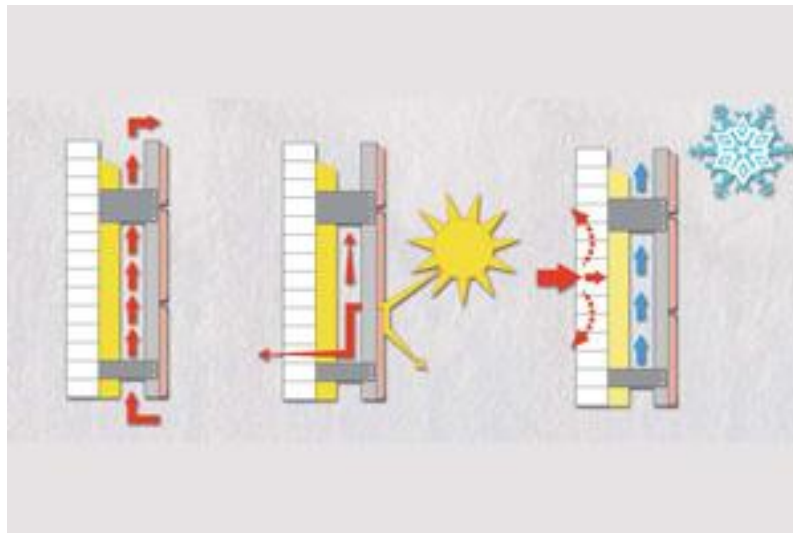
### 1.2.1. Vėdinamų fasadų paskirtis

Pastaraisiais metais ventiliuojamos fasado sistemos plačiai naudojamos įvairiose klimato zonose dėl jų energetinių savybių, daugybės turimų konstrukcinių sprendimų, mažesnio saulės spindulių poveikio patalpų mikroklimatui, gero triukšmo mažinimo savybių ir greito remonto, rekonstrukcijos(11).

Vėdinamų fasadų eksploatacinėms savybėms įtaką daro lauko sąlygos (saulės spinduliavimas, vėjo kryptis ir greitis bei lauko oro temperatūra), taip pat patalpų sąlygos (patalpų oro temperatūra ir drėgmė) ir fasado konstrukcijos ypatybės (oro tarpsluoksnio konfiguracija, panaudotų medžiagų sudėtis ir jų išdėstymas) (12).

#### 1.2.2. Vėdinamo fasado sudėtis ir įrengimas.

Labiausiai paplitusi ventiliuojamų fasadų konfiguracija susideda iš išorinio sluoksnio, kuris mechaniškai susijęs naudojant specialias konstrukcijas su plytų siena, ar bet kokia kita medžiaga, kuri gali suteikti pagalbą išoriniam sluoksniui (Pav.1.2). Paprastai šilumos izoliacija kontaktuoja su išoriniu vidinio sluoksnio paviršiumi. Išorinė plokštė gali būti pagaminta iš daugybės medžiagų kurios matomos pastato fasade, apibrėžia pastato išorinę estetiką. Šis būdas generuoja oro tarpą tarp dviejų sluoksnių, kuris natūraliai vėdinamas, pasitelkiant lovio angas dugne ir fasado viršuje. Be to, ventiliuoti fasadai turi daugybę konfiguracijų ir geometrijų, kuriuos formuoja jų termodinaminės savybės (10).



1.2 pav. Vėdinamo fasado schema (<http://www.ariostea-high-tech.com/technology/external-facing>)

Vėdinamo fasado termoizoliaciniam sluoksniui ir apdailai naudojamas medinis arba metalinis karkasai. Pastarasis gali būti aliuminio metalo profilių, cinkuoto metalo profilių arba nerūdijančio plieno metalo profilių. Karkaso elementai ir jų išdėstymas priklauso nuo sienos tipo, pastato aukščio, vyraujančio vėjo apkrovų, bei fasado apdailos. Vėdinamo fasado karkasas dažnai įrengiamas iš aliuminio plieno profilių, dėl savo atsparumo korozijai, paprasto montavimo, nedidelio svorio ir kainos. Įrengiant išorinę vėdinamą fasado sistemą, senų sienų lyginti nereikia. Sienos nelygumai kompensuojami karkaso sistemomis, kurios laiko apdailinę fasadinę plokštės (13).

### 1.2.3. Vėdinamojo fasado pranašumai

**Pastatai su vėdinamais fasadais vasaros metu būna vėsesni.** Karštuoju metų laiku oro tarpas tarp HPL plokščių ir izoliacinio sluoksnio užtikrina natūralią fasado ventiliaciją, o HPL plokštės apsaugo nuo tiesioginių saulės spindulių ir taip nuolat HPL plokštės palieka namo sienas pavėsyje. Tokiu būdu pasiekiamas komfortiškas mikroklimatas patalpose, nereikalaujantis papildomų brangių kondicionavimo sistemų.

**Apšiltinimo medžiaga ištisus metus išlieka sausa** bei išsaugo nepakitusias šilumos apsaugos savybes. Todėl sumažėja šildymo išlaidos. HPL fasado plokštės neleidžia krituliams patekti ant apšiltinimo medžiagos. Drėgmė laisvai nuteka žemyn vidine plokščių puse ir briaunomis arba išdžiūsta kylančiame oro sraute.

**Priešgaisrinė apsauga.** Ventiliuojamo fasado sistema susideda iš medžiagų, kurios priskiriamos sunkiai degių arba visiškai nedegių kategorijai. Tai neleidžia ugniai plisti gaisro atveju.

**Patikima garso izoliacija.** Išorinės fasado plokštės turi didesnę garso izoliaciją ir kartu su šiltinimo sluoksniu sudaro dvigubą išorinio triukšmo apsaugą (14).

**Įrengiant vėdinamus fasadus nereikia specialiai paruošti senų sienų.**

**Apdailos plokštės atsparesnės mechaniniui poveikiui.** Lyginant su tinkuojamu fasadu, vėdinamo fasado plokštės labiau atsparesnės mechaninui poveikiui.

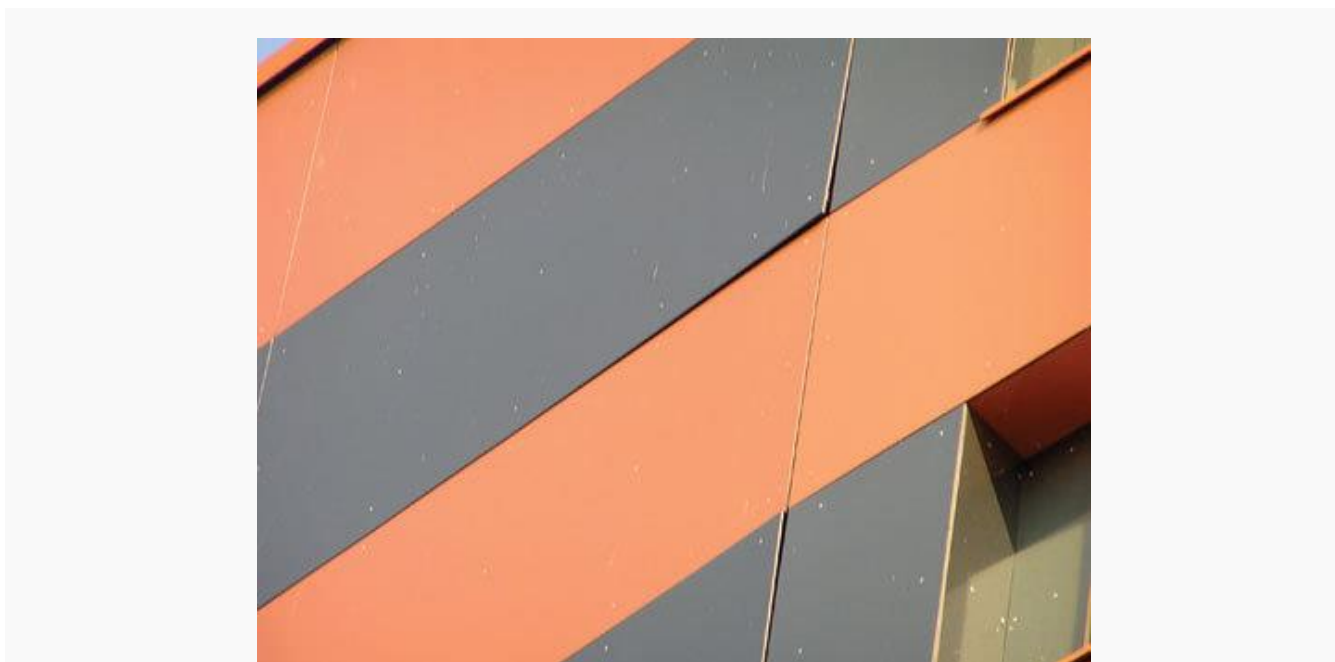
### 1.2.4. Vėdinamojo fasado trūkumai

**Didesnė vėdinamojo fasado kaina.** Renovuojant daugiabučius namus ir pasirinkus vėdinamąjį fasadą, reikėtų atkreipti dėmesį, kai rangovai renkasi karkasą plokštėms tvirtinti. Statybininkai gali fasado įrengimą piginti karkaso sąskaita. Naudojami netinkami profiliai, tvirtinimo elementai, karkasas retai kada projektuojamas. Eksploatacijos ilgaamžiškumą deklaruoja patikimi tiekėjai, tačiau jų gaminiai atitinkamai ir kainuoja. Pigesni pakaitalai neatlaiko net kelių sezonų eksploatacijos.

**Didelis plokščių svoris.** Ši nuostata teisinga tik tuo atveju, jeigu naudojamos sunkios medžiagos. Aliuminio kompozitinės ar aukšto slėgio laminato plokštės visiškai lengvos. Daug sveria keramikos, natūralaus akmens plokštės. Tačiau besirengiantiesiems renovuoti daugiabučius tai neturėtų rūpėti - tokios medžiagos ir sprendimai kainuoja itin daug, kaip ir aliuminio plokštės. Kol kas masiškiausi ir pigiausi sprendimai - cementinės plokštės, kurios nepasižymi itin dideliu svoriu (15).

**Sudėtingas montavimas, reikia aukštos kvalifikacijos darbininkų.** Tiek tinkuojamajam, tiek vėdinamajam fasadui sumontuoti reikia specialios kvalifikacijos. Kaip ir apkalti namą dailylentėmis reikia kvalifikacijos bei įgūdžių.

**Yra pavojus, kad nukris apdailos plokštės (1.3 pav.) , jeigu jas montuoja nekvalifikuoti meistrai.** Taip, darbo kokybė yra didžiulė problema. Nereikia pamiršti projektavimo, tinkamo karkaso, tvirtinimo elementų ir pačių plokščių parinkimo. Savaiame suprantama, kuo pigiau sukomplektuojamos medžiagos, tuo didesnė rizika (15).



1.3 pav. Vėdinamo fasado tvirtinimo brokas (15)

**Profilių konstrukcija iš aliuminio ar plieno sąlyginai mažina atitvaros šiluminę varžą.** Jei naudojamos modernios technologijos, tokios kaip specialios tarpinės tarp sienos ir karkaso su pluoštiniais laikikliais turinčiais mažą lietimosi plotą su siena šilumos nuostoliai yra gana minimalūs. Tačiau viskas priklauso nuo kainos daugiabučiams namams modernizuoti dauguma rangovų renkasi pigiausias medžiagas, ir gyventojai, deja, negauna laukto rezultato.

### 1.3. Tinkuojamųjų fasadų įrengimas ir apžvalga

#### 1.3.1. Technologijos sudėtinės dalys

Šiuo metu tarp statybos ir apdailos technologijų pirmauja naujas lauko sienų šiltinimo ir apsaugos metodas, vadinamasis „šlapias“ fasadas. Kalkių mišinius, kurie anksčiau neturėjo realių konkurentų fasadų apdailos srityje, dabar visur keičia neventiliuojamųjų fasadų sistemos (1.4 pav.). Statybininkai neventiliuojamuosius fasadus vadina „šlapiais“, arba nekontaktiniais. Šlapieji fasadai yra pigesni nei ventiliuojamieji, nes dažymas arba tinkavimas — tai vieni iš ekonomiškiausių pastatų apdailos būdų (16).

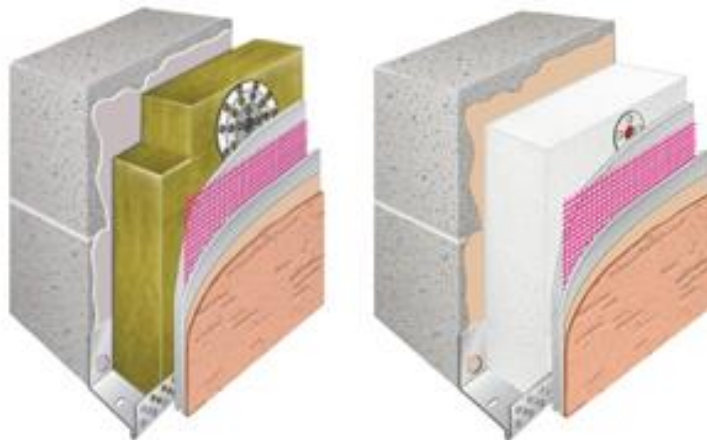
Sienos apšiltinimo tinkuojant šlapiuoju būdu technologija susideda iš tokių dalių :

- Sienos paruošimas;
- Šilumos izoliacijos tvirtinimo prie sienos;
- Sluoksnio armavimo;
- Gruntavimo;
- Išorės apdailos (tinkavimas, dažymas).

Įrengiant tinkuojamąjį fasadą, svarbu vadovautis gamintojo sistemos technologijos vadovu, nes tarp skirtingų gamintojų pateikiamų technologijų yra smulkių skirtumų.

O patys sluoksniai susideda iš:

Laikančiosios sienos konstrukcijos: blokelių mūras, klijų sluoksnio, šilumos izoliacijos, tvirtinimo detalių, armavimo sluoksnio ir armuojančio tinklelio, apdailos sluoksnio. (4 pav.)



1.4 pav. Sienos šiltinimo mazgas tinkuojant šlapiuoju būdu ([www.sodamco-weber.com](http://www.sodamco-weber.com))

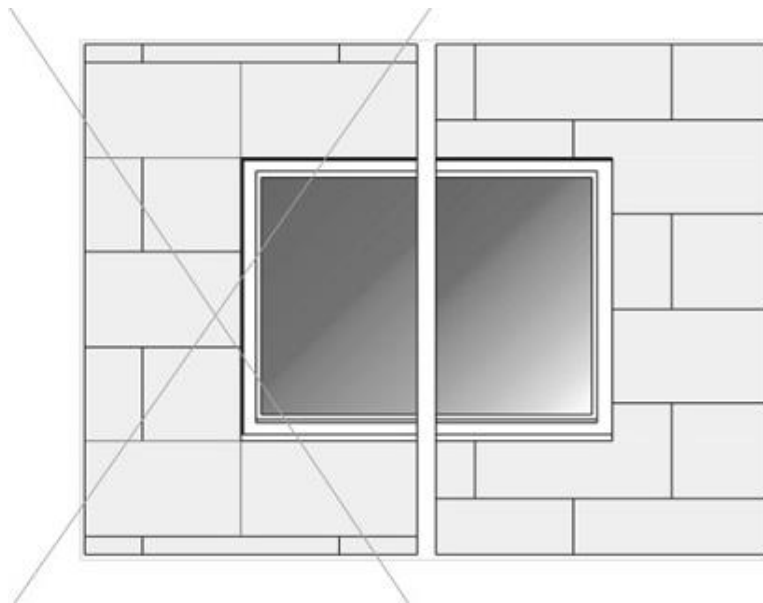


### 1.3.2. Šilumos izoliacijos tvirtinimas

Remiantis naujausių apžvalgų duomenimis, neorganinės pluoštinės medžiagos ir organinės putplasčio medžiagos sudaro 87% Europos rinkos (17). Fasadams šiltinti naudojamos būtent šios medžiagos: tai polistireninis putplastis EPS arba kieta akmens ar stiklo vata. Šių medžiagų lakštai iš pradžių klijuojami prie sienų klėjais, o klėjams sustingus - smeigiuojami.

