

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Gediminas Gritėnas

**MAŽAENERGINIO PRAMONINIO PASTATO IŠORĖS
ATITVARŲ IŠ DAUGIASLUOKSNIŲ PLOKŠČIŲ
DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS**

Magistro projektas

Vadovas

Dr. Donatas Aviža

PANEVĖŽYS, 2018

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**MAŽAENERGINIO PRAMONINIO PASTATO IŠORĖS
ATITVARŲ IŠ DAUGIASLUOKSNIŲ PLOKŠČIŲ
DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS**

Magistro projektas
Statyba (621J80001)

Vadovas

Dr. Donatas Aviža

2018-01-09

Recenzentas

Doc. Dainius Vaičiulis

Projektą atliko

Gediminas Gritėnas

2018-01-09

PANEVĖŽYS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

(Fakultetas)

Gediminas Gritėnas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Mažaenerginio pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių
daugiakriterinis vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. sausio 9 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Gedimino Gritėno**, baigiamasis projektas tema „Mažaenerginio pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių daugiakriterinis vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Gediminui Gritėnui **Grupė** PMS-6

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Mažaenerginio pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių daugiakriterinis vertinimas

Anglų kalba: Multi-Criteria Evaluation of a Low-Energy Industrial Building External Walls Made of Sandwich Panels

Patvirtinta 20 ____ m. ____ mėn. ____ d. dekanų potvarkiu Nr. ____

2. Darbo tikslas:

Atlikti mažaeenerginio pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių daugiakriterinį vertinimą

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Darbas turi tenkinti technologijos mokslų srities baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodinius reikalavimus

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

Įvadas

- 1. Apžvalginė dalis*
- 2. Metodinė dalis*
- 3. Tiriamoji dalis*

Išvados

Informacinių šaltinių sąrašas

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2018-01-09

(data)

Užduotį gavau: _____

2017-09-04

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: _____

2017-09-04

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

TURINYS

SANTRAUKA	6
SUMMARY	7
IVADAS	8
1. MAŽAENERGINIAI PASTATAI IR DAUGIASLUOKSNĖS PLOKŠTĖS STATYBOJE	9
1.1. Mažaenerginiai pastatai	9
1.1.1. Mažaenerginiai pastatai Lietuvoje.....	11
1.1.2. Mažaenerginiai pastatai Europoje	13
1.2. Reikalavimai mažąenerginio pramoninio pastato išorinėms atitvaroms Lietuvoje	15
1.3. Daugiasluoksnė plokštė.....	16
2. MAŽAENERGINIO PRAMONINIO PASTATO ATITVARŲ ŠILUMOS PERDAVIMO KOEFICIENTO, TERMOIZOLIACINIO SLUOKSNIO STORIO IR TOPSIS SKAIČIAVIMO METODIKA	20
2.1. A ⁺ ir A ⁺⁺ energinio naudingumo klasės pramoninio pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento <i>U</i> apskaičiavimo metodika	20
2.2. Daugiasluoksnių plokščių termoizoliacinio sluoksnio storio pastato energinio naudingumo klasei patenkinti skaičiavimo metodika.....	20
2.3. Daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai	21
2.4. TOPSIS metodo skaičiavimo metodika	22
2.5. Reikšmių reikšmingumo nustatymo metodologija.....	23
3. MAŽAENERGINIO PRAMONINIO PASTATO IŠORĖS ATITVARŲ IŠ DAUGIASLUOKSNIŲ PLOKŠČIŲ SU SKIRTINGOMIS TERMOIZOLIACINĖMIS MEDŽIAGOMIS DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS	24
3.1. A ⁺ , A ⁺⁺ energinės klasės pramoninio pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymas	24
3.2. Daugiasluoksnė plokštė termoizoliacinio sluoksnio storio nustatymas...	25
3.3. Daugiasluoksnių plokščių pasirinkimas racionaliam sprendiniui nustatyti	27
3.4. Rodiklių pasirinkimas TOPSIS metodui.....	28
3.5. A ⁺ energinės klasės pramoninio pastato daugiakriterinis racionaliausias plokštės pasirinkimas taikant TOPSIS metodą.....	29
3.6. A ⁺⁺ energinės klasės pramoninio pastato daugiakriterinis racionaliausias plokštės pasirinkimas taikant TOPSIS metodą.....	31
3.7. Skaičiavimo rezultatų apibendrinimas	33
3.8. Skaičiavimo įrankio apžvalga	38
IŠVADOS	40
INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	41

Gritėnas, Gediminas. Mažaenerginio pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių daugiakriterinis vertinimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: statybų technologijos, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *daugiasluoksnės plokštės, TOPSIS, mažąenerginis pastatas, pramoninis*

Panevėžys, 2018. 42 p.

SANTRAUKA

Einant metams, reikalavimai pastatams vis augo. Šiuo metu šylant klimatui Europos šalys narės priėmė sprendimą, kad reikia mažinti sunaudojamos energijos apimtį šildant, vėsinant pastatus. To sekoje sugriežtėjo reikalavimai pastato atitvarų šilumos perdavimui ir izoliacijai. Todėl verta aptarti termoizoliacinių konstrukcijų panaudojimą pastatuose.

Šiame darbe nagrinėsiu dažniausiai šiuo metu pramoninių pastatų statyboje naudojamas daugiasluoksnes plokštes su skirtingais termoizoliaciniais sluoksniais. Kurių dažniausiai pasitaikantys užpildai iš mineralinės vatos, polistireno, poliuretano, poliizocianurato.

Plokščių tinkamumą ir racionaliausią sprendimą nustatysiu, pasinaudodamas TOPSIS metodu. Metodo skaičiavimo kriterijus pasirenku pagrindines plokštės technines, fizines savybes: kainą, plokštės storį, svorį, ugniaatsparumo klasę ir šilumos perdavimo koeficientą. Skaičiavimams supaprastinti pasitelksiu MS Excel programa paties sukurtą skaičiuoklę.

Įvertinus gautus rezultatus – racionaliausias sprendimas pasirinkti polistireno užpildo plokštę - ji arčiausiai idealaus pasirinkimo, blogiausias pasirinkimas – mineralinės vatos užpildo plokštė.

Gritėnas, Gediminas. *Multi-Criteria Evaluation of a Low-Energy Industrial Building External Walls Made of Sandwich Panels: Master's thesis in Construction / supervisor assoc. prof. dr. Donatas Aviža. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Building Technology, Technology Science.

Key words: sandwich panels, TOPSIS, low-energy building, industrial, walls

Panevėžys, 2018. 42 p.

SUMMARY

With each year requirements for buildings grows. Now, when climate warming is threatening us, EU's (European Union's) countries made a decision to decrease used energy for heating and cooling buildings. Because of that requirements for external walls' heat transmission and isolation became tighter. That is why it is worth to dispute thermoizolation construction's utilization in buildings.

In this work I will be talking about mostly used sandwich panels with different thermoizolating layers those days in industrial buildings' constructions. In which most often filling are made of mineral wool, polystyrene, polyurethane and polyisocyanurate.

I will make the most rational choice and choose the most suitable panels by using the TOPSIS method. I chose method's counting criterion as main panel's technical, physical properties such as price, thickness of a panel, weight, fire-resistant class and heat transfer coefficient. To make calculations easier I will use self-made calculator on MS Excel program.

After evaluating the results-the most rational decision is to choose polystyrene filling panels because it is the closest to the ideal choice. The worst choice is mineral wool filling panels.

IVADAS

Didėjant sandėliavimo ir gamybos patalpų, kurios būtų kuo pasyvesnės, tai yra suvartotų kuo mažiau energijos, paklausai, vis bandoma ir išrandama naujų ar pritaikomos senos termoizoliacinės medžiagos, kurios užtikrintų kuo mažesnę energijos suvartojimą apšildyti ar vėdinti pastatus. Daugiasluoksnės plokštės su įvairiais termoizoliaciniais užpildais vienas geriausių pasirinkimų pramoninių pastatų statyboje, taigi verta tai aptarti plačiau.

Darbo tikslas:

Išnagrinėti daugiasluoksnių plokščių užpildų tinkamumą mažaenerginio pramoninio pastato išorės atitvaroms, naudojant TOPSIS metodą, pagal pasirinktus kriterijus ir skaičiavimo rezultatus nustatyti racionaliausią daugiasluoksnės plokštės užpildą A⁺, A⁺⁺ energinio naudingumo klasės pramoniniam pastatui.

Uždaviniai:

- Aptarti reikalavimus mažaenerginiam pastatui Lietuvoje ir Europoje bei vyraujančius daugiasluoksnių plokščių termoizoliacinius užpildus;
- nustatyti reikiamą daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais sluoksniais storį, pastato energetinio naudingumo klasei patenkinti;
- TOPSIS metodu įvertinti ir palyginti daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais tinkamumą mažaenerginiam pramoniniam pastatui;
- sukurti skaičiavimo įrankį paremtą TOPSIS metodu – kuris leistu, keičiant daugiasluoksnės plokštės rodiklių vertes, gauti racionaliausią sprendinį.

Darbo aktualumas

Kadangi šiuolaikinėje pramoninių pastatų statyboje gana svarbu ne tik konstrukcijų atsparumas vidaus ir išorės aplinkos veiksniams, bet statybos ekonomiškumas ir šiluminės pastato savybės, nes nuo 2018 sausio 1 d. Lietuvoje naujai statomi pastatai turės būti ne žemesnės A⁺, A⁺⁺ energinės klasės, taigi aktualu aptarti kokios termoizoliacinės medžiagos daugiasluoksnėje plokštėje užtikrintų geriausias plokštės savybes pramoninio pastato statyboje.

Tyrimo metodai

Tyrimui naudojamos Lietuvoje galiojančio statybos techniniame reglamente pateiktos skaičiavimo metodikos ir formulės - šilumos perdavimo koeficientui gauti, pagal tam tikrą energinio naudingumo klasę, įvairių gamintojų daugiasluoksnių plokščių sertifikuotos techninės reikšmės bei TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) metodas, kurio dėka pasirinkus kriterijus ir jų reikšmes, sudarius skaičiavimų matricą, gaunamas racionaliausias sprendinys.

1. MAŽAENERGINIAI PASTATAI IR DAUGIASLUOKSNĖS PLOKŠČIŲ PANAUDOJIMĄ STATYBOJE

Šiame skyriuje norėčiau aptarti mažąenerginis pastatus ir jiems keliamus reikalavimus Lietuvoje ir Europoje, daugiasluoksnių plokščių panaudojimą statyboje bei vyraujančius termoizoliacinių sluoksnių užpildus jose.

Nuo 2020 m. gruodžio 31 d. visos Europos Sąjungos narės įsipareigoja, kad visi naujai statomi pastatai būtų beveik energijos nenaudojantys ir atitiktų Europos direktyvą 2010/31/EU. Šiam tikslui pasiekti nustatytas 8 metų laikotarpis(11).

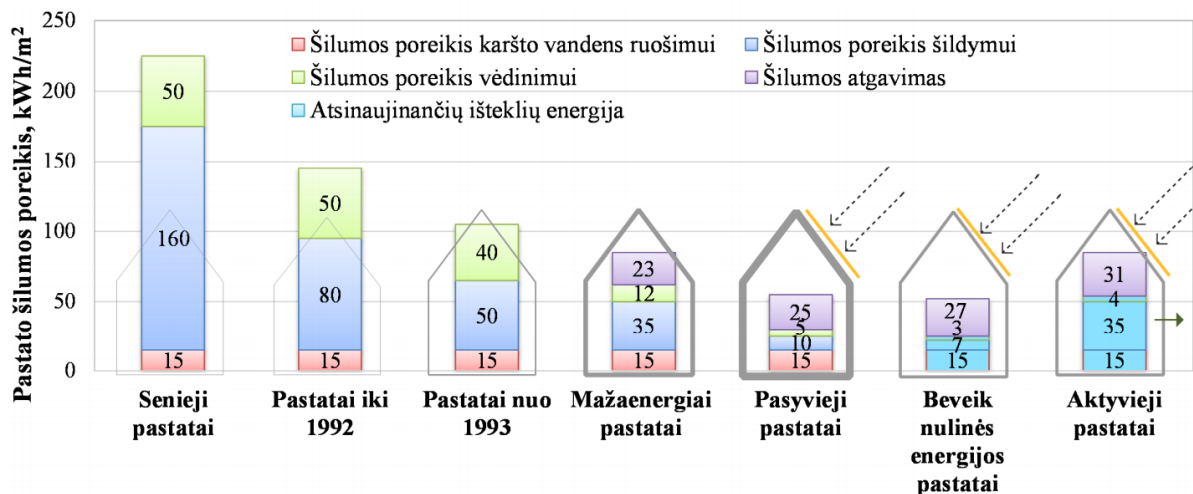
Lietuvoje naujai statomų pastatų po 2018 m. sausio 1 d. energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip A⁺, po 2021 m. sausio 1 d. energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip A⁺⁺(15).

