



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos, naudojamos
pramoniniams pastatams, daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Mantas Kecorius
Projekto autorius

Dr. Dainius Vaičiulis
Vadovas

Panevėžys, 2022



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos, naudojamos
pramoniniams pastatams, daugiakriteris vertinimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas
Statybos valdymas (6211EX007)

Mantas Kecorius

Projekto autorius

Dr. Dainius Vaičiulis

Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2022



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Mantas Kecorius

Sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos, naudojamos pramoniniams pastatams, daugiakriteris vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Mantas Kecorius
Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Mantui Kecoriui**

Baigiamojo projekto tema lietuvių kalba

SUTAPDINTO STOGO HIDROIZOLIACINĖS DANGOS, NAUDOJAMOS PRAMONINIAMS PASTATAMS, DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

Baigiamojo projekto tema anglų kalba

MULTICRITERIA EVALUATION OF FLAT ROOF WATERPROOFING COATING OF INDUSTRIAL BUILDINGS

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

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Moodle aplinką terminas iki 2022 m. sausio 5 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrime panaudoti ne mažiau kaip 4-ias stogų hidroizoliacines dangas. Taikyti daugiakriterius TOPSIS ir M-TOPSIS metodus. Tyrime panaudoti ne mažiau kaip 5-is rodiklius, apibūdinančius sutapdintų stogų hidroizoliacines dangas. Apklausti ne mažiau kaip 10-imt statybos srities ekspertų. Baigiamasis magistro projektas turi atitikti KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto baigiamųjų projektų rengimo metodinius reikalavimus.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

- 1. Išnagrinėti Lietuvos ir užsienio mokslininkų atliktus tyrimus susijusius su stogų hidroizoliacinėmis dangomis.*
- 2. Aprašyti taikomų vertinimo metodų algoritmus.*
- 3. Atlikti statybos srities ekspertų apklausą sutapdintų stogų hidroizoliacinių dangų klausimais.*
- 4. Taikant daugiakriterius vertinimo metodus nustatyti racionaliausias (iš nagrinėtų) sutapdintų stogų hidroizoliacinę dangą.*

Vadovas / Vadovė:

Dainius Vaičiulis

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau:

Mantas Kecorius

(studento vardas, pavardė, parašas)

2021 m. lapkričio 19 d.

Kecorius, Mantas. Sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos, naudojamos pramoniniams pastatams, daugiakriteris vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Pramoninis pastatas, sutapdintas stogas, hidroizoliacinė danga, TOPSIS, M-TOPSIS.

Panevėžys, 2022. 66 p.

Santrauka

Vystantis statybos sektoriui, plečiantis pastatų mastams ir tobulėjant technologijoms bei medžiagoms, sunku rasti efektyvias ir jau patikrintas statybines medžiagas. Stogas yra vienas iš svarbiausių ir brangiausių pastato dalių, tad netinkamai parinkus stogo hidroizoliacinę dangą galima patirti didelių nuostolių. Daugelis susiduria su sunkumu sprendžiant, ar pasirinktas stogas yra tinkamas, užtikrinantis pastatui apsaugą ne tik nuo kritulių, bet ir nuo saulės spindulių, vėjo bei ekstremalių temperatūrų.

Taigi šio darbo pirmame skyriuje yra išnagrinėta 20 literatūros šaltinių, tarp kurių 15 moksliniai straipsniai, 4 tyrimieji darbai ir 1 monografija. Pirmoje dalyje išnagrinėta Lietuvos ir užsienio mokslinių straipsnių didžiausios pasitaikančios klaidos įrenginėjant pramoninio pastato sutapdinto stogo hidroizoliacines dangas, hidroizoliacinių siūlių įrengimo problemas bei apžvelgtas dangų poveikis aplinkai. Apžvelgta didžiausios projektuotojų klaidos projektuojant sutapdintus stogus ir išanalizuota kokią įtaka hidroizoliacinėi dangai daro saulė. Antrame skyriuje pateikta šiai dienai dažniausiai naudojami daugiakriterių vertinimo metodų apžvalga, pateikta TOPSIS ir M-TOPSIS išsamūs metodų algoritmai, aprašytas apklausos rezultatų suderinamumo rodiklio nustatymo algoritmas. Tyriamojoje dalyje buvo sudarytos keturios grupės: pirmąją grupę sudarė: darbų vadovai, statybos vadovai ir projektų vadovai, antrąją grupę projektų inžinieriai, trečiąją grupę – suminė grupė, o ketvirtąją grupę su vienodais rodiklio reikšmingumo kriterijais. Kai reikšmingumo kriterijus nustatytas tik tais pagal darbų vadovų apklausas ir sprendimas atliktas pagal TOPSIS ir M-TOPSIS metodus, gauta, kad EPDM stogo danga abiejais metodais yra efektyviausia stogo danga. Kai sprendimas atliekamas pagal projektų inžinierių rodiklio reikšmingumus, nustatyta, kad abiejais metodais efektyviausia stogo danga yra EPDM. Bendroje grupėje buvo apskaičiuotas bendras darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių rodiklių reikšmingumas. Pagal atliktus daugiakriterius TOPSIS ir M-TOPSIS vertinimo metodus, nustatyta, kad geriausia sutapdinto stogo hidroizoliacinė danga gauta EPDM. Paskutinėse tyrimosios dalies skaičiavimuose, gauta, kad efektyviausia iš visų tyrimų dangų yra EPDM. Taigi, iš visų tirtų hidroizoliacinių dangų EPDM stogo danga, visais skaičiavimo atvejais gauta efektyviausia, o neefektyviausia visais skaičiavimo atvejais gauta bituminė MIDA Balt PV S4B stogo danga.

Kecorius, Mantas. Multicriteria evaluation of flat roof waterproofing coating of industrial buildings. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. prof. dr. Dainius Vaičiulis; Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technology and Business.

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

Keywords: Industrial building, flat roof, waterproofing coating, TOPSIS, M-TOPSIS.

Panevėžys, 2022, 66 p.

Summary

As the construction sector develops, the scale of buildings expands and technologies and materials improve, it is difficult to find efficient and proven building materials. The roof is one of the most important and expensive parts of a building, so improper choice of roof waterproofing can cause significant losses. Many face difficulty in deciding whether the roof they choose is suitable, providing the building with protection not only from rainfall but also from sunlight, wind and extreme temperatures.

Thus, the first chapter of this work examines 20 literature sources, including 15 scientific articles, 4 research papers, and 1 monograph. The first part examines the biggest errors of Lithuanian and foreign scientific articles in the installation of waterproofing coatings on the overlapped roof of an industrial building, the problems of installation of waterproofing joints and the impact of coatings on the environment. The biggest designers' mistakes in designing overlapping roofs are reviewed and the influence of the sun on the waterproofing coating is analyzed. The second chapter provides an overview of the most commonly used multi-criteria assessment methods to date, the detailed method algorithms of TOPSIS and M-TOPSIS, and the algorithm for determining the compatibility of survey results. Four groups were formed in the research part: the first group consisted of works managers, construction managers and project managers, the second group of project engineers, the third group - a total group, and the fourth group with the same criteria of significance of the indicator. When the significance criterion was determined only according to the surveys of the supervisors and the decision was made according to the TOPSIS and M-TOPSIS methods, it was found that the EPDM roof covering is the most effective roof covering in both methods. When the decision is made according to the significance of the indicator of the project engineers, the most effective roofing for both methods was found to be EPDM. The overall significance of the indicators for supervisors, construction managers, project managers, and project engineers was calculated for the overall group. According to the multi-criteria evaluation methods TOPSIS and M-TOPSIS, the best waterproofing of the overlapped roof was found to be EPDM. In the last calculations of the study part, it was found that EPDM is the most effective of all the coatings studied. Thus, of all the waterproofing coatings investigated, EPDM roofing was the most efficient and the most inefficient bituminous MIDA Balt PV S4B roofing in all calculations.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų sąrašas	13
Įvadas	14
1. Literatūros apžvalga	15
1.1. Pramoninių pastatų hidroizoliacinės dangos	15
1.2. Hidroizoliacinių dangų aplinkos poveikis	16
1.3. Saulės įtaka stogo dangai	18
1.4. Vėjo įtaka pramoniniams pastatams šiaurės Amerikoje	19
2. Daugiakriteriai TOPSIS ir M-TOPSIS vertinimo metodai	21
2.1. Daugiakriterinių vertinimo metodų apžvalga	21
2.2. Daugiakriteris TOPSIS vertinimo metodas	22
2.3. Daugiakriteris M-TOPSIS vertinimo metodas	23
2.4. Apklausos suderinamumo rodiklis	24
2.5. Hidroizoliacinės dangos ir jų vertinimo rodikliai	25
3. Hidroizoliacinių dangų daugiakriteris vertinimas	27
3.1. Hidroizoliacinių dangų rodikliai	27
3.1.1. Medžiagos kainos nustatymas	27
3.1.2. Medžiagos įrengimo laiko nustatymas	28
3.1.3. Medžiagos ilgaamžiškumo, storio, santykinės masės, didžiausios tempimo jėgos ir degumo klasės pasirinkimas	28
3.2. Hidroizoliacinės dangos reikšmingumo nustatymas	29
3.3. Stogo hiddroizoliacinių dangų lyginimas daugiakriteriu TOPSIS metodu	32
3.3.1. Vertinami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai	32
3.3.2. Vertinami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai	36
3.3.3. Vertinami visų apklausos dalyvių (darbų, statybos ir projektų vadovų bei projektų inžinierių) nurodyti rodiklių reikšmingumai	39
3.3.4. Visų rodiklių reikšmingumai yra vienodi	42
3.3.5. Rezultatų, gautų TOPSIS metodu, apibendrinimas	45
3.4. Stogo hidroizoliacinių dangų lyginimas daugiakriteriu M-TOPSIS metodu	46
3.4.1. Vertinami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai	46
3.4.2. Vertinami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai	47
3.4.3. Vertinami visų apklausos dalyvių (darbų, statybos ir projektų vadovų bei projektų inžinierių) nurodyti rodiklių reikšmingumai	49
3.4.4. Visų rodiklių reikšmingumai yra vienodi	50
3.4.5. Rezultatų, gautų M-TOPSIS metodu, apibendrinimas	52
3.5. Rezultatų gautų TOPSIS ir M-TOPSIS palyginimas	52
3.5.1. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumai	52
3.5.2. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai naudojami projektų inžinierių rodiklių reikšmingumai	53
3.5.3. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių suminis rodiklių reikšmingumas	54

3.5.4. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai visų rodiklių reikšmingumai lygūs.....	54
Išvados.....	56
Literatūros sąrašas.....	57
Priedas.....	62

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Norminės x^2_{lent} reikšmės [44]	25
2 lentelė. Hidroizoliacinių medžiagų kainos 2021.10 mėn.	27
3 lentelė. Hidroizoliacinių dangų įrengimo laikas.....	28
4 lentelė. Hidroizoliacinių dangų duomenys paimti iš gamintojų techninių specifikacijų	29
5 lentelė. Darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų apklausos rezultatų suvestinė išreikšta balais	30
6 lentelė. Projektų inžinierių apklausos rezultatų suvestinė išreikšta balais.....	30
7 lentelė. Darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių gautų rezultatų suvestinė išreikšta balais.....	31
8 lentelė. Galimų sprendimų matrica.....	33
9 lentelė. Normalizuota galimų sprendimų matrica.....	33
10 lentelė. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	34
11 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	34
12 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	35
13 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai	36
14 lentelė. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai	37
15 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	37
16 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	38
17 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai	38
18 lentelė. Suvestinės normalizuota sprendimų matrica, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	39
19 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai	40
20 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai	40
21 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	41
22 lentelė. Suvestinės normalizuota sprendimų matrica, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi.....	42
23 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi.....	43
24 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi.....	43
25 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi.....	44

26 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai	46
27 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumai.....	47
28 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	47
29 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai	48
30 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	49
31 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai	49
32 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai visų rodiklių reikšmingumai nurodyti vienodi.....	50
33 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai naudojami vienodi	51

Paveikslų sąrašas

1 pav. Stogo dangos siūlės suirimas [10].....	15
2 pav. Sutapdinto betoninio stogo atsiradę defektai [15].....	17
3 pav. Sutapdinto betoninio stogo eksperimente naudojamos dangų spalvos [19].....	19
4 pav. Sklypo vieta Sigourney, Ajojoje, JAV [20].....	20
5 pav. Sprendimų priėmimo M-TOPSIS metode grafinis atvaizdavimas.....	23
6 pav. Hidroizoliacinių medžiagų kainos ■ – bituminė danga; ■ – PVC danga; ■ – TPO/FPO danga; ■ – EPDM danga.....	27
7 pav. Hidroizoliacinių dangų įrengimo laikas $1 \text{ m}^2/\text{min}$	28
8 pav. Pirmos apklausos dalyvių pareigos statybos srityje ■ – darbų vadovai; ■ – statybos vadovai; ■ – projektų vadovai.....	29
9 pav. Palyginamoji diagrama ■ - darbų vadovai, statybos vadovai ir projektų vadovai; ■ - projektų inžinieriai; ■ – visų apklausos dalyvių.....	32
10 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ - A^- plokštumoje, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	35
11 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai, pagal TOPSIS metodą, naudojant darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodytus rodiklių reikšmingumus.....	36
12 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ - A^- plokštumoje, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	38
13 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal TOPSIS metodą, naudojant projektų inžinierių nurodytus rodiklių reikšmingumus.....	39
14 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ A^- plokštumoje, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	41
15 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal TOPSIS metodą, naudojant visų apklausos dalyvių nurodytus rodiklių reikšmingumus.....	42
16 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ A^- plokštumoje, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi.....	44
17 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi.....	45
18 pav. Rodiklių atstojamųjų efektyvumų pagal TOPSIS metodą suvestinė, kai visų rodiklių reikšmingumai imami: ■ – pagal darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų apklausos rezultatus; ■ – pagal projektų inžinierių apklausos rezultatus; ■ – pagal visų apklausos dalyvių rezultatus; ■ – vienodi.....	45
19 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje A^+ - A^- pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	46
20 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	47
21 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje A^+ - A^- pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai.....	48

22 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai, pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai	48
23 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$ pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami visų apklauso dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai	49
24 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamasis efektyvumas naudojant abiejų apklausų suminių rodiklių reikšmingumą, pagal M-TOPSIS metodą	50
25 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$ pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami visų rodiklių reikšmingumai vienodi	51
26 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal M-TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai naudojami vienodi	51
27 pav. Rodiklių atstojamųjų efektyvumu pagal M-TOPSIS metodą suvestinę, kai rodiklių reikšmingumai imami: ■ – pagal darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų apklausos rezultatus; ■ – pagal projektų inžinierių apklausų rezultatus; ■ – pagal visų apklausų dalyvių rezultatus ■ – vienodi	52
28 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji „atstumai“, pagal darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumus: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą	53
29 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji atstumai, pagal projektų inžinierių rodiklių reikšmingumus: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą	53
30 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji atstumai, kai naudojami suminiai abiejų apklausų rodiklių reikšmingumai: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą	54
31 pav. Hidroizoliacinių dangų santykiniai atstumai, kai rodiklių reikšmingumai vienodi: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą	55

Santrumpų sąrašas

STR – statybos techninis reglamentas.

ES – Europos Sąjunga.

TOPSIS – (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – yra daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas.

M-TOPSIS – (angl. *Modified – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – yra modifikuotas daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas

EPDM – (angl. *Ethylene propylene diene monomer*) – yra viensluksnė sintetinio kaučiuko membrana, pagaminta iš etilenpropilendieno terpolimero, sumaišyto su suodžiais, alyvomis, kietikliais ir technologiniais priedais.

PVC – Polivinchloridas.

Įvadas

Vystantis statybos sektoriui, plečiantis pastatų mastams ir tobulėjant technologijoms bei medžiagoms, sunku rasti efektyvias ir jau patikrintas statybines medžiagas. Kadangi stogas yra vienas iš svarbiausių ir brangiausių pastato dalių, tad netinkamai parinkus stogo hidroizoliacinę dangą galima patirti didelių nuostolių. Daugelis susiduria su sunkumu sprendžiant, ar pasirinktas stogas yra tinkamas, užtikrinantis pastatui apsaugą ne tik nuo kritulių, bet ir nuo saulės spindulių, vėjo bei ekstremalių temperatūrų. Išvardyti veiksniai, kaip ir stogo konstrukcijos, privalo atitikti dabartinius Lietuvos Respublikos normatyvus tokius kaip: „Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys STR 2.04.01:2018“, „Poveikiai ir apkrovos STR 2.05.04:2003“ bei „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ STR 2.01.02:2016 [1-3].

Tyrimo objektas – sutapdinto stogo hidroizoliacinė danga.

Baigiamojo projekto tikslas: atlikti pramoninio pastato sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos daugiakriterius vertinimus ir nustatyti racionaliausią stogo dangą.

Baigiamojo projekto uždaviniai:

1. Apžvelgti mokslinius darbus susijusius su stogo hidroizoliacinių dangų panaudojimu Lietuvoje ir užsienyje.
2. Atsižvelgus į mokslinių darbų apžvalgą parinkti pramoninių pastatų sutapdintų stogų hidroizoliacines dangas ir jų vertinimo kriterijus.
3. Apklausus specialistus nustatyti hidroizoliacinių dangų vertinimo kriterijų reikšmingumus.
4. Nustatyti efektyviausią sutapdinto stogo hidroizoliacinę dangą pramoniniam pastatui, naudojant TOPSIS ir M-TOPSIS metodus.

Tyrimo metodai: Lietuvos ir užsienio mokslinės literatūros bei statybos techninių reglamentų nagrinėjimas, TOPSIS ir M-TOPSIS daugiakriteriai vertinimo metodai ir lyginamoji analizė.

Autoriaus publikuotų straipsnių bibliografinis sąrašas: Kecorius, Mantas. Sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos daugiakriteris vertinimas / Technologijų ir verslo aktualijos – 2021: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2021 balandžio 23 d. / Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas (žr. priedą).

Autoriaus konferencijoje skaityti pranešimai: Kecorius, Mantas. Sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos daugiakriteris vertinimas. Studentų mokslinė konferencija „Technologijų ir verslo aktualijos – 2021“. Panevėžys: Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, 2021 m. balandžio 23 d.

Baigiamojo projekto sudėtis ir apimtis. Baigiamąjį magistro projektą sudaro akademinio sąžiningumo deklaracija, baigiamojo projekto užduotis, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, lentelių ir paveikslukų sąrašai, įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir 1-as priedas. Projekto aiškinamojo rašto apimtis 57 p., kur yra 31 paveikslas ir 33 lentelės, priedo apimtis 9 p.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Pramoninių pastatų hidroizoliacinės dangos

Pramoninis pastatas laikomas nepriklausomu pastato tipu atsiradusiu XIX a. antroje pusėje. Pramoninį pastatą galima apibrėžti kaip – patalpa, kurioje atliekamos pramoninės gamybos ir sandėliavimo užduotys [4]. Pagrindinė šio pastato užduotis yra sudaryti geras darbo sąlygas gamybos procesui ir jame dirbantiems darbuotojams. Paprastai pramoniniai pastatai dažniausiai statomi iš plieno ir plieninių betono konstrukcijų, kuris skiriasi nuo daugumos administracinių ir kitų pastatų tipų. Pramoniniuose pastatuose yra akivaizdūs formos koeficiento (pastato paviršiaus ploto ir tūrio santykio) skirtumai, dėl kurių pramoninių pastatų šilumos ir masės perdavimas tam tikromis sąlygomis skiriasi nuo kitų pastatų tipų. Pramoninių pastatų stogas taip pat labai skiriasi nuo kitų pastatų tipų. Vieno aukšto ar mažaukščių konstrukcijų pramoninių pastatų stogo plotas yra daug didesnis nei administracinių ar gyvenamųjų namų esančių to paties dengto plote patalpose. Tokio tipo stogai įrengiami iš izoliacinių ir hidroizoliacinių sluoksnių ant stogo laikančios konstrukcijos. Priešingai nei jų pavadinimas, plokšti stogai nėra visiškai plokšti. Šiems stogams priskiriami tik tie, kurių nuolydis ne mažesnis nei $0,7^\circ$ ir ne didesnis kaip 7° . Įrengiant stogus su nuolydžiu nuo $0,7^\circ$ iki $1,4^\circ$, naudojami šio nuolydžio stogams naudojami specialiai pritaikyti statybos produktai ir konstrukciniai sprendimai, pagal hidroizoliacinės dangos gamintojo įrengimo rekomendacijas [5]. Kadangi pastato stogas yra vienas iš pastato dalių, keliančių daugiausiai problemų dėl vandens įsiskverbimo atsiradusio projektuojant, statant arba jau eksploatuojant pastatą, atliekant darbus yra svarbu stebėti ir užtikrinti darbų kokybės reikalavimus [6]. Pastaraisiais metais stogas tapo viena iš dažniausių atsirandančių problemų ne tik gyvenamuosiuose pastatuose, bet ir pramoniniuose. Šiandien sutapdinti stogai dominuoja daugelio šiuolaikinių miestų kraštovaizdyje [7], kurių viensluoksnių sistemų sritis šiai dienai sudaro apie 20-25 % Europos stogų dangų rinkos [8]. Nors ir pastaruosius keletą metų, kai hidroizoliacinių medžiagų įvairovė pasirodė viena po kitos, ne visose šalyse jos yra plačiai naudojamos dėl savo aukštos kainos, aukštų statybos reikalavimų ir dangos ilgaamžiškumo, kurį nuolat reikia prižiūrėti [9]. Autorius Kęstutis Peleckis straipsnyje [10] apžvelgė Lietuvos ir užsienio mokslininkų įvardytas problemas kylančias prilydomų dangų įrengimo procese. Kaip vieną iš pagrindinių problemų išskyrė netinkamai suklijuotas siūles, kas vėliau tampa siūlių suirimu (žr. 1 pav.). Būtent siūlių tarp ritininės medžiagos juostų stiprumas, vientisumas ir sandarumas užtikrina stogo dangos kokybę ir vandens nepralaidumą.



