



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

**Aurimas Slivka**

**Mažaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo  
pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo  
kriterijus tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Lekt. dr. Danas Garuckas

**PANEVĖŽYS, 2017**

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

**MAŽAAUKŠČIŲ NAMŲ STATYBINIŲ KONSTRUKCINIŲ  
SPRENDINIŲ TAIKYMO PAGAL ENERGETINIO  
NAUDINGUMO, EKONOMIŠKUMO IR EKOLOGIŠKUMO  
KRITERIJUS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Statyba (kodas 621J80001)

**Vadovas**

(parašas) Lekt. dr. Danas Garuckas  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Donatas Aviža  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Aurimas Slivka  
(data)

**PANEVĖŽYS, 2017**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

(Fakultetas)

**AURIMAS SLIVKA**

(Studento vardas, pavardė)

**Statyba (kodas 621J80001)**

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Mažaaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo  
pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m.      Gruodžio      9 d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Aurimo Slivkos**, baigiamasis projektas tema „Mažaaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus 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:** *Aurimui Slivkai* Grupė *PMS-5*

**1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba: Mažaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus tyrimas

Anglų kalba:

*Analysis of building construction solution applicability for low-rise buildings on the basis of energy performance, cost-effectiveness and ecological criteria*

Patvirtinta 2016 m. spalio mėn. 17 d. dekanų potvarkiu Nr. ST17-F-13-26

**2. Darbo tikslas:**

*Išanalizuoti mažaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymą pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

Baigiamasis magistro darbas turi atitikti visus reikalavimus.

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

1. Tyrimo objektas ir problemos aptarimas: pateikti mokslinės literatūros analizę, susijusią su nagrinėjama sritimi.
2. Tyrimo metodikos parinkimas: parinkti problemos sprendimui tinkamus metodus ir juos aprašyti.
3. Analitinis tyrimas, jo eiga, rezultatai: parinkti konstrukcijų alternatyvas, parinkti kriterijus alternatyvų vertinimui, nustatyti jų reikšmingumą, atlikti analizę naudojant daugiakriterinius tyrimo metodus ir pateikti tyrimo rezultatus.

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

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

2017-01-11

*(data)*

Užduotį gavau:

2016-09-02

*(data)*

\_\_\_\_\_ *(studento vardas, pavardė, parašas)*

Vadovas:

2016-09-02

*(data)*

\_\_\_\_\_ *(pareigos, vardas, pavardė, parašas)*

Slivka, Aurimas. Mažaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Danas Garuckas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Statyba.

Reikšminiai žodžiai: *statyba, statybinės konstrukcijos, mažaaukščiai namai, daugiakriterinė analizė, TOPSIS, ARAS, COPRAS.*

Panevėžys, 2017, 62 p.

## SANTRAUKA

*Darbe pateikiama metodika, leidžianti išanalizuoti skirtingas mažaaukščio gyvenamojo namo pagrindines statybines konstrukcijas (pamatus, sienas, stogą, langus) ir atrinkti geriausiai atitinkančias pasirinktus kriterijus. Tyrimą atlikti naudojami trys daugiakriteriniai metodai – COPRAS, TOPSIS ir ARAS. Šių metodų pagrindu sudaryta nagrinėjamos problemos sprendimo metodika. Atliekant tyrimą išskirti penki pagrindiniai vertinimo rodikliai – šilumos perdavimo koeficientas, medžiagų kaina, ekologiškumas, tvirtumas ir ilgaamžiškumas. Ekspertų vertinimas ir skaičiavimų rezultatai rodo, kad trys pirmieji išskirti kaip svarbiausi. Išspręstas praktinis pavyzdys – pateiktas mažaaukščio gyvenamojo namo modelis su geriausiai kriterijus atitinkančiomis pagrindinėmis statybinėmis konstrukcijomis.*

Slivka, Aurimas. ANALYSIS OF BUILDING CONSTRUCTION SOLUTION APPLICABILITY FOR LOW-RISE BUILDINGS ON THE BASIS OF ENERGY PERFORMANCE, COST-EFFECTIVENESS AND ECOLOGICAL CRITERIA: *Master's thesis in construction engineering / supervisor lekt. dr. Danas Garuckas. The Faculty of Technologies and business, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Construction engineering.

Key words: construction engineering, building construction, low-rise buildings, multicriteria analyse, COPRAS, ARAS, TOPSIS.

Panevėžys, 2017, 62 p.

## SUMMARY

*This paper presents a methodology allowing analysis of different main structures (foundations, walls, roof, windows) for low-rise residential building and select the best match according to the selected criteria. The study was carried out using three multicriteria decision making methods – COPRAS, TOPSIS and ARAS. The analysis methodology is based on these three techniques. Main constructions are evaluated according to five key criterias - heat transfer coefficient, material cost, environmental friendliness, durability and longevity. Expert evaluation and calculations results show that the first three are identified as the most important. The issue of a practical example - the low-rise residential building model with the main building structures best corresponding to the selected criteria.*

## TURINYS

ĮVADAS .....	8
1. TYRIMO OBJEKTO IR PROBLEMOS APTARIMAS .....	10
1.1. Statybinių konstrukcijų teoriniai aspektai.....	10
1.2. Statybinių konstrukcinių elementų alternatyvų analizė .....	11
1.2.1. Pagrindai ir pamatai.....	11
1.2.2. Sienos .....	13
1.2.3. Stogas .....	15
1.2.4. Langai .....	16
2. TYRIMO METODIKA .....	17
2.1. Tyrimo metodo parinkimas.....	17
2.2. Daugiakriterinio vertinimo metodas COPRAS.....	19
2.3. Daugiakriterinio vertinimo metodas TOPSIS .....	21
2.4. Daugiakriterinis vertinimo metodas ARAS .....	24
3. ANALITINIS TYRIMAS: EIGA IR REZULTATAI.....	26
3.1. Alternatyvų pasirinkimas .....	26
3.2. Pagrindinių kriterijų atrinkimas .....	27
3.3. Kriterijų reikšmingumo nustatymas.....	31
3.4. Ekspertų įverčių suderinamumas .....	33
3.4.1. Dispersinis konkordacijos koeficientas .....	33
3.4.2. Ekspertų įvertinimo suderinamumo tyrimas .....	35
3.5. Pradiniai uždavinio duomenys .....	37
3.6. Sienų alternatyvų analizė pagal atskirus kriterijus.....	38
3.7. Langų analizė pagal skirtingus kriterijus .....	46
3.8. Stogų dangos analizė pagal skirtingus kriterijus.....	51
3.9. Pamatų parinkimas pagal vertinimo kriterijus .....	55
3.10. Mažaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių parinkimas pagal gautus analizės duomenis.....	56
IŠVADOS.....	58
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	60
PRIEDAI .....	63

## IVADAS

**Darbo aktualumas ir problematika.** Statyba yra viena svarbiausių šalies ūkinės veiklos sričių, užimančių reikšmingą vietą žmonių ir visos valstybės socialiniame ir ekonominiame gyvenime. Įvairių paskirčių statyba buvo ir yra valstybės ekonominio gyvenimo atspindys. Pažvelgus šimtmečius atgal matome, kad pastato formas, statybines konstrukcijas lemdavo turimi statybiniai ištekliai ir technologijos, kurioms tobulėjant, keitėsi ir statybos tendencijos bei atsirado vis daugiau galimybių ir alternatyvų statyboms. Statybos sektorius vystosi labai stipriai, nuolatos atsiranda tiek statybinių medžiagų naujovių, tiek vis modernesnių statybinių konstrukcinių elementų, tiek naujų technologijų. Visa tai sukuria sąlygas statyti skirtingus atitinkančius statinius, kurie geriausiai atitiktų užsakovo norus.

Lietuvoje pastarąjį dešimtmetį pastatyta daug mažaaukščių gyvenamųjų namų, kuriuose skiriasi energijos sunaudojimas, mikroklimato sąlygos viduje, estetika, kaina bei daugelis kitų savybių. Jos priklauso nuo visų pastato konstrukcinių elementų, o ypač nuo pagrindinių, tokių kaip sienos, pamatai, stogas, langai. Alternatyvų, kurias gali pasirinkti statytojas, yra labai įvairių. Visas šias alternatyvas analizuoja tiek Lietuvos, tiek užsienio šalių mokslininkai. Tos pačios paskirties konstrukcijos gali būti pagamintos iš įvairių medžiagų. Dėl statybinių medžiagų ir konstrukcijų įvairovės, besiplečiančios nekilnojamojo turto rinkos ir žmonių poreikių reikalingi nauji konstrukciniai sprendimai ir jų vertinimo metodai, geresnis pastatų ir jų konstrukcijų būsenos pažinimas. Tačiau būtent tokia konstrukcinių elementų įvairovė leidžia kiekvienam užsakovui, architektui, inžinieriui nuolatos gilinti žinias bei skirtingiems poreikiams parinkti skirtingus racionaliausius statybinių konstrukcijų sprendinius.

Praktikoje dažnai sprendimą priimančiam asmeniui iš keleto pasiūlytų variantų, galimų veiklos alternatyvų reikia pasirinkti geriausią. Nė vieno iš jų neįmanoma aprašyti ir išreikšti vienu dydžiu, rodikliu, nes sunku išskirti tokią jo savybę, kuri jungtų reiškinio visus esminius aspektus. Pastaruoju metu socialinių ir ekonominių reiškinų, sudėtingų procesų kiekybiniam vertinimui vis plačiau taikomi daugiakriteriniai metodai. Pasaulyje sukurta dešimtys daugiakriterinių metodų, kurie vienas nuo kito skiriasi savo logika, sudėtingumu, specifika, ypatumu. Nėra geriausio daugiakriterinio metodo. Vertinant sudėtingą procesą geriausia kartu taikyti keletą metodų, analizuoti vertinimų nesutapimo priežastį ir priimant sprendimą taikyti rezultatų vidurkį.

**Darbo objektas** – mažaaukščių gyvenamųjų namų pagrindinių statybinių konstrukcijų – pamatai, sienos, stogas, langai – visuma.

**Tikslas** – atlikti mažaaukščių gyvenamųjų namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo tyrimą remiantis energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijais.

**Darbo uždaviniai:**



- 1) Išanalizuoti įvairių šalių mokslinę literatūrą, susijusią su šio darbo tyrimo sritimi;
- 2) sudaryti racionalių kriterijų sistemą, skirtą mažaaukščių gyvenamųjų namų statybinių konstrukcinių sprendinių taikymo vertinimui;
- 3) atrinkti ir pritaikyti tinkamiausius daugiakriterinius metodus tyrimo problemai spręsti;
- 4) išanalizuoti pagrindines pagrindinių statybinių konstrukcijų alternatyvas;
- 5) sumodeliuoti ir pateikti racionaliausią mažaaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių derinį, kuris geriausiai atitiktų atskirus kriterijus – energetinį naudingumą, ekonomiškumą ir ekologiškumą.

#### **Tyrimo metodai:**

Tyrimo metodikos parinkimas grindžiamas šios srities publikacijų analize. Tyrimo metu buvo kompleksiskai naudojami įvairūs tyrimo metodai - analizės metodas, lyginimo metodas, daugiakriteriniai metodai COPRAS, TOPSIS, ARAS, skirti duomenims apdoroti ir sudėtingiems uždaviniams spręsti.

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

Pagal atliktą tyrimą ir modeliavimo duomenis galima parinkti tokias statybines konstrukcijas, kurios geriausiai atitiktų skirtingus kriterijus, keliamus mažaaukščių gyvenamųjų namų statyboje. Tokiais rezultatais galima pasinaudoti naujiems statiniams kurti.

**Darbo struktūra:** magistro darbą sudaro įvadas, trys skyriai, išvados ir literatūros sąrašas. Darbo apimtis - 62 puslapis, 5 priedai, tekste panaudotos 43 formulės, 17 lentelių, 19 paveikslų, 39 literatūros šaltiniai.

# 1. TYRIMO OBJEKTO IR PROBLEMOS APTARIMAS

## 1.1. Statybinių konstrukcijų teoriniai aspektai

Šiuolaikinė statyba yra viena sudėtingiausių ūkio šakų. Nuolat atsiranda naujų technologinių įrenginių, naujų medžiagų, kurias būtina kuo operatyviau ir racionaliau panaudoti gaminant gaminius, konstrukcijas, statant pastatus ir inžinerinius statinius. Taip pat vis didėja architektūriniai, konstrukciniai ir kokybės reikalavimai [1]. Lietuvoje pastarąjį dešimtmetį pastatyta daug mažaukščių gyvenamųjų namų, kuriuose skiriasi energijos sunaudojimas, mikroklimato sąlygos viduje, estetika, kaina bei daugelis kitų savybių. Jos priklauso nuo visų pastato konstrukcinių elementų, o ypač nuo pagrindinių, tokių kaip sienos, pamatai, stogas, langai. Alternatyvų, kurias gali pasirinkti statytojas, yra labai įvairių. Visas šias alternatyvas analizuoja tiek Lietuvos, tiek užsienio šalių mokslininkai. Šiame skyriuje pateikta esančių duomenų analizė apie pamatų, sienų, stogo, langų pagrindinius teorinius aspektus, jų klasifikaciją, panašumus bei skirtumus.

Pamatų, sienų, stogo, langų konstrukcijas daugiausiai analizuoja A. Zavackas, A. Karablikovas, P. Malinauskas, P. Mikša, H. Nakas, R. Sakalauskas bei kiti, kurie savo knygose pateikia pagrindinius šių konstrukcinių elementų rodiklius, klasifikaciją, technologijas. Norint išsamiai aptarti visus rodiklius, reikalinga ir užsienio mokslininkų patirtis, todėl atliekant analizę remiamasi tokiais autoriais kaip A. J. Macdonald, A. Wilkes ir kt.

Šiame magistro darbe analizuojamos mažaukščių gyvenamųjų pastatų konstrukciniai elementai. Civiliniai pastatai būna mažaukščiai (iki 3 aukštų), daugiaaukščiai (4-9 aukštų), labai aukšti (10-25 aukštų) ir aukštybiniai (aukštesni kaip 25 aukštų), pagal paskirtį – visuomeniniai pastatai ir gyvenamieji namai [1].

Tos pačios paskirties konstrukcijos gali būti pagamintos iš įvairių medžiagų: tiek medinės, mūrinės, plieninės ir kitokios metalinės, betoninės ir gelžbetoninės, plastikinės, kompozicinės. Dėl statybinių medžiagų ir konstrukcijų įvairovės, besiplečiančios nekilnojamojo turto rinkos ir žmonių poreikių reikalingi nauji konstrukciniai sprendimai ir jų vertinimo metodai, geresnis pastatų ir jų konstrukcijų būsenos pažinimas [2]. Tačiau būtent tokia konstrukcinių elementų įvairovė leidžia kiekvienam užsakovui, architektui, inžinieriui nuolatos gilinti žinias bei skirtingiems poreikiams parinkti skirtingus racionaliausius statybinių konstrukcijų sprendinius. Statybinių konstrukcijų ir medžiagų efektyvumą gana paprasta įrodyti eksperimentiniais tyrimais. Daug sunkiau įrodyti naujų koncepcijų, projektų efektyvumą statybos technologijos, organizavimo ir valdymo srityje. Tokiems projektams eksperimentiškai patikrinti reikia didelių išlaidų ir daug laiko, o jei pasirinkti variantai neracionalūs, neišvengiama didelių nuostolių. Palankesnės sąlygos projektams įgyvendinti

sudaromos tobulinant esamus ir kuriant naujus matematinio modeliavimo metodus. Visa tai leidžia imituoti naujo projekto įgyvendinimą ir įrodyti jo efektyvumą dar prieš pradėdant jį praktiškai naudoti. Taigi statybose projektavimas ir modeliavimas užima labai svarbią vietą [1].

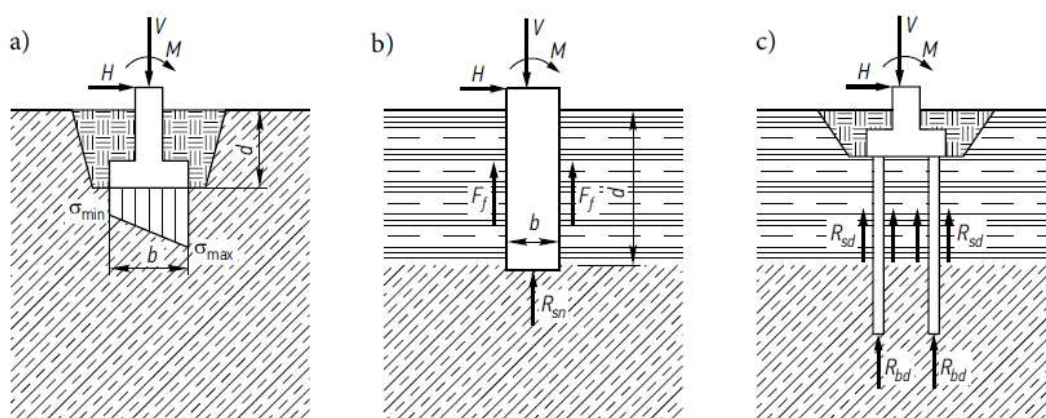
## 1.2. Statybinių konstrukcinių elementų alternatyvų analizė

### 1.2.1. Pagrindai ir pamatai

Pagrindas – tai gruntas, laikantis pastato konstrukcijų ir kt. apkrovas. Pagrindų būna natūralių ir dirbtinių. Natūralus pagrindas – tai natūralios nesuardytos struktūros gruntas. Dirbtinis pagrindas – tai gruntas, kurio dalis yra pakeista kitu, tinkamesniu, grundu arba esamo grunto savybės pagerintos įvairiais grunto stiprinimo būdais. Pamatas – tai konstrukcija, perduodanti kitų pastato konstrukcijų apkrovą pagrindui. Jeigu požeminėje pastato dalyje yra patalpos, pamatas dar yra ir atitvarinė konstrukcija [1].

Taigi pamatas yra pastato dalis, kuri perduoda jo apkrovas pagrindui. Tai yra viena iš svarbiausių pastato dalių. Pamatai gali būti klasifikuojami pagal įvairius požymius. Dažniausiai jie klasifikuojami pagal įrengimo būdą ir metodus, taikomus jų laikomajai galiai skaičiuoti. Pagal tai galima skirti 3 pamatų tipus [6]:

- 1) seklieji pamatai;
- 2) gilieji pamatai;
- 3) poliniai pamatai.



1.1 pav. Pamatų tipai: a – sekliasis pamatas; b – gilusis pamatas; c – polinis pamatas [6]

Pamatas priskiriamas vienai iš tipų pagal pado įgilinimo  $d$  ir pamato pado pločio  $b$  santykį, tačiau ne visada aiškiai galima išskirti šias ribas. Pamatų konstrukcija parenkama atsižvelgiant į tai, kas pateikiama geologinių tyrimų ataskaitoje [6].

Esantis žemėje pamatas perduoda ir paskirsto pastato apkrovą pagrindui. Šis yra grunto masyvo dalis, kurioje nuo pastato apkrovos atsiranda įtempimai ir kuri, jų veikiamą, deformuojasi [5]. Pamatai ir pagrindai turi būti tokie, kad užtikrintų pastato bei atskirų jo konstrukcijų elementų pastovumą ir normalų eksploatavimą.

Prie sekliųjų pamatų priskiriami pamatai, kurių  $d/b < 2$ . Jie apkrovą pagrindui perduoda padu. Šio tipo pamatai įrengiami pastatams, kurie pagrindui perduoda nedideles, dažniausiai vertikaliasias apkrovas ir kai žemės paviršiuje slūgso stiprieji gruntai. Tokių pamatų gylis dažniausiai būna ne didesnis nei 3-5 metrai. Kai žemės paviršiuje slūgso silpnieji gruntai, o stiprus gruntas slūgso giliau, dažniausiai įrengiami poliniai ar gilieji pamatai [5].

