



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Vaidotas Dagys

Projekto autorius

dr. Donatas Aviža

Vadovas

Panevėžys, 2022



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Statybos valdymas (6211EX007)

Vaidotas dagys
Projekto autorius

dr. Donatas Aviža
Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2022



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Vaidotas Dagys

Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis 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;
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.

Vaidotas Dagys

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Vaidotui Dagiui**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba) *Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas*

Baigiamojo projekto tema (anglų kalba) *Multicriteria Evaluation of the Efficiency of the Insulation Systems for Foundations in Weak Soils*

Patvirtinta 2021 m. lapkričio 19 d. dekanu 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 – vienbutis gyvenamasis pastatas.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

- 1. Apžvalginėje dalyje išanalizuoti Lietuvos ir užsienio mokslinę literatūrą, susijusią su silpnų gruntų stabilizavimo technologijomis, daugiakriterių metodų panaudojimą statybos srityje bei reikalavimus pamatų apšiltinimo sistemoms.*
- 2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją, MOOROS ir TOPSIS metodų vertinimo algoritmus bei statybos ekspertų apklausos metodiką.*
- 3. Tiriamojoje dalyje pateikti pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą. Nustatyti dviejų vertinimo metodų alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į spendimų matricos rodiklius.*

Vadovas

dr. Donatas Aviža

(vadovo pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

Vaidotas Dagys

(studento vardas, pavardė)

2021 m. lapkričio 22 d.

Dagys, Vaidotas. Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: pamatų tipai, liktiniai klojiniai, apšiltinimo sistemos, MOORA, TOPSIS, gruntų stiprinimas, Kendallo konkordancija.

Panevėžys, 2022. 69 p.

Santrauka

Statyboje visi statiniai savo apkrovas per pamatus perduoda į gruntą. Todėl labai svarbios grunto laikomosios savybės ir stabilumas, kurios gali lemti statinio elementų deformacijas, pokyčius ar net griūtis. Prieš atliekant statinio projektavimo darbus, beveik visais atvejais privalomas IGG tyrimas, nes nežinant geologinių sąlygų statybos metu galima susidurti su nenumatytais sąlygomis tokiomis kaip: aukštas gruntinis vanduo, silpni ir nestabilūs gruntai, ertmės ir t. t. Pagal gautus IGG tyrimo rezultatus, parenkami statinio pamatai ir priimamas sprendimas dėl grunto sutvirtinimo poreikio. Tobulėjant technologijoms, randami sprendimai sutvirtinti silpnus gruntus ar jų nepaisyti, įgilinant statinio pamatus iki reikiamo tvirtumo pagrindo ar parenkant plokštuminio tipo pamatus. Taip pat galimi silpnų gruntų pakeitimai reikiamo stiprumo gruntais.

Lietuvoje silpni gruntai sutinkami pajūrio zonoje, Šiaurės Lietuvos karstiniame rajone ir atskiruose plotuose. Todėl dabar galioja privalomas IGG tyrimas su kai kuriomis išimtimis [1.1], leidžiantis parinkti ir suprojektuoti tinkamus pamatus. Tačiau ekonominiu, įrengimo specifikos ir greičio atžvilgiais rekomenduotina atlikti daugiakriterius vertinimus ir nustatyti efektyviausią variantą.

Tinkamai apšiltinti pamatai ženkliai prisideda prie pastato energinio efektyvumo. Liktinių klojinių apšiltinimo sistemos, racionalus pamatų apšiltinimo variantas, leidžiantis išvengti šalčio tiltelių. Tokia sistema naudojama vietoje klojinių. Liktinių klojinių technologija pagreitina pamatų įrengimą ir sumažina netinkamą pamatų apšiltinimo tikimybę.

Magistro baigiamojo projekto teorinėje dalyje atlikta mokslinių šaltinių, informacijos šaltinių ir techninės literatūros analizė. Antroje dalyje pateikta daugiakriterių vertinimo metodų klasifikacija ir išnagrinėta dviejų daugiakriterių metodų MOORA ir TOPSIS metodologija ir skaičiavimo algoritmai. Pateikti atliktos statybos ekspertų apklausos rezultatai remiantis pasirinktų vertinimo kriterijų reikšmingumu ir apklausos dalyvių nuomonių suderinamumo vertinimu. Pasirinktais daugiakriteriais metodais atlikti skaičiavimai vertinant šešias „U tipo“ liktinių klojinių alternatyvas. Vertinant pasirinktus kriterijus, atsižvelgiama į rodiklių reikšmingumą. Palyginami skirtingų metodų rezultatai.

Tyrimų objektas – pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemos.

Darbo tikslas – atlikti pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriterių vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvalginėje dalyje išanalizuoti Lietuvos ir užsienio mokslinę literatūrą, susijusią su silpnų gruntų stabilizavimo technologijomis, daugiakriterių metodų panaudojimą statybos srityje bei reikalavimus pamatų apšiltinimo sistemoms.
2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją, MOOROS ir TOPSIS metodų vertinimo algoritmus bei statybos ekspertų apklausos metodiką.
3. Tiriamojoje dalyje pateikti pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą. Nustatyti dviejų vertinimo metodų alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į spendimų matricos rodiklius.

Tyrimo metodai: mokslinių ir techninių šaltinių apžvalga, MOORA ir TOPSIS metodai, ekspertų apklausa.

Pagrindiniai tyrimo rezultatai ir išvados. Atlikus daugiakriterius tyrimus MOOROS ir TOPSIS metodais, ištirtos šešios „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemų alternatyvos. Vertinimas buvo atliktas, atsižvelgiant į tokius rodiklius: pamatų apšiltinimo sistemų 1 metro kainą, medžiagos tankį ir 1 metro svorį, gniuždymo stiprį, medžiagos šilumos laidumo koeficientą ir ilgalaikį įmirkį. Nustatyta, kad abiejų metodų reitingavimas vienodas, o efektyviausia (iš vertintų alternatyvų) „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema - „Finnfoam“ XPS 300.

Magistro baigiamąjį projektą sudaro: santraukos lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, informacijos šaltinių sąrašas. Darbą sudaro 69 puslapiai, kuriuose išnagrinėti 42 moksliniai straipsniai, yra 17 lentelių, 30 paveikslėlių ir 2 priedai.

Dagys, Vaidotas. Multicriteria Evaluation of the Efficiency of the Insulation Systems for Foundations in Weak Soils / 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: foundation types, residual formwork, insulation systems, MOORA, TOPSIS, soil reinforcement, Kendall concordance.

Panevėžys, 2022. 69 pages.

Summary

In construction, all structures transfer their loads through the foundations to the ground. Therefore, the bearing properties and stability of the soil are very important, which can lead to deformations, changes or even collapse of the building elements. Before carrying out the design of the building, IGGT testing is mandatory in almost all cases, because without knowing the geological conditions during construction, we may encounter unforeseen conditions such as, high groundwater, weak and unstable soils, cavities, etc. t. Based on the results of the IGGT survey, the foundations of the structure are selected and a decision is made on the need for soil reinforcement. With the development of technology, solutions are found to strengthen weak soils or ignore them by deepening the foundations of the building to the required strength or choosing a planar type foundation. It is also possible to replace weak soils with primers of the required strength.

In Lithuania, weak soils are found in the coastal zone, in the karst area of Northern Lithuania and in separate areas. Therefore, a mandatory IGG study is now in place, with some exceptions [1], allowing the selection and design of suitable foundations. However, in terms of economics, installation specifics and speed, multi-criteria assessments are recommended to determine the most optimal option.

Properly insulated foundations make a significant contribution to a building's energy efficiency. Insulation systems for permanent formwork, the optimal insulation option for foundations to avoid cold bridges, are used instead of formwork. Permanent formwork technology speeds up the installation of foundations and reduces the likelihood of improper foundation insulation.

In the theoretical part of the master's thesis, the analysis of scientific sources, information sources and technical literature is performed. The second part presents the classification of multicriteria evaluation methods and examines the two multicriteria methods MOORA and TOPSIS methodology and calculation algorithms. The results of the survey of construction experts, which determine the significance of the selected evaluation criteria and the assessment of the coherence of the opinions of the survey participants, are presented. Calculations were performed using the selected multi-criteria methods to evaluate six alternatives for "U"-type permanent formwork insulation systems. Assessing the selected criteria according to the significance of the indicators. The results of different methods are compared.

The object of research: is insulation systems for foundations for weak soils.

The aim of the work: is to perform multi-criteria evaluations of the effectiveness of foundations for weak soils and insulation systems.

Work tasks:

In the review part to analyze the Lithuanian and foreign scientific literature related to the technologies of stabilization of weak soils, the use of multi-criteria methods in the field of construction and the requirements for foundation insulation systems.

4. In the methodological part to present the classification of multi-criteria evaluation methods, evaluation algorithms of MOOROS and TOPSIS methods and survey methodology of construction experts.

5. To present the evaluation alternatives of the insulation systems of foundations for weak soils in the research part and to choose the most rational option. Identify a series of alternative priorities for the two assessment methods, taking into account the indicators of the decision matrix.

Research methods: review of scientific and technical sources, MOORA and TOPSIS methods, survey of experts.

The main results and conclusions of the study. Empirical studies using MOOROS and TOPSIS methods investigated six alternatives for “U-type” residual formwork insulation systems. According to the price of 1 meter of foundation insulation systems, material density and 1 meter weight, compressive strength, thermal conductivity of the material and long-term impregnation. The ranking of both methods was found to be the same:

- the most efficient “U-type” residual formwork insulation system “Finnfoam” XPS 300.

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 69 pages, 42 scientific articles, 17 tables, 30 figures and 2 appendices.

Turinys

Lentelių sąrašas	10
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	15
1.1. Netinkamų pamatų ar silpnų gruntų įtaka statiniams	15
1.2. Pamatų tipai	15
1.2.1. Seklieji pamatai	16
1.2.2. Poliniai pamatai	18
1.2.3. Gilieji pamatai	20
1.3. Pagrindų stiprinimo medžiagos ir technologijos	20
1.4. Geologiniai tyrimai.....	22
1.5. Lietuvos ir užsienio energinio naudingumo reikalavimai atitvaroms, kurios ribojasi su gruntu	22
1.6. Apšiltinimo medžiagos ir jų klasifikavimas	23
2. Daugiakriteriai vertinimo metodai ir jų klasifikacija	29
2.1. MOORA metodas	34
2.2. Daugiakriteris vertinimo metodas TOPSIS	35
2.3. Ekspertų apklausa	37
3. Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas	39
3.1.1. „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemų daugiakriteriai vertinimai	44
3.2. Liktinių klojinių apšiltinimo sistemų vertinimas MOORA metodu.....	48
3.3. Liktinių klojinių apšiltinimo sistemų vertinimas TOPSIS metodu	54
Išvados	58
Literatūros sąrašas	59
Informacinių šaltinių sąrašas	63
Priedai.....	65
1 Priedas Autoriaus publikuotas straipsnis.....	65
VISUOMENINIO PASTATO ROSTVERKO SU LIKTINIAIS KLOJINIAIS EFEKTYVUMO DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS	65
2 Priedas Ekspertų nuomonių suderinamumo norminių reikšmių lentelė.....	69

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Gruntų tamprumo rodikliai	18
2 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija	27
3 lentelė. MCDM taikymas pagal statybos sritis	35
4 lentelė. Daugiakriterių metodų kvalifikacija	27
5 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai („U tipo“ elemento liktinių klojinių apšiltinimo sistema)..	40
6 lentelė. MOORA metodo sprendimų matrica „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai	50
7 lentelė. MOORA metodo sprendimų matrica, rodiklių kvadratinės reikšmės, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema.....	51
8 lentelė. MOORA metodo pasirinktų rodiklių kvadratinių reikšmių sumos, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema.....	51
9 lentelė. MOORA metodo normalizuota matrica, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema...	52
10 lentelė. MOORA metodo normalizuota matrica įvertinus rodiklių reikšmingumą, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema	54
11 lentelė. MOORA metodo alternatyvų modulinės vertės lemiančios apsisprendimą, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema	54
12 lentelė. TOPSIS metodo sprendimų matrica, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema.....	56
13 lentelė. TOPSIS metodo normalizuota matrica , „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema .	56
14 lentelė. TOPSIS metodo svertiniai (įvertinus reikšmingumą) rodikliai, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema	57
15 lentelė. TOPSIS metodo idealiausi alternatyvų sprendimai, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema	57
16 lentelė. TOPSIS metodo alternatyvų reitingavimas, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema	58
17 lentelė. „U tipo“ elementų liktinių klojinių apšiltinimo sistemų daugiakriterių vertinimų reitingų palyginimas	59

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pamatų tipai	18
2 pav. Sudėtinių pamatų tipai.....	19
3 pav. Poliniai pamatai su skirtingais rostverkais	20
4 pav. Geosintetikos rūšys.....	22
5 pav. Pamatų pado atrama į geosintetinę armatūrą sutvirtinta grunta.....	23
6 pav. Grunto stiprinimas naudojant geosintetinę armatūrą su užpildais atremta į pamatus.....	23
7 pav. Termoizoliacinių medžiagų savybės.....	26
8 pav. Polistireninio putplasčio cheminė sudėtis.....	28
9 pav. Izoliacinės medžiagos struktūra.....	29
10 pav. Ekstruzinio polistireno ląstelių struktūra	30
11 pav. MOORA metodo sprendimo algoritmo schema	36
12 pav. Tyrimo modelis – liktinių klojinių „U tipo“ apšiltinimo sistema.....	43
13 pav. Liktinių klojinių alternatyvų 1 metro, kainų grafikas	42
14 pav. Liktinių klojinių alternatyvų šilumos laidumo koeficientų grafikas.....	43
15 pav. Liktinių klojinių alternatyvų betono kiekio (1 gaminio metre) grafikas	43
16 pav. Liktinių klojinių alternatyvų ilgalaikio įmirkio grafikas	44
17 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, medžiagos tankio grafikas	45
18 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, medžiagos masės grafikas	45
19 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, medžiagos stiprio gniuždant grafikas	46
20 pav. Tyrimo modelis – liktinių klojinių „U tipo“ apšiltinimo sistema.....	46
21 pav. „FINNFOAM“ XPS 300 „U tipo“ liktiniai klojiniai	47
22 pav. „ŠILLFOAM PREMIUM“ EPS 200 „U tipo“ liktinis klojinys.....	47
23 pav. „VIEVIO POLESTIRENAS“ „U tipo“ liktinis klojinys	48
24 pav. „ BALTIJOS POLISTIRENO “ ICF blokelis.....	48
25 pav. Pamatai iš liktinių klojinių „TenaPors – Dobeles panelis“.....	49
26 pav. „NORDPOL“ liktinio klojinio detalė	49
27 pav. Liktinių klojinių alternatyvų efektyvumo balų grafikas	55
28 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, MOORA metodo reitingo grafikas.....	55
29 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, TOPSIS metodo reitingo grafikas	58
30 pav. Pamatų „U tipo“ elementų liktinių klojinių daugiakriterių vertinimų rezultatų grafikas	59

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

IGGT – inžinerinis geologinis ir geotechninis tyrimas;

CPT – bandymas kūginiu penetrometru (statinis zondavimas) (angl. *Conical Penetrometer Test*);

CPTU – bandymas kūginiu penetrometru, registruojant vandens porinį slėgį (angl. *Cone Penetration Test With Pore Water Pressure Measurement*);

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

MADM – daugiakriteris sprendimų priėmimas (angl. *Multiple Attribute Decision Making*);

WASPAS – svertinis apibendrintas produkto įvertinimas (angl. *Weighted Aggregated Sum Product Assessment*);

MOORA – daugiafunkcinis optimizavimas remiantis santykio analize (angl. *Multi Objective Optimization on basis of Ratio Analysis*).

TOPSIS – (angl. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*);

CFA – ištisinis sraigtinis gręžimas (angl. *Continuous flight augering*).

Kendallo konkordancijos koeficientas – yra nparametrinė statistika.. *Kendall'o* konkordancijos koeficientas W svyruoja nuo 0 (nesutampa) iki 1 (visiškai sutampa).

Euklido atstumas - yra atstumas tarp dviejų taškų Euklido erdvėje. Euklidinę erdvę iš pradžių sukūrė graikų matematikas Euklidas maždaug 300 m. prieš Kristų, kad ištirtų kampų ir atstumų ryšius. Ši geometrijos sistema vis dar naudojama iki šiol ir yra ta, kuria dažniausiai mokosi aukštųjų mokyklų studentai. Euklido geometrija ypač taikoma dviejų ir trijų matmenų erdvėms. Tačiau ją galima lengvai apibendrinti pagal aukštesnio laipsnio matmenis.

Įvadas

Aktualumas. Statyboje visi statiniai savo apkrovas per pamatus perduoda į gruntą. Todėl labai svarbios grunto laikomosios savybės ir stabilumas, kurios gali lemti statinio elementų deformacijas, pokyčius ar net griūtis. Prieš atliekant statinio projektavimo darbus, beveik visais atvejais privalomas IGG tyrimas, nes nežinant geologinių sąlygų statybos metu galima susidurti su nenumatytais sąlygomis tokiomis kaip: aukštas gruntinis vanduo, silpni ir nestabilūs gruntai, ertmės ir t. t. Pagal gautus IGG tyrimo rezultatus parenkami statinio pamatai ir priimamas sprendimas dėl grunto sutvirtinimo poreikio. Tobulėjant technologijoms, randami sprendimai sutvirtinti silpnus gruntus ar jų nepaisyti, įgilinant statinio pamatus iki reikiamo tvirtumo pagrindo ar parenkant plokštuminio tipo pamatus. Taip pat galimi silpnų gruntų pakeitimai reikiamo stiprumo gruntais.

Lietuvoje silpni gruntai sutinkami pajūrio zonoje, Šiaurės Lietuvos karstiniame rajone ir atskiruose plotuose. Todėl dabar galioja privalomas IGG tyrimas su kai kuriomis išimtimis [1.1], leidžiantis parinkti ir suprojektuoti tinkamus pamatus. Tačiau ekonominiu, įrengimo specifikos ir greičio atžvilgiu rekomenduotina atlikti daugiakriterius vertinimus ir nustatyti efektyviausią variantą.

Tinkamai apšiltinti pamatai ženkliai prisideda prie pastato energinio efektyvumo. Liktnių klojinių apšiltinimo sistemos, racionalus pamatų apšiltinimo variantas, leidžiantis išvengti šalčio tiltelių. Tokia sistema naudojama vietoje klojinių. Liktnių klojinių technologija pagreitina pamatų įrengimą ir sumažina netinkamą pamatų apšiltinimo tikimybę.

Temos iširtumas. Didesnis dėmesys energiniam efektyvumui pradėtas rodyti pakankamai neseniai, tačiau tai daroma intensyviai. Todėl galima rasti informacijos apie šiltinimo medžiagas, pastatų ar atskirų konstrukcijų apšiltinimą. Tačiau liktnių klojinių apšiltinimo sistemų palyginimų daugiakriteriais vertinimo metodais mokslinėje literatūroje randama mažai.

Naujumas. Paastrėjus klimato atšilimo problemoms, vis didesnis dėmesys skiriamas pastatų energinio efektyvumo gerinimui. Norint pasiekti dabar galiojančią energinio naudingumo gyvenamiesiems pastatams A++ klasę, visi montavimo ir įrengimo darbai turi būti atliekami kruopščiai ir atsakingai. Liktnių klojinių apšiltinimo sistemos pakankamai nauja technologija, leidžianti efektyviai apšiltinti pastato pamatus, išvengiant šalčio tiltelių, pagreitinanti įrengimo darbus ir išvengianti termoizoliacijos montavimo klaidų.

Tyrimo problema. Statybos produktų rinkoje, esant daugybei alternatyvų, yra sunku išsirinkti efektyviausią produktą. Todėl šiai problemai spręsti būtina pasirinkti daugiakriterius sprendimo priėmimo metodus.

Magistro baigiamojo projekto teorinėje dalyje atlikta mokslinių šaltinių, informacijos šaltinių ir techninės literatūros apžvalga. Antroje dalyje pateikta daugiakriterių vertinimo metodų klasifikacija ir išnagrinėta dviejų daugiakriterių metodų MOORA ir TOPSIS metodologija ir skaičiavimo algoritmai. Pateikti atliktos statybos ekspertų apklausos rezultatai, remiantis pasirinktų vertinimo kriterijų reikšmingumu ir apklausos dalyvių nuomonių suderinamumo vertinimu. Pasirinktais daugiakriteriais metodais atlikti skaičiavimai vertinant šešias „U tipo“ liktnių klojinių alternatyvas. Vertinant pasirinktus kriterijus, atsižvelgiama į rodiklių reikšmingumą. Darbe palyginti skirtingų metodų gauti rezultatai.

Tyrimų objektas – pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemos.

Darbo tikslas – atlikti pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriterį vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvalginėje dalyje išanalizuoti Lietuvos ir užsienio mokslinę literatūrą, susijusią su silpnų gruntų stabilizavimo technologijomis, daugiakriterių metodų panaudojimą statybos srityje bei reikalavimus pamatų apšiltinimo sistemoms.
2. Metodologinėje dalyje pateikti daugiakriterių vertinimo metodų klasifikaciją, MOOROS ir TOPSIS metodų vertinimo algoritmus bei statybos ekspertų apklausos metodiką.
3. Tiriamojoje dalyje pateikti pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų vertinamąsias alternatyvas bei parinkti racionaliausią variantą. Nustatyti dviejų vertinimo metodų alternatyvų prioritetų eilutę, atsižvelgiant į spendimų matricos rodiklius.

Tyrimo metodai: mokslinių ir techninių šaltinių apžvalga, MOORA ir TOPSIS metodai, ekspertų apklausa.

Autoriaus publikuotas straipsnis: Dagys V., Aviža D., Zacharovienė E. *Visuomeninio pastato rostverko su liktiniais klojiniais 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: 69 puslapis, kuriuose išanalizuoti 42 moksliniai straipsniai yra 17 lentelių, 30 paveikslėlių ir 2 priedai.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Netinkamų pamatų ar silpnų gruntų įtaka statiniams

Ant silpno grunto ar nedideliame gylyje esantys pamatai lemia pastato judėjimą, dėl kurio sėda gruntas. Šis pastato judėjimas sukelia vienodą (viso pastato) arba diferencinį – santykinį (tarp dviejų pastato dalių / dviejų pastato kolonų) judėjimą. Tiek vienodas, tiek diferencijuotas pastato judėjimas gali sukelti grunto deformacijas, taigi jis tampa dalinio ar visiško pastato griūties priežastimi. Vienodo ar diferencijuoto judėjimo pastatuose priežastys priklauso nuo šių aplinkybių [1.3]:

- dėl dirvožemio formavimosi tipo, struktūros, storio ir tankio pasikeitimo pastato užstatymo teritorijoje;
- nevienodas pastato slėgio pasiskirstymas dėl nevienodo eksploatacinio krūvio / pastovios apkrovos, dėl kurios gruntuose esančiuose žemiau pamatų atsiranda įtempis ir deformacijos, dėl kurių pastatas nusėda;
- gruntinio vandens lygio cikliniai pasikeitimai purioje granuluotoje dirvoje statybų metu ir po jų;
- netolygus dirvožemio išsiplėtimas ir susitraukimas dėl drėgmės migracijos;
- gruntų judėjimas: dirvožemio erozija, šliaužimas ar nuošliauža, kasinėjimų ar vibracijos poveikis.

Vienodo ar diferencinio pastato judėjimo, kaip visumos ar jo dalių, nusėdimo poveikis sukelia pasvirimą, pasisukimą ar kampinį / santykinį pasisukimą, kuris galiausiai gali sukelti pamato ir pastato ar jo dalies deformacijas ar visišką griūtį. Prieš pradėdant projektavimą, visada atliekami grunto tyrimai, siekiant patikrinti dirvožemio savybes konkrečioje vietoje. Bet kokia klaida imant ir tiriant grunto mėginį gali lemti neteisingą (IGG) tyrimą. Todėl būtinas tyrimus atliekančių įmonių sertifikavimas. Aplinkos poveikis ar grunte esančios cheminės medžiagos tokios, kaip siera, chloridas ir t. t. reaguoja su betonu ir armatūra, dėl cheminės reakcijos blogėja betono savybės ir gali atsirasti armatūros korozija, kurios gali lemti pamatų laikomosios galios pablogėjimą [1.3].

1.2. Pamatų tipai

Pastatas ar statinys perduoda jį veikiančias apkrovas į gruntinius pagrindus, kurie skirstomi į dirbtinius ir natūralius.

Dirbtiniai pagrindai – gruntai, kurių fizinės ir (arba) mechaninės savybės pagerinamos mechaniniu būdu, t.y.: pakeičiant jų granulimetrinę sudėtį (sudarant optimaliuosius grunto mišinius), pridėdant skeletingų priedų (žvyro, skaldos, šlako ir kt.), arba cheminiu būdu – įmaišant hidraulinių rišiklių ir/ar cheminių priedų [1.4].

Natūralus pagrindas – natūralūs, nesuardytos struktūros vietovės gruntai – pagrindas pylimui ir (arba) dangos konstrukcijai [1.4].

Gruntai skirstomi į stipriuosius ir silpnuosius, tačiau vertinant pagrindo stiprumą reikia vertinti ne tik jų sudarantį gruntą, bet ir pastato konstrukcijos jautrumą nevienodiems pamatų nuosėdžiams. Tai reiškia, kad tas pats gruntas, tinkamas būti natūraliu pagrindu vienam pastatui, netinka kitam, visais atvejais reikalingi apkrovų skaičiavimo rezultatai.

