



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

**Inovacijos modulinėje namų statyboje  
Innovation in modular buildings construction**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Julius Endzelis**  
Projekto autorius

**Dr. Mindaugas Daukšys**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

**Inovacijos modulinėje namų statyboje**  
**Innovation in modular buildings construction**

Baigiamasis magistro projektas  
Statybos valdymas (6211EX007)

---

**Julius Endzelis**  
Projekto autorius

**Dr. Mindaugas Daukšys**  
Vadovas

**Šarūnas Palepšaitis**  
Konsultantas

**Dr. Arūnas Aleksandras Navickas**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Statybos ir architektūros fakultetas  
Julius Endzelis

**Inovacijos modulinėje namų statyboje**  
**Innovation in modular buildings construction**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Juliaus Endzelio, baigiamasis projektas tema „Inovacijos modulinėje namų statyboje“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Julius, Endzelis. Inovacijos modulinų namų statyboje. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Mindaugas Daukšys; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir Architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija

Raktiniai žodžiai: modulinė statyba, medinio karkaso modulis, metalo karkaso modulis, inovacijos, tradicinė statyba.

Kaunas, 2019. 105 psl.

### **Santrauka**

Baigiamajame magistro projekte analizuojamos Lietuvoje bei užsienio šalyse taikomos modulinų namų technologijos. Apžvelgti įvairūs moduliai ir jų panaudojimo galimybės, alternatyvios konstrukcinės bei termoizoliacinės medžiagos, modulinų namų įrengimo būdai bei įrengimą įtakojančios veiksniai. Pateikiamos modulinų namų sudedamosios dalys ir naudojamos medžiagos bei šioje srityje atlikti moksliniai tyrimai.

Tiriamojame dalyje nagrinėta tinkamiausia termoizoliacinė medžiaga sienų šiltinimui. Nustatyta kad svarbiausias kriterijus yra kaina (Eur/m<sup>3</sup>). Iš 8 nagrinėtų alternatyvų, nustatyta, kad geriausia termoizoliacinė medžiaga yra akmens vata. Sekančiu tyrimu buvo lyginama modulinė statyba su tradicine statyba. Atlikus tyrimą tyrimą, nustatyta, kad modulinis pastatas yra geriau už tradicinį mūrinį pastatą.

Atliktas pasirinktų alternatyvių sprendimų vertinimas, remiantis sudaryta kriterijų sistema ir naudojant daugiakriterinį vertinimo metodą. Naudojant daugiakriterinį vertinimo metodą, pasiūlytas optimalus variantas termoizoliacinės medžiagos parinkimui ir nustatyta kuri alternatyva yra geresnė lyginant modulinę statybą su tradicine statyba.

Darbas susideda iš įvado, 3 skyrių, išvadų bei priedų. Darbo apimtis – 105 puslapiai, 40 paveikslų, 16 lentelių, 33 literatūros šaltinių ir 12 priedų.

Julius, Endzelis. Innovation in modular buildings construction. Master's thesis in construction / supervisor assoc prof. dr. Mindaugas Daukšys; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering sciences, Civil Engineering

Key words: modular construction, metal frame module, wooden frame module, innovations, traditional construction.

Kaunas, 2019. 105 p.

### **Summary**

The final master's project analyzes modular home technology applied in Lithuania and abroad. The review is made on various modules and their application possibilities, alternative construction and thermal insulation materials, modular house installation methods and installation influencing factors are reviewed. Modular home components, materials and research in this area are presented.

In the research part the most suitable thermal insulation was analyzed. The most important criteria was price (Eur/m<sup>3</sup>). Of the 8 alternatives examined, stone wool was the best thermal insulation material. The next study compared modular construction with traditional construction. The study found that modular building is better than the traditional building of silicate bricks.

Evaluation of selected alternative solutions based on the developed criteria system and using multi-criteria assessment method was done. Using multi-criteria assessment method, the optimal option for the choice of thermal insulation material is proposed and the alternative is used in comparison of modular construction with traditional construction.

The work consists of introduction, 3 chapters, conclusion, bibliography and annexes. Thesis consists of 105 pages, 40 pictures, 16 tables, 33 bibliographical entries and 12 annexes.

## TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	10
ĮVADAS .....	11
1. LITERATŪROS ANALIZĖ .....	12
1.1. Bendrosios žinios apie modulinis namus.....	14
1.1.1. Kas yra modulis?.....	14
1.1.2. Modulių namų istorija .....	15
1.1.3. Praktikoje taikomos modulinės statybos technologijos .....	16
1.1.4. Skirtingo dydžio modulių konfigūracija .....	17
1.1.5. Statybos procesas .....	19
1.1.6. Darbų grafikas .....	22
1.1.7. Pritaikomumas įvairioms vietoms ir pageidaujamo dizaino parinkimas .....	23
1.1.8. Modulių tarpusavio jungimo būdai .....	23
1.1.9. Privalumai ir trūkumai .....	26
1.1.10. A, A+ ir A++ klasės energinis naudingumas .....	28
1.1.11. BREAM ir LEED statyboje.....	30
1.2. Modulinėje statyboje taikomos inovacijos .....	34
1.2.1. Ten Fold moduliai .....	34
1.2.2. Sulankstomi moduliai.....	34
1.2.3. 3D spausdinti moduliai .....	35
1.2.4. Skersai klijuoto tašo mediena ir laminuota faneros mediena.....	35
1.2.5. Termoizoliacinės medžiagos .....	37
1.2.6. BIM modulinėje statyboje.....	41
2. TIRIAMOJI DALIS .....	43
2.1. Alternatyvų aprašymas .....	48
2.2. Vertinimo kriterijų parinkimas .....	51
2.3. Taikomi tyrimo metodai .....	53
3. TYRIMŲ REZULTATAI .....	54
3.1. Apklaustos anketos duomenų analizė.....	54
3.2. Termoizoliacinių medžiagų kriterijų reikšmingumas, taikant entropijos metodą.....	55

3.3. Termoizoliacinės medžiagos racionalaus sprendimo parinkimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.....	57
3.4. Pastato racionalaus sprendimo parinkimas, taikant ekspertinį kriterijų reikšmingumo vertinimą .....	59
3.5. Pastato racionalaus sprendimo parinkimas, taikant teorinį entropijos kriterijų reikšmingumo metodą .....	60
3.6. Pastato racionalaus sprendimo parinkimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą	61
IŠVADOS.....	64
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	66
PRIEDAI .....	70

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Išskaidytas modulinio namo vaizdas (Building Systems by Stora Enso, 2016).....	14
2 pav. Išskaidytas vieno modulio vaizdas (Building Systems by Stora Enso, 2016).....	15
3 pav. Medinio karkaso modulis ( <a href="https://inhabitat.com">https://inhabitat.com</a> ) .....	16
4 pav. Metalo karkaso modulis (Lawson and Ogden, 2008) .....	16
5 pav. Monolitinis daugiaaukštis gyvenamasis namas Voroneže, Rusija (Modular buildings in modern construction, 2016) .....	17
6 pav. 23 modulių daugiaaukščio gyvenamojo namo statyba (MBI, 2012) .....	17
7 pav. Šerdies įrengimas, Viktoria Hall, UK (MBI, 2013) .....	18
8 pav. Hibridinis modulinis pastatas (Lawson and Ogden, 2008) .....	19
9 pav. Daugiaaukščio modulinio namo statyba bokštiniu kranu ( <a href="https://www.bca.gov.sg">https://www.bca.gov.sg</a> ) .....	19
10 pav. Laiko taupymas modulinėje statyboje (Kamali and Hewage, 2016) .....	22
11 pav. Savarankiškai pristvirtinančios kniedės ( <a href="https://www.researchgate.net/">https://www.researchgate.net/</a> ) .....	24
12 pav. Galimos modulių jungimo vietos (Building Systems by Stora Enso, 2016) .....	24
13 pav. Pastatų poveikis aplinkai ( <a href="http://lt.lt.allconstructions.com">http://lt.lt.allconstructions.com</a> ) .....	31
14 pav. Kategorijų svarbumas procentais pagal BREEM ( <a href="http://lt.lt.allconstructions.com">http://lt.lt.allconstructions.com</a> ) .....	32
15 pav. Ten Fold išsiskleidžiantis modulis ( <a href="https://www.designboom.com">https://www.designboom.com</a> ) .....	34
16 pav. Sulankstomas modulis ( <a href="https://www.madihome.com">https://www.madihome.com</a> ) .....	35
17 pav. Namų statyba iš modulių, atspausdintų 3D spausdintuvu ( <a href="https://3dprint.com">https://3dprint.com</a> ) .....	35
18 pav. CLT (klijuoto tašo) mediena ( <a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> ) .....	36
19 pav. Laminuotos faneros (LVL) mediena ( <a href="https://en.wikipedia.org">https://en.wikipedia.org</a> ) .....	37
20 pav. Vakuuminė šilumos izoliacija ( <a href="https://www.ekspertai.lt">https://www.ekspertai.lt</a> ) .....	38
21 pav. Aerogelio termoizoliacija ( <a href="https://spinoff.nasa.gov">https://spinoff.nasa.gov</a> ) .....	39
22 pav. Celiuliozės (Ekovatos) šilumos izoliacija ( <a href="http://iti.vgtu.lt">http://iti.vgtu.lt</a> ) .....	40
23 pav. Poliuretano (PF-PIR) šilumos izoliacinės plokštės ( <a href="https://www.finnfoam.lt/produktai">https://www.finnfoam.lt/produktai</a> ) .....	40
24 pav. Fenolio (PF) šilumos izoliacija ( <a href="http://www.hktcd.com/suppliers-products">http://www.hktcd.com/suppliers-products</a> ) .....	41
25 pav. 3D lazerinio skenavimo įranga ( <a href="https://www.faro.com/">https://www.faro.com/</a> ) .....	42
26 pav. Modulinės statybos lyginimo su tradicine statyba algoritmas .....	43
27 pav. Suprojektuotas 5 – ių aukštų daugiabutis gyvenamasis namas (sudaryta autoriaus) .....	44
28 pav. Modulių išdėstymo planas kiekviename aukšte (sudaryta autoriaus) .....	46
29 pav. Mūrinis pastatas iš silikatinių plytų ( <a href="http://www.ober-haus.lt">www.ober-haus.lt</a> ) .....	49



30 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal turimą darbo patirtį statybos srityje (sudaryta autoriaus) ..	54
31 pav. Respondentų nuomonių pasiskirstymas pagal užduotus klausimus (sudaryta autoriaus) .....	55
32 pav. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo kriterijų reikšmingumas, taikant teorinį entropijos metodą (sudaryta autoriaus) .....	56
33 pav. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo alternatyvų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas (sudaryta autoriaus) .....	58
34 pav. Termoizoliacinės medžiagos parinkimo alternatyvų naudingumas, įvertinus teorinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus) .....	59
35 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą (sudaryta autoriaus) .....	59
36 pav. Vertinimo kriterijų reikšmingumas taikant teorinį entropijos metodą (sudaryta autoriaus) .....	61
37 pav. Alternatyvų naudingumas (balais), kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas (sudaryta autoriaus) .....	62
38 pav. Alternatyvų naudingumas , įvertinant subjektyvų kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus) .....	62
39 pav. Alternatyvų naudingumas , įvertinant teorinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus) .....	63
40 pav. Alternatyvų naudingumas , įvertinant kompleksinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus) .....	63

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Įgyvendinti daugiaaukščių modulinį namų projektai (Ramboll Group, 2015) .....	23
2 lentelė. Modulių mazgai (Building Systems by Stora Enso) .....	25
3 lentelė. Modulinės statybos privalumai, lyginant su tradicine statyba (Kamali and Hewage, 2016) ..	26
4 lentelė. Modulinės statybos trūkumai, lyginant su tradicine statyba (Kamali and Hewage, 2016) .....	27
5 lentelė. Gyvenamojo namo (jo dalių) šiluminės savybės, išreiškiamos konstrukcijų šilumos laidumo koeficientais, kai koeficientai yra pateikiami $m^2K/W$ išraiška ( <a href="http://www.plokstuminiaipamatai.lt">http://www.plokstuminiaipamatai.lt</a> ) ..	29
6 lentelė. Norminės oro apykaitos $n_{50, N}$ (1/h) vertės esant 50 Pa slėgių skirtumui ( <a href="http://www.irmus.lt">www.irmus.lt</a> ) .....	30
7 lentelė. BEAM kategorijų vertinimas pagal kreditus ( <a href="http://lt.lt.allconstructions.com">http://lt.lt.allconstructions.com</a> ) .....	33
8 lentelė. Modulių žymėjimo plane eksplikacija (sudaryta autoriaus) .....	46
9 lentelė. Modulių išdėstymo eksplikacija (sudaryta autoriaus) .....	47
10 lentelė. Gyvenamojo daugiabučio namo 3 alternatyvų sienos ir stogo detalės (sudaryta autoriaus) ..	50
11 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų alternatyvų kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus) .....	51
12 lentelė. Modulinės statybos palyginimo su tradicine statyba alternatyvų kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus) .....	52
13 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų alternatyvų pradiniai duomenys ir optimalios reikšmės (sudaryta autoriaus) .....	56
14 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų parinkimo pradiniai duomenys ir optimalios reikšmės (sudaryta autoriaus) .....	57
15 lentelė. Kriterijų reikšmingumai (sudaryta autoriaus) .....	60
16 lentelė. Pradiniai duomenys (sudaryta autoriaus) .....	62

## IVADAS

Šiuolaikinės statybų technologijos yra tiek pažengusios, kad tiesiog tereikia pasirinkti pastato/statinio struktūrą ir ji bus pastatyta per kelias dienas ar savaites. Statybos laikas gerokai sutrumpėjo, statyba tapo tvaresnė. Modulinė statybos technologija (3D Volumetric Construction) yra viena iš tokių statybos technologijų.

Šiuo darbu siekiama išsiaiškinti, kodėl užsienio šalyse populiarus statybos būdas Lietuvoje nėra propaguojamas, apžvelgti modulinės statybos privalumus ir trūkumus bei pagrindinius kriterijus, lemiančius modulinės statybos technologijos pasirinkimą.

Kiekvienais metais tiek investuotojai, tiek įprasti vartotojai rodo vis didesnę susidomėjimą moduliniais namais ir tai pamažu tampa nauju standartu namų statyboje. Šis statybos būdas turi nemažai privalumų, lyginant su tradicine statyba – statybos laiko sutrumpėjimas, mažesnis atliekų kiekis, aukštesnė surinkimo kokybė ir galimas piniginių išteklių taupymas ir kita. Vis daugiau klientų domisi bendrabučiais, sveikatos priežiūros, švietimo įstaigos pastatais, kurie būtų sudaryti iš modulių. Lietuvos rinkoje pagrindinės įmonės, užsiimančios modulių gamyba, yra UAB „Scandi house“, UAB „Ryterna“, UAB „Kagesa“, UAB „Wilbergs Group“.

**Darbo objektas** – inovacijos modulinėje statybos technologijoje.

**Darbo tikslas** – atlikti modulinėje statybos technologijoje taikomųjų inovacijų analizę ir palyginti jų taikymą su tradicine statyba.

**Darbe taikyti metodai:**

Darbe numatoma taikyti mokslinės literatūros analizę ir sisteminės analizės metodus. Alternatyvūs variantai bus lyginami pagal numatytus vertinimo kriterijus bei pasirinktą daugiakriterinio vertinimo metodą.

**Darbo uždaviniai:**

- atlikti literatūros šaltinių analizę nagrinėjama tematika;
- parinkti alternatyvius modulinės statybos technologijoje taikomus variantus;
- parinkti nagrinėjamos alternatyvos vertinimo kriterijus;
- taikant daugiakriterinio vertinimo metodą atlikti alternatyvių variantų palyginamąją analizę ir parinkti racionalų modulinėje statybos technologijoje taikomą variantą.

# 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

Leidinyje (Modular Building Institute, 2010) pateikiami veiksniai, turintys didžiausią įtaką statybų sektoriaus darbo našumui ir produktyvumui. Vienas iš minimų veiksnių yra modulinė statyba, kurią naudojant yra sumažinama projekto kaina, sutrumpėja darbų grafikai ir t.t.

Autoriai (Jellen and Memari, 2013) aprašo modolinių namų tipus, jų statybos privalumus, pritaikymą ir iššūkius, esančius modolinių namų sektoriuje.

Smithas (2016) aprašo ne statybvietėje gaminamus modulius, jų privalumus ir naudą, procesų pritaikomumą ir kada geriausia juos naudoti vietoje tradicinės statybos.

Generalova et. al. (2016) aptaria laikinus modolinių elementų naudojimo būdus statyboje. Pabrėžiama, kad modulinės konstrukcijos gali sutrumpinti projekto trukmę, mažina išlaidas ir gerina statybos produktyvumą. Rašoma apie Rusijos didelę patirtį gelžbetoninių modulių statyboje. Taip pat aprašomos perspektyvos ir aktualumas ne tik mažo aukščio, bet ir daugiaaukščių bei aukštybinių modolinių konstrukcijų statyboje.

Autoriai (Shafari et. al., 2017) aprašo novatoriškas, vientisumą gerinančias daugiaaukščių pastatų modulių jungimo sistemas.

Zhangas et. al. (2016) apžvelgia Kinijos statybų sektoriaus industrializacijos istoriją bei aptaria BIM (Building information modeling) panaudojimo perspektyvas modulinėje ir pramoninėje statyboje. Aptiriamas pažangių įrankių naudojimas, įskaitant 3D lazerinį skaitytuvą, tikros situacijos informacijai surinkti bei robotizuoto tacheometro naudojimą greitam įrengimui.

Autoriai (Lopez and Froese, 2016) pateikia išsamią dviejų pagrindinių surenkamųjų namų kategorijų – skydinių ir modolinių, kainos ir naudos analizę. Pagrindinis atlikto tyrimo tikslas yra suteikti informaciją apie abiejų statybos būdų taikymo vienos šeimos namo statybai, pasekmes ir kompromisus, taip pat nustatyti, kuris variantas yra ekonomiškescnis.

Dingas et. al. (2017) aprašo atliktus kvazistatinius CSPSW (Corrugated Steel Plate Shear Wall) metodo tyrimus sienoms su angomis ir be angų, siekiant įvertinti seisminių veiksnių įtaką sienoms. Aptariamai du skirtingi šoninės jėgos atsparumo mechanizmo atvejai. Taip pat pateiktos kelios projektavimo rekomendacijos, kurios bus naudingos taikant CSPSW metodą seisminėje zonoje.

Autoriai (Mohsen et al., 2008) savo darbe aptaria Symphony.NET programos panaudojimo galimybes projektavimo ir statybos darbams analizuoti. Analizė buvo atliekama tiek prieš, tiek po projekto įgyvendinimo, siekiant prognozuoti statybos našumą bei trukmę ir leisti susipažinti su alternatyviais statybos scenarijais.

Autoriai (Lee et al., 2016) siūlo optimizuoti statybos procesą gamyklos stadijoje naudojant priklausomybės struktūros matricą, kurioje atsižvelgiama į proceso metodą, pagrįstą statybos informacijos srautu darbe.

Kamali ir Hewage (2016) aptaria naudojamą metodiką, skirtą nustatyti ir pasirinkti tinkamus gyvavimo ciklo rodiklius (SPI), kurie vertina tvarumą modulinį ir tradicinių namų statyboje. Savo tyrime atliko apklausą, kurios tikslas buvo įvertinti tvarumo rodiklių taikymą lyginant modulinę ir tradicinę statybą.

Autoriai (Molavi and Barral, 2016) pateikia paprastą paaiškinimą apie modulines ir skydines sistemas ir siūlo statybos projekto vystymo metodus, pagrįstus projektų tipu, kad būtų išvengta įvairių nesklandumų tvarioje modulinėje statyboje.

Autoriai (Kamali and Hewage, 2016) aptaria skirtingų tipų modulių gamybą gamykloje ir jų surinkimą statybos aikštelėje. Taip pat rašoma apie modulių privalumus - laiką, gyvavimo trukmę, kainą ir gamtosaugą.

Matei (2017) rašo apie naujos kartos „Ten fold“ išsiskleidžiančius modulius, kuriems nereikia įrengti pamatų ar samdyti krano.

Eagle (2014) rašo apie liginės statybą naudojant modulius. Taip pat straipsnyje minimi šie modulinės statybos privalumai - mažesnės laiko ir piniginių sąnaudų.

Sevensonas (2015) rašo apie 3D spausdintuvu atspausdintą ir pastatytą modulinį namą, kuris gali atlaikyti 9,0 stiprumo žemės drebėjimą, pagal Richterio skalę.

Autoriai (Ngo et al., 2009) aprašo atliktus metalinio karkaso modulinio namo energinius tyrimus siekdami nustatyti, ar šis statybos būdas yra draugiškesnis aplinkai. Gauti rezultatai palyginti su įprastu statybos būdu.

Autoriai (Larsson et al., 2012) pristato novatorišką architektūros metodiką, pagrįstą trimis Švedijos medienos statybos sistemomis ir pabrėžia, kiek aukštų kuri sistema geba išvystyti. Aukščiausias pastatas naudojant vieną iš minimų sistemų, gali būti iki 20 aukštų.

Leidinyje (Building Systems by Stora Enso, 2016) aprašoma Stora Enso modulinį elementų sistema, skirta daugiaaukščiams, nuo 3 iki 8 aukštų, mediniams gyvenamiesiems namams.

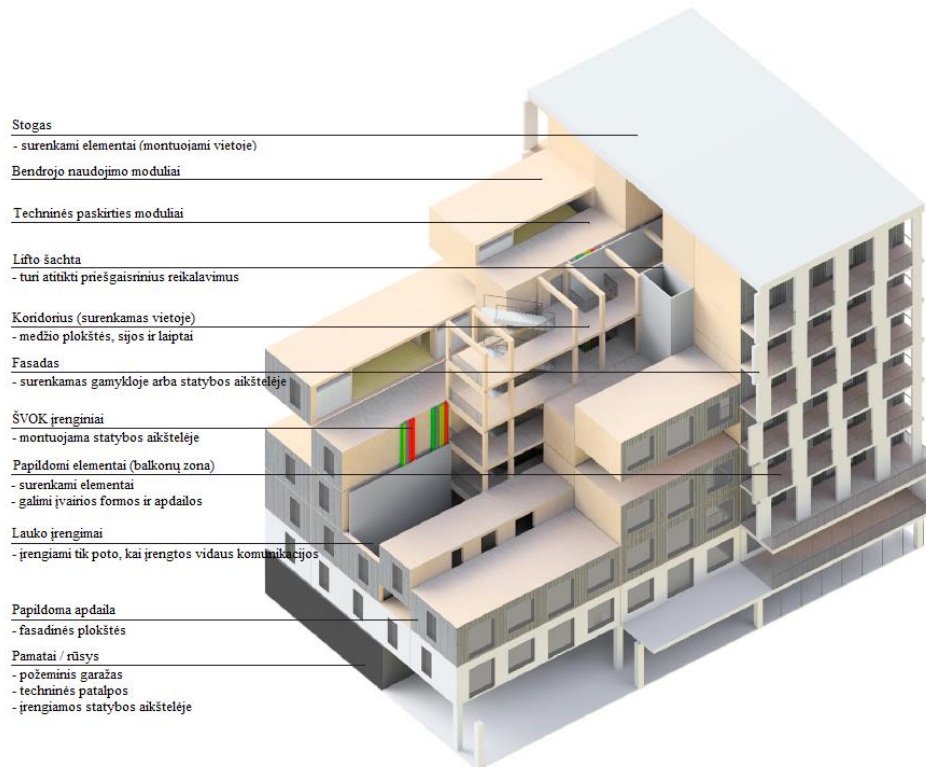
Autoriai (Al-Hussein et al., 2009) aprašo lygina tradicinę statybą su moduline ir aprašo kaip naudojant skirtingas medžiagas gali skirtis CO<sup>2</sup> emisijų kiekis priklausomai nuo jų panaudojimo.

Autoriai (Brandner et al., 2016) aprašo skersai klijuoto tašo (CLT) medienos gamybos ypatumus ir technologiją, medžiagos turimas savybes ir projektavimą bei jungimą tarpusavyje.

## 1.1. Bendrosios žinios apie modulinius namus

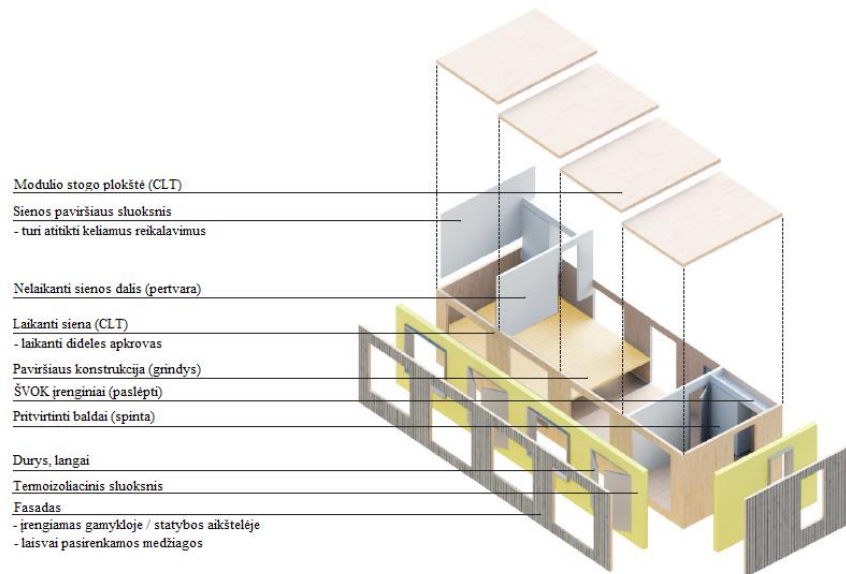
### 1.1.1. Kas yra modulis?

Tai yra gamykloje pagamintas tūrinis pastato elementas, pristatomas į statybos aikštelę, kuris panaudojamas surenkant pastatą iš vieno ar daugiau tokių elementų (1 pav.). Toks statybos būdas užtrunka iki 50 % trumpiau, nei tradicinė statyba. Moduliai dažniausiai yra surenkami iš sieninių skydų ir pristatomi į statybos aikštelę jau kaip tūrinis elementas (2 pav.).



**1 pav.** Išskaidytas modulinio namo vaizdas (Building Systems by Stora Enso, 2016)

Modulinė statyba apima statybos elementų planavimo, projektavimo, apdirbimo, transportavimo ir surinkimo procesą, skirtą greitam surinkimui statybos aikštelėje su iš anksto įrengta vidaus apdaila ir komunikacijomis. Kai kurie moduliai gali būti net iki 95 % išbaigtumo.



**2 pav.** Išskaidytas vieno modulio vaizdas (Building Systems by Stora Enso, 2016)

### 1.1.2. Modulinių namų istorija

Praeityje moduliai buvo gaminami pagrinde dėl galimybės juos perkelti iš vienos vietos į kitą. Iš pradžių juos pirkdavo žmonės, kurių gyvenimo būdui buvo reikalingas mobilumas, tačiau 1950-ųjų metų pradžioje, šie namai buvo pradėti gaminti kaip nebrangi būsto forma, sukurta ir įrengta vienoje vietoje sujungiant su pamatu. Anksčiau moduliai buvo gaminami 2,4 m pločio arba siauresni, tačiau 1956 m. rinkoje pasirodė 3,0 m pločio moduliai. Tai padėjo nubrėžti liniją tarp modulių namų ir kelioninių priekabų, nes mažesni moduliai galėjo būti pervežami paprasčiausiu automobiliu, o jau stambesni moduliai reikalavo krovinių automobilių paslaugų. Nuo 1960-ųjų iki 1970-ųjų metų namai tapo dar ilgesni ir platesni, todėl modulių gabenimas tapo dar sudėtingesniu procesu. Šiandien gamykloje surinktas namas yra perkeliamas į sklypą, kur paprastai stovi nuolat, todėl modulių mobilumas smarkiai sumažėjo.

Praeityje gamykloje pagaminti namai sukūrė neigiamą stereotipą dėl savo mažesnės kainos ir greitesnio nuvertėjimo tendencijos, lyginant su tradiciniu būdu pastatytu namu. Šių namų vertė smarkiai nukrisdavo juos perparduodant arba naudojant kaip užstatą imant paskolą. Paskolos terminai paprastai būdavo trumpesni negu 30 metų, būdingi būsto paskolų rinkai, o palūkanų normos buvo gerokai didesnės. Kitaip tariant, šios būsto paskolos daugiau buvo skirtos automobiliams, nei būsto paskolai. Tokie namai nuolat buvo siejami su mažas pajamas gaunančiomis šeimomis, dėl kurių atsirado tam tikri apribojimai, siejami su namų skaičiaus, tankumo, minimalaus dydžio reikalavimų bei išorės spalvos ir apdailos apribojimais.