Poliniai pamatai yra riboto standumo, o polio skersmens  $b$  santykis su polio pado įgilinimu  $d$  nuo rostverko (polinio pamato viršutinė dalis, į kurią remiasi statinys) pado  $d/b > 5$ . Tokie pamatai pastato apkrovą perduoda polių galais ir jų šonais. Poliniai pamatai – viena iš seniausių pamatų rūšių. Siekdami saugumo, žmonės savo būstus rėsdavo virš vandens. Būstams ir takams prie jų įrengti buvo ir dabar tebėra naudojami mediniai stulpai, apatiniu galu įleisti į vandens telkinio dugną. Poliniai pamatai įrengiami tuomet, kai žemės paviršiuje storu sluoksniu slūgso silpni gruntai. Per pastaruosius kelis dešimtmečius polių gamybos ir konstrukcinės naujovės žymiai sumažino polių įrengimo kainą. Polių įrengimas nebėra paskutinė išeitis, todėl gali būti vertinamas kaip ekonomišką pasirinkimą projektuojant pamatus [2].

Kai poliniai pamatai neefektyvūs, tuomet įrengiami gilieji pamatai, kurių  $2 \leq d/b \leq 5$ , o jų išskirtinis požymis – standumas. Jie pastato apkrovą perduoda padu ir šonais. Be to, jie yra ir ekonomiškėsi nei poliniai pamatai [5].

Optimalus pamatas pastatui parenkamas atsižvelgiant į tris esminius reikalavimus: techninius, ekonominius, gamtosauginius. Techniniu požiūriu vertinama, ar pasirinktas pamatų tipas atitinka konstrukcinius ir technologinius reikalavimus. Tai labai aktualu, kai pamatai įrengiami mieste jau greta esančių pastatų, senamiesčiuose, renovuojant senų pastatų pamatus, nes reikia numatyti tokias priemones ir pamatų įrengimo technologijas, kad būtų užtikrintas esamo pastato ir jo pagrindo stabilumas. Ekonominiu požiūriu vertinama, ar racionaliai naudojama darbo jėga, medžiagos, mechanizmai ir ar tinka konkrečiomis sąlygomis. Gamtosauginiu aspektu svarbu, kad kuo mažiau būtų pažeista augmenija, gamtiniai procesai [6].

Taigi pagrindinis skiriamasis jų požymis yra pagrindo deformavimosi ir įrimo pobūdis, skirtingas kiekvienam iš paminėtų pamatų tipų ir priklausantis nuo pamato gylio ir pločio santykio. Poliniai pamatai iš esmės yra tie patys gilieji, tik žymiai liaunesni. Nemažą įtaką šiame skirstyme turi ir ta svarbi aplinkybė, ar pamato įrengimo metu suardomas gruntas aukščiau pamato pado. Jeigu darbų metu jis nėra suardomas (nereikia kasti pamatų duobės), tai tokio pamato darbas artimesnis

giliesiems pamatams. Todėl visi šių dienų mechanizuoto įrengimo pamatai priskirtini giliųjų (polinių) pamatų tipui.

### 1.2.2. Sienos

Sienos – tai svarbiausi pastato konstrukciniai ir atitvariniai elementai, todėl netgi patys pastatai dažniausiai įvardijami būtent pagal sienų rūšį: mediniai, plytiniai, stambiaplokščiai, karkasiniai ir kt. Pagal naudojamas medžiagas sienos skirstomos į medines, mūrines, betonines, kompleksines ir metalines [8].

Medinės sienos – tai vienas iš seniausių pastatų konstrukcinių elementų. Medinės sienos būna sąlyginai neilgaamžių pastatų. Mediena yra brangi medžiaga, todėl ir sienoms dabar retai naudojama. Medinės sienos gali būti rąstinės (iš apvalių, apipjautų, profiliuotų sienojų) bei - karkasinės (iš tašų, lentų, plokščių, skydų).

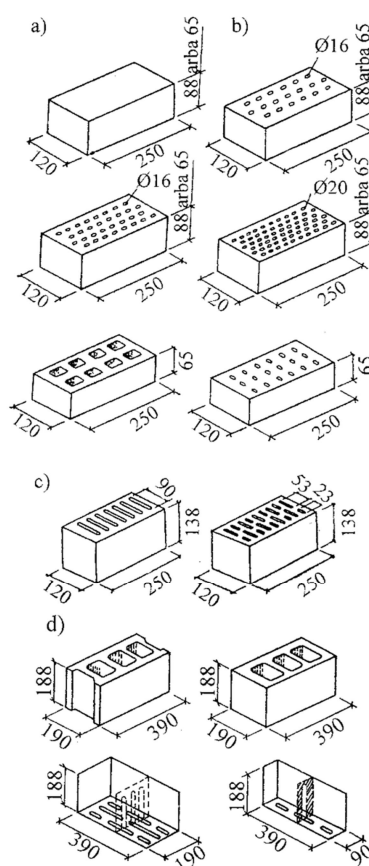
Medinės statybinės konstrukcijos gaminamos tiek iš spygliuočių, tiek iš lapuočių medienos – pušies, eglės, ąžuolo, beržo, liepos, buko bei kitų. Dažniausiai naudojama spygliuočių mediena, nes tokių medžių kamienai būna tiesesni bei mediena – nedidelio tankio, tad lengvai apdirbama, dėl mažesnio kiekio smalingų medžiagų lėčiau pūva. Pastaruoju metu mažaaukščių namų statyboje vis labiau populiarėja medinės karkasinės sienos. Karkasas surenkamas iš medinių tašų [7].

Kita sienų rūšis – mūras. Mūrą sudaro dirbiniai (plytos, blokai), tam tikra tvarka išdėstyti ir tarpusavyje sutvirtinti skiediniu. Mūro sienos mechaninės savybės priklauso nuo jo sudėtinių dalių: mūro akmenų (plytų, blokų) ir skiedinio mechaninių savybių, konstrukcijų geometrinių matmenų bei mūro medžiagų tarpusavio sąveikos [10].

Mūro konstrukcija gali būti suformuota iš gamtinių arba dirbtinių akmenų, tarpusavyje sujungtų skiediniu. Atsižvelgiant į naudojamas medžiagas, mūriniai skirstomi į šias rūšis [1]:

- 1) plytų mūras - jam naudojami betoniniai, keraminiai, silikatiniai ir lengvojo betono blokeliai. Iš jų mūrijamos vientisinės ir lengvosios sienos, stulpai, arkos, skliautai ir kt.;
- 2) smulkių blokų mūras – jam naudojami betoniniai, keraminiai, silikatiniai ir lengvojo betono blokeliai. Jų masė palyginti nedidelė, todėl juos galima kilnoti rankomis mūrijant sienas, pertvaras ir stulpus;
- 3) laukakmenio mūras – jis mūrijamas iš netaisyklingos formos lauko akmenų. Naudojamas pamatams, rūsio, retais atvejais ir statinių sienoms mūryti;
- 4) laukakmenio betono mūras – jį sudaro lauko akmenys ir betonas. Naudojamas pamatams, rūsio, retais atvejais ir statinių sienoms mūryti;
- 5) tašytų akmenų mūras – jis mūrijamas iš apdorotų akmenų. Naudojamas monumentaliems pastatams bei statiniams apdailinti.

Taigi akivaizdų, kad mūrinės sienos gali būti mūrijamos iš smulkiųjų arba stambiųjų elementų. Smulkieji elementai gali būti natūralūs, iš akmens ir dirbtiniai - keraminiai, silikatiniai, betoniniai. Sienos statomos iš keraminių pilnavidurių ir skylėtųjų plytų bei blokelių, silikatinų plytų ir blokelių, pilnavidurių ir skylėtųjų betoninių blokelių. Mūro tipo parinkimas priklauso nuo pastato paskirties, apkrovų, šilumos izoliavimo ir kitų eksploatacinių reikalavimų. Dažniausiai vieno tipo medžiaga negali patenkinti visų reikalavimų, todėl sienos daromos kompleksinės (sluoksniuotos): sluoksnių, kurie gerai perima apkrovas (plytos, betoniniai blokeliai) ir gerai izoluoja šilumą (akyto ir putų betono blokelių). Statyboje vis plačiau naudojami įvairių formų blokeliai. Plačiausiai taikomų plytų ir blokelių schemas pavaizduotos 1.2 paveikslėlyje.



1.2 pav. Plytos, keraminiai ir betoniniai blokai: a – keraminės ir silikatinės pilnavidurės plytos; b – skylėtosios keraminės plytos; c – keraminiai blokai, d – betoniniai blokai [10]

Dar viena plačiai paplitusi šiuolaikinės statybos medžiaga yra monolitinis betonas. Lietuvoje iš monolitinio bloko dažniausiai statomi daugiaaukščiai pastatai. Šių medžiagų pastatai ir jų konstrukcijos yra standesnės, gali atlaikyti didesnę poveikį, galima gauti gerą sienų paviršių, kurio nereikia tinkuoti, yra gera sienų izoliacija nuo išorinio triukšmo, nesunku mechanizuoti statybos darbus, galima pritaikyti įvairesnius architektūrinius sprendimus [1].

Karkasinių namų sienas sudaro karkasas, kuris gali būti gelžbetoninis (surenkamas arba monolitinis) ir plieninis. Lietuvoje plačiausiai naudojami surenkamieji gelžbetoniniai karkasai [11].

### 1.2.3. Stogas

Pagal statybos techninį reglamentą STR 2.05.02:2008 stogo paskirtis yra apsaugoti pastatą nuo vertikalių išorinių poveikių – lietaus, sniego ir pan. [25]. Stogo konstrukcinė forma, šlaitų nuolydis priklauso nuo pastato dydžio, konfigūracijos, stogo dangos medžiagos, vandens nuleidimo būdo, klimato sąlygų, techninių, ekonominių ir architektūrinių reikalavimų. Stogai turi būti atsparūs atmosferos poveikiui ir projektiniams eksploatacijos poveikiams. Stogai turi būti suprojektuoti, pastatyti ir naudojami taip, kad atitiktų esminius statinių bei priešgaisrinių norminių dokumentų reikalavimus [1].

Dažniausiai stogai būna vienašlaičiai ir dvišlaičiai. Rečiau pasitaiko ir keturšlaičių, daugiašlaičių, valminių, kupolinių, kūginių. Pagal nuolydį stogus galima skirstyti į [1]:

- 1) plokščiuosius ir mažo nuolydžio (iki 15%) stogus;
- 2) šlaitiniai stogai (daugiau nei 15%).

Remiantis statybos techniniu reglamentu STR 2.05.02:2008 projektuojant ir įrengiant šlaitinių stogų konstrukcijas, būtina įvertinti šių stogo konstrukcijų sluoksnių panaudojimą [25]:

- 1) garus izoliuojančio sluoksnio;
- 2) termoizoliacinio sluoksnio;
- 3) vėjui nelaidaus sluoksnio;
- 4) vėdinamo oro sluoksnio;
- 5) hidroizoliacinio sluoksnio;
- 6) šlaitinio stogo dangos pakloto;
- 7) šlaitinio stogo dangos.

Stogo danga gali būti iš įvairių medžiagų: plieno, keramikos, plastmasės, medienos ir kt. Medžiaga stogo dangai priklauso nuo ekonominių, priešgaisrinių, architektūrinių reikalavimų, taip pat pagal stogo šlaito nuolydį. Pagal savo standumą, matmenis, medžiagos tipą dangos yra tokios:

- 1) ruloninės: ruberoidas, sintetinių medžiagų ritiniai ir pan.;
- 2) lakštinės: plieniniai ir aliuminiai lakštai, skarda, padengti įvairia antikorozine danga, eternitas ir pan.;
- 3) čerpės: keraminės, polimerbetoninės, betoninės, plastmasinės.

Kartais naudojamos ir medinės dangos iš plonlenčių ir malksnų (skiedrų). Daugiaaukščiai, daugelis visuomeninių ir pramoninių pastatų dengiami sutaptintaisiais stogais [2].

#### 1.2.4. Langai

Patalpos natūraliai apšviečiamos (dažnai ir vėdinamos) per langus sienose ir denginiuose. Pagal statybos techninį reglamentą STR 2.05.20:20069 pastato langai ir išorinės durys turi būti suprojektuoti taip, kad juos naudojant ir prižiūrint visą eksploataavimo laikotarpį būtų užtikrinti esminiai reikalavimai dėl mechaninio patvarumo ir pastovumo, higienos, sveikatos ir aplinkos apsaugos, naudojimo saugos, apsaugos nuo triukšmo, energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo [26].

Langų matmenys ir vieta apskaičiuojama bei nustatoma architektūriniais sprendimais. Dažnai gyvenamųjų langų plotas parenkamas remiantis praktiniu patyrimu – langų plotas turi būti ne mažesnis nei 1/8 grindų ploto. Dažniausiai naudojami stačiakampiai langai. Gyvenamųjų namų langų angų aukštis būna 0,6–1,5 m, o plotis – 0,9–2,1 m. Pagrindiniai lango elementai yra stakta, prie jos vyriais ar kitais būdais tvirtinamas rėmas, stiklas arba stiklo paketas. Langu stakta ir rėmai gali būti mediniai, plastmasiniai, metaliniai (plieniniai, aliuminiai) [2].

Projektuojant langus ir išorines duris turi būti įvertinti šilumos pralaidumo, oro garso izoliavimo, atsparumo vėjo apkrovai, vandens nepralaidumo, oro skverbties, mechaninio atsparumo, stiprumo, atsparumo įsilaužimui, įstiklinimo, saulės šilumą ribojančio stiklo naudojimo, natūralaus apšviestumo poreikio įvertinimo, ženklavimo ir montavimo pastatuose reikalavimai. Langų ir išorinių durų savybės išreiškiamos gaminių klasėmis arba atitinkamų rodiklių vertėmis, pagal kurias nustatomi reikalavimai langams ir išorinėms durims [26].



## 2. TYRIMO METODIKA

### 2.1. Tyrimo metodo parinkimas

Temai atskleisti pasirinkau daugiakriterinius tyrimo metodus. Priklausomai nuo literatūros šaltinio, šie metodai gali būti įvardinti ir kaip daugiatisliai. Šie metodai taikomi daugelyje veiklos sričių - tiek inžinerinių, tiek medicininių, tiek finansinių, tiek vadybinių uždavinių sprendimui. Šio tyrimo tikslas yra išplėtoti ir pritaikyti daugiakriterinę sprendimų metodiką mažaaukščių gyvenamųjų namų konstrukcinių elementų įvertinimui.

Lietuvoje praeito šimtmečio devintajame dešimtmetyje, siekdamas vertinti skirtingų statybos etapų efektyvumą ir ieškodamas jų optimalių technologinių sprendimų, daugiakriterinius metodus pradėjo taikyti VGTU profesorius E. K. Zavadskas. Tuo pačiu laiku ir pasaulyje buvo sukurta nemažai naujų daugiakriterinių metodų, kurie buvo taikomi skirtingose mokslo ir praktikos srityse. Lietuvoje vėliau šiuos metodus plačiai taikė prof. E. K. Zavadsko mokiniai, jo kolegos, taip pat ir skirtingų sričių mokslininkai.

Yra labai daug daugiakriterinių metodų, kurie naudojami Lietuvoje – tai vietų sumos, geometrinio vidurkio, SAW (Simple Additive Weighting), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution), kompromisinio klasifikavimo metodas VIKOR (VIsekriterijumsko KOMpromisino Rangiranje serbiškai), COPRAS (Complex Proportional Assessment), PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation), ARAS (A new additive ratio assessment). Dažniausiai iš jų taikomi COPRAS ir TOPSIS.

Kiekviena alternatyva, sprendžiant daugiakriterinius uždavinius, gali būti apibūdinta kriterijų aibe. Kriterijai gali būti tiek kokybiniai, tiek kiekybiniai. Jie dažniausiai turi skirtingus matavimo vienetus ir įvairių optimizavimo kryptį [12]. Todėl norint parinkti skirtingas statybines konstrukcijas, kurios atitiktų skirtingus kriterijus, tinkamiausias vertinimo metodas yra daugiakriteris sprendimų vertinimo metodas, nes apibūdinti mažaaukščių gyvenamųjų namų statybines konstrukcijas naudojama daug skirtingų kriterijų, kurių tiek matavimo vienetai, tiek jų svarba nėra vienodi.

Alternatyvų vertinimo metodų yra labai daug, tad mažaaukščio gyvenamojo namo racionalioms statybinėms konstrukcijoms analizuoti pasirinkau tris daugiakriterinio vertinimo metodus. Tai TOPSIS, COPRAS ir ARAS. Šie metodai labai tinka, kai yra numatoma daug scenarijų ir kriterijų. Pirmieji du metodai yra klasikiniai ir puikiai žinomi akademinėje visuomenėje, o trečias pasirinktas metodas - naujesnis. Skaičiavimams pasirenkami tris metodai tam, kad dėl

tikslumo būtų galima lyginti juos tarpusavyje, ir, esant nesutapimui, lengviau išskirti vieną tinkamiausią uždavinio sprendinį.

Visi daugiakriteriniai vertinimo metodai turi bendrų bruožų: alternatyvos yra vertinamos pagal keletą rodiklių, vertinimo kriterijai gali būti vienas kitam prieštaraujantys, jie gali turėti skirtingus matavimo vienetus [13], [14], [15].

Vertinant daugiakriteriniais vertinimo metodais, sprendimų priėmimo procesą sudaro trys etapai [13], [14], [15]:

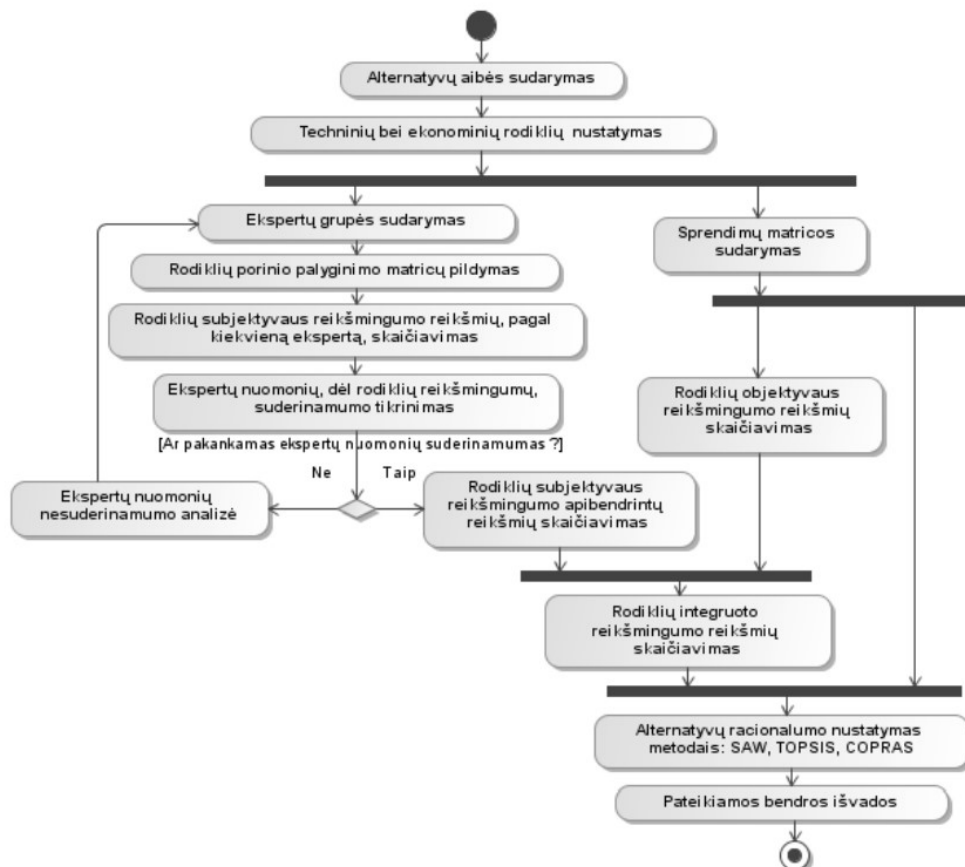
1) alternatyvų sąrašo sudarymas. Šiuo etapu sudaroma alternatyvų, kurios bus naudojamos uždaviniams spręsti, aibė. Šios alternatyvos trumpai vadinamos sprendimo variantais.

2) sudaroma rodiklių, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, aibė, nustatomos tų rodiklių reikšmės kiekvienai alternatyvai;

3) alternatyvų rangavimas.

Tobulėjant valdymo metodams ir skaičiavimo technikai, daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai tampa vis svarbesni priimant sprendimus įvairiose veiklos srityse [13], [14], [15], [18]. Vienkriteriniais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti problemų sudėtingose statybų technologijų sistemose.