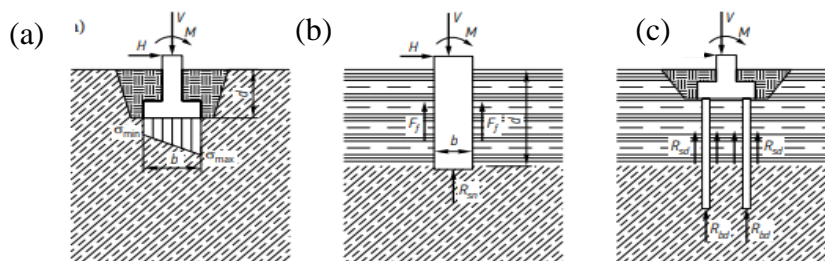
Pagrindai ir pamatai projektuojami pagal saugos ir tinkamumo ribinius būvius, įvertinant bendrą statinio, pamato ir pagrindo darbą. Pagrindų ir pamatų projektavimas susideda iš dviejų dalių:

- geotechninio projektavimo – pamatų tipo ir matmenų parinkimo, įvertinus pagrindo savybes;
- pamato projektavimo – pamato kaip statybinės konstrukcijos projektavimo [1].

Nerekomenduojama statinio pagrindui naudoti silpnųjų gruntų tokių kaip: purieji smėliai, minkšti ir tokie plastiški dulkiiai ir moliai, bei gruntai su organinės medžiagos priemaišomis. Tačiau pasitaiko atvejų kai projektuojamo statinio vietos pakeisti negalima ir tenka naudoti gruntų stiprinimo technologijas ar pamatų tipus skirtus silpniems gruntams.

Pasak Šimkaus pamatai gali būti klasifikuojami pagal įvairius požymius, tokius kaip – įrengimo būdą ir metodus, taikomus jų laikomajai galiai skaičiuoti. Galima išskirti šiuos pamatų tipus (žr. 1 pav.) [1]:

- seklieji pamatai;
- gilieji pamatai;
- poliniai pamatai.



1 pav. Pamatų tipai: a – sekliusis pamatas; b – gilusis pamatas; c – polinis pamatas [1]

Kai žemės paviršiuje slūgso silpnieji gruntai, dažniausiai įrengiami poliniai ar gilieji pamatai.

1.2.1. Seklieji pamatai

Požeminė pastato statinio dalis, kuri paskirsto apkrovas ir perduoda jas į gruntą tam tikrame gylyje ir aplink statinį – vadinama pamatu.

Seklieji pamatai:

- apkrovą pagrindui perduoda tik padu, pamato medžiagos stiprumas išnaudojamas neefektyviai;
- projektuojami nedidelėms vertikaloms apkrovoms;
- projektuojami ant stiprių, negilių gruntų;
- pamato įgilinimo gylis 3–5 m.

Pamatų nuosėdis nuo veikiančių jėgų klasifikuojamas į du tipus [2]:

- Pirminis nuosėdis S_e .
- Konsolidacijos nuosėdis S_c .

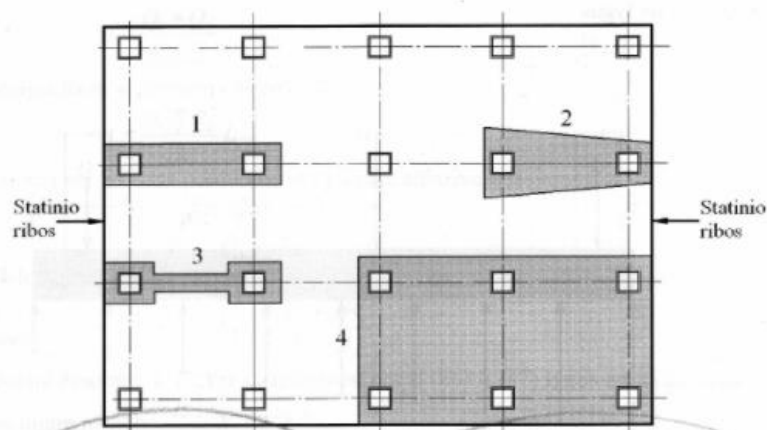
Pirminis nuosėdis randasi pastato statybos metu ir iki statybų pabaigos. Konsolidacijos nuosėdis atsiranda per tam tikrą laiką statinio svoriui iš molingio grunto porų išstumiant vandenį. Bendras statinio nuosėdis yra pirminio ir konsolidacijos nuosėdžių suma. Pamatų pirminiems nuosėdžiams apskaičiuoti naudojami gruntų tamprumą apibūdinantys rodikliai E_s ir μ_s , šie rodikliai nustatyti laboratorijoje ir jų reikšmės pateiktos 1 lentelėje [3].

1 lentelė. Gruntų tamprumo rodikliai [3]

Grunto tipas	Deformacijų modulis E_s , MN/m ² (MPa)	Puasono koeficientas μ_s ,
Dulkinis smėlis	10,35–24,15	0,2–0,4
Vidutinio tankumo smėlis	17,25–27,60	0,25–0,4
Tankus smėlis	34,50–55,20	0,3–0,45
Sąnašinis smėlis	10,35–17,25	0,2–0,4
Smėlis ir žvyras	69,00–172,50	0,15–0,35
Minkštas molis	5,10–20,70	0,2–0,5
Vidutinio tankumo molis	20,70–41,40	0,2–0,5
Kietas molis	41,40–96,60	0,2–0,5

Sudėtiniai pamatai priskiriami sekliems pamatams ir yra skirstomi į keturis tipus (žr. 2 pav.):

- Stačiakampis sudėtinis pamatas – naudojamas tada, kai apskaičiuojant per kolonas perduotos apkrovos ir grunto laikomosios galios nebeužtenka, kad kolonos pamato plokštė įsitektų pastato ribose.
- Trapecinis sudėtinis pamatas – naudojamas, kaip atskiras kolonos pamatas, kai kolona apkrauta didele jėga, o vietos pamatui nepakanka.
- Gembinis (sijinis) sudėtinis pamatas – pamato konstrukcijai naudojama jungiančioji sija, kuri jungia necentriškai apkrautų kolonų pamatus į vieną pamatą. Naudojami tada, kai po jais esantys gruntai turi didelę laikomąją galią, o atstumai tarp kolonų dideli.
- Plokštinis pamatas – įrengiamas po viso statinio plotu ir atlaiko statinio sienų ir kolonų apkrovas. Plokštinis pamatas tinka silpniems gruntams, kai jam tenka atlaikyti dideles statinio apkrovas.



2 pav. Sudėtinių pamatų tipai: 1 – stačiakampis sudėtinis pamatas; 2 – trapecinis sudėtinis pamatas; 3 – gembinis (sijinis) sudėtinis pamatas; 4 – plokštinis pamatas [3]

Seklieji pamatai naudojami mažaaukščiams pamatams, kai pamatui perduodamos sąlyginai nedidelės apkrovos, nes pamatą paplatinti galima tik didinant jų aukštį [3].

1.2.2. Poliniai pamatai

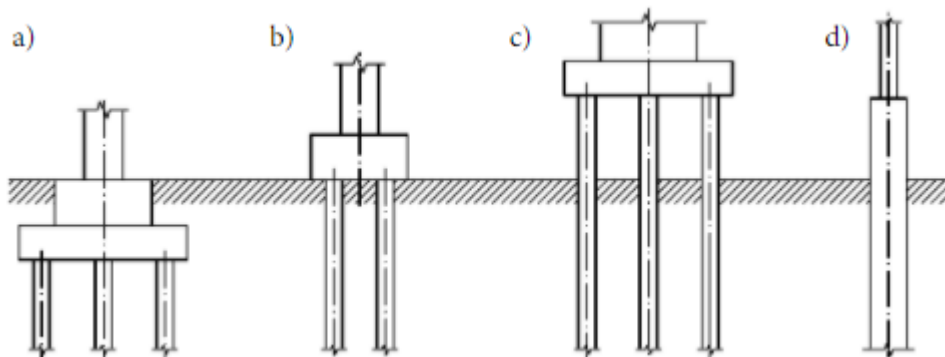
Poliniai pamatai parenkami norint, kad didelės statinių apkrovos persiduotų giliai esantiems stipriesiems gruntams, taip sumažinant pamatų nuosėdžius. Polinio pamato pasirinkimą lemia ir silpnas viršutinio grunto sluoksnis, toks kaip durpės, dumblas ar piltinis nesutankintas gruntas, arba aukštas gruntinio vandens lygis. Poliniai pamatai susideda iš polių ir rostverkų. Pagal rostverko padėtį konstrukcijoje poliniai pamatai skirstomi į (žr. 3 pav.) [1]:

- polinius pamatus su žemutiniu rostverku;
- polinius pamatus su rostverku ant žemės paviršiaus;
- polinius pamatus su aukštutiniu rostverku;
- polinius pamatus be rostverko.

Poliniai pamatai pastato apkrovą pagrindui perduoda padu ir šonais, todėl įtempimai sklinda apimdami didelį grunto tūrį. Poliniai pamatai nusėda mažai, jų pagrindo laikomoji galia didelė, todėl yra tinkami statiniams, kurie yra jautrūs nuosėdžiams. Šie pamatai dažniausiai įrengiami, kai žemės paviršiuje slūgso silpni gruntai (smėlis, priesmėlis, mišrus gruntas). Polių gylis dažniausiai yra nuo 6 iki 12 m. Polinių pamatų privalumai: įrengiant polinius pamatus gerokai sumažėja žemės darbų mastas, nes polio vietoje gruntas išgręžiamas lokaliai, tik tiek, kiek užima polis; be to, sumažėja medžiagų kiekis - betono reikia net 40 proc. mažiau. Dėl šių priežasčių pasirinkus polinius pamatus galima sumažinti ne tik žemės darbų išlaidas, bet ir laiko sąnaudas.

Polinių pamatų tipai. Poliniai pamatai pagal įrengimą skirstomi į [1.5] :

- gręžtinius,
- spraustinius,
- kaltinius polių.



3 pav. Poliniai pamatai su skirtingais rostverkais: a) polinis pamatas su žemutiniu rostverku; b) su rostverku ant žemės paviršiaus; c) su aukštutiniu rostverku; d) be rostverko [1]

Statant ir plėtojant šiuolaikinius miestus, trūksta miestų ploto išteklių ir nuolatinis miesto gyventojų skaičiaus didėjimas turi tam tikrą poveikį statybos pramonei. Šiuo metu daugiaaukščiai pastatai mieste yra labai paplitę, o polinių pamatų apkrovos didėja, nes statybų projektų pastatų aukštis auga. Todėl statybų srities specialistai kreipia didelį dėmesį polinių pamatų statybos technologijoms, siekiant pagerinti polinių pamatų kokybę, užtikrinti, kad jie atlaikytų didėjančias apkrovas, bei pagerinti jų saugumą ir stabilumą. Pagal statybos techninio reglamento STR 2.05.21:2016 „Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai“ [1.5], polinių pamatų nuostatos taikomos visų rūšių poliams: įremtiems, trinties, tempiamiems ir skersai apkrautiems, nepaisant jų įrengimo būdo, kurių gylis ir skersmens santykis $d / b > 5$ (įkaltiems, išpraustiems, įsriegtiems ir gręžtiniams su injektavimu ar be jo). Įrengiant polių, turi būti laikomasi normatyvinių statybos techninių dokumentų reikalavimų. Taip pat statinio projektuotojas privalo išanalizuoti šiuos ribinius būvius:

- visuminio stabilumo praradimo;
- polinio pamato pagrindo laikomosios galios netekimo;
- iškėlimo ar polio pagrindo tempimo laikomosios galios netekimo;
- pagrindo laikomosios galios, veikiant skersinėms apkrovoms, netekimo;
- polio stiprio gniuždant, tempiant, lenkiant, klupdant ar kerpant netekimo;
- pagrindo ir polinio pamato suirimo;
- statinio ir pagrindo suirimo;
- neleistinų nuosėdžių;
- neleistinų horizontalių poslinkių;
- neleistino pakilimo;
- neleistinų virpesių.

Prenkant polio tipą, įskaitant jo medžiagą ir įrengimo metodus, turi būti atsižvelgta į: pagrindo ir požeminio vandens sąlygas statybvietėje, įvertinant ir galimus kliuvinius grunte, įtempius, galinčius atsirasti įrengiant polių, galimybę išlaikyti ir patikrinti įrengiamo polio vientisumą, polių įrengimo metodo ir tvarkos (eiliškumo) įtaką prieš tai įrengtiems poliams, esamiems statiniams ar požeminėms komunikacijoms, leistinas nuokrypas, kurias galima užtikrinti įrengiant polių, cheminių priemonių, esančių grunte, ardomyjį poveikį, galimybes, susijusias su požeminio vandens režimu, polių kilojimą ir transportavimą, polių įrengimo įtaką gretimiems pastatams [1.6]. Gręžtinius pamatus racionalu rengti tvirtesniuose smulkiuose, bei mažai drėgnuose vidutinio tankumo ir tankiuose rupiuose gruntuose. Prie tvirtesnių smulkiųjų gruntų priskiriami smulkieji moreniniai bei limnoglacialiniai gruntai, kurių kūginis stipris pagal CPT ar CPTU rezultatus yra didesnis arba lygus 1 MPa, kai pamato gylis iki 2,5 m, ir 1,5 MPa, kai pamato gylis didesnis kaip 2,5 m. Prie tinkamų gręžtiniams pamatams įrengti gruntų, priskiriami visi nevandeningi rupūs gruntai, jei jų:

$$q_c \geq 3 \text{ MPa}; \tag{1}$$

čia q_c – grunto kūginis stipris.

Tokie pamatai rengiami ir vandeninguose rupiuose gruntuose, jei galima pažeminti požeminio vandens lygį žemiau gręžtinio pamato dugno. Nerekomenduojama gręžtinių pamatų rengti dirbtiniame grunte, kuriame yra gausu statybos atliekų, taip pat vandeninguose smulkiuose gruntuose [1.6].

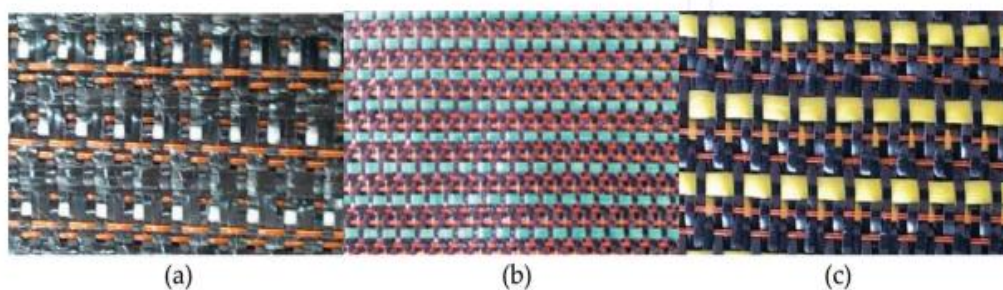
1.2.3. Gilieji pamatai

Gilieji pamatai naudojami tada, kai stiprus gruntas, randasi po silpnojo grunto sluoksniu, o pastatų ar statinių pamatus veikia didelės vertikaliosios ir horizontaliosios jėgos. Gilieji pamatai įrengiami, kai sekliuosius ar polinius pamatus įrengti neracionalu. Atraminis sluoksnis sekliams pamatams per gyliai, o poliniams per seklius ar per stiprus išprausti polį. Kai kuriems pastatams gilieji pamatai reikalingi dėl technologinių ypatumų, pavyzdžiui, gilios siurblynės, dideli štampai ir presai. Gilieji pamatai yra standūs, todėl veikiant didelėms skersinėms jėgoms ir / arba lenkimo momentams, pamato konstrukcija nesideformuoja. Tai yra pagrindinis kai kurių giliųjų pamatų (kevalinių ir gręžtinių) skirtumas nuo polių. Palyginus su sekliaisiais pamatais, gilieji pamatai turi nemažai pranašumų. Juos įrengus, geriau naudojamas pamato medžiagos ir pagrindo gruntų stiprumas, nes pastato apkrovą pagrindui jie perduoda ne tik padu, bet ir šonais. Giliųjų pamatų nuosėdžiai mažesni, įrengiant giliuosius pamatus sumažėja kasybos darbų – žemės iškasama tik tiek, kiek užima pamatas. Tai svarbu ir gamtinės aplinkos apsaugos požiūriu [4].

1.3. Pagrindų stiprinimo medžiagos ir technologijos

Silpni gruntai gali labai reikšmingai sumažinti pamatų laikomąją galią ir lemti jų deformacijas. Apkrovos pasiskirsto pačiame grunto pade maždaug 45 laipsnių kampu, o žemiau pasiskirsto stačiau, daugiau kaip 60 laipsnių kampu nuo horizontalės. Gruntas, esantis tiesiai po pamatų, patiria didžiausią apkrovą, todėl turėtų būti kruopščiai sutankintas. Taigi gruntas esantis po pamatu, yra pats kritiškiausias ir dažniausiai labiausiai pažeidžiamas. Kai kasami (gręžiami) pamatai, ant statybos įrangos esantis dantis sujudina gruntą ir į jį įmaišo oro, sumažindami jo tankį. Taip pat gali pribyrėti grunto nuo tranšėjos kraštų. Purus gruntas yra daug silpnesnis nei nejudintas gruntas, štai kodėl taip svarbu sutankinti tranšėjos dugną. Nesutankintas gruntas, gali nusėsti iki 1,3 cm per pirmuosius 15 cm [5]. Todėl netgi plonas silpno grunto sluoksnis gali lemti laikomosios galios pakitimus. Mokslininkai, nagrinėjantys smėlio su silpnu grunto sluoksnių po juo laikomąją galią, nustatė, kad plonas silpnas sluoksnis gali sumažinti galutinę laikomąją galią iki 80 % [6].

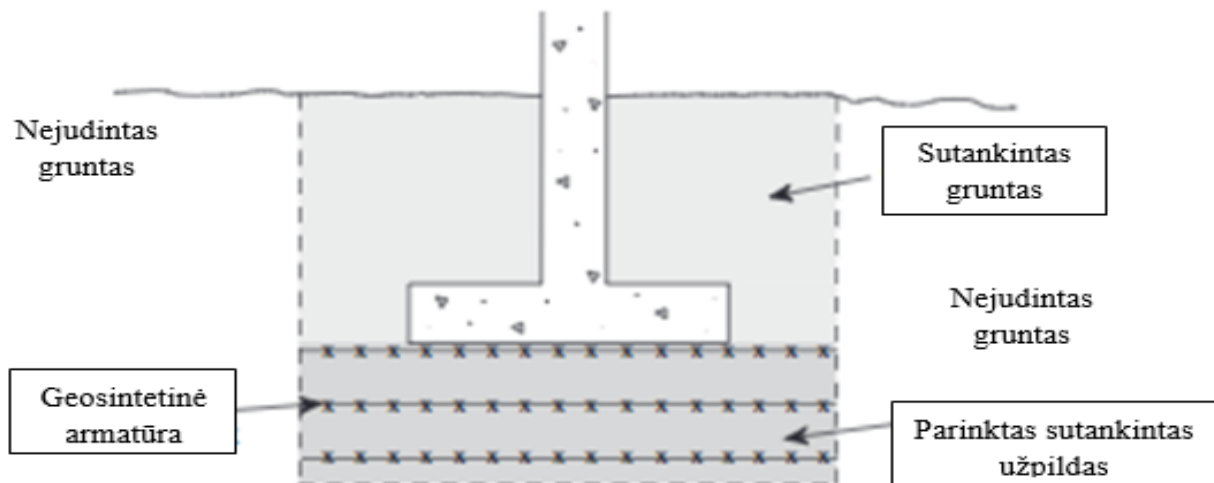
Šiuo metu tobulėjant mokslo ir technologijų galimybėms išrandamos naujos medžiagos ir technologijos silpniems gruntams sutvirtinti. Tarp sintetinių polimerinių audinių geosintetikai, įskaitant geotekstilę, tenka ypatingos atskyrimo, filtravimo, drenažo, sutvirtinimo ir erozijos kontrolės funkcijos (žr. 4pav). Geotekstilė gaminama iš dviejų ar daugiau polimerinių sintetinių audinių derinio [7].



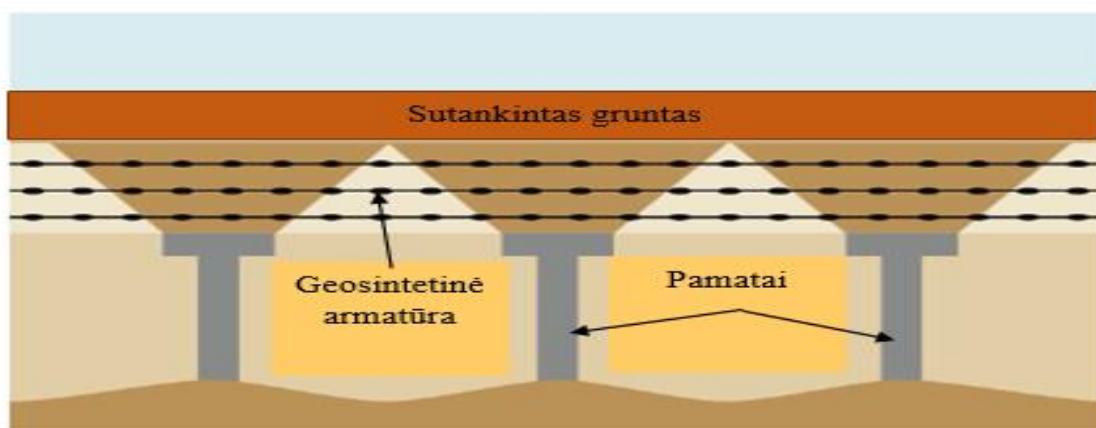
4pav. Geotekstilės audinių tipai skirti: a) atskyrimui; b) filtravimui; c) stiprinimui [7]

Didelio stiprumo geosintetika (geotinklai arba didelio stiprio, didelio tankio geotekstilė) naudojama sustiprinti pagrindą po konstrukcinėmis apkrovomis ir pamatais. Kai kuriais atvejais, prieš dedant apkrovas ar įrengiant pamatų padus, užpildas sutankinamas santykinai plonais sluoksniais

perdengiant geotinklais (žr. 5 pav.) arba geotinklai dedami į sutankinto užpildo sluoksnius, kad paskirstytų paviršiaus apkrovas koncentruotiems atraminiais taškams esantiems apačioje (žr. 6 pav.) [8].



5 pav. Pamatų pado atrama į geosintetinę armatūrą sutvirtinta gruntą [8]



6 pav. Grunto stiprinimas naudojant geosintetinę armatūrą su užpildais atremtais į pamatus [8]

Geosintetinės armatūros naudojimas tiek po pamatų pagrindu, tiek virš jo žymiai pagerina silpnų gruntų laikomąją galią.

Grunto sustiprinimui galima naudoti ir intervencines medžiagas, kurios naudojamos požeminio grunto stabilizavimui turi ne tik užpildyti esančias tuštumas, bet taip pat turi uždaryti vandens patekimą į požeminį gruntą. Veiksmingiausios medžiagos stabilizuoti požeminį gruntą, naudojant giluminio injektavimo technologija yra poliuretano (PU) putos, jos yra netoksiškos, ilgaamžės ir nekenksmingos aplinkai. Giluminio įpurškimo proceso tikslas yra garantuoti reikšmingą grunto tūrio padidėjimą. Tam naudojamos pažangiausios technologijos, polimeras užpildo, sutankina ir stabilizuoja mažo tankio gruntą [1.7].

1.4. Geologiniai tyrimai

Kalbant apie naujus namus, yra kelios priežastys, kodėl pamatas pradeda sėsti. Viena jų – statybų metu nebuvo tinkamai ištirtas gruntas (todėl neįvertinamas pamatų gylis). Siekiant, kad statiniai būtų saugūs, o statytojai išvengtų nenumatytų išlaidų statybos metu, nuo 2019 metų privalomas IGGT, kitaip dar vadinamais – grunto tyrimas. Jis nėra privalomas statiniams, kurie yra priskirti prie nesudėtingųjų statinių kategorijos. IGG tyrimai privalo būti įregistruoti Žemės gelmių registre. Tyrimų registracija vykdo įmonės atliekančios tyrimus. IGG tyrimai sudaro statybinių tyrimų dalį, o IGG tyrimų ataskaita yra privalomasis statinio projekto rengimo dokumentas. Rengiant ypatingųjų statinių projektus, be IGG tyrimų ataskaitos, projekto sudėtyje turėtų būti ir Lietuvos geologijos tarnybos rašto apie šios ataskaitos vertinimą ir priėmimą kopija [1.1].

1.5. Lietuvos ir užsienio energinio naudingumo reikalavimai atitvaroms, kurios ribojasi su gruntu

Gruntas gali išlaikyti daug šilumos energijos, ypač jei drėgna, bet tai nėra geras šilumos izoliatorius. Grunto temperatūros pokytis priklausomai nuo gylio ir sezono per pamato rostverką praleidžia daugiausiai šilumos. Didžiausias šilumos pralaidumas vyksta veikiant žiemos orui ir mažame gylyje, kur žemė dažnai iššąla. Šiluma praeina iš grindų į pamatų sieną, grindų plokštuma nemažai iššyla, ypač išpopuliarėjus grindinio šildymo sistemoms. Faktiniai pamatų šilumos nuostoliai skiriasi pagal klimato zonas, grunto tipą ir drėgmės tūrį [1.8]. Pagal Lietuvos A++ energinio naudingumo klasės reikalavimus pastatų atitvarų norminė šilumos perdavimo koeficiento U vertė šildomų patalpų atitvaroms, kurios ribojasi su gruntu ir grindimis, gyvenamosios paskirties pastatams yra $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$. Polistireninio putplasčio projektinis šilumos laidumas turi būti ne didesnis negu $0,041 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$. Deklaruojama polistireninio putplasčio šilumos laidumo vertė yra $0,037 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ [1.9]. Jungtinėje Karalystėje atskiriems regionams taikomos skirtingos U vertės, šildomų patalpų atitvaroms, kurios ribojasi su gruntu ir grindimis, gyvenamosios paskirties pastatams [1.10]:

- Anglija - $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.
- Velsas - $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.
- Škotija - $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.
- Airija – $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$.

Norvegijoje ir Rusijoje nustatytos U vertės, šildomų patalpų atitvaroms, kurios ribojasi su gruntu ir grindimis, gyvenamosios paskirties vienbučiams pastatams yra vienodos $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ [9].

