



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

# **Šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Mindaugas Paulauskas**

Projekto autorius

**dr. Donatas Aviža**

Vadovas

---

**Panevėžys, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

# **Šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Statybos valdymas (6211EX007)

---

**Mindaugas Paulauskas**

Projekto autorius

**dr. Donatas Aviža**

Vadovas

---

Recenzentas / Recenzentė

**Panevėžys, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Mindaugas Paulauskas

## **Šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriteris vertinimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Mindaugas Paulauskas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



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

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

**Baigiamojo magistro projekto užduotis**

Diplomantui **Mindaugas Paulauskas**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	<i>Šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriteris vertinimas</i>
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	<i>Multicriteria Evaluation of the Efficiency of a Wooden Truss of the Pitched Roof</i>

Patvirtinta 2021 m. lapkričio 19 d. dekano potvarkiu Nr.V25-13-34.

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2022 m. sausio 4 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

*Pastato paskirtis – gyvenamosios paskirties A++ klasės pastatas.*

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

- 1. Apžvalginėje dalyje išanalizuoti Lietuvos ir užsienio šalių mokslinę literatūrą susijusią su šlaitinių stogų medinėmis konstrukcijomis.*
- 2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją bei MOORA metodo vertinimo algoritmą.*
- 3. Tiriamojoje dalyje pateikti šlaitinio stogo medinės santvaros vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausias variantą MOORA metodu. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę pagal santvaros svorio, įlinkio, medžiagų kainos, sujungimo mazgų kiekio, medienos tūrio apšiltinimo sluoksnyje bei palėpės panaudojimo galimybių rodiklius.*

Vadovas **dr. Donatas Aviža**  
(vadovo pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau **Mindaugas Paulauskas**  
(studento vardas, pavardė)

2021 m. lapkričio 22 d.

Paulauskas, Mindaugas. Šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriteris vertinimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas / dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: statyba, šlaitinis stogas, medinė santvara, daugiakriteris vertinimas, MOORA  
Panevėžys, 2022. 66 p.

### **Santrauka**

Apžvalginėje magistro darbo dalyje analizuojama Lietuvos ir užsienio šalių mokslinė literatūra, susijusi su šlaitinių stogų medinėmis konstrukcijomis. Trumpai apžvelgiami šlaitinių stogų istoriniai konstrukciniai sprendimai. Analizuojami šlaitinio stogo medinių konstrukcijų tipai ir jų sudedamosios dalys. Nagrinėjamos dažniausiai pasitaikančios klaidos, kurios lemia šlaitinio stogo medinių konstrukcijų ilgaamžiškumą. Apžvelgiami naujausi moksliniai tyrimai stogo konstrukcinių sprendimų srityje, kurių pritaikymas gali sumažinti neigiamą poveikį gamtos taršai.

Metodologinėje darbo dalyje pateikiama daugiakriterių vertinimo metodų klasifikacija, vertinami įvairūs daugiakriteriai metodai tarpusavyje. Lyginamas jų paprastumas, skaičiavimo laikas, patikimumas ir kt. Apžvelgiama mokslinė literatūra, kurioje aprašomas sėkmingas MOORA metodo pritaikymas įvairiose srityse. Darbe pateikiamas MOORA metodo realizavimo algoritmas.

Tiriamąjame darbo dalyje tiriamos keturių tipų medinės stogo santvaros. Parenkami vienodi visų stogo santvarų išoriniai matmenys bei skirtingi vidinių elementų išdėstymai. Suprojektuojamos medinės stogo santvaros, atlaikančios sniego, vėjo, stogo dangos, lubų bei palėpės techninio panaudojimo apkrovas. Bendras tiriamų santvarų ilgis – 13,7 m, santvaros dengia 12 m tarpatramį. Darbe, apklausus statybos ekspertus, pateikiamos šlaitinio stogo medinės santvaros vertinamosios alternatyvos bei parenkamas racionaliausias variantas MOORA metodu. Nustatoma alternatyvų prioritetų eilutė pagal santvaros svorį, įlinkį, medžiagų kainą, sujungimo mazgų kiekį, medienos tūrį apšiltinimo sluoksnyje bei palėpės panaudojimo galimybių rodiklius. Tiriamąjame dalyje santvaroms nubraižyti ir apskaičiuoti naudojamos *Autodesk AutoCad*, *Robot Structural Analysis Professional 2022*, *Microsoft Excel* programos.

**Tyrimo objektas** – šlaitinių stogų medinių santvarų konstrukcijos.

**Darbo tikslas** – atlikti šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriterį vertinimą.

#### **Darbo uždaviniai:**

1. Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio šalių mokslinę literatūrą, susijusią su šlaitinių stogų medinėmis konstrukcijomis.
2. Pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją bei MOORA metodo vertinimo algoritmą.
3. Pateikti šlaitinio stogo medinės santvaros vertinamasias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą MOORA metodu. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę pagal santvaros svorio, įlinkio, medžiagų kainos, sujungimo mazgų kiekio, medienos tūrio apšiltinimo sluoksnyje bei palėpės panaudojimo galimybių rodiklius.

**Tyrimo metodai** – mokslinių ir techninių šaltinių literatūros analizė, ekspertų apklausa, MOORA metodas.

**Pagrindiniai tyrimo rezultatai ir išvados.** Atlikus tyrimą MOORA metodu ištirti keturių skirtingų šlaitinio stogo santvarų tipai pagal medienos konstrukcijos svorį, medžiagų kainą, sujungimo mazgų kiekį, medienos tūrį apšiltinimo sluoksnyje, maksimalų įlinkį bei palėpės techninį panaudojimą. Nustatyta, kad santvara su keturiais spyriais (I tipas) yra efektyviausia norint uždengti 13,7 m pločio stogą.

**Magistro baigiamąjį projektą sudaro:** santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, literatūros sąrašas, išvados. Darbą sudaro 66 puslapiai, kuriuose yra 18 lentelių, 34 paveikslėliai ir 4 priedai.

Paulauskas, Mindaugas. Multicriteria Evaluation of the Efficiency of a Wooden Truss of the Pitched Roof. Master's Final Degree Project / supervisor/ dr. Donatas Aviža; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: construction, pitched roof, wooden truss, Multicriteria Evaluation, MOORA.

Panevėžys, 2022. 66 p.

### Summary

The review part of the master's thesis analyzes the scientific literature of Lithuania and foreign countries related to the wooden structures of pitched roofs. A brief overview of the historical design solutions for pitched roofs. Types of wooden structures of sloping roofs and their components are analyzed. The most common errors that determine the durability of wooden structures of a sloping roof are considered. Recent research in the field of roof construction solutions, the application of which can reduce the negative impact on environmental pollution, is reviewed.

The methodological part of the work presents the classification of multi-criteria evaluation methods, evaluates various multi-criteria methods with each other. Their simplicity, computation time, reliability, etc. are compared. The scientific literature describing the successful application of the MOORA method in various fields is reviewed. The algorithm for the implementation of the MOORA method is presented in the work.

In the research part of the work four types of wooden roof trusses are investigated. The same external dimensions of all roof trusses and different layouts of internal elements are selected. Wooden roof trusses are designed to withstand the technical use loads of snow, wind, roofing, ceilings and attics. The total length of the investigated trusses is 13.7 m, the trusses cover a span of 12 m. In the work, after interviewing construction experts, the evaluation alternatives of the wooden truss of the sloping roof are presented and the most rational variant is selected by the MOORA method. The order of alternative priorities is determined according to the truss weight, deflection, price of materials, number of joints, volume of wood in the insulation layer and indicators of the possibility to use the attic. *Autodesk AutoCad, Robot Structural Analysis Professional 2022, Microsoft Excel* programs are used to draw and calculate trusses in the research part.

The object of the research is the wooden constructions of pitched roofs and their installation technologies.

The aim of the work is to perform a multi-criteria evaluation of the efficiency of a wooden roof truss.

Work task:

1. To analyze the scientific literature of Lithuania and foreign countries related to the wooden constructions of sloping roofs.
2. To present the classification of multi-criteria evaluation methods and the evaluation algorithm of the MOORA method.

3. To present the evaluation alternatives of the wooden truss of the pitched roof and to select the most rational variant by the MOORA method. To determine the order of alternative priorities according to the indicators of truss weight, deflection, price of materials, number of joints, volume of wood in the insulation layer and the possibility of using the attic.

**Research methods:** analysis of scientific and technical literature, survey of experts, MOORA method.

**The main results and conclusions of the research.** Empirical research using MOORA method investigated four different types of pitched roof trusses according to the weight of the timber structure, the price of materials, the number of joints, the volume of wood in the insulation layer, the maximum deflection and the technical use of the attic. A truss with four springs (type I) was found to be the most effective in covering a 13.7 m wide roof.

**The master 's final project consists of:** abstracts in Lithuanian and English, introduction, 3 chapters, conclusions, references, list of information sources. The work consists of 66 pages with 18 tables, 34 pictures and 4 appendices.



## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>14</b>
<b>1. Mokslinės literatūros apžvalga.....</b>	<b>15</b>
1.1. Deformacijos šlaitinio stogo konstrukcijose .....	15
1.2. Šlaitinių stogų konstrukcijos .....	17
1.3. Oro sąlygų įtaka stogų konstrukcijoms .....	23
1.4. Dažniausiai pasitaikantys šlaitinių stogų defektai .....	25
1.5. Teisiniai dokumentai ir reikalavimai .....	27
<b>2. Daugiakriterio vertinimo metodika .....</b>	<b>31</b>
2.1. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija.....	31
2.2. Daugiakriteris vertinimo metodas MOORA .....	33
2.3. MOORA metodo realizavimo algoritmas .....	35
<b>3. Tiriamoji dalis.....</b>	<b>37</b>
3.1. Medinės santvaros .....	37
3.2. Daugiakriterio vertinimo rodikliai.....	38
3.3. Ekspertų apklausos nuomonių suderinimas.....	40
3.4. Medinių santvarų skaičiavimas .....	42
3.5. Santvarų vertinimas daugiakriteriu MOORA metodu.....	51
<b>Išvados .....</b>	<b>60</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>61</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>66</b>
1 priedas. I tipo santvaros elementų skaičiavimai .....	66
2 priedas. II tipo santvaros elementų skaičiavimai .....	68
3 priedas. III tipo santvaros elementų skaičiavimai .....	70
4 priedas. IV tipo santvaros elementų skaičiavimai .....	72

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Vientisos medienos fizikinių ir mechaninių savybių charakteristinių rodiklių reikšmės [19] .....	28
<b>2 lentelė.</b> Apkrovos veikimo klasės [19].....	28
<b>3 lentelė.</b> Medžiagos ir antikorozinės apsaugos dangos [19].....	29
<b>4 lentelė.</b> Daugiatikslių metodų klasifikacija [25] .....	32
<b>5 lentelė.</b> Daugiatikslių metodų vertinimas [31] .....	33
<b>6 lentelė.</b> Rodiklių reikšmingumas apklausus statybos ekspertus.....	40
<b>7 lentelė.</b> Santvarą veikiančios apkrovos .....	43
<b>8 lentelė.</b> ULS deriniai .....	44
<b>9 lentelė.</b> SLS deriniai .....	44
<b>10 lentelė.</b> Santvaros su keturiais spyriais elementų išsklotinė .....	46
<b>11 lentelė.</b> Santvaros su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais elementų išsklotinė .....	47
<b>12 lentelė.</b> Santvaros su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu elementų išsklotinė .....	48
<b>13 lentelė.</b> Santvaros su keturiolika spyrių elementų išsklotinė .....	50
<b>14 lentelė.</b> Pradinė sprendimų priėmimo matrica .....	54
<b>15 lentelė.</b> Normalizuota sprendimų matrica .....	55
<b>16 lentelė.</b> Svertinė normalizuota sprendimų matrica.....	56
<b>17 lentelė.</b> Normalizuota sprendimų matrica, kai kriterijų reikšmingumas vienodas.....	57
<b>18 lentelė.</b> Svertinė normalizuota sprendimų matrica, kai kriterijų reikšmingumas vienodas .....	58

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Villanovan San Vitale steloje (VIII a. pr. Kr.) atvaizduota stogo konstrukcija [3].....	15
<b>2 pav.</b> „Karūnos stulpą“ vaizduojantis piešinys [3] .....	16
<b>3 pav.</b> Mansardos analizė, siekiant įvertinti konstrukcijų visuotinį elgesį. Raudona spalva pirmose trijose santvarose reiškia, kad elementai pasislinko link esamos sienos [5] .....	17
<b>4 pav.</b> Šlaitinių stogų formos: a – vienslaičiai; b – dvislaičiai; c – keturslaičiai (valminiai); d – pusvalminiai; e – daugiaslaičiai; 1 – stoglangis; 2 – kraigas; 3 – briauna; 4 – valma; 5 – pusvalmė; 6 – latakas [6] .....	18
<b>5 pav.</b> Stogo su gegnėmis konstrukcija, naudojant spyrinę sistemą: 1 – atraminė plokštė; 2 – stulpas; 3 – spyris; 4 – styga; 5 – sija; 6 – mūrtašis; 7 – viršutinė sija [9] .....	19
<b>6 pav.</b> Stogo santvarų konstrukcija: 1 – santvaros sijos; 2 – metalinės plokštelės; 3 – horizontalūs tvirtinimai; 4 – ištisinis paklotas (jei reikia, parenkamas pagal dangos tipą) [9] .....	20
<b>7 pav.</b> Santvaros mazgų jungtys: a – tempimo mazgas; b – suspaudimo mazgas su užpildytu skerspjūviu [10] .....	20
<b>8 pav.</b> Realizuota santvaros struktūra Vienoje [10] .....	21
<b>9 pav.</b> Šlaitinių stogų medinės konstrukcijos: a – gegnių konstrukcija; b – konstrukcija panaudojant stogo stygas; c – santvarų konstrukcija [11] .....	22
<b>10 pav.</b> Šlaitinio stogo schema [12] .....	23
<b>11 pav.</b> Stogo konstrukcija ZEB bandymo kameros laboratorijoje, termoporų padėtis ir oro greičio matavimo prietaisais. Apskritimas nurodo vietą, iš kurios įrašomi oro greičio duomenys [13] .....	24
<b>12 pav.</b> Stogo konstrukcijų sujungimo defektas [14] .....	25
<b>13 pav.</b> Stogo konstrukcijų sujungimo defektai [16] .....	26
<b>14 pav.</b> Tipiški oro nutekėjimai per garų izoliaciją [16] .....	27
<b>15 pav.</b> Apkrovos rajonai Lietuvoje: a – sniego apkrovos rajonai; b – vėjo apkrovos rajonai [21] .	30
<b>16 pav.</b> Daugiarodiklių vertinimo metodų klasifikavimas [24, 26] .....	32
<b>17 pav.</b> MOORA metodo sprendimo algoritmo schema [sukurta autoriaus] .....	36
<b>18 pav.</b> Tiriamų medinių santvarų tipai: a – santvara su keturiais spyriais; b – santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais; c – santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu; d – santvara su keturiolika spyrių [santvaros sukurtos autoriaus] .....	38
<b>19 pav.</b> Daugiakriterio vertinimo rodikliai [sukurta autoriaus] .....	39
<b>20 pav.</b> Kriterijų reikšmingumas .....	42
<b>21 pav.</b> Santvaros atramos: 1 – šarnyrinė atrama, poslinkis y ašimi; 2 – šarnyrinė atrama, poslinkis x ir y ašimis [sukurta autoriaus] .....	42
<b>22 pav.</b> Santvaros elementus veikiančios apkrovos .....	43
<b>23 pav.</b> Apskaičiuota santvara su keturiais spyriais [sukurta autoriaus] .....	45
<b>24 pav.</b> Apskaičiuota santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais [sukurta autoriaus] .....	47
<b>25 pav.</b> Apskaičiuota santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu [sukurta autoriaus] .....	48
<b>26 pav.</b> Apskaičiuota santvara su keturiolika spyrių [sukurta autoriaus] .....	50
<b>27 pav.</b> Apskaičiuota medienos masė .....	51
<b>28 pav.</b> Santvaros medžiagų kaina .....	52
<b>29 pav.</b> Sujungimo mazgų kiekis .....	52
<b>30 pav.</b> Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje .....	53
<b>31 pav.</b> Projektinis santvaros įlinkis .....	53
<b>32 pav.</b> Techninis palėpės panaudojimo patogumas .....	54

<b>33 pav.</b> Medinių stogo santvarų efektyvumo vertės .....	57
<b>34 pav.</b> Medinių stogo santvarų efektyvumo vertės parenkant vienodą rodiklių reikšmingumą .....	59

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

KTU – Kauno technologijos universitetas;

Lekt. – lektorius;

STR – statybos techninis reglamentas;

MCDM – daugiakriteris sprendimų priėmimo metodas (angl. *Multiple Criteria Decision Making*);

MODM – daugiatakslis sprendimų priėmimo metodas (angl. *Multiple Objective Decision Making*);

MADM – daugarodiklis sprendimų priėmimo metodas (angl. *Multiple Attribute Decision Making*);

MOORA – daugiatakslis optimizavimo metodas paremtas santykinių didžiųjų analizės pagrindu (angl. *Multi – Objective Optimization On the basis of Ratio Analysis*);

ULS – saugos ribinis būvis;

SLS – tinkamumo (deformacijų) ribinis būvis;

PVM – pridėtinės vertės mokestis.

### Terminai:

**Stogas** – viršutinė pastatą dengianti dalis, sauganti pastato vidų nuo atmosferos poveikio. Stogų konstrukcijoms priskiriami: plokščiasis neeksploatuojamas stogas, plokščiasis eksploatuojamas stogas, plokščiasis neeksploatuojamiesiems atvirkštinis stogas, plokščiasis neeksploatuojamas apželdintas stogas bei šlaitinis stogas, įrengti tarp šildomų patalpų ir išorės, tarp šildomų patalpų ir šiltnamio, tarp šildomų patalpų ir įstiklinto balkono arba įstiklintų galerijų, tarp šildomo ir nešildomo pastato patalpų, tarp šildomų ir nešildomų apšiltintų patalpų, o taip pat perdangos po nešildoma pastoge, perdangos po patalpų oru vėdinamomis pastogėmis [1, 7.40 punktas].

**Šlaitinis stogas** – stogas, kurio šlaitų nuolydis didesnis kaip  $7^\circ$  [1, 7.45 punktas].

**Stogo karnizas** – stogo dalis, išsikišanti už išorinės sienos vertikaliosios plokštumos [1, 7.43 punktas].

**Kraigas** – šlaitinio stogo viršutinė horizontali šlaitų sankirtos briauna [1, 7.15 punktas].

**Vėdinamas oro tarpas** – su išorės aplinkos oru susisiekiantis tarpas tarp apdailos ir vėjo izoliacinio arba termoizoliacinio sluoksnio. Vėdinamo oro tarpo storis apskaičiuojamas kaip mažiausias atstumas tarp išoriniame atitvaros paviršiuje esančios apdailos vidinio paviršiaus ir termoizoliacinio sluoksnio išorinio paviršiaus [1, 7.50 punktas].

**Defektas** – tai objekto (statybinių medžiagų, elementų, konstrukcijų) neatitiktis nustatytiems reikalavimams, t. y. kokybės rodiklių parametrų nuokrypiai nuo normų ar projekto reikalavimų, atsirandantys gamybos, transportavimo ar statybos darbų metu [2].

**Efektyvumas** – rezultato ir sąnaudų, reikalingų jam pasiekti, santykis arba jų atitikimo laipsnis [2].

## Įvadas

Šlaitiniams stogams dengti dažniausiai naudojamos medinės stogo konstrukcijos. Tokiomis konstrukcijomis įprasta dengti individualių namų stogus. Medienos panaudojimo šlaitiniams stogams tradicija susiformavo dėl lengvos prieigos prie aukštos kokybės žaliavų, tačiau medienos naudojimas pastatuose ne visada gali būti tinkamas pasirinkimas dėl tvirtumo ar klimato poveikio (pvz., pelėsio, puvinio, drėgmės). Tai reiškia, kad norint kokybiškai uždengti medinių konstrukcijų stogą, ypatingą dėmesį reikia skirti statybos technologijai.

Šiaurės Europa pasižymi itin įvairiu klimatu, kuriai būdingas ekstremalių sezoninių svyravimų priežastys. Mediniai stogai vertinami kaip stogo konstrukcijos, kuriose laikančioji konstrukcija susideda iš medžio. Tokioms konstrukcijoms būtina užtikrinti pakankamą ventiliaciją, kad drėgmė pasišalintų iš stogo konstrukcijos. Klimatas kelia didelę paklausą Lietuvos pastatų apvalkalui. Pastatus ir ypač stogą gali paveikti stiprus vėjas, sniego apkrovos, krituliai, užšalimo ciklai ir dideli temperatūros svyravimai. Klimato poveikis daro didelę įtaką stogo medžiagų ir stogo konstrukcijų ilgaamžiškumui.

**Ištirtumas, aktualumas ir naujumas** – griežtėjant statybos standartams atsiranda būtinybė ieškoti naujesnių, modernesnių ir efektyvesnių šlaitinių stogų konstrukcinių sprendimų, kurie būtų pritaikyti prie šiuolaikinių vidaus apdailos, atitvarų šiltinimo, inžinerinių sistemų ar stogo dangos medžiagų. Labai svarbu tinkamai įvertinti kriterijus, pagal kuriuos projektuojamos medinės stogo konstrukcijos.

**Tyrimo objektas** – šlaitinių stogų medinių santvarų konstrukcijos.

**Darbo tikslas** – atlikti šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriterį vertinimą.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Išanalizuoti Lietuvos ir užsienio šalių mokslinę literatūrą, susijusią su šlaitinių stogų medinėmis konstrukcijomis.
2. Pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją bei MOORA metodo vertinimo algoritmą.
3. Pateikti šlaitinio stogo medinės santvaros vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą MOORA metodu. Nustatyti alternatyvų prioritetų eilutę pagal santvaros svorio, įlinkio, medžiagų kainos, sujungimo mazgų kiekio, medienos tūrio apšiltinimo sluoksnyje bei palėpės panaudojimo galimybių rodiklius.

**Tyrimo metodai** – mokslinių ir techninių šaltinių literatūros analizė, ekspertų apklausa, MOORA metodas.

**Autoriaus publikuotas straipsnis:** Paulauskas M., Aviža D., Zacharovienė E. *Šlaitinio stogo medinės santvaros efektyvumo daugiakriteris vertinimas*. Studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2021“ skaitytas pranešimas 2021 m. balandžio mėn. 23 d., Panevėžys.

**Magistro baigiamąjį projektą sudaro:** santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, informacijos šaltinių sąrašas. Darbą sudaro 66 puslapiai, kuriuose yra 18 lentelių, 34 paveikslėliai ir 4 priedai.

## 1. Mokslinės literatūros apžvalga

Mediena yra viena pirmųjų žmonijos statybinių medžiagų dėl jos puikių mechaninių (stiprumo, kietumo, tamprumo, lankstumo, skalumo), fizinių (drėgnumo, išvaizdos, tankio, vandens laidumo), taip pat technologinių (smūginio tūsumo, medienos gebėjimo sugerti smūgio energiją nesuyrant) savybių. Tačiau, be gerųjų medienos charakteristikų, turi būti įvertintas ir didelis medienos deformavimasis. Tai sąlygoja apkrovos intensyvumas, kryptis ir trukmė bei apribojimų standumo laipsnis ir išdėstymas. Mokslo pažanga ir tolesnės gilesnės žinios apie medienos elgseną ir apskritai apie konstrukcinę mechaniką reiškė, kad stogo darbams atlikti reikia vis veiksmingesnių deformacijų mažinimo sprendimų [3]. Stogo konstrukcijos, kaip santvaros atvaizdavimas, aptiktas Villanovan San Vitale steloje (VIII a. pr. Kr.). Ant smiltainio luito atvaizduotas gyvenamasis namas, kuriam būdinga santvara kaip stogo konstrukcija (žr. 1 pav.).



**1 pav.** Villanovan San Vitale steloje (VIII a. pr. Kr.) atvaizduota stogo konstrukcija [3]

Trikampės stogo konstrukcijos taip pat randamos senovės Graikijos ir Romos konstrukcinėse stogų technologijose [3].

### 1.1. Deformacijos šlaitinio stogo konstrukcijose

2017 m. Ruggieri straipsnyje [3] siekė pristatyti istorinius pokyčius tiriant medienos konstrukcijų standumo didinimo technologinius prietaisus ir gerinant jų elgseną, esant dinaminėms ir gravitacinėms apkrovoms. Ši informacija ypač naudinga praktikams, užsiimantiems senovės medinių konstrukcijų apsauga.

Maždaug 1200 m. socialinių ir ekonominių sąlygų vystymasis bei gerinimas lėmė pagrindinių kambario matmenų išplėtimą ir gyvenamojo ploto poreikį mansardoje. Tai paskatino konstrukcijos gamybą, apimančią reikšmingesnę tarpatramį ir padidėjusį stogo nuolydį. Toks konfigūracijos

variantas reiškia, kad buvo priimtas techninis sprendinys, skirtas pagerinti išilginį stogo stabilumą, pavyzdžiui toks, kaip „Karūnos stulpai“ (žr. 2 pav.).



2 pav. „Karūnos stulpą“ vaizduojantis piešinys [3]

„Karūnos stulpas“ – tai stovas, atsirėmęs į stygą, iš kurios kyla dvi statmenos kiekvieno struktūrinio vieneto kryptys, dvi pasvirusios dalys, kurių pagrindinis tikslas yra sušvelninti santvarų krovimo tendencijas. Tokią žalą daro didelis stogo kraštinių santykis, kuris, nepaisant sumažėjusio horizontalaus komponento gegnių gale, turi didesnę paviršiaus plotą ir dėl to didesnę vėjo slėgio ir siurbimo apkrovas. Panašus pažeidžiamumas apibūdino viduramžių stogų konstrukcijas Vidurio Europos šalyse, Vokietijoje, Rumunijoje, Austrijoje ir Čekijoje, kur pagrindinė trikampė santvara buvo su keliais pasvirusiais elementais ir daugiau ar mažiau sudėtinga, kad būtų suformuoti nesideformuojantys trikampiai plokštumos standinimui.

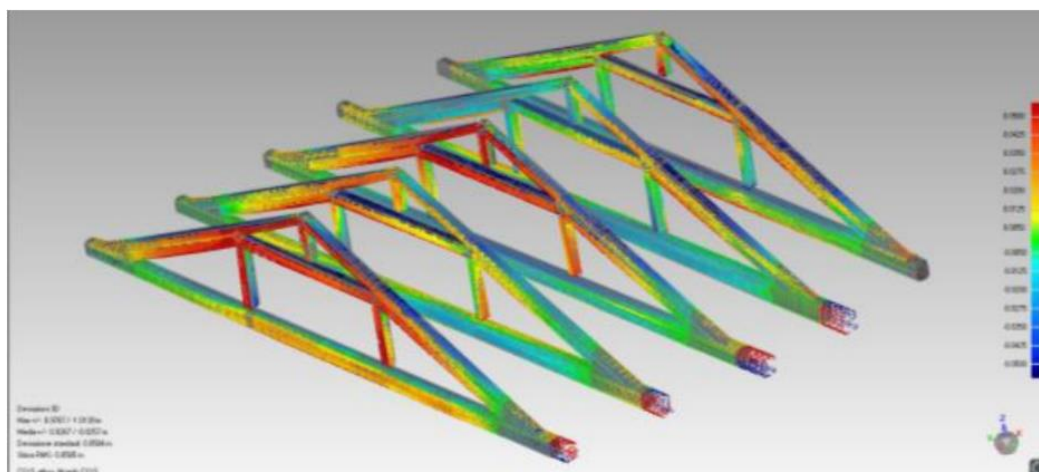
Stogų techninė ir technologinė raida buvo labai skirtinga, pasižymėjo ypatingu variantų turtingumu, ypač Šiaurės ir Centrinės Europos dalies pastatuose. Reikšmingos konstruktyvios medienos žinios bei poreikis reaguoti į vėjo ir sniego sukeltas apkrovas, įpareigojo šių regionų konstruktorius ir meistrus priimti vis tobulesnius sprendimus, skirtus padidinti stogo konstrukcijų standumą [3].

