

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

Mantas Urbonas

VĖDINAMŲ FASADŲ SISTEMŲ APDAILINIO SLUOKSNIO
DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Loreta Kelpšienė

PANEVĖŽYS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

VĒDINAMŲ FASADŲ SISTEMŲ APDAILINIO SLUOKSNIO
DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas 621J80001)

Vadovas

Doc. dr. Loreta Kelpšienė

2018-01-09

Recenzentas

Doc. dr. Donatas Aviža

Projektą atliko

Mantas Urbonas

2018-01-09

PANEVĖŽYS, 2018



Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Mantas Urbonas

(Studento vardas,pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. sausio 9 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, Manto Urbono, baigiamasis projektas tema „Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio 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)

2017-09-04

Išduota studentui: Mantui Urbonui

Grupė PMS-6

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas

Anglų kalba: Multi-Criteria Evaluation of the Decoration Layer of Ventilated Facade Systems

Patvirtinta 2017 m. lapkričio mėn. 7 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-18

2. Darbo tikslas:

Apžvelgti ir pasitelkiant daugiakriterinį vertinimą tarpusavyje palyginti skirtingas apdailos medžiagas, naudojamas vėdinamų fasadų sistemų įrengimui.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Apibendrinti teorinę medžiagą apie vėdinamų fasadų sistemas ir naudojamus apdailinius sluoksnius. Atlikti daugiakriterinę analizę vertinant skirtingus apdailinius sluoksnius. Pateikti tyrimo rezultatus ir išvadas.

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

*Santrauka;
Įvadas;
Literatūros apžvalga;
Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio klasifikavimas;
Vėdinamą fasadą veikiančys faktoriai;
Tyrimo metodologija;
Apdailinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas naudojant COPRAS metodą;
Išvados;
Literatūros sąrašas.*

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2018-01-09

(data)

Užduotį gavau: Mantas Urbonas

2017-09-04

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: Doc. dr. Loreta Kelpšienė

2017-09-04

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Urbonas Mantas, Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Loreta Kelpšienė; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: statybų technologijos, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: vėdinamas fasadas, apdailinės medžiagos, fasadinės plokštės, dailylentės, daugiakriterinė analizė, COPRAS metodas.

Panevėžys, 2018. 44 p.

SANTRAUKA

Naujų pastatų statyba, renovacija – nuolat vykstantys procesai. Reikalingos įvairios statybinės medžiagos, norint naujai statyti ar atnaujinti pastatą. Fasado įrengimas – viena iš pastato statybos ar renovacijos dalių. Fasadais gali būti įrengti pasirenkant įvairias konstrukcijas. Šiuo metu populiarėjanti fasado įrengimo konstrukcija – vėdinamo fasado sistema. Įrengiant vėdinamą fasadą galima rinktis iš daug įvairių fasadinių apdailinių medžiagų, kurios turi skirtingas mechanines, estetines ir kitas savybes.

Šio darbo tikslas – apžvelgti ir pasitelkiant daugiakriterinį vertinimą tarpusavyje palyginti skirtingas apdailos medžiagas, naudojamas vėdinamų fasadų sistemų įrengimui. Panaudojant COPRAS daugiakriterinio vertinimo metodą yra nustatoma, koks yra racionaliausias vėdinamo fasado apdailos pasirinkimas. Viso lyginamos 4 dangos: aliuminio kompozitinės plokštės, pluoštinio cemento plokštės, cementinės dailylentės, keraminės plytelės. Tyrimas parodė, kad racionaliausias pasirinkimas – keraminės plytelės.

Darbą sudaro 3 dalys: vėdinamų fasadų daugiakriterinis vertinimas teoriniu aspektu, vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinė analizė bei tyrimo rezultatų pristatymas. Pateikiamos išvados ir literatūros sąrašas.

Urbonas Mantas., Multi-Criteria Evaluation of the Decoration Layer of Ventilated Facade Systems: Master's thesis in Construction / supervisor assoc. prof. Loreta Kelpšienė. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Building Technology, Technology Science.

Key words: rainscreen facade, ventilated facade, cladding materials, facade panels, the multicriteria COPRAS method, weathering factors

Panevėžys, 2018. 44 p.

SUMMARY

New building constructions or renovation works are constantly continuing processes. There are a lot of different buildings materials which are needed to complete renovation or new building construction works. One part of construction works is facade installation. There are many different facade construction types. One of the most popular facade wall types is ventilated facade system. Plenty of various materials can be applied as decoration layer of ventilated facade with very different mechanical, asthetical and other properties.

The aim of this work is to review and compare different decoration layer materials of ventilated façade systems by using the multi-criteria evaluation method. Decoration layer materials such as aluminium composite panels, fibercement panels, fibercement planks, ceramic tiles are evaluated in the work. The assessment was done by using COPRAS multi-criteria evaluation method. This reasearch showed that most effective decoration layer meterial is ceramic tiles.

The work consist of 3 parts: theoretical multi-criteria evaluation of ventilated facades, multi-criteria evaluation of the decoration layer of ventilated facade systems and results of the research. Conclusions of reasearch and literary list are included.

TURINYS

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	9
ĮVADAS.....	10
1. Vėdinamų fasadų daugiakriterinis vertinimas teoriniu aspektu	12
1.1. Vėdinamo fasado sistemos samprata	12
1.2. Vėdinamų fasadų sistemų klasifikacija.....	14
1.3. Pastatų fasadus veikiantys faktoriai.....	18
2. Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinė analizė	23
2.1. Daugiakriterinės analizės metodas	23
2.2. Analizuojamų kriterijų apibūdinimas	25
3. Tyrimo rezultatai	30
3.1. Ekspertinis kriterijų vertinimas	30
3.2. Kriterijų reikšmingumo nustatymas	32
3.3. Variantų daugiakriterinis palyginimas.....	37
IŠVADOS.....	41

Paveikslų sąrašas

- 1.1 pav. Trisluoksnė mūro siena
- 1.2 pav. Vėdinamas fasadas su medinių dailylenčių apdaila
- 1.3 pav. Vėdinamas fasadas su aliuminio kompozito plokščių apdaila
- 1.4 pav. Vėdinamas fasadas su keraminių plytelių apdaila
- 1.5 pav. Vėdinamo fasado konstrukcija su pluoštinio cemento apdaila
- 1.6 pav. Mūras pradėjęs žaliuoti
- 1.7 pav. Cedral karnyzo vaizdas
- 1.8 pav. Deformuotos plastikinės dailylentės
- 2.1 pav. Išlinkusi fasadinė akmens plokštė
- 2.2 pav. Plokštė su aukšta spalvos pastovumo reikšme
- 3.1 pav. Kriterijų įvertinimas balais
- 3.2 pav. Fasadas su „Reynobond“ apdaila
- 3.3 pav. Fasadas su „Natura Pro“ apdaila
- 3.4 pav. Fasadas su „Cedral“ apdaila
- 3.5 pav. Fasadas su „Tonality“ apdaila

Lentelių sąrašas

- 2.1 lentelė. Degumo klasės su priskirtomis reikšmėmis
- 3.1 lentelė. Ekspertų nuomonės
- 3.2 lentelė. Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinės analizės sprendimų matrica
- 3.3 lentelė. Kriterijų reikšmingumai
- 3.4 lentelė. Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio normalizuota sprendimų matrica
- 3.5 lentelė. Normalizuotų variantų reikšmingumas ir naudingumo laipsniai

IVADAS

Temos aptarimas. Projektuojant ir statant pastatus tikimasi, kad jie tarnaus 25, 50 ir daugiau metų. Net laikinieji pastatai gali stovėti iki 10 metų, be to, yra galimybė šį terminą pratęsti. Ekonomiškai pagrįsta statinio naudojimo trukmė – laikotarpis, per kurį tikslinga naudoti statinį palaikant jo naudojimo savybes, atitinkančias esminius statinių reikalavimus, atsižvelgiant į visus tarpusavyje susijusius aspektus: statinio projektavimo, statybos, naudojimo ir naudojamo statinio draudimo išlaidas, išlaidas, kurių reikia siekiant išvengti naudojimo sutrikimų; statinio griūties riziką ir pasekmes jo naudojimo laikotarpiu; planuojamą dalinį atnaujinimą; valymo, statinio priežiūros ir remonto išlaidas (34). Viena iš galimybių išvengti minėtų išlaidų – tinkamas fasado apdailos pasirinkimas. Įrengiant vėdinamą fasadą galima rinktis iš daug įvairių fasadinių apdailinių medžiagų, kurios turi skirtingas mechanines, estetines ir kitas savybes. Šiame darbe nagrinėjamos ir įvairiais aspektais vertinamos skirtingos vėdinamų fasadų sistemų apdailinės medžiagos.

Problemos formulavimas. Šiais laikais statybinių medžiagų pasirinkimo asortimentas labai platus. Dažnai sunku išsirinkti tinkamiausią produktą, kurio kainos ir kokybės santykis būtų adekvatus. Skirtingų medžiagiškumų vėdinamo fasado sistemų apdailinių medžiagų taip pat yra labai daug: cementinės dailylentės, plastikinės dailylentės, keraminės plytelės; aliumino kompozito plokštės; aukšto slėgio laminatai ir kt. Kiekvienam apdailos tipui taip pat galima rasti skirtingų gamintojų siūlomas alternatyvas. Toks gausus medžiagų asortimentas tik apsunkina medžiagų pasirinkimą. Todėl reikšminga ir aktualu ištirti bei įvertinti skirtingas vėdinamų fasadų apdailos medžiagas.

Temos aktualumas. Vėdinamas fasadas visuomenėje populiarėjo dėl jo teikiamų privalumų. Iš vėdinamo fasado konstrukcijos lengvai pasišalina drėgmė. Sausos medžiagos ilgiau tarnauja ir nepraranda savo eksploatacinių savybių, taip pat jaučiamas geresnis vidinių patalpų mikroklimatas. Kitas vėdinamo fasado privalumas – oro tarpo sukuriamas termoizoliacinio sluoksnio efektas. Vasaros metu tam tikros šilumos kiekis pasišalina per vėdinamą oro tarpą, todėl vidaus patalpose vėsiau, žiemos metu šaltis tiesiogiai neveikia fasado sienos, todėl patalpose geriau užsilaiko šiluma (8). Todėl svarbu, kad pasirinktos medžiagos būtų kokybiškos. Itin reikšminga vėdinamo fasado apdailinio sluoksnio kokybė, nes nuo jo priklauso pastato estetinis vaizdas ir pastato apsauga nuo tiesioginių aplinkos poveikių.

Tyrimo objektas. Darbo objektas – vėdinamų fasadų sistemų apdailiniai sluoksniai.

Tikslai ir uždaviniai. Darbo tikslas - apžvelgti ir pasitelkiant daugiakriterinį vertinimą tarpusavyje palyginti skirtingas apdailos medžiagas, naudojamas vėdinamų fasadų sistemų įrengimui.

Uždaviniai:

1. Apibendrinti teorinę medžiagą apie vėdinamų fasadų sistemas ir naudojamus apdailinius sluoksnius.
2. Atlikti daugiakriterinę analizę vertinant skirtingus apdailinius sluoksnius.
3. Pateikti tyrimo rezultatus ir išvadas.

Tyrimo metodai. Darbe buvo taikomi ekspertiniai, COPRAS, mokslinės literatūros ir šaltinių analizės metodai.

Ekspertiniais metodais buvo nustatyta vėdinamo fasado apdailinio sluoksnio skirtingų kriterijų prioretitiškumas. Buvo pateikti 7 kriterijai: lenkiamasis stipris, masė, drėgminis plėtimosi koeficientas, šiluminis plėtimosi koeficientas, degumo klasė, spalvos pastovumas, kaina. Ekspertai turėjo įvertinti kriterijus balais pagal svarbą.

COPRAS – kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas. Pasitelkiant metodą galima tarpusavyje suderinti ir palyginti skirtingų produktų kiekybinių ir kokybinių kriterijų visumą. Tai leidžia objektyviai įvertinti ir pasirinkti racionaliausią variantą iš kelių galimų. Darbe šis metodas pritaikytas skirtingų apdailinių sluoksnių medžiagų palyginimui ir racionaliausio varianto parinkimui (36).