### 1.1.3. Praktikoje taikomos modulinės statybos technologijos

Moduliai gali būti gaminami iš įvairių medžiagų: medinio karkaso, metalinio karkaso bei monolitinio gelžbetonio:

- Medinio karkaso moduliai – šie moduliai yra pagaminti iš medinio karkaso ir yra skirti vieno arba kelių aukštų statinio statybai. Gaminant modulį naudojama aukštos kokybės mediena, atitinkanti toje šalyje naudojamų standartų keliamus reikalavimus.



**3 pav.** Medinio karkaso modulis (<https://inhabitat.com>)

- Metalo karkaso moduliai – moduliai gaminami iš metalinio karkaso ir yra skirti tiek mažaaukščiams, tiek daugiaaukščiams statiniams. Metalo karkasas projektuojamas atsižvelgiant į būsimas apkrovas. Karkaso elementai tarpusavyje gali būti jungiami varžtinėmis jungtimis arba suvirinami.



**4 pav.** Metalo karkaso modulis (Lawson and Ogden, 2008)



- Monolitinio gelžbetonio moduliai – tai gamykloje stendinės gamybos technologijos būdu pagaminti gelžbetoniniai moduliai su jau suformuotomis angomis.



**5 pav.** Monolitinis daugiaaukštis gyvenamasis namas Voroneže, Rusija (Modular buildings in modern construction, 2016)

#### 1.1.4. Skirtingo dydžio modulių konfiguracija

Moduliniai namai gali būti statomi visoms reikmėms ir skirtingų dydžių. Statomas namas gali būti nuo vieno modulio dydžio iki aukštybinių pastatų, skirtų gyvenamajai arba komercinei veiklai. Moduliniai namai gali būti šių tipų:

- Moduliai kraunami vienas ant kito – tai yra dažniausiai naudojamas modulių namų statybos būdas skirtas statyti žemo aukštingumo pastatams. Moduliai yra dedami vienas ant kito ir tarpusavyje sujungiami, taip sukuriant vienalytę konstrukciją. Moduliai įprastai yra montuojami tarp jų paliekant išilginį tarpą tarp jų kuris vėliau tampa koridoriumi. Tai leidžia lengvai prižiūrėti modulių jungtis ir inžinerinę įrangą.



**6 pav.** 23 modulių daugiaaukščio gyvenamojo namo statyba (MBI, 2012)

- Modulinis pastatas su šerdimi - šerdys naudojamos apkrovoms perduoti į pamatą, taip leidžiant didinti pastato aukštį iki vidutinio arba didelio aukštingumo. Moduliai paprastai yra išdėstomi aplink šerdį dviem būdais. Pirmuoju būdu, moduliai išdėstomi aplink šerdį naudojant įtemptas jungtis, antruoju būdu moduliai išdėstomi tarp jų suformuojant koridorių ir jungiant juos tvirtinimo elementais. Modulių jungtys paprastai yra suprojektuotos taip, kad aprovos būtų perduodamos į šerdį arba koridorių. Šerdies konstrukcija yra labiausiai paplitusi konstrukcinė sistema, naudojama aukštiems moduliniam pastatams statyti. 7 paveiksle. parodyta 19-os aukštų modulinio pastato statyba. Šerdis gali būti įrengiama iš monolitinio betono arba iš surenkamų elementų.



**7 pav.** Šerdies įrengimas, Viktoria Hall, UK (MBI, 2013)

- Hibridinis modulis, skydas ir pirminis plieninis karkasas – hibridinis modulis apima ir sujungia plieninio rėmo ir 2D arba 3D modulių privalumus į vieną. Plieninis rėmas paprastai yra naudojamas kaip stabilizavimo konstrukcija ir suteikia daugiau laisvės projektuotojui planuojant vidines erdves. 2D modulinės plokštės (skydai) gali būti naudojami didesnėms erdvėms, o 3D moduliai dažniausiai naudojami vietoms, tokioms kaip sanitariniai mazgai.

Yra dvi pagrindinės hibridinių modulių pastatų formos projektuojant (Lawson et al., 2005): Podiumo struktūra` - toks statinys yra mišrios komercinės / gyvenamosios paskirties patalpoms. Pirmi du aukštai yra metalinio arba gelžbetoninio karkaso, skirti komercinei veiklai. Toliau virš podiumo montuojami apkrovas laikantys moduliai, kurie yra gyvenamosios paskirties.

Skeleto struktūra – tokia konstrukcija yra naudojama užtikrinti aukšto išplanavimo lankstumui. Viršutinei konstrukcijai ir rėmui naudojamas metalinis karkasas suformuoti numatytoms erdvėms. Tada moduliai pateikiami pagal poreikį. Naudojami apkrovas laikantys ir nelaikantys moduliai.



**8 pav.** Hibridinis modulinis pastatas (Lawson and Ogden, 2008)

8 paveikle pavaizduotas namas pastatytas Lillie Road, Fulham, Didžioji Britanija. Šis hibridinis namas pastatytas iš lengvo metalinio karkaso skydų (sienos ir grindys) su vonios moduliais. Pastatas yra 6 aukštų, o per statybos laikotarpį buvo sutaupyta 16 savaitių, kai statant tradicinių būdu statyba būtų trukusi 68 savaites.

#### 1.1.5. Statybos procesas

Modulinė statyba – tai procesas, kurio metu gamykloje yra gaminami keli to paties namo moduliai ir tuo pačiu metu yra vykdomi statyb vietės paruošimo darbai bei pamatų įrengimas.



**9 pav.** Daugiaaukščio modulinio namo statyba bokštiniu kranu (<https://www.bca.gov.sg>)

Modulinių namų statybos procesą nuo projektavimo iki užbaigimo sudaro 7 žingsniai: projektavimas, inžinerinė dalis, leidimai ir patvirtinimai, statybvietės įrengimas, modulių gamyba, transportavimas ir montavimas.

### *Projektavimas*

Modulinio pastato projektavimo procesas sukuria pastato aprašymą, kurį dažniausiai sudaro išsamūs planai ir specifikacijos. Taip pat yra atliekama kruopšti klientų konsultacija su projekto vadovu renkant informaciją pastato planams parengti. Dažniausiai pasitaikantys klausimai yra šie:

- Koks projekto biudžetas?
- Ar yra įsigytas žemės sklypas?
- Ar pastatas skirtas laikinam ar nuolatiniam naudojimui?
- Kaip greitai bus pastatytas pastatas?
- Kokio ploto pastatas turi būti?
- Kiek modulių reikės pastatui?
- Kiek sanitarinių mazgų bus pastate?
- Ar pastate reikia ugnies slopinimo sistemų?
- Kokia kryptimi pastatas turi būti orientuotas?
- Kokia turi būti vidaus ir išorės apdaila?
- Kokie pamatai yra tinkamiausi?
- Kokio tipo stogas pageidaujamas?

Išanalizavus kliento reikalavimus parengiamas modulinio pastato projektas atitinkantis kliento poreikius.

### *Inžinerija*

Kaip ir tradicinės statybos pastatai, moduliniais pastatams yra taikoma daug valstybinės ir vietinės reikšmės statybos taisyklių, kurios užtikrintų pastato saugos ir eksploatacijos standartus. Rangovas turi užtikrinti, kad eksploatacijos metu pastatas atitiktų galiojančius standartus ir taisykles.

Kai inžinerijos apžvalga yra baigta, inžineriniai dokumentai siunčiami patvirtinti nepriklausomai trečiai šaliai.

### *Leidimai ir patvirtinimai*

Statybos leidimas – tai dokumentas, kuriuo kompetetinga institucija suteikia statytojui teisę įgyvendinti statinio projektą. Pastato savininkas yra atsakingas už statybos leidimų gavimą. Tačiau

daugelis užsakovų skiria generalinį rangovą kaip įgaliotą atstovą, todėl rangovas gali gauti reikiamus leidimus. Nesugebėjimas gauti tinkamų leidimų gali sukelti didelių baudų ir netgi neteisėtos statybos nugriovimą.

### *Statybvietės įrengimas*

Vienas iš modulinės statybos privalumų yra tai, kad vykdant statybvietės ir pamatų įrengimo darbus moduliai jau yra gaminami gamykloje ir ruošiami gabenimui į statybos aikštelę. Projektai yra sukurti pagal įvairius geografinius parametrus. Tipiškas statybvietės įrengimas apima šiuos procesus: geodezija, griovimas, kasimas, aikštelės drenažas, pamatų įrengimas, komunikacijų įrengimas.

### *Modulių gamyba*

Visų modulių gamyba prasideda nuo karkaso montavimo, kurio įrengimo metu yra suformuojamos iš anksto numatytos durų ir langų angos. Toliau yra apšiltinamos sienos, grindys ir stogas. Sekančiu žingsniu modulyje yra įrengiamos visos inžinerinės komunikacijos (vandentiekis, nuotekos, elektra). Tolimesniu etapu yra vykdomi modulio vidaus ir išorės apdailos darbai. Galiausiai modulis yra paruošiamas transportavimui į statybos aikštelę, kurioje bus montuojamas.

Modulių gamybos metu gamykloje kiekvienas modulis yra atidžiai patikrinamas trečiosios šalies tikrinimo agentūros, kuri užtikrina, kad moduliai būtų pastatyti pagal technologiją ir laikantis visų jiems keliamų reikalavimų.

### *Transportavimas*

Modulių transportavimą dažniausiai riboja jų matmenys, dėl kurių gali kilti sunkumų juos transportuojant sausumos transportu, todėl moduliai dažniausiai yra apriboti matmenų pagal kuriuos jie yra gaminami. Jei moduliai yra nestadartinių matmenų, tada yra numatomi keliai, kuriais juos galima gabenti nesudarant eismo spūsčių, naudojama policijos palyda, pakeliamos trukdančios komunikacijos arba transportuojama nakties metu.

Projekto apimtis ir modulių dydis lemia, kaip moduliai yra perkeltami į statybos aikštelę. Dideliems projektams, kuriuos sudaro dešimtys modulių, pristatymas gali vykti etapais. Tokiu atveju, gali būti sudaromas modulių transportavimo grafikas, kad rangovas modulius galėtų tiekti logiška seka ir neturėti prastovų.

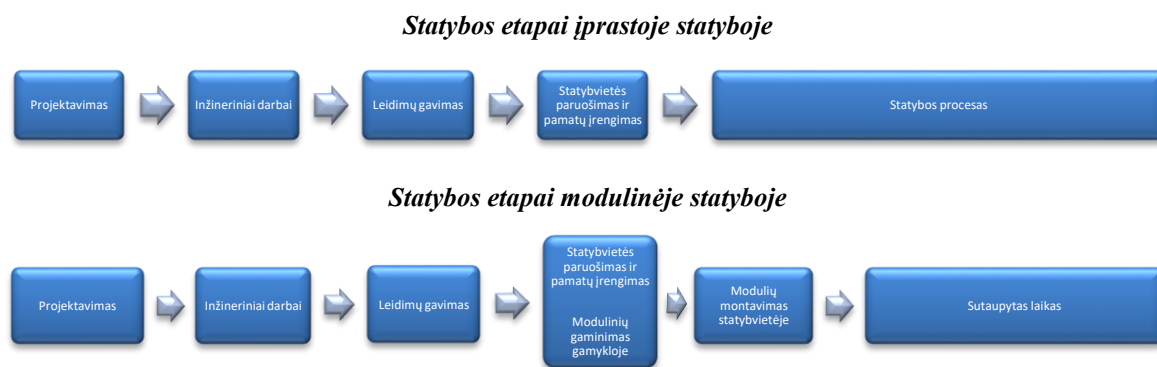
## Montavimas

Generalinis rangovas dažniausiai būna toks, kuris specializuojasi moduliųjų namų statyboje. Moduliųjų montavimui dažniausiai yra naudojamas kranas. Sumontavus modulius vykdomi galutiniai apdailos darbai, sujungiamos visos komunikacijos tarp moduliųjų (elektros, vandentiekio, šildymo, vėdinimo), pastatomi laiptai, rampos, sujungiamos grindys. Baigus jungti tarpusavyje modulius ir komunikacijas, namas praktiškai nesiskiria nuo tradiciniu būdu pastatyto namo.

### 1.1.6. Darbų grafikas

Vienas iš svarbiausių modulinės statybos privalumų – laikas. Kitaip tariant, moduliųjų gamyba ir statybos aikštelės paruošimo bei pamatų įrengimo darbai vyksta vienu metu. Be to, darbų grafikas neveluoja dėl blogų oro sąlygų ir rizika, kad statybvietėje įvyks vagystė tampa minimali.

Modulinė statyba gali būti išeitis statant pastatus, kur darbų negalima atidėti ar jų paslinkti tolyn, pavyzdžiui, švietimo sektoriuje arba jau veikiančioje įstaigoje, kurioje negalima trukdyti jos veiklos (pvz., sveikatos apsaugos sektorius). Modulinė statyba gali sutaupyti apie 50% statybos laiko, lyginant su tradicine statyba. Pavyzdžiui, „Zenga and Javor“ (2008 m.) teigia, kad modulinio būsto statybos laikas buvo 4 mėnesiai, o įprastai statant namą statyba būtų trukusi 14 mėnesių. Taip pat, projektavimo, inžinerių sistemų ir leidimų gavimas truko 10 mėnesių, o įprastam projektui būtų trukę 21 mėnesį.



**10 pav.** Laiko taupymas modulinėje statyboje (Kamali and Hewage, 2016)

**1 lentelė.** Įgyvendinti daugiaaukščių modulinų namų projektai (Ramboll Group, 2015)

<b>Eil. Nr.</b>	<b>Projekto pavadinimas</b>	<b>Vieta</b>	<b>Aukštų skaičius</b>	<b>Paskirtis</b>
1	B2 BLYN	Brooklynas, JAV	32	Gyvenamasis
2	T30 Hotel	Čangša, Kinija	30	Viešbutis
3	Victoria Hall, Wolverhampton	Vulverhamptonas, Jungtinė Karalystė	25	Studentų bendrabutis
4	SOHO Apartments	Darvinas, Australija	29 (21)	Gyvenamasis / Viešbutis
5	Hilton Palacio Del Rio Hotel	San Antonijus, JAV	21	Viešbutis
6	Wembley BNCE	Vemblis, Jungtinė Karalystė	19	Viešbutis
7	Paragon Development	Brentfordas, Jungtinė Karalystė	17	Studentų bendrabutis
8	Nanyang Technical University (NTU) North Hill Hostel	Singapūras	13	Studentų bendrabutis
9	The Crescent, Plymouth	Plimutas, Jungtinė Karalystė	13	Studentų bendrabutis

#### 1.1.7. Pritaikomumas įvairioms vietoms ir pageidaujamo dizaino parinkimas

Šiuo metu modulinė statyba gali būti pritaikoma įvairios paskirties pastatams. Dažniausiai modulinė statyba naudojama šiems pastatų tipams: sveikatos priežiūros, mokslo įstaigos ir pasikartojančius panašaus išplanavimo pastatus (gamybos, mažaaukščiai biurai, viešosios paskirties statiniai).

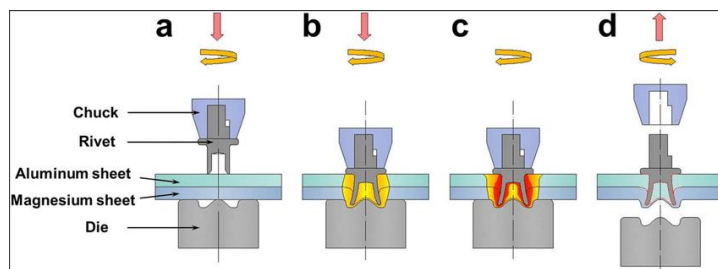
Sveikatos priežiūra – tai sektorius, kuriame modulinė statyba yra gerai pritaikoma. Ligoninės patalpų interjero išdėstymas leidžia efektyviai naudoti modulius, dėl pasikartojančio patalpų išdėstymo ir trumpesnio statybos laiko.

Bendrabučiai ir švietimo įstaigos – kaip ir sveikatos priežiūros pastatai, švietimo įstaigos turi puikias savybes, kurios palengvina modulių pritaikymą jų statyboje. Bendrabučių kambariai ir įvairios srities mokymo įstaigų klasės, dėl savo išplanavimo leidžia efektyviai naudoti modulius ir taip sutaupyti laiko.

#### 1.1.8. Modulių tarpusavio jungimo būdai

Modulių montavimas statybvietėje yra sudėtingas procesas, nes reikia užtikrinti: tikslų modulių susijungimą su pamatu, tarpusavio sujungimą bei elektros, vandens ir kitų vidaus komunikacijų tikslų susijungimą tarpusavyje.

Yra du pagrindiniai modulių jungčių tipai: gamykloje pagamintos jungtys, kaip gamybos operacijos dalis ir vietoje įrengtos jungtys, t.y. statybos aikštelėje įrengtas jungimo būdas. Tradicinės rėminimo, sienų plokščių, stogo elementų ir kartais grindų plokštės yra surenkamos naudojant šiuos jungimo būdus: įvairius savisriegius ir savigręžius varžtus, suvirinant, kniedijant, kniedijant savarankiškai prisitvirtinančios kniedės.

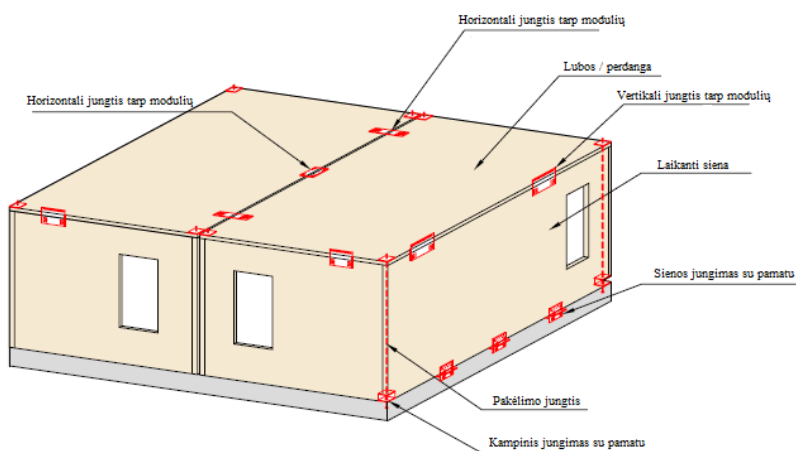


**11 pav.** Savarankiškai prisitvirtinančios kniedės (<https://www.researchgate.net/>)

Suvirintos zonos turėtų būti vėliau apsaugotos cinku prisotintais dažais. Kiti metodai nepažeidžia sluoksnių, todėl nereikalauja papildomos apsaugos.

Šiuo metu pirmenybė taikoma savarankiškai prisitvirtinančioms kniedėms dėl turimo palyginti didelio tvirtumo. Tačiau šis būdas netaikomas, kuomet sujungimo yra sudėtingas. Todėl kartais naudojamos įvairios tvirtinimo detalės. Kitais atvejais, dažniausiai yra naudojami įvairūs varžtai dėl paprasto jų panaudojimo.

Moduliuose taip pat yra įrengiami kėlimo taškai, kurie dažniausiai būna kampuose.



**12 pav.** Galimos modulių jungimo vietos (Building Systems by Stora Enso, 2016)

Moduliai tarpusavyje gali būti jungiami įvairiomis jungtimis nuo medinių kaiščių (jei tai medinio karkaso moduliai) iki varžtinių jungčių ar net suvirinimo tarpusavyje.





### 1.1.9. Privalumai ir trūkumai

Daug tyrimų buvo atlikta siekiant parodyti modulinį namų privalumus. Modulinės statybos technologijos privalumai, lyginant su tradicine statybos technologija, pateikiami 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Modulinės statybos privalumai, lyginant su tradicine statyba (Kamali and Hewage, 2016)

Kriterijus	Privalumas
Laikas	sinchronizuoti aikštelės paruošimo darbai ir modulių gamyba
	nėra trikdžių dėl oro sąlygų
	mažiau vagysčių iš statybų aikštelės dėl trumpesnio darbų grafiko
Išlaidos	sumažėja darbuotojų transportavimo išlaidos
	sumažėja transporto kiekis į statybos aikštelę
	didelis medžiagų užsakinėjimas gaunant nuolaidas
	darbo jėgos sumažėjimas statybvietėje
	pagreitėja projekto atsiperkamumas dėl trumpesnio darbų grafiko
	pridėtinių išlaidų ir technikų sąnaudų paskirstymas
	išvengiama brangaus objekto vėlavimo
Saugumas	sumažėja pavojingų darbų kiekis
	mažiau darbo nepalankiu oru
	sumažėjęs darbo laikas statybvietėje
	nėra grūsties aikštelėje
Kokybė	aukštos kokybės gaminys
	aukštesnė kokybė gaminant gamykloje
	pasikartojantys procesai ir operacijos
	automatizuota technika
	specializuota darbo jėga
	naudojamos aukštos kokybės medžiagos, kad būtų galima transportuoti
	medžiagos mažiau paveikiamos blogų oro sąlygų
Darbo našumas	reikia mažiau kvalifikuotos darbo jėgos
	aukštas procesų organizuotumas
	geresnė priežiūra
	mažiau laiko intervalų
	darbo jėgos stabilumas
Aplinkosauga	atliekų susidarymo mažinimas ir tvarkymas
	mažiau trikdžių aikštelėje (pvz. triukšmas ir dulkės)
	efektyvus sklypo naudojimas
	šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimas

Tyrimai parodė, kad dirbant gamykloje darbo našumas išauga iki 30%, lyginant su tradicine statyba. Taip pat darbe sumažėja nelaimingų įvykių rizika. Moduliniai pastatai dažniausiai yra suprojektuoti taip, kad prireikus būtų galima greitai pridėti arba pašalinti vieną ar kelis modulius, taip sumažinant išskylančius statybos nepatogumus aplinkui pastatą. Modulinę konstrukciją galima įrengti pagal tuos pačius vietinius statybos standartus, o konstrukcijos kokybė gaunasi tokia pat arba net geresnė ir įgyvendinta per trumpesnę laiko tarpą, lyginant su tradicinės statybos būdu. Be to sutrumpėjęs darbų kalendorinio vykdymo grafikas leidžia pastatui atsipirkti greičiau, tuo pačiu sumažinant riziką, kad statybos užsitęs.

Akivaizdu, kad medžiagų atliekų kiekis yra taip pat mažesnis. Tačiau didžiausia ekologinė nauda – tai transporto priemonių atvykimo į statybos aikštelę sumažėjimas. Moduliniai namai atitinka šiandieninius BREAM arba LEED (projektuojamas ir statomas laikantis tarptautinio BREAM arba LEED aplinkosaugos sertifikato standartų) standartus.

Nors modulinė statyba išsiskiria savo privalumais, lyginant su tradicine statyba, turi ir tam tikrų trūkumų (žr. 4 lentelė).

**4 lentelė.** Modulinės statybos trūkumai, lyginant su tradicine statyba (Kamali and Hewage, 2016)

Kriterijus	Trūkumas
Projekto planavimas	reikia detalesnio išankstinio projekto planavimo
	daugiau inžinerinio personalo pastangų
	sunku padaryti pakeitimus vėlesnėse stadijose
Transporto apribojimai	modulių matmenų apribojimai
	sunkiau transportuoti modulius didesniu atstumu
	uždelsimas muitinėse, transportuojant į kitas šalis
Neigiamas suvokimas	neigiamas naujo statybos būdo supratimas
Apribojimai statybvietėje	pigios darbo jėgos prieinamumas aplinkui
	išmanančių inžinierių ir dizainerių buvimas
Koordinavimas ir komunikacija	reikia didesnio projekto koordinavimo visuose etapuose
	reikia daugiau bendravimo tarp investuotojų
Pradinė kaina	reikia didesnio pradinio kapitalo

Taip pat yra išskiriami ir šie modolinių namų trūkumai:

- dideli gabaritai – aukštis nuo grindų iki grindų ir sienų storis;
- šiek tiek ribotos atramos ir konfigūracijos;
- ateityje busimos renovacijos tampa sudėtingesnės.

Vienas iš didžiausių trūkumų – tai patalpų dydžio apribojimai. Modulinis namas gali būti didelis, bet jame esančios patalpos bus ribojamos modulių matmenų. Modulio matmenys negali būti itin dideli, kitaip jį bus sudėtinga transportuoti į statybos aikštelę. Nors ilgis paprastai nėra labai ribojamas, lyginant su modulio pločiu.

Moduliniai namai dažniausiai turi būti finansuojami iš anksto. Daugeliu atvejų bankas neduos paskolos, kol nebus įgyvendintas bent pradinis statybos etapas. Tai reiškia, paskolą gali suteikti ir modulių gamintojas, tačiau su didesne palūkanų norma nei bankas.

Kai kurie namų pirkėjai ir skolinančios įstaigos, prieštarauja tam, kad moduliniai namai būtų laikomi lygiaverčiais tradiciškai pastatytiems namams. Įsitvirtinę psichologiniai rinkos veiksniai gali sukurti kliūtis pirkėjams ir investuotojams. Jungtinėje Karalystėje ir Australijoje moduliniai namai tam tikruose regionuose tapo priimtini, tačiau paprastai nėra statomi didžiuosiuose miestuose. Japonijoje moduliniai namai tampa vis labiau paplitę dėl pagerėjusio dizaino ir kokybės, greitos statybos ir kompaktiškumo, taip pat dėl išlaidų mažėjimo ir paprastumo remontuojant po žemės drebėjimų. Naujos inovacijos leidžia modulinius namus atskirti nuo tradiciškai statytų namų, tačiau žmonės retai gali atskirti juos.

#### 1.1.10. A, A+ ir A++ klasės energinis naudingumas

Pastato energinis naudingumas – tai yra reikalingas energijos kiekis eksploatuojant pastatą pagal paskirtį, kuris yra išreiškiamas pastato energijos vartojimo rodikliu ir žymimas raide C. Pagal statinių energinio naudingumo klasių skirstymo duomenis, A klasės namo  $C < 0,5$ , o A+  $C < 0,375$ . A ir A+ klasės namų privalumas – aukšta statinio kokybė, o sunaudojamos energijos didelė dalis yra gaunama iš atsinaujinančių šaltinių.

Norint, kad pastatas būtų priskirtas A arba A+ energinio naudingumo klasei pastatas turi turėti geras šilumines savybes, sandarumą, būti be šalčio tiltelių, turėti kokybiškus ir šilumai nepralaidžius langus ir įdiegtą mechaninę vėdinimo sistemą.

**5 lentelė.** Gyvenamojo namo (jo dalių) šiluminės savybės, išreiškiamos konstrukcijų šilumos laidumo koeficientais, kai koeficientai yra pateikiami  $m^2K/W$  išraiška (<http://www.plokstuminiaipamatai.lt>)

Konstrukcija	A energinio naudingumo klasė	A+ energinio naudingumo klasė	A++ energinio naudingumo klasė
Stogas	0,10 $m^2K/W$	0,09 $m^2K/W$	0,08 $m^2K/W$
Su išore besiribojančios perdangos	0,10 $m^2K/W$	0,09 $m^2K/W$	0,10 $m^2K/W$
Su gruntu besiribojančios šildomų patalpų atitvaros	0,14 $m^2K/W$	0,12 $m^2K/W$	0,10 $m^2K/W$
Perdangos virš nešildomų rūsių	0,14 $m^2K/W$	0,12 $m^2K/W$	0,10 $m^2K/W$
Išorinės sienos	0,12 $m^2K/W$	0,11 $m^2K/W$	0,10 $m^2K/W$
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	1,0 $m^2K/W$	0,85 $m^2K/W$	0,70 $m^2K/W$
Durys, vartai	1,0 $m^2K/W$	0,85 $m^2K/W$	0,70 $m^2K/W$
Papildomi reikalavimai			
Rekuperatoriaus energinio naudingumo koeficientas	$\geq 0,65$	$\geq 0,80$	$\geq 0,90$
Pastatų sandarumas	$\geq 0,60$		
Buitiniai prietaisai ir apšvietimas	Energiją taupantys buitiniai prietaisai, LED apšvietimas		
Šiluminės energijos sąnaudos	Energijos sunaudojimas labia mažas arba beveik lygus nuliui. Didžiąją sunaudojamos energijos dalį sudaro atsinaujinančių išteklių energija, įskaitant vietoje ar netoliese pagamintą atsinaujinančių išteklių energiją.		

*Sandarumas* – siekiant aukšto sandarumo name, reikia sandariai sujungti atskiras namo konstrukcijas ir mažinti šalčio tiltelių kiekį. Sandarus namas užtikrina ne tik pastovią temperatūrą viduje, bet ir triukšmo lygio sumažinimą. Mažai energijos naudojančiuose namuose garso lygis siekia 25 db (A klasė). Norint pasiekti A klasės energinį naudingumą kokybės nebeužtenka, todėl siekiant padidinti sandarumą yra naudojamos sandarinimo juostos ir atliekamas namo sandarumo testas.