Istoriniai mediniai stogai yra analizuojami literatūroje tiek statybos teorijos ir statybos technologijų disciplinos, tiek architektūros ir restauravimo srityse. Nepaisant to, nedaugelis tyrimų sistemingai ištyrė tikrąjį šių konstrukcinių sistemų elgesį, pasikliaudami patirtimi ir diagnoze šioje srityje. Tai pateisinama įvairiais veiksniais, be abejo, tuo, kad stogo konstrukcijos yra paslėptos ir sunkiai prieinamos, o technikų ir tyrinėtojų dėmesio nesulaukiama, nebent kiltų rimtų pablogėjimo ar akivaizdžios žalos problemų, turinčių pasekmių žmonių saugumui. Stogas yra pastato plotas, kuriame didžiausia galimybė kilti gaisrui, jam būdingos deformacijos. Straipsnio autoriai nustatė, kad šiaurės



Europos šalių stogo santvaros pagamintos iš horizontalių ir pasvirusių elementų. Jų schemas paprastos, dalis santvaros elementų statiškai nereikalingi. Tuo tarpu Anglijoje stogo santvarose naudotos sudėtingesnės schemas, kurios sudarytos iš mažų elementų [4].

Prati ir kiti [5] pristatė naują, generatyviais algoritmais pagrįstą metodą, kuris daugiausiai dėmesio skiria geometriniam matavimams ir konstruktyvinei analizei. Sukurtas metodas pagreitina modeliavimo procedūras ir suteikia naujų įrankių analizuoti šias konstrukcines sistemas, naudojant antžeminio lazerio nuskaitymo įrenginius. Tyrimams buvo pasirinkta San Domenico bažnyčia, choro plotą atitinkanti stogo dalis. Tai yra Domenico di Guzmán įkurto Ordino patriarchalinė bažnyčia, 1219 m. įkurta San Nicolò delle Vigne vienuolyne. Pagrindinis medinių santvarų modeliavimo algoritmo pranašumas yra tas, kad atlikus visą tipiškos santvaros modeliavimo procesą, galima pakartotinai suprojektuoti visas kitas to paties tipo santvaras [5]. Norint įterpti visus tolesnius 3D modelius, būtina tik įvesti naujas vektorizuotų pjūvių kreives. Tokiu būdu galima atlikti visų santvarų, sudarančių visą stogą, bendrą analizę ir tuo pačiu metu geriau suprasti bendrą visos struktūrinės sistemos elgesį (žr. 3 pav.).

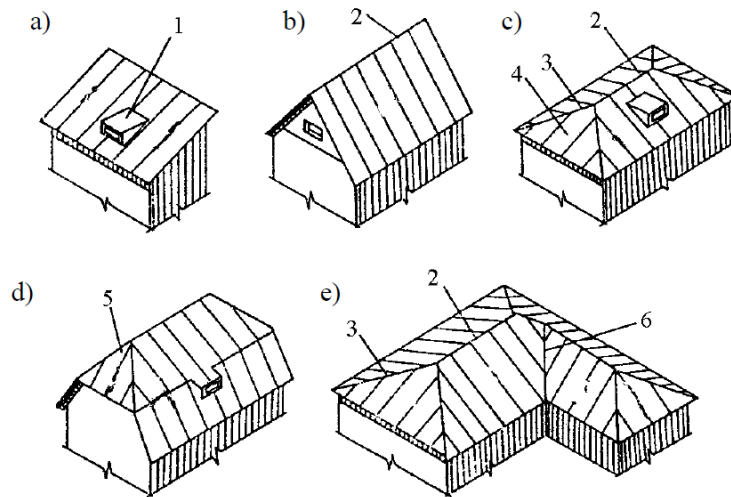


**3 pav.** Mansardos analizė, siekiant įvertinti konstrukcijų visuotinį elgesį. Raudona spalva pirmose trijose santvarose reiškia, kad elementai pasislunko link esamos sienos [5]

Analizė parodė, kad San Domenico bazilikos choro stogo dangoje santvaros yra geros būklės. Tai patvirtina ankstesnės kokybinės analizės skaitmeniniai duomenys. Be to, naujas skaitmeninis kiekybinis įvertinimas, patvirtinantis kokybinių nuokrypių duomenis, leidžia palyginti šiuos poslinkius ir deformacijas su saugos ribinėmis vertėmis, nustatytomis dabartiniame reglamente. Tokiu būdu santvaros elementų, turinčių struktūrinę probleminę ar rizikingą būklę, nustatymas tampa tikslesnis ir patikimesnis [5].

## 1.2. Šlaitinių stogų konstrukcijos

Dabartinėje individualių namų statyboje paplitę vienslaičiai ir dvislaičiai stogai. Būna ir keturslaičių, valminių, kupolinių, daugiaslaičių, kūginių stogų formų (žr. 4 pav.) [6].



**4 pav.** Šlaitinių stogų formos: a – vienšlaičiai; b – dvišlaičiai; c – keturšlaičiai (valminiai); d – pusvalminiai; e – daugiašlaičiai; 1 – stoglangis; 2 – kraigas; 3 – briauna; 4 – valma; 5 – pusvalmė; 6 – latakas [6]

Šlaitinių stogų laikančiąsias konstrukcijas sudaro gegnės arba santvaros. Atitvarinę stogo konstrukciją sudaro danga, kuri klojama ant vientiso arba išretinto pagrindo (lentų, plokščių, grebėstų) [6].

Pagal Europos medienos konstrukcijų projektavimo eurokodą (Eurocode 5) visos medinės santvaros yra suprojektuotos kaip plokštumoje esanti konstrukcija, todėl laikoma, kad naudojamos įtvirtinimo sistemos užkerta kelią santvaros deformacijoms už plokštumos, jei užtikrinamas pakankamas tvirtumas ir standumas.

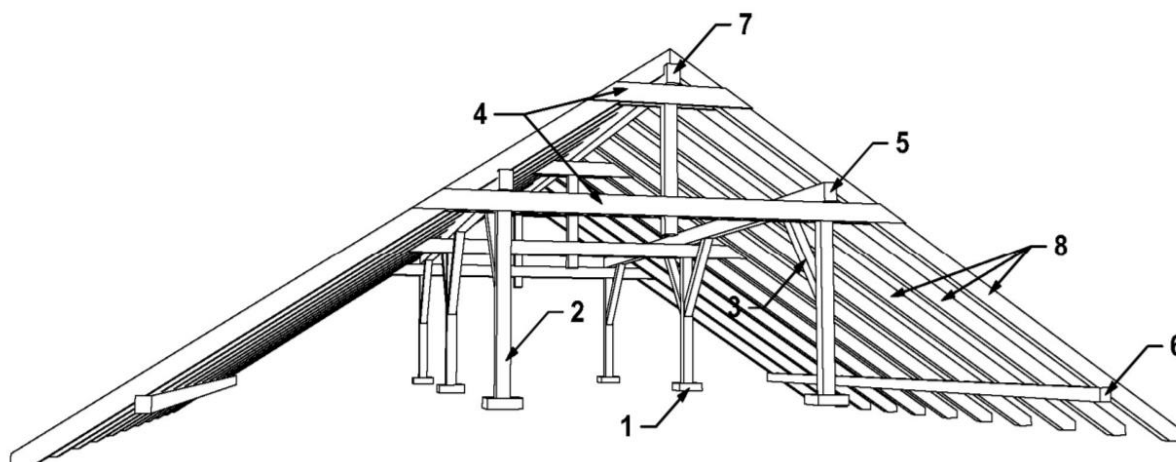
Sejtot ir kiti [7] straipsnyje nagrinėja, kaip medinės tvirtinimo sistemos standumas prisideda prie santvaros stogo konstrukcijos stabilumo už plokštumos. Rezultatai iš skaitmeninių modeliavimų rodo, kad suspaustose medinių konstrukcijų dalyse gali atsirasti reikšmingų pakitimų per ilgą trukmės periodą. Vertės, gautos atliekant skaičiavimus pagal projektavimo kodą, kartais ženkliai neatitiko rezultatų, gautų atliekant skaitines simuliacijas [7].

Šlaitinių stogų laikančiosioms konstrukcijoms dažniausiai naudojama mediena. Laikančiąją stogo konstrukciją sudaro mūrtašis, gegnės, stygos, kitos papildomos atraminės konstrukcijos. Medinės stogo konstrukcijos sudėtingumas priklauso nuo tenkančių apkrovų, pastato paskirties ir stogui naudojamos medienos tipo. Konstruktyvas skaičiuojamas pagal stogui tenkančias apkrovas ir stogo nuolydį. Tradicinio šlaitinio stogo konstrukcijomis paprastai dengiamas 4–6 m tarpas tarp atramų naudojant vientisą medieną.

Įrengiant šlaitinio stogo konstrukcijas pagrindinis laikantysis stogo elementas yra gegnė, tačiau jei jos ilgis didesnis kaip 4 m arba reikia eliminuoti skėtimo jėgą, gegnės papildomai gali būti remiamos spyriais ir statramsčiais. Taip sudaroma spyrinė sistema. Sniego apkrova perduodama gegnėms, o nuo jų ilginiui arba tiesiai spyriams ir statramsčiams, kurie remiasi į sienas arba kitas atramas [8].

Šlaitinių stogų laikančios gegnės atremiamos į mūrtašį, kuris pritvirtintas prie išorinės pastato sienos. Stulpai tvirtinami ant konstrukcinių vidinių pastato sienų ar kolonų, kurių viršutinėje dalyje sumontuotas gelžbetoninis žiedas. Stulpai yra vertikalūs arba pasvirę mediniai elementai, išdėstyti išilgai pastato. Jie remiasi į išilgines arba skersines konstrukcines sienas per atramines plokštes. Šie

elementai pagaminti iš pjautinės medienos, kurios stačiakampiai skerspjūviai yra nuo  $150 \times 150$  mm iki  $200 \times 200$  mm arba apvalios medienos skerspjūviai, kurių skersmuo nuo 120 mm iki 170 mm. Stogo stygos yra horizontalūs elementai, dedami po sijomis, kad sutvirtintų stulpus ir gegnes. Įprastas stogo sijų skerspjūvio matmuo yra 28–150 mm. [9] (žr. 5 pav.).

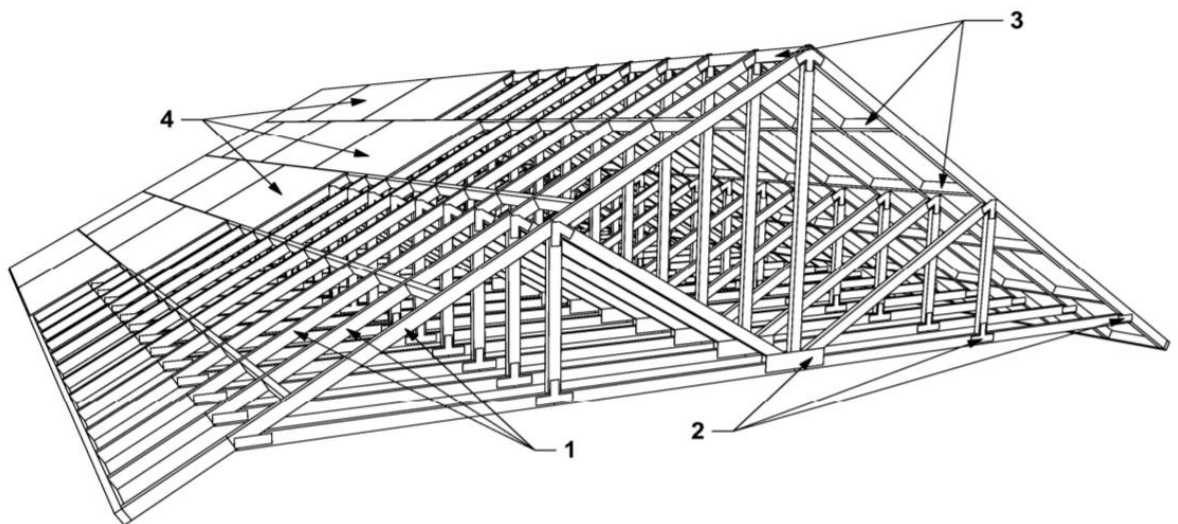


**5 pav.** Stogo su gegnėmis konstrukcija, naudojant spyrinę sistemą: 1 – atraminė plokštės; 2 – stulpas; 3 – spyris; 4 – styga; 5 – sija; 6 – mūrtašis; 7 – viršutinė sija [9]

Spyriai yra kvadratinio arba apvalaus skerspjūvio mediniai elementai, jų matmenys nuo  $100 \times 100$  mm iki  $120 \times 120$  mm. Visi šio tipo stogo konstrukciniai elementai, būtent gegnės, spyriai, stulpai ir mūrtašis, turi didelį skerspjūvį ir yra pagaminti iš vientisos pjautinės medienos. Šie medžio masyvo elementai paprastai pristatomi į statybvieta, kur jie individualiai supjaustomi pagal dydį ir reikiamą formą. Pjaunant medienos elementus susidaro didelės atliekos. Ilguoju laikotarpiu išauga išlaidos, susijusios su medienos elementų tvarkymu [9].

Gegnės, perdangos sijos ir kitos konstrukcijos, kurioms reikia atlaikyti didesnes apkrovas, gali būti gaminamos panaudojant klijuotą medieną. Gegnių atstumai projektuojami 0,4–1,2 m pločio. Gegnių matmenis ir tarpus tarp jų parenka konstruktorius, skaičiuojantis stogo konstrukciją, įvertinęs projektuojamą stogo dangą, nuolydį, apšiltinimo storį, vidaus apdailą ir kt. Kiekvienam namo stogui būtini individualūs konstrukciniai skaičiavimai.

Santvarinis gegnių stogas (žr. 6 pav.) – tai modernus stogo konstrukcinės sistemos sprendimas gyvenamajam namui. Medinės stogo santvaros gaminamos iš mažų medienos elementų, mazguose pritvirtintų plieninėmis plokštėmis ir varžtais arba perforuoto plieno plokštelėmis. Ši stogo sistema gali dengti didesnius tarpatramius negu pirmiau aprašyti stogo tipai. Tokios stogui tenkančios apkrovos perkeliama tik į išorines pastato sienas. Vienas šios stogo konstrukcijos trūkumas yra tai, kad santvaros elementai užblokuoja erdvę, kuri galėtų būti naudojama saugojimui arba tinkama gyventi [9]. Santvaros sija arba gegnė yra trikampė medinė konstrukcija, paprastai pagaminta iš mažesnių elementų. Medinės lentos sujungtos vinimis, varžtais ir plieninėmis plokštėmis. Santvarų sistema gali būti pagaminta statybvietyje arba specializuotose dirbtuvėse. Vidiniai santvaros elementai yra veikiami ašinių jėgų, įtempimo ar suspaudimo, o viršuje ir apačioje stygos veikiamos ašinių jėgų kartu su lenkimu.



**6 pav.** Stogo santvarų konstrukcija: 1 – santvaros sijos; 2 – metalinės plokštelės; 3 – horizontalūs tvirtinimai; 4 – ištininis paklotas (jei reikia, parenkamas pagal dangos tipą) [9]

Horizontalūs tvirtinimai, pagaminti iš trumpų medienos gabalų, eina tarp viršutinių stygų 1,2 m atstumu. Tvirtinimų skerspjūvis gali būti lygus iki gegnių skerspjūvio. Jų vaidmuo yra užkirsti kelią sukimuisi ar šoniniam gegnių poslinkiui. Kaip konstrukcinis stogo paklotas gali būti naudojamos OSB plokštės arba grebėstai, ant kurių vėliau montuojama stogo danga.

Medinės santvaros sistemos yra veiksmingos laikančiosios stogo konstrukcijos. Jų panaudojimas suteikia didelę dizaino laisvę ir pasižymi geresniu medžiagų panaudojimu, kuris mažina aplinkos poveikį. Deja, šiuo metu santvaros mazgų jungtyse daugiausia naudojamos plieninės plokštės neigiamai veikia santvarų sąnaudas ir poveikį aplinkai. Tyrimo [10] autorių tikslai buvo optimizuoti medinių santvarų dizainą ir naudoti tik medieną visuose santvaros komponentuose. Moksliniame darbe aptarti santvaros mazgai naudojant tik medines jungtis (žr. 7 pav.).



**7 pav.** Santvaros mazgų jungtys: a – tempimo mazgas; b – suspaudimo mazgas su užpildytu skerspjūviu [10]

Skaitmeninė optimizavimo strategija pagrįsta parametriniu santvaros dizainu ir genetinio tirpiklio naudojimu atsižvelgiant į minimalų medžiagų suvartojimą. Santvaros sujungimams naudojama faneros plokštė, kuri įkišama į santvaros elementus ir tvirtinama su mediniais kaiščiais. Tyrimui pasirinkta robotų laboratorija, esanti Vienoje (žr. 8 pav.).

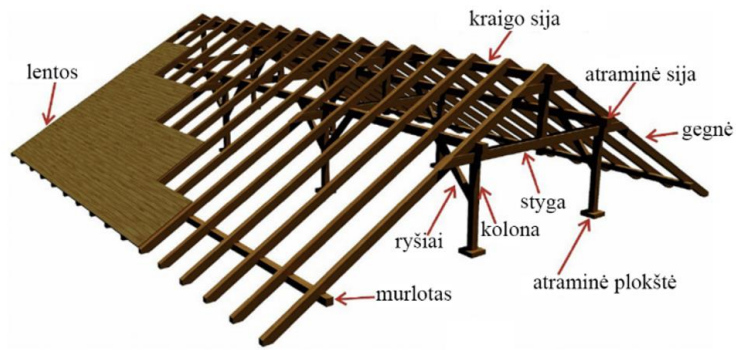




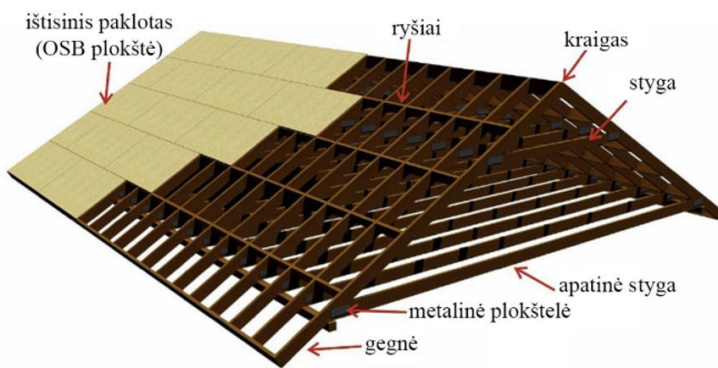
**8 pav.** Realizuota santvaros struktūra Vienoje [10]

Tyrimo [10] rezultatai parodė, kad naudojant buko kaiščius užtikrinamas tvirčiausias ryšys ir didžiausia apkrova. Be to, tyrimai parodė, kad reikia skirti ypatingą dėmesį į kaiščio skersmens ir faneros plokštės storio sąveiką, kad būtų užtikrintas jungties plastiškumas. Siekiant įvertinti vietinį faneros plokštės trūkumą, atlikti suspaudimo bandymai, gaunant informaciją apie laisvojo ilgio įtaką. Rezultatai parodė pagrindinės faneros plokštės laikančiosios krypties svarbą. Tyrime pastebėta, kad naudojant tik faneros plokštę be papildomo užpildymo, lenkimo formos posūkio taškas juda iš idealaus santvaros susikirtimo, todėl gaunamas didesnis posūkis viename mazge [10]. Tyrimo tikslas buvo pristatyti pirmąjį praktinį pritaikymą gaminant medines santvaras su faneros mazgais ir mediniais kaiščiais. Šiuo metu autoriai sutelkia dėmesį į detalesnį jungčių tyrimą, kurio rezultatus ketinama pateikti atskiruose leidiniuose.

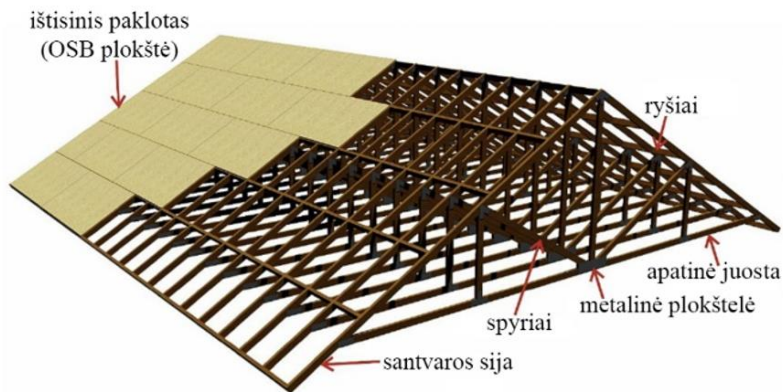
Statybos pramonė yra viena iš svarbiausių pasaulinio tvarumo akto dalyvių ir yra atsakinga už didelę neigiamą gamtos taršą. Pirmas svarbus žingsnis siekiant sumažinti žalingą poveikį – tai šiame sektoriuje naudojamų medžiagų mažinimas. Atsižvelgdami į tai, straipsnio autoriai [11] siekė įvertinti ir palyginti ES aplinkosaugos rodiklius pagal tris šlaitinių stogų medines konstrukcijas: gegnių karkasinę stogo konstrukciją, stogo konstrukciją su stygomis ir santvarų stogo konstrukciją (žr. 9 pav.).



a)



b)



c)

**9 pav.** Šlaitinių stogų medinės konstrukcijos: a – gegnių konstrukcija; b – konstrukcija panaudojant stogo stygas; c – santvarų konstrukcija [11]

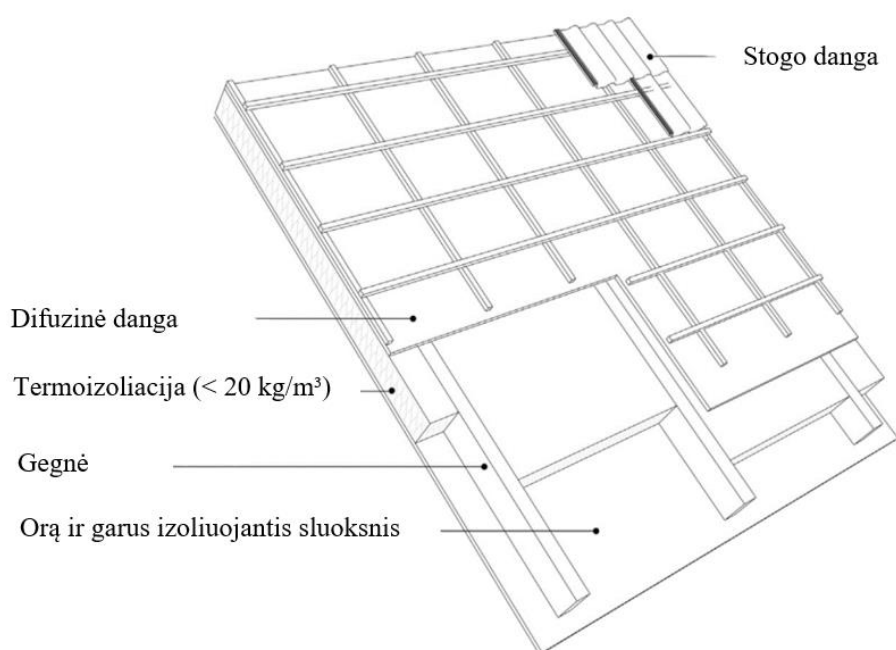
Aplinkos tarša buvo nustatoma naudojant „Gyvenimo ciklo vertinimo“ metodiką ir programinę įrangą. Išanalizavę rezultatus, autoriai padarė išvadą, kad mažiausias poveikis Žemės užterštumui yra tuomet, kai stogo konstrukcijai panaudojamos stygos. Tyrimas taip pat parodė, kad gegnių konstrukcijos tipo rėmas yra pagrindinis ekologiškas sprendimas prieš eksploatavimą ir po jo, tačiau ši struktūrinė sistema yra atsakinga už aukščiausią neigiamą poveikį per visą jo gyvavimo ciklą. Autoriai teigia, kad, naudojant stogo konstrukciją su stygomis, būtų pasiektas gamtos užterštumo mažinimas, atsižvelgiant į šias poveikio kategorijas: žaliavų gamybą, žaliavų perdirbimą ir statybinių

medžiagų gamybą, nagrinėjamų stogo konstrukcijų naudojimą, statybą, priežiūrą, išmontavimą, atliekų ir medžiagų perdirbimą, transportavimo etapus.

Tyrimė teigiama [11], kad tradicinė gegnių rėmo stogo konstrukcija gali būti laikoma geriausiu variantu, kai atsižvelgiama tik į ekonomiškumą, tačiau analizuojant visą konstrukcijos gyvenimo ciklą galima daryti išvadą, kad ši stogo konstrukcija yra viena iš reikšmingiausiai darančių neigiamą poveikį gamtos taršai. Atliktu tyrimu nustatyta, kad stogo konstrukcija su stygomis yra ekologiškiausias sprendimas atsižvelgiant į visą „Gyvenimo ciklo vertinimo“ metodiką. Gautos vertės taip pat rodo, kad santvarų stogo konstrukcija gali būti laikoma antruoju variantu remiantis tuo, kad ji turi mažesnę poveikį gamtos taršai, palyginus su pirmąja analizuojama sistema. Apibendrinant galima teigti, kad atliktas tyrimas pabrėžia svarbą atsižvelgti į visą produkto gyvavimo ciklą, o taip pat parodo, kad bendras statybos sektorius gali sumažinti gamtos taršą naudojant skirtingus pastato stogo konstrukcijų sprendimus (šiuo atveju naudojant stogo konstrukciją su stygomis) [11].

### 1.3. Oro sąlygų įtaka stogų konstrukcijoms

Moksliniame tyrimė [12] nagrinėjamas ir oro judėjimo poveikis šilumos perdavimo nuostoliams šlaitiniuose stoguose. Garso izoliacija laikoma esminiu žingsniu, kad būtų sumažintas naujų ir esamų pastatų energijos naudojimas. Siekiant energijos mažinimo rezultato, dauguma Europos valstybių sugriežtino U verčių reikalavimus pastato komponentams, kurių vertė mažesnė nei 0,25 W/m<sup>2</sup> K. Šie reikalavimai paprastai vertinami projektavimo etape, kuriame apskaičiuojamas pastato komponentų teorinis efektyvumas remiantis kompozicijos storiumi ir šilumos laidumo sluoksniais pagal šlaitinio stogo schemą (žr. 10 pav.)