Literatūros ir šaltinių analizės metodas taikomas nagrinėjant užsienio ir Lietuvos literatūrą vėdinamų fasadų sistemų ir jų apdailinio sluoksnio tema..

Darbo struktūra. Darbą sudaro įvadas, dėstymas, išvados, literatūros ir šaltinių sąrašas, santraukos – lietuvių bei anglų kalba. Dėstymas susideda iš 3 pagrindinių dalių ir 8 poskyrių.

Pirmajame darbo skyriuje yra nagrinėjama įvairių autorių mokslinė literatūra. Apžvelgiama skirtingų pasaulio šalių samprata apie vėdinamą fasadą, vėdinamo fasado klasifikavimą pagal apdailinius sluoksnius bei nagrinėjami fasadą veikiantys faktoriai.

Antrajame skyriuje aprašytas kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas. Pasitelkiant šį metodą atliekama vėdinamo fasado apdailinių sluoksnių daugiakriterinė analizė.

Trečiajame skyriuje skaičiuojami skirtingų apdailos medžiagų variantų normalizuoti reikšmingumai ir naudingumo laipsniai. Viso lyginamos 4 apdailos medžiagos:aliuminio kompozitinės plokštės, pluoštinio cemento plokštės, cementinės dailylentės, keraminės plytelės.

1. VĒDINAMŲ FASADŲ DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS TEORINIŲ ASPEKTU

1.1. Vėdinamo fasado sistemos samprata

Vėdinamo fasado sistemos samprata skirtingose pasaulio šalyse panaši. Daugelyje šalių vėdinamas fasadas apibūdinamas kaip dvisluoksnis fasadas, kurio sluoksniai atskirti oro tarpu. Dažnai akcentuojama, kad oro tarpas padeda apsaugoti nuo drėgmės skverbimosi iš išorės į pastato vidų. Medžiagos, naudojamos fasado apdailiniam sluoksniui įrengti, gali būti labai įvairios: stiklas, akmuo, metalas ir kt. Dažnai tai būna plokštinės medžiagos.

Pagal Danijoje atlikto tyrimo autorius, vėdinamas fasadas yra lyg dvigubą apvaskalą turintis fasadas, sudarytas iš dviejų sluoksnių, atskirtų oro tarpu. Sluoksniai gali būti nepermatomi arba permatomi (skaidrūs). Oro tarpas paprastai turi angas apačioje, pro kurias oras iš aplinkos patenka į vėdinamo fasado oro tarpą, ir vieną ar dvi išmetimo angas, kad oras grįžtų atgal į aplinką arba būtų įvedamas į pastato vidų. Oro srovės judėjimas oro tarpe gali būti sukurtas natūraliai dėl vėjo arba dėl kamino efekto, kuris atsiranda dėl temperatūrų skirtumo (12;25).

Mokslininkai iš Kanados vėdinamą fasadą apibūdina taip: vėdinamas fasadas keičia tradicinį požiūrį į pastato interjero apsaugą nuo oro ir drėgmės infiltracijos į pastatą. Daugelis nevėdinamų fasadų sistemų turi du apsauginius sluoksnius. Pirmasis sluoksnis (labiausiai nutolęs į išorę) – pirminis barjeras, saugantis nuo oro ir drėgmės, sukurtas sustabdyti orą ir vandenį. Antrasis sluoksnis sukurtas sustabdyti mažus kiekius oro ir drėgmę, kuri galėjo prasiskverbti pro pirmąjį sluoksnį (1).

Vėdinamo fasado koncepcijoje teigiama, kad labiausiai nutolęs į išorę fasado sluoksnis naudojamas skirtingai – nėra siekiama sluoksnį padaryti visiškai nelaidų orui ir vandeniui. Išorinis sluoksnis tarnauja kaip barjeras nuo lietaus, o vidiniai sluoksniai yra atsparūs oro sąlygoms ir blokuoja oro ir drėgmės skverbimąsi. Vandens skverbimasis, atsirandantis nuo slėgių skirtumo, gali būti kontroliuojamas sienoje įterpiant oro tarpą. Oro tarpas kartu su apdailiniu sluoksniu tarnauja kaip pirminė apsauga nuo oro ir vandens skverbimosi (1).

Išorinė apdaila pirmiausia pasirenkama atsižvelgiant į jos išvaizdą. Išorinė apdaila dažnai yra plokštinė ir gali būti pagaminta iš įvairių medžiagų, tokių kaip akmuo, surenkamas betonai, terakotos, cemento kompozitas, stiklas ar metalas. Kadangi užbaigtoje konstrukcijoje vidinis sluoksnis nėra matomas, tai nėra siekiama sukurti gero vizualinio šio sluoksnio vaizdo. Svarbu, kad vidinis sluoksnis

būtų atsparus vėjui, turėtų termoizoliaciją, saugotų pastatą nuo triukšmo ir nuo oro ir vandens patekimo į vidų (1).

Pasak autorės Jelle Langmans iš Belgijos, drėgmė yra vienas iš pagrindinių veiksnių, turinčių įtakos pastato atitvarų patvarumui ir eksploatacinėms savybėms. Pastato vėdinamo fasado įrengimas yra tipiškas sprendimas siekiant pagerinti pastato apsaugą nuo drėgmės poveikio. Vėdinamo fasado sistema nutraukia drėgmės patekimą į konstrukciją per kapiliarus ir tarnauja kaip drenažo sluoksnis tarp išorinio aplinkos poveikio ir vidinės pastato konstrukcijos. Be to, šio tipo fasaduose perteklinė drėgmė papildomai pašalinama vėdinimo būdu. Gravitacijos sąlygotas lietaus vandens nutekėjimas yra gerai suprantamas procesas, padedantis išvengti vandens įsiskverbimo, kai konvekcinis drėgmės pašalinimas yra sudėtingas procesas, susijęs su oro tarpo konfigūracija, higroterminėmis statybinių medžiagų savybėmis ir klimato sąlygomis (16).

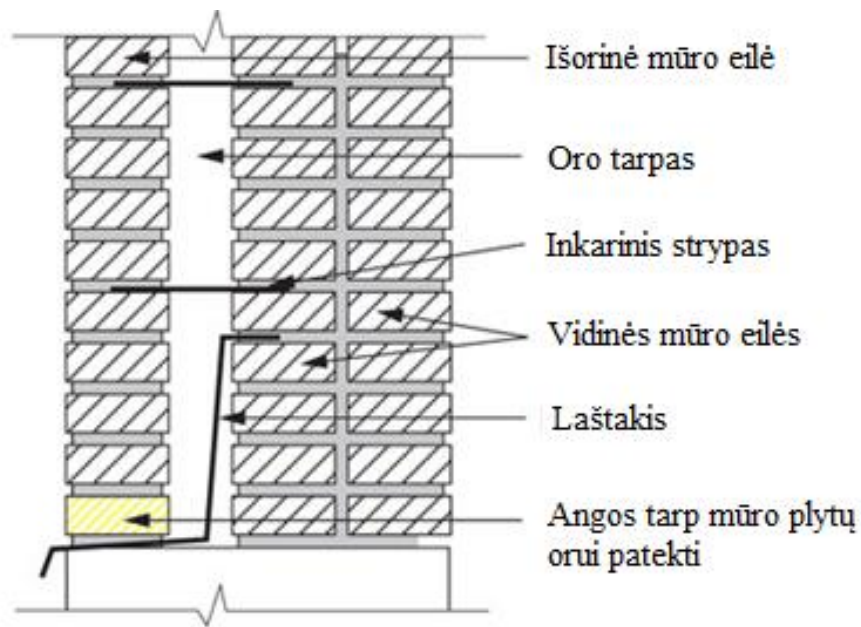
Mokslininkai iš Rumunijos teigia, kad pastatų, pasižyminčių prastomis termoizoliacinėmis savybėmis, atnaujinimas yra vienas iš pagrindinių Europos šalių rūpesčių, siekiant sumažinti bendrą energijos suvartojimą ir poveikį aplinkai. Dėl didelių bendrų šilumos nuostolių per išorines pastato atitvaras išorinių pastato sienų rekonstrukcijos darbams skiriamas didžiausias dėmesys. Tyrėjai mano, kad galima įrengti natūraliai vėdinamą fasadą su oro tarpu – tai vienas iš galimų fasado atnaujinimo būdų. Oro srautas, atsirandantis dėl kamino efekto, sumažina pastatų šiluminę apkrovą vasaros metu, nes šiluma pašalinama per fasade įrengtas angas. Žiemą sumažėja šilumos energijos poreikis dėl oro tarpo sukuriama šilumos izoliacijos efekto. Eksploatuojant vėdinamą fasadą klimato zonose, kuriose skirtingi metų laikai (karštos vasaros, šaltos žiemos), gali būti pasiektas balansas tarp patalpų šildymui ir vėsinimui sunaudojamos energijos sumažinimo (28).

Lietuvos statybos taisyklėse vėdinamas fasadas (toliau – sistema) apibūdinamas tokiu apibrėžimu: „statybvietėje pastato laikančiųjų konstrukcijų išorėje įrengiama sienų apšiltinimo ir apdailos sistema, naudojant sistemos gamintojo tiekiamą arba pagal konkretų projektą komplektuojamą gamyklinių statybos produktų rinkinį, kurį sudaro šie komponentai: sistemos karkasas; sistemos mechaninio tvirtinimo elementai; termoizoliacinis sluoksnis; vėjo izoliacinis sluoksnis; išorės apdaila“ (17).

Apibendrinus teorinę medžiagą apie vėdinamų fasadų sistemas, išryškėja esminė vėdinamų fasadų sistemų konstrukcinė savybė – tai oro tarpas esantis tarp apdailinio fasado sluoksnio ir vidinės pastato konstrukcijos. Teorijoje taip pat atsiskleidžia pagrindinė oro tarpo funkcija – pašalinti perteklinę drėgmę, patenkančią į termoizoliacinį sluoksnį iš aplinkos bei vidinės sienos konstrukcijos.

