



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

# **Vienbučio gyvenamojo namo skirtingų sienos konstrukcijų efektyvumo daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Dovilė Baliutavičienė**

Projekto autorė

**Dr. Dainius Vaičiulis**

Vadovas

---

**Panevėžys, 2023**



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

# **Vienbučio gyvenamojo namo skirtingų sienos konstrukcijų efektyvumo daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas  
Integruotas projektavimo ir statybos valdymas (6211EX076)

---

**Dovilė Baliutavičienė**

Projekto autorė

**Dr. Dainius Vaičiulis**

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

---

**Panevėžys, 2023**



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Dovilė Baliutavičienė

## **Vienbučio gyvenamojo namo skirtingų sienos konstrukcijų efektyvumo daugiakriteris vertinimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Dovilė Baliutavičienė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



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

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

**Baigiamojo magistro projekto užduotis**

Diplomantui **Dovilei Baliutavičienei**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	<i>VIENBUČIO GYVENAMOJO NAMO SKIRTINGŲ SIENOS KONSTRUKCIJŲ EFEKTYVUMO DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS</i>
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	<i>MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF DIFFERENT WALL CONSTRUCTIONS IN A SINGLE APARTMENT RESIDENTIAL HOUSE</i>

Patvirtinta 2022 m. lapkričio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-30

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2023 m. sausio 4 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

*Tyrime atlikti vienbučio gyvenamo namo, ne mažiau kaip 3-ių skirtingų sienos konstrukcijų atitinkančių A++ energinio efektyvumo klasę, daugiakriterį vertinimą. Taikyti daugiakriterį MOORA metodą. Tyrime panaudoti ne mažiau kaip 7-is vertinimo rodiklius. Apklausti ne mažiau kaip 10-mt statybos srities ekspertų (projektų vadovus, inžinierius ir pan.).*

*Baigiamasis magistro projektas turi atitikti KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto baigiamųjų projektų rengimo metodinius reikalavimus.*

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

- 1. Išnagrinėti Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktus tyrimus susijusius su vienbučio gyvenamojo namo skirtingomis sienos konstrukcijomis ir jų vertinimu.*
- 2. Išanalizuoti 3-is skirtingas vienbučio gyvenamojo namo sienų konstrukcines sistemas, išskiriant jų pagrindinius ypatumus, privalumus ir trūkumus.*
- 3. Atlikti statybos ekspertų apklausą apie nagrinėjamų sienų konstrukcijas. Nustatyti ar apklausos duomenys yra suderinti.*

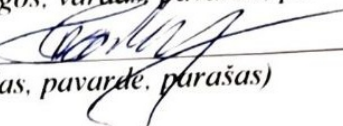
4. Nustatyti racionaliausių sienos konstrukciją taikant daugiakriterį MOORA metodą.

Vadovas dr. Dainius Vaičiulis



(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau Dovilė Baliutavičienė



(studento vardas, pavardė, parašas)

2022 m. lapkričio 24 d.

Dovilė Baliutavičienė. Vienbučio gyvenamojo namo skirtingų sienos konstrukcijų efektyvumo daugiakriteris vertinimas. Magistro studijų baigiamasis projektas. Vadovas dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: MOORA metodas, gyvenamasis namas A++, daugiakriteris vertinimas, sienos konstrukcijos, lengvas plonasienis plienas.

Panevėžys, 2023. 60 p.

## Santrauka

Nuolatos keičiantis ir augant energinio naudingumo reikalavimams, o įprastiems statybos variantams tampant nebe tokiems patraukliems rinkai, nuolatos ieškoma alternatyvių sprendinių siekiant sumažinti poveikį aplinkai, pagreitinant statybas, sumažinant kainas ir t.t. Kadangi sienos konstrukcija, yra didžiausia pastato atitvara, tyrimui atlikti buvo pasirinkta būtent ji.

Pasirinkto tyrimo tikslas atlikti vienbučio gyvenamojo namo skirtingų konstrukcinių sistemų efektyvumo daugiakriterį vertinimą.

Magistrinio darbo pirmoje dalyje buvo apžvelgta Lietuvos ir pasaulio mokslinė literatūra. Pagal literatūros apžvalgą buvo aprašytos trys gyvenamojo namo sienos konstrukcinės sistemos, atitinkančios A++ energinės klasės keliamus reikalavimus. Apžvelgiami konstrukcijų privalumai, trūkumai, konstrukcijos istorija, dabartinis panaudojimo dažnumas ir tolimesnės perspektyvos.

Antrojoje dalyje aprašoma pasirinkta skaičiavimo ir tyrimų metodologija, daugiakriterio vertinimo metodika. Išskiriamas daugiakriterių sprendinių klasifikavimas, išsamiai aprašomas darbe taikomas daugiakriteris MOORA vertinimo metodas.

Paskutinėje, trečiojoje, magistrinio darbo dalyje analizuojamos ir lyginamos trys sienų konstrukcinės sistemos. Apibūdinami pasirinkti septyni rodikliai, trys iš jų maksimizuojantys ir keturi minimizuojantys. Aprašomos jų pasirinkimo priežastys, pateikiami kiekvieno rodiklio apskaičiavimo arba vertinimo metodikos ir rezultatai.

Kriterijų reikšmingumas nustatomas statybos ekspertų apklausos būdu. Buvo apklausta dešimt ekspertų, kurie didelę svarbą suteikė rodikliams apibūdinantiems poveikį aplinkai ir konstrukcinės sistemos storį. Mažiausias reikšmingumas buvo suteiktas rodikliams apibūdinantiems pastato vidaus patalpų šiluminę talpą ir transporto išlaidas.

Tyrimo rezultatai gauti naudojant MOORA daugiakriterį vertinimo metodą, pagal kurį geriausia (iš trijų tirtų) yra lengva plonasienio plieno sienos sistema. Jos racionalumo rodiklio skaitinė vertė - 0,0279.

Dovilė Baliutavičienė. Multi-criteria Assessment of Efficiency of Different Wall Constructions in a Single-Apartment Residential House. Master's Final Degree Project / supervisor dr. Dainius Vaičiulis; Panevėžys Faculty of Technology and Business, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: MOORA method, residential house A++, multi-criteria assessment, wall constructions, lightweight thin-walled steel.

Panevėžys, 2023. 60 pages.

### **Summary**

As energy efficiency requirements are constantly changing and growing, and conventional construction options are no longer attractive to the market, alternative solutions are constantly being sought to reduce environmental impact, speed up construction, reduce prices, etc. Since the wall structure is the largest barrier of the building, it was chosen for the study.

The purpose of the selected study is to perform a multi-criteria evaluation of the efficiency of different structural systems of a single-family residential house.

In the first part of the master's thesis, the scientific literature of Lithuania and the world was reviewed. According to the literature review, three structural systems of the wall of a residential house were described, meeting the requirements of the A++ energy class. Advantages, disadvantages, history and further perspectives of walls constructions was also reviewed.

The second part describes the selected calculation and research methodology, multi-criteria evaluation methodology. The classification of multi-objective solutions is distinguished, the multi-criteria MOORA evaluation method applied in the work is described in detail.

In the last, third, part of the master's thesis, three structural wall systems are analyzed and compared. Seven selected indicators are described, three of them maximizing and four minimizing. The reasons for their selection are described, the methodology and results of the calculation or evaluation of each indicator are also presented.

The importance of the criteria is determined by surveying construction experts. Ten experts were interviewed, who gave great importance to the indicators describing the environmental impact and the thickness of the structural system. The least importance was given to the indicators describing the thermal capacity of the building's internal premises and transport costs.

The results of the study were obtained using the MOORA multi-criteria evaluation method, according to which the light thin-walled steel wall system is the best (of the three tested). The numerical value of its rationality indicator is -0.0279.



## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Mokslinės literatūros analizė.....</b>	<b>14</b>
1.1. Medienos karkaso konstrukcija .....	15
1.2. Lengvo plonasienio plieno konstrukcija (LPPK) .....	20
1.3. Mūrinė sienos konstrukcija.....	25
<b>2. Tyrimų metodologija.....</b>	<b>29</b>
2.1. Daugiakriterio vertinimo metodika .....	29
2.2. Daugiatikslių sprendimų klasifikavimas. MOORA vertinimo metodika .....	29
<b>3. Tiriamoji dalis.....</b>	<b>33</b>
3.1. Vertinimo rodiklių pasirinkimas ir nustatymas .....	33
3.1.1. Pastato vidaus šiluminė talpa.....	33
3.1.2. Perdarymo galimybė.....	35
3.1.3. Garso perdavimo sumažėjimas.....	37
3.1.4. Poveikis aplinkai .....	40
3.1.5. Konstrukcijų svoris ir storis.....	42
3.1.6. Transporto išlaidos .....	46
3.2. Rodiklių reikšmingumo nustatymas .....	47
3.3. MOORA daugiakriteris vertinimas .....	51
<b>Išvados .....</b>	<b>55</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>56</b>



## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Populiariausių MODM metodų palyginimas [44].	31
<b>2 lentelė.</b> Pastatų vidaus šiluminė talpa $C_p$ ( J/K) [24].	33
<b>3 lentelė.</b> Įvairios vidaus šiluminės talpos pastatų lauko sienų, pertvarų, perdenginių ir grindų konstrukcijos [24].	34
<b>4 lentelė.</b> Pastatų vidaus šiluminė talpa $C_p$ ( J/K).	35
<b>5 lentelė.</b> Medinės karkasinės sienos garso sumažėjimas.	39
<b>6 lentelė.</b> Medinės karkasinės sienos garso sumažėjimas.	39
<b>7 lentelė.</b> Mūrinės sienos garso sumažėjimas.	40
<b>8 lentelė.</b> Medienos karkaso konstrukcinės sistemos svorio skaičiavimas.	43
<b>9 lentelė.</b> LPP konstrukcinės sistemos masės skaičiavimas.	44
<b>10 lentelė.</b> Mūrinės konstrukcinės sistemos masės skaičiavimas.	45
<b>11 lentelė.</b> Transporto reisų pasiskirstymas.	46
<b>12 lentelė.</b> Ekspertų apklausos duomenys.	49
<b>13 lentelė.</b> Daugiakriterio vertinimo metodu MOORA atliktų skaičiavimų suvestinė.	51

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Mokslinių straipsnių kiekis LLPK tema.....	12
<b>2 pav.</b> Medinė karkasinė siena [3].....	14
<b>3 pav.</b> Mūrinė siena [3]. .....	14
<b>4 pav.</b> LPPK siena [4]. .....	15
<b>5 pav.</b> Medinio karkasinio pastato pavyzdys [8].....	16
<b>6 pav.</b> Baltpool medienos indeksas [10]. .....	17
<b>7 pav.</b> Atlikto tyrimo kainų lyginamoji lentelė [11]. .....	17
<b>8 pav.</b> Medžiagų gamybos etapo poveikis vieno miegamojo „Moby“ [14]. .....	18
<b>9 pav.</b> Struktūrinė izoliacinė plokštė (SIP) [101]. .....	19
<b>10 pav.</b> LPPK 3D vaizdas [4].....	20
<b>11 pav.</b> Kainos prognozė (LPPK raudona linija) [25].....	22
<b>12 pav.</b> Gyvenimo ciklo sąnaudos vienam m <sup>2</sup> , miestui, konstrukcinei medžiagai ir archetipui: padalintos iš gyvavimo ciklo fazės [32]. .....	23
<b>13 pav.</b> Gyvavimo ciklo poveikio vertinimo rezultatai [10]. .....	24
<b>14 pav.</b> Mūrinės konstrukcijos pastatas [103]. .....	25
<b>15 pav.</b> Bendra pastato paros efektyvioji šiluminė talpa [2]. .....	26
<b>16 pav.</b> Gyvavimo ciklo poveikio vertinimo rezultatai [12]. .....	27
<b>17 pav.</b> MOORA daugiakriterio vertinimo operacijų seka [sukurta autoriaus remiantis 30]. .....	31
<b>18 pav.</b> Pastatų vidaus šiluminė talpa C <sub>p</sub> ( J/K) .....	35
<b>19 pav.</b> Perdarymo galimybė.....	36
<b>20 pav.</b> Konstrukcijų perdarymo galimybės įvertinimas taškais [12]. .....	37
<b>21 pav.</b> Orinio ir smūginio garso atvaizdavimas.....	38
<b>22 pav.</b> Garso sumažėjimas prie 62,5 Hz, dB .....	40
<b>23 pav.</b> Poveikio aplinkai vertinimo etapai [49] .....	41
<b>24 pav.</b> Poveikio aplinkai vertinimo etapai [11] .....	41
<b>25 pav.</b> Poveikio aplinkai grafinis atvaizdavimas .....	42
<b>26 pav.</b> Karkasinės sienos detalė [3]. .....	42
<b>27 pav.</b> LPP sienos sistemos detalė [4]. .....	43
<b>28 pav.</b> Mūrinės konstrukcijos siena [3]. .....	44
<b>29 pav.</b> Konstrukcinės sistemos storis .....	45
<b>30 pav.</b> Konstrukcinės sistemos masė .....	45
<b>31 pav.</b> Transporto reisų pasiskirstymas .....	47
<b>32 pav.</b> Rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai [39]. .....	48
<b>33 pav.</b> Ekspertų apklausos rezultatai .....	49
<b>34 pav.</b> Rodiklių reikšmingumo rezultatai .....	52
<b>35 pav.</b> Sienų konstrukcijas apibūdinančių rodiklių normalizuotos svertinės vertės: .....	52
<b>36 pav.</b> Sienų konstrukcijų racionalumo rodikliai: .....	53
<b>37 pav.</b> Sienų konstrukcijas apibūdinančių rodiklių normalizuotos vertės:.....	53
<b>38 pav.</b> Sienų konstrukcijų racionalumo rodikliai (be svertinių verčių):.....	54

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

ES – Europos sąjunga;

LPP – lengvas plonasienis plienas;

LPPK – lengvo plonasienio plieno konstrukcijos;

OSB – statybinės orientuotų skiedrų plokštės;

„Moby“ – analizėje nagrinėjamo pastato pavadinimas [3];

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos (angl. GHG – green gas emission)

EE – embodied energy (visa energija)

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos

SIP – struktūrinė izoliacinė plokštė (angl. Structural Insulated Panel)

MCDM – (angl. Multi-Criteria Decision Making) – sprendimų priėmimas pagal daugelį kriterijų;

ADM – (angl. Multi-Attribute Decision Making) – sprendimų priėmimas pagal daugelį rodiklių – daugiatis sprendimų priėmimas;

COPRAS – (angl. Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment) – daugiatis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas;

MOORA – (angl. Multi-Objective Optimization by Ratio analysis) - daugiatis optimizavimas, grindžiamas santykinų dydžių analize;

SAW – (angl. Simple Additive Weighting) - paprastas adityvus svorių metodas;

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

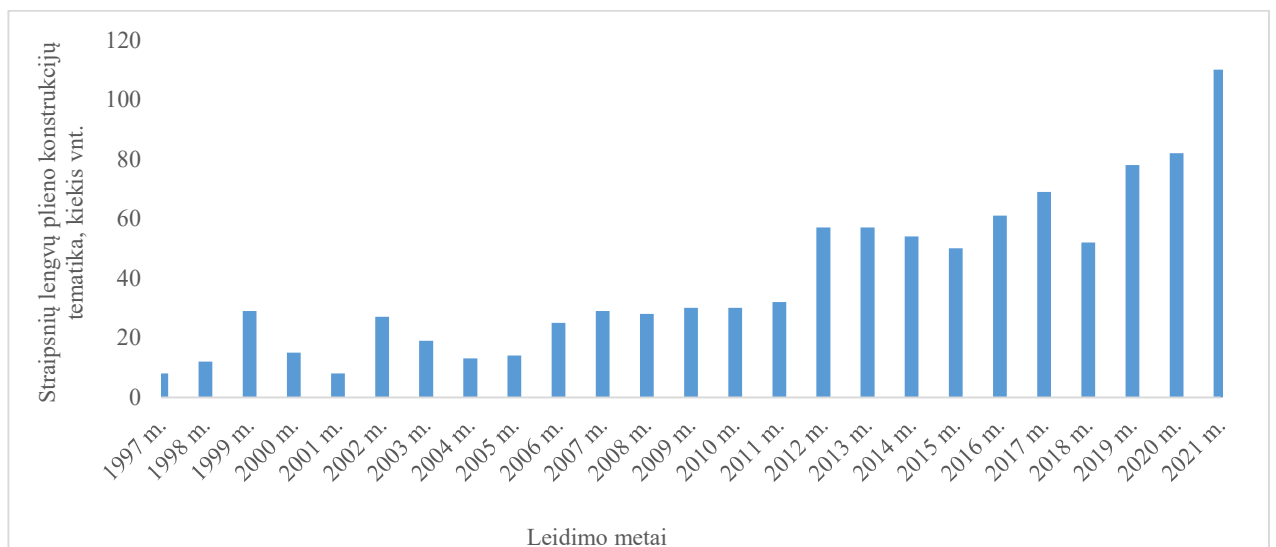
## Ivadas

Statybos sektorius yra atsakingas už maždaug 40 % aplinkos taršos perteklių, kurį daugiausia sukuria išsivysčiusios Europos Sąjungos (ES) šalys. Šį procentą sumažinti galima efektyviau statant ir eksploatuojant pastatus. Vadovaujantis „*Roadmap to Resource Efficient Europe*“ gairėmis būtų galima sumažinti iki 42 % viso energijos sunaudojimo, 35 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų, 50 % išgaunamų žaliavų ir kai kuriose srityse net iki 30 % vandens. Pastatų sektorius gali tapti efektyvesnis ir mažiau naudoti išteklių, jei atsižvelgiant į gyvavimo ciklo vertinimus, bus sumažintas viso pastato gyvavimo ciklo poveikis aplinkai [1]. Beveik 33 % visos suvartojamos energijos sudaro pastatai ir pusė šio kiekio prarandama būtent per sienas. Todėl bendras medžiagos energijos poreikis priklauso nuo sienos atitvaros šiluminių charakteristikų [2].

Nuolatos keičiantis ir augant energinio naudingumo reikalavimams, tradicinės statybos variantai tampa nebe tokie patrauklūs rinkai, todėl ieškoma alternatyvių sprendinių siekiant sumažinti poveikį aplinkai, pagreitinant statybas, sumažinant kainas ir t.t. Viena iš alternatyvų tradicinei statybai yra lengvo plonasienio plieno konstrukcijos. Skirtingų šaltinių duomenimis šios sistemos įvairiuose srityse Didžiojoje Britanijoje ir Amerikoje pradėtos taikytis dar XX a. amžiaus pradžioje, tačiau plačiau pradėta naudoti tik XX a. amžiaus viduryje atsiradus pirmiesiems konstrukcijų skaičiavimo standartams. Atsižvelgiant į laikotarpį, kiek laiko jau egzistuoja tradicinė statyba, tokia kaip medžio karkaso ar plytų, tai LPP konstrukcijų sistemą galima laikyti kaip naują, inovatyvią, tačiau dar per mažai ištirtą alternatyvą statybai.

Lietuvoje vienbučių gyvenamųjų namų statyboje LLPK pradėta taikyti panašiai prieš dešimt metų, tačiau didesnis paklausos šuolis atsirado tik išaugus energinio naudingumo reikalavimams ir trečdaliu išstorėjus pastato konstrukcijoms, bei pailgėjus statybai. Didžiąją rinkos dalį Lietuvoje LLPK konstrukcijų apima tokios įmonės kaip UAB „VIRI TECHNOLOGIJA“, ir „UAB NP5“.

Literatūros apžvalga rodo, jog informacijos šia tema trūksta. Tinklapyje [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com) ieškant informacijos, susijusios su lengvo plonasienio plieno konstrukcijomis, rasta apie tūkstantį mokslinių šaltinių nuo 1990 metų. Ženklus šios temos šuolis, stebimas nuo 2013 metų, o 2021 metais, išleista daugiausia straipsnių. Literatūros šaltinių pasiskirstymas pavaizduotas 1 paveikslėlyje.



1 pav. Mokslinių straipsnių kiekis LLPK tema.

Pagrindinė šių konstrukcijų problema ta, kad atlikta dar per mažai tyrimų, ypač ilgalaikių, dėl konstrukcijų laikomosios galios, energetinių skaičiavimų, gaisro apkrovos bei kitų aspektų, todėl jų populiarumas auga lėtai, nors potencialo atsižvelgiant į kainą, poveikį aplinkai ir greitį, šios konstrukcijos turi labai daug. Apie informacijos trūkumą kalbama beveik kiekviename šiame darbe naudotam moksliniame straipsnyje šia tema.

**Tyrimo objektas** – vienbučio gyvenamojo namo skirtingų sienos konstrukcijų sistemos.

**Tikslas** – atlikti vienbučio gyvenamojo namo skirtingų konstrukcinių sistemų efektyvumo daugiakriterių vertinimą.

#### **Uždaviniai:**

1. Išnagrinėti Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktus tyrimus susijusius su vienbučio gyvenamojo namo skirtingomis sienos konstrukcijomis ir jų vertinimu.
2. Išanalizuoti 3-is skirtingas vienbučio gyvenamojo namo sienų konstrukcines sistemas, išskiriant jų pagrindinius ypatumus, privalumus ir trūkumus.
3. Atlikti statybos ekspertų apklausą apie nagrinėjamų sienų konstrukcijas. Nustatyti ar apklausos duomenys yra suderinti.
4. Nustatyti racionaliausią sienos konstrukciją taikant daugiakriterių MOORA metodą.

**Tyrimų metodai:** mokslinės literatūros analizė, Moora daugiakriteris vertinimas.

#### **Autoriaus publikuotas straipsnis:**

BALIUTAVIČIENĖ, Dovilė; VAIČIULIS, Dainius. Vienbučio gyvenamojo namo sienų skirtingų konstrukcinių sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas MOORA metodu // Technologijų ir verslo aktualijos – 2022: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2022 m. lapkričio 25 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. ISSN 2538-8045. 2022.

#### **Autoriaus konferencijose skaityti pranešimai:**

Baliutavičienė, Dovilė. Vienbučio gyvenamojo namo sienų skirtingų konstrukcinių sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas MOORA metodu. Studentų mokslo darbų konferencija „Technologijų ir verslo aktualijos 2022“. Panevėžys: Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų fakultetas, 2022 m. lapkričio 25 d.

## 1. Mokslinės literatūros analizė.

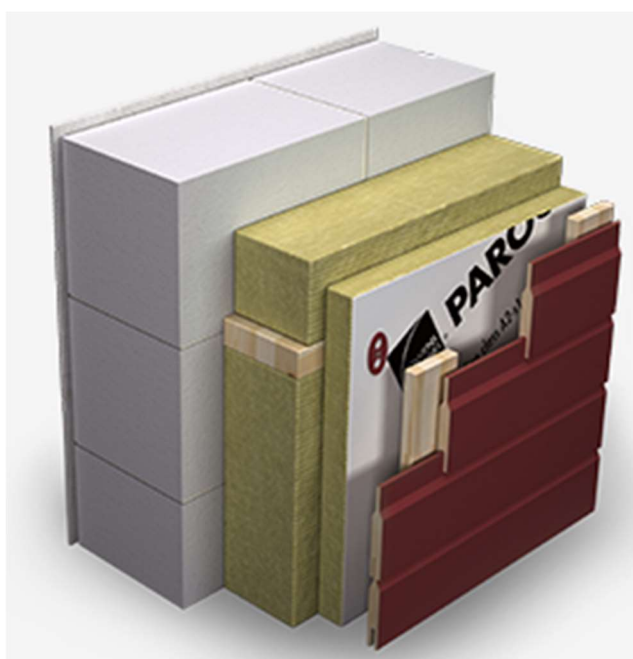
Išskiriami tokie pagrindiniai nagrinėjami atitvarinių konstrukcijų tipai: blokelių mūro (žr. 3 pav.), medienos karkaso (žr. 2 pav.) ir lengvo plonasienio plieno (žr. 4 pav.). Visų lyginamų konstrukcijų šiluminė varža atitinka A++ energinės klasės reikalavimus, keliamus vienbučiams gyvenamiesiems namams.

Medienos karkaso sistema pasirinkta nagrinėti dėl to jog tai viena seniausių statyboje naudojamų sistemų, lengvai pritaikoma ir apdirbama, o pati medienos žaliava lengvai prieinama.