Klijuojant šiltinamąsias plokštes tuo pačiu metu montuojamos ir palangių, iš lauko pusės, gembės, nes vėliau jas pritvirtinti yra sunkiau. Tuo pačiu metu atitinkamose jungimo vietose instaliuojami bitumo ir poliuretano tarpikliai. Kad tarpikliai brinkdami neišjudintų šiltinamosios plokštės iš savo vietos, galima plokštes prismeigiuoti. Klėjai ant plokštės tepami dviem būdais. Kai siena lygi, klėjai, dantyta mentele, padengiami visame plote, o kai siena nelygi - didesniu storiu padengiami pakraščiai ir per vidurį taškuojama.

Šilumą izoliuojančios plokštės klijuojamos horizontaliomis juostomis, pirmą eilę pradedant nuo cokolinio profilio ir kylant į viršų. Kiekviena kita šilumą izoliuojančių plokščių eilė perstumoma žemiau esančios eilės taip, kad nebūtų kryžminių sujungimų. (1.5 pav.)



1.5 pav. Taisyklingas šiltinimo plokščių tvirtinimas (17)

### 1.3.3. Armavimas

Visų apšiltinamo pastato angų kampus, prieš armuojant visą plokštumą, papildomai reikia sutvirtinti armavimo tinklelio juostomis (ne mažesnėmis kaip  $30 \times 20$  cm), įspausti jas į užteptą ir išvogtą armuojamo tinko skiedinį 45 laipsnių kampu angos briaunų linijoms.

Armuojamo tinko skiedinys išlyginamas lygia glaistykle. Išoriniai ir vidiniai kampai armuojami papildomai pasitelkiant armavimo tinklelį arba plastikinį profilį su armavimo tinkleliu. Prieš įterpiant tinklelį į skiedinį, skiedinys tolygiai padengiamas ant šiltinimo plokštės ir jo perteklius nuimamas dantyta mentele.

#### 1.3.4. Gruntavimas

Pabaigus armuoti ir glaistyti sienas, jos yra padengiamos specialiai tam skirtais gruntais. Gruntas padeda pagerinti sukibimą su dažais ar dekoratyviniu tinku, impregnuoja tinką. Jei siena vėliau bus dažoma, parenkami tos pačios spalvos gruntai.

#### 1.3.5. Baigiamoji apdailinė dalis

Pabaigus visus minėtus darbus, pastato fasadas gali būti padengiamas dekoratyviniu tinku, dažomas, arba apklijuojamas plytelėmis. Reikia nepamiršti, jog prieš klijuojant plyteles fasadas papildomai smeigiuojamas.

#### 1.3.6. Bendras tinkuojamo fasado teigiamų ir neigiamų savybių aptarimas

Pagrindinis tinkuojamo fasado privalumas - kaina, ji beveik kelis kartus mažesnė lyginant su vėdinamu fasadu. Kitas aktualus niuansas tai apšiltintos sienos pastorėjimas. Sieną pastorėja tik tiek, kokio storio apšiltinimo medžiaga pasirenkama. Dar vienas tinkuojamos sistemos privalumas - svoris, tinkuojami fasadai daug lengvesni negu vėdinami.

Tačiau, yra keli tinkuojamos sistemos trūkumai. Gana didelis šios sistemos trūkumas yra reikalinga teigiama oro temperatūra, fasadų negalima įrenginėti sningant ar kaitinant tiesioginės saulės spinduliams. Kadangi mūsų šalyje esti ir šaltasis metų laikas, kol kas, sutrumpėja fasadų įrengimo laikotarpis. Kitas tinkuojamų fasadų minusas, jog nepatartina rinktis tamsią fasadų apdailos spalvą, nes dėl didelio saulės poveikio fasadui šylant ir šalant sienose atsiranda įtrūkių. Atsiradus sienoje defektui, ar mechaniniam pažeidimui, šios sienos remontas gerokai pabrangsta, nes sutvarkius pažeistą vietą, skiriasi tvarkytos vietos dažų ar dekoratyvinio tinko atspalviai. Taigi, tenka perdažyti visą sieną.

## 2. METODINĖ DALIS

### 2.1. Tyrimui reikalingų metodų parinkimas

Norint atskleisti temą ir palyginti skirtingų fasadų šiltinimo būdus, pasirinkau vieną kriterijų, kurį turi atitikti skirtingos fasadų šiltinimo sistemos. Pasirinktas kriterijus yra vienoda energinio efektyvumo klasė. Tai reiškia, kad skirtingų sistemų šiltinimo mazgai, turi tenkinti pasirinktos A+ energinės klasės reikalavimus. Norint apskaičiuoti ir pritaikyti fasadus vienodai energetinio efektyvumo klasei naudojamas atitvarų varžų skaičiavimo metodas, kurį Lietuvoje reglamentuoja STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ reglamentas.

Kiekviena alternatyva, sprendžiant daugiakriterinius uždavinius, gali būti apibūdinta kriterijų aibe. Kriterijai gali būti tiek kokybiniai, tiek kiekybiniai. Jie dažniausiai turi skirtingus matavimo vienetus ir įvairią optimizavimo kryptį (19). Todėl norint įvertinti ir palyginti vedinamą ir tinkuojamą fasadus, reikia naudoti vieną ar kelis iš daugiakriterinių vertinimo būdų, nes šie skirtingi fasadų tipai turi nemažai kriterijų kurių matavimo vienetai ir jų svarba yra nevienoda.

Daugiakriterinių vertinimo būdų yra daug. Lietuvos mokslininkai savo darbuose išnagrinėjo ir pritaikė įvairius daugiakriterinio vertinimo metodus. E. K. Zavadskas yra daugiakriterinių sprendimų priėmimo metodų taikymo statybos srityje vienas iš pradininkų (20).

### 2.2. Daugiakriterinio vertinimo metodų sprendimo eiga

Atliekant daugiakriterinį vertinimą, pirmiausia reikia nustatyti kriterijų svarbą (reikšmingumą). Kadangi kriterijai yra tiek kokybiniai, tiek kiekybiniai, jie vertinami skirtingais metodais, kurie pateikti (1-2) lentelėje.

2.1 lentė

#### Kokybinių kriterijų reikšmių nustatymo metodai

Ekspertinis	Nustatoma remiantis ekspertų patyrimu ir intuicija.
Sociologinis	Nustatoma apdorojus sociologinių apklausų duomenis.
Skaičiavimo	Skaičiavimo metodu kriterijų reikšmės nustatomos naudojant empirines ir teorines priklausomybes, statistinius duomenis, įvairias formules.
Organoleptinis	Nustatoma vertinant sprendinius per stebinčio žmogaus jausmų prizmę.

Kokybinių reikšmių nustatymas yra gerokai sudėtingesnis procesas. Pavyzdžiui, skirtingų asmenų, fasado estetinio vaizdo samprata gali skirtis, todėl atliekami 1 lentelėje paminėti tyrimai. Daug paprastesnis kriterijų vertinimas yra kiekybinis. Pasitelkiami normatyviniai dokumentai, gamintojų sertifikatai, skaičiavimo metodikos, trūkstant duomenų pasitelkiamas analoginis nustatymo metodas (2 lentelė)(21),(22).

2.2 lentelė

### Kiekybinių kriterijų reikšmių nustatymo metodai

Normatyvinis	Kriterijų reikšmės nustatomos remiantis normatyviniais dokumentais, sąmatomis, rekomendacijomis ir kitais dokumentais.
Skaičiavimo	Kriterijų reikšmės nustatomos naudojant empirines ir teorines priklausomybes, įvairias formules, statistinius duomenis.
Analoginis	Analogijos metodas taikomas tada, kai sprendžiamas uždavinys (kai kurių rodiklių reikšmės dar nėra žinomos) lyginamas su analogu, parinktu pagal tam tikrus keliamus reikalavimus. Išnagrinėjus analogijos požymius, nustatomi perskaičiavimo koeficientai. Visas reikalingas etalono kriterijų reikšmes padauginus iš šių perskaičiavimo koeficientų, gaunamos trūkstamos tiriamo objekto kriterijų reikšmės.

Nustačius pačių kriterijų vertinimo svarbą, galima atlikti daugiakriterinį vertinimą. Daugiakriteriniai vertinimai turi vienodą sprendimo eigą, ir ją sudaro trys etapai:

- 1) alternatyvų sąrašo sudarymas. Šiame etape sudaroma alternatyvų aibė, pagal kurią bus sprendžiamas daugiakriterinis uždavinys.
- 2) sudaroma rodiklių, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, aibė, nustatomos tų rodiklių reikšmės kiekvienai alternatyvai;
- 3) alternatyvų rangavimas.

Išsami daugiatislių metodų veiklos diagrama pateikta (1.5 pav).



1.5 pav. Daugiatikslių metodų veiklos diagrama (pagal Ustinovičius, Zavadskas 2004, p. 48)

### 2.3. Sienu varžos nustatymo metodika

Lietuvoje šiluminės varžos skaičiavimą reglamentuoja STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“. Tai pagrindinis dokumentas, kuriuo remiantis skaičiuojama pastatų šiluminė varža.

Atitvaros suminė šiluminė varža  $R_s$  ( $m^2 \cdot K/W$ ) apskaičiuojama pagal (2.1) formulę

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n + (R_g + R_q) \quad (2.1)$$

$R_g$  – nevedinamo oro tarpo šiluminė varža ( $m^2 \cdot K/W$ ), Jei nevedinamo oro tarpo storis nežinomas, skaičiavimuose naudojama 10 mm oro tarpo šiluminė varža (22).

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

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

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}} \quad (2.2)$$

$d$  – sluoksnio storis (m);

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

Atitvaros termoizoliacinių sluoksnių šiluminės varžos turi būti apskaičiuojamos pagal STR 2.01.02:2016 3 priedo nurodymus, t. y. šiuose skaičiavimuose turi būti įvertinta:

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

Atitvarų visuminė šiluminė varža ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) apskaičiuojama pagal formulę:

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se} ; \quad (2.3)$$

$R_{si}$  – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ),

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

$R_{se}$  – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) (22).

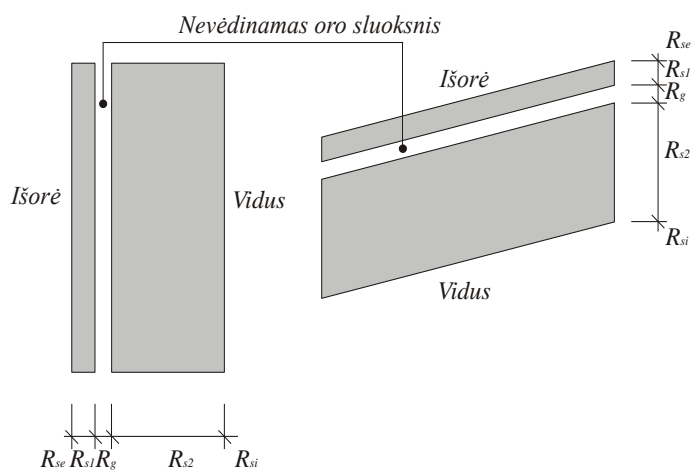
Atitvaros be oro sluoksnių šilumos perdavimo koeficientas  $U$  ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$U = \frac{1}{R_t} ; \quad (2.4)$$

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

Atitvaros su nevėdinamu oro sluoksniu šilumos perdavimo koeficientas  $U$  ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) apskaičiuojamas pagal formulę:

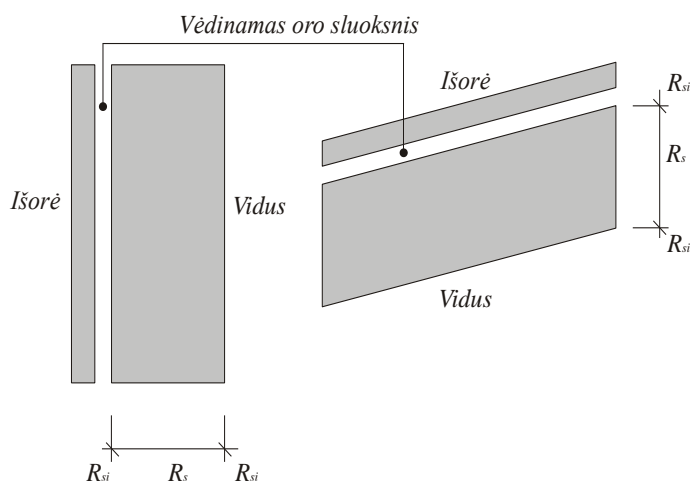
$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{s1} + R_g + R_{s2} + R_{se}} \quad (2.5)$$



1.7 pav. Atitvaros su nevėdinamu oro sluoksniu schema (22)

Atitvaros su vėdinamu oro tarp sluoksniu šilumos perdavimo koeficientas  $U$  ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) apskaičiuojamas pagal formulę (23):

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_{si}} \quad (2.6)$$



8 pav. Atitvaros su vėdinamu oro sluoksniu schema (22)

## 2.4. Subjektyvaus reikšmingumo nustatymo metodai

Rodiklių subjektyvus reikšmingumas nurodo jį nustatančio eksperto subjektyvų požiūrį į rodiklių svarbą. Subjektyvus reikšmingumas gali būti nustatomas ekspertiniu porinio palyginimo metodu, kurį pateikė T. Saaty (Saaty 1980). Šis metodas patogus tuo, kad ekspertas gali lyginti rodiklius tarpusavyje po du. Prioritetui nustatyti naudojama pačio autoriaus pasiūlyta reikšmingumų skalė (žr. 2.3 lentelė) (24).

2.3 lentelė

T. Saaty svarbumo skalės aprašas (Saaty 1997)

Svarbumo lygis	Apibrėžimas
1.	Rodikliai vienodai svarbūs
3.	Vienas rodiklis truputį svarbesnis už kitą
5.	Vienas rodiklis svarbesnis už kitą
7.	Vienas rodiklis daug svarbesnis už kitą
9.	Vienas rodiklis nepalyginti svarbesnis už kitą
2,4,6,8	Tarpinės

Ekspertinės efektyvumo rodiklių porinio palyginimo anketos (lentelės) pildomos šiuo principu: eilutėje esantis rodiklis lyginamas su stulpelyje esančiais rodikliais. Jeigu eilutėje esantis rodiklis yra svarbesnis nei stulpelyje esantis rodiklis, rašomas svarbumo lygi nurodantis sveikasis skaičius. Jeigu eilutėje esantis rodiklis yra mažiau svarbus nei stulpelyje esantis rodiklis – anketos langelyje rašomas atvirkštinis skaičius. (žr. 2.4 lentelėje) pateiktas užpildytos ekspertinės porinio palyginimo anketos pavyzdys, kuriame matyti, kad pirmasis ir antrasis rodikliai yra vienodai svarbūs, trečiasis rodiklis yra nepalyginti svarbesnis už pirmąjį, o antrasis rodiklis yra svarbesnis už trečiąjį (25).