Sudaroma daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų veiklos diagrama (2.1 pav.).



2.1 pav. Daugiakriterinių metodų veiklos diagrama [17]

## 2.2. Daugiakriterinio vertinimo metodas COPRAS

1996 metais Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslininkai E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas (1996) sukūrė kompleksinį proporcingo įvertinimo metodą COPRAS (Complex Proportional Assessment). COPRAS – (COmplex PROportional ASsessment) kompleksinio proporcingumo metodui COPRAS – tai vienas plačiausiai taikomas daugiakriterinio vertinimo metodas. Spręsdami uždavinį COPRAS metodu mes ieškome [13], [14], [15]. Pirmajame etape sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica [A] (žr. 1 lentelę).

2.1 lentelė. Normalizuota sprendimų matrica [A]

Kiekybinė informacija, apibūdinanti projektus							
Nagrinėjami kriterijai	*	Reikšmingumas	Matavimo vienetai	Nagrinėjami projektai			
				1	2	...	N
$X_1$	$\check{Z}_1$	$q_1$	$m_1$	$d_{11}$	$d_{12}$	...	$d_{1j}$
$X_2$	$\check{Z}_2$	$q_2$	$m_2$	$d_{11}$	$d_{11}$	...	$d_{2j}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$X_m$	$\check{Z}_n$	$q_n$	$m_n$	$d_{11}$	$d_{11}$	...	$d_{11}$
Maksimizuojančių normalizuotų įvertinimų rodiklių suma				$S_{+1}$	$S_{+2}$	...	$S_{+j}$
Minimizuojančių normalizuotų įvertinimų rodiklių suma				$S_{-1}$	$S_{-2}$	...	$S_{-j}$
Projekto alternatyvos reikšmingumas				$Q_1$	$Q_2$	...	$Q_j$
Projekto alternatyvos prioritetiškumas							

Šio etapo tikslas yra iš lyginamųjų dydžių gauti bedimensinius (normalizuotus) įvertintu dydžius. Kai jie žinomi, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų rodiklius. Tam taikoma ši formulė:

Sukuriama sprendimo matrica:

$$X = [x_{ij}] = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.1)$$

Čia:  $a_1$ - $a_m$  – lyginamieji variantai ( $i=1, m$ );  $x_1$ - $x_n$  – efektyvumo rodikliai ( $j=1, n$ );  $x_{11}$ - $x_{mn}$  – efektyvumo rodiklių reikšmės.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; i=1..m, j=1..n. \quad (2.2)$$

Ši matrica normalizuojama pagal formulę (2.3): Gaunama normalizuotoji matrica  $P$ , kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiniai dydžiai.

$$\bar{X} = \bar{x}_{ij} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

Sudaroma svartinė normalizuotoji matrica  $P^*$ . Jei yra žinomi efektyvumo rodiklių reikšmingumai, tai matrica  $P^*$  apskaičiuojama pagal formulę (2.4):

$$X^* = \hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j. \quad (2.4)$$

Gaunama pasverta matrica:

$$\hat{X} = \hat{x}_{ij} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \dots & \hat{x}_{1n} \\ \hat{x}_{21} & \hat{x}_{22} & \dots & \hat{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{x}_{m1} & \hat{x}_{m2} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

Maksimizuojam reikšmes pagal formulę (2.6):

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k \hat{x}_{ij}. \quad (2.6)$$

Minimizuojam reikšmes pagal formulę (2.7):

$$S_i^+ = \sum_{j=k+1}^m \hat{x}_{ij}. \quad (2.7)$$

Visų maksimizuojamų reikšmių suma pagal formulę (2.8):

$$S^+ = \sum_{i=1}^n S_i^+. \quad (2.8)$$

Visų minimizuojamų reikšmių suma pagal formulę (2.9):

$$S^- = \sum_{i=1}^n S_i^-. \quad (2.9)$$

Reikšmingumas randamas pagal formulę (2.10):

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^n S_i^-}{S_i^- \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^-}}. \quad (2.10)$$

Reikšmingumų santykis randamas pagal formulę (2.11):

$$N_i = \frac{Q_i}{\max Q_i} \cdot 100\%. \quad (2.11)$$

### 2.3. Daugiakriterinio vertinimo metodas TOPSIS

TOPSIS – (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) artumo idealiam taškui metodui [16].

Yoon ir Hwang [16] 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).

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 [16]. Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą  $X$ .

Sukuriama sprendimo matrica (2.12):

$$X = [x_{ij}] = \begin{matrix} & a_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & \begin{bmatrix} x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (2.12)$$

Čia:  $a_1 - a_m$  – lyginamieji variantai ( $i=1, m$ );  $x_1 - x_n$  – efektyvumo rodikliai ( $j=1, n$ );  $x_{11} - x_{mn}$  – efektyvumo rodiklių reikšmės.

Ši matrica normalizuojama pagal formulę (2.13):

$$\bar{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i=1..m, j=1..n. \quad (2.13)$$

Gaunama normalizuotoji matrica  $P$  (2.14), kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiniai dydžiai.

$$\bar{X} = \bar{x}_{ij} = \begin{matrix} & a_1 & \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & \begin{bmatrix} \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (2.14)$$

Sudaroma svertinė normalizuotoji matrica  $P^*$ . Jei yra žinomi efektyvumo rodiklių reikšmingumai, tai matrica  $P^*$  apskaičiuojama pagal formulę (2.15):

$$X^* = \hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j. \quad (2.15)$$

Gauname pasvertą matricą:

$$\hat{X} = \hat{x}_{ij} = \begin{matrix} & \hat{a}_1 & \hat{a}_2 & \dots & \hat{a}_n \\ \hat{a}_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \hat{a}_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{a}_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix}. \quad (2.16)$$

Idealiai geriausias variantas nustatomas pagal formulę (2.17):

$$a^+ = \left\{ \left[ \left( \max_i x_{ij}, j \in J \right), \left( \min_i x_{ij}, j \in J' \right) \right] ; i = 1 \dots m \right\} = \{ a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+ \}. \quad (2.17)$$

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

Idealiai blogiausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^- = \left\{ \left[ \left( \min_i x_{ij}, j \in J \right), \left( \max_i x_{ij}, j \in J' \right) \right] ; i = 1 \dots m \right\} = \{ a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^- \}. \quad (2.18)$$

Atstumas tarp lyginamojo  $i$ -tojo ir idealiai geriausio varianto nustatomas pagal formulę (2.19):

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - a_j^+)^2}; i = 1 \dots m, \quad (2.19)$$

o tarp  $i$ -tojo ir neigiamai idealaus pagal formulę (2.20):

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - a_j^-)^2}; i = 1 \dots m. \quad (2.20)$$

Nustatomos kiekvieno  $i$ -tojo varianto santykinis atstumas iki idealaus:

$$K_{BIT} = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = 1 \dots m, \text{ kai } K_{BIT} \in [0, 1]. \quad (2.21)$$

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

## 2.4. Daugiakriterinis vertinimo metodas ARAS

Daugiakriterinis metodas ARAS lyginant su COPRAS ir TOPSIS yra naujas. 2010 metais E. K. Zavadskas ir Z. Turskis sukūrė naują adityvųjį santykių įvertinimo metodą ARAS [20].

Kaip ir kituose metoduose, pradžioje skaičiavimų yra sukuriama matrica (2.22):

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.22)$$

kur stulpelyje  $m$  pažymėtos – alternatyvos, eilutėje  $n$  – kriterijai.

Antrame žingsnyje sudaroma normalizuota matrica (2.23).

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} \overline{x_{01}} & \dots & \overline{x_{0j}} & \dots & \overline{x_{0n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x_{i1}} & \dots & \overline{x_{ij}} & \dots & \overline{x_{in}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x_{m1}} & \dots & \overline{x_{mj}} & \dots & \overline{x_{mn}} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.23)$$

Normalizavimas vykdomas pagal (2.24) formulę jei kriterijus maksimizuojamas ir pagal (2.25) formulę jei kriterijus minimizuojamas. Normalizuotoje matricoje visi dydžiai yra bedimensiniai.

$$\overline{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (2.24)$$

$$\overline{x_{ij}} = \frac{1}{x_{ij}^*}; x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (2.25)$$

Trečiame žingsnyje normalizuotos matricos nariai yra padauginami iš kiekvieno kriterijaus svorio (2.28). Kriterijų svorių suma privalo atitikti (2.26) formulę. Gaunama pasvertoji matrica (2.27).

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1. \quad (2.26)$$



$$\overline{X} = \begin{bmatrix} \overline{x_{01}} & \dots & \overline{x_{0j}} & \dots & \overline{x_{0n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x_{i1}} & \dots & \overline{x_{ij}} & \dots & \overline{x_{in}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x_{m1}} & \dots & \overline{x_{mj}} & \dots & \overline{x_{mn}} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.27)$$

$$\overline{x_{ij}} = \overline{x_{ij}} \cdot w_j; i = \overline{0, m}. \quad (2.28)$$

Paskutiniame žingsnyje ieškoma geriausios alternatyvos pasitelkus optimaliąją funkciją (2.29). Kuo  $S_i$  dydis didesnis tuo alternatyva yra geresnė, ir atvirkščiai, kuo  $S_i$  dydis mažesnis tuo alternatyva prastesnė.  $S_i$  optimalioji funkcija turi tiesioginę priklausomybę nuo kriterijų bei jų svorių.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \overline{x_{ij}}; i = \overline{0, m}. \quad (2.29)$$

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0, m}. \quad (2.30)$$

(2.30) formulė naudojama sužinoti alternatyvų naudingumo laipsnį, palyginus su geriausia alternatyva.

### 3. ANALITINIS TYRIMAS: EIGA IR REZULTATAI

#### 3.1. Alternatyvų pasirinkimas

Alternatyvų analizė yra atlikta 1 skyriaus 2 poskyryje „Statybinių konstrukcinių elementų alternatyvų analizė“. Tyrimui buvo pasirinktos pagrindinės mažaukščių gyvenamųjų namų konstrukcinės dalys: pamatas, sienos, stogas, langai. Jų alternatyvos pasirinktos pagal tris kriterijus:

- 1) pirmas kriterijus - populiarumas Lietuvoje, remiantis statybininkų bei užsakovų patirtimi;
- 2) antras kriterijus - tinkamumas Lietuvos sąlygoms;
- 3) trečias kriterijus - naujos technologijos, technologiškai pranašesnių medžiagų naudojimas.

Kadangi daugiakriteriniu vertinimo metodu bus analizuojamos trys pastato konstrukcijos (sienos, langai, stogas), sudaromos trys alternatyvų lentelės.

3.1 lentelė. Sienų alternatyvos

Nr.	Alternatyva
1	Akyto betono blokelių siena + vata
2	Keraminių blokelių siena + vata
3	Keramzitinių blokelių siena + vata
4	Silikatinių blokelių siena + vata
5	Keraminės plytos + vata
6	Silikatinės plytos + vata
7	Akyto betono blokelių siena + polistirolas
8	Keraminių blokelių siena + polistirolas
9	Keramzitinių blokelių siena + polistirolas
10	Silikatinių blokelių siena + polistirolas
11	Keraminės plytos + polistirolas
12	Silikatinės plytos + polistirolas
13	Termoblokų siena
14	Karkasinė medinė siena
15	Rąstinė siena

3.2 lentelė. Stogo dangų alternatyvos

Nr.	Alternatyva
1	Metalinė (plienas, aliuminis, varis ,cinkas) stogo danga
2	Bituminių čerpių danga
3	Keraminių čerpių danga
4	Betoninių čerpių danga
5	Akmens skalūno stogo danga
6	Neasbestinis šiferis

3.2 lentelė. Langų alternatyvos

Nr.	Alternatyva
1	PVC langai
2	Mediniai langai
3	Aliuminiai langai

### 3.2. Pagrindinių kriterijų atrinkimas

Šiame magistro darbe mažaaukščių gyvenamųjų statybinių konstrukcijų sprendinių taikymas analizuojamas remiantis trimis kriterijais pagrindiniais kriterijais – ekonominio naudingumo, ekonomiškumo bei ekologiškumo. Norint suprojektuoti ir pastatyti mažaaukštį namą, kuris geriausiai atitiktų kiekvieną šių kriterijų, reikia parinkti skirtingas statybines konstrukcijas, medžiagas. Taigi labai svarbu pasirinkti tikslingus kriterijus (rodiklius).

Vertinant skirtingus sprendimo variantus būtina naudotis kriterijais, kurie atspindi operacijos tikslą. Operacija – tai kokia nors veiksmų sistema, kurios paskirtis - pasiekti tam tikrą tikslą. Efektyvus mažaaukščių gyvenamųjų namų statybinių konstrukcijų komplekso paieška pradedama nuo alternatyvų parinkimo, kuriuos būtų galima palyginti tarpusavyje pagal pasirinktus kriterijus (rodiklius). Rodiklis - tai nagrinėjamo objekto savybės apibrėžimas (pvz.: įrengimo kaina, darbo sąnaudos, ilgaamžiškumas ir t.t.) [19].

Darbo tema jau pati savaime labai aiškiai išskiria tris pagrindinius kriterijus, kuriais bus vertinamos statybinių konstrukcijų alternatyvos. Tai energetinio naudingumo, ekologiškumo bei ekonomiškumo kriterijai.

3.3 lentelėje pateikti vidutiniai šilumos nuostoliai per skirtingas konstrukcijas. Ši lentelė tik dar kartą parodo, kokios svarbios yra pagrindinės namo konstrukcinės dalys.

3.3. lentelė. Vidutiniai šilumos nuostoliai per skirtingas konstrukcijas [22]

Konstrukcinis elementas	1 aukšto gyvenamasis namas	2 aukštų gyvenamasis namas
	Šilumos nuostoliai, proc.	Šilumos nuostoliai, proc.
Sienos	47	52
Stogas	23	15
Langai	20	22
Grindys	10	11

Tačiau visus tris išvardintus kriterijus būtų galima skaidyti ir detalizuoti ir taip išskirti daugiau rodiklių. Analizuojant mažaaukščių gyvenamųjų namų statybinių konstrukcijų sprendinių taikymą pagal energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus išskiriami 5 pagrindiniai vertinimo rodikliai:

- 1) šilumos perdavimo koeficientas;
- 2) medžiagų kaina;
- 3) ilgaamžiškumas;
- 4) tvirtumas;
- 5) ekologiškumas.

3.4 lentelė. Daugiakriterinėje analizėje naudojami vertinimo kriterijai (rodikliai)

Eil. Nr.	Rodikliai	Kriterijus	Matavimo vnt.
1	$x_1$	Šilumos perdavimo koeficientas	$W/m^2K$
2	$x_2$	Medžiagų kaina	$eur/m^2$
3	$x_3$	Ilgaamžiškumas	metai
4	$x_4$	Tvirtumas	$MPa$
5	$x_5$	Medžiagų ekologiškumas	balai

Sprendimų matricoje kriterijai (rodikliai) grupuojami į dvi grupes: kiekybinius ir kokybinius. Kiekybiniais rodikliais gali būti metinės išlaidos, kapitaliniai įdėjimai, įrengimo kaina, pelnas, rentabilumas, darbo apimtis per laiko vieneta, darbo trukmė, darbo imlumas, ilgaamžiškumas. Kokybiniais rodikliais gali būti: estetinis vaizdas, skonis, prestižas, patogumas [19]. Kiekvieno kriterijaus (rodiklio) reikšmės turi būti žinomos. Kiekybinės charakteristikų reikšmės dažniausiai nustatomos pasitelkus skaičiavimus, palyginant technines, fizikines, mechanines ar kitas savybes, pavyzdžiui, šiluminė varža, akustinės savybės, medžiagos stipris ir pan. Prie kiekybinių rodiklių priskiriama ir kaina, darbo sąnaudos bei daugelis kitų rodiklių, kurie

turi savo matavimo vienetus. Kokybės charakteristikų reikšmės nustatomos ekspertiniu, rekomendacijų, sociologiniu, skaičiavimo ir analogijos metodais [13]. Šiuo atveju naudojamas ekspertinis metodas.

3.4 lentelėje matosi, kad parenkant efektyvias konstrukcijas šiame magistro darbe bus naudojami 5 skirtingi kriterijai, kurių 4 – kiekybiniai, o 1 - kokybinis.

Kiekybiniai rodikliai gauti atlikus skaičiavimus ir gali būti išreikšti konkrečiai skaitine reikšme. Šiuo atveju tai šilumos perdavimo koeficientas, kuris matuojamas  $W/m^2K$ , medžiagų kaina, matuojama  $eur/m^2$ , ilgaamžiškumas – metais bei tvirtumas –  $MPa$ .

Kokybinis rodiklis - medžiagų ekologiškumas – vertinamas balais apklausiant ekspertus.

Šio magistro darbo daugiakriterinėje analizėje naudojamų kriterijų aprašymai pateikiami žemiau.

**Šilumos perdavimo koeficientas.** Šilumos laidumas – tai medžiagos savybė praleisti šilumą. Šią savybę apibūdina šilumos laidumo koeficientas  $\lambda$ . Kuo mažesnė  $\lambda$  vertė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga.  $\lambda$  vertė yra išreiškiama  $W/(m \cdot K)$ . Šis rodiklis parodo šilumos kiekį, praeinantį per 1  $m^2$  ploto ir 1 m storio medžiagos „luitą“. Taigi akivaizdu, kad medžiagos šiluminis laidumas proporcingas ir jos storiui. Tad šilumos perdavimo koeficientu (U) - per atitvarą pereinančio šilumos srauto tankis, kai oro temperatūrų skirtumas abiejose atitvaros pusėse 1 K ( $1^\circ C$ ),  $W/(m^2 \cdot K)$  [22]. Taigi apibendrinant galima sakyti, kad šilumos perdavimo koeficientas, geriau žinomas kaip U vertė, yra šilumos srautas (vatais), perduodamas per atitvaros vieną kvadratinį metrą, padalintas iš temperatūrų skirtumo abiejose atitvaros (sienos, stogo, lango arba durų) pusėse.

Pagal direktyvą, pastatytas, parduodamas arba išnuomojamas pastatas privalo turėti energinio naudingumo sertifikatą. Energetinis naudingumas – pagal Statybos techninio reglamento STR 2.01.09:2012 [27] reikalavimus apskaičiuotas energijos kiekis, išreikštas pasato energetinio naudingumo klase, reikalingas naudojant pastatą pagal paskirtį. Energinio naudingumo klasė – tai pagal kvalifikacinio rodiklio C vertę nustatyta pastato energetinio naudingumo klasė. Energinio naudingumo sertifikate nurodoma statinio (jo dalies) paskirtis, šildomas plotas ir energijos kiekis, reikalingas šildyti vienam kvadratiniam metrui ploto ( $kWh/m^2$ ). Tačiau, skirtingos paskirties pastatai (jų dalys), kuriuose šiluminės energijos sąnaudos 1 kvadratiniam metrui bus vienodos, gali būti priskirti skirtingai energinio naudingumo klasei. Tai paaiškinama statinio naudojimo intensyvumu (dažnas durų varstymas, papildomas vėdinimas ir pan.). Yra devynios statinių energetinio naudingumo klasės: A++, A+, A, B, C, D, E, F ir G: A klasės pastatai šiluminės energijos sunaudoja mažiausiai, B ir C klasės – daugiau, tačiau atitinka šią dieną galiojančių normų reikalavimus. Leidžiantis skale žemyn, raidėmis nuo D iki G klasių žymimi daug energijos naudojančios pastatai, F ir G klasėms priskiriami pastatai (jų dalys), kurių šildymui energijos

sąnaudos yra pačios didžiausios. Daugelis gali nesuprasti pasakymo „energiją naudojantis pastatas“. Į patalpas tiekiamą šilumą sugeria patalpoje esantys daiktai ir žmonės, šiluma išeina per išorines atitvaras – duris ir langus, per sienas, stogus ir grindis ant grunto, bei perdangas virš nešildomų patalpų (rūšių). Kuo dažniau varstomos durys ir langai, yra šilumai laidžios išorinės atitvaros, tuo daugiau reikia pagaminti šiluminės energijos šio pastato (arba jo dalies) šildymui. Šiluma yra linkusi „pabėgti“.