Šiandien statomi pastatai yra efektyvesni energijos vartojimo atžvilgiu, nei pastatyti prieš keletą metų, visų pirma dėl reikšmingų statybos produktų ir technikos patobulinimų, taip pat dėl našių šildymo ir kondicionavimo sistemų. Pamatų izoliacija visų pirma naudojama siekiant sumažinti šildymo išlaidas, o vėsinimo sąnaudų mažinimo nauda yra nedidelė. Be šildymo išlaidų mažinimo, pamatų izoliacija padidina komfortą, sumažina kondensato susidarymo ir atitinkamo pelėsių augimo galimybes bei padidina žemesnės klasės patalpų tinkamumą gyventi. Per pastaruosius kelis dešimtmečius technologijos, kuriomis siekiama sumažinti miestų aplinkos temperatūrą ir miesto pastatų vėsinimo poreikį, pasiekė išpūdingą pažangą. Atspindinčių ir žemos paviršiaus temperatūros medžiagų, vadinamų vėsiomis arba itin vėsiomis medžiagomis, kūrimas leido sumažinti aukščiausių miestų aplinkos temperatūrą iki $2,5\text{--}3^\circ\text{C}$ ir iš esmės sumažinti energijos poreikį vėsinimui [10].

Baltos ir infraraudonuosius spindulius atspindinčios dangos, naudojamos miesto pastatų fasaduose arba ant pastatų stogo, gali sumažinti aukščiausią pastatų temperatūrą iki 1,5°C, priklausomai nuo vietos klimato ypatybių ir gali sumažinti pastatų vėsinimo poreikį nuo 10 laipsnių ir 30 %, priklausomai nuo miesto ir pastato ypatybių. Neseniai sukurtos fotoninės ir plazmoninės medžiagos, pasižyminčios labai dideliu saulės spektro atspindžiu, kartu su dideliu atmosferos lango bangos ilgio spinduliuote, suteikia milžiniškų naujų galimybių sušvelninti vietinius klimato pokyčius [11]. Efektyvi pamatų termoizoliacija ganėtinai prisideda prie pastato energinio naudingumo gerinimo, o vienas iš būdų tai atlikti - liktiniai klojiniai. Liktinių klojinių sistema – tai termoizoliacinės plokštės sujungiamos tarpusavyje ir sudarančios „U“ formos liktinį klojinį. Į klojinio vidų montuojamas armatūros karkasas ir pripildomas betonu. Klojinys sutvirtinamas, kad betono tankinimo metu išlaikytų savo formą ir išlaikytų leistinus nuokrypius. Tokių klojinių privalumai: iki minimumo sumažinta šalčio tiltelių tikimybė, sumažėję technologiniai procesai (neboreikia montuoti termoizoliacijos), paspartėjęs įrengimo terminas.

1.6. Apšiltinimo medžiagos ir jų klasifikavimas

Polistireninis putplastis (EPS) ir ekstrudinis polistirenas (XPS) yra izoliacinės medžiagos, naudojamos pastatų atitvarų, pamatų ir sutapdintų stogų šilumos izoliacijos sistemose. Apšiltinimo medžiagoms vandens įmirkis yra pagrindinis veiksnys, lemiantis šilumos izoliacijos pablogėjimą. Laboratoriniai XPS ir EPS vandens įmirkio bandymų rezultatai paprastai naudojami, kaip gairės projektuojant ir specifikuojant izoliacinių sistemų pritaikymą. Tačiau dažniausiai termoizoliacijos mėginių drėgmės kiekio laboratorinių tyrimų duomenys yra mažai koreliuojami su termoizoliacijos elgsena eksploataavimo sąlygomis. Siekiant geriau susieti laboratorinius ir natūrinius duomenis, siūloma apsvaistyti skirtingus bandymų metodus, peržiūrėti galiojančius standartus ir atlikti keletą naujų bandymų, kurie padėtų rangovui ar projektuotojui tinkamai parinkti pastato termoizoliacinės medžiagas [12]. Ekstrudinis polistirenas (XPS) tinkamiausia apšiltinimo medžiaga, nes dėl savo sudėties turi mažą vandens įmirkį, kuris lemia termoizoliacinių medžiagų šiluminių savybių pablogėjimą. Pastaruoju metu ir polistireninio putplasčio gamintojai pradėjo modifikuoti savo gaminius, kad šie būtų atsparesni vandens įmirkiui.

Pastaraisiais metais vis daugiau dėmesio skiriama pastatų energiniam efektyvumui, kokybiškam jų projektavimui ir eksploataavimo sąlygoms. Pasyviųjų namų statyba neseniai buvo išplėsta nuo zonų, kuriose nėra žemės drebjimų, iki vietovių, kuriose gali kilti žemės drebjimai. Pastebėta, kad specifinės naujos detalės – šiluminiai įdėklai, skirti apsaugoti nuo šalčio tiltelių daugeliu atvejų gali sumažinti kai kurių svarbiausių pastato konstrukcijų ar jų dalių standumą ir stiprumą. Tyrimo rezultatai parodė, kad pamato detalės, leidžiančios slysti tarp termoizoliacinių plokščių sluoksnių, naudojant mažos trinties kontaktinius paviršius, gali žymiai sumažinti ar net visiškai pašalinti antstato pažeidimus ir veikti, kaip seisminis saugiklis [13]. Tobulėjant statybų technologijoms ir įrengimo procesams, statybiniai produktai pritaikomi naujuose srityse siekiant efektyvinti pastatų eksploatavimą.

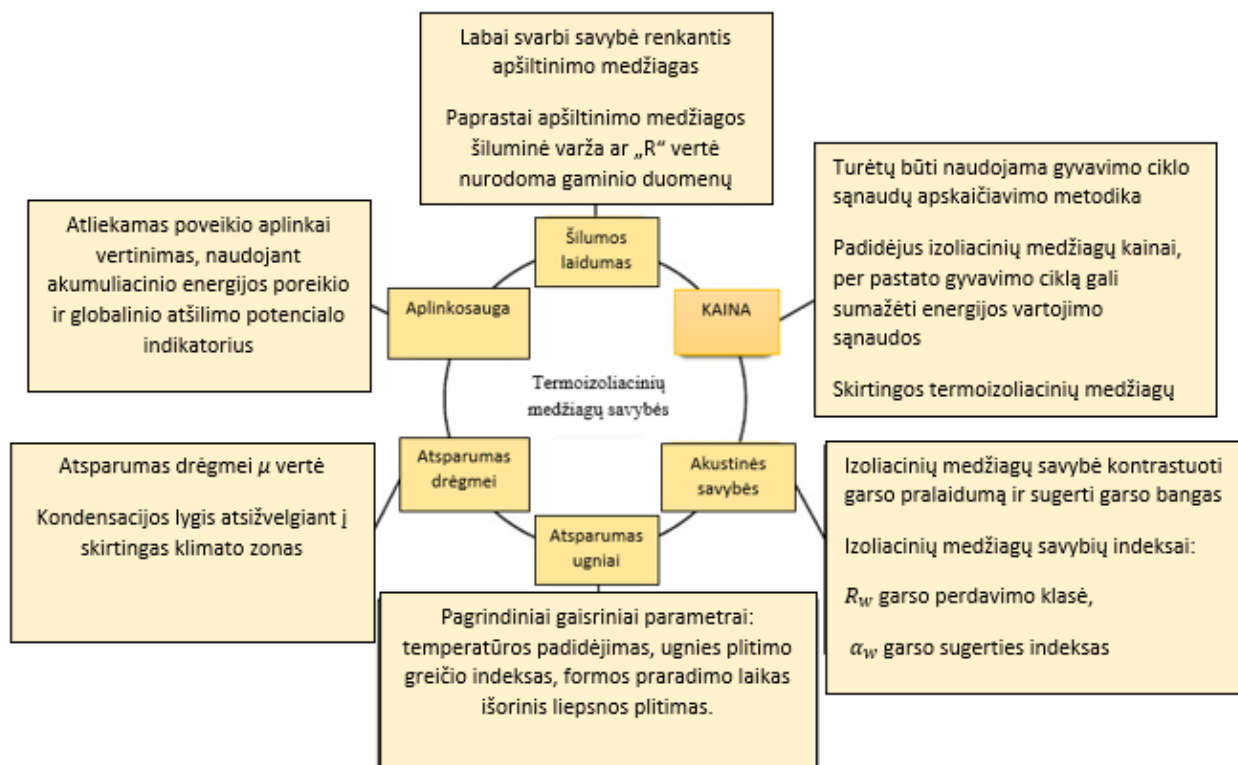
Rusijos mokslininkų atliktas tyrimas susijęs su liktinių klojinių naudojimu ir galimybe atlikti darbus šaltuoju periodu dėl šilumos sulaikymo efekto, taip pat kaštų mažinimas pastato eksploatacijos metu mažinant šilumos nuostolius bei apsaugant pamatų konstrukcinius elementus nuo gruntinio vandens poveikio. Pagrindinis kuriamos sistemos elementas yra ekstrudinio polistireninio putplasčio (XPS) plokštės. Tyrimo tikslas buvo – sukurti ir įgyvendinti juostinių pamatų montavimo procesą naudojant liktinių klojinių iš XPS plokščių ir universalių polimerinių lygintuvų technologiją, taip pat išbandyti

betonavimo žiemą galimybę „termoso“ sąlygomis. Termotechninis skaičiavimas, atliktas esant minus 10 C° temperatūrai, parodė, kad per kiek daugiau nei 11 dienų betono kietėjimas „termoso“ sąlygomis pasiekė daugiau nei 70% projektinio stiprumo [14]. Liktinių klojinių naudojimas netik efektyvina pamatų montavimą, bet ir leidžia prailginti jų įrengimo laiką šaltuoju periodu neinvestuojant papildomų kaštų.

Norint užtikrinti geras pastato energinio efektyvumo savybes reikalinga ne tik gera termoizoliacija, bet ir pastato sandarumas. Sandarumo efektyvumo didinimui naudojama technologija montuoti besiūles izoliacines dangas putų poliuretano pagrindu, atskirus lakštus fiksavimo jungties pagalba suvirinant karštu oru [15].

Atliekant tyrimus susijusius su pastatų šilumos nuostoliais, atlikti terminiai ir fizikiniai skaičiavimai parodė, kad šilumos nuostolius iš patalpų lemia dvi veiksnių grupės: paviršiaus nuostoliai (priklausantys nuo šilumos laidumo), taip pat elementų, garų, oro laidumas ir šilumos nuostoliai visų tipų jungtyse, tvirtinimo detalėse ir kt. Termoizoliacinės plokštės žymiai sumažina šilumos nuostolius, bet tuo pačiu šiluma prarandama per jungtis tarp šilumą izoliuojančių plokščių ir sąlyčio su kitomis konstrukcijomis vietose, todėl reikia naudoti garams, vandeniui ir vėjui atsparias ritininės medžiagas [16].

Izoliacinės medžiagos gali būti skirstomos į kategorijas pagal įvairias savybes ir charakteristikas. Renkantis tinkamą izoliacinę medžiagą, pirmiausia atsižvelgiama į šilumos laidumą, kainą, akustines savybes, atsparumą ugniai, atsparumą drėgmei ir ilgaamžiškumą (žr. 9 pav.) [17].



7 pav. Termoizoliacinių medžiagų savybės [17]

Visos statybinės izoliacinės medžiagos yra klasifikuojamos į tris grupes (žr. 2 lentelę)[18]:

- neorganinės;
- organinės;
- naujos technologijos medžiagos.

2 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija [18]

Termoizoliacinės medžiagos		
Neorganinės medžiagos	Organinės medžiagos	
	Naftos chemija	Natūralios (atsinaujinančios)
Stiklo vata	Polistireninis putplastis (EPS)	Celiuliozė
Akmens vata	Ekstrudinis polistirenas (XPS)	Kokoso pluoštas
Kalcio silikatas	Fenolio formaldehidai (PF)	Lino pluoštas
Putplasčio stiklas	Poliuretanas (PU)	Kanapių pluoštas
Perlitas	Poliizocianuratas (PIR)	Perdirbta medvilnė
Vermikulitas	Karbamido formaldehidai (UF)	Avies vilna
Vakuuminės izoliacinės plokštės (nauja medžiaga)	Ekstrudinė polipieno rūgštis (PLA) (nauja medžiaga)	Medžio plaušas
Termo skydai (nauja medžiaga)		Ekstrudinis kamštis
Aerogelis (nauja medžiaga)		

Šio darbo tyrime pasirinktos liktinių klojinių alternatyvos su pagrindinėmis šiai dienai Lietuvoje naudojamomis termoizoliacinėmis medžiagomis:

- Polistireninis putplastis (EPS).
- Ekstrudinis polistirenas (XPS).
- Polistireninis putplastis Neoporas (N-EPS).

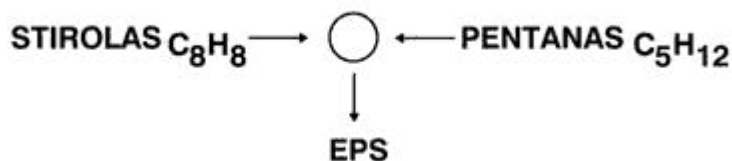
Polistireninis putplastis (EPS) ir neoporas (N-EPS)

Šią medžiagą sukūrė vokiečių mokslininkai 1950 m. užsandarindami orą, suvaržydami jo judėjimą ir neleisdami išsiskverbti vandeniui bei teršalams. Polistireninis putplastis šiandien plačiausiai naudojamas kaip ekonomiškai efektyvi termoizoliacija pastatų šiltinimui, taip pat kelių ir krantinių įrengimui, interjero ar eksterjero dekoravimui, tūrinių elementų formavimui, pramonės gaminių, medikamentų bei maisto produktų pakuočių gamybai ir kt. [1.11].

Laikui bėgant šios medžiagos pavadinimas kito. Žmonių vartotas putų polistirolas ar putų polistirenas įgavo polistireninio putplasčio pavadinimą. Nuo šiol toks terminas vartotinas praktikoje bei literatūroje, tarptautinis šios medžiagos žymėjimas yra EPS.

Polistireninį putplastį (EPS) sudaro 98 proc. oro ir 2 proc. polistireno (žr. 8 pav.). Pagrindinės polistireno sudėtinės medžiagos – stirolas ir pentanas – yra angliavandeniliai, gaunami iš naftos. Stirolas gamtoje nedideliais kiekiais dar aptinkamas vaisiuose, daržovėse, riešutuose, gėrimuose, mėsoje. Pentanas, kuris vėliau EPS medžiagoje atlieka plėtiklio funkciją, taip pat susidaro žmonių

bei gyvūnų organizmuose ir per natūralius biocheminius procesus patenka į atmosferą kartu su išskvepiamu oru [1.12].



8 pav. Polistireninio putplasčio cheminė sudėtis [1.12]

Polistireninio putplasčio žaliava, iš kurios vėliau yra gaminama termoizoliacija statybų reikmėms, aprūpinama ugnį slopinančiu priedu. Dažniausiai tai – heksabromciklododekanas, kuris netirpsta vandenyje ir yra atsparus hidrolizei. Polistireniniame putplastyje šios medžiagos yra nedaug, ji patikimai paskirstyta polimeriniame karkase tarp polimerinių grandinių, todėl galimybės patekti į aplinką nėra [1.13].

Polistireniniame putplastyje oras uždarytas į 0,2-0,5 mm skersmens akeles, kurių sienelių storis siekia 0,001 mm. Oras, būdamas blogas šilumos laidininkas, iš akelių neišsiskaido, todėl polistireninis putplastis pasižymi geromis ir vienodomis per visą tarnavimo laikotarpį termoizoliacinėmis savybėmis. Polistireninio putplasčio gaminiams paprastai būdinga šilumos laidumo koeficiento vertė $\lambda = 0,030-0,045 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$. Juo šilumos laidumas mažesnis, tuo termoizoliacija geresnė. EPS atsparus mechaniniam poveikiui – gniuždymui, lenkimui, tempimui, smūgiams. Polistireninio putplasčio struktūrą sudaro uždaros oru užpildytos poros, į kurias nepatenka drėgmė ir teršalai. Polistireninis putplastis nėra higroskopinis, vanduo į jį gali įsiskverbti tik mikroskopiniais kanalėliais tarp susilydžiusių akelių. Šią medžiagą ilgam (mėnesiui) pamerkus į vandenį ji neįgeria drėgmės daugiau, kaip 3-5 proc. tūrio. Tai beveik neįtakoja termoizoliacinių savybių. Lietuvoje polistireninis putplastis naudojamas su degimą slopinančiais priedais. Ugnį slopinantis priedas yra netirpus vandenyje, todėl jis neišplaunamas iš medžiagos į aplinką ir išlieka efektyvus dešimtmečius. Savarankiškai degti, taip kaip medis, polistireninis putplastis negali. Pašalinus tiesioginį sąlytį su liepsnos šaltiniu, polistireninis putplastis liaujasi degęs ir lydęsis. Izoliacinės medžiagos poveikis gaisro kilimui ir stiprėjimui yra nežymus arba jo nėra visai [1.13].

Pilkasis polistireninis putplastis, dažnai vadinamas neoporu (žymimas N arba NEO) yra vadinamojo polistireninio putplasčio (EPS) atmaina, savo sudėtyje turinti grafito. Būtent grafitas nulemia pilką spalvą ir ženkliai padidina termoizoliacines savybes. Pilkojo EPS sudėtyje esantis grafitas absorbuoja ir atspindi infraraudonuosius spindulius, taip sumažindamos šilumos pralaidumą.

Neoporo termoizoliacinės savybės lyginant su baltuoju polistireniniu putplasčiu yra apie 20% efektyvesnės, todėl šiltinant leidžia naudoti plonesnį polistireninio putplasčio sluoksnį net apie 20% [1.13].

Ekstrudinis polistirenas (XPS)

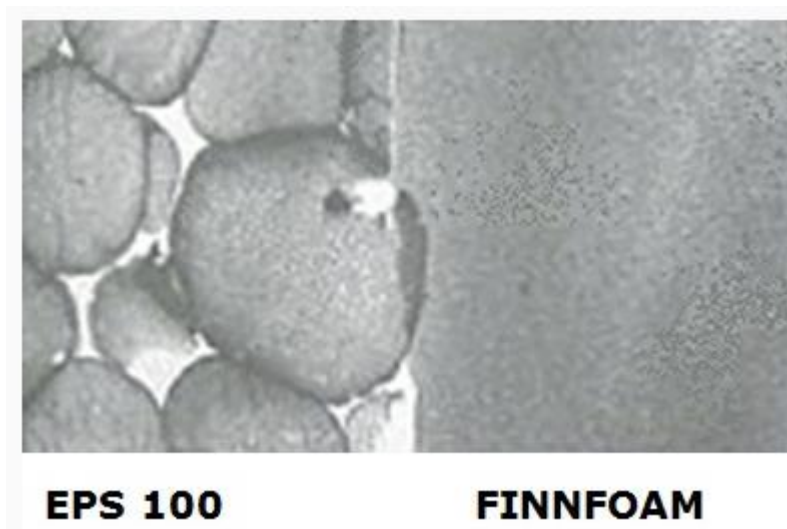
Ekstrudinis polistireninis putplastis (XPS), yra puiki drėgmės neįgerianti ir nuo šalčio apsauganti izoliacinė medžiaga. Tai puikus sprendimas grindims, pamatams ir kitoms su žeme besiribojančioms konstrukcijoms apšiltinti. Šis polistireninis putplastis pasižymi tvirtumu ir geromis šilumos izoliacinėmis savybėmis, neabsorbuoja vandens, nesitraukia ir neišbrinksta, nepūva ir yra chemiškai atsparus. Ekstruzinį polistireną paprasta ir patogiu naudoti, jis lengvai montuojamas. Ekstrudinis polistirenas biologiškai nesuyrantis aplinkoje, nekelia jokio pavojaus ekologijai ir žmonių sveikatai, tą liudija visi sertifikatai [1.14].

Ekstrudinis polistirenas „Finnfoam“ XPS – universali suomiška šilumos izoliacija. „Finnfoam“ yra plačiai panaudojama ir patikima šilumos izoliacija, kuri išlaiko savo šilumos izoliacines savybes netgi esant sudėtingoms sąlygoms. Ypatinga savybė – uždara porų struktūra, kuri garantuoja puikias ir patikimas šilumos izoliacijos savybes. Konstrukcijoje nereikia atskiro garų ar apsaugos nuo vėjo izoliacijos barjero. Taip pat kelios statybos fazės gali būti pakeistos vienu įrengimu.

Ekstrudinis polistirenas (XPS) yra porėtas plastikas, kurio žaliava – polistirenas (PS). Polistirenas nėra kenksmingas sveikatai, jis dažnai naudojamas kaip pakavimo medžiaga maistui. Polistirenas yra perdurbamas plastikas, kurį galima išlydyti ir vėl naudoti kaip žaliavą. Kita svarbi žaliava XPS plokščių gamyboje yra anglies dioksidas (CO₂), kuris gaunamas kaip kitų pramonės šakų atlieka, todėl jis neturi neigiamo poveikio aplinkai. Anglies dioksidas išgaruoja iš plokščių per kelias savaites nuo pagaminimo ir yra pakeičiamas oru. Polistireno ir anglies dioksido dalis sudėtyje yra apie

96-98 %. Likusią dalį sudaro papildomos medžiagos: dažai, procesą stabilizuojančios medžiagos, porų struktūrą modifikuojančios medžiagos ir t.t.[1.15].

Finnfoam plokščių puikios savybės priklauso nuo jų porų struktūros. Finnfoam porų struktūra yra visiškai vientisa ir uždara, ji visiškai skiriasi nuo putų polistirolu (EPS) porų struktūros (žr. 9 pav.).

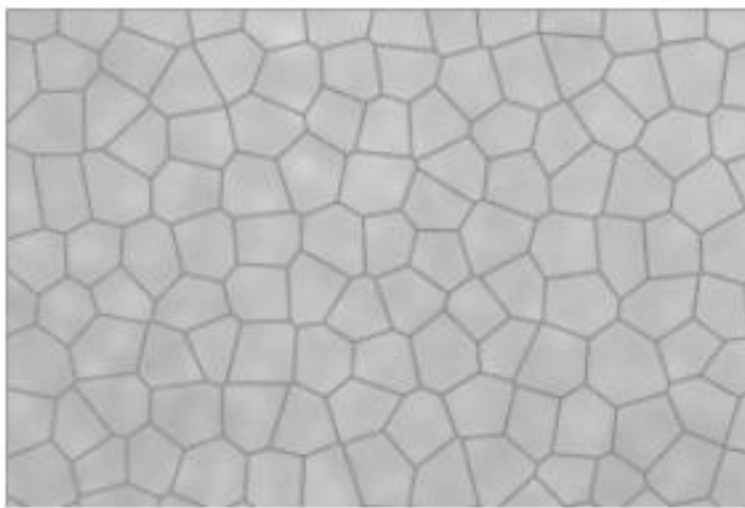


9 pav. Izoliacinės medžiagos struktūra (EPS tankis 18,5 kg/m³ir XPS tankis 32,3 kg/m³) [1.15]

„Finnfoam“ XPS visiškai vientisa ir uždara porų struktūra yra įgyjama gamybos procese, kur aukštame slėgyje į ištirpdintą polistireną yra įterpiamas skystas anglies dioksidas. Anglies dioksidas virsta dujomis, kai jis išeina pro purkštuvą į normalų oro slėgį. Porų struktūrą modifikuojančiomis

medžiagomis ir įrenginių dėka, suformuojamos norimos formos ir dydžio poros. Ypač stiprių, netgi virš 70 000 kg/m² atlaikančių plokščių poros yra truputį statmenos. Porų pagaminama daugiau nei 23 milijardų per sekundę. Gaminimo metu ant plokščių paviršiaus atsiranda vientisas paviršinis sluoksnis. Šis vientisas paviršius atstumia vandenį. Plokštės abiejose pusėse esantis paviršinis sluoksnis ir viduryje esanti vientisa porų struktūra suformuoja sluoksniuotą plokštės struktūrą, kuri dar labiau sutvirtina plokštę [1.16].

XPS gaminamas esant pastoviam slėgiui, naudojant nuolatinį ekstruzijos procesą. Dėl visiškai automatizuotos ir nuolat kontroliuojamos kompiuteriu gamybos, pasiekama stabili ląstelių struktūra su vienalyte korio (šešiakampe) išvaizda (žr. 10 pav.). Ląstelės yra tarpusavyje susijusios per visus paviršius. Ekstruzinio polistirolo medžiagos (XPS) nesugeria vandens ir nėra veikiamos drėgmės dėl savo šešiakampio, uždaro poringumo, pasižymi optimaliu vandens garų difuzijos atsparumu ir maža šilumos laidumo koeficiento verte. Visuose gamybos etapuose su pilna automatizavimo sistema nustatyti proceso ir kokybės kontrolės procesai ir visi duomenys yra fiksuojami. Be to, produktų atsekamumą galima užtikrinti naudojant automatinę pagal laiką reguliuojamą ženklinimo sistemą.



10 pav. Ekstruzinio polistireno ląstelių struktūra [1.17]

Proceso metu pagamintos medžiagos paviršius gali būti struktūrinis arba lygus, priklausomai nuo to, kam medžiaga bus naudojama [1.18].