2.4 lentelė

Anketos užpildymo pavyzdys

	1 rodiklis	2 rodiklis	3 rodiklis
1 rodiklis	1	1	1/9
2 rodiklis	1	1	5
3 rodiklis	9	1/5	1



Turint ekspertų užpildytas anketas, sudaromos matricos, kurios naudojamos efektyvumo rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmių apskaičiavimui.

Rodiklių subjektyvius reikšmingumus galima apskaičiuoti šiais etapais:

**1 etapas.** Tarkime, turime  $m$  alternatyvų, aprašomų  $n$  rodikliais. Rodiklių  $X_i$  ir  $X_j$  porinis lyginimas žymimas  $b_{ij}$   $i, j = 1, \dots, n$ . Simbolis  $b_{ij}$  reiškia  $i$ -tojo ir  $j$ -ojo rodiklių rangų santykį, kurį pateikia ekspertas:

$$b_{ij} = \frac{\bar{q}_i}{\bar{q}_j} \quad (2.7)$$

Kai palyginami poromis visi rodikliai, ir nustatomas prioretiškumas, vertinimo rezultai užrašomi į matricą  $B$ .

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_1} & \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_2} & \dots & \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_n} \\ \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_1} & \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_2} & \dots & \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\bar{q}_n}{\bar{q}_1} & \frac{\bar{q}_n}{\bar{q}_2} & \dots & \frac{\bar{q}_n}{\bar{q}_n} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Galime pastebėti jog:

$$b_{ij} = \frac{\bar{q}_i}{\bar{q}_j}, \quad b_{ji} = \frac{\bar{q}_j}{\bar{q}_i}, \quad b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}, \quad (2.9)$$

kai  $i \neq j$ , o  $i=j$ ,  $b_{ii}=1$ . Todėl pakanka palyginti ne visas rodiklių poras, o tik nepasikartojančias, kurių iš viso yra  $\frac{n(n-1)}{2}$ .

**2 etapas.** Skaitinės rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmės  $\bar{q}_j$ , ( $j = \overline{1, n}$ ) nustatomos mažiausių kvadratų metodu (Chu *et al.* 1979; Hwang, Yoon 1981; Ustinovičius, Zavadskas 2004), sprendžiant optimizavimo uždavinį.

Bendrai lygčių sistema užrašoma matricine forma:

$$C \cdot Q = m \quad (2.10)$$

čia:  $Q = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_n, \lambda)^T$  - rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmių, su  $\lambda$ - Lagranžo daugikliu, vektoriaus stulpelis;

$m=(0,0,\dots,0,1)^T$  – atitinkamas laisvų narių stulpelis. Matrica  $C_{[(n+1)\cdot(n+1)]}$  sudaro elementai  $l_{ij}$  apskaičiuojami pagal formules (Hwang, Yoon 1981; Ustinovičius, Zavadskas 2004):

$$l_{ii} = (n - 2) + \sum_{j=1}^n b_{ji}^2, (i, j = \overline{1, n}), \quad (2.11)$$

$$l_{ij} = -(b_{ij} + b_{ji}), (i, j = \overline{1, n}, i \neq j), \quad (2.12)$$

$$l_{k,\pi+1} = l_{n+1,k} = 1, (k = \overline{1, n}), \quad (2.13)$$

$$l_{n+1,n+1} = 0 \quad (2.14)$$

**3. etapas.** Rodiklių reikšmingumai, gauti ekspertiniu porinio palyginimo metodu gali būti laikomi pakankamai patikimais, jeigu ekspertų nuomonių dėl rodiklių rangavimo suderinamumas yra pakankamas. Ekspertų nuomonių suderinamumui nustatyti skaičiuojamas konkordancijos koeficientas  $W$ , kurį apibrėžia M. Kendall (1970). Šio koeficiento taikymas skaičiavimuose susijusiuose su ekspertų nuomonių suderinamumu, aprašytas daugelio mokslininku darbuose (MNONPQRNQ 1987; WOXYNYZO 1984; Ustinovicius, Jakucionis 2000; Podvezko 2005; Ginevičius, Podvezko 2004). Konkordancijos koeficiento reikšmė apskaičiuojama pagal formulę (25).

$$W = \frac{12 \cdot S}{r^2(n^3 - n)} \quad (2.15)$$

čia:  $S$  - rodiklių rangų sumų nuokrypių nuo bendro vidurkio kvadratų suma:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r \left( c_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r c_{ij} \right)^2 \quad (2.16)$$

čia:

$r$  - ekspertų skaičius,  $n$  - rodiklių skaičius,  $c_{ij}$  -  $i$ -tojo rodiklio rango reikšmė, kurią suteikė  $j$ -asis ekspertas (Podvezko 2005; Simanavičienė, 2011). Konkordancijos koeficiento reikšmingumas gali būti nustatytas, naudojant  $\chi^2$  kriterijų:

$$\chi^2 = Wr(n - 1) = \frac{12S}{rn(n + 1)} \quad (2.17)$$

Jei gauta  $\chi^2$  reikšmė yra didesnė už  $\chi_{krit}^2$  (kurios reikšmė priklauso nuo  $\nu = n - 1$  laisvumo laipsnio reikšmingumo lygmens  $\alpha = 0.05$ ), tada ekspertų nuomonių suderinamumas pakankamas. Kaip ir  $\alpha > \alpha_p$  (apskaičiuojama tikimybė). Jei gauta  $\chi^2$  reikšmė yra mažesnė už  $\chi_{krit}^2$  reikšmę, vadinasi ekspertų nuomonių suderinamumas nepakankamas.

**4 etapas.** Jei ekspertų nuomonių suderinamumas pakankamas, subjektyvus rodiklių reikšmingumas skaičiuojamas pagal formulę:

$$\bar{q}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \bar{q}_{ij}, (i = \overline{1, n}). \quad (2.18)$$

## 2.5. Daugiakriterinis vertinimo metogas SAW

Paprastasis adityvus svorių metodas (SAW – Simple Additive Weighting) yra vienas iš paprasčiausių ir plačiausiai taikomų metodų. Metodo taisyklės apibendrinio MacCrimmon (MacCrimmon, 1968). Įvesties duomenys – sprendimų matrica ir rodiklių reikšmingumo reikšmės(26).

SAW daugiakriterinio metodo žingsniai:

- 1) sprendimų matrica normalizuojama,
- 2) normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais.

Pradiniai duomenys, sprendžiant šiuo metodu, yra sprendimo matrica  $\mathbf{P}$  ir efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės, tarkim integruoto reikšmingumo  $(q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$ , tenkinančios sąlygą:

$$\sum_{j=1}^n q_j^* = 1. \quad (2.19)$$

Visi sprendimo matricos  $\mathbf{P}$  nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}}. \quad (2.20)$$

o tie, kuriuos reikia minimizuoti – pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}}. \quad (2.21)$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotosios matricos nariai dauginami iš efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmių ir gautos sandaugos susumuojamos. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali:

$$A = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_{j=1}^n q_j \cdot \bar{x}_{ij} / \sum_{j=1}^n q_j \right. \right\} \quad (2.22)$$

## 2.6. Daugiakriterinis vertinimo metodas TOPSIS

Yoon ir Hwang (27) sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymu artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

Taikant šį metodą, reikia atsižvelgti į tai, kad kiekvieno sprendimų varianto kriterijaus naudingumo funkcija monotoniškai didėja arba monotoniškai mažėja, t.y. didesnė bet kurio rodiklio reikšmė visada geresnė arba blogesnė už mažesnę to paties rodiklio reikšmę (Behm 2005). Tai priklauso nuo to, ar naudingumo funkcija didėja ar mažėja. 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 (28).

Pirmiausia norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą X.

$$X = [x_{ij}] = \begin{matrix} a_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \\ a_2 & \\ \dots & \\ a_m & \end{matrix} \quad (2.23)$$

Kur:  $a_1$ - $a_m$ - lyginamieji variantai ( $i= 1, m$ );

$X_1$ - $X_n$  – efektyvumo rodikliai ( $j= 1, n$ );

$x_{11}$ - $x_{mn}$ - efektyvumo rodiklių reikšmės.

Matricą X reikia normalizuoti į matricą  $\bar{X}$ . Matricos X normalizavimas atliekamas pagal formulę.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m} \quad (2.24)$$

Ir gaunama normalizuotoji matrica  $\bar{X}$  kurios visos efektyvumo reikšmės- bedimensiai dydžiai:

$$\bar{X} = \bar{X}, [\bar{x}_{ij}] = \begin{matrix} a_1 & \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ a_2 & \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{matrix} \quad (2.25)$$

Kadangi žinomi reikšmingumo kriterijai, randama svertinė normalizuota matrica  $\bar{X}$  pagal formulę:

$$X^* = \hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j \quad (2.26)$$

Ir gauname pasvertą matricą:

$$\hat{X} = [\hat{x}_{ij}] = \begin{matrix} a_1 & \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \dots & \hat{x}_{1n} \\ a_2 & \hat{x}_{21} & \hat{x}_{22} & \dots & \hat{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & \hat{x}_{m1} & \hat{x}_{m2} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{matrix} \quad (2.27)$$

Idealiai geriausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^+ = \left\{ \left[ \left( \max_i x_{ij} \right), \left( \min_i x_{ij} \right) \right] i = 1 \dots m \right\} = \{a_1^+, a_2^+ \dots, a_n^+\}. \quad (2.28)$$

Čia: J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J<sup>c</sup> – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

Idealiai blogiausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^- = \left\{ \left[ \left( \min_i x_{ij} \right), \left( \max_i x_{ij} \right) \right] i = 1 \dots m \right\} = \{a_1^-, a_2^- \dots, a_n^-\}. \quad (2.29)$$

Atstumas tarp lyginamojo i-tojo ir idealiai geriausio varianto nustatomas pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - a_j^+)^2}; i = 1 \dots m, \quad (2.30)$$

O tarp i-tojo ir neigiamai idealaus pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - a_j^-)^2}; i = 1 \dots m, \quad (2.31)$$

Nustatomos kiekvieno i-tojo varianto santykinis atstumas iki idealaus:

$$K_{BIT} = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = 1 \dots m, \text{ kai } K_{BIT} \in [0,1] \quad (2.32)$$

Kuo  $K_{BIT}$  reikšmė artimesnė vienetui, tuo i –tasis variantas artimesnis  $a^+$ , t.y. racionalus variantas bus tas, kurio  $K_{BIT}$  reikšmė yra didžiausia.

## 2.7. Daugiakriterinis vertinimo metodas COPRAS

COPRAS – (angl. Complex Proportional Assessment) daugiakriterinis kompleksinio proporcingumo metodas. Šį metodą sukūrė 1996 m. (Zavadskas, Kaklauskas 1996), skaičiuojant COPRAS metodu nagrinėjamų variantų prioritetiškumą ir jų naudingumo laipsnis tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo alternatyvas adekvačiai apibūdinančių rodiklių sistemos, reikšmių ir reikšmingumų dydžių(20).

**1 etapas.** Sudaroma normalizuota sprendimų priėmimo matrica D. Šio etapo tikslas – iš lyginamųjų rodiklių gauti normalizuotus dydžius. Tam naudojama formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_j^*}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (2.33)$$

**2 etapas.** Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių  $S_{-j}$  ir maksimizuojančių  $S_{+j}$  įvertintų normalizuotų rodiklių sumos, (2.34) formulė.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^n d_{+ij}; S_{-i} = \sum_{j=1}^n d_{-ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (2.34)$$

**3 etapas.** Lyginamųjų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis  $S_{+j}$  ir neigiamomis  $S_{-j}$  savybėmis. Kiekvieno varianto  $a_j$  santykinis reikšmingumas  $Q_j$  nustatomas pagal formulę:

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, i = \overline{1, m} \quad (2.19)$$

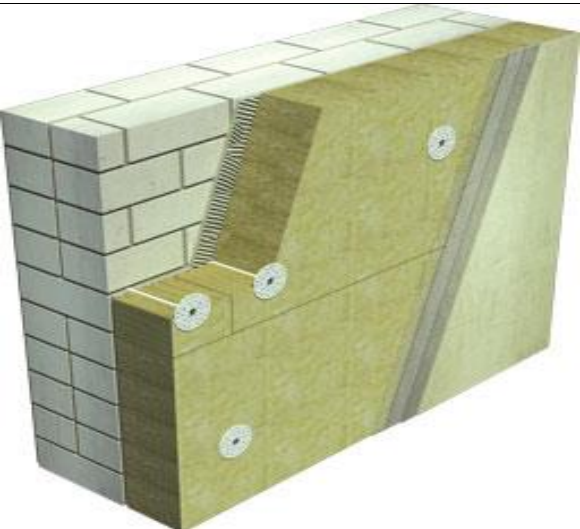
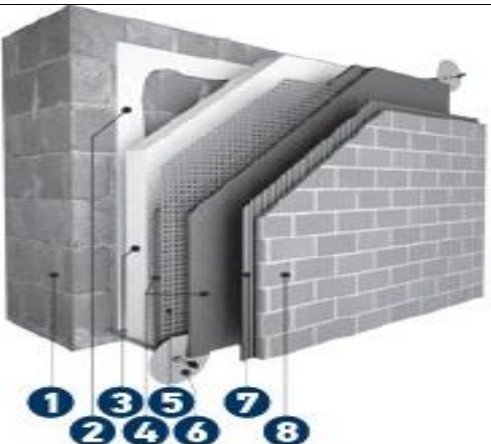
**4 etapas.** Nustatomas variantų prioritetiškumas. Kuo didesnis  $Q_i$ , tuo labiau varianto efektyvumas (prioritetiškumas) yra didesnis.

### 3. FASADŲ LYGINAMASIS TYRIMAS: EIGA IR REZULTATAI

#### 3.1. Alternatyvų pasirinkimas

Tyrimui parinkti keturi fasadų šiltinimo mazgai. Du vėdinami, du tinkuojami. Fasadų šiltinimo būdai parinkti pagal naudojimo dažnumą Lietuvoje. Tyrimo metu norima išsiaiškinti, kurie iš šių nagrinėjamų fasadų yra tinkamiausi ar priimtinausi. Alternatyvos pateiktos (žr. 3.1 lent.).