1.1. Mažąenerginiai pastatai

Europoje bei pasaulyje smarkiai didėjantis energijos poreikis ir suvartojimas bei to padariniai klimato kaitai, stipriai neramina pasaulio šalių vadovus. 2008 m. gruodžio 17 d. Europos Parlamentas oficialiai pritarė Klimato kaitos paketui, kuriame numatyta, kad iki 2020 metų ES valstybės turėtų sumažinti anglies dvideginio emisiją 20 proc., 20 proc. sumažinti energijos suvartojimą, o iš atsinaujinančių šaltinių pagaminti 20 proc. visos energijos. Tai paskatino priimti 2010 m. gegužės 19 d. Europos Parlamento ir Tarnybos direktyvą 2010/31/ES, dėl pastatų energetinio naudingumo.

Terminai „mažai energijos naudojantis pastatas“, „energiją tausojantis pastatas“, „pasyvusis namas“, „trijų litrų namas“, „beveik nulinės energijos pastatas“, „pliusinės energijos pastatas“, „energijai neimlus namas“, „labai mažai energijos naudojantis pastatas“, „autonominis pastatas“ vartojami apibūdinti energetiškai efektyvius statinius. Daugelis šių terminų yra vartojami tik vienoje valstybėje, tačiau terminai „mažai energijos naudojantis pastatas“, „pasyvusis namas“ ir „beveik nulinės energijos pastatas“ taikomi plačiau. Europos valstybės turi nacionalines jų apibrėžtis, tačiau tie patys terminai skirtingose šalyse skiriasi ne tik pagal turinį, bet ir pagal siekiamus tikslus(6).

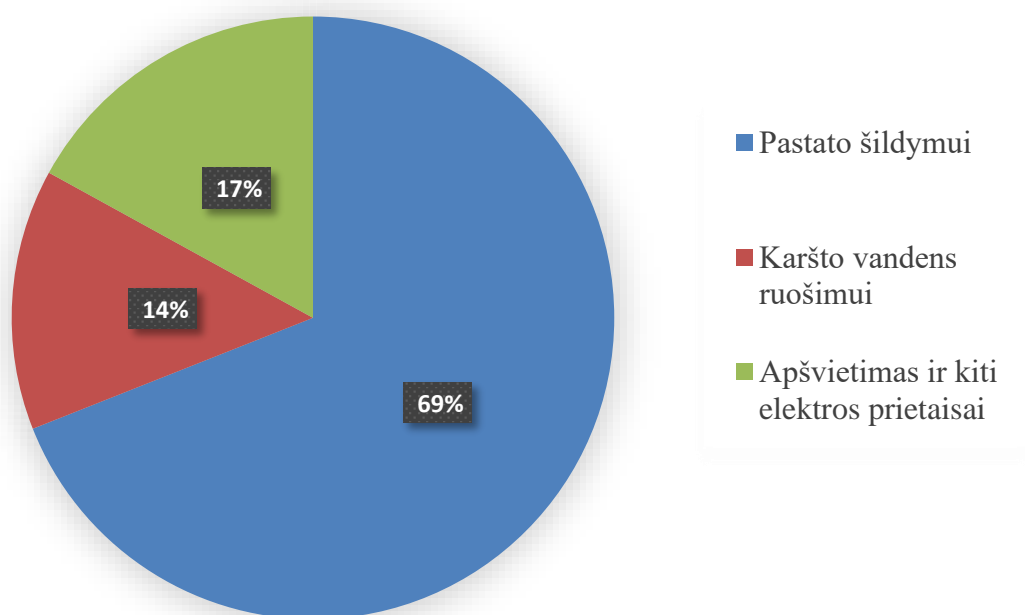
Kiekviena sąvoka apibrėžia skirtingų energinio naudingumo lygio pastatus, tačiau visiems jiems būdingas didesnis energijos vartojimo efektyvumas nei senos statybos ir naujų standartinių pastatų (žr. 1 pav.)(6).



pav. Pastatų metinių šilumos poreikių kaita (6)

Mažaenerginis pastatas pasižymi energijos vartojimo efektyvumu bei mažesniu suvartotos energijos kiekiu pasitelkiant inovatyvius architektūrinius ir inžinerinius sprendinius, išnaudojant pastato vietovės ypatumus bei atsinaujinančius energijos išteklius(1).

Lietuvoje ir kitose vidutinio ar šiaurinio klimato zonose pastatai yra intensyvi energiją naudojanti sistema, net 69 % visos pastatui reikalingos energijos sunaudojama šildymui, 14 % sunaudojama karšto vandens ruošimui, o likusioji dalis tenka apšvietimui ir kitiems elektros prietaisams (žr. 2 pav.). Pastatų šiluminės charakteristikos ir klimato sąlygos per metus nulemia pastato poreikius šildymui, vėdinimui ar vėsinimui, tuo tarpu elektros bei karšto vandens poreikius nulemia vartotojų elgsena(16).



2 pav. Lietuvoje ir kitose vidutinio, šiaurinio klimato zonų energijos suvartojimas pastatuose

Siekiant sumažinti energijos vartojimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, būtina imtis priemonių, kad kuo daugiau pastatų ne tik atitiktų galiojančius minimalius energinio naudingumo reikalavimus, bet ir efektyviau naudotų energiją(16).

1.1.1. Mažaenerginiai pastatai Lietuvoje

Šiuo metu Lietuvoje remiantis statybos techniniu reglamentu mažaaenerginiai pastatai (jo dalimi) galima laikyti pastatą (jo dalį), atitinkantį Reglamento reikalavimus B, A, A⁺ ir A⁺⁺ klasės pastatams.

Pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė nustatoma pagal mėnesinį skaičiavimo metodą, pagal šių pastato (jo dalies) rodiklių vertes:

- pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui;
- pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti;
- pastato atitvarų skaičiuojamųjų savitųjų šilumos nuostolių;
- mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistemos techninių rodiklių;
- pastato pertvarų ir tarpaukštinių perdenginių šiluminės savybės;
- pastato sandarumo;
- šiluminės energijos sąnaudas pastatui šildyti;
- ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientų nustatymo būdą;
- pastate sunaudojamos energijos dalį iš atsinaujinančių išteklių(15).

Pirmasis Lietuvoje visuomeninis atitinkantis A⁺ klasę pastatas, tai Santariškių vaikų darželis, Vilniaus miesto savivaldybėje (žr. 3 pav.).

Darželyje įrengtas geotermomis šildymas, sienų ir stogo šilumos izoliacija, daug griežtesni reikalavimai kelti durims ir langams. Įrengti storesni pastato šilumos izoliacijos sluoksniai, kad šiluma nebūtų prarandama, išleidžiama į lauką. Darželyje taip pat įrengta patobulinta rekuperacinė sistema, kuri iš patalpų ištrauktą orą nukreipia ne į lauką, o išvalo, išfiltruoja ir grąžina atgal į patalpas. Tokiu būdu atšąla tik koku vienu laipsniu, neekvojama energija jo pašildymui. Visi darželio pamatai ir langų sujungimo vietos statytos taip, kad šalčio tiltelių niekur apskritai neliktų(3).



3 pav. Santariškių vaikų darželis, Vilniaus miesto savivaldybėje(3)

Pirmasis oficialiai įregistruotas A⁺⁺ klasės pastatas - gydymo paskirties, Pilnų namų bendruomenės pastatas, Varėnos rajone, Panaros kaime, 2016 metais (žr. 4 pav).

Statybos produktų sertifikavimo centro duomenų bazėje – pastatų sertifikavimo registre – jau pateiktas įrašas apie pirmą A⁺⁺ sertifikatą, kuris išduotas Pilnų namų bendruomenės pastatui. Jame įrengta valgykla su maisto ruošimo patalpomis. Mansardoje įrengti gyvenamieji kambariai, o rūsyje – techninės patalpos bei salė. Šio pastato plotas – 749 m², o jo energijos sąnaudos pastato šildymui – 4 kWh/m² per metus.(10)



4 pav. Pirmasis oficialus įregistruotas A⁺⁺ klasės pastatas Lietuvoje(10)

1.1.2. Mažaenerginiai pastatai Europoje

Įvairiose Europos šalyse mažaaenergiu pastatų reikalavimai ir siekiai - skirtingi. Štai kelios šalys, kuriose statomi mažaaenerginiai pastatai ir jiems keliami reikalavimai (1 lentelė).

1 lentelė

Mažaaenergiu pastatų reikalavimai įvairiose šalyse(7)

Šalis	Apibrėžimai (reikalavimai)
Austrija	<ul style="list-style-type: none"> • Mažaaenerginis pastatas – kai metinis šilumos energijos suvartojimas mažesnis nei 40-60 kWh/m² bendrasis plotas 30% viršija standartinį našumą • Pasyvusis pastatas – kuris atitinka Feist pasyvaus pastato standartą (15 kWh/m² naudingo ploto (Styria regionas) ir šildomo ploto (Tylor regionas))
Belgija (Flandrija)	<ul style="list-style-type: none"> • Mažaaenerginis pastatas: 40% mažiau energijos suvartojantis nei įprastas gyvenamasis pastatas, 30% mažiau suvartojantis nei įprastos viešosios ir mokslo įstaigos • Pasyvus pastatas: 60% mažiau energijos suvartojantis nei įprastas gyvenamasis pastatas, 45% mažiau suvartojantis nei įprastos viešosios ir mokslo įstaigos
Čekija	<ul style="list-style-type: none"> • Mažai energijos suvartojantis pastatas: 51-97 kWh/m² • Mažaaenerginis pastatas: mažiau nei 51 kWh/m², pasyvus pastatas standartas 15 kWh/m²
Danija	<ul style="list-style-type: none"> • Mažaaenerginė 1 klasė - skaičiuotinis energijos suvartojimas 50% mažesnis nei minimalūs reikalavimai naujai statomiems pastatams • Mažaaenerginė 2 klasė – skaičiuotinis energijos suvartojimas 25% mažesnis nei minimalūs reikalavimai naujai statomiems pastatams (pvz: gyvenamieji pastatai – 70+2200/A kWh/m² per metus, A yra šildomas bendras grindų plotas, kitiems pastatams – 95+2200/A kWh/m² per metus (įskaitant sunaudojamą elektros energiją integruotam pastato apšvietimui)

Šalis	Apibrėžimai (reikalavimai)
Suomija	<ul style="list-style-type: none"> Mažaenerginis pastatas: 40% geresnis nei įprastas pastatas
Prancūzija	<ul style="list-style-type: none"> Naujiems gyvenamiesiems pastatams: vidutinis metinis šildymo, aušinimo, vėdinimo, karšto vandens poreikis ir apšvietimas turi būti mažesnis nei 50 kWh/m² (pirminės energijos). Diapozone nuo 40 kWh/m² iki 65 kWh/m², atsižvelgiant į šalies regioną Kitiems pastatams: vidutinis metinis šildymo, aušinimo, vėdinimo, karšto vandens poreikis ir apšvietimas turi būti 50% mažesnis už dabar galiojančius Pastatų Reguliavimo reikalavimus naujiems pastatams Renovuojamiems: 80kWh/m²
Vokietija	<ul style="list-style-type: none"> Gyvenamųjų mažaaenergiųjų pastatų reikalavimai: kfW 60 (60kWh/(m²·a) ar kfW 40 (40kWh/(m²·a)) maksimalus energijos suvartojimas Pasyvus pastatas: kfW 40 pastatai, kurių metinis šilumos poreikis yra mažesnis nei 15 kWh/m² ir bendras vartojimas mažesnis nei 120 kWh/m²
Anglija ir Velsas	<p>Minimalūs reikalavimai:</p> <ul style="list-style-type: none"> 2010 m. 3 lygis (25% geresni už dabartinius); 2013 m. 4 lygis (44% geresni už dabartinius, beveik tokie patys kaip <i>PassivHaus</i>) 2016 m. 5 lygis (nulinis anglies suvartojimas šildymui ir apšvietimui); 2016 m. 6 lygis (nulinis anglies suvartojimas visais naudojimo atvejais ir prietaisais)

Vokietija viena didžiausių mažaaenergiųjų pastatų lyderių Europoje. Jų *Passivhaus*, labai mažai sunaudojamos energijos standartu, remiasi ir kitos Europos šalys.