Sandarumo testas – tai tyrimas, kurio metu nustatomas pastato sandarumo lygis ir nustatomos tikslios nesandarios konstrukcijos vietos. Nustatytas sandarumo lygis lyginamas su techniniuose standartuose nurodytomis normomis ir pateikiamas sandarumo bandymo protokolais, jei pastatas atitinka keliamus reikalavimus tada jis priskiriamas A, A+ ar A++ energinei klasei. Sandarumo testo metu specialia įranga pastate padidinamas arba sumažinamas slėgis ir nustatomos šilumos nutekėjimo vietos. Sandarumo testas leidžia greitai įvertinti namo sandarumą.

Rodiklis, žymintis oro apsikeitimo (natūralios infiltracijos) lygį mažai energijos naudojančiuose statiniuose (atitinka A, A+, A++ energinio naudingumo klases) yra  $n_{50} \leq 0,6h-1$ .

**6 lentelė.** Norminės oro apykaitos  $n_{50, N}$  (1/h) vertės esant 50 Pa slėgių skirtumui (www.irmus.lt)

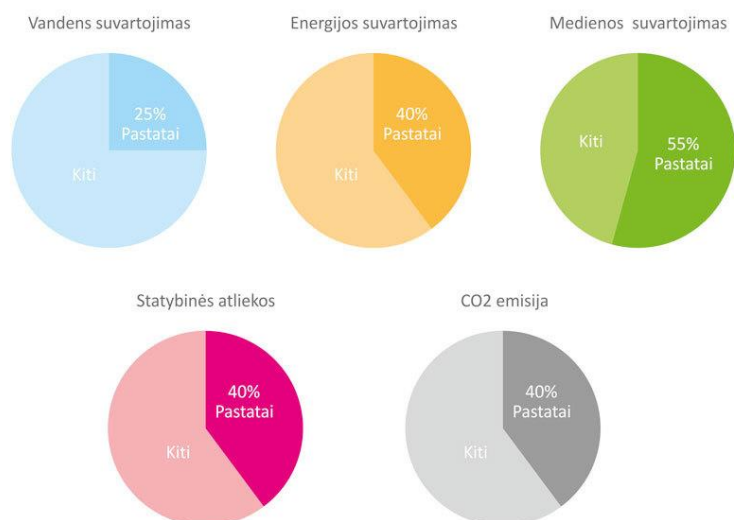
Eil. Nr.	Pastato paskirtis	Pastato energinio naudingumo klasė	$n_{50, N}$ , (1/h)
1	Gyvenamosios, administracinės, mokslo ir gydymo	C	2
		B	1,5
		A	1
		A+, A++	0,6
2	Maitinimo, prekybos, kultūros, viešbučių, paslaugų, sporto, transporto, specialioji ir poilsio	C, B	2
		A	1,5
		A+, A++	1

*Atsinaujinantys energijos šaltiniai* - norint pasiekti aukštą energiškai efektyvių namų klasę turi būti naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai: vėjas, saulės energija, aeroterminiai, hidroterminiai ir geoterminiai ištekliai, biomasė, biodujos. Atsinaujančių energijos šaltinių naudojimas priklauso nuo kiekvieno individualaus projekto, šalies, kurioje statomas namas ir klimato sąlygų.

*Mechaninė vėdinimo sistema* - energiškai efektyviuose namuose įrengtos mechaninės vėdinimo sistemos turi būti aukštos kokybės ir didelio našumo, kad sukurtų komfortišką ir malonų gyvenimui mikroklimatą. Tinkamai įrengta vėdinimo sistema užtikrina gryno oro tekėjimą ir pastovios temperatūros namo viduje palaikymą, nesudaro skersvėjų ir iš vidaus patalpų pašalina susikaupusias dulkes ar kitas smulkias, ore esančias, daleles.

#### 1.1.11. BREEM ir LEED statyboje

Šiandieniniame didelį tempą turinčiame pasaulyje darnus, tvarus vystymasis (angl. Sustainable development) tampa labai svarbiu faktoriumi, norint apibrėžti kokybiškus pastatus, kurie kuria švarią aplinką žmogui ir mažina neigiamą poveikį gamtai. Statybos sektorius yra vienas iš didžiausių aplinkos teršėjų ir energijos vartotojų. Šis sektorius suvartoja 25 % geriamojo vandens, 40% energijos ir 55% medienos. Taip pat pagaminama 40% statybinių atliekų ir išskiriama 40% CO<sub>2</sub> emisijos.



**13 pav.** Pastatų poveikis aplinkai (<http://lt.lt.allconstructions.com>)

Pastatų planavimas, statyba ir eksploatavimas, turi tiesioginės įtakos klimato kaitai. Būtent todėl sukurtos sistemos, skatinančios statyti pastatus, kurie skleistų kuo mažiau anglies dvideginio ir darytų kuo mažesnę įtaką klimato kaitai. Tvarios statybos strategijos kūrimo daug dėmesio yra skiriama socialinei aplinkai: atsakingam projekto vystymui, komunikacijai su vietos bendruomene, naujos stiprios ir socialiai atsakingos bendruomenės kūrimui. Tvari statyba apima tris aspektus - ekonominį, socialinį ir aplinkosauginį. Visi jie yra integruoti į juos supančią natūralią aplinką bei visuomenę. Kad pastatus galima būtų objektyviai įvertinti šiais aspektais, pasaulyje buvo sukurtos sertifikavimo sistemos. Populiariausios iš jų yra BREEAM ir LEED.

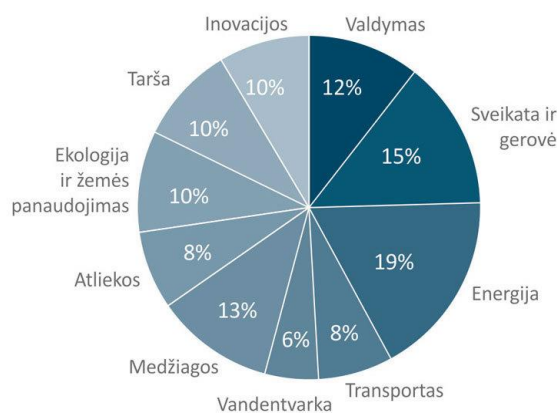
BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) vertinimo metodas buvo sukurtas 1990 m. Didžiojoje Britanijoje. Tai vienas plačiausiai taikomų metodų vertinant pastatų poveikį aplinkai. BREEAM sertifikatus turi daugiau nei 400 tūkst. pastatų pasaulyje ir daugiau nei milijonas yra registruotų sertifikavimui. Šis vertinimas apima platų spektrą kategorijų ir kriterijų - nuo energijos iki ekologijos: energija ir vandens suvartojimas, vidaus aplinka (sveikata ir gerovė), tarša, transportas, medžiagos, atliekų tvarkymas, ekologija, valdymo procesai.

BREAM taip pat atkreipia dėmesį į įvairias darnumo ir aplinkos problemas tam, kad planuotojai ir pastatų valdytojai galėtų pademonstruoti pastatų poveikio aplinkai charakteristikas klientams, planuotojams ir kitoms suinteresuotoms šalims. Vertinimo sistema naudoja nesudėtingus, moksliniais tyrimais paremtus skaičiavimus. Vertinimo metodai gali būti įvairiomis formomis: pagal kiekvienai šaliai skirtas schemas, pagal vietos sąlygas, tarptautines schemas, kurios skirtos sertifikuoti atskiriems projektams vykdomiems įvairiose šalyse.

1998 m. JAV žaliųjų pastatų taryba sukūrė savą vertinimo metodiką - LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*). Tai balų skaičiavimo sistema, vertinanti aplinkai palankius veiksmus pastato statybos ir naudojimo metu. LEED metodu siekiama įvertinti pastato darnumą žmogaus sveikatai ir aplinkai svarbiais požūriais. LEED vertina darnų požūrį į pastatą pagrindinėse srityse: sklypai, vandens vartojimo efektyvumas, energija ir atmosfera, medžiagos ir ištekliai, vidaus aplinkos kokybė, naujovių projektavimas, regiono prioritetas. Šis vertinimo metodas gali būti taikomas bet kurioje pastato gyvavimo ciklo fazėje. LEED standartu pasaulyje yra įvertinta daugiau kaip 50 tūkstančių pastatų.

BREEAM ir LEED standartai turi savo pranašumų ir skirtumų, tačiau europoje plačiau yra naudojama BREEAM sistema.

Projektuojant ir sertifikuojant pastatus pagal BREEAM metodiką, yra vertinamos šios kategorijos: energija, sveikata, valdymas, inovacijos, tarša, ekologija, atliekos, medžiagos, vandentvarka, transportas.



**14 pav.** Kategorijų svarbumas procentais pagal BREEAM (<http://lt.lt.allconstructions.com>)

Pastato vertinimas apima visus pastato etapus: projektavimą ir statybas (medžiagų kilmė ir gamyba), eksploatavimą, utilizavimą ir perdirbimą.

Naudojant BREEAM sistemą nuo projektavimo stadijos, ji įpareigoja į procesą įtraukti visa komandą (architektus, inžinierius, konsultantus ir kitus projektuotojus), kurių bendras ir darnus darbas leidžia pasiekti aukščiausius rezultatus ir sukurti efektyviausius sprendimus, įgyvendinant tvarią pastato strategiją.

BREEAM pastato vertinimas ir sertifikavimas turi tris etapus:

- Pasirengimas vertinimui (*Pre assessment*) - šio etapo metu susipažįstama su vietovės apribojimais, sąlygomis ir galimybėmis. Rengiamos konsultacijos su pastato savininku ir projektavimo komanda, keliami tikslai ir ruošiamas tvari strategija užsibrėžtam BREEAM įvertinimui gauti.



- Projekto vertinimas (*Design stage*) – šio etapo metu vyksta projekto vertinimas, projektuotojų komandos konsultavimas, įrodymų rinkimas siekiamiems tvariams kriterijams įgyvendinti, ataskaitos ruošimas. Suteikiamas laikinasis BREEAM sertifikatas.
- Vertinimas baigus statybą (*Post Construction stage*) – šiame etape vertinamas jau pastatytas pastatas. Atsižvelgiama ar projektavimo etape numatytos visos technologijos ir tvarūs sprendimai buvo tinkamai įgyvendinti. Suteikiamas galutinis BREEAM sertifikatas.

Kiekviena BREEAM kategorija turi kriterijus, kuriuos įgyvendinus suteikiami kreditai. Surinktų kreditų skaičius turi įtakos pastato BREEAM įvertinimo lygiui. Galimi įvertinimai pateikti 7 lentelėje:

**7 lentelė.** BEAM kategorijų vertinimas pagal kreditus (<http://lt.lt.allconstructions.com>)

<b>BREEAM įvertinimas</b>	<b>Rezultatas, proc.</b>
Nevertinamas	<30
Patenkinamai	≥30
Gerai	≥45
Labai gerai	≥55
Puikiai	≥70
Ypač gerai	≥85

Pastatų vertinimą ir sertifikavimą atlieka trečioji šalis - „BRE Global“, įsikūrusi Jungtinėje Karalystėje, o vertinimo procesą gali atlikti bet kuris licencijuotas BREEAM tarptautinis vertintojas.

Jau įvykdytų BREAM projektų analizė rodo, kad tvarios pastato strategijos įgyvendinimui ir BREEAM sertifikato gavimui reikalingos papildomos investicijos siekia 5-12 proc. Investicijų dydis labai priklauso nuo pastato tipo, paskirties ir siekiamo BREAM įvertinimo lygio ir siekiamų tikslų. Praktika rodo, kad šios investicijos į tvarius sprendimus ir technologijas susigražinamos per 4-7 metus.

Šiuo metu Lietuvoje yra sertifikuotas vienas pastatas, kuris buvo vertinamas pagal BREEAM In-Use schemą - tai Kauno „Akropolis“. Tokia schema naudojama, kai vertinami jau pastatyti ir bent 2 metus eksploatuojami pastatai. Kauno „Akropolį“ vertino ir sertifikatą rengė vokiečių bendrovė „ES EnviroSustain GmbH“. Pastato konstrukcija, medžiagos, inžinerinė ir techninė dalys buvo įvertintos „Gerai“, o pastato valdymas, procedūros ir praktikos, susijusios su pastato eksploatacija, pagrindinių energijų suvartojimas (vandens, šilumos, elektros), poveikis aplinkai (CO<sub>2</sub> emisija ir atliekų strategija) gavo įvertinimą „Patenkinamai“.

Modulinė statyba ir šie standartai yra neatsiejami, dėl modulinės statybos privalumų, kurie atitinka šių standartų keliamus reikalavimus.

## 1.2. Modulinėje statyboje taikomos inovacijos

### 1.2.1. Ten Fold moduliai

Tai išsiskleidžiantys moduliai, kuriems pastatyti nereikia kranų, pamatų ir statybininkų. Modulis yra lengvai transportuojamas ir gali padidėti iki 3 kartų, lyginant su pradiniu dydžiu. Modulyje įrengtas mechanizmas, kuris sukuria įvairius erdvės ir išplanavimo derinius, jis veikia naudojant paprastą akumuliatorių. Šis namas gali būti įvairių formų ir išplanavimo, tačiau šis procesas yra grįžtamasis (t.y. namas gali susiskleisti atgal į pradinę savo formą). Modulio išsiskleidimas trunka iki 10 min, toliau modulis gali būti eksploatuojamas pagal numatytą paskirtį. Vienas toks modulis gali išsiskleisti iki 64m<sup>2</sup> plotą, o jei to nepakanka, moduliai gali būti sujungiami tarpusavyje, taip suformuojant dar didesnę pastatą (15 pav). Tokie moduliai gali būti naudojami kaip mobilūs pastatai – viešbučiai, mobilios prieglaudos, kilnojamos patalpos užkandinėms, laikinos patalpos verslui be pastovios vietos (statyboms).



**15 pav.** Ten Fold išsiskleidžiantis modulis (<https://www.designboom.com>)

### 1.2.2. Sulankstomi moduliai

Tai modulis, kuriame naudojamas netradicinis lankstymo būdas, palengvinantis transportavimą ir suteikia pastatui išskirtinę formą. Modulis yra sukurtas taip, kad būtų atsparus žemės drebėjimui, gali būti naudojamas įvairiai paskirčiai, pvz., sudaryti laikinas prekyvietes ar maisto tiekimo patalpas, įvairių sporto ar kitų renginių metu. Šį modulinį namą įrengti trunka mažiau nei dieną. Šiam namui nereikia pamatų, jei naudojamas laikinai, užtenka pastatyti ant lygaus paviršiaus. Modulis įrengiamas su vandentiekio, nuotekų, šildymo ir vėdinimo ir elektros sistemomis. Toks pastatas (standartinė versija)

yra B energijos klasės, tačiau galimos A ir A++ energinio naudingumo klasės. Toks namas gali būti statomas nuo 27m<sup>2</sup> iki 84m<sup>2</sup> ploto.



**16 pav.** Sulankstomas modulis (<https://www.madihome.com>)

### 1.2.3. 3D spausdinti moduliai

Tai moduliai, kurie yra gaminami gamykloje naudojant 3D spausdintuvą. Jie yra gaminami iš monolitinio betono arba stiklo pluošto, kuris yra paduodamas spausdintuvo dozatoriumi. Spausdintuvo dozatoriui judant pagal numatytą modulio formą yra suformuojamas modulis. Naudojant tokį gamybos būdą moduliai gali būti pagaminami 0,001 mm tikslumu.



**17 pav.** Namų statyba iš modulių, atspausdintų 3D spausdintuvu (<https://3dprint.com>)

### 1.2.4. Skersai klijuoto tašo mediena ir laminuota faneros mediena

#### **Skersai klijuoto tašo mediena**

Tai medienos gaminys, pagamintas iš kelių kartu suklijuotų kietojo pjautinio medžio masyvo sluoksnių. Kiekvienas sluoksnis orientuojamas statmenai gretimoms sluoksniams ir yra klijuojamas ant kiekvienos lentos pločio paviršiaus, paprastai simetriškai, todėl išoriniai sluoksniai turi tą pačią

orientaciją. Labiausiai paplitęs yra nelyginis sluoksnių skaičius, bet yra gaminamas ir vienodos konfigūracijos. Įprasta mediena yra anizotropinė medžiaga, o tai reiškia, kad fizinės savybės pasikeičia priklausomai nuo krypties. Priklijuojant medienos sluoksnius statmenai, plokštė gali pasiekti geresnį struktūrinį tvirtumą abiem kryptimis.

CLT(Cross Laminated Timber) pirmą kartą buvo sukurtas ir panaudotas Vokietijoje ir Austrijoje 1990m. pradžioje, tačiau tik 2000m. pradėjo populiarėti įvairiose pastatų sistemose. CLT stipriai pradėjo populiarėti, kai pradėjo trūkti seno augimo medienos.

Klijuotos medienos konstrukcijos, tai aukšto techninio lygio tiesūs ir lenkti mediniai elementai, suklijuoti iš 16-40mm lentjuosčių. Prieš klijuojant mediena yra išdžiovinama iki  $12\pm 2$  %. Tokios konstrukcijos yra tvirtos ir lengvos, nes laikančioji galia tenkanti konstrukcijos vienetui yra didesnė lyginant su metalo ar gelžbetonio konstrukcijomis.

Medienos klijavimas leidžia pagaminti 40 m ilgio nekarpytus klijuotos medienos elementus. Galima įvairi konstrukcijų forma, atitinkanti architektūrinius ir statinius reikalavimus. Klijuotos medienos konstrukcijos, lyginant su kitomis, atsparios drėgmės ir chemiškai agresyvios aplinkos poveikiui. Didesni klijuotos medienos konstrukcijų skerspjuviai užtikrina pakankamą konstrukcijos atsparumą ugniai. Padengus konstrukcijas antipireniais, pasiekama B-s1, d0 degumo klasė.

Gamtos sukurta mediena yra natūraliai atsinaujinanti žaliava, nereikalaujanti papildomų energijos sąnaudų.



**18 pav.** CLT (klijuoto tašo) mediena ([www.researchgate.net](http://www.researchgate.net))

### **Laminuota faneros mediena**

Tai medienos gaminys, sudarytas iš kelių tarpusavyje suklijuotų plonos medienos sluoksnių. LVL (Laminated veneer lumber) privalumas, lyginant su įprastine frezuoto pjovimo mediena - stiprumas, tiesumas, struktūros vienodumas. Dėl jos sudėties yra mažiau tikėtina, kad ji susisuks, išsilenks ar susitrauks. Ši medienos rūšis yra gana nauja inovacija. Tai yra naujų technologijų ir ekonomiško, siekiant panaudoti mažesnio dydžio medžius, kurių negalima naudoti vientisoms ir didelių gabaritų konstrukcijoms, rezultatas.

LVL yra panaši į standartinę fanerą, kuri buvo pradėta gaminti 19a., bet nedideliais kiekiais (dažniausiai baldų ar fortepijonų gamybai). Standartinės faneros kiekvienas atskiras sluoksnis keičia kryptį, LVL sluokniai visi dedami ta pačia kryptimi.



**19 pav.** Laminuotos faneros (LVL) mediena (<https://en.wikipedia.org>)

#### 1.2.5. Termoizoliacinės medžiagos

##### **Vakuuminė šilumos izoliacija**

Šioje aukšto efektyvumo termoizoliacinėje medžiagoje viduje sukurtas vakuumas, kuris sumažina medžiagos šiluminį laidumą. Plokštės viduje sudarytas vakuumas praktiškai eliminuoja šilumos laidumą, kuris vyksta dėl konvekcijos ir oro šilumos laidumo. Lyginant su įprastomis termoizoliacinėmis medžiagomis šis būdas yra nuo 5 iki 10 kartų efektyvesnis. Šios medžiagos šilumos laidumo koeficientas yra  $\lambda_D = 0,007 \text{ W/mK}$ . Ši termoizoliacinė medžiaga gali būti labai efektyviai pritaikoma ten, kur reikia pašalinti šilumos tiltus, negalima naudoti įprastų termoizoliacinių medžiagų arba kur siekiama išgauti kuo plonesnę konstrukcijos storį.

Plokštė sudaryta iš vidinio užpildo, vadinamo „branduoliu“, kuris įizoliuotas apsaugine plėvele. „Branduolio“ medžiaga ( $\text{SiO}_2$ ) turi 3 pagrindines funkcijas. Pirma, branduolys laiko plokščių sieneles. Antra, branduolio medžiaga slopina dujų molekulių judėjimą. Dalelės viduje yra  $0,02\mu\text{m}$  dydžio, kai polistireno putų dalelių dydis  $10\text{-}30 \mu\text{m}$ . Trečia, branduolio medžiaga užtikrina apsaugą nuo šilumos nutekėjimo dėl spinduliavimo ir turi savyje specialias medžiagas, kurios sugeria bei išsklaido infraraudonuosius spindulius.

Iš kosminių technologijų atkeliavusios plokštės naudojamos daugelyje pramonės sričių. Pavyzdžiui, krovinių transportavimas su temperatūros kontrole, namų bei pramoniniuose šaldikliuose, atitvarų izoliacijai statybose. Ši medžiaga gali būti naudojama kur reikalinga papildoma erdvė, tiksliai

temperatūros kontrolė, tolimų atstumų transportavimui išlaikant pastovią temperatūrą, siekiant sumažinti transporto tūriui bei svoriui. Naudojant šią termoizoliacinę medžiagą sutaupoma erdvė, kuri turi didelę ekonominę naudą renovuojant ir šiltinant pastatus iš vidaus, nes yra sutaupomi brangūs kvadratiniai metrai erdvės. Ši medžiaga taip pat gali būti naudojama stiklo paketuose, pastato fasaduose, instaliuojant ją aukštos temperatūros metalų ar keramikos lydymo krosnyse. Plokštės gali būti įvairių formų (atspalvio, lygio, kreivumo), taip suteikiant lankstumą projektuojant. Naudojant šias plokštes visos techninės angos turi būti iš anksto numatytos, nes šių plokščių pjaustyti ar kitaip keisti jų formas negalima. Plokščių storiai: nuo 10 iki 50 mm, žingsnis 5mm.



**20 pav.** Vakuuminė šilumos izoliacija (<https://www.ekspertai.lt>)

### **Aerogelio termoizoliacija**

Tai aerogelio pagrindu sukurta termoizoliacinė medžiaga, kurios varža ypatingai maža -  $\lambda_D = 0,016 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , o storis gali būti nuo 10 mm iki 40 mm. Ši medžiaga yra ženkliai pranašesnė lyginant su putų polistiroliu ar kitomis termoizoliacinėmis medžiagomis. Šios medžiagos minusas – tai labai aukšta kaina ir sudėtingas gamybos procesas. Nors šią medžiagą ir yra sudėtinga pagaminti, bet technologijos nestovi vietoje ir pastoviai yra išrandamas vis lengvesnis ir našesnis gamybos būdas. Iki šiol ši medžiaga buvo naudojama tik kosminiuose erdvėlaiviuose ir lėktuvuose. Aerogelio termoizoliacinė medžiaga pasižymi šiomis savybėmis:

- Ypatingai mažu šilumos laidumu -  $\lambda_D = 0,016 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;
- Gera garso absorbcija bei izoliacija;
- Difuzija - atvira vandens garų pralaidumui;
- Yra nedegi;
- Pjaustoma įprastu statybiniu peiliu;
- Aktyviai reguliuoja ir paskirsto drėgmę;

- Beveik neribotos apipavidalinimo galimybės;
- Klijuojama, armuojama bei tinkuojama silikatiniais tinkais



**21 pav.** Aerogelio termoizoliacija (<https://spinoff.nasa.gov>)

### **Celiuliozės termoizoliacija (ekovata)**

Lietuvoje ir kitose kaimyninėse šalyse po truputį ima populiarėti pastatų šiltinimas ekologiškais termoizoliacinėmis medžiagomis. Celiuliozės pagrindu gaminama termoizoliacija yra natūrali ir ekologiška medžiaga. Ši medžiaga yra pripažinta Europos sąjungoje ir patvirtina EOTA CE sertifikatu. Vokietijoje ši medžiaga vadinama „Izoflok“, Suomijoje – „Ekovila“, o Lietuvoje ši pastatų šiltinimo medžiaga jau trylika metų žinoma pavadinimu „Ekovata“.

Celiuliozės termoizoliacija yra organinė medžiaga, kuri yra gaminama iš celiuliozės pluošto, prisotinto netoksinėmis mineralinėmis druskomis. Medžiaga yra pilka arba balta, vatos pavidalo ir smulkiapluoštė, kurios sudėtyje yra mechaniškai susmulkintos makulatūros, boro rūgšties ir borakso mišinio. Medžiaga priskiriama sunkiai užsiliepsnojančių medžiagų grupei, kurios degumo klasė yra B-s1. Medžiagos sudėtyje yra daug antipireninių priedų (boro junginių), todėl ši medžiaga puikiai apsaugo ją padengtas medines konstrukcijas nuo užsiliepsnojimo. Taip pat ši medžiaga gali puikiai izoliuoja garsą. Pagrindinės medžiagos naudojimo vietos: stogas (status, lėkštas, plokščias), išorinės ir vidinės sienos, perdengimai tarp aukštų. Pagrindinės šilumą izoliuojančios medžiagos savybės:

- Ekologiška termoizoliacija;
- Priima ir atiduoda drėgmę, todėl gerai apsaugo medines konstrukcijas nuo drėgmės;
- Apdirbta boru, todėl jos nekenčia graužikai ir yra nedegi.

Kitas labai svarbus medžiagos privalumas – norint naudoti šią medžiagą nereikia gadinti atitvarų apdailos, nes medžiaga gali būti tiesiog įpučiama į vidų. Taip pat šiltinant pastatą celiuliozės termoizoliacija nereikia dėti drėgmę izoliuojančių plėvelių, nes ši medžiaga dėl jos organinės medžio – celiuliozės sudėties nekaupia savyje drėgmės.

Tyrimais įrodyta, kad tinkamai sumontavus, bet kokios medžiagos apšiltinimo sluoksnyje lieka 4 proc. siūlinės tuštumos, o tai gali lemti 50 proc. šilumos netektį bei papildomos energijos švaistymą. „Ekovata“ sudaro smulkus medžio pluoštas, todėl, apšiltinant pastatų konstrukcijas nelieka jokių plyšių ar tarpų. Apskaičiuota, kad idealiomis sąlygomis, tinkamai eksploatuojant pastatą „Ekovata“ būna nepriekaištingai patvari apie 50 metų.



**22 pav.** Celiuliozės (Ekovatos) šilumos izoliacija (<http://iti.vgtu.lt>)

### **PF-PIR poliuretano termoizoliacija**

Ši termoizoliacinė medžiaga, kuri pagaminta iš standžių poliizocianurato (poliuretano) putų (PIR) šerdies, ją iš abiejų pusių padengus daugiasluoksne aliuminio folija (gali būti kita difuzijai nelaidi medžiaga). Ši termoizoliacinė medžiaga pasižymi itin mažu šilumos laidumo koeficientu  $\lambda_D = 0,022$  W/mK, todėl jos pagalba sukuriamas efektyvus atitvarų apšiltinimas, kuris gali būti iki 2 kartų plonesnis, lyginant su dažniausiai naudojamomis medžiagomis. Aliuminio folijos sluoksnis veikia kaip garų barjeras, todėl konstrukcija tampa ypač sandari. Gaisro atveju termoizoliacija nepalaiko degimo, todėl sumažėja rizika dėl pakartotinio užsidegimo. PF-PIR pasižymi dideliu atsparumu cheminiam poveikiui, todėl izoliacijos neveikia tirpikliai, plastifikatoriai ir mineralinės alyvos.