3.1 lentelė

1. Variantas. Tinkuojamas fasadas su vatos termoizoliacine plokšte (X1)	
	Sienos sudėtis: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Vidaus apdaila;</li><li>2. Keramikiniai blokeliai;</li><li>3. Klijų sluoksnis;</li><li>4. Paroc Linio 80 šilumos izoliacija;</li><li>5. Tvirtinimo elementas;</li><li>6. Armavimo tinkelis;</li><li>7. Armavimo tinkelis;</li><li>8. Išorės apdaila.</li></ol>
<a href="http://www.paroc.lt">www.paroc.lt</a>	
2. Variantas. Tinkuojamas fasadas su Neoporo termoizoliacine plokšte (X2)	
	Sienos sudėtis: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Siena</li><li>2. Klijai ;</li><li>3. Neoporas.;</li><li>4. Armavimo tinklas</li><li>5. Smeigė</li><li>6. Armavimo tinkas</li><li>7. Klijai plytelėms</li><li>8. Plytelių apdaila</li></ol>
<a href="http://www.manonamai.lt">www.manonamai.lt</a>	

3. Variantas. Vėdinamas fasadas su metaliniu karkasu ir plokštine apdaila.(X3)	
	<p>Sienos sudėtis:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tinkas;</li> <li>2. Keramikiniai blokėliai;</li> <li>3. Paroc extra šilumos izoliacija;</li> <li>4. Paroc Cortex 30 mm;</li> <li>5. Vėdinamas oro tarpas, T profilis;</li> <li>6. Išorės apdaila;</li> <li>7. Nerūdijančio plieno tvirtinimo elementas.</li> </ol>
www.paroc.lt	
4. Variantas. Vėdinamas fasadas su plytų mūro apdaila. (X4)	
	<p>Sienos sudėtis:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vidaus apdaila;</li> <li>2. Akytojo betono blokėliai;</li> <li>3. Paroc extra šilumos izoliacija;</li> <li>4. Tvirtinimo elementas su fiksatoriumi;</li> <li>5. Paroc Cortex ;</li> <li>6. Vėdinamas oro tarpas ;</li> <li>7. Plytų mūras.</li> </ol>
www.paroc.lt	

### 3.2. Alternatyvų varžų skaičiavimas

Pasirinktas modeliuojamas pastatas - mažaaukštis gyvenamasis pastatas. Šio tyrimo eigoje tirsime tik modeliuojamo pastato sienų mazgus, kuriems sudarysime vienodas sąlygas. Visi mazgai bus suprojektuoti naudojant 25cm keramikinių blokelių mūro sienas ir keičiant šiltinimo alternatyvas.



Kad lyginti būtų paprasčiau, užsibrėžiame vienodą sąlygą visiems fasadų šiltinimo tipams. Nagrinėjami sienų mazgai turi atitikti vienodas A+ energinio naudingumo klasės pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų  $U(A+)$  ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) vertes.

- Sienos  $U = 0,11$  ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) Gyvenamieji pastatai.
- Sienos  $R = 9.091$   $m^2/KW$

Lentelės sudaromos varžos skaičiavimo principu, pagal (žr. 2.3 formulę), taip pat lentelėse nurodyta medžiagų šilumos laidumo pataisos dėl medžiagų įdrėkio ar konvekcijos. Metalinių jungčių ar karkaso detalių šiluminių nuostolių skaičiavimai, dėl skirtingų skaičiavimo metodikų pateikti šalia lentelių.

3.2 lentelė

1. Variantas tinkuojamas fasadas su mineralinės vatos Paroc Linio šiltinimo medžiaga.

Šilumos dydžiai ir grindų dalys	Simbolis	d, m	$\lambda'_{ds}$ , W/mK	$\lambda_{ds}$ , W/mK	R, $m^2/KW$
Vidinio paviršiaus šiluminė varža	$R_{si}$	–		–	0,130
Tinko sluoksnis	R1	0,010		0,900	0,011
keraminiai blokeliai, tankis – 1050 $kg/m^3$ )	R2	0,250		0,190	1,316
Klijų sluoksnis	R3	0,05		0,960	0,005
Mineralinė vata Paroc Linio	R4	0,320	0,04	0,042	7,619
Plonasluoksnis armuotas tinkas	R5	0,007		1	0,007
Dekoratyvinius tinkas	R6				0,02
Išorinė šiluminė varža	$R_{se}$	–		–	0,040
Visuminė šiluminė varža	R			–	9,148

## 2. Variantas: Tinkuojamas fasadas su neoporo šiltinimo medžiaga.

Šilumos dydžiai ir grindų dalys	Simbolis	d, m	$\lambda'_{ds}$ , W/mK	$\lambda_{ds}$ , W/mK	R, m <sup>2</sup> /KW
Vidinio paviršiaus šiluminė varža	$R_{si}$	–		–	0,130
Tinko sluoksnis	R1	0,010		0,900	0,011
Keraminiai blokeliai, tankis – 1050 kg/m <sup>3</sup> )	R2	0,250		0,190	1,316
Klijų sluoksnis	R3	0,005		0,960	0,005
Putplastis Neoporas EPS 70	R4	0,270	0,033	0,035	7,714
Plonasluoksnis armuotas tinkas	R5	0,007		1	0,007
Plytelių klijų sluoksnis	R6	0,003		-	0,020
Plytelių apdaila	R7	0,006		1	0,006
Išorinė šiluminė varža	$R_{se}$	–		–	0,040
Visuminė šiluminė varža	R			–	9,249

## 3. Variantas: Vėdinamas fasadas su plokštine apdaila.

Atstumas tarp plieno sistemos elementų ašių 600 mm horizontalioje ir 700 mm vertikalioje plokštumose. Tvirtinimo elementų kiekis 1 m<sup>2</sup> atitvaros ploto bus:  $n = 2,38$  vnt./m<sup>2</sup>. Sistemos tvirtinimo elementai plieniniai, sienutės storis 2,0 mm, plotis 90 mm. Fasado apdailos tvirtinimui prijungtas 50×120 mm T formos elementas. Tvirtinimo elementas prie laikančiosios sienos tvirtinamas 2 plieninėm mūrvinėm įgilintomis 80 mm, kurių skersmuo 8 mm.

Šilumos izoliacijos storių, kai šiltinama PAROC eXtra + PAROC Cortex:

Vėdinamo fasado sistemos išsiskiria tuo, kad dažnai laikantysis karkasas yra metalinis, o kaip žinoma metalas yra puikus šilumos laidininkas. Vėdinamų fasadų sienų varža skaičiuojama keliais variantais. Kadangi mano pasirinktoje sistemoje šiltinimo sluoksnį kerta tik pavieniai elementai, tai bendrą šilumos perdavimo koeficientą skaičiuosiu pagal LST EN ISO 6946:2008 D.3.2 punkto [3.13] reikalavimus.

Pirmiausia suskaičiuojame bendrą sienos varžą, ir sudarome sluoksių lentelę. (žr. 3.4 lent.).

3.4 lentelė

Vėdinamo fasado su plokštine apdaila varžų skaičiavimas be metalo nuostolių.

Šilumos dydžiai ir grindų dalys	Simbolis	d, m	$\lambda'_{ds}$ , W/mK	$\lambda_{ds}$ , W/mK	R, m <sup>2</sup> /KW
Vidinio paviršiaus šiluminė varža	$R_{si}$	–		–	0,130
Tinko sluoksnis	R1	0,010		0,9	0,011
Keraminiai blokeliai, tankis – 1050 kg/m <sup>3</sup> )	R2	0,200		0,19	1,053
Mineralinė vata Paroc extra	R3	0,450	0,036	0,041	10,976
Mineralinė vata Paroc cortex	R4	0,030	0,033	0,037	0,811
Išorinė šiluminė varža	$R_{se}$	–		–	0,040
Visuminė šiluminė varža	R			–	13,020

Kai mechaniniai tvirtikliai, pavyzdžiui, sienos mūro sluoksnių sąrišos, stogo arba kompozicinių plokščių sistemų tvirtikliai yra įsiskverbę į izoliacinį sluoksnį, pataisa šilumos perdavimo koeficientui skaičiuojama pagal (žr. 3.1 formulę).

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_0} \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 = 0.8 \cdot \frac{50 \cdot 0.00018 \cdot 2.38}{0.48} \cdot \left( \frac{11.786}{13.02} \right)^2 = 0.029 \quad (3.1)$$

Naudodami tą pačią formulę apskaičiuojame ir kaiščių į sieną nuostolius.

$$\Delta U_{f1} = 0.8 \cdot \frac{0.08}{0.2} \cdot \frac{50 \cdot 0.00005 \cdot 2}{0.2} \cdot \left( \frac{1.053}{13.02} \right)^2 = 5.25 \cdot 10^{-5}$$

$\alpha = 0,8$ , kai tvirtiklis visiškai įsiskverbęs į hidroizoliacinį sluoksnį;

$\alpha = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$  tais atvejais, kai tvirtiklis yra įgilintas

Taip pat čia:

$\lambda_f$  - tvirtiklis šilumos laidumo koeficientas, w/(m\*K);

$n_f$  – tvirtiklių skaičius kvadratiniam metrui;

$A_f$  – vieno tvirtiklio skerspjūvio plotas m<sup>2</sup>;

$d_0$  – izoliacinio sluoksnio, kuriame yra tvirtiklis, storis, m;

$d_1$  – tvirtiklio, įsiskverbusio į izoliacinį sluoksnį, ilgis, m;

$R_1$  – izoliacinio sluoksnio, į kurį įsiskverbė tvirtikliai šiluminė varža, m<sup>2</sup>\*K/W;

$R_{T,h}$  – komponento visuminė šiluminė varža, m<sup>2</sup>\*K/W, neįvertinant šiluminių tiltelių.

Atitvaros šilumos perdavimo koeficientas skaičiuojamas pagal (žr. 3.2 rormulę).

$$U^I = U + \Delta U_f + \Delta U_{f1} = 0,0768 + 0,0293 + 0,00005 = 0,106 \quad (3.2)$$

Taigi įrengus 3.4 lentelėje apskaičiuotą mazgą tenkinsime A+ energetinio efektyvumo klasės reikalavimus  $U=0.106 < 0,11$ .

4.5 lentelė

#### 4. Variantas: Vėdinamas fasadas su plytų apdaila.

Šilumos dydžiai ir grindų dalys	Simbolis	d, m	$\lambda'_{ds}$ , W/mK	$\lambda_{ds}$ , W/mK	R, m <sup>2</sup> /KW
Vidinio paviršiaus šiluminė varža	$R_{si}$	–		–	0,13
Tinko sluoksnis	R1	0,01		0,9	0,011
Keraminiai blokėliai, tankis – 1050 kg/m <sup>3</sup> )	R2	0,2		0,19	1,053
Mineralinė vata Paroc Extra	R4	0,30	0,036	0,037	8,108
Mineralinė vata Paroc Cortex	R5	0,03	0,033	0,034	0,882
Išorinė šiluminė varža	$R_{se}$	–		–	0,040
Visuminė šiluminė varža	R			–	10,224

Jeigu mūro sluoksniai sujungti metaliniais ryšiais, reikia skaičiuoti šilumos perdavimo koeficiento pataisą dėl papildomo šilumos nutekėjimo per metalines jungtis.

Skaičiuodami šilumos perdavimo koeficiento priedą pagal (3.1) formulę:

$$\Delta U_{fn} = (\alpha \cdot \lambda_{fn} \cdot n_{fn} \cdot A_{fn}) / d_{fn}, \quad (3.1)$$

- priimame, kad jungčių skaičius viename kvadratiname metre  $n_{fn} = 10$ ;
- jungties šilumos laidumo koeficientas  $\lambda_{fn} = 50$ , W/(m·K) (plienas);
- vienos jungties skerspjūvio plotas  $A_{fn} = 1,2 \cdot 10^{-5}$ , m<sup>2</sup> ( $\varnothing = 4$  mm);
- skaičiuojamasis jungties ilgis, prilygintas šiltinančio sluoksnio storiui  $d_{fn} = 0,305$  m;
- struktūrinis daugiklis priimamas  $\alpha = 0,5$ .

$$\Delta U_{fn} = (\alpha \cdot \lambda_{fn} \cdot n_{fn} \cdot A_{fn}) / d_{fn} = (0,5 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}) / 0,305 = 0,0098 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas:

$$U = \frac{1}{R_t} + \Delta U_{fn} = \frac{1}{10,24} + 0,0098 = 0,108 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (3.2)$$

### 3.3. Kriterijų pasirinkimas

Norint palyginti skirtingus fasadų šiltinimo būdus, reikia vadovautis pasirinktais ir be abejojimo aktualiais kriterijais. Kriterijai yra dviejų tipų, kiekybiniai ir kokybiniai. Kiekybiniai kriterijai gali būti tai, ką galima apskaičiuoti, šie kriterijai turi savo skaitines vertes. Tai gali būti atliktų darbų ar medžiagų kaina, užtruktas laikas darbui padaryti, gaminio tarnavimo laikas ir pan. Kokybiniai kriterijai yra sunkiau įvertinami, nes skirtingų žmonių akimis kokybė gali atrodyti skirtingai, todėl norint juos naudoti reikalingi socialiniai tyrimai kurių metu nustatoma daugumos nuomonė. Kokybiniai rodikliai gali būti tokie: estetiškas vaizdas, jaukumas, patogumas, prestižas ir t.t.

Norėdami užtikrinti tikslius tyrimo rezultatus pasitelksime 1 kokybinį ir 5 kiekybinius kriterijus, kuriuos gavome: skaičiavimuose, atlikę apklausą, ar pagal pateiktas fasadų sistemų gamintojų deklaracijas.

**Fasado kaina.** Tai kiekybinis rodiklis, kuris nurodo kiek kainuos įrengti 1m<sup>2</sup> fasado. Į šią kainą įeina apšiltinimo plokštės, bei visos kitos fasadų mazgams išpildyti reikalingos medžiagos. Kainos

dedamojoje yra ir darbo užmokestis, bei smulkių motorinių mechanizmų išlaidos. Fasado kaina yra viena iš prioritetinių kriterijų. Vertindami įrengimo kainą, ieškosime ekonomiškiausio varianto, ne tik įrengiant, bet ir eksploatuojant visą fasado laikotarpį. Fasadų kainas skaičiavome sąmatų programa „Prosama” pagal (2017m. 10 mėnesio įkainius).

**Darbo laikas.** Tai kiekybinis kriterijus, kuris nurodo kiek darbo valandų žmogus užtruks įrenginėdamas 1m<sup>2</sup> pasirinkto fasado. Šis kriterijus labai svarbus norint pastatą įrengti kuo greičiau, arba įrenginėti pastatą su mažesniu skaičiumi žmonių, tai atsiliepia ir ekonomiškai. Darbo laikai gauti sudarius sąmatas pagal normatyvą.

**Darbuotojų kategorija.** Tai kiekybinis kriterijus, kuris nusako darbuotojų darbo kategorijas. Kuo aukštesnė darbuotojo kategorija, tuo jis aukštesnės klasės specialistas. Esant dabartinei situacijai, rasti aukštos klasės specialistų yra sudėtingiau, jų valandinis įkainis yra didesnis, todėl tai atsiliepia ir ekonomiškai. Sudėjus šiuos veiksnius prioritetą teikiame fasadams, kuriems įrengti tinkama žemesnės kvalifikacijos darbuotojų kategorija.

**Apšiltinimo storis.** Tai kiekybinis kriterijus, kuris nusako pastato sienos pastorėjimą po apšiltinimo darbų. Tai gama aktualus dydis renovuojant, nes norint pasiekti aukštas energetinio efektyvumo klases, tenka naudoti vis storesnius sienos apšiltinimo mazgus, didėja angokraščiai, mažėja langų angos, esamuose balkonuose nebelieka vietos. Sienų apšiltinimo mazgai, kurie yra plonesni ir pasiekia tą pačią energetinio efektyvumo klasę įgauna prioritetą tyrime.