1 pav. Stogo dangos siūlės suirimas [10]

Norint išvengti nekokybiškai suklijuotų sandūrų lietuvių mokslininkai [11] pagal atliktą eksperimentą siūlo naudoti suldytų hidroizoliacinių siūlių pralaidumo nustatymo tyrimą, kuris yra

naudingas stogo hidroizoliacijos kokybės patikrinimo metodas. Per paliktą ertmę hidroizoliacinėje dangoje įpumpuoti 35 kPa slėgio, imituojančio siūlės atplėšimo modelį. Siūlės, kurios praleido dujas, buvo sužymėtos, kad jas iškart būtų galima sutvarkyt, prilydyti. Šis atliktas tyrimas ateityje padės išvengti didelių kaštų stogo remontui.

D. Kalibatas ir V. Kovaitis [12] savo darbe pasinaudodami SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) daugiakriteriu vertinimo metodu nagrinėjo skirtingas hidroizoliacines dangas (prilydomą bituminę dangą, polimero modifikuotas bitumo membranas ir sintetines (PVC, TPO, TPO/FPO, EPDM, EVA/EBA, PMMA) dangas) apverstiems administracinių paskirčių stogams ir nustatė efektyviausią sutapdinto stogo dangą. Autoriai dangas vertino pagal tokius rodiklius: 1 m² dangos kainą, montavimo našumą, išilginę tempimo jėgą, pailgėjimą, atsparumą garams, atsparumą plyšimui, lankstumą esant neigiamai temperatūrai ir maksimalų garantinį laikotarpį. Atliktas tyrimas parodė, kad efektyviausia stogo danga gauta TPO termoplastinė sintetinė membrana, kuri buvo pigiausia ir turėjo geriausias technines charakteristikas.

1.2. Hidroizoliacinių dangų aplinkos poveikis

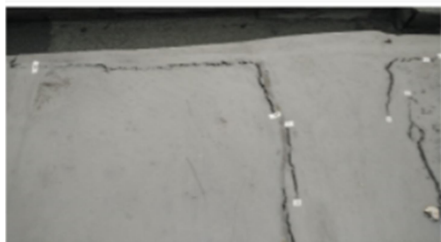
Kadangi šiuo metu sutapdinti stogai statybos srityje yra labiau paplitę nei šlaitiniai, šiems stogams yra skiriamasis itin didelis dėmesys ne tik jų įrengimui, siūlių sandarinimui bet ir medžiagų savybėms. Apie hidroizoliacinių sprendimų gyvavimo ciklo poveikius aplinkai ir ekonominiam poveikiui autoriai [13] atliko palyginimą tarp bitumo ir sintetinių membranų remdamiesi Europos duomenų bazių rezultatais. Buvo tiriamos šios dangos: bituminės membranos – APP ir SBS, sintetinės membranos – PVC, TPO, HDPE ir EPDM; skystos membranos – bituminė, akrilo, epoksidinės ir poliuretano. Atlikę daugiakriterį gyvavimo ciklo vertinimą derinant sąnaudas ir poveikį aplinkai per gyvavimo ciklą nustatė, kad visų tipų stogams bituminės membranos yra geriausias pasirinkimas, o sintetinės EPDM membranos – blogiausias [13].

Carretero-Ayuso'as ir kiti [14] išanalizavo 44 statybos projektus, parengtus 2000-2007 m., siekiant nustatyti įprastas klaidas, kurias projektuotojai daro projektuodami plokščius stogus. Išanalizavus pastebėta, kad projektuose padaryta daug klaidų, kurios neišvengiamai sukels būsimas problemas dėl stogo drėgmės ir nepralaidumo vandeniui. Aptarė dažniausiai pasitaikančias klaidas, turinčias didesnę nelaimingų atsitikimų riziką, nors išsamiai nenagrinėjo techninės priežiūros aspektų: sumontavus membraną nenumatytas mažiausias reikalaujamas aukštis nuo stogo grindų, stogo kampuose membrana nėra tinkamai sustiprinta.

Kitame tų pačių autorių tyrime buvo tirta 12 ligoninių stogų Estremadūroje (Ispanija) kuriame pasirinko būtent tyrimą taikyti ligoninių stogams, nes anot autorių jokia nuoroda neteikė šio tikimybinio modelio, siekianti optimizuoti jų profilaktinę priežiūrą, kontroliuoti jų patikimumą ir sumažinti eksploatacines išlaidas bei gedimo riziką. Mokslininkai atlikę tyrimą nustatė, kad požiūris į profilaktinę stogo priežiūrą padėjo pratęsti stogų tarnavimo laiką iki 8 metų, o patikimumas viršijo net 63,21 %. Tinkamiausias laikas membranai pakeisti buvo įvertintas nustatant jų skilimo būklę paskutinio patikrinimo metu. Tai leido suplanuoti eksploatuojamų stogų priežiūrą per visą jų tarnavimo laiką, atsižvelgiant į jų patikimumą. Prevencinės priežiūros svarba taip pat buvo įrodyta kartu su tuo, kaip ji padidina PVC stogų tarnavimo laiką 40 %, o bituminių ir elastomerinių stogų – 50 %. Šiuo požiūriu nustatyta, kad mažiausiai pažeistos yra PVC membranos. Apskaičiuotas vidutinis membranų eksploatavimo laikas išanalizavus 3 skirtingus plokščių stogų tipus darant

prielaidą, kad į skaičiavimus neįtraukiami valymo darbai, nuosėdų šalinimas ar konstrukcinių elementų, turinčių įtakos vandens nepraleidimui. Gauti tyrimo metu vidutiniai membranų eksploataavimo laikai: 28 metai PVC membranai, 24 metai elastomerinei dangai ir 21 metai bituminei [14].

Chin-Ong'as ir kiti vertino taisomųjų procedūrų kokybę keliems betoniniams sutapdinto stogo pastatams. Eksperimentas atliktas nesėkmingai, nes inspektoriai nustatė daug stogo defektų (žr. 2 pav.) [15].



a) įtrūkimai



b) augalija



c) stogo parapeto įrimas



d) parapeto įrimas



e) cheminis poveikis



f) nepakankamas dangos užleidimo aukštis



g) nepakankamas klijų kiekis



h) netinkamai įrengta vandens įlaja

2 pav. Sutapdinto betoninio stogo atsiradę defektai [15]

Kiti tyrėjai pasiūlė plokščių stogų priežiūros planą, pagrįsta lauko darbų apklausa, kur išanalizavo 26 plokščius stogus Lisabonos regione, Portugalijoje, kur pastatai atitiko bendrą 21 662 m² stogo plotą. Šiuo planu ketinama nuolat ir efektyviai stebėti visas plokščių stogo konstrukcijas, taip sumažinant defektų atsiradimą ir plitimą stogo konstrukcijose, kurie galutiniame rezultate padės

išvengti didelių išlaidų. Šie lauko darbų metu išanalizuoti stogai apima skirtingo naudojimo pastatus (gyvenamosios, pramoninius ir administracinius), įvairaus amžiaus nuo 12 iki 73 metų. Atliekant analizę, buvo stebimos tokios stogo konstrukcijos: apkrovas laikančios konstrukcijos, stogo hidroizoliacinė danga, apsauginis betono sluoksnis, lietaus nuvedimo sistema ir parapetas. Atlikus išsamią analizę daugiausia defektų rasta ant hidroizoliacinio dangos, kuriai reikalinga griežtesnė priežiūra. Rasti šie stogų estetinio pobūdžio defektai: įvairios nuolaužos, paviršiaus nešvarumai, cheminis aplinkos poveikis ir augmenija. Šie defektai dažniausiai būna pirmieji gedimo simptomai, kuriuos sukelia darbuotojų ir savininkų priežiūros trūkumas. Todėl tam, kad stogas būtų efektyvus, turi būti sudaryti priežiūros planai, siekiant periodiškai stebėti stogų būklę, rastų defektų taisymas, taip užtikrinant, kad stogai visada atitiktų tinkamus veiklos reikalavimus [16].

1.3. Saulės įtaka stogo dangai

Pastatų stogai atlieka esminį energijos vartojimo efektyvumo vaidmenį, nes karštu oru stogai sugeria didelį saulės spinduliuotės kiekį, o šaltu oru per stogus prarandama daug šilumos [17]. Šiuo metu, kai oro temperatūra vasaros mėnesiais vis kyla, saulės įtaka stogo dangai tampa labai aktuali. Kiekvieną dangą saulė veikia skirtingai, viena iš priežasčių – medžiagos spalva. Jan'as Plachy'is ir Jana Vysoka atliko eksperimentinį tyrimą panaudodami skirtingas dangų spalvas: šviesiai pilka, tamsiai pilka, raudona, ruda, šviesiai žalia ir tamsiai žalia. Eksperimentui atlikti naudojo 100 x 50 mm polimerinių membranų pavyzdžius. Šios dangos buvo sudėtos vasaros sezono metu ant plokščio stogo 2 metrų aukštyje, kurio nuolydis 5° ir nukreiptas į pietryčių pusę. Mokslininkų tyrimas parodė, kad maksimali temperatūra buvo pasiekta ant tamsiai žalios dangos ir siekė net iki 80,3 °C, kai šviesiai pilka danga įkaito iki 70,2 °C. Gauti rezultatai parodo, kad polimerinės membranos spalva turi didelį poveikį paviršiaus temperatūrai ir taip pagreitinanti savo nusidėvėjimo procesą [18].

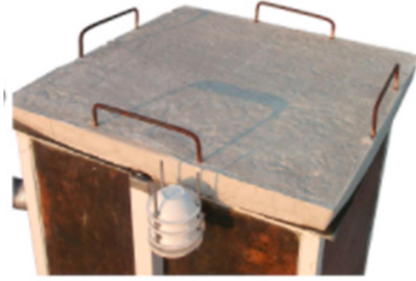
Hernandez'as-Perez'as ir kt. atliko eksperimentą, kuriame įvertino betoninio stogo hidroizoliacinių dangų poveikį pastatų stogų energijos priaugimui Meksikoje. Eksperimentui atlikti naudojo metalines dėžutes, į kurias buvo pripilta betono, kuris padengta atitinkamomis spalvomis (žr. 3 pav). Tyrimas buvo stebimas 13 dienų, kai vidutinė oro temperatūra siekė iki 32,5 °C. Tyrimas atskleidė, kad per 13 dienų stebėjimo laikotarpį stogai pasiekė tokias maksimalias temperatūras: juodasis stogas pasiekė apie 60 °C, terakotinis apie 50 °C, baltas apie 29 °C, o pilkas apytiksliai 52 °C.



a) Juodas stogas



b) Terakotinis stogas



c) Pilkas stogas



d) Baltas stogas

3 pav. Sutapdinto betoninio stogo eksperimente naudojamos dangų spalvos [19]

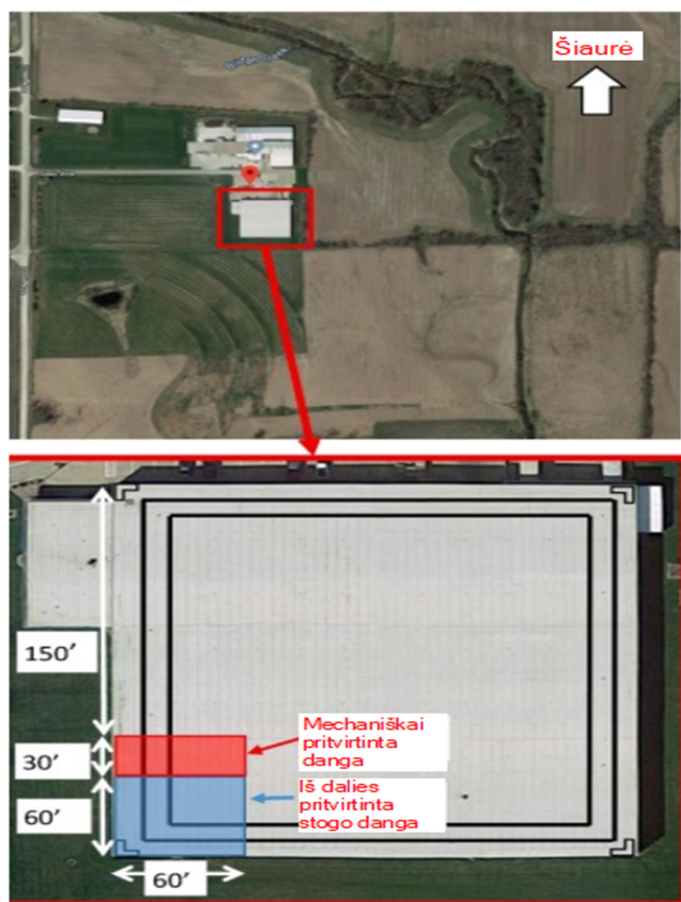
Iš šio tyrimo, mokslininkai padarė prielaidą, kad balto stogo didžiausias šilumos srautas buvo iki 74 % mažesnis nei juodo stogo. Balto stogo energijos pritaikymas 73 % mažesnis nei atitinkamo juodo stogo. Juodasis stogas per dieną suvartojo 33 % ir 37 % daugiau energijos nei pilki ir terakotiniai stogai. Ir nustatė, kad balti stogai yra gera modernizavimo strategija Meksikoje, siekiant sumažinti pastato energijos suvartojimą [19].

1.4. Vėjo įtaka pramoniniams pastatams šiaurės Amerikoje

Šiaurės Amerikoje daugiau nei 60 % mažo nuolydžio pastatų yra dengti membranomis. Autoriai [20] atliko eksperimentinį tyrimą, kurio tikslas – palyginti mechaniškai pritvirtintą stogo dangą su iš dalies pritvirtinta stogo danga. Tyrimui atlikti pasirinktas pastatas atitinkantis tokius kriterijus:

- atvira vietovė;
- pastato aukštis ne didesnis nei 18 metrų;
- kvadrato formos stogas su žemais parapetais arba be jų;
- vyraujantys dažni vėjai, didesni nei 13 m/s;
- stogo sistema, sumontuota pagal pramoninių pastatų standartus.

Remiantis šiais kriterijais pasirinkta gamykla Sigourney mieste, Ajovoje, JAV (žr. 4 pav.).



4 pav. Sklypo vieta Sigourney, Ajovoje, JAV [20]

Pastatas yra kvadrato formos, kurio matmenys 73 m x 73 m, aukštis 7 m, o stogo nuolydis $1,4^\circ$ be parapetų. Projekto tikslais buvo pašalintos dvi stogo dalys ir perdengtos naujomis mechanškai ir iš dalies pritvirtintomis dangomis bei sumontuoti slėgio čiaupų identifikavimo instrumentai. Straipsnyje pagrindinis dėmesys skiriamas skirtingų tvirtinimo sistemų palyginimui, kai abi sistemos veikiamos vienodo artėjančio vėjo. Vėjo greičiui matuoti naudojami ultragarsiniai ir propeleriniai anemometrai. Autoriai siekdami užtikrinti aukštos kokybės duomenis (vėjo greitį), nuo 2018 m. balandžio mėn. iki lapkričio mėn. nuolat rinko vėjo greičio duomenis, o galutinį pasirinko vidutinį 13 m/s vėjo greitį. Tyrimas atskleidė, kad mechanškai ir iš dalies priklijuotos dangos vėjo reakcijai reaguoja skirtingai. Mechanškai pritvirtintos dangos slėgis atliktu bandymu buvo sistemingai mažesnis nei priklijuotos dangos. Eksperimento duomenys parodė, kad mechanškai pritvirtinta danga yra maždaug 20 % mažesnio slėgio veikiamą dangą, kai vėjas yra iš šiaurės vakarų ir vakarų [20].

2. Daugiakriteriniai TOPSIS ir M-TOPSIS vertinimo metodai

2.1. Daugiakriterinių vertinimo metodų apžvalga

Šiai dienai statybos srityje įvairių konstrukcijų ir elementų tyrimui yra naudojama daugybė daugiakriterinių vertinimo metodų. Lietuvių ir užsienio mokslininkai [21-23] labiausiai naudojamus išskyrė šiuos:

- TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*);
- M-TOPSIS (angl. *Modified – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*);
- AHP (angl. *Analytical Hierarchy Process*);
- SAW (angl. *Simple Additive Weighting*);
- DEMATEL (angl. *Decision Making Trial And Evaluation Laboratory*);
- ELECTRE (angl. *The Elimination And Choice Translating Reality*);
- PROMETHEE (angl. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*);
- DEA (angl. *Data Envelopment analysis*);
- COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*);
- DRSA (angl. *Dominance-based rough set approach*);
- FSs (angl. *Fuzzy sets*);
- GST (angl. *Grey system theory*);
- GT (angl. *Game theory*);
- HOQ (angl. *House of quality*);
- IFSs (angl. *Intuitionistic fuzzy sets*);
- MAUT (angl. *Multi-attribute utility theory*);
- MAVT (angl. *Multi-attribute value theory*);
- MCS (angl. *Monte Carlo simulations*);
- MEW (angl. *Multiplicative exponential weighting*);
- MIVES (angl. *Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles*);
- SIR (angl. *Superiority and inferiority raking*);
- SMAA (angl. *Stochastic multi objective acceptability analysis*);
- UT (angl. *Utilities theory*);
- UTA (angl. *Utilities additives*);
- VIKOR (angl. *Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*);
- SWARA (angl. *Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis*);
- ir kt.

Remiantis autorių straipsniais [24-27] kurie TOPSIS įvardija kaip vieną iš lengviausių ir vieną iš plačiausiai taikomų daugiakriterių metodų statybos srityje, kurio skaičiavimai nesikeičia nepaisant sprendimo kriterijų ir alternatyvų skaičiaus. Internete nėra atlikto hidroizoliacinių dangų tyrimo daugiakriteriu TOPSIS ir M-TOPSIS vertinimo metodais ir tai, kad buvo bandoma tobulinti ir modifikuoti TOPSIS daugybę kartų ir iš tų bandymų M-TOPSIS yra tinkamiausias metodas šio baigiamojo projekto tikslams [28] pasiekti. Autoriaus [29] tyrimu metodas turi gerą patikimumo efektyvumą, todėl savo tyriamojoje dalyje efektyviausiai stogo hidroizoliacinei dangai parinkti naudosisi TOPSIS ir M-TOPSIS metodus, kuris [27-42] autorių puikiai tinka norint parinkti efektyviausia ir neefektyviausia dangą iš tirtų dangų.

TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) yra daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas, pagrįstas idėja, kad rekomenduojamas sprendimas turėtų būti kaip galima „arčiau“ geriausio pasirinkimo ir kaip galima „toliau“ nuo prasčiausio pasirinkimo. Skirtingi kriterijai gali turėti skirtingas specifines kokybines savybes, matavimo vienetus ir santykinės svorio skales [41]. Dažniausiai kriterijus galima apibūdinti tik subjektyviai, o kitus – tik išreikšti skaičiais, todėl mokslininkai yra sukūrę šiuolaikinio daugiakriterio sprendimo pagrindus. Šis TOPSIS metodas panaudotas kaip sprendimų palaikymo sistema, kuri yra tinkama stogo hidroizoliaciniai dangai parinkti.

M-TOPSIS (angl. *Modified – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) yra modifikuotas TOPSIS metodas aprašomas kaip procesas skaičiuojantis atstumą tarp alternatyvų ir atskaitos taškų tarp D^+ ir D^- , kurių reikšmė K statoma alternatyvos kokybei įvertinti [25, 29, 43, 45].

2.2. Daugiakriteris TOPSIS vertinimo metodas

Pirmas žingsnis norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą P , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas (m – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius (n – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos [28].

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

čia x_{ij} – i -osios alternatyvos; j -ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant TOPSIS metodą, sprendimų matrica P normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

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

Normalizuotos matricos \bar{P} nariai yra bedimensiniai dydžiai:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės q_j^* , ($j = \overline{1, n}$).

Taikant (4) formulę, sudaroma svertinė normalizuota matrica \bar{P}^* :

$$\bar{P}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \dots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \dots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \dots & q_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

„Geriausias“ variantas (alternatyva) yra nustatomas pagal (5) formulę:

$$A^+ = \{(\max v_{ij} \mid j \in J), (\min v_{ij} \mid j \in J') \mid i = \overline{1, m}\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}; \quad (5)$$

čia J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė. „blogiausias“ sprendimas nustatomas pagal formulę:

„Blogiausias“ sprendimas nustatomas pagal formulę:

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}. \quad (6)$$

„Atstumas“ tarp lyginamojo i -tojo ir „geriausio“ A^+ varianto nustatomas skaičiuojant atstumą n -matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, (i = \overline{1, m}), \quad (7)$$

tarp i -tojo ir „Blogiausio“ A^- , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, (i = \overline{1, m}). \quad (8)$$

Galutiniu TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno i -tojo varianto santykinis „atstumas“ iki „blogiausio“ varianto:

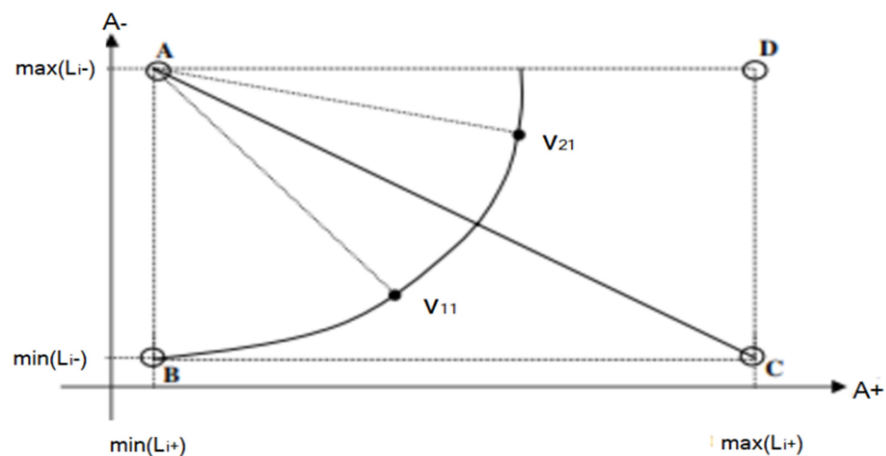
$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (9)$$

Kuo K_i reikšmė yra artimesnė vienetui, tuo i -asis variantas artimesnis A^+ tai yra, racionalus variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia.

Šiame darbe santykius K_i vadinsime „rodiklių atstojamuoju efektyvumu pagal TOPSIS metodą“.

2.3. Daugiakriteris M-TOPSIS vertinimo metodas

Taikant M-TOPSIS metodą sprendimas priimamas ne pagal rodiklių santykinį atstojamąjį „atstumą“ iki blogiausių rodiklių verčių, o pagal „atstumą“ iki geriausių rodiklių rinkinio, t.y. pagal „atstumą“ iki galimai „geriausio“ taško, kurio koordinatės plokštumoje A^+A^- yra $[\min(L_i^+); \max(L_i^-)]$ (žr. 5 pav.).