Passivhaus tai griežtas pastato vartojimo efektyvumo standartas, mažinantis jo ekologinį pėdsaką. Standartas taikomas ne tik gyvenamiesiems, bet ir visuomeninės, ugdymo, gydymo paskirties pastatams. Standartą įkūrė 1988 metais, *Bo Adamson* iš *Lund* universiteto,

Švedijoje ir *Wolfgang Feist* iš Pastatų ir Aplinkos Instituto, Vokietijoje. Inspiruoti ankstesnių tyrimų, kuriuos finansiškai rėmė Hessen regionas Vokietijoje.

Pirmas standarto panaudojimo pavyzdys – *Bott, Ridder* ir *Westermayer* architektūros įmonės pastatas, keturiems privatiems klientams, 1990 metais, *Darmstadt*, Vokietijoje (žr. 5 pav.)(12).



5 pav. Pirmasis Passivhaus standartą atitinkantis pastatas vokietijoje(12)

1.2. Reikalavimai mažaenerginio pramoninio pastato išorinėms atitvaroms Lietuvoje

Kadangi po 2018 m. sausio 1 d. visi naujai statomi pastatai Lietuvoje turės atitikti minimaliai A⁺ klasę, tai žemesnės energinio naudingumo klasės reikalavimų išorės atitvaroms nenagrinėsiu.

Šio darbo tikslas išnagrinėti pastato atitvaroms naudojamas daugiasluoksnių plokščių užpildams naudojamas medžiagas ir jų pasirinkimą. Todėl vienas svarbiausių veiksnių yra šilumos perdavimo koeficientas atitvaroms. Taigi A⁺, A⁺⁺ energinio naudingumo klasės negyvenamojo pramoninio pastato išorės sienų šilumos perdavimo koeficientas $U_{(A^+)} = 0,17 \cdot \kappa_1$ ir $U_{(A^{++})} = 0,12 \cdot \kappa_1$, kurie pateikti 2 - 3 lentelėje.

2 Lentelė

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(A+)}$ ($W/(m^2 \cdot K)$) vertės A+ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui(15)

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarą žymintis poraidis	Pramonės pastatai
Sienos	w	$0,17 \cdot \kappa_1^*$

Pastabos:

$*_1 = 20 / (\theta_{H} - 0,6)$ – temperatūros pataisa pramonės pastatų atitvaroms.

3 Lentelė

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U_{(A++)}$ ($W/(m^2 \cdot K)$) vertės A++ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvarų norminių savitųjų šilumos nuostolių ir energinio naudingumo rodiklių skaičiavimui(15)

Atitvarų apibūdinimas	Negyvenamieji pastatai	
	Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai
Sienos	0,11	$0,14 \cdot \kappa_1^*$

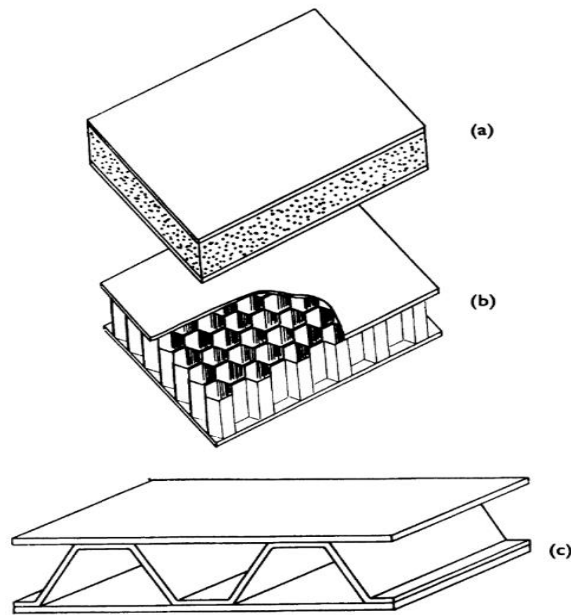
1.3. Daugiasluoksnės plokštės

Nors Antrojo pasaulinio karo orlaivis *Mosquito* dažniausiai cituojamas kaip pirmasis daugiasluoksnių konstrukcijų panaudojimo atvejis, tačiau tikėtina, kad daugiasluoksnės konstrukcijos idėja inžinierių galvose užgimė ganėtinai seniau, o kruopščiau patyrinėjus galų gale galima ją rasti *Lenardo da Vinči* kūriniuose(1).

Paprasčiausias daugiasluoksnės konstrukcijos tipas susideda iš dviejų plonų, standžių, didelio tankio medžiagos sluoksnių, atskirtų storu mažo tankio medžiagos sluoksniu, kuris gali būti mažiau standus ir stiprus (žr. 6 pav.)(1).

Šerdis turi keletą labai svarbių funkcijų. Ji turi būti pakankamai statmenai standi išorinių sluoksnių atžvilgiu, kad išlaikytų vienodą atstumą tarp paviršių bei plokštei linkstant neleistų išoriniams paviršiams pasislinkti priešingomis kryptimis. Jei ji to neužtikrina tada plokštės išoriniai sluoksniai veikia kaip dvi atskiros sijos, o daugiasluoksnės konstrukcijos savybės prarandamos(1).

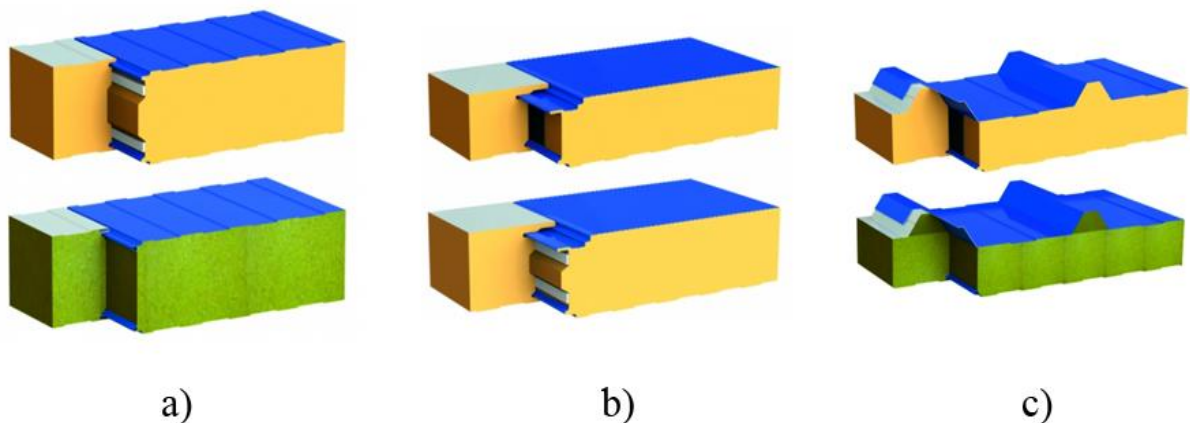
Daugiasluoksnės konstrukcijos gaminiai naudojami labai plačiai, pasitelkiant gausybę medžiagų. Nuo įvairių plastiko atmainų, medienos gaminių, metalų, betonų bei jų panaudojimo – fotoelektrinių modulių, priešgaisrinių sistemų, plastikinių dangų, tiltų, kelių, pastatų perdangose, atitvarose – šilumos izoliacijai, akustikai užtikrinti.



6 pav. Daugiasluoksni konstrukcija su a) plastiško užpildo šerdimi, b) korėta šerdimi, c) gofruota šerdimi(1)

Ypač šiuo metu, kai norima kuo ekonomiškėsius sprendimus pasitelkti statyboje, jį paspartinti bei užtikrinti kuo geresnį kainos ir kokybės santykį, technologija plačiai pritaikoma daugiasluoksnių izoliacinių plokščių gamyboje.

Šiuolaikinės savilaikės dvisienės metalu dengtos izoliacinės (atitvarinės) plokštės gaminamos pagal vieningą ES standartą EN 14509 ir tinkamos fasadams, stogams, patalpų pertvaroms ir luboms įrengti (žr. 7 pav.). Tai gamykloje paruoštas statybinis pastato elementas, kurį sudaro du metalo lakštai, tarp kurių yra talpinamas izoliacinis užpildas. Kuris gali būti pagamintas iš mineralinės vatos (RW), poliuretano / poliizocianurato (EPIR), poliizocianurato (PIR) arba polistireno (EPS). Plokščių panaudojimo spektras gana platus: pramoninės ir komercinės paskirties pastatams, logistikos centrams, sporto arenoms, sandėliams, jėgainėms ir kitiems statiniams, kurie privalo užtikrinti spartų statybos tempą, didelį konstrukcijos atsparumą išorės veiksniams ir aukštą energetinį efektyvumą(2).



7 pav. daugiasluoksni a) sieninės, b) sieninės su paslėptu tvirtinimu, c) stoginės plokštės(2)

Daugiasluoksnės plokštės tapo lyderėmis rinkoje, iš kitų variantų išsiskirdamos mažu svoriu, puikiais termoizoliacinėmis bei atsparumo ugniai, drėgmei savybėmis, aukšta kokybe, dideliu spalvinės gamos bei dangos pasirinkimu. Plokščių montavimas tai ekonomišką, greitą, nesudėtingą, ir tuo pačiu kokybišką statybos būdą. Vienas iš didžiausių konstrukcijos privalumų yra greitis ir lengvumas, kadangi plokštei pakelti nereikalinga ypatingai masivi technika, o pritvirtinama gana greitai kadangi montuojama prie laikančiųjų konstrukcijų prigręžiant varžtais ir susieria viena į kitą užtikrindamos labai mažus šilumos nuostolius per sujungimą (žr. 8 pav.).



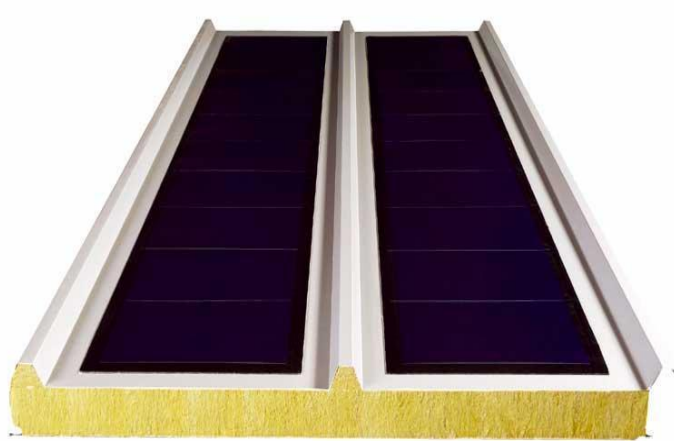
8 pav. Daugiasluoksnių plokščių montavimas(4)

Dažniausiai vyraujantys daugiasluoksnės plokštės termoizoliaciniai užpildai:

- Mineralinė vata – kuri pasižymi labai geromis ugniaatsparumo savybėmis, todėl plokštės gali būti naudojamos sukurti patalpoms kuriose keliami aukšti ugniaatsparumo reikalavimai;
- Poliuretanas – tai standžių putų pavidalo polimerinė termoizoliacinė medžiaga, kuri pasižymi geromis izoliacinėmis savybėmis;
- Polistirenas – izoliacinė medžiaga pasižyminti panašiu šilumos laidumu kaip ir mineralinė vata tik yra žymiai lengvesnė;
- Poliizocianuratas – puiki izoliacinė medžiaga, kuri pasižymi labai mažu šilumos laidumu, dėl to plokštės yra gana plonos, lyginant su kitomis termoizoliacinėmis medžiagomis.

Vienas inovatyviausių sprendimų gaminant daugiasluoksnės plokštes pastatams, kurie atitiktų mažaenergetinio pastato kriterijus, sprendimas gaminti stogines daugiasluoksnės

plokštes su integruotais fotoelektriniais moduliais, kurie gamintų energiją pasitelkiant saulę (žr. 9 pav. - 10 pav.).