**Medžiagų kaina.** Tai kiekybinis, ekonominis rodiklis, kuris parodo medžiagų bei komponentų, reikalingų įrengti 1 m<sup>2</sup>, kainą eurais. Tai lemia ir statybos ekonomiškumą, kuris reiškia, kad reikia priimti tokius sprendimus, kad pastatas būtų pastatytas su mažiausiomis išlaidomis per trumpiausią laiką ir, kad per visą naudojimo laiką, pastato eksploatacinės išlaidos būtų kuo mažesnės.

**Ilgamžiškumas.** Tai kiekybinis rodiklis, kuris parodo pastato statybinių konstrukcijų eksploataavimo trukmę metais. Ilgamžiškumas priklauso nuo pasirinktų medžiagų, jų kokybiškumo, projektavimo sprendimų, aplinkos agresyvumo bei sumontavimo kokybės.

**Tvirtumas.** Tai kiekybinis rodiklis, kuris apibūdina medžiagos gebėjimą išlaikyti įvairias apkrovas ir nesuirti ar nepakeisti formos ir neprarasti savybių.

**Ekologiškumas.** Šis kokybinis rodiklis labai abstraktus ir tiksliai sunkiai apibrėžiamas. Pagal ES ir nacionalinius ekologinę gamybą reglamentuojančius teisės aktus, ekologiškas produktas turi atitikti keliamus reikalavimus nuo lauko iki galutinio vartotojo. Ekologiškos statybos turi skatinti harmoningus ir ekologiškus projektavimo metodus, žmogaus būsto ir gamtos neatsiejamą darnų ryšį ir tarpusavio santykį. Ekologiško namo projektavimas ir realizavimas sudėtingas procesas. Kurdamas ekologišką namą kiekvienas žmogus prisideda prie pagrindinių ūkio šakų (būsto, energetikos, transporto ir kt.) poveikio aplinkai mažinimo, gamtos išteklių tausojimo, pavojaus žmonių sveikatai mažinimo, pasaulio klimato kaitos ir jos padarinių švelninimo, aplinkos apsaugos. Pastaraisiais metais aplinkos apsauga Lietuvos pramonės įmonių veikloje vaidina vis svarbesnį vaidmenį. Taršos prevencijos koncepcija daugelyje įmonių jau įgyvendina praktikoje švaresnės gamybos principus. Taip įmonės ne tik sumažino taršą jos susidarymo šaltiniuose, bet ir pasiekė teigiamų ekonominių rezultatų. Susidomėjimas gaminių poveikio aplinkai vertinimo metodais ir ekologiniu projektavimu, leidžiančiu šį poveikį sistemingai mažinti, Lietuvoje nuolat auga. Užsienio šalių patirtis parodė, kad ekologinį projektavimą pramonės įmonėse labiausiai skatina teisiniai reikalavimai, atsakomybė už aplinkai daromą žalą, rinkos reikalavimai ir ekonominė nauda [24].

### 3.3. Kriterijų reikšmingumo nustatymas

Parenkant kriterijus labai svarbus yra jų reikšmingumo įvertinimas. Atliekant daugiakriterinę analizę ir palyginimą, kriterijų būna keletas, o kartais ir labai daug. Todėl kriterijų reikšmingumus nustatyti būtina. Taip galima įvertinti, kurie kriterijai yra labai svarbūs, kurie mažiau svarbūs. Kriterijų reikšmingumas nėra objektyvus vertinimas – kiekvienas žmogus juos įvertina individualiai. Todėl norint gauti kuo objektyvesnę informaciją yra daroma ekspertų apklausa. Apklausos duomenys apdorojami ir, remiantis apklausos rezultatais, nustatomas rodiklių reikšmingumas. Kriterijaus reikšmingumas - kriterijaus įtakos laipsnis galutiniam rezultatui. Pakankamai tiksliai kriterijų reikšmingumus galima nustatyti taikant ekspertų apklausos ir statistinius metodus [14].

Šiame magistro darbe buvo naudojama ekspertinė apklausa. Buvo apklausti 25 ekspertai, kuriuos sudarė statybinių įmonių atstovai, inžinieriai. Iš visų apklaustųjų anketą „Eksperto apklausos anketa kriterijų reikšmingumo nustatymui“ (Priedas Nr. 1) sutiko užpildyti 25 respondentai, 3 anketos buvo užpildytos netinkamai. Tad svorių vertinimui buvo naudojamos 22 anketos.

Ekspertų apklausos rezultatai pateikti 3.5 lentelėje. Rodiklių reikšmingumams apibrėžti naudojama skalė nuo 0 iki 5. Svarbiausias rodiklis įgyja 5 balų reikšmę, visi kiti rodikliai lyginami su svarbiausiuoju, pavyzdžiui, jei rodiklis mažiau svarbus jam suteikiamas 4 balų įvertinimas, o mažiausiai reikšmingam rodikliui suteikiamas 1 balo įvertinimas. Visi gauti duomenys buvo apdorojami ir sudaroma ekspertų vertinimo duomenų lentelė 3.5.

3.5 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai, nustatant reikšmingumo svorius, balais

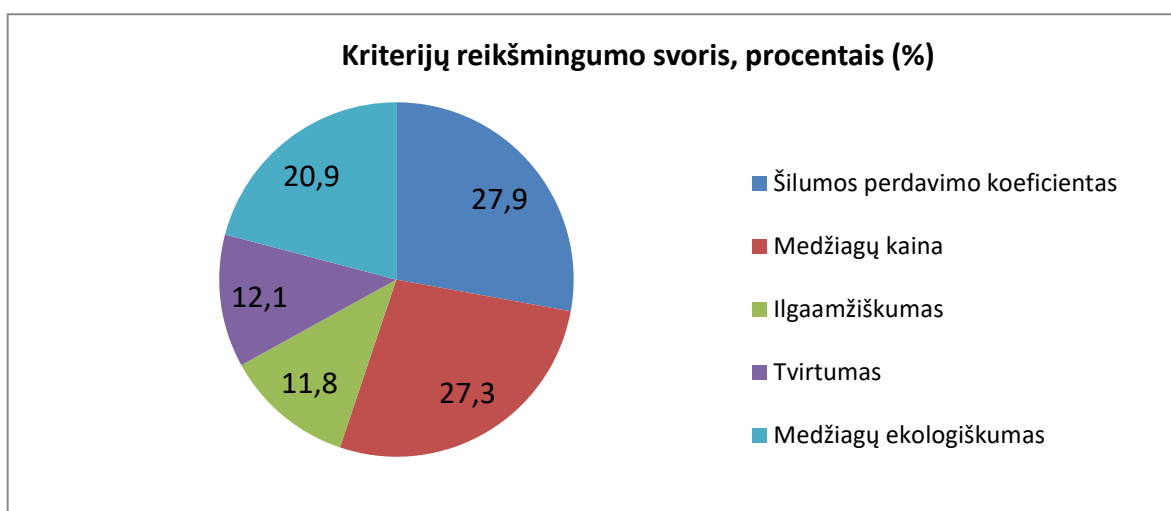
Ekspertai																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
$x_1$	5	4	4	5	4	4	4	3	4	3	5	5	4	3	5	5	5	3	5	3	4	5					92
$x_2$	4	3	5	4	5	3	5	5	5	5	4	2	5	5	3	4	2	4	3	5	5	4					90
$x_3$	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	3	1	4	2	2	3	2	1	2	1	1					39
$x_4$	1	1	1	1	2	2	3	1	1	4	2	1	3	1	4	3	1	1	2	1	2	2					40
$x_5$	3	5	3	3	3	5	2	4	3	2	3	4	2	2	1	1	4	5	4	4	3	3					69
																									330		

Gautieji duomenys buvo išanalizuoti, atliktas ekspertų anketų suderinamumo tyrimas (žr. 3.4.), pagal kurį nustatyta, kad konkordacijos koeficientas atitinka normas, kas reiškia, jog ekspertų apklausos duomenys yra suderinami ir gali būti panaudoti tiriamojo darbo kriterijų svoriams nustatyti.

Remiantis apklauso duomenimis buvo apskaičiuotas kiekvieno vertinimo kriterijaus (rodiklio) reikšmingumo svoris.

3.6 lentelė. Kriterijų reikšmingumo svoris, procentais

Eil. Nr.	Rodikliai	Kriterijus	Matavimo vnt.	Svoris, proc.
1	$x_1$	Šilumos perdavimo koeficientas	$W/m^2K$	27,9
2	$x_2$	Medžiagų kaina	$eur/m^2$	27,3
3	$x_3$	Ilgamžiškumas	Metai	11,8
4	$x_4$	Tvirtumas	$MPa$	12,1
5	$x_5$	Medžiagų ekologiškumas	Balai	20,9



3.1 pav. Kriterijų reikšmingumo svoris, procentais

Apdorojus duomenis aiškiai matyti, kad prioritetiniais tapo du kriterijai – tai šilumos perdavimo koeficientas bei medžiagų kaina. Šilumos perdavimo koeficientas net 9 anketose buvo pažymėtas kaip svarbiausias, o antru pagal svarbą – 8. Tokiai ekspertų nuomonei galėjo turėti įtakos brangus šildymas žiemos sezono metu bei vienos griežčiausių Lietuvos šiluminės izoliacijos normų visoje Europoje. Medžiagų kaina kaip svarbiausia pažymėta 10 anketų, o antra pagal svarbą – 6. Tai parodo, kad Lietuvoje medžiagų kaina yra labai svarbus veiksnys, galintis nulemti galutinį konstrukcinių elementų medžiagų pasirinkimą. Matyti, kad nei vienas iš respondentų šių dviejų kriterijų neįvertino kaip mažiausiai svarbiais.

Vidutinio svarbumo kriterijumi išskirtas ekologiškumas. Tokiai ekspertų nuomonei galėjo daryti įtaką tai, kad jau pati sąlyga diktuoja jį kaip vieną iš trijų pagrindinių kriterijų, kuriais remiantis bus modeliuojamas gyvenamasis namas. Ekologiškumą, kaip patį svarbiausią kriterijų, išskyrė 3 respondentai, o antru pagal svarbą – 5. 2 respondentai šį kriterijų nurodė kaip mažiausiai reikšmingą.



Mažiausiai įvertinti kriterijai liko tvirtumas ir ilgaamžiškumas. Tai iš dalies galėjo lemti ir tai, kad šie kriterijai yra mažiausiai tiesiogiai susiję su uždaviniu. Nei vienas respondentas nei vieno iš šių kriterijų neišskyrė kaip svarbiausio.

### 3.4. Ekspertų įverčių suderinamumas

#### 3.4.1. Dispersinis konkordacijos koeficientas

Taikant daugiakriterinius metodus labai svarbu nustatyti kriterijų, t.y. rodiklių svorius. Sviurių skaičiavimo pagrindą sudaro ekspertų įvertinimai. Rezultatus galima taikyti praktikoje, jei nustatytas pakankamas ekspertų nuomonių suderinamumo lygis. Jį nustato konkordacijos koeficientas, kuris skaičiuojamas lyginamų objektų rangavimo pagrindu [20].

Sprendžiant įvairias problemas, lyginant skirtingas technologijas neįmanoma apsieiti be specialistų (ekspertų) pagalbos. Ekspertų nuomonės ir požiūris į sprendžiamą problemą ne visada sutampa - dažnai skiriasi, gali būti net ir prieštaringos. Jeigu reikia priimti sprendimą ekspertų vertinimo pagrindu, būtina įvertinti ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį. Dviejų ekspertų nuomonių suderinamumą kiekybiškai gali įvertinti koreliacijos koeficientas. Jei ekspertų skaičius didesnis už du, grupės ekspertų suderinamumo lygį rodo konkordacijos koeficientas [20].

Dispersinį konkordacijos koeficientą apibrėžė M. Kendallas [23]. Koeficiento idėja susieta su kiekvieno rodiklio rangų suma  $t_j$  visų ekspertų atžvilgiu [20]:

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

čia:  $t_{jk}$  – k-tojo eksperto j-ojo kriterijaus įvertinimas;  $r$ - apklaustų ekspertų skaičius, tiksliau, su dydžių  $t_j$  nuokrypiu nuo bendro vidurkio  $\bar{t}_j$  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 formulę:

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

Ekspertų įvertinimo dispersija, apskaičiuojama:

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

Variacijos dydis, apskaičiuojamas:

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

Sumos vidurkis, apskaičiuojamas:

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

Įvertinimo deviacija, apskaičiuojama:

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

Konkordacijos koeficientas, apskaičiuojamas:

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

Jei ekspertų nuomonės suderintos, konkordacijos koeficiento  $W$  reikšmė yra arti vieneto, jei vertinimai labai skiriasi  $W$  reikšmė yra arti nulio.

Konkordacijos koeficiento svarba, apskaičiuojama:

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

Pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį  $\alpha$  (praktikoje  $\alpha$  paprastai 0,05 arba 0,01) iš  $\chi^2$  skirsnio lentelės su  $\nu = n - 1$  laisvės laipsniu randame kritinę reikšmę  $\chi_{kr}^2$ . Jei suskaičiuota  $\chi^2$  didesnė už  $\chi_{kr}^2$ , tada ekspertų įvertinimai yra suderinami.

### 3.4.2. Ekspertų įvertinimo suderinamumo tyrimas

Sprendžiant mažaaukščių gyvenamųjų namų konstrukcinių sprendinių taikymo uždavinį buvo apklausti 25 ekspertai, kurių 22 anketos buvo tinkamos naudoti. Ekspertų apklausos rezultatai pateikti 3.6 lentelėje. Rodiklių reikšmingumams apibrėžti naudojama skalė nuo 0 iki 5. Svarbiausias rodiklis įgyja 5 balų reikšmę, visi kiti rodikliai lyginami su svarbiausiuoju, pavyzdžiui, jei rodiklis mažiau svarbus jam suteikiamas 4 balų įvertinimas, o mažiausiai reikšmingam rodikliui suteikiamas 1 balo įvertinimas.

3.6 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai

Ekspertai k=1..22	Kriterijai tjk; j=1...n; n=5				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>
1	5	4	2	1	3
2	4	3	2	1	5
3	4	5	2	1	3
4	5	4	2	1	3
5	4	5	1	2	3
6	4	3	1	2	5
7	4	5	1	3	2
8	3	5	2	1	4
9	4	5	2	1	3
10	3	5	1	4	2
11	5	4	1	2	3
12	5	2	3	1	4
13	4	5	1	3	2
14	3	5	4	1	2
15	5	3	2	4	1
16	5	4	2	3	1
17	5	2	3	1	4
18	3	4	2	1	5
19	5	3	1	2	4
20	3	5	2	1	4

3.6 lentelės tęsinys kitame puslapyje

Ekspertai k=1..22	Kriterijai t <sub>jk</sub> ; j=1...n; n=5				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>
21	4	5	1	2	3
22	5	4	1	2	3
t <sub>j</sub>	92,00	90,00	39,00	40,00	69,00
$\bar{t}_j$	4,18	4,09	1,77	1,82	3,14
L	13,24	21,81	9,17	7,60	0,78
σ <sup>2</sup>	0,63	1,04	0,44	0,36	0,04
β <sub>j</sub>	0,19	0,25	0,37	0,33	0,06

Sumos vidurkis, apskaičiuojamas:

$$V = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{n=6} \sum_{k=1}^{r=20} t_{jk} = \frac{1}{22} \cdot 330 = 15. \quad (3.10)$$

Įvertinimo deviacija, apskaičiuojama:

$$S = \sum_{j=1}^{n=6} \left( \sum_{k=1}^{r=20} t_{jk} - V \right)^2 = 4449.50. \quad (3.11)$$

Konkordacijos koeficientas, apskaičiuojamas:

$$W = \frac{12 \cdot S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 99225}{22^2(9^3 - 9)} = 0.2847. \quad (3.12)$$

Konkordacijos koeficiento svarba, apskaičiuojama:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{r \cdot n \cdot (n+1)} = \frac{12 \cdot 99225}{22 \cdot 9 \cdot (9+1)} = 601.564. \quad (3.13)$$

Pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį  $\alpha$  iš  $\chi^2$  skirsnio lentelės su  $\nu = n - 1$  laisvės laipsniu randame kritinę reikšmę  $\chi_{krit}^2(0.05; 9) = 15.21$  tai yra daug mažiau už  $\chi^2$ , todėl ekspertų įvertinimai šios apklausos metu yra gerai suderinti.

### 3.5. Pradiniai uždavinio duomenys

Remiantis pasirinktomis alternatyvomis bei atrinktais vertinimo kriterijais, sudaroma pradinė uždavinio lentelė su duomenimis, kuria remiantis atliekama analizė ir vertinimas. Kadangi daugiakriteriniu vertinimo metodu bus lyginamos trys atskiros statinio konstrukcijos – sienos, langai ir stogas – sudaromos dvi atskiros lentelės.

3.7 lentelė. Sienų alternatyvos ir jų vertinimas

Alternatyva	Kriterijai				
	Šilumos perdavimo koeficientas ( $W/m^2K$ )	Medžiagų kaina ( $eur/m^2$ )	Ilgamžiškumas (metais)	Tvirtumas, (MPa)	Medžiagų ekologiškumas (balais)
	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$
<b>Matavimo vienetai</b>	$W/m^2K$	$eur/m^2$	metai	MPa	balai
<b>Kriterijaus svoris</b>	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
<b>Optimizacijos kryptis</b>	min	min	max	max	max
Akyto betono blokelių siena + vata	0,12	35	60	3,6	2
Keraminių blokelių siena + vata	0,12	32	50	13	4
Keramzitinių blokelių siena + vata	0,12	37	100	5	3
Silikatinių blokelių siena + vata	0,12	25	100	17,5	3
Keraminės plytos + vata	0,12	47	100	25	4
Silikatinės plytos + vata	0,12	40	100	30	3
Akyto betono blokelių siena + poliestirolas	0,12	40	60	3,6	1
Keraminių blokelių siena + polistirolas	0,12	34	50	13	3
Keramzitinių blokelių siena + polistirolas	0,12	44	100	5	2
Silikatinių blokelių siena + polistirolas	0,12	32	100	17,5	2
Keraminės plytos + polistirolas	0,11	49	100	25	3
Silikatinės plytos + polistirolas	0,11	47	100	30	2
Termoblokų siena	0,09	52	100	30	2
Karkasinė medinė siena	0,12	51	50	5,5	5
Rąstinė siena	0,12	75	100	7,5	5

3.8 lentelė. Langų alternatyvos ir jų vertinimas

Alternatyva	Kriterijai				
	Šilumos perdavimo koeficientas ( $W/m^2K$ )	Medžiagų kaina (eur/ $m^2$ )	Ilgamžiškumas (metais)	Tvirtumas, (MPa)	Medžiagų ekologiškumas (balais)
	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$
Matavimo vienetai	$W/m^2K$	eur/ $m^2$	metai	MPa	balai
Kriterijaus svoris	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
Optimizacijos kryptis	min	min	max	max	max
PVC langai	0,85	70	35	2,5	1
Mediniai langai	0,79	130	100	5	5
Aliuminiai langai	0,88	190	100	7	3

3.9 lentelė. Stogo dangų alternatyvos ir jų vertinimas

Alternatyva	Šilumos perdavimo koeficientas ( $W/m^2K$ )	Medžiagų kaina (eur/ $m^2$ )	Ilgamžiškumas (metais)	Tvirtumas, (balais)	Medžiagų ekologiškumas (balais)
Matavimo vienetai	$W/m^2K$	eur/ $m^2$	metai	balai	balai
Kriterijaus svoris	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
Optimizacijos kryptis	min	min	max	max	max
Metalinė (plienas, aliuminis, varis, cinkas) stogo danga	0,1	6,08	45	3	4
Bituminių čerpių danga	0,1	6,27	50	3	1
Keraminių čerpių danga	0,1	10,52	100	4	5
Betoninių čerpių danga	0,1	5,76	100	4	5
Akmens skalūno stogo danga	0,1	12,99	120	5	5
Neasbestinis šiferis	0,1	8,56	25	3	2