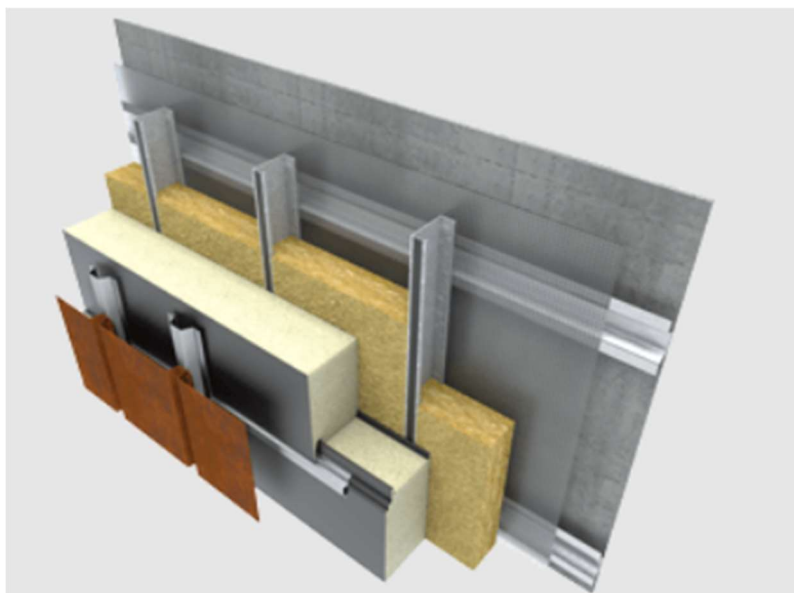
2 pav. Medinė karkasinė siena [3].

Mūro blokelių siena pasirinkta, kaip sistema, kuri atsirado jau pažengus statybai, ir labai praplėtė statybos galimybes, pastatų aukštingumą, išorės matmenų dydį, tvirtumą ir stabilumą, ilgaamžiškumą.



3 pav. Mūrinė siena [3].

LPP konstrukcijų sistema, pasirinkta kaip inovatyvi ir nauja sistema, kuri turi didelį potencialą atitikti naujus statybai keliamus tikslus, tokius kaip tvarumas, inovatyvi architektūra, greita statyba, anglies dioksido kiekio mažinimas.



4 pav. LPPK siena [4].

Kiekvienas produktas ar procesas per savo eksploataavimo ar veikimo laikotarpį turi įvairias fazes ar etapus. Apibūdinti pastatų etapus, būtų galima taip:

- Medžiagų gamyba. Šis etapas apima žaliavos išgavimą, transportavimą į gamybos ar apdirbimo vietą, gamyba baigtos arba tarpinės medžiagos, statybinių produktų gamyba ir pakavimas bei paskutinė sritis, statybinių gaminių platinimas.
- Statyba. Šis etapas apima sritį, susijusią su faktine pastato statyba ir pastato konstrukcijomis. Įprastai į šį etapą įtraukiama tokia veikla ir išteklių: medžiagų ir gaminių transportavimas į statybvieta, įrankių ir įrangos naudojimas pastato statybos metu, gamyba vietoje, sunaudota energija darbams aikštelėje.
- Naudojimas ir priežiūra. Šis etapas susijęs su pastato eksploatavimu, įskaitant energijos bei vandens suvartojimą, ir atliekų susidarymą statinio eksploatacijos metu. Taip pat įtraukiamos išlaidos už pastato remontą ir reikiamų elementų keitimą. Be to atsižvelgiama į įrangos naudojamos remontui ir keitimui transportavimo kaštus.
- Ciklo pabaiga. Tai apima suvartotą energiją, susidariusias atliekas nugriovus pastatus ir medžiagų šalinimą į sąvartynus. Atliekų perdirbimas ir (ar) pakartotinis panaudojimas [5].

Toliau darbe bus vertinami konstrukcijų privalumai ir trūkumai, skirtingais aspektais, per visus statinio gyvavimo etapus.

### 1.1. Medienos karkaso konstrukcija

Visose kultūrose ir istorijose, siekiant įgyvendinti kylančius žmonių poreikius buvo statomi įvairaus tipo ir paskirties pastatai. Pradedant privačiais namais, pagalbinio ūkio pastatais, bendruomenei skirtais pastatais, sandėliavimo ar komercijos paskirties, arba religiniams tikslams. Nuo pat statybos istorijos pradžios žmonės statė iš medžiagų, kurios buvo lengviausiai pasiekiamos, ir lengvai apdirbamos rankomis su paprastų įrankių pagalba. Todėl taip susiklostė, kad mediena dėl savo



plataus prieinamumo ir santykinai lengvo apdirbimo buvo populiarus ir pigus pasirinkimas įvairių pastatų statybai [6,7].

Medinis būstas šiai dienai vis dar laikoma viena iš tvariausių statybos alternatyvų. Daugelyje Europos ir Šiaurės Amerikos šalių mediniai namai yra labiausiai paplitęs, ekonomiškiausias ir praktiškiausias statybos konstrukcinis sprendimas. Mediniai pastatai pasižymi pakankamu ilgaamžiškumu, akustika ir šilumos komfortu [1].

Statybos raidoje išsivystė du pagrindiniai medinių konstrukcijų tipai t.y. rastinė ir karkasinė sistema (žr. 5 pav.). Šiame darbe, bus nagrinėjama karkasinė sistema. Karkasinė sistema – įvairių pozicijų (vertikalių, horizontalių, įstrižų) strypinių dalių sistema. Sienos karkasas apšiltinamas šiltinimo medžiaga – šiuo atveju akmens vata. Siekiant išgauti didesnę konstrukcijos šiluminę varžą, galima įrengti papildomą karkasą.

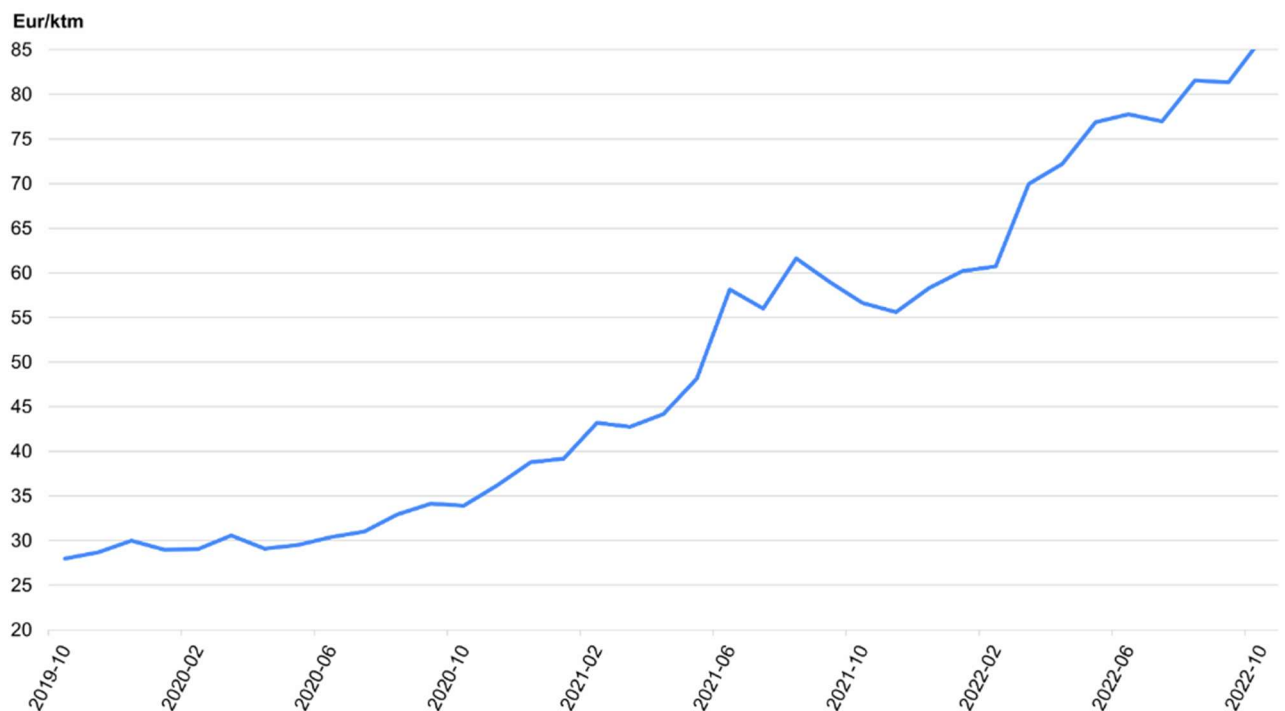


**5 pav.** Medinio karkasinio pastato pavyzdys [8].

Norint įvertinti medinių konstrukcijų kainą reikalinga pasitelkti kelis aspektus. Lyginat su statybos istorijos pradžia, šiai dienai mediena nėra taip lengvai pasiekama kaip anksčiau. Siekiant statyboje kokybės, medienos apdirbimui, džiovinimui ir paruošimui yra keliami reglamentuose numatyti reikalavimai. Dėl šių priežasčių tai pakelia konstrukcijos kainą. Medienos kainai, įtaką turi medienos rūšis, paruošimas, apdirbimas, transportavimas bei karkaso surinkimas.

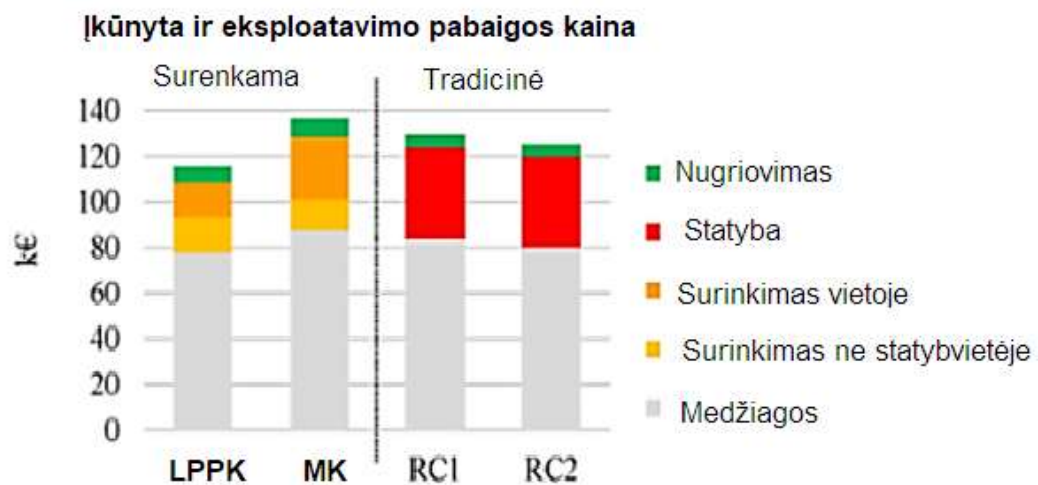
Karkasinei statybai tiek Lietuvoje tiek užsienyje populiariausiai naudojama spygliuočių mediena. Remiantis [9] duomenimis 2021 metų gruodžio mėnesį jau apdirbtos medienos žaliavos kubo kaina svyruoja nuo 200 eur iki 300 eur ir daugiau. Papildomai medinės konstrukcijos kainą išaugina transportavimas. Tai apima ne tik medienos atvežimą iš miško į dirbtuves, bet ir transportavimą į statybviетę. Antra kainos dedamoji dalis, medinių konstrukcijų apdirbimas, surinkimas ir pritaikymas objekte. Šitoje vietoje kaina įvertinti sunku, dėl darbo jėgos, kvalifikacijos neapibrėžtumo, pastato sudėtingumo.

Pagal biržos *Baltpool trijų metų* duomenis matomas nuolatinis medienos kainos kilimas. Paveikslėlyje nr. 6 matome, jog per tris metus medienos kaina pakilo tris kartus.



6 pav. Baltpool medienos indeksas [10].

Remiantis 2021 m. šaltinyje [11] atliktu palyginimu medinio karkaso konstrukcijų su LPPK, ir betono sistemomis, medžio karkaso konstrukcija kainuoja daugiausiai (žr. pav. 7).



7 pav. Atlikto tyrimo kainų lyginamoji lentelė [11].

Alternatyvus kainos ir kitų rodiklių palyginimas buvo apžvelgtas šiame literatūros šaltinyje: Šešių skirtingų atitvarinių konstrukcijų, skirtų žemaaukščiams namams, ekonominis palyginimas (*Six types of enclosing structures for low-storey houses. Economic comparison*) [12]. Lyginamos buvo tokios konstrukcijos kaip mūras, aktyto betono blokelių mūras, klijuotos laminuotos medienos karkasas, medienos karkasas, lengvo plonasio plieno karkasas, klijuotos faneros plokštės karkasas.

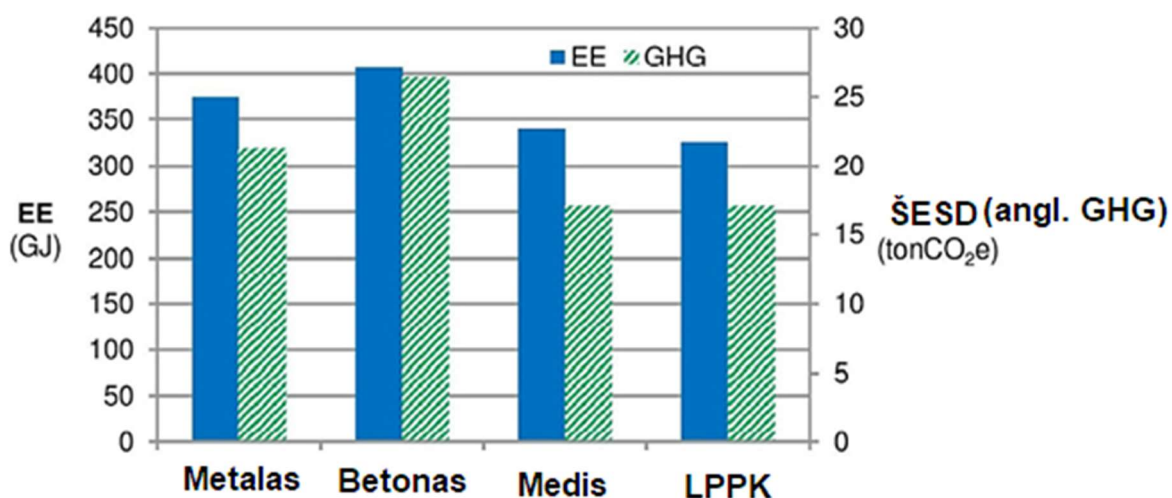
Remiantis šaltinyje [12] pateikta 4 lentelė, vertinant visos konstrukcijos kainą su apdaila ir atsižvelgiant į kainą tenkančią medžiagai 1 m<sup>2</sup>, medienos karkasas yra trečia pagal brangumą konstrukcija iš šešių pateiktų. Remiantis aukščiau paminėtų šaltinių duomenimis, kaina labai jautrus ir nuo daug ekonominių, politinių ir geografinių veiksnių, priklausantis rodiklis.

Medienos išteklių nebuvimas reikštų labai skirtingą civilizacijos eigą nei yra dabartinė, nes mediena buvo akmens, geležies ir bronzos amžiais ir prisidėjo prie žmonijos pažangos, daugiausia dėl to, kad ji yra atsinaujinanti medžiaga. Nedaug statybinių medžiagų turi medienos teikiamą naudą aplinkai. Iš visų įprastų medžiagų, skirtų konstrukcijoms, mediena turi gerą stiprumo ir masės santykį, lengvai pritaikoma gamyboje daugelio gaminamų objektų, taip pat užtikrina efektyvią šilumos izoliaciją [7].

Daugelis naujai statomų ir pastatytų pastatų jau suprojektuoti kaip mažai energijos vartojantys arba pasyvūs pastatai, todėl pagal šiuos energetinius standartus dažnai vertinamos medienos statybinės konstrukcinės sistemos, nes jos turi labai teigiamų šiluminių - techninių savybių. Medinių konstrukcijų ekologinis pėdsakas yra mažas – kartais net neigiamas. Skirtingai nei metalai ir iškastinio kuro produktai (plastikai), miško išteklių yra atsinaujinantis šaltinis, pati mediena biologiškai skaidoma, atsinaujinanti ir perdirbama, todėl tinkamai kontroliuojant medienos išteklių naudojimą ir miškų plėtrą, išteklių gali užtekti neribotam laikui. Naudojant medieną ir medienos pagrindu pagamintus konstrukcinius elementus galima sutaupyti ir daug neatsinaujinančių išteklių [2, 7, 13].

Pastatų statyba reikalauja nemažai energijos ir išteklių, todėl turi ir daug įtakos atliekų ir išmetamųjų teršalų atsiradimui. Medinio karkaso pastatų gyvavimo ciklo metu išmetama daug mažiau anglies dvideginio nei lyginant su betoninių konstrukcijų pastatais [7]. Surenkamo modulinio namo medžiagų gamybai sunaudojamos energijos ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos atliktoje analizėje, buvo alternatyvių statybinių konstrukcinių medžiagų (plieno, betono, medinių ir LPPK) ir namo dydžio variantai, siekiant suprasti šių aspektų įtaką rezultatams ir reprezentuoti kitus šiuo metu surenkamus modulinius namus gaminamus Europoje.

Lyginat vieno miegamojo „Moby“ medžiagų gamybos fazės poveikį su skirtingomis konstrukcijos medžiagomis. Konstrukcijos su lengvu plieniniu karkasu (LPP) arba mediena turi mažiausią ŠESD emisijos ir EE poveikį, apie 20 % ŠESD ir 10 % EE, palyginti su plienine konstrukcija. Didžiausią poveikį turi betono konstrukcija: daugiau 24 % ŠESD ir 9 % EE, palyginti su plieno konstrukcija (žr. 8 pav.) [14].



8 pav. Medžiagų gamybos etapo poveikis vieno miegamojo „Moby“ [14].

Analizėje pateikti skaičiavimai rodo, kad medžiagų gamyba yra svarbiausias ir daugiausiai įtakos turintis veiksnys (64–90 % energijos sunaudojamas medžiagų gamybai ir 59–87 % šiltnamio efektą

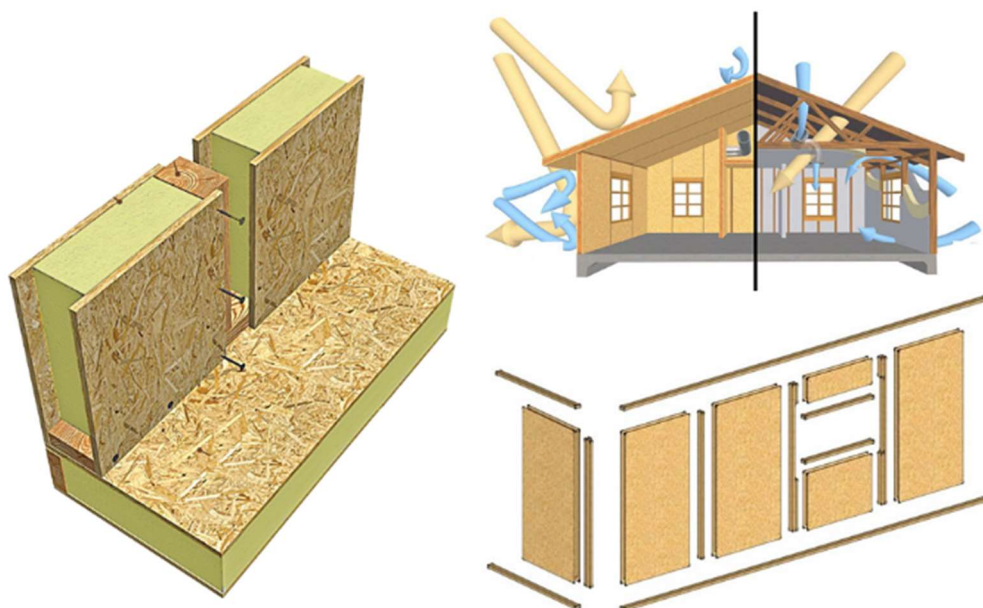
sukeliančių dujų). Konstrukcijos su LPP karkasu arba mediena turi mažiausią, o plieno ir betono konstrukcijos – didžiausią poveikį. Transportavimo įtaka gali skirtis nuo 2 % iki 26 %, poveikį tiesiogiai įtakoja namo dydis [14,15].

Dar vienas svarbus rodiklis tai konstrukcijos šiluminė talpa. Kadangi šiltinimo sluoksnio šiluminė varža bus panaši visų trijų konstrukcijų atžvilgiu, tai vertinant šį rodiklį atsižvelgiama į laikančių konstrukcijų patalpų šiluminę talpą.

Medinės konstrukcijos turi, gana prastą šiluminę talpą, nors jas daug lengviau ir greičiau galima apšiltinti, nei mūrinės konstrukcijas, tačiau ir šilumą praranda taip pat greitai. Todėl pastatuose iš medinių konstrukcijų yra daugybė kitų svarbių dedamųjų kurios šį rodiklį arba pagerintų tiesiogiai arba žymiai sumažintų jo neigiamą įtaką. Tai gali būti alternatyvūs energijos šaltiniai, tokie kaip saulės kolektoriai, grindinis šildymas, šilumos siurbliai, geoterminis šildymas ir kt. Kita galimybė – rekuperacinė sistema. Dar vienas būdas pagerinti pastato konstrukcijų energinius parametrus yra vadinamųjų akumuliacinių elementų taikymas.

Medinėse konstrukcijose gali būti naudojami konstrukciniai akumuliaciniai elementai – mūrinės pertvaros ir betoninės perdangos, kurios, be akumuliacinės funkcijos, pagerina vieną iš nedaugelio šios konstrukcijos probleminių savo parametrų – prastesnę garso izoliaciją. Lyginant su mūrinio pastato patalpomis, tai medinio pastato patalpų vidaus šiluminė talpa 2,75 karto mažesnė. Faktinėse konstrukcijų stebėjimo išvadose, geresnes medinių konstrukcijų savybes galima pasiekti pritaikius akumuliacinius elementus, jeigu juos tinkamai izoliuojame nuo išorės. Tinkamai neizolius akumuliacinių elementų, gali susidaryti nepageidaujami šilumos tilteliai [15,16, 17].

Mediena ir medienos pagrindu pagamintos medžiagos paprastai turi mažą akumuliacinį pajėgumą, o tai nebūtinai yra trūkumas. Pavyzdžiui, medienos komponentų naudojimas daugiasluoksnyje plokštėje (SIP) (žr. 9 pav.) yra efektyvus medinėms konstrukcijoms. Dėl statinių savybių ir šiluminių-techninių savybių santykio medienoje galima statyti energetiškai efektyvias medienos konstrukcijas. Lyginant medinę konstrukciją su tradicine mūrine konstrukcija, šiluminių/techninių savybių atžvilgiu, medinė konstrukcija dėl plonesnių sienų gali sutaupyti apie 10–20 % grindų ploto. Kita vertus, medinės konstrukcijos šiluminė talpa yra santykinai mažesnė [15,17].



9 pav. Struktūrinė izoliacinė plokštė (SIP) [18].



Mokslinėje literatūroje [15] atliktas tyrimas leidžia daryti išvadą, kad kruopščiai derinant tinkamas medienos statybines medžiagas ir pastato projektinius sprendimus galima pasiekti efektyvesnius statybos sprendimus, didesnę šiluminę stabilumą ir geresnį pastato vidaus komforto lygį, bei kokybę tvarumo kontekste.

## 1.2. Lengvo plonasienio plieno konstrukcija (LPPK)

Lengvo plonasienio plieno konstrukcija (LPPK) (žr. 10 pav. ). – tai inovatyvi ir sąlyginai nauja statybos metodika, kurios metu naudojami lengvo plonasienio plieno profiliai, su gipso karto ar surenkamomis cementinėmis plokštėmis, karkasą užpildant vata ar poliuretano putomis. Rėminės sistemos išdėstomos pagal architektūrinius poreikius ir sujungiamos varžtais [19,20,21].



10 pav. LPPK 3D vaizdas [4].

Pastatų sistemos su lengvo plonasienio plieno elementais, plačiai naudojamos JAV, Australijoje ir Japonijoje. Kai kuriose Europos šalyse šis konstrukcijos tipas taip pat populiarėja, Lietuva viena iš jų. Lengvo plieno sistema turi laikančiąsias sienas, o grindų konstrukcija gali būti iš lengvo plieno profilių arba betono. Stogo ar perdengimo konstrukcijai naudojama santarvinė lengvo plieno sistema. Tokios sistemos tinkamos, ne tik gyvenamųjų namų statybai, bet ir pramoninei statybai bei gali prisidėti prie efektyvesnio ir sklandesnio ir greitesnio statybos proceso, nes visi elementai pagaminami iš anksto ir surenkami statybvietėje. Dėl šių laikų tobulesnės jų gamybos technologijos (sudėtingesnė formos, didesnis tikslumas ir pan.) plonasienių elementų panaudojimo sritis ženkliai išsiplėtė [20,21, 22].