**Sezoniškumas.** Tai kiekybinis rodiklis, kuris nurodo darbų atlikimo galimybę atsižvelgiant į laiką (mėn.). Kadangi tinkuojamiems fasadams reikalinga plusinė temperatūra, tai pagal Lietuvos meteorologinius duomenis, dažniausiai 3 mėnesiai turi vidutinę neigiamą temperatūrą(29). Tad atlikti darbus yra gana sudėtinga. Tinkuojamų fasadų įrengimas įmanomas ir žiemos laiku, bet tai reikalauja papildomų išlaidų šildymui, neretai padaromas brokas, dėl šalčio ar fasadų perdžiovinimo. Tuo tarpu montuojami fasadai gali būti įrenginėjami visus metus.

**Remonto sudėtingumas.** Tai kokybinis parametras, kuris nusako fasado remonto sudėtingumą atsitikus mechaniniam pažeidimui. Tai abstraktus vertinimas, todėl šio kriterijo reikšmes gauname atlikę apklausą ir įvertinę 15 šios srities specialistų nuomonių.

## Remonto sudetingumo apklausa.

Norėdami įvertinti ką mano specialistai apie nagrinėjamų fasadų remonto sudetingumą po mechaninio poveikio, buvo atlikta 15-os ekspertų apklausa ir suformuota apkausos užduotis.

**Užduotis.** Išdekiokite balus nuo 1 iki 4 prie pateiktų fasadų, kurie jūsų nuomone lengviausiai taisomi įvykus mechaniniam pažeidimui, atsižvelgiant į ekonomines išlaidas. Lengviausiai remontuojami fasadai gauna 4 balus, ir taip mažėjimo tvarka.

1. Tinkuojams fasadas su dekoratyvinio tinko apdaila. (X1)
2. Tinkuojamas fasadas su plytelių apdaila. (X2)
3. Vėdinamas fasadas su plokštine apdaila. (X3)
4. Vėdinamas fasadas su apdailinių plytų mūro apdaila.(X4)

Gautus rezultatus sutalpinome į (žr. 3.6 lentę).

3.6 lentelė

Apklausos duodenys, dėl pastatų remonto sudetingumo

Eil Nr.	Fasadų tipams skirti balai			
	X1	X2	X3	X4
1	1	3	4	2
2	2	1	3	4
3	1	3	4	2
4	1	2	4	3
5	1	2	3	4
6	2	1	3	4
7	1	2	4	3
8	1	2	4	3
9	1	3	4	2
10	1	2	3	4
11	2	1	3	4
12	1	3	4	2
13	2	1	3	4
14	1	3	4	2
15	1	4	2	3
Balų suma	19	33	52	46
Balų vidurkis	1.27	2.20	3.47	3.07

Atlikus apklausą pastebėjome tokią tendenciją  $X3 > X4 > X2 > X1$

### 3.4. Atskirų sienų kriterijų lyginimas.

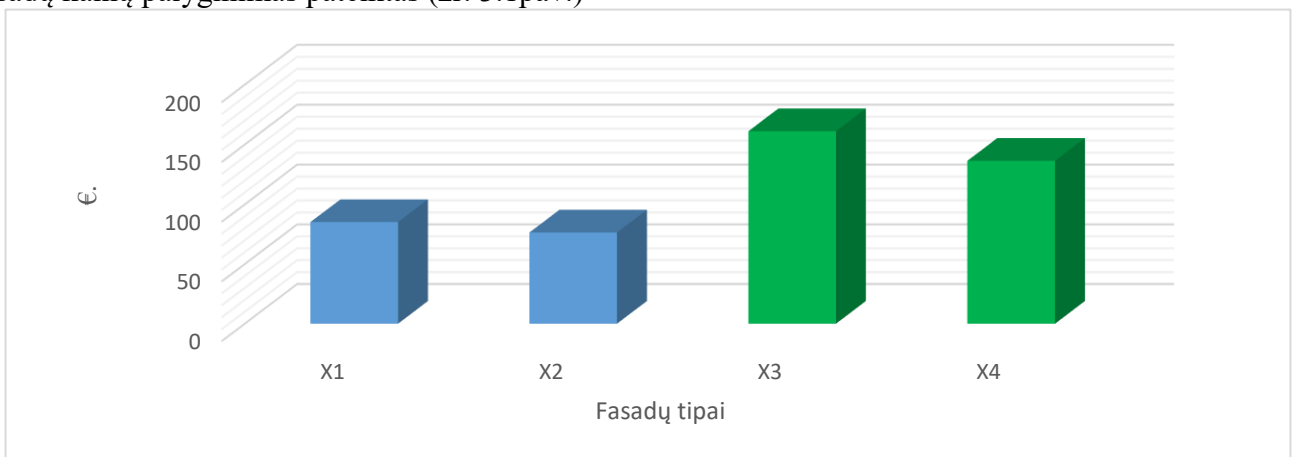
Norint įvertinti ar palyginti skirtingus fasadus, reikia įvertinti visus kriterijus. Kiekvienu konkrečiu atveju pavieniai kriterijai turi prioritetą eilėje, tad pirmiausia norime palyginti atskirus kriterijus, išskirti vėdinamų ir tinkuojamų fasadų plusus ir minusus. Surinktus duomenis pateikiame (žr. 3.6 lentelėje).

3.7 lentelė

Eil. NR.	Rodikliai	Max/Min	X1	X2	X3	X4
1.	Įrengimo kaina 1m <sup>2</sup> (€)	min	85,18	76,45	161,11	136,4
2.	Darbo laikas (val.) įrengiant 1 m <sup>2</sup>	min	2,5	3,6	2,5	2,2
3.	Darbo kategorija	min	3,5	3,5	3,6	4,0
4.	Apšiltinimo storis (cm)	min	34	29	54	45
5.	Darbų atlikimo galimybė atsižvelgiant į laiką (mėn.)	max	9	9	12	10
6.	Remonto sudėtingumas balais.	max	1,27	2,2	3,47	3,07

### Fasadų kaina.

Fasadų kainų palyginimas pateiktas (žr. 3.1pav.)



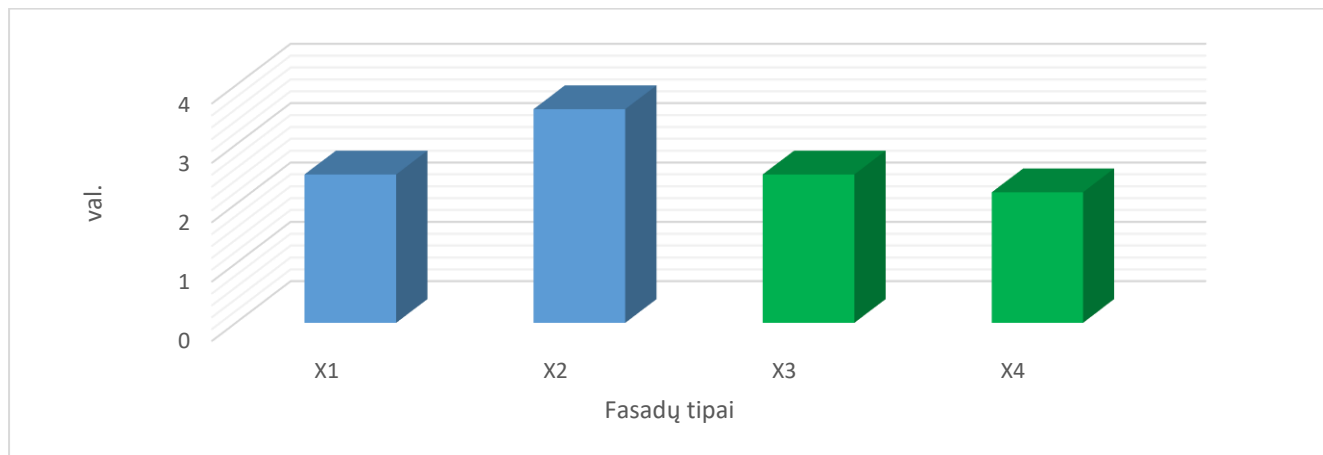
3.1pav. skirtingų fasadų kainų palyginimas

Diagramoje matyti, jog vėdinami fasadai yra brangesni nei tinkuojami, dėl naudojamų brangesnių medžiagų, ir storesnio apšiltinimo sluoksnio, kurio reikia atsiradus šilumos nuostoliams per metalinius laikiklius ir jungtis. Pigiausiai kainuojantis fasadas yra tinkuojamasis fasadas su neoporo užpildu ir plytelių apdaila.



### Darbo trukmė.

Žemiau pateikiamas darbo trukmės valandomis palyginimas, įrengiant 1m<sup>2</sup> fasado (žr. 3.2 pav.).

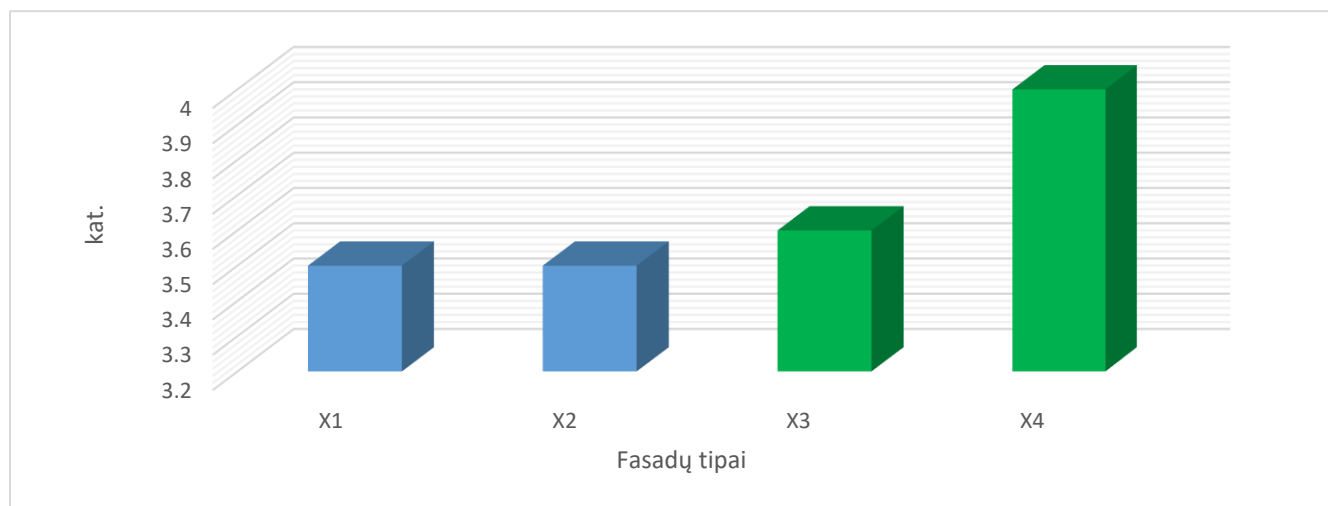


3.2 pav. šiltinimo mazgų įrengimo, darbo laiko palyginimas

Diagramoje matyti jog įrengti tinkuojamus fasadus užtrunka truputi ilgiau, nes naudojama nemažai mineralinių skiedinių, jie susideda iš nemažai sluoksnių. Kadangi vėdinami fasadai tvirtinami mechaniškai, nebūtinai idealiai lygus šiltinamosios medžiagos tvirtinimas, susitaupo nemažai laiko.

### Darbuotojų kategorijos

Žemiau pateikta darbuotojų kategorijų poreikio diagrama (žr. 3.3 pav.).

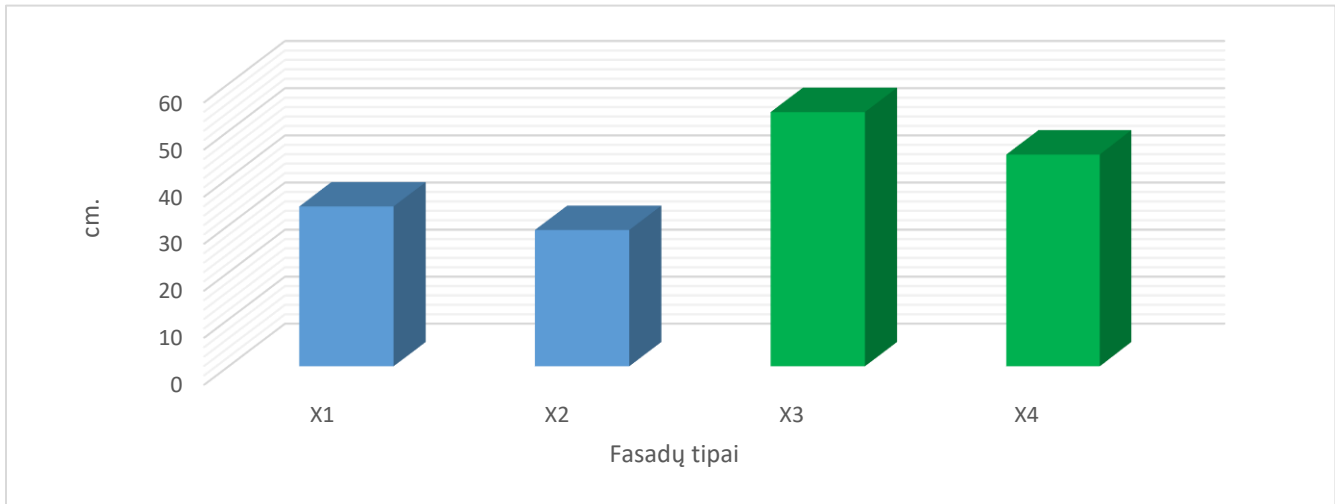


3.3 pav. darbuotojų kvalifikacijos kategorijų poreikis fasadams įrengti

Pagal 3.3pav. diagramą matome, jog vėdinamiems fasadams reikalingas aukštesnis kvalifikacijos laipsnis, kuris lemia sunkesnę darbuotojų paiešką, ir didesnius darbo įkainius.

### Apšiltinimo storis.

Žemiau pateikti fasadų mazgų apšiltinimo storiai (žr. 3.4 pav.).