### 3.6. Sienų alternatyvų analizė pagal atskirus kriterijus

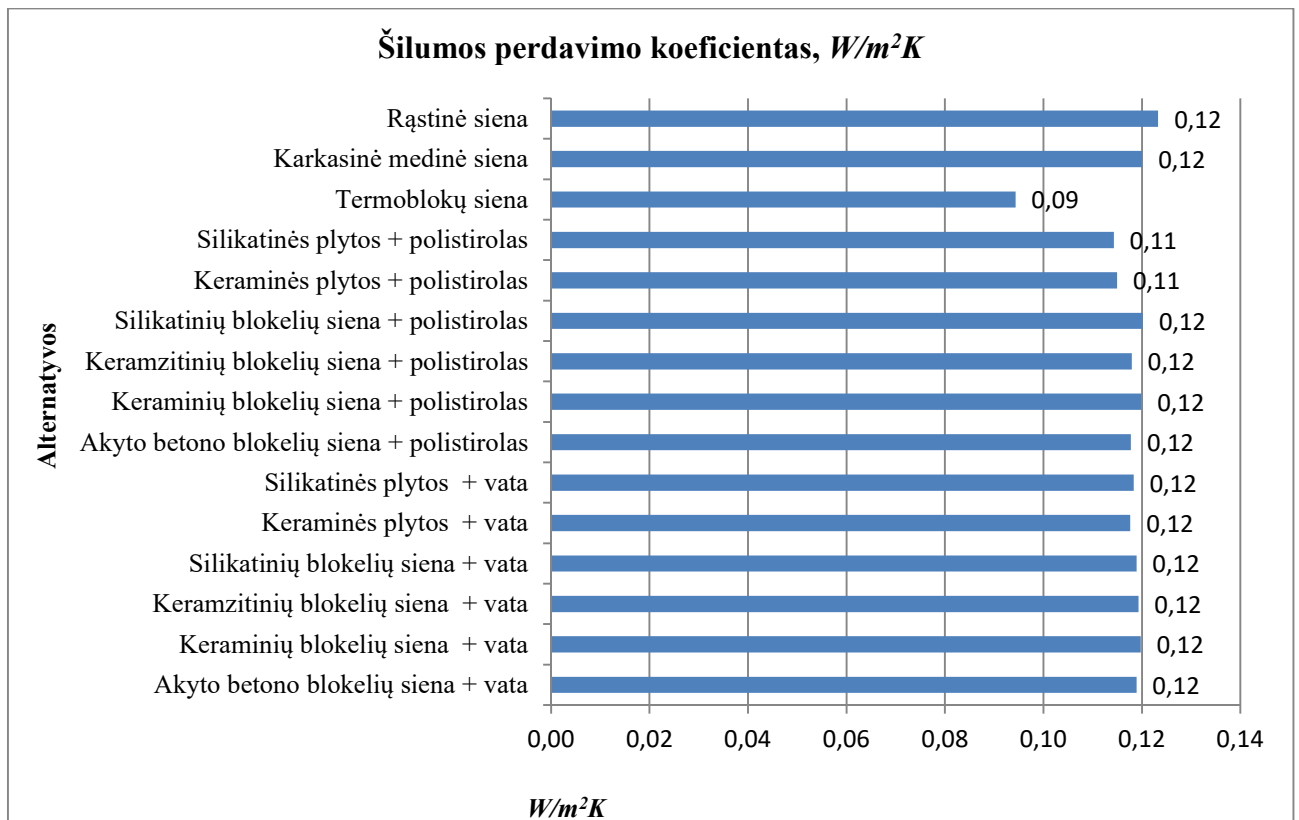
**Šilumos perdavimo koeficientas.** Nuo 2016 metų visose ES šalyse nauji pastatai ir jų dalys turi atitikti energinio naudingumo A klasės pastatams keliamus reikalavimus, o jau nuo 2018 metų visi nauji pastatai ir jų dalys turi atitikti energinio naudingumo A+ klasės reikalavimus [27]. A klasės namas yra statinys, kurio  $C < 0,5$ , o A+ klasės namas yra statinys, kurio  $C < 0,375$ . Sienų šiluminės savybės išreiškiamos per konstrukcijų šilumos laidumo koeficientus (koeficientai yra pateikiami  $W/m^2K$  išraiška). Kad pastatas atitiktų A klasės pastatams keliamus reikalavimus, sienų šilumos perdavimo koeficientas turi būti ne didesnis nei  $0,12 W/m^2K$ , o A+ ne didesnis nei  $0,11$ . Norint pasiekti reikiamą klasę, tai galima padaryti naudojant didesnę izoliacinės medžiagos sluoksnį. Kaip pavyzdžiui, silikatiniai blokėliai su 17 mm storio vatos sluoksniu atitiks tik B klasę, o su 30 mm storiu – A klasę.



3.2 pav. Namų ir jų dalių skirstymas pagal energetinio naudingumo klases [29]

Remiantis gamintojų pateikta informacija matyti, kad didelių šilumos perdavimo koeficientų svyravimų renkantis medžiagas sienų konstrukcijai nėra. Tai dalinai galima paaiškinti ir tuo, kad reikalavimai energetiniam naudingumui vis didėja, tad ne reikalavimai vežasi statybinių konstrukcijų techninius parametrus, bet statytojai turi stengtis pasiekti keliamus reikalavimus ir pasiekti reikiamą energetinį naudingumą. Tad matosi, kad daugelis sienų alternatyvų jau 2018 metais nebeatitiks reikalavimų, kai klasė turės būti nebe A, o A+.

Iš esmės galima išskirti tik vieną alternatyvą, kuri, pasak jos gamintojų, ženkliai skiriasi nuo kitų alternatyvų – tai termoblokų siena. Termoblokų šilumos perdavimo koeficientas –  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tai galima paaiškinti tuo, kad tai gana nauja sienų statybinė medžiaga, tad gamintojas orientuojasi į kuo didesnę energetinį naudingumą. Betono sluoksnis apšiltinamas tiek iš išorės, tiek iš vidaus ir taip sukuriama visiška izoliacija bei panaikinamas „rasos taškas“, taigi išvengiama šalčio tiltų.

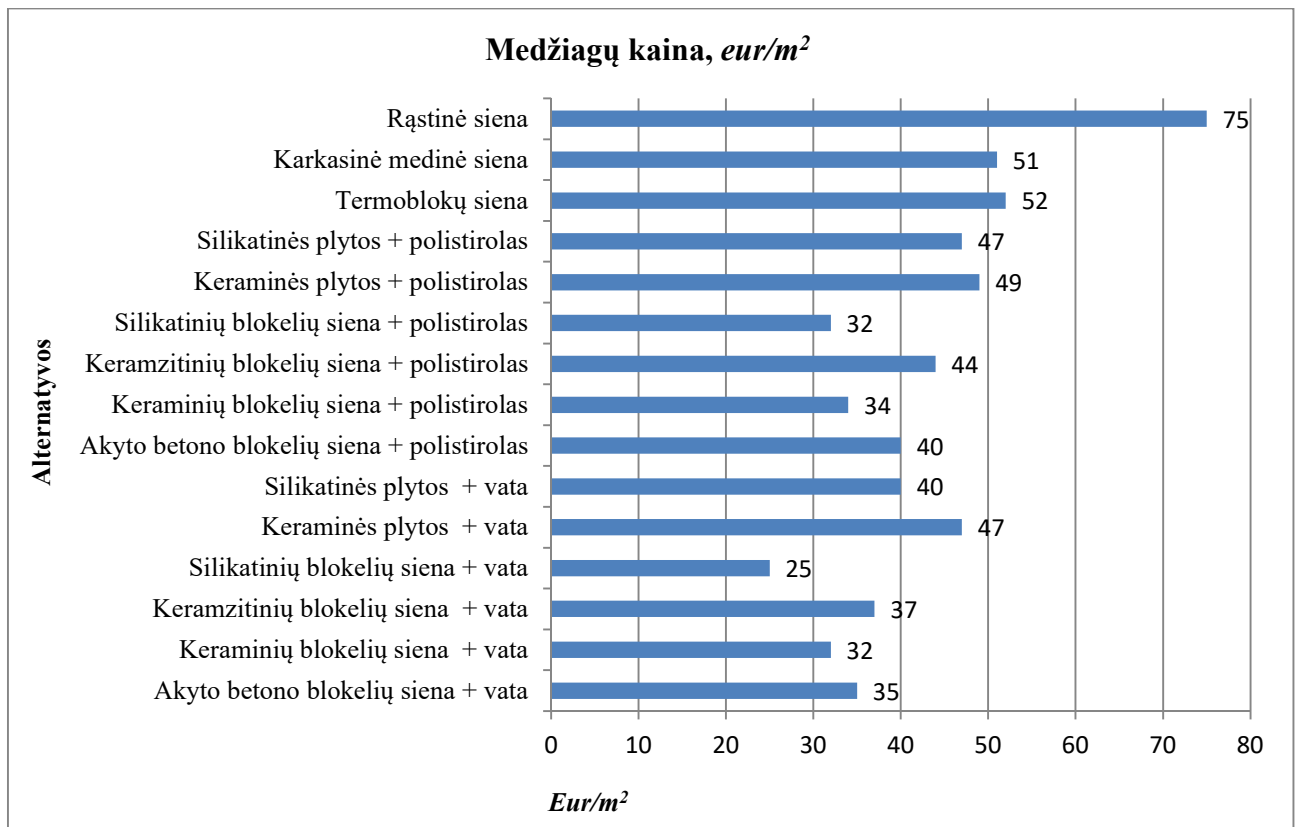


3.3 pav. Sienų alternatyvų palyginimas pagal šilumos perdavimo koeficientą

**Medžiagų kaina.** Statant namo sienas medžiagų kaina sudaro didžiausią dalį išlaidų, tad ji labai dažnai, ypač Lietuvoje, yra vienas lemiamų veiksnių, kokias sienas pasirinkti. Kaip matyti iš pateiktų duomenų, silikatiniai blokeliai yra viena pigiausių statybinių medžiagų sienų konstrukcijai. Pasirenkant apšiltinimui ne polistirolą, o vatą, galima dar daugiau sutaupyti. Iš esmės žiūrint į bet kurią blokelių alternatyvą ir lyginant su plytomis, tai yra pigiausia statybinė medžiaga. Juolab čia skaičiuojama tik medžiagų kaina. Pridėjus ir darbo kaštus atotrūkis tik didėtų.

Brangiausia medžiaga sienoms – rąstai. Tai natūrali medžiaga, kurios apdirbimas reikalauja daug išteklių ir laiko, kas ir lemia aukštą produkto kainą. Tad tokia medžiaga vis dar išlieka dalinai prabangos prekė.



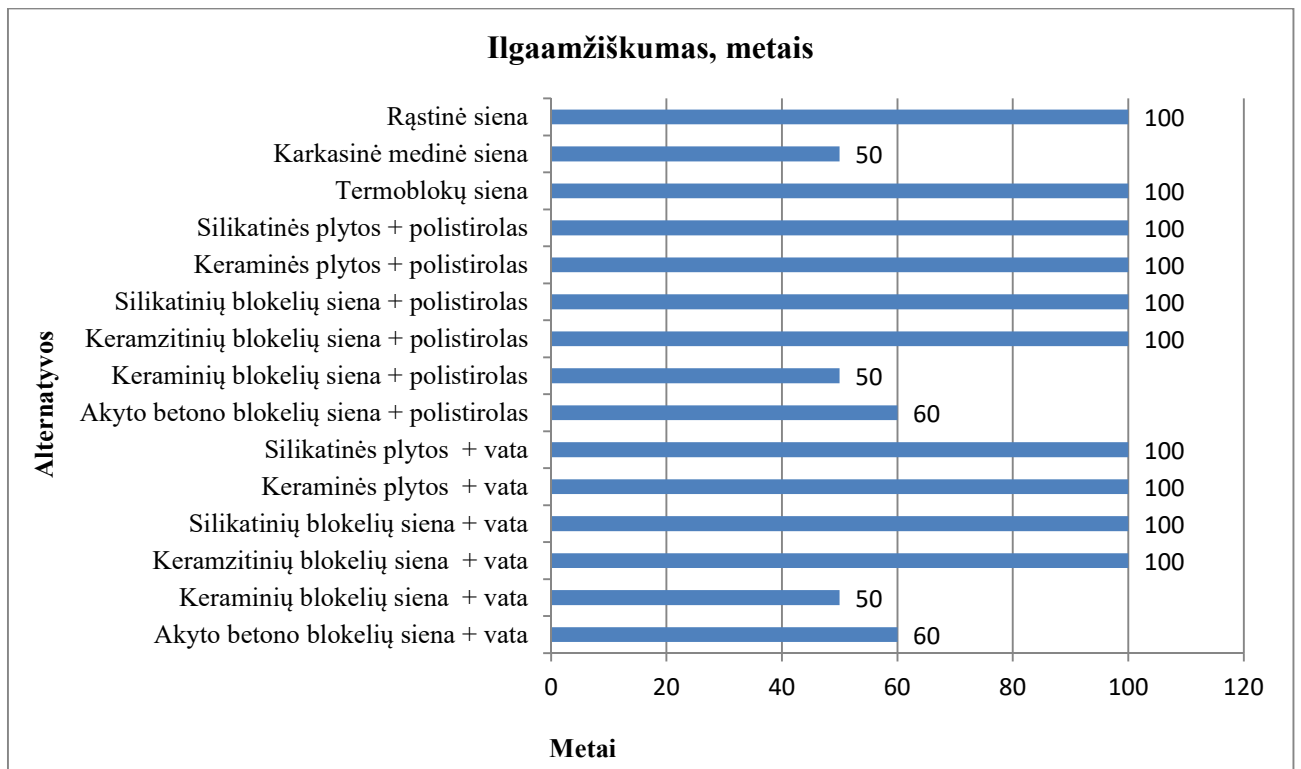


3.4. Sienų alternatyvų palyginimas pagal medžiagų kainą

**Sienų ilgaamžiškumo vertinimas.** Mažaaaukščių gyvenamųjų namų sienų ilgaamžiškumas vertinamas metais pagal gamintojų pateiktas technines charakteristikas apie medžiagas, iš kurių pastatytos sienos. Pastato sienų ilgaamžiškumas, tai savybė, kuri parodo, kokią laiką namo sienos gali tarnauti nepakeitę pradinių savo savybių, formų, išvaizdos. Šį parametą apibrėžia STR 2.05.09:2005 [28]: konstrukcija yra ilgalaikė, jeigu per visą numatytą naudojimo laiką ji išlieka stipri ir stabili bei tinkama naudoti. Nors ir sienų konstrukcijų ilgalaikiškumui esminę įtaką turi jų atsparumas šalčiui, ilgaamžiškumą apsprendžia ne vienas veiksnys ir ne viena medžiagos savybė, tad gamintojai pateikia galutinę vertę. Taigi sienų ilgaamžiškumo analizė atlikta pasitelkus šių medžiagų gamintojų deklaracijas apie rekomenduojamą medžiagų tarnavimo laiką.

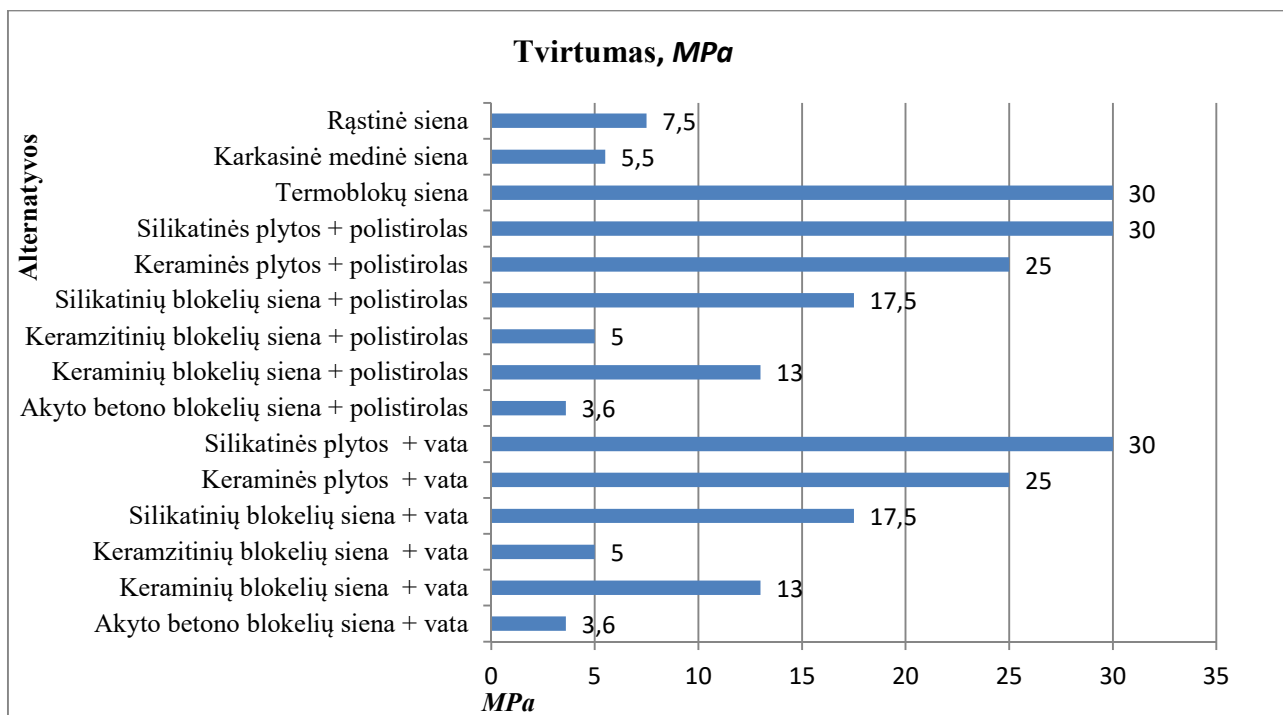
Remiantis gamintojų pateikta informacija, trumpiausias tarnavimo laikas yra keraminių blokelių bei karkasinių medinių sienų. Gamintojų nurodomas tarnavimo laikas yra 50 metų, nors praktikoje pilna pavyzdžių, kai mediniai namai sulaukia ir šimtmečio. Tad svarbu pabrėžti tai, kad gamintojai deklaruoja tokį tarnavimo laikotarpį, kada sienos yra nepakitusiomis fizikinėmis savybėmis, tai yra vis dar atitinka geriausias savo savybes – tankį, stiprį, vandens įgertumą, varžą ir pan.

Pačios ilgaamžiškiausios sienos yra iš plytų, keramzitinių ir silikatinių blokelių, termoblokų bei rąstiniai namai. Tai lemia šių medžiagų atsparumas išorės poveikiui.



### 3.5. Sienų alternatyvų palyginimas pagal ilgaamžiškumą

**Sienų tvirtumo vertinimas.** Tvirtumas viena svarbiausių sienų savybių, nors ir nemažiau svarbi ir šiluminė varža ir pan. Sienos tvirtumą įtakoja naudojamų medžiagų stiprumas. Kaip pavyzdžiui, jeigu blokai ar kita statybinė medžiaga nepakankamai stipri, reikalingas papildomas stiprinimas. Parinkta medžiaga sienoms užtikrina pastato tvirtumą, saugumą, taupo lėšas statybose, suteikia patogų gyvenimą name. Stiprumas yra techninė savybė ir ji nurodoma atitikties deklaracijoje (vid. stipris gniuždant).