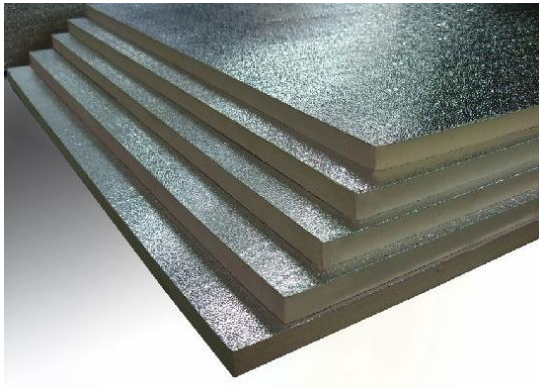


**23 pav.** Poliuretano (PF-PIR) šilumos izoliacinės plokštės (<https://www.finnfoam.lt/produktai>)



## Fenolio (PF) termoizoliacija

Ši uždarytų ląstelių termoizoliacinė medžiaga, kuri susideda iš daugybės mikroskopinių nesusijungusių burbuliukų. Fenolio termoizoliacija yra pagaminta iš fenolio formaldehido dervos ir gali būti tiek atvirų porų, tiek uždarytų porų. Izoliacinės plokštės dažniausiai yra padengiamos folija iš vienos arba abiejų pusių (gali būti ir kita difuzijai nelaidi medžiaga). Šios termoizoliacijos šilumos laidumo koeficientas yra  $\lambda_D = 0,020 \text{ W/m}$ . Ši medžiaga yra mažiau degi, nei kitos standžios termoizoliacijos rūšys, o jos degumo klasė yra B-s1, d0. Ji apsaugo nuo ilgalaikio saulės ir vandens poveikio ir yra tinkama šiltinti sienoms, grindims ir stogams. Tokia medžiaga gali būti naudojama siekiant gauti aukštą šiluminę varžą, bei taupant erdvę.



**24 pav.** Fenolio (PF) šilumos izoliacija (<http://www.hktdc.com/suppliers-products>)

### 1.2.6. BIM modulinėje statyboje

Tyrimai parodė, kad modulinė statyba turi daug privalumų, įskaitant darbuotojų poreikio mažinimą, šiltnamio efekto mažinimą, statybos kalendorinio darbų vykdymo grafiko sutrumpėjimą ir surinkimo kokybės pagerėjimą. Tačiau detalus prieš projektinis planavimas reikalauja žymiai didesnio inžinerinio personalo, norint efektyviai įgyvendinti projektą.

Pastaruoju metu statybos procesuose plačiai pradedama diegti BIM (Building Information Modeling) metodologija. BIM statybos procesas – tai integruotas duomenų apie statinį kūrimas, apsikeitimas ir naudojimas projektavime, statyboje bei eksploatacijos metu per visą statinio gyvavimo laikotarpį. BIM taikymas įgalina proceso dalyvius realiu laiku naudoti tą pačią (aktualią) informaciją.

Šis projektavimo metodas yra tinkamesnis didelės apimties pastatams, su panašiu išplanavimu ar modulių išdėstymu. Dėl būsto ploto apribojimų, kuriuos sukelia riboti modulių matmenys ir modulio kainos, nėra daug alternatyvų būsto išplanavimui. Vieninteliai kintamieji yra modulių skaičius ir jų išdėstymas viename aukšte (su ribotu matmenų keitimu).

Pirmiausia, statybos pramonėje BIM metodologija naudojama išsiaiškinti modulių tarpusavio jungimosi koalicijas (clash detection) ir konstruktyvo analizę prieš pradėdant statybą. Kompiuterio sugeneruotame brėžinyje yra keli šimtai ar tūkstančiai surenkamų komponentų, tuo tarpu naudojant standartinius brėžinius, yra sunku įsitikinti ar nėra konflikto. Kai kurie konfliktai, ypač susirėmimai dėl sutvirtinimo strypų arba įterptų įvairių dalių yra sunkiau sprendžiami. Vienas iš BIM pranašumų yra tai, kad BIM modeliai suteikia gamintojui daug vertingos informacijos apie projektavimą, gamybą, statybą ir netgi eksploatavimo ir priežiūros procesus. BIM modelio duomenys yra naudingi užsakant medžiagas, parenkant sandėliavimo vietas ir transportą į objektą. Statybų grupė (SUCG) sukūrė BIM duomenų platformą keturioms sistemoms paremti: komponentų projektavimui, gamybos valdymui, statybos proceso valdymui ir nuotolinei stebėjimo sistemai. Ši platforma iš esmės pagerino projekto kokybę, sutrumpino darbų grafiką bei sumažino išlaidas.

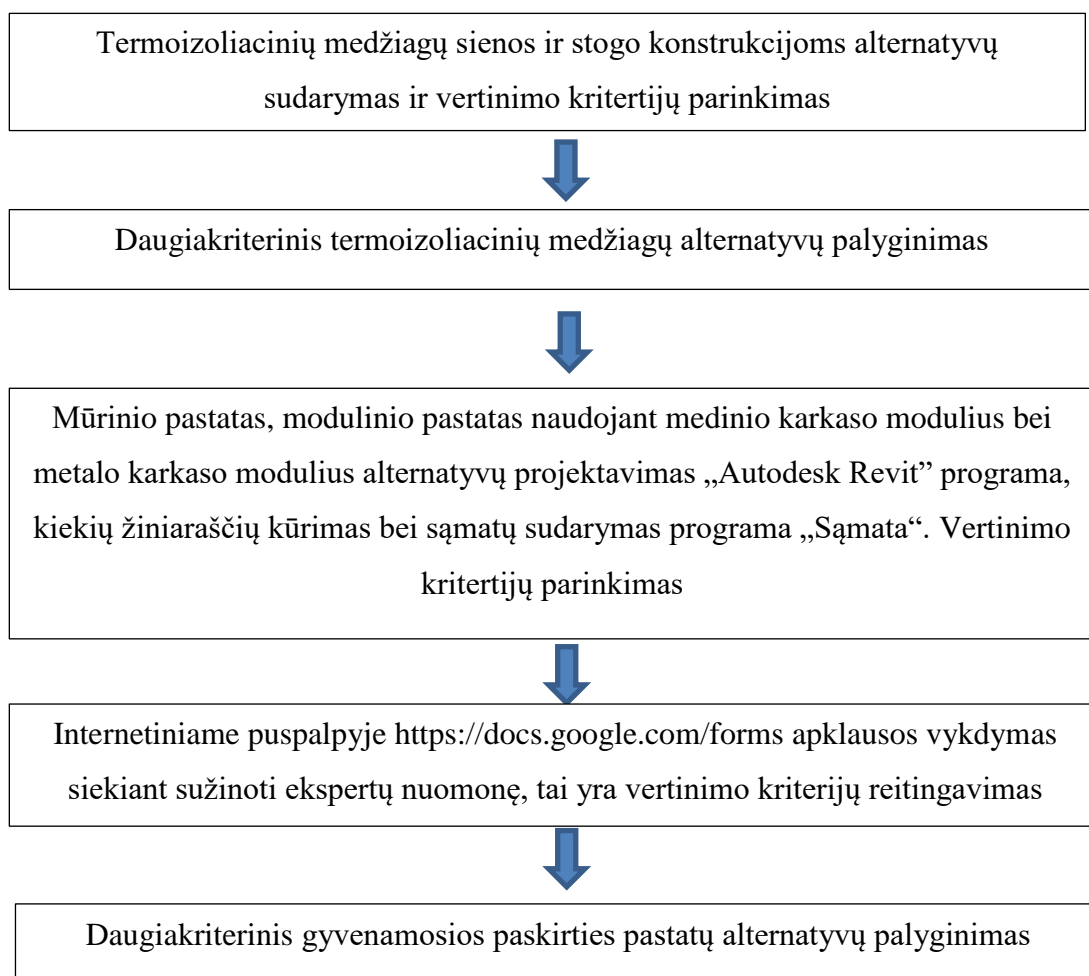
Kai kurie Europos parlamento nariai pradėjo praktikuoti BIM koncepciją. Sistemų integracija ir koordinavimas, kurį palaiko modelių analizės programinės įrangos, kaip, pvz., „Autodesk Navisworks“ ir „Solibri“ išsprendžia sistemos išdėstymo ir netikslų dydžių problemas. Neseniai pradėta naudoti 3D lazerinio skenavimo įranga, kad būtų sukurtas struktūrizuotas aplinkos arba esamo pastato modelis. Jis panaudojamas kuriant BIM modelį, kad būtų galima sukurti tikslus brėžinius. Toks metodas naudojamas „Pingan Tower“ projekte Šendžene, Kinija. Taip pat naudojama robotinė stotis kartu su BIM modeliu, siekiant užtikrinti greitą ir tikslų tikslų sistemų išdėstymą.



**25 pav.** 3D lazerinio skenavimo įranga (<https://www.faro.com/>)

## 2. TIRIAMOJI DALIS

Šiuo darbu siekiama išsiaiškinti kuo modulinė statyba yra pranašesnė, lyginant su tradicine statyba (mūrinis pastatas). Darbe tiriamos trys 5 aukštų gyvenamosios paskirties pastatų alternatyvos: mūrinis pastatas, modulinis pastatas naudojant medinio karkaso modulius, modulinis pastatas naudojant metalo karkaso modulius.



**26 pav.** Modulinės statybos lyginimo su tradicine statyba algoritmas

Pirmiausia, kiekvienai pastato alternatyvai buvo suprojektuotos sienos bei stogo konstrukcijos, kurios pagal STR 2.01.02:2016 „PASTATŲ ENERGINIO NAUDINGUMO PROJEKTAVIMAS IR SERTIFIKAVIMAS“ standartą atitiktų A++ keliamus energinio naudingumo reikalavimus. Konstrukcijų šiluminė varža skaičiuota rankiniu būdu ir naudojant programinę įrangą „DOF-THERM 2.2“. Šiluminės varžos skaičiavimai rankiniu būdu pateikti 1 ir 2 prieduose, su programine įranga 3 priede.

Prieš projektuojant sienos ir stogo konstrukciją buvo atliktas daugiakriterinis termoizoliacinių medžiagų alternatyvų palyginimas, kurio tikslas – nustatyti tinkamiausią termoizoliacinę medžiagą. Alternatyvos parinktos remiantis šiais kriterijais: geros šiluminės savybės, taupo energiją ir šildymo sąnaudas, nedegios (A1, A2 nedegumo klasės), gera konstrukcijų garso izoliacija, saugu ir sveika naudoti, nesideformuoja ir išlaiko savo formą, nepraranda šiluminių savybių, neįgeria drėgmės iš oro, atspari puvimui – neturi kvapo ir joje nesiveisia parazitai, lengvai apdirbama (lengva pjaustyti, montuoti).

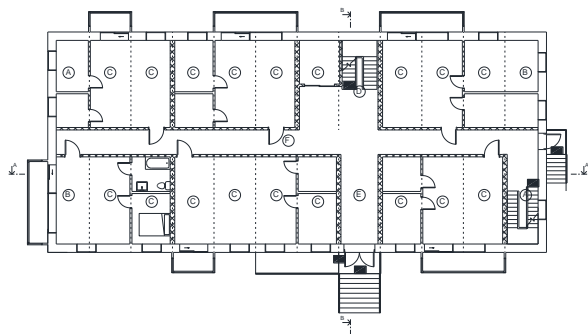
Parinkus tinkamiausią termoizoliacinę medžiagą ir suprojektavus sienos bei stogo konstrukcijas, toliau naudojant programinę įrangą „Autodesk Revit“ visoms trimis alternatyvoms suprojektuotas 5-ių aukštų daugiabutis gyvenamasis namas, kuris atitiktų šiandieninius reikalavimus bei standartus. Visų trijų alternatyvų išorės matmenys (gabaritai) yra identiški –  $30,6 \times 13,5 \times 16,2\text{m}$ . Parinktų modulių matmenys  $6,0 \times 2,55 \times 3,0\text{m}$ .



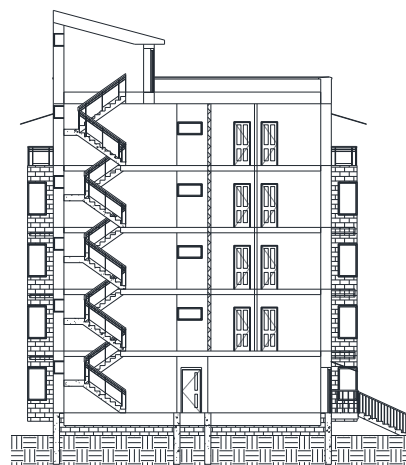
a) 3D vaizdas



b) A-A pjūvis



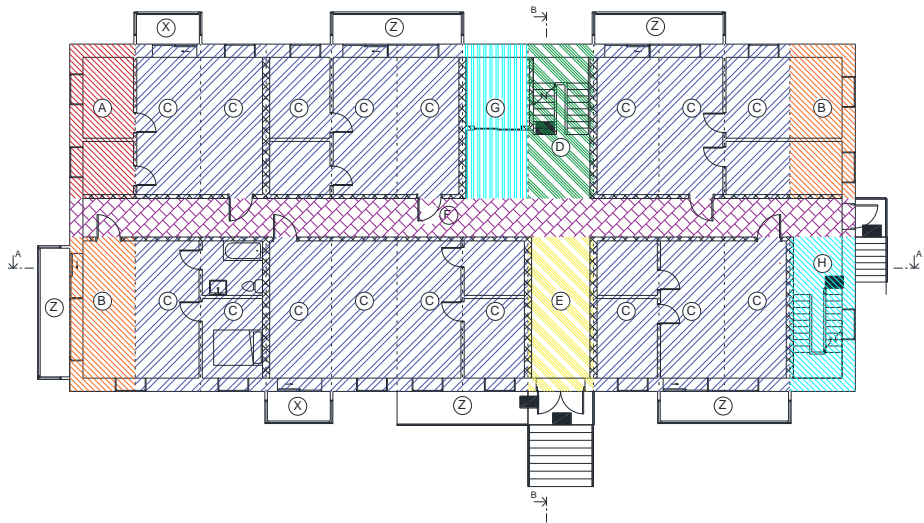
c) Aukšto planas



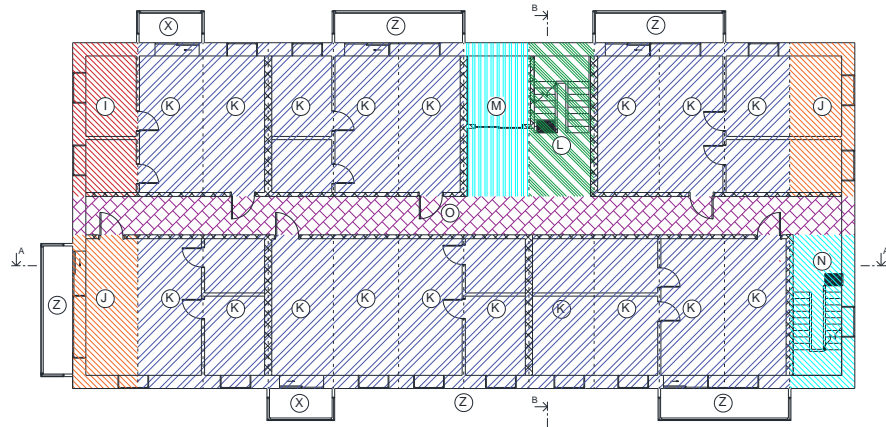
d) B-B pjūvis

**27 pav.** Suprojektuotas 5 – ių aukštų daugiabutis gyvenamasis namas (sudaryta autoriaus)

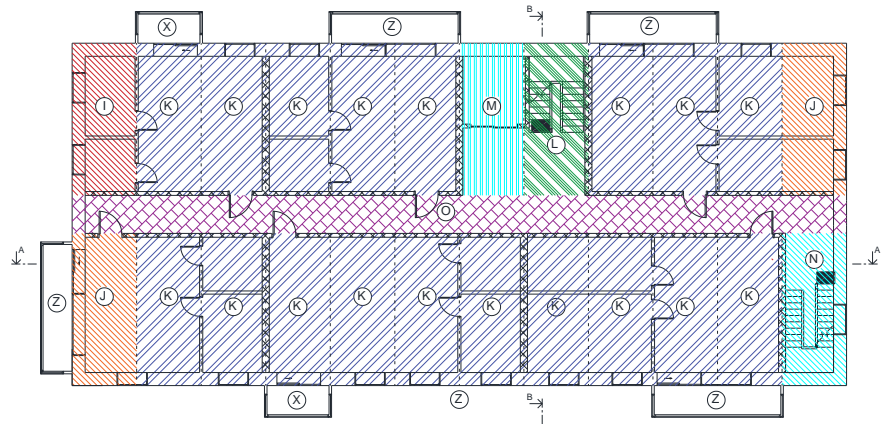
Kiekvieno aukšto modulių išdėstymo planas pateiktas 28 pav.



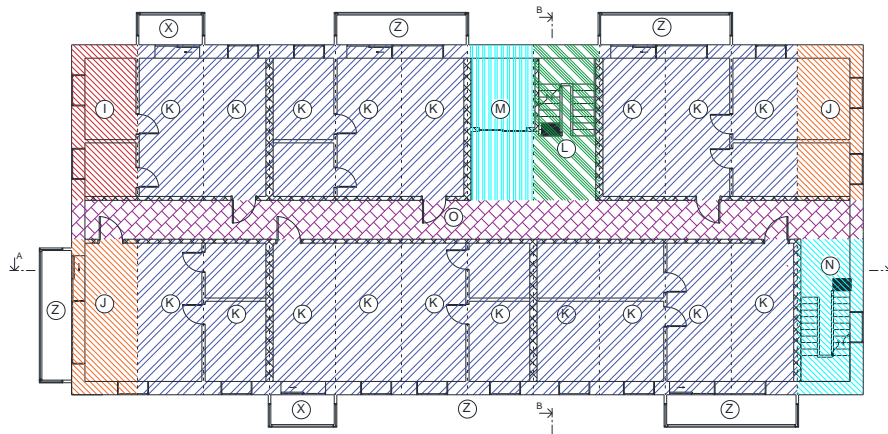
1 – ojo aukšto planas



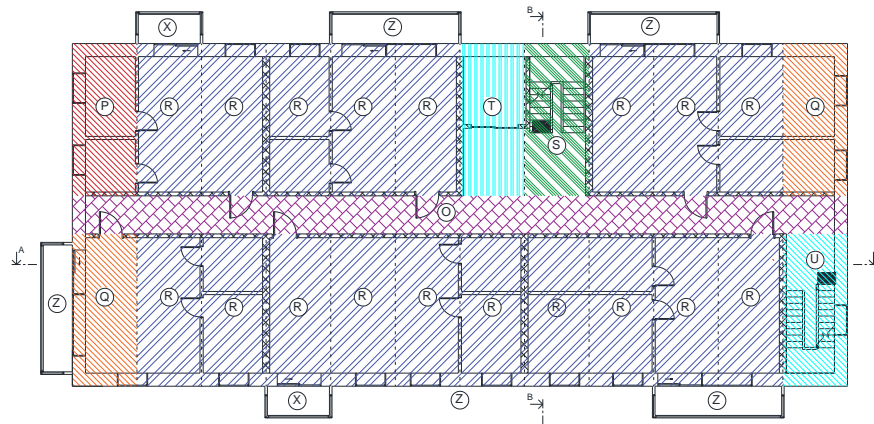
2 – ojo aukšto planas



3 – ojo aukšto planas



4 – ojo aukšto planas



5 – ojo aukšto planas

28 pav. Modulių išdėstymo planas kiekviename aukšte (sudaryta autoriaus)

8 lentelė. Modulių žymėjimo plane eksplikacija (sudaryta autoriaus)

1 - as aukštas		2, 3, 4 – as aukštai		5 – as aukštas	
Žymėjimas	Modulis	Žymėjimas	Modulis	Žymėjimas	Modulis
	A		I		P
	B		J		Q
	C		K		R
	D		L		S
	E		M		O
	F		N		T
	G		O		U
	H				

Modulių išdėstymo eksplikacija pateikta 9 lentelėje.

**9 lentelė.** Modulių išdėstymo eksplikacija (sudaryta autoriaus)

Modulis	Tipas	Išorės matmenys, m	Bendras kiekis, vnt	Erdvinis vaizdas
A	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	1	
B	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	2	
C	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	17	
D	Laiptinė	6,0x2,55x3,0	1	
E	Koridorius/iėjimas	6,0x2,55x3,0	1	
F	Koridorius	30,6x1,5 (surenkamas vietoje)	1	
G	Liftas	6,0x2,55x3,0	1	
H	Laiptinė	6,0x2,55x3,0	1	
I	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	3	
J	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	6	
K	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	54	
L	Laiptinė	6,0x2,55x3,0	3	
M	Liftas	6,0x2,55x3,0	3	
N	Laiptinė	6,0x2,55x3,0	3	
O	Koridorius	30,6x1,5 (surenkamas vietoje)	4	
P	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	1	
Q	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	2	
R	Gyvenamas	6,0x2,55x3,0	18	
S	Laiptinė	6,0x2,55x3,0	1	
T	Liftas	6,0x2,55x3,0	1	
U	Laiptinė	6,0x2,55x3,0	1	
X	Balkonas	2,5x1,2 (surenkamas vietoje)	10	
Z	Balkonas	5,1x1,2 (surenkamas vietoje)	25	

Visos trys alternatyvos naudoja PAROC akmens vatą. Skirtumas tarp lyginamų alternatyvų – skirtinga sienos bei stogo konstrukcija. Modulinės pastato versijos sudarytos iš 24 vnt. modulių viename pastato aukšte (120 vnt. modulių visame pastate). Naudojant Autodesk Revit programą suformuoti medžiagų kiekių žiniaraščiai. Žinant medžiagų kiekius ir naudojant UAB “SISTELA” programinę įrangą – „SĄMATA“ suskaičiuota kiekvienos alternatyvos sąmata. Suskaičiuotą sąmata, iš suvestinės gautos kriterijų reikšmės naudojamos tolimesniam tyrimui, kuriuo siekiama palyginti modulinę statybą su tradicine statyba.

Siekiant kuo tikslesnių tyrimo rezultatų buvo atlikti ekspertinis, teorinis ir kompleksinis kriterijų bei alternatyvų vertinimas. Tuo tikslu internetiniame puslapyje <https://docs.google.com/forms> buvo patalpinta apklausos anketa su klausimais, kurie padėtų atskleisti ekspertų nuomonę apie modulinės statybos privalumus ir trūkumus, lyginant su tradicine statyba.

## 2.1. Alternatyvų aprašymas

Remiantis daugiakriterinio kompleksinio proporcingumo vertinimo metodu parenkamos tyrimų alternatyvos. Siekiant nustatyti tinkamiausią termoizoliacinę medžiagą konstrukcijoms šiltinti naudojamos šios alternatyvos:

- A1 – akmens vata;
- A2 – PF-PIR poliuretano termoizoliacija;
- A3 – vakuuminė termoizoliacija;
- A4 – ekstruzinis polistireninis putplastis (XPS);
- A5 – aerogelio termoizoliacija;
- A6 – celiuliozės termoizoliacija (ekovata);
- A7 – fenolio (PF) termoizoliacija;
- A8 – medžio plaušo termoizoliacija.

Alternatyvų vertinimo kriterijai pateikti 11 lentelėje.

Tolimesniu tyrimu, siekiant palyginti modulinę statybą su tradicine statyba naudojamos šios alternatyvos:

- *Mūrinis pastatas* - tai labiausiai paplitęs statybos būdas Lietuvoje ir kitose kaimyninėse šalyse. Dažniausiai tokio pastato visos sienos yra keraminių arba silikatinių blokelių (arba plytų) mūro bei



naudojamos kitas monolitines arba surenkamas konstrukcijas (sąramos, perdangos plokštės, kolonos ir t.t.). Tokio namo statyba gali trukti nuo 6 mėnesių iki kelių metų.

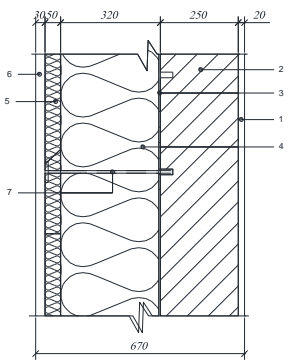
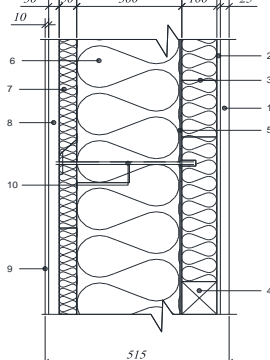
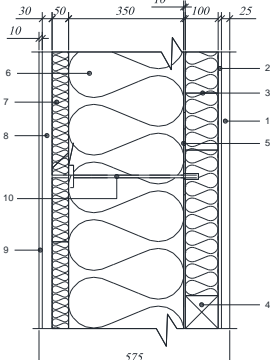
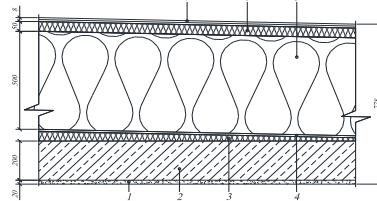
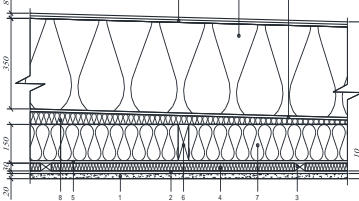
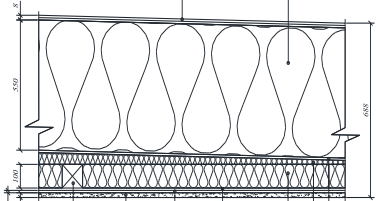


**29 pav.** Mūrinis pastatas iš silikatinių plytų ([www.ober-haus.lt](http://www.ober-haus.lt))

- *Medinio karkaso modulis* – šiais laikais pasiekta tokia aukšta modulių gamybos kokybė, kad pastačius pastatą niekas nesuprastų kad jis surinktas iš modulių. Medienos konstrukcijos nėra tokios laidžios šilumai, lyginant su mūru ar betonu, todėl tokio namo sienos visada bus šiltesnės. Tokių namų statybai netrukdo jokios oro sąlygos ir juos galima statyti netgi šaltuoju metų laiku. Šiuo metu ši technologija yra taip išvystyta, kad naudojant medinio karkaso modulius galima pastatyti 10-20 aukštų daugiaaukščius pastatus.

- *Metalo karkaso modulis* - moduliai gaminami iš metalinio karkaso yra skirti tiek mažaaukščiams, tiek daugiaaukščiams statiniams, tiek laikinoms patalpoms (pvz. statybvietėje). Pastatas iš šių modulių niekuo nenusileidžia pastatams iš metalinio ar gelžbetoninio karkaso. Skirtumas toks, kad modulinis pastatas bus greičiau pastatytas.