Plonasieniai plieniniai profiliuočiai statyboje pirmą kartą pradėti naudoti JAV ir Didžiojoje Britanijoje ~1850 m. Profiliuočiai 1920 m. – 1930 m. kaip statybinė medžiaga buvo labai ribota, nes nebuvo šio tipo elementams parengtų standartų ir trūko informacijos apie medžiagos patvarumą, standumą, ir nebuvo jokių projektavimo gairių. Virdžinijos baptistų ligoninė, pastatyta apie 1925 m. Linčburge, Virdžinijoje, laikoma kaip vienas pirmųjų statinių kuris pastatytas iš lengvo plonasienio plieno konstrukcijų. Plieninių gaminių naudojimas statyboje tapo vis populiariesnis įvedus standartus - skaičiavimas 1940 m. Šiuo metu Europoje yra reglamentuota šaltai formatuotų plonasienių plieninių elementų projektavimas Eurokodu 3 1-3 dalimi (EN 1993-1-3:2007. Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas) [23, 24].

Šiais laikais projektuojant statinius siekiama, kad jie būtų lengvi ir ekonomiškai, bet tuo pačiu ir architektūriškai išraiškingi, todėl vis plačiau naudojamos plonasienės konstrukcijos. Plonasieniai elementai, tokie kaip ilginiai, rėmo elementai (kolonos, sijos), vis dažniau pakeičia tradicinius valcuotus elementus ir konstrukcijas iš kitų medžiagų, tokių kaip mediena [22].

LPPK statybos sistema, turi didelį pranašumą ir potencialą, kai vertinamas tvarumas, statybos greitis ir aukštas komforto lygis patalpose, tačiau gali turėti tam tikrų energijos vartojimo efektyvumo trūkumų. Jei projektuojant tinkamai neįvertinama maža šių sistemų šiluminė inercija ir šilumos tilteliai, atsirandančius dėl didelio plieninio karkaso laidumo, tai ši konstrukcija gali netenkinti pastatų energijos vartojimo efektyvumo standartų ir reglamentų [25,26].

Pateiktame šaltinyje [25] įrodyta, kad šaltų konstrukcijų sienose dėl plieninio karkaso poveikio U vertė padidėjo nuo 19% iki 82%. Tačiau nustatyta jog panaudojant ištisinio šiltinimo sluoksnį už plieninio karkaso, kas atitiktų šiltos konstrukcijos tipą, ženkliai pagerintų LPP fasadinių sienų šilumines savybes.

Kitas atliktas eksperimentinis bandymas [27] truko metus nuo 2019 m. spalio iki 2020 m. rugsėjo mėn. Pagrindiniai šio eksperimentinio tyrimo tikslai buvo du:

- ištirti eksperimentinių bandymų kamerų patalpų oro temperatūros svyravimus ir dydį;
- įvertinti patalpų šiluminį komfortą ir koreliaciją su bandomųjų elementų šiluminėmis savybėmis.
- Tyrimui buvo naudojami dviejų tipo modeliai, LPPK ir gelžbetonio su plytų mūru konstrukcija.

Rezultatų išvados:

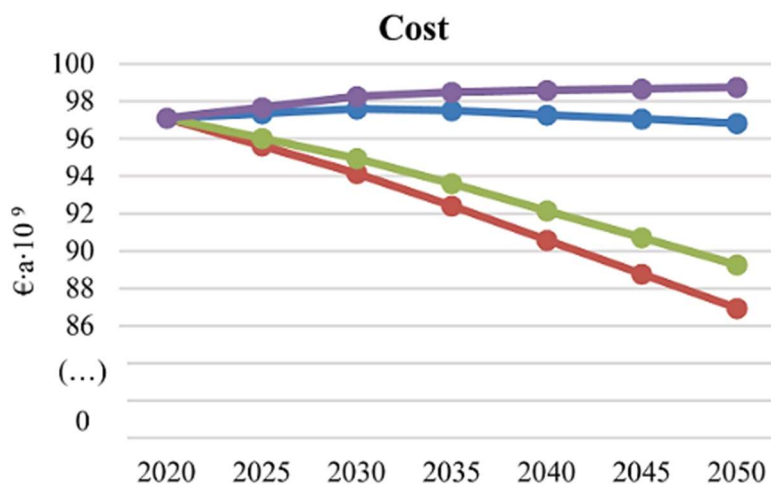
- Reakcija į lauko aplinkos sąlygas ir didesnę patalpų oro temperatūros svyravimą turėjo bandinys iš LPPK. Tačiau pranašumas buvo pastebėtas, žiemos laikotarpiu ir tinkamai orientavus modulį pasaulio šalių atžvilgiu.
- Mėnesio vidutinės temperatūros reikšmės panašios.
- Bandinio iš LPPK patalpos greičiau išyla, kas svarbu šildymo sezono metu
- Vasaros mėnesiais LPPK bandinio reikšmės dėl perkaitimo ribinės
- Bendras pamatuotas diskomforto skirtumas skirtinguose bandiniuose skiriasi beveik 20%, o LPPK bandinys rodo mažesnę vertę.
- Rezultatai įrodė, kad svarbu į pastatų energinio naudingumo reglamentus įtraukti aiškius dinamiškus šilumines charakteristikas, ypač esant labai dinamiškoms klimato sąlygoms, tokioms kaip Pietų Europoje.

Dar vienas ilgalaikis stebėsenos tyrimas buvo atliktas Portugalijoje, taip pat, buvo lyginami du identiškų matmenų pastatų prototipai tik skirtingų konstrukcijų. Tyrimo pagrindinis tikslas buvo įvertinti kiekvienos konstrukcinės sistemos galimybes ir ribines reikšmes, siekiant sumažinti

energijos suvartojimą ir užtikrinti komfortišką aplinką šildymo sezono metu, atsižvelgiant jog šildymas reikalingas ne išties. Tyrimo trukmė metai laiko. Atliktas palyginimas LPP su mūro ir gelžbetonio konstrukcijomis, parodė jog LPPK pastato prototipas kiekvieną mėnesį pasižymėjo mažesniu energijos suvartojimu, skirtumas svyravo nuo 19 % iki 62 %. Tačiau dėl mažo konstrukcijos akumuliacijos lygio LPPK sistema yra jautresnė išorinės aplinkos pokyčiams, tokiems kaip staigus temperatūros kritimas naktį, ar temperatūros šuolis saulėtą dieną [28,29,30].

Tarp LPPK privalumų gamintojai nurodo cinkuotų profilių atsparumą korozijai, mažą svorį, deformacijų nebuvimą, greitą montavimą, sienų apdailai nereikia parengiamųjų darbų. Iš trūkumų išskiriama tik technologijos tinkamumas mažaaukštėje statyboje [31]. Turimų eksperimentinių duomenų trūkumas trukdo optimizuoti, ir specifiuoti tokių konstrukcijų tipo pastatus, siekiant įgyvendinti aukštus energijos naudingumo standartų ir patalpų komforto, o parengtos projektavimo gairės, pagrįstos parametriniais tyrimais, gali būti patikima ir laiką taupanti priemonė individualių namų projektams, kuriuos būtina pritaikyti prie skirtingų reikalavimų ir padėties sklype [28,29,30].

Nagrinėjant kainos aspektus, daroma prielaida jog iki 2050 metų, pasaulio gyventojų prieaugis išsivysčiusiose šalyse reikšmingai nepadidės, tačiau kylančios ekonomikos šalyje pastebimas ekonomiškai vidurinės klasės šuolis. Ši gyventojų dalis išaugins nebrangių, įperkamų pastatų paklausą, pasižyminčių aukštu komfortu, energetiškai efektyviais, architektūriškai išskirtiniais ir greitai statomais. Šiuo atveju, LPP statyba gali patenkinti visus šiuos lūkesčius ypatingai kainai (žr. 11 pav.) [25].



11 pav. Kainos prognozė (LPPK raudona linija) [25].

Buvo atliktas tyrimas [32] LLP konstrukcijų potencialui įvertinti. Tyrimas apėmė 3 Europos miestus:

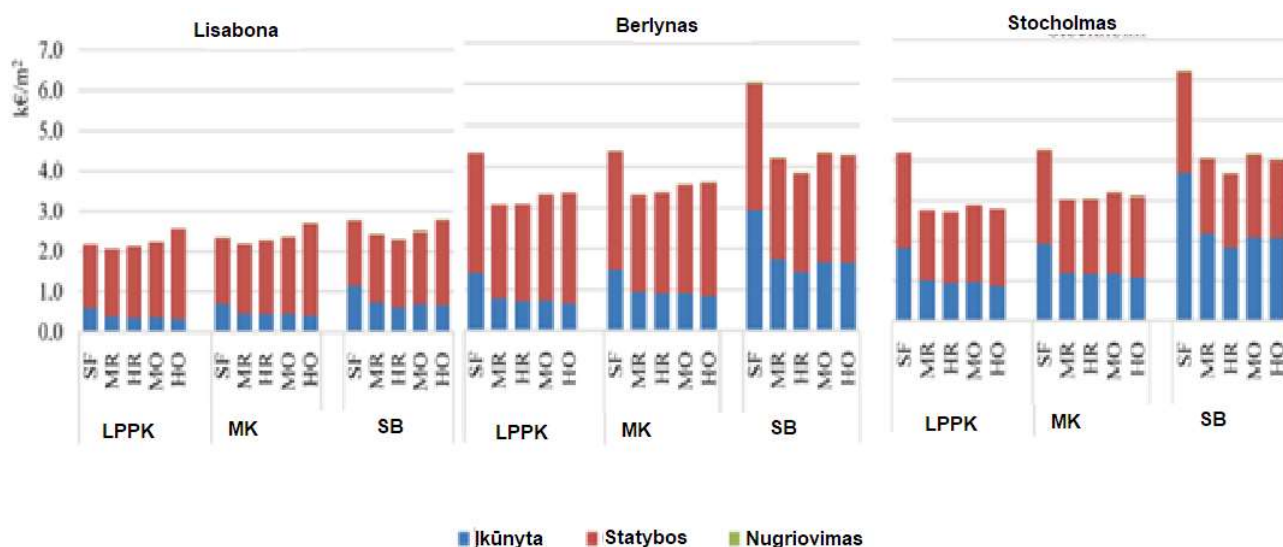
- Lisabona – kaip atitikmuo šilto klimato zonos šalims
- Berlynas – kaip atitikmuo vidutinio klimato zonos šalims
- Stokholmas – kaip atitikmuo šalto klimato zonos šalims

Atliktame tyrime [32] 2021 m. pateikiami gyvavimo ciklo kaštai 1 m<sup>2</sup> kiekvienam archetipui vertinant su vidutine šilumos izoliacija. Kaina svyruoja nuo 2,1 tūkst. iki 6,2 tūkst. eur/m<sup>2</sup>. Didžiausios išlaidos yra vienbučiam gyvenamajam namui iš betono konstrukcijų tenka Berlyne ir Stokholme, o mažiausios – vienbučiams pastatams iš LPP konstrukcijų, Lisabonoje. Eksploatacinės



sąnaudos yra didžiausia išlaidų dalis (50–90 %), po to seka medžiagų gamybos sąnaudos (10–50 %), o eksploataavimo pabaigos išlaidos yra sąlyginai nereikšmingos. Vienbučių gyvenamųjų namų kaina Berlyne ir Stokholme 20–40% didesnė nei kitose tipologijose, o Lisabonoje vienbutis gyvenamasis namas kainuoja tik 2–15% daugiau. Kiekvienos šalies pragyvenimo lygis turi įtakos išlaidoms. Pavyzdžiui, elektros energijos kainos įtaka, šeimos kuri gali sau leisti sunaudoti daugiau elektros energijos, bus didesnė vertinant visą kainą viso gyvavimo ciklo laikotarpiu. Antras kriterijus kurį įtakoja šalies pragyvenimo lygis, tai yra darbo jėgos kokybė ir numatomas darbo užmokestis.

Remiantis šaltinyje [32] pateiktu paveikslėliu (12 pav.) lengvo plieno konstrukcija kainos atžvilgiu yra lygiavertė konkurentė, įprastinei medžio karkaso sistemai, ir ženkliai patrauklesnė lyginant su gelžbetonio konstrukcijomis šalto ar vidutinio klimato šalyse.



12 pav. Gyvenimo ciklo sąnaudos vienam m<sup>2</sup>, miestui, konstrukcinei medžiagai ir archetipui: padalintos iš gyvavimo ciklo fazės [32].

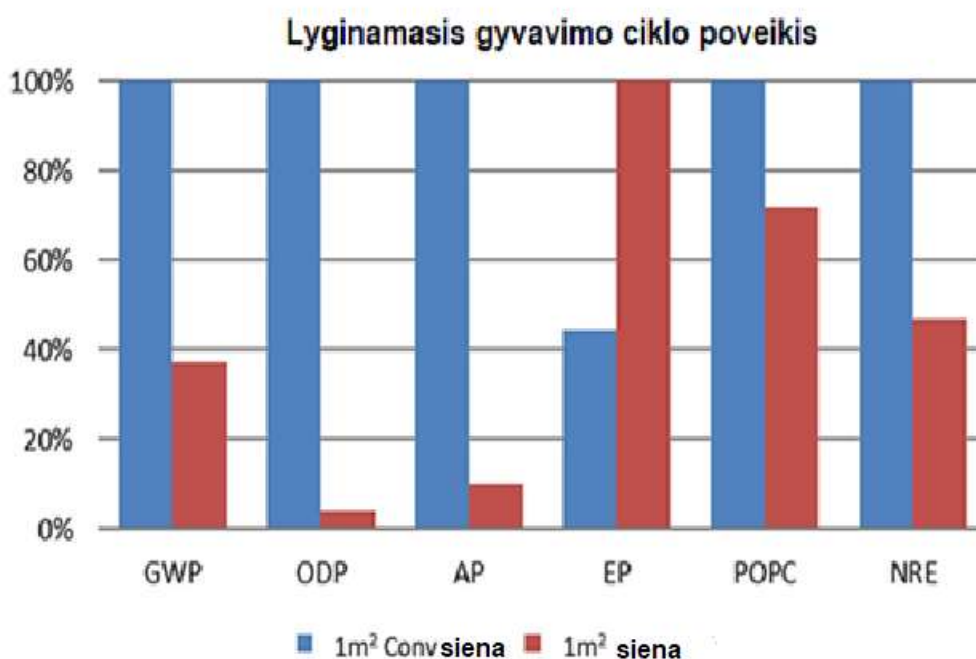
Statybos sektoriaus poveikio aplinkai mažinimas ir pastatų energinio efektyvumo didinimas per visą jų gyvavimo ciklą yra pagrindinis pasaulio energetikos politikos tikslas (Gieseckam J. ir kt., 2018). Siekiant drastiškai sumažinti viso statybų sektoriaus poveikį aplinkai, būtinas atsakingas išteklių naudojimas [22, 33].

Dauguma išsivysčiusių šalių pasitvirtino įstatymų direktyvas projektuoti ir statyti energiška pasyviems pastatams. Lietuvoje jau nuo 2021 m. sausio 01 dienos, pagal STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ įsigaliojo reikalavimas projektuoti energijos beveik nevarojančius pastatus t.y. atitinkančius A++ energinės klasės reikalavimus. Kad pasiekti tokius aukštus reikalavimus Lietuvoje, dažniausiai tenka numatyti papildomus atsinaujinančios energijos sprendinius, tokius kaip saulės elementų, ar geoterminio šildymo sistemos panaudojimą [24].

Tačiau, nustačius reikalavimus energiška efektyviems pastatams jog būtų sutaupyta eksploatacinės išlaidos, ilgainiui pastebėta, kad įvertinus energiją reikalingą medžiagoms pagaminti jog pastatyti energiška pasyvų namą, ir palyginus su energija sutaupyta eksploatacijos metu, nustatyta jog sutaupyta energijos kiekis yra mažesnis, už energiją reikalingą pagaminti tokio namo medžiagoms ir įrenginiams. Kad reikalavimai būtų susiję su racionaliu ne tik finansinių, išteklių naudojimu Europos Komisija įpareigoja kas penkerius metus atlikti kaštų ir naudos analizę, bei

pateikti pagrįstus skaičiavimus, pagal kuriuos būtų galima koreguoti energiška pasyvių pastatų projektavimo gaires [33].

Ieškant tinkamo naudos ir kaštų santykio LPP konstrukcinė sistema tampa labai konkurencinga lyginant su kitoms. Siekiant įvertinti LPP konstrukcijų poveikį aplinkai buvo sukurtas pirmasis prototipas „ELISSA“ ir realizuotas Neapolio universiteto Federico II laboratorijoje. Gyvavimo ciklo vertinimas buvo pasirinktas kaip tyrimo metodika, tiriant LPPK tvarumą. Šiuo tyrimu siekiama kiekybiškai įvertinti „ELISSA“ modelio aplinkosauginį veiksmingumą ir palyginti LPPK sienų komponentus su tradicine mūrine siena (žr. 13 pav.). Šioje gyvavimo ciklo analizėje atsižvelgiama į medžiagų kiekius ir įrangą, naudojamą ne tik statyti ir bet ir griovimo darbams gyvavimo ciklo pabaigoje [33].



13 pav. Gyvavimo ciklo poveikio vertinimo rezultatai [10].

- GWP – įtaka globaliniam atšilimui (angl. *Global Warming Potential*);
- ODP – įtaka ozono sluoksnio irimui (angl. *Ozone Depletion Potential*);
- AP – įtaka rūgštaus lietaus susidarymui (angl. *Acidification Potential*);
- EP – įtaka azoto ir fosforo medžiagoms (angl. *Eutrophication Potential*);
- POPC – fotocheminis ozono susidarymo potencialas (angl. *Photochemical Ozone Creation Potential*);
- NRE – neatsinaujanti energija (angl. *NonRenewable Energy*);

Tyrimas rodo, kad LPPK sienos konstrukcijos poveikis aplinkai yra daug mažesnis nei gelžbetoninės/ mūro statybos sistemos. Remiantis realiu nagrinėtu atveju, įrodo, kad LPP konstrukcinė sistema, gali padaryti poveikį aplinkai, kuris yra perpus mažesnis už įprastą sistemą, tuo pačiu sutaupant medžiagų kiekį, (nes vienas „ELISSA“ namo kvadratinis metras sveria mažiau nei pusė įprastinės armuotos mūrinės sienos, kurios šiluminės charakteristikos yra tokios pačios) ir yra beveik dvigubai plonesnė nei vertinama mūrinė konstrukcija. Didžiausias skirtumas tarp konstrukcijų matomas 13 paveikslėlyje, ties įtakos darymu ozono sluoksnio irimui, rūgščių lietu susidarymui ir globaliniam atšilimui. Vienintelis rodiklis iš, 13 paveikslėlyje pateiktos diagramos,

kur įprastinė mūrinė siena turi aukštesnius rodiklius nei LPP sistema, yra įtaka azoto ir fosforo junginių susidarymui [33]. Remiantis, atliktais tyrimais surenkamoji gamyba įtraukta kaip vienas būdas sumažinti pastatų poveikį aplinkai. Akivaizdu, jog vien surenkamoji gamyba negali pasiekti ES užsibrėžtų aplinkosaugos tikslų, tačiau gali prisidėti prie numatytų ES tikslų įgyvendinimo, nes surenkamoji gamyba suteikia galimybę sumažinti statybos sąnaudas, padidinti statybų sektoriaus produktyvumą, efektyvumą bei sukurti tvaresnius statinius [32].

### 1.3. Mūrinė sienos konstrukcija

Mūras viena seniausių statyboje naudojamų konstrukcijų, pirmieji mūriniai statiniai buvo tokie kaip, kapavietės, šventyklos statomos iš natūralių ar apdorotų akmenų. Egiptiečių istorijoje randama jog piramidės iš tašytų akmenų buvo statomos jau prieš 6000 tūkst. metų, neužpildant siūlių. Lietuvoje mūrinė statybą pradėtas XIII amžiuje, prasidėjus plytų gamybai. Pirmieji mūriniai gyvenamieji namai Lietuvoje buvo pradėti statyti XV-XVI amžiuje. Lėtą mūrinių konstrukcijų įsitvirtinimą gyvenamųjų namų statyboje lėmė tai jog mūrinės konstrukcijos turi didelį šiluminį laimumą, todėl konkuruoti su medine karkasine statyba buvo sunku, ypač dėl to, kad išdegti 1 m<sup>3</sup> plytų reikėjo sunaudoti 1,2 m<sup>3</sup> medienos. Tačiau XX a. pirmoje pusėje mūras jau buvo viena populiariausių statybinių medžiagų tiek gyvenamųjų tiek pramoninių pastatų statybai. Tai susiję su tuo kad atsirado pirminiai norminiai dokumentai ir rekomendacijos tokių konstrukcijų projektavimui [16,34].

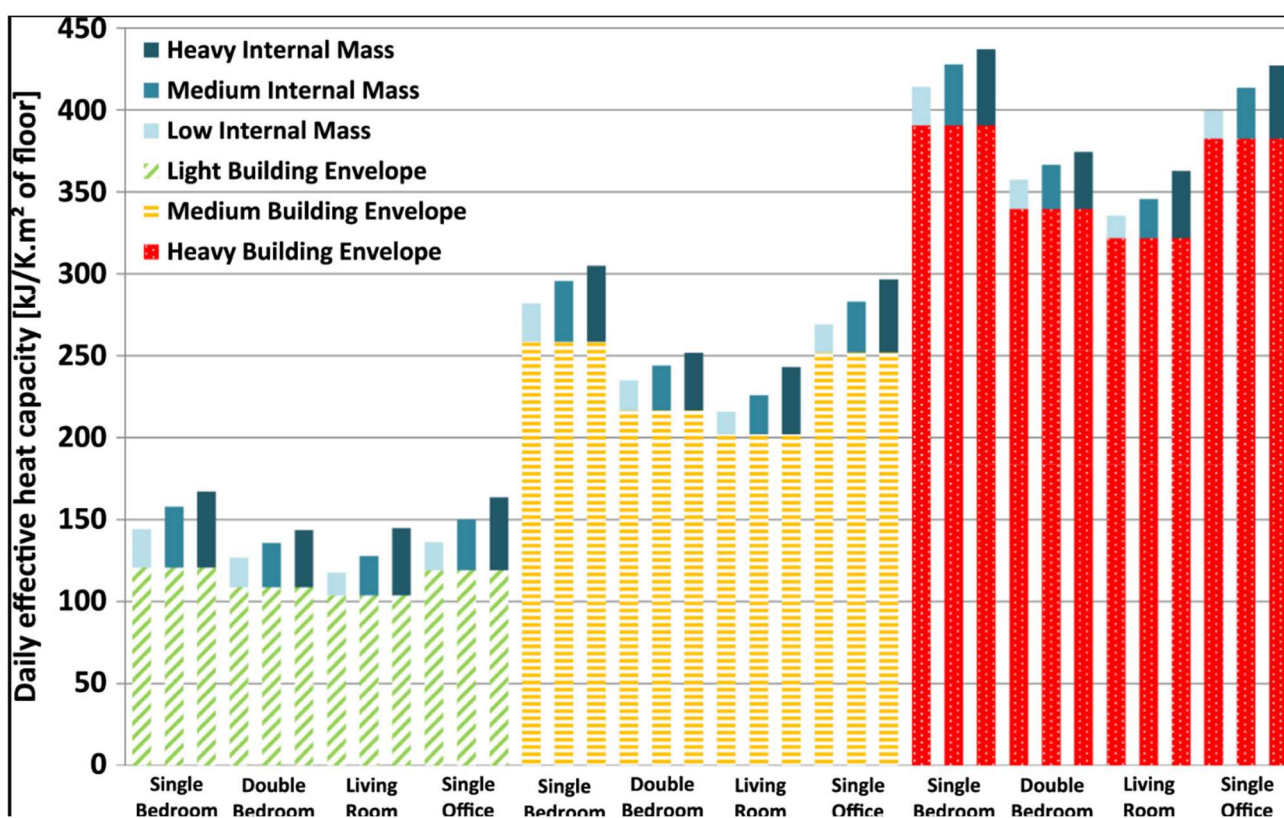
Blokelių ar plytų mūro (žr. 13 pav.) ir gelžbetonio konstrukcijos yra labiausiai paplitusi ir techniškai žinoma konstrukcinė sistema [28]. Šiai dienai mūrinės konstrukcijos Lietuvoje vis dar išlieka pagrindine laikančių konstrukcijų statybine medžiaga. Remiantis projektavimo įmonės UAB“NP5“, kurioje aš dirbu, statistika, 90 procentų visų mūsų užsakovų renkasi mūrines konstrukcijas. Silikatinų blokelių mūro konstrukcijas renkasi apie 80 proc., likę 20 proc. renkasi dujų silikato arba keramikos blokelių. Pavieniai atvejai renkasi medines ar kitas konstrukcijas.