2. Daugiakriteriai vertinimo metodai ir jų klasifikacija

Daugiakriterių metodų panaudojimas apima daugelį sričių, taip pat ir statybos sritį. Remiantis mokslininkų atliktais vertinimais, buvo nustatyta, kuriose statybos srityse yra taikomi MCDM metodai [19]. Daugiakriteriai metodai skirstomi ir grupuojami pagal įvairias statybos sritis, o jų pritaikymo spektras labai platus (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. MCDM taikymas pagal statybos sritis [19]

Tyrimų sritis ir sprendžiama problema	MCDM metodas (-ai)	Straipsnio autoriai (metai)
Tvarus pastatai		
Tvaraus pastato vertinimas, integruojant LEED kriterijus ir MCDM metodus	AHP, ARAS	Medineckienė (2015)
Pastatų skirstymas pagal energijos sunaudojimą	Apytikslė ANP	Kabak'as (2014)
Integruotas betoninių kolonų tvarumo vertinimas	AHP, MIVES	Pons'as de la Fuente'sas (2013)
Saugomų teritorijų planavimas	AHP	Wang'as (2013)
Protingi pastatai		
Statybos technologijos		
Siūlomas modelis visapusiškai įvertinti technologijas	AHP	Kildienė (2014)
Tinkamiausių sprendimų pasirinkimas saugumas statybvietėje	Entropija, WASPAS	Dėjus ir Antuchevičienė (2013)
Polių kolonų technologijos pasirinkimas	TOPIS, ARAS, CORPAS, AHP	Zavadskas (2012)
Geriausio pamatų tipo pasirinkimas vandeningame grunte	ARAS	Zavadskas (2010)
Statybinės konstrukcijos		
Plonasienių plieninių konstrukcijų palyginimas, įskaitant struktūrinius, ekonominius ir aplinkos parametrus	TOPSIS	Terraccian'as (2015)
Pagalba projektuotojams renkantis detalų pastato dizainą	AHP, CBA	Arroyo'as (2015)
Daugiabučių namų konstrukcinių sistemų pasirinkimas	ELECTRE III, PROMETHEE II	Balali's (2014)
Palygintos skirtingų formų plonasienės konstrukcijos pagal kelis kriterijus	COPRAS	Tarlochan'as (2013)
Daugiaaukščių pastatų konstrukcijų sistemų projektavimo etape vertinimas	CPRAS-G	Tamošaitienė ir Gaudutis (2013)
Modernizavimas, rekonstrukcija		
Klasifikuojant izoliacinę medžiagą ir modernizuojant istorinius mūrinius pastatus	TOPSIS – G	Zagorskas (2014)

Tyrimu sritis ir sprendžiama problema	MCDM metodas (-ai)	Straipsnio autoriai (metai)
Gyvenamųjų pastatų modernizavimo efektyvumo, akcentuojant išorinių sienų šilumos izoliaciją, analizė	SWARA, TODIM	Ruzgys (2014)
Pastatų tinkamiausio modernizavimo varianto pasirinkimas	AHP, TOPSIS - G	Siozinytė (2014)
Geriausio kompromisinio sprendimo gerinant dienos šviesą visuomeniniame pastate paieška	COPRAS, TOPSIS, WASPAS, AHP	Siozinytė ir Antuchevičienė (2013)
Būstų ekologinis ir ekonominis modernizavimo vertinimas	COPRAS, WASPAS, TOPSIS	Staniūnas (2013)
Griovimas		
Geriausio griovimo projekto paieška; pavyzdys tilto griovimas	ANP, AHP	Chen'as (2014)

Iš pateiktų duomenų matyti, kad problemos sprendimui galimi keli vertinimo metodai. Taipogi kuriami ir nauji vertinimo metodai atsižvelgiant į senesnių metodų trūkumus.

Geriausių pastato konstrukcijų pasirinkimas iš daugybės alternatyvų yra labai svarbus pastatų savininkams, rangovams ir kitoms suinteresuotosioms šalims. Iš daugelio daugiakriterių vertinimo modelių, sukurtų vertinanti galimų alternatyvų efektyvumą, pateikiamas MCDM modelis, leidžiantis pasirinkti pamatų tipą - vieno aukšto gyvenamajam namui. Vertinami buvo trys smėlio gruntų tipai: purus smėlis, vidutinio tankumo smėlis, tankus smėlis. Remiantis WASPAS metodu, parinktos trys pamatų alternatyvos [20]:

- Negilus pamatas, pagilintas iki 1,0 m.
- Seklus pamatas, pagilintas iki 1,5 m.
- 0,3 m skersmens gręžtinis poliūs.
- 0,5 m skersmens gręžtinis poliūs.
- 0,6 m skersmens gręžtinis poliūs.

Pamatams įvertinti buvo pasirinkti šeši kriterijai [20]:

- betono kiekis;
- iškastas gruntas;
- darbų trukmė;
- montavimo kaina;
- armatūros kiekis;
- mechanizmų darbo laikas.

Pagal gautus rezultatus: puraus smėlio grunto atveju geriausiai tinka alternatyva Nr. 1 (negilus pamatas, pagilintas iki 1,0 m), o alternatyva Nr. 2 (sekklus pamatas, pagilintas iki 1,5 m), yra antroje vietoje. Vidutinio tankio smėliui geriausiai tinka alternatyva Nr. 3 (0,3 m skersmens gręžtinis poliūs), o alternatyva Nr. 1 (negilus pamatas, pagilintas iki 1,0 m), užima antrąją vietą. Tankaus smėlio atveju geriausia alternatyva Nr. 4 (0,5 m skersmens gręžtinių polių pamatai), o alternatyvus Nr.3 (0,3 m skersmens gręžtiniai poliai), užima antrąją vietą. Vertinimo metodas apima tik šešis reitinguojamus kintamuosius. Dėl to praktikai gali tiesiogiai naudoti modelį kaip greitos ir patogios pastato pamatų

alternatyvų analizės priemonę, taikydami paprastas ir aiškiai apibrėžtas procedūras. Dar viena svarbi aplinkybė yra ta, kad gauti duomenys skirsis, priklausomai nuo konkretaus atvejo. Rezultatai rodo, kad suinteresuotosios šalys labiau rūpinasi montavimo sąnaudomis ir sutvirtinimu, o ne betono suvartojimu, mechanizmais ar darbų trukme. Galiausiai reikia pažymėti, kad WASPAS metodas turi perspektyvią ateitį priimant sprendimus, nes jis suteikia metodinį pagrindą sprendimų priėmimui [20].

Visame pasaulyje natūrali medžiaga – daugiausia suvartojama po vandens – yra smėlio (žvyro) užpildas. Geriausio užpildo tiekėjo pasirinkimas gali būti atliekamas naudojant metodą TOPSIS pagrįstą eiliniu kriterijų reitingavimu ir Lagranžo daugikliu. Siūlomas kelių kriterijų sprendimų priėmimo (MCDM) metodas padeda sprendimų priėmėjui pasirinkti geriausią tiekėją tarp svarstomų ir vertinamų tiekėjų. Derybų su tiekėjais metu daugelis svarbą teikia tik dviem kriterijams (vieneto kainai ir kokybei, arba vieneto kainai ir pristatymo laikui). Taigi į kitus kriterijus neatsižvelgiama. Todėl tiekėjų pasirinkimas tampa neefektyvus. Tiekėjų pasirinkimas vertinimas naudojant TOPSIS metodą. Nors TOPSIS yra palyginti senas metodas, jis dar plačiai naudojamas, kad būtų galima spręsti daugiakriterio vertinimo sprendimų problemas skirtingose srityse. Siūlomą metodiką lengva naudoti. Bet kas turėdamas pagrindinį matematikos lygį ir dirbęs su *Excel* programine įranga, gali jį naudoti [21].

Kokybės pranašumai visada yra aptarinėjami akademinėse bendruomenėse. Todėl siekiant išsiaiškinti daugiakriterių metodų pranašumus vienas kito atžvilgiu, buvo atliktas tyrimas. Kai pasitelkus programinę įrangą, sistema lygina MOORA ir COPRAS metodų algoritmus pasinaudojant pramoninių robotų pasirinkimo pavyzdį, siekiant patikrinti pritaikomumą ir patvirtinti kelių kriterijų problemos sprendimo rezultatus. Rezultatai parodė, kad COPRAS ir MOORA metodų reitingavimai yra labai arti vienas kito, ypač 1-oji ir 2-oji geriausios alternatyvos [22].

Apdoroti įvairių atrankų rezultatus galima kompiuterinių sistemų pagalba, tai vadinama sprendimų palaikymo sistema. Siekiant geresnio, tikslaus ir objektyvaus sprendimo rezultato, naudojamas metodas, kurį galima pritaikyti sprendimų palaikymo sistemose. Daugiatiksliis optimizavimo metodas pagal santykio analizę (MOORA) yra vienas iš MADM metodų, kuris gali atlikti atributų kriterijų vertės apskaičiavimą, kuris padeda priimti teisingą sprendimą. MOORA metodas yra vienas iš labai paprastų MCDM įgyvendinimo būdų, galinčių padėti pasirinkti efektyviausią variantą iš kelių alternatyvų [23].

Įgyvendinant nekilnojamo turto projektus, svarbi netik pačio objekto statyba, bet ir jo geografinė vieta. Vietos pasirinkimo sprendimą galima priimti pasitelkus daugiakriterius vertinimus. Tuo tikslu atliekami tyrimai pvz. logistikos centro vietos parinkimui, nes logistinė veikla tampa vis svarbesnė didėjant pasaulinei konkurencijai. Dėl šios priežasties kuriami logistikos centrai siekiant užtikrinti efektyvesnę statybų realizavimą. Domėjimasis logistikos centrais didėja visame pasaulyje. Taikant MOORA metodą buvo siekiama nustatyti logistikos centrų steigimą Juodosios jūros regione. Tam tikslui buvo pasirinkta 18 miestų ir taikomi 10 skirtingų kriterijų [24]:

- gyventojų skaičius;
- eksportas;
- importas;
- pramonė ir elektros energija;
- oro transportas;

- geležinkelis;
- krovinių tvarkymas (tonos);
- transporto priemonės tūris viename km (atstumas miestuose);
- krovinių kiekis km (pervežimai).

Kadangi logistikoje yra daugiau nei vienas kriterijus ir daugiau nei viena alternatyva, problemų analizė atliekama naudojant MOORA metodą, kuris dažnai naudojamas kai yra daugiau kriterijų. Šiuo tyrimu siekta nustatyti tinkamiausią Juodosios jūros regiono miestą logistikos centro statybos vietai. Rezultatai parodė, kad optimaliausias pasirinkimas turi ir oro, ir jūrų transporto susisiekimo galimybių, tai yra daugiausiai žmonių turintis regiono miestas, atstumas iki kitų miestų yra minimalus. Be to, eksporto ir importo vertės yra didesnės, lyginant su daugeliu regiono miestų [24].

Brauers ir Zavadskas 2010 m. patobulino MOORA metodą, pridėdami papildomą sandaugos formą, todėl metodui buvo suteiktas MULTIMOORA pavadinimas. Metodai MOORA ir MULTIMOORA leidžia išvengti subjektyvumo, nes nereikalauja nustatyti nagrinėjamų kintamųjų reikšmingumo koeficientų (svorių) [25].

Daugiakriterio vertinimo metodai palengvina sprendimų priėmimą įvertinant rodiklių (kriterijų) reikšmingumą. Daugiakriteriuose metoduose dažniausiai išskiriami pagrindiniai vertinimo metodų komponentai [26]:

- tikslų ir juos atitinkančių rodiklių sistemos sudarymas, jų reikšmingumo nustatymas;
- sprendimų matricos suformavimas ir normalizavimas, pritaikant daugiakriterius sprendimų priėmimo (MCDM) metodus;
- gautų rezultatų interpretavimas ir sprendimų priėmimas.

Daugiakriteris sprendimų priėmimas (*angl. Multiple Criteria Decision Making – MCDM*) leidžia įvertinti sprendimų alternatyvas atsižvelgiant į daugelį tikslų (kriterijų). MCDM problemos (uždaviniai) gali būti skirstomi į dvi plačiausias kategorijas [26]:

- daugiataikslų sprendimų priėmimą (*angl. Multiple Objective Decision Making – MODM*) – šioje srityje nagrinėjamos begalinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos;
- apsisprendimą daugelio rodiklių atžvilgiu (*angl. Multiple Attribute Decision Making – MADM*) – šioje srityje nagrinėjamos baigtinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos. Sprendimų paieškai taikomi diskrečiojo optimizavimo metodai, daugiamačių atstumų matavimu paremti metodai (SAW, AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ir kt.).

MADM modeliai sudaromi atsižvelgiant į analizės tikslą: gali būti siekiama pasirinkti tinkamiausią produktą ar paslaugą ir pan. Tikslą atitinkančioms dimensijoms priskiriami jas identifikuojantys rodikliai – taip suformuojama rodiklių sistema. Remiantis rodiklių sistema, sudaroma atsakų sprendimo matrica X . Jos elementai x_{ij} atitinka i -tosios alternatyvos atsaką pagal j -tąjį kriterijų. Ši matrica pirmiausia turi būti apdorojama vertikaliai (normalizuojamos atitinkamų kriterijų reikšmės), tuomet horizontaliai (įvertinama kiekviena alternatyva). Priklausomai nuo naudojamų metodų, kriterijai gali būti kiekybiniai arba kokybiniai. Taip pat kriterijus galima skirstyti į objektyvius ir subjektyvius. Objektyvūs kriterijai, pavyzdžiui, investicijų kaštai, darbo užmokestis, paprastai išreiškiami piniginiiais ar kitais kiekiniais dydžiais. Subjektyvūs kriterijai dažniausiai yra kokybiniai [27].

MCDa metodai taikomi:

- išsirinkti geriausią iš n alternatyvų;
- rūšiuoti n alternatyvas, kurios gali būti rikiuojamos pagal pirmenybes;
- reitinguoti n alternatyvas nuo geriausios iki prasčiausios;
- nustatyti pagrindinius tam tikros alternatyvos bruožus.

Atliktų vertinimų aprašymai ir pritaikymo sritys leidžia sudaryti daugiakriterių metodų kvalifikavimo sistemą (žr. 4 lentelę) [27].

4 lentelė. Daugiakriterių metodų kvalifikacija [27]

Metodų klasė	Informacija, gauta iš sprendimą priimančio asmens, apie rodiklius	Metodų pavadinimai
Metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija,	Kiekybiniai matavimai	SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, COPRAS, COPRAS-G, ARAS, MOORA, VIKOR, MULTIMOORA
Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai	Kokybiniais matavimams suteikiamas kiekybinis pavidalas	AHP, FUZZY
Verbalinės analizės sprendimų metodai	Kokybiniai matavimai, nepereinama prie kiekybinių kintamųjų	ZAPROS, PARK, ORKLASS, CLARA, DIFLASS, CIKL
Lyginamosios preferencijos metodai	Kiekybiniai ir kokybiniai matavimai	ELECTRE, PROMETHEE, MELCHIOR, UTA, MAUT, TACTIC

Renkantis daugiakriterius metodus dažnai susiduriama su sudėtingomis sprendimų problemomis pagal neapčiuopiamus ir prieštaringus kriterijus. Egzistuoja daugybė daugiakriterių sprendimų priėmimo (MCDM) metodų, leidžiančių įvertinti prieštaraujančių materialių / nematerialių kriterijų prioritetus ir savo ruožtu naudoti juos, norint pasirinkti geriausią sprendimo alternatyvą. Tačiau vartotojui gali būti neaišku, kurį iš jų naudoti. Todėl yra atlikta nemažai įvairių MCDM metodų analizių ir vertinimų, norint išsiaiškinti, ar yra loginių, matematinių priežasčių, kodėl vienas metodas yra geresnis už kitą. Yra pateikta 16 kriterijų, kurie gali būti naudojami vertinant įvairius MCDM metodus. Siūlomi kriterijai ir kelios jų vertinimo gairės padeda vartotojams įvertinti šiuos MCDM metodus [28].

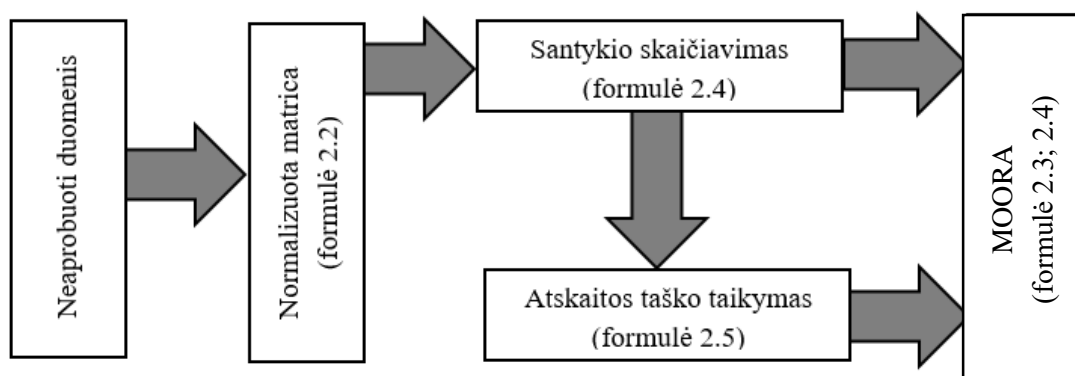
Įvairiems metodams palyginti ir parinkti yra naudojami šie 16 kriterijų [27, 28]:

1. Skaičiavimų paprastumas.
2. Struktūros detalumas: išsamumas ir gylis.
3. Aiški prioritetų rangavimo sistema.
4. Logiška, matematinė procedūra.
5. Prioritetų nustatymas pagrįstas aksiomomis.
6. Matavimo skalės aiškumas.
7. Sprendimų sintezė su besijungiančiomis funkcijomis.
8. Kiekybinių parametų rangavimo sistema.
9. Kokybinių parametų apibendrinimo sistema.
10. Reitingo išsaugojimas ir atstatymas.
11. Jautrumo analizė.
12. Sprendžiamų problemų validumas.

13. Sprendimo rezultatų prognozavimas.
14. Priklausomybių ir grįžtamojo ryšio apibendrinamumo aspektas.
15. Pritaikymas sprendžiant konfliktines situacijas.
16. Patikimumo ir galiojimo laiko nustatymo galimybė.

2.1. MOORA metodas

MOORA metodas pirmą kartą buvo pasiūlytas 2006 m. mokslininkų Brauers ir Zavadsko. MOORA metodas leidžia išvengti subjektyvumo, nes nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumo koeficientų. Metodo uždavinių sprendimo algoritmo blokinėje schemoje (žr. 11 pav.) pateiktos sunumeruotos formulių naudojimo sekos [29].



11 pav. MOORA metodo sprendimo algoritmo schema [34]

MOORA metodą sudaro dvi dalys [29]:

- santykio skaičiavimo;
- atskaitos taško teorijos taikymo.

Metodo skaičiavimas prasideda iš rodiklių ir alternatyvų matricos sudarymo 2.1 formulė [30]:

$$x_{ij}; \quad (2.1)$$

čia x_{ij} – yra j alternatyvos atsakas į i tikslą.

MOORA metodas nustato santykio sistemą, kurioje kiekvienas atsakas į alternatyvą lyginamas su vardikliu, kuris yra tipiškas visoms alternatyvoms, susijusioms su tuo tikslu ir apskaičiuojamas pagal 2.2 formulę [31]:

$$N^{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}; \quad (2.2)$$

čia x_{ij} – yra j alternatyvos atsakas į i tikslą, $i = 1, 2, \dots, n$ -tikslas, $j = 1, 2, \dots, m$ -alternatyvos.

Vertinant rodiklius jie gali skirtis savo reikšmingumu, todėl kiekvienas normalizuotas rodiklis dauginamas iš atitinkamo nustatyto reikšmingumo, lemiančio apsisprendimą alternatyvos atžvilgiu, apskaičiuojamas pagal 2.3 formulę [32]:

$$N^{x_{ij}} = w_i * x_{ij}; \quad (2.3)$$

čia w_i – rodiklio reikšmingumo vertė, x_{ij} – yra j alternatyvos atsakas į i tikslą.

Normalizuotos reikšmės priklauso intervalui $[0;1]$. Rodiklių reikšmės yra sumuojamos, jei reikšmė yra maksimizuojama, arba atimamos, jei reikšmė minimizuojama. Santykio skaičiavimas 2.4 formulė [33]:

$$N^{Yj} = \sum_{i=1}^{i=g} N^{x_{ij}} - \sum_{i=g+1}^{i=n} N^{x_{ij}}; \quad (2.4)$$

čia $i = 1, 2, \dots, g$ – maksimizuojamų rodiklių skaičius, $i = g + 1, g + 2, \dots, n$ – minimizuojamų rodiklių skaičius, N^{Yj} – normalizuotas alternatyvos j vertinimas atsižvelgiant į visus tikslus. Šioje formulėje tiesiškumas susijęs su matmenų matavimais intervale $[0; 1]$. N^{Yj} eilės reitingas rodo galutinę pirmenybę.

Geriausia alternatyva laikoma ta, kurios Y reikšmė yra didžiausia, o blogiausia, kurios Y reikšmė yra mažiausia. Pagal normalizuotų rodiklių reikšmes randamas atraminis tikslo taškas (idealiai geriausia alternatyva), kurio reikšmės yra nustatomos taip: $r_j = \text{MAX}_i x_{ij}$, jei rodiklio geriausia reikšmė yra maksimali ir $r_j = \text{MIN}_i x_{ij}$, jei rodiklio geriausia reikšmė yra minimali. Iš maksimalios reikšmės rodiklių sudaroma maksimumo alternatyva, kuri vėliau lyginama su kiekviena rodiklio alternatyva [34].

Toliau ieškomas atstumas iki optimalaus (atraminio) taško pagal 2.5 formulę. Alternatyvos yra tuo geresnės, kuo jos yra artimesnės idealiajam taškui. Galutinis alternatyvos rangas nustatomas remiantis metrika ir Min- Max metodu [34]:

$$\frac{\min}{i} \left\{ \frac{\max}{j} |r_j - x_{ij}| \right\}; \quad (2.5)$$

čia x_{ij} – yra normalizuotas i -osios alternatyvos veikimas pagal j -ąjį kriterijų, r_j yra j -oji atskaitos taško koordinatė, t. y. labiausiai pageidaujami visų alternatyvų rodikliai, atsižvelgiant į j -tąjį kriterijų.

Daugiatikslio MOORA metodo taikymas apima plačią problemų vertinimo ir sprendimo priėmimo skalę įvairiose ekonomikos, aplinkos, socialinėse, statybos ir fizikos srityse.

2.2. Daugiakriteris vertinimo metodas TOPSIS

TOPSIS yra vienas iš daugelio kriterijų sprendimų priėmimo metodų, kurį pirmą kartą pristatė Yoon 'as ir Hwang 'as [35]. TOPSIS metodo naudojimo principas yra tas, kad pasirinktos alternatyvos rezultatas turi būti arčiausiai iki teigiamo idealaus sprendinio ir toliausiai nuo neigiamo idealaus sprendinio. Geometrinis taškas nustatomas, naudojant Euklido atstumą santykiniam alternatyvos artumui nustatyti iki optimalaus sprendimo. Teigiamas idealus sprendimas apibrėžiamas, kaip visų geriausių verčių suma kiekvienam požymiui, o neigiamas idealus sprendimas susideda iš visų blogiausių verčių pagal kiekvieną požymį. Naudojant TOPSIS metodą būtina atsižvelgti tiek į teigiamo idealaus sprendimo atstumą, tiek į atstumą iki neigiamo idealaus sprendimo. Šis metodas plačiai naudojamas sprendimų priėmimui užbaigti. Taip yra dėl koncepcijos paprastas, lengvai suprantamas, efektyvus skaičiavimas su galimybe išmatuoti santykį [36]. Daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai gali būti taikomi [37]:

- pasirinkimo problematikai;
- rūšiavimo problematikai;
- rangavimo problematikai;
- apibūdinimo problematikai.

Tarkim, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių.

TOPSIS metodo skaičiavimo etapai[38]:

1. sukuriama vertinimo matrica, susidedanti iš m alternatyvų ir n kriterijų, kiekvienos alternatyvos ir kriterijų sankirta nurodoma kaip X_{ij} ;
2. sprendimų matrica yra normalizuojama:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}; \quad (2.6)$$

3. apskaičiuojama svertinė normalizuota sprendimų priėmimo matrica:

$$V_{ij} = X_{ij} \times W_{ij}; \quad (2.7)$$

čia X_{ij} – yra j alternatyvos ir i kriterijaus sankirta, $i = 1, 2, \dots, n$ -tikslas, $j = 1, 2, \dots, m$ -alternatyvos,

W_{ij} – yra rodiklio reikšmingumas.

4. apskaičiuojamas Euklido atstumas iki idealaus geriausio sprendimo [39]:

$$S_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0,5}; \quad (2.8)$$

taip pat apskaičiuojamas Euklido atstumas iki idealaus blogiausio sprendimo:

$$S_i^- = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2 \right]^{0,5}; \quad (2.9)$$

5. apskaičiuojamas naudingumo balas [40]:

$$S_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}; \quad (2.10)$$

6. atliekamas alternatyvų reitingavimas.

Santykinio artumo reikšmė atspindi santykinį alternatyvų pranašumą. Didesnis S_i rodo, kad alternatyva i yra santykinai geresnė, o mažesnė S_i rodo, kad ši alternatyva yra santykinai prastesnė.

Kaip matyti iš TOPSIS metodo žingsnių, TOPSIS metodo sprendimo rezultatas yra susietas su idealiu geriausiu sprendimu ir idealiu blogiausiu sprendimu, o šie sprendimai yra susiję su kiekvieno atributo reikšmingumu ir skaitine reikšme.

2.3. Ekspertų apklausa

Pamatų, skirtų silpniems gruntams apšiltinimo sistemų efektyvumo vertinimui MOORA ir TOPSIS metodais, buvo atlikta anoniminė statybos ekspertų apklausa, kad būtų nustatytas pasirinktų kriterijų reikšmingumas. Apklausos dalyvių buvo prašoma įvertinti pasirinktų apšiltinimo sistemų alternatyvų rodiklius (apšiltinimo medžiagos 1 metro kainą, šilumos laidumą, tankį, svorį, stiprį gniuždant ir reikalingą betono kiekį), skiriant rodikliams balus didėjančia seka (mažiausias balas santykinai nereikšmingiausias rodiklis, didžiausias balas - reikšmingiausias rodiklis).

Buvo sudaryta alternatyvų grupė apimanti:

- „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemas.

Rodiklių reikšmingumo nustatymas atliekamas turint atitinkamą kompetenciją arba atliekant ekspertų apklausą. Atliekant ekspertų apklausą, vertinamieji rodikliai buvo sureitinguoti ir įvertinti balais nuo mažiausio iki didžiausio reikšmingumo, lemiančio apsisprendimą, renkantis pamatų rostverko apšiltinimo sistemas. Gavus rodiklių reikšmingumo vertinimus, nustatomas rodiklių prioritetas (žr. 4 lentelę).