9 pav. Trimo EcoSolar daugiasluoksnė plokštė(13)

Trimo EcoSolar PV yra daugiasluoksnė stoginė plokštė, sudaryta iš dviejų plieno lakštų ir akmens vatos šerdies. Fotoelektrinis modulis, kurio storis 2 mm ir padengtas apsauginiu PVDF sluoksniu bei įmontuotas išoriniame plokštės paviršiuje tarp trapecinių bangų. Tarpusavyje plokštės (moduliai) sujungiamos eilėmis, o paskutiniosios eilėse yra prijungiamos per inverterius ir skaitiklius prie elektros tinklo(13).



a)



b)

10 pav. a) Elektros įmonės stogo renovacija, pasitelkiant Trimo EcoSolar PV plokštes (Brestanica, Slovėnija); b) fotoelektrinių modulių jungčių paslėpimas kraige(13)

2. MAŽAENERGINIO PRAMONINIO PASTATO ATITVARŲ ŠILUMOS PERDAVIMO KOEFICIENTO, TERMOIZOLIACINIO SLUOKSNIO STORIO IR TOPSIS SKAIČIAVIMO METODIKA

Šiame skyriuje apžvelgsiu darbe naudojamus skaičiavimo metodus, skaičiavimui reikalingas formules ir daugiakriterinį sprendimų priėmimo metodą – TOPSIS.

2.1. A⁺ ir A⁺⁺ energinio naudingumo klasės pramoninio pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento U apskaičiavimo metodika

Remiantis statybos techniniu reglamentu (STR 2.01.02:2016) kuriame pateikta metodika skaičiuoti šilumos perdavimo koeficientą.

Norint apskaičiuoti A⁺ energinio naudingumo klasės pramoninio pastato išorės sienos šilumos perdavimo koeficientą (U_{A^+}), reikia pasinaudoti 3 lentelės duomenimis. Taigi, jis apskaičiuojamas pasitelkus formulę:

$$U_{A^+} = 0,17 \cdot \kappa_1, \quad (1)$$

čia:

κ_1 – temperatūros pataisa pramonės pastatų atitvaroms.

$$\kappa_1 = \frac{20}{(\theta_{iH} - 0,6)}, \quad (2)$$

čia:

θ_{iH} – pramonės pastatų vidaus temperatūra šildymo sezono metu (°C). Imama iš pastato projekto, o nesant duomenų iš STR 2.01.02:2016 Reglamento 2 priedo 2.4 lentelės.

Norint apskaičiuoti A⁺⁺ energinio naudingumo klasės pramoninio pastato išorės sienos šilumos perdavimo koeficientą ($U_{A^{++}}$), analogiškai pritaikomi 4 lentelės duomenys ir formulė:

$$U_{A^{++}} = 0,14 \cdot \kappa_1, \quad (3)$$

2.2. Daugiasluoksnių plokščių termoizoliacinio sluoksnio storio pastato energinio naudingumo klasei patenkinti skaičiavimo metodika

Norint apskaičiuoti daugiasluoksnės plokštės termoizoliacinio sluoksnio storį, kuris užtikrintų atitvaros energetinio naudingumo klasę, reikią pasitelkti atitvaros suminės šiluminės varžos (R_S) apskaičiavimo formulę:

$$R_S = R_1 + R_2 + \dots + R_n + (R_g + R_q), \quad (4)$$

čia:

R_g – nevedinamo oro tarpo šiluminė varža ($m^2 \cdot K/W$);

R_q – plono suoksnio (plėvelės) šiluminė varža ($m^2 \cdot K/W$);

R_1, R_2, \dots, R_n – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos ($m^2 \cdot K/W$), kurios

apskaičiuojamos pagal formulę:

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}}, \quad (5)$$

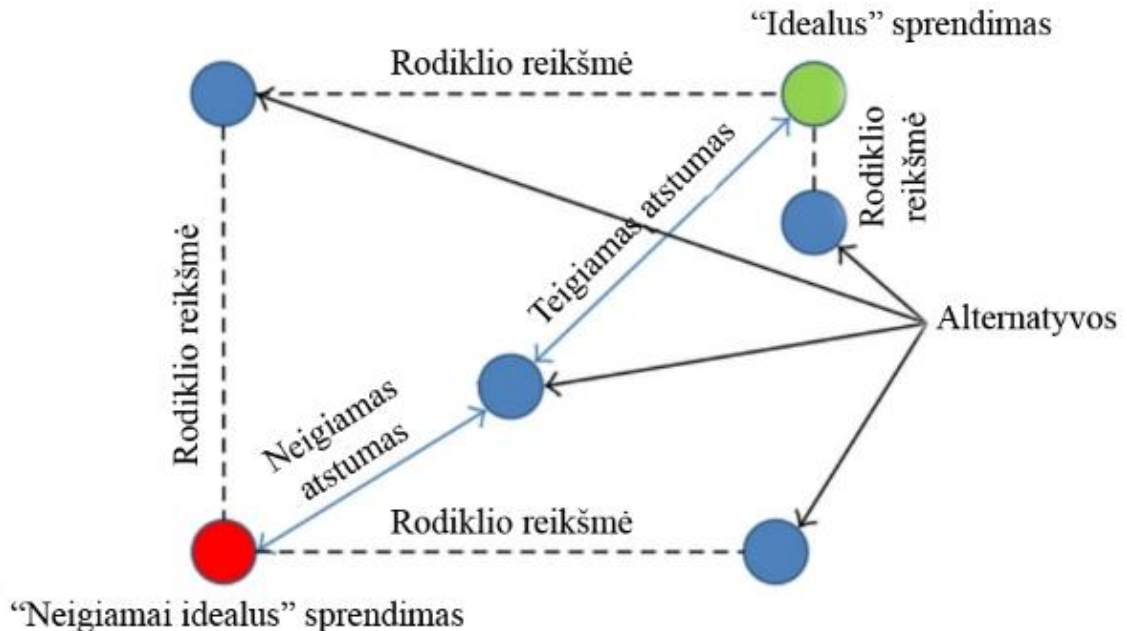
čia:

d – sluoksnio storis (m);

λ_{ds} – sluoksnio projektinis laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$.

2.3. Daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai

Daugiakriteriniai sprendimų priėmimo būdai yra naudinga priemonė priimti sprendimą ar sprendimus, pasirinkti pasirinktis diskrečių problemų atveju. Panaudojant kompiuterius, šie metodai tapo lengviau perprantami vartotojams, todėl jie tapo puiku įrankiu daugelyje sprendimo priėmimo sričių, tokių kaip ekonomika ar išteklių valdymas. Tarp daugelio daugiakriterinių metodų, dažniausiai naudojami *MAXMIN*, *MAXMAX*, *SAW*, *AHP*, *TOPSIS*, *SMART*, *ELECTRE*(9).



11 pav. TOPSIS metodo grafinis vaizdas

Yoon ir *Hwang* (*Hwang, Yoon* 1987) sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo. Šis metodas vadinamas

variantų racionalumo nustatymu artumo idealiajam taškui metodu (*TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)(14).

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių(žr. 11 pav.)(14).

2.4. TOPSIS metodo skaičiavimo metodika

Norint pradėti skaičiavimus TOPSIS metodu, būtinai reikia sudaryti sprendimų matricą P , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas (m – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius (n – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Toliau matrica P normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}. \quad (7)$$

čia:

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

Gaunama normalizuotoji matrica \bar{P} , kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiai dydžiai:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

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

Sudaroma svartinė normalizuota matrica \bar{P}^* :

$$\bar{P}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \dots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \dots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \dots & q_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatomas pagal formulę:

$$A^+ = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}, \quad (10)$$

čia:

J – rodiklių, kurie didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamai idealus“ variantas nustatomas pagal formulę:

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}. \quad (11)$$

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

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (12)$$

o tarp i -tojo ir „neigiamai idealaus“ A^- , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, \quad (i = \overline{1, m}). \quad (13)$$

Kiekvieno i -ojo varianto santykinio atstumo nustatymas iki „idealiai geriausio“ varianto:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}, \quad \text{kai } K_i \in [0, 1]. \quad (14)$$

Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo i -asis variantas artimesnis A^+ t.y. racionaliausias variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia(14).

2.5. Reikšmių reikšmingumo nustatymo metodologija

Reikšmių reikšmingumui nustatyti pasinaudoju apklausos būdą. Apklausiu atestuotus statybos inžinierius ir pagal gautus atsakymus nustatau reikšmių reikšmingumus. Apklausą vykdau el. paštu, prašydamas įvertinti balais nuo 0 iki 1, pagal jų nuomonę svarbiausią daugiasluoksnės plokštės kriterijų: kainą, plokštės storį ir svorį, ugniaatsparumo klasę ir šilumos perdavimo koeficientą, pramoniniam pastatui.

3. MAŽAERNGINIO PRAMONINIO PASTATO IŠORĖS ATITVARŲ IŠ DAUGIASLUOKSNIŲ PLOKŠČIŲ SU SKIRTINGOMIS TERMOIZOLIACINĖMIS MEDŽIAGOMIS DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS

Šiame skyriuje pateikiu, tyrimo skaičiavimų eigą ir tyrimo rezultatus.

3.1. A⁺, A⁺⁺ energinės klasės pramoninio pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymas

Pirmiausia norint nustatyti tinkamiausią daugiasluoksnės plokštės užpildą, reikia apskaičiuoti koks turi būti maženerginio pramoninio pastato išorės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas. A⁺ energinės klasės pramoninio pastato išorės atitvaros šilumos perdavimo koeficientui apskaičiuoti, taikau 1-2 formules:

$$U_{A^+} = 0,17 \cdot \kappa_1 = 0,17 \cdot 1,149 = 0,195 (W/(m^2K)),$$

$$\kappa_1 = \frac{20}{(\theta_{iH}-0,6)} = \frac{20}{(18-0,6)} = 1,149,$$

čia:

θ_{iH} – pramonės pastatų vidaus temperatūra šildymo sezono metu (°C). Imama iš pastato projekto, kadangi jo nėra, pasinaudoju reglamento priedu (4 lentelė).

4 lentelė

Pramonės paskirties pastatų vidaus temperatūros vertės pastatų energinio naudingumo skaičiavimui (STR 2.01.02:2016 Reglamento 2 priedo 2.4 lentelė)

Pastato paskirtis	Vidaus temperatūra šildymo sezono metu, θ_{iH} , °C
Garažų, gamybos ir pramonės paskirties pastatai	18
Sandėliavimo paskirties pastatai	18

o A⁺⁺ energinės klasės pramoninio pastato išorės atitvaros šilumos perdavimo koeficientui, 3 formule:

$$U_{A^{++}} = 0,14 \cdot \kappa_1 = 0,14 \cdot 1,149 = 0,161 (W/(m^2K)).$$

Apskaičiavus paaiškėja, norint užtikrinti, kad pastato išorės atitvara atitiktų A⁺ energinio naudingumo klasę, jos šilumos perdavimo koeficientas turi būti mažesnis nei 0,195 (W/(m²K)), o A⁺⁺ energinio naudingumo klasę – 0,161 (W/(m²K)).

3.2. Daugiasluoksnės plokštės termoizoliacinio sluoksnio storio nustatymas

Mažaenerginio pramoninio pastato išorės atitvaros termoizoliacinio storio nustatymui, šiuo atveju plokštei, galima būtų panaudoti 4-5 formules, bet kadangi termoizoliacinė daugiasluoksnė plokštė yra sudėtinis gaminys, jos storiai standartizuoti ir sertifikuoti, priklausomai nuo termoizoliacinės medžiagos ir reikiamo šilumos perdavimo koeficiento atitvarai, todėl būtų netikslinga jų perskaičiuoti iš naujo, kadangi techniniai duomenys pateikti gamintojų kataloguose.