5 pav. Sprendimų priėmimo M-TOPSIS metode grafinis atvaizdavimas

Iki „atstumų“ tarp dangų rodiklių verčių ir galimai geriausių bei blogiausių rodiklių verčių (L_i^+ ir L_i^-) TOPSIS ir M-TOPSIS metodai yra tapatūs, todėl išraiškos (1)-(8) abiemis metodams yra vienodos. Rodiklių atstojamieji atstumai iki galimai geriausio taško apskaičiuojami taip [43]:

$$K_{G_i} = \sqrt{[L_i^+ - \min(L_i^+)]^2 + [L_i^- - \max(L_i^-)]^2} \quad (10)$$

čia $i = 1, \dots, m$.

Kai kelių alternatyvų K_{G_i} yra lygus, tai apie geriausią pasirinkimą sprendžiama pagal:

$$K_{G_i} = L_i^+ - \min(L_i^+)$$

Šiuo atveju geriausiu laikomas sprendimas, kurio K_{G_i} vertė yra mažiausia.

TOPSIS metode sprendimas priimamas pagal rodiklį, kurio vertė yra didžiausia, o M-TOPSIS metode - pagal rodiklį, kurio vertė yra mažiausia.

Kad paprasčiau būtų galima sulygtinti TOPSIS ir M-TOPSIS metodų rezultatus įvedame atstojamąjį „atstumą“ iki taško, kurį nusako didžiausias atstumas iki galimai geriausio pasirinkimo, t.y. iki galimai „blogiausio“ taško, kurio koordinatės plokštumoje A^+A^- yra $[\max(L_i^+); \min(L_i^-)]$.

$$K_{B_i} = \sqrt{[L_i^+ - \max(L_i^+)]^2 + [L_i^- - \min(L_i^-)]^2} \quad (11)$$

Kai kelių alternatyvų K_{B_i} yra lygus tai apie geriausią pasirinkimą sprendžiama pagal:

$$K_{B_i} = L_i^+ - \max(L_i^+)$$

Šiame darbe geriausiu laikomas sprendimas, kurio K_{B_i} vertė yra didžiausia (analogiškai kaip ir TOPSIS metode).

Kadangi TOPSIS metode galutinis rodiklis yra santykinis, tai ir „atstumą“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje A^+A^- imsime santykinį:

$$K_{BS_i} = \frac{K_{B_i}}{\max(K_{B_i})} \quad (12)$$

Šį santykį vadinsime „rodiklių atstojamuoju efektyvumu pagal M-TOPSIS metodą“.

2.4. Apklausos suderinamumo rodiklis

Kadangi apklausoje dalyvavo tos pačios srities specialistai, bet skirtingų kvalifikacijų ir patirties turintys asmenys, reikia patikrinti ar jų atsakymai yra suderinami, t.y. vienas kitam neprieštarauja. Ekspertizės patikimumui išreikšti naudojamas Kendalo konkordacijos koeficientas, nusakantis atskirų nuomonių panašumo laipsnį. Konkordancijos koeficientas nustatomas pagal formules, pateiktas [46].

Vidutinis rangas:

$$\bar{t}_j = \frac{(\sum_{k=1}^r t_{jk})}{r}; \quad (13)$$

čia t_{jk} – k-ojo eksperto j-ojo rodiklio įvertinimas (kur „10“ – aukščiausias, „1“ – žemiausias įvertinimo balas); r – ekspertų skaičius.

Kiekvieno efektyvumo rodiklio nuokrypių kvadratų suma:

$$S = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2; \quad (14)$$

čia n – efektyvumo (tiriamųjų) rodiklių skaičius.

Konkordacijos koeficientas:

$$x^2 = \frac{12S}{r \cdot n \cdot (n+1)}; \quad (15)$$

Gauta reikšmė x^2 turi būti didesnė negu norminė reikšmė (žr. 1 lent.), kuri yra priklausanti nuo laisvumo laipsnio ($v=n-1=3-1=2$) ir reikšmingumo lygio (0,01). Jeigu $x^2 > v$ laikoma, kad nuomonės yra suderintos.

1 lentelė. Norminės x^2_{lent} reikšmės [44]

Rodiklių skaičius	v (laisvumo laipsniai)								
	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	20,09

2.5. Hidroizoliacinės dangos ir jų vertinimo rodikliai

Atlikus ekspertų apklausą buvo užduotas klausimas, kokį papildomą rodiklį jų nuomonę reikėtų įsivertinti, tačiau nei vienas respondentas nenurodė jokio papildomo kriterijaus.

Atsižvelgiant į Lietuvos ir užsienio tyrėjų straipsniuose pateiktus duomenis bei respondentų apklausą savo baigiamojo darbo tyrimui yra pasirinktos tokios hidroizoliacinės dangos:

- Bituminė stogo danga MIDA Balt PV S4B;
- PVC stogo danga Sika Sikaplan 15G;
- TPO/FPO stogo danga MAPEPLAN T M 15;
- EPDM stogo danga.

Bituminė stogo danga. Danga gaminama įmirkytą bitumu neaustinio poliesterinio pluošto pagrindu iš abiejų pusių padengiant modifikuotais polimerais SBS (stirenas, butadienas ir stirenas), sumaišytas su mineraliniu užpildu. Bituminė danga yra prilydoma elastomerine – bituminė lakštinė (ritininė) stogų danga gaminama pagal EN 13707 reikalavimus. Šios dangos medžiagos sudėtyje nėra žmonėms ir gyvūnams pavojingų medžiagų. Viršutinis dangos sluoksnis yra padengtas stambiagrūdžiais mineraliniais pabarstais (skalūnu), apsaugančiais bituminį sluoksnį nuo saulės ultravioletiniu spindulių poveikio [48].

PVC (Polivinchlorido) stogo danga. Tai poliesteriu armuota, mechaniškai tvirtinama PVC stogo danga, kurios sudėtis yra: viršutinis sluoksnis iš lanksčios PVC, gaminamas spalvoto neslidaus tekstūrinio paviršiaus: pagrindas iš austo poliesterio audinio, apatinis PVC sluoksnis tamsiai pilkos spalvos. Šios dangos yra lengvos, greitai ir paprastai montuojamos, pernelyg neapkraunančios stogo konstrukcijų, tačiau tuo pačiu ir išliekančios plastiškos ir tvirtos [49].

PVC stogo dangos gali būti naudojamos tiek naujiems pastatų stogams, tiek stogų renovacijai. Naudojant šia dangą nereikia įrenginėti ventilacijos kaminėlių, kadangi ši danga susikaupusią drėgmę garina visu plotu. Dangos įrengimas gali būti atliekamas įvairiais metų laikais, nepriklausomai nuo oro sąlygų. Įrengus PVC dangą, stogui bus užtikrintas aukštas atsparumas vandeniui, ledui, karščiui ar tiesioginiams saulės spinduliams [49].

TPO/FPO tipo stogo danga. Ši danga yra sintetinė membrana, pagaminta iš elastingo poliolefino FPO pagrindu armuota ir didelio atsparumo poliesterio tinkleliu. Gaminama vienu etapu multi-ekstruzijos būdu, o armavimo tinklelis dangose įrengiamas be atskiro laminavimo. Ši hidroizoliacinė medžiaga atitinka EN 13956 standarto reikalavimus. Pagrindinės šios medžiagos savybės yra šios: geros apdorojimo ir sulydymo savybės, didelis mechaninis atsparumas, elastinga esant žemoms temperatūroms, atspari senėjimui, atspari UV spinduliutei ir kitiems atmosferos reiškiniams [50].

EPDM stogo danga. Tai viensluksnė sintetinė membrana, pagaminta iš vulkanizuoto kaučiuko / gumos. Danga yra lanksti ir atspari UV spinduliams, tampri, elastinga, tvirta ir saugi. Ši danga paprastai įrengiama dviem būdais. Tai pirmas iš būdų yra tiesiog danga yra užlydoma ant stogo naudojant karštą orą. Šis būdas labiau naudojamas gyvenamiesiems pastatams. Kitas būdas yra mechaniškas tvirtinimas, kuriam yra naudojami specialūs „užtrauktukai“. Naudojant šią sistemą, bus užtikrintas vandens nepralaidumas [51].

Šios medžiagos bus lyginamos pagal tokius rodiklius:

- Medžiagos kainą 1m^2 , €;
- Įrengimo laiką 1m^2 , min;
- Ilgaamžiškumą, metai;
- Medžiagos storį, m;
- Didžiausią tempimo jėgą, kN;
- Degumo klasę, balais.

Pagal šiuos kriterijus nustatysiu, kuri iš pasirinktų sutapdinto stogo hidroizoliacinių dangų yra efektyviausia ir mažiausiai efektyvi.

3. Hidroizoliacinių dangų daugiakriteris vertinimas

Šiame skyriuje bus atlikta 2 tipų ekspertų apklausa ir pagal gautus rezultatus patikrinta ar jų nuomonės yra tapačios. Dangų rodiklių skaitinės reikšmės bus paimtos iš gamintojų deklaruojamų specifikacijų ir pasinaudojus programa „Sistela“ apskaičiuotas dangų įrengimo laikas. Visi apskaičiuoti rezultatai yra apdoroti daugiakriteriais TOPSIS ir M-TOPSIS vertinimo metodų algoritmais ir gauta racionaliausia sutaptinto stogo danga pagal pasirinktus kriterijus.

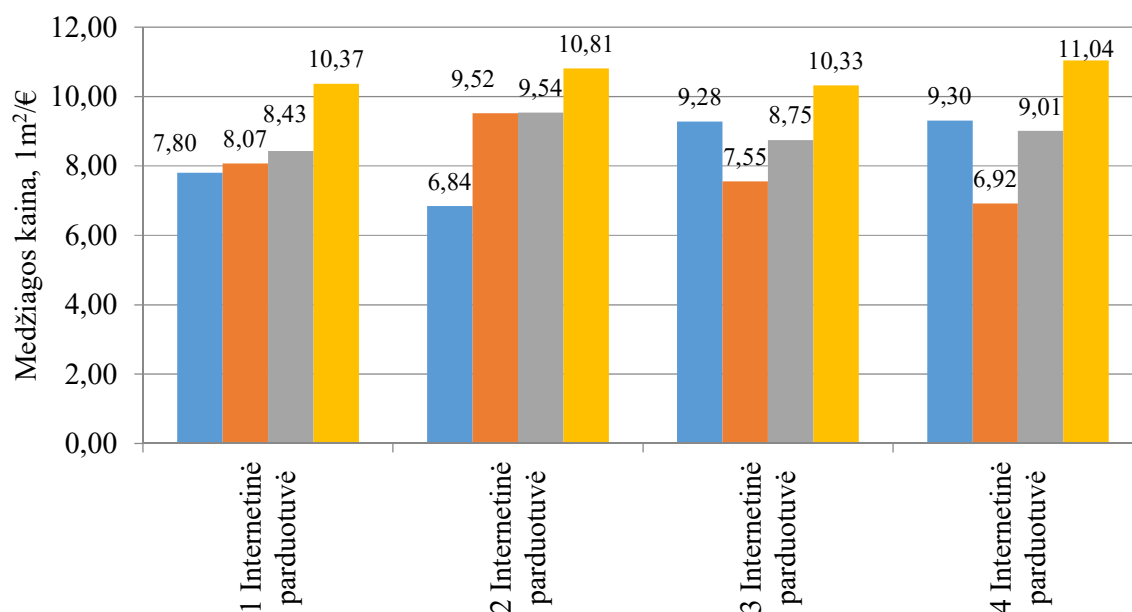
3.1. Hidroizoliacinių dangų rodikliai

3.1.1. Medžiagos kainos nustatymas

Medžiagos galutinė kaina bus pasirinkta palyginus 4 skirtingas hidroizoliacinių dangų internetinėse parduotuvėse kainas. Kiekvienos dangos kainos pateiktos 2 lent. ir 6 pav.

2 lentelė. Hidroizoliacinių medžiagų kainos 2021.10 mėn.

Duomenų šaltinis	Hidroizoliacinės dangos kaina, 1m ² /€			
	Bituminė stogo danga MIDA Balt PV S4B	PVC stogo danga Sika Sikaplan 15G	TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	EPDM stogo danga
1 Internetinė parduotuvė	7,80	8,07	8,43	10,37
2 Internetinė parduotuvė	6,84	9,52	9,54	10,81
3 Internetinė parduotuvė	9,28	7,55	8,75	10,33
4 Internetinė parduotuvė	9,30	6,92	9,01	11,04
Geriausia kaina	6,84	6,92	8,43	10,33



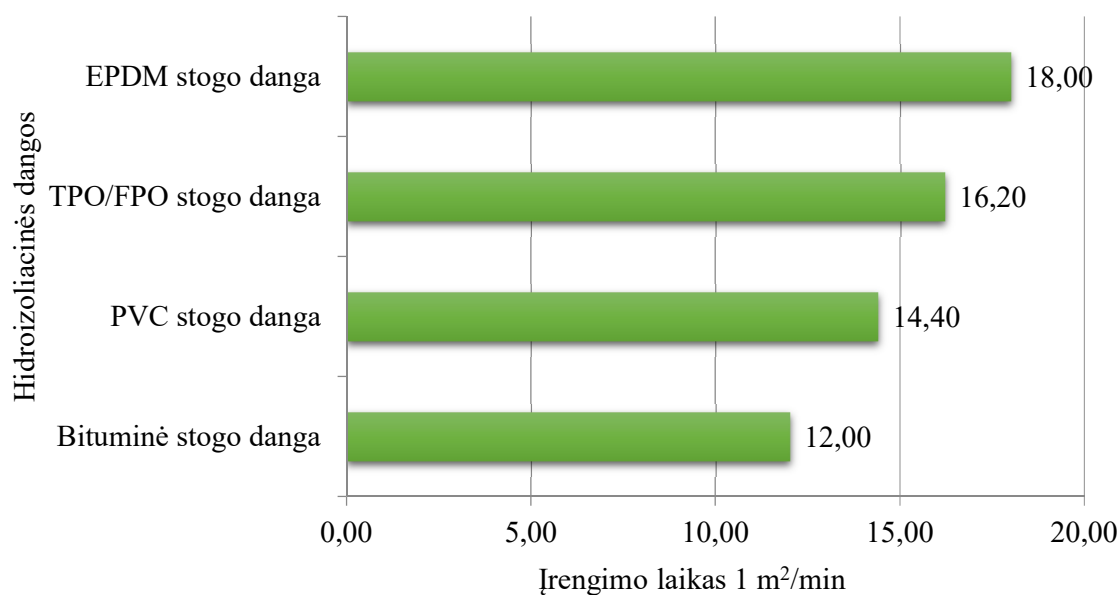
6 pav. Hidroizoliacinių medžiagų kainos – bituminė danga; – PVC danga; – TPO/FPO danga; – EPDM danga

3.1.2. Medžiagos įrengimo laiko nustatymas

Nustatant kiekvienos medžiagos įrengimo laiką buvo vertinama žmonių darbo valandos ir mechanizmų valandos. Laikas skaičiuotas šiems darbams: medžiagų iškrovimas ir padavimas į darbo vietą, paviršiaus nuvalymas, dangų klojimas ir tvirtinimas bei pakloto dangos kokybės kontrolė. Įrengimo laikas buvo gautas pasinaudojus programine įranga „Sistela“, o gauti rezultatai pateikti 3 lent. ir 7 pav.

3 lentelė. Hidroizoliacinių dangų įrengimo laikas

Hidroizoliacinės dangos	Įrengimo laikas 1 m ² /min
Bituminė stogo danga MIDA Balt PV S4B	12,00
PVC stogo danga Sika Sikaplan 15G	14,40
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	16,20
EPDM stogo danga	18,00



7 pav. Hidroizoliacinių dangų įrengimo laikas 1 m²/min

Greičiausias hidroizoliacinės dangos 1 m² įrengimas yra bituminės stogo dangos – 12,00 min, o ilgiausiai laiko įrengti užima EPDM danga, kurios 1 m² įrengimo laikas yra 18,00 min. PVC stogo dangos įrengimas – 14,40 min ir TPO/FPO dangos – 16,20 min.

3.1.3. Medžiagos ilgaamžiškumo, storio, santykinės masės, didžiausios tempimo jėgos ir degumo klasės pasirinkimas

Medžiagos ilgaamžiškumo, storio ir didžiausios tempimo jėgos skaitinės vertės paimtos iš techninių specifikacijų, kurias pateikia dangų gamintojai [52-55]. Medžiagos degumo klasės yra

žymimos raidėmis nuo visiškai nedegių (A1) iki skatinančių degimą (F) [56]. Duomenys apie dangų medžiagų ilgaamžiškumą, storį, didžiausią tempimo jėgą ir degumo klasę pateikti 4 lent.

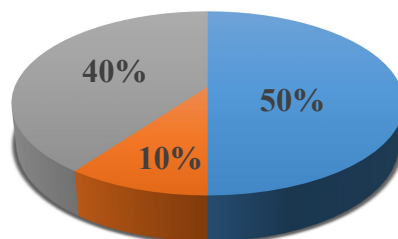
4 lentelė. Hidroizoliacinių dangų duomenys paimti iš gamintojų techninių specifikacijų

Hidroizoliacinės dangos	Skaitinės rodiklių vertės				
	Ilgaamžiškumas, metais	Storis, m	Santykinė masė, kg/m ²	Didžiausia tempimo jėga, kN	Degumo klasė, balais
Bituminė stogo danga MIDA Balt PV S4B	18,000	0,042	0,042	17,650	2(E)
PVC stogo danga Sika Sikaplan 15G	20,000	0,015	0,015	19,980	2(E)
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	18,000	0,015	0,015	21,980	2(E)
EPDM stogo danga	50,000	0,015	0,015	14,300	7(A1)

3.2. Hidroizoliacinės dangos reikšmingumo nustatymas

Šio darbo hidroizoliacinės dangos galutiniam kriterijų reikšmingumui nustatyti atlikta 2 tipų statybos srities specialistų apklausa. Pirmoje apklausoje dalyvavo skirtingi statybos srities specialistai: darbų ir projektų vadovai ir statybos vadovas, kurių darbo stažas statybos srityje yra iki 10 metų. Kitoje apklausoje tik projektų inžinieriai, kurių darbo stažas yra > 15 metų. Pasirinkti 7 hidroizoliacinių dangų kriterijai, kuriuos specialistai įvertino balais nuo 1 iki 10. Iš viso į pirmąją apklausą atsakė 10 specialistų (žr. 8 pav.), gauti pirmos apklausos rezultatai pateikti 5 lent.

Specialistų pareigos



8 pav. Pirmos apklausos dalyvių pareigos statybos srityje ■ – darbų vadovai; ■ – statybos vadovai; ■ – projektų vadovai

Iš diagramos, pateiktos 8pav., matyti, kad daugiausiai, 50% (5-i) apklausos dalyvių yra darbų vadovai, o mažiausiai statybos vadovų, kurie sudarė 10% (1-as), 40% (4-i) apklaustųjų buvo projektų vadovai.

5 lentelė. Darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų apklausos rezultatų suvestinė išreikšta balais

Apklauso dalyviai/rodi klio pavadinimas	Kriterijai						
	Kaina	Įrengimo laikas	Medžiagos svoris	Medžiagos storis	Degumo klasė	Ilgamžiškumas	Tempimo jėga
Dalyvis 1	8,00	10,00	6,00	5,00	6,00	7,00	7,00
Dalyvis 2	10,00	7,00	4,00	5,00	7,00	9,00	6,00
Dalyvis 3	9,00	8,00	2,00	3,00	6,00	8,00	4,00
Dalyvis 4	8,00	8,00	6,00	5,00	6,00	8,00	5,00
Dalyvis 5	10,00	7,00	4,00	1,00	5,00	9,00	7,00
Dalyvis 6	8,00	10,00	6,00	4,00	6,00	8,00	5,00
Dalyvis 7	9,00	7,00	5,00	5,00	7,00	8,00	4,00
Dalyvis 8	8,00	8,00	2,00	3,00	5,00	8,00	4,00
Dalyvis 9	10,00	8,00	4,00	4,00	6,00	7,00	5,00
Dalyvis 10	9,00	9,00	6,00	3,00	7,00	9,00	6,00
Rangų suma	89,00	82,00	45,00	38,00	61,00	81,00	53,00
Vidutinis rangas	8,90	8,20	4,50	3,80	6,10	8,10	5,30
Prioritetas	1	3	6	7	4	2	5
Rodiklio subjektyvus reikšminguma s (santykinis svoris)	0,198	0,183	0,100	0,085	0,136	0,180	0,118

Pirmosios apklausos suderinamo patikrinimui, pasinaudodamas 2.4 poskyrio pateiktu algoritmu, apskaičiuojama konkordacijos koeficiento reikšmė pagal (16) formulę: χ^2 reikšmė – 51,53.

Gauta χ^2 reikšmė yra didesnė už norminę reikšmę – 16,81 (žr. 1 lent.), kuri yra priklausanti nuo laisvumo laipsnio ($v=n-1=3-1=2$) ir reikšmingumo lygio (0,01), konkrečiu atveju $v=7-1=6$, tad priimama, kad ekspertų nuomonės yra suderintos.

Antrosios apklausos rezultatų suvestinė pateikta 6 lentelėje.