Ekspertizės patikimumas gali būti išreikštas Kendallo konkordancijos koeficientu, nusakančiu atskirų nuomonių panašumo laipsnį. Skaičiuojant Kendallo konkordancijos koeficientą, ekspertų vertinimai ranguojami. Tarkime, n ekspertų įvertino k alternatyvų. Pirmiausia, kiekviename stulpelyje esančios reikšmės keičiamos rangais. Visų pasirinktų ir tiriamų kriterijų rangų nuokrypių nuo vidutinės reikšmės kvadratų suma S indikuoja, ar ekspertų kriterijų vertinimai labai skiriasi nuo bendrojo vidutinio vertinimo. Todėl ekspertų apklausos patikimumas gali būti išreiškiamas ekspertų nuomonių konkordancijos koeficientu W . Konkordancijos koeficiento W reikšmių aibė yra $[0,1]$, t. y. $0 \leq W \leq 1$ [41].

Kuo didesnis W , tuo stipresnė analizuojamų kintamųjų koreliacija. Jei ekspertų vertinimai prieštaringi, konkordancijos koeficiento reikšmė W artėja prie 0, jei ekspertų vertinimai panašūs - W artėja prie 1. Kai visos ranguotės sutampa, tokiu atveju $W = 1$.

Norint pasinaudoti konkordancijos koeficiento skaičiavimais, reikalingas pasirinktų kriterijų reitingavimas. Ekspertai atlieka reitingavimą, kai pačiam svarbiausiam kriterijui suteikiamas rangas lygus vienetui, antram pagal svarbą – rangas du ir t. t. Apklausos rezultatai pateikti 5 lentelėje. Gauti duomenys panaudojami nuomonių suderinamumui patikrinti.

Vidutinio rango nustatymas:

$$t_j^- = (\sum_{k=1}^r t_{jk})/r; \quad (2.11)$$

čia t_{jk} – k eksperto j -ojo rodiklio įvertinimas (kur „1“ – aukščiausias, „7“ – žemiausias įvertinimo balas); r – ekspertų skaičius.

5 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai („U tipo“ elemento liktinių klojinių apšiltinimo sistema)

	Minimizuoti						Maksimizuoti
12 Ekspertų	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/(m²×K)	Betono kiekis, m³/m	Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždam, kPa
Rangų suma	57	71	20	76	48	21	43
Vidutinis rangas	8,77	10,92	3,08	11,69	7,38	3,23	6,62
Prioritetas	3	2	6	1	5	7	4
Rodiklio subjektyvus reikšmingumas (santykinis svoris)	0,1696	0,2113	0,0595	0,2262	0,1429	0,0625	0,1280

Nuokrypio nuo rangų vidurkio kvadratų sumos nustatymas:

$$S = \left[\sum_{j=1}^n t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2; \quad (2.12)$$

čia n – efektyvumo (tiriamųjų) rodiklių skaičius.

Konkordancijos koeficiento nustatymas [42]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{r^2 \cdot (n^3 - n)}; \quad (2.13)$$

čia n – efektyvumo (tiriamųjų) rodiklių skaičius, r – ekspertų skaičius.

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

$$X^2 = \frac{12S}{r \cdot n \cdot (n+1)}; \quad (2.14)$$

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

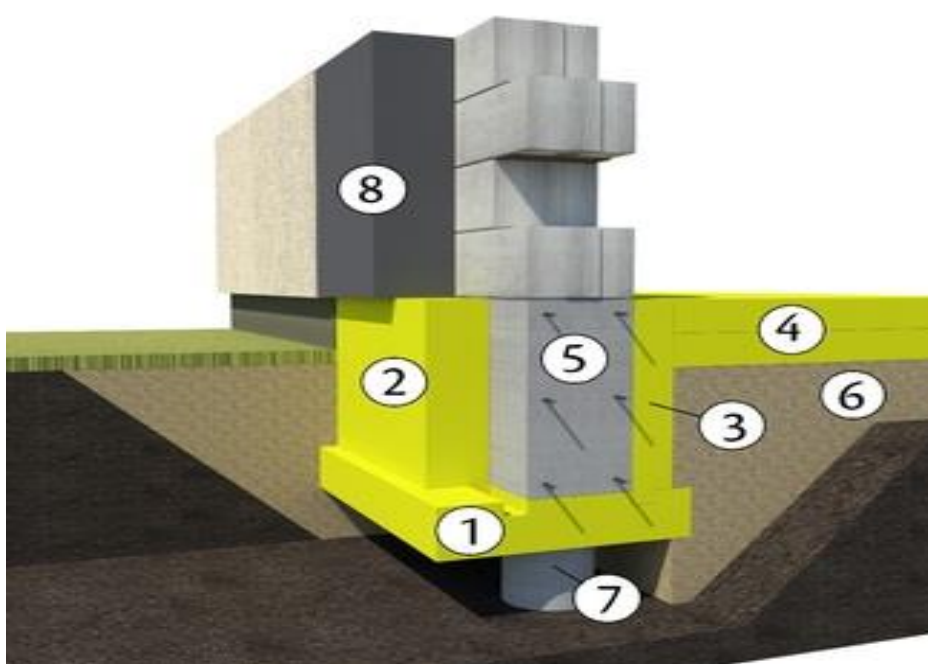
$$x^2 > x^2_{lent.} \quad (2.15)$$

3. Pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumo daugiakriteris vertinimas

Tyrimas atliekamas vertinant gyvenamojo pastato pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemų efektyvumą. Tyrimui naudojami MOORA ir TOPSIS daugiakriteriai vertinimo metodai. Metodų rezultatai palyginami tarpusavyje. Tyrimui pasirinktas apšiltinimo sistemų modelis:

- „U tipo“ elementų liktinių klojinių apšiltinimo sistema (polinių pamatų rostverko apšiltinimui).

Tyrimo modelis pateiktas 12 paveikslėlyje. Daugiakriteriu „MOORA“ metodu vertinant „U tipo“ elementų liktinių klojinių apšiltinimo sistemas, pasirinktas klojinio izoliacijos storis (200x100x100 mm.) atitinkantis A++ klasės pastato rostverko apšiltinimui keliamus reikalavimus [1.8].

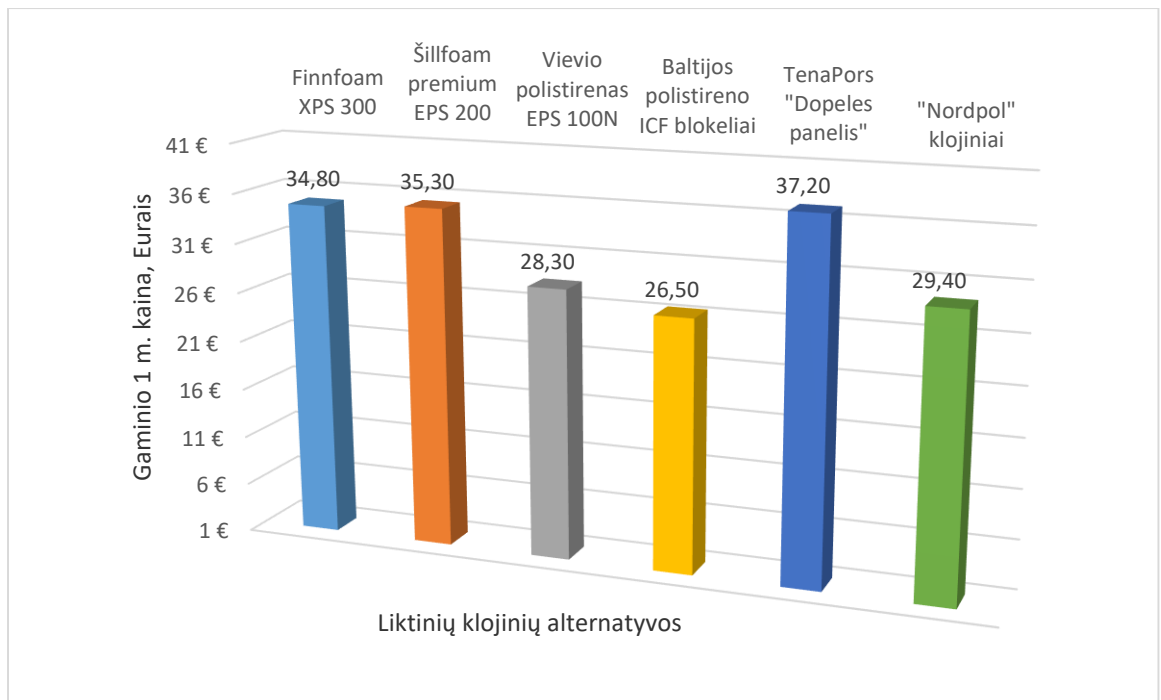


12 pav. Tyrimo modelis – liktinių klojinių „U tipo“ apšiltinimo sistema (1-3 – liktinio klojinio plokštės, 4 – grindų termoizoliacija, 5 – armuotas betonas, rostverkas, 6 – sutankintas gruntas, 7 – G/b polius, 8 – sienos termoizoliacija)[1.12]

Vertinimui pasirinkti „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemų rodikliai:

- **Elemento liktinio klojinio 1 metro kaina, €/m.** Statybinių medžiagų kaina yra reikšmingas rodiklis renkantis produktą, tačiau mažiausia kaina negali būti pagrindiniu apsisprendimo rodikliu, nes kokybiškos prekės didesnę kainą lemia brangesnės sudedamosios medžiagos ir priedai, dėl kurių prekės kokybė mažai arba visiškai nekinta ilgalaikėje perspektyvoje.

Visų alternatyvų kainos atvaizduotos grafiškai (žr. 13 pav.).

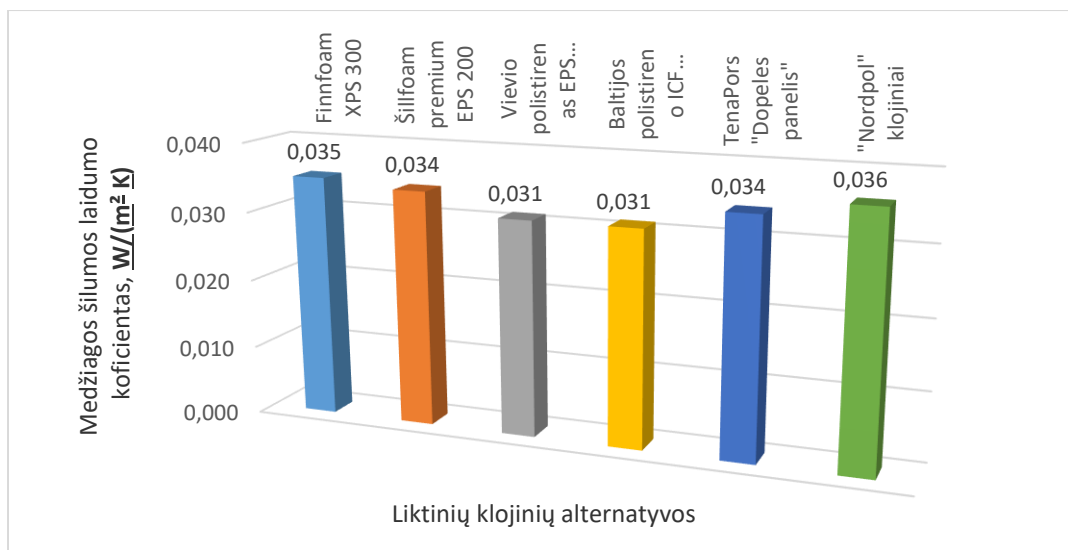


13 pav. Liktinių klojinių alternatyvų 1 metro kainos

Brangiausia alternatyva yra TenaPors „Dopeles panelis“, jos aukštesnę kainą lemia armatūros strypai jungiantys klojinių sienelės, brangiausia alternatyva nuo pigiausios skiriasi 40,4 %. Šis rodiklis yra minimizuojamas, todėl aktuali mažiausia kaina, kuri yra „Baltijos polistireno“ klojinių alternatyvos.

- **Deklaruojamas medžiagos šilumos laidumo koeficientas, $W/(m^2 \times K)$** . Vienas iš svarbiausių termoizoliacinių medžiagų fizikinių parametrų yra šilumos laidumas, nes jis apibūdina medžiagos sugebėjimą praleisti šilumos srautą. Šilumos laidumas yra būdingas kiekvienai vienalytei medžiagai ir parodo, koks šilumos srautas (W) pereina per 1 m storio ir 1 m² ploto vienalytės medžiagos sienelę, kai temperatūros tarp šios sienelės priešingų paviršių skirtumas lygus 1 K (ar 1°C). Ši medžiagos savybė, nurodanti medžiagos laidumą šilumai, vadinama šilumos laidumo koeficientu λ ir išreiškiama $W/(m^2 \cdot K)$. Kuo žemesnė medžiagos ar statybos produkto šilumos laidumo koeficiento vertė nustatytais sąlygomis, tuo geresnės jos izoliacijos savybės. Deklaruojamasis λ_D : gamintojo garantuojamas dydis. Deklaruojamoms vertėms nustatyti naudojami išmatuoti vidutiniai laboratorinių (λ_{10}) verčių dydžiai, kurie apskaičiuojami su 90 % tikimybe ir patikimumu, įvertinant matavimų nuokrypas, paklaidas, savybių pokyčius [1.11].

Kiekvienos liktinių klojinių alternatyvų medžiagos šilumos laidumo koeficientai atvaizduoti grafiškai 14 paveikslėlyje.

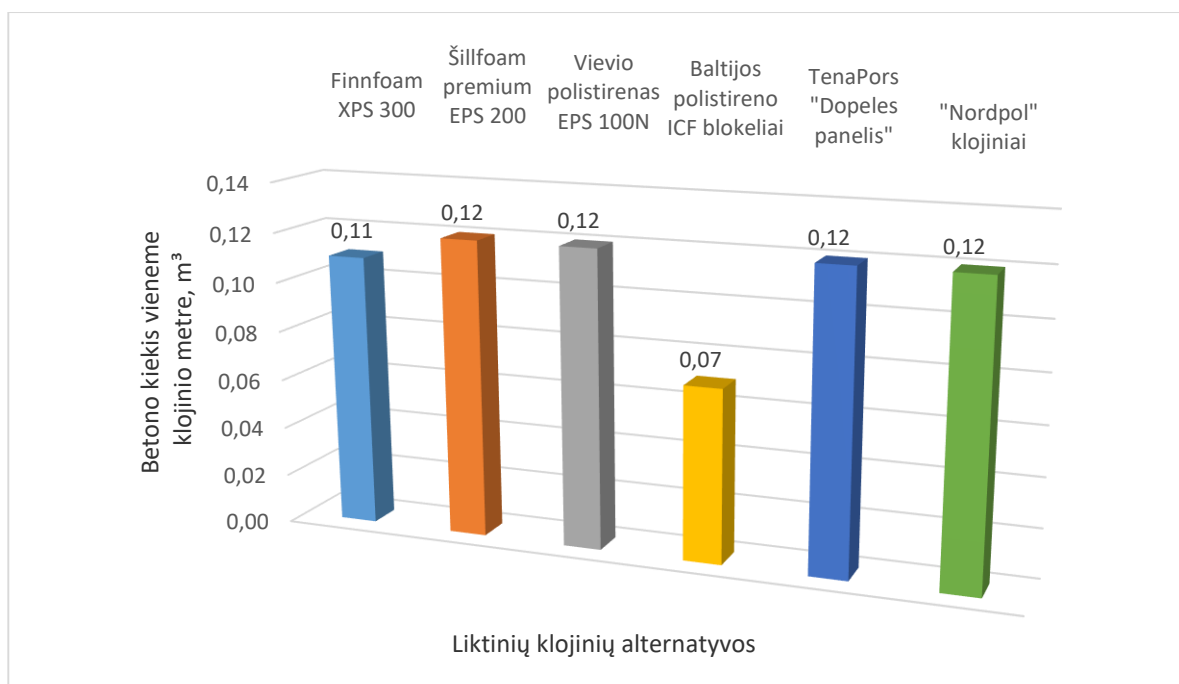


14 pav. Liktinių klojinių alternatyvų šilumos laidumo koeficientai (laidumo matavimo vienetai- $W/(m^2K)$).

Medžiagos šilumos laidumo koeficiento rodiklis yra minimizuojamas, todėl yra aktuali mažiausia vertė, kurią atitinka dvi (Vievio polistireno ir Baltijos polistireno) alternatyvos. Dviejų alternatyvų mažiausios vertės nuo didžiausios „Nordpol“ liktinių klojinių alternatyvos skiriasi apie 16 %.

- **Elemento liktinio klojinio, betono kiekis, m^3/m .** Betono kiekis gali nežymiai skirtis atsižvelgiant į gaminio gamintoją. Skirtumai yra minimalūs, tačiau esant dideliame pamatų rostverko kiekiui gali lemti apsisprendimą.

Liktinių klojinių alternatyvų, reikalingo betono kiekio užpildyti 1 metrą klojinio, kiekiai kubais atvaizduoti grafiškai 15 paveikslėlyje.

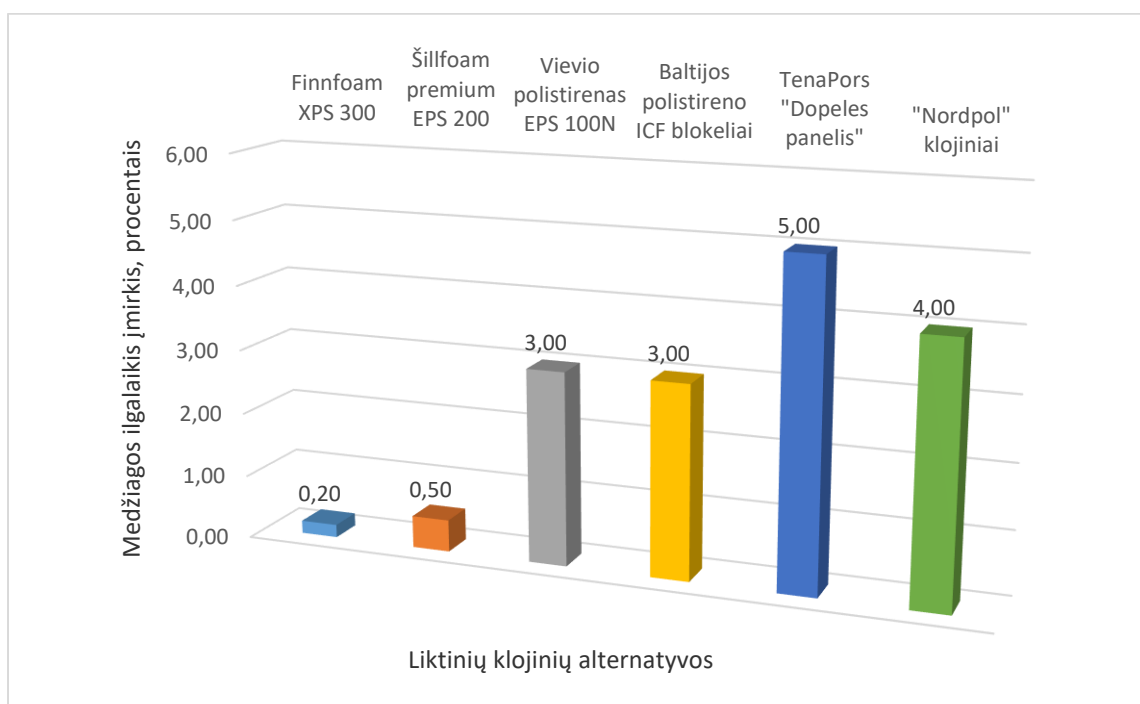


15 pav. Liktinių klojinių alternatyvų betono kiekis viename metre gaminio

Betono kiekio viename klojinio metre rodiklis penkioms alternatyvoms yra labai panašus ar vienodas, o „Baltijos polistireno“ ICF blokeliai turi specialias „sieneses“, jungiančias klojinio elementus, kurios sumažina betono kiekį. Šis rodiklis yra minimizuojamas ir mažiausia vertė nuo didžiausių skiriasi apie 42 %.

- **Medžiagos ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, %.** Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus nėra tiesiogiai susietas su naudojimo sąlygomis, bet pripažintas kaip tinkama kai kurių gaminių, naudojamų tam tikromis sąlygomis, bandymo sąlyga. Ilgalaikis įmirkis įtakoja termoizoliacines medžiagos savybes, mažinant jų efektyvumą ir yra gana reikšmingas kriterijus renkantis apšiltinimo medžiagas, kurios ribojasi su gruntu.

Liktinių klojinių alternatyvų, apšiltinimo medžiagos ilgalaikis įmirkis procentais atvaizduotas grafiškai 16 paveikslėlyje.

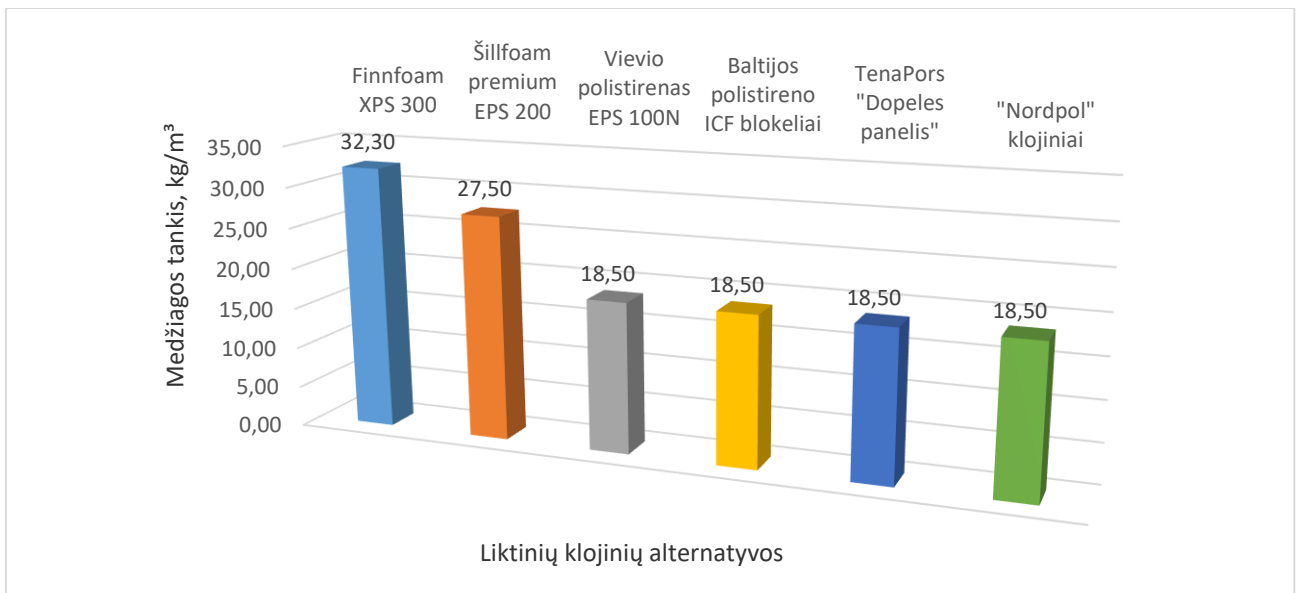


16 pav. Liktinių klojinių alternatyvų ilgalaikis įmirkis

Medžiagos ilgalaikis įmirkis vienas aktualesnių rodiklių, renkantis liktinius klojinius, šioje alternatyvų grupėje matomas gana ryškus dviejų alternatyvų skirtumas, kurį lemia medžiagos gamybos technologija ir priedai. Šis rodiklis minimizuojamas ir mažiausia „Finnfoam“ XPS alternatyvos įmirkio vertė net 96 % skiriasi nuo didžiausios alternatyvos įmirkio.

- **Medžiagos tankis, kg/m³.** Termoizoliacinės medžiagos tankis lemia produkto šilumos laidumo savybes ir svorį, todėl yra gan svarbus rodiklis lemiantis apsisprendimą.

Liktinių klojinių alternatyvų medžiagos tankis atvaizduotas grafiškai 17 paveikslėlyje.

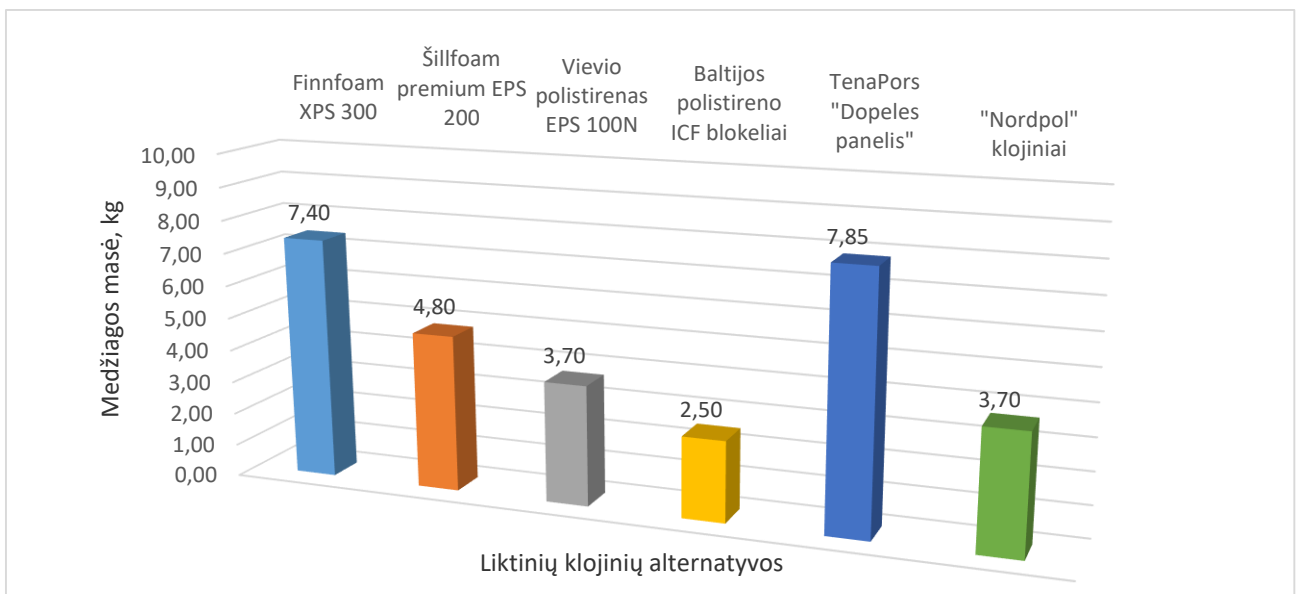


17 pav. Liktnių klojinių alternatyvų medžiagos tankis

Medžiagos tankio rodiklis minimizuojamas ir net keturių alternatyvų vertės yra mažiausios, ir nuo didžiausios skiriasi apie 43 %.