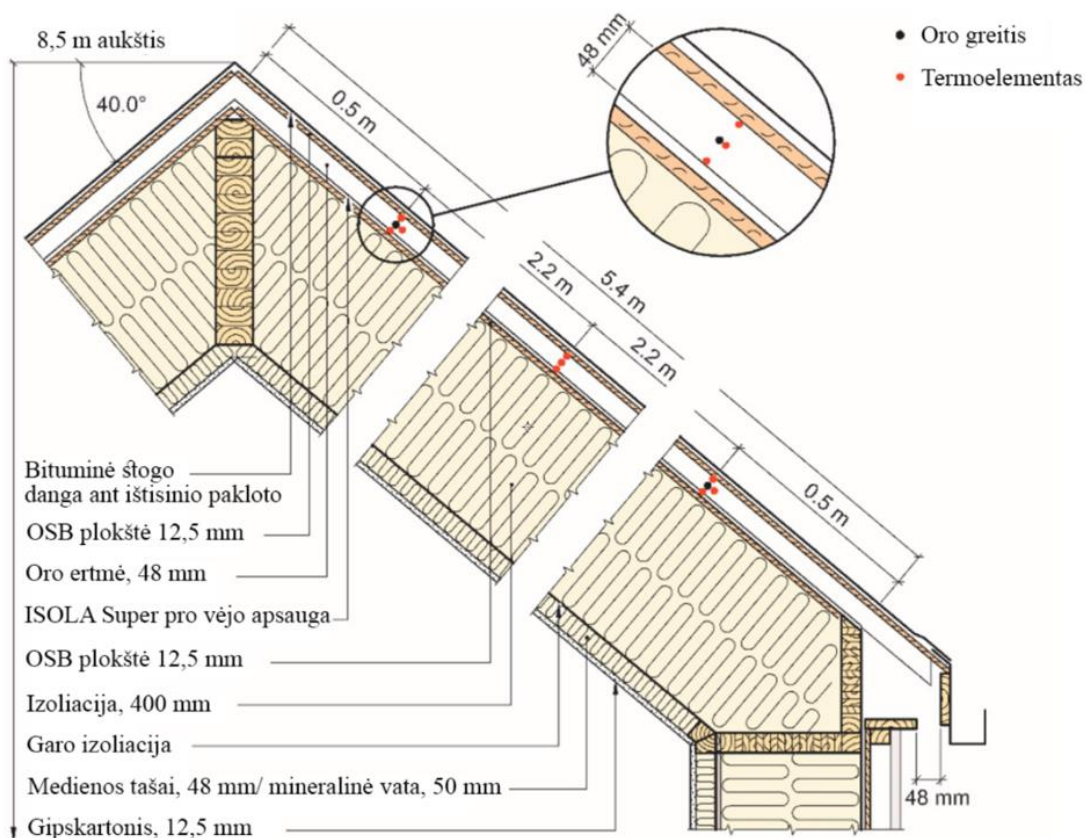
10 pav. Šlaitinio stogo schema [12]

Straipsnio autoriai išsiaiškino, kad įmanoma uždenkti tvirtų konstrukcijų ir geromis šiluminėmis savybėmis pasižymintį šlaitinį stogą, todėl reikėtų atsižvelgti į tai, kad šilumos izoliacinė medžiaga (>20 kg/m<sup>3</sup>) būtų užpildyta per visą gegnės aukštį tarp garo ir difuzinės izoliacijos. Viduje būtina įrengti garus ir orą izoliuojančią plėvelę, kurios oro pralaidumas turėtų būti mažesnis nei 0,0047

$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}/\text{Pa}$ . Taip pat būtina įrengti difuzinę plėvelę virš šilumos izoliacijos, kuri užtikrintų pakankamą oro skvarbą iš vidaus į išorę ( $< 0,36\text{--}0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}/\text{Pa}$ ) [12].

2017 m. birželio 11–14 d. Norvegijos mieste Trondheime vyko 11-asis Šiaurės šalių statybų fizikos simpoziumas, kuriame buvo pristatytas tyrimas apie vietinių oro sąlygų įtaką vėdinamiems mediniams stogams [13]. Šiuo tyrimu buvo tiriama temperatūros ir oro greičio sąlygų įtaka vėdinimui ir kondensacijai pavasario, vasaros ir rudens laikotarpiu vėdinamoje ertmėje visoje medinio stogo konstrukcijoje. Stogo konstrukcijoje buvo sumontuotas 81 termoelementas, keturi oriniai greičio matavimo prietaisai ir meteorologinė stotis temperatūrai ir vėjo greičiui fiksuoti.

Matavimai buvo atlikti didelio masto eksperimentiniame pastate – ZEB bandymo ląstelių laboratorijoje, esančioje Trondheimo mieste. Stačiakampio formos stogo ventiliuojamo stogo oro tarpas sudarė 552 mm pločio, 48 mm aukščio ir 10,8 m ilgio. Stogo kampas buvo  $40^\circ$ . Apatinis ventiliacijos tarpo paviršius susidarė iš lankstaus apatinio stogo ant 12,5 mm orientuotos medžio drožlių plokštės. Oro tarpo viršus susidėjo iš OSB plokštės su bitumo membranos stogo danga. Stogo kraige nebuvo įrengta anga, per kurią galėtų pasišalinti susikaupusi drėgmė. Stogas buvo ventiliuojamas tik nuo karnizo iki karnizo per 48 mm pločio angą, kuri buvo įrengta už latakų (žr. 11 pav.).



**11 pav.** Stogo konstrukcija ZEB bandymo kameros laboratorijoje, termoporų padėtis ir oro greičio matavimo prietaisais. Apskritimas nurodo vietą, iš kurios įrašomi oro greičio duomenys [13]

ZEB bandymo elementų laboratorijos stogo rezultatai pavasarį ir rudenį parodė, kad paviršiaus temperatūra maždaug pusę laikotarpio buvo žemesnė nei aplinkos temperatūra. Matavimai taip pat rodė aukštą temperatūrą vasaros laikotarpiais (iki  $60^\circ\text{C}$ ). Atkreiptinas dėmesys, kad stogo dangos



spalva buvo tamsi. Šiam specifiniam stogui buvo maža matomų kondensato lašelių rizika ant apatinio stogo dangos paviršiaus dėl hidroterminių OSB plokštės savybių. Tačiau didesnis drėgmės lygis padidina pelėsių augimo riziką OSB plokštėje. Aukšta vasaros temperatūra bent jau į pietus orientuotai stogo daliai sustabdys pelėsių augimą. Atsižvelgiant į skirtingą stogo dangą, pavyzdžiui, metalo lakštų dangą, kondensato rizika ant apatinio stogo dangos paviršiaus yra daug didesnė. Naudojant metalo lakštus, kondensatas bus papildomas faktorius, todėl apatinę dangos paviršių būtina apsaugoti nuo korozijos. Kondensacijos lašai ant apatinio stogo taip pat padidina vandens nutekėjimo į stogo konstrukciją riziką. Pavasarį ir rudenį nustatyta stipri koreliacija tarp vėjo greičio 10 m virš žemės lygio ir oro greičio ertmės viduje po stogo dangą. Vasaros metu oro greičio ir vėjo greičio koreliacija buvo ne tokia ryški. Galima to priežastis gali būti ta, kad laikotarpis apėmė tik dienas, kai vėjo greitis buvo mažas.

Tyrimo išvadose [13] ZEB bandymo kameros laboratorijos matavimai parodė, kad stogo paviršiaus temperatūra yra žemesnė nei aplinkos temperatūra, ypač pavasario ir rudens laikotarpiais. Buvo nustatyta stipri koreliacija tarp vėjo ir oro greičio vidinėse stogo ertmėse. Trijų matavimo periodų vidutinis oro kaitos greitis buvo apytiksliai 11 kartų per valandą esant mažam vėjo greičiui ir 84 kartus per valandą vėjuotu periodu. Buvo nustatyta, kad ir esant pakankamai stačiam stogo kampui ( $40^\circ$ ), oro tarpas nuo stogo karnizo iki kraigo sudarė pakankamai efektyvią konstrukcijos ventiliaciją [13].

#### 1.4. Dažniausiai pasitaikantys šlaitinių stogų defektai

Atliktas vėjo audros žalos tyrimas [14] rodo, kad nepakankamas mechaninis atsparumas apkrovai ir jungčių perkėlimas į medienos karkaso korpusą gali sukelti visišką stogo griūtį (žr. 12 pav.). Tyrimas taip pat parodė, kad tipinės stogo konfigūracijos atveju bent trys iš šešių ar daugiau stogo santvarų turėjo bendrų stogo ir sienos jungčių konstrukcijos defektų, t. y. vinių trūkumą. Buvo analizuojami ir modeliuojami šiuolaikiniai santvarų stogai, kurių santvarų jungtyse buvo naudotos metalinės plokštelės.



Sujungimo defektas

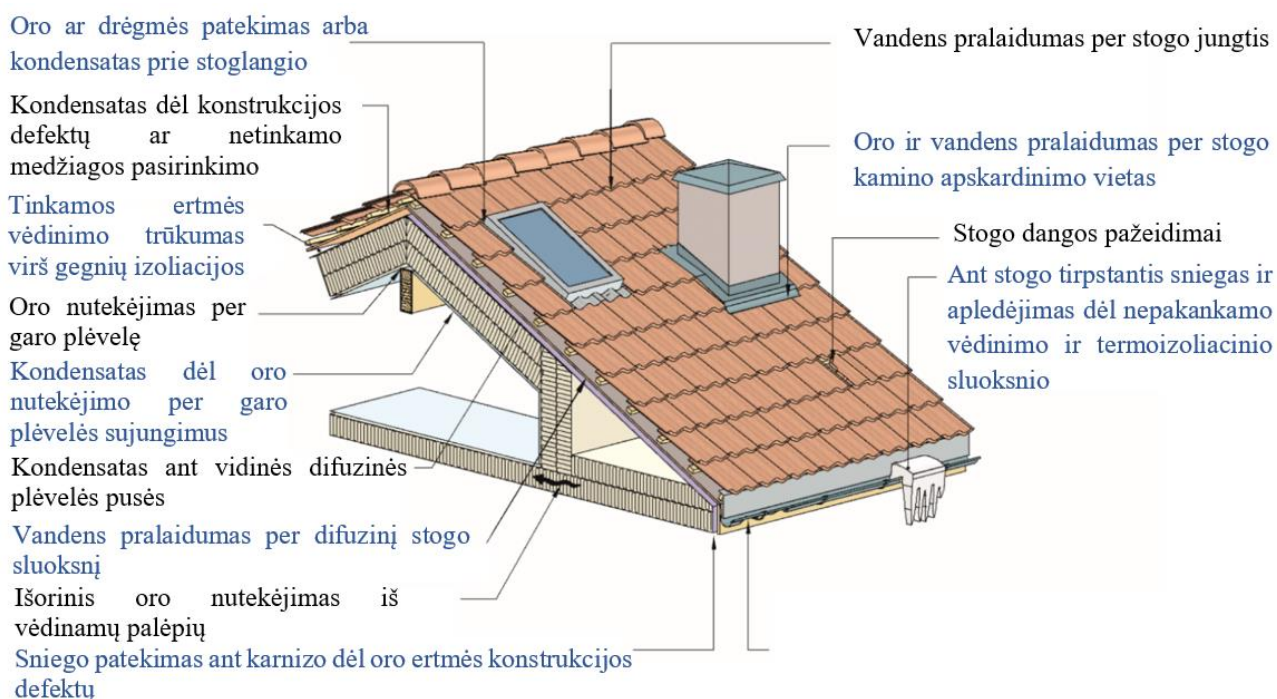
12 pav. Stogo konstrukcijų sujungimo defektas [14]

Rezultatai parodė, kad veikiami stipraus vėjo šiuolaikiniai namai turi didesnę apkrovos pasidalijimo galią ir žymiai pagerintą našumą negu šlaitiniai rėminiai stogai.

Atlikto tyrimo išvadose teigiama [14], kad šiuolaikinės namo stogo konstrukcijos vertikalus pasidalijimas dėl struktūrinių skirtumų komponentų jungčių sistemos yra didesnis negu namo su tipine stogo konstrukcija. Toks konstrukcijos tipas yra standesnis, tai suteikia patikimumo naujesnei statybai, taip pat užtikrina puikų konstrukcinį atsparumą vėjo gūsiams.

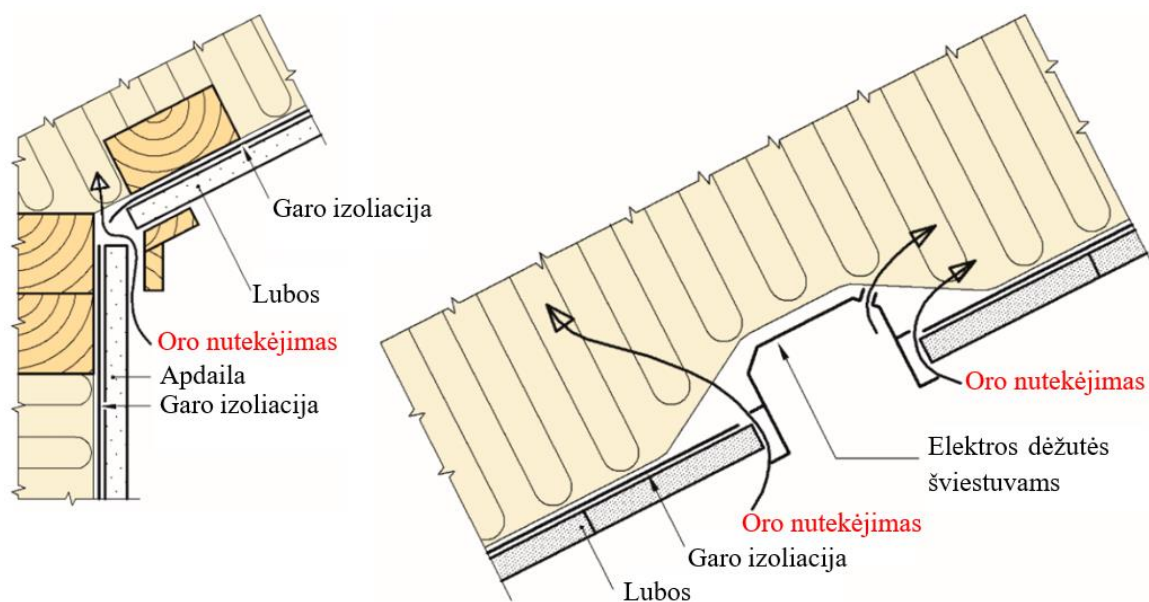
Stebėjimai po stogų deformacijų atskleidžia, kad statybų klaidos dengiant šlaitinius stogus yra vieni iš pagrindinių veiksnių, kuriuos sukelia stiprus vėjas. Hao Qin ir Mark G. Stewart tyrime [15] aprašo Bajeso metodą, kuriuo siekiama įvertinti stogo jungčių konstrukcijos defektų rodiklius, kas leistų sistemingai integruoti ekspertų vertinimus, žmogaus patikimumo analizės metodus ir ribotus statybos defektų duomenis. Taip pat remiantis eksperimentiniais įrodymais ir inžineriniais sprendimais, greičiausiai buvo sumodeliuoti trūkumų turinčių stogo jungčių apkrovų sumažėjimai. Sukurtas konstrukcijos defektų modelis buvo įtrauktas į patikimumu pagrįstą metodą, siekiant įvertinti vėjo žalą skardinei stogo dangai ir medinių stogų santvaroms šiuolaikiniams namams. Tyrimu nustatyta, kad konstrukcijos defektų poveikis yra reikšmingesnis, kai pasirenkama skardos lakštų stogo danga. Taip pat nustatyta, kad dangos pasirinkimo įtaka mažesnė, jei stogo konstrukcijose naudojamos santvaros [15].

Moksliniuose tyrimuose [16] taip pat tiriami šlaitinių medinių stogų statybos defektai. Daugiau negu pusę defektų sukelia dizaino, medžiagų ar jų apdirbimo trūkumai, kurie turi įtakos drėgmės atsiradimui medinėse stogo konstrukcijose. Remiantis tyrimo išvadomis [16] apibendrinti tipiniai termiškai izoliuotų šlaitinių medinių stogų pažeidimai ir klaidos (žr. 13 pav.). Kartu su drėgme patalpose krituliai yra pagrindinis klimato poveikio defektų šaltinis. Tipiški defektai yra nesandari stogo danga arba jungiamosios detalės, kurios savo ruožtu gali sukelti nuotėkį per stogo konstrukciją.



13 pav. Stogo konstrukcijų sujungimo defektai [16]

Kondensatą šaltose stogo konstrukcijos dalyse dažnai sukelia oro nutekėjimas per garo izoliaciją. Kondensatas gali susidaryti dėl blogai užsandarintos garo izoliacijos ir per didelio slėgio šildomose vidaus patalpose (žr. 14 pav.). Kamino efektą sukelia per didelis slėgis viršutinėse pastato dalyse šildymo sezono metu. Oro nutekėjimo neigiamas efektas per garo izoliaciją gali būti sumažintas įrengiant sandarią difuzinę plėvelę po stogo danga, kuri apsaugos nuo vėjo stogo izoliacinį sluoksnį [16].



**14 pav.** Tipiški oro nutekėjimai per garų izoliaciją [16]

Sniegas ant stogo sukuria papildomą apkrovą, kuri gali būti kritinė snieguotomis žiemomis. Be to, priklausomai nuo sniego kiekio, sniegas gali ištirpti ir vanduo gali sustingti į ledą. Sniego tirpimo priežastys gali būti skirtingos: išorinis klimatas, lietus ir saulės spinduliavimas. Kita priežastis gali būti stogo dangos vėdinimo trūkumas kartu su blogai izoliuotu stogu statybos metu. Šviežio sniego šilumos laidumas yra sąlyginai mažas, dėl to susidaro temperatūros skirtumas per sniego sluoksnį [14]. Todėl sniegas gali ištirpti ant stogo, net jei išorinė oro temperatūra yra žymiai žemesnė nei 0 °C. Vanduo bėgdamas žemyn užšąla ant nešildomų stogo dalių, pavyzdžiui, karnizų ir latakų. Kai kaupiasi ledas, tai gali sulaukyti vandenį ir priversti jį įsiskverbti į stogo dangą. Latakai, karnizai bei miesto kanalizacija gali būti sulaužyti susidarius ledui [17] (žr. 13 pav.). Pastebėta, kad sniego tirpimo ant stogų problema sumažėja moderniuose ir gerai izoliuotuose stoguose gerai vėdinama stogo danga. Padarytos išvados rodo, kad drėgmė yra dominuojantis trūkumas šlaitiniuose stoguose, ypač stogo konstrukcijose. Šlaitiniuose mediniuose stoguose 67 % defektų atsiranda dėl kritulių ar patalpų drėgmės. Hermetiškas vidaus garų stabdymas ir subalansuoto vėdinimo sistemų naudojimas yra veiksmingos priemonės užkirsti kelią drėgmei iš vidaus oro. Labai svarbu skirti daugiau dėmesio sprendimams, kad būtų išvengta vidaus drėgmės skverbimosi į šlaitinių medinių stogų konstrukcijas [18].

### 1.5. Teisiniai dokumentai ir reikalavimai

Medinės konstrukcijos projektuojamos pagal STR 2.05.07:2005 [19] ir Eurokodo 5 [20] reikalavimus. Joms gaminti daugiausia naudojama spygliuočių mediena. Mediena turi būti rūšiuota pagal stiprumą, remiantis reikalavimais, garantuojančiais, kad mediena yra patikima ir tinkama

naudoti. 1 lentelėje pateikiama informacija apie spygliuočių medienos stiprumo klases bei kokius reikalavimus turi atitikti atitinkama stiprumo klasė [19].

**1 lentelė.** Vientisos medienos fizikinių ir mechaninių savybių charakteristinių rodiklių reikšmės [19]

Charakteristinės reikšmės										
Spygliuočiai										
Stiprumo klasės		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
Stiprumo reikšmės (MPa)										
Lenkimas	$f_{m, k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
Tempimas išilgai pluoštų	$f_{t,0, k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
Tempimas skersai puoštų	$f_{t,90, k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Gniuždymas išilgai pluoštų	$f_{c,0, k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
Gniuždymas skersai pluoštų	$f_{c,90, k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6	6,3
Šlytis (kirpimas) išilgai pluoštų	$f_{v, k}$	1,7	1,8	2	2,4	2,5	2,8	3	3,4	3,8
Modulių reikšmės ( $10^{-3}$ MPa)										
Vidutinis tamprumo išilgai pluošto modulis	$E_{0, mean}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
5 % tamprumo išilgai pluošto modulis	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6	6,7	7,4	8	8	8,7	9,4
Vidutinis tamprumo skersai pluošto modulis	$E_{90, mean}$	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,4	0,4	0,43	0,47
Vidutinis šlyties modulis	$G_{mean}$	0,44	0,5	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
Tankio reikšmės ( $\text{kg/m}^3$ )										
Tankis	$\rho_k$	290	310	320	340	350	370	380	400	420
Vidutinis tankis	$\rho_{mean}$	350	370	380	410	420	450	460	480	500

Dėl skirtingų vizualinių klasifikavimo standartų įvairovės, naudojamų skirtingose šalyse, šiuo metu neįmanoma nustatyti vieno standarto visoms Europos valstybėms. Medinių konstrukcijų stiprių bendrieji reikalavimai yra pagrindiniai rodikliai (žr. 1 lentelę), kurių Lietuvoje reikia laikytis [19].

Skaičiuojant medines konstrukcijas apkrovų poveikiai yra priskiriami vienai iš 2 lentelėje nurodytų apkrovos veikimo trukmės klasių. Apkrovos veikimo trukmės klasės yra apibūdinamos kaip nuolatinės apkrovos veikimo pasekmė per nustatytą konstrukcijos būvio laiką. Kintamąją apkrovos veikimą atitinkanti klasė nustatoma įvertinant sąveiką tarp tipinio apkrovos kitimo laike ir medžiagos reologinių savybių.

**2 lentelė.** Apkrovos veikimo klasės [19]

Apkrovos veikimo trukmės klasė	Bendroji charakteristinė apkrovos trukmė	Apkrovos pavyzdžiai
Nuolatinė	Daugiau nei 10 metų	Savasis svoris
Ilgalaikė	Nuo 6 mėnesių iki 10 metų	Sandėliuojamasis krūvis
Vidutinės trukmės	Nuo 1 savaitės iki 6 mėnesių	Krūvis ant grindų, sniegas

Apkrovos veikimo trukmės klasė	Bendroji charakteristinė apkrovos trukmė	Apkrovos pavyzdžiai
Trumpalaikė	Mažiau nei savaitė	Sniegas, vėjas
Momentinė		Vėjas ir atsitiktinės apkrovos

Eksplotavimo sąlygų klasių sistema yra skirta nustatyti skaičiuotinas medienos fizikinių ir mechaninių savybių reikšmes tam tikroms aplinkos sąlygoms. Atsižvelgiant į eksploatacijos sąlygas, medinės konstrukcijos priskiriamos vienai iš žemiau pateiktų eksploataavimo klasių:

I eksploataavimo klasė – kai būdingas drėgmės kiekis spygliuočių medienoje ne didesnis kaip 12 % esant aplinkos temperatūrai 20°C ir santykinei oro drėgmei viršijant 65 % tik keletą savaičių per metus;

II eksploataavimo klasė – kai būdingas drėgmės kiekis spygliuočių medienoje ne daugiau 20 % esant aplinkos temperatūrai 20 °C ir santykinei oro drėgmei viršijant 85 % tik keletą savaičių per metus;

III eksploataavimo klasė – kai eksploatacinės sąlygos lemia didesnę drėgmės kiekį negu II eksploataavimo klasėje.

Metaliniai elementai, metalinės jungčių detalės ir jungimo priemonės turi būti atsparūs korozijai arba apsaugoti nuo korozijos. Korozinės apsaugos dangų ir medžiagų tipai įvairioms eksploatacijos klasėms pateikti 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Medžiagos ir antikorozinės apsaugos dangos [19]

Jungimo detalės	Eksploatacijos klasė		
	1	2	3**
Vinys, sraigčiai $\varnothing \leq 4$ mm	Neregamentuojama	Fe/Zn 12c*	Fe/Zn 25c*
Varžtai	Neregamentuojama	Neregamentuojama	Fe/Zn 25c*
Kabės	Fe/Zn 12c*	Fe/Zn 12c*	Nerūdijantis plienas
Metalinės dygliuotosios plokštelės ir plieninės plokštelės iki 3 mm storio	Fe/Zn 12c*	Fe/Zn 12c*	Nerūdijantis plienas
Plieninės plokštelės nuo 3 mm iki 5 mm	Neregamentuojama	Fe/Zn 12c*	Fe/Zn 25c*
Plieninės plokštelės daugiau nei 5 mm storio	Neregamentuojama	Neregamentuojama	Fe/Zn 25*

Projektuojant šlaitinius stogus būtina įvertinti sniego ir vėjo apkrovas. Sniego ir vėjo apkrovos rajonų ribos nustatomos pagal administracinio rajono ribas (žr. 15 pav.). Schemų ir koeficientų taikymo sritys detaliam aprašomos Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos įsakyme [21].

Sniego apkrovos rajonas	$s_k$ , kN/m <sup>2</sup>
I	1,2
II	1,6

Vėjo greičio rajonas	$v_{ref,0}$ m/s
I	24
II	28
III	32



a



b

**15 pav.** Apkrovos rajonai Lietuvoje: a – sniego apkrovos rajonai; b – vėjo apkrovos rajonai [21]

Gaisro poveikis tarpusavyje sujungtų elementų kombinacijoms, numatytoms apkrovoms atlaikyti ir statinio stabilumui užtikrinti, skaičiuojamas vadovaujantis LST EN 1991-1-2 serijos standartais. Konstrukcijų gaisrinės saugos projektavimas atliekamas vadovaujantis medinių konstrukcijų LST EN 1995-1-2 nuostatomis [22].



## 2. Daugiakriterio vertinimo metodika

Sprendimų priėmimas pirmiausia yra procesas, kuriame dalyvauja įvairūs veikėjai: žmonės, žmonių grupės, institucijos, valstybė. Daugiakriteris sprendimų priėmimas, kaip disciplina, turi palyginti trumpą istoriją. Nuo 1950-ųjų iki 1960-ųjų, kai buvo padėti šiuolaikinių daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų pagrindai, daugelis tyrėjų skyrė savo laiką naujų daugiakriterių sprendimų priėmimo modelių ir technikų kūrimui. Pastaraisiais dešimtmečiais šios srities tyrimai ir plėtra paspartėjo ir toliau auga eksponentiškai. Nepaisant intensyvios plėtros visame pasaulyje, nedaug buvo bandoma sistemingai pristatyti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų teorijos raidą ir pagrindus. Tačiau apie metodologinius pasirinkimus ir sprendimų vertinimo sistemą vis dar diskutuojama moksliniuose straipsniuose [23].

### 2.1. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija

Vienkriteriais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti uždavinių, kuriuose reikia vertinti daugelį tikslų, todėl statybos inžinerijos uždaviniams spręsti dažniausiai taikomi daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai [24].