6 lentelė. Projektų inžinierių apklausos rezultatų suvestinė išreikšta balais

Apklauso dalyviai/rodi klio pavadinimas	Kriterijai						
	Kaina	Įrengimo laikas	Medžiagos svoris	Medžiagos storis	Degumo klasė	Ilgamžiškumas	Tempimo jėga
Dalyvis 1	9,00	9,00	5,00	3,00	7,00	9,00	5,00
Dalyvis 2	7,00	7,00	2,00	2,00	7,00	6,00	6,00
Dalyvis 3	8,00	8,00	6,00	4,00	6,00	10,00	6,00
Dalyvis 4	10,00	6,00	4,00	5,00	7,00	8,00	7,00
Dalyvis 5	10,00	8,00	4,00	5,00	8,00	9,00	5,00
Dalyvis 6	9,00	9,00	6,00	5,00	8,00	7,00	5,00
Dalyvis 7	7,00	8,00	3,00	5,00	7,00	8,00	4,00

6 lentelės tęsinys

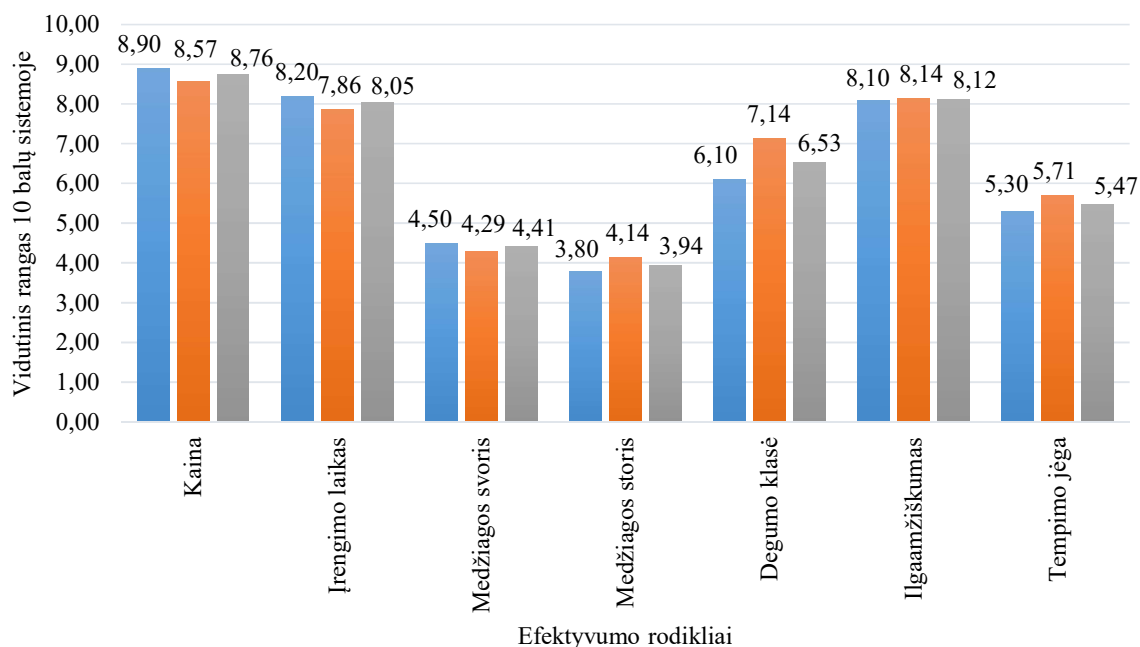
Apklauso dalyviai/rodiklio pavadinimas	Kriterijai						
	Kaina	Įrengimo laikas	Medžiagos svoris	Medžiagos storis	Degumo klasė	Ilgamžiškumas	Tempimo jėga
Rangų suma	60,00	55,00	30,00	29,00	50,00	57,00	40,00
Vidutinis rangas	8,57	7,86	4,29	4,14	7,14	8,14	5,71
Prioritetas	1	3	6	7	4	2	5
Rodiklio subjektyvus reikšmingumas (santykinis svoris)	0,187	0,171	0,093	0,090	0,156	0,178	0,125

Antrosios apklausos konkordacijos koeficiento reikšmė: $\chi^2 = 30,45$ – ji yra didesnė už norminę reikšmę – 16,81 (žr. 1 lent.), tad galima daryti išvada, kad ir antrosios apklausos ekspertų nuomonės yra suderintos.

Galutiniam rodiklių reikšmingumui nustatyti, sudaroma abiejų apklausų suvestinė, kurios reikšmės surašytos 7 lentelėje. Konkordacijos koeficiento vertė ($\chi^2 = 44,18$) yra didesnė už norminę reikšmę – 16,81 (žr. 1 lent.). Gavome, kad statybos vadovų, projektų vadovų ir darbų vadovų apklausos nuomonės yra suderintos su projektų inžinierių nuomonėmis.

7 lentelė. Darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių gautų rezultatų suvestinė išreikšta balais

Rodiklio pavadinimas	Kriterijai						
	Kaina	Įrengimo laikas	Medžiagos svoris	Medžiagos storis	Degumo klasė	Ilgamžiškumas	Tempimo jėga
Rangų suma	149,00	137,00	75,00	67,00	111,00	138,00	93,00
Vidutinis rangas	8,76	8,05	4,41	3,94	6,53	8,12	5,47
Prioritetas	1	3	6	7	4	2	5
Galutinis rodiklio subjektyvus reikšmingumas	0,194	0,178	0,097	0,087	0,144	0,179	0,121



9 pav. Palyginamoji diagrama: ■ - darbų vadovai, statybos vadovai ir projektų vadovai; ■ - projektų inžinieriai; ■ – visų apklausos dalyvių

Iš diagramos, pateiktos 9 pav., galima daryti prielaidą, kad abiejų apklausų specialistai pirkdami hidroizoliacinę dangą labiausiai atkreipia dėmesį į kainą, šio rodiklio (kainos) vidutinis rangas pirmoje apklausoje yra 8,90, antroje – 8,57, o vidutinis rangas – 8,76. Mažiausias dėmesys atsižvelgus į pirmąją apklausą yra dangos storis su 3,80 vidutiniu rangu, o pagal antrąją apklausą – dangos svoris su 4,29 vidutiniu rangu.

3.3. Stogo hiddroizoliacinių dangų lyginimas daugiakriteriu TOPSIS metodu

Šiame poskyryje bus atliekama pirmos ir antros apklausos bei suminio rodiklio subjektyvaus reikšmingumo palyginimas, atsižvelgiant į gautus 3.2 poskyrio apklausos rezultatus. Lygindami šias apklausas, pamatysime ar apklausos rezultatų reikšmingumai turi įtakos galutiniam dangos parinkimui.





























3.3.1. Vertinami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

Pasinaudojus 2.2 poskyryje aptartu TOPSIS metodo algoritmu, buvo sudaryta galimų sprendimų matrica, įvertinus 2.5 poskyryje apibūdintus vertinimo rodiklius ir technines specifikacijas, kurios aprašytos 3.1.1, 3.1.2 ir 3.1.3 skyreliuose (žr. 8 lent.). Darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų normalizuota ir svertinė sprendimų matricos pateiktos 9 ir 10 lent. Geriausi ir blogiausi vertinimo rodiklių svertinių verčių rinkiniai pateikti 11 lent., o „atstumai“ iki geriausio ir blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio – 12 lent. Santykinis „atstumas“ iki blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio reikšmių pateiktas 13 lentelėje.

8 lentelė. Galimų sprendimų matrica

Stogo hidroizoliacinės dangos (alternatyvos)	Rodikliai						
	Medžiagos kaina 1 m ² , € (geriausia yra min. vertė)	1 m ² įrengimo laikas, min (geriausia yra min. vertė)	Santykinė masė, kg/m ² (geriausia yra min. vertė)	Medžiagos storis, m (geriausia yra min. vertė)	Degumo klasė, balais (geriausia yra max. vertė)	Ilgamžiškumas, metais (geriausia yra max. vertė)	Didžiausioji tempimo jėga, kN (geriausia yra max. vertė)
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	6,840	12,000	5,200	0,042	2,000	18,000	17,650
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	6,920	14,400	1,830	0,015	2,000	20,000	19,980
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	8,430	16,200	1,500	0,015	2,000	18,000	21,980
EPDM stogo danga	10,300	23,000	1,500	0,015	7,000	50,000	14,300

9 lentelė. Normalizuota galimų sprendimų matrica

Stogo hidroizoliacinės dangos	Normalizuoti rodikliai			
	Normalizuota 1 m ² medžiagos kaina	Normalizuotas 1 m ² įrengimo laikas	Normalizuota santykinė masė	Normalizuotas medžiagos storis
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	 0,414	 0,355	 0,880	 0,850
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	 0,419	 0,426	 0,310	 0,304
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	 0,511	 0,479	 0,254	 0,304
EPDM stogo danga	 0,626	 0,680	 0,254	 0,304
Stogo hidroizoliacinės dangos	Normalizuoti rodikliai			
	Normalizuota degumo klasė	Normalizuotas ilgamžiškumas	Normalizuota didžiausia tempimo jėga	
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	 0,256	 0,302	 0,472	
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	 0,256	 0,336	 0,534	
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	 0,256	 0,302	 0,588	
EPDM stogo danga	 0,896	 0,839	 0,382	







10 lentelė. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,198	0,183	0,100	0,085
	Normalizuoti rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,082	0,065	0,088	0,072
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,083	0,078	0,031	0,026
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,101	0,088	0,025	0,026
EPDM stogo danga	0,124	0,125	0,025	0,026
Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,136	0,180	0,118	
	Normalizuoti rodikliai			
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga	
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,035	0,054	0,056	
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,035	0,060	0,063	
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,035	0,054	0,069	
EPDM stogo danga	0,122	0,151	0,045	









11 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

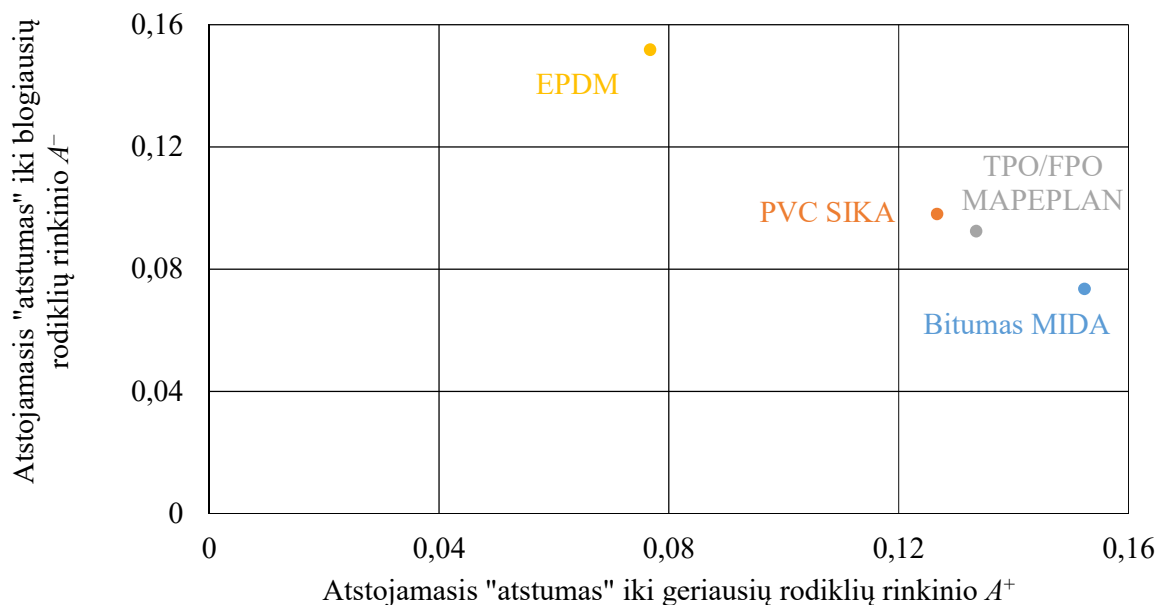
Rodiklių rinkiniai	Rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺	0,082	0,065	0,025	0,026
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻	0,124	0,125	0,088	0,072

11 lentelės tęsinys

Rodiklių rinkiniai	Rodikliai		
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A^+	 0,122	 0,106	 0,069
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A^-	 0,035	 0,054	 0,045

12 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hydroizoliacinė danga	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki geriausių rodiklių rinkinio	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki blogiausių rodiklių rinkinio
Bitumas MIDA	 $L_1^+ = 0,152$	 $L_1^- = 0,074$
PVC SIKA	 $L_2^+ = 0,127$	 $L_2^- = 0,098$
TPO/FPO MAPEPLAN	 $L_3^+ = 0,133$	 $L_3^- = 0,092$
EPDM	 $L_4^+ = 0,077$	 $L_4^- = 0,152$







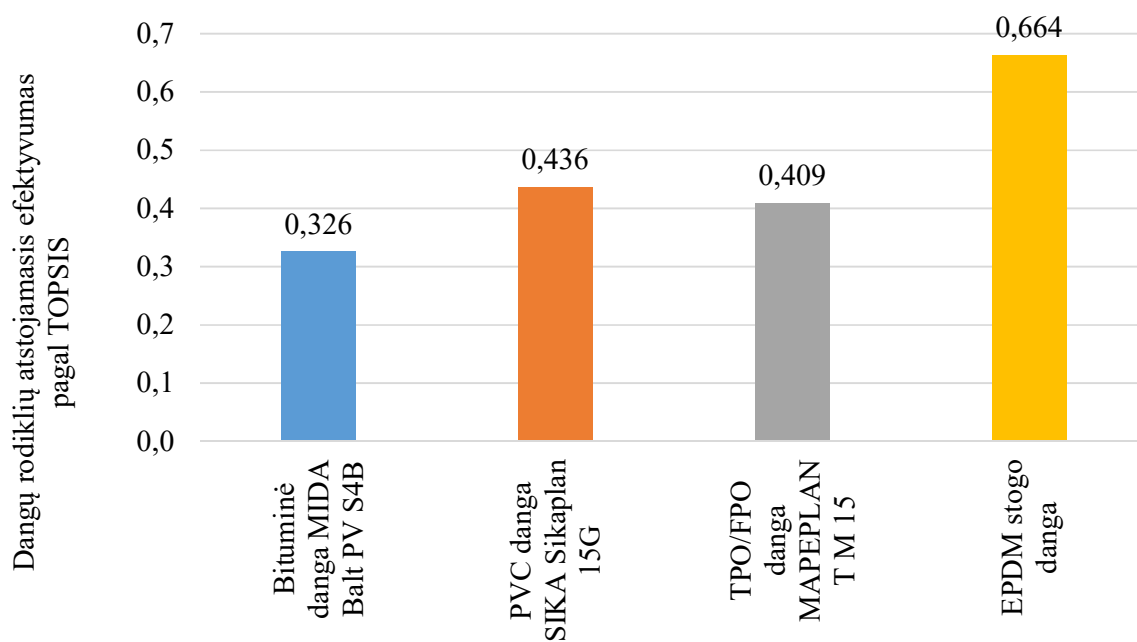
10 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ - A^- plokštumoje, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

Dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ plokštumoje A^+ - A^- pateikti 10 pav. Kadangi EPDM dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ yra labiausiai nutolęs nuo blogiausio pasirinkimo ir yra arčiausiai geriausio pasirinkimo, todėl pilnai neatlikus tyrimo TOPSIS metodu galima teigti, kad ši danga bus efektyviausia.

Apskaičiuotus rodiklių atstojamuosius efektyvumus pagal TOPSIS metodą (žr. (9) formulę) gauta (žr. 13 lent. ir 11 pav.): efektyviausia yra EPDM danga – atstojamasis efektyvumas 0,664, o mažiausiai efektyvi yra bituminę MIDA BALT PV S4B danga – atstojamasis efektyvumas 0,326. Šių dangų atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą skiriasi šiek tiek daugiau nei du kartus.

13 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	 $K_1 = 0,326$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	 $K_2 = 0,436$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	 $K_3 = 0,409$	3
EPDM danga	 $K_4 = 0,664$	1



11 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai, pagal TOPSIS metodą, naudojant darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodytus rodiklių reikšmingumus

3.3.2. Vertinami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Šiuo atveju galimų sprendimų matrica (žr. 8 lent.) ir normalizuota sprendimų matrica (žr. 9 lent.) išlieka tokios pat. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai pateikta 14 lent.

Geriausi ir blogiausi vertinimo rodiklių svertinių verčių rinkiniai pateikti 15 lent., o „atstumai“ iki geriausio ir blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio – 16 lent. Santykinis „atstumas“ iki blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio reikšmių pateiktas 17 lent.









14 lentelė. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

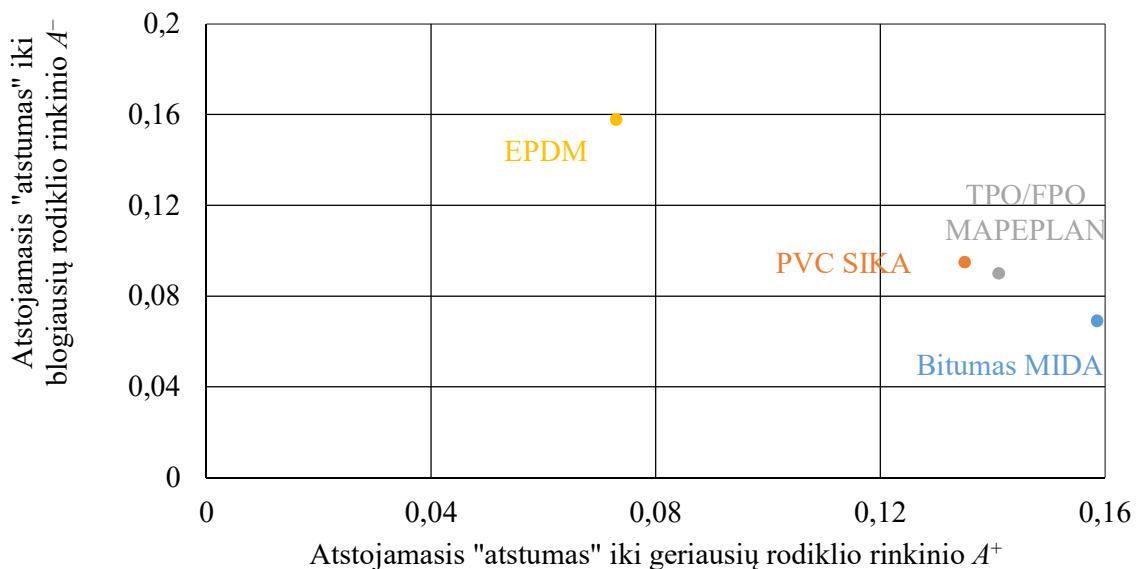
Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,187	0,171	0,093	0,090
	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,077	0,061	0,082	0,077
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,078	0,073	0,029	0,027
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,096	0,082	0,024	0,027
EPDM stogo danga	0,117	0,116	0,024	0,027
Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,156	0,178	0,125	
	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga	
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,040	0,054	0,059	
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,040	0,060	0,067	
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,040	0,054	0,073	
EPDM stogo danga	0,140	0,149	0,048	

15 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Rodiklių rinkiniai	Rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺	0,077	0,061	0,024	0,027
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻	0,117	0,116	0,082	0,077
Rodiklių rinkiniai	Rodikliai			
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga	
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺	0,140	0,149	0,073	
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻	0,040	0,054	0,048	

16 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai


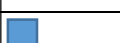


Hidroizoliacinė danga	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki geriausių rodiklių rinkinio	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki blogiausių rodiklių rinkinio
Bitumas MIDA	 $L_1^+ = 0,159$	 $L_1^- = 0,069$
PVC SIKA	 $L_2^+ = 0,135$	 $L_2^- = 0,095$
TPO/FPO MAPEPLAN	 $L_3^+ = 0,141$	 $L_3^- = 0,090$
EPDM	 $L_4^+ = 0,073$	 $L_4^- = 0,158$

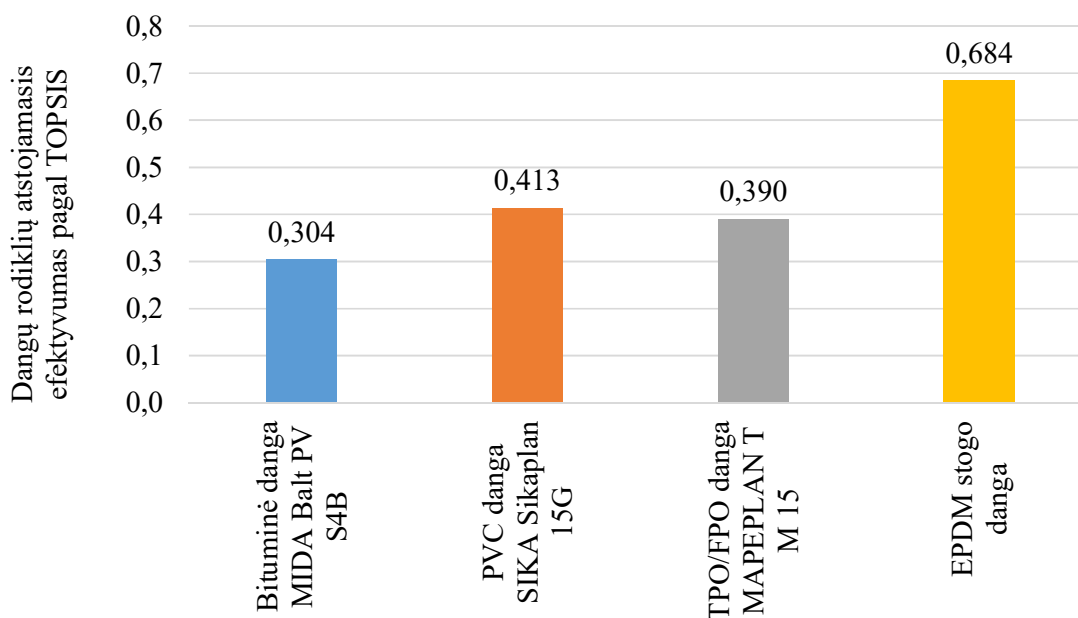


12 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ - A^- plokštumoje, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Naudojant projektų inžinierių rodiklių reikšmingumus efektyviausia stogo danga, taikant TOPSIS metodą yra EPDM, jos rodiklių atstojamasis efektyvumas 0,684, mažiausiai efektyvi danga – bituminė MIDA BALT PV S4B danga, kurios rodiklių atstojamasis efektyvumas yra 0,304 (žr. 17 lent. ir 13 pav.).

17 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	 $K_1 = 0,304$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	 $K_2 = 0,413$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	 $K_3 = 0,390$	3
EPDM danga	 $K_4 = 0,684$	1



13 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal TOPSIS metodą, naudojant projektų inžinierių nurodytus rodiklių reikšmingumus

3.3.3. Vertinami visų apklausos dalyvių (darbų, statybos ir projektų vadovų bei projektų inžinierių) nurodyti rodiklių reikšmingumai

Kaip ir 3.3.2 poskiryje galimų sprendimų matrica (žr. 8 lent.) ir normalizuota sprendimų matrica (žr. 9 lent.) išlieka tokios pat. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami rodiklių reikšmingumai vertinant visų apklausos dalyvių atsakymus, pateikta 18 lent.