14 pav. Mūrinės konstrukcijos pastatas [103].

Pagrindiniai ir išskirtiniai mūrinių (priimama jog mūrinė konstrukcija iš ARKO blokelių) gyvenamųjų pastatų privalumai tai tvirtumas, stabilumas ir ilgaamžiškumas. Statybos norminiuose dokumentuose vertinama jog mūrinio namo gyvavimo amžius 100 metų. Taip pat mūriniai namai pasižymi geru atsparumu ugniai ir orinio garso izoliacija. Lengvai pritaikoma daugiaaukštei statybai.

Esminiai trūkumai šių konstrukcijų, tai kaina, ilgas statybos procesas, brangus medžiagų transportavimas, reikalingas storas šiltinimo sluoksnis norint atitikti keliamus pasyvių namų reikalavimus. Sudėtinga tokius pastatus rekonstruoti ir išardyti, dėl sunkios konstrukcinės masės, taip pat reikalinga tvirtesni ir masyvesni pamatai. Būtina daugiau kokybės kontrolės statybos metu, darbų kokybę ir trukmę smarkiai įtakoja oro sąlygos ir sezoniškumas, nes didžiąją dalį darbų sudaro „šlapi“ procesai. Taip pat ir vienas didžiausių šiluminių laidumų, tačiau labai gerą šiluminę talpą. Nors tikslią medžiagos savitąją šiluminę talpą įvertinti sunkiau. Pastebėta, kad tokia pati reikšmė šaltiniuose dažnai pateikiama visai medžiagos klasei, o ne konkrečiam gaminiui, be to nėra aiškaus ryšio tarp statybinių medžiagų tankio ir savitosios šiluminės talpos. Kaip parodyta 15 pav., nėra aiškaus ryšio tarp statybinių medžiagų tankio ir savitosios šiluminės talpos [2].



15 pav. Bendra pastato paros efektyvioji šiluminė talpa [2].

Didelė šiluminė talpa, padeda patalpai ne taip jautriai reaguoti į klimato pokyčius, nors tokias patalpas sunkiau atvėsinti ar sušildyti, bet jos apsaugo nuo staigaus atvėsimo ar perkaitimo, kas karkasinėms konstrukcijoms tam tikrais klimato atvejais gali būti trūkumas.

Remiantis anksčiau aptartais tyrimais [11,12 mūrinė konstrukcija yra viena brangiausių iš visų lyginamų šiame darbe. Pagal 6 paveikslėlyje pateiktą informaciją, už mūrinę konstrukciją brangesnė tik medienos karkaso konstrukcija. Pagal 15 paveikslėlyje pateiktą informaciją, matomas ryškesnis mūrinės konstrukcijos kainos skirtumas, ypatingai vidutinio ir šalto klimato šalyse.



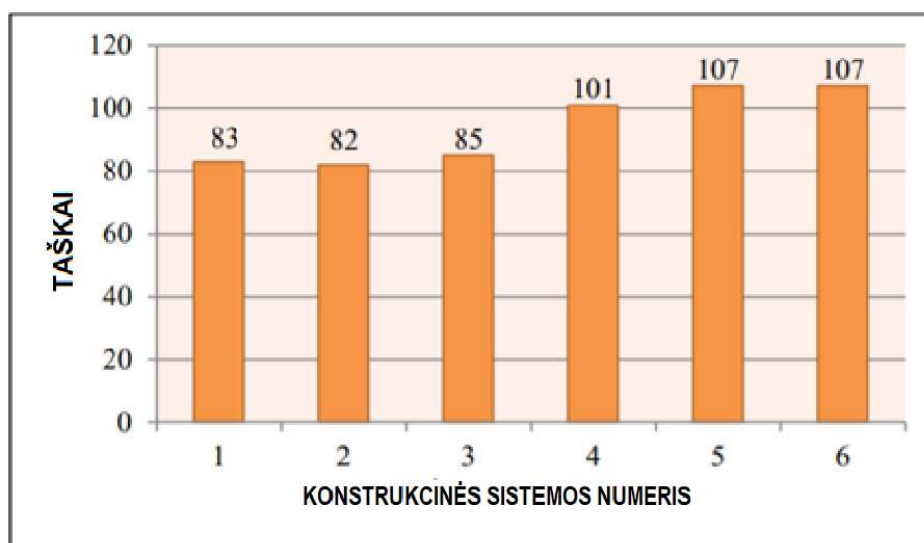
Mūro konstrukcijos reikalauja žymiai daugiau darbo kokybės statybvietyje lyginant su surenkama statyba, todėl siekiant kad darbas būtų atliktas kokybiškai ir tenkintų keliamus reikalavimus, būtina kvalifikuota darbo jėga, kas išsivysčiusiose šalyse, kur darbo užmokestis didesnis, žymiai pakelia mūrinių konstrukcijų kainą. Šių pastatų kaina yra labiau kintama nei abiejų surenkamų sistemų, nes ji labiau priklauso nuo kiekvienos šalies išlaidų, tokių kaip žmoniškųjų išteklių, transporto ir elektros sąnaudų [32]. Tačiau kaip ir su visomis konstrukcijomis kaina labai jautrus ir į daug kriterijų reaguojantis rodiklis, ir tam tikrais kainų svyravimo etapais (pvz. staiga išaugus medienos kainai dėl miško gaisrų, arba metalo kainai dėl staigaus paklausos augimo) ši konstrukcija gali būti patrauklesnė lyginant su anksčiau aptartomis sistemomis.

Vis didėjant gyventojų skaičiui ir didėjant miestų užstatymo tankumui tampa svarbus rodiklis kaip bendro ploto ir užstatomo ploto santykis. Leidžiamas užstatyti plotas yra reglamentuojamas teritorijų planavimo dokumentuose ir dažniausiai tiesiogiai proporcingas sklypo plotui. Dėl storos sienos konstrukcijos labai svarbu atsižvelgti į užstatomo ploto santykį lyginant su bendru plotu. Vertinant 100 m<sup>2</sup> bendro ploto, vienaukščio pastato iš mūrinių konstrukcijų užstatymo plotas 125 m<sup>2</sup>, kai pastato iš LPP konstrukcijų 116 m<sup>2</sup>. Tarp konstrukcijų ploto atžvilgiu atsiranda beveik 7 proc. skirtumas. Šis aspektas labai svarbus, ten kur gyvenamoji vieta turi aukštą kainą, leidžiamas užstatyti plotas minimalus ir reikalinga sukurti kuo didesnę gyvenamą plotą.

Nors pastatas iš mūrinių konstrukcijų rinkoje turi didesnę kainą nei surenkama statyba (dėl didesnių statybos išteklių ir ilgaamžiškumo), tačiau nekilnojamo turto kaina skaičiuojama vienam kvadratiniam metrui bendro ploto ir tai padaro jog bendras plotas yra tiesiogiai proporcingas kainai.

Mūrinės konstrukcijos aplinkos poveikiui tai pat nesiekia aukštų kriterijų. Atsižvelgiant į paveikslėlyje (žr. 13 pav.) pateiktus duomenimis gelžbetonio ir mūro konstrukcija turi didžiausią poveikį šiltnamio efektą sukeliančioms dujoms ir tokioms konstrukcijoms pagaminti sunaudojamas didžiausias kiekis energijos. Paveikslėlyje nr. 13, pateikta informacija taip pat konstatuoja faktą apie mūrinių konstrukcijų neigiamą poveikį aplinkai.

Remiantis atliktu tyrimu [26], buvo nagrinėjamos šešio skirtingos konstrukcijos pagal dvidešimtu skirtingus parametrus, (tarp jų ir kaina, ir užstatomo ploto santykis, energinis efektyvumas, poveikis aplinkai, statybos greitis ir kt.), buvo nustatyta jog pagal dvidešimtu kriterijus, LPPK surinko 107 balus, mūrinė konstrukcija 83 balus, medienos karkaso konstrukcija 101 balą (žr. 16 pav).



16 pav. Gyvavimo ciklo poveikio vertinimo rezultatai [12].

čia: mūrinė konstrukcija – 1 nr., LPPK –5 nr, medienos karkasas – 4 nr.

Atliktas tyrimas parodė jog nepaisant privalumų, pagal daugumą kriterijų, mūrinės konstrukcijos nusileidžia kitoms darbe nagrinėtoms konstrukcijų.

## 2. Tyrimų metodologija

Tyrimas, bendrąja prasme, reiškia žinių ieškojimą. Taip pat tai gali apibrėžti mokslinės literatūros ir/ar sistemingą atitinkamos informacijos paiešką konkrečia tema, ypač ieškant naujų faktų bet kurioje žinių šakoje. Clifford'o Woody teigimu, tyrimai apima keliamų problemų apibrėžimą bei naujo apibrėžimo sudarymą, hipotezės ar siūlomų alternatyvių sprendimų formulavimą. Taip pat duomenų rinkimą, tvarkymą, vertinimą, išvadų suformulavimą. Moksliniai tyrimai yra labai svarbus indėlis į esamą žinių bagažą, padedantį jį tobulinti, praplėsti ir kurti toliau. Dar galima tai įvardyti kaip tiesos siekimą tyrinėjant, stebint, lyginant ir eksperimentuojant. Trumpai tariant, žinių paieška naudojant objektyvų ir sistemingą uždavinių sprendimo būdą yra tyrimas [35,36,37].

Tyrimo tikslas – taikant mokslines procedūras atrasti atsakymus į rūpimus klausimus. Nors kiekvienas atliekamas tyrimas turi savo konkretų tikslą, yra žinoma, kad tyrimo tikslai suskirstyti į keletą šių plačių tipų [35]:

1. susipažinti su reiškiniu arba įgyti naujų įžvalgų apie jį (studijos su šiuo objektu vadinamos tiriamosiomis arba formuluojamomis studijomis);
2. tiksliai atvaizduoti konkretaus individo, atvejo ypatybes (studijos su šiuo objektu vadinamos aprašomaisiais tyrimais);
3. nustatyti dažnį, kada įvyksta pokytis arba kas su tuo turi sąsają (tyrimai su šiuo objektu vadinami diagnostiniais tyrimais);
4. patikrinti priežastinio ryšio tarp kintamųjų hipotezę (tokie tyrimai žinomi kaip hipotezių tikrinimo tyrimai);

Šio darbo tyrimo tikslai labiausiai atitiktų pirmąjį ir antrąjį tipą nes darbo tyrimui naudojama literatūros apžvalga, siekiant įvertinti problemos aktualumą, surasti informaciją nagrinėjamus subjektus, bei sąsajų ir skirtumų ieškojimas, ekspertų apklausa, ir MOORA daugiakriteris vertinimas.

### 2.1. Daugiakriterio vertinimo metodika

Sprendimo radimas pirmiausia yra procesas, kuriame dalyvauja įvairūs subjektai: žmonės, žmonių grupės, institucijos bei valstybė. Daugiakriteris sprendimų priėmimas atsirado gana neseniai, nuo šeštojo ir septintojo dešimtmečių, kai pradėti rengti šiuolaikini daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų pagrindai.

Daugelis mokslininkų skyrė savo laiką naujų daugiakriterių sprendimų priėmimo modelių, metodikų ir technikų kūrimui. Pastaraisiais dešimtmečiais šios srities plėtra išaugo ir toliau auga. Nors plėtra buvo intensyvi visame pasaulyje, trūko bandymų sistemingai pristatyti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų teorijos raidą ir pagrindus, bet diskusijų apie metodologinius pasirinkimus ir sprendimų vertinimo sistemą nuolatos diskutuojama moksliniuose straipsniuose [37,38].

### 2.2. Daugiatikslių sprendimų klasifikavimas. MOORA vertinimo metodika

Uždaviniams spręsti, kuriuose reikia vertinti daugelį tikslų ar rodiklių, dažniausiai taikomi daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai [39]. Daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai (angl. Multiple Criteria Decision Making, t. y. MCDM) naudojami optimaliausio sprendimo radimui ir skirstomi į du tipus:



- daugiakriteriai (angl. Multiple Objective Decision Making, t. y. MODM), kai taikomas vektorinio optimizavimo modelis, sprendžiant problemą, apimančią didžiąją dalį tikslo funkcijų, kurios optimizuojamos vienu metu.
- daugiatiksliai (angl. Multiple Attribute Decision Making, t. y. MADM), kai tikslas išskirti racionaliausią alternatyvą iš konkrečių alternatyvų sąrašo.

Kadangi įvairūs rodikliai atspindi skirtingus požiūrius ar reikšmes į alternatyvas, jie gali būti prieštaraujantys vieni kitiems (tarkim naudos rodiklis gali prieštarauti kainos kainos šuoliui ir pan.). Taip pat dažnu atveju, rodikliai matuojami skirtingais mato vienetais (pvz.: kaina – valiuta, kiekis – vnt., m<sup>2</sup>, kg ir t.t.). Todėl rodiklius ar kriterijus būtina normalizuoti, kad jie taptų bedimensiais dydžiais, kitaip tariant tiesiog skaičiais. Rodiklių svarbai ar reikšmės dydžiui nusakyti nustatomi santykiniai rodiklių reikšmingumai, kurie parodo, kiek vienas ar kitas rodiklis yra svaresnis, ir juos tada galima palyginti [40].

Pasaulyje sukurta gana daug daugiatikslių sprendimo metodų, tačiau kol kas nėra vienareikšmiškai nustatyta, kuri metodika labiausiai tinka spręsti vienokio ar kitokio tipo uždaviniams.

Tyrėjas priimančias sprendimus, analizuoja galimas alternatyvas, remdamasis jas apibūdinančiais kriterijais, kurie gali tarpusavyje skirtis tiek savo struktūra, tiek patikimumo lygiu. Įvertinus turimus pradinius duomenis, daugiatikslių sprendimo priėmimo problemų sprendimui parenkamas atitinkamas daugiatikslių sprendimo priėmimo metodas ar visas metodų kompleksas. Visos daugiatikslių sprendimo priėmimo metodikos skirtos nagrinėjamų alternatyvų rangavimui, tačiau būna atvejų, jog taikant kelis daugiatikslius sprendimų priėmimo metodus tų pačių alternatyvų rangavimui, rangavimo rezultatai nesutampa [39,40].

Populiariausi daugiatiksliai, kiekybiniais matavimais pagrįsti sprendimo priėmimo metodai:

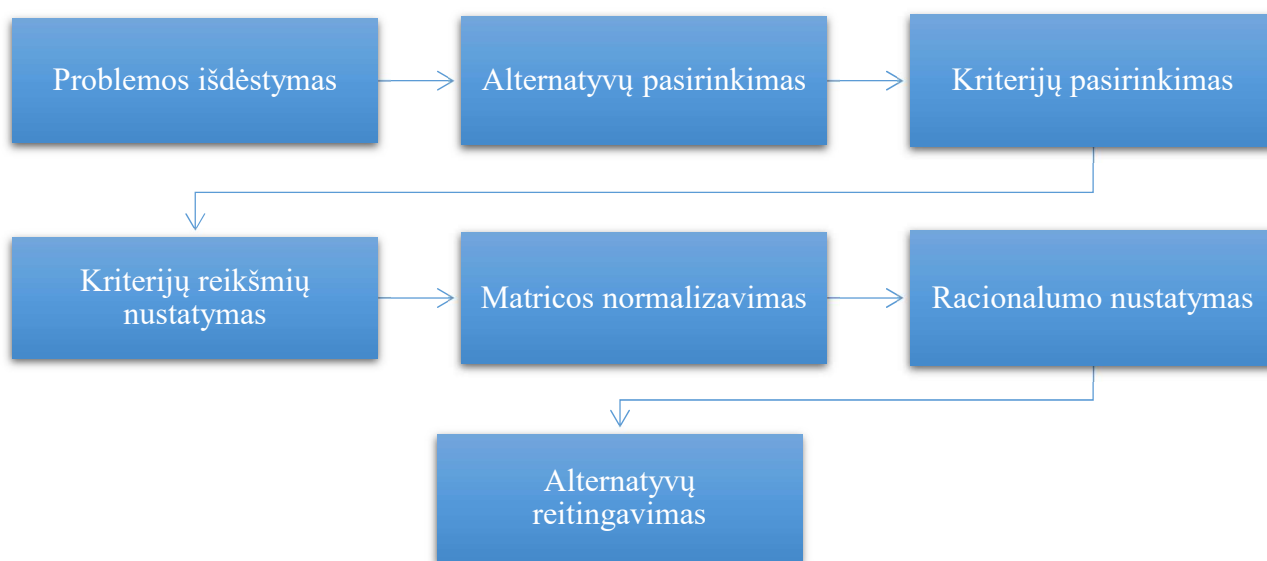
- TOPSIS – (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) artumo idealiam taškui metodui (Hwang, Yoon 1981);
- SAW – (Simple Additive Weighting) paprastajam adityviam svorių metodui (MacCrimmon 1968);
- COPRAS – (COmplex PROportional ASsessment) kompleksinio proporcingumo metodui (Zavadskas, Kaklauskas 1996);
- MOORA – (angl. Multi-Objective Optimization by Ratio analysis) daugiatikslių optimizavimas, grindžiamas santykinų dydžių analize;
- AHP – Analitinės hierarchijos procesas (angl. analytic Hierarchy Process) yra plačiai taikomas kelių kriterijų sprendimų priėmimo metodas, skirtas nustatyti kriterijų reikšmingumą ir alternatyvų prioritetus struktūrizuotu būdu, remiantis poriniu palyginimu [42];
- VIKOR – (org. VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje) Šis metodas reitinguoja alternatyvas ir nustato kompromisinį sprendimą, kuris yra artimiausias „idealui“ [43];

Apžvelgus įvairių metodų pateiktą 1 lentelėje vertinimo rodiklius pagal sprendimų sudėtingumą, tikslumą, rezultatų patikimumą ir kt., nustatyta, kad MOORA vertinimo metodas yra pranašesnis už kitus [44].

**1 lentelė.** Populiariausių MODM metodų palyginimas [44].

MODM metodas	Skaičiavimo laikas	Skaičiavimo schemas paprastumas	Susiję matematiniai skaičiavimai	Stabilumas	Informacijos tipas
MOORA	Labai trumpas	Labai paprastas	Minimaliai	Geras	Kiekybinis
AHP	Labai ilgas	Ypatingai sudėtingas	Maksimaliai	Blogas	Kombinuotas
TOPSIS	Vidutinis	Vidutinio sudėtingumo	Vidutiniškai	Vidutiniškas	Kiekybinis
VIKOR	Trumpas	Lengvas	Vidutiniškai	Vidutiniškas	Kiekybinis
ELECTRE	Ilgas	Ypatingai sudėtingas	Vidutiniškai	Vidutiniškas	Kombinuotas
PROMETHE	Ilgas	Ypatingai sudėtingas	Vidutiniškai	Vidutiniškas	Kombinuotas

Todėl darbe pasirinktas MOORA daugiakriterinis vertinimo metodas. Jo metodika pasižymi tuo, kad kelių tikslų optimizavimas tikslai naudojant santykio analizę, susideda iš dviejų metodų dedamųjų: santykio analizės ir atskaitos taško teorijos bei reaguoja į skirtingas tvirtumo sąlygas, reikalingas optimizavimui [45].



**17 pav.** MOORA daugiakriterio vertinimo operacijų seka [sukurta autoriaus remiantis 30].

Pradedama nuo pirminės galimų sprendinių matricos  $X$  sudarymo, į kurią įtraukiami rodikliai, kiekybiškai įvertinantys skirtingų sprendinių (šiuo darbe tai būtų skirtingos sienų konstrukcijos) savybes [44]. Matricoje  $X$  pirmiausiai išdėstomi rodikliai, kurių didesnės vertės laikomos geresnėmis (pvz., stiprumas garso pralaidumo sumažėjimas, šiluminė varža t.t.), o tada – rodikliai, kurių mažesnės vertės laikomos geresnėmis (pvz., kaina, konstrukcijos storis).

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

čia  $m$  – nagrinėjamų sprendinių kiekis (matricos  $X$  eilučių skaičius);  $n$  – kiekybinių rodiklių, apibūdinančių kiekvieną sprendinį, kiekis (matricos  $X$  stulpelių skaičius).

Tada normalizuojama (apskaičiuojami matricos  $X$  narių santykiniai dydžiai, taip, kad kistų ribose nuo 0 iki 1) matrica  $X$  [42, 44]:

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

čia  $\bar{x}_{ij}$  – normalizuotos matricos  $X$  narys, esantis  $i$ -oje eilutėje ir  $j$ -ame stulpelyje (t. y. normalizuota  $i$ -ojo sprendinio  $j$ -ojo rodiklio vertė).

Paprastai vieni rodikliai yra svarbesni už kitus. Rodiklių svarbumas įvertinamas taip:

$$x_{ij}^* = a_j \bar{x}_{ij} ; \quad (3)$$

čia  $x_{ij}^*$  – svertinės normalizuotos matricos  $X$  narys;  $a_j$  –  $j$ -ojo rodiklio reikšmingumo koeficientas, kuris gali būti gaunamas taikant analitinės hierarchijos procesą (AHP) arba entropijos metodą [42,44].

Galiausiai sprendiniai reitinguojami pagal racionalumo/efektyvumo rodiklio  $y_i$  vertes:

$$y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* ; \quad (4)$$

čia  $g$  – rodiklių, kurių didesnės vertės laikomos geresnėmis, kiekis.

Bendru atveju  $y_i$  reikšmė gali būti ir teigiama, ir neigiama. Sprendinys, kurio  $y_i$  vertė yra didžiausia laikomas geriausiu, o kurio  $y_i$  vertė yra mažiausia – blogiausiu [44].

### 3. Tiriamoji dalis

Šiame skyriuje bus aprašoma vertinimo rodiklių pasirinkimo pagrindimas, jų apskaičiavimo ar įvertinimo būdas. Taip pat bus pateikta atestuotų statybos specialistų apklausa, pagal kurią patikrintas jų nuomonės suderinamumas ir nustatytas rodiklių reikšmingumas. Pagal pasirinktus kriterijus įvertinus ir apskaičiavus ir rezultatus MOORA daugiakriteriu vertinimo metodu nustatoma racionaliausia konstrukcinė sistema.

#### 3.1. Vertinimo rodiklių pasirinkimas ir nustatymas

Atlikus mokslinę literatūros analizę, buvo pastebėti rodikliai, kurie apibūdina konstrukcijų trūkumus, ir kuriuos vis mokslininkai siekia panaikinti ar sumažinti jų įtaką. Sprendimo priėmimui išskiriami 4 maksimizuojantys rodikliai ir 3 minimizuojantys rodikliai.

Maksimizuojantys:

- pastato vidaus šiluminė talpa;
- perdarymo galimybė;
- garso perdavimo sumažėjimas;

Minimizuojantys:

- poveikis aplinkai;
- konstrukcijos masė;
- konstrukcinės sistemos storis;
- transporto išlaidos;

##### 3.1.1. Pastato vidaus šiluminė talpa

Pastato vidus šiluminė talpa gali būti tiek privalumas tiek trūkumas, tai pačiai konstrukcijai, priklausomai nuo klimato sąlygų ir pastato išplanavimo pasaulio šalių atžvilgiu. Karkasinės konstrukcijos turi nedaug akumuliacinių savybių, tačiau tokių patalpų temperatūrą galima greit pakelti, ir esant poreikiui greit sumažinti. Bet tai gali būti trūkumu, tuose klimato šalyse kur temperatūrų pokyčiai būna dideli, nes toks pastatas labai jautriai reaguoja į pasikeitusią temperatūrą. Šiuo atveju mūrinės konstrukcijos turi žymiai didesnę akumuliacinę talpą lyginant su karkasinėmis konstrukcijomis. Tokio pastato patalpų temperatūra lengviau išlaikyti pastovią, tokio klimato šalyse kur temperatūriniai pokyčiai dideli, tačiau tokias patalpas būtina saugoti nuo perkaitimo. Todėl pastato langai turėtų būti išdėstyti atsižvelgiant į insoliacijos trukmę patalpose. Pastato vidaus šiluminė talpa apskaičiuojama pagal reglamento [24] 2.36 lentelę.