Štai įvairių gamintojų ir tipų gaminiai (5 lentelė):

5 lentelė

Įvairios daugiasluoksnės plokštės ir jų techniniai duomenys

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Plokštės storis, <i>mm</i>	Plokštės svoris, <i>kg/m²</i>	Šilumos perdavimo koeficientas <i>U, W/(m²K)</i>	Ugniaatsparumo klasė	Gamintojas
1.	Polistirenas	100	10,20	0,37	EI15	Borga
2.		125	10,60	0,30		
3.		150	11,00	0,25		
4.		200	11,70	0,19		
5.		250	12,50	0,15		
6.	Mineralinė vata	150	30,00	0,27	EI120	Borga
7.		160	31,00	0,25		
8.		200	36,50	0,21		
9.	Poliuretanas	120	13,10	0,18	EI20	Borga
10.		160	14,70	0,14		
11.		180	15,50	0,12		
12.		200	16,30	0,11		
13.	Poliuretanas	80	12,00	0,28	EI30	Kingspan
14.		100	12,80	0,22		
15.		120	13,60	0,19		
16.		150	14,80	0,15		

5 lentelės tęsinys

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Plokštės storis, <i>mm</i>	Plokštės svoris, <i>kg/m²</i>	Šilumos perdavimo koeficientas <i>U, W/(m²K)</i>	Ugniaatsparumo klasė	Gamintojas
17.	Mineralinė vata	100	20,26	0,41	EI120	Kingspan
18.		120	22,46	0,34		
19.		150	25,76	0,27		
20.		175	28,51	0,24		
21.		200	31,26	0,21		
22.	Poliuretanai	80	12,30	0,27	EI20	EuroPanels
23.		100	13,00	0,22		
24.		120	13,80	0,18		
25.		160	15,30	0,13		
26.	Polistirenas	150	11,10	0,27	EI15	EuroPanels
27.		200	11,90	0,21		
28.		250	12,80	0,17		
29.		300	13,60	0,14		
30.	Mineralinė vata	150	20,17	0,25	EI90	EuroPanels
31.		180	22,57	0,21		
32.		210	24,97	0,18		
33.		240	27,37	0,16		
34.	Poliizocianuratas	100	12,00	0,20	EI15	Baltijos polistirenas
35.		120	12,80	0,17	EI15	
36.		150	14,00	0,13		
37.		200	16,00	0,10		
38.	Mineralinė vata	150	20,50	0,29	EI120	Baltijos polistirenas
39.		200	21,60	0,22	EI120	

3.3. Daugiasluoksnių plokščių pasirinkimas racionaliam sprendiniui nustatyti

Iš 5 lentelėje pateiktų duomenų išsirenku po 4 plokštes su skirtingais termoizoliacijos užpildais kurios tenkintu A⁺, A⁺⁺ energinio naudingumo klasę (6-7 lentelės). Jas renkantis, atsižvelgiu į šilumos perdavimo koeficientą, kuris užtikrintų tam tikros energinio naudingumo klasės kriterijus ir kuo mažesnę plokštės storį.

6 lentelė

Daugiasluoksnės plokštės tenkinančios A⁺ energinio naudingumo klasę

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Plokštės storis, mm	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/(m ² K)	Ugniaatsparumo klasė	Gamintojas
1.	Polistirenas	200	11,70	0,19	EI15	Borga
2.	Poliuretanas	120	13,10	0,18	EI30	Borga
3.	Poliizocianuratas	120	12,80	0,17	EI15	Baltijos polistirenas
4.	Mineralinė vata	210	24,97	0,18	EI90	EuroPanels

7 lentelė

Daugiasluoksnės plokštės tenkinančios A⁺⁺ energinio naudingumo klasę

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Plokštės storis, mm	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/(m ² K)	Ugniaatsparumo klasė	Gamintojas
1.	Polistirenas	250	12,50	0,15	EI15	Borga
2.	Poliuretanas	150	14,80	0,15	EI30	Kingspan
3.	Poliizocianuratas	150	14,00	0,13	EI15	Baltijos polistirenas
4.	Mineralinė vata	240	27,37	0,16	EI90	EuroPanels

3.4. Rodiklių pasirinkimas TOPSIS metodui

Norėdamas supaprastinti ir palengvinti aritmetinius skaičiavimus TOPSIS metodu, sukuriu *Google skaičiuoklės* skaičiuoklę padėsiančią nustatyti racionaliausią daugiasluoksnę plokštę. Kad tai galėčiau padaryti turiu pasirinkti kriterijus, pagal kuriuos vertinsiu plokštės tinkamumą ir rodiklių reikšmingumą racionaliausiam pasirinkimui. Kriterijus pasirenku – plokštės kainą, svorį, storį, šilumos perdavimo koeficientą ir ugniaatsparumo skaičių (8-9 lentelės).

8 Lentelė

Daugiasluoksnių plokščių rodikliai ir jų vertės A⁺ pramoniniam pastatui

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, €/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/(m ² K)	Ugniaatsparumo skaičius*
1.	Polistirenas	21,22	0,200	11,70	0,19	0,25
2.	Poliuretanas	24,75	0,120	13,10	0,18	0,50
3.	Poliizocianuratas	23,95	0,120	12,80	0,17	0,25
4.	Mineralinė vata	29,60	0,210	24,97	0,18	1,50

Pastabos:

*Ugniaatsparumo skaičius – gaunu ugniaatsparumo klasę minutėmis paversdamas į valandas, pvz: EI30, 30 ÷ 60 = 0,5 ;

9 Lentelė

Daugiasluoksnių plokščių rodikliai ir jų vertės A⁺⁺ pramoniniam pastatui

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, €/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/(m ² K)	Ugniaatsparumo skaičius*
1.	Polistirenas	23,17	0,250	12,50	0,15	0,25
2.	Poliuretanas	32,25	0,150	14,80	0,15	0,50
3.	Poliizocianuratas	27,21	0,150	14,00	0,13	0,25
4.	Mineralinė vata	33,00	0,240	27,37	0,16	1,50

Pastabas žiūrėti po 8 lentele.

3.5. A⁺ energinės klasės pramoninio pastato daugiakriterinis racionaliausias plokštės pasirinkimas taikant TOPSIS metodą

Turint visus duomenis sudaroma sprendimo matrica P (10 lentelė), pasirenkamas kriterijaus rodiklis, kuris bus mažiausias (MIN) ar didžiausias (MAX), siekiant geriausių plokštės savybių.

10 lentelė

Sprendimų matrica P

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
1.	21,22	0,200	11,70	0,19	0,25
2.	24,75	0,120	13,10	0,18	0,50
3.	23,95	0,120	12,80	0,17	0,25
4.	29,60	0,210	24,97	0,18	1,50
MIN ar MAX rodiklis	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX

Sudarius šią matricą, atliekama vektorinė normalizacija taikant 7 formulę ir gaunama normalizuota matrica \bar{P} (11 lentelė).

11 lentelė

Normalizuota matrica \bar{P}

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
1.	0,4233	0,0040	0,2334	0,0038	0,0050
2.	0,4938	0,0024	0,2613	0,0036	0,0100
3.	0,4778	0,0024	0,2554	0,0034	0,0050
4.	0,5905	0,0042	0,4981	0,0036	0,0299

Atlikus matricos normalizavimą \bar{P} , bei žinant rodiklių q reikšmingumus (q – rodiklių reikšmingumas buvo nustatytas apklausus 8 apklausos dalyvius, kurie mano skaičiavimams parinktus kriterius įvertino balais nuo 0 iki 1, iš gautų rezultatų išvesti vidurkiai ir gautas q – reikšmingumas) (12 lentelė).

12 lentelė

Apklausoos rezultatų suvestinė

Apklaustasis	Rodikliai				
	Kaina, $\text{€}/\text{m}^2$	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m^2	Šilumos perdavimo koeficientas U , $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	Ugniaatsparumo skaičius*
1.	0,200	0,400	0,200	0,050	0,150
2.	0,300	0,300	0,150	0,100	0,150
3.	0,250	0,400	0,200	0,050	0,100
4.	0,300	0,300	0,100	0,100	0,200
5.	0,350	0,200	0,150	0,150	0,150
6.	0,400	0,300	0,100	0,100	0,100
7.	0,350	0,400	0,050	0,100	0,100
8.	0,200	0,400	0,100	0,100	0,200
q – reikšmin- gumai	0,294	0,338	0,131	0,094	0,144

Sudaroma svartinė normalizuota matrica \bar{P}^* (13 lentelė).

13 lentelė

Svartinė normalizuota matrica \bar{P}^*

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
1.	0,1245	0,0012	0,0686	0,0011	0,0015
2.	0,1452	0,0007	0,0768	0,0011	0,0029
3.	0,1405	0,0007	0,0751	0,0010	0,0015
4.	0,1736	0,0012	0,1465	0,0011	0,0088

Gavus rezultatus, nustatoma idealiai geriausia a^+ ir blogiausia a^- alternatyva, geriausiai nustatyti naudojama 10 formulė, blogiausiai 11 formulė, rezultatai pateikti 14 lentelėje.

14 lentelė

Idealiai geriausia a^+ ir blogiausia a^- alternatyva

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
a^+	0,1245	0,0007	0,0686	0,0010	0,0088
a^-	0,1736	0,0012	0,1465	0,0011	0,0015

Nustačius geriausią ir blogiausią alternatyvą, nustatomi atstumai tarp geriausių $L+$ ir blogiausių $L-$ alternatyvų taikant 12, 13 formules, rezultatai pateikti 15 lentelėje.

15 lentelė

Atstumai tarp geriausios $L+$ ir blogiausios alternatyvos $L-$

Teigiamas atstumas		Neigiamas atstumas	
L1+	0,0073	L1-	0,0921
L2+	0,0230	L2-	0,0752
L3+	0,0188	L3-	0,0787
L4+	0,0921	L4-	0,0073

Lieka atlikti paskutinį TOPSIS metodo žingsnį ir nustatyti kiekvieno i -tojo varianto santykinius atstumus K_i iki idealiai geriausio varianto, taikant 14 formulę. Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo i -asis variantas artimesnis a^+ t.y. racionaliausias variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia. Skaiciavimo rezultatai pateikti 16 lentelėje.

16 lentelė

Racionaliausias pasirinkimas

Var. Nr.	K_i	Vieta	Termoizoliacinės medžiagos tipas
1.	0,926	1	Polistirenas
2.	0,766	3	Poliuretanas
3.	0,808	2	Poliizocianuratas
4.	0,074	4	Mineralinė vata

3.6. A^{++} energinės klasės pramoninio pastato daugiakriterinis racionaliausios plokštės pasirinkimas taikant TOPSIS metodą

Sudaroma sprendimo matrica P (17 lentelė), pasirenkamas kriterijaus rodiklis, kuris bus mažiausias (MIN) ar didžiausias (MAX), siekiant geriausių plokštės savybių.

17 lentelė

Sprendimų matrica P

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
1.	23,17	0,25	12,50	0,15	0,25
2.	32,25	0,15	14,80	0,15	0,50
3.	27,21	0,15	14,00	0,13	0,25
4.	33,00	0,24	27,37	0,16	1,50
MIN ar MAX rodiklis	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX

Sudarius matricą, atliekama vektorinė normalizacija taikant 7 formulę ir gaunama normalizuota matrica \bar{P} (18 lentelė).

18 lentelė

Normalizuota matrica \bar{P}

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
1.	0,3970	0,0043	0,2142	0,0026	0,0026
2.	0,5526	0,0026	0,2536	0,0026	0,0086
3.	0,4662	0,0026	0,2399	0,0022	0,0043
4.	0,5654	0,0041	0,4690	0,0027	0,0257

Atlikus matricos normalizavimą \bar{P} , bei žinant rodiklių q reikšmingumus (12 lentelė), sudaroma svartinė normalizuota matrica \bar{P}^* (19 lentelė).

19 lentelė

Svartinė normalizuota matrica \bar{P}^*

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
1.	0,1167	0,0013	0,0630	0,0008	0,0008
2.	0,1625	0,0008	0,0746	0,0008	0,0025
3.	0,1371	0,0008	0,0705	0,0007	0,0013
4.	0,1662	0,0012	0,1379	0,0008	0,0076

Gavus rezultatus, nustatoma idealiai geriausia a^+ ir blogiausia a^- alternatyva, geriausiai nustatyti naudojama 10 formulė, blogiausiai 11 formulę, rezultatai pateikti 20 lentelėje.

20 lentelė

Idealiai geriausia a^+ ir blogiausia a^- alternatyva

Var. Nr.	X1	X2	X3	X4	X5
a^+	0,1167	0,0008	0,0630	0,0007	0,0076
a^-	0,1662	0,0013	0,1379	0,0008	0,0008

Nustačius geriausių ir blogiausių alternatyvą, nustatomi atstumai tarp geriausių L^+ ir blogiausių L^- alternatyvų taikant 12, 13 formules, rezultatai 21 lentelėje.