**10 lentelė. Gyvenamojo daugiabučio namo 3 alternatyvų sienos ir stogo detalės (sudaryta autoriaus)**

Mūrinis pastatas	Medinio karkaso modulis	Matalo karkaso modulis
<b>a) Sienos detalės</b>		
		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipso tinkas (<math>\rho=1300\text{kgm}^3</math>) - d=20mm, <math>\lambda=0.57\text{W/mK}</math>;</li> <li>2. Keraminis blokelis Keraterm 25 – d=250mm, <math>\lambda=0.22\text{W/mK}</math>;</li> <li>3. Garo izoliacija Tyvek Airguard Reflective;</li> <li>4. PAROC eXtra plus – d=320mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>5. PAROC Cortex – d=50mm, <math>\lambda=0.033\text{W/mK}</math>;</li> <li>6. Dekoratyvinis tinkas– d=30mm, <math>\lambda=0.8\text{ W/mK}</math>;</li> <li>7. Smeigė – d=450mm;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipso tinkas (<math>\rho=1300\text{kgm}^3</math>) - d=25mm, <math>\lambda=0.57\text{W/mK}</math>;</li> <li>2. Garo izoliacija Tyvek Airguard Reflective;</li> <li>3. PAROC eXtra plus – d=100mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>4. CLT tašas 100x100mm, kas 1200mm - <math>\lambda=0.18\text{W/mK}</math>;</li> <li>5. OSB plokštė – d=10mm, <math>\lambda=0.13\text{W/mK}</math>;</li> <li>6. PAROC eXtra plus – d=300mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>7. PAROC cortex – d=50mm, <math>\lambda=0.033\text{W/mK}</math>;</li> <li>8. Pilnai vėdinamas oro tarapas / T profilis – d=30mm;</li> <li>9. Fasadinė plokštė Tectiva</li> <li>10. Smeigė – d=400mm;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipso tinkas (<math>\rho=1300\text{kgm}^3</math>) - d=25mm, <math>\lambda=0.57\text{W/mK}</math>;</li> <li>2. Garo izoliacija Tyvek Airguard Reflective;</li> <li>3. PAROC eXtra plus – d=100mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>4. Kvadratinis metalo profilis 100x100mm, kas 2000mm - <math>\lambda=50\text{ W/mK}</math>;</li> <li>5. OSB plokštė – d=10mm, <math>\lambda=0.13\text{W/mK}</math>;</li> <li>6. PAROC eXtra plus – d=350mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>7. PAROC cortex – d=50mm, <math>\lambda=0.033\text{W/mK}</math>;</li> <li>8. Pilnai vėdinamas oro tarpas / T profilis – d=30mm;</li> <li>9. Fasadinė plokštė Tectiva</li> <li>10. Smeigė – d=450mm:</li> </ol>
<b>b) Stogo detalės</b>		
		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipso tinkas - d=20mm, <math>\lambda=0.57\text{W/mK}</math>;</li> <li>2. Monolitinė perdanga – d=200mm, <math>\lambda=2.5\text{ W/mK}</math>;</li> <li>3. Nuolydį formuojantis termoizoliacinis sluoksnis;</li> <li>4. Garo izoliacija Tyvek Airguard Reflective;</li> <li>5. PAROC eXtra plus – d=500mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>6. PAROC cortex – d=50mm, <math>\lambda=0.033\text{W/mK}</math>;</li> <li>7. MIDA BIPOL – d=8mm, <math>\lambda=0.17\text{W/mK}</math>;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipso tinkas - d=20mm, <math>\lambda=0.57\text{W/mK}</math>;</li> <li>2. OSB plokštė – d=10mm, <math>\lambda=0.13\text{W/mK}</math>;</li> <li>3. CTL tašas 30x50mm, kas 1200mm - <math>\lambda=0.18\text{W/mK}</math>;</li> <li>4. PAROC eXtra plus – d=30mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>5. Garo izoliacija Tyvek Airguard Reflective;</li> <li>6. CLT tašas 150x50mm, kas 1200mm - <math>\lambda=0.18\text{W/mK}</math>;</li> <li>7. PAROC eXtra plus – d=150mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>8. Nuolydį formuojantis termoizoliacinis sluoksnis;</li> <li>9. Tyvek Housewrap</li> <li>10. PAROC eXtra plus – d=350mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>11. MIDA BIPOL – d=8mm, <math>\lambda=0.17\text{W/mK}</math>;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipso tinkas - d=20mm, <math>\lambda=0.57\text{W/mK}</math>;</li> <li>2. OSB plokštė – d=10mm, <math>\lambda=0.13\text{W/mK}</math>;</li> <li>3. Garo izoliacija Tyvek Airguard Reflective;</li> <li>4. Kvadratinis metalinis profilis 100x100mm, kas 2000mm - <math>\lambda=50\text{W/mK}</math>;</li> <li>5. PAROC eXtra plus – d=100mm, <math>\lambda=0.036\text{W/mK}</math>;</li> <li>6. Nuolydį formuojantis termoizoliacinis sluoksnis;</li> <li>7. Vėjo izoliacija Tyvek Housewrap;</li> <li>8. PAROC eXtra plus – d=550mm, <math>\lambda=0.033\text{W/mK}</math>;</li> <li>9. MIDA BIPOL – d=8mm, <math>\lambda=0.17\text{W/mK}</math>;</li> </ol>

## 2.2. Vertinimo kriterijų parinkimas

Norint nustatyti racionalų termoizoliacinės medžiagos panaudojamo konstrukcijoms sprendimą bu parinkti šie kriterijai:

- šilumos laidumo koeficientas ( $\lambda$ ), (W/mK) – tai kokybinis rodiklis, parodantis šilumos kiekį praeinantį pro 1m<sup>2</sup> ploto ir 1m storio medžiagos kiekį. Kuo mažesnė  $\lambda$  reikšmė, tuo geresnėmis izoliacinėmis savybėmis pasižymi medžiaga;
- įmirkis, (balais) – tai kokybinis rodiklis, parodantis medžiagos gebėjimą priimti drėgmę. Kuo mažiau medžiaga sugeria vandens tuo aukštesnis balas jai skiriamas;
- kaina, (Eur/m<sup>3</sup>) – tai kiekybinis ekonominis rodiklis, kuris parodo 1 m<sup>3</sup> medžiagos kainą;
- degumo klasė (balais) – tai kokybinis rodiklis, kuris parodo medžiagos atsparumą ugniai. Kuo aukštesnė degumo klasė, tuo aukštesnis balas jai yra skiriamas;
- lengvumas panaudoti (balais) – tai kokybinis rodiklis, kuris parodo medžiagos lengvumą naudoti dirbant su ja. Aukštesnis balas skiriamas medžiagai su kuria lengviausia dirbti.

11 lentelėje pateiktos alternatyvų reikšmės.

**11 lentelė.** Termoizoliacinių medžiagų alternatyvų kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus)

<b>Kriterijai</b>	<b>K1, šilumos laidumo koeficientas (<math>\lambda</math>), (W/mK)</b>	<b>K2, įmirkis (balais)</b>	<b>K3, kaina (Eur/m<sup>3</sup>)</b>	<b>K4, degumo klasė (balais)</b>	<b>K5, lengvumas panaudoti (balais)</b>
<b>Alternatyvos</b>					
A1	0,034	6	41	10	9
A2	0,023	9	221	5	10
A3	0,007	10	1100	8	4
A4	0,033	10	123	5	10
A5	0,013	10	2200	10	10
A6	0,04	6	56	8	8
A7	0,02	8	540	8	10
A8	0,04	8	181	5	9

Modulinės statybos palyginimui su tradicine statyba parinkti šie vertinimo kriterijai:

- 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>) – tai kiekybinis, ekonominis rodiklis, kuris įvertina 1m<sup>2</sup> ploto pastato įrengimo kainą. Kaina apskaičiuojama normatyviniu būdu – naudojantis sąmatų skaičiavimo programa „Sąmata“;
- statybos laikas (darbus vykdant nuosekliai), (d.d.) – tai kiekybinis rodiklis, įvertinantis pastato statybos trukmę. Šis rodiklis nustatomas programinės įrangos „Sąmata“ pagalba;
- darbų sauga vykdant statybos darbus (balais) – tai kokybinis rodiklis, kuris išreiškiamas balais, įvertinant pavojingų darbų kiekį bei jų dažnumą. Aukštesnis balas parodo aukštesnį darbų saugos lygį;
- aplinkosauga (balais) – tai kokybinis rodiklis, kuris išreiškiamas balais, įvertinant aplinkos taršą ir kenksmingų dujų išsiskyrimą į atmosferą. Aukštesnis balas parodo mažesnę aplinkos teršimą;
- žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.) – tai kiekybinis rodiklis, įvertinantis žmogaus įdirbį įrengiant 1m<sup>2</sup> plotą. Šis rodiklis nustatomas programinės įrangos „Sąmata“ pagalba;
- atliktų darbų kokybė (balais) – tai kokybinis rodiklis, kuris išreiškiamas balais, įvertinant atliktų darbų kokybę ir kaip dažnai reikia taisyti broką po darbų baigimo. Aukštesnis balas parodo aukštesnę atliktų darbų kokybę;
- mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.) - tai kiekybinis rodiklis, įvertinantis reikiamą mechanizmų darbo trukmę įrengiant 1m<sup>2</sup> plotą. Šis rodiklis nustatomas programinės įrangos „Sąmata“ pagalba;

12 lentelėje pateiktos kiekvienos alternatyvos kriterijų reikšmės:

**12 lentelė.** Modulinės statybos palyginimo su tradicine statyba alternatyvų kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus)

<b>Kriterijai</b>	<b>C1, 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>)</b>	<b>C2, statybos laikas, (d.d.)</b>	<b>C3, darbų sauga vykdant statybos darbus (balais)</b>	<b>C4, aplinkosauga (balais)</b>	<b>C5, žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.)</b>	<b>C6, atliktų darbų kokybė (balais)</b>	<b>C7, mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.)</b>
<b>Alternatyvos</b>							
B1	734,77	210	5	5	9,8	6	1,49
B2	679,28	126	8	8	5,4	8	0,77
B3	704,74	126	8	8	5,2	8	0,89

### 2.3. Taikomi tyrimo metodai

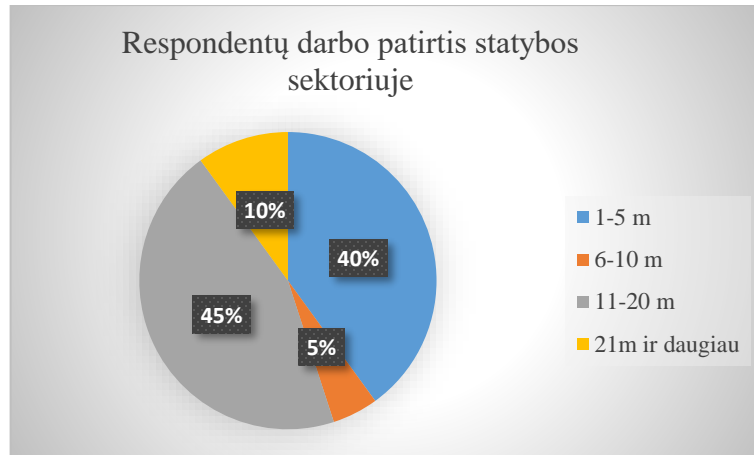
Pasirinktų alternatyvų (mūrinis pastatas, medinio karkaso modulis, metalo karkaso modulis) lyginamoji analizė atliekama taikant:

- *Ekspertinis porinio palyginimo daugiakriterinis vertinimas* – šis tyrimo metodas leidžia nustatyti svarbiausius kriterijus naudojantis apklausa;
- *Teorinis entropijos daugiakriterinis vertinimas* – šis vertinimo metodas leidžia nustatyti svarbiausius kriterijus iš surinktų duomenų;
- *Kompleksinis daugiakriterinis vertinimas* – šis vertinimo metodas leidžia nustatyti svarbiausius kriterijus naudojantis gautais ekspertinio ir teorinio vertinimo rezultatais;
- *Daugiakriterinis naudingumo vertės metodas* – šis vertinimo metodas leidžia nustatyti, kuri alternatyva yra geriausia ekspertiniu, teoriniu ir kompleksiniu metodu.

### 3. TYRIMŲ REZULTATAI

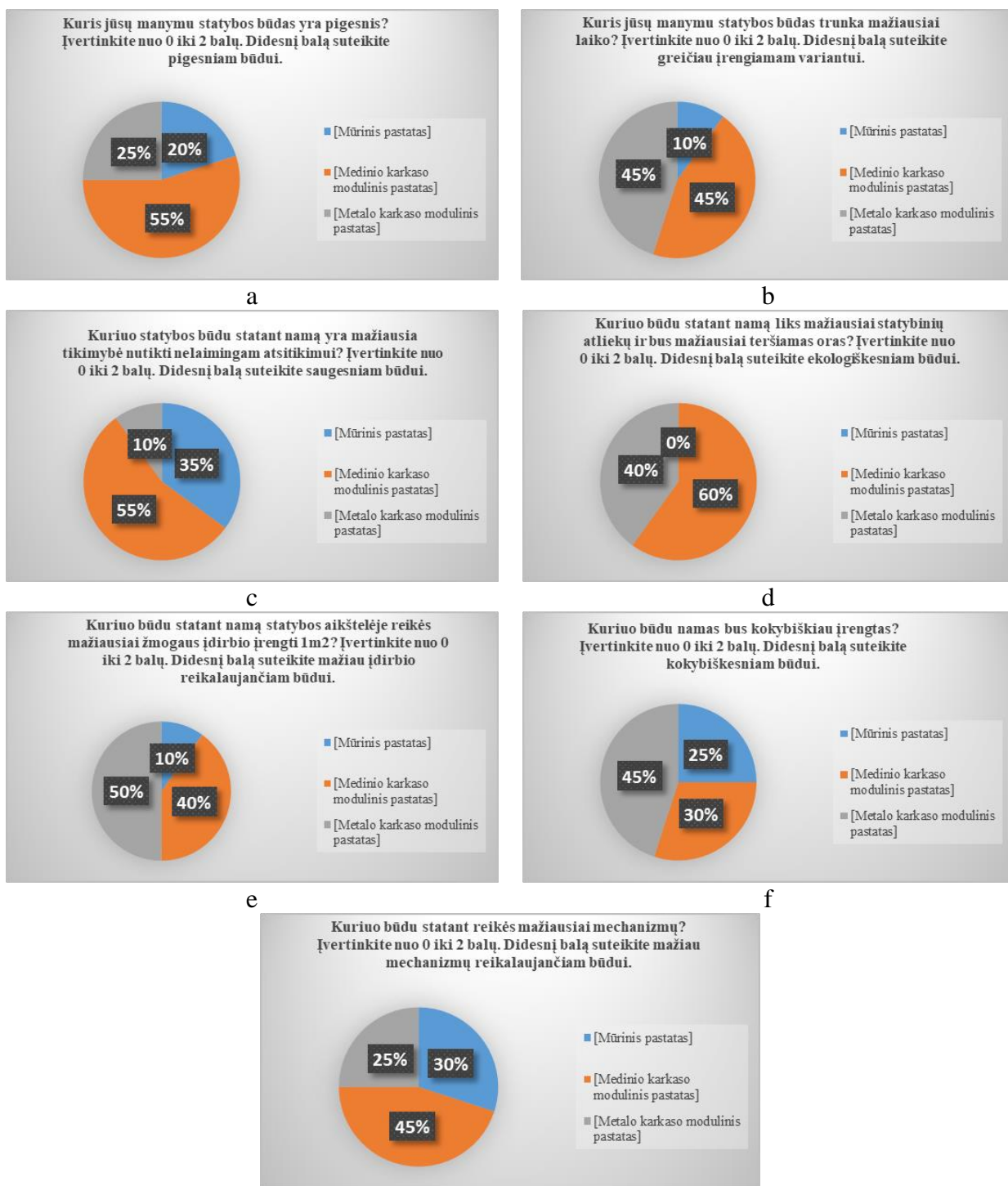
#### 3.1. Apklausoje anketos duomenų analizė

Apklausoje dalyvavo 20 respondentų. 30 paveiksle pateikta respondentų darbo patirtis statybos srityje metais.



**30 pav.** Respondentų pasiskirstymas pagal turimą darbo patirtį statybos srityje (sudaryta autoriaus)

Grafike matyti, kad daugiausia respondentų t.y. 40% priklausė 1-5 metų darbo patirtį turinčiai grupei, 5% priklausė 6-10 metų patirties turinčiai grupei, 45% priklausė 11-20 metų turinčiai patirties grupei ir 10% apklaustųjų priklausė 21 ir daugiau metų patirties turinčiai grupei. Didžioji dalis apklaustųjų buvo 11-20 metų turintys patirties statybos srityje respondentai.



**31 pav.** Respondentų nuomonių pasiskirstymas pagal užduotus klausimus (sudaryta autoriaus)

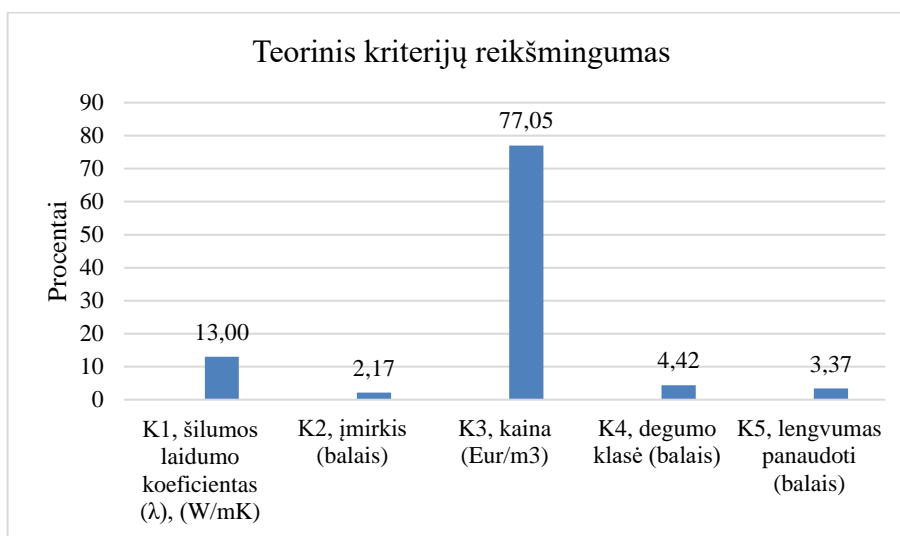
### 3.2. Termoizoliacinių medžiagų kriterijų reikšmingumas, taikant entropijos metodą

Termoizoliacinių medžiagų alternatyvų pradiniai duomenys ir optimalios reikšmės pateiktos 13 lentelėje.

**13 lentelė.** Termoizoliacinių medžiagų alternatyvų pradiniai duomenys ir optimalios reikšmės (sudaryta autoriaus)

<b>Kriterijai</b> <b>Alternatyvos</b>	<b>K1, šilumos laidumo koeficientas (<math>\lambda</math>), (W/mK)</b>	<b>K2, įmirkis (balais)</b>	<b>K3, kaina (Eur/m<sup>3</sup>)</b>	<b>K4, degumo klasė (balais)</b>	<b>K5, lengvumas panaudoti (balais)</b>
A1	0,034	6	41	10	9
A2	0,023	9	221	5	10
A3	0,007	10	1100	8	4
A4	0,033	10	123	5	10
A5	0,013	10	2200	10	10
A6	0,04	6	56	8	8
A7	0,02	8	540	8	10
A8	0,04	8	181	5	9
<b>Suma</b>	<b>0,210</b>	<b>67</b>	<b>4462</b>	<b>59</b>	<b>70</b>
<b>Optimalumas</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>

Teorinio kriterijų reikšmingumo skaičiavimas pateiktas 6 priede. 32 paveiksle pateikti gauti skaičiavimų rezultatai grafiko forma.



**32 pav.** Termoizoliacinės medžiagos parinkimo kriterijų reikšmingumas, taikant teorinį entropijos metodą (sudaryta autoriaus)



Apskaičiavus alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą, nustatyta kad svarbiausias kriterijus –  $K_3$  kaina (Eur/m<sup>3</sup>), kurio reikšmingumas 77,05 %. Sekantis pagal svarbą kriterijus –  $K_1$  šilumos laidumo koeficientas ( $\lambda$ ), (W/mK), kurio reikšmingumas 13,0 %. Toliau kriterijai išsirikiavę šia eilės tvarka:  $K_4$  degumo klasė (balais) – reikšmingumas 4,42 %,  $K_5$  lengvumas panaudoti (balais) – reikšmingumas 3,37 % ir  $K_2$  įmirkis (balais) – reikšmingumas 2,17 %. Gauta tokia prioritetų eilutė:  $K_3 < K_1 > K_4 > K_5 > K_2$

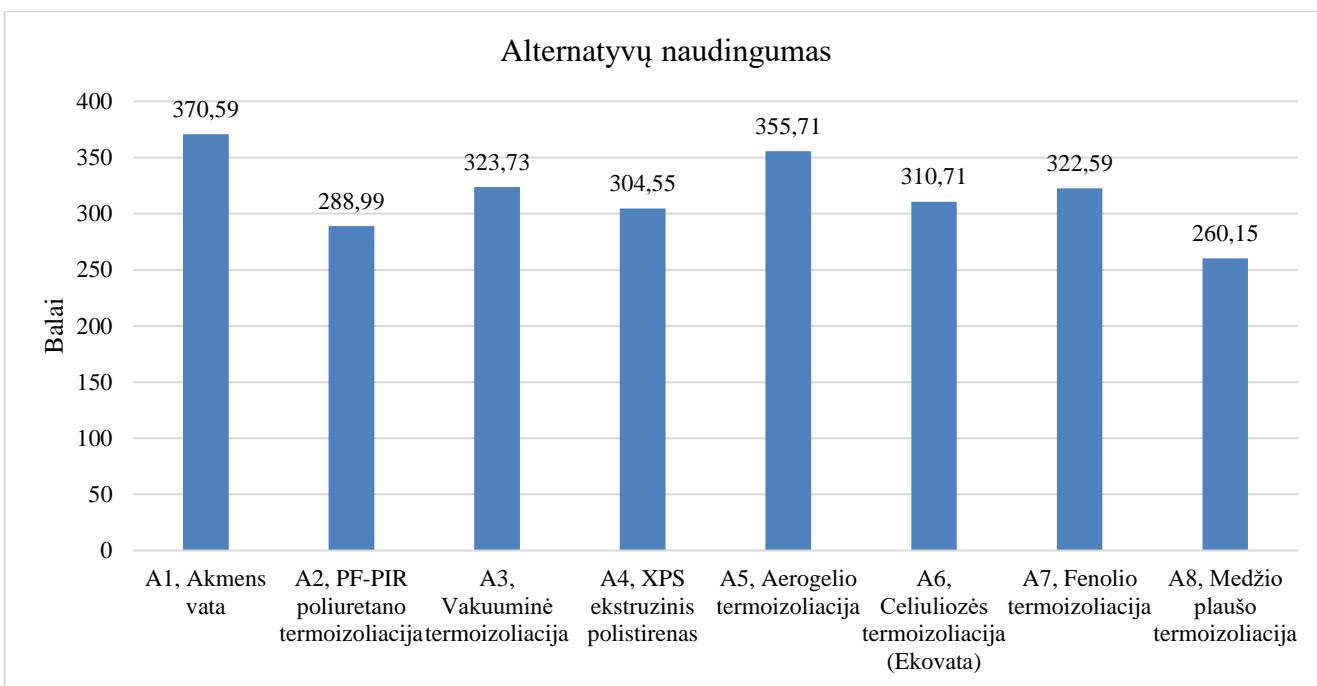
### 3.3. Termoizoliacinės medžiagos racionalaus sprendimo parinkimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą

Termoizoliacinių medžiagų alternatyvų pradiniai duomenys ir optimalios reikšmės pateiktos 14 lentelėje. Racionalaus sprendimo parinkimo skaičiavimai, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą pateikti 7 priede.

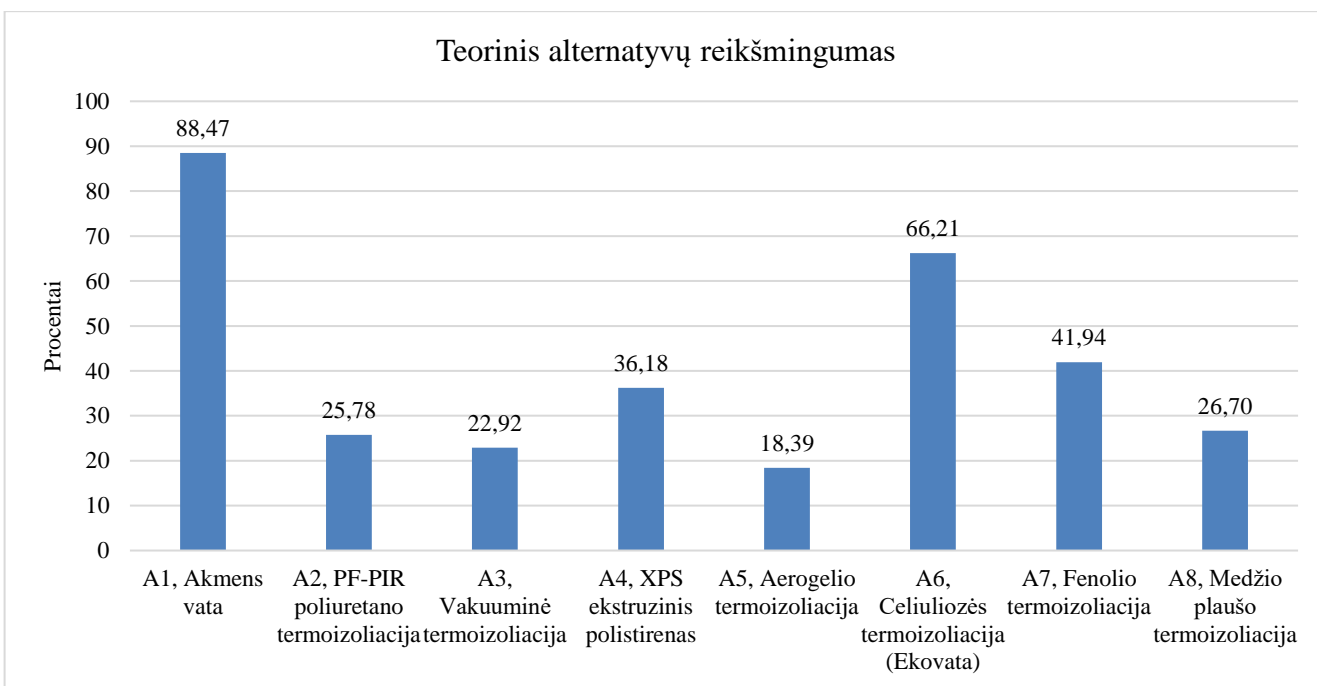
**14 lentelė.** Termoizoliacinių medžiagų parinkimo pradiniai duomenys ir optimalios reikšmės (sudaryta autoriaus)

Alternatyvos Kriterijai	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Kriterijų optimumas	Geriausia reikšmė
K1	0,034	0,023	0,007	0,033	0,013	0,04	0,02	0,04	MIN	0,007
K2	6	9	10	10	10	6	10	8	MAX	10
K3	41	221	1100	123	2200	56	540	181	MIN	41
K4	10	5	8	5	10	8	8	5	MAX	10
K5	9	10	4	10	10	8	10	9	MAX	10

Sudaroma alternatyvių sprendimų prioritetų eilutė, rezultatai pavaizduojami 33 paveiksle grafiškai:  $A_1 > A_5 > A_3 > A_7 > A_6 > A_4 > A_2 > A_8$ .



**33 pav.** Termoizoliacinės medžiagos parinkimo alternatyvų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas (sudaryta autoriaus)



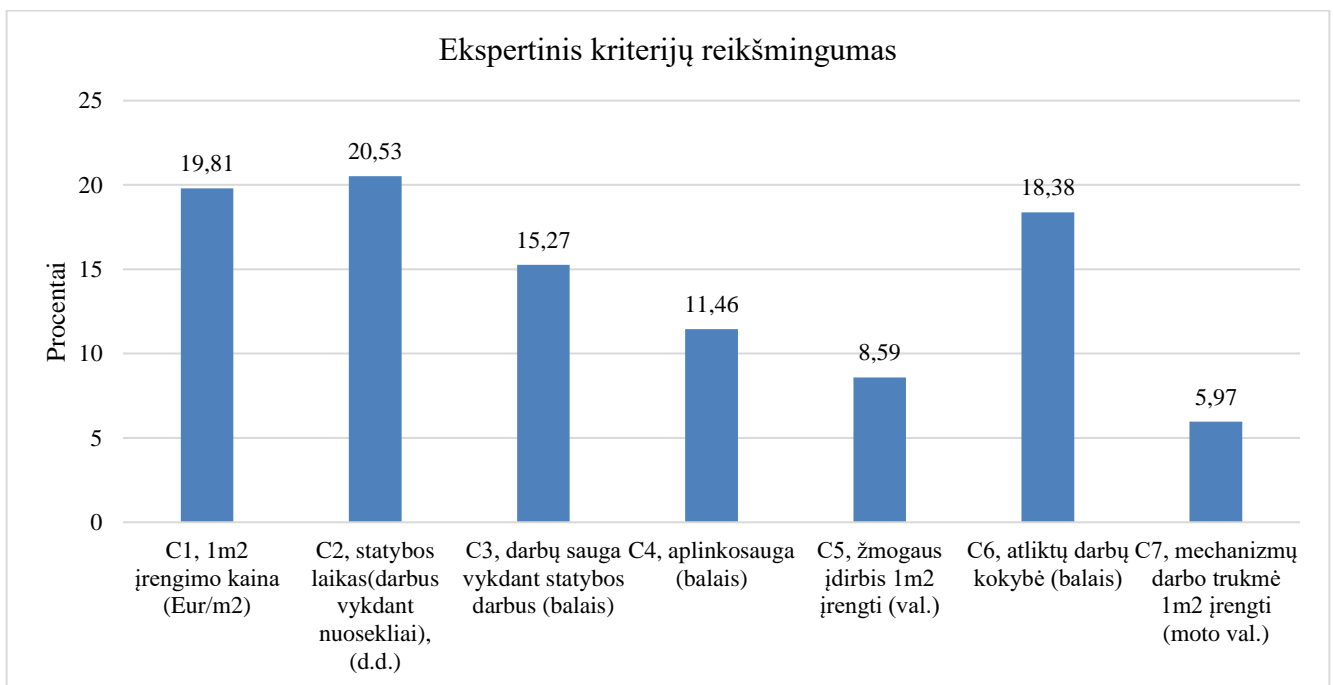
**34 pav.** Termoizoliacinės medžiagos parinkimo alternatyvų naudingumas, įvertinus teorinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)

Apskaičiavus termoizoliacinių medžiagų alternatyvų teorinį reikšmingumą, nustatyta, kad svarbiausia alternatyva yra A<sub>1</sub> – akmens vata, kurios reikšmingumas yra 88,47 %. Sekanti pagal svarbą alternatyva – A<sub>6</sub>, celiuliozės termoizoliacija (ekovata), kurios reikšmingumas 66,21 %. Toliau kriterijai išdėstyti mažėjimo tvarka pagal svarbą: A<sub>7</sub>, fenolio termoizoliacija – 41,94 %; A<sub>4</sub>, XPS ekstruzinis polistirenas – 36,18 %; A<sub>8</sub>, medžio plaušo termoizoliacija – 26,7 %; A<sub>2</sub>, PF-PIR poliuretano termoizoliacija – 25,78 %; A<sub>3</sub>, vakuuminė termoizoliacija – 22,92 %; A<sub>5</sub>, aerogelio termoizoliacija – 18,39 %. Gauta tokia prioritetų eilutė: A<sub>1</sub>>A<sub>6</sub>>A<sub>7</sub>>A<sub>4</sub>>A<sub>8</sub>>A<sub>2</sub>>A<sub>3</sub>>A<sub>5</sub>.