1.2. Vėdinamų fasadų sistemų klasifikacija

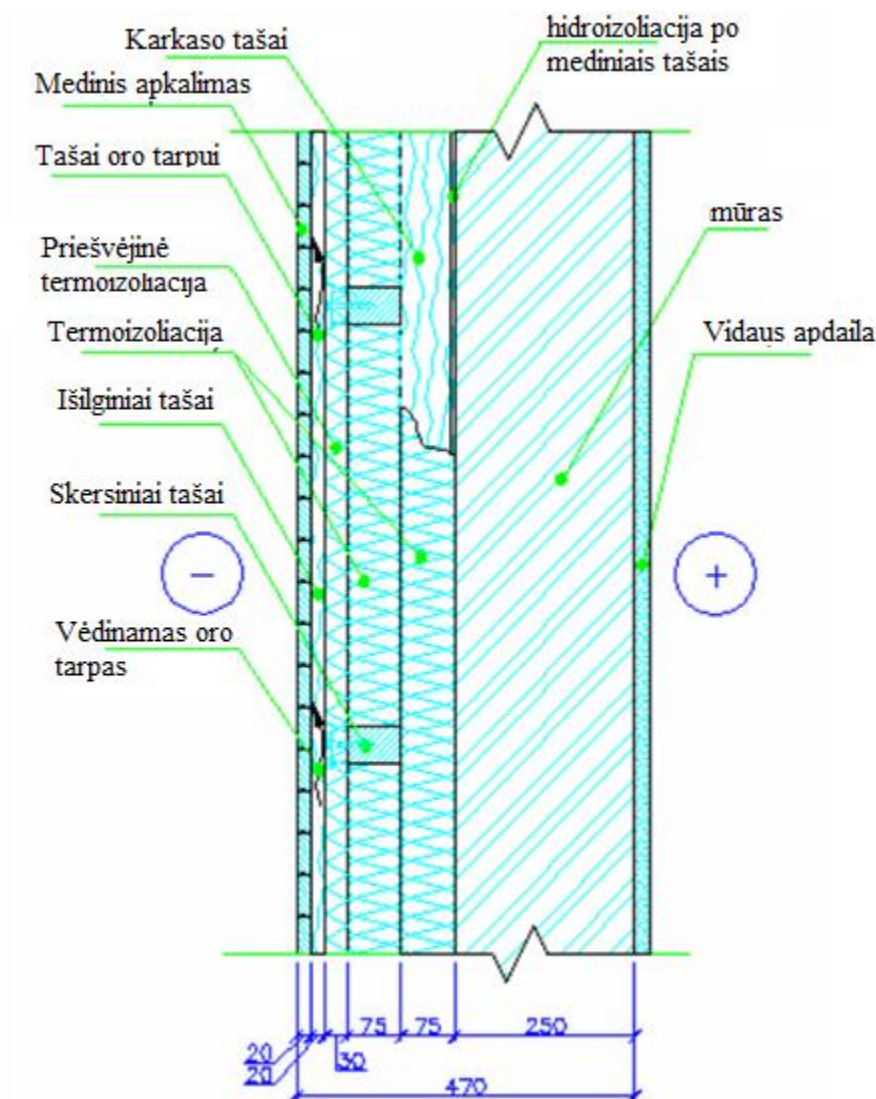
Trisluoksnė mūro siena. Šios sienos tipas atsirado reaguojant į būtinybę kontroliuoti lietaus prasiskverbimą per mūro sienas, kurios tapo vis plonesnės. Trisluoksnė mūro siena apibrėžiama kaip „dviejų mūro sluoksnių konstrukcija, atskirta oro tarpu. Mūro sluoksniai yra susieti metaliniais ryšiais ar kitais jungiamaisiais elementais, taip sudarant vientisą konstrukciją, kuri perima šonines apkrovas.“ Tiek vidinis, tiek išorinis sluoksnis ir jungiamieji elementai, be to, kad atlaiko savąjį svorį, turi ir kitas funkcijas. Oro tarpas neleidžia vandeniui per kapiliarus patekti į vidinį mūro sluoksnį, tačiau turi įtakos vandens pasišalinimui kapiliarais iš išorinio mūro sluoksnio, esant sausoms oro sąlygoms. (6). Išorinė trisluoksnė mūro sienos konstrukcija pavaizduota žemiau pateiktame paveikslėlyje (1.1 pav.).



1.1 pav. Trisluoksnė mūro siena (6)

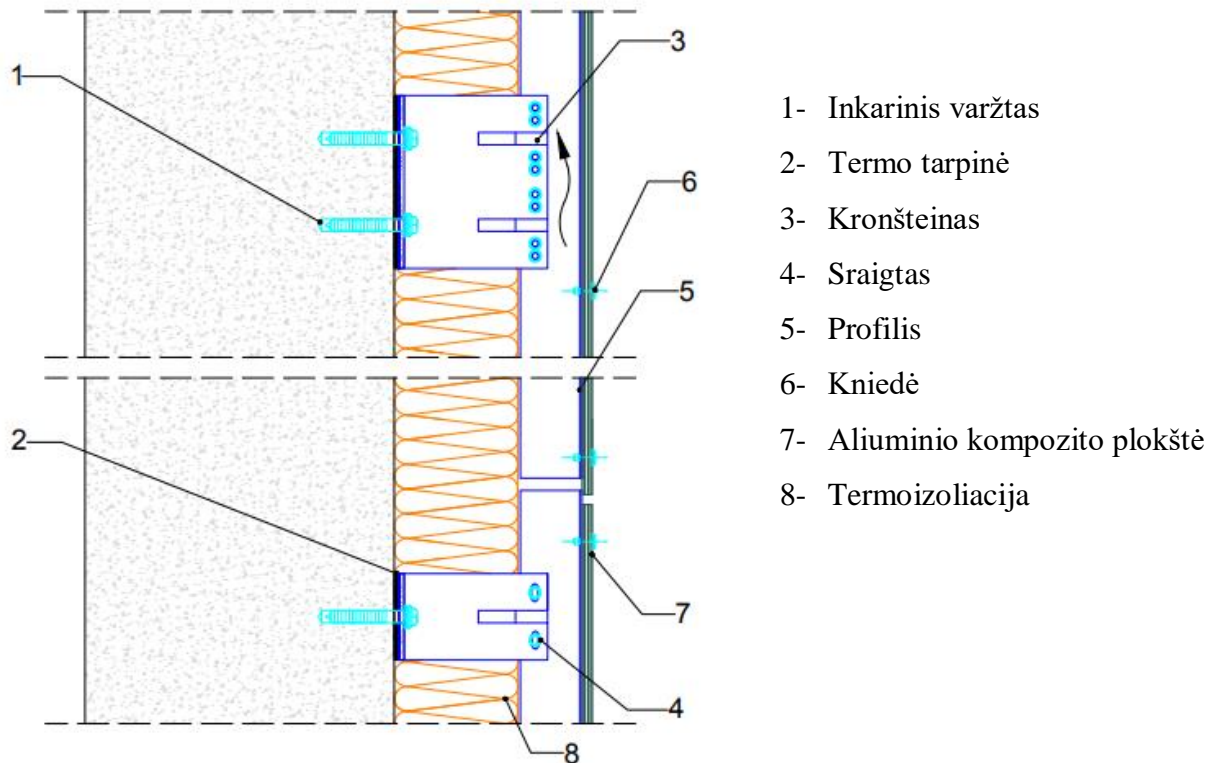
Vėdinamas fasadas su dailylenčių apdaila. Polistireninio putplasčio ar akmens vatos plokštės gali būti panaudotos termoizoliacijai. Vėdinamo fasado įrengimas pradedamas nuo laikančiojo karkaso įrengimo. Prie sienos vertikaliai tvirtinami karkaso tašai, tarp kurių klojamas pirmas termoizoliacijos sluoksnis (rekomenduojama tarp vertikalių medinių tašų ir mūro sienos įrengti hidroizoliacines juostas). Tuomet montuojami skersiniai (horizontalūs) tašai, tarp kurių klojamas kitas termoizoliacijos sluoksnis. Jeigu termoizoliacijai naudojamas polistireninis putplastis, vėjo izoliacijos naudoti nereikia. Kai termoizoliacijai naudojama akmens vata, ją būtina apsaugoti nuo vėjo. Apsaugant akmens vatą nuo vėjo galima naudoti vėjo izoliacines plokštes arba vėjo izoliacinę plėvelę. Taip pat dar reikalinga įrengti

papildomus vertikalius tašus, kurie suformuoja vėdinamą oro tarpą. Apdailai gali būti panaudotos medinės, plastikinės, fibrocementinės ir kitokios apdailinės medžiagos (22). Žemiau pateikta vėdinamo fasado konstrukcija, kai fasado apdailai naudojamos medinės dailylentės (žr. 1.2 pav.).



1.2 pav. Vėdinamas fasadas su medinių dailylenčių apdaila (22)

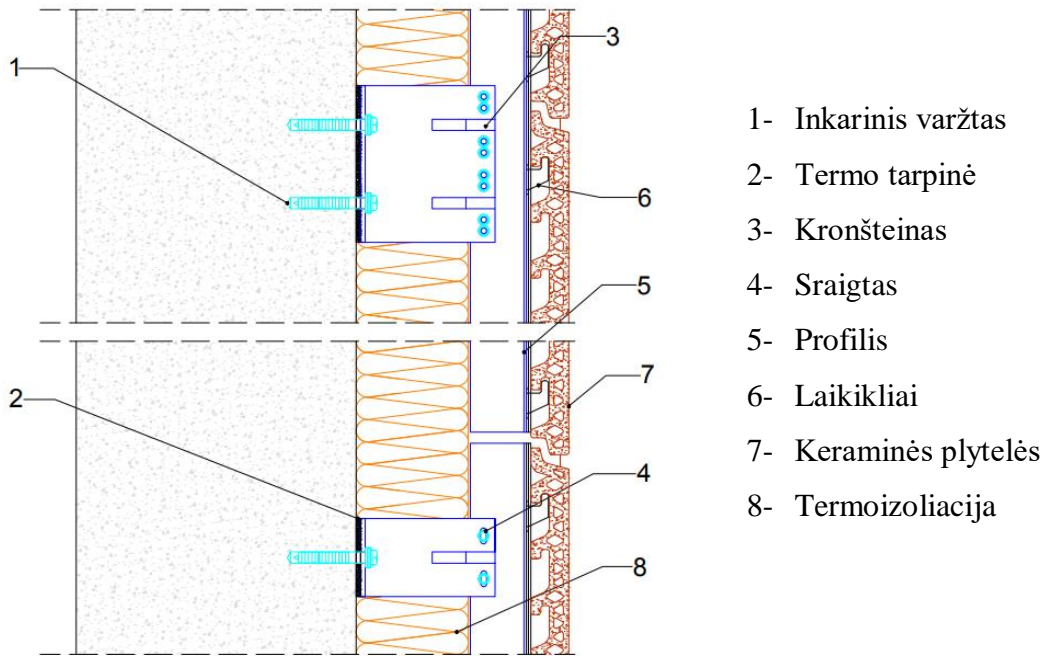
Vėdinamas fasadas su aliuminio kompozito plokščių apdaila. Aliuminio kompozitinės plokštės sudarytos iš dviejų aliuminio lakštų ir plastiko užpildo. Plastiko užpildas yra tarp dviejų aliuminio lakštų. Pagrindinis šios apdailinės medžiagos privalumas yra tai, kad aliuminio lakštų ir plastiko užpildo derinys leidžia plokštėms pasiekti didelį atsparumą ir standumą, tačiau kartu šios plokštės išlieka lanksčios. Iš jų galima išgauti įvairias formas (27). Vėdinamo fasado konstrukcija su aliuminio kompozito plokščių apdaila pateikta žemiau (žr. 1.3 pav.).



1.3 pav. Vėdinamas fasadas su aliuminio kompozito plokščių apdaila (35)

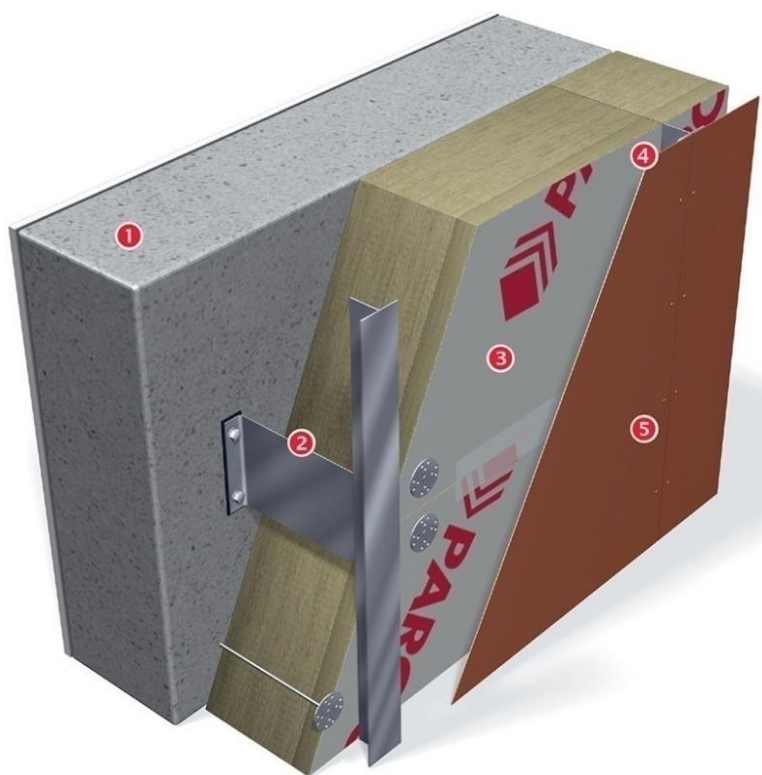
Vėdinamas fasadas su keraminių plytelių apdaila. TONALITY – viena iš galimų keraminių plytelių fasado apdailų. Ši apdaila yra patvari, nedegi, atspari vandeniui, kenkėjams.