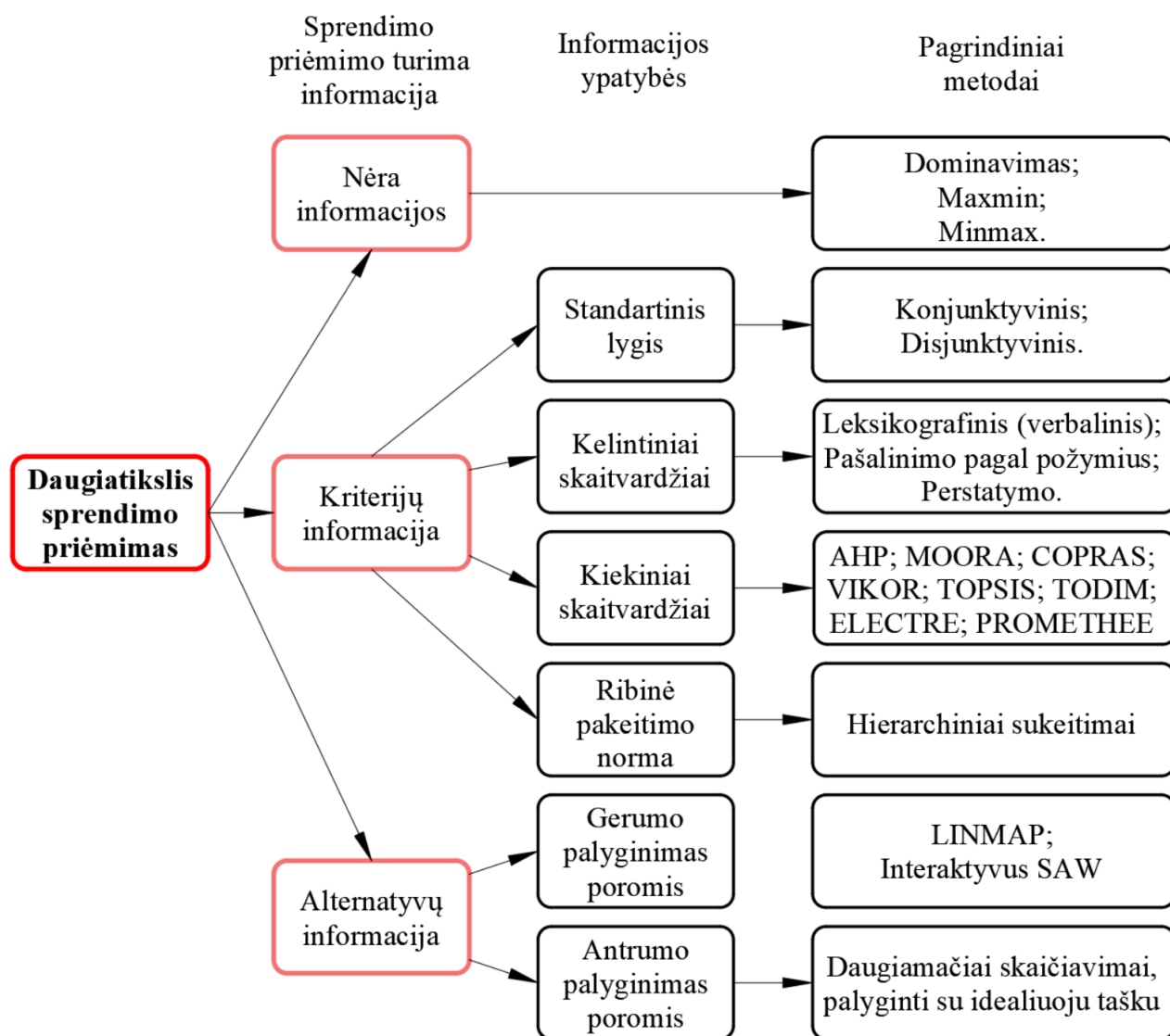
Daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai (angl. *Multiple Criteria Decision Making*, t. y. MCDM) naudojami optimalaus sprendimo suradimui ir skirstomi į dvi grupes:

- Daugiatikslius (angl. *Multiple Objective Decision Making*, t. y. MODM), kai nagrinėjamas vektorinio optimizavimo modelis. Šie metodai taikomi sprendžiant problemą, apimančią daugelį tikslo funkcijų, kurios optimizuojamos vienu metu [25].
- Daugiarodikliai (angl. *Multiple Attribute Decision Making*, t. y. MADM), kai siekiama išrinkti racionaliausią alternatyvą iš konkrečiai žinomų alternatyvų sąrašo [25].

Daugiakriterės analizės sritis nėra iki galo išnagrinėta ir metodai klasifikuojami pagal įvairias teorijas, informacijos tipą ir prieinamumą, priėmėjų skaičių, informaciją apie kriterijus, sprendimo priėmėjo turimą informaciją ir informacijos ypatybes [26].

Mokslinėje literatūroje MADM ir MCDM sąvokos dažnai yra sutapatamos [26]. Tyrėjai, atlikdami daugiakriterį įvertinimą (angl. *Multi-Criteria Evaluation*) ar daugiakriterę analizę (angl. *Multi-Criteria Analysis*), dažniausiai naudoja daugiarodiklius metodus. Žodžiai „daugiakriteris“ ir „daugiarodiklis“ yra tapę sinonimais ir siejami su antrosios grupės daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais. Uždavinio tikslus išreiškiantys rodikliai yra aprašomi kaip rodiklių vertės, todėl Lietuvoje MADM daugiarodikliai sprendimo priėmimo metodai dažnai vadinami daugiatiksliais [24].

2009 m. prof. dr. Zenonas TURSKIS pateikė daugiarodiklių vertinimo metodų klasifikavimą pagal priėmėjo turimą informaciją ir informacijos ypatybes (žr. 16 pav.) [24, 26].



16 pav. Daugiarodiklių vertinimo metodų klasifikavimas [24, 26]

Daktaro disertacijoje Rūta Simanavičienė [25] rašo, kad mokslininkai Chen ir Hwang (1992) deterministinius vieno asmens MADM metodus dar skirsto į kategorijas pagal informacijos tipą ir jos prieinamumą. Pagal daugelio mokslininkų (Triantaphyllou 2000; Hwang, Yoon 1981; Ustinovicus, Zavadskas 2004; Zavadskas, Turskis 2011; Vincke 1992) aprašytas daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų klasifikacijas, autorius [25] pateikia MADM metodų sudarytą daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų klasifikaciją, paremtą informacija apie rodiklius (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Daugiakriterių metodų klasifikacija [25]

Metodų klasė	Iš sprendimą priimančio asmens gauta informacija apie rodiklius	Metodai ir jų klasės
Metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija	Kiekybiniai matavimai	SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, COPRAS, COPRAS-G, ARAS, MOORA, VIKOR, MultiMOORA
Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai	Kokybiniai matavimai suteikiamas kiekybinis pavidalas	Analitinis hierarchijos procesas (AHP) Metodai naudojami neapibrėžtas aibes (Fuzzy), (Fuzzy TOPSIS), (Fuzzy AHP)



Metodų klasė	Iš sprendimą priimančio asmens gauta informacija apie rodiklius	Metodai ir jų klasės
Verbalinės analizės sprendimų metodai	Kokybiniai matavimai, nepereinama prie kiekybinių kintamųjų	Verbaliniai metodai: ZAPROS, PARK, ORKCLASS, CLARA, DIFLASS, CIKL
Lyginamosios preferencijos metodai	Kiekybiniai ir kokybiniai matavimai	ELECTRE metodai, PROMETHEE metodai, MELCHIOR metodas, UTA metodas, MAUT metodas, TACTIC metodas ir kt..

Daugiakriterinės analizės sritis iki galo neišnagrinėta, naudojami metodai nėra tobuli. Lyginant skirtingus daugiakriterinės analizės metodus prieita prie išvados, kad neįmanoma nustatyti geriausio metodo. Konkrečioms problemoms spręsti metodai ne visada gali būti tinkami. Pritaikant daugiakriterinius metodus nepasiekiamas galutinis sprendimas [27]. Vis dėlto galutinį sprendimą priima žmogus ar kelių žmonių grupė. Daugiakriteriniai metodai tik padeda susisteminti ir apdoroti matematiškai pateiktą informaciją sudarant alternatyvų prioritetų eilutę, parodančią vienos alternatyvos pranašumą prieš kitą [25].

Kelių kriterijų sprendimų priėmimas (MCDM) gali būti taikomas sudėtingiems sprendimams, kai įtraukta daug kriterijų. Taip pat yra sukurta įvairių MCDM metodų bei jų taikymo atvejų tyrimai. Tačiau pastebėta, kad skirtingi MCDM metodai gali duoti skirtingus, ne visada sutampančius reitingavimo rezultatus, todėl išmatuoti objektyvų suderinamumą gali būti taikomi skirtingi MCDM metodai [28].

## 2.2. Daugiakriteris vertinimo metodas MOORA

2006 m. pasiūlytas daugiafunkcio optimizavimo būdas naudojant atskiras alternatyvas – MOORA (angl. *Multi – Objective Optimization On the basis of Ratio Analysis*) [29]. Tai MCDM metodas, kuris naudoja statistinį metodą ir parenka geriausią alternatyvą iš siūlomų alternatyvų. Šis metodas yra labai lengvai suprantamas, pateikia beveik tikslią medžiagų alternatyvų klasifikaciją ir yra lengvai įgyvendinamas [30].

Vertinant įvairius metodus tarpusavyje ir parenkant vertinimo rodiklius pagal sprendimų sudėtingumą, greitį, rezultatų patikimumą ir kt., nustatyta, kad MOORA vertinimo metodas yra pranašesnis už kitus [31] (žr. 5 lentelę).

**5 lentelė.** Daugiakriterių metodų vertinimas [31]

MODM metodai	Skaičiavimo laikas	Paprastumas	Matematiniai skaičiavimai	Patikimumas	Informacijos tipas
MOORA	Labai trumpas	Labai paprastas	Minimalūs	Geras	Kiekybinis
AHP	Labai ilgas	Labai sudėtingas	Maksimalūs	Blogas	Maišytas
TOPSIS	Vidutinis	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutiniai	Vidutinis	Kiekybinis
VIKOR	Trumpas	Paprastas	Vidutiniai	Vidutinis	Kiekybinis
ELECTRE	Ilgas	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutiniai	Vidutinis	Maišytas
PROMETHEE	Ilgas	Vidutiniškai sudėtingas	Vidutiniai	Vidutinis	Maišytas

MOORA metodas buvo sėkmingai pritaikytas spręsti įvairius optimizavimo uždavinius. Daugiatikslio MOORA metodo taikymas apima plačią problemų vertinimo ir sprendimo priėmimo skalę įvairiose ekonomikos, aplinkos, socialinėse, fizikos srityse [32].

MOORA susideda iš dviejų metodų: santykio analizės ir atskaitos taškų teorijos ir reaguoja į skirtingas tvirtumo sąlygas, reikalingas optimizavimui. Šiuo požiūriu bandoma optimaliai lokalizuoti tam tikrą projektą, susijusį su skirtingais rodikliais, kriterijais ar tikslais, kartais kilusiais iš skirtingų grupių ar asmenų [33].

Taikant daugiafunkcinius sprendimų priėmimo metodus, mokslininkų tikslai buvo sukurti efektyvaus apšiltinimo ir tolesnio atnaujinimo proceso plokščių pastato konstrukcijoms parinkimo metodiką, taikant MOORA ir MULTIMOORA metodus. Eksperimentiniai duomenys ir rezultatai parodė, kad siūlomas metodas gali būti naudojamas vertinant pastato atnaujinimą ir nustatant, ar jis atitinka standartus. Tyrimas [34] įrodė, kad siūlomas teorinis modelis buvo veiksmingas realiame gyvenime ir gali būti sėkmingai pritaikytas sprendžiant panašias naudingumo problemas statybose, taip pat kitose srityse [34].

Mokslininkų tyrime [35] buvo taikomas MOORA metodas įvertinti šešių butų orą patalpose ir pateikti gautus rezultatus. Tyrime buvo parinkti septyni požymiai, tokie kaip: oro mainai ( $m^3/h$ ), santykinė oro drėgmė (procentais), oro temperatūra ( $^{\circ}C$ ), oro greitis ( $m/s$ ), paviršiaus plotas ir tūrio santykis ( $1/m$ ), triukšmo izoliacija (dB) ir metinis šilumos poreikis ( $kWh/m^2/metus$ ). Eksperimentiniai duomenys, gauti įvertinus šešis butus daugiabučiuose namuose Vilniuje, parodė, kad antrame bute geriausia vidaus oro aplinka. Tačiau vidaus aplinka iš visų šešių butų neatitinka idealios aplinkos, nustatytos pagal Lietuvos higienos normas ir „Pasyvaus namo“ standartus. Didelis metinis šilumos poreikis ir oro temperatūra turi didelį poveikį patalpų aplinkai. Aukštas metinis šilumos poreikis nėra priimtinas visuose šešiuose butuose. Kitos atributų vertės, kaip oro temperatūra pirmajai ir penktajai alternatyvoms, yra žemiau priimtinių verčių. Tyrime pateikti rezultatai rodo, kad siūlomą metodą galima naudoti vertinant vidaus aplinką ir nustatyti, ar jis atitinka standartus [35].

Daugiafunkcinis optimizavimo metodas pagal santykio analizę (MOORA) dėl jo praktiškumo buvo labai sėkmingai naudojamas eksperimentų projektuose siekiant optimizuoti suvirinimo procesą su daugybe veikimo charakteristikų [36]. Kokybės charakteristikų svoriai nustatyti taikant entropijos matavimo metodą. Parinkti suvirinimo parametrai pagal suvirinimo srovę, lanko įtampą, suvirinimo greitį ir atstumą tarp suvirinimo antgalio ir vielos iškyšos (CTWD (angl. *Contact Tip to Work Distance*)) ir išanalizuotas jų poveikis trimis kokybės charakteristikomis, tokiomis kaip granulio plotis, granulio aukštis ir suvirinimo kietumas. Atlikus tyrimą, nustatyta optimali suvirinimo srovė, lanko įtampa, suvirinimo greitis, atstumas tarp suvirinimo antgalio ir vielos iškyšos (CTWD). Eksperimento rezultatai patvirtino optimalių rezultatų tinkamumą, kad MOORA metodo taikymas tikslingas parametru svarstymo tyrimams nustatyti [36].

Moksliniuose šaltiniuose randama, kad MOORA metodas buvo sėkmingai pritaikytas konstrukcinėms reikmėms kompozitinės medžiagos pasirinkime [30], atliekant darbuotojų sveikatos ir saugos rizikos analizę [37], skaitmeniniame tyrime dėl optimalių stačiakampių sukurtinių generatorių išdėstymo, siekiant pagerinti šilumokaičių ir vamzdžių šilumokaičių šilumines savybes [38] ir skaitmeniniame perdangos šilumos didinimo tyrime [39].

### 2.3. MOORA metodo realizavimo algoritmas

MOORA metodas pradedamas sudarant sprendimo matricą  $X$ , kuri susideda iš skirtingų alternatyvų atsižvelgiant į įvairius kriterijus. Eilutes žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), o stulpeliai nurodo efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius). Norėdami nuspręsti įvesties informacijos duomenis sukuriama sprendimų priėmimo matrica pagal (1) formulę [40]:

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

Antrame žingsnyje normalizuojama sprendimo matrica lyginant kiekvieno rodiklio konkrečią reikšmę su rodiklio reikšmėmis pagal (2) formulę [30]:

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

čia  $\bar{x}_{ij}$  – neturintis matavimo vieneto normalizuotas skaičius, priklausantis intervalui  $[0,1]$  ir nurodantis  $i$ -osios alternatyvos vertę, pagrįstą  $j$ -osios kriterijumi.

Trečiame žingsnyje svertinė normalizuoto sprendimo matrica formuojama pagal (3) formulę [41]:

$$v_{ij} = w_j \cdot \bar{x}_{ij}; \quad (3)$$

čia  $w_j$  – rodo  $j$ -ojo kriterijaus reikšmingumą.

Ketvirtame žingsnyje gautos normalizuotos efektyvumo vertės atimamos visų neigiamų kriterijų arba sąnaudų kriterijų sumos (jei pageidaujama koeficiento vertė yra didžiausia) iš visų padidėjusių kriterijų arba naudos kriterijų sumos (jei pageidaujama faktoriaus vertė yra minimali) pagal (4) formulę [42]:

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^g v_{ij} - \sum_{j=g+1}^n v_{ij}; \quad (4)$$

čia  $\sum_{j=1}^g v_{ij}$  – padidėjusių veiksnių suma ( $1, \dots, g$ );  $\sum_{j=g+1}^n v_{ij}$  – neigiamų veiksnių suma ( $g+1, \dots, n$ );  $g$  – nustatytinų naudos veiksnių skaičius.

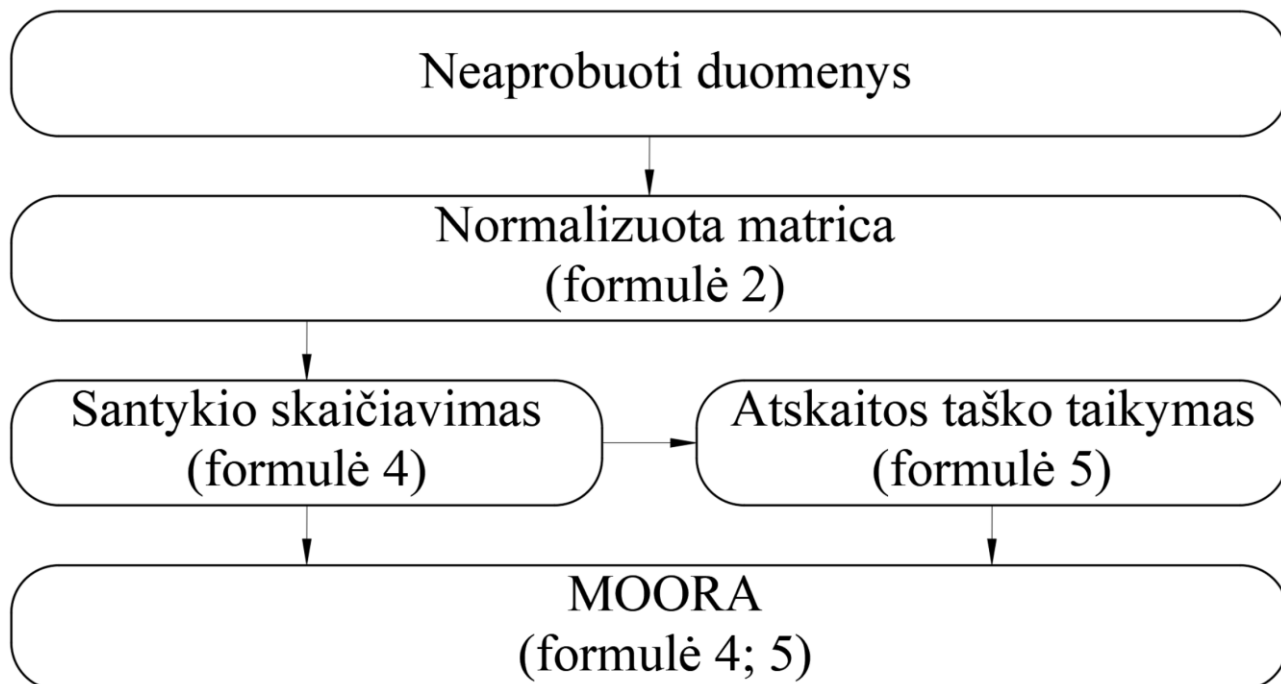
Alternatyvų reitingas gaunamas reitinguojant  $\bar{y}_i$  vertes. Geriausia alternatyva – didžiausia apskaičiuota vertė, blogiausia alternatyva – mažiausia apskaičiuota reikšmė [43].

Pagal normalizuotų rodiklių reikšmes randamas atraminis tikslo taškas (idealiai geriausia alternatyva), kurio reikšmės yra nustatomos taip:  $r_j = \max v_{ij}$ , jei rodiklio geriausia reikšmė yra maksimali, ir  $r_j = \min v_{ij}$ , jei geriausia reikšmė minimali. Iš maksimalios reikšmės rodiklių sudaroma maksimumo alternatyva, kuri vėliau lyginama su kiekviena rodiklio alternatyva [44].

Galiausiai ieškomas atstumas iki optimalaus taško. Geresnės alternatyvos yra artimesnės idealiajam taškui. Galutinis alternatyvos rangas nustatomas pagal (5) formulę [44]:

$$K_i = \sum_{j=1}^n |r_j - v_{ij}|. \quad (5)$$

MOORA metodas leidžia išvengti subjektyvumo, nes nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumo koeficientų. Metodo uždavinio sprendimo algoritmas ir formulių naudojimo sekos pateiktos blokinėje schemoje (žr. 17 pav.) [45].



17 pav. MOORA metodo sprendimo algoritmo schema [sukurta autoriaus]

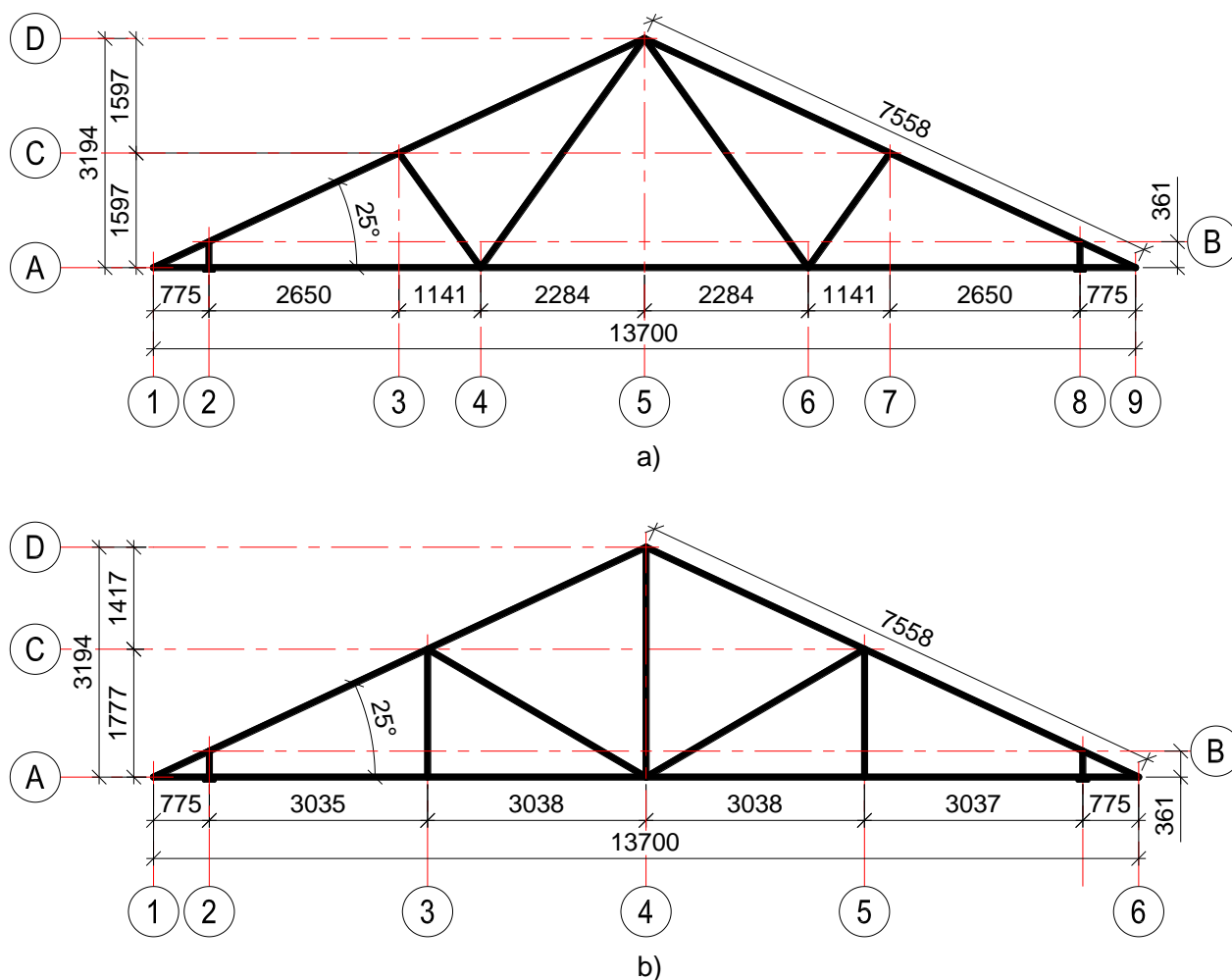
Daugiatikslio MOORA metodo taikymas apima platų problemų vertinimą ir sprendimų priėmimą įvairiose socialinėse, aplinkos, fizikos, ekonomikos srityse [45].

### 3. Tiriamoji dalis

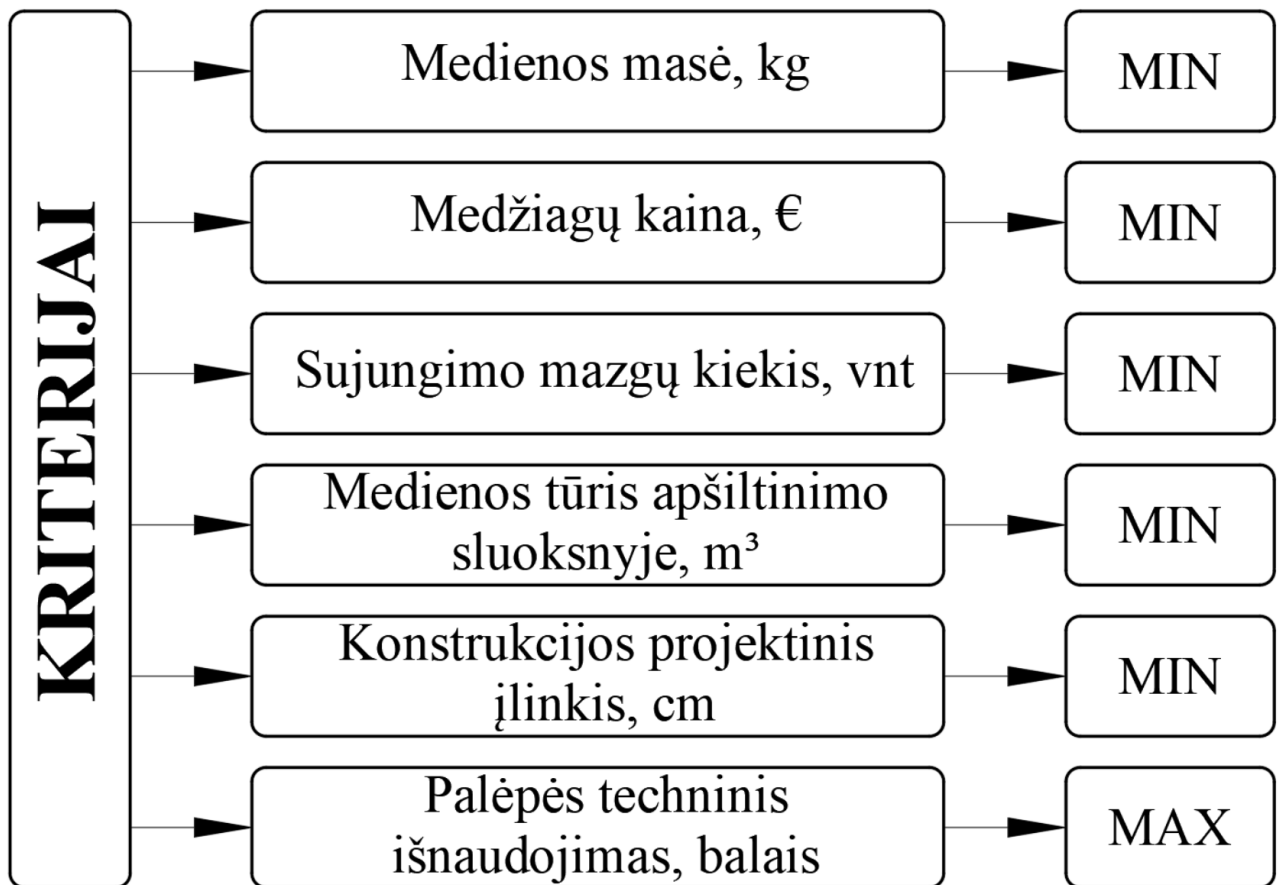
Šiame skyriuje aprašytos *Autodesk AutoCAD 2018* [46] programa suprojektuotų santvarų formos, *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022* [47] programa sumodeliuotos santvaros atramos, mazgai, elementai, apkrovos bei apkrovų deriniai. Atlikus atestuotų statybos specialistų apklausą, patikrintas jų nuomonės suderinamumas bei nustatyta alternatyvų prioritetų eilutė pagal santvaros medienos svorio, įlinkio, medžiagų kainos, sujungimo mazgų kiekio, medienos tūrio apšiltinimo sluoksnyje bei palėpės techninio panaudojimo galimybių rodiklius. Pagal pasirinktus kriterijus apskaičiuavus ir apdorojus rezultatus, daugiakriteriu vertinimo metodu MOORA parenkama efektyviausia šlaitinio stogo medinė santvara.