Geriausi ir blogiausi vertinimo rodiklių svertinių verčių rinkiniai pateikti 19 lent., o „atstumai“ iki geriausio ir blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio – 20 lent. Santykinis „atstumas“ iki blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio reikšmių pateiktas 21 lent.

18 lentelė. Suvestinės normalizuota sprendimų matrica, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,194	0,178	0,097	0,087
	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,080	0,063	0,085	0,074
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,081	0,076	0,030	0,026
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,099	0,085	0,025	0,026
EPDM stogo danga	0,121	0,121	0,025	0,026

18 lentelės tęsinys

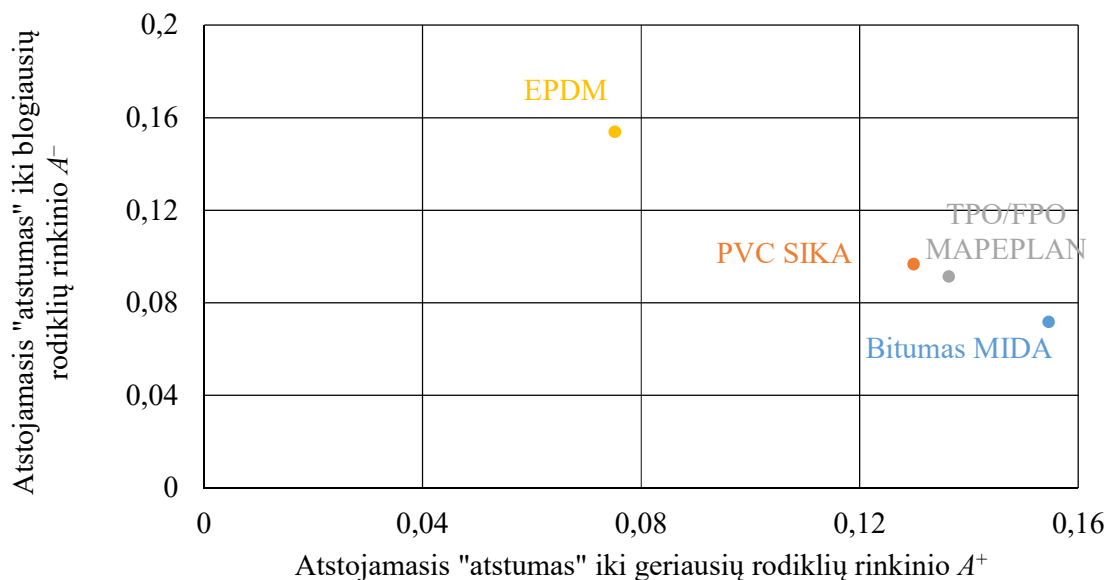
Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q		
	0,144	0,179	0,121
	Svertiniai normalizuoti rodikliai		
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,037	0,054	0,057
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,037	0,060	0,065
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,037	0,054	0,071
EPDM stogo danga	0,129	0,150	0,046

19 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Rodiklių rinkiniai	Rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺	0,080	0,063	0,025	0,026
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻	0,121	0,121	0,085	0,074
Rodiklių rinkiniai	Rodikliai			
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga	
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺	0,129	0,150	0,071	
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻	0,037	0,054	0,046	

20 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki geriausių rodiklių rinkinio		Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki blogiausių rodiklių rinkinio	
Bitumas MIDA		$L_1^+ = 0,093$		$L_1^- = 0,291$
PVC SIKA		$L_2^+ = 0,114$		$L_2^- = 0,437$
TPO/FPO MAPEPLAN		$L_3^+ = 0,112$		$L_3^- = 0,437$
EPDM		$L_4^+ = 0,131$		$L_4^- = 0,477$



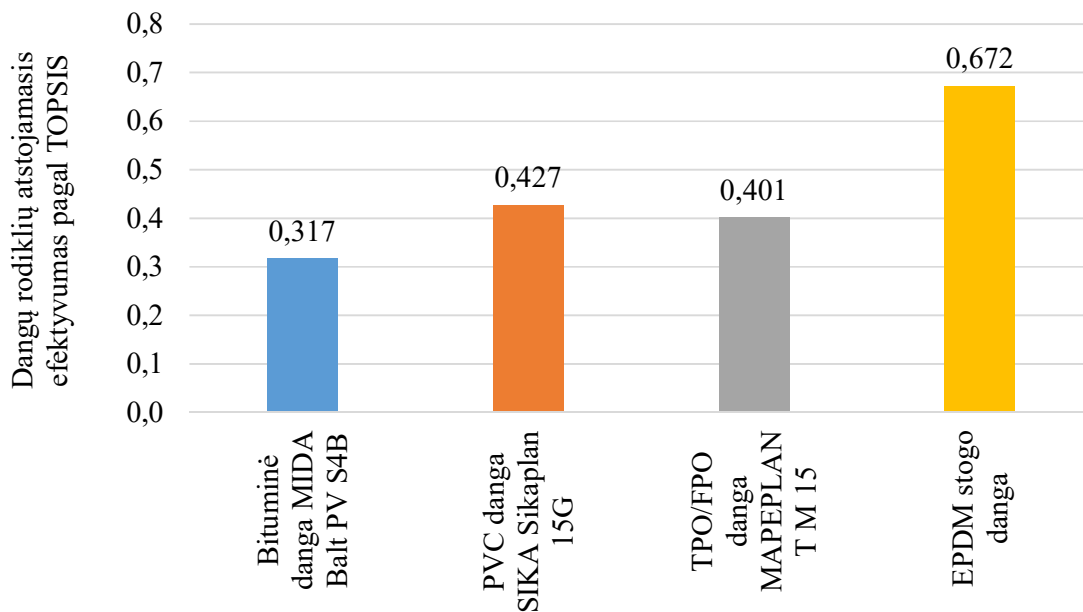
14 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ A^- plokštumoje, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Panaudojus visus apklausų duomenis (darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių) gauti rezultatai, taikant TOPSIS metodą, pateikti 14 pav. ir 21 lent. Gauta tokia pat prioritetų eilutė, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų arba projektų inžinierių apklausos duomenys (žr. 13, 17 ir 21 lent.).

Šiuo atveju sutapdinto stogo efektyviausios dangos (EPDM) rodiklių atstojamasis efektyvumas yra lygus 0,672, o mažiausiai efektyvios dangos (bituminė MIDA BALT PV S4B danga) – 0,317 (žr. 15 pav.).

21 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_1 = 0,317$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_2 = 0,427$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_3 = 0,401$	3
EPDM danga	$K_4 = 0,672$	1



15 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal TOPSIS metodą, naudojant visų apklausos dalyvių nurodytus rodiklių reikšmingumus

3.3.4. Visų rodiklių reikšmingumai yra vienodi













Kaip 3.3.2 ir 3.3.3 poskiriuose galimų sprendimų matrica (žr. 8 lent.) ir normalizuota sprendimų matrica (žr. 9 lent.) išlieka tokios pat. Svertinė normalizuota galimų sprendimų matrica, kai naudojami vienodi rodiklių reikšmingumai, pateikta 22 lent.

Geriausio ir blogiausio vertinimo rodiklių svertinių verčių rinkiniai pateikti 23 lent., o „atstumai“ iki geriausio ir blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio – 24 lent. Santykinis „atstumas“ iki blogiausio vertinimo rodiklių rinkinio reikšmių pateiktas 25 lent.









22 lentelė. Suvestinės normalizuota sprendimų matrica, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi







Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,143	0,143	0,143	0,143
	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,059	0,051	0,126	0,122
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,060	0,061	0,044	0,043
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,073	0,069	0,036	0,043
EPDM stogo danga	0,089	0,097	0,036	0,043

22 lentelės tęsinys









Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q					
	0,143		0,143		0,143	
	Svertiniai normalizuoti rodikliai					
	Svertinė degumo klasė		Svertinis ilgaamžiškumas		Svertinė didžiausia tempimo jėga	
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B		0,037		0,043		0,067
PVC danga SIKA Sikaplan 15G		0,037		0,048		0,076
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15		0,037		0,043		0,084
EPDM stogo danga		0,128		0,120		0,055

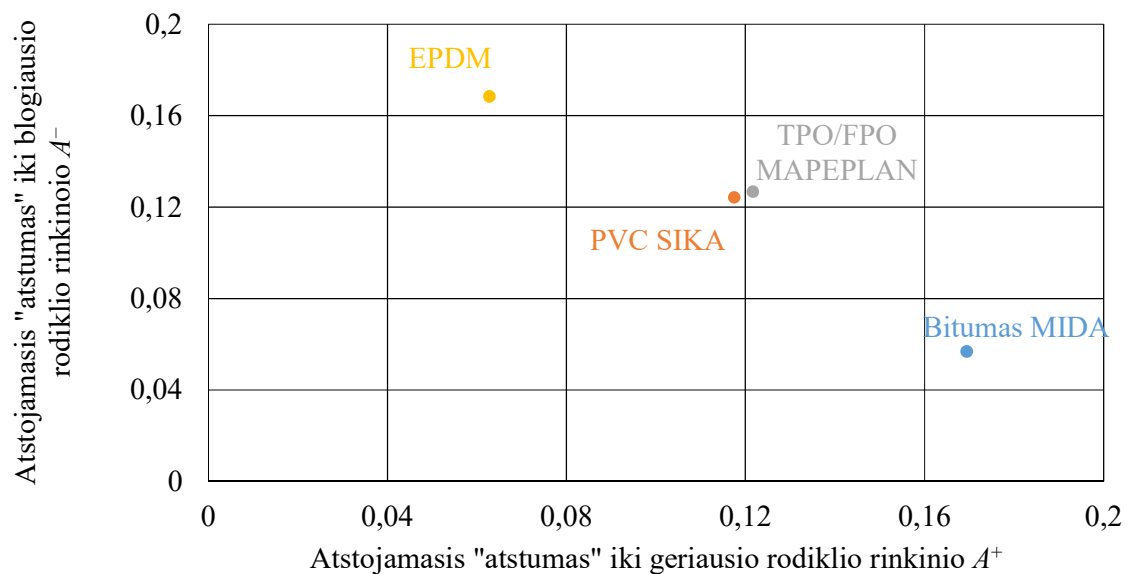
23 lentelė. Geriausių ir blogiausių rodiklių rinkinių svertinės reikšmės, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi

Rodiklių rinkiniai	Rodikliai							
	Svertinė 1 m ² medžiagos kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinis medžiagos storis				
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺		0,059		0,051		0,036		0,043
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻		0,089		0,097		0,126		0,122

Rodiklių rinkiniai	Rodikliai					
	Svertinė degumo klasė	Svertinis ilgaamžiškumas	Svertinė didžiausia tempimo jėga			
Geriausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁺		0,128		0,120		0,084
Blogiausių svertinių normalizuotų rodiklių rinkinys A ⁻		0,037		0,043		0,055

24 lentelė. Atstojamieji „atstumai“ iki geriausių/blogiausių rodiklių rinkinių, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi

Hidroizoliacinė danga	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki geriausių rodiklių rinkinio	Dangos rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki blogiausių rodiklių rinkinio
Bitumas MIDA	 $L_1^+ = 0,169$	 $L_1^- = 0,057$
PVC SIKA	 $L_2^+ = 0,117$	 $L_2^- = 0,124$
TPO/FPO MAPEPLAN	 $L_3^+ = 0,122$	 $L_3^- = 0,127$
EPDM	 $L_4^+ = 0,063$	 $L_4^- = 0,169$

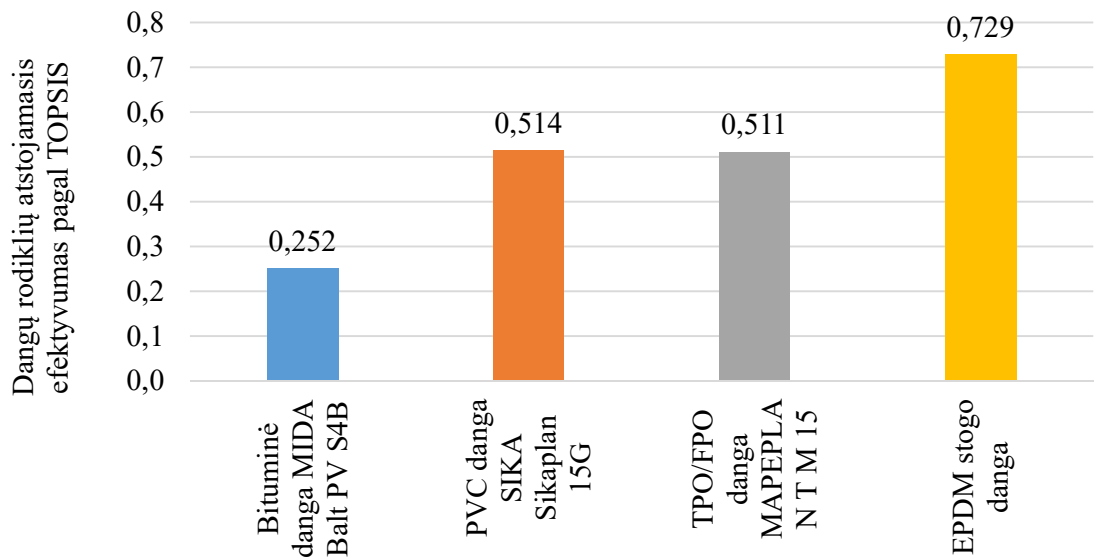


16 pav. Hidroizoliacinių dangų vertinimo rodiklių atstojamieji „atstumai“ A^+ A^- plokštumoje, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi

Kai visų rodiklių, apibūdinančių hidroizoliacinės dangos efektyvumą, vertės yra vienodos, taikant TOPSIS daugiakriterį metodą nagrinėtų dangų duomenys, pagal kuriuos sprendžiama apie jų efektyvumą pateikti 16 pav. ir 25 lent. Šiuo atveju efektyviausia hidroizoliacinė danga taip pat gauta EPDM danga, kurios rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą yra 0,729, o mažiausiai efektyvi yra bituminė MIDA BALT PV S4B danga, kurios rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą yra 0,252 (žr. 25 lent. ir 17 pav.).

25 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi

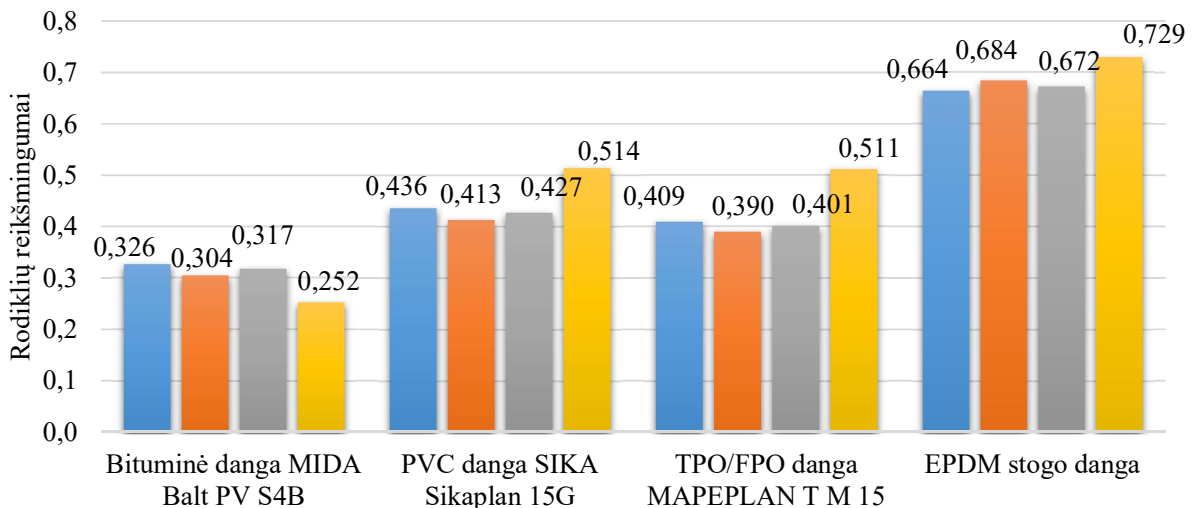
Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_1 = 0,252$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_2 = 0,514$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_3 = 0,511$	3
EPDM danga	$K_4 = 0,729$	1



17 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai vienodi

3.3.5. Rezultatų, gautų TOPSIS metodu, apibendrinimas

Rezultatų, gautų TOPSIS metodu, suvestinė pateikta 18 pav. Iš šio paveikslo matome, kad nepriklausomai nuo apklausoje gautų rodiklių reikšmingumų, efektyviausia hidroizoliacinė danga yra EPDM stogo danga.



18 pav. Rodiklių atstojamųjų efektyvumų pagal TOPSIS metodą suvestinė, kai visų rodiklių reikšmingumai imami: ■ – pagal darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų apklausos rezultatus; ■ – pagal projektų inžinierių apklausos rezultatus; ■ – pagal visų apklausos dalyvių rezultatus; ■ – vienodi

EPDM dangos vidutinis efektyvumo rodiklis, taikant TOPSIS metodą, yra 0,687 ir apie 2,3 karto didesnis už praščiausio pasirinkimo – bituminės dangos MIDA Balt PV S4B.

3.4. Stogo hidroizoliacinių dangų lyginimas daugiakriteriu M-TOPSIS metodu

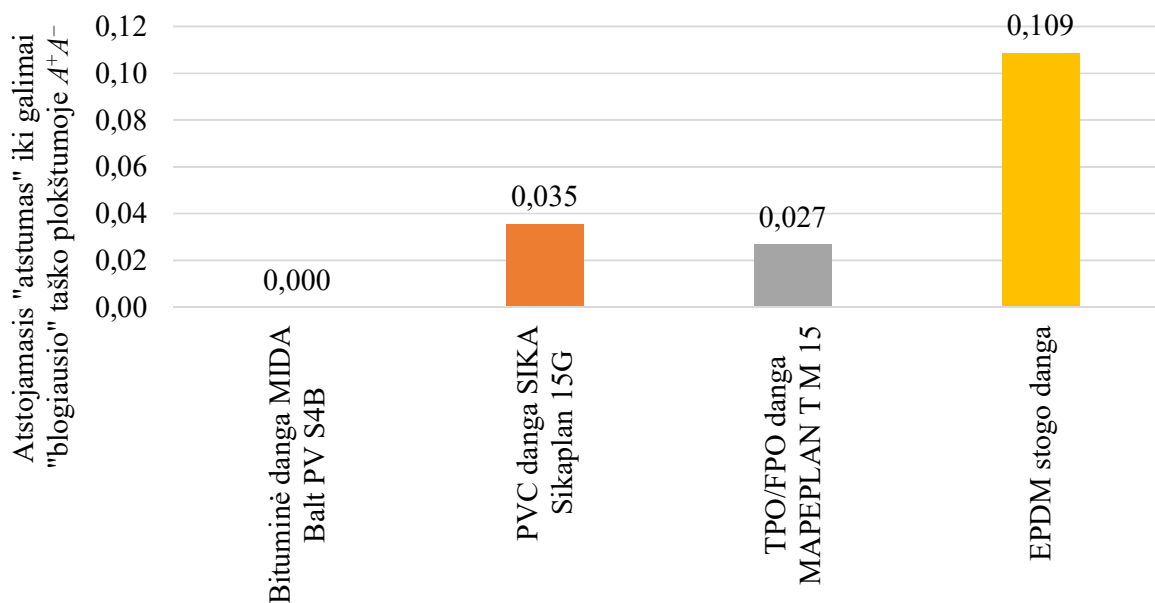
Taikant M-TOPSIS metodą skaičiavimai nuo TOPSIS metodo pradeda skirtis tik skaičiuojant „atstumą“ iki galimai „geriausio“/„blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$. Todėl nustatant K_{Gi} ir K_{Bi} bus naudojami duomenys, pateikti 12, 16, 20 ir 24 lentelėse.

3.4.1. Vertinami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

Pasinaudojus 2.3 poskyrio (10) ir (11) formulėmis, 12 lent., dangų rodiklių atstojamieji „atstumai“ iki galimai „geriausio“/„blogiausio“ taškų plokštumoje $A^+ - A^-$ atitinkamai pateikti 26 lent. bei 19 pav. Iš gautų rezultatų matyti, kad efektyviausia hidroizoliacinė danga, taikant M-TOPSIS metodą, taip pat yra EPDM danga. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji efektyvumai pateikti 20 pav.