Toliau, kai jau parinkta tinkamiausia termoizoliacinė medžiaga – akmens vata, palyginama modulinė statyba su tradicine statyba. Tam atlikta apklausa, kurioje dalyvavo 20 ekspertų.

### 3.4. Pastato racionalaus sprendimo parinkimas, taikant ekspertinį kriterijų reikšmingumo vertinimą

Pradiniai kriterijų ekspertinio vertinimo duomenys ir skaičiavimai pateikti 8 priede.



**35 pav.** Subjektyvus kriterijų reikšmingumas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą (sudaryta autoriaus)

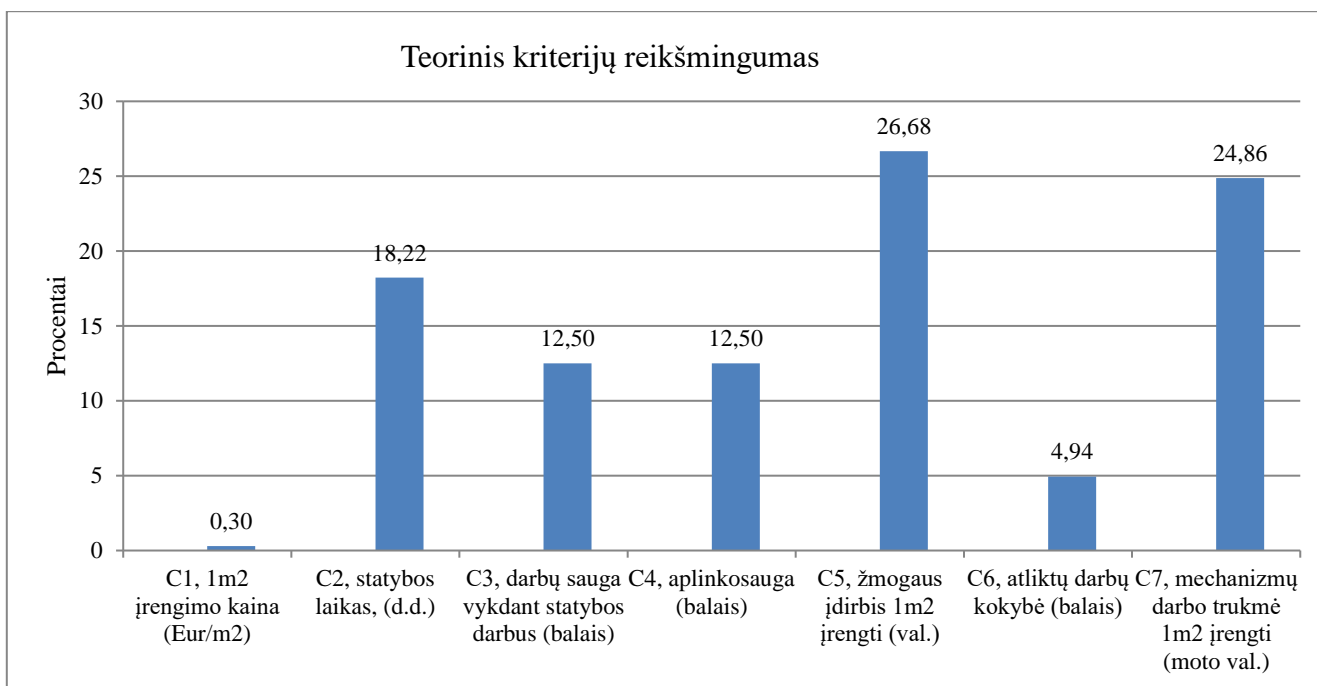
Apskaičiavus vertinimo kriterijų subjektyvų reikšmingumą, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą, nustatyta, kad svarbiausias kriterijus yra C2, statybos laikas (darbus vykdant nuosekliai) (d.d.), kurio reikšmingumas yra 20,53 %. Toliau kriterijai išvardinti mažėjimo tvarka pradedant nuo sekančio pagal svarbą: C1, 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>) – 19,81 %; C6, atliktų darbų kokybė (balais) – 18,38 %; C3, darbų sauga vykdant statybos darbus (balais) – 15,27 %; C4, aplinkosauga (balais) – 11,46 %; C5, žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.) – 8,59 %; C7, mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.) – 5,97 %. Gauta prioritetų eilutė: C2>C1>C6>C3>C4>C5>C7.

### 3.5. Pastato racionalaus sprendimo parinkimas, taikant teorinį entropijos kriterijų reikšmingumo metodą

Pradiniai kriterijų reikšmingumai pateikiami 15 lentelėje. Teorinio kriterijų reikšmingumo skaičiavimai pateikti 9 priede.

**15 lentelė.** Kriterijų reikšmingumai (sudaryta autoriaus)

<b>Kriterijai</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>
<b>Alternatyvos</b>							
<b>B1</b>	734,77	210	5	5	9,8	6	1,49
<b>B2</b>	679,28	126	8	8	5,4	8	0,77
<b>B3</b>	704,74	126	8	8	5,2	8	0,89
$\sum X_{ij}$	2118,79	462	21	21	20,4	22	3,15



**36 pav.** Vertinimo kriterijų reikšmingumas taikant teorinį entropijos metodą (sudaryta autoriaus)

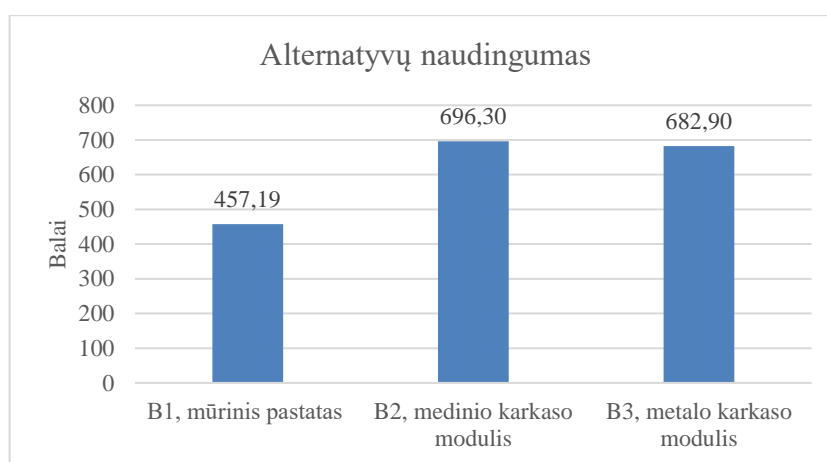
Apskaičiavus alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą, nustatyta, kad svarbiausias kriterijus – C5, žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.), kurio reikšmingumas yra 26,68 %. Sekantis kriterijus pagal svarbą – C7, mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.) – 24,86, toliau eilės tvarka – C2, statybos laikas (d.d.) – 18,22 %. C3, darbų sauga vykdant statybos darbus (balais) ir C4, aplinkosauga, kurių reikšmingumas yra 12,5 %. Mažiausiai reikšmingi kriterijai yra C6, atliktų darbų kokybė (balais) – 4,94 % ir C1, 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>) – 0,3 %. Gauta prioritetais eilutė: C5>C7>C2>C3 ir C4>C6>C1.

### 3.6. Pastato racionalaus sprendimo parinkimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą

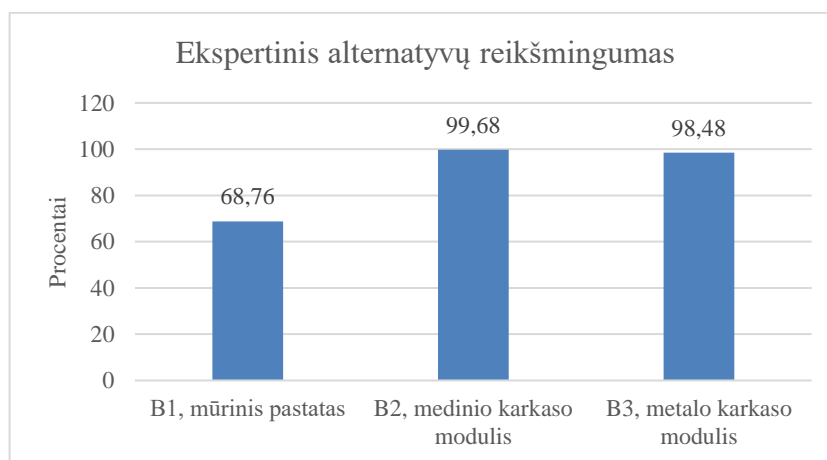
Pradiniai duomenys pateikiami 16 lentelėje. Skaičiavimai pateikti 10 priede.

**16 lentelė.** Pradiniai duomenys (sudaryta autoriaus)

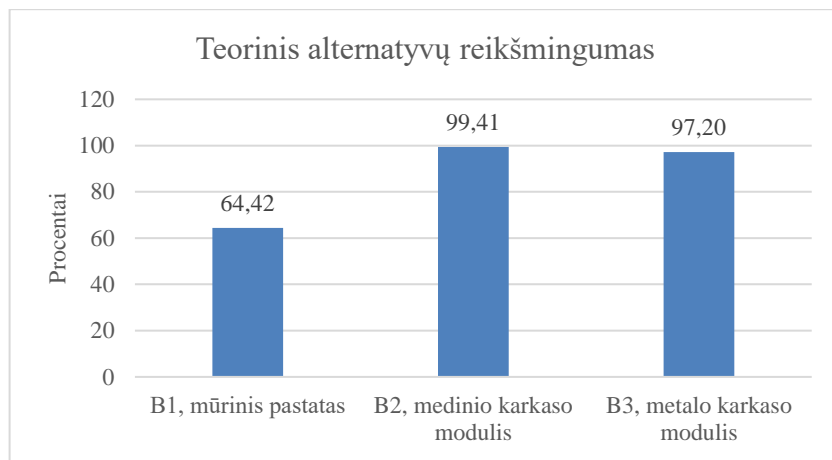
Alternatyvos Kriterijai	B1	B2	B3
C1	734,77	679,28	704,74
C2	210	126	126
C3	5	8	8
C4	5	8	8
C5	9,8	5,4	5,2
C6	6	8	8
C7	1,49	0,77	0,89



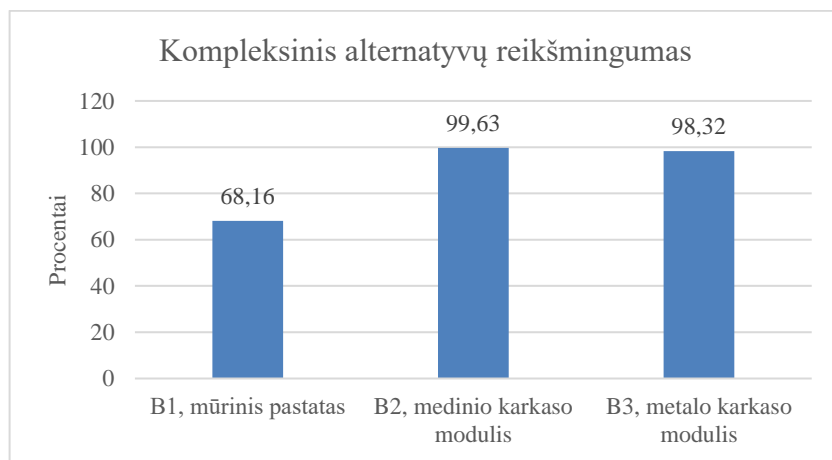
**37 pav.** Alternatyvų naudingumas (balais), kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas (sudaryta autoriaus)



**38 pav.** Alternatyvų naudingumas, įvertinant subjektyvų kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)



**39 pav.** Alternatyvų naudingumas, įvertinant teorinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)



**40 pav.** Alternatyvų naudingumas, įvertinant kompleksinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)

Įvertinus subjektyvų, teorinį ir kompleksinį kriterijų reikšmingumą nustatytas racionalus statybos būdas yra alternatyva B2, medinio karkaso modulis – 99,63 %. Sekanti racionali alternatyva yra B3, metalo karkaso modulis – 98,32 %. Mažiausiai reikšminga alternatyva yra B1, mūrinis pastatas – 68,16 %.

## IŠVADOS

1. Nustačius termoizoliacinių medžiagų, naudojamų modulinių pastatų šiltinimui, alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą gauta, kad svarbiausias kriterijus yra kaina K3 (Eur/m<sup>3</sup>), kurio reikšmingumas 77,05 %. Toliau kriterijai pagal svarbą išsidėsto sekančia tvarka: K1 - šilumos laidumo koeficientas ( $\lambda$ ), (W/mK); K4 - degumo klasė (balais); K5 - lengvumas panaudoti (balais); K2 - įmirkis (balais).
2. Nustačius termoizoliacinių medžiagų, naudojamų modulinių pastatų šiltinimui, alternatyvų teorinį reikšmingumą entropijos metodu gauta, kad svarbiausia alternatyva yra A1, tai akmens vata, kurios reikšmingumas yra 88,47 %. Toliau alternatyvos pagal svarbą išsidėsto sekančia tvarka: A6 - celiuliozės termoizoliacija (ekovata); A7 - fenolio termoizoliacija; A4 - XPS ekstruzinis polistirenas; A8 - medžio plaušo termoizoliacija; A2 - PF-PIR poliuretano termoizoliacija; A3 - vakuuminė termoizoliacija; A5 - aerogelio termoizoliacija.
3. Atlikus pastato alternatyvų lyginimui naudojamų vertinimo kriterijų subjektyvų reikšmingumą ekspertiniu porinio palyginimo metodu gauta, kad svarbiausias kriterijus yra C2, tai yra statybos laikas darbus vykdant nuosekliai (d.d.), kurio reikšmingumas yra 20,53 %. Toliau kriterijai pagal svarbą išsidėsto sekančia tvarka: C1 - 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>); C6 - atliktų darbų kokybė (balais); C3 - darbų sauga vykdant statybos darbus (balais); C4 - aplinkosauga (balais); C5 - žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.); C7 - mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.).
4. Atlikus pastato alternatyvų lyginimui naudojamų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą, nustatyta, kad svarbiausias kriterijus yra C5, žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.), kurio reikšmingumas yra 26,68 %. Toliau kriterijai pagal svarbą išsidėsto sekančia tvarka: C7 - mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.); C2 - statybos laikas (d.d.); C3 - darbų sauga vykdant statybos darbus (balais) ir C4 - aplinkosauga yra vienodai reikšmingi; C6 - atliktų darbų kokybė (balais); C1 - 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>).
5. Modulinės statybos palyginimui su tradicine statyba, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą nustatyta:
  - ekspertinio lyginamų alternatyvų reikšmingumo atveju svarbiausia alternatyva yra medinio karkaso modulis (B2) su 99,68s %; sekanti pagal svarbą – metalo karkaso modulis (B3) su 98,48 %; paskutinėje vietoje pagal svarbą – mūrinis pastatas (B1) su 68,76 %.



- teorinio lyginamų alternatyvų reikšmingumo atveju svarbiausia alternatyva yra medinio karkaso modulis (B2) su 99,41 %. Sekanti pagal svarbą – metalo karkaso modulis (B3) su 97,20 %. Paskutinėje vietoje pagal svarbą – mūrinis pastatas (B1) su 64,42 %.
- kompleksinio lyginamų alternatyvų reikšmingumo atveju svarbiausia alternatyva yra medinio karkaso modulis (B2) su 99,63 %. Sekanti pagal svarbą alternatyva – metalo karkaso modulis (B3) su 98,32 %. Mažiausiai reikšminga alternatyva – mūrinis pastatas (B1) su 68,16 %.

## LITERATŪROS SARAŠAS

1. THE MODULAR BUILDING INSTITUTE. *Improving construction efficiency & productivity with modular construction* [interaktyvus]. 2010, [žiūrėta 2017-10-12]. Prieiga per: <https://www.modular.org>;
2. JELLEN, A. C., A. M. MEMARI. The state-of-the-art application of modular construction to multi-story residential buildings. Iš: *Residential building design & construction conference* [interaktyvus]. February 20-21, 2013, Bethlehem, 2013, pp. 284-293.[žiūrėta 2017-10-20]. Prieiga per: <https://www.phrc.psu.edu/assets/docs/Publications/2013RBDCCPapers/Jellen-2013-RBDCC.pdf>;
3. SMITH, R. E. *Off-site construction implementation resource: Off-site and modular construction explained* [interaktyvus]. Utah, 2016, pp. 1-6. [žiūrėta 2017-10-20]. Prieiga per: [https://cdn.ymaws.com/www.nibs.org/resource/resmgr/OSCC/OSMC\\_Explained.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.nibs.org/resource/resmgr/OSCC/OSMC_Explained.pdf) ;
4. GENERALOVA, E. M., V. P. GENERALOV, A. A. KUZNETSOVA. *Modular buildings in modern construction* [interaktyvus]. 2016, 167-172 [žiūrėta 2017-11-19]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;
5. SHARAFI, P., M. MORTAZAVI, B. SAMALI, H. RONAGH. *Interlocking system for enhancing the integrity of multi-storey modular buildings* [interaktyvus]. 2018, pp. 263-272.– [žiūrėta 2017-11-19]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;
6. ZHANG, J., Y. LONG, S. LV, Y. XIANG. *BIM-enabled modular and industrializes construction in China* [interaktyvus]. 2016, pp. 1456-1461 [žiūrėta 2017-11-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>;
7. LOPEZ, D., T. FROESE. *Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes* [interaktyvus]. 2016, pp. 1291-1297 [žiūrėta 2017-11-25]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;
8. DING, Y., E. DENG, L. ZONG, X. M. DAI, N. Y. CHEN. *Cyclic tests on corrugated steel plate shear walls with openings in modularizes-construction* [interaktyvus]. 2017, pp. 675-691.[žiūrėta 2017-11-25]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>;
9. MOHSEN, O., P. KNYTL, B. ABDULAAL, J. OLEARCZYK, M. AL-HUSSEIN. Simulation of modular building construction. Iš: *Proceedings of the 2018 winter simulation conference* [interaktyvus]. Gothenburg, Sweden. 2008, pp. 2471-2478. [žiūrėta 2017-12-02]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;

10. LEE, J., M. PARK, H. LEE, T. KIM, S. KIM, H. HYUN. *Workflow dependency approach for modular building construction manufacturing process using dependency structure matrix (DSM)* [interaktyvus]. 2017, pp.1525-1535. [žiūrėta 2017-12-02]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12205-016-1085-1>;
11. KAMALI, M., K. HEWAGE. *Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods* [interaktyvus]. 2017, pp. 3592-3606. [žiūrėta 2017-12-10]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;
12. MOLAVI, J., D. L. BARRAL. *A Construction procurement method to achieve sustainability in modular construction* [interaktyvus]. 2016, pp. 1362-1369. [žiūrėta 2017-12-12]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>;
13. KAMALI, M., K. HEWAGE. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. Iš: *Renewable and sustainable energy reviews* [interaktyvus]. Kanda, 2016, pp. 1171-1183 [žiūrėta 2017-12-12]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>;
14. MATEI. I. *Ten fold and the mobile house of the future* [interaktyvus]. 2017, [žiūrėta 2017-12-12]. Prieiga per: <http://urbanizehub.com/ten-fold-mobile-house-future/>;
15. EAGLE. A. *Speed to Market: Hospitals tap modular construction to meet building demand* [internatyvus]. 2014, pp. 18-23. [žiūrėta. 2017-12-12]. Prieiga per: <https://www.hfmmagazine.com/articles/1275-speed-to-market>;
16. SEVENSON. B. *Chinese unveil mysterious 3D printed house – Built out of unique material, able to withstand devastating earthquakes* [interaktyvus]. 2015, [žiūrėta 2017-12-18]. Prieiga per: <https://3dprint.com/82322/chinese-3d-modular-homes/>;
17. NGO. T., R. CRAWFORD, P. MENDIS. Embodied energy analysis of prefabricated reusable building modules for a multi-residential building. Iš: *47th ANZSES annual conference* [interaktyvus]. Queensland, Australia, 2009, pp. 1-10. [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;
18. PLOKŠTUMINIAI PAMATAI. *Pasyvus namas: reikalavimai A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės gyvenamiesiems pastatams* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2018-01-25]. Prieiga per: <http://www.plokstuminiaipamatai.lt/pasyvus-namas>;
19. PALOMAR MODULAR BUILDINGS. *7 Easy Steps To Modular Construction* [interaktyvus]. [žiūrėti 2018-02-11]. Prieiga per: <http://palomarmodular.com/7-easy-steps-to-modular-building/>;

20. EKSPERTAI. *Porextherm Vacupor-vakuuminė termoizoliacija* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-02-11]. Prieiga per: [https://www.ekspertai.lt/siltinimas/porextherm\\_vacupor\\_vakuumine\\_termoizoliacija](https://www.ekspertai.lt/siltinimas/porextherm_vacupor_vakuumine_termoizoliacija) –
21. FINFOAM. *Finnfoam naujiena - FF-PIR - poliuretano plokštės* [interaktyvus]. 2018, [žiūrėta 2018-02-11]. Prieiga per: <https://www.finnfoam.lt/produktai/ff-pir/>;
22. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS. [STR 2.01.02:2016]. *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas* [interaktyvus]. *Lietuvos standartas*. Vilnius. 2016. [žiūrėta 2018-02-17]. Prieiga per: <https://www.etar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb>;
23. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTRAS. *DĖL DIDŽIAUSIŲJŲ LEIDŽIAMŲ NAUDOJANTIS KELIAIS TRANSPORTO PRIEMONIŲ AR JŲ JUNGINIŲ TECHNINIŲ PARAMETRŲ APRAŠO PATVIRTINIMO* [interaktyvus]. Vilnius. 2017 [žiūrėta 2018-02-17]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.161448/exLwWQFvFN>;
24. LST EN ISO 12567-1:2010. *Šiluminės langų ir durų charakteristikos. Šilumos perdavimo koeficiento nustatymas karštosios dėžės metodu. 1 dalis. Surinkti langai ir durys: Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos departamentas, 2010.
25. CHAYA. L. *M.A.Di's foldable modular living unit takes less than a day to install* [interaktyvus]. 2017. [žiūrėta 2018-10-02]. Prieiga per: <https://www.designboom.com/architecture/madi-foldable-modular-living-unit-11-25-2017/>;
26. LAWSON, R. M., PJ GRUBB, J. PREWER, P. J. TREBILCOCK. *Modular Construction using Light Steel Framing: An Architect's Guide* [interaktyvus]. 2017, pp. 1-105. [žiūrėta 2018-10-28]. Prieiga per: <https://www.steelconstruction.info/>;
27. LARSSON, M., A. KAISER, U. A. GIRHAMMAR. *Multi-storey modular manoeuvres – Innovative architectural stacking methodology based on three Swedish timber building systems* [interaktyvus]. 2012, pp. 63-72. [žiūrėta 2018-10-28]. Prieiga per: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1000855/FULLTEXT01.pdf>;
28. MORBY, A. *Green light for world's tallest modular tower in Croydon* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-10-28]. Prieiga per: <https://www.constructionenquirer.com/2017/12/04/green-light-for-worlds-tallest-modular-tower-in-croydon/> -;
29. BUILDING SYSTEMS BY STORA ENSO. *3-8 Storey Modular Element Building* [interaktyvus]. 2016, pp. 1-96. [žiūrėta 2018-10-30]. Prieiga per: <https://www.storaenso.com>;

30. MILLS. S., D. GROVE, M. EGAN. *Breaking The Pre-Fabricated Ceiling: Challenging the Limits for Modular High-Rise* [interaktyvus]. 2015, pp. 416-425 [žiūrėta 2018-11-03]. Prieiga per: <http://global.ctbuh.org/resources/>;
31. RUSSELL C. MOODY, ANTON TENWOLDE. *Use of Wood in Buildings and Bridges* [interaktyvus]. Madison, 1999, pp. 463 [žiūrėti 2018-11-03]. Prieiga per: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch16.pdf>;
32. AL-HUSSEIN. M., J. D. MANRIQUE, D. MAH. *Comparison between Modular and On-Site Construction* [interaktyvus]. 2009, pp. 21 [žiūrėta 2018-11-03]. Prieiga per: <http://www.modular.org/IMAGES/foundation/NorthRidgeCO2Report.pdf>;
33. BRANDNER R., G. FLATSHER, A. RINGHOFER, G. SCHICKHOFER, A. THIEL. *Cross laminated timber (CLT): overview and development* [interaktyvus]. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2016, pp. 21 [žiūrėta 2018-11-04]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>;

## PRIEDAI

1 priedas. Alternatyvų sienų konstrukcijų U reikšmės skaičiavimai .....	71
2 priedas. Alternatyvų stogų konstrukcijų U reikšmės skaičiavimai .....	75
3 priedas. Alternatyvų sienos konstrukcijų U reikšmės skaičiavimai, naudojant programinę įrangą DOF – THERM 2.2 .....	79
4 priedas. Anketa Nr. 1 .....	80
5 priedas. Anketa Nr. 2 .....	81
6 priedas. Termoizoliacinių medžiagų kriterijų reikšmingumo vertinimas, naudojant teorinį entropijos metodą .....	83
7 priedas. Termoizoliacinių medžiagų alternatyvių sprendimų daugiakriterinis įvertinimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą, nustatyti racionalų sprendimą .....	86
8 priedas. Alternatyvų parinkimo kriterijų subjektyvaus reikšmingumo nustatymas .....	89
9 priedas. Alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinio reikšmingumo nustatymas .....	98
10 priedas. Racionaliausios alternatyvos nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą .....	101
11 priedas. Mokslinis straipsnis „Comparison Between Modular Building Technology and Traditional Construction“ .....	
12 priedas. 5 – ių aukštų daugiabučio gyvenamojo namo projektas .....	