#### 3.1. Medinės santvaros

Tyrimo modelis – gyvenamosios paskirties A++ klasės pastato 13,7 metrų ilgio medinė santvara, kuri dengia 12,15 metrų tarpatramį. Stogo santvaros nuolydis – 25 laipsniai. Apatinėje santvaros dalyje suformuojama horizontali konstrukcija luboms, kuri apšiltinama akmens vata. Tyrime lyginamos keturių tipų medinės santvaros, kurios nubraižomos programa *Autodesk AutoCAD 2018* [46] (žr. 18 pav.).







19 pav. Daugiakriterio vertinimo rodikliai [sukurta autoriaus]

### Medienos masė

Konstrukcijos medienos masė apskaičiuojama įvertinus visų santvaros elementų ilgį, plotį ir aukštį bei padauginamas iš medienos klasės (C24) vidutinio tankio – 420 kg/m<sup>3</sup> (žr. 1 lentelę).

### Medžiagų kaina

Medžiagų kaina apskaičiuojama įvertinus santvaros gamybai sunaudotą medieną ir sujungimo mazguose montuojamas plokšteles. Statybinės (C24) medienos kaina – 460 €/m<sup>3</sup> be PVM [48], dygliuotų plokštelių vidutinė kaina – 2 €/vnt. su PVM [49]

### Sujungimo mazgai

Santvaros medinių elementų susikirtimo vietos.

### Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje

Medienos tūris apskaičiuojamas įvertinus, kad apatinė santvaros dalis apšildoma 45 cm storio akmens vatos sluoksniu.

### Konstrukcijos projektinis įlinkis

Konstrukcijos projektinis įlinkis apskaičiuojamas *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022* programa [47].

## Palėpės techninis panaudojimas

Palėpės techninio panaudojimo patogumas įvertinamas balais pagal santvaros centrinėje dalyje esančių elementų išdėstymą. Mažesnis elementų kiekis centrinėje dalyje įvertinamas aukštesniu balu. Centre esanti apatinė santvaros dalis apkraunama 1 kN/m<sup>2</sup> jėga.

### 3.3. Ekspertų apklausos nuomonių suderinimas

Tyrime rodiklių reikšmingumas buvo nustatomas apklausus 12 statybos ekspertų. Rodiklių reikšmingumai laikomi pakankamai patikimais, jeigu ekspertų nuomonių rangavimo suderinamumas yra pakankamas. Nuomonių suderinamumo tikrinimas pradedamas vidutinio rango nustatymu pagal 6 formulę:

$$\bar{t}_j = \left( \sum_{k=1}^r t_k \right) / r; \quad (6)$$

čia  $t_{jk}$  – k eksperto  $j$ -ojo rodiklio įvertinimas (kur „5“ – aukščiausias, „1“ – žemiausias įvertinimo balas;  $r$  – ekspertų skaičius).

Kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypio kvadratų sumos apskaičiuojamos pagal 7 formulę [25]:

$$S = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2; \quad (7)$$

čia  $n$  – tiriamųjų rodiklių efektyvumo skaičius.

Konkordancijos koeficiento reikšmė apskaičiuojama pagal 8 formulę [25]:

$$\bar{W} = \frac{12S}{r^2 \cdot (n^3 - n)}; \quad (8)$$

Konkordancijos koeficiento reikšmingumas nustatomas naudojant  $\chi^2$  kriterijų pagal 9 formulę [24]:

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

Jeigu gauta  $\chi^2$  reikšmė didesnė už  $\chi_{krit}^2$  reikšmę, kuri priklauso nuo laisvumo laipsnio  $\vartheta = n - 1$  ir reikšmingumo lygmens  $\alpha = 0,01$ , teigiama, kad apklausoje dalyvavusių ekspertų nuomonių suderinamumas yra pakankamas [24].

Ekspertų apklausos rezultatai bei apskaičiuoti rodiklių reikšmingumai pateikti 6 lentelėje.

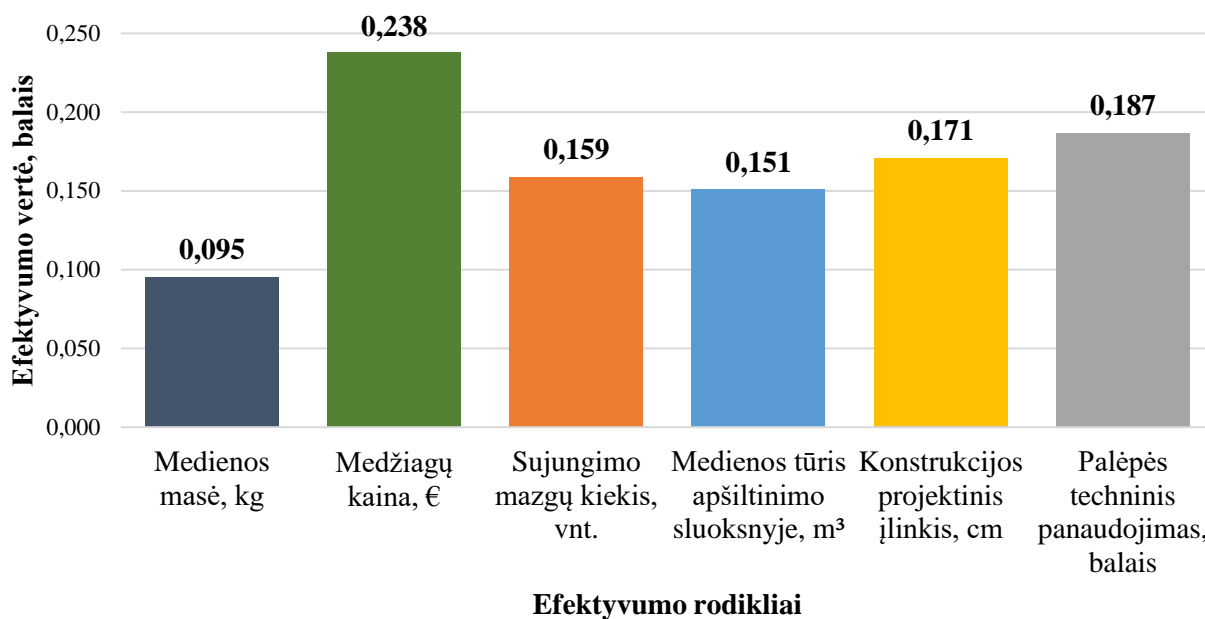
**6 lentelė.** Rodiklių reikšmingumas apklausus statybos ekspertus

Ekspertas	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstrukcijos projektinis ilinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
Ekspertas 1	1	6	3	4	2	5



<b>Ekspertas</b>	<b>Medienos masė, kg (q1)</b>	<b>Medžiagų kaina, € (q2)</b>	<b>Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)</b>	<b>Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m<sup>3</sup> (q4)</b>	<b>Konstrukcijos projektinis įlinkis, cm (q5)</b>	<b>Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)</b>
Ekspertas 2	2	6	5	3	1	4
Ekspertas 3	1	4	5	2	3	6
Ekspertas 4	4	2	3	1	5	6
Ekspertas 5	1	6	2	5	4	3
Ekspertas 6	2	6	1	5	4	3
Ekspertas 7	4	1	2	3	6	5
Ekspertas 8	2	6	4	1	5	3
Ekspertas 9	3	5	1	2	6	4
Ekspertas 10	2	6	5	4	3	1
Ekspertas 11	1	6	5	3	2	4
Ekspertas 12	1	6	4	5	2	3
Rangų suma	24	60	40	38	43	47
Vidutinis rangas	2,00	5,00	3,33	3,17	3,58	3,92
Prioritetas	6	1	4	5	3	2
Rodiklio subjektyvus reikšmingumas (santykinis svoris)	0,095	0,238	0,159	0,151	0,171	0,187
$S$	693					
$\bar{W}$	0,275					
$\chi^2$	16,50					
$\chi_{krit}^2$	15,09					

Apskaičiuota konkordancijos koeficiento reikšmė  $\chi^2 - 16,50$ , kuri yra didesnė už  $\chi_{krit}^2 - 15,09$ . Daroma išvada, kad apklausoje dalyvavusių ekspertų nuomonės suderintos [50]. Atvaizduojamos kriterijų reikšmės, pagal kurias bus lyginamos medinės santvaros (žr. 20 pav.).

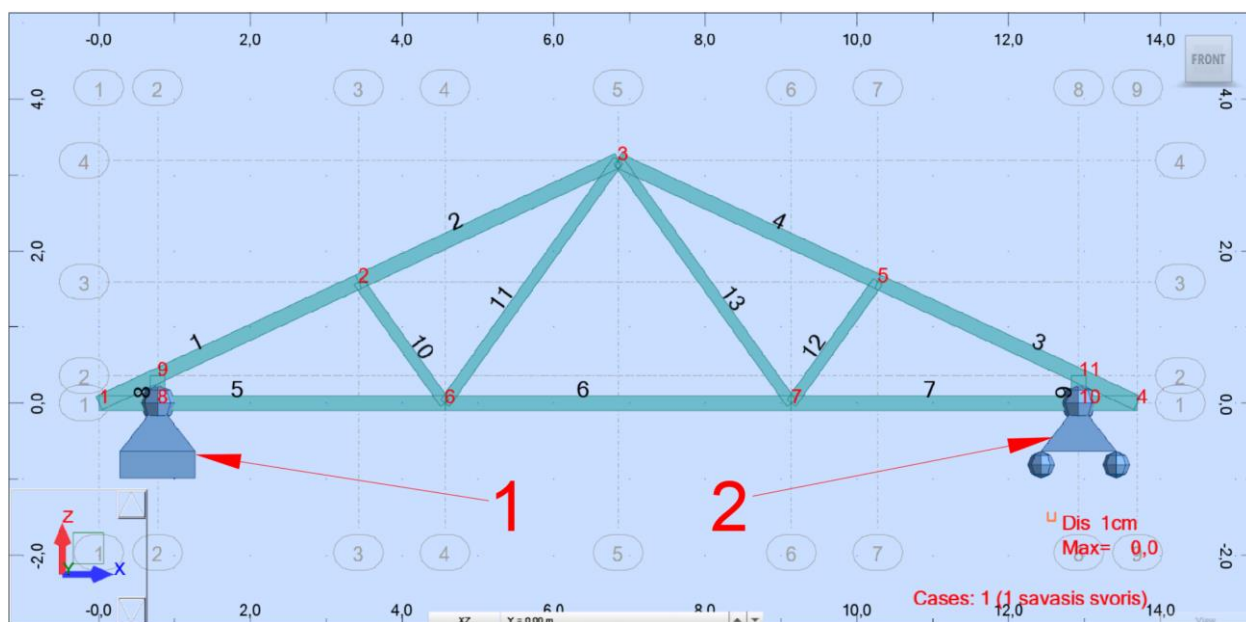


20 pav. Kriterijų reikšmingumas

Apklausus 12 statybos ekspertų nustatyta, kad reikšmingiausias kriterijus yra medžiagų kaina (0,238 balo), o mažiausiai reikšmingas yra medienos konstrukcijos masė (0,095 balo).

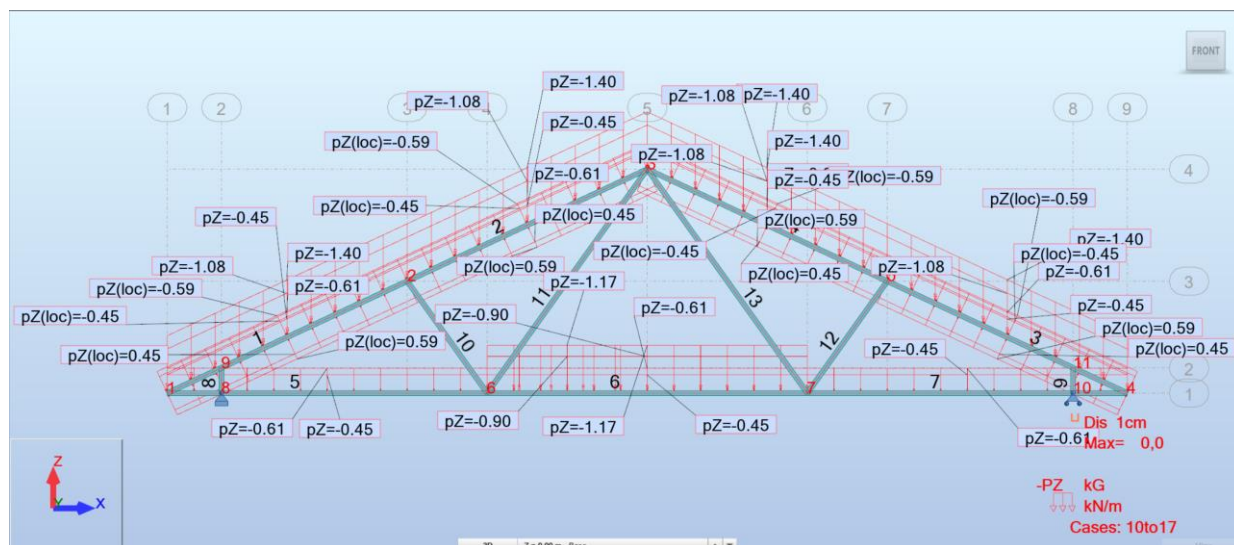
### 3.4. Medinių santvarų skaičiavimas

*Autodesk Robot structural analysis professional* programoje [47] nubraižomi visi santvaros mediniai elementai parenkant pradinį minimalų elemento matmenį  $45 \times 70$  mm. 2D statiškai išsprendžiamos santvaros konstrukcijos vienoje pusėje parenkama šarnyrinė atrama su galimu poslinkiu y ašimi, kitoje pusėje šarnyrinė atrama su galimu poslinkiu pagal x ir y ašis (žr. 21 pav.).



21 pav. Santvaros atramos: 1 – šarnyrinė atrama, poslinkis y ašimi; 2 – šarnyrinė atrama, poslinkis x ir y ašimis [sukurta autoriaus]

Sekančiame etape santvaros elementams priskiriamos apkrovos ir jų deriniai (žr. 22 pav.). Santvarą veikiančios apkrovos apskaičiuojamos įvertinus, kad stogo santvaros bus montuojamos 900 mm atstumu viena nuo kitos. Santvaros veikiančios apkrovos pateikiamos 7-oje lentelėje.



22 pav. Santvaros elementus veikiančios apkrovos

7 lentelė. Santvarą veikiančios apkrovos

Eil. Nr.:	Apkrovos pavadinimas	Apkrovos reikšmė, (kN/m <sup>2</sup> )	Atstumas tarp santvarų, (mm)	Apkrova į vieną santvarą, (kNm)	Apkrovos veikimo klasė
1	Savasis svoris (santvaros)	–	900	–	Nuolatinė
2	Stogo dangos apkrova	0,50	900	0,45	Nuolatinė
3	Lubų apkrova įvertinus akmens vatą perdangoje	0,50	900	0,45	Nuolatinė
4	Palėpės techninė apkrova, 100 %	1,00	900	0,9	Ilgalaikė
5	Palėpės techninė apkrova, 50 %	1,00	900	0,9	Ilgalaikė
6	Sniego apkrova, 100 %	1,20	900	1,08	Trumpalaikė
7	Sniego apkrova, 50 %	1,20	900	1,08	Trumpalaikė
8	Vėjo apkrova iš kairės	0,50	900	0,45	Trumpalaikė
9	Vėjo apkrova iš dešinės	0,50	900	0,45	Trumpalaikė

Sniego ir palėpės techninės apkrovos sudarytos iš dviejų apkrovų, nes viena apkrova (100 %) proporcingai, o kita (50 %) neproporcingai (šachmatiškai) apkrauna kiekvieną santvaros elementą.

Sudarius apkrovas būtina sudaryti apkrovų derinius. Konstrukcijai apskaičiuoti privalomi du ribiniai būviai. ULS – saugos ribinis būvis, kuriam esant suyra konstrukcijos elementai, kai medžiagos stiprumas nepakankamas ar prasideda pernelyg didelės deformacijos. Šiam nuolatinį apkrovų veikiamam ribiniam būviui parenkamas 1,35 patikimumo koeficientas nuolatinėms bei 1,30 kintamoms apkrovoms [21]. ULS deriniai pateikiami 8 lentelėje.

**8 lentelė. ULS deriniai**

Eil. Nr.:	Apkrovos pavadinimas	1 ULS derinys	2 ULS derinys	3 ULS derinys	4 ULS derinys
1	Savasis svoris (santvaros)	1,35	1,35	1,35	1,35
2	Stogo dangos apkrova	1,35	1,35	1,35	1,35
3	Lubų apkrova įvertinus akmens vatą perdangoje	1,35	1,35	1,35	1,35
4	Palėpės techninė apkrova, 100 %	1,30	1,30	-	-
5	Palėpės techninė apkrova, 50 %	-	-	1,30	1,30
6	Sniego apkrova, 100 %	1,30	1,30	-	-
7	Sniego apkrova, 50 %	-	-	1,30	1,30
8	Vėjo apkrova iš kairės	1,30	-	1,30	-
9	Vėjo apkrova iš dešinės	-	1,30	-	1,30

Antras privalomas ribinis būvis – SLS, tai tinkamumo (deformacijų) ribinis būvis, paskaičiuojantis deformacijas, įlinkius ir poslinkius konstrukcijoje. Tokiam būviui visoms apkrovoms parenkamas 1,00 patikimumo koeficientas [21]. SLS deriniai pateikiami 9 lentelėje.

**9 lentelė. SLS deriniai**

Eil. Nr.:	Apkrovos pavadinimas	1 SLS derinys	2 SLS derinys	3 SLS derinys	4 SLS derinys
1	Savasis svoris (santvaros)	1,00	1,00	1,00	1,00
2	Stogo dangos apkrova	1,00	1,00	1,00	1,00
3	Lubų apkrova įvertinus akmens vatą perdangoje	1,00	1,00	1,00	1,00
4	Palėpės techninė apkrova, 100 %	1,00	1,00	-	-
5	Palėpės techninė apkrova, 50 %	-	-	1,00	1,00
6	Sniego apkrova, 100 %	1,00	1,00	-	-
7	Sniego apkrova, 50 %	-	-	1,00	1,00
8	Vėjo apkrova iš kairės	1,00	-	1,00	-
9	Vėjo apkrova iš dešinės	-	1,00	-	1,00

*Autodesk Robot structural analysis professional* programoje [47], sudarius apkrovas ir apkrovų derinius, atliekamas santvaros elementų skaičiavimas. Apskaičiavus, kad santvaros parinkti minimalūs elemento matmenys ( $45 \times 70$  mm) netenkina keliamų reikalavimų, jie aukštinami į aukštesnius rinkoje populiariausius medienos matmenis, t. y. 95, 120, 145, 195, 225, 245 mm. Tokiu principu suprojektuojami visų tiriamų santvarų mediniai elementai, kurie turi atitikti anksčiau aprašytus keliamus reikalavimus.

Santvaros elementų skaičiuojamieji ilgiai  $l_{ef}$  nustatomi pagal 10 formulę [19, 7.42].

$$l_{ef} = \mu \cdot l. \quad (10)$$

čia  $\mu$  – elemento ilgio redukcijos koeficientas;  $l$  – santvaros elemento ilgis.

Kadangi santvaroje ašinė jėga išdėstyta tolygiai elemento ilgiui bei abu galai įtvirtinti lanksčiai, koeficientas  $\mu = 0,73$  [19, 58.2].

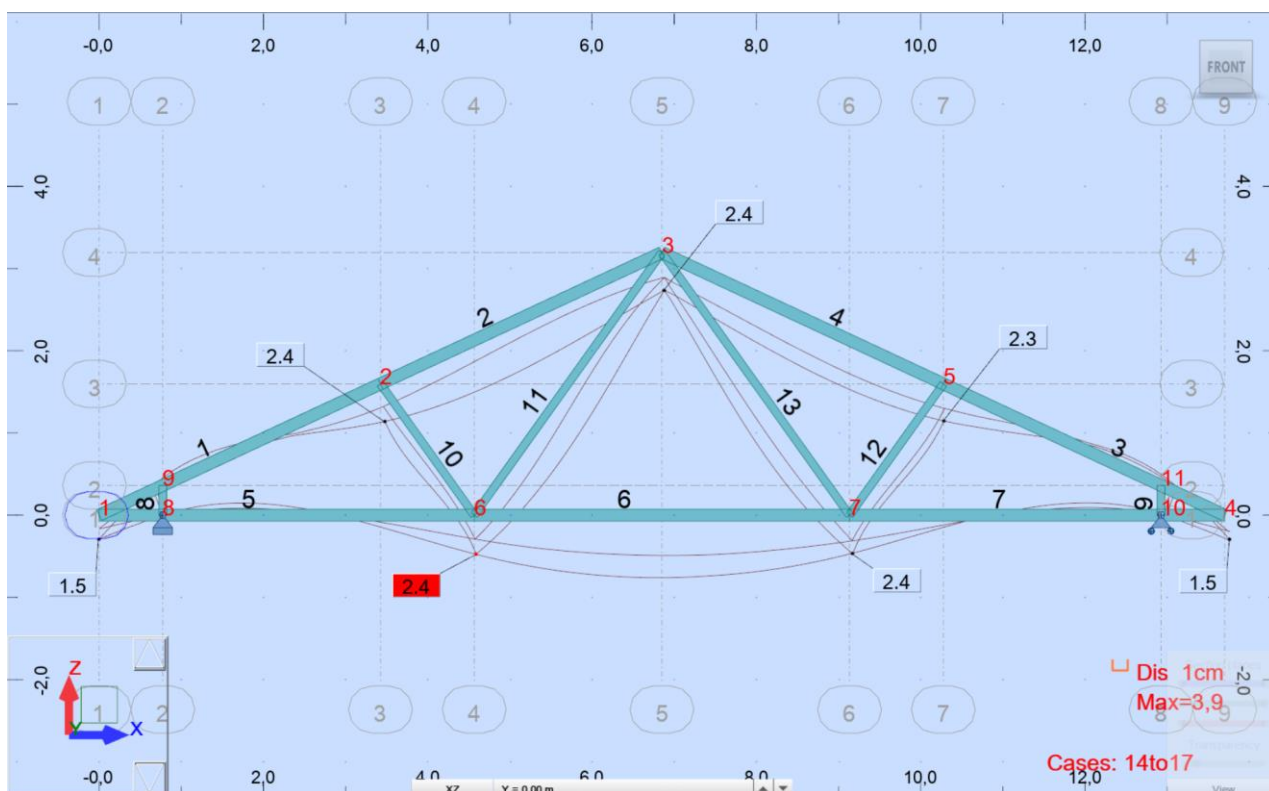
Projektuojamos santvaros elementų ribinis liaunis ( $\lambda_u$ ) neturi viršyti STR 2.05.07:2005 [19] nurodytų reikšmių:

- gniuždomųjų juostų  $\lambda_u = 120$ ;
- gniuždomųjų ryšių elementų  $\lambda_u = 150$ ;
- tempiamųjų juostų vertikalioje plokštumoje  $\lambda_u = 200$ ;
- kitų tempiamųjų santvaros elementų  $\lambda_u = 150$ .

Santvaros konstrukcijos ribinis įlinkis neturi viršyti  $l/300$ , čia  $l$  – tarpatramis [19].

Skaičiuojant santvarą gniuždomoji juosta suvaržoma įvertinus, kad ji bus naudojama šlaitiniam stogui, kuris grebėstuojamasis 350 mm žingsniu. Apatinė santvaros tempiamoji juosta suvaržoma 600 mm žingsniu ant kurių montuosios pakabinamų lubų konstrukcija.

*Autodesk Robot structural analysis professional* programa [47] apskaičiuota santvara su keturias spyriais (žr. 23 pav.).



23 pav. Apskaičiuota santvara su keturias spyriais [sukurta autoriaus]

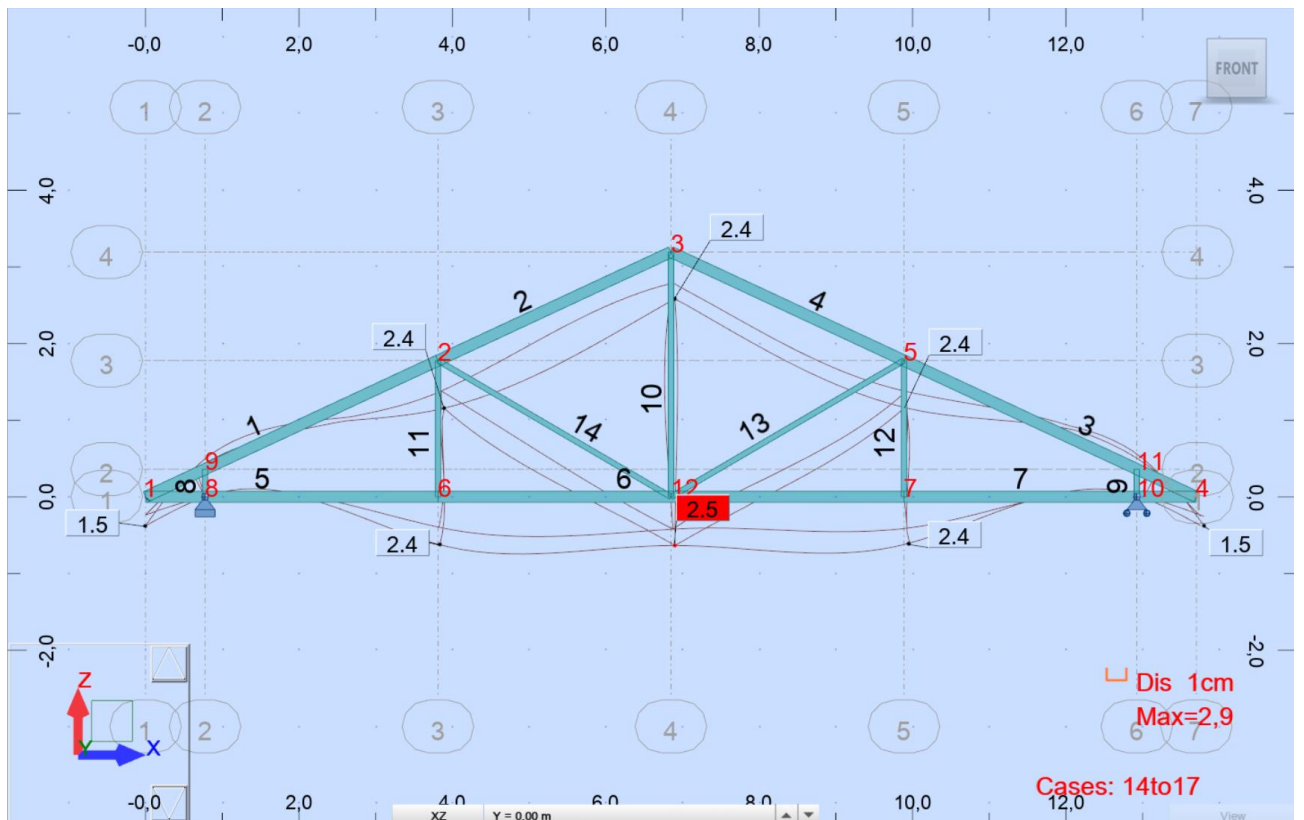
10 lentelėje pateikiami apskaičiuotos santvaros medienos matmenys, elementų ilgiai, didžiausia veikiama ašinė jėga, projektinis elemento liaunis ir laikomosios galios atsarga.