**2 lentelė.** Pastatų vidaus šiluminė talpa  $C_p$  ( J/K) [24]

Pastatų klasifikavimas pagal jų vidaus šiluminę talpą	Pastato vidaus šiluminė talpa $C_p$ , J/K
Labai lengvas pastatas	$80000 \cdot A_p$
Lengvas pastatas	$110000 \cdot A_p$
Vidutinio masyvumo pastatas	$165000 \cdot A_p$
Masyvus pastatas	$260000 \cdot A_p$
Labai masyvus pastatas	$370000 \cdot A_p$

čia  $A_p$  – pastato šildomas plotas,  $m^2$ ;

Pastato konstrukcijų klasifikavimo nustatymas atliekamas pagal reglamento [24] 2.37 lentelę.

**3 lentelė.** Įvairios vidaus šiluminės talpos pastatų lauko sienų, pertvarų, perdenginių ir grindų konstrukcijos [24].

	Karkasinės arba iš vidaus apšiltintos lauko sienos	Mūrinės arba betoninės lauko sienos	Karkasinės pertvaros	Betoninės ir (arba) mūrinės pertvaros	Įvairios (betoninės, mūrinės ir karkasinės) pertvaros	Visi arba daugiau kaip pusė perdenginių mediniai	Visi arba daugiau kaip pusė perdenginių betoniniai	Visos arba daugiau kaip pusė grindų medinės, laminuotos ir pan.	Visos arba daugiau kaip pusė grindų betoninės, keraminių plytelių, linoleumo ant betono ir pan.	Pastato klasifikavimas pagal jo vidaus šiluminę talpą
1	+		+			+		+		Labai lengvas pastatas
2	+		+			+			+	Labai lengvas pastatas
3	+		+				+	+		Labai lengvas pastatas
4	+		+				+		+	Lengvas pastatas
5	+			+		+		+		Vidutinio masyvumo pastatas
6	+			+		+			+	Masyvus pastatas
7	+			+			+	+		Masyvus pastatas
8	+			+			+		+	Labai masyvus pastatas
9	+				+	+		+		Lengvas pastatas
10	+				+	+			+	Vidutinio masyvumo pastatas
11	+				+		+	+		Vidutinio masyvumo pastatas
12	+				+		+		+	Masyvus pastatas
13		+	+			+		+		Labai lengvas pastatas
14		+	+			+			+	Lengvas pastatas
15		+	+				+	+		Lengvas pastatas
16		+	+				+		+	Lengvas pastatas
17		+		+		+		+		Masyvus pastatas
18		+		+		+			+	Labai masyvus pastatas
19		+		+			+	+		Labai masyvus pastatas
20		+		+			+		+	Labai masyvus pastatas
21		+			+	+		+		Vidutinio masyvumo pastatas
22		+			+	+			+	Vidutinio masyvumo pastatas
23		+			+		+	+		Vidutinio masyvumo pastatas
24		+			+		+		+	Masyvus pastatas

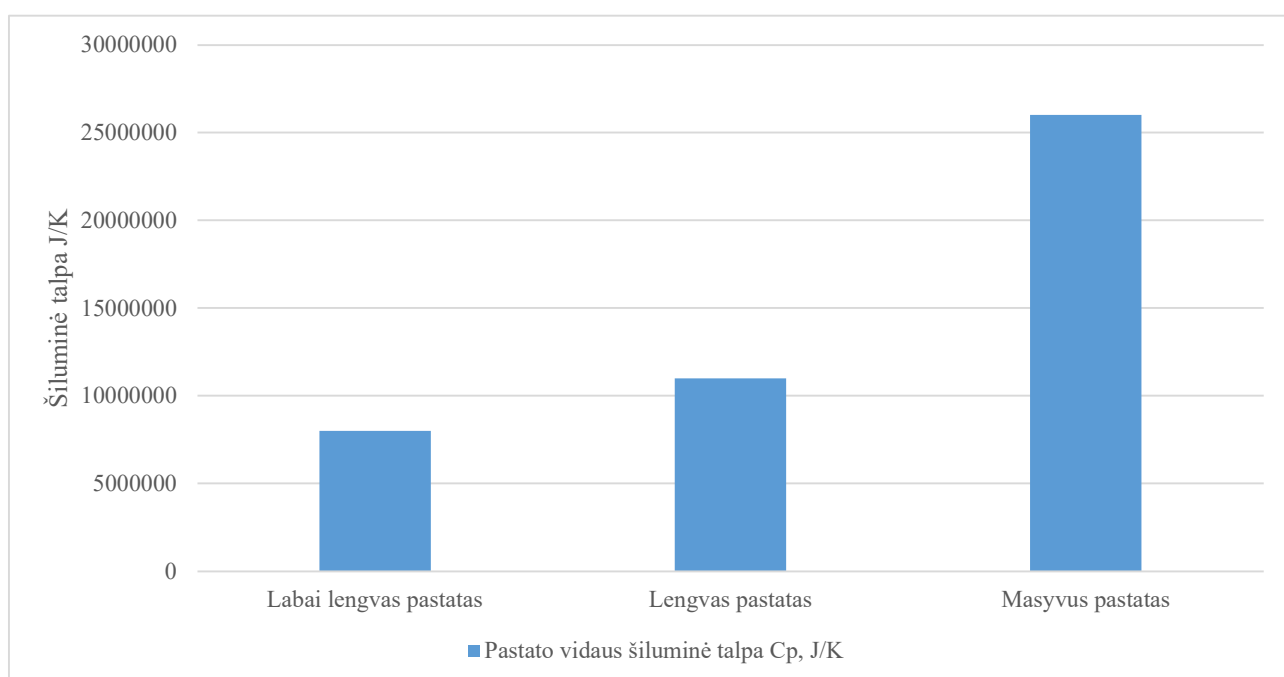
Kadangi nagrinėjamos tik sienos konstrukcijos dėl kitų atitvarų pasirinkimo tipo yra daromos prielaidos. Pagal 3 lentelę, medinės sienos konstrukcijos pastatas atitinka labai lengvo pastato

apibrėžimą, lengvo plonasio plieno konstrukcijų pastatas atitiktų labai lengvo pastato apibrėžimą, ir mūrinių konstrukcijų pastatas atitiktų masyvaus pastato apibrėžimą (žr. 3 lentelę).

Pagal atliktus skaičiavimus aišku kad, mūrinės konstrukcijos pastato vidaus šiluminė talpa yra beveik 2,5 karto didesnė už lengvo plonasio plieno konstrukciją ir 3,25 karto didesnė už medienos karkaso konstrukciją (žr. 4 lentelę ir 18 pav).

**4 lentelė.** Pastatų vidaus šiluminė talpa  $C_p$  ( J/K).

Pastatų klasifikavimas pagal jų vidaus šiluminę talpą	Pastato vidaus šiluminė talpa $C_p$ , J/K
Labai lengvas pastatas	$80000 \cdot 100 = 8 \cdot 10^6$
Lengvas pastatas	$110000 \cdot 100 = 11 \cdot 10^6$
Masyvus pastatas	$260000 \cdot 100 = 26 \cdot 10^6$



**18 pav.** Pastatų vidaus šiluminė talpa  $C_p$  ( J/K)

### 3.1.2. Perdarymo galimybė

Vis greitėjant gyvenimo ritmui ir nuolatos keičiantys žmonių poreikiams tampa vis svarbiau, jog pastatus būtų galima perkelti, perdaryti, perplanuoti.

Mūrinės konstrukcijas, sunku pritaikyti norint įgyvendinti tam tikrus pokyčius, jas sudėtinga ir sunku išgriauti, medžiagos neperdirbamos, nebent būtų panaudojamos kaip statybinis laužas. Įrengti naujoms konstrukcijoms reikalingas naujas gelžbetoninis pamatas, atlikti iš naujo mūro darbus, nutinkuoti, nuglaistyti, nudažyti. Todėl norint atlikti pokyčius pastate iš mūrinių konstrukcijų, susidarys daug šiukšlių, galimai reikės įrengti naujus pamatus naujoms sienoms, bei koreguoti grindų konstrukciją.

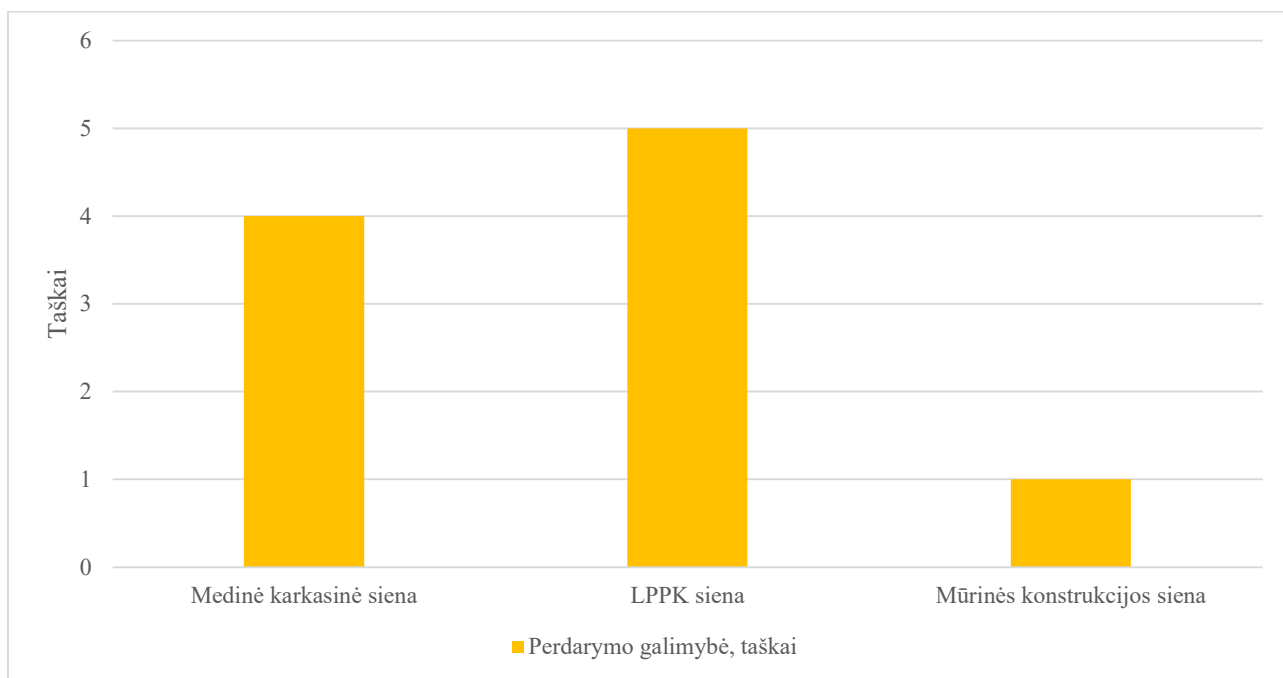
Medinių konstrukcijų sienas lyginant su mūrinėmis perplanuoti žymiai lengviau. Pastato viduje joms nereikia naujų pamatų, išgriauti taip pat nėra sudėtinga. Medines konstrukcijas galima

perrinkti ir įmanoma panaudoti tas pačias, tik tokiu atveju susilpnėja jungtis, reiktų numatyti jog būtų gręžiamos naujos tvirtinimo skylės į konstrukciją, o ne naudojamos tos pačios.

Lengvo plonasis plieno konstrukcijos panašios, kaip medienos, patalpos iš šių konstrukcijų gali būti lengvai perplanuojamos. Tačiau yra ir daugiau teigiamų savybių. Viena iš jų yra visiškai surenkamos konstrukcijos, todėl gali būti perrenkamos neribotą kiekį kartų. Galima visą pastatą išrinkti ir pastatyti iš naujo naujoje vietoje, reikalinga tik įrengti naują aikštelę ar pamatą.

Kadangi nėra, aišku kaip būtų galima apibrėžti tokį rodiklį, remiamasi anksčiau atliktu tyrimu [12].

Konstrukcijų perdarymas įvertintas taškais (žr.19 pav.), medinei konstrukcijai skiriami 4 taškai, mūrinei 1, lengvo plieno konstrukcijoms skiriami 5 taškai. Taškų paskirstymas, atrodo racionalus ir pagrindžiantis konstrukcijų perdarymo galimybes savybes (žr. 20 pav).



19 pav. Perdarymo galimybė



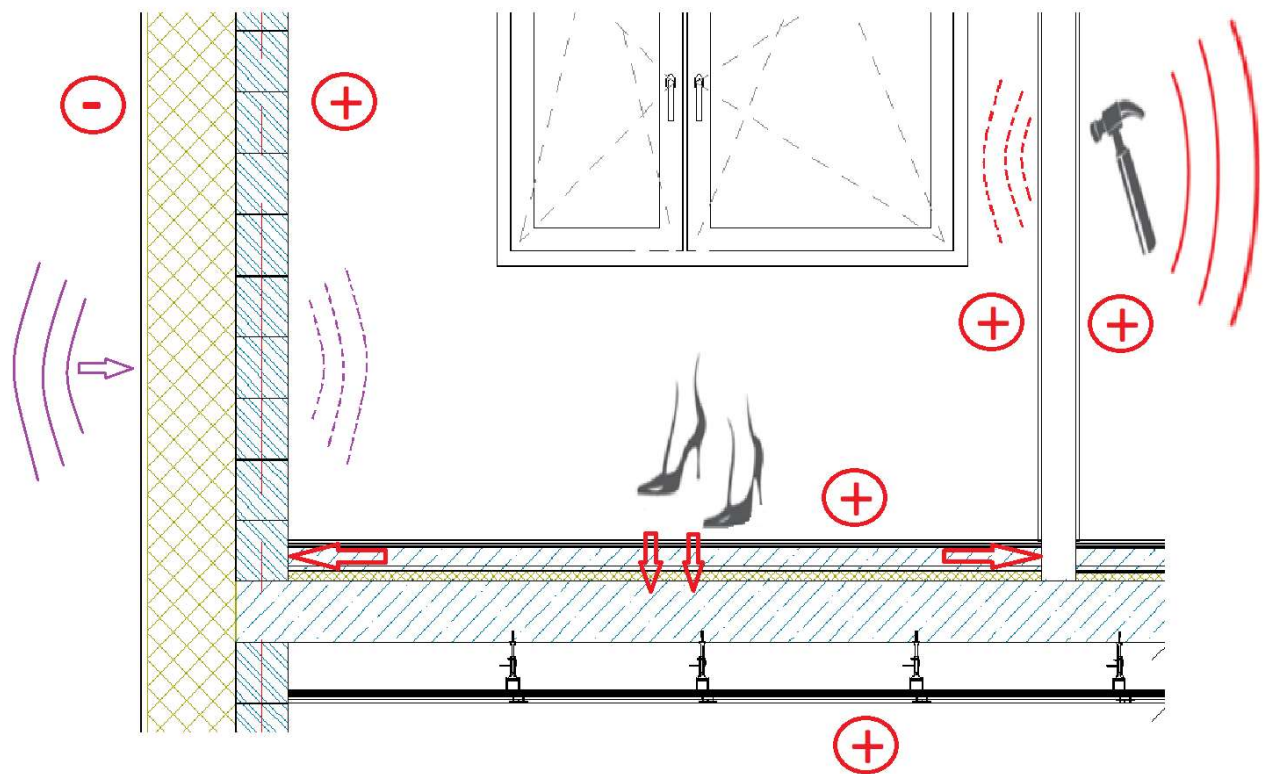
Papildomi darbai		Parametrai				
		13.	14.	15.	16.	17.
Konstrukcijos	SB Masonry	4	4	3	5	1
	comment	Plaster required	Costly	Wall chasing	Absent	Foundation strengthening
	Foam concrete block	4	4	3	3	2
	comment	Plaster required	Costly	Wall chasing	Additional reinforcement	Foundation strengthening
	Glued laminated lumber	3	4	3	4	3
	comment	Plaster required	Costly	Wall chasing	Antiseptics and antipyrenes	Foundation strengthening
	MK Timber frame	5	5	4	4	4
	comment	Not required	Easy	Easy	Antiseptics and antipyrenes	Complex joints
	LPPK Light-weight steel thin-walled framing	5	5	5	5	5
	comment	Not required	Easy	Easy	Absent	Low cost
Glued veneer	5	5	5	4	5	

20 pav. Konstrukcijų perdarymo galimybės įvertinimas taškais [12].

### 3.1.3. Garso perdavimo sumažėjimas

Apsaugos nuo triukšmo, yra viena iš esminių statinio reikalavimų, kuris turi užtikrinti, kad tiek vidaus tiek išorės aplinkoje, žmonių girdimas triukšmas nesukeltų grėsmės jų fizinei sveikatai, ir nepablogintų gyvenimo kokybės.

Triukšmas – tai žalingas žmogui, nepageidaujamas, netvarkingas, įvairių dažnių bei stiprumo garso bangų mišinys. Tai yra esminis veiksnys, sukeliantis nepageidaujamus pojūčius tiek namų, tiek išorinėje aplinkoje. Triukšmas skirstomas į du tipus, tai yra orinį triukšmą ir smūginį, analogiškai yra išskiriami orinio ir smūginio garso izoliavimo rodikliai. Smūginio garso izoliavimo rodiklis, parodo kaip yra perduodamas smūginis garsas per konstrukcijas, pvz., perdangą (kai kas nors vaikšto), arba remontuoja. Orinio garso izoliavimo rodiklis parodo atitvarinių konstrukcijų gebėjimą nuslopinti ore sklindantį garsą (žr. 21 pav) [46].



**21 pav.** Orinio ir smūginio garso atvaizdavimas

Pastato ar patalpos apsaugos nuo triukšmo kokybės atitikimas išreiškiamas penkių garso klasių sistema. Šių garso klasių nustatymui nustatyti naudojamos ir ore sklindančio ir smūgio garso izoliavimo, aidėjimo trukmės bei aplinkos triukšmo rodiklių įverčiai. Gyvenamieji namai, privalo atitikti C klasės keliamus reikalavimus [46].

Garso klasių klasifikavimas:

- A garso klasė – ypač gero akustinio komforto sąlygų klasė;
- B garso klasė – pagerinto akustinio komforto sąlygų klasė;
- C garso klasė – priimtino akustinio komforto sąlygų klasė;
- D garso klasė – nepakankamo akustinio komforto sąlygų klasė;
- E garso klasė – ribinio akustinio komforto sąlygų klasė;
- Neklasifikuojama – specialioji klasė, informuojanti, kad pastato išorės akustinė aplinka gali apsunkinti SPD direktyvos 89/106/EEB esminio reikalavimo Nr.5 „Apsauga nuo triukšmo“ vykdymą [46].

Sunkūs smūgių garsai, kuriuos sukelia žingsniai, yra pagrindinis veiksnys, turintis įtakos akustiniam komfortui betoniniuose gyvenamuosiuose pastatuose, o orinis garsas, sukelia didelį diskomfortą karkasiniuose namuose [47]. Todėl siekiant geriausio rezultato, abiejų tipų sukeliama triukšmo, būtina numatyti smūgio garsą sugeriančių medžiagų panaudojimą, ant mūrinių konstrukcijų, ir didelio tankio medžiagų kurios gerai izoliuotų orinį garsą karkasiniuose pastatuose.

Pasinaudojant skaičiuokle [48] kuri sudaryta pagal žemiau pateiktas formules yra įvertinamas garso sumažėjimas decibelais, prie 62,5 Hz dažnio sklindžiamų bangų, ir suskaičiuojamas suminis garso sumažėjimas per visą konstrukciją. Skaičiavimo aprašymas pateikiamas žemiau.

Kai garso banga juda oru, susitinka barjerą sienos pavidalu, dalis akustinės energijos atsispindi, dalis absorbuojama sienos viduje, ir kita dalis perduodama per sieną. Matematinė išraiška gali būti tokia:

$$\alpha + \beta + \tau = 1 \quad (5)$$

čia  $\alpha$  – absorbcijos koeficientas,  $\beta$  – atspindžio koeficientas,  $\tau$  – garso pralaidumo koeficientas.

Pralaidumo koeficientas gali būti naudojamas kaip akustinės izoliacijos matas, nes jis nustato garso intensyvumo santykį abiejose sienos pusėse:

$$\tau = \frac{I_t}{I_0} \quad (6)$$

čia  $I_t$  – bangos intensyvumas kitoje sienos pusėje,  $I_0$  – slopstančios bangos intensyvumas.

Perdavimo koeficientas dažniausiai nurodomas logaritminėje skalėje. Tokiu būdu galime gauti decibelais išreikšto garso intensyvumo sumažėjimą, vadinamąjį perdavimo nuostolį:

$$\Delta TL = -10 \log(\tau) = 10 \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad (7)$$

Vienodos vienos sienos pralaidumo koeficientas gali būti įvertintas naudojant išraišką:

$$\tau \approx \left[ 1 + \left( \frac{2\pi \cdot f \cdot h \cdot d}{3,6 d_0 c_0} \right)^2 \right]^{-1} \quad (8)$$

čia  $\tau$  – garso pralaidumo koeficientas,  $f$  – akustinių bangų dažnis,  $h$  – sienos ar sluoksnio storis,  $d$  – tankis,

$d_0$  – oro tankis,  $c_0$  – garso greitis ore.

Jei aukščiau pateiktą išraišką (8) pritaikę logaritminę skalę, nepaisydami vieneto pridėjimo ir iš logaritmo perkeldami konstantas, gausime lygtį, kuri statybos akustikoje žinoma kaip masės dėsnis:

$$\Delta TL \approx 20 \log(f \cdot h \cdot d) - 47,3 \quad (9)$$

#### 5 lentelė. Medinės karkasinės sienos garso sumažėjimas.

Medinė karkasinė siena	Tankis kg/m <sup>3</sup>	Storis, m	Garso sumažėjimas prie 62,5 Hz, dB
Vidaus apdaila – g/k plokštė,	700	0,025	13,48
PAROC eXtra / PAROC eXtra plus	40	0,375	12,14
PAROC Cortex	85	0,03	1,67
Išorės apdaila – lentos	700	0,02	11,54
		Viso:	38,83

#### 6 lentelė. Medinės karkasinės sienos garso sumažėjimas.

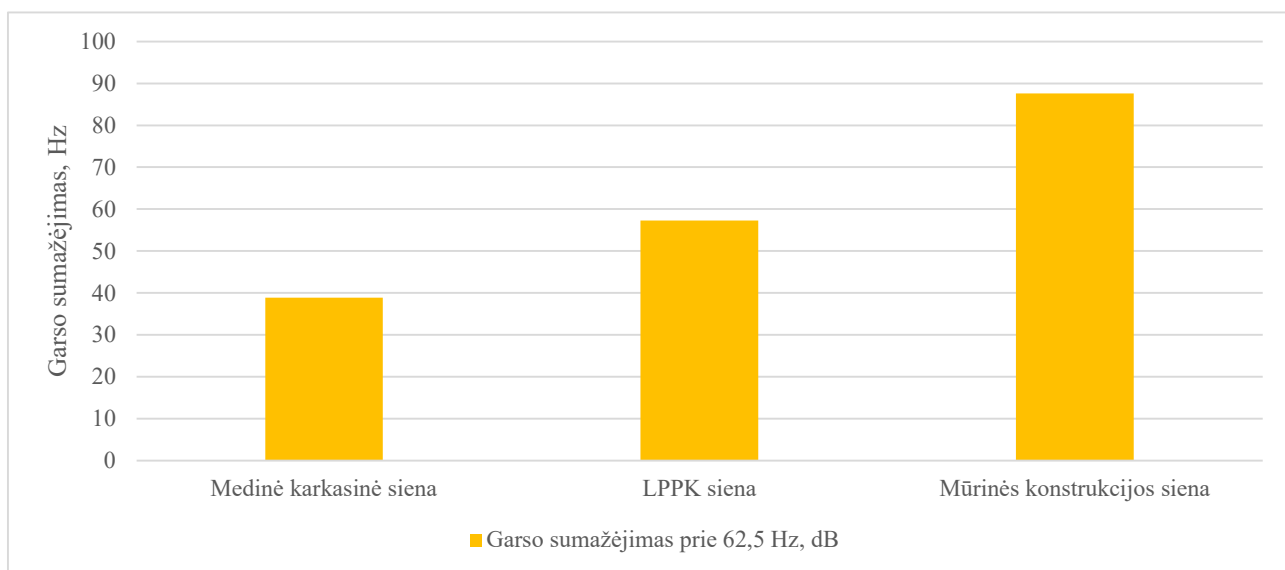
LPPK siena	Tankis kg/m <sup>3</sup>	Storis, m	Garso sumažėjimas prie 62,5 Hz, dB
Vidaus apdaila – g/k plokštė	700	0,04	17,56
PAROC eXtra / PAROC eXtra plus	40	0,10	2,79
"Sandwich" pir tipo plokštė	30	0,15	24,0

PAROC eXtra / PAROC eXtra plus	40	0,05	1,40
Išorės apdaila – lentos	700	0,02	11,54
		Viso:	57,29

**7 lentelė.** Mūrinės sienos garso sumažėjimas.

Mūrinės konstrukcijos siena	Tankis kg/m <sup>3</sup>	Storis, m	Garso sumažėjimas prie 62,5 Hz, dB
Vidaus apdaila – tinkas	1600	0,01	12,7
ARKO blokelių mūras	1800	0,18	38,83
Vidaus apdaila – tinkas	1600	0,01	12,7
PAROC eXtra / PAROC eXtra plus	40	0,3	10,2
PAROC Cortex	85	0,03	1,67
Išorės apdaila – lentos	700	0,02	11,54
		Viso:	87,64

Garso perdavimo sumažėjimas tinkamai charakterizuoja medžiagos galimybę izoliuoti garsą, apibrėžia medžiagos charakteristikas atsižvelgiant į jos poringumą, gebėjimą atspindėti ir absorbuoti garsą. Mūrinės konstrukcijos garso sumažėjimas 1,5 karto didesnis už LPPK sienos, ir 2,25 didesnis už medžio karkaso sieną (žr. 22 pav).