Keraminių fasado plytelių pagrindinė sudedamoji dalis yra natūralus molis. Molis malamas, džiovinamas ir sandėliuojamas saugyklose. Į paruoštą molį yra įmaišoma vandens, kad būtų pasiektas tinkamas mišinio plastiškumas. Toliau masė yra spaudžiama į specialius formavimo įtenginius, kuriuose produktas įgauna reikiamą formą. Tuomet plytelių masė supjaustama reikiamais ilgiais ir džiovinama. Po to plytelės deginamos krosnyje, įkaitintoje virš 1200 °C. Išdegtos plytelės atvėsina ir vizualiai bei atsitiktinai atlieka produkto testus patikrinama plytelių kokybė. Jei kokybė atitinka reikalavimus, plyteles galima tiekti į prekybą (31). Toliau pateikta vėdinamo fasado konstrukcija su keraminių plytelių apdaila (žr. 1.4 pav.).



1.4 pav. Vėdinamas fasadas su keraminių plytelių apdaila (35)

Vėdinamas fasadas su pluoštinio cemento plokščių apdaila. Vienas iš pluoštinio cemento plokščių gamybos būdų gali būti pasitelkiant „Hatschek“ procesą. Mišinio pagrindas gali būti sudarytas iš cemento, smėlio, celiuliozės ir vandens (jeigu plokštės apdorojamos autoklave) arba cemento, sintetinių plaušų, kalkių, ir vandens (jeigu brandinamos ore). Minėtos medžiagos sumaišomos ir gaunamas skystas mišinys. Tada mišinys keliauja į „Hatschek“ mašiną, kuriame įrengti keli besisukantys, filtruojantys cilindrai. Cilindrai skirti surinkti kietąsias daleles ir pašalinti dalį vandens. Besisukanti medžiaginė juosta liečia cilindrų paviršius ir surenka kietąsias daleles iš kiekvieno cilindro. Taip gaunamas plonas pluoštinio cemento sluoksnis. Tada susidaręs sluoksnis keliauja per vakuuminį vandens ištraukimo įtaisą, pašalinančius didžiąją dalį vandens. Besisukanti juosta drėgną pluoštinio cemento sluoksnį neša ant formuojančio būgno. Ant būgno sluoksniai nešami tol, kol gaunamas reikiamas medžiagos storis. Susidarius reikiamo storio lakštui, įsijungia būgne įmontuotas automatinis pjovimo įtaisas. Nupjauta nauja žaliavinė plokštė keliauja ant konvejerio, kuris ją atgabena prie plokščių paletės. Ant paletės žaliavinės plokštės kraunamos jas perskiriant plieno lakštais. Taip sudėtos plokštės keliauja į presą, kur yra slegiamos 12 000 tonų slėgiu. Suspaustos plokštės tampa itin tankios. Pasibaigus šiam procesui, plokštės sutvirtinamos dviem būdais – brandinamos ore arba autoklave. Gaunamas produktas toliau gali būti dažomas ar kitaip užbaigiamas. Pluoštinio cemento plokštės pasižymi atsparumu saulės šviesai, pelėsiui, įvairiems atmosferos poveikiams, jos yra tvirtos ir lengvos (8). Vėdinamo fasado konstrukcija su pluoštinio cemento apdaila pateikta žemiau (žr. 1.5 pav.).



1. Laikančioji siena
2. Laikantysis karkasas.
3. Šilumos izoliacija.
4. Oro tarpas arba ertmė.
5. Pluoštinio cemento plokštė.

1.5 pav. Vėdinamo fasado konstrukcija su pluoštinio cemento apdaila (10)

1.3. Pastatų fasadus veikiantys faktoriai

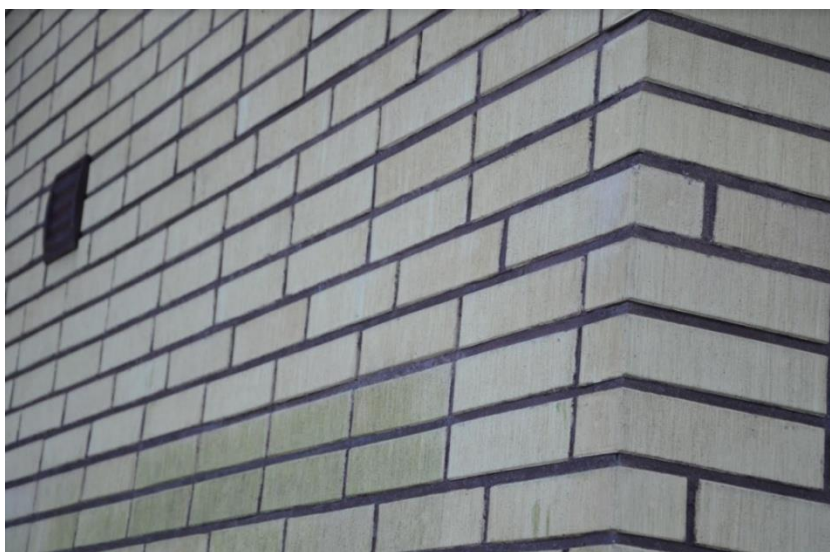
Krituliai. Lietaus vandens skverbimasis per sienas gali pakenkti pastato konstrukcijoms. Metalinių mūro ryšių korozija, kristalų susidarymas ant mūro, vidaus apdailos apgadinimas ir dėmės – tik keletas problemų, susijusių su nesukontroliuotu lietaus vandeniu. Be to, prasiskverbęs vanduo taip pat gali paveikti vidaus patalpų išvaizdą, funkciją ir komfortą sukeldamas veiksnys, dėl kurių asmenys, esantys patalpoje, sutrinka (sumažėja produktyvumas), nuomininkas ar nuomoto biuro, komercinių patalpų valdytojas patiria nuostolių, o patalpų vertė rinkoje, tikėtina, sumažėja. Tinkamas lietaus vandens skverbimosi suvaldymas lengviau ir pigiau pasiekiamas projektavimo ir statybos metu nei vėliau, kai pastatas jau naudojamas. (3;21;29).

Žinoma, kad vandens užsilaikymas ant įvairių paviršių yra pagrindinis veiksnys, skatinantis pastato konstrukcijų ir dangos trūkinėjimą bei eroziją. Vanduo įsiskverbia į poras, įtrūkimus ir medžiagose sukelia mechaninius įtempimus, kai vanduo šaldamas plečiasi arba kai vyksta hidratacija, po kurios kristalizuojasi druskos (23).

Samanojimas. Daugelis fasadų, kurių termoizoliacinė medžiaga padengta plonu tinko sluoksniu, turi samanų / grybelių augimo problemų. Sanne Johansson, Lars Wadsö, Kenneth Sandin 20 mėnesių stebėjo pastatų fasadų paviršiaus temperatūrą ir paviršiaus santykinę drėgmę. Pastatų fasadai turėjo skirtingas paviršiaus spalvas, buvo skirtingai orientuoti pasaulio šalių atžvilgiu, skyrėsi jų konstrukcijos, šiluminė inercija. Tyrėjų rezultatai parodė, kad termoizoliacija su plonu tinko sluoksniu turi žymiai aukštesnį paviršiaus drėgnį palyginti su fasadų konstrukcijomis, turinčiomis aukštesnę šiluminę inerciją, todėl jie turi didesnę samanų / grybelių augimo pavojų. Spalva labiausiai daro įtaką paviršiaus drėgmės lygiui pietų pusėje esantiems fasadams (šiauriniame pusrutulyje), nes tamsesni paviršiai sugeria daugiau saulės spindulių ir todėl turi aukštesnę vidutinę temperatūrą. Šiaurinėje pusėje esančiam fasadui daugiausia įtakos turi šiluminė inercija. Nuo šiluminės inercijos priklauso drėgmės lygis ir samanų / grybelių augimas. (13).

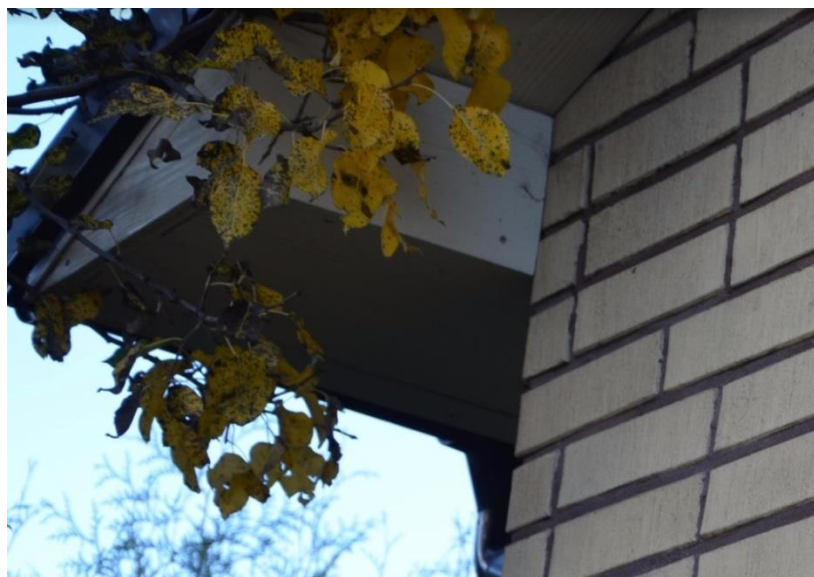
Samanų susiformavimui turi būti palankios sąlygos. Santykinis drėgnis ant paviršiaus turėtų būti didesnis už kritinę vertę, o paviršiaus temperatūra turėtų būti palanki ir šių mikroorganizmų augimui. Kuo ilgesnį laikotarpį santykinis drėgnis viršija kritinę vertę, tuo samanų paplitimas yra didesnis ir tuo labiau problema yra matoma. Kuo didesnis santykinis drėgnumas ar temperatūra, tuo trumpesnis kolonijų susikūrimo laikas. Santykinis paviršiaus drėgnis priklauso nuo drėgmės kiekio medžiagoje, medžiagos savybių, aplinkos drėgminių sąlygų ir oro temperatūros. Sunku nustatyti priklausomybę tarp santykinio paviršiaus drėgnio ir samanų plitimo lygio, nes santykiniai paviršiaus drėgniui įtaką daro keletas faktorių. Dėl šios priežasties sunku nustatyti priklausomybę tarp santykinio paviršiaus drėgnio ir samanų plitimo lygio (23).

Ventiliuojamo fasado dangų palyginimui pateikiamos 2004 metais įrengto karkasinio priestato su išoriniu klinkerinių plytų mūru nuotraukos. Pastatas yra minimaliu (3 m) atstumu nuo sklypo ribos, o greta praeina neasfaltuota gyvenvietės gatvė, už kurios aktyviai vykdoma ūkinė veikla: dirbamos žemės plotas užsėjamas, kelis kartus per sezoną purškiamas įvairiomis medžiagomis, nuimamas derlius. Pietinis ir vakarinis fasadai užstoti nuo intensyvaus poveikio aukšta (~ 2 m) tujų gyvatvore. Šiaurinis fasadas lieka atviras (šioje vietoje yra įvažiavimas į sklypą). Plytų paviršius pradėjęs žaliuoti, mūras praradęs pradinę estetiką ir reikalauja valymo (žr. 1.6 pav.).



1.6 pav. Mūras pradėjęs žaliuoti

Priestato karnizai tais pačiais metais buvo apkalti Eternit Cedral cementinėmis lentomis. Šio dangos eksploatacinės savybės visuose trijuose fasaduose iš esmės nepakito (žr. 1.7 pav.).