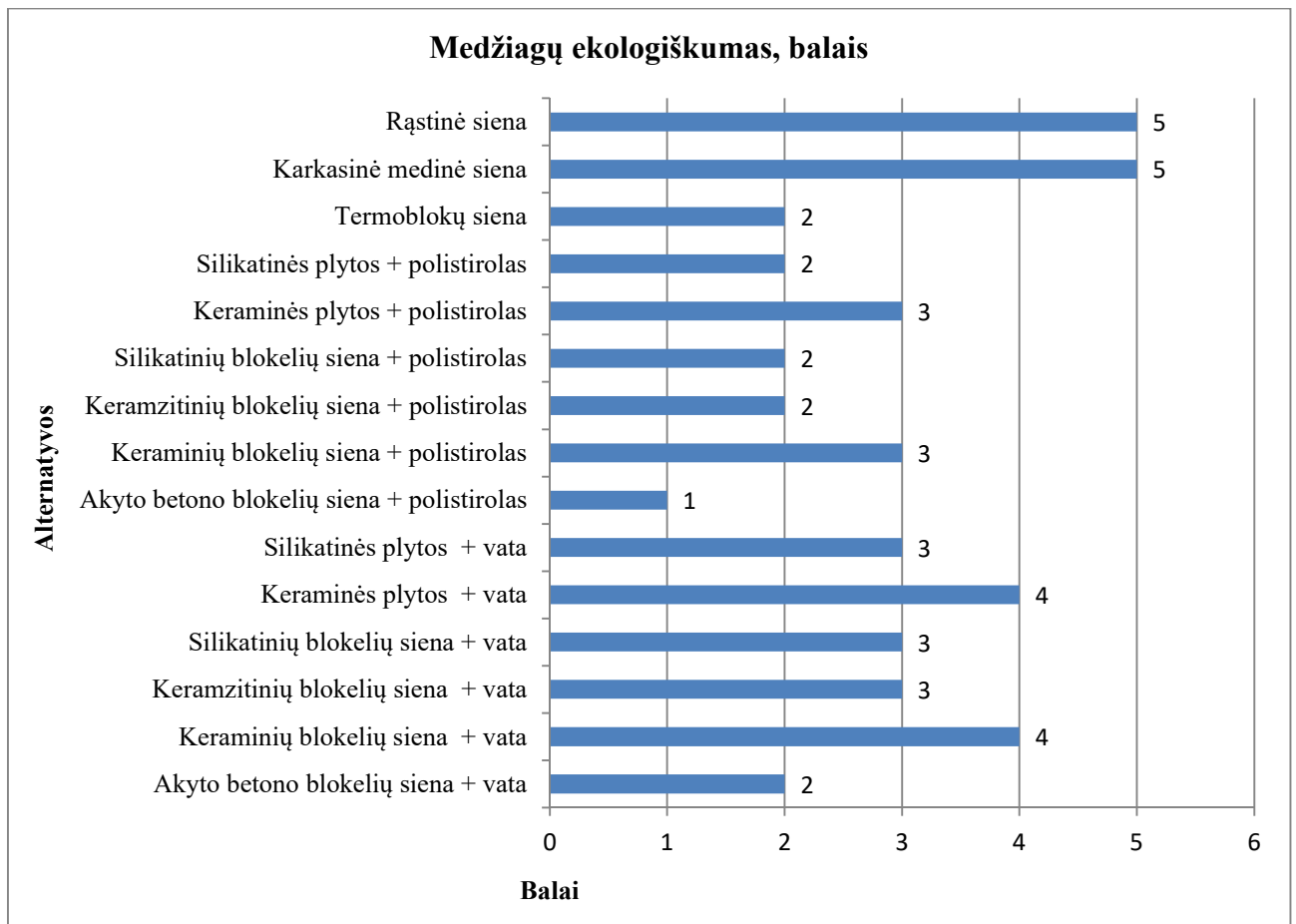


3.6. Sienų alternatyvų palyginimas pagal tvirtumą

**Ekologiškumas.** Skirtingos plytos ir blokeliai gaminami iš skirtingų medžiagų. Pagal tai galima spręsti, kurios yra ekologiškesnės, o kurių sudėtyje yra daugiau kenksmingų medžiagų. Skirtingų gamintojų statybinių medžiagų sudėtis gali skirtis, bet dažniausiai gamintojų pateikiamos tokios charakteristikos, kaip 3.10 lentelėje. Įvertinimai pateikti apklausus sienų konstruktyvais prekiaujančių įmonių atstovus (Priedas Nr. 2).

3.10 lentelė. Plytų ir blokelių sudėtinės dalys

Pavadinimas	Sudėtis
Silikatiniai blokeliai/plytos	Smėlis, kalkės, vanduo.
Keraminiai blokeliai/plytos	Molis, smėlis, šamotas ir kt. priedai.
Akyto betono blokeliai/plytos	Kalkės, smėlis, vanduo, cementas, priedai (aliuminio folija ar kiti)
Keramzitiniai blokeliai/plytos	Keramzitas (keptas molis), vanduo, cementas.
Karkasinė medinė, rąstinė	Medis
Termoblokai	Cementas, smėlis, skalda, vanduo.



3.7 pav. Sienų alternatyvų vertinimas pagal ekologiškumą

**Daugiakriterinis.** Tiriamojo darbo analizei buvo panaudoti trys daugiakriterinio vertinimo metodai. Tai TOPSIS, COPRAS ir ARAS. Taikant šiuos metodus buvo analizuojama penkiolika sienų alternatyvų pagal penkis kriterijus. Uždavinių duomenys pateikti 3.11 lentelėje.

3.11 lentelė. Daugiakriterinės analizės duomenys

Alternatyva	Kriterijai				
	Šilumos perdavimo koeficientas ( $W/m^2K$ )	Medžiagų kaina ( $eur/m^2$ )	Ilgamžiškumas (metais)	Tvirtumas, (MPa)	Medžiagų ekologiškumas (balais)
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
<b>Matavimo vienetai</b>	$W/m^2K$	$eur/m^2$	metai	MPa	balai
<b>Kriterijaus svoris</b>	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
<b>Optimizacijos kryptis</b>	min	min	max	max	max
Akyto betono blokelių siena + vata	0,12	35	60	3,6	2
Keraminių blokelių siena + vata	0,12	32	50	13	4

3.11 lentelės tęsinys kitame puslapyje

Alternatyva	Kriterijai				
	Šilumos perdavimo koeficientas, $W/m^2K$	Medžiagų kaina $eur/m^2$	Ilgamžiškumas, metais	Tvirtumas, $Mpa$	Medžiagų ekologiškumas
	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$
<b>Matavimo vienetai</b>	$W/m^2K$	$eur/m^2$	metai	$MPa$	balai
<b>Kriterijaus svoris</b>	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
<b>Optimizacijos kryptis</b>	min	min	max	max	max
Keramzitinių blokelių siena + vata	0,12	37	100	5	3
Silikatinių blokelių siena + vata	0,12	25	100	17,5	3
Keraminės plytos + vata	0,12	47	100	25	4
Silikatinės plytos + vata	0,12	40	100	30	3
Akyto betono blokelių siena + polistirolas	0,12	40	60	3,6	1
Keraminių blokelių siena + polistirolas	0,12	34	50	13	3
Keramzitinių blokelių siena + polistirolas	0,12	44	100	5	2
Silikatinių blokelių siena + polistirolas	0,12	32	100	17,5	2
Keraminės plytos + polistirolas	0,11	49	100	25	3
Silikatinės plytos + polistirolas	0,11	47	100	30	2
Termoblokų siena	0,09	52	100	30	2
Karkasinė medinė siena	0,12	51	50	5,5	5
Rąstinė siena	0,12	75	100	7,5	5

Šios analizės tikslas buvo išsiaiškinti sienų alternatyvą mažaaaukščiam gyvenamajam namui, kuris geriausiai atitiktų energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus. Rezultatai pateikti 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. Sienų alternatyvų analizės rezultatai daugiakriteriniais metodais

Alternatyvos	Copras	Topsis	Aras
Akyto betono blokelių siena + vata	14	11	11
Keraminių blokelių siena + vata	8	7	13
Keramzitinių blokelių siena + vata	9	10	9
Silikatinių blokelių siena + vata	1	4	1
Keraminės plytos + vata	3	1	3
Silikatinės plytos + vata	2	2	2
Akyto betono blokelių siena + poliestirolas	15	13	12
Keraminių blokelių siena + poliestirolas	10	9	14

3.12 lentelės tęsinys kitame puslapyje

3.12 lentelės tęsinys

Keramzitinių blokelių siena + poliestirolas	12	12	10
Silikatinių blokelių siena + poliestirolas	7	8	7
Keraminės plytos + poliestirolas	6	3	5
Silikatinės plytos + poliestirolas	5	6	6
Termoblokų siena	4	5	4
Karkasinė medinė siena	13	14	15
Rąstinė siena	11	15	8

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, duomenys pagal visus tris daugiakriterinio vertinimo metodus yra panašūs. Tik sprendžiant TOPSIS metodu, gautas sprendinys yra skirtingas nuo kitų dviejų, bet nėra kardinaliai skirtingas.

Tačiau susumavus visus daugiakriterinio vertinimo metodų rezultatus aiškiai matosi tai, kad racionaliausias mažaaukščio gyvenamojo namo sienų pasirinkimas, kuris būtų tiek energetiškai naudingiausias, tiek ekonomiškiausias, tiek ekologiškiausias yra silikatinių blokelių siena. Šio tipo blokeliai su vatos šiltinimu pagal pasirinktus kriterijus aplenkė kitas alternatyvas. Ne veltui Lietuvoje šio tipo sienos yra pačios populiariausios, nes daugelis statytojų stengiasi turėti energetiškai naudingą namą už prieinamą kainą, o vata vietoje polistirolo užtikrina ekologiškesnes statybas.

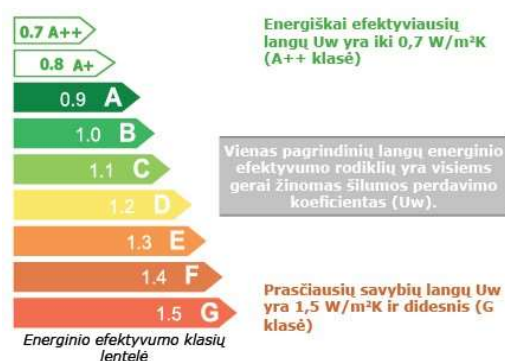
Antroje vietoje likusios sienos iš silikatinių plytų su vatos šiltinimu taip pat gerai žinomos Lietuvoje. Tačiau jų populiarumas šiais laikais yra labai sumenkęs, labiausiai dėl didelių darbo kaštų, nes dėl plytos mažų gabaritų mūro darbai užtrunka ženkliai ilgiau nei renkantis blokelių. Taigi plytinės pastatų konstrukcijos nėra pakankamai efektyvios dėl didesnių darbų kaštų, kurie nebuvo vertintas šio tyrimo metu, tad praktiškai sunkiai galėtų konkuruoti su blokelių alternatyva.

### 3.7. Langų analizė pagal skirtingus kriterijus

**Šilumos perdavimo koeficientas.** Tam, kad palengvinti langų pasirinkimą, Europos Sąjungos šalyse jau kurį laiką langai klasifikuojami pagal jų esmines savybes. Viena jų yra energetinis efektyvumas. Toks esminių langų savybių deklaravimo būdas leidžia aiškiau įvertinti naudą, kurią gali duoti skirtingi langai.

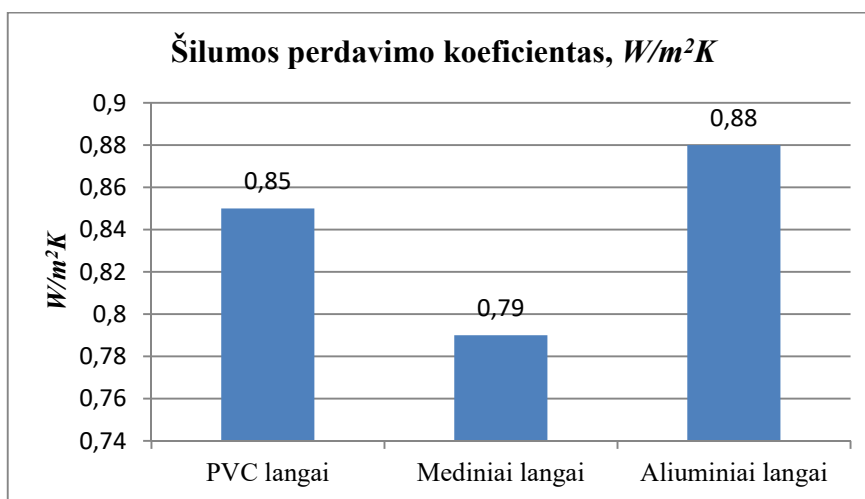
Langų energetinio efektyvumo klasė, nurodo energijos taupymą. Pagrindinis langų energetinio efektyvumo klasės nustatymo kriterijus - jų šilumos perdavimo koeficientas  $U_w$ , kurio nustatymo būdai yra griežtai reglamentuoti ES norminių dokumentų. Nepriklausomai nuo pastato orientacijos, aplinkos ar kitų faktorių, langų  $U_w$  reikšmė išlieka ta pati visame pasaulyje.

Langų energetinio efektyvumo klasifikavimo skalėje reitinguojami visi langai – prasčiausių savybių langai, kurių  $U_w$  yra  $1,5 W/m^2K$  ir didesnis, yra priskiriami G klasei, o energetiškai efektyviausi langai, kurių  $U_w$  yra iki  $0,7 W/m^2K$ , yra priskiriami aukščiausiai A++ klasei. Visa klasifikacija pateikta 3.8 paveiksliuke.



3.8 pav. Langų energetinio efektyvumo klasių lentelė [30]

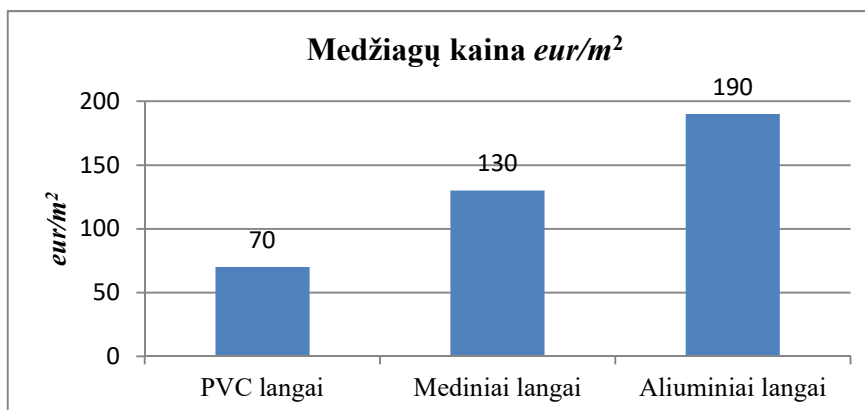
Taigi iš lentelės matyti, kad norint, jog langai atitiktų nuo 2016 metų visose ES šalyse naujiems pastatams keliamus reikalavimus,  $U_w$  turi būti iki  $0,9 W/m^2K$ . Gamintojai ir tiekėjai yra pasiruošę ir visi siūlo langų alternatyvas (nesvarbu, ar tai PVC, ar mediniai, ar aliuminiai langai), kurios atitinka šiuos reikalavimus. Remiantis surinktais duomenimis, geriausiai energetinio naudingumo reikalavimus atitinka mediniai langai, kurių, pasak gamintojų,  $U_w$  yra  $0,79 W/m^2K$ . PVC langai yra antroje vietoje, nuo kurių nedaug atsilieka ir aliuminiai.



3.9 pav. Langų alternatyvų vertinimas pagal šilumos perdavimo koeficientą

**Kaina.** Skirtingos langų medžiagos labai aiškiai diferencijuoja ir langų kainas. Remiantis surinktais duomenimis, kurie pateikti 3.10 diagramoje, pigiausi yra PVC langai. Vidutiniškai  $1/m^2$  kaina yra 70 eurų, tuo tarpu brangiausių langų – aliuminių – kvadratinio metro kaina gali siekti ir

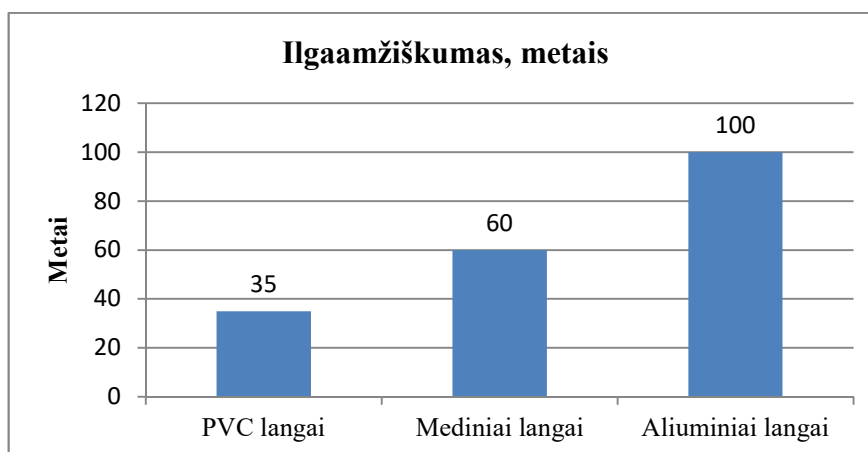
190 eurų. Galima daryti išvadą, kad tai yra viena iš priežasčių, kodėl PVC langai yra tokie populiarūs Lietuvoje.



3.10 pav. Langų alternatyvų vertinimas pagal kainą

**Ilgaamžiškumas.** Langų ilgaamžiškumas, tai savybė, kuri parodo, kokį laiką tarpą langai gali tarnauti nepakeitę pradinių savo savybių, formų, išvaizdos. Taigi langų ilgaamžiškumo analizė atlikta pasitelkus langų gamintojų deklaracijas apie rekomenduojamą jų tarnavimo laiką.

Remiantis gamintojų pateikta informacija, trumpiausias tarnavimo laikas yra PVC langų. Gamintojų nurodomas tarnavimo laikas yra tik 35 metai. Bet svarbu pabrėžti tai, kad gamintojai deklaruoja tokį tarnavimo laikotarpį, kada langai yra nepakitusiomis fizikinėmis savybėmis ir yra išlaikę gerąsias savo savybes, tokias kaip šilumos izoliaciją, sandarumą ir pan. Patys ilgaamžiškiausi yra aliuminiai langai.



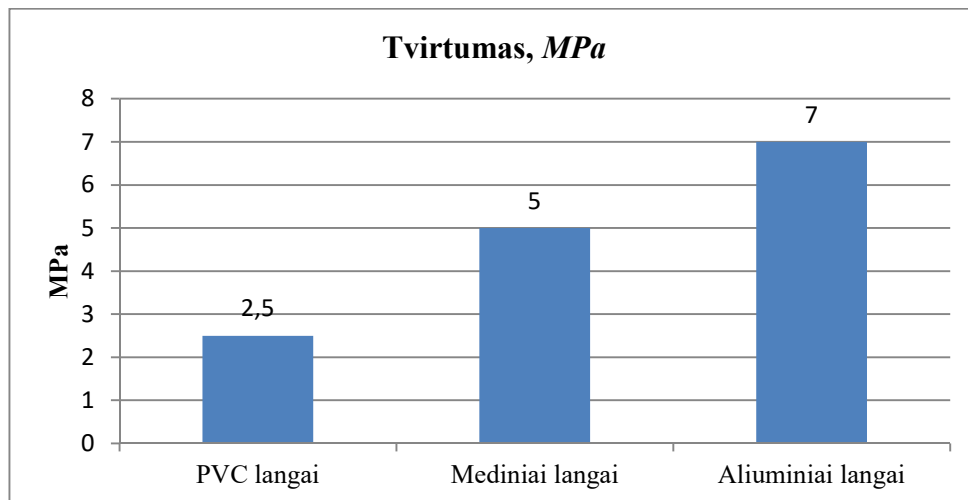
3.11 pav. Langų alternatyvų vertinimas pagal ilgaamžiškumą

**Tvirtumas.** Šis kriterijus, galima sakyti, kad langams pritaikomas tik dalinai, t.y. jis apibūdina tik pačios lango konstrukcijos, kaip atskiro elemento, tvirtumą. Bet tai nėra laikančioji



konstrukcija. Langų tvirtumas parodo jų atsparumą mechaniniams veiksniams, kaip pavyzdžiui, įbrėžimams, įspaudams, skilimams, įlenkimams ir pan.