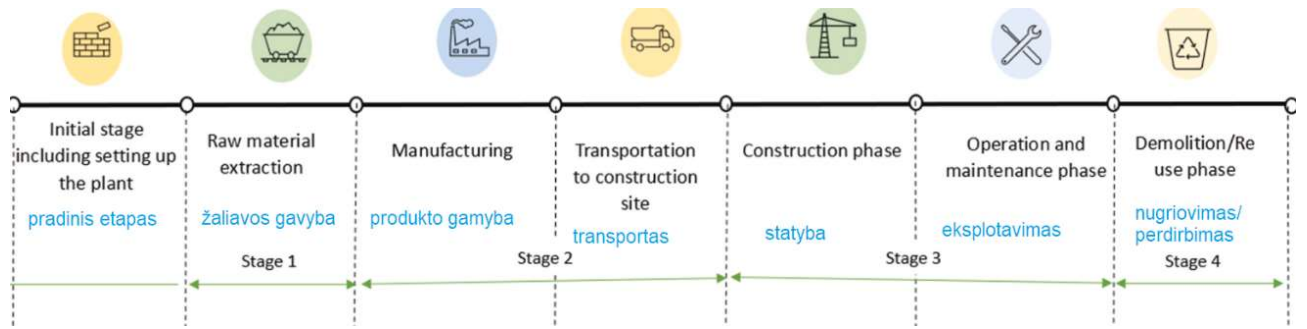


**22 pav.** Garso sumažėjimas prie 62,5 Hz, dB

### 3.1.4. Poveikis aplinkai

Atlikus mokslinę analizę, buvo pastebėta jog statybos srities poveikio aplinkai tema, labai aktuali ir jos aktualumas vis labiau auga. Įvertinti konstrukcijų įtaką globaliniam atšilimui, sudėtinga ir neužtenka vien statybos konstruktoriaus žinių todėl nagrinėjant pasiremta jau atliktais tyrimais [11]. Vienas iš pagrindinių atlikto tyrimo [11] keliamų klausimų, buvo šis: Ar surenkamoji gamyba gali sumažinti pastatų poveikį aplinkai ir kainą?

Atliktas tyrimas apima poveikio aplinkai įtaką nuo konstrukcijų sukūrimo pradžios iki gyvavimo ciklo pabaigos ir utilizavimo (žr. 23 pav.)



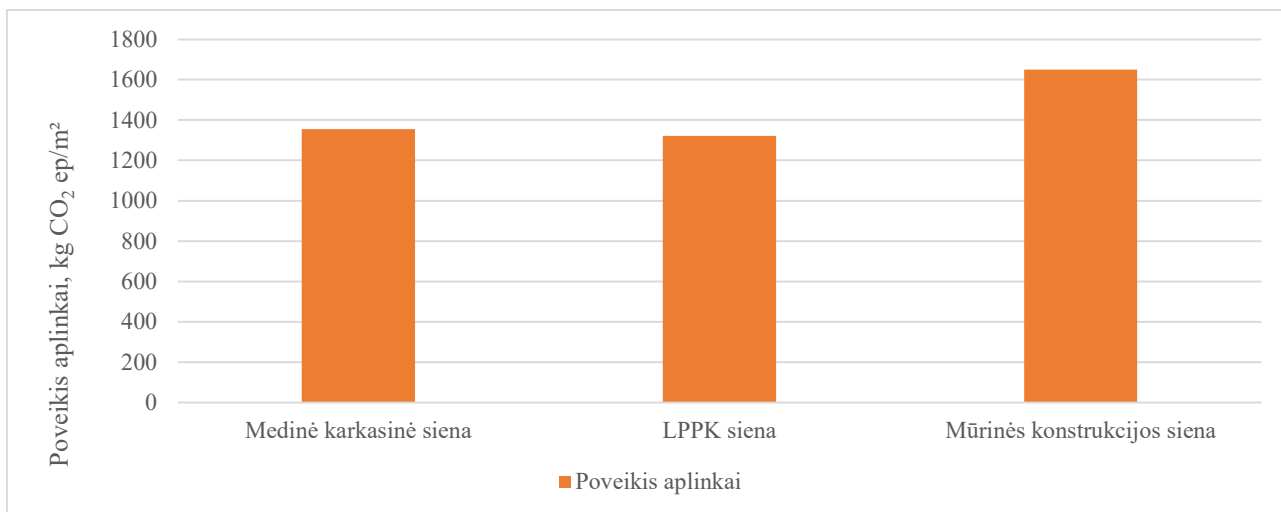
23 pav. Poveikio aplinkai vertinimo etapai [49]

Tyrimė buvo lyginamos dvi konstrukcinės sistemos (surenkamųjų ir įprastų) ir skirtingų medžiagų viso gyvavimo ciklo poveikį aplinkai, sąnaudas, atliekas ir gamybos laiką. Dvi surenkamųjų konstrukcijų sistemos lengvo plonasio pieno (LPPK) ir medienos karkaso (MK) buvo palygintos su dviem įprastomis konstrukcijų sistemomis: betonas ir gelžbetonu su dvisluoksne plytų išorine siena. Išnagrinėjus mokslinius šaltinius silikatinių blokelių mūro sienos užsienyje beveik nenaudojamos, todėl rasti atlikto tyrimo būtent su silikatinių blokelių mūru, nepavyko. Todėl dėl artimų betono ir silikato savybių (stiprumo, šiluminių savybių ir t.t.), betoninių blokelių poveikis aplinkai prilyginamas silikatinių blokelių mūro (SB) poveikiui aplinkai. Pasirenkamos reikšmės pateikiamos 24 paveikslėlyje.

	Abiotinis išėikvojimas AD	Abiotinis išėikvojimas (iškastinis kuras) ADFF	Visuotinis atšilimas GW	Ozono sluoksnio ardymas OD	Fotocheminė oksidacija PO	Rūgštėjimas AC	Eutrofikacija EU	Neatsinaujanti energija NRE	Kaina COSTS	Atliekos WASTE	Įsavartynas LANDFI
Matavimo vienetai	g Sbeq /m <sup>2</sup>	GJ /m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub> eq /m <sup>2</sup>	g RCC- 11eq /m <sup>2</sup>	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq/m <sup>2</sup>	kg SO <sub>2</sub> eq /m <sup>2</sup>	kg PO <sub>4</sub> eq /m <sup>2</sup>	GJ /m <sup>2</sup>	€ /m <sup>2</sup>	kg /m <sup>2</sup>	kg /m <sup>2</sup>
LPPK (visa)	3.35	17.4	1322	0.118	434	10.52	2.76	18.9	828	370	100
kūnyta	1.81	2.0	167	0.033	75	0.98	0.39	2.2	436	175	6
Eksploatacinė (per metus)	0.03	0.3	24	0.002	8	0.19	0.05	0.3	7	-	-
Nugriovimas	-0.01	-0.4	-61	-0.002	-31	-0.07	-0.06	-0.5	29	195	94
MK (visa)	2.87	17.9	1355	0.125	440	10.46	2.69	19.4	912	700	101
kūnyta	1.31	2.0	145	0.037	49	0.78	0.26	2.2	516	524	5
Eksploatacinė (per metus)	0.03	0.3	24	0.002	8	0.19	0.05	0.3	7	-	-
Nugriovimas	0.00	0.0	-7	0.000	1	0.07	0.01	0.0	33	176	96
Mūras (visa)	3.35	20.4	1649	0.143	517	11.92	3.00	22.0	882	1046	707

24 pav. Poveikio aplinkai vertinimo etapai [11]

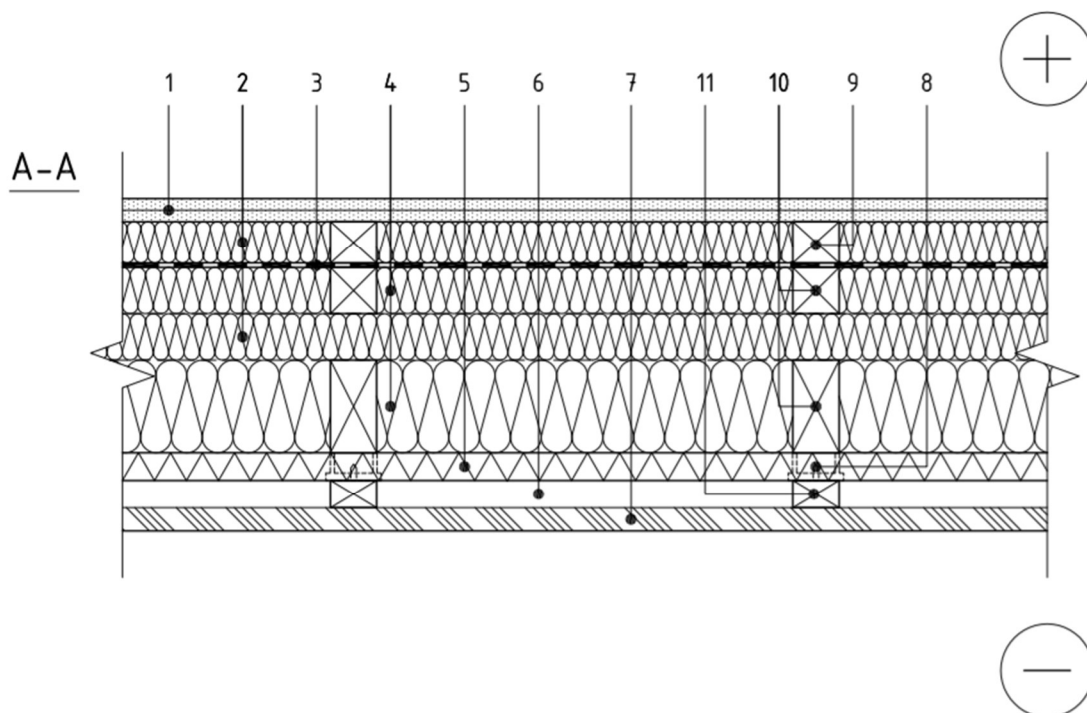
Kaip matome iš pateiktų rezultatų, karkasinės konstrukcijos turi ženkliai mažesnę poveikį aplinkai, lyginant su mūrine konstrukcija tai rezultatai geresni 1,2 karto. Medžio karkaso ir LPPK reikšmės labai artimos, bet 2% poveikio aplinkai atžvilgiu geresnė LPPK konstrukcija (žr. 25 pav).



25 pav. Poveikio aplinkai grafinis atvaizdavimas

### 3.1.5. Konstrukcijų svoris ir storis

Medinės konstrukcijos sistema pavaizduota 26 paveikslėlyje.



26 pav. Karkasinės sienos detalė [3].

- |  |   |
|--|---|
| 1. Vidaus apdaila – g/k plokštė, d= 25 mm; | 7. Išorės apdaila – lentos, d= 20 mm;       |
| 2. PAROC eXtra , d = 50 mm;                | 8. Šilumos izoliacijos tvirtinimo elementas |
| 3. Orą ir garus izoliuojantis sluoksnis;   | 9. Tašas, d = 50 mm;                        |
| 4. PAROC eXtra d = 100+150 mm;             | 10. Karkaso elementas, d = 150 mm;          |
| 5. PAROC Cortex, d =30 mm;                 | 11. Tašas, d = 30 mm;                       |
| 6. Vėdinamas oro tarpas, d ≥ 30 mm;        |   |





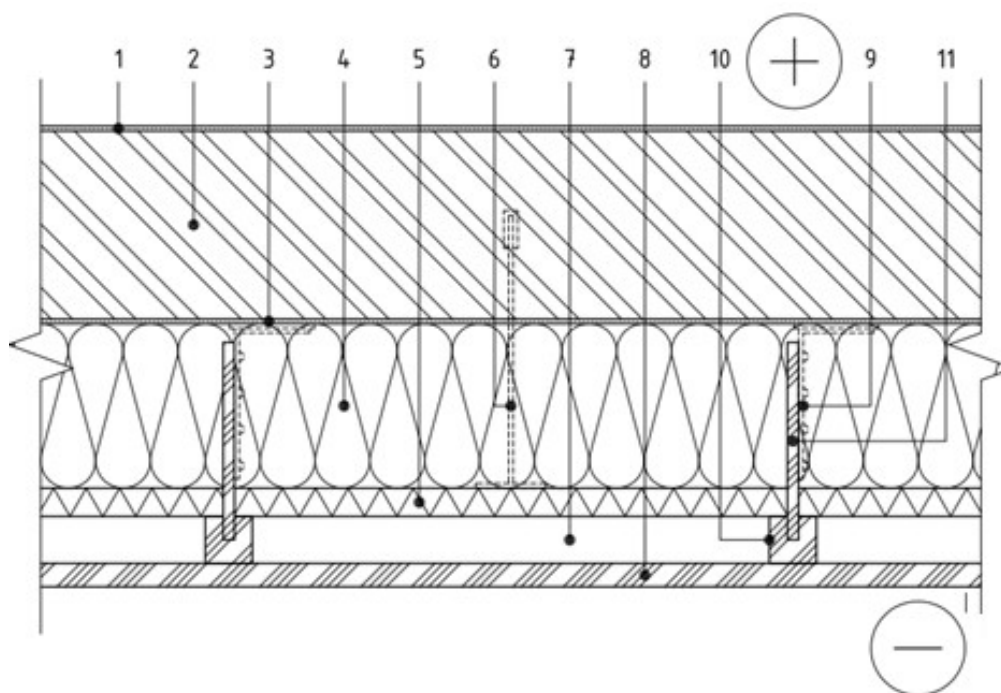
Suminis LPPK storis atitinkantis vienbučio gyvenamo namo A++ klasės keliamus reikalavimus – 390 mm. Skaičiavimai pateikti devintoje lentelėje.

**9 lentelė.** LPP konstrukcinės sistemos masės skaičiavimas.

LPPK siena	Tankis kg/m <sup>3</sup>	Tūris, m <sup>3</sup>	Masė kg/m <sup>2</sup>
Vidaus apdaila – g/k plokštė,	700	0,04	28
LPPK	7900	0,00032	5,056
PAROC eXtra / PAROC eXtra plus	40	0,10	4
"Sandwich" pir tipo plokštė	-	-	14,77
Tašas 50x50	700	0,05	3,5
PAROC Cortex	85	0,05	4,25
Tašas 30x50	700	0,03	2,1
Išorės apdaila – lentos	700	0,02	14
		Viso:	75,68

Suminis konstrukcijos storis atitinkantis vienbučio gyvenamo namo A++ klasės keliamus reikalavimus – 605 mm. Tai storičiausia konstrukcija iš visų lyginamų šiame darbe.

Mūrinės konstrukcijos sistema pavaizduota 28 paveikslyje. Skaičiavimai pateikti dešimtoje lentelėje.



**28 pav.** Mūrinės konstrukcijos siena [3].

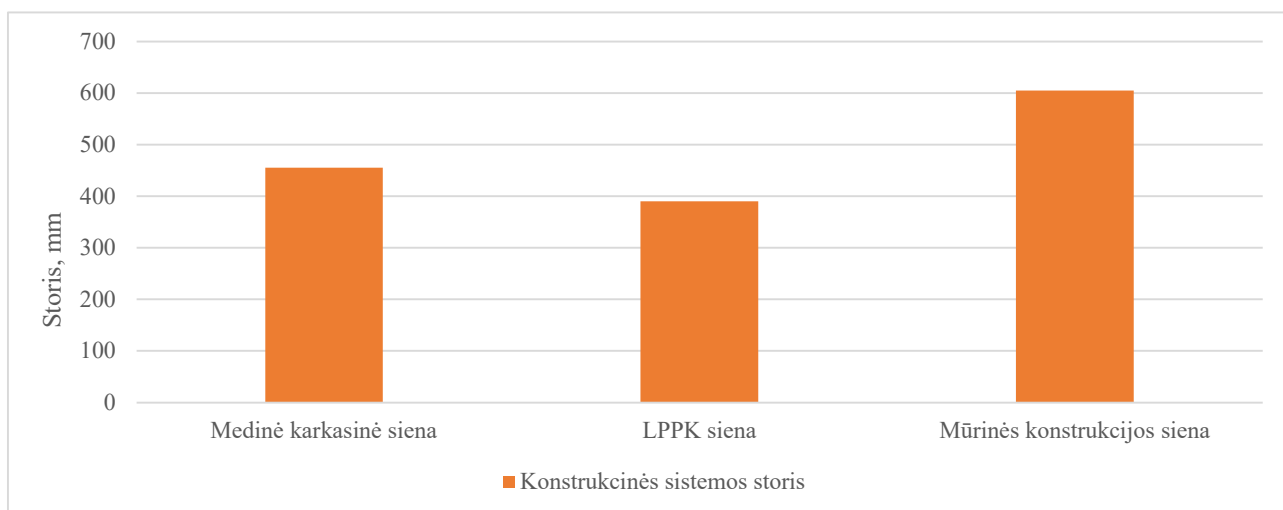
- |   |   |
|---|---|
| 1. Vidaus apdaila – tinkas, d= 10 mm;       | 7. Vėdinamas oro tarpas, d = 50 mm;               |
| 2. ARKO blokelių mūras, d = 180 mm;         | 8. Išorės apdaila – lentų apkala, d = 25 mm;      |
| 3. Tinkas, d= 10 mm;                        | 9. Tvirtinimo elementas;                          |
| 4. PAROC eXtra / PAROC eXtra, d = 300 mm;   | 10. Tašas, d = 50 mm;                             |
| 5. PAROC Cortex, d =30 mm;                  | 11. Karkaso elementas (OSB lakštas), d = 12 mm; ; |
| 6. Šilumos izoliacijos tvirtinimo elementas |   |



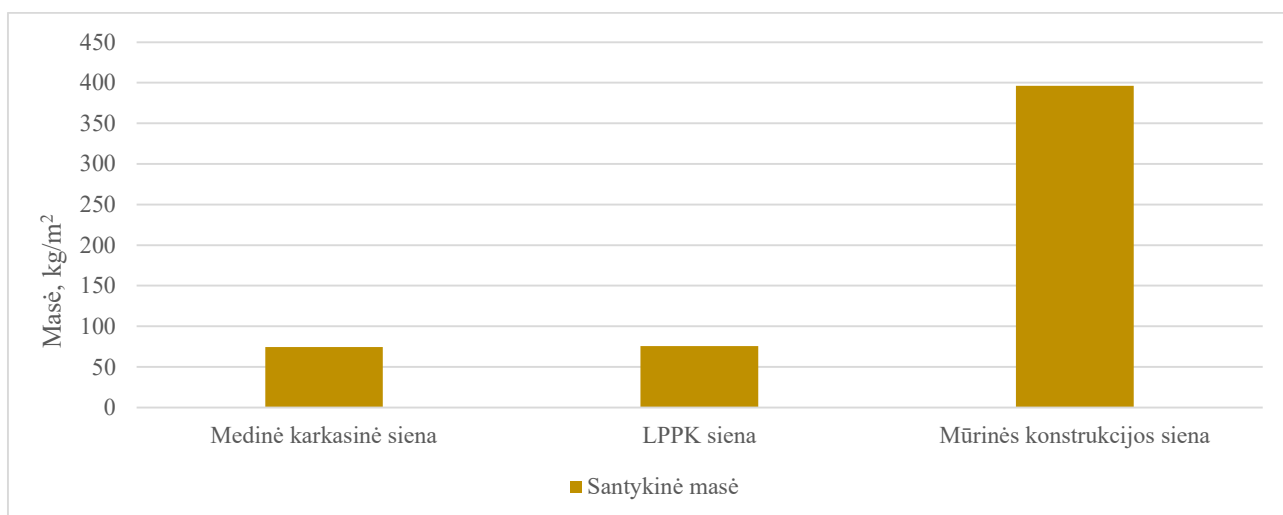
**10 lentelė. Mūrinės konstrukcinės sistemos masės skaičiavimas.**

Mūrinės konstrukcijos siena	Tankis kg/m <sup>3</sup>	Tūris, m <sup>3</sup>	Masė kg/m <sup>2</sup>
Vidaus apdaila – tinkas	1600	0,01	16
ARKO blokelių mūras	1800	0,18	324
Tinkas	1600	0,01	16
Tašas 50x50	700	0,05	3,5
OSB elementas	650	0,0036	4,68
PAROC eXtra / PAROC eXtra plus	40	0,3	12
PAROC Cortex	85	0,03	2,55
Išorės apdaila – lentos	700	0,025	17,5
		Viso:	396,23

Palyginus trijų skirtingų konstrukcinių sistemų masę ir storį matome, jog storičiausia ir daugiausiai sverianti yra mūrinė konstrukcija. Medienos karkaso ir LPPK svoris skiriasi tik vienu kilogramu, o storis apie šešis centimetrus (žr. 29 pav. ir 30 pav).



**29 pav. Konstrukcinės sistemos storis**



**30 pav. Konstrukcinės sistemos masė**

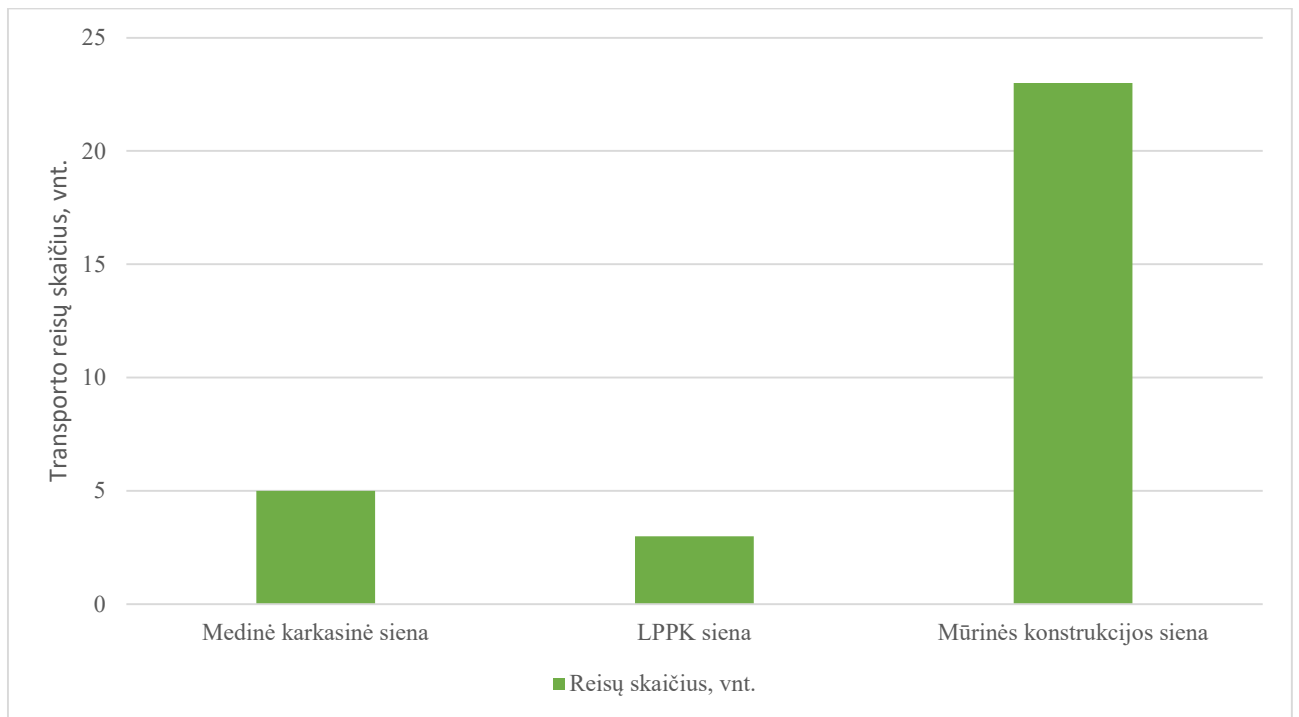
### 3.1.6. Transporto išlaidos

Transporto išlaidų rodiklis labai kintantis ir priklausomas nuo daug nuolatos kintančių veiksnių, tokių kaip objekto lokacija, transporto išlaidas įvertinamos reikalingų reisų skaičiumi įrengiant laikančias sienos konstrukciją. Kadangi šiltinimo medžiagos tūris visų trijų konstrukcijų atveju yra panašus, todėl nustatant šį rodiklį nėra vertinamas, nes reisų pasiskirstymo kiekio neįtakos, arba įtaka bus labai minimali ir nereikšminga.