- **Elemento liktinio klojinio 1 metro masė, kg/m.** Atsižvelgiant į gaminio matmenis ir medžiagos tankį, liktinio klojinio mažesnis svoris prisideda prie lengvesnio ir greitesnio montavimo.

Liktinių klojinių alternatyvų „U tipo“ elemento 1 metro masė, atvaizduota grafiškai 18 paveikslėlyje.

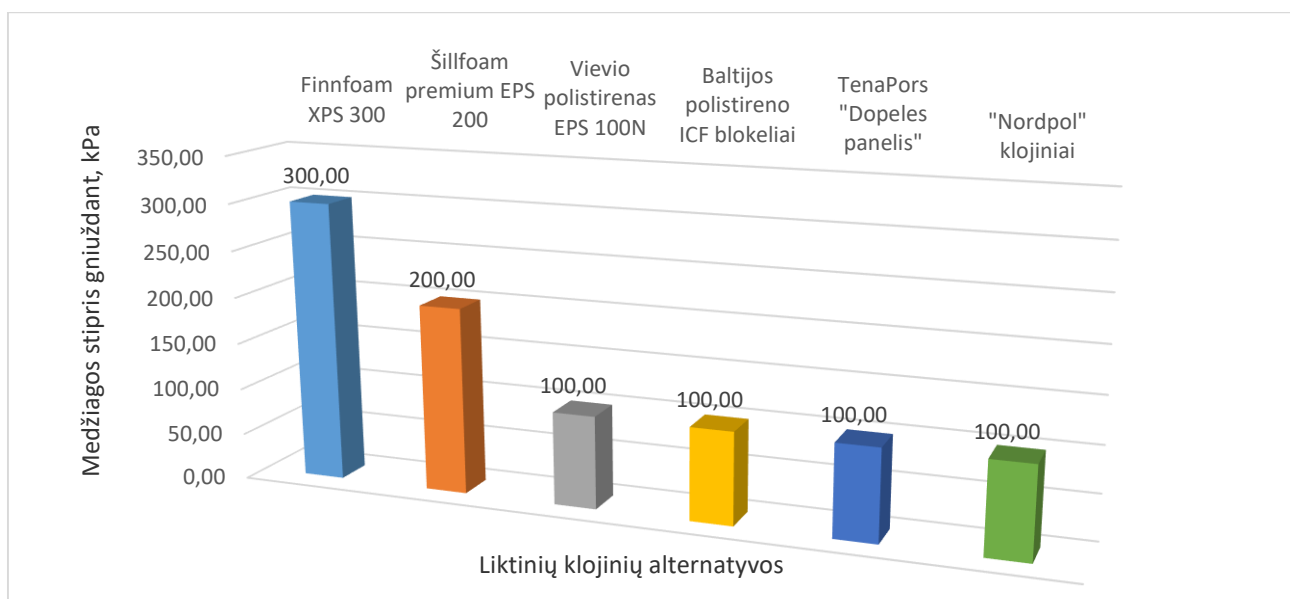


18 pav. Liktnių klojinių alternatyvų vieno metro medžiagos masė

Alternatyvos TenaPors „Dopeles panelis“ masę lemia jo konstrukcijoje naudojama armatūra, o „Finnfoam“ XPS alternatyvos masę lemia medžiagos tankis ir gamybos technologija. Šis rodiklis yra minimizuojamas ir mažiausia „Baltijos polistireno“ alternatyvos vertė 68 % skiriasi nuo didžiausios alternatyvos.

- **Medžiagos stipris gniuždant, kPa.** Gniuždymo stipris yra veiksmingas būdas išmatuoti, kiek apkrovos gali atlaikyti paviršius ar medžiaga. Šios rūšies stiprumas bandomas atliekant jėgos nukreipimą žemyn ant objekto viršaus, suporuotą su lygiaverte ir priešinga jėga, nukreipta aukštyn apačioje. Stipris gniuždant ypač svarbus termoizoliacinėms medžiagoms naudojamoms statinių pamatuose, nes jos iš dalies perima apkrovas ir turi atlaikyti šoninį grunto spaudimą.

Liktinių klojinių alternatyvų, „U tipo“ elemento apšiltinimo medžiagos stipris gniuždant, atvaizduotas grafiškai 19 paveikslėlyje.

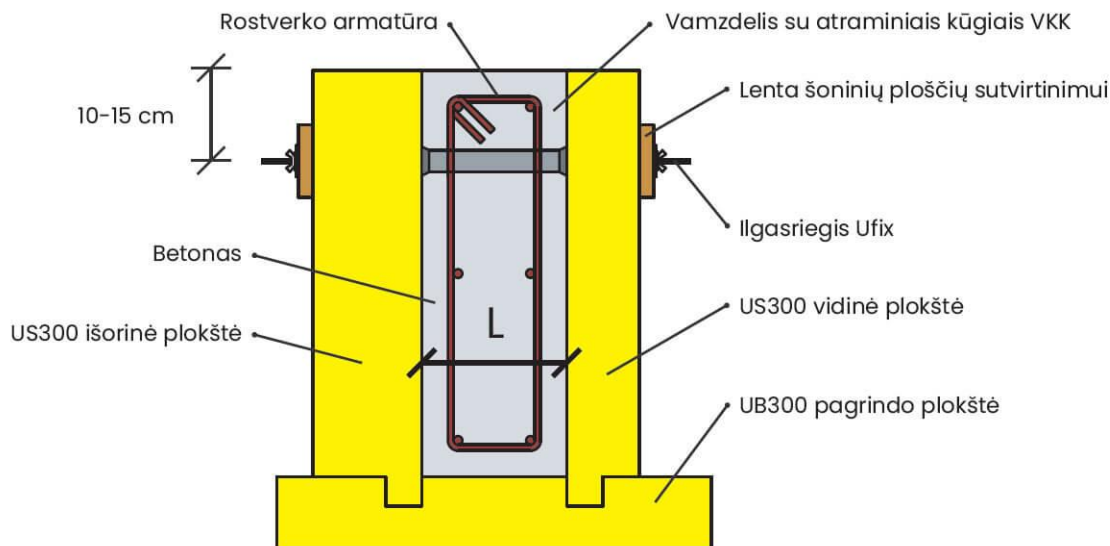


19 pav. Liktinių klojinių alternatyvų medžiagos stipris gniuždant

Medžiagos stiprio gniuždant rodiklis yra maksimizuojamas ir didžiausia „Finnfoam“ XPS alternatyvos vertė nuo mažiausios skiriasi 66,66 %.

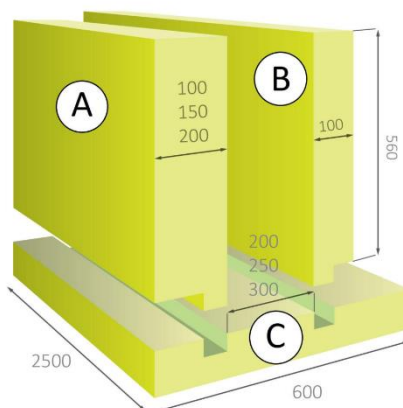
3.1.1. „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemų daugiakriteriai vertinimai

„U tipo“ elemento liktinių klojinių (20 pav.) daugiakriterio vertinio tyrimo vertinamos šešios liktinių klojinių apšiltinimo sistemų alternatyvos. Kurios skiriasi medžiagų sudėtimi, gaminių matmenimis ir montavimo technologijomis.



20 pav. Tyrimo modelis – liktinių klojinių „U tipo“ apšiltinimo sistema [1.20]

Ekstrudinio polistireninio putplasčio „Finnfoam“ liktiniai klojiniai (XPS 300). Įrengiant „Finnfoam“ „U tipo“ liktinį klojinį, vienu etapu atliekami du darbai: suformuojamas klojinys rostverko išliejimui ir iš trijų pusių apšiltinami pamatai (žr. 21 pav.). Darbas atliekamas daug greičiau, nereikia nuomotis bei įrenginėti klojinių [1.20].



21 pav. „Finnfoam“ „U tipo“ liktiniai klojiniai (A- klojinio išorinis elementas, B – klojinio vidinis elementas, C - klojinio apatinis elementas) [1.20]

Polistireninio putplasčio „Šillfoam Premium“ liktiniai klojiniai (EPS 200). „Šillfoam Premium“- tai formuoto polistireninio putplasčio gaminytis tinkamas naudoti drėgnoje aplinkoje ir atlaiko dideles apkrovas (žr. 22 pav.). „Šillfoam Premium“ šilumos laidumo koeficientas $\lambda_d = 0,034 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Šis gaminytis įgeria vandens – ne daugiau nei 0,5 proc., atlaiko 200kPa apkrovas prie 10% deformacijos. Gaminys dažomas rausva spalva, kuri yra šio gaminytis skiriamoji spalva. Gaminio storis 50-350mm, plotis-600mm, ilgis-1200mm [1.21].



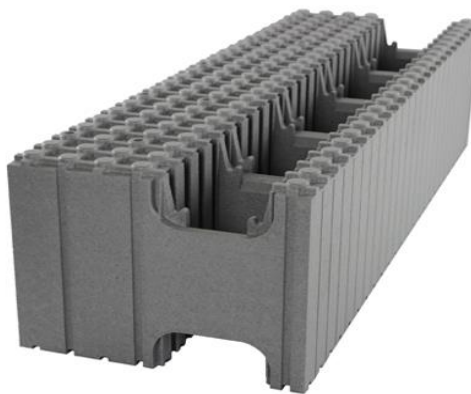
22 pav. „ŠILLFOAM PREMIUM“ U tipo liktinis klojinys [1.21]

Polistireninio putplasčio - neoporo „Vievio polistirenas“ liktiniai klojiniai (EPS 100N). Neriboti gaminių matmenys, atitinkantys bet kokio projekto reikalavimus (žr. 23 pav.). Labai geros termoizoliacinės savybės, nėra jokių šalčio tiltelių, nėra jokios ryšio armatūros, gaminytis vientisas, gaminamas toks, koks suprojektuotas. Greitas montavimas objekte, gaminamos vidines ir išorines kampines detales, esant reikalui loviai gali būti keleto metrų ilgio [1.22].



23 pav. „VIEVIO POLESTIRENAS“ „U tipo“ liktinis klojinys [1.22]

„Baltijos polistireno“ ICF blokeliai (EPS 100N). Šio tipo apšiltinimo sistema montuojasi iš atskirų blokelių (žr. 24 pav.) ir gali būti efektyviai naudojama ten kur reikalingas didesnis rostverko aukštis ar įrengiamas rūsys.



24 pav. „BALTIJOS POLISTIRENO“ ICF blokelis [1.23]

„TenaPors – Dobeles panelis“ (EPS 100). Liktinių klojinių struktūra suformuojama iš purškiamo polistireninio putplasčio (EPS), kuris supylus betoną tampa konstrukcijos sudedamąja dalimi bei atlieka izoliacijos funkcijas (žr. 25 pav.). Klojinyje yra įrengti sutvirtinimo profiliai arba armatūra, kurie suteikia klojiniui reikiamo tvirtumo jo montavimo ir betono liejimo metu. Kiekvienos rūšies „DOBELES PANELIS“ klojinys gali būti panaudotas tiek atskirai, tiek kartu su kitomis klojinių sistemos rūšimis. Klojinių elementai užsakomi nurodant numatytos konstrukcijos matmenis, galimą apkrovą ir šiluminę varžą [1.24].

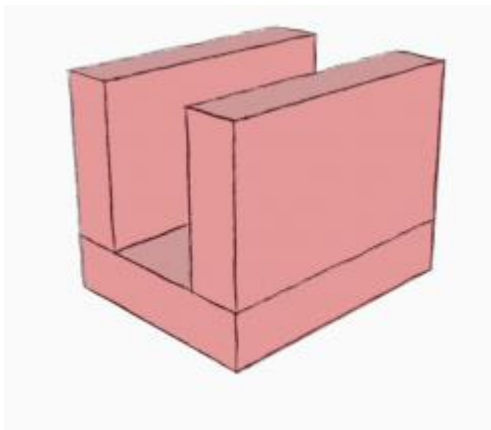


25 pav. Pamatai iš liktinių klojinių „TenaPors – Dobeles panelis“ [1.24]

„NORDPOL“ liktiniai klojiniai pastatams. Klojiniams yra naudojamas aukštos kokybės ir didelio tankio polistireninis putplastis, todėl pagrindinė jo paskirtis – pamatų apšiltinimas. Klojinys iš abiejų pusių turi vidines ir išorines išpjovas, todėl yra lengvai sujungiamas tarpusavyje. Nors klojiniai yra gaminami standartinių matmenų, jų panaudojimą galima derinti individualiai (žr. 26 pav.).

Pagrindinės liktinių klojinių savybės [1.25]:

- Klojinys yra vientisas, nėra tarpų, klijavimo siūlių per kurias susidaro šalčio tiltas.
- Greitas įrengimas – tereikia lygiai paruošti aikštelę.
- Nelieta polistireninio putplasčio atliekų.
- Sutaupomi klijai, darbo laikas, kadangi nereikia papildomai apšiltinti pamato. Užpiltas betonas stipriai sukimba su klojinio paviršiumi.
- Tinka pasyviems, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klasės namams.
- Nedidelė masė ir lengvas montavimas.



26 pav. „NORDPOL“ liktinio klojinio detalė [1.25]

3.2. Liktinių klojinių apšiltinimo sistemų vertinimas MOORA metodu

Pirmasis MOORA metodo žingsnis yra problemos sprendimo matricos sudarymas. Rodikliai ir alternatyvos pateikiami atitinkamai sprendimų matricos eilutėje ir stulpelyje. Sprendimų matrica parodo skirtingų alternatyvų veiksmingumą, atsižvelgiant į įvairius rodiklius. Vertinamosios liktinių klojinių alternatyvų ir pasirinktų rodiklių skaitinės reikšmės surašomos į sprendimų priėmimo matricos 6 lentelę.

6 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirks visiška panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m masė, kg	Stipris gniuždam, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	34,8	0,035	0,11	0,2	32,3	7,4	300
„Šillfoam Premium“ EPS 200	35,3	0,034	0,12	0,5	27,5	4,8	200
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	28,3	0,031	0,12	3	18,5	3,7	100

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ·K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirks visišškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	26,5	0,031	0,07	3	18,5	2,5	100
"Dobeles panelis" EPS 100	37,2	0,034	0,12	5	18,5	7,85	100
"Nordpol" klojiniai	29,4	0,036	0,12	4	18,5	3,7	100

Kiekviena alternatyvos veiksmingumo vertė pagal rodiklį, palyginta su kitomis alternatyvomis našumo vertėmis, apskaičiuojama taip:

$$N^{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} ; \quad (3.1)$$

Pagal (2.11) formulę apskaičiuotos kiekvienos alternatyvos sprendimo matricoje esančios kriterijų vertės yra kvadratinės (žr. 7 lentelę).

7 lentelė. Sprendimų matricos rodiklių kvadratinės reikšmės („U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema)

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ·K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirks visišškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	1211,04	0,001225	0,0121	0,04	1043,29	54,76	90000
„Šillfoam Premium“ EPS 200	1246,09	0,001156	0,0144	0,25	756,25	23,04	40000
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	800,89	0,000961	0,0144	9	342,25	13,69	10000
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	702,25	0,000961	0,0049	9	342,25	6,25	10000
"Dobeles panelis" EPS 100	1383,84	0,001156	0,0144	25	342,25	61,6225	10000
"Nordpol" klojiniai	864,36	0,001296	0,0144	16	342,25	13,69	10000

Susumuojamos visų alternatyvų rodiklių kvadratinės reikšmės (žr. 8 lentelę).

8 lentelė. Alternatyvų rodiklių kvadratinė reikšmių suma, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirks visišškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
	78,7938	0,0822	0,2731	7,7000	56,2898	13,1549	412,3106

Sudaroma normalizuota matrica, siekiant suvienodinti skirtingų dimensijų rodiklius, perskaičiuojant į bedimensius dydžius. Gautos vertės pateiktos normalizuotoje matricoje (žr. 9 lentelę).

9 lentelė. Normalizuota matrica, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirks visišškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	0,44	0,43	0,40	0,03	0,57	0,56	0,73
„Šillfoam Premium“ EPS 200	0,45	0,41	0,44	0,06	0,49	0,36	0,49
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	0,36	0,38	0,44	0,39	0,33	0,28	0,24
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	0,34	0,38	0,26	0,39	0,33	0,19	0,24
"Dobeles panelis" EPS 100	0,47	0,41	0,44	0,65	0,33	0,60	0,24
"Nordpol" klojiniai	0,37	0,44	0,44	0,52	0,33	0,28	0,24

Atlikus ekspertų apklausą, įvertinti rodikliai, kurie buvo sureitinguoti bei ekspertų įvertinti balais nuo didžiausio (1 balai) iki mažiausio (7 balas) reikšmingumo, lemiančio apsisprendimą, renkantis pamatų rostverko apšiltinimo sistemas. Ekspertizes patikimumas gali būti išreikštas Kendallo konkordancijos koeficientu, nusakančiu atskirų nuomonių panašumo laipsnį. Skaičiuojant Kendallo konkordancijos koeficientą, ekspertų vertinimai ranguojami. Tarkime, n ekspertų įvertino k alternatyvų. Pirmiausia, kiekviename stulpelyje esančios reikšmės keičiamos rangais. Visų pasirinktų ir tiriamų kriterijų rangų nuokrypių nuo vidutinės reikšmės kvadratų suma S indikuoja, ar ekspertų kriterijų vertinimai labai skiriasi nuo bendrojo vidutinio vertinimo. Todėl ekspertų apklausos patikimumas gali būti išreiškiamas ekspertų nuomonių konkordancijos koeficientu W . Konkordancijos koeficiento W reikšmių aibė yra $[0,1]$, t. y. $0 \leq W \leq 1$ [41].

Kuo didesnis W , tuo stipresnė analizuojamų kintamųjų koreliacija. Jei ekspertų vertinimai prieštaringi konkordancijos koeficiento reikšmė W artėja prie 0, jei ekspertų vertinimai panašūs - W artėja prie 1. Kai visos ranguotės sutampa, tokiu atveju $W = 1$.

Norint pasinaudoti konkordancijos koeficiento skaičiavimais, reikalingas pasirinktų kriterijų reitingavimas. Ekspertai atlieka reitingavimą, kai pačiam svarbiausiam kriterijui suteikiamas rangas lygus vienetui, antram pagal svarbą – rangas du ir t. t. Apklauso rezultatai pateikti 9 lentelėje. Gauti duomenys panaudojami nuomonių suderinamumui patikrinti.

Vidutinio rango nustatymas:

$$t_j = (\sum_{k=1}^r t_{jk})/r; \quad (3.2)$$

čia t_{jk} – k eksperto j-ojo rodiklio įvertinimas (kur „1“ – aukščiausias, „7“ – žemiausias įvertinimo balas); r – ekspertų skaičius.

Nuokrypio nuo rangų vidurkio kvadratų suma apskaičiuota pagal 2.13 formulę :

$$S = 2932;$$

Konkordancijos koeficientas apskaičiuojamas pagal 2.14 formulę:

$$W = \frac{12 * 2932}{12^2 * (7^3 - 7)} = 0,7272;$$

Konkordancijos koeficiento reikšmei nustatyti reikia žinoti r ekspertų skaičius ir n lyginamų objektų skirtingų reikšmių pasiskirstymo dažnį, tam naudojame 2.15 formulę.

$$x^2 = \frac{12 * 18508}{30 * 7 * (7 + 1)} = 52,36;$$

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

$$x^2 > x^2_{lent.};$$

$$52,36 > 16,81.$$

Išvada: ekspertų nuomonės, vertinant liktinių klojinių apšiltinimo „U tipo“ elementų sistemos kriterijus, suderintos.

Gavus rodiklių reikšmingumo įvertinimus, nustatomas rodiklių reikšmingumo prioritetas (žr. 10 lentelę).

10 lentelė. Normalizuota matrica įvertinus rodiklių reikšmingumą, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

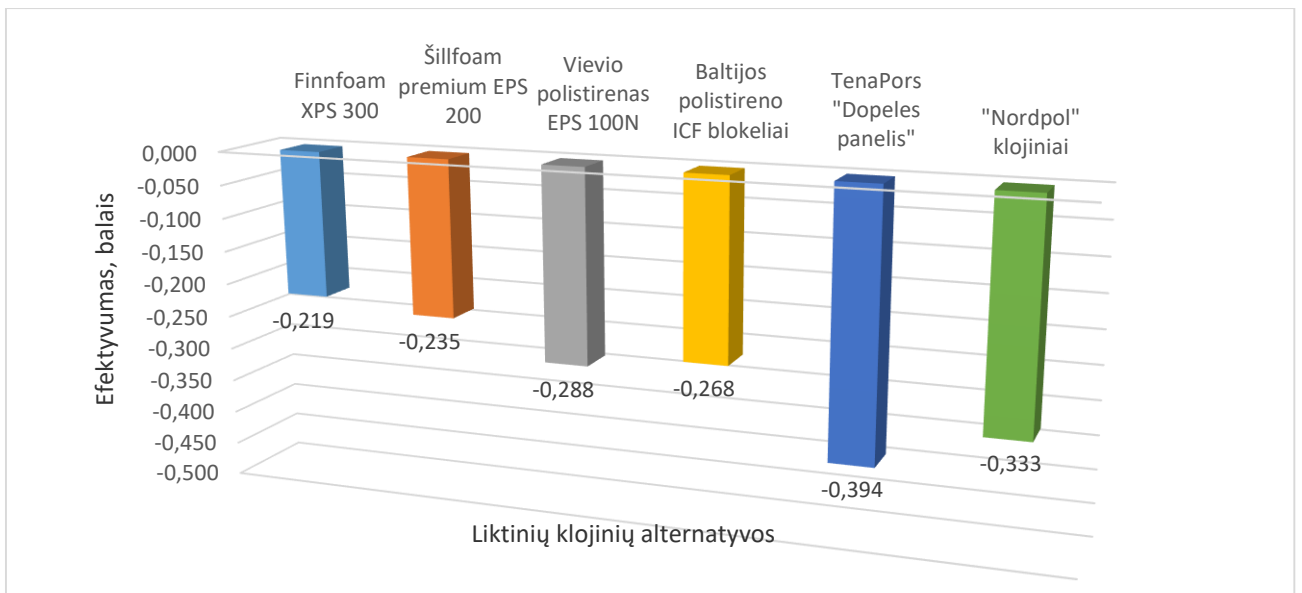
Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1 m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	0,07	0,09	0,02	0,01	0,08	0,04	0,09
„Šillfoam Premium“ EPS 200	0,08	0,09	0,03	0,01	0,07	0,02	0,06
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	0,06	0,08	0,03	0,09	0,05	0,02	0,03
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	0,06	0,08	0,02	0,09	0,05	0,01	0,03
"Dobeles panelis" EPS 100	0,08	0,09	0,03	0,15	0,05	0,04	0,03
"Nordpol" klojiniai	0,06	0,09	0,03	0,12	0,05	0,02	0,03
Reikšmingumas	3	2	6	1	5	7	4
	0,1696	0,2113	0,0595	0,2262	0,1429	0,0625	0,1280

Atliekamas galutinis skaičiavimas, vertinant minimizuotus ir maksimizuotus rodiklius. Rodiklių reikšmės yra sumuojamos, jei reikšmė yra maksimizuojama, arba atimamos, jei reikšmė minimizuojama [33]. Galutiniai alternatyvų vertinimo rezultatai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. Alternatyvų modulinės vertės lemiančios apsisprendimą, „U“ tipo liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

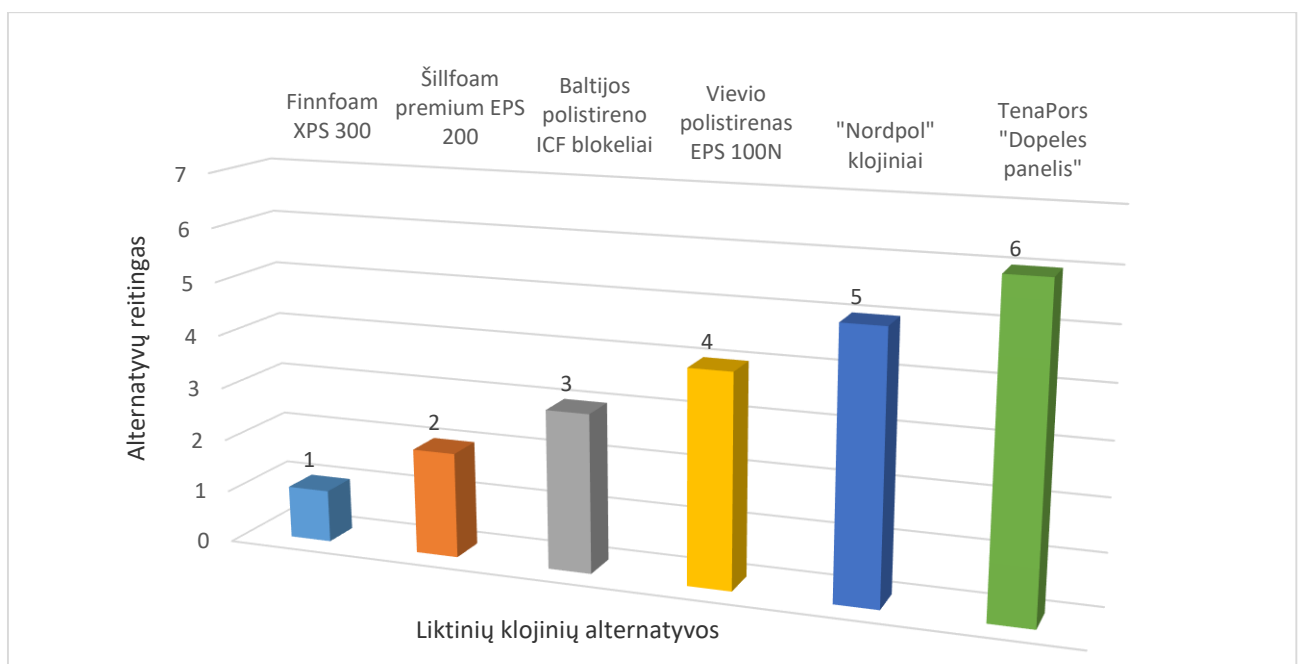
Alternatyvos	Efektyvumo balas	Reitingas
„Finnfoam“ XPS 300	-0,219	1
„Šillfoam Premium“ EPS 200	-0,235	2
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	-0,288	4
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	-0,268	3
"Dobeles panelis" EPS 100	-0,394	6
"Nordpol" klojiniai	-0,333	5

Kadangi sprendimų matricoje daugiau minimizuojančių rodiklių, todėl efektyvumo balas gaunamas minusinis. Tačiau MOORA metodo skaičiavime tai yra leistina. Reitinguojant, efektyviausia alternatyva yra arčiausiai 0. Liktinių klojinių alternatyvų efektyvumo balai atvaizduoti grafiškai 27 paveikslėlyje.