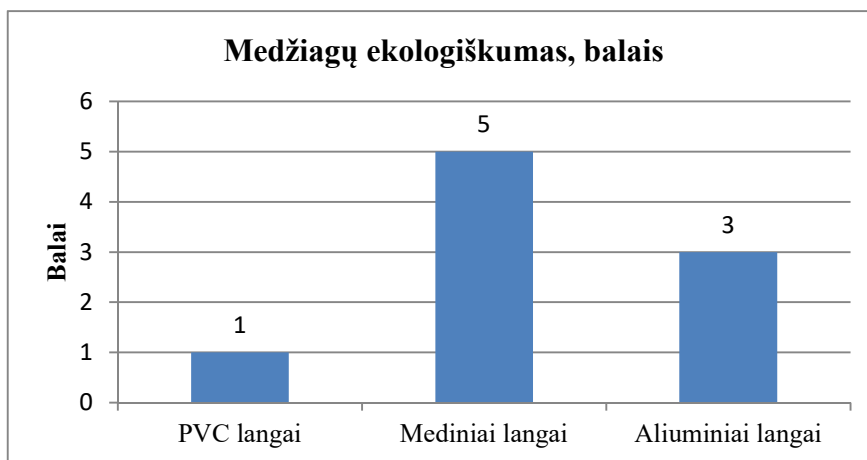
Remiantis gamintojų pateiktomis charakteristikomis tvirčiausi yra aliuminiai langai, o silpniausi – PVC langai.



3.12 pav. Langų alternatyvų vertinimas pagal tvirtumą

**Ekologiškumas.** Apie langų ekologiškumą galima spręsti pagal jų sudedamąsias dalis. Šiuo atveju visų langų pagrindą sudaro stiklas, skiriasi tik rėmo medžiagos. Tai kokybinis kriterijus, tad norint jį įvertinti buvo apklausti langų gamintojai (anketa pateikta priede Nr. 3) ir analizė sudaroma remiantis jų pateikta informacija.

Patys ekologiškiausi langai yra mediniai, o neekologiškiausi – PVC langai, kurių sudėtyje galima rasti ir tokių kenksmingų medžiagų, kaip švinas.



3.13 pav. Langų alternatyvų vertinimas pagal ekologiškumą

**Daugiakriterinis langų alternatyvų vertinimas.** Taigi matyti, kad langai vieni nuo kitų skiriasi gana ženkliai visais rodikliais. Tad kuriuos pasirinkti - gal medinius, gal plastikinius, o gal aliumininius, kad kuo geriau atitiktų energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus? Neretai langų gamintojai akcentuoja vis kitus, savo nuožiūra, svarbiausius savo langų privalumus: vienas – langų medžiagų ekologiškumą, antras – langų rėmų gabaritus, trečias – profilių kamerų skaičių ar armavimo būdą, o dar sekantis – stiklų skaičių. Tai, iš kokių medžiagų, yra pagaminti langai yra labai svarbu, tačiau remiantis šia informacija neįmanoma palyginti skirtingų konstrukcijų naudingumo.

Taigi analizei buvo panaudoti trys daugiakriterinio vertinimo metodai. Tai TOPSIS, COPRAS ir ARAS. Taikant šiuos metodus buvo analizuojamos trys langų alternatyvos pagal penkis kriterijus. Uždavinio duomenys pateikti 3.13 lentelėje.

3.13 lentelė. Daugiakriterinės analizės duomenys

Alternatyva	Kriterijai				
	Šilumos perdavimo koeficientas ( $W/m^2K$ )	Medžiagų kaina ( $eur/m^2$ )	Ilgamžiškumas (metais)	Tvirtumas, (MPa)	Medžiagų ekologiškumas (balais)
	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$
<b>Matavimo vienetai</b>	$W/m^2K$	$eur/m^2$	metai	MPa	balai
<b>Kriterijaus svoris</b>	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
<b>Optimizacijos kryptis</b>	min	min	max	max	max
PVC langai	0,85	70	35	2,5	1
Mediniai langai	0,79	130	100	5	5
Aliuminiai langai	0,88	190	100	7	3

Šios analizės tikslas buvo išsiaiškinti langų alternatyvą mažaaukščiam gyvenamajam namui, kuri geriausiai atitiktų energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus. Rezultatai pateikti 3.14 lentelėje.

3.14 lentelė. Langų alternatyvų analizės rezultatai daugiakriteriniais COPRAS, TOPSIS ir ARAS metodais

<i>Alternatyvos</i>	<i>Copras</i>	<i>Topsis</i>	<i>Aras</i>
PVC langai	3	3	3
Mediniai langai	1	1	1
Aliuminiai langai	2	2	2

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, duomenys pagal visus tris daugiakriterinio vertinimo metodus yra vienodi. Aiškiai matosi, kad racionaliausias mažaaukščio gyvenamojo namo langų pasirinkimas, kuris būtų tiek energetiškai naudingiausias, tiek ekonomiškiausias, tiek ekologiškiausias yra mediniai langai. Šio tipo langai pagal pasirinktus kriterijus aplenkė kitas alternatyvas. Nors šio tipo langai nėra itin populiarūs Lietuvoje, tačiau statytojai, kurie stengiasi, kad jų statinys atitiktų energetinio naudingumo, ekonomiškumo ir ekologiškumo kriterijus kartu, turėtų rinktis šią alternatyvą.

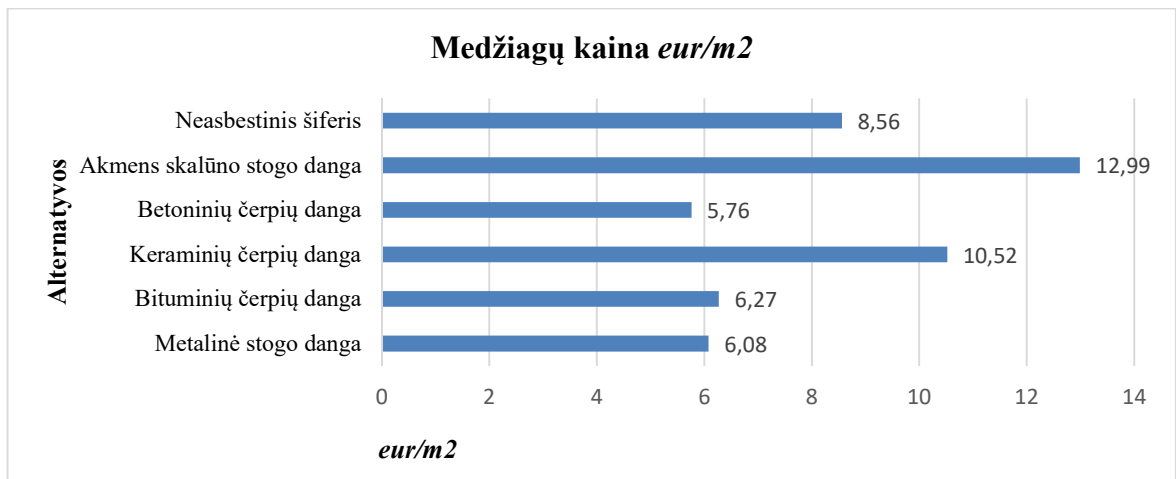
Antroje vietoje likę aliuminio profilio langai taip pat gerai žinomi Lietuvoje, bet, galima daryti išvadą, nėra tokie populiarūs dėl savo kainos. Paskutinėje vietoje likę PVC langai yra populiariausi Lietuvoje, kur vienareikšmiškai pasirinkimui lemiamą reikšmę duoda kaina. Tačiau vertinant aukščiau minėtais kriterijais tai pats prasčiausias pasirinkimas.

### 3.8. Stogų dangos analizė pagal skirtingus kriterijus

**Šilumos perdavimo koeficientas.** Kai kalbame apie stogo alternatyvas šiame darbe, skirstome jas pagal pasirinktą stogo dangą, o ne pagal pačią konstrukciją. Iš esmės visi stogai turi atitikti keliamus reikalavimus, kurie nurodyti STR 2.05.01:2013 [27] ir turi būti apšiltinti taip, kad šilumos perdavimo koeficientas būtų ne didesnis nei  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei atitiktų A klasę. Apšiltinimo esmė yra šiltinimo medžiagų storis bei sandarumas, todėl reikia rinktis kokybiškas medžiagas. Tačiau iš esmės stogo konstrukcija, neskaitant jos dangos, yra viena – gegnės, vata, paklotas. Tad logiška, kad kuo didesnis sluoksnis šiltinimo medžiagos bus uždėtas, tuo bus geriau apšiltinta ir didesnis sandarumas. Taigi šiuo atveju atliekant tyrimą buvo imta minimali reikšmė, kurią turi atitikti stogo konstrukcija, o pasirinkta danga nedaro įtakos šiluminei varžai. Tad šiuo atveju viso alternatyvos yra lygios.

**Kaina.** Stogo dangų medžiagos yra labai skirtingos lyginant jas pagal kainas. Remiantis surinktais duomenimis, kurie pateikti 3.14 diagramoje, matyti, kad ekonomiškiausia stogo danga yra betoninių čerpių danga, kurios vidutinė kaina rinkoje už  $1 \text{ m}^2$  - 5,76 euro. Antra pagal kainą stogo danga yra metalinė, kuri yra labai populiari Lietuvoje. Jos vidutinė kaina už  $1 \text{ m}^2$  yra 6,08 euro. Nors ir šios dangos kaina yra kiek didesnė už pirmąjį variantą, tačiau tikėtina, kad jos populiarumą Lietuvoje lemia greitesni ir lengvesni darbai nei su čerpėmis.

Brančiausia stogo dangos alternatyva – akmens skalūno stogo danga, kuri yra dvigubai brangesnė nei betoninės čerpės ar metalinė. Kol kas retai kada galima pamatyti stogus su akmens skalūno stogo danga, nes tai kol kas prabangos prekė ne tik dėl savo kainos, bet ir todėl, kad pati stogo konstrukcija dėl pačios dangos svorio turi būti tvirtesnė ir specialiai paruošta.

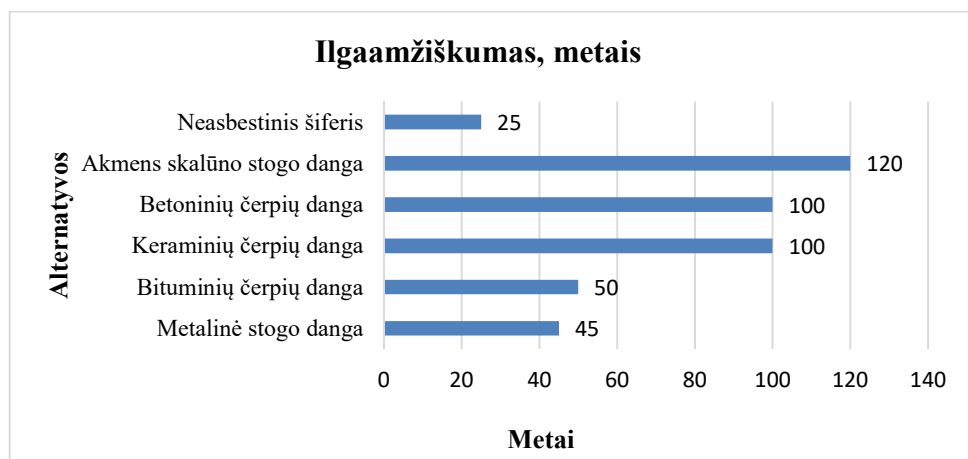


3.14 pav. Stogo dangų alternatyvų vertinimas pagal medžiagų kainą

**Ilgamžiškumas.** Stogo dangos ilgamžiškumas apibūdinamas analogiškai kaip ir kalbant apie kitas konstrukcijas - tai savybė, kuri parodo, kokį laiko tarpą stogo danga gali tarnauti nepakeitusi pradinių savo savybių, formų, išvaizdos. Stogo dangų ilgamžiškumo analizė atlikta pasitelkus stogo dangų gamintojų deklaracijas apie rekomenduojamą jų tarnavimo laiką.

Remiantis gamintojų pateikta informacija, trumpiausias tarnavimo laikas yra neasbestinio šiferio, kuris siekia vos 25 metus. Žinoma, svarbu pabrėžti tai, kad gamintojai deklaruoja tokį tarnavimo laikotarpį, kada stogo danga yra nepakitusiomis fizikinėmis savybėmis ir yra išlaikiusi geriausias savo savybes, o praktiškai tokias dangas galima matyti tarnaujančias ženkliai ilgiau. Lyginant visas dangas tarpusavyje, matyti, kad gana trumpas yra ir bituminių čerpių (50 metų) bei metalinių (45 metai) stogo dangų tarnavimo laikas.

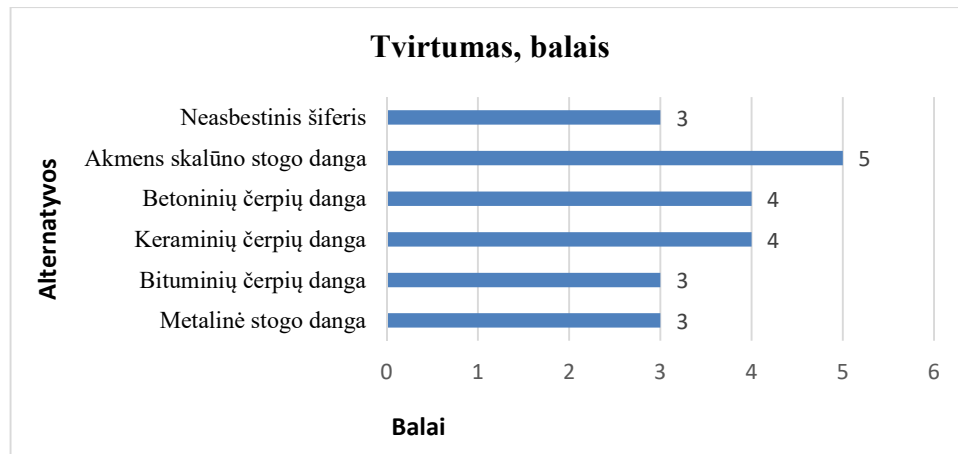
Ilgiausiai tarnauja akmens skalūno stogo danga. Pagal gamintojų pateiktas rekomendacijas tarnavimo laikas siekia net 120 metų, tad galima daryti išvadą, kad realiai tokia stogo danga atlaiko dar ilgiau. Nedaug atsilieka ir betoninių ir keraminių čerpių dangos (100 metų).



3.14 pav. Stogo dangų alternatyvų vertinimas pagal ilgamžiškumą

**Tvirtumas.** Stogui tenka atlaikyti ne vieną veiksnį. Tai jo paties masė, vėjo gūšiai, sniego apkrovos, lietus, kruša, drėgmė, saulės kaitra, temperatūrų kaita. Kadangi stogui tenka toks krūvis, jis privalo būti tvirtas, tinkamai sumontuotas. Stogą laikančios konstrukcijos šiuo atveju yra labai svarbus objektas. Bet svarbi ne tik pati stogo konstrukcija, bet ir danga, kurios mechaninės savybės yra labai skirtingos. Šiuo atveju stogo dangų tvirtumas matuojamas ne *MPa*, o ekspertų skirtais balais, nes stogo dangų techninėse charakteristikose nenurodoma. Tad stogo dangų tvirtumą įvertino įmonių, prekiaujančių dangomis, atstovai. Anketa pateikta priede Nr. 4.

Tvirčiausia yra akmens skalūno stogo danga. Šiek tiek atsilieka betoninių ir keraminių čerpių dangos. Be to, gamintojų atstovai pabrėžia, kad pati čerpė, kaip atskiras vienetas, yra trapi statybinė medžiaga, tačiau tai aktualu tik transportuojant bei dengiant stogą. Blogiausiai dėl tvirtumo įvertintos dangos yra iš neasbestinio šiferio, bituminių čerpių bei metalo.



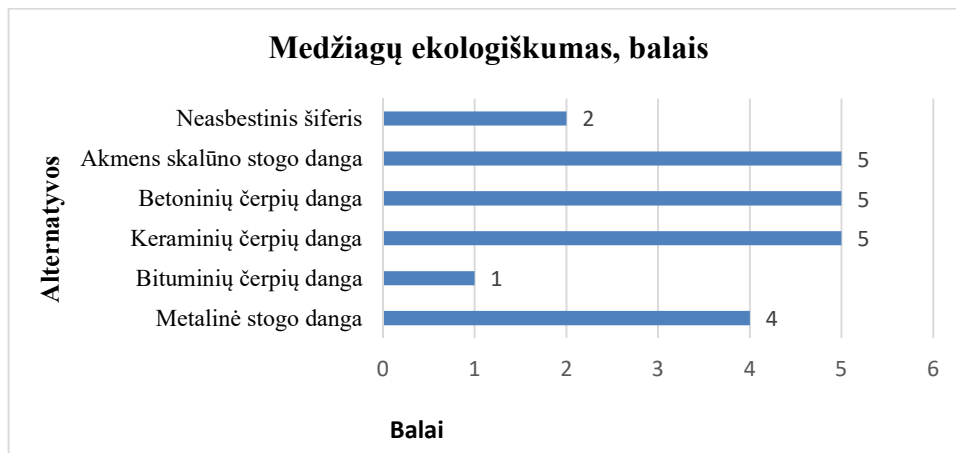
3.15 pav. Stogo dangų alternatyvų vertinimas pagal tvirtumą

**Ekologiškumas.** Apie stogo dangos ekologiškumą galima spręsti pagal jos sudedamąsias dalis. Tai kokybinis kriterijus, tad norint jį įvertinti buvo apklausti stogų dangų gamintojai (anketa pateikta priede Nr. 4) ir analizė sudaroma remiantis jų pateikta informacija.

3.14 lentelė. Stogo dangų alternatyvų pagrindinės sudėtinės dalys

Alternatyva	Pagrindinės sudėtinės dalys
Metalinė (plienas, aliuminis, varis ,cinkas) stogo danga	metalas
Bituminių čerpių danga	nafta
Keraminių čerpių danga	molis
Betoninių čerpių danga	cementas ir smėlis
Akmens skalūno stogo danga	akmuo
Neasbestinis šiferis	kreida, celiulioze, silicio dioksidas

Lyginant gautus ekspertų vertinimus, matyti, kad ekologiškiausios yra akmens skalūno, betoninių ir keraminių čerpių dangos. Neasbestinis šiferis ir bituminės čerpės yra pačios neekologiškiausios, nes jų pagrindą sudaro tokios medžiagos kaip nafta, silicio dioksidas ir pan.



3.16 pav. Stogo dangų alternatyvų vertinimas pagal ekologiškumą

**Daugiakriterinis stogo dangos alternatyvų vertinimas.** Iš pateiktų diagramų matosi, kad stogų dangos viena nuo kitos skiriasi gana ženkliais visais rodikliais (išskyrus šilumos perdavimo koeficientas, kuriuo dangos nevertintos). Taigi norint išskirti vieną variantą geriausiai naudoti daugiakriterę analizę, kuri įvertintų stogo dangas visais kriterijais kartu. 3.15 lentelėje pateikti daugiakriterės analizės duomenys.

3.15 lentelė. Daugiakriterinės analizės duomenys

Alternatyva	Kriterijai				
	Šilumos perdavimo koeficientas ( $W/m^2K$ )	Medžiagų kaina ( $eur/m^2$ )	Ilgamžiškumas (metais)	Tvirtumas, (MPa)	Medžiagų ekologiškumas (balais)
	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$
<b>Matavimo vienetai</b>	$W/m^2K$	$eur/m^2$	metai	balai	balai
<b>Kriterijaus svoris</b>	0,3	0,245	0,138	0,135	0,183
<b>Optimizacijos kryptis</b>	Min	min	max	max	max
Metalinė danga	0,1	6,08	45	3	4
Bituminių čerpių danga	0,1	6,27	50	3	1
Keraminių čerpių danga	0,1	10,52	100	4	5
Betoninių čerpių danga	0,1	5,76	100	4	5
Akmens skalūno stogo danga	0,1	12,99	120	5	5
Neasbestinis šiferis	0,1	8,56	25	3	2

3.16 lentelė. Stogo dangų alternatyvų analizės rezultatai daugiakriteriniais COPRAS, TOPSIS ir ARAS metodais

<i>Alternatyvos</i>	<i>Copras</i>	<i>Topsis</i>	<i>Aras</i>
Metalinė danga	4	3	4
Bituminių čerpių danga	5	1	5
Keraminių čerpių danga	3	5	3
Betoninių čerpių danga	1	4	1
Akmens skalūno stogo danga	2	6	2
Neasbestinis šiferis	6	2	6

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, duomenys pagal visus tris daugiakriterinio vertinimo metodus nėra vienodi, tačiau dviejų metodų – COPRAS ir ARAS duomenys sutampa. Taigi ne veltui buvo naudojami trys metodai, kad esant nesutapimams vis tiek būtų galima išrinkti vieną optimalią alternatyvą. Racionaliausias mažaukščio gyvenamojo namo stogo dangos pasirinkimas, kuris būtų tiek energetiškai naudingiausias, tiek ekonomiškiausias, tiek ekologiškiausias yra betoninės čerpės.