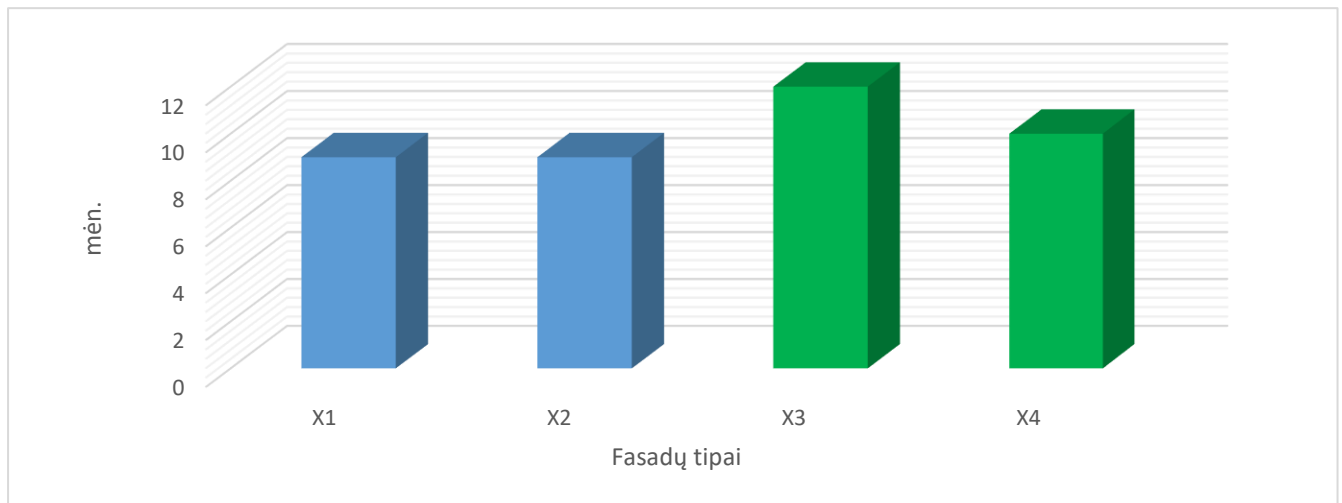


3.4pav. fasadų mazgų apšiltinimo storis (cm)

Pagal 3.4 pav. grafiką matome, jog tinkuojami fasadai yra plonesni, todėl tokiose vietose kaip renovuojamų pastatų balkonai, angokraščiai, kuriems yra svarbus apšiltinimo storis, tinkuojami fasadai įgauna prioritetą. Didesnis vėdinamų fasadų storis atsiranda, dėl papildomai naudojamų metalinių ryšių, ar metalinio karkaso, kuris padidina šilumos nuostolius per atitvaras. To pasekoje reikia didinti šiltinimo medžiagos storį. Prie vėdinamo fasado storio prisideda ir oro tarpas, skirtas vėdinti fasadą, ir šalinti jame susikaupusią drėgmę.

### Darbų sezoniškumas.

Žemiau pateikiamas darbų sezoniškumo palyginimo grafikas (žr. 3.5pav.).

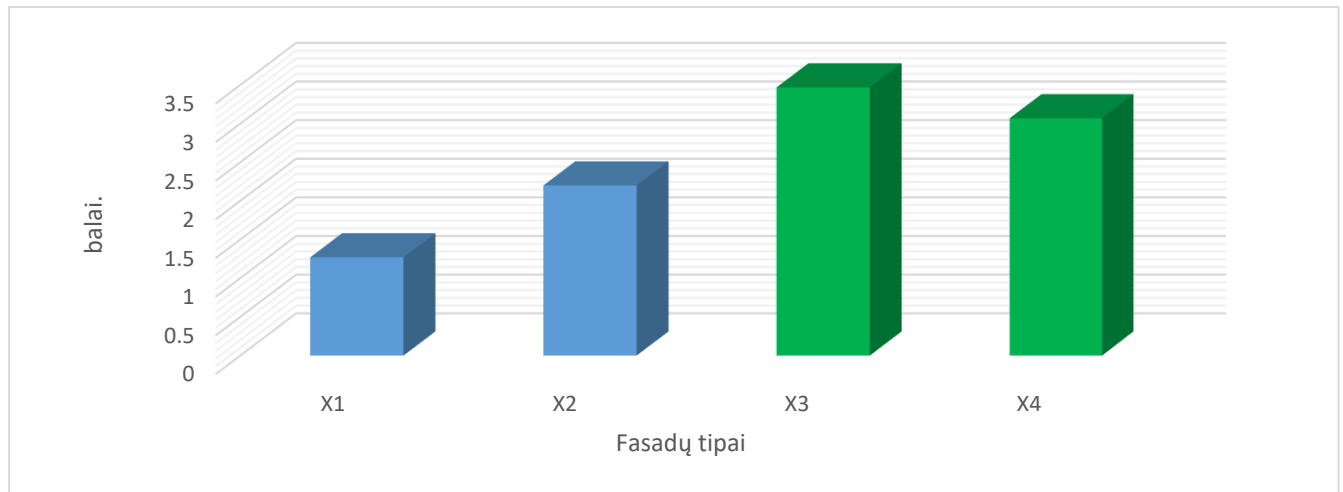


3.3 pav. fasadų įrengimo sezoniškumas (mėn.) per metus

Pagal 3.5 pav matome jog tinkuojamų fasadų įrengimo Lietuvoje laikotarpis yra devyni mėnesiai per metus. Taip yra dėl to, jog tinkuojamų fasadų technologijoje reikalinga teigiama oro temperatūra. Pagal Lietuvos meteorologų duomenis tris mėnesius per metus vidutinė mėnesio oro temperatūra yra neigiama. Tuo tarpu vėdinamus fasadus kuriuose nėra mūro darbų galima atlikti ištisus metus.

### **Remonto sudėtingumas.**

Žemiau pateikti remonto sudėtingumo vertinimo balais vidurkiai (žr. 3.6 pav.).



3.6pav remonto sudėtingumo balais palyginimas

Padarius apklausą ir išvedus vidurkius, galima pamatyti dėsningumą, jog ekspertų požiūriu vėdinami fasadai remontuojami lengviau. Tokius rezultatus gali lemti tai, jog vėdinamų fasadų apdaila nėra susijusi su apšiltinimo medžiagomis, todėl darbas vyksta greičiau. Vėdinamuose fasaduose galima keisti atskiras apdailos plokštes, tuo tarpu tinkuojamuose fasaduose su dekoratyvinio tinko apdaila, vizualiai matosi remonto vietos, todėl tenka perdažyti bent jau visą sieną. Prie viso to prisideda remonto sezoniškumas, norint taisyti tinkuojamus fasadus reikia teigiamos temperatūros.

Apžvelgę atskirus pateiktų fasadų kriterijus, galime susidaryti išvadas tik apie pavienes fasadų savybes. Labai retai renkama si fasadą pagal vieną savybę, nebent yra ekonominiai, laiko, darbuotojų trūkumo, geometrijos ir panašūs apribojimai. Norint išsirinkti patraukliausią ir skaičiavimais pagrįstą, optimaliausią fasadą, mažaaukščio gyvenamo namo statybai, geriausia yra atlikti daugiakriterinį vertinimą. Žinant kriterijų svorius (prioritetus), galima išsirinkti optimaliausią fasadų apšiltinimo sistemą.

### **3.5. Kriterijų reikšmingumo nustatymas**

Norint atlikti daugiakriterinį tyrimą labai svarbu apskaičiuoti kriterijų reikšmingumą (svorį). Kriterijaus reikšmingumas yra labai subjektyvus dalykas, todėl kiekvieno apklaustojo nuomonė gali

skirtis. Prieš atliekant daugiakriterinį vertinimą, yra atliekama ekspertų apklausa. Surinkti apklausos duomenys yra apskaičiuojami ir nustatomas kriterijų reikšmingumas. Norint apskaičiuoti pakankamai tikslius vertinimų reikšmingumus reikia naudotis statistiniais apklausos metodais.

Šiame magistriniame darbe buvo atlikta ekspertų apklausa. Jos metu buvo apklausta 15 ekspertų susijusių su statybine veikla. Apklausos metu buvo pateiktos anketos, kuriose prašyta pateikti savo nuomonę. Anketų pvz. pateikti 1 priede. Jose apklaustieji išsakė savo nuomonę apie kriterijų svorį.

Surinkti rezultatai pateikti (žr. 3.8 lentelėje). Vertinimo skalė sudaryta nuo 1 iki 6. Svarbiausias rodiklis įvertintas 6, toliau kriterijai vertinami mažėjimo tvarka. Pavyzdžiui, mažiau reikšmingas kriterijus vertinamas 5, ir taip iki menkiausią vertę turinčio kriterijaus kuris įvertintas 1 balu. Žemiau esančioje lentelėje pateikti apklausos rezultatai, balų suvestinės ir bendras balų skaičius.

3.8 lentelė

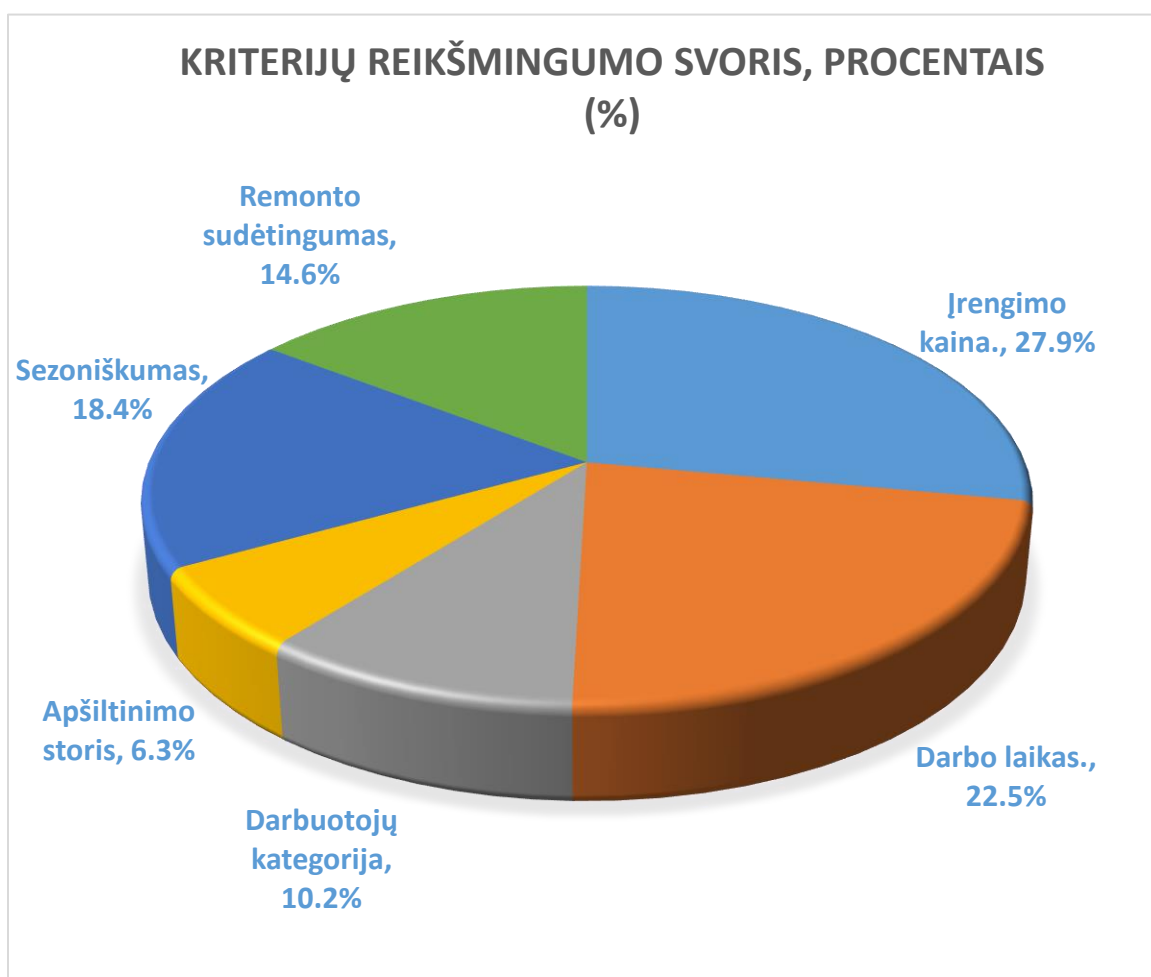
Ekspertų apklausos duomenys

	Ekspertai															
Krit.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	sum.
<b>x1</b>	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	6	<b>88</b>
<b>x2</b>	5	4	4	5	5	4	6	4	5	5	5	4	6	4	5	<b>71</b>
<b>x3</b>	3	1	3	2	1	1	3	3	2	1	3	1	3	3	2	<b>32</b>
<b>x4</b>	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	<b>20</b>
<b>x5</b>	4	5	5	4	3	3	2	5	4	3	4	5	2	5	4	<b>58</b>
<b>x6</b>	2	3	2	3	4	5	4	2	3	4	2	3	4	2	3	<b>46</b>
<b>315</b>																

Išnagrinėti duomenys buvo išanalizuoti, atliktas ekspertų nuomonių suderinamumo tyrimas, kuris pateiktas (žr. 3.6) poskyryje. Pagal gautus duomenis apskaičiuota jog ekspertų nuomonė suderinta, ir galima juos naudoti tolimesniam kriterijų svorių nustatymui.

Pagal surinktus duomenis nustatyti kriterijai ir pateikti (3.9) lentelėje. Pagal pateiktus duomenis galima matyti, jog pagal ekspertų nuomonę reikšmingiausias rodiklis yra 1m<sup>2</sup> fasado įrengimo kaina, jos svoris 27.9%. Antras pagal svarbumą kriterijus yra sienos apšiltinimo trukmė įrengiant vieną kvadratinį metrą sienos. Šio kriterijaus svoris yra 22.5%. Tokiam ekspertų sprendimui, dėl įrengimo kainos, galėjo turėti įtakos, dabartinė ekonominė padėtis šalyje, taip pat kaina atspindi ir keleta kitų kriteijų, todėl ji yra

gana reikšminga. Sienos apšiltinimo trukmės kriterijaus parinkimas reikšmingu, rodo jog ekspertai pastebi kvalifikuotos darbo jėgos trūkumą, ir šį kriterijų iškelia kaip gana reikšmingą. Kitus du mažiau reikšmingus kriterijus ekspertai pasirinko: darbų atlikimo sezoniškumą 18.4%, ir remonto sudėtingumą 14,6%. Šie kriterijai taipogi svarbūs įvertinus tai, jog Lietuvoje turime ir šaltąjį metų laikotarpį, ne ką mažiau svarbu ir remonto sudėtingumas įvykus mechaniniam pažeidimui. Mažiausiai reikšmingi ekspertams pasirodė reikalingos darbuotojų kategorijos 10.2% ir fasado storio 6.3% kriterijų svoriai. Tokį ekspertų sprendimą galėjo lemti tai, jog šie kriterijai aktualūs tik konkrečias atvejais, todėl yra mažiau reikšmingi.



3.7 pav. Kriterijų reikšmingumo procentais diagrama.

Eil. Nr.	Rodikliai	Kriterijus	Matavimo vnt.	Reikšmingumas %.
1.	x1	Įrengimo kaina	€/m <sup>2</sup>	27,9
2.	x2	Laikas, 1m <sup>2</sup> atlikti.	val.	22,5
3.	x3	Darbuotojų kategorija	kat.	10,2
4.	x4	Apšiltinimo storis	cm.	6,3
5.	x5	Sezoniškumas	mėn.	18,4
6.	x6	Remonto sudėtingumas	balai.	14,6

### 3.6. Ekspertų nuomonių suderinamumo skaičiavimas

Norėdami sužinoti pasirinktų kriterijų reikšmingumus atlikta 15 ekspertų apklausa, joje prašyta skirti balus kriterijams pagal jų nuomonę. Kriterijų vertinimo skalė parinkta nuo 6 iki 1. Reikšmingiausia kriterijui prašyta suteikti 6 balų įvertinimą, mažiau reikšmingam 5 ir taip iki 1, kuris reiškia mažiausiai reikšmingą kriterijų. Ekspertų nuomonių rezultatai pateikti (žr. 3.8 lentelėje). Taip pat šioje lentelėje pateikta: visų rodiklių rangų suma  $t_j$ , dispersijos analogas  $L$ , bendras vidurkis  $\bar{t}_j$ , ekspertų įvertinimo dispersija  $\sigma^2$  ir variacijos dydis  $\beta_j$ . Šie išvardinti dydžiai apskaičiuojami pagal žemiau pateiktas (žr. 3.1-3.5) formules.