26 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

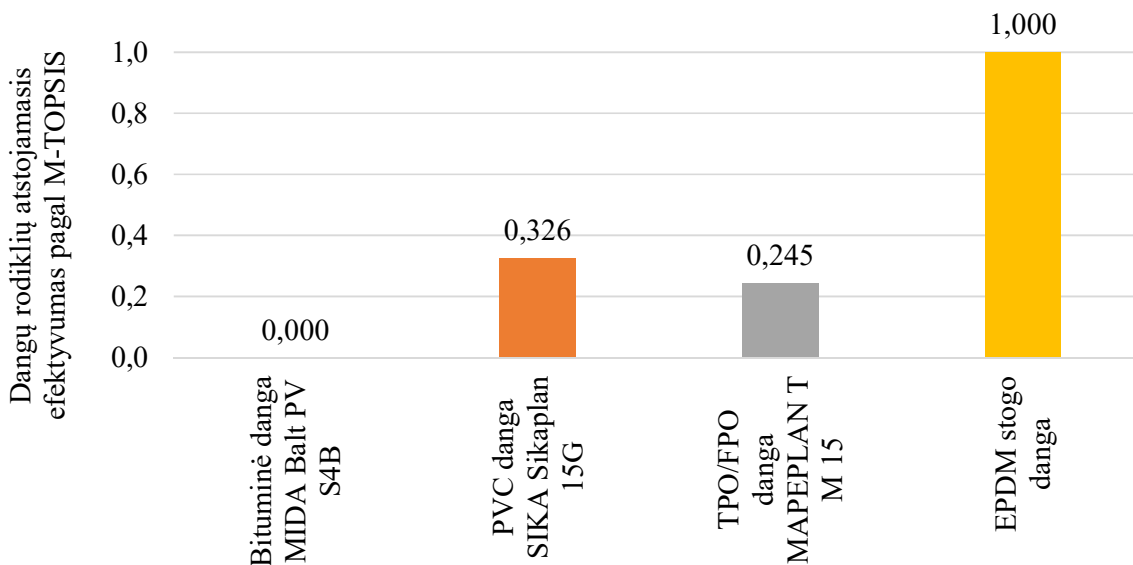
Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{B1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{B2} = 0,035$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{B3} = 0,027$	3
EPDM danga	$K_{B4} = 0,109$	1



19 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$ pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

27 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{BS\ 1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{BS\ 2} = 0,326$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{BS\ 3} = 0,245$	3
EPDM danga	$K_{BS\ 4} = 1,000$	1



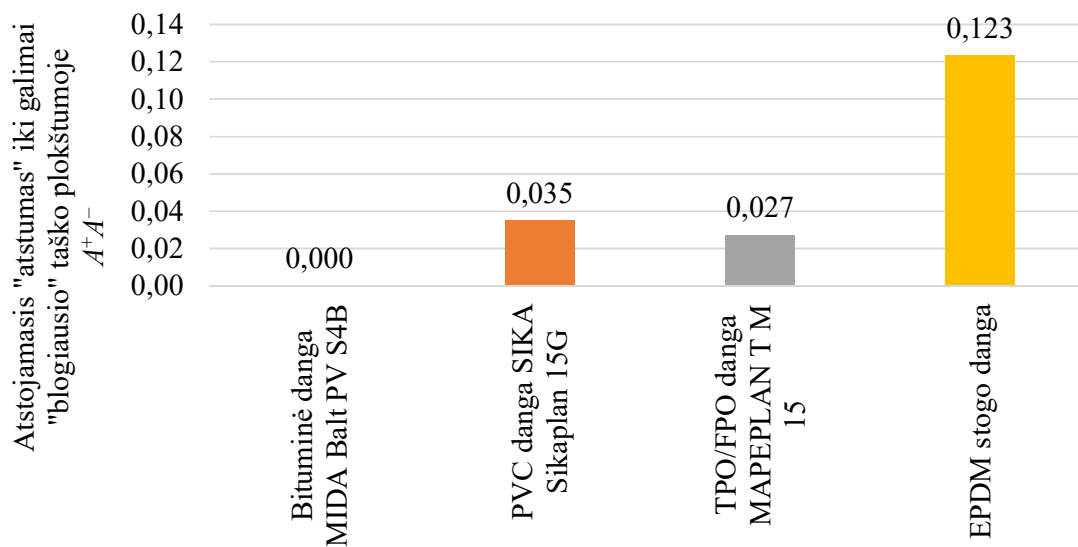
20 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nurodyti rodiklių reikšmingumai

3.4.2. Vertinami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Analogiškai pasinaudojus (10) ir (11) formulėmis, 16 lent., dangų rodiklių atstojamieji „atstumai“ iki galimai „geriausio“ „blogiausio“ taškų plokštumoje $A^+ - A^-$ atitinkamai pateikti 28 lent. bei 21 pav. Iš pastarųjų matyti, kad efektyviausia hidroizoliacinė danga, taikant M-TOPSIS metodą, taip pat yra EPDM danga. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji efektyvumai pateikti 22 pav.

28 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

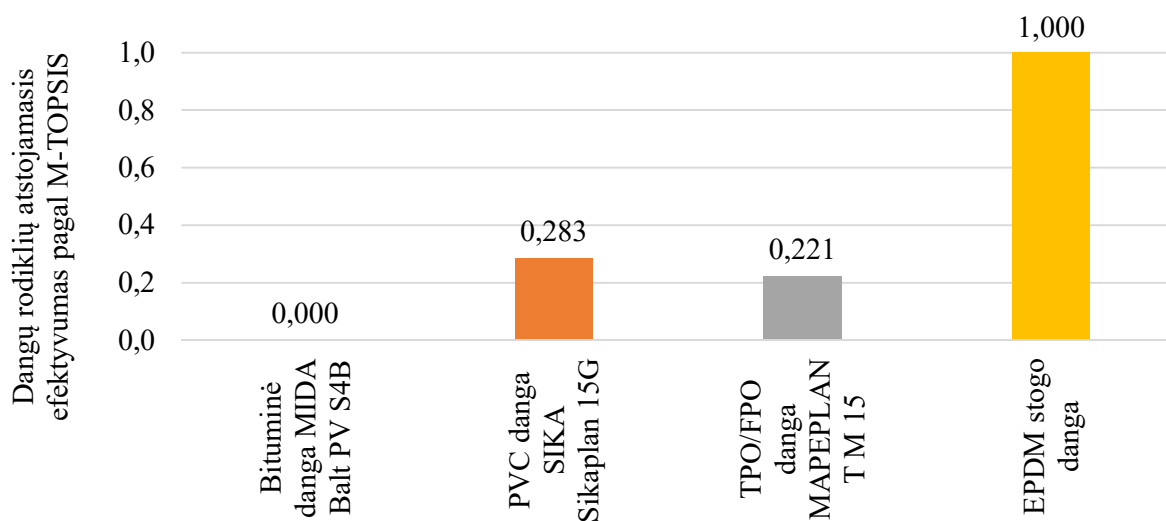
Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{B1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{B2} = 0,035$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{B3} = 0,027$	3
EPDM danga	$K_{B4} = 0,123$	1



21 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$ pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

29 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{BS 1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{BS 2} = 0,283$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{BS 3} = 0,221$	3
EPDM danga	$K_{BS 4} = 1,000$	1



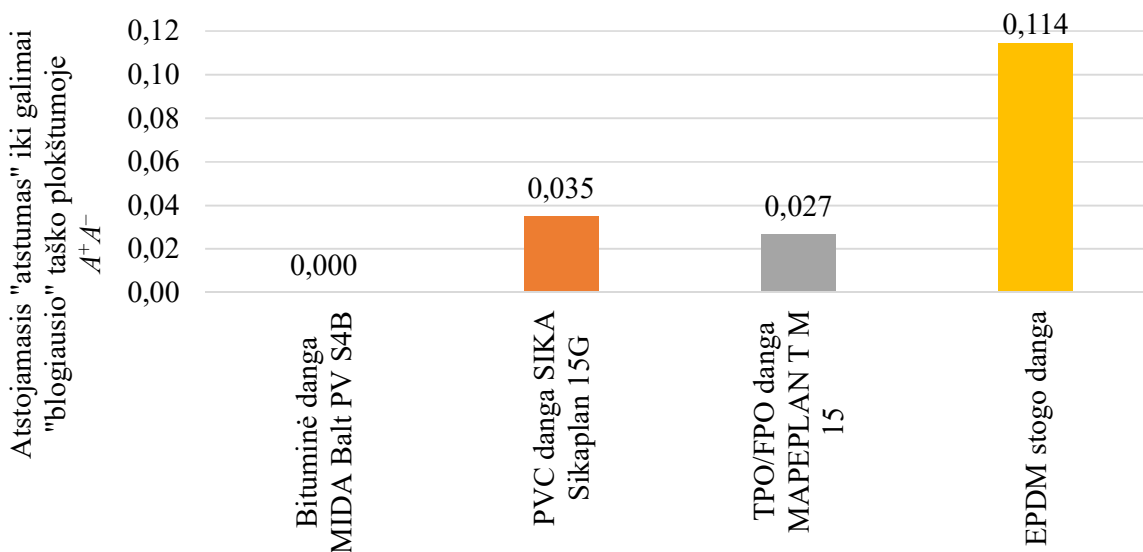
22 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai, pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami projektų inžinierių nurodyti rodiklių reikšmingumai

3.4.3. Vertinami visų apklausos dalyvių (darbų, statybos ir projektų vadovų bei projektų inžinierių) nurodyti rodiklių reikšmingumai

Pasinaudojus (10) ir (11) formulėmis, 20 lent., dangų rodiklių atstojamieji „atstumai“ iki galimai „geriausio“/„blogiausio“ taškų plokštumoje $A^+ - A^-$ atitinkamai pateikti 30 lent. bei 23 pav. Iš pastarųjų matyti, kad efektyviausia hidroizoliacinė danga, taikant M-TOPSIS metodą, taip pat yra EPDM danga. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji efektyvumai pateikti 24 pav.

30 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

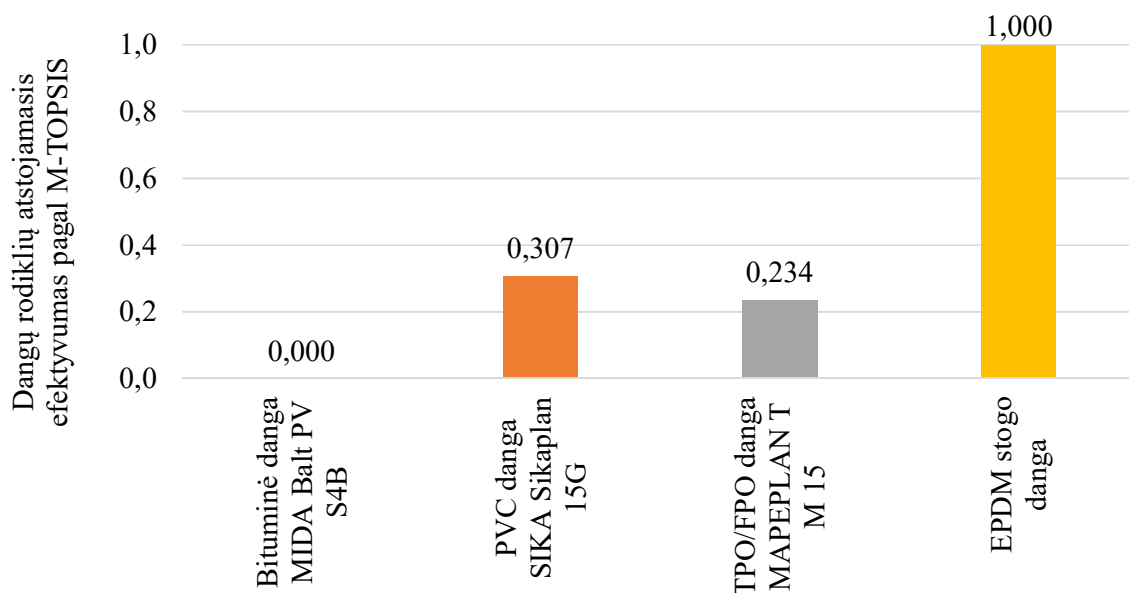
Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{B1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{B2} = 0,035$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{B3} = 0,027$	3
EPDM danga	$K_{B4} = 0,114$	1



23 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$ pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

31 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami visų apklausos dalyvių nurodyti rodiklių reikšmingumai

Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{BS1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{BS2} = 0,307$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{BS3} = 0,340$	3
EPDM danga	$K_{BS4} = 1,000$	1



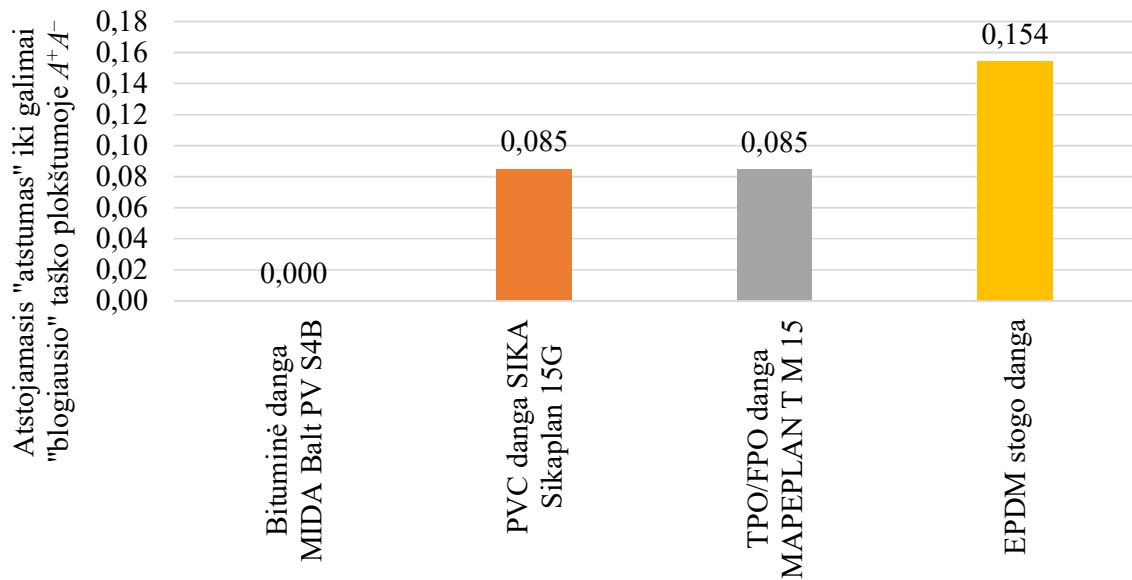
24 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamasis efektyvumas naudojant abiejų apklausų suminį rodiklių reikšmingumą, pagal M-TOPSIS metodą

3.4.4. Visų rodiklių reikšmingumai yra vienodi

Pasinaudojus (10) ir (11) formulėmis, 24 lent., dangų rodiklių atstojamieji „atstumai“ iki galimai „geriausio“/„blogiausio“ taškų plokštumoje $A^+ - A^-$ atitinkamai pateikti 32 lent. bei 25 pav. Iš pastarųjų matyti, kad efektyviausia hidroizoliacinė danga, nepriklausomai nuo taikytų rodiklių reikšmingumų, pagal M-TOPSIS metodą, visais sprendimo atvejais gauta EPDM danga. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji efektyvumai pateikti 26 pav.

32 lentelė. Dangų rodiklių atstojamasis „atstumas“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$, kai visų rodiklių reikšmingumai nurodyti vienodi

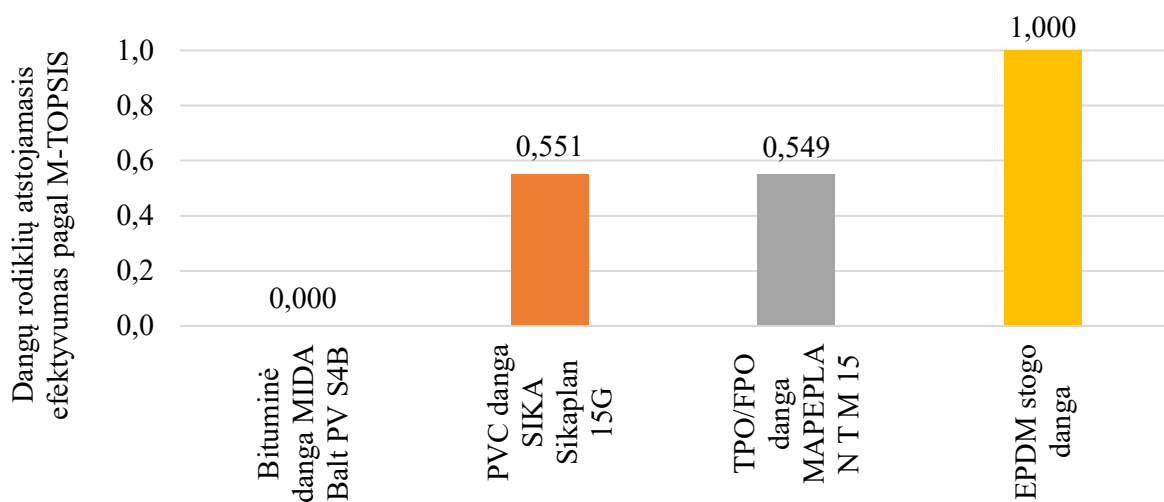
Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{B1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{B2} = 0,085$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{B3} = 0,085$	3
EPDM danga	$K_{B4} = 0,154$	1



25 pav. Hidroizoliacinių dangų atstojamieji „atstumai“ iki galimai „blogiausio“ taško plokštumoje $A^+ - A^-$ pagal M-TOPSIS metodą, kai naudojami visų rodiklių reikšmingumai vienodi

33 lentelė. Dangos rodiklių atstojamasis efektyvumas pagal M-TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai naudojami vienodi

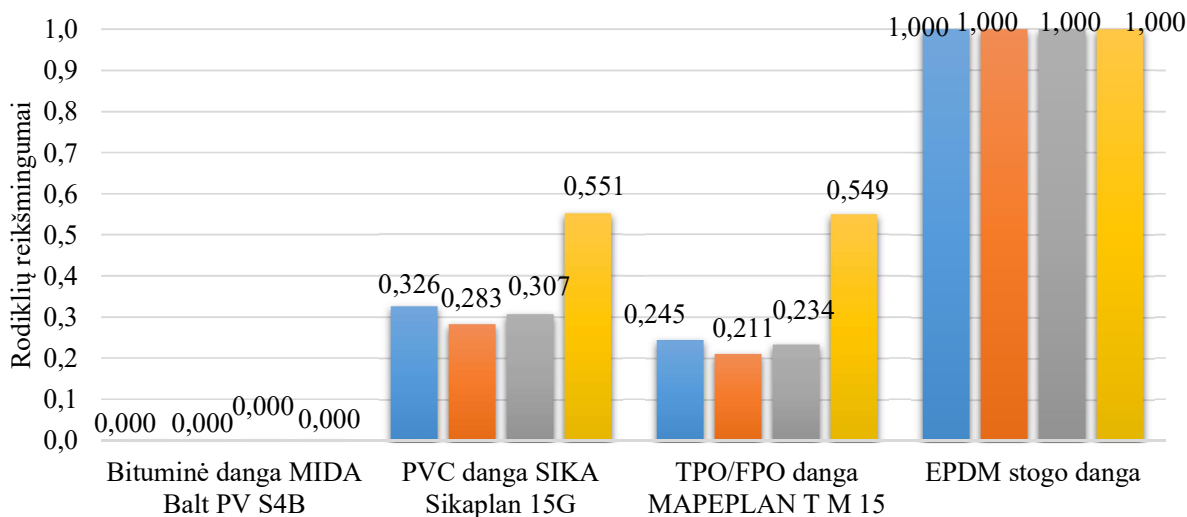
Hidroizoliacinė danga	Rodiklių atstojamasis efektyvumas	Prioritetų eilutė
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	$K_{BS 1} = 0,000$	4
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	$K_{BS 2} = 0,551$	2
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	$K_{BS 3} = 0,549$	3
EPDM danga	$K_{BS 4} = 1,000$	1



26 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal M-TOPSIS metodą, kai visų rodiklių reikšmingumai naudojami vienodi

3.4.5. Rezultatų, gautų M-TOPSIS metodu, apibendrinimas

Rezultatų, gautų M-TOPSIS metodu, suvestinė pateikta 27 pav. Iš šio paveikslo matome, kad nepriklausomai nuo apklausoje gautų rodiklių reikšmingumų, efektyviausia hidroizoliacinė danga išlieka EPDM stogo danga.



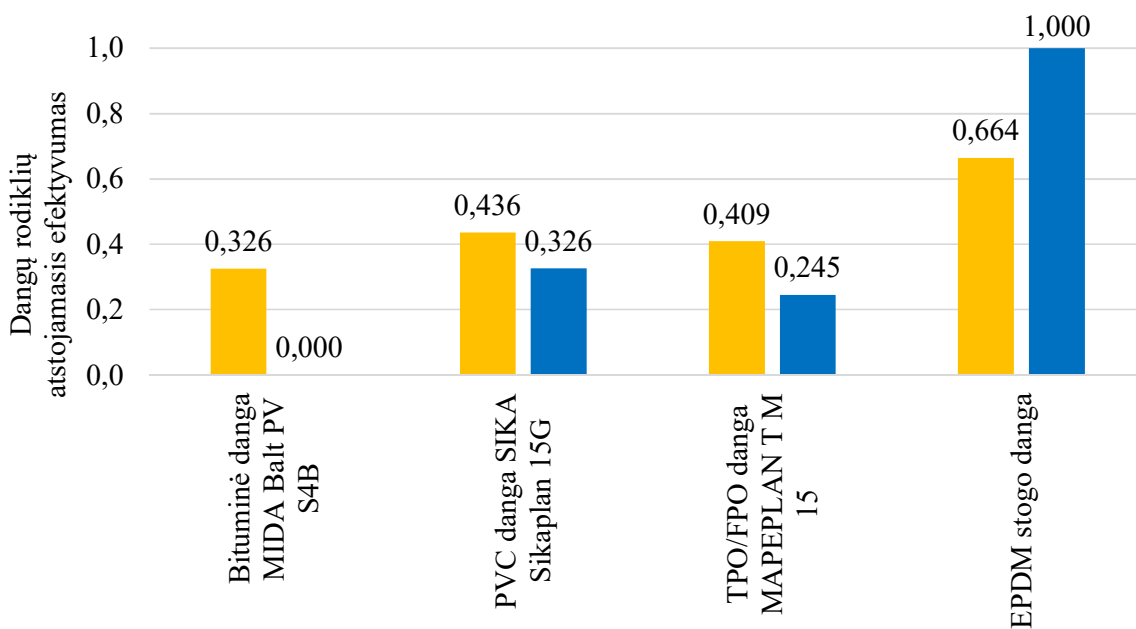
27 pav. Rodiklių atstojamųjų efektyvumu pagal M-TOPSIS metodą suvestinę, kai rodiklių reikšmingumai imami: ■ – pagal darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų apklausos rezultatus; ■ – pagal projektų inžinierių apklausų rezultatus; ■ – pagal visų apklausų dalyvių rezultatus ■ – vienodi

EPDM dangos vidutinis efektyvumo rodiklis, taikant M-TOPSIS metodą, yra 1, o praščiausios bituminės dangos MIDA Balt PV S4B, kurios vidutinis efektyvumo rodiklis yra lygus 0. Praščiausia bituminė danga nuo geriausios EPDM hidroizoliacinės dangos skiriasi per 1 reikšmingumo rodiklio vertę.