1 priedas. Alternatyvų sienų konstrukcijų U reikšmės skaičiavimai

**1 – oji alternatyva. Mūrinio pastato siena**

**Skaičiavimo eiga:**

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_s \quad (1)$$

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (2)$$

$$1. R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{0.57} = 0.035 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

$$2. R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.25}{0.22} = 1.136 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$3. R_3 = R_g = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$4. R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.32}{0.0416} = 7.69 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.1$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.1 = 0.0036 \text{ W/(mK)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0036 = 0.0416 \text{ W/(mK)}$$

$$5. R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.05}{0.0383} = 1.305 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv}$$

$$\lambda_D = 0.033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.1$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.033 + 0.1 = 0.0033 \text{ W/(mK)}$$

$$\lambda_{ds} = 0.033 + 0.002 + 0.0033 = 0.0383 \text{ W/(mK)}$$

$$6. R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0.03}{0.8} = 0.037 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = 0.035 + 1.136 + 0.04 + 7.69 + 1.305 + 0.037 = 10.242 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_s + R_{si} + R_{se} = 10.242 + 0.04 + 0.13 = 10.412 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{10.412} = 0.096 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$0.096 < 0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**2 – oji alternatyva. Medinio karkaso modulinio pastato siena**

**Skaičiavimo eiga:**

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_s \quad (1)$$

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2)$$

$$1. R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.025}{0.57} = 0.044 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

$$2. R_2 = R_g = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$3. R_{ins} = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.1}{0.0416} = 2.404 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$K_{cv} = 0.1$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.1 = 0.0036 \text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0036 = 0.0416 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$R_m = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.1}{0.18} = 0.56 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{\frac{F_{ins} + F_m}{R_{ins} + R_m}}{\frac{1,1 + 0,1}{2,404 + 0,56}} = 1.888 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (7)$$

$$4. R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.01}{0.13} = 0.077 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$5. R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.3}{0.0416} = 7.211 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$K_{cv} = 0.1$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.1 = 0.0036 \text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0036 = 0.0416 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$6. R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0.05}{0.0383} = 1.305 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$K_{cv} = 0.1$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.033 + 0.1 = 0.0033 \text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$



$$\lambda_{ds}=0.033+0.002+0.0033=0.0383 \text{ W/(mK)}$$

$$7. R_7 = \frac{d_7}{\lambda_7} = \frac{0.03}{0.8} = 0.037 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_S = 0.044 + 0.04 + 1.888 + 0.077 + 7.211 + 1.305 + 0.037 = 10.602 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_S + R_{si} + R_{se} = 10.242 + 0.04 + 0.13 = 10.772 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{10.772} = 0.093 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$U \leq U_A$$

$$0,093 < 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 3 – oji alternatyva. Metalo karkaso modulinio pastato siena

**Skaičiavimo eiga:**

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_S \quad (1)$$

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2)$$

$$1. R_1 = d_1 \frac{0.025}{\lambda_1} = 0.044 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

$$2. R_2 = R_g = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$3. R_3 = R_{ins} = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.1}{0.0416} = 2.404 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D=0.036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$K_{cv}=0.1$$

$$\Delta\lambda_w=0.002 \text{ W/(mk)}$$

$$\Delta\lambda_{cv}=\lambda_D+K_{cv}=0.036+0.1=0.0036 \text{ W/(mK)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds}=0.036+0.002+0.0036=0.0416 \text{ W/(mK)}$$

$$R_m = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.1}{50} = 0.002 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{\frac{F_{ins}+F_m}{R_{ins}+R_m}}{\frac{1,9+0,1}{2,404+0,002}} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (7)$$

$$4. R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.01}{0.13} = 0.077 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$5. R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.35}{0.0416} = 8.413 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D=0.036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$K_{cv}=0.1$$

$$\Delta\lambda_w=0.002\text{W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv}=\lambda_D+K_{cv}=0.036+0.1=0.0036 \text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$

$$\lambda_{ds}=0.036+0.002+0.0036=0.0416 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$6. \quad R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0.05}{0.0383} = 1.305 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D=0.033 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$$

$$K_{cv}=0.1$$

$$\Delta\lambda_w=0.002\text{W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv}=\lambda_D+K_{cv}=0.033+0.1=0.0033 \text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$

$$\lambda_{ds}=0.033+0.002+0.0033=0.0383 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$R_7 = \frac{d_7}{\lambda_7} = \frac{0.03}{0.8} = 0.037 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R_s = 0.044 + 0.04 + 0.04 + 0.077 + 8.413 + 1.305 + 0.037 = 9.956 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R_t = R_s + R_{si} + R_{se} = 9.956 + 0.04 + 0.13 = 10.126 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{10.126} = 0.099 \text{ W}/\text{m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$U \leq U_A$$

$$0,099 < 0,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

## 2 priedas. Alternatyvų stogų konstrukcijų U reikšmės skaičiavimai

### 1 – oji alternatyva. Mūrinio pastato stogas

**Skaičiavimo eiga:**

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_s \quad (1)$$

$$R_{si} = R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (2)$$

$$1. R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{0.57} = 0.035 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

$$2. R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.2}{2.5} = 0.08 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$3. R_3 = R_g = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$4. R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.5}{0.0434} = 11.52 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_\omega + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.15$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.15 = 0.0054 \text{ W/(mK)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0057 = 0.0434 \text{ W/(mK)}$$

$$5. R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.05}{0.04} = 1.25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$6. \lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_\omega + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.15$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.033 + 0.15 = 0.00495 \text{ W/(mK)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.033 + 0.002 + 0.00495 = 0.04 \text{ W/(mK)}$$

$$7. R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0.008}{0.17} = 0.047 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = 0.035 + 0.08 + 0.04 + 11.52 + 1.25 + 0.047 = 12.972 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'_t = R_s + R_{si} + R_{se} = 7.873 + 0.04 + 0.04 = 13.052 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U' = \frac{1}{13.052} = 0.077 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$U \leq U_A.$$

$$0.077 < 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 2 – oji alternatyva. Medinio karkaso modulinio pastato stogas

**Skaičiavimo eiga:**

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_s \quad (1)$$

$$R_{si} = R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 \quad (2)$$

$$1. R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{0.57} = 0.035 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

$$2. R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.01}{0.13} = 0.077 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$3. R_{ins} = \frac{0.03}{0.0434} = 0.69 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_{\omega} + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.15$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.15 = 0.0054 \text{ W/(mK)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0057 = 0.0434 \text{ W/(mK)}$$

$$R_m = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.03}{0.18} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{\frac{F_{ins} + F_m}{R_{ins} + R_m}}{\frac{1.15 + 0.05}{\frac{1.15}{0.69} + \frac{0.05}{0.17}}} = 0.612 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (7)$$

$$4. R_4 = R_g = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$5. R_{ins} = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.15}{0.0434} = 3.456 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_{\omega} + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.15$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.15 = 0.0054 \text{ W/(mK)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0057 = 0.0434 \text{ W/(mK)}$$

$$R_m = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.15}{0.18} = 0.833 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_5 = \frac{\frac{F_{ins} + F_m}{R_{ins} + R_m}}{\frac{1.15 + 0.05}{\frac{1.15}{3.456} + \frac{0.05}{0.833}}} = 3.055 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (7)$$

$$6. R_6 = R_g = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$7. R_7 = \frac{d_7}{\lambda_7} = \frac{0.4}{0.0434} = 9.216 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_{\omega} + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$K_{cv}=0.15$$

$$\Delta\lambda_w=0.002\text{W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv}=\lambda_D+K_{cv}=0.036+0.15=0.0054\text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$

$$\lambda_{ds}=0.036+0.002+0.0057=0.0434\text{ W}/(\text{mK})$$

$$8. \quad R_8 = \frac{d_8}{\lambda_8} = \frac{0.008}{0.17} = 0.047\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R_s = 0.035 + 0.077 + 0.612 + 0.04 + 3.055 + 0.04 + 9.216 + 0.047 = 13.122\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R'_t = R_s + R_{si} + R_{se} = 13.122 + 0.04 + 0.04 = 13.202\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$U' = \frac{1}{13.202} = 0.076\text{ W}/\text{m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$U \leq U_A.$$

$$0,076 < 0.08\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

### 3 – oji alternatyva. Metalinio karkaso modulinio pastato stogas

*Skaičiavimo eiga:*

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_s \quad (1)$$

$$R_{si} = R_{se} = 0.04\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2)$$

$$1. \quad R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{0.57} = 0.035\text{ m}^2\text{K}/\text{W} \quad (3)$$

$$2. \quad R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.01}{0.13} = 0.077\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$3. \quad R_3 = R_g = 0.04\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$4. \quad R_{ins} = \frac{0.1}{0.0434} = 2.304\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D=0.036\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$$

$$K_{cv}=0.15$$

$$\Delta\lambda_w=0.002\text{W}/(\text{mk})$$

$$\Delta\lambda_{cv}=\lambda_D+K_{cv}=0.036+0.15=0.0054\text{ W}/(\text{mK}) \quad (5)$$

$$\lambda_{ds}=0.036+0.002+0.0057=0.0434\text{ W}/(\text{mK})$$

$$R_m = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.1}{50} = 0.002\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R_3 = \frac{\frac{F_{ins}+F_m}{R_{ins}+R_m}}{\frac{1,1+0,1}{2,304+0,002}} = 0.04\text{ m}^2\text{K}/\text{W} \quad (7)$$

$$5. \quad R_5 = R_g = 0.04\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$6. \quad R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0.55}{0.0434} = 12.673\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} \quad (4)$$

$$\lambda_D = 0.036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K_{cv} = 0.15$$

$$\Delta\lambda_w = 0.002 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D + K_{cv} = 0.036 + 0.15 = 0.0054 \text{ W/(m}\cdot\text{K)} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = 0.036 + 0.002 + 0.0057 = 0.0434 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$7. \quad R_7 = \frac{d_z}{\lambda_7} = \frac{0.008}{0.17} = 0.047 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_s = 0.035 + 0.077 + 0.04 + 0.04 + 0.04 + 12.673 + 0.047 = 12.952 \text{ m}^2\text{K/W}$$

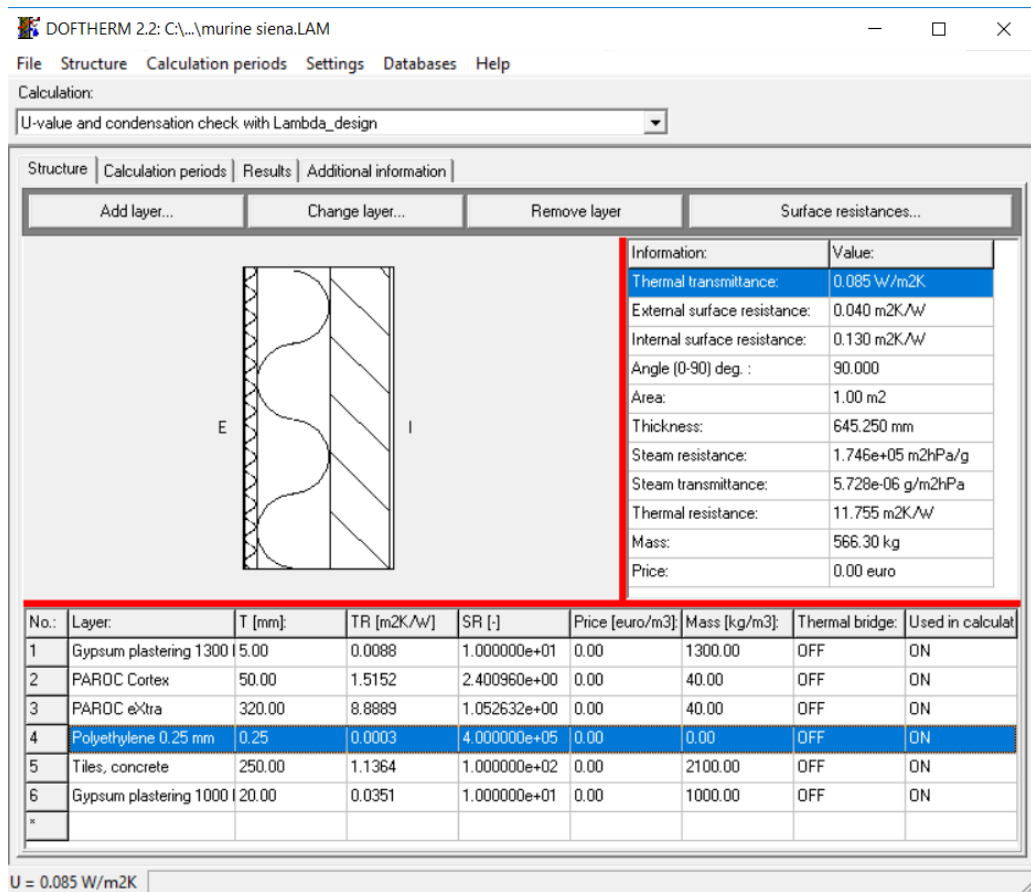
$$R'_t = R_s + R_{si} + R_{se} = 12.952 + 0.04 + 0.04 = 13.032 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U' = \frac{1}{13.032} = 0.077 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$U \leq U_A.$$

$$0,077 < 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 3 priedas. Alternatyvų sienos konstrukcijų U reikšmės skaičiavimai, naudojant programinę įrangą DOF – THERM 2.2



**3.1 pav.** Mūrinės sienos U reikšmės skaičiavimai, naudojant programinę įrangą DOF-THERM 2.2 (sudaryta autoriaus)

## 4 priedas. Anketa Nr. 1

Esu II pakopos studijų programos „Statybos valdymas“ I kurso studentas ir šiuo metu rengiu magistro baigiamąjį projektą tema „Inovacijos modulinėje namų statyboje“. Baigiamajam projektui parengti reikalingą jūsų, kaip ekspertų šioje srityje, nuomonę.

**Šios anketos tikslas** – atlikti modulinės statybos technologijos palyginimą su tradicine statyba. Analizuojami statybos būdai: mūrinis pastatas, modulinis iš medinių modulių pastatas, modulinis iš metalinių modulių pastatas.

Užpildykite lentelę įrašant atitinkamus įvertinimus. Vertinama taip: iš pradžių pasirenkamas svarbiausias rodiklis, kurio reikšmingumas prilyginamas 10 balų (tokių rodiklių gali būti keletas). Tuomet visi kiti lyginami su svarbiausiuoju rodikliu. Jei manote, kad reikėtų papildomų rodiklių, įrašykite tuščioje eilutėje.

Kiekvienas atskiras statybos variantas vertinamas pagal žemiau pateiktus kriterijus:

- K1 - 1m<sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m<sup>2</sup>);
- K2 – statybos laikas(darbus aikštelėje vykdant nuosekliai) (d.d.);
- K3 - darbų sauga vykdant statybos darbus (balais);
- K4 – aplinkosauga (balais);
- K5 – žmogaus įdirbis 1m<sup>2</sup> įrengti (val.);
- K6 – atliktų darbų kokybė (balais);
- K7 – mechanizmų darbo trukmė 1m<sup>2</sup> įrengti (moto val.).

Eil. Nr.	Kriterijaus pavadinimas	Rodiklių reikia		Įvertinimas (nuo 1 iki 10)
		Minimizuoti	Maksimizuoti	
1	1m <sup>2</sup> įrengimo kaina (Eur/m <sup>2</sup> )	x		
2	statybos laikas(darbus aikštelėje vykdant nuosekliai) (d.d.)	x		
3	darbų sauga vykdant statybos darbus (balais)		x	
4	aplinkosauga (balais)		x	
5	žmogaus įdirbis 1m <sup>2</sup> įrengti (val.)	x		
6	atliktų darbų kokybė (balais)		x	
7	Mechanizmų darbo trukmė 1m <sup>2</sup> įrengti (moto val.)	x		

### Įvertinimo skalė nuo 1 iki 10:

- 1, 2 – nereikšmingas rodiklis,
- 3, 4 – mažai reikšmingas rodiklis,
- 5, 6 – vidutiniškai reikšmingas rodiklis,
- 7, 8 – reikšmingas rodiklis,
- 9, 10 – labai reikšmingas rodiklis.

**AČIŪ UŽ JŪSŲ SUGAIŠTĄ LAIKĄ!**



## 5 priedas. Ankteta Nr. 2

Šios anketos tikslas – surinkti kokybinių rodiklių duomenis, kurie bus panaudoti modulinės statybos technologijos palyginimui su tradicine statyba metodui nustatyti.

- 1. Kuris jūsų manymu statybos būdas yra pigesnis? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite pigesniai būdai.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

- 2. Kuris jūsų manymu statybos būdas trunka mažiausiai laiko? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite greičiau įrengiamam variantui.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

- 3. Kuriuo statybos būdu statant namą yra mažiausia tikimybė nutikti nelaimingam atsitikimui? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite saugesniai būdai.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

**4. Kuriuo būdu statant namą liks mažiausiai statybinių atliekų ir bus mažiausiai teršiamas oras? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite ekologiškesniam būdui.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

**5. Kuriuo būdu statant namą statybos aikštelėje reikės mažiausiai žmogaus įdirbio įrengti 1m<sup>2</sup>? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite mažiau įdirbio reikalaujančiam būdui.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

**6. Kuriuo būdu namas bus kokybiškiau įrengtas? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite kokybiškesniam būdui.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

**7. Kuriuo būdu statant reikės mažiausiai mechanizmų? Įvertinkite nuo 0 iki 2 balų. Didesnį balą suteikite mažiau mechanizmų reikalaujančiam būdui.**

Eil. Nr.	Statybos būdas	Įvertinimo balas
1	Mūrinis pastatas	
2	Modulinis iš medinių modulių pastatas	
3	Modulinis iš metalinių modulių pastatas	

**AČIŪ UŽ JŪSŲ SUGAIŠTĄ LAIKĄ!**

6 priedas. Termoizoliacinių medžiagų kriterijų reikšmingumo vertinimas, naudojant teorinį entropijos metodą

Skaičiavimo eiga:

1. Paruošiami duomenys skaičiavimui, sudarant pradinių duomenų matricą P.

6.1 lentelė. Kriterijų reikšmingumai (sudaryta autoriaus)

Kriterijai Alternatyvos	K <sub>1</sub> , šilumos laidumo koeficientas (λ), (W/mK)	K <sub>2</sub> , įmirkis (balais)	K <sub>3</sub> , kaina (Eur/m <sup>3</sup> )	K <sub>4</sub> , degumo klasė (balais)	K <sub>5</sub> , lengvumas panaudoti (balais)
A <sub>1</sub>	0,034	6	41	10	9
A <sub>2</sub>	0,023	9	221	5	10
A <sub>3</sub>	0,007	10	1100	8	4
A <sub>4</sub>	0,033	10	123	5	10
A <sub>5</sub>	0,013	10	2200	10	10
A <sub>6</sub>	0,04	6	56	8	8
A <sub>7</sub>	0,02	8	540	8	10
A <sub>8</sub>	0,04	8	181	5	9
ΣX <sub>ij</sub>	0,21	67	4462	59	70

2. Atliekamas pradinių duomenų matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą.

Normalizavimas atliekamas pagal formulę:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad (8)$$

Čia: X<sub>ij</sub> – normalizuojamas matricos P narys;

Σ X<sub>ij</sub> - stulpelio, kuriame yra normalizuojamas narys, suma.

$$P_{11} = \frac{0,034}{0,21} = 0,162; \quad P_{12} = \frac{0,023}{0,21} = 0,110; \quad P_{13} = \frac{0,007}{0,21} = 0,033; \quad P_{14} = \frac{0,033}{0,21} = 0,157;$$

$$P_{15} = \frac{0,013}{0,21} = 0,062; \quad P_{16} = \frac{0,04}{0,21} = 0,190; \quad P_{17} = \frac{0,02}{0,21} = 0,095; \quad P_{18} = \frac{0,04}{0,21} = 0,190;$$

$$P_{21} = \frac{6}{67} = 0,090; \quad P_{22} = \frac{9}{67} = 0,134; \quad P_{23} = \frac{10}{67} = 0,149; \quad P_{24} = \frac{10}{67} = 0,149;$$

$$P_{25} = \frac{10}{67} = 0,149; \quad P_{26} = \frac{6}{67} = 0,090; \quad P_{27} = \frac{8}{67} = 0,119; \quad P_{28} = \frac{8}{67} = 0,119;$$

$$P_{31} = \frac{41}{4462} = 0,009; \quad P_{32} = \frac{221}{4462} = 0,050; \quad P_{33} = \frac{1100}{4462} = 0,247; \quad P_{34} = \frac{123}{4462} = 0,028;$$

$$P_{35} = \frac{2200}{4462} = 0,493; \quad P_{36} = \frac{56}{4462} = 0,013; \quad P_{37} = \frac{540}{4462} = 0,121; \quad P_{38} = \frac{181}{4462} = 0,041;$$

$$\begin{aligned}
P_{41} &= \frac{10}{59} = 0,169; & P_{42} &= \frac{5}{59} = 0,085; & P_{43} &= \frac{8}{59} = 0,136; & P_{44} &= \frac{5}{59} = 0,085; \\
P_{45} &= \frac{10}{59} = 0,169; & P_{46} &= \frac{8}{59} = 0,136; & P_{47} &= \frac{8}{59} = 0,136; & P_{48} &= \frac{5}{59} = 0,085; \\
P_{51} &= \frac{9}{70} = 0,129; & P_{52} &= \frac{10}{70} = 0,143; & P_{53} &= \frac{4}{70} = 0,057; & P_{54} &= \frac{10}{70} = 0,143; \\
P_{55} &= \frac{10}{70} = 0,143; & P_{56} &= \frac{8}{70} = 0,114; & P_{57} &= \frac{10}{70} = 0,143; & P_{58} &= \frac{9}{70} = 0,129;
\end{aligned}$$

Gautos reikšmės surašomos į normalizuotą matricą P

**6.2 lentelė.** Normalizuotos kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus)

<b>Matrica P</b>					
<b>Kriterijai</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>
<b>Alternatyvos</b>					
A <sub>1</sub>	0,162	0,090	0,009	0,169	0,129
A <sub>2</sub>	0,110	0,134	0,050	0,085	0,143
A <sub>3</sub>	0,033	0,149	0,247	0,136	0,057
A <sub>4</sub>	0,157	0,149	0,028	0,085	0,143
A <sub>5</sub>	0,062	0,149	0,493	0,169	0,143
A <sub>6</sub>	0,190	0,090	0,013	0,136	0,114
A <sub>7</sub>	0,095	0,119	0,121	0,136	0,143
A <sub>8</sub>	0,190	0,119	0,041	0,085	0,129

3. Nustatomas kiekvieno kriterijaus entropijos lygis E<sub>j</sub>

$$E_j = -k \sum \bar{p}_{ij} * \ln \bar{p}_{ij} \quad (9)$$

Čia : p<sub>ij</sub> – normalizuotos matricos narys;  
m- nagrinėjamų alternatyvių sprendimų skaičius.

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (10)$$

$$E_1 = -\frac{1}{\ln 8} (0,162 \ln 0,162 + 0,110 \ln 0,110 + 0,033 \ln 0,033 + 0,157 \ln 0,157 + 0,062 \ln 0,062 + 0,190 \ln 0,190 + 0,095 \ln 0,095 + 0,190 \ln 0,190) = 0,94692;$$

$$E_2 = -\frac{1}{\ln 8} (0,090 \ln 0,090 + 0,134 \ln 0,134 + 0,149 \ln 0,149 + 0,149 \ln 0,149 + 0,149 \ln 0,149 + 0,090 \ln 0,090 + 0,119 \ln 0,119 + 0,119 \ln 0,119) = 0,99115;$$

$$E_3 = -\frac{1}{\ln 8} (0,009 \ln 0,009 + 0,050 \ln 0,050 + 0,247 \ln 0,247 + 0,028 \ln 0,028 + 0,493 \ln 0,493 + 0,013 \ln 0,013 + 0,121 \ln 0,121 + 0,041 \ln 0,041) = 0,68543;$$

$$E_4 = -\frac{1}{\ln 8} (0.169 \ln 0.169 + 0.085 \ln 0.085 + 0.136 \ln 0.136 + 0.085 \ln 0.085 + 0.169 \ln 0.169 + 0.136 \ln 0.136 + 0.136 \ln 0.136 + 0.085 \ln 0.085) = 0,98197;$$

$$E_5 = -\frac{1}{\ln 8} (0.129 \ln 0.129 + 0.143 \ln 0.143 + 0.057 \ln 0.057 + 0.143 \ln 0.143 + 0.143 \ln 0.143 + 0.114 \ln 0.114 + 0.143 \ln 0.143 + 0.129 \ln 0.129) = 0,98626;$$

4. Nustatomas kiekvieno kriterijaus kitimo lygis  $d_j$

$$d_j = 1 - E_j \tag{11}$$

Čia:  $E_j$ - kiekvieno kriterijaus entropijos lygis;

$$d_1 = 1 - 0,94692 = 0,0531$$

$$d_2 = 1 - 0,99115 = 0,0088$$

$$d_3 = 1 - 0,68543 = 0,3146$$

$$d_4 = 1 - 0,98197 = 0,0180$$

$$d_5 = 1 - 0,9862 = 0,0137$$

$$\sum d = 0,4083$$

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

$$\bar{q}_{j(t)} = \frac{\bar{d}_j}{\sum \bar{d}_{ij}} \tag{12}$$

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

$$\bar{q}_{1(t)} = \frac{0,0531}{0,4083} = 0,13 \quad (13,0\%)$$

$$\bar{q}_{2(t)} = \frac{0,0088}{0,4083} = 0,0217 \quad (2,17\%)$$

$$\bar{q}_{3(t)} = \frac{0,3146}{0,4083} = 0,7705 \quad (77,05\%)$$

$$\bar{q}_{4(t)} = \frac{0,0180}{0,4083} = 0,0442 \quad (4,42\%)$$

$$\bar{q}_{5(t)} = \frac{0,0137}{0,4083} = 0,0337 \quad (3,37\%)$$

7 priedas. Termoizoliacinių medžiagų alternatyvių sprendimų daugiakriterinis įvertinimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą, nustatyti racionalų sprendimą

Skaičiavimo eiga:

1. Naudojant turimus duomenis, sudaroma pradinių duomenų matrica P. Nustatomas kriterijų optimalumas ir surandama geriausia reikšmė. Duomenys surašomi į 5.3.1 lentelę.
2. Atliekamas pradinių duomenų matricos P normalizavimas į matricą  $\bar{P}$ .

Maksimizuojami kriterijai normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{P}_{tj} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (13)$$

Čia:  $x_{ij}$  – normalizuojamo kriterijaus reikšmė;

$\max x_{ij}$  - optimali kriterijaus reikšmė.

$$\begin{aligned} \bar{P}_{21} &= \frac{6}{10} = 0,6; & \bar{P}_{22} &= \frac{9}{10} = 0,9; & \bar{P}_{23} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{24} &= \frac{10}{10} = 1,0; \\ \bar{P}_{25} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{26} &= \frac{6}{10} = 0,6; & \bar{P}_{27} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{28} &= \frac{8}{10} = 0,8; \\ \bar{P}_{41} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{42} &= \frac{5}{10} = 0,5; & \bar{P}_{43} &= \frac{8}{10} = 0,8; & \bar{P}_{44} &= \frac{5}{10} = 0,5; \\ \bar{P}_{45} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{46} &= \frac{8}{10} = 0,8; & \bar{P}_{47} &= \frac{8}{10} = 0,8; & \bar{P}_{48} &= \frac{5}{10} = 0,5; \\ \bar{P}_{51} &= \frac{9}{10} = 0,9; & \bar{P}_{52} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{53} &= \frac{4}{10} = 0,4; & \bar{P}_{54} &= \frac{10}{10} = 1,0; \\ \bar{P}_{55} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{56} &= \frac{8}{10} = 0,8; & \bar{P}_{57} &= \frac{10}{10} = 1,0; & \bar{P}_{58} &= \frac{9}{10} = 0,9; \end{aligned}$$

Minimizuojami kriterijai normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{P}_{tj} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \quad (14)$$

Čia:  $x_{ij}$  – normalizuojamo kriterijaus reikšmė;

$\min x_{ij}$  - optimali kriterijaus reikšmė

$$\begin{aligned} \bar{P}_{11} &= \frac{0,007}{0,034} = 0,2056; & \bar{P}_{12} &= \frac{0,007}{0,023} = 0,30435; & \bar{P}_{13} &= \frac{0,007}{0,007} = 1,0; & \bar{P}_{14} &= \frac{0,007}{0,033} = 0,21212; \\ \bar{P}_{15} &= \frac{0,007}{0,013} = 0,53846; & \bar{P}_{16} &= \frac{0,007}{0,04} = 0,175; & \bar{P}_{17} &= \frac{0,007}{0,02} = 0,35; & \bar{P}_{18} &= \frac{0,007}{0,04} = 0,175; \\ \bar{P}_{31} &= \frac{41}{41} = 1,0; & \bar{P}_{32} &= \frac{41}{221} = 0,18552; & \bar{P}_{33} &= \frac{41}{1100} = 0,03727; & \bar{P}_{34} &= \frac{41}{123} = 0,33333; \end{aligned}$$

$$\bar{P}_{35} = \frac{41}{2200} = 0,01864; \bar{P}_{36} = \frac{41}{56} = 0,73214; \bar{P}_{37} = \frac{41}{540} = 0,07593; \bar{P}_{38} = \frac{41}{181} = 0,22652;$$

Rezultatai surašomi į normalizuotą matricą  $\bar{P}$ .

**7.1 lentelė.** Termoizoliacinių medžiagų parinkimo normalizuotos kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Alternatyvos							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
K1	0,21	0,30	1,00	0,21	0,54	0,18	0,35	0,18
K2	0,60	0,90	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,80
K3	1,00	0,19	0,04	0,33	0,02	0,73	0,08	0,23
K4	1,00	0,50	0,80	0,50	1,00	0,80	0,80	0,50
K5	0,90	1,00	0,40	1,00	1,00	0,80	1,00	0,90

3. Pasirenkama vertinimo skalė [0;100] ir didžiausiai normalizuotos matricės kriterijaus reikšmei priskiriama maksimali vertinimo skalės reikšmė. Pvz.: 1→100. Kitos normalizuotos kriterijų reikšmės apskaičiuojamos pagal proporciją. Pvz.: 0,05→5; 0,057→5,7 ir t.t.

Gauti rezultatai surašomi į kriterijų naudingumo matricą  $C_{ij}$ .

Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai ir užrašoma prioritentinė eilutė. Geriausias sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t.y. surenka didžiausią balų sumą.

**7.2 lentelė.** Termoizoliacinių medžiagų parinkimo alternatyvų naudingumas (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Alternatyvos								Naudingumo vertė							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
K1	0,21	0,3	1,0	0,21	0,54	0,18	0,35	0,18	20,59	30,43	100,0	21,21	53,85	17,5	35,0	17,5
K2	0,6	0,9	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,8	60,0	90,0	100,0	100,0	100,0	60,0	100,0	80,00
K3	1,0	0,19	0,04	0,33	0,02	0,73	0,08	0,23	100,0	18,55	3,73	33,33	1,86	73,21	7,59	22,65
K4	1,0	0,5	0,8	0,5	1,0	0,8	0,8	0,5	100,0	50,0	80,0	50,0	100,0	80,0	80,0	50,0
K5	0,9	1,0	0,4	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	90,0	100,0	40,0	100,0	100,0	80,0	100,0	90,0
								$\Sigma$	370,5 9	288,9 9	323,7 3	304,5 5	355,7 1	310,7 1	322,5 9	260,1 5

4. Nustatomas racionalus sprendimas, kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, t.y. taikant entropijos metodą. Tam tikslui kriterijaus naudingumo balai ( $C_{ij}$ ) dauginami iš apskaičiuoto kriterijaus teorinio reikšmingumo. Gautos reikšmės surašomos į naują matricą.