27 pav. Liktinių klojinių alternatyvų efektyvumo balai

Atlikus liktinių klojinių „U tipo“ elementų daugiakriterį vertinimą MOORA metodu, nustatyta, kad racionaliausia iš vertintų liktinių klojinių sistemų yra „Finnfoam“ XPS 300 sistema, kuri surinko -0,219 balo ir yra arčiausiai 0. „Finnfoam“ XPS 300 sistemos alternatyva nuo paskutinės vietos skiriasi 44,42 %. Liktinių klojinių apšiltinimo sistemų reitingas atvaizduotas grafiškai (žiūrėti 28 pav.).



28 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, taikant MOORA metodą, reitingai

Grafike (žr. 28 pav.) atvaizduotos efektyviausios liktinių klojinių apšiltinimo sistemos, sureitinguotos eilės tvarka. Efektyviausia alternatyva „Finnfoam“ XPS 300.

3.3. Likitinių klojinių apšiltinimo sistemų vertinimas TOPSIS metodu

TOPSIS metodo likitinių klojinių alternatyvų ir nagrinėjamų rodiklių skaitinės reikšmės surašomos į sprendimų priėmimo matricos 12 lentelę.

12 lentelė. TOPSIS metodo sprendimų priėmimo matrica, „U tipo“ likitinių klojinių apšiltinimo sistemai

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	34,8	0,035	0,11	0,2	32,3	7,4	300
„Šillfoam Premium“ EPS 200	35,3	0,034	0,12	0,5	27,5	4,8	200
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	28,3	0,031	0,12	3	18,5	3,7	100
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	26,5	0,031	0,07	3	18,5	2,5	100
"Dobeles panelis" EPS 100	37,2	0,034	0,12	5	18,5	7,85	100
"Nordpol" klojiniai	29,4	0,036	0,12	4	18,5	3,7	100

Atsižvelgiant į kriterijų rodiklių skirtumus dėl skirtingų matavimo vienetų, sprendimų priėmimo matricos rodikliai yra normalizuojami (žr. 13 lentelę).

13 lentelė. TOPSIS metodo normalizuota matrica, „U tipo“ likitinių klojinių apšiltinimo sistemai

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	0,4417	0,4258	0,4027	0,0260	0,5738	0,5625	0,7276
„Šillfoam Premium“ EPS 200	0,4480	0,4137	0,4394	0,0649	0,4885	0,3649	0,4851
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	0,3592	0,3772	0,4394	0,3896	0,3287	0,2813	0,2425

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	0,3363	0,3772	0,2563	0,3896	0,3287	0,1900	0,2425
"Dobeles panelis" EPS 100	0,4721	0,4137	0,4394	0,6494	0,3287	0,5967	0,2425
"Nordpol" klojiniai	0,3731	0,4380	0,4394	0,5195	0,3287	0,2813	0,2425

Apskaičiuojama svartinė normalizuota sprendimų priėmimo matrica, pagal 2.3 formulę, rezultatai surašomi į 14 lentelę.

14 lentelė. TOPSIS metodo svartiniai (įvertinus reikšmingumą) rodikliai, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, (W/m ² ×K)	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, %	Medžiagos tankis kg/m ³	Gaminio 1m. masė, kg	Stipris gniuždant, kPa
„Finnfoam“ XPS 300	0,0749	0,0900	0,0240	0,0059	0,0820	0,0352	0,0931
„Šillfoam Premium“ EPS 200	0,0760	0,0874	0,0262	0,0147	0,0698	0,0228	0,0621
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	0,0609	0,0797	0,0262	0,0881	0,0470	0,0176	0,0310
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	0,0571	0,0797	0,0153	0,0881	0,0470	0,0119	0,0310
"Dobeles panelis" EPS 100	0,0801	0,0874	0,0262	0,1469	0,0470	0,0373	0,0310
"Nordpol" klojiniai	0,0633	0,0926	0,0262	0,1175	0,0470	0,0176	0,0310

Apskaičiuojami „idealiai“ geriausi ir „idealiai“ blogiausi sprendimai (žr. 15 lentelė).

15 lentelė. TOPSIS metodo idealiausi alternatyvų sprendimai, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistema

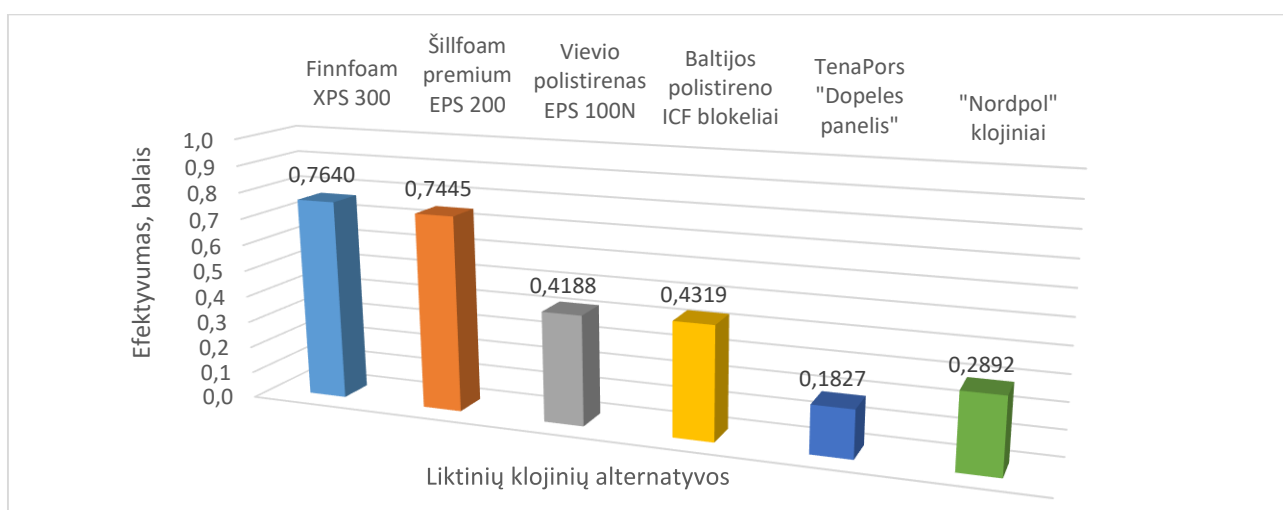
Alternatyvos	Si+	Si-
„Finnfoam“ XPS 300	0,0476	0,1542
„Šillfoam Premium“ EPS 200	0,0471	0,1373
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	0,1039	0,0748
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	0,1031	0,0783
"Dobeles panelis" EPS 100	0,1584	0,0354
"Nordpol" klojiniai	0,1291	0,0525

Apskaičiuojamas alternatyvos santykinio atstumo efektyvumo balas ir atliekamas galutinis alternatyvų reitingavimas (žr. 16 lentelę).

16 lentelė. TOPSIS metodo alternatyvų reitingavimas, „U tipo“ liktinių klojinių apšiltinimo sistemai

Alternatyvos	Pi	Reitingas
„Finnfoam“ XPS 300	0,7640	1
„Šillfoam Premium“ EPS 200	0,7445	2
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	0,4188	4
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	0,4319	3
"Dobeles panelis" EPS 100	0,1827	6
"Nordpol" klojiniai	0,2892	5

Atlikus liktinių klojinių „U tipo“ elementų daugiakriterių vertinimą TOPSIS metodu, nustatyta, kad racionaliausia iš vertintų liktinių klojinių sistemų yra „Finnfoam“ XPS 300 sistema, kuri surinko 0,7640 balų iš 1 galimo. „Finnfoam“ XPS 300 sistemos alternatyva nuo paskutinės vietos skiriasi 76,09 %. Gauti rezultatai atvaizduoti grafiškai (žiūrėti 29 pav.).



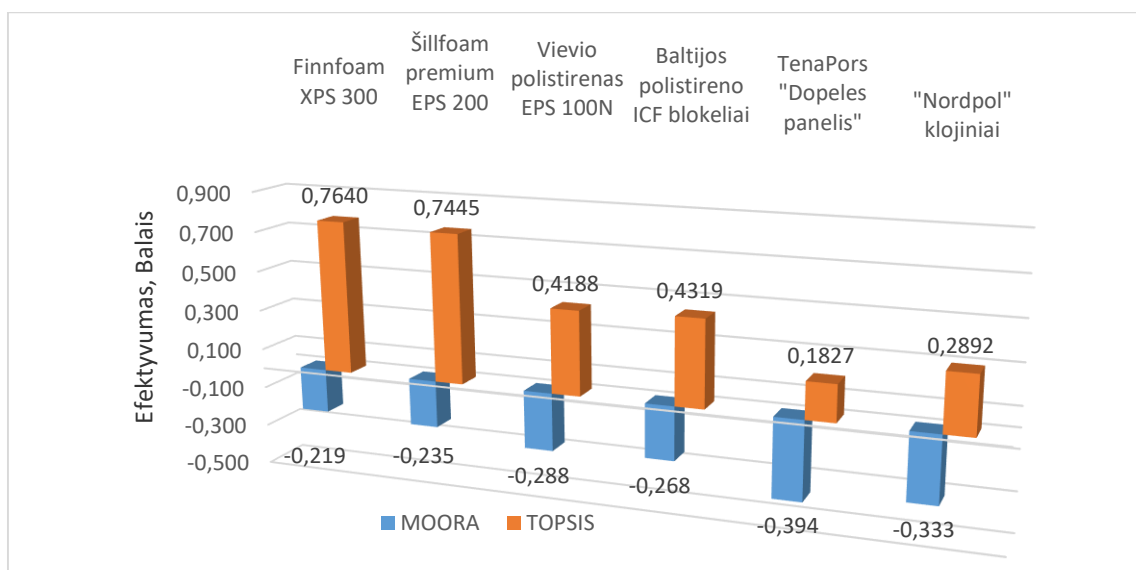
29 pav. Liktinių klojinių alternatyvų, TOPSIS metodo reitingo grafikas

Atlikus tyrimus dvejais MOORA ir TOPSIS daugiakriteriais vertinimo metodais, palyginamos gautos reitingų vertės skirtingoms liktinių klojinių alternatyvoms (žr. 17 lentelę).

17 lentelė. „U tipo“ elementų liktinių klojinių apšiltinimo sistemų daugiakriterių vertinimų reitingų palyginimas

Alternatyvos	Reitingas	
	MOORA	TOPSIS
„Finnfoam“ XPS 300	1	1
„Šillfoam Premium“ EPS 200	2	2
„Vievio polistirenas“ EPS 100N	4	4
„Baltijos polistireno“ EPS 100N	3	3
„Dobeles panelis“ EPS 100	6	6
„Nordpol“ klojiniai	5	5

Nors skaitiniai rodikliai gauti skirtingi, tačiau atlikus galutinį reitingavimą efektyvumas gautas vienodas, tai leidžia daryti išvadą, kad tos pačios klasifikacijos daugiakriteriai metodai pagrįsti naudingumo teorija, nustato racionaliausią alternatyvą. Abiejų daugiakriterių metodų skaitinės reikšmės palyginamajam vertinimui atvaizduotos grafiškai 30 paveikslėlyje.



30 pav. Pamatų „U tipo“ elementų liktinių klojinių daugiakriterių vertinimų rezultatai

Nors abiejų metodų skaitinės reikšmės nekoreliuoja tarpusavyje, tačiau šie metodai turi vienodą efektyvumo prioritetų eilutę bei keletą vienodų skaičiavimo etapų:

- sprendimo priėmimo matricos sudarymas,
- matricos normalizavimas,
- reikšmingumo įvertinimas
- alternatyvų reitingavimas.

Efektyviausia liktinių klojinių apšiltinimo sistemų alternatyva apskaičiuota abejais vertinimo metodais yra vienoda, tai „Finnfoam“ XPS 300, turinti mažiausią, ilgalaikį įmirki, mažiausią betono kiekio poreikį ir didžiausią stiprį gniuždant.

Išvados

1. Tiriant pamatų, skirtų silpniems gruntams, „U tipo“ apšiltinimo sistemų efektyvumą buvo pasirinktos vertinti šešios gyvenamojo pastato liktinių klojinių alternatyvos polinių pamatų rostverko apšiltinimui. Atlikus liktinių klojinių apšiltinimo sistemų daugiakriterį vertinimą nustatyta, kad: MOORA metodu, racionaliausia iš vertintų liktinių klojinių sistemų yra „Finnfoam“ XPS 300 sistema, kuri surinko santykinį -0,22 efektyvumo balą ir yra arčiausiai 0, o tai reiškia efektyviausia alternatyva iš vertintų sistemų. „Finnfoam“ XPS 300 sistema nuo paskutinės vietos alternatyvos skiriasi 44,42 %. TOPSIS metodu, taip pat nustatyta, kad racionaliausia iš vertintų liktinių klojinių sistemų yra „Finnfoam“ XPS 300 sistema, kuri surinko 0,76 balo iš 1 galimo. „Finnfoam“ XPS 300 sistemos alternatyva nuo paskutinės vietos skiriasi 76,09 %.
2. Atlikus palyginamąją analizę, nustatyta, kad „Finnfoam“ XPS 300 pamatų apšiltinimo sistemos kaina yra 34,8 €/m, tai 23,85 % didesnė už pigiausią alternatyvą; turinti mažiausią ilgalaikį įmirkį (tik 0,2 %); 42,72 % didesnę medžiagos tankį, kuris sudaro 32,3 kg/m³ nei „Dobeles panelis“ (EPS 100); medžiagos 1 metro svoris (7,4 kg,) 66,21% didesnis lyginant su lengviausia alternatyva ir turi 66,66 % didesnę stiprį gniuždymui nei sistemos sudarytos iš EPS 100 polistireninio putplasčio plokščių.
3. Nors pamatų, skirtų silpniems gruntams, apšiltinimo sistemos buvo vertintos skirtingais MOORA ir TOPSIS daugiakriterio vertinimo metodais, tačiau vertintų alternatyvų rangas gautas vienodas, o tai leidžia daryti išvadą, kad tos pačios klasifikacijos kiekybiniai daugiakriteriai vertinimo metodai, pagrįsti naudingumo teorija, efektyviai nustato racionaliausią pamatų apšiltinimo sistemos alternatyvą.

Literatūros sąrašas

1. SLIŽYTĖ, Danutė, Jurgis MEDZVIECKAS ir Rimantas MACKEVIČIUS. *Pamatai ir pagrindai: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2012. ISBN 978-609-457-176-3.
2. ČERNIUS, Benjaminas. Sekliųjų pamatų projektavimo metodiniai nurodymai. Mokomoji knyga. Kaunas : Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla 2011. ISBN 978-9955-20-669-9 [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-10-01]. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/262/sekliuju-pamatu-projektavimo-metodiniai-nurodymai/>.
3. ČERNIUS, Benjaminas. Seklieji pamatai. *Mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija 2014. ISBN 9789955257547.
4. MEDZVIECKAS, Jurgis, Danutė SLIŽYTĖ. Geotechnikos kursinio projekto metodikos nurodymai: *mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2010. 72 p. ISBN 978-9955-28-753-7.
5. ANDERSON, Brent. *Bearing capacity of soil – why soils matter* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-10-01]. Prieiga per: <https://www.concretenetwork.com/>.
6. VALORE, Calogero, Maurizio ZICCARELLI, Sandro Rino MUSCOLINO. *The bearing capacity of footings on sand with a weak layer*. *Geotechnical Research*. 2017, 4, 12–29. E-ISSN 2052-6156.
7. HAN, Yong Jeon. Engineering Circumstance. *Polymeric Synthetic Fabrics to Improve Stability of Ground Structure in Civil Engineering Circumstance*. 2018. ISBN: 978-1-78985-008-6.
8. NICHOLSON, Peter G. *Geosynthetic Reinforced Soil. Soil Improvement and Ground Modification Methods*. 2015, 343–369. ISBN 978-0-12-408076-8.
9. SALEH, Samaila, Zurairahetty Mohd YUNUS, Kamarudin AHMAD, Nazri ALI. Improving the strength of weak soil using polyurethane grouts: A review. *Construction and Building Materials*. 2019, 202, 738–752. ISSN 0950-0618.
10. CORREIA, António Alberto S., Maria Graça RASTEIRO. Nanotechnology Applied to Chemical Soil Stabilization. *Procedia Engineering* [interaktyvus] 2016, 143, 1252–1259 [žiūrėta 2020-11-10]. Prieiga per : <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.113>.
11. ARORA Amit, Birpal SINGH, Parampreet KAUR. Performance of Nano-particles in stabilization of soil: a comprehensive review. *Materialstoday: proceedings*. [interaktyvus] 17(1), 2019, 124–130 [žiūrėta 2020-11-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.409>.
12. ALLARD, Ingrid, NAIR, Gireesh, OLOFSSON, Thomas. Energy performance criteria for residential buildings: A comparison of Finnish, Norwegian, Swedish, and Russian building codes. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2021, 250(1) [žiūrėta 2021-11-23]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111276>.
13. SANTAMOURIS, Mattheos, YUN, Geun Yong.. Recent development and research priorities on cool and super cool materials to mitigate urban heat island. *Renewable Energy* [interaktyvus]. 2020, 161, 792-807 [žiūrėta 2021-11-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.109>.
14. SANTAMOURIS, Mattheos, FENG, Jie. Recent progress in daytime radiative cooling: Is it the air conditioner of the future? *Buildings* [interaktyvus]. 2018, 8 (12) [žiūrėta 2021-11-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/buildings8120168>.
15. CAI, Shanshan, Boxion ZHANG, Lorenzo CREMASCHI. Moisture behavior of polystyrene insulation in below-grade application. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2018, 159, 24-38 [žiūrėta 2021-11-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.067>.

16. BANOVIC, Ivan, Jure RADNIC, Nikola GRGIC. Foundation size effect on the efficiency of seismic base isolation using a layer of stone pebbles. *Earthquakes and Structures* [interaktyvus]. 2020, 19, 103-117 [žiūrėta 2021-11-28]. Prieiga per:
[\[https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.01.015\]](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.01.015).
17. BESSONOV I.V., ZHUKOV A.D., SHILOV A.N., GOVRYAKOV I.S. Systems of “warm” foundations. *Civil engineering* [interaktyvus]. 2021, 7, 30-36 [žiūrėta 2021-11-28]. Prieiga per:
<https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-30-36>.
18. ZHUKOV,A.D., K.A.,TER-ZAKARYAN, V.S.,SEMENOV. Insulation systems with the expanded polyethylene application. *IFAC-PapersOnLine* [interaktyvu]. 2018, 51(30), 803-807 [žiūrėta 2021-11-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.191>.
19. BOBROVA, Jekaterina, Anton PILIPENKO, Alexey ZHUKOV. Insulating sheath system and energy efficiency of buildings. *E3S Web of Conferences* [interaktyvus]. 2019, 91 [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102019>.
20. KALHOR, Koosha, Newsha EMAMINEJAD. Qualitative and quantitative optimization of thermal insulation materials: Insights from the market and energy codes. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2020, 30 [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per:
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101275>.
21. DURAKOVIC, Benjamin, Gokhan YILDIZ, Mohamed E. YAHIA. Comparative Performance Evaluation of Conventional and Renewable Thermal Insulation Materials Used in Building Envelops. *Technical gazette* [interaktyvus]. 2020, 27(1), [žiūrėta 2021-11-29]. Prieiga per:
<https://doi.org/10.17559/TV-20171228212943>.
22. ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras, Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ, Oleg KAPLIŃSKI. Multi-criteria decision making in civil engineering.Part ii – applications. *Engineering structures and technologies*. [interaktyvus]. 2015, 7(4), 151–167 [žiūrėta 2020-11-29]. Prieiga per :<https://doi.org/10.3846/2029882X.2016.1139664>.
23. TURSKIS, Zenonas, Alfonsas DANIŪNAS, Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS, Jurgis MEDZVIECKAS. Multicriteria Evaluation of Building Foundation Alternatives. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. [interaktyvus]. 2016, 31 (9), 717-729 [žiūrėta 2020-11-30]. Prieiga per : <https://doi.org/10.1111/mice.12202>.
24. BOUHEDJA, Samir, Ahmed BOUKHALED, Ahcène BOUHEDJA, A. BENSELHOUB. Use of the TOPSIS technique to choose the best supplier of quarry natural aggregate. *Mining of mineral deposits*, [interaktyvus]. 2020, 14(1), 11–18 [žiūrėta 2020-11-30]. Prieiga per: <https://doi.org/10.33271/mining14.01.011>.
25. YAZDANI, Morteza, Soumana FOMBA, Pascale ZARATÉ. A Decision Support System for Multiple Criteria. Decision Making Problems [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-11-30]. Prieiga per: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01914000/document>.
26. AAN, Mesran, Rivalri Kristianto HONDRO, Muhammad SYAHRIZAL, Andysah Putera Utama SIAHAAN, Robbi RAHIM, Suginam GIENAM. Student Admission Assesment using Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA). *4th International seminar: research for science, technology and culture*. 2017 eISSN 2504-8457.
27. HAMZAÇEBI ,Coşkun, Gül IMAMOĞLU, Ahmet ALÇI. Selection of Logistics Center Location with MOORA Method for Black Sea Region of Turkey. *Journal of Economics Bibliography* [interaktyvus]. 2016, 3(1) [žiūrėta 2020-12-03]. Prieiga per:
<http://dx.doi.org/10.1453/jeb.v3i1S.785>.

28. KAREL, Willem, Willem BRAUERS, Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics* [interaktyvus]. 2006, 35(2) [žiūrėta 2021-03-28]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/228345226>.
29. SAATY, Thomas L., Daji ERGU. When is a Decision-Making Method Trustworthy? Criteria for Evaluating Multi-Criteria Decision-Making Methods. *International Journal of Information Technology & Decision Making* [interaktyvus]. 2015, 14(6), 1171–1187 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1142/S021962201550025X>.
30. AVIŽA, Donatas. Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiatiškė selektonovacija. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU leidykla Technika, 2016, 136psl. ISBN 978-609-457-911-0.
31. HAMZAÇEBİ, Coşkun, Gül IMAMOĞLU, Ahmet ALÇI. Selection of Logistics Center Location with MOORA Method for Black Sea Region of Turkey. *Journal of Economics Bibliography* [interaktyvus]. 2016, 3(1) [žiūrėta 2021-03-28]. ISSN: 2149-2387. Prieiga per: <http://www.kspjournals.org/index.php/JEB/article/view/785/985>.
32. 30. KILDIENĖ, Simona. Tvarios statybos technologijų plėtros daugiapakopis vertinimas. Daktaro disertacija, Vilnius: VGTU leidykla Technika, 2014, 134 psl. ISBN 978-609-457-702-4.
33. DOMÍNGUEZ, L Pérez, K Y Sánchez MOJICA, L C Ovalles, M C Cordero DÍAZ. Application of the MOORA method for the evaluation of the industrial maintenance system. *Journal of Physics: Conf. Series 1126* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2021-03-30]. Prieiga per : doi :10.1088/1742-6596/1126/1/012018.
34. SAHADEV, Bahadur Bhandari, Dimitrios NALMPANTIS. Application of Various Multiple Criteria Analysis Methods for the Evaluation of Rural Road Projects. *The Open Transportation Journal*, 2018, 12, 57-76. ISSN: 1874-4478.
35. AAN, Mesran, Rivalri Kristianto HONDRO, Muhammad SYAHRIZAL, Andysah Putera Utama SIAHAAN, Robbi RAHIM, Suginam GIENAM. Student Admission Assesment using Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA). *4th International seminar: research for science, technology and culture*. 2017. ISSN 2504-8457.
36. ADALI, Esra Aytaç, Ayşegül Tuş ISIK. The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering* [interaktyvus]. 2017, 13, 229-237.[žiūrėta 2021-04-03]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40092-016-0175-5>.
37. ANDANI, Sundari Retno, PONINGSIH, Widodo SAPUTRA, Muhammad Ridwan LUBIS, Irfan Sudahri DAMANIK, Khairun Nisa ARIFIN NUR, Rahmadani Fitri SINAGA. Application of the MOORA Method for Decision Making in Receiver Foundation Scholarship in AMIK Tunas Bangsa. *Journal of Physics: Conf. Series 1255* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: doi:10.1088/1742-6596/1255/1/012079.
38. KECEK, Gülnur, Fatma DEMİRAĞ. A Comparative Analysis of TOPSIS and MOORA in Laptop Selection. *Research on Humanities and Social Sciences* [interaktyvus]. 2016, 6(14) [žiūrėta 2021-04-03]. ISSN: 2225-0484. Prieiga per: <https://core.ac.uk/download/pdf/234675217.pdf>.
39. RAHIM, Robbi. TOPSIS Method Application for Decision Support System in Internal Control for Selecting Best Employees. *2nd International Conference on Statistics, Mathematics, Teaching, and Research* [interaktyvus]. 2018, 1028 [žiūrėta 2021-04-08]. Prieiga per: doi :10.1088/1742-6596/1028/1/012052.