### 3.9. Pamatų parinkimas pagal vertinimo kriterijus

Klaidinga manyti, jog pamatų pasirinkimas priklauso tik nuo pastato konstrukcijos ypatumų ir statybos aikštelės inžinerinių geologinių sąlygų, kad esant vienoms ar kitoms grunto sąlygoms ir atitinkamai statinio konstrukcijai yra bent viena geriausia pamatų sistema, kuri bus stipri ir patikima. Teisingas pasirinkimas yra pagrįstas daugeliu rodiklių, tokių kaip įrangos prieinamumas, gamtinės aplinkos sutrikdymas, bendros kainos apsvaistymas ir pan. Praktiškai egzistuoja labai daug veiksnių, kurie turi būti įvertinti pasirenkant racionalų pamatų įrengimo metodą.

Kad pamatai būtų parinkti tinkamai, reikalinga ne tik statybos vietos inžinerinių geologinių tyrinėjimų ataskaita, kurioje pateikiami pagrindiniai duomenys, lemsiantys pamatų tipo pasirinkimą bei kainą, bet ir pastato architektūrinės dalies projektas, informacija apie būsimo žemės paviršiaus lygį, apkrovas į pamatus. Statinių pagrindu daugeliu atveju būna viršutinėje žemės plutos dalyje iš diskretiškų dalelių natūraliai arba dėl žmogaus veiklos susidariusios nuogulos, sudarancios daugiakomponentę sistemą iš kietųjų dalelių, vandens ir oro, vadinamos gruntu. Taigi pamatų pasirinkimas nebūtinai priklauso nuo užsakovo norų ir pageidavimų, tad vertinti daugiakriterine analize ir išskirti tinkamiausius pamatus energetinio naudingumo, ekonomiškumo bei ekologiškumo kriterijais kartu neįmanoma.

Gruntų klasifikavimas pagal geotechnines savybes pateikiamas standarte LST EN ISO 14688-2. Stipriaisiais gruntais vadinami tankūs ir vidutinio tankumo smėliai bei kieti, puskiečiai ir kietai plastiški dulkių ir moliai. Nerekomenduojama pagrindu naudoti silpnųjų gruntų: puriųjų smėlių ir minkštai ir takiai plastiškų bei takųjų dulkių ir molių bei gruntų su organinės medžiagos priemaiša. Gruntai skirstomi į stipriuosius ir silpnuosius, nors vertinant pagrindo stiprumą reikia vertinti ne tik jį sudarantį gruntą, bet ir pastato konstrukcijos jautrumo nevienodiems pamatų nuosėdžiams. Tai reiškia, kad tas pats gruntas, tinkamas būti natūraliu pagrindu vienam pastatui, netinka kitam. Nepaisant to, gruntai dažniausiai skirstomi į stipriuosius ir silpnuosius, o ar jie tinka būti natūraliu pagrindu projektuojamam pastatui, sprendžiama iš pagrindo skaičiavimo rezultatų.

Vietose, kur yra vien stiprus gruntas – tankus smėlis, kietas molis – ir netrukdo gruntinis vanduo, labai tinka sekliji pamatai. Juos įrengiant ypatingą dėmesį reikia skirti pamatų duobės dugno paruošimui. Bet koks natūralios grunto struktūros suardymas gali turėti įtakos pagrindo stiprumui. Taip pat gruntą reikia apsaugoti nuo išmirkimo ir peršalimo.

Poliniai pamatai – viena iš seniausių pamatų rūšių. Poliniai pamatai įrengiami tuomet, kai žemės paviršiuje storu sluoksniu slūgso silpni gruntai. Per pastaruosius kelis dešimtmečius polių gamybos ir konstrukcinės naujovės žymiai sumažino polių įrengimo kainą.

Kai poliniai pamatai neefektyvūs, tuomet įrengiami gilieji pamatai, kurie yra ir ekonomiškiau nei poliniai pamatai.

Matyti, kad optimalus pamatas parenkamas atsižvelgiant ne į kainą ar norus, o į techninius reikalavimus, kurie įvertintų, ar pasirinktas pamatų tipas atitinka konstrukcinius ir technologinius reikalavimus, į ekonominius, kurie užtikrintų racionalų medžiagų bei darbų naudojimą bei į gamtos sauginius, stengiantis kuo labiau saugoti gamtą.

Taigi, pamatų parinkimas nebūtinai priklauso nuo statinio tipo, jį labiau lemia geologinės sąlygos. Net jeigu būtų statomi visiškai vienodi pastatai, dėl kitokios geologinės situacijos gali tekti rinktis skirtingus pamatų variantus, kurių kaina gali skirtis net kelis kartus.

### **3.10. Mažaukščių namų statybinių konstrukcinių sprendinių parinkimas pagal gautus analizės duomenis**

Naudojant ekspertų pateiktas rodiklių reikšmingumo reikšmes, nuosekliai imant sugeneruotas matricas, buvo atliktas visų alternatyvų vertinimas šiais metodais: TOPSIS, SAW, COPRAS. Taikant šiuos metodus buvo analizuojama penkiolika sienų, trys langų, šešios stogo dangų alternatyvos pagal penkis kriterijus.

Pirmoji analizuojama mažaukščio gyvenamojo namo konstrukcija – pamatai, negali būti renkami atsižvelgiant į norus, nes jų parinkimas priklauso ne tik nuo statinio tipo - jį labiau lemia



geologinės sąlygos. Net statant identiškus namus dėl skirtingos geologinės situacijos gali tekti rinktis skirtingus pamatus. Taigi juos įvertinti energetinio naudingumo, ekonomiškumo bei ekologiškumo kriterijais negalima.

Antra vertinama konstrukcija – sienos. Remiantis daugiakriterine analize, geriausiai visus keliamus kriterijus atitinka silikatinės blokelių sienos, kurioms COPRAS ir ARAS metodais skirta pirma vieta. TOPSIS metodo rezultatų duomenimis silikatinė blokelių sienoms skirta antra vieta, taigi rezultatų paklaida nedidele. Kadangi sienos buvo vertinamos kartu su šiltinimo medžiaga (vata arba polistirolu), pagal rezultatus matyti, jog pirmenybė skirta vatai.

Trečia konstrukcija – langai. Visais daugiakriterinės analizės metodais gautas vienodas rezultatas – geriausiai keliamus kriterijus atitinka mediniai langai.

Ketvirtoji konstrukcija – stogas. Buvo vertinamas stogo dangos pasirinkimas pagal pateiktus kriterijus. Šiuo atveju COPRAS ir ARAS metodais buvo gautas vienodas rezultatas ir pirma vieta skirta betoninių čerpių dangai. TOPSIS metodo rezultatai taip pat šiek tiek skyrėsi, bet dėl galimų nesutapimų ir buvo pasirinkta vertinti būtent trimis metodais.

Taigi norint, kad mažaaukštis gyvenamasis namas ir jo pagrindinės konstrukcijos geriausiai atitiktų energetinio naudingumo, ekologiškumo ir ekonomiškumo kriterijus, pagal atliktą analizę rekomenduojama rinktis silikatinė blokelių sienas su vatos šiltinimu, medinius langus bei betoninių čerpių stogo dangą, o pamatus rinktis pagal geologines sąlygas.

## IŠVADOS

1. Norint parinkti racionaliausius mažaaukščių gyvenamųjų namų statybinių konstrukcijų sprendinius, tyrimui atlikti pasirinkti daugiakriteriniai tyrimo metodai, tokie kaip COPRAS, TOPSIS ir ARAS, kurie ypač tinkami, kai reikia rasti vieną sprendinį, kuris turi atitikti keletą skirtingų, kartais ir vienas kitam prieštaraujančių, kriterijų. Šiame darbe daugiakriteriniai metodai yra pritaikyti namo pagrindinių konstrukcijų įvertinimui – sienoms, langams, stogui. Naudojami trys daugiakriteriniai metodai, kurie leido išrinkti vieną optimalų sprendinį, jeigu ne visi rezultatai buvo vienodi.
2. Pamatai negalimi būti parenkami daugiakriterinio vertinimo metodu. Teisingas pasirinkimas yra pagrįstas daugeliu rodiklių, tokių kaip geologinės sąlygos, pastato konstrukcija, įrangos prieinamumas, gamtinės aplinkos sutrikdymas ir pan. Todėl galutiniame mažaaukščio gyvenamojo namo modelyje konkretūs pamatai nėra nurodomi.
3. Analizuojant sienų alternatyvas gauti rezultatai pagal visus tris daugiakriterinio vertinimo metodus yra labai panašūs. Tik sprendžiant TOPSIS metodu, gautas sprendinys yra šiek tiek skirtingas nuo kitų dviejų. Racionaliausias mažaaukščio gyvenamojo namo sienų pasirinkimas, geriausiai atitinkantis keliamus kriterijus, yra silikatinių blokelių siena su vatos apšiltinimu. Ne veltui Lietuvoje šio tipo sienos yra pačios populiariausios, nes daugelis statytojų stengiasi turėti energetiškai naudingą namą už prieinamą kainą, o vata vietoje polistirolu užtikrina ekologiškesnes statybas. Antroje vietoje likusios sienos iš silikatinių plytų su vatos šiltinimu taip pat gerai žinomos Lietuvoje, tačiau jų populiarumas yra mažesnis dėl ženkiai didesnių darbo kaštų, kuriuos lemia maži plytos gabaritai.
4. Vertinant langų alternatyvas gauti rezultatai pagal visus tris daugiakriterinio vertinimo metodus yra vienodi. Racionaliausias mažaaukščio gyvenamojo namo langų pasirinkimas, kuris geriausiai atitiktų visus keliamus kriterijus, yra mediniai langai. Nors šio tipo langai nėra itin populiarūs Lietuvoje, tačiau statytojai, norintys, kad langai geriausiai atitiktų šiame darbe keliamus kriterijus, turėtų rinktis šią alternatyvą. Antroje vietoje likę aliuminio profilio langai taip pat gerai žinomi Lietuvoje, bet nėra tokie populiarūs dėl savo kainos. Paskutinėje vietoje likę PVC langai yra populiariausi Lietuvoje, kur pasirinkimui lemiamą reikšmę duoda kaina.
5. Analizuojant stogo dangas duomenys pagal visus tris daugiakriterinio vertinimo metodus nėra vienodi, tačiau dviejų metodų – COPRAS ir ARAS duomenys sutampa, o tai leidžia išskirti vieną optimalų sprendinį. Racionaliausias mažaaukščio gyvenamojo namo stogo dangos pasirinkimas yra betoninės čerpės, kurios yra pakankamai populiarios ir Lietuvoje.
6. Modeliuojant mažaaukštį gyvenamąjį namą ir parenkant jo pagrindines konstrukcijas, kurios geriausiai atitiktų energetinio naudingumo, ekologiškumo ir ekonomiškumo kriterijus, pagal

atliktą daugiakriterinę analizę rekomenduojama rinktis silikatinių blokelių sienas su vatos šiltinimu, medinius langus bei betoninių čerpių stogo dangą, o pamatų pasirinkimas priklauso nuo sklypo geologinių sąlygų, kuriame žadame statyti gyvenamąjį namą.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Pastatų statybos technologija: vadovėlis aukštosioms mokykloms / E.K. Zavadskas, J. Romualdas Šimkus, R. Sakalauskas, H. Nakas. – Vilnius: Alma littera, 2000. ISBN 9986-02-883-3
2. Statybos procesų technologija: vadovėlis / E. K. Zavadskas, A. Karablikovas, P. Malinauskas, P. Mikša, H. Nakas, R. Sakalauskas. – Vilnius: Technika, 2006. ISBN 9955-28-070-0
3. Structure and architecture / A. J. Macdonald. - Oxford: Butterworths – Heinemann, 1998. ISBN 0-7506-3090-6
4. Encyclopedia of Architecture: Design Engineering and Construction / J. A. Wilkes, R.T. Packard. – Interscience Publication, New York, 1988. ISBN 0471807478 (v. 1)
5. Gruntų mechanika. Pagrindai ir pamatai: vadovėlis. / J. Šimkus – Vilnius: Mokslas, 1984. ISBN
6. Pamatai ir pagrindai: vadovėlis / D. Sližytė, J. Medzvieckas, R. Mackevičius - Vilnius: Technika, 2012.
7. Medinės konstrukcijos: vadovėlis aukštosioms mokykloms / A. Valentinavičius, B. Valiūnas – Vilnius: Enciklopedija, 1999. ISBN 9986-433-20-7
8. A. Nakas, J. Gajauskas, M. Prikšaitis. Civilinių pastatų konstrukcijos. Vilnius: Mokslas, 1992. ISBN 5420-005-39-5
9. Statybinės medžiagos ir gaminiai / B. Grigaliūnas - Vilnius: Mintis, 1974. KTU01-000029542
10. Mūrinių konstrukcijų skaičiavimas pagal Euronormas / Mokomoji knyga. – Vilnius: Technika, 2003. ISBN 9986-05-603-9
11. Medinė statyba: jaukių namų žinynas / D. Jokubauskas, V. Kandrotas. – Dangus, 2008. ISBN 9789955988533
12. Kompiuterinis modeliavimas: metodinė medžiaga / T. Balvočienė, A. Butkienė - Švietimo informacinių technologijų centras, 2001 // Prieiga per internetą: <http://mokslas.ipc.lt:8000/Sviesa/Md.nsf/0/bbbeb15f51b0aad842256b210024129d?OpenDocument>, [žiūrėta 2016 10 26]
13. 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
14. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė / E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, N. Banaitienė; Vilniaus Gedimino technikos universitetas - Vilnius: Technika, 2001. ISBN 9986-05-441-9
15. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview / E. K. Zavadskas, Z. Turskis; Technological and Economic Development of Economy 17(2), 2011.
16. Multiple Attribute Decision Making, in Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems / C. L. Hwang, K. Yoon - Springer-Verlag, Berlin, 1981

17. Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas / L. Ustinovičius, E. K. Zavadskas. – Vilnius: Technika, 2004. ISBN 9986-05-806-6.
18. Evaluating the changes in economic and social development of Lithuanian counties by multiple criteria methods / R. Ginevicius, V. Podvezko; Technological and Economic Development of Economy, 15(3), 2009
19. Matematiniai metodai vadyboje / S. Puškorius. – TEV: Vilnius, 2001. ISBN 9986-546-99-0.
20. Objective and subjective approaches determining the criterion weights in multicriteria models / R. Ginevicius and V. Podvezko - Transp. Telec., 6, 2005.
21. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making / E.K. Zavadskas, Z. Turskis; Technological and Economic Development of Economy, 16 (2), 2010
22. Pastatų atitvarų šiluminė fizika / V. Barkauskas, V. Stankevičius. – Kaunas: Technologija, 2000. ISBN 9986-13-740-3
23. Correlation Methods / M. Kendall - Rank Hafner Publishing House: New York, 1955.
24. Švaresnė gamyba: sisteminis požiūris. Monografija / J. K. Staniškis, Ž. Stasiškienė, I. Kliopova; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas – Technologija: Kaunas, 2002
25. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.02:2008 „Statinių konstrukcijos. Stogai“
26. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.20:2006 „Langai ir išorinės įėjimo durys“
27. Statybos techninio reglamento STR 2.05.01:2013 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas“
28. Statybos techninio reglamento STR 2.05.01:2005 „Mūrinių konstrukcijų projektavimas“
29. Namų ir jų dalių skirstymas pagal energinio naudingumo klases // Prieiga per internetą: <http://www.irmus.lt/a-ir-a-klases-namai> [žiūrėta 2016 10 28]
30. Langų energetinis efektyvumas ir jo matavimas // Prieiga per internetą: <http://www.tikslangai.lt/aktualijos/patarimai/energetinis-efektyvumas-lemia-plastikiniu-langu-pasirinkima> [žiūrėta 2016 10 30]
31. Sienų konstruktyvų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <http://www.arko.lt/lt/sienos-savybes/kaina.htm> [žiūrėta 2016 10 01]
32. Sienų konstruktyvų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <https://www.b-a.eu/c519/Statybiniai-blokeliai> [žiūrėta 2016 10 05]
33. Sienų konstruktyvų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <http://www.blokeliucentras.lt/kainininkas/> [žiūrėta 2016 10 01]
34. Langų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <http://sumeda.lt/langu-sistemas/mediniai-langai/mediniu-langu-sistemas/> [žiūrėta 2016 10 29]
35. Langų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <http://www.visilangai.eu/> [žiūrėta 2016 10 29]
36. Langų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <http://www.langukainos.lt/> [žiūrėta 2016 10 30]

37. Stogo dangų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <https://lemora.lt/27-stogo-danga/> [žiūrėta 2016 10 31]
38. Stogo dangų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: Stogo dangų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: [žiūrėta 2016 11 06]
39. Stogo dangų kainos nustatymas // Prieiga per internetą: <http://www.stogodanguprekyba.lt/> [žiūrėta 2016 11 06]

## PRIEDAI

Priedas Nr. 1

Ekspertų apklausos anketa kriterijų reikšmingumo nustatymui

*Užduotis. Įvertinkite balais nuo 5 (reikšmingiausias) iki 1 (mažiausiai reikšmingas) kriterijų reikšmingumo svorį, norint suprojektuoti mažaaukštį gyvenamąjį namą, kuris geriausiai atitiktų tris kriterijus – būtų energetiškai naudingiausias, ekonomiškiausias bei ekologiškiausias.*

<b>Kriterijai</b>	<b>Kriterijaus reikšmingumo svoris, balais</b>
Šilumos perdavimo koeficientas	
Medžiagų kaina	
Ilgaamžiškumas	
Tvirtumas	
Medžiagų ekologiškumas	

## Ekspertų apklausos „Sienų ekologiškumo vertinimas“ anketa

*Užduotis. Įvertinkite balais nuo 5 (ekologiškiausia) iki 1 (mažiausiai ekologiška) mažaaukščio gyvenamojo namo sienų alternatyvas.*

<b>Sienų alternatyvos</b>	<b>Ekologiškumas, balais</b>
Akyto betono blokelių siena + vata	
Keraminių blokelių siena + vata	
Keramzitinių blokelių siena + vata	
Silikatinių blokelių siena + vata	
Keraminės plytos + vata	
Silikatinės plytos + vata	
Akyto betono blokelių siena + poliestirolas	
Keraminių blokelių siena + polistirolas	
Keramzitinių blokelių siena + polistirolas	
Silikatinių blokelių siena + polistirolas	
Keraminės plytos + polistirolas	
Silikatinės plytos + polistirolas	
Termoblokų siena	
Karkasinė medinė siena	
Rąstinė siena	



## Ekspertų apklausos „Langų ekologiškumo vertinimas“ anketa

*Užduotis. Įvertinkite balais nuo 5 (ekologiškiausia) iki 1 (mažiausiai ekologiška) mažaaukščio gyvenamojo namo sienų alternatyvas.*

<b>Langų alternatyvos</b>	<b>Ekologiškumas, balais</b>
PVC langai	
Mediniai langai	
Aliuminiai langai	

## Ekspertų apklausos „Stogo dangos ekologiškumo ir tvirtumo vertinimas“ anketa

*Užduotis. Įvertinkite balais nuo 5 (tvirčiausia arba ekologiškiausia) iki 1 (mažiausiai tvirta arba mažiausiai ekologiška) mažaaukščio gyvenamojo namo stogo dangų alternatyvas.*

<b>Stogo dangų alternatyvos</b>	<b>Tvirtumas, balais</b>	<b>Ekologiškumas, balais</b>
Metalinė (plienas, aliuminis, varis, cinkas) stogo danga		
Bituminių čerpių danga		
Keraminių čerpių danga		
Betoninių čerpių danga		
Akmens skalūno stogo danga		
Neasbestinis šiferis		
Metalinė (plienas, aliuminis, varis, cinkas) stogo danga		

COPRAS, TOPSIS ir ARAS metodų skaičiavimai

Skaičiavimai pateikti kompiuterinėje laikmenoje ir yra šioje direktorijoje:

/CD-ROM/Skaičiavimai/Skaičiavimai.xlsx (11 lapų)