Vertinama jog medžiagų pristatymas bus vykdomas, krovininiu automobiliu, kuris talpina iki 15 euro palečių arba 36 m<sup>3</sup>, krovinio svoris gali būti iki 4 tonų. Skaičiuojamos atvežamų medžiagų kiekis reikalingas 100 m<sup>2</sup> sienų įrengimo. Skaičiavimo duomenys pateikiami (žr. 11 lentelę ir 31 pav).

**11 lentelė.** Transporto reisų pasiskirstymas.

Medinė karkasinė siena	Tūris m <sup>3</sup>	Svoris, t	Reisų skaičius į statybvieta
Medienos karkasas, priedai, įrankiai	-	1,75	1
Darbuotojų (4 žm.) transportas 2 d.d.	-	-	4
		Viso:	5
LPPK siena	Tūris m <sup>3</sup>	Svoris, t	Reisų skaičius į statybvieta
LPPK karkasas, įrankiai, priedai	-	1	1
Darbuotojų (4 žm.) transportas 2 d.d.	-	-	2
		Viso:	3
Mūrinės konstrukcijos siena	Tūris m <sup>3</sup>	Svoris, t	Reisų skaičius į statybvieta
Blokelių atvežimas ARKO M18	18	23,4	6
Klijai mūriui, įrankiai, vandens 1m <sup>3</sup>	-	1,3	1
Mediena sąramoms, armatūra	-	0,2	1
Darbuotojų (4 žm.) transportas 15 d.d.	-	-	15
		Viso:	23

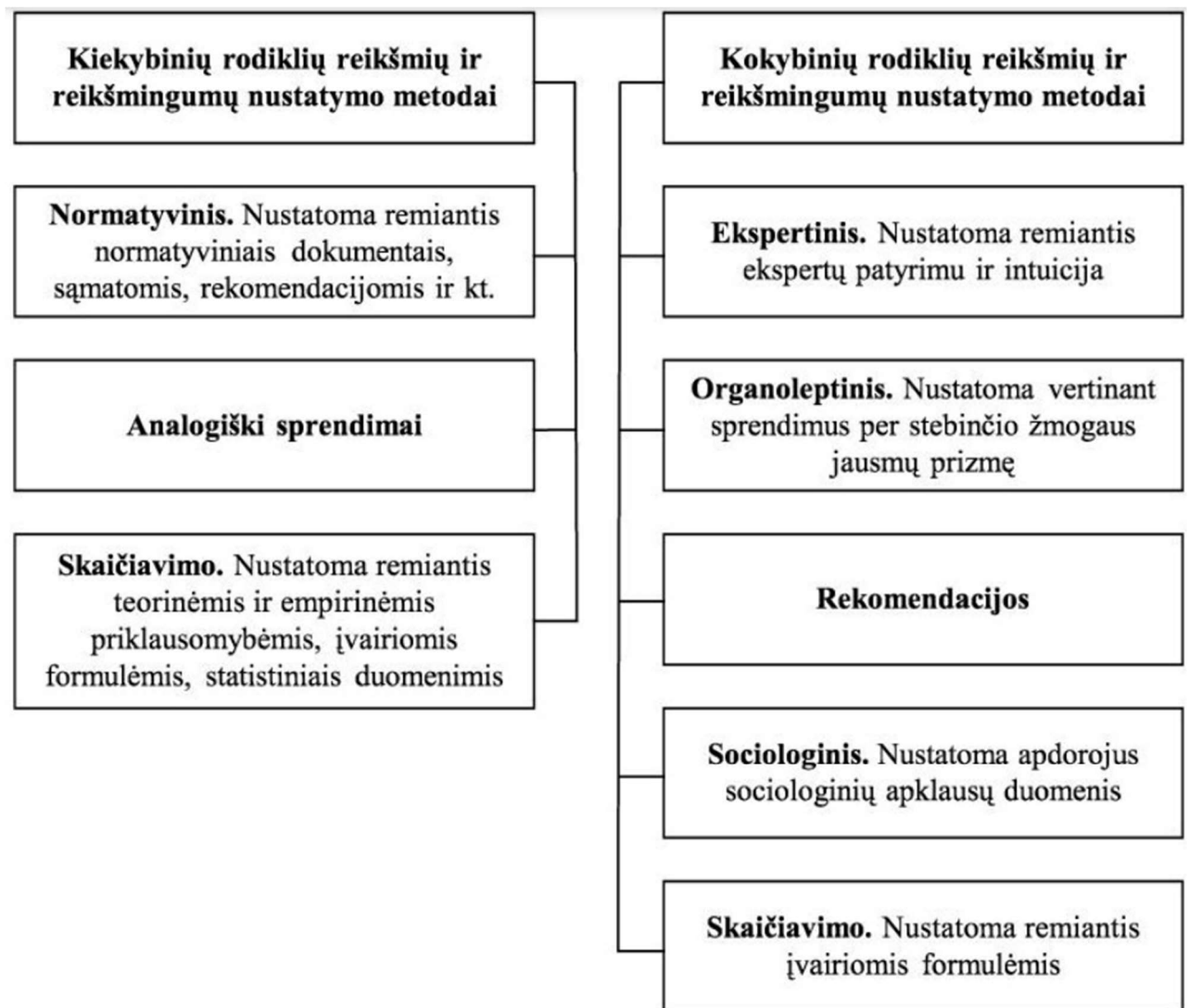


**31 pav.** Transporto reisų pasiskirstymas

Daugiausiai reisų reikės atlikti įrengiant mūrinę konstrukciją, 7,5 karto mažiau transporto reiks įrenginėjant LPPK konstrukciją, ir 4,6 karto mažiau įrenginėjant medienos karkaso konstrukciją.

### 3.2. Rodiklių reikšmingumo nustatymas

Taikant daugiatakslį sprendimo priėmimo metodą, būtina pirmiausia nustatyti rodiklių reikšmingumą, kuris parodytų tam tikro rodiklio svarbumą keliamai problemai. Šiuo metu plačiausiai taikomi rodiklių reikšmių ir reikšmingumo nustatymo metodai pateikti 32 paveiksle [39].



**32 pav.** Rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai [39].

Šiame darbe bus naudojamas ekspertinis vertinimas. Ekspertų vertinimas tai apibendrinta tam tikro dydžio ekspertų grupės nuomonė, kurios gavimui pritaikomos, atitinkamos srities, specialistų-ekspertų žinios, patirtis ir intuicija. Ekspertinio vertinimo metodas – tai procedūra, kuri leidžianti suderinti atskirų ekspertų išreikštas nuomones ir suformuoti bendrą sprendimą [47].

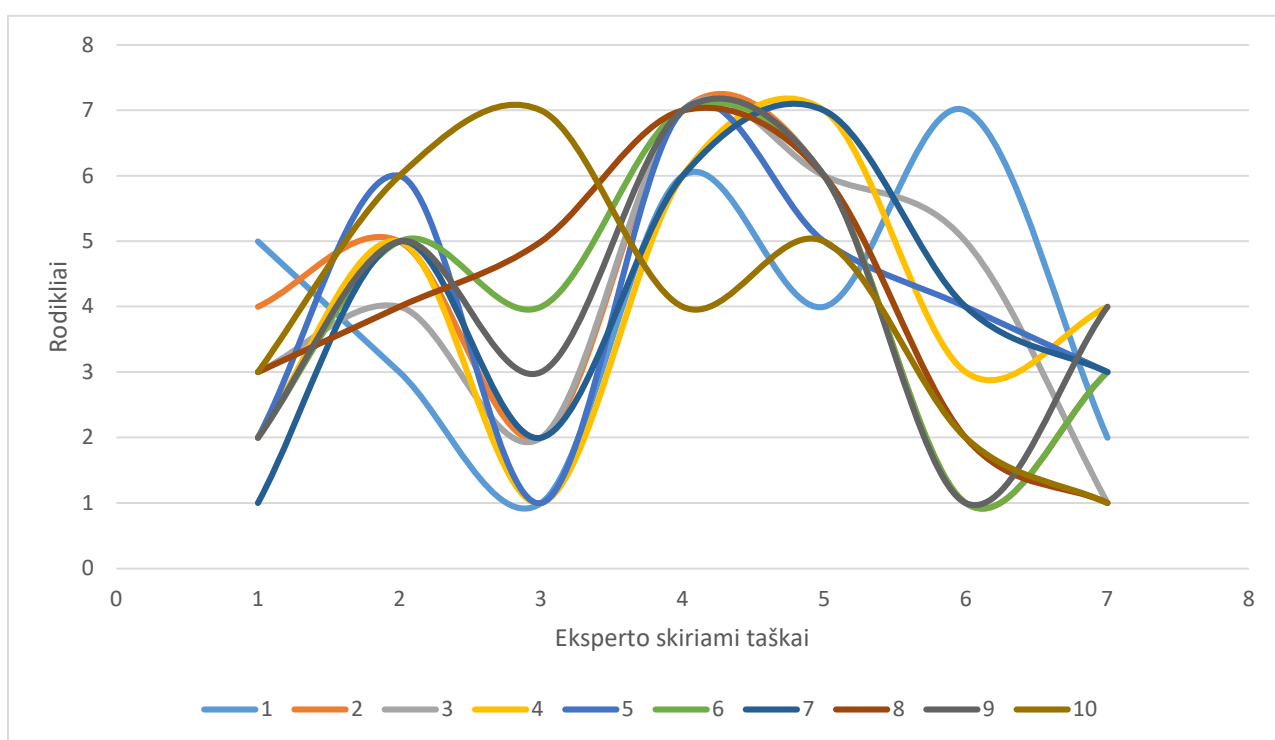
Ekspertas tai specialistas, turintis tam tikros srities žinių ir patyrimo (lot. expertus – patyręs). Ekspertinių nuomonių gavimui sukurti ir yra taikomi įvairūs metodai. Ekspertų nuomonės reikšmingumas gali būti ir objektyvus ir subjektyvus. Šiuo atveju vertinamas subjektyvus reikšmingumas [39].

Ekspertų apklausai buvo pateikti septyni rodikliai, kuriuos jie turėjo išreitinguoti nuo svarbiausio, iki mažiausiai įtakos turinčio. Atliktoje apklausoje dalyvavo dešimt žmonių dirbančių statybos srityje, turinčių kvalifikacijos atitikties atestatų, tokių kaip konstruktoriaus, projekto vadovo, projekto dalies vadovo, architekto t.t.

Apklaustos duomenys pateikti 12 lentelėje ir 33 paveiksle.

12 lentelė. Ekspertų apklausos duomenys

Ekspertai \ Alternatyvos	Maksimizuojami rodikliai			Minimizuojami			
	Pastato vidaus šiluminė talpa ( $C_m$ ) Mj/K	Perdarymo galimybė (taškai) [7]	Garso perdavimo sumažėjimas prie 62,5 Hz	Konstruktinės sistemos storis, mm (A++)	Poveikis aplinkai, (globalinis atšilimas) $\text{kg CO}_2\text{ep/m}^2$ [2]	Konstrukcijos masė $\text{kg/m}^2$	Transporto išlaidos (reisu kiekis)
1. L.V	5	3	1	6	4	7	2
2. A.P.	4	5	2	7	6	1	3
3. A.V.	3	4	2	7	6	5	1
4. R.M.	2	5	1	6	7	3	4
5. S.M.	2	6	1	7	5	4	3
6. V.V.	2	5	4	7	6	1	3
7. R.P.	1	5	2	6	7	4	3
8. D.M.	3	4	5	7	6	2	1
9. A.G.	2	5	3	7	6	1	4
10.R.S.	3	6	7	4	5	2	1
Rangų suma	27	48	28	64	58	30	25
Rodiklio subjektyvus reikšmingumas (santykinis svoris)	0,096	0,171	0,100	0,229	0,207	0,107	0,089



33 pav. Ekspertų apklausos rezultatai

Šios apklausos patikimumas išreikštas Kendalo konkordacijos koeficientu, nusakančiu atskirų nuomonių panašumo laipsnį. Kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų sumos nustatymas:

$$S = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2 \quad (10)$$

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

$$S = \left(30 - \frac{1}{7} \cdot 280\right)^2 + \left(25 - \frac{1}{7} \cdot 280\right)^2 + \left(49 - \frac{1}{7} \cdot 280\right)^2 + \left(26 - \frac{1}{7} \cdot 280\right)^2 + \left(63 - \frac{1}{7} \cdot 280\right)^2 + \left(57 - \frac{1}{7} \cdot 282\right)^2 + \left(30 - \frac{1}{7} \cdot 280\right)^2 = 1237,59.$$

Konkordacijos koeficiento nustatymas (kai susijusių rangų nėra):

$$\bar{W} = \frac{12 \cdot S}{r^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (11)$$

$$\bar{W} = \frac{12 \cdot 1237,59}{10^2 \cdot (7^3 - 7)} = 0,442.$$

Koeficientas turi atsitiktinį dydį. Konkordacijos koeficiento reikšmei nustatyti reikia žinoti  $r$  ekspertų skaičiaus ir  $n$  lyginamų objektų skirtingų reikšmių pasiskirstymo dažnumą. Konkordacijos koeficiento reikšmė nustatoma pagal 12 formulę:

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

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 1237,59}{10 \cdot 7 \cdot (7 + 1)} = 26,52.$$

Jei gauta  $\chi$  reikšmė didesnė negu norminė  $\chi_{lent}^2$  reikšmė, priklausanti nuo laisvumo laipsnio ( $v=n-1=7-1=6$ ) ir reikšmingumo lygio (0,01), laikoma, kad ekspertų nuomonės suderintos.

$$\chi^2 > \chi_{lent}^2 \quad (13)$$

$$26,52 > 16,81$$

Pagal gautus rezultatus matome, jog ekspertų pateiktos nuomonės yra suderintos, reikšmingumai gali būti naudojami atliekant daugiakriterių vertinimą MOORA metodu.

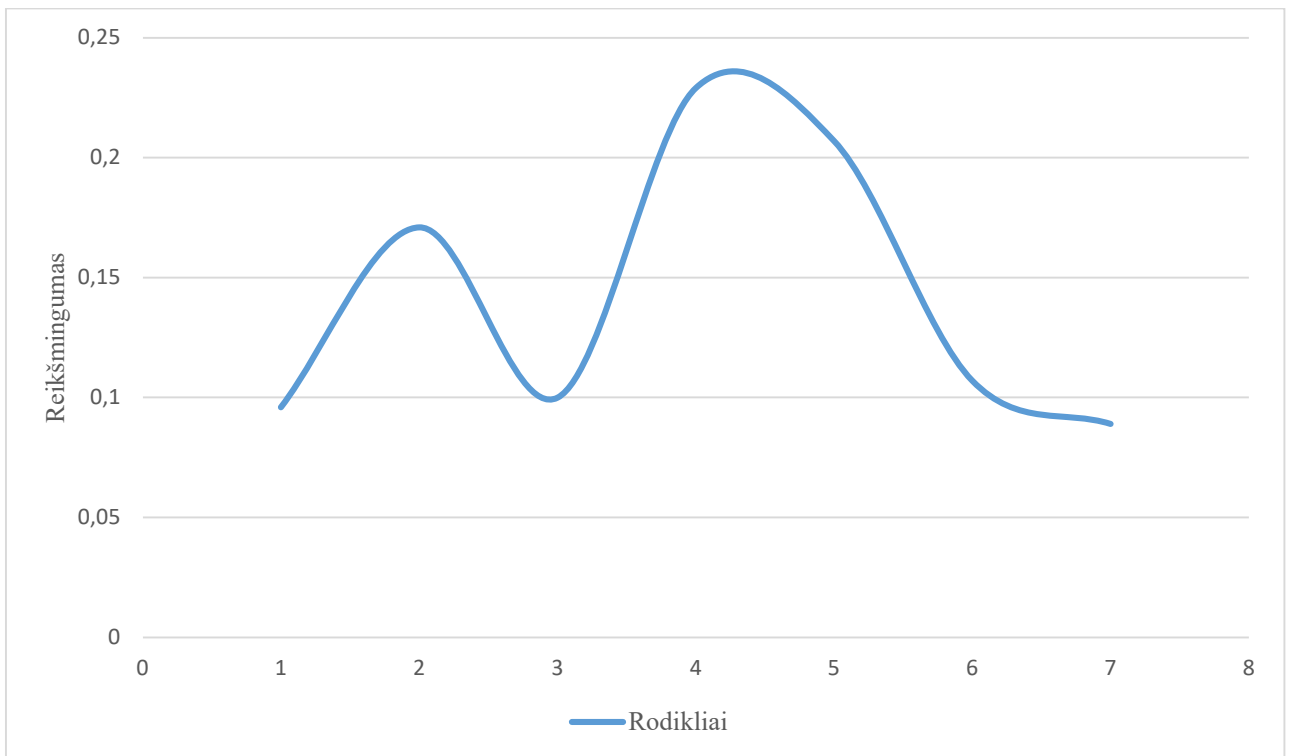
### 3.3. MOORA daugiakriteris vertinimas

Pagal MOORA daugiakriterio vertinimo metodiką nustatoma racionaliausia (iš nagrinėtų) sienos konstrukcija. Pradinės vertinimo rodiklių vertės ir pagrindiniai skaičiavimų duomenys pateikti 13 lentelėje.

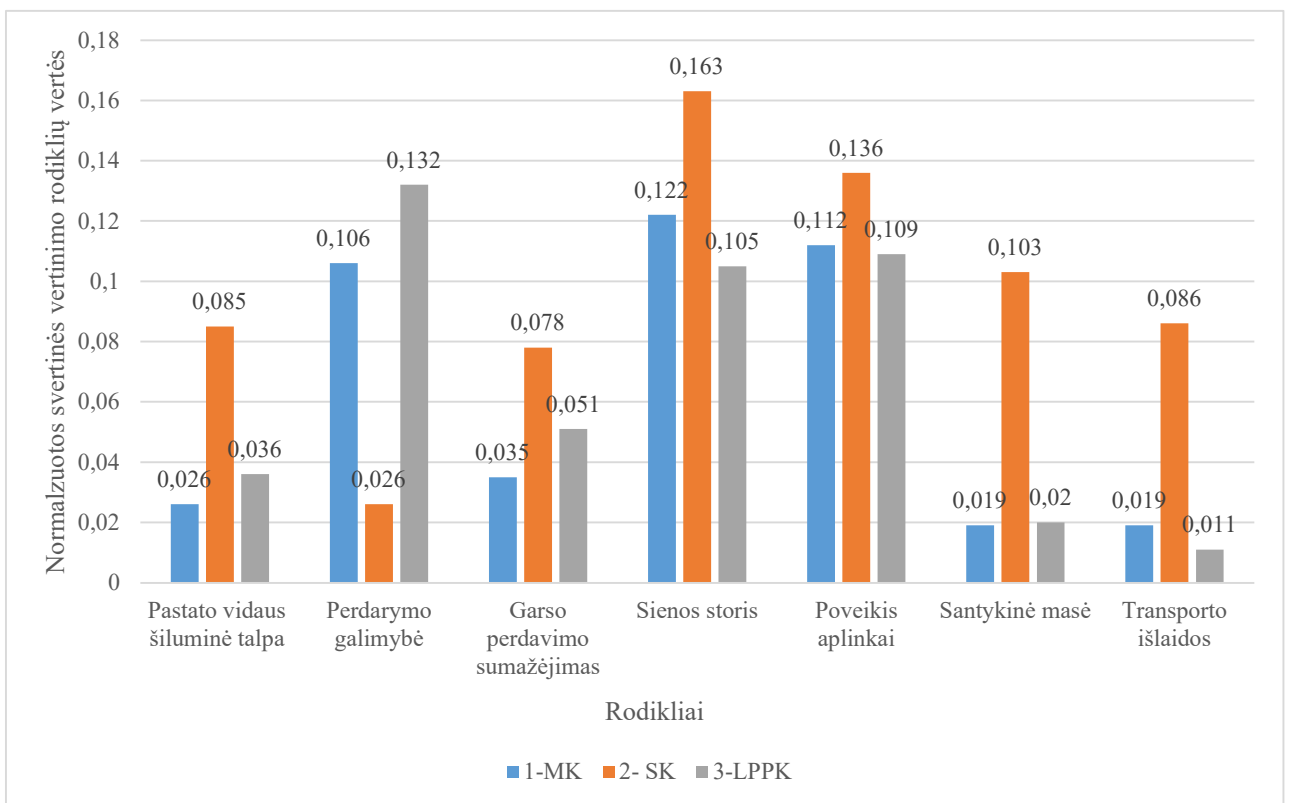
**13 lentelė.** Daugiakriterio vertinimo metodu MOORA atliktų skaičiavimų suvestinė

Sienų konstrukcijos	Rodikliai, kurių didesnės vertės laikomos geresnėmis			Rodikliai, kurių mažesnės vertės laikomos geresnėmis			
	Pastato vidaus šiluminė talpa 100 m <sup>2</sup>	Perdarymo galimybė	Garso perdavimo sumažėjimas	Konstruktinės sistemos (A++) storis	Poveikis aplinkai	Santykinė masė	Transporto išlaidos
	Rodiklių reikšmingumai (žr. 34 pav)						
	0,096	0,171	0,100	0,229	0,207	0,107	0,089
	Matavimo vienetai						
	MJ/K	Taškai	Hz	mm	kg CO <sub>2</sub> ep/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	Vnt.
MK	8,00	4	38,83	455	1355	74,65	5
SB	26,0	1	87,64	605	1649	396,23	23
LPPK	11,00	5	57,29	390	1322	75,68	3
	Normalizuota matrica $X$						
MK	0,273	0,617	0,348	0,534	0,540	0,182	0,211
SB	0,886	0,154	0,785	0,710	0,657	0,966	0,969
LPPK	0,375	0,772	0,513	0,458	0,527	0,184	0,126
	Normalizuota svertinė matrica $X$						
MK	0,026	0,106	0,035	0,122	0,112	0,019	0,023
SB	0,085	0,026	0,078	0,163	0,136	0,103	0,104
0,969 LPPK	0,036	0,132	0,051	0,105	0,109	0,020	0,014
	Sienų konstrukcijos racionalumo rodikliai $y_i$ ir „užimta“ vieta						
	$y_i$	Vertinime „užimta“ vieta					
MK	-0,1058	<b>2</b>					
SB	-0,2983	<b>3</b>					
LPPK	-0,0257	<b>1</b>					

Sienų konstrukcijas apibūdinančių rodiklių normalizuotos svertinės vertės pateiktos 35 pav., o sienų konstrukcijų racionalumo vertės – 36 pav.