1.7 pav. Cedral karnyzo vaizdas

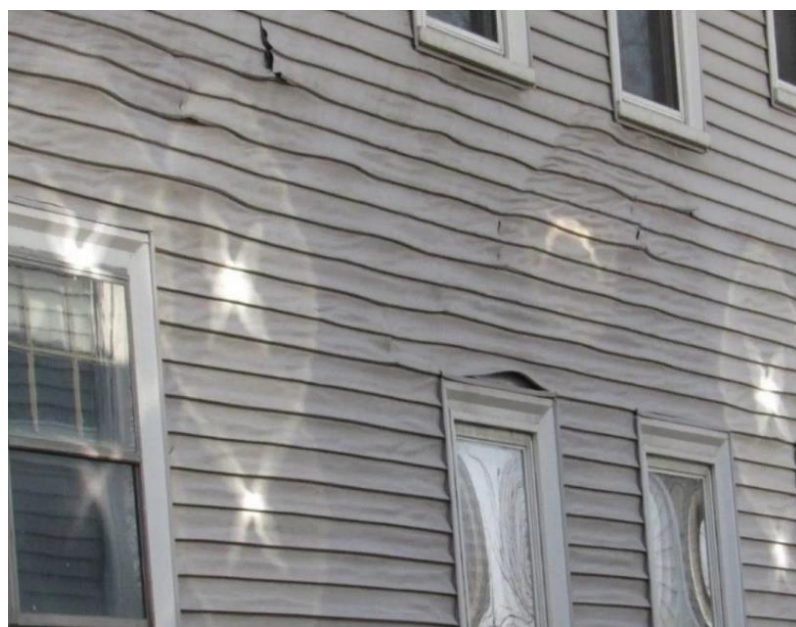
Saulės radiacija. Sintetiniai polimerai, tokie kaip plastikai, taip pat natūraliai atsirandančios polimerinės medžiagos, tokios kaip mediena, yra plačiai naudojamos pastatų statyboje ar kitaip pritaikomos lauko aplinkoje, kurioje medžiagos yra veikiamos saulės spindulių. Žinoma, kad ultravioletiniai saulės spinduliai neigiamai veikia medžiagų mechanines savybes, trumpina medžiagų

tarnavimo laiką. Ultravioletinių spindulių poveikio sumažinimui ir medžiagų tarnavimo laiko prailginimui yra naudojami stabilizatoriai plastiko produktams ir įvairūs padengimai medienos produktams (2;15).

Įvairių polimerinių medžiagų spalva blunka, kai medžiagos paviršius yra veikiamas ultravioletiniais spinduliais – tai daro įtaką estetinei išvaizdai. Taip pat ultravioletiniai spinduliai neigiamai veikia medžiagų mechanines savybes. Dažniausiai spalva pasikeičia dėl cheminių pokyčių polimero struktūroje, todėl polimeras tampa geltonesnis arba tamsesnis. Kitas neigiamas oro sąlygų poveikis yra vandens ir UV spinduliavimo derinys, kuris gali sukelti tam tikrų tipų polimerų paviršiaus eroziją ir išblukimą. Kai polimeras veikiamas UV spinduliuote, susidaro nedideli fragmentai, kurie nuo paviršiaus nuplaunami lietaus vandens ar kitų drėgmės šaltinių. Tai atskleidžia pigmentus ir užpildus, o polimerų paviršius atrodo nubalęs. Kadangi šis procesas tęsiasi toliau, sunykus paviršiui pradeda nykti ir pagrindinis polimerų sluoksnis, kuris stipriai veikia estetinę statybinio produkto išvaizdą (14).

UV spinduliuotė veikia daugelio medžiagų patvarumą. Spalva blunka, plastikinės medžiagos gali tapti trapios, mediena juda ir kraiposi, o plėtimasis ir traukimas nuo šildymo ir vėsavimo sukelia įtempius daugeliui medžiagų, todėl turi būti atsižvelgiama į UV spinduliuotės poveikį per visą pastato gyvavimo laikotarpį (26;30).

Dėl saulės šviesos taip pat galimas fasado apdailinės medžiagos deformavimas. Plastikinis fasadas gali deformuotis nuo aukštos temperatūros. Atsispindėjusi šviesa nuo kaimyninio pastato langų buvo sukoncentruota, todėl temperatūra tapo aukštesnė nei įprastomis sąlygomis. Dėl to fasadas su plastikinėmis dailylentėmis pradėjo deformuotis. Nuotrauka pateikta žemiau (žr. 1.8 pav.) (9).



1.8 pav. Deformuotos plastikinės dailylentės (9)

Grafičiai. Grafičiai dažniausiai matomi lengvai prieinamose viešose vietose: ant įvairių mokymo įstaigų sienų, mokyklų, viešųjų ir privačių pastatų, sunkvežimių, traukinių. Grafičiai yra dar problemiškesnis reiškinys atvirose vietose, tokiose kaip atraminės sienutės, tiltų atramos, kelio garso barjerai, pastatų fasadai ir įvairios struktūros parke, kurių pagrindinė paskirtis – padaryti parkų aplinką estetiškai gražesne (32).

Taikomi grafičių šalinimo metodai nuo paviršių, kurie dažnai yra brangūs: smėlio, smėlio ir vandens mišinio ar vandens pūtimas naudojant aukštą slėgį. Šie metodai dažnai apima ir tolesnį paviršiaus perdažymą, kad būtų atkurta jo estetinė išvaizda, nes paviršių valymas naudojant aukštą slėgį padaro paviršių akytą ir grubų. Priklausomai nuo paviršiaus tipo, tokie valymo metodai gali turėti žalingą poveikį paviršiui. Šie metodai gali išėsdinti, palikti žymę ant paviršiaus, taip sukuriant tam tikrą poringumo laipsnį. Tuomet pakartotinai uždažyti grafičiai ant poringo paviršiaus laikosi dar geriau. Taip pat valymas naudojant smėlį gali išskirti potencialiai kancerogenines ir silicio daleles į orą. Be to, tokie metodai negali būti naudojami polikarbonatui, akrilui, organiniam stiklui, stiklui ir tam tikriems plastikiniams paviršiams (32).

Paviršių nykimas nuo vandalizmo, taršos ar pernelyg didelio purvo yra dažniausiai nepigiai atsieinanti problema. Šių žymenų pašalinimas dažnai reiškia visišką paviršių pakeitimą ar brangiai kainuojantį paviršiaus valymą ir jo atnaujinimo procedūrą (5).

Grafičiai yra viena iš labiausiai paplitusių problemų, su kuria susiduria būsto, viešojo transporto ir visuomeninių pastatų prižiūrėtojai. Dažnu atveju tik smėliavimas ar paviršiaus perdažymas gali pašalinti grafičius. Įprasti „menininko“ įrankiai yra purškiami dažai, šratinukai, makiažas ir dažniausiai flomasteriai. Tai labai įvairūs žymekliai su labai skirtingomis tirpiklių sistemomis, kurie gali įvairiai paveikti valomą paviršių (5).

Apžvelgus pastatų fasadus veikiančius faktorius pastebima, kad didžiausią neigiamą įtaką fasado apdailos sluoksniui daro saulės radiacija ir krituliai.

2. VĒDINAMŲ FASADŲ SISTEMŲ APDAILINIO SLUOKSNIO DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ

Atliekant vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinę analizę taikomas kompleksinis kriterijų reikšmingumų nustatymo metodas. Pasitelkiant metodą galima tarpusavyje suderinti ir palyginti skirtingų produktų kiekybinių ir kokybinių kriterijų visumą. Tai leidžia objektyviai įvertinti ir pasirinkti racionaliausią variantą iš kelių galimų (36).

2.1. Daugiakriterinės analizės metodas

Metodo algoritmą sudaro 10 etapų:

1 etapas. Pirmuoju etapu nustatoma kiekvieno kiekybinio kriterijaus reikšmių suma:

$$S_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; \quad (2.1)$$

čia: x_{ij} – i kriterijaus reikšmė j sprendimo variantu; m – kriterijų skaičius; n – lyginamų variantų skaičius.

2 etapas. Antruoju etapu skaičiuojama kiekybinių kriterijų reikšmių suma pagal formulę:

$$V = \sum_{i=1}^k S_i; i = \overline{1, m}. \quad (2.2)$$

3 etapas. Trečiuoju etapu skaičiuojamas kiekvieno kiekybinio kriterijaus reikšmingumas pagal formulę:

$$q_i = \frac{P_i}{V}; i = \overline{1, m}. \quad (2.3)$$

4 etapas. Ketvirtuoju etapu derinant tarpusavyje kiekybinių ir kokybinių kriterijų reikšmingumus reikalinga pasirinkti lyginamąjį etaloną - E. Etalonas skirtas kiekybinių ir kokybinių kriterijų suderinimui.

5 etapas. Penktuoju etapu ekspertiniais metodais nustatomi produktų kokybinių kriterijų pradiniai reikšmingumai, kur reikšmė žymima p_i .

6 etapas. Šeštuoju etapu kiekvieno kokybinio kriterijaus reikšmingumas nustatomas pagal formulę:

$$q_i = p_i \cdot E; i = k + 1, \dots, m. \quad (2.4)$$

Variantų daugiakriterinis palyginimas atliekamas 7-10 etapais. Nustačius pradinis kiekybinių ir kokybinių kriterijų reikšmingumus, apskaičiuojamas lyginamų variantų prioritetiškumas ir naudingumo laipsnis taikant daugiakriterinės analizės metodą. Šis metodas pritaikomas vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio palyginimui (36).

Prioritetiškumas ir naudingumo laipsnis tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo skirtingų produktus apibūdinančių kriterijų, jų reikšmių ir reikšmingumų. Nagrinėjamų produktų alternatyvų reikšmingumas ir prioritetiškumas skaičiuojami 7–10 etapais.

7 etapas. Šio etapo tikslas – iš lyginamųjų rodiklių gauti rodiklius, kurie būtų bedimensiniai. Lyginami kriterijai yra skirtingi ir turi įvairius matavimo vienetus, kurių tiesiogiai palyginti negalima. Normalizuojant kriterijus jie išreiškiami bedimensiniais dydžiais. Tuomet juos galima palyginti. Kriterijų normalizuota reikšmė apskaičiuojama pagal formulę:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; \quad (2.5)$$

čia: x_{ij} – i kriterijaus reikšmė j sprendimo variantu; m – kriterijų skaičius; n – lyginamų variantų skaičius; q_i – i kriterijaus reikšmingumas.

Kiekvieno kriterijaus x_i gautų bedimensių įvertintų reikšmių d_{ij} suma visada lygi šio kriterijaus reikšmingumui q_i , nes kiekvieno kriterijaus reikšmingumo q_i reikšmė proporcingai paskirstoma visiems alternatyviems variantams a_j , atsižvelgiant į jų reikšmes x_{ij} :

$$q_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.6)$$

8 etapas. Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių (jų mažesnė reikšmė yra geresnė) S_{-j} ir maksimizuojančių (didesnė jų reikšmė yra geresnė) S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal šias formules:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^k d_{+ij}; \quad (2.7)$$

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^k d_{-ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.8)$$

9 etapas. Atsižvelgiant į produktus apibūdinančias teigiamas S_{+j} ir neigiamas S_{-j} savybes nustatomas lyginamų variantų santykinis reikšmingumas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{S_{-\min}}{S_{-j}}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.9)$$

čia $S_{-\min}$ – mažiausia minimizuojančių įvertintų normalizuotų rodiklių suma.

10 etapas. Šiuo etapu nustatome produktų naudingumo laipsnį N_j . Procentiškai įvertiname, kiek kitos alternatyvos priartėjus prie racionaliausio pasirinkimo. Racionaliausias variantas įvertinamas 100 % t.y. jo naudingumo laipsnis yra 100%, o kitų nagrinėjamų produktų naudingumo laipsnis mažesnis ir nustatomas pagal tokią formulę:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} \cdot 100\% . \quad (2.10)$$

2.2. Analizuojamų kriterijų apibūdinimas

Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinei analizei atlikti buvo pasirinkti 7 kriterijai: lenkiamasis stipris, masė, drėgminis plėtimosi koeficientas, šiluminis plėtimosi koeficientas, degumo klasė, spalvos pastovumas, kaina. Pasirinkti kriterijai yra kiekybiniai ir kokybiniai. Viso pasirinkti 2 kiekybiniai ir 5 kokybiniai kriterijai. Toliau pateikiami kriterijų apibūdinimai.