3.5. Rezultatų gautų TOPSIS ir M-TOPSIS palyginimas

3.5.1. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumai

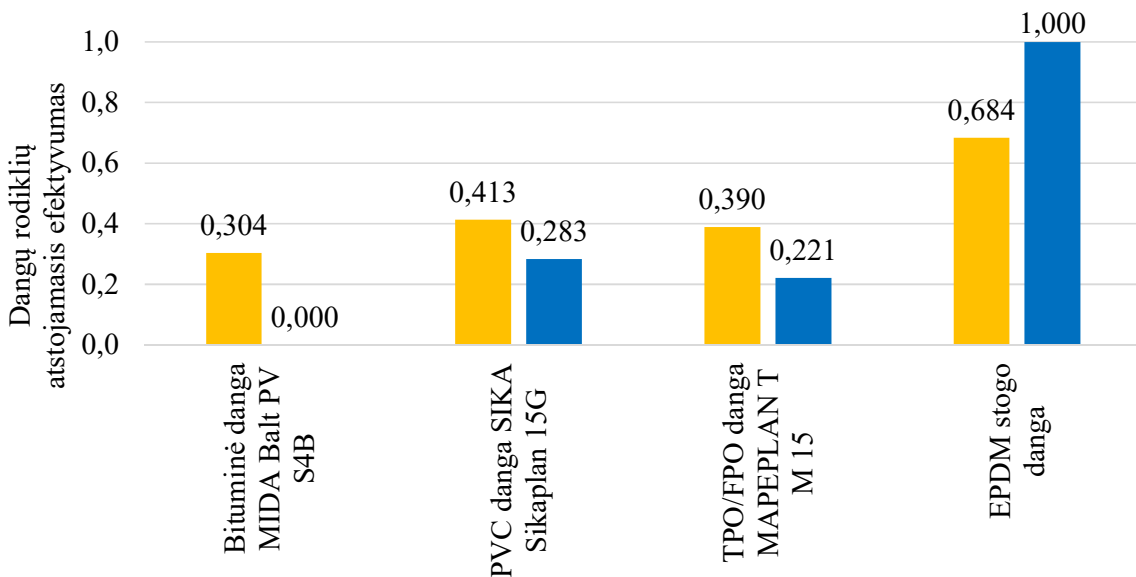
Rezultatų gautų TOPSIS ir M-TOPSIS metodu, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumai, yra pateikti 28 pav. Iš šio paveikslo matome, kad nepriklausomai nuo daugiakriterio vertinimo metodo efektyviausia stogo hidroizoliacinė danga yra EPDM. Šios hidroizoliacinės dangos rodiklio atstojamasis efektyvumas, pagal TOPSIS metodą yra 1,5 karto didesnis už M-TOPSIS metodą. Kita efektyviausia hidroizoliacinė danga yra PVC SIKA Sikaplan 15 G, kurios atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą yra 0,436 ir 1,33 karto didesnis už M-TOPSIS metodą. TPO/FPO MAPEPLAN T M 15 danga pagal TOPSIS metodą yra 1,34 karto didesnis už M-TOPSIS metodą. Neefektyviausia stogo danga MIDA Balt PV S4B pagal TOPSIS metodą yra 3,07 karto didesnis už M-TOPSIS daugiakriterį metodą. Neefektyviausia bituminė MIDA Balt PV S4B ir efektyviausia EPDM stogo danga pagal TOPSIS ir M-TOPSIS metodus skiriasi atitinkamai 2,03 ir 10 kartų.



28 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai pagal darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų rodiklių reikšmingumus: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą

3.5.2. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai naudojami projektų inžinierių rodiklių reikšmingumai

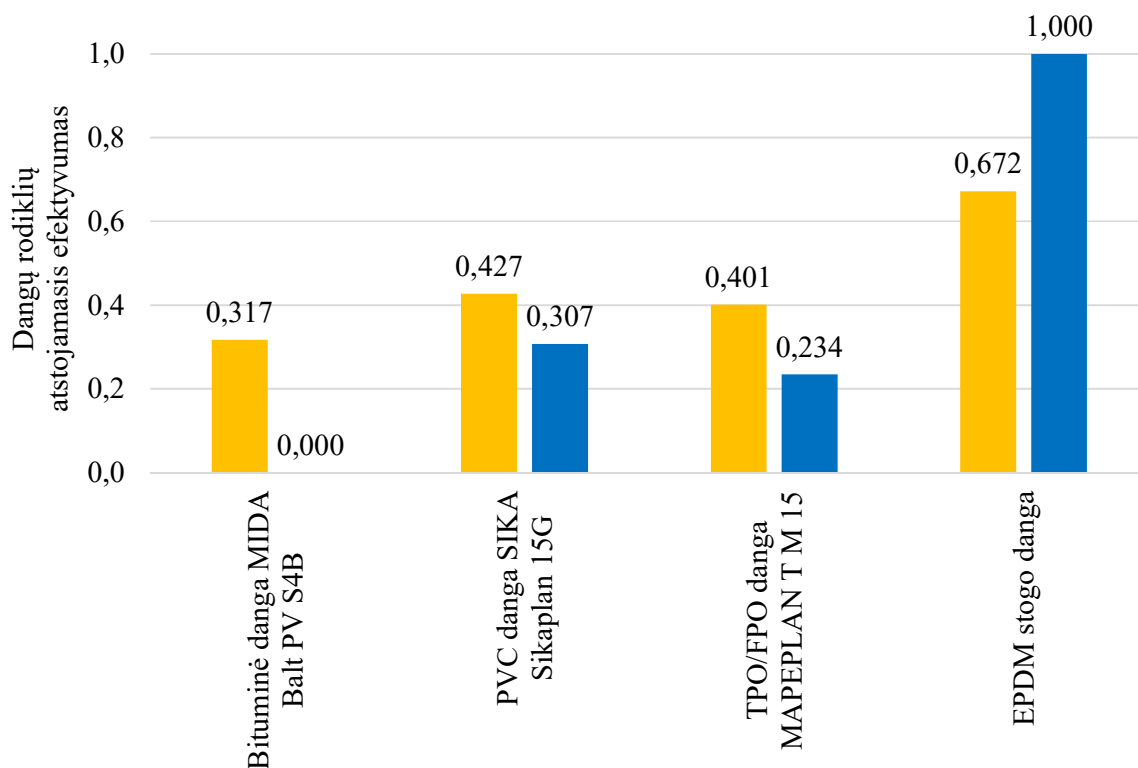
Pagal atliktus skaičiavimus TOPSIS ir M-TOPSIS metodais, naudojant projektų inžinierių rodiklių reikšmingumus, efektyviausia stogo hidroizoliacinė danga yra EPDM. Pagal TOPSIS metodą EPDM hidroizoliacinė danga nuo pračiausios bituminės MIDA Balalt PV S4B dangos skiriasi 2,25 karto, o pagal M-TOPSIS metodą – 10 kartų (žr. 29 pav.).



29 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai, pagal projektų inžinierių rodiklių reikšmingumus: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą

3.5.3. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių suminis rodiklių reikšmingumas

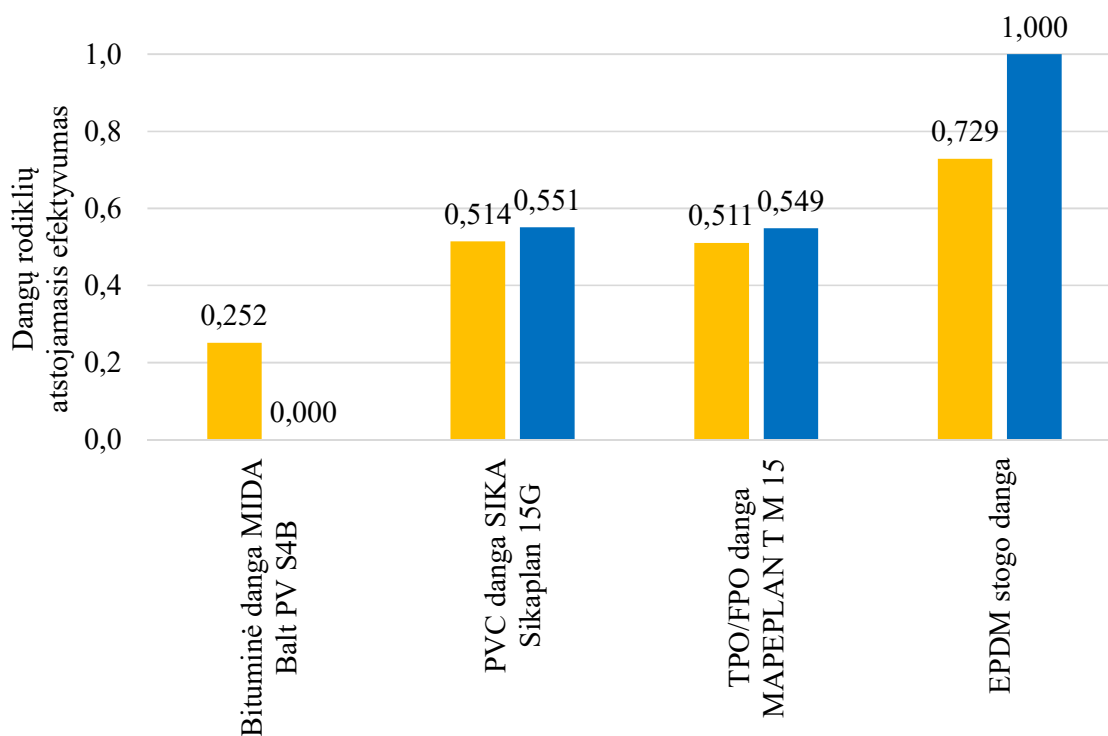
Rezultatų gautų TOPSIS ir M-TOPSIS metodais, kai naudojami darbų vadovų, statybos vadovų, projektų vadovų ir projektų inžinierių suminių rodiklių reikšmingumų suvestinė pateikta 30 pav. Efektyviausia stogo danga yra EPDM, kurios atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą yra 0,672, pagal M-TOPSIS 1,000. Neefektyviausia danga – bituminė Mida BALT PV S4B, kurios atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą 0,317, pagal M-TOPSIS – 0,000.



30 pav. Hidroizoliacinių dangų rodiklių atstojamieji efektyvumai, kai naudojami suminiai abiejų apklausų rodiklių reikšmingumai: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą

3.5.4. TOPSIS ir M-TOPSIS rezultatų palyginimas, kai visų rodiklių reikšmingumai lygūs

Rezultatų gautų TOPSIS ir M-TOPSIS metodais, kai visų rodiklių reikšmingumų vienodi pateikti 31 pav. Efektyviausia stogo danga, kaip ir visais kitais atvejais gauta – EPDM, kurios atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą yra 0,729, pagal M-TOPSIS 1,000. Neefektyviausia danga – bituminė Mida BALT PV S4B, kurios atstojamasis efektyvumas pagal TOPSIS metodą 0,252, pagal M-TOPSIS – 0,000.



31 pav. Hidroizoliacinių dangų santykiniai efektyvumai kai rodiklių reikšmingumai vienodi: ■ - pagal TOPSIS metodą; ■ - pagal M-TOPSIS metodą

Atlikus tyrimą TOPSIS ir M-TOPSIS metodais, efektyviausia hidroizoliacinė stogo danga visais atvejais gauta EPDM. Neefektyviausia stogo danga visais atvejais gauta bituminė MIDA Balt PV S4B.

Išvados

Tyrimė naudoti TOPSIS ir M-TOPSIS daugiakriteriai vertinimo metodai. Darbe nagrinėtos tokios hidroizoliacinės dangos: bituminė - MIDA BALT PV S4B, PVC - SIKA Sikaplan 15G, TPO/FPO - MAPEPLAN T M 15 ir EPDM. Norint įvertinti dangų rodiklių reikšmingumą, buvo apklausti darbų vadovai (5-i), statybos vadovas (1-as), projektų vadovai (4-i) ir projektų inžinieriai (7-i). Atlikus tyrimą gauta:

1. 65% apklaustųjų (11) nurodė, kad svarbiausi rodikliai, vertinant hidroizoliacines dangas, yra kaina. Be šio rodiklio svarbiausi nurodyti dangos ilgaamžiškumas ir įrengimo laikas. Mažiausiai svarbus rodiklis buvo nurodytas medžiagos storis. Normalizuotos vidutinės rodiklių vertės: 0,194 – kaina, 0,179 – ilgaamžiškumas, 0,178 – įrengimo laikas ir 0,087 – hidroizoliacinės medžiagos storis.
2. Atlikus hidroizoliacinių dangų daugiakriterį vertinimą TOPSIS metodu nustatyta, kad efektyviausia sutapdinto stogo hidroizoliacinė danga – EPDM (vertinant tik darbų vadovų, statybos vadovų ir projektų vadovų nuomones atstojamasis efektyvumas yra 0,664; vertinant tik projektų inžinierių nuomones – 0,684; vertinant visų apklausoje dalyvavusių ekspertų nuomones – 0,672). Suvienodinus visų hidroizoliacinės dangos rodiklių reikšmingumus efektyviausia danga taip pat gauta EPDM danga (0,729 – atstojamasis efektyvumas).
3. Panaudojus M-TOPSIS daugiakriterį metodą, nepriklausomai nuo ekspertų išsakytų nuomonių, apie dangų rodiklių reikšmingumus, efektyviausia buvo EPDM hidroizoliacinė stogo danga (atstojamasis efektyvumas – 1,000).
4. Nepriklausomai nuo taikyto metodo (TOPSIS ir M-TOPSIS) hidroizoliacinių dangų efektyvumas gautas sekantis (pirma danga geriausia; skliausteliuose pateiktos vidutinės atstojamųjų efektyvumų vertės, atitinkamai nustatytos TOPSIS ir M-TOPSIS metodais): EPDM (0,687 ir 1,000), PVC (0,448 ir 0,367), TPO/FPO (0,428 ir 0,312) ir bituminė danga (0,300 ir 0,000).

Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.04.01:2018 „*Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorės įėjimo durys*“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-07-13]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/f58c3ad0544711e98bc2ba0c0453c004?jfwid=plug7ot2m/asr>
2. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.05.04:2003 „*Poveikai ir apkrovos*“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-10-05]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.213447>
3. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.01.02:2016 „*Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas*“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021-10-06]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActEditions/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185>
4. SAN-JOSÉ LOMBERA, JOSÉ TOMÁS ir CUADRADO ROJO, JESÚS. Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2010, vol. 24. No. 4, p. 438-447 [žiūrėta 2021 m. Liepos 13 d.]. ISSN: 09500618. Prieiga per: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.019
5. USTINOVICHUS, L., RASIULIS, R., IGNATAVIČIUS, Č., ir VILIUTIENĖ, T. Analysis of waterproofing defects and technology development for car parking roofs: Lithuanian case. *Journal of Civil Engineering and Management* [interaktyvus]. 2012, vol. 18. no. 4, p. 519-529 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 6 d.]. ISSN: 1392-3730. Prieiga per: doi: 10.3846/13923730.2012.701231
6. ANDENAES, ENGEBO, KVANDE, BOHNE, LOHNE. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Flat Roofs Defects-Norwegian Building Sector Perspectives Flat Roofs Defects-Norwegian Building Sector Perspectives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [interaktyvus]. 2019, vol. 290, 2-4. [žiūrėta 2021 m. rugpjūčio 17 d.]. Prieiga per: doi: 10.1088/1755-1315/290/1/012069
7. MORGADO J., FLORES-COLEN, I., DE BRITO, J.ir SILVA, A. Maintenance programmes for flat roofs in existing buildings. *Property Management*. 2017, vol. 35. no. 3, p. 339-362 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 15 d.]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1108/PM-08-2016-0040>
8. ABUSEIF M, GOU Z. A review of Roofing Methods: Construction Features, Heat Reduction, Payback Period and Climatic Responsiveness. *Energies*. 2018, vol 11, no 11:3196 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 15 d.]. Prieiga per: doi.org/10.3390/en11113196
9. SHAN MEI-DI ir FENG ZHOU. Brief Discussion on Cause, Prevention and Control for Roof Leakage on Industrial Buildings. *2nd Annual International Conference on Advanced Material Engineering (AME 2016)*. 2016 p. 1378-1382 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 12 d.].
10. KESTUTIS PELECKIS. Prilydomųjų medžiagų suklijavimo siūlių problemos. „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2021 m. Liepos 13 d.]. ISSN 2029-2341. Prieiga per: doi:10.3846/mla.2011.031
11. DARIUS BALČIŪNAS, EVALDAS MATUZEVIČIUS, DARIUS MIGLINSKAS ir ARŪNAS BARVIDAS. Hidroizoliacinių medžiagų klijavimo technologijų atsparumo analizė. „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2021 m. Spalio 6d.] ISSN 2029-2341. Prieiga per: doi: doi.org/10.3846/mla.2014.693

12. DARIUS KALIBATAS ir VYTAUTAS KOVAITIS. Selecting the most effective alternative of waterproofing membranes for multifunctional inverted flat roofs. *Journal of Civil Engineering & Management* [interaktyvus]. 2017, vol. 23, no 5, [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 10 d.]. ISSN 1392-3730. Prieiga per doi: doi.org/10.3846/13923730.2016.1250808
13. MIRIANA GONCALVES, JOSE DINIS SILVESTRE, JORGE DE BRITO, RAUL GOMES. Environmental and economic comparison of the life cycle of waterproofing solutions for flat roofs. „*Journal of Building Engineering*” [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2021 m. Liepos 13 d.]. ISSN 2352-7102. Prieiga per: https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.02.00
14. MANUEL J. CARRETERO-AYUSO, JUSTO GARCIA-SANZ-CALCEDO ir ANTONIO M.REYTES-RODRIGUEZ. Qualitative and Quantitative Analyses on Project Deficiencies in Flat-Roof Design in Extremadura, Spain. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2016. vol. 142, no 11, [žiūrėta 2021 m. Liepos 13 d.]. Prieiga per: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001176
15. CHIN-ONG WOON, SUDHARSHAN N. RAMAN, MD. SAFIUDDIN, MASLINA JAMIL ir MUHAMMAD FAUZI MOHD.ZAIN. Development of an Assessment Method to Evaluate the Quality of Remedial Treatments on concrete Flat roofs of Multiple Buildings. *Buldings*. 2019, vol. 9, no 5, [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 10 d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.3390/buildings9050124
16. IVANO POLA, DOMENICO CHIANESE ir ANGELO BERNASCONI. Flat roof integration of a-Si triple junction modules laminated together with flexible polyolefin membranes. *Solar Energy*. 2007, vol. 81, no. 9, p. 1144-1158 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 15 d.]. ISSN: 0038-092X. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.solener.2007.04.010
17. MARCINKOWSKI, ROBERT A. The flat roof design-a contribution to the methodology of architects’ education. *Global Journal of Engineering Education*. 2017, vol 19. no. 2 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 15 d.].
18. JAN PLACHY, JANA VYSOKA. Surface temperature of flat roofs with waterproofing polymer membranes. *Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021 m. Spalio 10 d.]. ISSN 012006. Prieiga per doi:10.1088/1757-899X/728/1/012006
19. I. HERNANDEZ-PEREZ, I. ZAVALA-GUILLEN, J.XAMAN, J.M BELMAN-FLORES, E.V. MACIAS-MELO ir K.M. AGUILAR-CASTRO. Test box experiment to assess the impact of waterproofing materials on the energy gain of building roofs in Mexico. *Energy*. 2019, vol. 186 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 12 d.]. ISSN 0360-5442. Prieiga per: https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.177
20. MAURICIO CHAVEZ, APPUPILLAI BASKARAN, CHANGDA FENG, ARINDAM GAN CHOWDHURY. Effect of assembly construction on the wind induced pressure of membrane roofs. *Engineering Structures*. 2020, vol 221, [žiūrėta 2021m. Lapkričio 9 d.]. ISSN: 0141-0296. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110725
21. ELZBIETA BRONIEWICZ, KAROLINA OGRODNIK. Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Elsevier*. 2020, vol 83, [žiūrėta 2021m. Lapkričio 08 d.]. ISSN: 1361-9209. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.trd.2020.102351
22. DANIEL JATO-ESPINO, ELENA CASTILLO-LOPEZ. JORGE RODRIGUEZ-HERNANDEZ, JUAN CARLOS CANTERAS-JORDANA. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction*. 2014,

- vol 45, [žiūrėta 2021m. Lapkričio 08 d.]. ISSN: 0926-5805. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013
23. ZAVADSKAS, EDMUNDAS KAZIMIERAS. Multi-criteria assessment model of technologies. *Studies in Informatics and Control*. 2013, vol 22(4), p. 249-258 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 08 d.].
 24. AHMET SELCUK YALCIN, HUSEYIN SELCUK KILIC ir DURSUN DELEN. The use of multi-criteria decision-making methods in business analytics:A comprehensive literature review. *Technological Forecasting and Social Change*. 2022, vol 174, [žiūrėta 2021m. Lapkričio 12 d.]. ISSN: 0040-1625. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121193
 25. URBAN PINTER, IGOR PŠUNDER. Evaluating construction project success with use of the M-TOPSIS Method. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2013, vol 19(1) p. 16-23. [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 08 d.]. ISSN: 1392-3730. Prieiga per doi: doi.org/10.3846/13923730.2012.734849
 26. POWEL MATEUSZ NOWAK, PAWEL KOSCIELNIAK, MAREK TOBISZEWSKI, ANA BALLESTER-CAUDET, PILAR CAMPINS-FALCO. Overview of the three multicriteria approaches applied to a global assessment of analytical methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2020, vol 133, [žiūrėta 2021m. Spalio 15 d.]. ISSN: 0165-9936. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.trac.2020.116065
 27. DEGHANI SOUFI, M. GHOBADIAN, B. NAJAFI, G. SABZIMALEKI ir M.R. YUSAF, T. TOPSIS Multi-Criteria Decision Modeling Approach for Biolubricant Selection for Two-Stroke Petrol Engines. *Energies*. 2015, vol 8(12), p. 13960-13970, [žiūrėta 2021m. Spalio 15 d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.3390/en81212408
 28. ATUL SHUKLA, PANKAJ AGARWAL, R.S. RANA, RAJESH PAROHIT. Applications of TOPSIS Algorithm on various Manufacturing Processes. *A Review Materials Today: Proceedings*. 2017, vol 4, no 4, p. 5320-5329 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15d.]. ISSN: 2214-7853. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.042
 29. PINTER U ir PŠUNDER I. Evaluating construction project success with use of the M-TOPSIS method. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2013, vol 19, no 1, p. 16-23 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 12 d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.3846/13923730.2012.734849
 30. LAIJUN LUO ir HAIPING REN. Node Importance Evaluation on Complex Network Based on M-THOPSIS Method. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol 1325, [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 12 d.]. Prieiga per doi: doi:10.1088/1742-6596/1325/1/012016
 31. TADEUSZ TRZASKALIK ir TOMASZ WACHOWICZ. *Multiple criteria decision making*. University of Economics in Katowice, 2011. ISBN 9788372467225.
 32. BALIOTI VASILIKI, CHRISTOS TZIMOPOULOS ir CHRISTOS EVANGELIDES. Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. *Application in Spillway Selection:Proceedings 2*. 2018, no. 11:637 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15 d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.3390/proceedings2110637
 33. B.I. ALVEE, M.T. CHOWDHURY ir M.G.R. ALAM. Multi Criteria Decision Method based enterprise product ranking using Fuzzy TOPSIS. *IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence and Communications Technology (IAICT) 2021*, no. 167-172 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15d.]. Prieiga per doi: doi: 10.1109/IAICT52856.2021.9532559
 34. V. T. P. SWINDIARTO, R. SARNO ir D. C. R NOVITASARI. „Integration of Fuzzy C-Means Clustering and TOPSIS (FCM-TOPSIS) with Sillhouette Analysis for Multi Criteria Parameter Data. „*International Seminar on Appliaction for Technology of Information and*