Dispersinį konkordacijos koeficientą apibrėžė M. Kendallas (29). Koeficiento idėja susieta su kiekvieno rodiklio rangų suma  $t_j$  visų ekspertų atžvilgiu (30):

$$t_j = \sum_{k=1}^r t_{jk}, (j = 1, \dots, n) \quad (3.1)$$

čia:  $t_{jk}$  -tojo eksperto  $j$ -ojo kriterijaus įvertinimas;  $r$  - apklaustų ekspertų skaičius, tiksliau, su dydžių  $t_j$  nuokrypiu nuo bendro vidurkio  $t_j$  kvadratų suma  $L$  (dispersijos analogas):

$$L = \sum_{k=1}^r (t_{jk} - \bar{t}_j)^2. \quad (3.2)$$

Bendras vidurkis  $\bar{t}_j$  skaičiuojamas pagal (3.3) formulę.

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{k=1}^n t_k}{n} \quad (3.3)$$

Ekspertų įvertinimo dispersija, apskaičiuojama pagal (3.4) formulę.

$$\sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (t_{jk} - \bar{t}_j)^2. \quad (3.4)$$

Variacijos dydis, apskaičiuojamas pagal (3.5) formulę.

$$\beta_j = \frac{\sigma}{\bar{t}_j}. \quad (3.5)$$

3.10 lentelė

Apklauso rezultatai.

Ekspertai k= 1...15	Kriterijai t <sub>jk</sub> ; j=1...n; n=6					
	x1	x2	x3	x4	x5	x6
1.	6	5	3	1	4	2
2.	6	4	1	2	5	3
3.	6	4	3	1	5	2
4.	6	5	2	1	4	3
5.	6	5	1	2	3	4
6.	6	4	1	2	3	5
7.	5	6	3	1	2	4
8.	6	4	3	1	5	2
9.	6	5	2	1	4	3
10.	6	5	1	2	3	4
11.	6	5	3	1	4	2
12.	6	4	1	2	5	3
13.	5	6	3	1	2	4
14.	6	4	3	1	5	2
15.	6	5	2	1	4	3
t <sub>j</sub>	88	71	32	20	58	46
$\bar{t}_j$	5.87	4.73	2.13	1.33	3.87	3.07
L	1.73	6.93	11.73	3.33	15.73	12.93
$\sigma^2$	0.12	0.50	0.84	0.24	1.12	0.92
$\beta_j$	0.06	0.15	0.43	0.37	0.27	0.31

Sumos vidurkis, apskaičiuojamas pagal (3.6) formulę.

$$V = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} = \frac{1}{15} * 315 = 21 \quad (3.6)$$

Įvertinimo deviacija, apskaičiuojama pagal (3.7) formulę.

$$S = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{k=1}^r t_{jk} - V \right)^2 = 3151.5 \quad (3.7)$$

Konkordacijos koeficientas, apskaičiuojamas pagal (3.8) formulę.

$$W = \frac{12 \cdot S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 3151.5}{15^2(6^3 - 6)} = 0.8 \quad (3.8)$$

Konkordacijos koeficientas turi būti  $1 > W > 0$ . Kuo konkordacijos koeficientas arčiau vieneto, tuo apklaustųjų nuomonė labiau suderinta, kuo arčiau nulio - nuomonė labiau išsiskirianti.

Konkordacijos koeficiento svarba apskaičiuojama pagal (3.9) formulę.

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{r \cdot n \cdot (n + 1)} = \frac{12 \cdot 3151.5}{15 \cdot 6(6 + 1)} = 60.03 \quad (3.9)$$

Jeigu pagal (3.9) formulę gauta  $\chi^2$  reikšmė didesnė už  $\chi_{krit}^2$  reikšmę, priklausančią nuo laisvumo laipsnio  $\nu$  ir reikšmingumo lygmens  $\alpha$ , teigiama, kad ekspertų nuomonių suderinamumas yra pakankamas. Priešingu atveju, kai  $\chi^2 < \chi_{krit}^2$ , teigiama, kad ekspertų nuomonių suderinamumas nėra pakankamas (28).

Apskaičiuojamas nuomonių suderinamumas:

$$\alpha = 0.05 > \alpha_p = 1.2E - 11; \quad (3.10)$$

Išvada. Ekspertų nuomonė suderinta.

### 3.7. Daugiakriterinis vertinimas

#### 3.7.1. Pradiniai uždavinio duomenys.

Norėdami atlikti daugiakriterinį vertinimą, suformavome užduoties duomenų lentelę (3.11), pagal kurią buvo sprendžiami daugiakriteriniai uždaviniai. Norėdami gauti tikslesnes atsakymų vertes ir išvengti nelogiškų rezultatų, daugiakriterinį uždavinį išsprendėme trimis metodais. Uždaviniai spęsti SAW, COPRAS, TOPSIS metodais.



Pradiniai daugiakriterinio uždavinio duomenys.

Eil. NR.	Rodikliai	Max/Min	X1	X2	X3	X4	Reikšmingumas
1.	Įrengimo kaina 1m <sup>2</sup> (EUR)	min	85,18	76,45	161,11	136,4	0,279
2.	Darbo laikas (val.) įrengiant 1 m <sup>2</sup>	min	2,5	3,6	2,5	2,2	0,225
3.	Darbo kategorija	min	3,5	3,5	3,6	4,0	0,102
4.	Apšiltinimo storis (cm.)	min	34	29	54	45	0,063
5.	Darbų atlikimo galimybė atsižvelgiant į laiką (mėn.)	max	9	9	12	10	0,184
6.	Remonto sudetingumas balais.	max	1,27	2,2	3,47	3,07	0,146

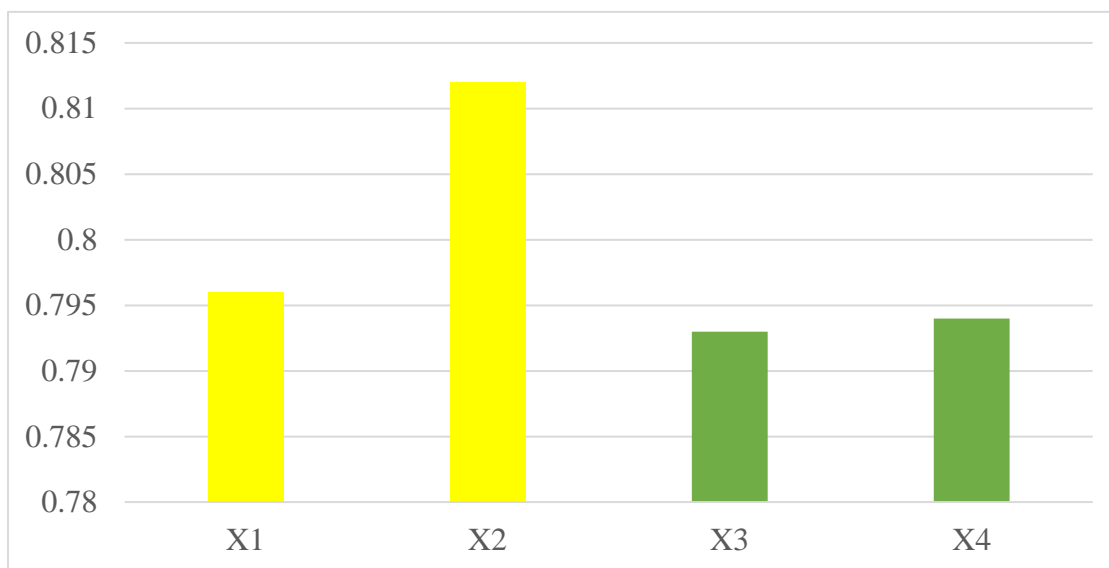
## 3.7.2. Daugiakriterinio tyrimo rezultatai.

Atlikus tyrimą pagal pradinius duomenis, su skirtingais metodais gauti šie rezultatai, pateikti (3.12; 3.13; 3.14) lentelėse.

SAW tyrimo metodo rezultatai.

Fasado tipas	Rodiklių verčių suma	Prioritetų eilutė
X1	0.796	<b>2</b>
X2	0.812	<b>1</b>
X3	0.793	<b>3</b>
X4	0.794	<b>4</b>

Atlikus daugiakriterinį tyrimą SAW metodu, matome jog pirmas vietas užima tinkuojamieji fasadai. Geriausia apskaičiuota alternatyva - tinkuojamas fasadas su neoporo šiltinimo medžiaga, ir plytelių apdaila.

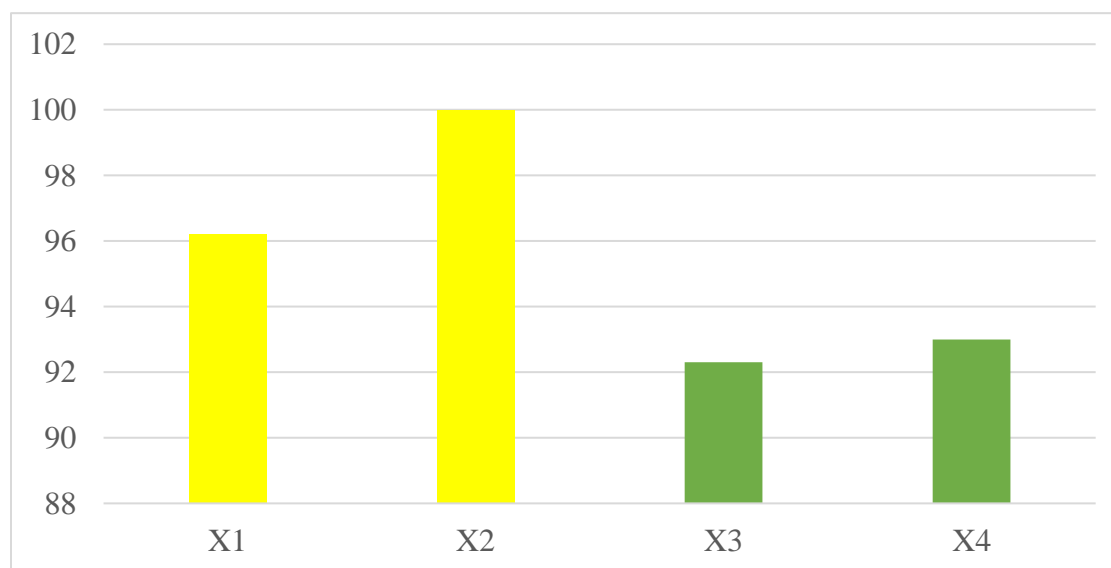


3.8pav. SAW daugiakriterinio metodo, rodiklių verčių sumos

3.13 lentelė

COPRAS tyrimo metodo rezultatai

Fasado tipas	Naudingumo laipsnis %	Prioritetų eilutė
X1	96.2	2
X2	100.0	1
X3	92.3	4
X4	93.0	3



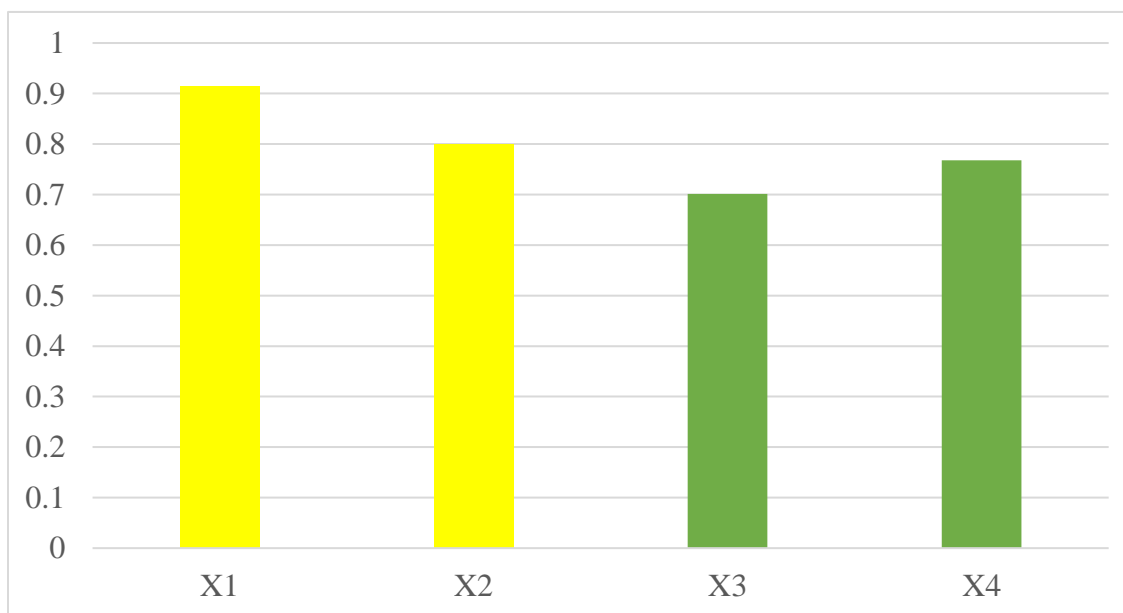
3.9pav. COPRAS daugiakriterinio metodo, rodiklių naudingumo laipsniai (proc.)

COPRAS daugiakriterinio tyrimo metodu išspręstas uždavinys parodė, jog prioritetinės sienų šiltinimo sistemos išlieką tinkuojami fasadai. Kadangi nėra didelio skirtumo tarp pateiktų tinkuojamų fasadų naudingumo laipsnių, tad pakeitus skaičiavimo metodą, pirmą vietą užėmė tinkuojamas fasadas su neoporos šiltinamąja medžiaga ir plytelių apdaila.

3.14lentelė

TOPSIS tyrimo metodo rezultatai

Fasado tipas	Santykiniai atstumai	Prioritetų eilutė
X1	0.914	1
X2	0.800	2
X3	0.701	4
X4	0.768	3



3.10pav. TOPSIS daugiakriterinio metodo, rodiklių santykiniai atstumai

TOPSIS daugiakriterinio tyrimo metodu išspręstas uždavinys parodė, jog, vėlgi, pirmas pozicijas užima tinkuojami fasadai. Pirmą vietą užėmė tinkuojamas fasadas su akmens vatos šiltinimo medžiaga, ir struktūrinio tinko apdaila. Vėdinami fasadai liko paskutinėse pozicijose.

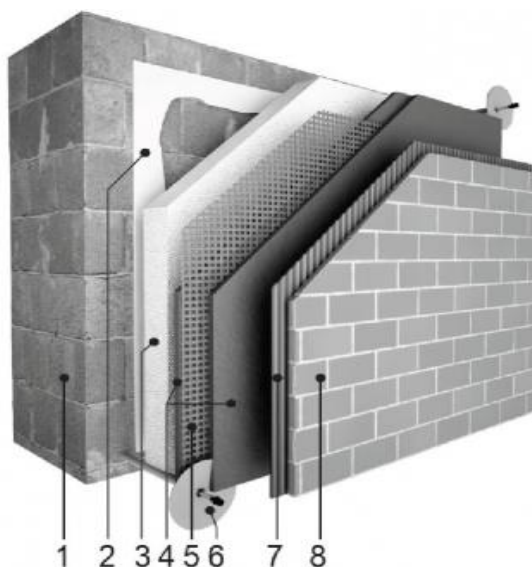
Atlikus daugiakriterinį tyrimą trimis metodais galime tiksliai išdėstyti fasadų sistemas pagal tinkamumą, ir suformuoti bendrą prioritetų (3.15) lentelę.