Lenkiamasis stipris.

Šio kriterijaus mato vienetas – N/mm². Lenkiamojo stiprio reikšmė – maksimizuojanti. Kuo didesnė lenkiamojo stiprio reikšmė, tuo apdailos medžiaga atsparesnė lenkimui. T.y. reikalinga didesnė jėga, kad apdailinė medžiaga suirtų nuo lenkimo. Apdailinės medžiagos lenkimas eksploatacijos metu gali susidaryti keliais atvejais: dėl vėjo apkrovos, žmonių veiklos, dėl pritvirtintų įvairių elementų ant apdailinės medžiagos ir kt.

Dėl vėjo siurbimo ar spaudimo atsiranda apdailinės medžiagos lenkimas. Tai labiau aktualu aukštuminiams pastatams ir pajūrio zonose esantiems pastatams. Vėjo apkrova aukštyje ir pajūro zonose yra didesnė nei nedideliame aukštyje ar vietose labiau nutolusiose nuo pajūrio zonų. Tarpų dydis tarp atraminės laikančiosios konstrukcijos ir tvirtinimo elementų kiekis apdailos tvirtinimui turi būti paskaičiuotas įvertinant vėjo apkrovą ir lenkiamąjį medžiagos stiprį ir apdailos storį. Esant dideliame apdailos lenkiamajam stipriui, galima naudoti plonesnes apdailines medžiagas.

Apkrovos, galimai atsirandančios dėl žmonių veiklos, turėtų būti įvertintos tokiose vietose, kur yra didesnis žmonių srautas: savivaldybės pastatuose, mokyklose, prekybos centruose, universitetuose, pastatuose šalia sporto aikštelių ir kt. Tai yra viešos vietos, kuriose gali susidaryti didesnis žmonių srautas ar aktyvesnė žmonių veikla. Medžiagos, turinčios didesnę lenkiamąją stiprį, minėtose vietose yra efektyvesnės, nes reikalinga didesnė jėga jas deformuoti ar suardyti. Jei apdailinės medžiagos lenkiamojo stiprio reikšmė žema, gali būti reikalinga panaudoti tankesnę atraminę konstrukciją ar storesnes apdailos medžiagas.

Apdailinės medžiagos lenkimas taip pat gali susidaryti dėl pritvirtintų įvairių elementų: vėliavų laikiklių su vėliava, reklaminių iškabų ar kt. Apdailinės medžiagos nėra skirtos laikyti papildomiems svoriams. Šiam tikslui turėtų būti įrengta papildoma laikančioji konstrukcija.

Apdailiniams elementams, kurių vienas matmuo daug didesnis (pvz., lentos), deklaruojama tik viena lenkiamojo stiprio reikšmė. Elementams, kurie savo forma artimi kvadratui, dažnai nurodomas lenkiamasis stipris dviem statmenomis kryptimis. Pagal standartą (20) bandiniai gali būti, tiek kvadrato, tiek stačiakampio formos. Rekomenduojami bandinių matmenys yra 250 mm × 250 mm. Rekomenduojamas tarpas yra 200 mm. Vienas bandymas atliekamas šlapiomis sąlygomis: 20 mm ir plonesni bandiniai pamerkiami 24 valandoms, o storesni – 48 valandos. Kitas bandymas atliekamas palaikius bandynius laboratorijoje nuo 7 iki 14 parų.

Masė

Šio kriterijaus mato vienetas – kg/m². Masės reikšmė – minimizuojanti. Masė įprastai skaičiuojama kilogramais, tačiau vėdinamo fasado apdailinei medžiagai aktuali 1 kvadratinio metro masė, nes šios medžiagos dažnai plokštinės ir svarbi medžiagos masė, norint įvertinti apkrovą ir suprojektuoti laikančiąją konstrukciją. Masė taip pat aktuali statybos metu. Esant didelei apdailos masei, gali būti reikalinga papildoma įranga apdailinei medžiagai pasikelti į aukštį ir išlaikyti, kol ji bus pritvirtinta prie fasado. Dėl šios priežasties gali išaugti statybos darbų kaina, taip pat statybininkams atsiranda papildoma rizika fiziškai susižeisti dirbant su sunkiomis medžiagomis.

Drėgminis plėtimosi koeficientas

Šio kriterijaus mato vienetas - mm/m. Koeficientas nurodo, kiek medžiagos metras gali pailgėti milimetrais nuo drėgmės poveikio. Drėgminio plėtimosi koeficiento reikšmė – minimizuojanti. Fasadas yra veikiamas oro sąlygų, jis sąveikauja su drėgme esančia ore ar iškrintančiais krituliais lietaus metu. Svarbu atsižvelgti į apdailinės medžiagos drėgminį plėtimosį koeficientą. Reikalinga palikti deformacines

siūles, kurios kompensuotų drėgminį apdailos plėtimą. Jei apdailinė medžiaga įgers drėgmės ir nebus paliktas reikiamas tarpas deformacijoms, gali atsirasti apdailinės medžiagos nepageidaujamos deformacijos (apdailinės medžiagos išsiritimas, bangavimasis). Tai gali pakenkti estetiniam fasado vaizdui bei apdailinės medžiagos kokybei.

Nustatant drėgminį plėtimosi koeficientą (19), bandomos sveikos plytelės. Jei sveikos plytelės netelpa į matavimo rėmą, iš kiekvienos plytelės turi būti išpjauamas bandinys, kurio ilgis ne mažesnis kaip 100 mm, plotis ne mažesnis kaip 35 mm, o storis kaip ir plytelių. Bandiniai kaitinami krosnyje, keliant temperatūrą 150 °C/h greičiu ir 2 h laikant 550 ± 15 °C temperatūroje. Bandiniai krosnyje aušinami iki 70 ± 10 °C temperatūros, išimami ir laikomi eksikatoriuje laboratorijos patalpos temperatūroje nuo 24 h iki 32 h. Jeigu kelios plytelės įtrūksta, lėčiau iškaitinamos naujos plytelės. Pradinis kiekvieno bandinio ilgis nustatomas 0,5 mm tikslumu. Sekančiame etape bandiniai be pertrūkio 24 h laikomi verdančiame dejonizuotame ar distiliuotame vandenyje. Virš bandinių turi būti ne mažesnis kaip 5 cm vandens sluoksnis. Jie negali liestis su indu ar tarpusavyje. Išimti ir ataušinti iki laboratorijos patalpos temperatūros bandiniai išmatuojami po 1 h ir dar kartą po 3 h.

Šiluminis plėtimosi koeficientas

Šio kriterijaus mato vienetas – mm/(m·K). Šiluminio plėtimosi koeficiento reikšmė – minimizuojanti. Koeficientas nurodo, kiek medžiagos metras deformuojasi milimetrais tamperatūrai pakitus 1 K. Šis koeficientas panašus į drėgminį plėtimosi koeficientą, nes deformacijos vyksta toje pačioje plokštumoje ir turi būti įvertintas kartu su juo. Reikalinga įrengti tinkamus tarpus deformacijoms, kad būtų kompensuotas temperatūrinis judėjimas. Nepalikus reikiamo tarpo, medžiagos gali pradėti keisti savo formą. Apdailinė medžiaga gali nepageidaujamai deformuotis: gali atsirasti apdailinės medžiagos išsiritimas, bangavimasis. Taip pat, neatsižvelgus į drėgminį plėtimą, galima pakenkti estetiniam fasado vaizdui bei apdailinės medžiagos kokybei.

Šiluminio plėtimosi koeficientas, pavyzdžiui keraminės plytelės (18), nustatomas visų pirma bandinį išdžiovinus prie 100 ± 5 °C iki pastovios masės, kol svorio pokytis 24 valandų bėgyje neviršija 0,1 %. Atvėsinus bandinį iki kambario temperatūros, jis išmatuojamas 0,002 ilgio dalies tikslumu. Bandinys šildomas, keliant temperatūrą 5 ± 1 °C/min greičiu, ir vėl matuojamas ne retesniais kaip 15 °C intervalais. Toliau pateikta nuotrauka, kurioje matomas akmens fasado plokštės išlinkimas, susidaręs dėl temperatūrinių svyravimų (žr. 2.1 pav.).



2.1 pav. Išlinkusi fasadinė akmenų plokštė (33)

Degumo klasė

Šis kriterijus skirstomas į klases. Aukščiausia klasė – A1, žemiausia klasė – F. Gaminiai, kurių degumo klasė A1 – nedegūs. Klasė A1 negali būti susieta su jokia kita klase. Klasės A2 gaminiai taip pat yra laikomi nedegiais, nes per juos nevyksta staigus liepsnos išplitimas. Klasės nuo A2 iki D yra papildomai žymimos pagal dūmų susidarymo indeksą s1, s2 ar s3 bei pagal liepsnos dalelių susidarymą d0, d1 ar d2 (pvz., A2-s1, d0). E klasė gali būti papildomai žymima tik d2 indeksu. F klasė nurodo, kad gaminyje nėra testuotas, neatitinka jokios klasės reikalavimų arba kad gamintojas nenurodė reakcijos į ugnį (degumo) parametrų. F klasė taip pat negali būti derinama su jokia kita klase. „L” subindeksas naudojamas nurodant vamzdinių izoliacijos europinę degumo klasę (pvz. A2L-s1, d0) (11). Kadangi degumo klasių reikšmės nėra išreikštos skaičiais, kiekvienai klasei reikalinga priskirti skaičių, kad būtų galima jas įvertinti taikant daugiakriterinį vertinimą. A1 klasė yra aukščiausia, todėl jai priskirta reikšmė

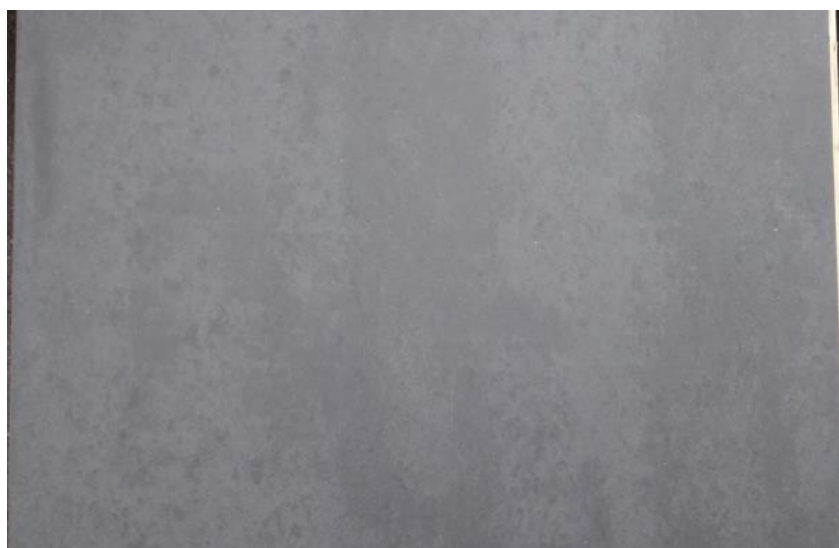
yra 1, F klasė yra žemiausia, todėl priskirta reikšmė – 7. Šis kriterijus – minimizuojantis. Visos klasės su priskirtomis reikšmėmis pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Degumo klasės su priskirtomis reikšmėmis

Degumo klasė	Priskirta reikšmė
A1	1
A2	2
B	3
C	4
D	5
E	6
F	7

Spalvos pastovumas

Šio kriterijaus mato vienetas - ΔE . Spalvos pastovumo kriterijaus reikšmė – minimizuojanti. Kuo šio kriterijaus reikšmė artimesnė 0, tuo produkto spalva pastovesnė, mažiau pastebimų spalvos skirtumų tarp tos pačios ar tarp skirtingų produkto gamybos partijų. Gali būti apdailinė medžiaga, kurios spalvos nepastovumas yra to produkto savybė, išskirtinumas. Tokiu atveju aukšta spalvos pastovumo reikšmė nebūtinai reiškia prastos kokybės produktą. Vienas iš pavyzdžių gali būti EQUITONE „Tectiva“ fasadinė pluoštinio cemento plokštė. Ji yra homogeninė, nepadengta jokių dažų sluoksniu, todėl turi natūralius paviršiaus spalvos skirtumus. Plokštės, turinčios aukštą spalvos pastovumo reikšmę, nuotrauka pateikta žemiau (žr. 2.1 pav.).