40. SIMANAVIČIENĖ, Rūta, CIBULSKAITĖ, Jovita. Sprendimo, gauto Topsis metodu, patikimumo statistinė analizė. Lietuvos statistikos darbai [interaktyvus]. 2015, 54 (1), 110–118 [žiūrėta 2021-11-25]. Prieiga per: <https://www.zurnalai.vu.lt/statisticsjournal/article/view/13886/12804>.
41. CHEN, Pengyu. Effects of normalization on the entropy-based TOPSIS method. Expert Systems with Applications [interaktyvus]. 2019, 136 (1), 33-41 [žiūrėta 2021-11-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.06.035>.
42. BALIOTI, Vasiliki, TZIMOPOULOS, Christos, EVANGELIDES, Christos. Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection. *Proceedings* [interaktyvus]. 2018, 2(11), 637 [žiūrėta 2021-11-26]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/proceedings2110637>.
43. YANG, Wenguang. Ingenious Solution for the Rank Reversal Problem of TOPSIS Method. *Mathematical Problems in Engineering* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-11-26]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1155/2020/9676518>.
44. JEGELAVIČIŪTĖ, Rusnė. Lyginamojo metodo pataisos kriterijų įtaka nekilnojamojo turto vertei. Pataisos kriterijų įtaka gyvenamosios paskirties turto tipui. *Lituka ir ko. Turto ir verslo vertinimas* [interaktyvus]. 2017, 2 [žiūrėta 2021-11-25]. ISSN 2424-3809 Nr 2 2017-03 ed. Prieiga per: <http://lituka.com/wp-content/uploads/2017/03/ISSN-2424-3809-Nr-2-2017-03a.pdf>.
45. BALEŽENTIS, Alvydas, ŽALIMAITĖ, Martyna. Ekspertinių vertinimų taikymas inovacijų plėtros veiksnių analizėje: Lietuvos inovatyvių įmonių vertinimas. *Management theory and studies for rural business and infrastructure development* [interaktyvus]. 2011, 3 (27) [žiūrėta 2021-11-26]. ISSN 1822-6760. Prieiga per: <https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2011~1367176753634/J.04~2011~1367176753634.pdf>

Informacinių šaltinių sąrašas

1. STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 1.04.02:2011 Inžineriniai geologiniai ir geotechniniai tyrimai. 2012-01-08 Nr. D1-1053 [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2020-10-29]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.416531>.
2. VALSTYBINĖ TERITORIJŲ PLANAVIMO IR STATYBOS INSPEKCIJA PRIE APLINKOS MINISTERIJOS: Kaip išvengti staigmenų statybose: grunto tyrimai [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-10-29]. Prieiga per: <https://vtpsi.lrv.lt/lt/>.
3. Reasons for Building Collapse due to the Foundation Failures. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-10-29]. Prieiga per: <https://gharpedia.com/blog/building-collapse-due-to-foundation-failures>.
4. AUTOMOBILIŲ KELIŲ ŽEMĖS DARBŲ ATLIKIMO IR ŽEMĖS SANKASOS ĮRENGIMO TAISYKLĖS ĮT ŽS 17. 2017-04-04 Nr. V-111 [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-10-30]. Prieiga per: https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/97ce2d81197111e7b6c9f69dc4ecf19f/asr#part_ab6291c090e44751934c928115b8bace.
5. GRUNTO ANALIZĖ PRIEŠ PAMATŲ ĮRENGIMĄ. *Ekspertai.lt* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-10-30]. Prieiga per: https://www.ekspertai.lt/pamatai/straipsniai/tinkamo_pamatu_tipo_pasirinkimas.
6. STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 2.05.21:2016 Geotechninis projektavimas. Bendrieji reikalavimai. 2016-07-04 Nr. D1-468 [interaktyvus] [žiūrėta 2020-11-03]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/091b93d041e411e69f7afa4bbf73635e?jfwid=32wf58e9>.
7. The URETEK™ Deep Injection® Process (UDI) For Roadways and Building Structures [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2020-11-06]. Prieiga per: https://uretekicr.com/wp-content/uploads/2011/09/URETEK_UDI_NEW.pdf.
8. A BUILDER'S GUIDE TO RESIDENTIAL FOUNDATION INSULATION [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <https://www.engext.ksu.edu/files/engext/publications/envelope/builderguide.pdf>.
9. STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [interaktyvus]. 2016, D1-754. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/sEHkqghNMX#part_40fb85e7539c40078137af0bac6f2989.
10. CHINCHALKAR, Shubham. A Quick Guide to U Values. *Build 4 less* [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <https://build4less.co.uk/blogs/guides-and-news/a-quick-guide-to-u-values>.
11. Irish Building Regulations 2019 Technical Guidance Document L – Conservation of Fuel and Energy – Dwellings. *The Building Regulations Part L* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <https://xtratherm.ie/wp-content/uploads/2019/12/Xtratherm-BR-Whitepaper-LR.pdf>.
12. Polistireninis putplastis – faktai ir mitai. *Polistireninio putplasčio asociacija* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <https://epsa.lt/naujienos/polistireninis-putplastis-faktai-ir-mitai>.
13. Polistireninio putplasčio sudėtis. *Šilputa* [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <https://silputa.lt/sudetis>.

14. Polistireninio putplasčio markės, jų skirtumai ir panaudojimo sritys. Statybų turgus.lt [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-05]. Prieiga per:
15. https://www.statybuturgus.lt/module/ph_simpleblog/module-ph_simpleblog-single?sb_category=silumos-izoliacijos-medziagos&rewrite=polistireninio-putplascio-markes-ju-skirtumai-ir-panaudojimo-sritys.
16. Šilumos laidumo koeficientas ir kiti energiniai rodikliai [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-05]. Prieiga per: <https://www.rockwool.com/lt/patarimai-ir-Informacija/kodel-rockwool/klimatas/silumos-laidumo-koeficientas/>.
17. U formos liktiniai klojiniai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-06]. Prieiga per: <https://finnfoam.lt/sprendimai/pamatu-siltinimas/u-formos-liktiniai-klojiniai/>.
18. ŠILLFOAM PREMIUM [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-25]. Prieiga per: <https://silputa.lt/formuotas-putplastis/premium>.
19. Liktiniai klojiniai [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-06-15]. Prieiga per: <http://www.vieviopolistirenas.lt/liktiniai-eps-klojiniai/>.
20. ICF blokėliai iš EPS. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-06-15]. Prieiga per: <https://www.balpol.lt/lt/icf-blokėliai-eps>.
21. DOBELES PANELIS S [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-06-20]. Prieiga per: <https://www.tenapors.lv/lt/product/dobeles-panelis-s-lt/>.
22. Plokštuminiai pamatai [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-07-02]. Prieiga per: <https://finnfoam.lt/sprendimai/pamatu-siltinimas/plokstuminiai-pamatai>.
23. PLOKŠTUMINIAI PAMATAI [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-07-04]. Prieiga per: <https://www.benders.se/lt-lt/benders-asortimentas/plokstuminiai-pamatai>.
24. TENAPORS L EPS [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-07-05]. Prieiga per: <https://www.tenapors.lv/lt/product/tenapors-l-eps-lt>.
25. PAMATŲ DETALĖS [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-07-06]. Prieiga per: <http://nordpol.lt/pamatai/>.

1 Priedas Autoriaus publikuotas straipsnis



VISUOMENINIO PASTATO ROSTVERKO SU LIKTINIAIS KLOJINIAIS EFEKTYVUMO DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

Dagys V.¹, Aviža D.¹, Zacharovienė E.¹

¹ Kauno technologijų universitetas

Raktiniai žodžiai: liktiniai klojiniai, daugiakriteris vertinimas, MOORA metodas, rostverkas.

1. Įvadas

Gruntas gali išlaikyti daug šilumos energijos, ypač jei drėgna, bet tai nėra geras šilumos izoliatorius. Grunto temperatūros pokytis priklausomai nuo gylio ir sezono per pamato rostverką praleidžia daugiausiai šilumos. Didžiausias šilumos pralaidumas vyksta veikiant žiemos orui ir mažame gylyje, kur žemė dažnai sušąla. Šiluma praeina iš grindų į pamatų sieną, grindų plokštuma nemažai išyla, ypač išpopuliarėjus grindinio šildymo sistemoms. Faktiniai pamatų šilumos nuostoliai skiriasi pagal klimato zonas, grunto tipą ir drėgmės tūrį [1]. Pagal A++ energinio naudingumo klasės reikalavimus pastatų atitvarų norminė šilumos perdavimo koeficiento U vertė šildomų patalpų atitvaroms, kurios ribojasi su gruntu visuomeninės paskirties pastatams yra $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ [2]. Šiandien statomi pastatai yra efektyvesni energijos vartojimo atžvilgiu, nei pastatyti prieš keletą metų, visų pirma dėl reikšmingų statybos produktų ir technikos patobulinimų, taip pat dėl našių šildymo ir aušinimo sistemų. Pagrindo izoliacija visų pirma naudojama siekiant sumažinti šildymo išlaidas, o vėsinimo sąnaudų mažinimo nauda yra nedidelė arba jos nėra. Be šildymo išlaidų mažinimo, pamatų izoliacija padidina komfortą, sumažina kondensato susidarymo ir atitinkamo pelėsių augimo galimybes bei padidina žemesnės klasės patalpų tinkamumą gyventi [3].

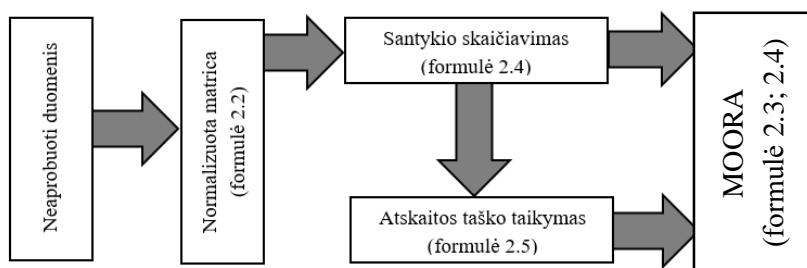
Efektyvi pamatų termoizoliacija ganėtina prisideda prie pastato energetinio naudingumo gerinimo, o vienas iš būdų tai atlikti liktiniai klojiniai. Liktnių klojinų sistema – tai termoizoliacinės plokštės sujungiamos tarpusavyje ir sudarančios „U“ formos liktinį klojinį. Į klojinio vidų montuojamas armatūros karkasas ir pripildomas betonu. Klojinys sutvirtinamas, kad betono tankinimo metu išlaikytų savo formą ir išlaikytų leistinus nuokrypius. Tokių klojinų privalumas iki minimumo sumažinta šalčio tiltelių tikimybė, sumažėję technologiniai procesai (neberekia montuoti termoizoliacijos), paspartėjęs įrengimo terminas.

Darbo tikslas – taikant MOORA metodą, atlikti visuomeninio pastato rostverko su liktiniais klojiniais daugiakriterį efektyvumo vertinimą.

Darbo metodai – mokslinės ir techninės literatūros analizė, empirinis tyrimas MOORA metodu.

2. Tyrimo metodika MOORA metodu

MOORA metodas pirmą kartą buvo pasiūlytas 2006 m. mokslininkų Brauers ir Zavadsko. MOORA metodas leidžia išvengti subjektyvumo, nes nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumo koeficientų. Metodo uždavinių sprendimo algoritmo blokinėje schemoje (žr. 1 pav.) pateiktos sunumeruotos formulių naudojimo sekos [4].



1 pav. MOORA metodo sprendimo algoritmo schema [4]

MOORA metodą sudaro dvi dalys [4]:
santykio skaičiavimo;
atskaitos taško teorijos taikymo.

Metodo skaičiavimas prasideda iš rodiklių ir alternatyvų matricos sudarymo 2.1 formulė [5]:

$$x_{ij}; \quad (2.1)$$

čia x_{ij} – yra j alternatyvos atsakas į i tikslą.

MOORA metodas nustato santykio sistemą, kurioje kiekvienas atsakas į alternatyvą lyginamas su vardikliu, kuris yra tipiškas visoms alternatyvoms, susijusioms su tuo tikslu apskaičiuojamas pagal 2.2 formulę [6]:

$$N^{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.2)$$

čia x_{ij} – yra j alternatyvos atsakas į i tikslą, $i = 1, 2, \dots, n$ -tikslas, $j = 1, 2, \dots, m$ -alternatyvos.

Vertinant rodiklius jie gali skirtis savo reikšmingumu, todėl kiekvienas normalizuotas rodiklis dauginamas iš atitinkamo nustatyto reikšmingumo, lemiančio apsisprendimą alternatyvos atžvilgiu, apskaičiuojamas pagal 2.3 formulę [7]:

$$N^{x_{ij}} = w_i * x_{ij} \quad (2.3)$$

čia w_i – rodiklio reikšmingumo vertė, x_{ij} – yra j alternatyvos atsakas į i tikslą.

Normalizuotos reikšmės priklauso intervalui [0;1]. Rodiklių reikšmės yra sumuojamos, jei reikšmė yra maksimizuojama, arba atimamos, jei reikšmė minimizuojama. Santykio skaičiavimas 2.4 formulė [8]:

$$N^{Y_j} = \sum_{i=1}^{i=g} N^{x_{ij}} - \sum_{i=g+1}^{i=n} N^{x_{ij}} \quad (2.4)$$

čia $i = 1, 2, \dots, g$ – maksimizuojamų rodiklių skaičius, $i = g + 1, g + 2, \dots, n$ – minimizuojamų rodiklių skaičius, N^{Y_j} – normalizuotas alternatyvos j vertinimas atsižvelgiant į visus tikslus. Šioje formulėje tiesiškumas susijęs su matmenų matavimais intervale [0; 1]. N^{Y_j} eilės reitingas rodo galutinę pirmenybę.

Geriausia alternatyva laikoma ta, kurios Y reikšmė yra didžiausia, o blogiausia, kurios Y reikšmė yra mažiausia. Pagal normalizuotų rodiklių reikšmes randamas atraminis tikslo taškas (idealiai geriausia alternatyva), kurio reikšmės yra nustatomos taip: $r_j = \text{MAX}_i x_{ij}$, jei rodiklio geriausia reikšmė yra maksimali ir $r_j = \text{MIN}_i x_{ij}$, jei rodiklio geriausia reikšmė yra minimali. Iš maksimalios reikšmės rodiklių sudaroma maksimumo alternatyva, kuri vėliau lyginama su kiekviena rodiklio alternatyva [9].

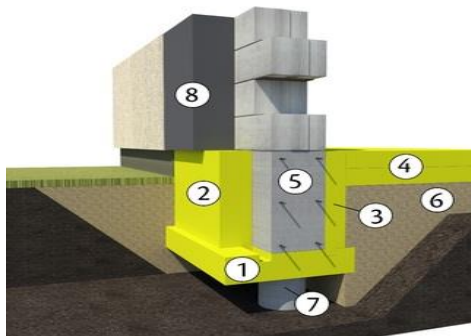
Toliau ieškomas atstumas iki optimalaus (atraminio) taško pagal 2.5 formulę. Alternatyvos yra tuo geresnės, kuo jos yra artimesnės idealiajam taškui. Galutinis alternatyvos rangas nustatomas remiantis metrika ir Min- Max metodu [10]:

$$\frac{\min}{i} \left\{ \frac{\max}{j} |r_j - x_{ij}| \right\} \quad (2.5)$$

čia x_{ij} – yra normalizuotas i -osios alternatyvos veikimas pagal j -ąjį kriterijų, r_j yra j -oji atskaitos taško koordinatė, t. y. labiausiai pageidaujami visų alternatyvų rodikliai, atsižvelgiant į j -tąjį kriterijų. Daugiatikslio MOORA metodo taikymas apima plačią problemų vertinimo ir sprendimo priėmimo skalę įvairiose ekonomikos, aplinkos, socialinėse, statybos ir fizikos srityse.

3. Daugiakriteris vertinimas

Tyrimas atliekamas vertinant visuomeninio pastato rostverko liktinius klojinius. Tyrimo modelis pateiktas 2 paveikslėlyje. Pasirinktas klojinio izoliacijos storis (150x100x100 mm.). Tyrime vertinamos dvi liktinių klojinių alternatyvos: ekstruzinio polistireninio putplasčio „Finnfoam“ liktiniai klojiniai (XPS 300); polistireninio putplasčio „Šillfoam premium“ liktiniai klojiniai (EPS 200).



2 pav. Tyrimo modelis – liktinių klojinių sistema (1-3 – liktinio klojinio plokštės, 4 – grindų termoizoliacija, 5 – armuotas betonas, 6 – sutankintas gruntas, 7 – gręžtinis poliuis, 8 – sienos termoizoliacija [11])

Vertinamoms alternatyvoms parenkami apsisprendimą lemiantis rodikliai (žr. 1 lentelę).

1 lentelė

Sprendimų matrica

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/mK	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis imirkis visiškai panaardinus vandenyje, %	Gaminio 1m. svoris, kg	Medžiagos tankis kg/m ³	Stipris gniuždant, kPa
<i>Finnfoam XPS 300</i>	27,5	0,035	0,1400	0,7	8,4	32,3	300
<i>Šilfoam premium EPS 200</i>	25,3	0,034	0,1375	5,0	5,7	27,5	200

Tolimesniame etape kiekvienos alternatyvos sprendimo matricoje kriterijų vertės yra kvadratinės, tada kiekvienos vertės stulpelis yra susumuojamas ir apskaičiuojamos kvadratinės šaknys taikant 2.2 formulę [12]. Gautos vertės parodytos normalizuotoje matricoje (žr. 2 lentelę).

2 lentelė

Normalizuota matrica

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/mK	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis imirkis visiškai panaardinus vandenyje, %	Gaminio 1m. svoris, kg	Medžiagos tankis kg/m ³	Stipris gniuždant, kPa
<i>Finnfoam XPS 300</i>	0,74	0,72	0,71	0,14	0,83	0,76	0,83
<i>Šilfoam premium EPS 200</i>	0,68	0,70	0,70	0,99	0,56	0,65	0,55

Rodiklių reikšmingumo nustatymas atliekamas turint atitinkamą kompetenciją arba atliekant ekspertų apklausą. Kadangi ekspertų apklausa nebuvo atlikta, todėl visų rodiklių reikšmingumo vertės pasirinktos vienodos (proporcingos) ir lygios $w_i = 0,143$ (žr. 3 lentelę).

3 lentelė

Normalizuota matrica įvertinus rodiklių reikšmingumą

Rodikliai	Minimizuoti						Maksimizuoti
Alternatyvos	Klojinio kaina, €/m	Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, W/mK	Betono kiekis, m ³ /m	Ilgalaikis imirkis visiškai panaardinus vandenyje, %	Gaminio 1m. svoris, kg	Medžiagos tankis kg/m ³	Stipris gniuždant, kPa
<i>Finnfoam XPS 300</i>	0,11	0,10	0,10	0,02	0,12	0,11	0,12
<i>Šilfoam premium EPS 200</i>	0,10	0,10	0,10	0,14	0,08	0,09	0,08
Reikšmingumas	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143

Atliekamas galutinis skaičiavimas, vertinant minimizuotus ir maksimizuotus rodiklius. Rodiklių reikšmės yra sumuojamos, jei reikšmė yra maksimizuojama, arba atimamos, jei reikšmė minimizuojama [13]. Galutiniai alternatyvų vertinimo rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė

Alternatyvų modulinės vertės lemiančios apsisprendimą

<i>Finnfoam XPS 300</i>	0,437
<i>Šilfoam premium EPS 200</i>	0,531

Atlikus daugiakriterį vertinimą MOORA metodu, nustatyta, kad racionaliausia iš vertintų liktinių klojinių sistemų - „Šillfoam premium EPS 200“ sistema, kuri surinko 0,531 balų iš 1 galimo. Efektyviausia sistema nuo mažiau efektyvios skiriasi 17,7 procento. „Šillfoam premium EPS 200“ sistema yra pigesnė, turi mažesnę šilumos laidumo koeficientą, vienas šių liktinių klojinių sistemos metras lengvesnis, mažesnis medžiagos tankis ir mažesnis klojinių užpildymui sunaudojimas betono kiekis. Tačiau „Finnfoam XPS 300“ sistemos ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus yra mažesnis, o stipris gniuždant - didesnis.

Išvados

1. Atliekant visuomeninio pastato rostverko liktinių klojinių daugiakriterį vertinimą, buvo pasirinktos dvi klojinių alternatyvos (*Finnfoam XPS300*; *Šillfoam premium EPS200*) ir vertinti apsisprendimą lemiantis rodikliai (medžiagų kaina, deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas, betono kiekis, ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus vandenyje, gaminio 1 metro svoris, stipris gniuždant, medžiagos tankis). Kadangi nebuvo atlikta ekspertų apklausa, rodiklių reikšmingumas priimtas vienodas ir lygus 0,143.
2. Nustatyta, kad racionaliausia iš vertintų liktinių klojinių sistemų - „Šillfoam premium EPS 200“ sistema, kuri surinko 0,531 balų iš 1 galimo. Efektyviausia sistema nuo mažiau efektyvios skiriasi 17,7 procento. „Šillfoam premium EPS 200“ sistema yra: 8,7 % pigesnė; turi mažesnę šilumos laidumo koeficientą – 0,034 W/mK; vienas šių liktinių klojinių sistemos metras yra 2,7 kilogramais lengvesnis; 17,5 % mažesnis medžiagos tankis ir apie 2 % mažesnis klojinių užpildymui sunaudojimas betono kiekis. Tačiau „Finnfoam XPS 300“ sistemos ilgalaikis įmirkis visiškai panardinus yra 7 kartus mažesnis, o stipris gniuždant 1,5 karto didesnis, lyginant su „Šillfoam premium EPS 200“ sistema.

Literatūra

1. A BUILDER'S GUIDE TO RESIDENTIAL FOUNDATION INSULATION [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <https://www.engext.ksu.edu/files/engext/publications/envelope/builderguide.pdf>.
2. STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ [interaktyvus]. 2016, D1-754. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/sEHkqghNMX#part_40fb85e7539c40078137af0bac6f2989.
3. HOMEOWNERS INFORMATIONAL GUIDE. *Foundation Insulation* [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-04]. Prieiga per: <http://www.inspectioneeringpgh.com/foundation-insulation.htm>.
4. KILDIENĖ, Simona. Tvarios statybos technologijų plėtros daugiapakopis vertinimas. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU leidykla Technika, 2014, 134psl. ISBN 978-609-457-702-4.
- KAREL, Willem, Willem BRAUERS, Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics* [interaktyvus]. 2006, 35(2) [žiūrėta 2021-03-28]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/228345226>.
- HAMZAÇEBİ, Coşkun, Gül IMAMOĞLU, Ahmet ALÇI. Selection of Logistics Center Location with MOORA Method for Black Sea Region of Turkey. *Journal of Economics Bibliography* [interaktyvus]. 2016, 3(1) [žiūrėta 2021-03-28]. ISSN: 2149-2387. Prieiga per: <http://www.kspjournals.org/index.php/JEB/article/view/785/985>.
- DOMÍNGUEZ, L Pérez, K Y Sánchez MOJICA, L C Ovalles, M C Cordero DÍAZ. Application of the MOORA method for the evaluation of the industrial maintenance system. *Journal of Physics: Conf. Series 1126* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2021-03-30]. Prieiga per : doi :10.1088/1742-6596/1126/1/012018.
- SAHADEV, Bahadur Bhandari, Dimitrios NALMPANTIS. Application of Various Multiple Criteria Analysis Methods for the Evaluation of Rural Road Projects. *The Open Transportation Journal*, 2018, 12, 57-76. ISSN: 1874-4478.
- AAN, Mesran, Rivalri Kristianto HONDRO, Muhammad SYAHRIZAL, Andysah Putera Utama SIAHAAN, Robbi RAHIM, Suginam GIENAM. Student Admission Assesment using Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA). *4th International seminar: research for science, technology and culture*. 2017. ISSN 2504-8457.
- ADALI, Esra Aytaç, Ayşegül Tuş ISIK. The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering* [interaktyvus]. 2017, 13, 229-237. [žiūrėta 2021-04-03]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40092-016-0175-5>.
- U formos liktiniai klojiniai*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-04-02]. Prieiga per: <https://finnfoam.lt/sprendimai/pamatu-siltinimas/u-formos-liktiniai-klojiniai/>.
- KECEK, Gülnur, Fatma DEMİRAG. A Comparative Analysis of TOPSIS and MOORA in Laptop Selection. *Research on Humanities and Social Sciences* [interaktyvus]. 2016, 6(14) [žiūrėta 2021-04-03]. ISSN: 2225-0484. Prieiga per: <https://core.ac.uk/download/pdf/234675217.pdf>.
- ANDANI, Sundari Retno, PONINGSIH, Widodo SAPUTRA, Muhammad Ridwan LUBIS, Irfan Sudahri DAMANIK, Khairun Nisa ARIFIN NUR, Rahmadani Fitri SINAGA. Application of the MOORA Method for Decision Making in

2 Priedas Ekspertų nuomonių suderinamumo norminių reikšmių lentelė

Norminė χ^2_{lent} reikšmė

ν	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.1	0.05	0.025	0.01
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2.71	3.84	5.02	6.63
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	4.61	5.99	7.38	9.21
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	6.25	7.81	9.35	11.34
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	7.78	9.49	11.14	13.28
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	10.64	12.59	14.45	16.81
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.53	20.09
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.28	19.68	21.92	24.72
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	23.68	26.12	29.14
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.58
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.89	41.92	45.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	37.92	41.34	44.46	48.28
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89
32	15.13	16.36	18.29	20.07	22.27	42.58	46.19	49.48	53.49
34	16.50	17.79	19.81	21.66	23.95	44.90	48.60	51.97	56.06
38	19.29	20.69	22.88	24.88	27.34	49.51	53.38	56.90	61.16
42	22.14	23.65	26.00	28.14	30.77	54.09	58.12	61.78	66.21
46	25.04	26.66	29.16	31.44	34.22	58.64	62.83	66.62	71.20
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.50	71.42	76.15