Daugiakriterinio tyrimo metodų rezultatų bendra suvestinė

Fasado tipas	SAW	COPRAS	TOPSIS	Galutinis vertinimas
X1	2	2	1	2
X2	1	1	2	1
X3	3	4	4	4
X4	4	3	3	3

### 3.7.3. Daugiakriterinio vertinimo išvados.

Apskaičiavę uždavinį trimis metodais ir išnagrinėję gautus rezultatus galime teigti, jog tinkuojami fasadai užima pirmąsias pozicijas bendroje vertinimo lentelėje. Tokius rezultatus gali lemti lyginant su vėdinamais fasadais, mažesnė 1 m<sup>2</sup> įrengimo kaina, reikalinga mažesnė darbuotojų kvalifikacijos kategorija, plonesni šiltinimo sistemos storiai. Gautiems rezultatams didelę dalį įtakos turėjo ir ekspertų nuomonė, pagal kurią buvo sudaryta apklausa ir nustatyti kriterijų svoriai.



3.11 pav. Tinkuojamas fasadas su plytelių apdaila (www.manonamai.lt)

Geriausiu pasirinkimu iš nagrinėjamų fasadų išrinktas tinkuojamas fasadas su neoporo šiltinimo medžiaga ir keraminių plytelių apdaila (3.11 pav.). Šis fasadas pasižymi nedidele kaina lyginant su vėdinamais fasadais, greitu fasado įrengimu. Šiam fasadui įrengti užtenka vidutinės darbuotojų kvalifikacijos, šiltinimo sistemos storis mažesnis už vėdinamų fasadų.

## IŠVADOS

1. Atlikus informacinių šaltinių apžvalgą, išanalizuoti Europos šalių pasiekimai ir planai, energijos taupimo srityje. Apžvelgti tinkuojamų ir vėdinamų fasadų įrengimo ypatumai, bei jų plusai ir minusai.
2. Antrajame skyriuje apžvelgti tyrimui atlikti naudoti SAW, TOPSIS, COPRAS daugiakriteriniai vertinimo metodai. Šie metodai padeda rasti tinkamiausią variantą, kai nagrinėjami objektai turi bent kelis kriterijus. Taip pat naudota sienų varžų skaičiavimo metodika.
3. Atlikus tyrimą, ir išnaginėjus tinkuojamų ir vėdinamų fasadų sistemas, nustatyti išskirtiniai šių sistemų bruožai. Įvertinus šešis kriterijus, matomi aiškūs skirtumai tarp lyginamų sistemų.
  - **Fasadų kaina.** Tinkuojami fasadai 1.84 karto pigesnis už vėdinamus.
  - **Darbų atlikimo trukmė.** Tinkuojamiems fasadams įrengti reikia truputi daugiau laiko.
  - **Darbuotojų kategorijos.** Montuoti vėdinamų fasadų sistemas reikalingi aukštesnės kvalifikacijos darbuotojai, tai lemia didesnes išlaidas ir sudėtingesnę darbuotojų paiešką.
  - **Fasadų storis.** Vėdinami fasadai vidutiniškai 18cm. storesni už tinkuojamus.
  - **Įrengimo sezoniškumas.** Žiemą tinkuojamus fasadus įrenginėti sudėtinga ir brangu, todėl tokia praktika taikoma gan retai. Tuo tarpu vėdinami fasadai mechaniškai montuojami ištisus metus.
  - **Remonto sudėtingumas.** nustatyta, jog paprasčiau remontuojami vėdinami fasadai.
4. Atlikus 15 ekspertų apklausą nustatyti kriterijų reikšmingumai, patikrintas apklaustųjų nuomonių suderinamumas. Ekspertai prioritetus teikia fasadų kainai-27,9% ir darbų atlikimo laikui 22,5%, šiek tiek mažiau aktualesni jiems pasirodė darbų atlikimo sezoniškumas 18,4%, remonto sudėtingumas 14,6%. Mažiausiai reikšmingi kriterijai, darbuotojų kategorija 10,2% ir fasadų sistemų storis 6,3%.
5. Atliktas daugiakriterinis tyrimas SAW, TOPSIS, COPRAS daugiakriteriniais vertinimo metodais. Skaičiuojant trimis metodais gauti rezultatai, pagal kuriuos nustatomos prioritetinės fasadų šiltinimo sistemos. Pirmoje vietoje atsidadė tinkuojamo fasado sistema, su neoporo šiltinamąja medžiaga ir plytelių apdaila. Antrąją vietą taip pat užima tinkuojamasis fasadas. Tad galime teigti, jog +A klasės energinio efektyvumo mažaaukščių namų statyboje, racionalesnės sienų šiltinimo sistemos yra tinkuojami fasadai.
6. Tyrimas atliktas naudojant pradines prielaidas. Kadangi yra kriterijų kurie nuolat kinta, pasikeitus pradiniais duomenimis tyrimo rezultatai gali kisti.
7. Kad tyrimas nepraratus savo vertės sukurtas skaičiavimo įrankis „Energos“. Programoje pakeitus kriterijų reikšmes, perskaičiuojami duomenys, ir randama efektyviausia fasado šiltinimo sistema.

## LITERATŪRA IR INFORMACINIAI ŠALTINIAI

1. Energijos suvartojimo duomenys. [interaktyvus] [žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?eventId=143103>
2. European Commission, 2011b European Commission Energy Roadmap 2050. COM 885/2, Brussels (2011) [interaktyvus][žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu>
3. Hernandez, P.; Kenny. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB), Energy and Buildings [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.001>
4. Statens offentliga utredningar, Vägen till ett energieffektivare Sverige: [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per: <http://www.regeringen.se/49bbaf/contentassets/ac6bb0e9e1a74e4998a0cf1c815fdc68/vagen-till-ett-energieffektivare-sverige-hela-dokumentet-sou-2008110>
5. Swedish Energy Agency, Energy and Energy 2015. Swedish Energy Agency: Eskilstuna. [interaktyvus][žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per: <http://www.energimyndigheten.se/>
6. Institute for Diversification and Energy Savings (IDAE). Plan for Energy Saving and Efficiency 2011-2020. 2nd National Action Plan for Energy Efficiency in Spain. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per: <http://www.idae.es>
7. Directive 2002/91/CE of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. . [interaktyvus]. 2002 [žiūrėta 2017-10-15]. Prieiga per: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0091>
8. Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Raslanas, S. Evaluation of investments into housing renovation, International Journal of Strategic Property Management. Vilnius: Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, 2004, 8(3): 177–190. ISSN: 1648-715X
9. Sasnauskaitė, V.; Užšilaičytė, L.; Rogoža, A. A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study, International Journal of Strategic Property Management. Vilnius: Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, 2007, 11(3): 143–155. ISSN: 1648-715X
10. Carlos A. D. Torres, Antonio D. Delgado „Thermodynamic Analysis of Ventilated Façades under Operating Conditions in Southern Spain” International Scholarly and Scientific Research & Innovation

7(11) 2013. Prieiga per: <http://waset.org/publications/9996568/thermodynamic-analysis-of-ventilated-fa%C3%A7ades-under-operating-conditions-in-southern-spain>

11. C. Suarez, P. Joubert, J.L. Molina, F.J. SanchezcaHeat transfer and mass flow correlations for ventilated facades Energy and Buildings, 43 (2011), pp. 3696-3703. Prieiga per: <https://waset.org/Publication/thermal-behavior-of-a-ventilated-fa%C3%A7ade-using-perforated-ceramic-bricks/10002536>

12. F. Patania, A. Gagliano, F. Nocera, A. Ferlito, A. GalesiThermofluid-dynamic analysis of ventilated facades Energy and Buildings, 42 (2010), pp. 1148-1155. Prieiga per: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43738060/building>

13. Sienų renovacija su vėdinamais fasadais [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2017-10-20]. Prieiga per: <http://www.plantas.lt/lt/m/renovacijai/sienu-renovacija-su-vedinamais-fasadais/>

14. Vėdinamų fasadų privalumai ir trūkumai [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2017-10-20]. Prieiga per: [https://www.ekspertai.lt/ventiluojami\\_fasadai/straipsniai/vedinamu\\_fasadu\\_privalumai\\_ir\\_trukumai](https://www.ekspertai.lt/ventiluojami_fasadai/straipsniai/vedinamu_fasadu_privalumai_ir_trukumai)

15. Tinkuojamo ir vėdinamo fasado palyginimas [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2017-10-20]. Prieiga per: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/258/1/0/1/article/16278/tinkuotas-ir-vedinamas-fasadas-palyginkime>

16. Fasadų apdaila, šiltinimas [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2017-10-20]. Prieiga per: <http://www.cesada.lt/fasadu-apdaila-siltinimas/>

17. A.M. Papadopoulos, State of the art in thermal insulation materials and aimsfor future developments, Energy and Buildings 37 (2005) 77–86. Prieiga per: [http://www.geolan.gr/sappek/docs/publications/article\\_8.pdf](http://www.geolan.gr/sappek/docs/publications/article_8.pdf)

18. Putų polistereno plokščių montavimo instrukcija [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2017-10-28]. Prieiga per: <http://etnaeps.lt/lt/kaip-taisyklingai-klijuoti-putu-polistireno-plokstes/>

19. Kompiuterinis modeliavimas: metodinė medžiaga / T. Balvočienė, A. Butkienė - Švietimo informacinių technologijų centras [interaktyvus]. 2001 [žiūrėta 2017-10-26]. Prieiga per: <http://mokslas.ipc.lt:8000/Sviesa/Md.nsf/0/bbbeb15f51b0aad842256b210024129d?OpenDocument>

20. L. Ustinovičius G. Ambrasas, J. Alchimovienė, Č. Ignatavičius, T. Vilutienė. STATINIŲ EKSPLOATAVIMAS IR ATNAUJINIMAS. Mokomoji knyga Vilnius „Technika“ 2012 ISBN 978-609-457-350-7
21. E. K. Zavadskas, F. Peldschus, A. Kaklauskas. Multiple criteria evaluation of projects in construction. Vilnius: Technika, 1994. ISBN 9986-05-046-4
22. E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, N. Banaitienė. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. Vilnius: Technika, 2001. ISBN 9986-05-441-9
23. Statybų techninis reglamentas STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [interaktyvus] [žiūrėta 2017-10-26]. Prieiga per: <http://www.am.lt/VI/index.php#a/16982>
24. Aviža, Donatas. Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinė selektonovacija: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2016. ISBN 978-609-457-911-0
25. Simanavičienė, R. Kiekybinių daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2011. ISBN 978-609-457-055-1
26. Komarovska, A. Teritorijų planavimo proceso daugiakriteris vertinimas investiciniu aspektu: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2013. ISBN 978-609-457-616-4
27. C. L. Hwang, K. Yoon. Multiple Attribute Decision Making, in Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer-Verlag, Berlin, 1981. Prieiga per: <http://www.worldcat.org/title/multiple-attribute-decision-making-methods-and-applications-a-state-of-the-art-survey/oclc/7277857/editions?referer=di&editionsView=true>
28. M. Kendall. Correlation Methods -Rank Hafner Publishing House: New York, 1955.
29. Meteorologiniai duomenys. [interaktyvus] [žiūrėta 2017-11-09]. Prieiga per: <http://old.meteo.lt/klim.lt/klimatas.php>
30. Ginevicius and V. Podvezko. Objective and subjective approaches determining the criterion weights in multicriteria models. Transp. Telec., 6, 2005.
31. Fasadų šiltinimo mazgų sistemos. [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2017-10-28]. Prieiga per: <http://www.paroc.lt/sprendimai/statybine-izoliacija/sienos/tinkuojamu-fasadu-sistemos->



## PRIEDAI

Priedas Nr.1

Ekspertų apklausos anketa.

**1. Užduotis.** Išdekiokite balus nuo 1 iki 4 prie pateiktų fasadų, kurie jūsų nuomone lengviausiai taisomi įvykus mechaniniam pažeidimui, atsižvelgiant ir į ekonomines išlaidas. Lengviausiai remontuojami fasadai gauna 4 balus, ir taip mažėjimo tvarka.

Fasado tipas	Skirti balai
1. Tinkuojams fasadas su dekoratyvinio tinko apdaila. (X1)	
2. Tinkuojamas fasadas su plytelių apdaila. (X2)	
3. Vėdinams fasadas su plokštine apdaila. (X3)	
4. Vėdinamas fasadas su apdailinių plytų mūro apdaila.(X4)	

**2. Užduotis.** Įvertinkite pateiktų kriterijų svarbą fasadų šiltinime pagal pateiktą kriterijų skalę. Vertinimo skalė sudaryta nuo 1 iki 6. svarbiausias rodiklis įvertintas 6, po to kriterijai vertinami mažėjimo tvarka. Pavyzdžiui mažiau reikšmingas kriterijus vertinamas 5, ir taip iki menkiausią vertę turinčio kriterijaus kuris įvertintas 1 balu.

Kriterijai	balai.
Įrengimo kaina	
Laikas, 1m <sup>2</sup> atlikti.	
Darbuotojų kategorija	
Apšiltinimo storis	
Sezoniškumas	
Remonto sudėtingumas	

.....  
(Vardas, pavardė, parašas )

Programos „Energos“ langas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	<b>1. VEDAMI PRADINIAI DUOMENYS</b>											
2		<b>FASADŲ TIPAI</b>	<b>Rodikliai</b>									
3			<b>Įrengimo kaina 1m<sup>2</sup> EUR</b>	<b>Darbo laikas val. įrengiant</b>	<b>Darbo katego rija</b>	<b>Apšilti nimo storis cm.</b>	<b>Sezoni škuma s</b>	<b>Remo nto sudetin gumas</b>				
4			x1	85.18	2.500	3.500	34	9	1.27			
5			x2	76.450	3.600	3.500	29	9	2.2			
6			x3	161.100	2.500	3.600	54	12	3.47			
7			x4	136.4	2.2	4	45	10	3.07			
8				min.	min.	min.	min.	max.	max.			
9			<b>Rodiklių reikšmingumai, q<sub>i</sub></b>	0.279	0.225	0.102	0.063	0.184	0.146			
10												
11		<b>SAW metodar</b>	<b>COPRAS metodar</b>	<b>TOPSIS metodar</b>								
12		<b>FASADŲ TIPAI</b>	<b>Rodiklių verčių suma</b>	<b>Naudinguma laipsnis %/100</b>	<b>Santikiniai atstumai iki idealur taško.</b>							
13		x1	0.796	0.962	0.914							
14		x2	0.812	1.000	0.800							
15		x3	0.793	0.923	0.701							
16		x4	0.794	0.930	0.768							
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												

**Prioritetų diagrama**

SAW   COPRAS   TOPSIS   **ENERGOS**   +