21 lentelė

Atstumai tarp geriausios L^+ ir blogiausios alternatyvos L^-

Teigiamas atstumas		Neigiamas atstumas	
L1+	0,0068	L1-	0,0898
L2+	0,0475	L2-	0,0635

21 lentelės tęsinys

Teigiamas atstumas		Neigiamas atstumas	
L3+	0,0226	L3-	0,0734
L4+	0,0898	L4-	0,0068

Lieka atlikti paskutinį TOPSIS metodo žingsnį ir nustatyti kiekvieno i -tojo varianto santykinius atstumus K_i iki idealiai geriausio varianto, taikant 14 formulę, skaičiavimo rezultatai 22 lentelėje. Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo i -asis variantas artimesnis a^+ t.y. racionaliausias variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia.

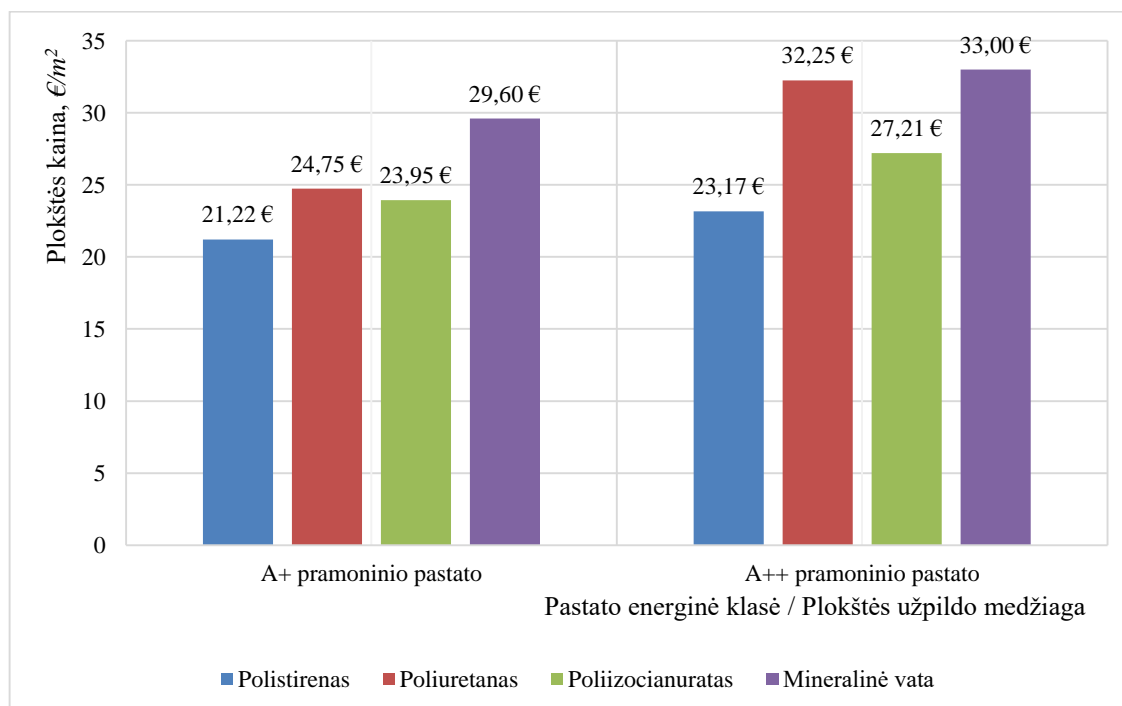
22 lentelė

Racionaliausias pasirinkimas

Var. Nr.	K_i	Vieta	Termoizoliacinės medžiagos tipas
1.	0,929	1	Polistirenas
2.	0,572	3	Poliuretanas
3.	0,765	2	Poliizocianuratas
4.	0,070	4	Mineralinė vata

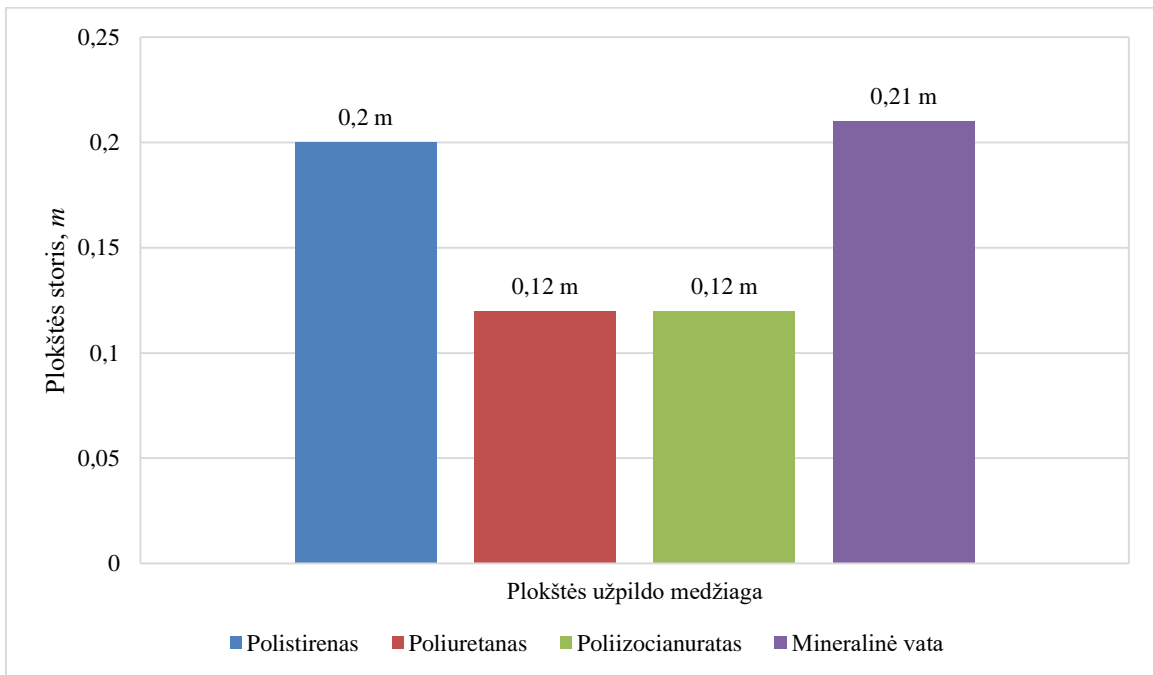
3.7. Skaičiavimo rezultatų apibendrinimas

Įvertinus 8 – 9 lentelės rezultatus galima teigti, kad mažoenerginio pramoninio pastato išorės atitvaroms naudojant daugiasluoksnes plokštės su polistireno užpildu - kainuos pigiausiai, o plokštės su mineralinės vatos užpildu - brangiausiai (žr. 12 pav.),

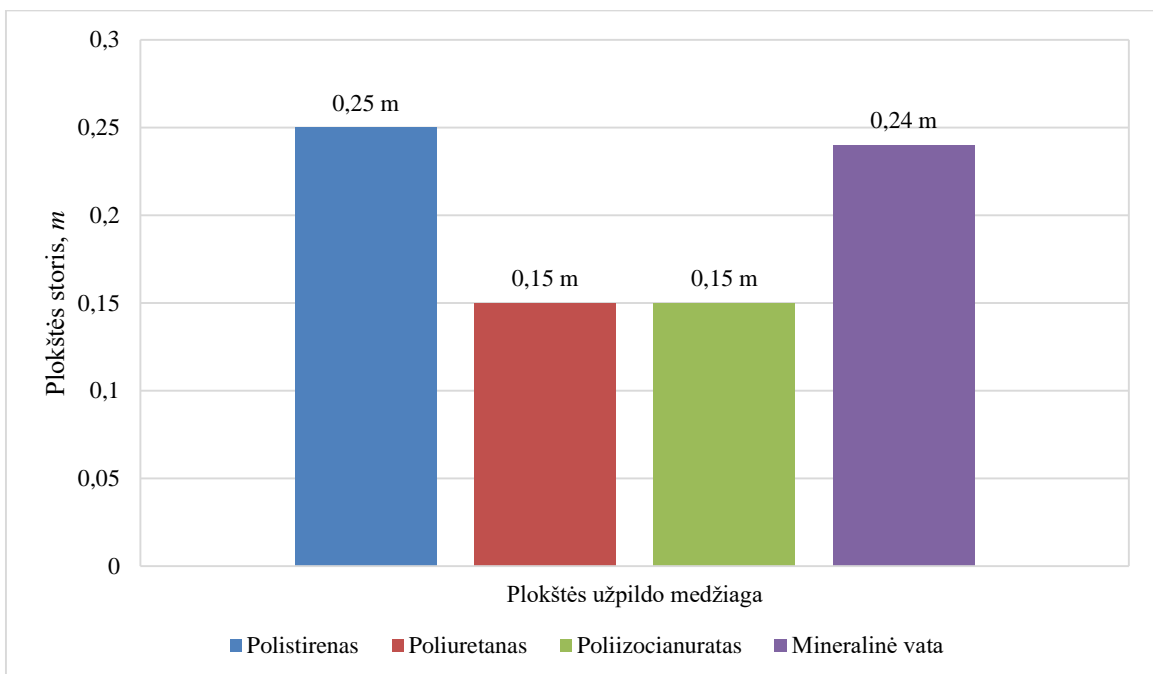


12 pav. Daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais 1 kvad. metro kainos grafikas

Mažiausio storio plokščių patenkinti šilumos perdavimo koeficientui reikės poliuretano ir poliizocianurato užpildo daugiasluoksnių plokščių, o didžiausio storio – polistireno ir mineralinės vatos užpildo plokščių (žr. 13-14 pav.).

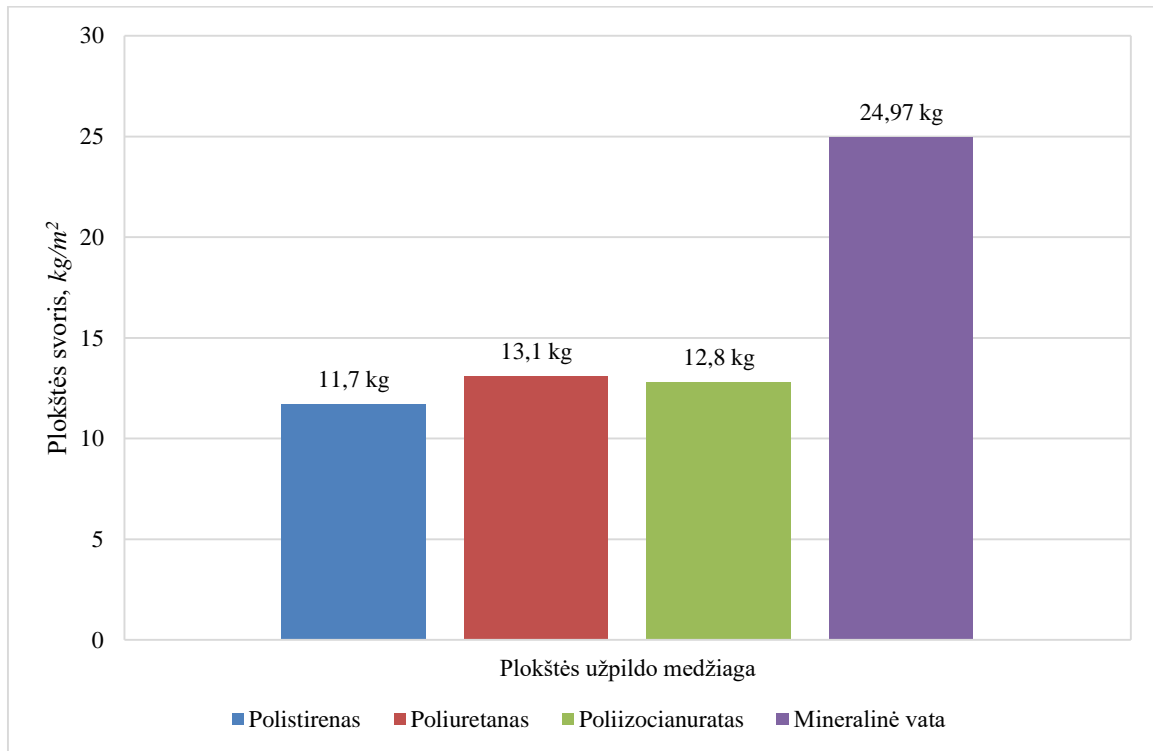


13 pav. Daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais reikiamo storio patenkinti A⁺ energinio naudingumo klasę grafikas