2.2 pav. Plokštė su aukšta spalvos pastovumo reikšme

Kaina

Šio kriterijaus mato vienetas – €/m². Kainos kriterijaus reikšmė – minimizuojanti. Kainoje nėra įtraukta tvirtinimo elementų, karkaso, darbo sąnaudų ar kt. vertė. Pateikta kaina parodo, kiek € kainuoja 1 m² apdailinės medžiagos. Perkant produktą norima, kad jis būtų kokybiškas, tačiau aukštos kokybės produktų kaina nėra žemiausia. Svarbu, kad būtų geras kainos ir kokybės santykis. Dažnai, kai perkami statybos produktai yra skelbiamas konkursas. Pateikiama kokius reikalavimus turi produktas atitikti ir statybinių medžiagų pardavėjai siūlo produktų kainas pagal iškeltus reikalavimus. Konkursą dažniausiai laimi mažiausią kainą pasiūlęs pardavėjas. Todėl žema kaina - svarbu.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Ekspertinis kriterijų vertinimas

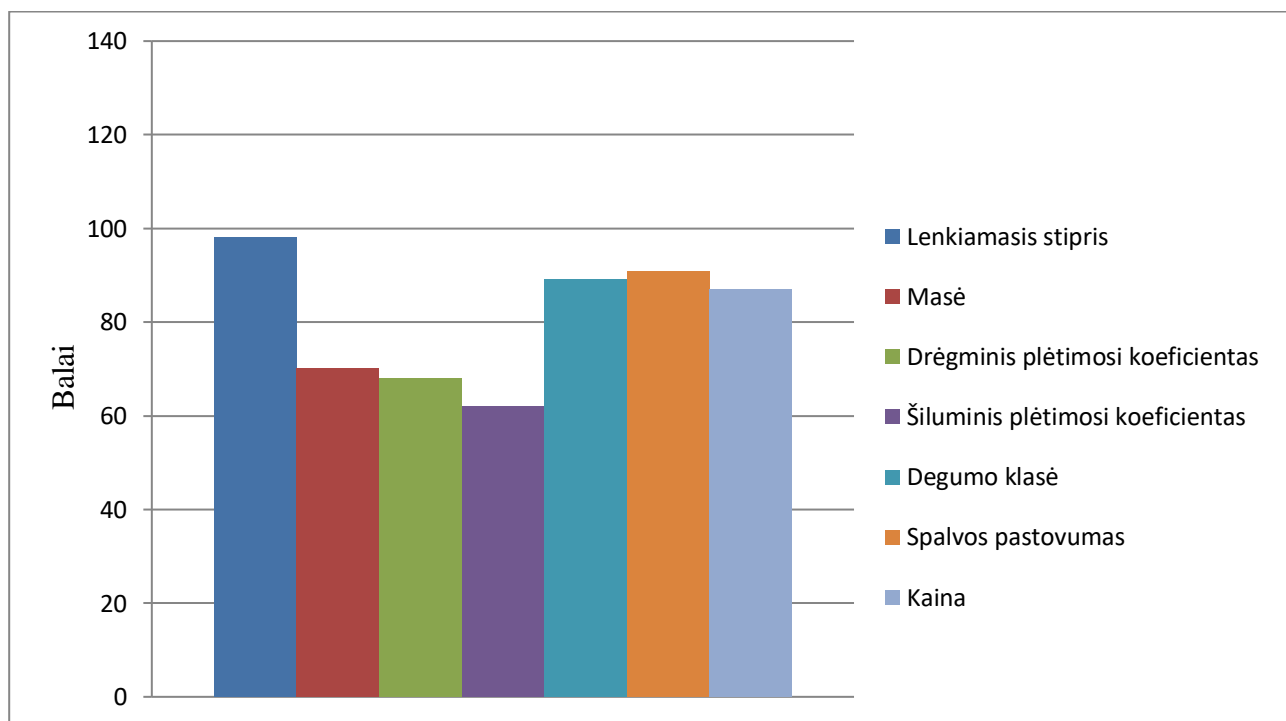
Ekspertinį kriterijų vertinimą atliko specialistai, dirbantys su fasadinėmis apdailos medžiagomis: projektuotojai, sąmatininkai, techniniai fasadinių produktų konsultantai. Buvo pateikti 7 kriterijai: lenkiamasis stipris, masė, drėgminis plėtimosi koeficientas, šiluminis plėtimosi koeficientas, degumo klasė, spalvos pastovumas, kaina. Ekspertai turėjo įvertinti kriterijus balais pagal svarbą. Didžiausią svarbą turintis kriterijus buvo vertinamas 7. Mažiausią svarbą turintis kriterijus buvo vertinamas 1. Viso buvo apklausta 20 ekspertų. Dalis apklausos buvo atlikta el. paštu, dalis – raštu. Ekspertų nuomonių 3.1 lentelė su kriterijų įvertinimais bei skritulinė kriterijų įvertinimo diagrama pateikta žemiau.

3.1 lentelė. Ekspertų nuomonės

Eksperto Nr.	Lenkiamasis stipris	Masė	Drėgminis plėtimosi koeficientas	Šiluminis plėtimosi koeficientas	Degumo klasė	Spalvos pastovumas	Kaina
1.	4	7	1	2	5	3	6
2.	7	2	6	5	4	1	3
3.	6	1	2	3	7	5	4
4.	4	1	3	2	5	7	6
5.	4	2	6	5	7	1	3
6.	6	3	2	1	7	5	4
7.	2	3	5	4	1	6	7
8.	7	5	4	3	6	2	1

Eksperto Nr.	Lenkiamasis stipris	Masė	Drėgminis plėtimosi koeficientas	Šiluminis plėtimosi koeficientas	Degumo klasė	Spalvos pastovumas	Kaina
9.	7	4	6	5	3	2	1
10.	5	2	4	3	1	7	6
11.	5	4	3	2	1	6	7
12.	5	6	3	2	6	7	4
13.	7	3	2	1	6	5	4
14.	6	4	1	2	3	7	5
15.	7	1	2	3	4	5	6
16.	4	6	3	2	7	5	1
17.	1	5	3	2	7	6	4
18.	4	2	5	6	7	1	3
19.	5	2	3	4	1	7	6
20.	2	7	4	5	1	3	6
Suma:	98	70	68	62	89	91	87

Didžiausias galimas balų skaičius vienam kriterijui - 140 balų. Aukščiausias stulpelis nurodo, kuris kriterijus pagal ekspertų nuomone yra svarbiausias, žemiausias stulpelis nurodo, kuris kriterijus mažiausiai svarbus. Šiuo atveju svarbiausias kriterijus – lenkiamasis stipris, mažiausiai svarbus – šiluminis plėtimosi koeficientas. Žemiau pateiktas kriterijų įvertinimo balais grafikas (žr. 3.1 pav.).



3.1 pav. Kriterijų įvertinimas balais

3.2. Kriterijų reikšmingumo nustatymas

Reikalinga nustatyti kiekybinių ir kokybinių kriterijų reikšmingumą, tai atliekama 1-6 metodo etapais. Pirmą nustatomi kiekybinių kriterijų reikšmingumai, po to kokybinių. Viso lyginamos 4-ios skirtingos apdailos medžiagos:

1. Aliuminio kompozitinės plokštės „Reynobond“ – produktas nr. 1. Šios plokštės sudarytos iš 2-jų aliuminio lakštų, kurie yra sujungti polietileno užpildu. Plokštės gaminamos 3;4;6 mm storio. „Reynobond“ plotis varijuoja nuo 1000 iki 2000 mm, o ilgis nuo 2000 iki 6050 mm. Plokštės lanksčios, lengvos, galima įsigyti įvairių spalvų su 7 skirtingais paviršiais. Pastato paveikslas su „Reynobond“ apdaila pateiktas žemiau (žr. 3.2 pav.).



3.2 pav. Fasadas su „Reynobond“ apdaila (27)

2. Pluoštinio cemento plokštės „Natura Pro“ – produktas nr. 2. Šių plokščių pagrindinė sudėtis: cementas, sintetiniai plaušai, kalkės. Jos gaminamos Vokietijoje pasitelkiant „Hatschek“ procesą. „Natura Pro“ gaminamos 8 ir 12 mm storio. Galimi plokštės matmenys: 1250x3100 mm ir 1250x2500 mm. Šios plokštės padengtos pusiau skaidriu dažų sluoksniu, kuris suteikia spalvą, bet palieka matomą pluoštinio cemento struktūrą. Produktas taip pat turi papildomą viršutinį sluoksnį, kuris suteikia ilgalaikę apsaugą nuo grafičio piešinių. Tikėtinas produkto naudojimo laikas siekia daugiau nei 50 metų (8) Pastato su „Natura Pro“ apdaila pateiktas žemiau (žr. 3.3 pav.).



3.3 pav. Fasadas su „Natura Pro“ apdaila (7)

3. Pluoštinio cemento dailylentės „Cedral“ – produktas nr. 3. Pagrindinė dailylenčių sudėtis: cementas, smėlis, celiuliozė. Jos gaminamos Belgijoje ir Lietuvoje pasitelkiant „Hatschek“ procesą. Šios dailylentės tiekiamos 2-jų skirtingų paviršių (medžio imitacinis ir lygus) ir 2-jų skirtingų tipų („Cedral Classic“ ir „Cedral Click“). „Cedral Classic“ matmenys – 3600x190x10 mm. „Cedral Click“ matmenys – 3600x186x12 mm. Dailylentės atsparios puvimui, kenkėjams, atšiaurioms sąlygoms. Tikėtinas produkto naudojimo laikas siekia daugiau nei 50 metų (4). Pastato paveikslas su „Cedral“ apdaila pateiktas 3.4 pav.



3.4 pav. Fasadas su „Cedral“ apdaila (4)

4. Keraminės plytelės „Tonality“ – produktas nr. 4. Šios keraminės plytelės gaminamos Vokietijoje pasitelkiant „Keralis“ procesą. Jas galima įsigyti 22 ir 26 mm storio. Jų plotis varijuoja nuo 150 iki 400 mm, o ilgis nuo 400 mm iki 1600 mm. Plytelės yra nedegios, atsparios šarmams ir kenkėjams, vandeniui, rūgštims. Dėl savo gamybos proceso plytelės įgauna apsaugą nuo graffiti piešinių visam gyvavimo laikotarpiui (31). Pastato paveikslas su „Tonality“ apdaila pateiktas žemiau (žr. 3.5 pav.).



3.5 pav. Fasadas su „Tonality“ apdaila (31)

Lyginamų vėdinamų fasadų sistemos apdailos produktų daugiakriteriniai analizei atlikti pateikiama sprendimų matrica (žr. 3.2 lentelę).

3.2 lentelė. Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio daugiakriterinės analizės sprendimų matrica

Nagrinėjami kriterijai	Min ar max	Mato vienetai	Reikšmingumas	Nagrinėjami produktai			
				1	2	3	4
1. Lenkiamasis stipris	Ž ₁	m ₁	q ₁	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
2. Masė	Ž ₂	m ₂	q ₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄
3. Drėgminis plėtimosi koeficientas	Ž ₃	m ₂	q ₁	X ₂₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄
4. Šiluminis plėtimosi koeficientas	Ž ₄	m ₂	q ₁	X ₂₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄
5. Degumo klasė	Ž ₅	m ₅	q ₅	X ₅₁	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄
6. Spalvos pastovumas	Ž ₆	m ₆	q ₆	X ₆₁	X ₆₂	X ₆₃	X ₆₄
7. Kaina	Ž ₇	m ₇	q ₇	X ₇₁	X ₇₂	X ₇₃	X ₇₄

Toliau pateikiamas skaičiavimo pavyzdys. Visi skaičiavimai atlikti su Microsoft Excel programa. Programoje yra suvestos formulės, kuriomis skirtingų produktų reikšmingumas ir naudingumo laipsnis gali būti perskaičiuojamas pakeitus produktų kriterijų reikšmes.