**10 lentelė.** Santvaros su keturiais spyriais elementų išsklotinė

El. Nr.:	Elemento matmenys, mm, (medienos klasė)	Elemento ilgis, m	Didžiausia elementą veikiama ašinė jėga, kN	Projektinis elemento liaunis, $\lambda_y$	Laikomosios galios atsarga, %
1	45 × 145 (C24)	3,78	32,97	65,91	42
2	45 × 145 (C24)	3,78	31,13	65,91	46
3	45 × 145 (C24)	3,78	32,98	65,91	42
4	45 × 145 (C24)	3,78	31,14	65,91	46
5	45 × 145 (C24)	4,57	-30,90	79,63	62
6	45 × 145 (C24)	4,57	-22,85	79,67	72
7	45 × 145 (C24)	4,57	-27,17	79,63	66
8	45 × 145 (C24)	0,36	20,41	9,61	67
9	45 × 145 (C24)	0,36	20,41	9,61	67
10	45 × 95 (C24)	1,96	5,08	52,25	42
11	45 × 95 (C24)	1,96	-11,36	104,52	78
12	45 × 95 (C24)	1,96	5,08	52,25	68
13	45 × 95 (C24)	3,93	-11,36	104,52	78

Santvarai pagaminti iš viso reikės 0,20 m<sup>3</sup> medienos. Santvaros su keturias spyriais masė – 84,51 kg, ją sudarys 11 mazgų bei 13 elementų. Įvertinus visas galimas apkrovas ir jų kombinacijas santvara maksimaliai įlinkis 2,4 cm ties 6-uuju mazgu. 3-ąjį santvaros elementą veiks didžiausia gniuždoma ašinė jėga (32,98 kN), šio elemento laikomosios galios atsarga sudarys 42 procentus. Didžiausia tempiamoji ašinė jėga susidarys 5-ame santvaros elemente (-30,90 kN), jo laikomosios galios atsarga sudarys 62 procentus. Atsižvelgiant į sąlyginai didelę elementų laikomosios galios atsargą, matyti, kad galbūt galėtų būti parenkami ir mažesni elementų matmenys, tačiau viena iš projektinio įlinkio sąlygų yra tokia, kad santvara negali viršyti 3 cm įlinkio. Mažesnių matmenų elementų parinkimas netenkintų santvarai keliamų reikalavimų, t. y. būtų per didelis bendras santvaros įlinkis. Daugiausiai apkrautų santvaros elementų (gniuždomojo viršutinio, tempiamojo apatinio ir gniuždomojo tinklelio) detalūs skaičiavimai pateikiami 1 priede.

*Autodesk Robot structural analysis professional* programa [47] suprojektuota santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (žr. 24 pav.).



**24 pav.** Apskaičiuota santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais [sukurta autoriaus]

11 lentelėje pateikiami apskaičiuotos santvaros medienos matmenys, elementų ilgiai, didžiausia veikiamo ašinė jėga, projektinis elemento liaunis ir elemento laikomosios galios atsarga.

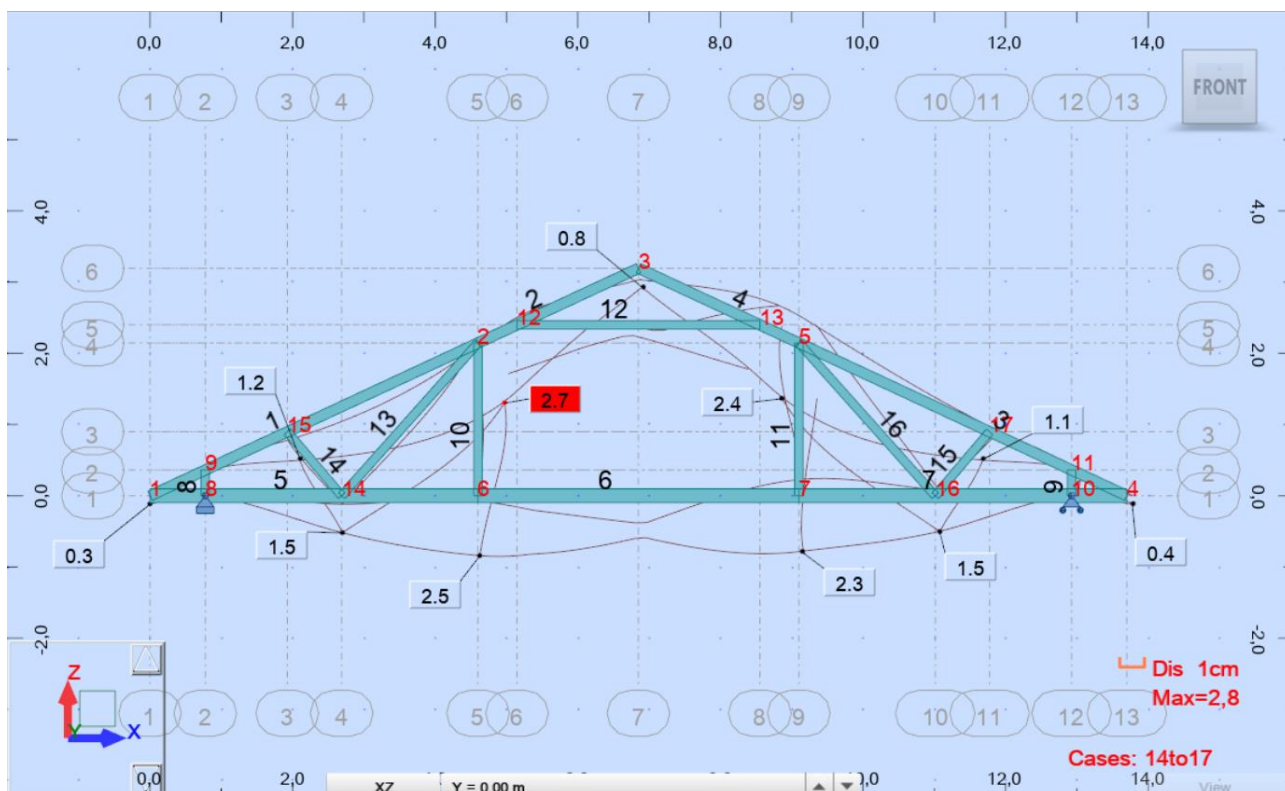
**11 lentelė.** Santvaros su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais elementų išsklotinė

El. Nr.:	Elemento matmenys, mm, (medienos klasė)	Elemento ilgis, m	Didžiausia elementą veikiamo ašinė jėga, kN	Projektinis elemento liaunis, $\lambda_y$	Laikomosios galios atsarga, %
1	45 × 145 (C24)	4,21	33,62	73,36	31
2	45 × 145 (C24)	3,35	27,08	58,46	59
3	45 × 145 (C24)	4,21	33,62	73,36	31
4	45 × 145 (C24)	3,35	27,08	58,46	59
5	45 × 145 (C24)	3,81	-31,57	66,48	61
6	45 × 145 (C24)	6,08	-32,09	105,97	60
7	45 × 145 (C24)	3,81	-27,80	66,48	65
8	45 × 70 (C24)	0,36	18,28	13,04	3
9	45 × 70 (C24)	0,36	18,28	13,04	3
10	45 × 70 (C24)	3,19	-13,31	115,39	66
11	45 × 70 (C24)	1,78	-1,93	64,23	95
12	45 × 70 (C24)	1,78	0,45	64,23	98
13	45 × 70 (C24)	3,52	8,17	127,16	9
14	45 × 70 (C24)	3,52	8,16	127,16	9



Santvarai pagaminti iš viso reikės 0,19 m<sup>3</sup> medienos. Santvaros su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais masė – 81,81 kg, ją sudarys 12 mazgų bei 14 elementų. Įvertinus visas galimas apkrovas ir jų kombinacijas santvara maksimaliai įlinks 2,5 cm ties 12-uoju mazgu. 1-ąjį ir 3-ąjį santvaros elementus veiks didžiausios gniuždomosios ašinės jėgos (33,62 kN), šių elementų laikomųjų galių atsargos sudarys po 31 procentą. Didžiausia tempiamoji ašinė jėga susidarys 6-ame santvaros elemente (-32,09 kN), šio elemento laikomosios galios atsarga sudarys 60 procentų. Daugiausiai apkrautų santvaros elementų (gniuždomojo viršutinio, tempiamojo apatinio ir gniuždomojo tinklelio) detalūs skaičiavimai pateikiami 2 priede.

Autodesk Robot structural analysis professional programa [47] suprojektuota santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (žr. 25 pav.).



**25 pav.** Apskaičiuota santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu [sukurta autoriaus]

12 lentelėje pateikiami apskaičiuotos santvaros medienos matmenys, elementų ilgiai, didžiausia veikiama ašinė jėga, projektinis elemento liaunis ir laikomosios galios atsarga.

**12 lentelė.** Santvaros su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu elementų išklotinė

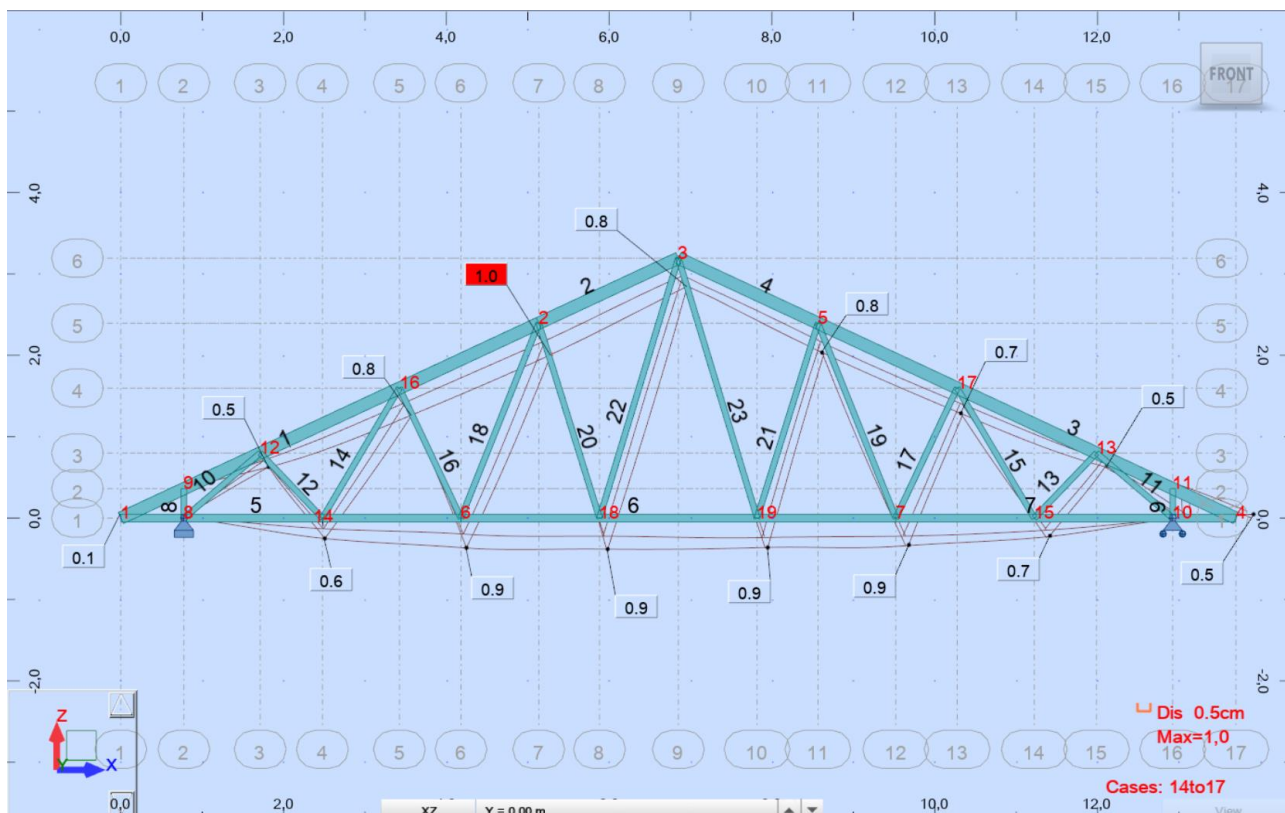
El. Nr.:	Elemento matmenys, mm, (medienos klasė)	Elemento ilgis, m	Didžiausia elementą veikiama ašinė jėga, kN	Projektinis elemento liaunis, $\lambda_y$	Laikomosios galios atsarga, %
1	45 × 145 (C24)	5,08	29,90	88,52	17
2	45 × 145 (C24)	2,48	26,55	43,30	67
3	45 × 145 (C24)	5,08	29,90	88,52	17
4	45 × 145 (C24)	2,48	26,55	43,30	67



El. Nr.:	Elemento matmenys, mm, (medienos klasė)	Elemento ilgis, m	Didžiausia elementą veikiama ašinė jėga, kN	Projektinis elemento liaunis, $\lambda_y$	Laikomosios galios atsarga, %
5	45 × 195 (C24)	4,6	-29,47	59,65	73
6	45 × 195 (C24)	4,5	-28,23	58,36	74
7	45 × 195 (C24)	4,6	28,28	59,65	74
8	45 × 120 (C24)	0,36	15,55	7,61	73
9	45 × 120 (C24)	0,36	15,53	7,61	73
10	45 × 120 (C24)	2,15	-9,45	45,20	86
11	45 × 120 (C24)	2,15	-9,44	45,20	86
12	45 × 145 (C24)	3,41	25,01	71,78	40
13	45 × 120 (C24)	2,87	7,96	60,55	85
14	45 × 120 (C24)	1,18	1,96	24,83	97
15	45 × 120 (C24)	1,18	-2,56	24,82	96
16	45 × 120 (C24)	2,87	7,96	60,57	85

Santvarai pagaminti iš viso reikės 0,26 m<sup>3</sup> medienos. Santvaros su keturias spyriais masė – 107,82 kg, ją sudarys 17 mazgų bei 16 elementų. Įvertinus visas galimas apkrovas ir jų kombinacijas santvara maksimaliai įlinks 2,7 cm ties 2-uoju mazgu. 1-ąjį ir 3-ąjį santvaros elementus veiks didžiausios gniuždomosios ašinės jėgos (29,90 kN), šių elementų laikomųjų galių atsarga sudarys po 17 procentų. Didžiausia tempiamoji ašinė jėga susidarys 5-ame santvaros elemente (-29,47 kN), jo laikomosios galios atsarga sudarys 73 procentus. Daugiausiai apkrautų santvaros elementų (gniuždomojo viršutinio, tempiamojo apatinio ir gniuždomojo tinklelio) detalūs skaičiavimai pateikiami 3 priede.

*Autodesk Robot structural analysis professional* programa [47] apskaičiuota santvara su keturiolika spyrių (žr. 26 pav.).



26 pav. Apskaičiuota santvara su keturiolika spyrių [sukurta autoriaus]

13 lentelėje pateikiami apskaičiuotos santvaros medienos matmenys, elementų ilgiai, didžiausia veikiamą ašinė jėga, projektinis elemento liaunis ir laikomosios galios atsarga.

13 lentelė. Santvaros su keturiolika spyrių elementų išsklotinė

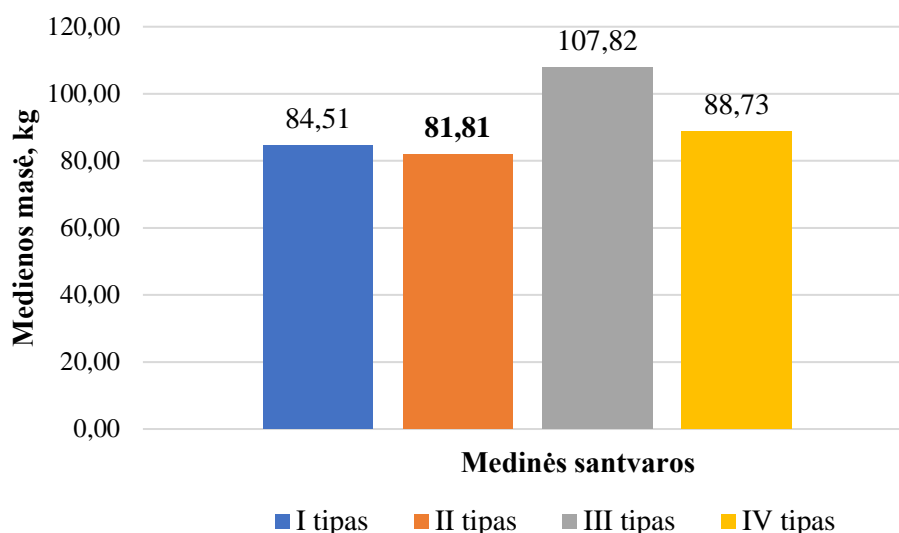
El. Nr.:	Elemento matmenys, mm, (medienos klasė)	Elemento ilgis, m	Didžiausia elementą veikiamą ašinė jėga, kN	Projektinis elemento liaunis, $\lambda_y$	Laikomosios galios atsarga, %
1	45 × 150 (C24)	5,67	31,27	95,52	4
2	45 × 150 (C24)	1,89	27,09	31,90	71
3	45 × 150 (C24)	5,67	31,28	95,52	4
4	45 × 150 (C24)	1,89	27,08	31,90	71
5	45 × 95 (C24)	4,18	-31,37	111,24	40
6	45 × 95 (C24)	5,34	-28,31	142,20	46
7	45 × 95 (C24)	4,18	-27,65	111,24	48
8	45 × 70 (C24)	0,36	5,67	13,04	83
9	45 × 70 (C24)	0,36	5,67	13,04	83
10	45 × 70 (C24)	1,23	26,80	44,49	19
11	45 × 70 (C24)	1,23	26,86	44,46	19
12	45 × 70 (C24)	1,11	-6,45	39,96	83
13	45 × 70 (C24)	1,11	-6,50	39,96	83
14	45 × 70 (C24)	1,89	4,40	67,05	84

El. Nr.:	Elemento matmenys, mm, (medienos klasė)	Elemento ilgis, m	Didžiausia elementą veikiama ašinė jėga, kN	Projektinis elemento liaunis, $\lambda_y$	Laikomosios galios atsarga, %
15	45 × 70 (C24)	1,86	4,44	67,09	84
16	45 × 70 (C24)	1,77	2,91	63,83	90
17	45 × 70 (C24)	1,77	3,29	63,80	89
18	45 × 70 (C24)	2,58	-4,95	93,16	87
19	45 × 70 (C24)	2,58	-4,97	93,16	87
20	45 × 70 (C24)	2,51	7,74	90,62	54
21	45 × 70 (C24)	2,51	7,74	90,64	54
22	45 × 70 (C24)	3,34	-11,26	120,28	71
23	45 × 70 (C24)	3,34	-11,26	120,56	71

Santvarai pagaminti iš viso reikės 0,21 m<sup>3</sup> medienos. Santvaros su keturiolika spyrių masė – 88,73 kg, ją sudarys 19 mazgų bei 23 elementai. Įvertinus visas galimas apkrovas ir jų kombinacijas santvara maksimaliai įlanks 1,0 cm ties 2-uoju mazgu. 3-ąjį santvaros elementą veiks didžiausia gniuždoma ašinė jėga (31,28 kN), šio elemento laikomosios galios atsarga sudarys 4 procentus. Didžiausia tempiamoji ašinė jėga susidarys 5-ame santvaros elemente (-31,37 kN), jo laikomosios galios atsarga sudarys 40 procentų. Daugiausiai apkrautų santvaros elementų (gniuždomojo viršutinio, tempiamojo apatinio ir gniuždomojo tinklelio) detalūs skaičiavimai pateikiami 4 priede.

### 3.5. Santvarų vertinimas daugiakriteriu MOORA metodu

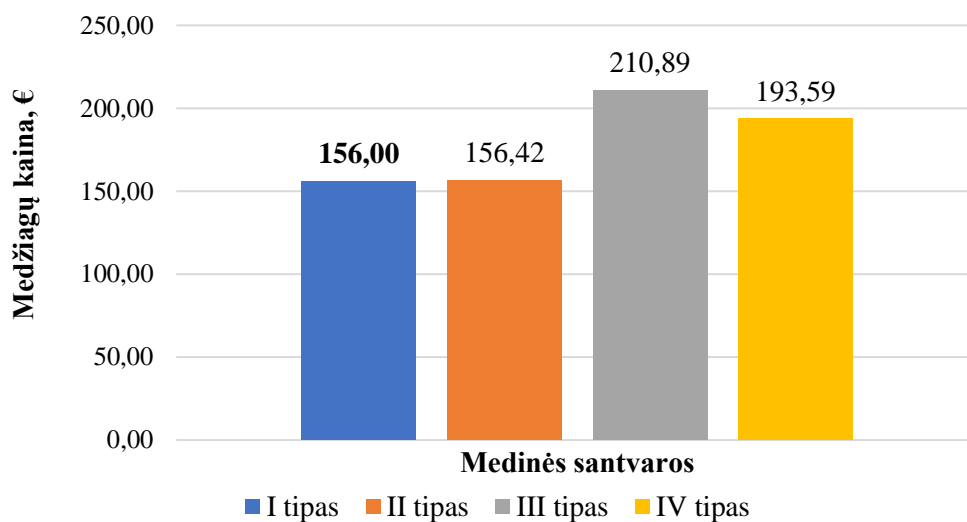
Programa [47] apskaičiavus kiekvienos medinės santvaros lyginamuosius rodiklius, grafiškai atvaizduojama kiekvienos santvaros apskaičiuota medienos masė (žr. 27 pav.).



27 pav. Apskaičiuota medienos masė

Nustatyta, kad lengviausia santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas), jos medienos masė sudaro 81,81 kg. Sunkiausia santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas), jos masė sudaro 107,82 kg.

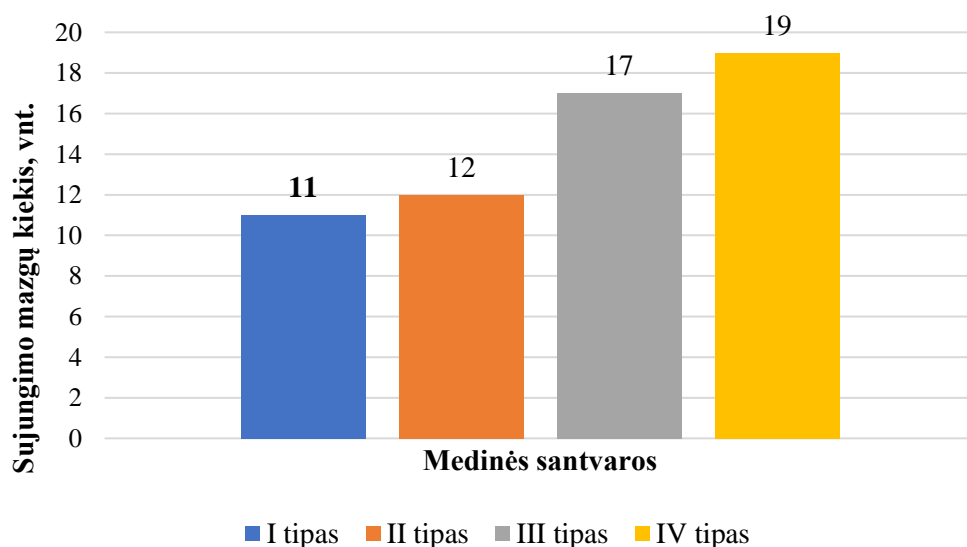
Programa [47] apskaičiavus kiekvienos medinės santvaros lyginamuosius rodiklius, grafiškai atvaizduojama kiekvienos santvaros medžiagų kaina (žr. 28 pav.).



28 pav. Santvaros medžiagų kaina

Nustatyta, kad pigiausia santvara su keturiais spyriais (I tipas), jos kaina yra 156,00 €. Brangiausia santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas), jos kaina yra 210,89 €.

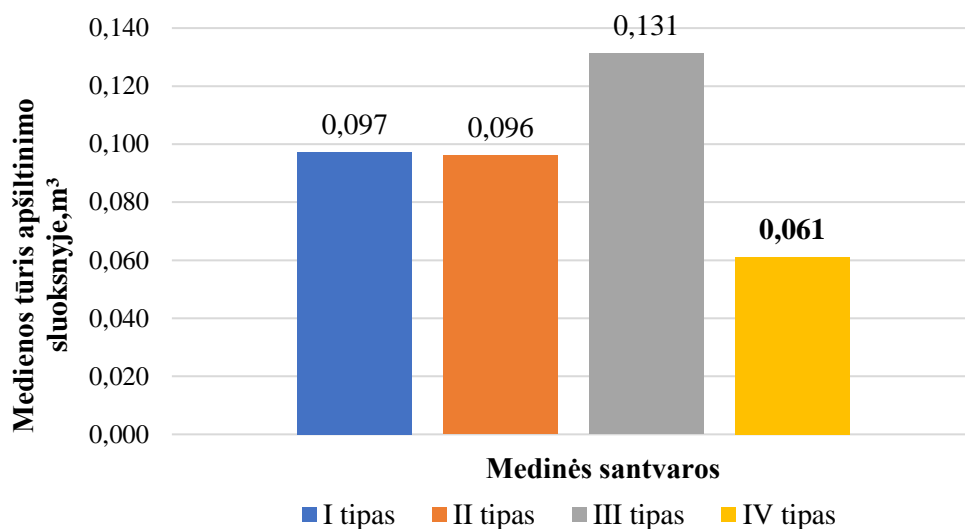
Įvertinus kiekvienos tiriamos santvaros konstrukciją, grafiškai atvaizduojamas kiekvienos santvaros sujungimo mazgų kiekis (žr. 29 pav.).



29 pav. Sujungimo mazgų kiekis

Įvertinus kiekvienos tiriamos santvaros konstrukciją nustatyta, kad mažiausiai sujungimo mazgų (11 vnt.) turi santvara su keturiais spyriais (I tipas). Daugiausiai sujungimo mazgų (19 vnt.) turi santvara su keturiolika spyrių (IV tipas).

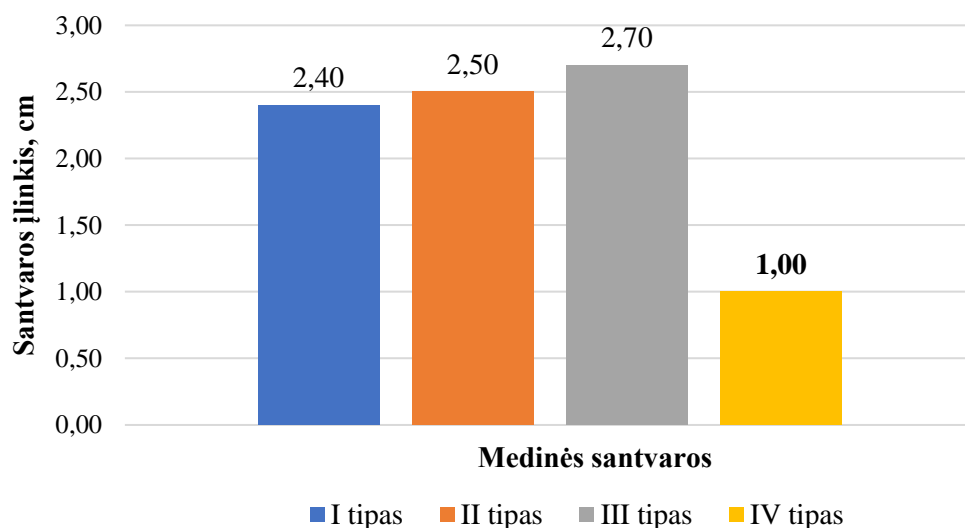
Įvertintas ir grafiškai atvaizduotas (žr. 30 pav.) kiekvienos tiriamos santvaros medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje.