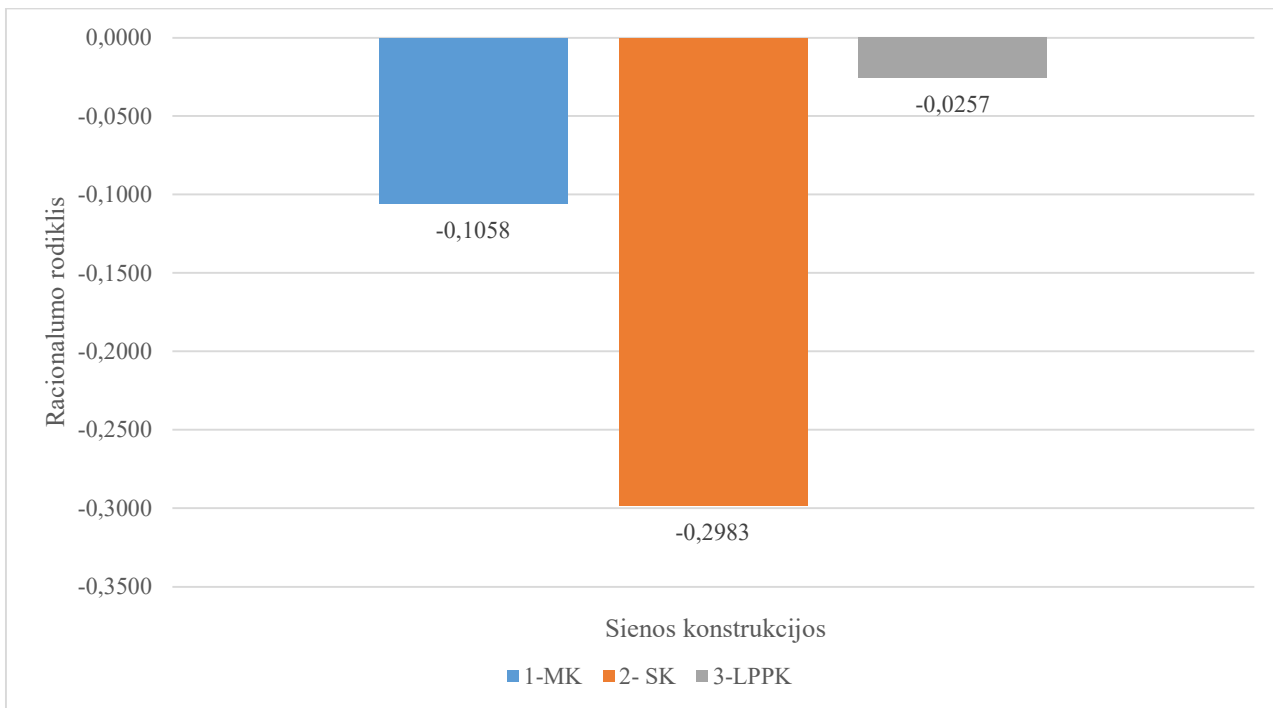
**34 pav. Rodiklių reikšmingumo rezultatai**



**35 pav. Sienų konstrukcijas apibūdinančių rodiklių normalizuotos svertinės vertės:**

■ – medienos karkasas; ■ – mūras (ARKO M18 bloku); ■ – lengvas plonasienio plieno karkasas

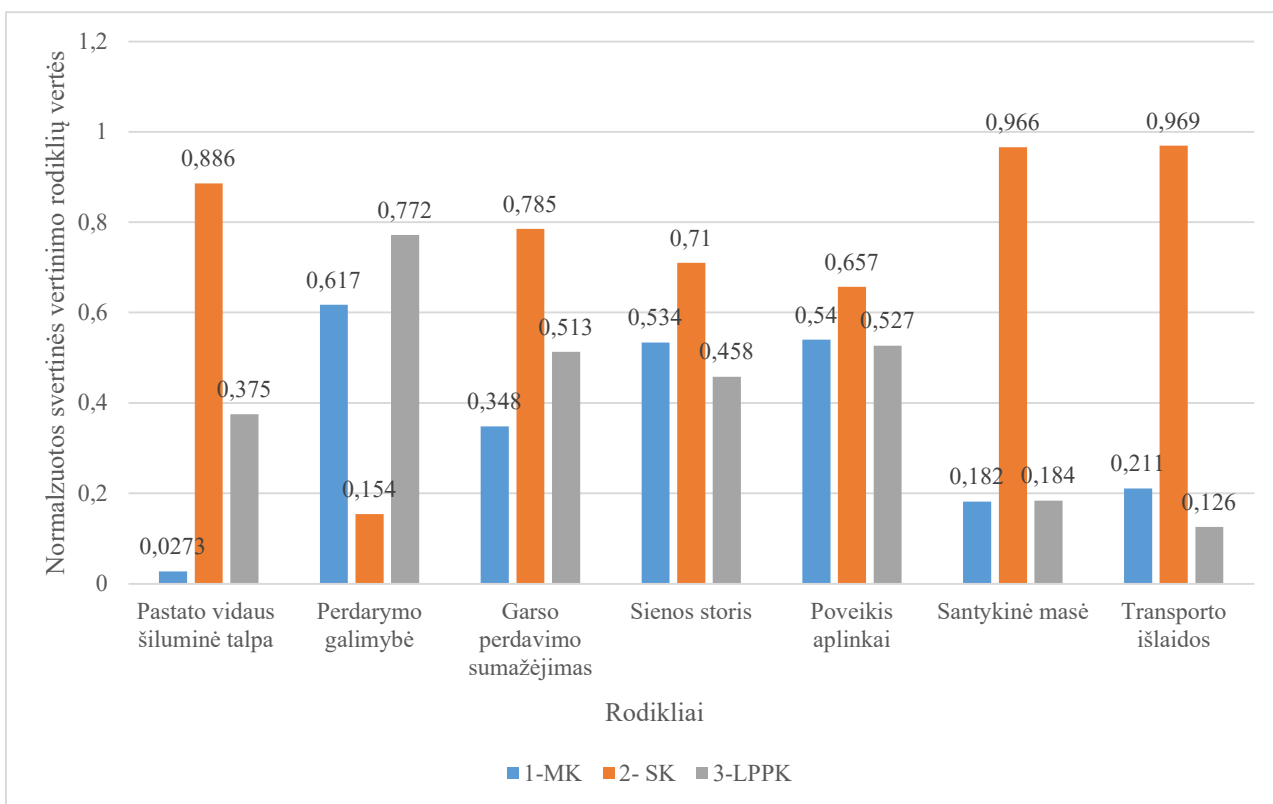




**36 pav.** Sienų konstrukcijų racionalumo rodikliai:

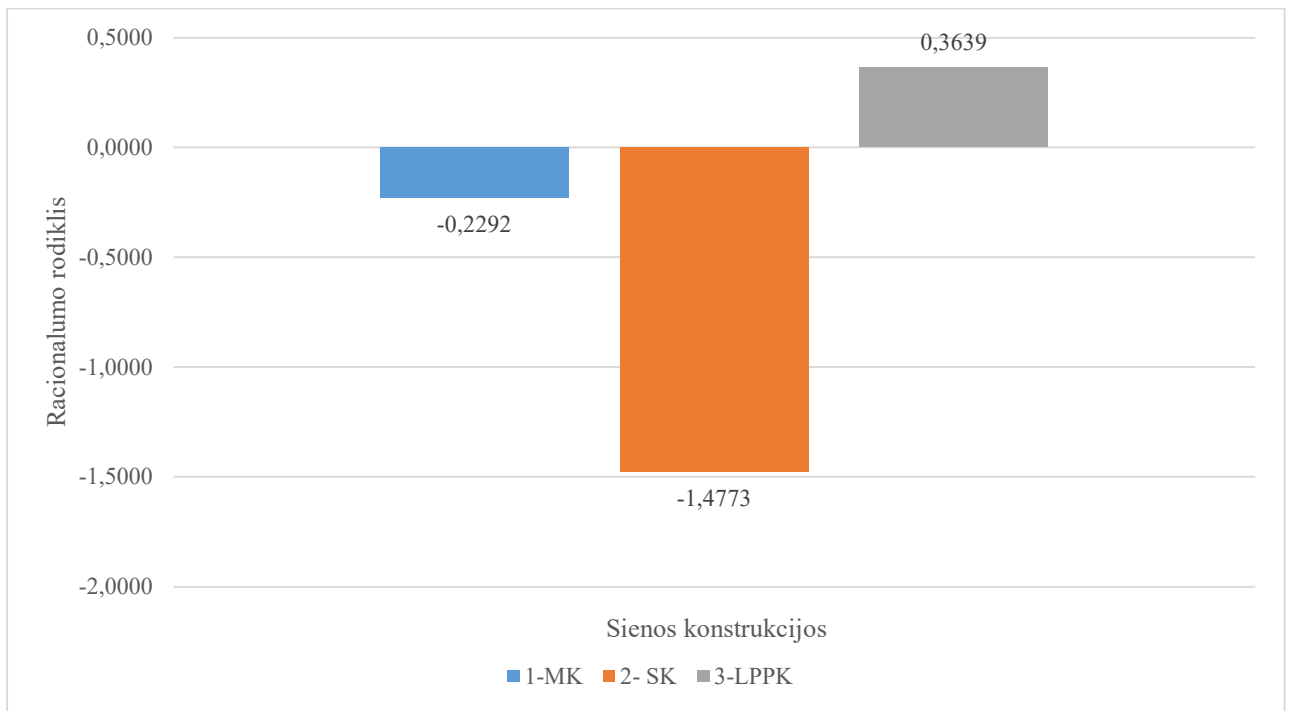
■ – medienos karkasas; ■ – mūras (ARKO M18 bloku); ■ – lengvas plonasienio plieno karkasas

Siekiant įvertinti ekspertų apklausos įtaką, ir kaip pasiskirstytų vertės nevertinant apklausos pateikiami normalizuotos matricos duomenys žr. 37 pav.



**37 pav.** Sienų konstrukcijas apibūdinančių rodiklių normalizuotos vertės:

■ – medienos karkasas; ■ – mūras (ARKO M18 bloku); ■ – lengvas plonasienio plieno karkasas



**38 pav.** Sienų konstrukcijų racionalumo rodikliai (be svertinių verčių):

- – medienos karkasas; ■ – mūras (ARKO M18 bloku); ■ – lengvas plonasienio plieno karkasas

Kaip matome 38 paveikslėlyje, jei neatsižvelgtume į ekspertų įtaką ir visų rodiklių reikšmingumas būtų vienodas bei lygus vienetui, konstrukcijų racionalumo išsidėstymas nekinta, tik skirtumai tarp reikšmių didesni ir mažiau proporcingi.

## Išvados

1. Išnagrinėjus mokslinę literatūros apžvalgą, buvo pastebėtas informacijos trūkumas vienos iš pasirinktų sienos sistemų LPP konstrukcijos tema, tačiau iš atliktos paieškos matome, kad kasmet šia tema atsiranda vis daugiau mokslinių tyrimų, kas leidžia manyti jog ši konstrukcija turi daug perspektyvų ir gali būti naudojama statyboje dar plačiau.
2. Tyrimui buvo pasirinkto trys skirtingos sienos konstrukcijos, ir septyni jas apibūdinantis rodikliai. Trys rodikliai buvo maksimizuojantys, ir keturi minimizuojantys. Du iš trijų maksimizuojančių rodiklių, geriausios reikšmės buvo mūrinės konstrukcijos, o blogiausios medienos. Tris iš keturių minimizuojančių rodiklių, geriausios reikšmės buvo LPP konstrukcijų.
3. Apklausus dešimt ekspertų, matome jog didžiausi reikšmingumai buvo suteikti, konstrukcijos storį ir poveikį aplinkai apibūdinantiems rodikliams, o mažiausias pastato šiluminei talpai ir transporto išlaidoms. Didžiausia suteikto reikšmingumo verte, nuo mažiausio skiriasi 2,5 karto. Ekspertų apklausos patikimumas buvo patikrintas, ir įvertintas teigiamai.
4. Atlikus daugiakriterį mūrinės, medinės ir lengvo plieno karkaso sienos konstrukcijų vertinimą taikant MOORA metodą gauta:
  4. 1. Geriausia (iš trijų tirtų) yra lengva plonasienio plieno sienos sistema. Jos racionalumo rodiklio skaitinė vertė -0,0279.
  4. 2. Lengvos plonasienio plieno sienos sistemos racionalumas iš tirtų konstrukcijų yra apie 4 kartus geresnis už medienos karkaso sistemą, ir apie 11 kartų. – už mūrinės (ARKO M18 bloky) sienos konstrukcijos sistemą.

## Literatūros sąrašas

1. PETROVIC, B. Life cycle assessment of building materials for a single-family house in Sweden. *Energy Procedia* [interaktyvus] Amsterdam: Elsevier 158 (2019): 3547-3552. [žiūrėta 2021-11-28]. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.913>
2. JOHRA, Hicham; HEISELBERG, Per. Influence of internal thermal mass on the indoor thermal dynamics and integration of phase change materials in furniture for building energy storage: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [interaktyvus] Vej 23, DK-9220 Aalborg Øst, Denmark 2017, 69: 19-32 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.145>
3. Įmonės UAB, PAROC puslapis [interaktyvus]. 2021 m. [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per: <https://www.paroc.lt/>
4. Įmonės UAB, NP5 puslapis [interaktyvus]. 2021m. [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per: <https://www.np5.lt/gamyba-lppk>
5. DE ARAUJO, V. A., CORTEZ-BARBOSA, J., GARCIA, J. N., GAVA, M., LAROCA, C., & CÉSAR, S. F. Woodframe: light framing houses for developing countries. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, [interaktyvus] Amsterdam: Elsevier (2016): 15(2), 78-87. [žiūrėta 2021-12-15]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/profile/Victor-De-Araujo-2/publication/309127246\\_Woodframe\\_Light\\_Framing\\_Houses\\_for\\_Developing\\_Countries/links/58002acd08ae6fc7fc652d1e/Woodframe-Light-Framing-Houses-for-Developing-Countries.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Victor-De-Araujo-2/publication/309127246_Woodframe_Light_Framing_Houses_for_Developing_Countries/links/58002acd08ae6fc7fc652d1e/Woodframe-Light-Framing-Houses-for-Developing-Countries.pdf)
6. HANLON, T. Tooled: An Exploration of Craft, the Tool and Emergent Trends in Wooden Architecture. Diss. 2017. [interaktyvus] [žiūrėta 2021-12-13]. Prieiga per: <https://digital.lib.washington.edu/researchworks/handle/1773/40797>
7. De ARAUJO, A., V. Classification of wooden housing building systems. *BioResources* [interaktyvus] Amsterdam: Elsevier(2016): 7889-7901. [žiūrėta 2021-12-13]. Prieiga per: [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_11\\_3\\_Review\\_DeAraujo\\_Classification\\_Wooden\\_Housing\\_Systems/4688](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_3_Review_DeAraujo_Classification_Wooden_Housing_Systems/4688)
8. Enamai.lt [interaktyvus]. 2022 m. [žiūrėta 2022-12-03]. <https://enamai.lt/lt/statybos-akademija/medinio-namo-statyba>
9. Skelbiu.lt [interaktyvus]. 2021 m. [žiūrėta 2021-12-13]. Prieiga per: <https://www.skelbiu.lt/>
10. Baltpool.eu [interaktyvus]. 2022m. [žiūrėta 2022-12-04]. Prieiga per: <https://www.baltpool.eu/medienos-birzos-prekybos-statistika-2022-m-spalis/>
11. TAVARES, V., SOARES, N., RAPOSO, N., MARQUES P., FREIRE, F. Prefabricated versus conventional construction: Comparing life-cycle impacts of alternative structural materials. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2021, 41, 102705, [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102705>.
12. IBRAHIMOV, L., VECHTOMOV, P., ANDREEVA, P., POPOVA, A. Six types of enclosing structures for low-storey houses. Economic comparison. *MATEC Web Conf* [interaktyvus].

- Moscow, Russia, 2018, 251, 03034 [interaktyvus] [žiūrėta 2021-11-03].  
Prieiga per: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103034>
13. KAKLAUSKAS, A. *Analysis of the life cycle of a built environment*. USA „Nova Science Publishers“, 2016.
14. TAVARES, V., LACERDA, N., FREIRE F. Embodied energy and greenhouse gas emissions analysis of a prefabricated modular house: The “Moby” case study. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2019, 212, 1044-1053 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.028>.
15. RAM, SHASHI, AND RAHUL V. RALEGAONKAR. Development of low thermal conductivity walling material using industrial by-product. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus] Nagpur 440010, India 2018, 204: 767-777. [žiūrėta 2022-11-17]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.338>
16. ŠVAJLENKA, J, AND KOZLOVSKÁ, M. Effect of accumulation elements on the energy consumption of wood constructions. *Energy and Buildings* [interaktyvus] 2019, 198. [žiūrėta 2021-12-17]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.006> )
17. NĚMEČEK, M., AND KALOUSEK, M. Influence of thermal storage mass on summer thermal stability in a passive wooden house in the Czech Republic. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2015, 68-75. [žiūrėta 2022-12-16]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.068>
18. Tikrinamai.lt [interaktyvus]. 2022 m. [žiūrėta 2022-12-03]. Prieiga per: <http://tikrinamai.lt/sipnamai/sips-namai/>
19. DELOGE ARIYANAYAGAM, A., MAHENDRAN, M., Residual capacity of fire exposed light gauge steel frame walls. *Thin-Walled Structures* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2018, 124, [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.11.048>
20. ALKHIMENKO A. I., VATIN N.I., RYBAKOV V. A. *Technology of light steel thin-walled structures*. Publishing house of Polytechnical University, 2008.
21. HALABI, Y., ALHADDAD, W. Manufacturing, Applications, Analysis and Design of Cold-Formed Steel in Engineering Structures: A Review. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* [interaktyvus]. India, Jaipur 2020,7 [žiūrėta 2021-12-15]. Prieiga per: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.72.3>
22. DANIUNAS, Alfonsas. *Plonasiėnė metalinė konstrukcija*s. Vilnius „Technika“ 2012.
23. URGULINO, J., SARAIVA, R., TATIANA, M. Light steel framing and structural concrete walls: sustainable perspectives for affordable housing. *European Journal of Sustainable Development* [interaktyvus] Rome, Italy , 6.3 (2017): 483-483 [žiūrėta 2021-12-15]. Prieiga per: Doi: 10.14207/ejsd.2017.v6n3p483
24. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Statybos techninis reglamentas. *STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“*. [interaktyvus]

2016-gruodžio 01, Nr. 27896 [žiūrėta 2021-12-17]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>

25. ROQUE, E., SANTOS, P. & CARVALHO PEREIRA, A. Thermal and sound insulation of lightweight steel-framed façade walls. *Journal of Science and Technology for the Built Environment* [interaktyvus]. London, 2018, 25, [interaktyvus] [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1506677>.
26. VELJKOVIC, M., JOHANSSON, B. Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Structures* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2006, 44, 1272-1279 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2007.01.006>.
27. ROQUE, E., VICENTE, R., ALMEIDA, R. M. S. F. Opportunities of Light Steel Framing towards thermal comfort in southern European climates: Long-term monitoring and comparison with the heavyweight construction. *Building and environment* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2021, 200, 107937 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107937>.
28. ROQUE, E., VICENTE, R., ALMEIDA, R. M. S. F., FERREIRA, V. M. Energy consumption in intermittently heated residential buildings: Light steel framing vs hollow brick masonry constructive system. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2021, 43, 103024, [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103024>.
29. ROQUE, E., VICENTE, R., ALMEIDA, R. M. S. F., OLIVEIRA R. Lightweight and prefabricated construction as a path to energy efficient buildings: Thermal design and execution challenges. *International Journal of Environment and Sustainable Development* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2020, 19, 103024 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1504/IJESD.2020.105465>
30. LINHARES, P., HERMO, V., & MEIRE, C. Environmental design guidelines for residential NZEBs with liner tray construction. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2021, 42, 102580 [žiūrėta 2021-11-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102580>.
31. FROLOVSKAIA, A. V., DEORDIEV, S. V., FALK, A., KLINDUH, N. Y., TEREHOVA, I. I. Experience of light thin-walled structures improvement in construction. *Journal of Physics: Conference Series* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2018, 1016, 012004 [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per: <https://doi:10.1088/1742-6596/1016/1/012004>
32. TAVARES, V., GREGORY, J., KIRCHAIN, R., FREIRE, F. What is the potential for prefabricated buildings to decrease costs and contribute to meeting EU environmental targets? *Journal of Building and Environment* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2021, 206, 108382 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108382>.
33. AIUORIO, O., NAPOLANO, L., FIORINO, L., LANDOLFO, R. The environmental impacts of an innovative modular lightweight steel system: The Elissa case. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2019, 238, 117905 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117905>

34. JONAITIS, B., *Mūrinių konstrukcijų projektavimas: vadovėlis*. Vilnius „Technika“, 2017. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-12-17] <https://doi.org/10.20334/2017-015-S>.
35. KALIBATAS, D. AND Z. TURSKIS. Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method. *Information technology and control*. [interaktyvus]. Sauletekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40 Lithuania, 2018, 37.1. [žiūrėta 2022-12-03]. Prieiga per: <https://www.itc.ktu.lt/index.php/ITC/article/view/11901>
36. KECEK, Gülnur; DEMIRAĞ, Fatma. A comparative analysis of TOPSIS and MOORA in laptop selection. *Research on Humanities and Social Sciences* [interaktyvus]. Turkey 2016, 6.14: 1-9. [žiūrėta 2022-10-07]. Prieiga per: <https://core.ac.uk/download/pdf/234675217.pdf>
37. KOTHARI, Chakravanti Rajagopalachari. *Research methodology: Methods and techniques*. India, New Age International, 2004.
38. ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras, TURSKIS Zenonas ir KILDIENĖ Simona. State of art surveys of overviews on mcdm/madm methods. Technological and economic development of economy [interaktyvus]. Department of Construction Technology and Management, Faculty of Civil Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, Lithuania, (2014) 20(1): 165–179 [žiūrėta 2021-12-03]. ISSN 2029-4913. Prieiga per: <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>
39. AVIŽA, D. Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiatikslė selektonovacija: daktaro disertacija. Vilnius: Leidykla Technika, 2016, 135 psl. ISBN 978-609-457-911-0
40. SIMANAVIČIENĖ, R. Kiekybinio daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė: daktaro disertacija. Vilnius: Leidykla Technika, 2011, 133 psl. ISBN 978-609-457-055- 1
41. YAN, L., ECKERT, C. M., EARL. C. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications* [interaktyvus]. Amsterdam, Elsevier, 161 (2020): 113738, [žiūrėta 2022-11-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>
42. WANKHEDE, S.V., HOLE J.A. MOORA and TOPSIS based selection of input parameter in solar powered absorption refrigeration system. *International Journal of Ambient Energy* [interaktyvus]. England, London, 2022, 43.1: 3396-3401 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/01430750.2020.1831600>.
43. MORTEZA, Y., GRAEML, F. R. "VIKOR and its applications: A state-of-the-art survey." *International Journal of Strategic Decision Sciences* [interaktyvus]. Vaasa, Finland, 19 (2014): 56-83. [žiūrėta 2022-11-22]. Prieiga per: <https://doi.org/10.4018/ijds.2014040105>
44. CHAKRABORTY, S. Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [interaktyvus] Kolkata, 700 032, West Bengal, India, 2011, 54.9: 1155-1166. [žiūrėta 2022-09-29] Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2972-0>
45. BRAUERS, WILLEM KM. Location theory and multi-criteria decision making: an application of the MOORA method. *Contemporary Economics* [interaktyvus]. Warsaw 2018, 12.3: 241-253. [žiūrėta 2022-10-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.5709/CE.1897-9254.275>

46. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Statybos techninis reglamentas. STR 2.01.07:2003 „Pastatų vidaus ir išorės aplinkos apsauga nuo triukšmo“. [interaktyvus] 2003-  
liepos 17, Nr. 387 [žiūrėta 2022-11-21]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.216317>
47. SHIN, H. K., PARK, S., KIM, K. W., KIM, M. J. Sound prediction based on footstep-induced vibrations in concrete building using a convolutional neural network. *Applied Acoustics* [interaktyvus] Amsterdam: Elsevier, 2022, 198: 108965 [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108965>
48. Skaičiuoklė skirta nustatyti garso sumažėjimui per sieną [interaktyvus]. 2022m. [žiūrėta 2022-11-02]. Prieiga per: [https://calculla.com/mass\\_law\\_for\\_single\\_wall](https://calculla.com/mass_law_for_single_wall).
49. TAM, V. W., ILLANKOON, I. C. S., LE, K. N., RAHME, D. Life-cycle impacts from environmentally friendly blocks. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. Amsterdam: Elsevier, 2022 53, 104503 [žiūrėta 2021-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108382>
50. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 1993-1-1:2005/AC:2009]. Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-3 dalis. Bendrosios taisyklės. Šaltai formuotų elementų ir lakštų papildomos taisyklės.