- Communication*“ 2018,, no. 463-468 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15d.]. Prieiga per doi: doi:10.1109/ISEMANTIC.2018.8549844
35. G.R. JAHANSHAHLOO, F. HOSSEINZADEH LOTFI ir M. IZADIKHAH. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data. *Applied Mathematics and Computation*. 2006, vol 1755, no 2, p. 1375-1384 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15d.]. ISSN: 0096-1384. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.amc.2005.08.048
 36. S. SAGHAFIAN ir S.R. HEJAZI. Multi-criteria Group Decision Making Using A Modified Fuzzy TOPSIS Procedure. *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*. 2005, p. 215-221 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15d.]. Prieiga per doi: doi: 10.1109/CIMCA.2005.1631471
 37. D. DALALAH. A hybrid DEMATEL-TOPSIS Multi-Criteria Decision Making model. *IEEE International Conference on Information Reuse & Integration*. 2009, p. 428-430, 221 [žiūrėta 2021 m. Spalio 15d.]. Prieiga per doi: doi: 10.1109/IRI.2009.5211593
 38. SEMRA ERPOLAT TASABAT. A Novel Multicriteria Decision-Making Method Based on Distance, Similarity and Correlation:DSC TOPSIS. „*Mathematical Problems in Engineering*“. 2019, vol 2019, p. 20 [žiūrėta 2021 m. Spalio 16d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.1155/2019/9125754
 39. TZENG, Gwo-Hshiong ir HUANG, Jih-Jeng. *Multiple Attribute Decision Making*. Methods and Applications. CRC Press LLC. 2011-06-22. ISBN: 9781439861585
 40. ERDOGAN, Seyit Ali, ŠAPARAUSKAS, Jonas ir TURSKIS, Zenonas. A Multi-Criteria Decision-Making Model to Choose the Best Option for Sustainable Construction Management. *Sustainability*. 2019, 11(8), 2239 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 16 d.]. ISSN: 2071-1050. Prieiga per: doi:10.3390/su11082239
 41. W. XIONG ir H. QI. A Extended TOPSIS Method for the Stochastic Multi-Criteria Decision Making Problem through Interval Estimation. *2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*. 2010, p. 1-4 [žiūrėta 2021 m. Spalio 17d.]. Prieiga per doi: doi: 10.1109/IWISA.2010.5473307
 42. J. DEZERT, D. HAN ir J. TACNET. Multi-Criteria Decision-Making with imprecise scores and BF-TOPSIS. *20th International Conference on Information Fusion (Fusion)*. 2017, p. 1-8 [žiūrėta 2021 m. Spalio 20 d.]. Prieiga per doi: doi: 10.23919/ICIF.2017.8009725
 43. LIFENG REN, YANQIONG ZHANG, YIREN WANG, ZHENQIU SUN. Comparative Analysis of a Novel M-TOPSIS Method and TOPSIS. *Applied Mathematics Research eXpress*. 2007 [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 11 d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.1093/amrx/abm005
 44. VAN BELLE, G., FISHER, L., HEAGERTY., LUMLEY T. *Biostatistics*. A methodology for the health sciences 2nd. 2004.
 45. DAMMAK FATMA, LEILA BACCOUR ir ADEL M ALIMI. Crisp multi-criteria decision making methods : State of the art. *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2016, vol 14, no 8, [žiūrėta 2021 m. Lapkričio 11 d.]
 46. TAHANI COOLEN-MUTURI. New weighted rank correlation coefficients sensitive to agreement on top and bottom rankings. *Journal of Applied Statistics*. 2014, p. 2261-2279. [žiūrėta 2022m. Sausio 3d.]. Prieiga per doi: doi.org/10.1080/02664763.2012.681460
 47. SAZZADUR Rahman, HENRY, Odeyinka, SRINATH, Perera, ir YAXIN, Bi. Product-cost modelling approach for the development of a decision support system for optimal roofing material selection. *Expert Systems with Applications* [interaktyvus]. 2012, vol. 39, no 8, p.

- 6857-6871 [žiūrėta 2020 m. Gruodžio 8 d.]. ISSN 09574174. Prieiga per:doi:10.1016/j.eswa.2012.01.010
48. Bituminės mida dangos. Medžiagos viršutiniam stogo dangos sluoksniui. *Technicol* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://lt.technicol.eu/materials/hidroizoliacines-medziagos/virsutiniam/mida-balt-pv-s4b>.
49. PVC sika dangos. Medžiagos viršutiniam stogo dangos sluoksniui. *Stotras* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: https://www.stotras.lt/wp-content/uploads/Sikaplan_15D_18D.pdf
50. TPO/FPO tipo dangos. *Mapeplan syntethic waterproofing membranes* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.polyglass.com/GB-EN/product-detail.aspx?IDLinea=8&IDSottoLinea=130&IDProdotto=99>
51. Sutapdintas stogas. *EPDM sistemas* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://epdm.lt/>
52. BITUMINĖS DANGOS. MEDŽIAGOS VIRŠUTINIAM STOGO DANGOS SLUOKSNIUI. *Technicol* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 m. gruodžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://lt.technicol.eu/materials/hidroizoliacines-medziagos/virsutiniam/mida-balt-pv-s4b>
53. PVC STOGO DANGA PROTAN. *Stogrenta*. 2016 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.stogrenta.lt/pvc-stogo-danga-protan/>
54. WATERPROOFING MATERIALS AND INSULATING SYSTEMS. *VelveMST* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 m. gruodžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://velvemst.lt/polyglass/tpo-fpo-sintetines-hidroizoliacines-membranos>
55. EPDM STOGO DANGA: PRIVALUMAI IR TRŪKUMAI. *ManoNamai*. 2015 [žiūrėta 2020 m. gruodžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.manonamai.lt/lt/namai/g-47922-epdm-stogo-danga-privalumai-ir-trukumai>
56. ROCKWOOL. Gaminių degumo klasės [interaktyvus] [žiūrėta 2021 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.rockwool.com/lt/patarimai-ir-Informacija/kodel-rockwool/saugumas/euroklase/>



SUTAPDINTO STOGO HIDROIZOLIACINĖS DANGOS DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

Kecorius M., Vaičiulis D.

Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Raktiniai žodžiai: sutapdintas stogas, hidroizoliacija, TOPSIS.

1. Įvadas

Vystantis statybos sektoriui, plečiantis pastatų mastams ir tobulėjant technologijoms bei medžiagoms, sunku rasti efektyvias ir jau patikrintas statybines medžiagas. Kadangi stogas yra vienas iš svarbiausių ir brangiausių pastato dalių, tad netinkamai parinkus stogo hidroizoliacinę dangą galima patirti didelių nuostolių. Daugelis susiduria su sunkumu sprendžiant ar pasirinktas stogas yra tinkamas, užtikrinantis pastatui apsaugą ne tik nuo kritulių, bet ir nuo saulės spindulių, vėjo bei ekstremalių temperatūrų [1]. Išvardinti veiksniai, kaip ir stogo konstrukcijos privalo atitikti keliamus reikalavimus [2]. Pastatai daug energijos praranda per stogą, todėl Lietuvos ir užsienio tyrėjai ieško būdų kaip pagerinti stogų būklę, parinkti tinkamas medžiagas bei ženkliai sumažinti šilumos išlaidas. Šiame darbe bus tiriama hidroizoliacinė danga ir ieškomi racionaliausi stogo dangos variantai.

Darbo tikslas: atlikti sutapdinto stogo hidroizoliacinės dangos daugiakriterį vertinimą.

2. Sutapdintų stogų vertinimo rodikliai

Sutapdinti stogai yra nagrinėjami ir vertinami pagal įvairius rodiklius daugelio užsienio ir Lietuvos tyrėjų. Nuolat didėjanti stogo dangų paklausa bei augantis šių dangų populiarumas, mažesnė žala aplinkai ir mažesnės statybos laiko sąnaudos – tai kriterijai, kodėl buvo pradėtas vertinti stogų reikšmingumas [3]. Straipsnyje [4] yra tiriami keli hidroizoliaciniai sutapdintų stogų pasirinkimai: bituminės dangos bei sintetinės (EPDM, PVC, HPDE, TPO) dangos, jos vertinamos pagal jų gyvavimo ciklo (patvarumo) poveikį aplinkai ir ekonomikai (kainą). Kiekvienos medžiagos gyvavimo ciklo kaina buvo įvertinta remiantis rinkos 2019 m. duomenimis. Atlikus daugiakriterinį gyvavimo ciklo vertinimą (pagal sąnaudas ir poveikį aplinkai) geriausia alternatyva buvo nustatyta bituminė danga, o prasčiausia sintetinė EPDM stogo danga. Lietuvių tyrėjai D. Kalibatas ir V. Kovaitis [5] darbe nagrinėjo skirtingas hidroizoliacines dangas (prilydomą bituminę dangą, polimero modifikuotas bitumo membranas ir sintetines (PVC, TPO, TPO/FPO, EPDM, EVA/EBA, PMMA) dangas) ir nustatė efektyviausią sutapdinto stogo dangą. Autoriai dangas vertino pagal tokius rodiklius: 1 m² dangos kainą, membranų montavimo našumas, išilginę tempimo jėgą, pailgėjimą, atsparumą garams, atsparumą plyšimui, lankstumą esant neigiamai temperatūrai ir maksimalų garantinį laikotarpį. Darbe [5] atliktas daugiakriterinis vertinimas parodė, kad efektyviausias variantas yra TPO termo plastikinė membrana, o prasčiausia EVA/EBA sintetinė membrana.

Atsižvelgiant į Lietuvos ir užsienio tyrėjų straipsniuose pateiktus duomenis šiame straipsnyje buvo pasirinktos tirti 4 stogo dangos: prilydoma elastomerinė bituminė danga MIDA Balt PV S4B, polimerinė PVC membrana SIKA Sikaplan 15G, sintetinė hidroizoliacinė membrana TPO/FPO MAPEPLAN T M 15 ir sintetinio kaučiuko membrana EPDM. Šios dangos bus vertinamos pagal tokius rodiklius: įrengimo kaina (1 m²/€), 1 m² įrengimo laikas (min), santykinė masė (kg/m²) ir didžiausioji tempimo jėga (kN). Pagal šiuos kriterijus, buvo nustatyta, kuri iš pasirinktų alternatyvų yra efektyviausia ir neefektyviausia.

3. TOPSIS metodas

TOPSIS (angl. – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) yra daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas, pagrįstas idėja, kad rekomenduojamas sprendimas turėtų būti kaip galima „arčiau“ geriausio pasirinkimo ir kaip galima „toliau“ nuo prasčiausio pasirinkimo [6]. Šis metodas panaudotas kaip sprendimų palaikymo sistema tinkamiausiai stogo hidroizoliacinei dangai parinkti. Skaičiavimai atliekami pasinaudojus [7-9] darbuose pateiktu TOPSIS metodo algoritmu.

4. Stogo hidroizoliacinės dangos daugiakriteris vertinimas

Naudojant TOPSIS metodą reikia sudaryti galimų sprendimų matrica. Ji buvo sudaryta įvertinus 2-ame skyriuje pasirinktus vertinimo rodiklius (įrengimo kainą ir įrengimo laikas buvo gauti pasinaudojus programa „Sistela“) ir technines specifikacijas, kurias pateikia dangų gamintojai [10-13] (žr. 1 lent.).

Normalizuota ir svartinė sprendimų matricos atitinkamai pateiktos 2 ir 3 lent. Geriausios ir blogiausios vertinimo rodiklių svartinės vertės pateiktos 4 lent., o „atstumai“ iki geriausios ir blogiausios vertinimo rodiklių svartinės vertės – 5 lent. Santykis „atstumas“ iki blogiausios vertinio rodiklio reikšmės pateiktas 6 lent.

1 lentelė

Galimų sprendimų matrica

Stogo hidroizoliacinės dangos (alternatyvos)	Rodikliai			
	Įrengimo kaina 1 m ² , € (geriausia yra min. vertė)	1 m ² įrengimo laikas, min (geriausia yra min. vertė)	Santykinė masė, kg/m ² (geriausia yra min. vertė)	Didžiausioji tempimo jėga, kN (geriausia yra max. vertė)
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	10,82	16,44	5,20	17,65
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	15,89	15,30	1,83	19,98
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	15,66	24,00	1,50	21,98
EPDM stogo danga	29,62	10,68	1,50	14,30

2 lentelė

Normalizuota sprendimų matrica

Stogo hidroizoliacinės dangos	Rodiklių reikšmingumai q			
	0,250	0,250	0,250	0,250
	Normalizuoti rodikliai			
	Normalizuota 1 m ² įrengimo kaina	Normalizuota 1 m ² įrengimo laikas	Normalizuota santykinė masė	Normalizuota didžiausia tempimo jėga
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,280	0,476	0,881	0,472
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,411	0,443	0,309	0,534
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,405	0,694	0,254	0,588
EPDM stogo danga	0,767	0,309	0,254	0,382

Svertinė normalizuota sprendimų matrica

Stogo hidroizoliacinės dangos	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Svertinė 1 m ² įrengimo kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinė didžiausioji tempimo jėga
Bituminė danga MIDA Balt PV S4B	0,070	0,119	0,220	0,118
PVC danga SIKA Sikaplan 15G	0,103	0,111	0,077	0,134

3 lentelės tęsinys

Stogo hidroizoliacinės dangos	Svertiniai normalizuoti rodikliai			
	Svertinė 1 m ² įrengimo kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinė didžiausioji tempimo jėga
TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15	0,101	0,174	0,064	0,147
EPDM stogo danga	0,192	0,077	0,064	0,096

4 lentelė

Geriausios ir blogiausios rodiklių svertinės vertės

Idealus variantas	Rodikliai			
	Svertinė 1 m ² įrengimo kaina	Svertinis 1 m ² įrengimo laikas	Svertinė santykinė masė	Svertinė didžiausioji tempimo jėga
a ⁺	0,070	0,077	0,064	0,147
a ⁻	0,192	0,174	0,220	0,096

5 lentelė

Atstumų svertinės vertės

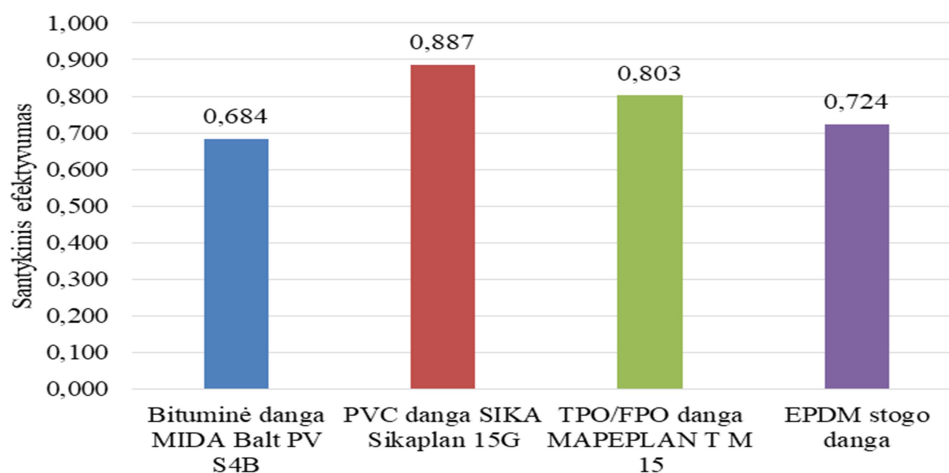
Rodiklio numeris <i>j</i>	„Atstumas“ tarp lyginamosios ir geriausios <i>j</i> rodiklio svertinės vertės	„Atstumas“ tarp lyginamosios ir blogiausios <i>j</i> rodiklio svertinės vertės
1	$L_1^+ = 0,165$	$L_1^- = 0,356$
2	$L_2^+ = 0,051$	$L_2^- = 0,396$
3	$L_3^+ = 0,101$	$L_3^- = 0,413$
4	$L_4^+ = 0,132$	$L_4^- = 0,347$

6 lentelė

Santykiniai atstumai iki blogiausios vertinio rodiklio reikšmės

Santykinis atstumas	Prioritetų eilutė
$K_1 = 0,684$	4
$K_2 = 0,887$	1
$K_3 = 0,803$	2
$K_4 = 0,724$	3

Gauti TOPSIS metodu rezultatai pateikti 1 pav. Sutapdintų stogų efektyviausia stogo danga gauta PVC SIKA Sikaplan 15G su 0,887 efektyvumo balu, neefektyviausia – bituminė MIDA BALT PV S4B danga, kurios efektyvumo balas yra 0,684.



1 pav. TOPSIS metodu atliktų stogo hidroizoliacinių dangų santykiniai efektyvumai

Išvados

1. Darbe buvo tirtos šios stogo hidroizoliacinės dangos: bituminė danga MIDA Balt PV S4B, PVC danga SIKA Sikaplan 15G, TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15 ir EPDM stogo danga. Pigiausia iš jų yra – Bituminė danga MIDA Balt PV S4B, trumpiausias 1 m^2 įrengimo laikas yra EPDM stogo dangos, mažiausią santykinę masę turi dvi dangos – TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15 ir EPDM stogo danga (santykinė masė $1,5 \text{ kg/m}^2$), didžiausią tempimo jėgą turi TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15.
2. Atlikus daugiakriterį TOPSIS stogo dangų vertinimą nustatyta, kad efektyviausia yra SIKA Sikaplan 15G danga. Šios dangos santykinis efektyvumo balas yra 0,887. Mažiausiai efektyvi (iš nagrinėtų) danga yra bituminė MIDA Balt PV S4B, jos santykinis efektyvumo balas yra 0,684. Skirtumas tarp šių dangų yra apie 1,3 karto. TPO/FPO danga MAPEPLAN T M 15 ir EPDM stogo dangos surinko atitinkamai 0,803 ir 0,724 santykinius efektyvumo balus.

Literatūra

1. DOMINGUEZ – GONZALEZ, JAMIE, BORROSO – SANCHEZ, GONZALO ir CALCEDO-SANZ-GARCIA, JUSTO. Preventive maintenance optimisation of accessible flat roofs in healthcare centres using the Markov chain. Journal of Building Engineering [interaktyvus]. 2020, vol. 32, no 1, [žiūrėta 2021 m. balandžio 09 d.]. ISSN 101775. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.job.2020.101775.
2. Lietuvos respublikos aplinkos ministerija. STR 2.04.01:2018 „Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorės įėjimo durys“ [interaktyvus] [žiūrėta 2021 m. balandžio 4d.]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/f58c3ad0544711e98bc2ba0c0453c004?jfwid=p1ug7ot2m/asr>.
3. GOMES, RAUL, DINIS SILVESTRE, JOSE ir DE BRITO, JORGE. Environmental, economic and energy life cycle assesment „From cradle to cradle“ (3E –C2C) of flat roofs. Journal of Building Engineering [interaktyvus]. 2020, vol. 32, no 1, [žiūrėta 2021 m. balandžio 10 d.]. ISSN 101436. Prieiga per doi: /doi.org/10.1016/j.job.2020.101436.
4. GONCALVES, MIRIANA, SILVESTRE DINIS, JOSE, DE BRITO, JOSE ir GOMES, RAUL. Environmental and economic comparison of the life cycle of waterproofing solutions for flat roofs. Journal of Building Engineering [interaktyvus]. 2019, vol. 24, no 1, [žiūrėta 2021 m. balandžio 11 d.]. ISSN 100710. Prieiga per doi: doi.org/10.1016/j.job.2019.02.002.

5. DARIUS KALIBATAS ir VYTAUTAS KOVAITIS. Selecting the most effective alternative of waterproofing membranes for multifunctional inverted flat roofs. *Journal of Civil Engineering & Management* [interaktyvus]. 2017, vol. 23, no 5, [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. ISSN 1392-3730. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1250808>
6. TZENG, GWO-HSHIUNG ir HUANG, JIH-JENG. *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*. CRC Press LLC. 2011-06-22. ISBN: 9781439861585.
7. SAZZADUR RAHMAN, HENRY, ODEYINKA, SRINATH, PERERA, ir YAXIN, BI. Product-cost modelling approach for the development of a decision support system for optimal roofing material selection. *Expert Systems with Applications* [interaktyvus]. 2012, vol. 39, no 8, p. 6857-6871 [žiūrėta 2021 m. balandžio 10 d.]. ISSN 09574174. Prieiga per:doi:10.1016/j.eswa.2012.01.010.
8. ERDOGAN, SEYIT ALI, ŠAPARAUSKAS, JONAS ir TURSKIS, ZENONAS. A Multi-Criteria Decision-Making Model to Choose the Best Option for Sustainable Construction Management. *Sustainability*. 2019, 11(8), 2239 [žiūrėta 2021 m. balandžio 11 d.]. ISSN: 2071-1050. Prieiga per: doi:10.3390/su11082239.
9. ANDENAES, ENGEBO, KVANDE, BOHNE, LOHNE. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Flat Roofs Defects-Norwegian Building Sector Perspectives Flat Roofs Defects-Norwegian Building Sector Perspectives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [interaktyvus]. 2019, vol. 290, 2-4. [žiūrėta 2021 m. balandžio 5 d.]. Prieiga per: doi: 10.1088/1755-1315/290/1/012069.
10. Bituminės mida dangos. Medžiagos viršutiniam stogo dangos sluoksniui. *Technicol* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://lt.technicol.eu/materials/hidroizoliacines-medziagos/virsutiniam/mida-balt-pv-s4b>.
11. PVC sika dangos. Medžiagos viršutiniam stogo dangos sluoksniui. *Stotras* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: https://www.stotras.lt/wp-content/uploads/Sikaplan_15D_18D.pdf.
12. TPO/FPO tipo dangos. Mapeplan synthetic waterproofing membranes [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.polyglass.com/GB-EN/product-detail.aspx?IDLinea=8&IDSottoLinea=130&IDProdotto=99>.
13. Sutapdintas stogas. EPDM sistemos [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2021 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://epdm.lt/>.