**30 pav.** Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje

Įvertinus kiekvienos tiriamos santvaros konstrukciją nustatyta, kad mažiausias medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje ( $0,061 \text{ m}^3$ ) yra santvaroje su keturiolika spyrių (IV tipas), daugiausiai ( $0,131 \text{ m}^3$ ) santvaroje su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas).

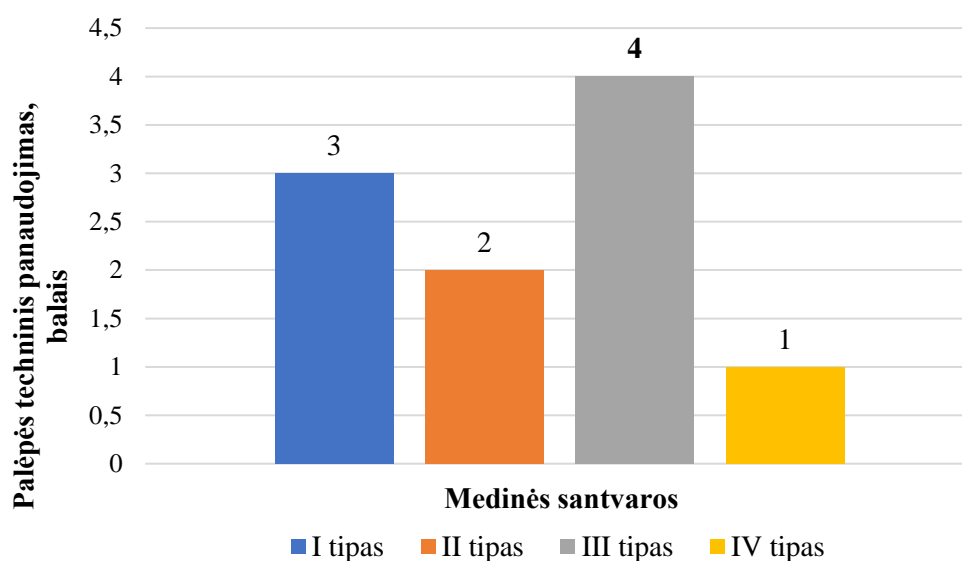
Programa [47] apskaičiuotas ir grafiškai atvaizduotas kiekvienos tiriamos santvaros projektinis įlinkis (žr. 31 pav.).



**31 pav.** Projektinis santvaros įlinkis

Nustatyta, kad mažiausias santvaros įlinkis ( $1,00 \text{ cm}$ ) yra santvaroje su keturiolika spyrių (IV tipas), didžiausias ( $2,70 \text{ cm}$ ) santvaroje su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas).

Atliktus statybos ekspertų apklausą dėl palėpės techninio panaudojimo patogumo, jos rezultatai atvaizduoti 32 paveikslėlyje.



**32 pav.** Techninis palėpės panaudojimo patogumas

Nustatyta, kad santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas) patogiausia išnaudoja palėpę techninėms reikmėms (4 balai), o nepatogiausia (1 balas) santvara su keturiolika spyrių (IV tipas).

Pagal aukščiau aprašytus rodiklius 14 lentelėje sudaroma pradinė sprendimų priėmimo matrica.

**14 lentelė.** Pradinė sprendimų priėmimo matrica

Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstrukcijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
Santvara su keturiais spyriais (I tipas)	84,51	<b>156,00</b>	<b>11</b>	0,097	2,40	3
Santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas)	<b>81,81</b>	156,42	12	0,096	2,50	2
Santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas)	107,82	210,89	17	0,131	2,70	<b>4</b>
Santvara su keturiolika spyrių (IV tipas)	88,73	193,59	19	<b>0,061</b>	<b>1,00</b>	1

Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstruktijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
spyrių (IV tipas)						
Rodiklio reikšmė (max/min)	min	min	min	min	min	max
Rodiklio reikšmingumas	0,095	0,238	0,159	0,151	0,171	0,187

Antrame etape normalizuojama sprendimo matrica lyginant kiekvieno rodiklio konkrečią reikšmę su rodiklio reikšmėmis pagal (2) formulę [30]. Normalizuotos matricos rezultatai pateikti 15 lentelėje.

**15 lentelė.** Normalizuota sprendimų matrica

Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstruktijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
Santvara su keturiais spyriais (I tipas)	0,463	0,431	0,364	0,488	0,533	0,548
Santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas)	0,448	0,433	0,397	0,483	0,555	0,365
Santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas)	0,591	0,583	0,562	0,659	0,599	0,730
Santvara su keturiolika spyrių (IV tipas)	0,486	0,535	0,628	0,307	0,222	0,183
Rodiklio reikšmė (max/min)	min	min	min	min	min	max
Rodiklio reikšmingumas	0,095	0,238	0,159	0,151	0,171	0,187

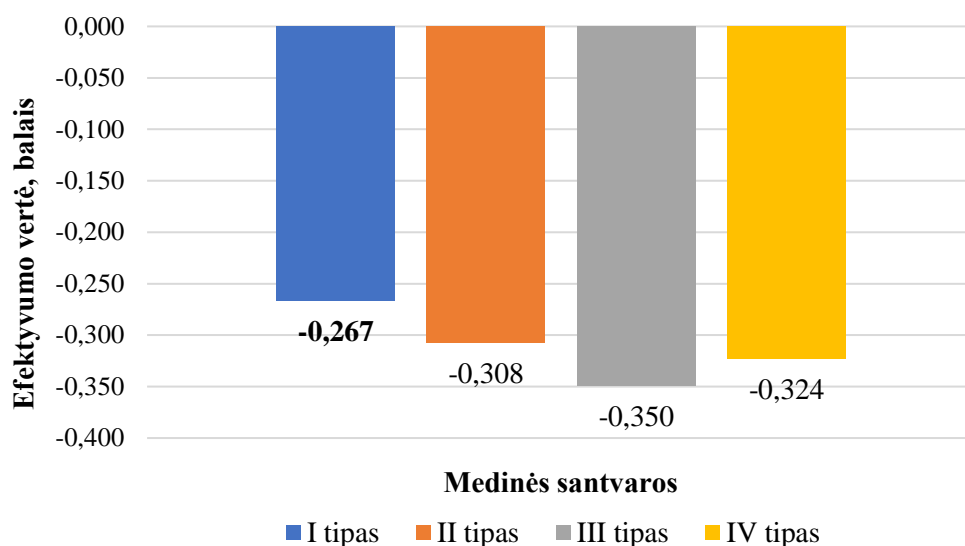
16 lentelėje įrašomi svertinės normalizuotos sprendimo matricos rezultatai, apskaičiuoti pagal (3) formulę [41].

**16 lentelė.** Svertinė normalizuota sprendimų matrica

Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstrukcijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
Santvara su keturiais spyriais (I tipas)	0,044	0,103	0,058	0,074	0,091	0,102
Santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas)	0,043	0,103	0,063	0,073	0,095	0,068
Santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas)	0,056	0,139	0,089	0,099	0,102	0,136
Santvara su keturiolika spyrių (IV tipas)	0,046	0,127	0,100	0,046	0,038	0,034
Rodiklio reikšmė (max/min)	min	min	min	min	min	max
Rodiklio reikšmingumas	0,095	0,238	0,159	0,151	0,171	0,187

Panaudojus (4) formulę [42] gautos normalizuotos efektyvumo kriterijų arba naudos kriterijų vertės atimamos iš visų neigiamų kriterijų arba sąnaudų kriterijų verčių. Alternatyvų reitingas gaunamas reitinguojant  $\bar{y}_i$  vertes. Didžiausia apskaičiuota vertė atitinka geriausią alternatyvą. Mažiausia apskaičiuota reikšmė atitinka blogiausią alternatyvą. Kadangi tyrime minimizuojančių rodiklių daugiau nei maksimizuojančių, apskaičiuota reikšmė su minuso ženklu. Santvara, kurios efektyvumo rodiklis artimesnis 0, laikoma efektyviausia. Tyrimo apskaičiuotos efektyvumo vertės pateikiamos grafike (žr. 33 pav.).





**33 pav.** Medinių stogo santvarų efektyvumo vertės

Atlikus stogo medinės santvaros tyrimą pagal MOORA metodą nustatyta, kad pagal vertinamus kriterijus efektyviausia santvara su keturiais spyriais (I tipas, 23 pav.). Ši santvara 24 procentais efektyvesnė už santvarą su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas, 25 pav.), 18 procentų efektyvesnė už santvarą su keturiolika spyrių (IV tipas, 26 pav.) bei 13 procentų efektyvesnė už santvarą su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas, 24 pav.).

17 lentelėje sudaroma normalizuota sprendimo matrica parenkant vienodą rodiklių reikšmingumą, t. y. po 0,167.

**17 lentelė.** Normalizuota sprendimų matrica, kai kriterijų reikšmingumas vienodas

Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstrukcijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
Santvara su keturiais spyriais (I tipas)	0,463	0,431	0,364	0,488	0,533	0,548
Santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas)	0,448	0,433	0,397	0,483	0,555	0,365
Santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas)	0,591	0,583	0,562	0,659	0,599	0,730
Santvara su keturiolika	0,486	0,535	0,628	0,307	0,222	0,183

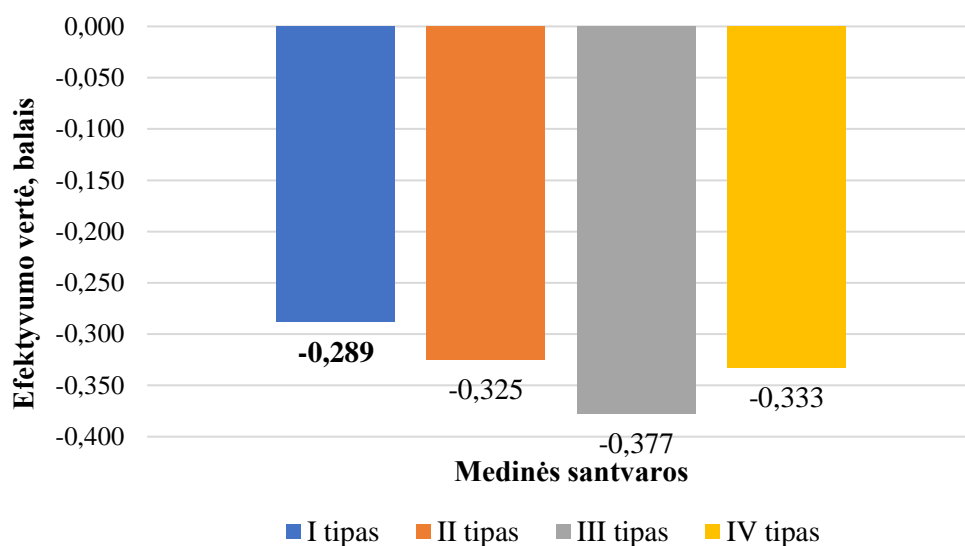
Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstrukcijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
spyrių (IV tipas)						
Rodiklio reikšmė (max/min)	min	min	min	min	min	max
Rodiklio reikšmingumas	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

18 lentelėje įrašomi svartinės normalizuotos sprendimo matricos rezultatai parenkant vienodą rodiklių reikšmingumą.

**18 lentelė.** Svartinė normalizuota sprendimų matrica, kai kriterijų reikšmingumas vienodas

Medinės santvaros (alternatyvos)	Rodikliai					
	Medienos masė, kg (q1)	Medžiagų kaina, € (q2)	Sujungimo mazgų kiekis, vnt. (q3)	Medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje, m <sup>3</sup> (q4)	Konstrukcijos projektinis įlinkis, cm (q5)	Palėpės techninis panaudojimas, balais (q6)
Santvara su keturiais spyriais (I tipas)	0,077	0,072	0,061	0,081	0,089	0,091
Santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas)	0,075	0,072	0,066	0,080	0,092	0,061
Santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas)	0,098	0,097	0,094	0,110	0,100	0,122
Santvara su keturiolika spyrių (IV tipas)	0,081	0,089	0,105	0,051	0,037	0,030
Rodiklio reikšmė (max/min)	min	min	min	min	min	max
Rodiklio reikšmingumas	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

Atlikus skaičiavimus MOORA metodu, parenkant vienodą kriterijų reikšmingumą, apskaičiuotos efektyvumo vertės pateikiamos grafike (žr. 34 pav.).



**34 pav.** Medinių stogo santvarų efektyvumo vertės parenkant vienodą rodiklių reikšmingumą

Atlikus stogo medinės santvaros tyrimą MOORA metodu, kai parenkamas vienodas rodiklių reikšmingumas nustatyta, kad efektyviausia santvara su keturiais spyriais (I tipas, 23 pav.). Ši santvara 24 procentais efektyvesnė už santvarą su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas, 25 pav.), 13 procentų efektyvesnė už santvarą su keturiolika spyrių (IV tipas, 26 pav.) bei 11 procentų efektyvesnė už santvarą su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas, 24 pav.). Parenkant vienodus ar skirtingus (įvertinus ekspertų nuomonę) subjektyvių rodiklių reikšmingumus, santvarų efektyvumo prioritetų išsidėstymas išlieka vienodas, skiriasi tik santvarų efektyvumo balai (I tipo – 7,50 procento, II tipo – 5,22 procento, III tipo – 7,30 procento ir IV tipo – 2,72 procento).

## Išvados

1. MOORA metodu atlikus 4 tipų gyvenamojo pastato šlaitinio stogo medinių santvarų konstrukcijų efektyvumo daugiakriterį vertinimą, nustatyta, kad tarpusavyje lyginant santvarų medienos konstrukcijos svorį, medžiagų kainą, sujungimo mazgų kiekį, medienos tūrį apšiltinimo sluoksnyje, konstrukcijos projektinį įlinkį ir palėpės techninio panaudojimo galimybės rodiklius, efektyviausia santvara su keturiais spyriais (I tipas). Ši santvara užėmė pirmąją vietą surinkus didžiausią efektyvumo apskaičiuotą vertę (-0,267 balo). Ji yra pigiausia (156,00 €) bei turinti mažiausią sujungimo mazgų kiekį (11 vnt.). Pagal medienos masę (84,51 kg), maksimalų įlinkį (2,40 cm) bei palėpės techninio panaudojimo patogumą santvara užėmė antrąsias vietas. Trečiąją vietą santvara užėmė pagal medienos tūrį apšiltinimo sluoksnyje (0,097 m<sup>3</sup>).
2. Antrojoje pozicijoje santvara su trimis statramsčiais ir dvejais spyriais (II tipas), jos efektyvumo apskaičiuota vertė lygi -0,308 balo. Ji yra lengviausia (81,81 kg). Ši santvara užėmė antrąsias vietas pagal medžiagų kainą (156,42 €), sujungimo mazgų kiekį (12 vnt.) bei medienos tūrį apšiltinimo sluoksnyje (0,096 m<sup>3</sup>). Pagal konstrukcijos projektinį įlinkį (2,50 cm) ir palėpės techninį panaudojimo patogumą (2 balai) ši santvara užėmė trečiąsias vietas.
3. Daugiakriteriu vertinimu nustatyta, kad trečioji pagal efektyvumą santvara sudaryta iš keturiolikos spyrių (IV tipas). Jos efektyvumo vertė sudaro -0,324 balo. Ši santvara užėmė pirmąsias vietas pagal medienos tūrį apšiltinimo sluoksnyje (0,061 m<sup>3</sup>) ir konstrukcijos projektinį įlinkį (1,00 cm). Santvara užėmė trečiąją poziciją pagal medienos masę (88,73 kg) bei medžiagų kainą (193,59 €). Ji nusileidžia visoms santvaroms pagal sujungimo mazgų kiekį (19 vnt.) ir palėpės techninio panaudojimo patogumą (1 balas).
4. Mažiausiai efektyvi santvara su dvejais statramsčiais, keturiais spyriais ir vienu skersiniu (III tipas). Santvaros efektyvumo vertė lygi -0,350 balo. Ši santvara geriausiai įvertinta (4 balai) pagal palėpės techninio panaudojimo galimybes, tačiau ji turi 17 sujungimo mazgų (3 pozicija), yra sunkiausia (107,82 kg), brangiausia (210,89 €), didžiausias medienos tūris apšiltinimo sluoksnyje (0,131 m<sup>3</sup>) ir didžiausias projektinis įlinkis (2,70 cm).
5. Parenkant vienodai proporcingus ar skirtingus (įvertinus ekspertų nuomonę) subjektyvių rodiklių reikšmingumus, šlaitinio stogo medinių santvarų efektyvumo prioritetų išsidėstymas išlieka vienodas, skiriasi tik efektyvumo balai (vidutiniškai 5,69 procento).

## Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl statybos techninio reglamento STR 2.04.01:2018 *Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas*: 2019 m. kovo 29 d. Nr. D1–186 [interaktyvus] [žiūrėta 2020-10-18]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/1aa5acc055ce11e9975f9c35aedfe438>
2. VOLVAČIOVAS, Robertas. *Visuomeninės paskirties pastatų atnaujinimo efektyvumo tyrimas ir daugiatis vertinimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2014, 172 psl. ISBN 978-609-457-653-9
3. RUGGIERI, Nicola. Historical overview on criteria and techniques for reducing timber structures deformability. *Journal of architectural conservation* [interaktyvus]. 2017, 23(3):211–227 [žiūrėta 2020-10-18] ISSN 1355–6207. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/13556207.2017.1368183>.
4. TAMPONE, Genaro, Nicola RUGGIERI. State-of-the-art technology on conservation of ancient roofs with timber structure. *Journal of Cultural Heritage* [interaktyvus]. 2016, 22:1019–1027 [žiūrėta 2021-10-16]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.05.011>
5. PRATI, Davide, Ildeina RRAPAJ and Giovanni MOCHI. Contribution of parametric modeling in the interpretation of deformations and displacements of wooden trusses. *Alma Mater Studiorum - Università di Bologna – Bologna, Italy*, [interaktyvus]. 2018, 8(1):105–120. e-ISSN 2239–4303. [žiūrėta 2020-10-25]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v8n1p105>
6. MARČIUKAITIS, Gediminas. *Pastatai ir jų konstrukcijos: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2004. ISBN 9986-05-763-9
7. SEJKOT, Petr, Sigurdur ORMARSSON, Johan VESBY ir Bo KÄLLSNER. Numerical out-of-plane stability analysis of long span timber trusses with focus on buckling length calculations. *Linnaeus University, P G Vejdes väg, 351 95 Växjö, Sweden . Engineering Structures* [interaktyvus]. 2020, 204 (109670) [žiūrėta 2020-11-06]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109670>
8. MARČIUKAITIS, Gediminas ir Juozas VALIVONIS. *Statybinės konstrukcijos ir jų projektavimo pagal euronormas pagrindai: vadovėlis*. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2010. ISBN 978-9955-28-676-9
9. ENȚUC, Ioana-Sorina ir kiti. A comparative study of timber structures for pitched roofs. “Gheorghe Asachi” Technical University of Iași, Faculty of Civil Engineering and Building Services [interaktyvus]. Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, 2016, 62(66), [žiūrėta 2021-10-31]. Prieiga per internetą: <http://www.bipcons.ce.tuiasi.ro/Archive/559.pdf>
10. KROMOSER Benjamin ir kiti. Construction of All-Wood Trusses with Plywood Nodes and Wooden Pegs: A Strategy towards Resource-Efficient Timber Construction. Environmental performances of different timber structures for pitched roofs. *University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU Vienna)* [interaktyvus]. 2021, 11(6):2568 [žiūrėta 2021-10-31]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3390/app11062568>
11. MAXIMNESA Sebastian George, Ioana-Sorina ENȚUC, Nicolae TARANU, Ion FLORENTA and Alexandru SECU. Environmental performances of different timber structures for pitched roofs. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2018, 175:164–175 ISSN 0959-6526 [žiūrėta 2020-10-18]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.047>
12. ROELS, Staf ir Jelle LANGMANS. Highly insulated pitched roofs resilient to air flow patterns: guidelines based on a literature review. *KU Leuven – University of Leuven, Department of Civil*

- Engineering, Building Physics Section, Kasteelpark Arenberg 40—Bus 02447, BE-3001 Heverlee, Belgium* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2020-11-15]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.071>
13. GULLBREKKEN, Lars, Tove KVANDE and Berit TIME. Ventilated wooden roofs: influence of local weather conditions – measurements. *11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017* [interaktyvus]. 2017, Trondheim, Norway, p. 777–782. ISSN 1876–6102 [žiūrėta 2020-10-18]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.029>
  14. NAVARATNAM, Satheeskumar, ir kiti. Comparison of wind uplift load sharing for australian truss- and pitch-framed roof structures. *Received 4 February 2020; Received in revised form 20 April 2020; Accepted 19 May 2020* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104246>
  15. QIN, Hao, Mark G. STEWART. Construction defects and wind fragility assessment for metal roof failure: abayesian approach. *Centre for Infrastructure Performance and Reliability, The University of Newcastle, New South Wales, 2308, Australia* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.106777>
  16. GULLBREKKEN, Lars ir kiti. Norwegian pitched roof defects. *Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2020-11-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3390/buildings6020024>
  17. A. SKAGSETH, Vegard ir kiti. Experiences with external drainage systems from compact roofs in norwegian climates. *Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Dep. of Civil and Environmental Engineering, 7491 Trondheim, Norway. E3S Web of Conferences.* [interaktyvus] 2020, 172 [žiūrėta 2020-11-17]. Prieiga per doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202017221010>
  18. GRYNNING, Steinar ir kiti. Moisture robustness of eaves solutions for ventilated roofs: experimental studies. *Science and Technology for the Built Environment* [interaktyvus], 2019, 25(9): IBPC 2018 [žiūrėta 2020-11-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/23744731.2019.1660113>
  19. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl statybos techninio reglamento STR 2.05.07:2005 Medinių konstrukcijų projektavimas: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2005 m. vasario 10 d. Nr. D1-79* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-10-18]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.512A0B6F80FA>
  20. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN 1995-1-1:2005/A2:2014. „Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės“. Europos standartas EN 1995-1-1:2005/A2:2014 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2014
  21. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl statybos techninio reglamento STR 2.05.04:2003 Poveikiai ir apkrovos: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2003 m. gegužės 15 d. Nr. 233* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-10-18]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E5D5DC3C496B/asr>
  22. PRIEŠGAISRINĖS APSAUGOS IR GELBĖJIMO DEPARTAMENTAS. *Dėl gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo: Vidaus reikalų ministerijos direktoriaus įsakymas: 2010 m. gruodžio 7 d. Nr. 1-338* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-10-18]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658/asr>

23. ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras, TURSKIS Zenonas ir KILDIENĖ Simona. State of art surveys of overviews on mcdm/madm methods. *Technological and economic development of economy* [interaktyvus]. Department of Construction Technology and Management, Faculty of Civil Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, Lithuania, (2014) 20(1): 165–179 [žiūrėta 2021-12-03]. ISSN 2029-4913. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>
24. AVIŽA, Donatas. *Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiatikslių selektonovacija: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2016, 135 psl. ISBN 978-609-457-911-0
25. SIMANAVIČIENĖ, Rūta. *Kiekybinio daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2011, 133 psl. ISBN 978-609-457-055-1
26. JUODAGALVIENĖ, Birutė. *Vienbučių namų projektinių sprendimų daugiakriteris parinkimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2018, 129 psl. ISBN 978-609-476-143-0
27. SIMANAVICIENE R., L. Ustinovicius. A New Approach to Assessing the Biases of Decisions based on Multiple Attribute Decision making Methods. *Department of Information Systems of the Faculty of Fundamental Sciences, Vilnius Gediminas Technical University*, [interaktyvus]. 2012, 1 (117). ISSN 1392–1215. [žiūrėta 2021-11-25]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.117.1.1048>
28. ANTUCHEVICEINE, Jurgita ir kiti. Measuring Congruence of Ranking Results Applying Particular MCDM Methods. *Informatica, Vilnius University* [interaktyvus]. 2011, 22 (3), 319–338 [žiūrėta 2021-12-11]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.15388/Informatica.2011.329>
29. BRAUERS, Willem Karel M. ir Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics* [interaktyvus] 2006: 35 (2), 445–469. Prieiga per: <http://matwbn.icm.edu.pl/ksiazki/cc/cc35/cc35213.pdf>
30. PATNAIK, Prabina Kumar ir kiti. Composite material selection for structural applications based on AHP-MOORA approach. *Materials Today: Proceedings* [interaktyvus]. GIET University, Gunupur, Odisha 765022, India, 2020, 33 (8), 5659–5663 [žiūrėta 2021-03-30]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532032678X>
31. CHAKRABORTY, Shankar. Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment. *Department of Production Engineering, Jadavpur University, Kolkata 700 032 West Bengal, India* [interaktyvus]. *Int J Adv Manuf Technol* 2011, 54:1155–1166 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-010-2972-0>
32. BAGOČIUS, Vygantas. *Kompleksinis statinių jūros aplinkoje racionalumo pagrindimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2014, 1756 psl. ISBN 978-609-457-736-9
33. BRAUERS, Willem. Location Theory and Multi-Criteria Decision Making: An Application of the MOORA Method. *1 Department of Economics, University of Antwerp, Belgium; 2 Vilnius Gediminas Technical University* [interaktyvus]. 2018, 12(3):241–252 [žiūrėta 2020-11-05]. Prieiga per doi: 10.5709/ce.1897-9254.275
34. KRACKA, Modestas ir Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS. Panel building refurbishment elements effective selection by applying multiple-criteria methods. *Department of Construction Technology and Management, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-*

- 10223 Vilnius, Lithuania [interaktyvus]. 2013, 17(2):210–219 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3846/1648715X.2013.808283>
35. KALIBATAS, Darius, Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS ir Diana KALIBAITIENĖ. A method of multi-attribute assessment using ideal alternative: choosing an apartment with optimal indoor environment. *Department of Construction Technology and Management, Faculty of Civil Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania* [interaktyvus]. 2012, 16(3):338–353 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3846/1648715X.2012.722567>
36. LIANG, Zong-Liang ir kiti. A study on MOORA-based taguchi method for optimization in automated GMA welding process. *Department of Mechanical Engineering, Mokpo National University, Mokpo, South Korea* [interaktyvus]. 2020, 22(2020):1778–1785 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.011>
37. DABBAGH, Rahim, Samuel YOUSEFI. A hybrid decision-making approach based on FCM and MOORA for occupational health and safety risk analysis. *Faculty of Industrial Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran* [interaktyvus]. *Journal of Safety Research* 71 (2019), 111–123 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.09.021>
38. ZEESHANA, Mohd, Sujit NATHA ir kiti. Numerical investigation for the optimal placements of rectangular vortex generators for improved thermal performance of fin-and-tube heat exchangers. *Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Silchar, Assam 788 010, India* [interaktyvus]. *Applied Thermal Engineering* 136 (2018) 589–601 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.006>
39. MAJI, Ambarish, Dipankar BHANJA ir Promod Kumar PATOWARI. Numerical investigation on heat transfer enhancement of heat sink using perforated pin fins with inline and staggered arrangement. *Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Silchar, Assam 788 010, India* [interaktyvus]. *Applied Thermal Engineering* 125 (2017) 596–616 [žiūrėta 2020-12-05]. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.053>
40. WANKHEDE, Sagar V. ir Jitendra A. HOLE. MOORA and TOPSIS based selection of input parameter in solar powered absorption refrigeration system. *International Journal of Ambient Energy* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-03-30]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1080/01430750.2020.1831600>
41. ZARBAKSHNIA, Navid ir kiti. A novel hybrid multiple attribute decision-making approach for outsourcing sustainable reverse logistics. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. Young Researchers and Elites Club, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, 2020, 242, 118461 [žiūrėta 2021-03-30]. ISSN 0167–9317. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118461>
42. ARABSHEYBANI, Amir ir kiti. An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran 190 (2018) 577–591 [žiūrėta 2021-11-02]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.167>
43. MAJUMDER, Himadri ir Kalipada MAITY. Prediction and optimization of surface roughness and micro-hardness using grnn and MOORA-fuzzy-a MCDM approach for nitinol in WEDM. *Measurement* [interaktyvus]. Department of Mechanical Engineering, National Institute of