**7.3 lentelė.** Termoizoliacinių medžiagų parinkimo alternatyvų naudingumas (balais), įvertinant teorinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Naudingumo vertė (nuo 0 iki 100)								Subjektyvus kriterijų reikšmingumas	Naudingumo vertė įvertinant kriterijaus reikšmingumą $N=q*c$							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8		qj	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
K1	20,59	30,43	100,0	21,21	53,85	17,5	35,00	17,5	0,13	2,68	3,96	13,0	2,76	7,0	2,28	4,55	2,28
K2	60,0	90,0	100,0	100,0	100,0	60,0	100,0	80,0	0,02	1,3	1,95	2,17	2,17	2,17	1,3	13,0	1,73
K3	100,0	18,55	3,73	33,33	1,86	73,21	7,59	22,65	0,77	$\frac{77,0}{5}$	14,29	2,87	25,68	1,44	56,41	0,99	17,45
K4	100,0	50,0	80,0	50,0	100,0	80,0	80,0	50,0	0,04	4,42	2,21	3,53	2,21	4,42	3,53	10,4	2,21
K5	90,0	100,0	40,0	100,0	100,0	80,0	100,0	90,0	0,03	3,03	3,37	1,35	3,37	3,37	2,69	13,0	3,03
									$\Sigma$	$\frac{88,4}{7}$	25,78	22,92	36,18	18,39	66,21	41,94	26,70

$N=q*c$

(15)



## 8 priedas. Alternatyvų parinkimo kriterijų subjektyvaus reikšmingumo nustatymas

Pradiniai kriterijų ekspertinio vertinimo duomenys pateikti X lentelėje.

**8.1 lentelė.** Pradiniai ekspertinio vertinimo duomenys (sudaryta autoriaus)

Ekspertai	Naudingumo vertinimo kriterijai						
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
1	7	3	2	5	4	6	1
2	2	7	4	6	3	5	1
3	5	4	3	2	1	6	7
4	4	3	6	7	2	5	1
5	6	2	5	1	4	7	3
6	5	7	3	4	2	6	1
7	6	7	4	5	3	2	1
8	5	3	7	4	2	6	1
9	3	7	2	1	6	4	5
10	6	7	5	4	1	3	2
11	2	7	4	5	1	6	3
12	6	3	7	4	1	5	2
13	7	6	4	3	2	5	1
14	6	7	2	1	3	6	4
15	7	5	1	6	3	4	2
16	6	7	2	1	5	3	4
17	7	6	5	1	3	4	2
18	5	3	7	2	4	6	1
19	4	5	7	3	2	6	1
20	4	7	6	3	2	5	1

Skaičiavimo eiga:

1. Pasirenkama kriterijų vertinimo skalė. Naudojama skalė [0;2], pagal kurią svarbesniam kriterijui skiriama 2 balai, atitinkamai kitas kriterijus gauna 0 balų. Jei kriterijai vienodai svarbūs arba jų svarbos nengalima nustatyti, jiems skiriama po 1 balą.
2. Pagal kiekvieno eksperto sudarytą kriterijų prioritetų eilutę atliekamas kriterijų palyginimas poromis pagal pasirinktą skalę ir rezultatai surašomi į kriterijų matricas.

**8.2 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 1 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	-	2	2	2	2	2	2
K2	0	-	2	0	0	0	2
K3	0	0	-	0	0	0	2
K4	0	2	2	-	2	0	2
K5	0	2	2	0	-	0	2
K6	0	2	2	2	2	-	2
K7	0	0	0	0	0	0	-

**8.3 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 2 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	0	0	0	0	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	2	0		0	2	0	2
K4	2	0	2		2	2	2
K5	2	0	0	0		0	2
K6	2	0	2	0	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.4 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 3 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	2	2	2	0	0
K2	0		2	2	2	0	0
K3	0	0		2	2	0	0
K4	0	0	0		2	0	0
K5	0	0	0	0		0	0
K6	2	2	2	2	2		0
K7	2	2	2	2	2	2	

**8.5 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 4 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	0	0	2	0	2
K2	0		0	0	2	0	2
K3	2	2		0	2	2	2
K4	2	2	2		2	2	2
K5	0	0	0	0		0	2
K6	2	2	0	0	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.6 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 5 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	2	2	2	0	2
K2	0		0	2	0	0	0
K3	0	2		2	2	0	2
K4	0	0	0		0	0	0
K5	0	2	0	2		0	2
K6	2	2	2	2	2		2
K7	0	2	0	2	0	0	

**8.7 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 6 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	2	2	2	0	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	0	0		0	2	0	2
K4	0	0	2		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	2
K6	2	0	2	2	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.8 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 7 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	2	2	2	2	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	0	0		0	2	2	2
K4	0	0	2		2	2	2
K5	0	0	0	0		2	2
K6	0	0	0	0	0		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.9 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 8 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	0	2	2	0	2
K2	0		0	0	2	0	2
K3	2	2		2	2	2	2
K4	0	2	0		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	2
K6	2	2	0	2	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.10 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 9 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	2	2	0	0	0
K2	2		2	2	2	2	2
K3	0	0		2	0	0	0
K4	0	0	0		0	0	0
K5	0	2	2	2		2	2
K6	2	0	2	2	0		0
K7	2	0	2	2	0	2	

**8.11 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 10 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	2	2	2	2	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	0	0		2	2	2	2
K4	0	0	0		2	2	2
K5	0	0	0	0		0	0
K6	0	0	0	0	2		2
K7	0	0	0	0	2	0	

**8.12 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 11 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	0	0	2	0	0
K2	2		2	2	2	2	2
K3	2	0		0	2	0	2
K4	2	0	2		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	0
K6	2	0	2	2	2		2
K7	2	0	0	0	2	0	

**8.13 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 12 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	0	2	2	2	2
K2	0		0	0	2	0	2
K3	2	2		2	2	2	2
K4	0	2	0		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	0
K6	0	2	0	2	0		0
K7	0	2	0	0	2	0	

**8.14 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 13 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	2	2	2	2	2
K2	0		2	2	2	2	2
K3	0	0		0	0	2	0
K4	0	0	0		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	2
K6	0	0	2	2	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.15 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 14 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	2	2	2	2	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	0	0		2	0	0	0
K4	0	0	0		0	0	0
K5	0	0	2	2		0	0
K6	0	0	2	2	2		2
K7	0	0	2	2	2	0	

**8.16 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 15 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	2	2	2	2	2
K2	0		2	0	2	2	2
K3	0	0		0	0	0	0
K4	0	2	2		2	2	2
K5	0	0	2	0		0	2
K6	0	0	2	0	2		2
K7	0	0	2	0	0	0	

**8.17 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 16 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	2	2	2	2	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	0	0		2	0	0	0
K4	0	0	0		0	0	0
K5	0	0	2	2		2	2
K6	0	0	2	2	0		0
K7	0	0	2	2	0	2	

**8.18 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 17 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	2	2	2	2	2
K2	0		2	2	2	2	2
K3	0	0		2	2	2	2
K4	0	0	0		0	0	0
K5	2	2	2	0		0	2
K6	0	0	0	2	2		2
K7	0	0	0	2	0	0	

**8.19 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 18 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		2	0	2	2	0	2
K2	0		0	2	0	0	2
K3	2	2		2	2	2	2
K4	0	0	0		0	0	2
K5	0	2	0	2		0	2
K6	2	2	0	2	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.20 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 19 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	0	2	2	0	2
K2	2		0	2	2	0	2
K3	2	2		2	2	2	2
K4	0	0	0		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	2
K6	2	2	0	2	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

**8.21 lentelė.** Kriterijų lyginimo poromis rezultatai pagal 20 eksperto vertinimą

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		0	0	2	2	0	2
K2	2		2	2	2	2	2
K3	2	0		2	2	2	2
K4	0	0	0		2	0	2
K5	0	0	0	0		0	2
K6	2	0	0	2	2		2
K7	0	0	0	0	0	0	

3. Sudaroma suminė porinio palyginimo matrica ir apskaičiuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai  $S_i$ , surašant juos į kriterijų matricą.

**8.22 lentelė.** Suminė porinio palyginimo matrica (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1		20	24	34	36	18	34
K2	20		28	30	34	24	36
K3	16	12		24	28	20	28
K4	6	10	14		28	10	28
K5	4	10	12	10		6	30
K6	22	16	22	30	32		32
K7	6	6	10	12	10	6	

4. Apskaičiuojami subjektyvūs kriterijų reikšmingumai  $q_i$ , surašant juos į kriterijų matricą. Kriterijaus subjektyvus reikšmingumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_i = \frac{S_i}{\Sigma S} \quad (16)$$

Čia:  $S_i$  – kriterijaus surinkta balų suma;

$\Sigma S$  – bendra visų kriterijų surinkta balų suma.

Kriterijų reikšmingumų suma turi būti lygi 1.

**8.23 lentelė.** Suminė porinio palyginimo matrica 1 (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	$S_i$	$q_i$
K1		20	24	34	36	18	34	166	0,198
K2	20		28	30	34	24	36	172	0,205
K3	16	12		24	28	20	28	128	0,153
K4	6	10	14		28	10	28	96	0,115
K5	4	10	12	10		6	30	72	0,086
K6	22	16	22	30	32		32	154	0,184
K7	6	6	10	12	10	6		50	0,060
							$\Sigma$	838	1,0

- Sudaroma kriterijų subjektyvaus reikšmingumo prioritetų eilutė ir rezultatai pavaizduojami grafiškai.
- Patikrinama ar gautą priortitetų eilutę galima naudoti praktinėms ekspertų rekomendacijoms rašyti, t.y. nustatomas ekspertų nuomonių sutapimo lygis. Tam tikslui skaičiuojamas konkordacijos koeficientas ir jo gauta reikšmė palyginama su ribine reikšme.

Konkordacijos koeficientas nustatomas, pertvarkius suminę porinio palyginimo duomenų lentelę eilučių sumos mažėjimo tvarka. Tokioje pertvarkytoje duomenų lentelėje, apskaičiuojant konkordancijos koeficientas, naudojamosi tik po įstrižaine esančiais elementais.

**8.24 lentelė.** Suminė porinio palyginimo matrica 2 (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1							
K2	20						
K3	16	12					
K4	6	10	14				
K5	4	10	12	10			
K6	22	16	22	30	32		
K7	6	6	10	12	10	6	

Apskaičiuojamas konkordancijos koeficientas:

$$w = \frac{4 \sum x^2 - m \sum x + c_m^2 * c_n^2}{m(m-1)n(n-1)} \quad (17)$$

Čia:  $x_{ik}$  – kriterijaus surinkta balų suma;

$m$  – ekspertų skaičius;

$n$  – kriterijų skaičius;

$c_m^2$  - deriniai pagal ekspertus

$c_n^2$  - deriniai pagal kriterijus

Kur deriniai apskaičiuojami taip:  $c_b^a = \frac{a!}{b!(a-b)!}$  (18)

Apskaičiuojame sumas:

$$\begin{aligned} \sum x_{ik}^2 &= 400 + 256 + 144 + 36 + 100 + 196 + 16 + 100 + 144 + 100 + 484 + 256 + 484 \\ &\quad + 900 + 1024 + 36 + 36 + 100 + 144 + 100 + 36 = 5092 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum x_{ik} &= 20 + 16 + 12 + 6 + 10 + 14 + 4 + 10 + 12 + 10 + 22 + 16 + 22 + 30 + 32 + 6 + 6 \\ &\quad + 10 + 12 + 10 + 6 = 286 \end{aligned}$$



Apskaičiuojame derinius:

$$c_m^2 = \frac{20!}{2!(20-2)!} = 190$$

$$c_n^2 = \frac{7!}{2!(7-2)!} = 21$$

Konkordacijos koeficientas:

$$w = \frac{4(5092 - 20 * 286 + 190 * 21)}{20(20-1)7(7-1)} = 0.843$$

Gauta konkordancijos koeficiento reikšmė palyginama su ribine reikšme 0,6. Jei gautoji reikšmė yra mažesnė, t.y.  $W < 0,6$ , skaitoma, kad ekspertų nuomonių sklaida yra per didelė ir ekspertizės rezultatų praktikoje naudoti negalima. Ekspertizės rezultatus praktinėms rekomendacijoms naudoti galima tik tada, kai tenkinama sąlyga  $W > 0,6$ . Šiuo atveju  $0.843 > 0.6$ .

## 9 priedas. Alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinio reikšmingumo nustatymas

1. Paruošiami duomenys skaičiavimui, sudarant pradinių duomenų matricą P.

Pradiniai kriterijų duomenys pateikti 5.5.1 lentelėje.

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

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad (8)$$

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

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

$$P_{11} = \frac{734,77}{2118,79} = 0,3468; \quad P_{12} = \frac{679,28}{2118,79} = 0,3206; \quad P_{13} = \frac{704,74}{2118,79} = 0,3326;$$

$$P_{21} = \frac{210}{462} = 0,4545; \quad P_{22} = \frac{126}{462} = 0,2727; \quad P_{23} = \frac{126}{462} = 0,2727;$$

$$P_{31} = \frac{5}{21} = 0,2381; \quad P_{32} = \frac{8}{21} = 0,3810; \quad P_{33} = \frac{8}{21} = 0,3810;$$

$$P_{41} = \frac{5}{21} = 0,2381; \quad P_{42} = \frac{8}{21} = 0,3810; \quad P_{43} = \frac{8}{21} = 0,3810;$$

$$P_{51} = \frac{9,8}{20,4} = 0,4804; \quad P_{52} = \frac{5,4}{20,4} = 0,2647; \quad P_{53} = \frac{5,2}{20,4} = 0,2549;$$

$$P_{61} = \frac{6}{22} = 0,2727; \quad P_{62} = \frac{8}{22} = 0,3636; \quad P_{63} = \frac{8}{22} = 0,3636;$$

$$P_{71} = \frac{1,49}{3,15} = 0,4730; \quad P_{72} = \frac{0,77}{3,15} = 0,2444; \quad P_{73} = \frac{0,89}{3,15} = 0,2825;$$

Reikšmės surašomos į normalizuotą matricą  $\bar{P}$ .

**9.1 lentelė.** Normalizuotos kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus)

<b>Kriterijai</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>
<b>Alternatyvos</b>							
A <sub>1</sub>	0,3468	0,4545	0,2381	0,2381	0,4804	0,2727	0,4730
A <sub>2</sub>	0,3206	0,2727	0,3810	0,3810	0,2647	0,3636	0,2444
A <sub>3</sub>	0,3326	0,2727	0,3810	0,3810	0,2549	0,3636	0,2825

3. Nustatomas kiekvieno kriterijaus entropijos lygis:  $E_j$

$$E_j = -k \sum \bar{p}_{ij} * \ln \bar{p}_{ij} \quad (9)$$

Čia :  $p_{ij}$  – normalizuotos matricos narys;  
 $m$ - nagrinėjamų alternatyvių sprendimų skaičius.

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (10)$$

$$E_1 = \frac{1}{\ln 3} (0.3468 \ln 0.3468 + 0.3206 \ln 0.3206 + 0.3326 \ln 0.3326) = 0,9995$$

$$E_2 = \frac{1}{\ln 3} (0.4545 \ln 0.4545 + 0.2727 \ln 0.2727 + 0.2727 \ln 0.2727) = 0,9713$$

$$E_3 = \frac{1}{\ln 3} (0.2381 \ln 0.2381 + 0.3810 \ln 0.3810 + 0.3810 \ln 0.3810) = 0,9803$$

$$E_4 = \frac{1}{\ln 3} (0.2381 \ln 0.2381 + 0.3810 \ln 0.3810 + 0.3810 \ln 0.3810) = 0,9803$$

$$E_5 = \frac{1}{\ln 3} (0.4804 \ln 0.4804 + 0.2647 \ln 0.2647 + 0.2549 \ln 0.2549) = 0,9580$$

$$E_6 = \frac{1}{\ln 3} (0.2727 \ln 0.2727 + 0.3636 \ln 0.3636 + 0.3636 \ln 0.3636) = 0,9922$$

$$E_7 = \frac{1}{\ln 3} (0.473 \ln 0.473 + 0.2444 \ln 0.2444 + 0.2825 \ln 0.2825) = 0,9608$$

4. Nustatomas kiekvieno kriterijaus kitimo lygis  $\bar{d}_j$

$$\bar{d}_j = 1 - E_j \quad (11)$$

Čia:  $E_j$ - kiekvieno kriterijaus entropijos lygis;

$$d_1 = 1 - 0,9995 = 0,0005$$

$$d_2 = 1 - 0,9713 = 0,0287$$

$$d_3 = 1 - 0,9803 = 0,0197$$

$$d_4 = 1 - 0,9803 = 0,0197$$

$$d_5 = 1 - 0,9580 = 0,0420$$

$$d_6 = 1 - 0,9922 = 0,0078$$

$$d_7 = 1 - 0,9608 = 0,0392$$

$$\sum d = 0,1575$$

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

$$\bar{q}_{j(t)} = \frac{\bar{d}_j}{\sum \bar{d}_j} \quad (12)$$

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

$$\bar{q}_{1(t)} = \frac{0,0005}{0,1575} = 0.003 \quad (0,3\%)$$

$$\bar{q}_{2(t)} = \frac{0,0287}{0,1575} = 0,1822 \quad (18,22\%)$$

$$\bar{q}_{3(t)} = \frac{0,0197}{0,1575} = 0.125 \quad (12,5\%)$$

$$\bar{q}_{4(t)} = \frac{0,0197}{0,1575} = 0,125 \quad (12,5\%)$$

$$\bar{q}_{5(t)} = \frac{0,0420}{0,1575} = 0,2668 \quad (26,68\%)$$

$$\bar{q}_{6(t)} = \frac{0,0078}{0,1575} = 0,0494 \quad (4,94\%)$$

$$\bar{q}_{7(t)} = \frac{0,0392}{0,1575} = 0,2486 \quad (24,86\%)$$

## 10 priedas. Racionaliausios alternatyvos nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą

Skaičiavimo eiga:

1. Naudojant turimus duomenis, sudaroma pradinių duomenų matrica P. Nustatomas kriterijų optimalumas ir surandama geriausia reikšmė. Duomenys surašomi į lentelę.

**10.1 lentelė.** Pradiniai duomenys skaičiavimui ir optimalios reikšmės (sudaryta autoriaus)

Alternatyvos Kriterijai	A1	A2	A3	Kriterijų optimumas	Geriausia reikšmė
K1	734,77	679,28	704,74	MIN	679,28
K2	210	126	126	MIN	126
K3	5	8	8	MAX	8
K4	5	8	8	MAX	8
K5	9,8	5,4	5,2	MIN	5,2
K6	6	8	8	MAX	8
K7	1,49	0,77	0,89	MIN	0,77

2. Atliekamas pradinių duomenų matricos P normalizavimas į matricą  $\bar{P}$ . Maksimizuojami kriterijai normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{P}_{tj} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (13)$$

Čia:  $x_{i-j}$  – normalizuojamo kriterijaus reikšmė;

$\max x_{i-j}$  - optimali kriterijaus reikšmė.

$$\bar{P}_{31} = \frac{5}{8} = 0,625; \quad \bar{P}_{32} = \frac{8}{8} = 1,0; \quad \bar{P}_{33} = \frac{8}{8} = 1,0;$$

$$\bar{P}_{41} = \frac{5}{8} = 0,625; \quad \bar{P}_{42} = \frac{8}{8} = 1,0; \quad \bar{P}_{43} = \frac{8}{8} = 1,0;$$

$$\bar{P}_{61} = \frac{6}{8} = 0,75; \quad \bar{P}_{62} = \frac{8}{8} = 1,0; \quad \bar{P}_{63} = \frac{8}{8} = 1,0;$$

Minimizuojami kriterijai normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{P}_{t-j} = \frac{\min x_{i-j}}{x_{i-j}} \quad (14)$$

Čia:  $x_{i-j}$  – normalizuojamo kriterijaus reikšmė;

$\min x_{i-j}$  - optimali kriterijaus reikšmė

$$\bar{P}_{11} = \frac{679,28}{734,77} = 0,92448; \quad \bar{P}_{12} = \frac{679,28}{679,28} = 1,0; \quad \bar{P}_{13} = \frac{679,28}{704,74} = 0,96387;$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{21} &= \frac{210}{126} = 0,6; & \bar{P}_{22} &= \frac{126}{126} = 1,0; & \bar{P}_{23} &= \frac{126}{126} = 1,0; \\ \bar{P}_{51} &= \frac{5,2}{9,8} = 0,5306; & \bar{P}_{52} &= \frac{5,2}{5,4} = 0,96296; & \bar{P}_{53} &= \frac{5,5}{5,2} = 1,0; \\ \bar{P}_{71} &= \frac{0,77}{1,49} = 0,51678; & \bar{P}_{72} &= \frac{0,77}{0,77} = 1,0; & \bar{P}_{73} &= \frac{0,77}{0,89} = 0,86517; \end{aligned}$$

Rezultatai surašomi į normalizuotą matricą  $\bar{P}$ :

**10.2 lentelė.** Normalizuotos kriterijų reikšmės (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Alternatyvos		
	A1	A2	A3
K1	0,92448	1	0,96387
K2	0,6	1	1
K3	0,625	1	1
K4	0,625	1	1
K5	0,5306	0,96296	1
K6	0,75	1	1
K7	0,51678	1	0,86517

3. Pasirenkama vertinimo skalė [0;100] ir didžiausiai normalizuotos matricos kriterijaus reikšmei priskiriama maksimali vertinimo sklaės reikšmė. Pvz.: 1→100. Kitos normalizuotos kriterijų reikšmės apskaičiuojamos pagal proporciją. Pvz.: 0,05→5; 0,057→5,7 ir t.t.

Gauti rezultatai surašomi į kriterijų naudingumo matricą  $C_{ij}$ .

Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai ir užrašoma prioritetų eilutė. Geriausias sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t.y. surenka didžiausią balų sumą.

**10.3 lentelė.** Alternatyvų naudingumas, balais (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Alternatyvos			Naudingumo vertė		
	A1	A2	A3	C1	C2	C3
K1	0,92	1,00	0,96	92,45	100,00	96,39
K2	0,60	1,00	1,00	60,00	100,00	100,00
K3	0,63	1,00	1,00	62,50	100,00	100,00
K4	0,63	1,00	1,00	62,50	100,00	100,00
K5	0,53	0,96	1,00	53,06	96,30	100,00
K6	0,75	1,00	1,00	75,00	100,00	100,00
K7	0,52	1,00	0,87	51,68	100,00	86,52
			Σ	457,19	696,30	682,90

Sudaroma alternatyvių sprendimų prioritetų eilutė, rezultatai pavaizduojami grafiškai ir padaromos išvados: A2>A3>A1

4. Kadangi yra žinomas subjektyvus kriterijų reikšmingumas  $q_j$  ir teorinis kriterijų reikšmingumas  $q_{j(t)}$ , tuomet galime nustatyti kompleksinį kriterijų reikšmingumą pagal formulę:

$$\bar{q}_{j0} = \frac{q_j q_{j(t)}}{\sum_{j=1}^n (q_j q_{j(t)})}; (j = \overline{1, n}) \quad (19)$$

**10.4 lentelė.** Kriterijų reikšmingumas (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Alternatyvos			
	$q_j$	$q_{j(t)}$	$q_j q_{j(t)}$	$q_{j0}$
K1	0,19809069	0,1310462	0,025959032	0,187945
K2	0,2052506	0,13441146	0,027588031	0,199739
K3	0,15274463	0,13119862	0,020039885	0,14509
K4	0,11455847	0,13452435	0,015410904	0,111576
K5	0,08591885	0,15973409	0,01372417	0,099364
K6	0,18377088	0,13663188	0,025108961	0,18179
K7	0,05966587	0,17245341	0,010289583	0,074497
Σ	1,0	1,0	0,138120566	1,0

5. Nustatomas racionalus sprendimas, kai įvertinamas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, t.y. apklausiant suinteresuotas grupes. Tam tikslui kiekvieno kriterijaus naudingumo balai ( $c_{ij}$ ) dauginami iš apskaičiuoto kriterijaus subjektyvaus reikšmingumo. Gautos reikšmės surašomos į naują matricą.

**10.5 lentelė.** Alternatyvų naudingumas (balais), įvertinant subjektyvų kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Naudingumo vertė (nuo 0 iki 100)			Subjektyvus kriterijų reikšmingumas $q_i$	Naudingumo vertė įvertinant kriterijaus reikšmingumas $N=q*c$		
	C1	C2	C3		N1	N2	N3
K1	92,45	100,00	96,39	0,198090692	18,313	19,809	19,093
K2	60,00	100,00	100,00	0,205250597	12,315	20,525	20,525
K3	62,50	100,00	100,00	0,15274463	9,547	15,274	15,274
K4	62,50	100,00	100,00	0,114558473	7,160	11,456	11,456
K5	53,06	96,30	100,00	0,085918854	4,559	8,274	8,592
K6	75,00	100,00	100,00	0,183770883	13,783	18,377	18,377
K7	51,68	100,00	86,52	0,059665871	3,083	5,967	5,162
				$\Sigma$	68,760	99,682	98,480

Sudaroma alternatyvių sprendimų prioritetų eilutė, rezultatai pavaizduojami grafiškai ir padaromos išvados:  $A2 > A3 > A1$

- Nustatomas racionalus sprendimas, kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, t.y. taikant entropijos metodą. Tam tikslui kiekvieno kriterijaus naudingumo balai ( $c_{ij}$ ) dauginami iš apskaičiuoto kriterijaus teorinio reikšmingumo. Gautos reikšmės surašomos į naują matricą.

**10.6 lentelė.** Alternatyvų naudingumas (balais), įvertinant teorinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Naudingumo vertė (nuo 0 iki 100)			Subjektyvus kriterijų reikšmingumas $q_i$	Naudingumo vertė įvertinant kriterijaus reikšmingumas $N=q*c$		
	C1	C2	C3		N1	N2	N3
K1	92,45	100,00	96,39	0,131046197	12,115	13,105	12,631
K2	60,00	100,00	100,00	0,134411456	8,065	13,441	13,441
K3	62,50	100,00	100,00	0,131198624	8,200	13,120	13,120
K4	62,50	100,00	100,00	0,134524345	8,408	13,452	13,452
K5	53,06	96,30	100,00	0,159734088	8,476	15,382	15,973
K6	75,00	100,00	100,00	0,136631876	10,247	13,663	13,663
K7	51,68	100,00	86,52	0,172453415	8,912	17,245	14,920
				$\Sigma$	64,422	99,408	97,201

$N=q*c$

(15)



Sudaroma alternatyvių sprendimų prioritetų eilutė, rezultatai pavaizduojami grafiškai ir padaromos išvados: A2>A3>A1

- Nustatomas racionalus sprendimas, kai įvertinamas kompleksinis kriterijų reikšmingumas. Tam tikslui kiekvieno kriterijaus naudingumo balai ( $c_{ij}$ ) dauginami iš apskaičiuoto kriterijaus teorinio reikšmingumo. Gautos reikšmės surašomos į naują matricą.

**10.7 lentelė.** Alternatyvų naudingumas (balais), įvertinant kompleksinį kriterijų reikšmingumą (sudaryta autoriaus)

Kriterijai	Naudingumo vertė (nuo 0 iki 100)			Subjektyvus kriterijų reikšmingumas $q_i$	Naudingumo vertė įvertinant kriterijaus reikšmingumas $N=q*c$		
	C1	C2	C3		N1	N2	N3
K1	92,45	100,00	96,39	0,187944725	17,375	18,794	18,115
K2	60,00	100,00	100,00	0,199738767	11,984	19,974	19,974
K3	62,50	100,00	100,00	0,1450898	9,068	14,509	14,509
K4	62,50	100,00	100,00	0,111575734	6,973	11,158	11,158
K5	53,06	96,30	100,00	0,099363696	5,272	9,568	9,936
K6	75,00	100,00	100,00	0,181790166	13,634	18,179	18,179
K7	51,68	100,00	86,52	0,074497112	3,850	7,450	6,445
				$\Sigma$	68,158	99,632	98,317

Sudaroma alternatyvių sprendimų prioritetų eilutė, rezultatai pavaizduojami grafiškai ir padaromos išvados: A2>A3>A1