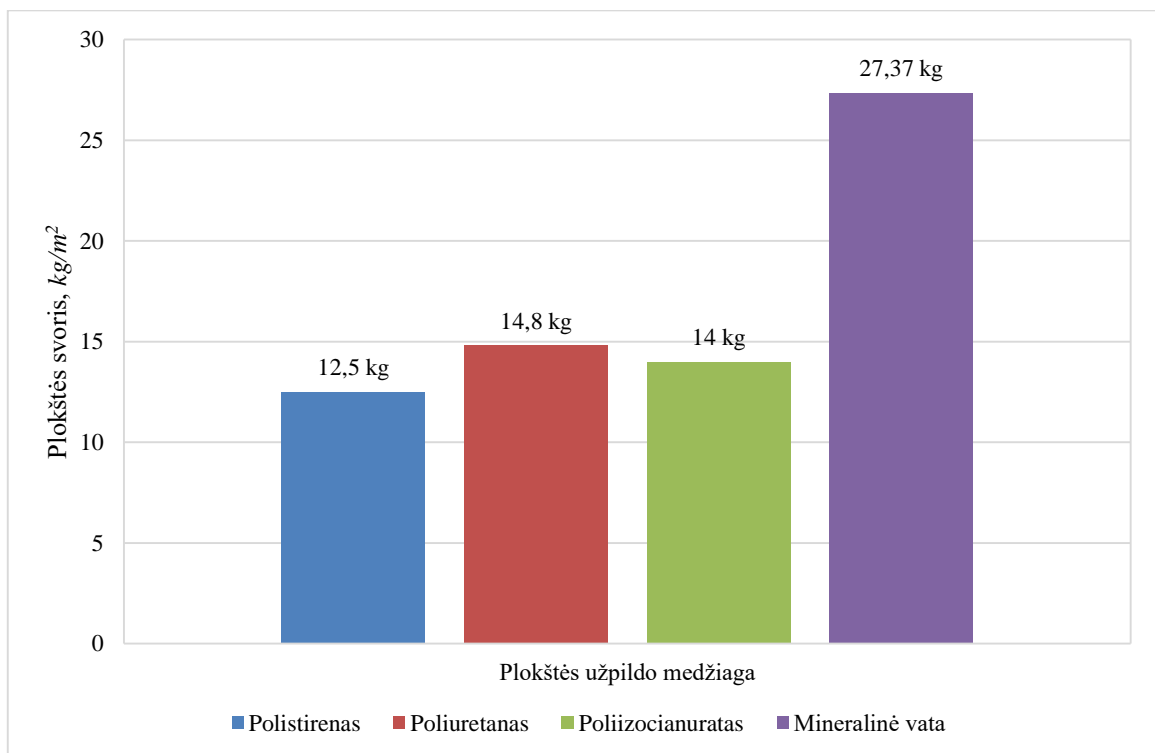


14 pav. Daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais reikiamo storio patenkinti A⁺⁺ energinio naudingumo klasę grafikas

Sunkiausios daugiasluoksnės plokštės yra su mineralinės vatos užpildu, lengviausios – su polistirenu (žr. 15-16 pav.).

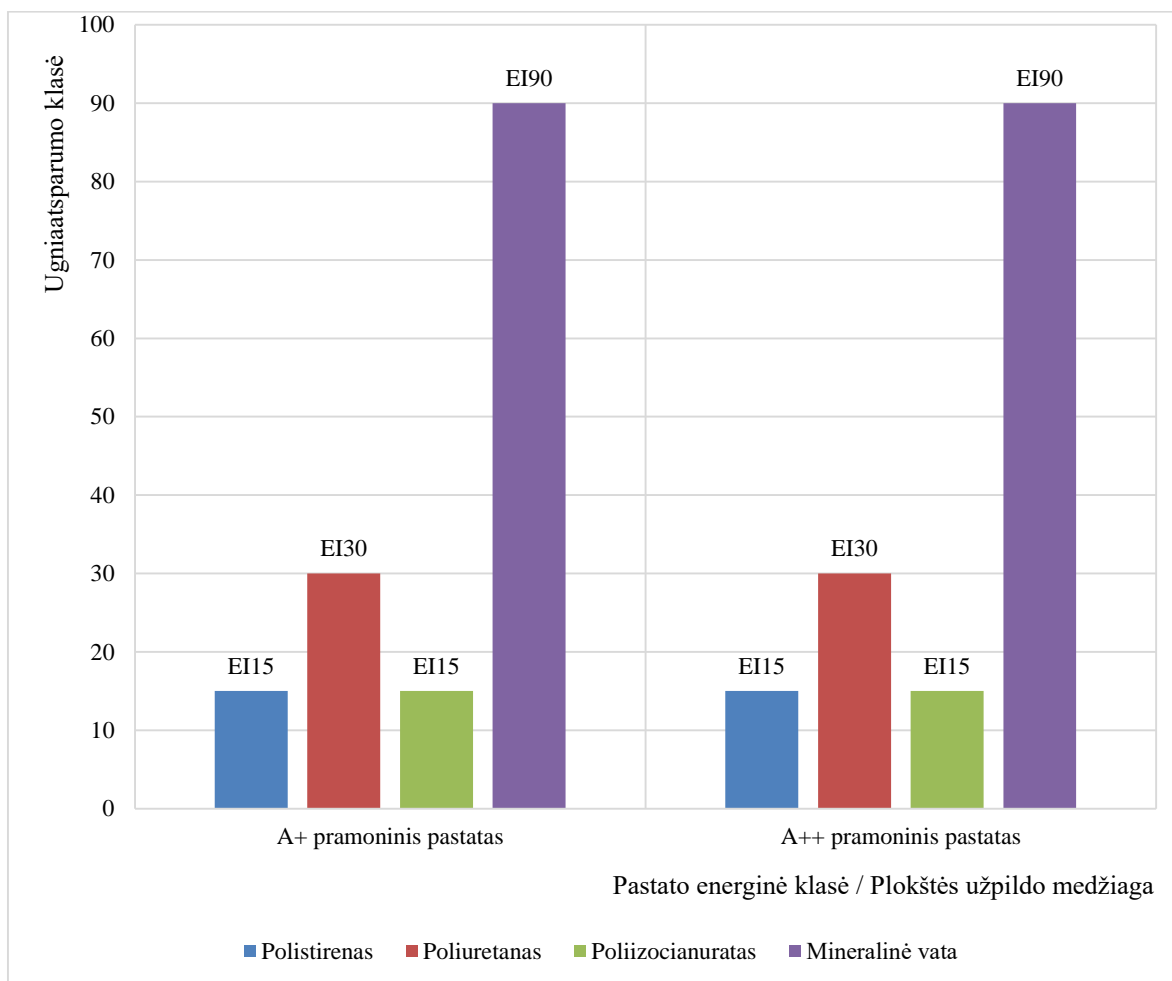


15 pav. A⁺ energinio naudingumo klasės pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoknių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais svorio grafikas



16 pav. A⁺⁺ energinio naudingumo klasės pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoknių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais svorio grafikas

Geriausias ugniaatsparumo savybes turi mineralinės vatos užpildą turinčios plokštės, o blogiausia – polistireno ir poliizocianurato užpildą turinčios plokštės (žr. 17 pav.).



17 pav. Daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais sluoksniais ugniaatsparumo savybių grafikas

Atliktų skaičiavimų skaičiuokle kuri paremta TOPSIS metodu, gauti pramoninio pastato kurio išorės atitvaros iš daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais užpildais, kurie tenkina A⁺ (23 lentelė), A⁺⁺ (24 lentelė) energinės klasės pastato išorės atitvarų reikalavimus rezultatai.

23 lentelė

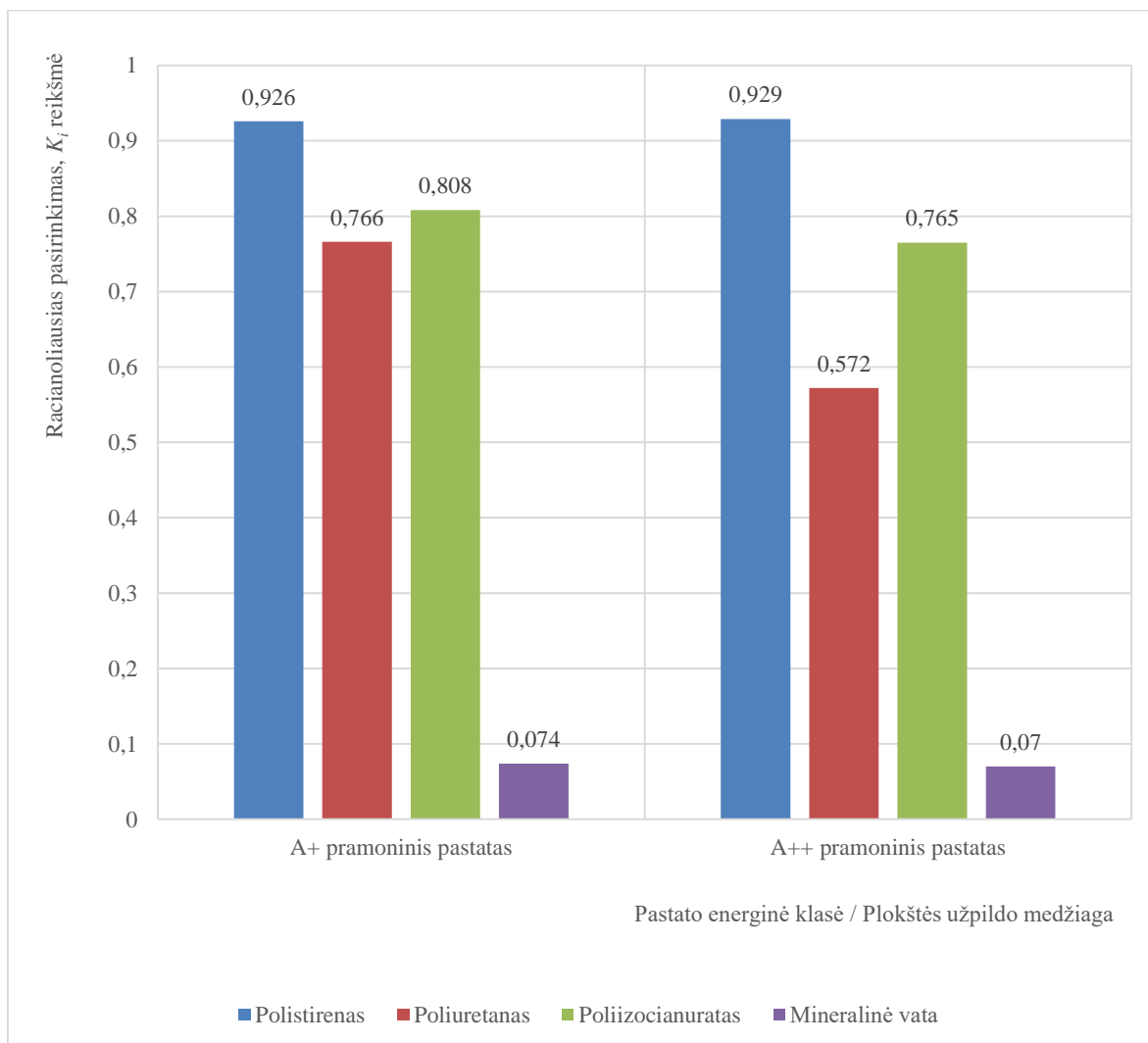
A⁺ energinės klasės pramonio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių, termoizoliacinio sluoksnio racionaliausio pasirinkimo rezultatai panaudojus TOPSIS metodą

Eil. Nr.	Daugiasluoksnės plokštės termoizoliacinio sluoksnio tipas	Racionaliausio pasirinkimo seka
1.	Polistirenas	1 pasirinkimas
2.	Poliuretanas	3 pasirinkimas
3.	Poliizocianuratas	2 pasirinkimas
4.	Mineralinė vata	4 pasirinkimas

A⁺⁺ energinės klasės pramonio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių, termoizoliacinio sluoksnio racionaliausio pasirinkimo rezultatai panaudojus TOPSIS metodą

Eil. Nr.	Daugiasluoksnės plokštės termoizoliacinio sluoksnio tipas	Racionaliausio pasirinkimo seka
1.	Polistirenas	1 pasirinkimas
2.	Poliuretanas	3 pasirinkimas
3.	Poliizocianuratas	2 pasirinkimas
4.	Mineralinė vata	4 pasirinkimas

Iš 18 paveikslėlio matome, kad racionaliausias mažoenerginio pramoninio pastato kurio išorės atitvaros iš daugiasluoksnių plokščių pasirinkimas yra plokštės su polistireno užpildu, blogiausias – su mineralinės vatos užpildu.