- Technology, Rourkela 769008, Odisha, India 118 (2018) 1–13 [žiūrėta 2021-11-02]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.01.003>
44. LAZAUSKAS, Marius. *Statybos projektų darnos vertinimo kompleksinis modelis: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2015, 139 psl. ISBN 978-609-457-811-3
45. KILDIENĖ, Simona. *Tvários statybos technologijų plėtros daugiapakopis vertinimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Leidykla Technika, 2014, 131 psl. ISBN 978-609-457-702-4
46. AUTODESK AUTOCAD 2018. License Details: Autodesk ID: mi.paulauskas. Email: mi.paulauskas@ktu.edu. License expiration date tuesday, March 1, 2022
47. AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL (RSAPRO) 2020. Version: 35.0.0.8241 (x64). License Details: Autodesk ID: mi.paulauskas. Email: mi.paulauskas@ktu.edu. License expiration date tuesday, March 1, 2022
48. UAB „Solvat“. Prieiga per: <https://www.solvat.lt/statybine-mediena.html> [interaktyvus] [žiūrėta 2021-11-30]
49. UAB „Lankava“. Prieiga per: <https://www.lankava.lt/metalines-ploksteles/metaline-dygliuota-plokstele-120x200x1vkatmm--6940.html> [interaktyvus] [žiūrėta 2021-11-30]
50. TSAI, Miao-Yu ir Chao-Chun LIN. Concordance correlation coefficients estimated by variance components for longitudinal normal and Poisson data. *Computational Statistics & Data Analysis* [interaktyvus]. Institute of Statistics and Information Science, College of Science, National Changhua University of Education, Changhua, Taiwan 121 (2018) 57–70 [žiūrėta 2021-12-07]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.csda.2017.12.003>

## Priedai

### 1 priedas. I tipo santvaros elementų skaičiavimai

## TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 3 elm. Viršutinė\_santvaros\_juosta POINT: 1 COORDINATE: x = 0.23 L = 0.85 m

LOADS:

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

MATERIAL C24

gM = 1.30

f m,0,k = 24.00 MPa

f t,0,k = 14.00 MPa

f c,0,k = 21.00 MPa

f v,k = 4.00 MPa

f t,90,k = 0.40 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

E 0,moyen = 11000.00 MPa

E 0,05 = 7400.00 MPa

G moyen = 690.00 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.20



SECTION PARAMETERS: C24\_45x145

ht=1450.0 cm

bf=4.5 cm

tw=225.0 cm

tf=225.0 cm

Ay=43.50 cm<sup>2</sup>

Iy=1143.23 cm<sup>4</sup>

Wy=157.69 cm<sup>3</sup>

Az=43.50 cm<sup>2</sup>

Iz=110.11 cm<sup>4</sup>

Wz=48.94 cm<sup>3</sup>

Ax=65.25 cm<sup>2</sup>

Ix=354.3 cm<sup>4</sup>

STRESSES

Sig\_c,0,d = N/Ax = 32.98/65.25 = 5.05 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f c,0,d = 14.54 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.27

kmod = 0.90

Ksys = 1.00



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

LY = 3.78 m

Lambda\_rel Y = 1.12

LFY = 2.76 m

Lambda Y = 65.91

ky = 1.21

kcy = 0.60



About Z axis:

LZ = 0.35 m

Lambda\_rel Z = 0.46

LFZ = 0.35 m

Lambda Z = 26.94

kz = 0.62

kcZ = 0.96

VERIFICATION FORMULAS:

Sig\_c,0,d/f c,0,d = 5.05/14.54 = 0.35 < 1.00 (6.23-4)]

Sig\_c,0,d/(kc\*f c,0,d) = 5.05/(0.60\*14.54) = 0.58 < 1.00 (6.23-4)

Section OK !!!

## TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 5 elm. Apatinė\_santvaros\_juosta POINT: 1 COORDINATE: x = 0.17 L = 0.78 m

LOADS:

Governing Load Case: 10 COMB1 (1+2+3)\*1.35+(4+6+8)\*1.30

MATERIAL C24

$gM = 1.30$	$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 14.00 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 21.00 \text{ MPa}$
$f_{v,k} = 4.00 \text{ MPa}$	$f_{t,90,k} = 0.40 \text{ MPa}$	$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$	$E_{0,\text{moyen}} = 11000.00 \text{ MPa}$
$E_{0,05} = 7400.00 \text{ MPa}$	$G_{\text{moyen}} = 690.00 \text{ MPa}$	Service class: 1	Beta c = 0.20



**SECTION PARAMETERS: C24\_45x145**

$ht=1450.0 \text{ cm}$			
$bf=4.5 \text{ cm}$	$A_y=43.50 \text{ cm}^2$	$A_z=43.50 \text{ cm}^2$	$A_x=65.25 \text{ cm}^2$
$tw=225.0 \text{ cm}$	$I_y=1143.23 \text{ cm}^4$	$I_z=110.11 \text{ cm}^4$	$I_x=354.3 \text{ cm}^4$
$tf=225.0 \text{ cm}$	$W_y=157.69 \text{ cm}^3$	$W_z=48.94 \text{ cm}^3$	

**STRESSES**

$\text{Sig}_{t,0,d} = N/A_x = -30.90/65.25 = -4.74 \text{ MPa}$

**ALLOWABLE STRESSES**

$f_{t,0,d} = 12.33 \text{ MPa}$

**Factors and additional parameters**

$kh = 1.27$        $k_{\text{mod}} = 0.90$        $K_{\text{sys}} = 1.00$



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

**BUCKLING PARAMETERS:**



About Y axis:



About Z axis:

**VERIFICATION FORMULAS:**

$\text{Sig}_{t,0,d}/f_{t,0,d} = 4.74/12.33 = 0.38 < 1.00 \text{ (6.1)}$

**Section OK !!!**

## TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

**CODE:** *EN 1995-1:2004/A2:2014*

**ANALYSIS TYPE:** *Member Verification*

**CODE GROUP:**

**MEMBER:** *12 elm. Santvaros\_tinklelio\_elementas*      **POINT:** *1*      **COORDINATE:** *x = 0.00 L = 0.00 m*

**LOADS:**

*Governing Load Case:* 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

**MATERIAL** C24

$gM = 1.30$	$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 14.00 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 21.00 \text{ MPa}$
$f_{v,k} = 4.00 \text{ MPa}$	$f_{t,90,k} = 0.40 \text{ MPa}$	$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$	$E_{0,\text{moyen}} = 11000.00 \text{ MPa}$
$E_{0,05} = 7400.00 \text{ MPa}$	$G_{\text{moyen}} = 690.00 \text{ MPa}$	Service class: 1	Beta c = 0.20



**SECTION PARAMETERS: C24\_45x95**

$ht=950.0 \text{ cm}$			
$bf=4.5 \text{ cm}$	$A_y=28.50 \text{ cm}^2$	$A_z=28.50 \text{ cm}^2$	$A_x=42.75 \text{ cm}^2$
$tw=225.0 \text{ cm}$	$I_y=321.52 \text{ cm}^4$	$I_z=72.14 \text{ cm}^4$	$I_x=202.6 \text{ cm}^4$
$tf=225.0 \text{ cm}$	$W_y=67.69 \text{ cm}^3$	$W_z=32.06 \text{ cm}^3$	

**STRESSES**

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 5.08/42.75 = 1.19 \text{ MPa}$

**ALLOWABLE STRESSES**

$f_{c,0,d} = 14.54 \text{ MPa}$

**Factors and additional parameters**

$kh = 1.27$        $k_{\text{mod}} = 0.90$        $K_{\text{sys}} = 1.00$



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

**BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:

LY = 1.96 m

Lambda\_rel Y = 0.89

LFY = 1.43 m

Lambda Y = 52.25

ky = 0.95

kcy = 0.77

About Z axis:

LZ = 1.96 m

Lambda\_rel Z = 1.87

LFZ = 1.43 m

Lambda Z = 110.30

kz = 2.41

kcz = 0.26

**VERIFICATION FORMULAS:**

Sig\_c,0,d/f c,0,d = 1.19/14.54 = 0.08 &lt; 1.00 (6.23-4)]

Sig\_c,0,d/(kc\*f c,0,d) = 1.19/(0.26\*14.54) = 0.32 &lt; 1.00 (6.23-4)

**Section OK !!!****2 priedas. II tipo santvaros elementu skaičiavimai****TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS**

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

**CODE GROUP:**

MEMBER: 3 elm. Viršutinė santvaros juosta

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.20 L = 0.86 m

**LOADS:**

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

**MATERIAL C24**

gM = 1.30

f v,k = 4.00 MPa

E 0,05 = 7400.00 MPa

f m,0,k = 24.00 MPa

f t,90,k = 0.40 MPa

G moyen = 690.00 MPa

f t,0,k = 14.00 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

Service class: 1

f c,0,k = 21.00 MPa

E 0,moyen = 11000.00 MPa

Beta c = 0.20

**SECTION PARAMETERS: C24\_45x145**

ht=14.5 cm

bf=4.5 cm

tw=2.3 cm

tf=2.3 cm

Ay=43.50 cm<sup>2</sup>Iy=1143.23 cm<sup>4</sup>Wy=157.69 cm<sup>3</sup>Az=43.50 cm<sup>2</sup>Iz=110.11 cm<sup>4</sup>Wz=48.94 cm<sup>3</sup>Ax=65.25 cm<sup>2</sup>Ix=354.3 cm<sup>4</sup>**STRESSES**

Sig\_c,0,d = N/Ax = 33.62/65.25 = 5.15 MPa

**ALLOWABLE STRESSES**

f c,0,d = 14.54 MPa

**Factors and additional parameters**

kh = 1.27

kmod = 0.90

Ksys = 1.00

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:

LY = 4.21 m

Lambda\_rel Y = 1.24

LFY = 3.07 m

Lambda Y = 73.36

ky = 1.37

kcy = 0.52

About Z axis:

LZ = 0.35 m

Lambda\_rel Z = 0.33

LFZ = 0.26 m

Lambda Z = 19.67

kz = 0.56

kcz = 0.99

**VERIFICATION FORMULAS:**

Sig\_c,0,d/f c,0,d = 5.15/14.54 = 0.35 &lt; 1.00 (6.23-4)]

Sig\_c,0,d/(kc\*f c,0,d) = 5.15/(0.52\*14.54) = 0.69 &lt; 1.00 (6.23-4)

**Section OK !!!****TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS**

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014  
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 6 elm. Apatinė\_santvaros\_juosta POINT: 1 COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 10 COMB1 (1+2+3)\*1.35+(4+6+8)\*1.30

MATERIAL C24

gM = 1.30	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 14.00 MPa	f c,0,k = 21.00 MPa
f v,k = 4.00 MPa	f t,90,k = 0.40 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11000.00 MPa
E 0,05 = 7400.00 MPa	G moyen = 690.00 MPa	Service class: 1	Beta c = 0.20



SECTION PARAMETERS: C24\_45x145

ht=14.5 cm	Ay=43.50 cm <sup>2</sup>	Az=43.50 cm <sup>2</sup>	Ax=65.25 cm <sup>2</sup>
bf=4.5 cm	Iy=1143.23 cm <sup>4</sup>	Iz=110.11 cm <sup>4</sup>	Ix=354.3 cm <sup>4</sup>
tw=2.3 cm	Wy=157.69 cm <sup>3</sup>	Wz=48.94 cm <sup>3</sup>	
tf=2.3 cm			

STRESSES

Sig\_t,0,d = N/Ax = -32.09/65.25 = -4.92 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f t,0,d = 12.33 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.27 kmod = 0.90 Ksys = 1.00



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig\_t,0,d/f t,0,d = 4.92/12.33 = 0.40 < 1.00 (6.1)

Section OK !!!

## TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014  
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 13 elm. Santvaros\_tinklelio\_elementas POINT: 1 COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

MATERIAL C24

gM = 1.30	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 14.00 MPa	f c,0,k = 21.00 MPa
f v,k = 4.00 MPa	f t,90,k = 0.40 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11000.00 MPa
E 0,05 = 7400.00 MPa	G moyen = 690.00 MPa	Service class: 1	Beta c = 0.20



SECTION PARAMETERS: C24\_45x70

ht=7.0 cm	Ay=21.00 cm <sup>2</sup>	Az=21.00 cm <sup>2</sup>	Ax=31.50 cm <sup>2</sup>
bf=4.5 cm	Iy=128.63 cm <sup>4</sup>	Iz=53.16 cm <sup>4</sup>	Ix=127.8 cm <sup>4</sup>
tw=2.3 cm			

tf=2.3 cm

Wy=36.75 cm<sup>3</sup>

Wz=23.62 cm<sup>3</sup>

**STRESSES**

Sig\_c,0,d = N/Ax = 8.17/31.50 = 2.59 MPa

**ALLOWABLE STRESSES**

f c,0,d = 14.54 MPa

**Factors and additional parameters**

kh = 1.27      kmod = 0.90      Ksys = 1.00



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

**BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:

LY = 3.52 m

Lambda\_rel Y = 2.16

LFY = 2.57 m

Lambda Y = 127.16

ky = 3.01

kcy = 0.20

About Z axis:

LZ = 1.50 m

Lambda\_rel Z = 1.43

LFZ = 1.09 m

Lambda Z = 84.29

kz = 1.63

kcZ = 0.41

**VERIFICATION FORMULAS:**

Sig\_c,0,d/f c,0,d = 2.59/14.54 = 0.18 < 1.00 (6.23-4)]

Sig\_c,0,d/(kc\*f c,0,d) = 2.59/(0.20\*14.54) = 0.91 < 1.00 (6.23-4)

**Section OK !!!**

**3 priedas. III tipo santvaros elementų skaičiavimai**

**TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS**

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

**CODE GROUP:**

MEMBER: 3 elm. Viršutinė\_santvaros\_juosta POINT: 1 COORDINATE: x = 0.42 L = 2.12 m

**LOADS:**

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

**MATERIAL C24**

gM = 1.30

f v,k = 4.00 MPa

E 0,05 = 7400.00 MPa

f m,0,k = 24.00 MPa

f t,90,k = 0.40 MPa

G moyen = 690.00 MPa

f t,0,k = 14.00 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

Service class: 1

f c,0,k = 21.00 MPa

E 0,moyen = 11000.00 MPa

Beta c = 0.20



**SECTION PARAMETERS: C24\_45x145**

ht=14.5 cm

bf=4.5 cm

tw=2.3 cm

tf=2.3 cm

Ay=43.50 cm<sup>2</sup>

Iy=1143.23 cm<sup>4</sup>

Wy=157.69 cm<sup>3</sup>

Az=43.50 cm<sup>2</sup>

Iz=110.11 cm<sup>4</sup>

Wz=48.94 cm<sup>3</sup>

Ax=65.25 cm<sup>2</sup>

Ix=354.3 cm<sup>4</sup>

**STRESSES**

Sig\_c,0,d = N/Ax = 29.90/65.25 = 4.58 MPa

**ALLOWABLE STRESSES**

f c,0,d = 14.54 MPa

**Factors and additional parameters**

kh = 1.27      kmod = 0.90      Ksys = 1.00



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

**BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:

LY = 5.08 m

Lambda\_rel Y = 1.50

LFY = 3.71 m

Lambda Y = 88.52

ky = 1.75

kcy = 0.38

About Z axis:

LZ = 0.35 m

Lambda\_rel Z = 0.33

LFZ = 0.26 m

Lambda Z = 19.67

kz = 0.56

kcZ = 0.99

---

**VERIFICATION FORMULAS:**

$$\text{Sig}_{c,0,d}/f_{c,0,d} = 4.58/14.54 = 0.32 < 1.00 \quad (6.23-4)]$$

$$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_c * f_{c,0,d}) = 4.58/(0.38 * 14.54) = 0.83 < 1.00 \quad (6.23-4)$$

---

**Section OK !!!**

## TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

---

**CODE:** EN 1995-1:2004/A2:2014

**ANALYSIS TYPE:** Member Verification

---

**CODE GROUP:**

**MEMBER:** 5 elm. Apatinè\_santvaros\_juosta

**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.58 L = 2.69 m

---

**LOADS:**

Governing Load Case: 10 COMB1 (1+2+3)\*1.35+(4+6+8)\*1.30

---

**MATERIAL** C24

$$gM = 1.30$$

$$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14.00 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21.00 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4.00 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0.40 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{moyen}} = 11000.00 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400.00 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{moyen}} = 690.00 \text{ MPa}$$

Service class: 1

$$\text{Beta } c = 0.20$$

---



**SECTION PARAMETERS: C24\_45x195**

$$ht = 19.5 \text{ cm}$$

$$bf = 4.5 \text{ cm}$$

$$A_y = 58.50 \text{ cm}^2$$

$$A_z = 58.50 \text{ cm}^2$$

$$A_x = 87.75 \text{ cm}^2$$

$$tw = 2.3 \text{ cm}$$

$$I_y = 2780.58 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 148.08 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 506.2 \text{ cm}^4$$

$$tf = 2.3 \text{ cm}$$

$$W_y = 285.19 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 65.81 \text{ cm}^3$$

---

**STRESSES**

$$\text{Sig}_{t,0,d} = N/A_x = -29.47/87.75 = -3.36 \text{ MPa}$$

**ALLOWABLE STRESSES**

$$f_{t,0,d} = 12.33 \text{ MPa}$$

---

**Factors and additional parameters**

$$k_h = 1.27$$

$$k_{\text{mod}} = 0.90$$

$$K_{\text{sys}} = 1.00$$

---



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

---

**BUCKLING PARAMETERS:**



About Y axis:



About Z axis:

---

**VERIFICATION FORMULAS:**

$$\text{Sig}_{t,0,d}/f_{t,0,d} = 3.36/12.33 = 0.27 < 1.00 \quad (6.1)$$

---

**Section OK !!!**

## TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

---

**CODE:** EN 1995-1:2004/A2:2014

**ANALYSIS TYPE:** Member Verification

---

**CODE GROUP:**

**MEMBER:** 12 elm. Santvaros\_tinklelio\_elementas

**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

---

**LOADS:**

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

---

**MATERIAL** C24

$$gM = 1.30$$

$$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14.00 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21.00 \text{ MPa}$$

$f_{v,k} = 4.00 \text{ MPa}$        $f_{t,90,k} = 0.40 \text{ MPa}$        $f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$        $E_{0,\text{moyen}} = 11000.00 \text{ MPa}$   
 $E_{0,05} = 7400.00 \text{ MPa}$        $G_{\text{moyen}} = 690.00 \text{ MPa}$       Service class: 1      Beta c = 0.20



**SECTION PARAMETERS: C24\_45x120**

$ht = 12.0 \text{ cm}$   
 $bf = 4.5 \text{ cm}$        $A_y = 36.00 \text{ cm}^2$        $A_z = 36.00 \text{ cm}^2$        $A_x = 54.00 \text{ cm}^2$   
 $tw = 2.3 \text{ cm}$        $I_y = 648.00 \text{ cm}^4$        $I_z = 91.12 \text{ cm}^4$        $I_x = 278.4 \text{ cm}^4$   
 $tf = 2.3 \text{ cm}$        $W_y = 108.00 \text{ cm}^3$        $W_z = 40.50 \text{ cm}^3$

**STRESSES**

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 25.01/54.00 = 4.63 \text{ MPa}$

**ALLOWABLE STRESSES**

$f_{c,0,d} = 14.54 \text{ MPa}$

**Factors and additional parameters**

$kh = 1.27$        $k_{\text{mod}} = 0.90$        $K_{\text{sys}} = 1.00$



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

**BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:      About Z axis:  
 $LY = 3.41 \text{ m}$        $\text{Lambda } Y = 71.78$        $LZ = 1.00 \text{ m}$        $\text{Lambda } Z = 56.20$   
 $\text{Lambda}_{\text{rel } Y} = 1.22$        $k_y = 1.33$        $\text{Lambda}_{\text{rel } Z} = 0.95$        $k_z = 1.02$   
 $LFY = 2.49 \text{ m}$        $k_{cy} = 0.53$        $LFZ = 0.73 \text{ m}$        $k_{cz} = 0.72$

**VERIFICATION FORMULAS:**

$\text{Sig}_{c,0,d}/f_{c,0,d} = 4.63/14.54 = 0.32 < 1.00 \text{ (6.23-4)}$   
 $\text{Sig}_{c,0,d}/(k_c \cdot f_{c,0,d}) = 4.63/(0.53 \cdot 14.54) = 0.60 < 1.00 \text{ (6.23-4)}$

**Section OK !!!**

**4 priedas. IV tipo santvaros elementų skaičiavimai**

**TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS**

**CODE:** EN 1995-1:2004/A2:2014

**ANALYSIS TYPE:** Member Verification

**CODE GROUP:**

**MEMBER:** 3 elm. Viršutinė santvaros juosta      **POINT:** 1      **COORDINATE:**  $x = 0.67 L = 3.78 \text{ m}$

**LOADS:**

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

**MATERIAL** C24

$g_M = 1.30$        $f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$        $f_{t,0,k} = 14.00 \text{ MPa}$        $f_{c,0,k} = 21.00 \text{ MPa}$   
 $f_{v,k} = 4.00 \text{ MPa}$        $f_{t,90,k} = 0.40 \text{ MPa}$        $f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$        $E_{0,\text{moyen}} = 11000.00 \text{ MPa}$   
 $E_{0,05} = 7400.00 \text{ MPa}$        $G_{\text{moyen}} = 690.00 \text{ MPa}$       Service class: 1      Beta c = 0.20



**SECTION PARAMETERS: C24\_45x150**

$ht = 15.0 \text{ cm}$   
 $bf = 4.5 \text{ cm}$        $A_y = 45.00 \text{ cm}^2$        $A_z = 45.00 \text{ cm}^2$        $A_x = 67.50 \text{ cm}^2$   
 $tw = 2.3 \text{ cm}$        $I_y = 1265.62 \text{ cm}^4$        $I_z = 113.91 \text{ cm}^4$        $I_x = 369.5 \text{ cm}^4$   
 $tf = 2.3 \text{ cm}$        $W_y = 168.75 \text{ cm}^3$        $W_z = 50.62 \text{ cm}^3$

**STRESSES**

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 31.28/67.50 = 4.63 \text{ MPa}$

**ALLOWABLE STRESSES**

$f_{c,0,d} = 14.54 \text{ MPa}$

**Factors and additional parameters**

$kh = 1.27$        $k_{\text{mod}} = 0.90$        $K_{\text{sys}} = 1.00$



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:

LY = 5.67 m

Lambda\_rel Y = 1.62

LFY = 4.14 m

Lambda Y = 95.52

ky = 1.94

kcy = 0.33

About Z axis:

LZ = 0.35 m

Lambda\_rel Z = 0.33

LFZ = 0.26 m

Lambda Z = 19.67

kz = 0.56

kcz = 0.99

**VERIFICATION FORMULAS:**

Sig\_c,0,d/f c,0,d = 4.63/14.54 = 0.32 &lt; 1.00 (6.23-4)]

Sig\_c,0,d/(kc\*f c,0,d) = 4.63/(0.33\*14.54) = 0.96 &lt; 1.00 (6.23-4)

**Section OK !!!****TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS****CODE:** EN 1995-1:2004/A2:2014**ANALYSIS TYPE:** Member Verification**CODE GROUP:****MEMBER:** 5 elm. Apatinè\_santvaros\_juosta **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.59 L = 2.48 m**LOADS:**

Governing Load Case: 10 COMB1 (1+2+3)\*1.35+(4+6+8)\*1.30

**MATERIAL** C24

gM = 1.30

f v,k = 4.00 MPa

E 0,05 = 7400.00 MPa

f m,0,k = 24.00 MPa

f t,90,k = 0.40 MPa

G moyen = 690.00 MPa

f t,0,k = 14.00 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

Service class: 1

f c,0,k = 21.00 MPa

E 0,moyen = 11000.00 MPa

Beta c = 0.20

**SECTION PARAMETERS: C24\_45x95**

ht=9.5 cm

bf=4.5 cm

tw=2.3 cm

tf=2.3 cm

Ay=28.50 cm<sup>2</sup>Iy=321.52 cm<sup>4</sup>Wy=67.69 cm<sup>3</sup>Az=28.50 cm<sup>2</sup>Iz=72.14 cm<sup>4</sup>Wz=32.06 cm<sup>3</sup>Ax=42.75 cm<sup>2</sup>Ix=202.6 cm<sup>4</sup>**STRESSES**

Sig\_t,0,d = N/Ax = -31.37/42.75 = -7.34 MPa

**ALLOWABLE STRESSES**

f t,0,d = 12.33 MPa

**Factors and additional parameters**

kh = 1.27

kmod = 0.90

Ksys = 1.00

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:



About Z axis:

**VERIFICATION FORMULAS:**

Sig\_t,0,d/f t,0,d = 7.34/12.33 = 0.60 &lt; 1.00 (6.1)

**Section OK !!!****TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS****CODE:** EN 1995-1:2004/A2:2014**ANALYSIS TYPE:** Member Verification

---

**CODE GROUP:****MEMBER:** 21 elm. Santvaros\_tinklelio\_elementas **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

---

**LOADS:***Governing Load Case:* 11 COMB2 (1+2+3)\*1.35+(4+6+9)\*1.30

---

**MATERIAL** C24

gM = 1.30	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 14.00 MPa	f c,0,k = 21.00 MPa
f v,k = 4.00 MPa	f t,90,k = 0.40 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11000.00 MPa
E 0,05 = 7400.00 MPa	G moyen = 690.00 MPa	Service class: 1	Beta c = 0.20

---

**SECTION PARAMETERS: C24\_45x70**

ht=7.0 cm	Ay=21.00 cm <sup>2</sup>	Az=21.00 cm <sup>2</sup>	Ax=31.50 cm <sup>2</sup>
bf=4.5 cm	Iy=128.63 cm <sup>4</sup>	Iz=53.16 cm <sup>4</sup>	Ix=127.8 cm <sup>4</sup>
tw=2.3 cm	Wy=36.75 cm <sup>3</sup>	Wz=23.62 cm <sup>3</sup>	
tf=2.3 cm			

---

**STRESSES**

Sig\_c,0,d = N/Ax = 7.74/31.50 = 2.46 MPa

**ALLOWABLE STRESSES**f c,0,d = 14.54 MPa

---

**Factors and additional parameters**kh = 1.27      kmod = 0.90      Ksys = 1.00

---

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:		About Z axis:	
LY = 2.51 m	Lambda Y = 90.64	LZ = 1.00 m	Lambda Z = 56.20
Lambda_rel Y = 1.54	ky = 1.80	Lambda_rel Z = 0.95	kz = 1.02
LFY = 1.83 m	kcy = 0.36	LFZ = 0.73 m	kcz = 0.72

---

**VERIFICATION FORMULAS:**

Sig\_c,0,d/f c,0,d = 2.46/14.54 = 0.17 &lt; 1.00 (6.23-4)]

Sig\_c,0,d/(kc\*f c,0,d) = 2.46/(0.36\*14.54) = 0.46 < 1.00 (6.23-4)

---

**Section OK !!!**