18 pav. TOPSIS metodu atliktų skaičiavimų racionaliausio pasirinkimo grafikas

3.8. Skaičiavimo įrankio apžvalga

TOPSIS metodo skaičiavimams palengvinti pasitelkiau savo sukurtą skaičiuoklę (žr. 19 pav.).

Daugiasluoksnių plokščių racionaliausio pasirinkimo TOPSIS metodu skaičiuoklė

Failas Redaguoti Peržiūra Įterpti Formatas Duomenys Įrankiai Priedai Pagalba Visi pakitimai išsaugoti Diske

100% Lt % 0,00 123 Times New... 16 B I A

PRAMONINIO PASTATO IŠ DAUGIASLUOKSNIŲ PLOKŠČIŲ SU SKIRTINGAIS UŽPILDAIS RACIONALIAUSIO PASIRINKIMO TAIKANT TOPSIS METODĄ SKAIČIUOKLĖ

Geltonuose laukeliuose įvėkite savo rodiklių reikšmes:

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, Eur/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m ² K	Ugniaatsparumo skaičius
1.	Polistirenas	21,22	0,2	11,7	0,19	0,25
2.	Poliuretanas	24,75	0,12	13,1	0,18	0,5
3.	Polizocianuratas	23,95	0,12	12,8	0,17	0,25
4.	Mineralinė vata	29,6	0,21	24,97	0,18	1,5
Min. ar max. rodiklis		min.	min.	min.	min.	max.

Racionaliausias pasirinkimas

Termoizoliacinės medžiagos tipas	Ki
Polistirenas	0,926
Poliuretanas	0,766
Polizocianuratas	0,808
Mineralinė vata	0,074

Oranžiniuose laukeliuose galite įvesti jums tinkamus rodiklių reikšmingumus:

Normalizuota matrica

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, Eur/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m ² K	Ugniaatsparumo skaičius
1.	Polistirenas	0,4253	0,0040	0,2334	0,0038	0,0050
2.	Poliuretanas	0,4938	0,0024	0,2613	0,0036	0,0100
3.	Polizocianuratas	0,4778	0,0024	0,2554	0,0034	0,0050
4.	Mineralinė vata	0,5905	0,0042	0,4981	0,0036	0,0299
Rodiklių reikšmingumai, g		0,294	0,338	0,131	0,064	0,144

Svertinė normalizuota matrica

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, Eur/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m ² K	Ugniaatsparumo skaičius
1.	Polistirenas	0,1245	0,0012	0,0686	0,0011	0,0015
2.	Poliuretanas	0,1452	0,0007	0,0768	0,0011	0,0029
3.	Polizocianuratas	0,1405	0,0007	0,0751	0,0010	0,0015
4.	Mineralinė vata	0,1736	0,0012	0,1465	0,0011	0,0088

Racionaliausias pasirinkimas, kai Ki skaičius didžiausias, blogiausias - kai Ki skaičius mažiausias.

19 pav. Pramoninio pastato iš daugiasluoksnių plokščių su skirtingais užpildais racionaliausio pasirinkimo taikant TOPSIS metodą skaičiuoklės langas

Ja gana lengva naudotis, nes tiesiog tereikia suvesti savo kriterijų reikšmes (žr. 20 pav.) bei reikšmių rodiklių reikšmingumus (žr. 21 pav.), o algoritmai automatiškai pateikia atsakymą (žr. 22 pav.).

Geltonuose laukeliuose įvėkite savo rodiklių reikšmes:

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, Eur/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m ² K	Ugniaatsparumo skaičius
1.	Polistirenas	21,22	0,2	11,7	0,19	0,25
2.	Poliuretanas	24,75	0,12	13,1	0,18	0,5
3.	Polizocianuratas	23,95	0,12	12,8	0,17	0,25
4.	Mineralinė vata	29,6	0,21	24,97	0,18	1,5
Min. ar max. rodiklis		min.	min.	min.	min.	max.

20 pav. Skaičiavimo kriterijų reikšmių suvedimo laukeliai

Oranžiniuose laukeliuose galite įvesti jums tinkamus rodiklių reikšmingumus:

Normalizuota matrica

Eil. Nr.	Termoizoliacinės medžiagos tipas	Rodikliai				
		Kaina, Eur/m ²	Plokštės storis, m	Plokštės svoris, kg/m ²	Šilumos perdavimo koeficientas U, W/m ² K	Ugnaatsparumo skaičius
1.	Polistirenas	0,4233	0,0040	0,2334	0,0038	0,0050
2.	Poliuretanas	0,4938	0,0024	0,2613	0,0036	0,0100
3.	Poliizocianuratas	0,4778	0,0024	0,2554	0,0034	0,0050
4.	Mineralinė vata	0,5905	0,0042	0,4981	0,0036	0,0299
Rodiklių reikšmingumai, q		0,294	0,338	0,131	0,094	0,144

21 pav. Skaičiavimo kriterijų reikšmių rodiklių reikšmingumo suvedimo laukeliai

Racionaliausias pasirinkimas	
Termoizoliacinės medžiagos tipas	Ki
Polistirenas	0,926
Poliuretanas	0,766
Poliizocianuratas	0,808
Mineralinė vata	0,074

Racionaliausias pasirinkimas, kai Ki skaičius didžiausias, blogiausias - kai Ki skaičius mažiausias.

22 pav. Skaičiavimo rezultatų pateikimo laukeliai

Taipogi jos nereikia parsisiųsti ar išsaugoti kompiuteryje (laikmenoje), nes ji pasiekama internetu (8).

IŠVADOS

Atlikus tyrimą ir skaičiavimus paaiškėjo, kad:

- mažaeenerginiai pastatai remiantis Lietuvos Techniniu Reglamentu, tai pastatai atitinkantys B, A, A⁺ ir A⁺⁺ energinę klasę Lietuvoje. Europoje – visuotinio vieningo standarto nėra, šalys narės remiasi Europos direktyva 2010/31/EU, reikalavimus nusistato pačios pagal klimato sąlygas bei remiasi vienu pirmųjų *Passivhaus* vokišku standartu. Vyraujantys daugiasluoksnių plokščių užpildai yra 4: mineralinė vata, polistirenas, poliuretanas ir poliizocianuratas;
- norint užtikrinti, kad pramoninio pastato išorės atitvara atitiktų A⁺ energinę klasę, daugiasluoksnės plokštės storis turi būti: su polistireno užpildu – 20 cm, poliuretano – 12 cm, poliizocianurato – 12 cm, o mineralinės vatos – 21 cm, o A⁺⁺ energinės klasės pramoniniam pastatui 12 - 20% storesnės, tai yra: polistireno užpildu – 25 cm, poliuretano – 15 cm, poliizocianurato – 15 cm, mineralinės vatos – 24 cm.
- savo sukurta skaičiuokle *Google skaičiuoklės* platformoje, kuri paremta TOPSIS metodu, įvertintos daugiasluoksnių plokščių su skirtingais termoizoliaciniais sluoksniais charakteristikos ir renkantis racionaliausią variantą iš pasirinktų plokščių - gauta, kad geriausia alternatyva yra daugiasluoksnė plokštė su polistireno užpildu, ji 39 % geresnė už antroje vietoje likusią su poliizocianurato užpildu, kuri 15 % geresnė už trečioje vietoje likusę plokštę su poliuretano užpildu, blogiausia alternatyva yra plokštė su mineralinės vatos užpildu, bet pasirinkus kitų gamintojų daugiasluoksnės plokštes ar reikšmių reikšmingumus, lieka galimybė, kad sprendinių pasiskirstimas galėtų kisti.

INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. ALLEN, Howard G. Analysis and design of structural sandwich panels: Senior Lecturer, Dept. Of Civil Engineering, The University, Southampton: Pergamon press, 1969. ISBN: 978-0-08-012870-2.
2. BALTIJOS POLISTIRENAS: Daugiasluoksnės „Sandwich“ plokštės [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta: 2017-09-10]. Prieiga per https://www.balpol.lt/sites/default/files/products/documents/instructions/sandwich_plokstes_2_a3_lt_0.pdf
3. ČIŪŽAITĖ, Margarita. Pirmasis visuomeninis A+ klasės pastatas: statybų šaknys karčios, bet vaisiai – auksiniai: straipsnis [interaktyvus] Statybų naujienos, 2017. [žiūrėta 2017-11-16] Prieiga per: <http://www.statybunaujienos.lt/naujiena/Pirmasis-visuomeninis-A-klases-pastatas-statybu-saknys-karcios-bet-vaisiai-auksiniai/6701>
4. DAUGIASLUOKSNIŲ PLOKŠČIŲ MONTAVIMAS: paveikslėlis [interaktyvus]. [žiūrėta: 2017-12-12]. Prieiga per: <http://irteka.lt/lt/content/daugiasluoksni%C5%B3-plok%C5%A1%C4%8Di%C5%B3-montavimas>
5. DAUSKURDAS, Tomas. Mažaenergio pastato šilumos poreikių prognozių neapibrėžtumo veiksnių nustatymas: baigiamasis magistro darbas [interaktyvus]. Vilnius, 2017. [žiūrėta: 2017-09-08]. Prieiga per: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:22805819/22805819.pdf>
6. DŽIUGAITĖ - TUMĖNIENĖ, Rasa. Mažaenergio vienbučio namo aprūpinimo energija integruotas vertinimas: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2015. ISBN 978-609-457-816-8
7. EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY AND TRANSPORT, Low Energy Buildings in Europe: Current State of Play, Definitions and Best Practice [interaktyvus]. Brussels, 2009.[žiūrėta: 2017-11-16]. Prieiga per: http://www.pu-europe.eu/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1538403752&hash=3cafd0cf6472dd625e14b1e296cb922dadb54aa7&file=fileadmin/documents/Other_reports/Other_research_projects/Low_and_Zero_Energy_Building_Info_Note_250909.pdf

8. GRITĖNAS, Gediminas. Pramoninio pastato iš daugiasluoksnių plokščių su skirtingais užpildais racionaliausio pasirinkimo taikant TOPSIS metodą skaičiuoklė. Skaičiuoklė [interaktyvus]. Prieiga per:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RT1O6x6HvnTux0TPQGXRlzEc7zXN3GqrpeCk6X8WJE/edit?usp=sharing>
9. HWANG, Ching-Lai, Yoon, Kwangsun. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981. ISBN 978-3-642-48318-9
10. Lietuvoje – pirmasis oficialiai įregistruotas A++ klasės pastatas: straipsnis [interaktyvus] SA.LT, 2016. [žiūrėta: 2017-11-16] Prieiga per: <http://sa.lt/lietuvoje-pirmasis-oficialiai-iregistruotas-klases-pastatas/>
11. On Guidelines for the Promotion of Nearly Zero-Energy Buildings and Best Practices to Ensure That, by 2020, All New Buildings are Nearly Zero-Energy Buildings [interaktyvus]. Official Journal of the European Union, 2016, [žiūrėta 2017-09-05]. Prieiga per ELI: <http://data.europa.eu/eli/reco/2016/1318/oj>.
12. Passive house [interaktyvus] wikipedia [žiūrėta: 2017-11-16] Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house
13. Photovoltaic Sandwich Panel for Roofing [interaktyvus]. Tectonica-online, 2008, [žiūrėta: 2017-11-02]. Prieiga per: http://www.tectonica-online.com/products/2063/panel_roofing_sandwich_photovoltaic_ecosolar_trimo/#
14. SIMANAVIČIENĖ, Rūta. Kiekybinių daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė: daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2011. ISBN 978-609-457-055-1
15. STR 2.01.02:2016. Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas.
16. SUBAČIŪTĖ, Ieva. Mažaenerginio administracinio pastato sezoninės energijos poreikių ypatybės: baigiamasis magistro darbas [interaktyvus]. Vilnius, 2012. [žiūrėta: 2017-10-30]. Prieiga per: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:2060028/2060028.pdf>