Daugiakriterinio vertinimo metodą sudaro 10 etapų:

1 etapas. Nustatoma kiekvieno kiekybinio kriterijaus reikšmių suma. Masė ir kaina yra priskirta prie kiekybinių kriterijų. Kriterijų reikšmių suma nustatoma pagal 2.1 formulę.

Tuomet masės kriterijaus reikšmių suma:

$$S_2 = \sum_{j=1}^4 x_{2j} = 7,46 + 15,4 + 19,3 + 30,5 = 72,66.$$

Kainos kriterijaus reikšmių suma:

$$S_7 = 40 + 33 + 22 + 35 = 130.$$

2 etapas. Kiekybinių kriterijų (masės, kainos) reikšmių suma skaičiuojama pagal 2.2 formulę.

Tuomet kiekybinių kriterijų reikšmių suma:

$$V = \sum_{i=1}^2 S_i = 72,66 + 130 = 202,66.$$

3 etapas. Kiekybinių kriterijų reikšmingumai nustatomi pagal 2.3 formulę.

Tuomet masės kriterijaus reikšmingumas:

$$q_2 = \frac{P_2}{V} = \frac{0,5 \cdot 72,66}{202,66} = 0,179.$$

Kainos kriterijaus reikšmingumas:

$$q_7 = \frac{1,0 \cdot 130,00}{202,66} = 0,641.$$

4 etapas. Derinant tarpusavyje skirtingus kriterijus pasirenkamas lyginamasis etalonas – E. Šiuo atveju lyginamuoju etalonu parenkamas kainos kriterijaus reikšmingumas:

$$E = q_7 = 0,641.$$

5 etapas. Ekspertiniais metodais yra nustatyti kokybinių kriterijų pradiniai reikšmingumai p_i . Pradinis kriterijaus reikšmingumas – santykis tarp surinktų kokybinio kriterijaus balų sumos ir didžiausio galimo kriterijaus balų skaičiaus. Pavyzdžiui:

$$p_1 = \frac{98}{140} = 0,700.$$

6 etapas. Kokybinių kriterijų reikšmingumai nustatomi pagal 2.4 formulę. Šiuo etapu tarpusavyje suderiname kiekybinių ir kokybinių kriterijų reikšmes, padaugindami kokybinių kriterijų reikšmingumą iš pasirinkto kiekybinio kriterijaus etalono. Tuomet lenkiamojo stiprio kriterijaus reikšmingumas:

$$q_1 = p_1 \cdot E = 0,700 \cdot 0,641 = 0,449.$$

Analogiškai skaičiuojame ir kitus kokybinių kriterijų reikšmingumus.

Žemiau pateikta 3.3 lentelė su apskaičiuotomis reikšmingumų reikšmėmis.

3.3 lentelė. Kriterijų reikšmingumai

Kriterijaus pavadinimas	Mato vnt.	Min ar max	Produktai				Skaičiavimai		
			1	2	3	4	Pradinis reikšmingumas p_i	Kiekybinių kriterijų suma S_i	Reikšmingumas q_i
1. Lenkiamasis stipris	kN/m ²	+	41,4	26,0	23,0	30,0	0,700	-	0,449
2. Masė	kg/m ²	-	7,46	15,4	19,3	30,5	0,500	72,66	0,179
3. Drėgminis plėtimosi koeficientas	mm/m	-	0,01	1,00	1,75	0,40	0,486	-	0,312
4. Šiluminis plėtimosi koeficientas	mm/(m·K)	-	0,024	0,01	0,01	0,004	0,443	-	0,284
5. Degumo klasė	klasės	-	3	2	2	1	0,636	-	0,408
6. Spalvos pastovumas	ΔE	-	10	2	1,2	5	0,650	-	0,417
7. Kaina	€/m ²	-	40,0	33,0	22,0	35,0	1,000	130	0,641

Apskaičiavus kiekybinių ir kokybinių kriterijų reikšmingumus kriterijai pagal reikšmingumą išsidelioja šia tvarka:

1. Kaina, $q_7 = 0,641$.
2. Lenkiamasis stipris, $q_1 = 0,449$.
3. Spalvos pastovumas, $q_6 = 0,417$.
4. Degumo klasė, $q_5 = 0,408$.
5. Drėgminis plėtimosi koeficientas, $q_3 = 0,312$.

6. Šiluminis plėtimosi koeficientas, $q_4 = 0,284$.

7. Masė, $q_2 = 0,179$.

3.3. Variantų daugiakriterinis palyginimas

Nagrinėjama produktų alternatyvų reikšmingumas ir prioritetiškumas skaičiuojami 7–10 etapais. Žemiau pateikta vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio normalizuota sprendimų matrica (žr. 3.4 lentelę).

3.4 lentelė. Vėdinamų fasadų sistemų apdailinio sluoksnio normalizuota sprendimų matrica

Kriterijaus pavadinimas	Mato vnt.	Min ar max	Reikšmingumas q_i	Produktas			
				1	2	3	4
1. Lenkiamasis stipris	kN/m ²	ž ₁	q_1	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}
2. Masė	kg/m ²	ž ₂	q_2	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}
3. Drėgminis plėtimosi koeficientas	mm/m	ž ₃	q_1	d_{21}	d_{32}	d_{33}	d_{34}
4. Šiluminis plėtimosi koeficientas	mm/(m·K)	ž ₄	q_1	d_{21}	d_{42}	d_{43}	d_{44}
5. Degumo klasė	klasės	ž ₅	q_5	d_{51}	d_{52}	d_{53}	d_{54}
6. Spalvos pastovumas	ΔE	ž ₆	q_6	d_{61}	d_{62}	d_{63}	d_{64}
7. Kaina	€/m ²	ž ₇	q_7	d_{71}	d_{72}	d_{73}	d_{74}
Maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma				S_{+1}	S_{+2}	S_{+3}	S_{+4}
Minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma				S_{-1}	S_{-2}	S_{-3}	S_{-4}
Produkto varianto reikšmingumas				Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
Produkto varianto prioritetiškumas				P_1	P_2	P_3	P_4
Produkto varianto naudingumo laipsnis				N_1	N_2	N_3	N_4

7 etapas. Šio etapo tikslas iš lyginamųjų rodiklių gauti rodiklius, kurie būtų bedimensiniai. Lyginami kriterijai yra skirtingi ir turi įvairius matavimo vienetus, kurių tiesiogiai palyginti negalima. Normalizuojant kriterijus, jie išreiškiami bedimensiniais dydžiais. Tuomet juos galima palyginti. Kriterijų normalizuota reikšmė apskaičiuojama pagal 2.5 formulę. Tuomet normalizuota reikšmė 1-ojo kriterijaus, 1-ajam produktui:

$$d_{11} = \frac{x_{11} \cdot q_1}{\sum_{j=1}^4 x_{1j}} = \frac{41,4 \cdot 0,449}{41,4 + 26 + 23 + 30} = 0,154.$$

Tada normalizuota reikšmė 1-ojo kriterijaus, 2-ajam produktui:

$$d_{12} = \frac{26 \cdot 0,449}{41,4 + 26 + 23 + 30} = 0,097.$$

Analogiškai skaičiuojamos ir kitos normalizuotos reikšmės.

8 etapas. Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių (jų mažesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui masė ar spalvos pastovumas) S_{-j} ir maksimizuojančių (didesnė jų reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui lenkiamasis stipris) S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal 2.6 (maksimizuojantis) ir 2.7 (minimizuojantis) formules.

Kadangi šiuo atveju iš visų kriterijų tik lenkiamasis stipris turi maksimizuojančią reikšmę, tai maksimizuojančių S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių suma yra lygi kiekvieno produkto normalizuotai lenkiamąjį stiprio kriterijaus reikšmei. Reikšmė skaičiuojama pagal 2.6 formulę:

$$S_{+1} = \sum_{i=1}^1 d_{+1i} = 0,154.$$

Tuomet kitos produktų maksimizuojančių rodiklių sumų reikšmės:

$$S_{+2} = d_{12} = 0,097;$$

$$S_{+3} = d_{13} = 0,086;$$

$$S_{+4} = d_{14} = 0,112.$$

Visi kiti kriterijai turi minimizuojančias reikšmes, tuomet minimizuojančių S_{-j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos skaičiuojamos pagal 2.7 formulę:

$$S_{-1} = \sum_{i=1}^4 d_{-1i} = 0,018 + 0,001 + 0,142 + 0,153 + 0,229 + 0,197 = 0,741.$$

Tuomet kitos minimizuojančių normalizuotų rodiklių sumos:

$$S_{-2} = 0,038 + 0,099 + 0,059 + 0,102 + 0,046 + 0,163 = 0,506;$$

$$S_{-3} = 0,048 + 0,173 + 0,059 + 0,102 + 0,027 + 0,109 = 0,517;$$

$$S_{-4} = 0,075 + 0,039 + 0,024 + 0,051 + 0,115 + 0,173 = 0,477.$$

9 etapas. Atsižvelgiant į produktus apibūdinančias teigiamas S_{+j} ir neigiamas S_{-j} savybes, nustatomas lyginamų variantų santykinis reikšmingumas pagal 3.8 formulę.

Tuomet 1-ojo produkto santykinis reikšmingumas:

$$Q_1 = S_{+1} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{j=1}^4 S_{-j}}{S_{-1} \cdot \sum_{j=1}^4 \frac{S_{-\min}}{S_{-j}}} = 0,154 + \frac{0,477 \cdot (0,741 + 0,506 + 0,517 + 0,477)}{0,741 \cdot \left(\frac{0,477}{0,741} + \frac{0,477}{0,506} + \frac{0,477}{0,517} + \frac{0,477}{0,477} \right)} = 0,566.$$

Analogiškai skaičiuojami ir kitų produktų santykiniai reikšmingumai:

$$Q_2 = 0,097 + \frac{0,477 \cdot (0,741 + 0,506 + 0,517 + 0,477)}{0,506 \cdot \left(\frac{0,477}{0,741} + \frac{0,477}{0,506} + \frac{0,477}{0,517} + \frac{0,477}{0,477} \right)} = 0,699 ;$$

$$Q_3 = 0,086 + \frac{0,477 \cdot (0,741 + 0,506 + 0,517 + 0,477)}{0,517 \cdot \left(\frac{0,477}{0,741} + \frac{0,477}{0,506} + \frac{0,477}{0,517} + \frac{0,477}{0,477} \right)} = 0,675 ;$$

$$Q_4 = 0,112 + \frac{0,477 \cdot (0,741 + 0,506 + 0,517 + 0,477)}{0,477 \cdot \left(\frac{0,477}{0,741} + \frac{0,477}{0,506} + \frac{0,477}{0,517} + \frac{0,477}{0,477} \right)} = 0,751.$$

10 etapas. Šiuo etapu nustatome produktų naudingumo laipsnį N_j pagal 2.9 formulę.

Tuomet 1-ojo produktų naudingumo laipsnis:

$$N_1 = \frac{Q_1}{Q_{\max}} \cdot 100\% = \frac{0,566}{0,751} \cdot 100\% = 75,3\% .$$

Kitų nagrinėjamų produktų naudingumo laipsnis:

$$N_2 = \frac{0,699}{0,751} \cdot 100\% = 93,0\% ;$$

$$N_3 = \frac{0,675}{0,751} \cdot 100\% = 89,8\% ;$$

$$N_4 = \frac{0,751}{0,751} \cdot 100\% = 100\% .$$

Racionaliausias variantas yra 4-as ir jo naudingumo laipsnis yra 100%. Kitų pasirinkimų naudingumo laipsniai mažesni.

Žemiau pateikta 3.5 lentelė su normalizuotomis kriterijų reikšmėmis bei produktų variantų reikšmingumais ir naudingumo laipsniais.

3.5 lentelė. Normalizuotų variantų reikšmingumas ir naudingumo laipsniai

Kriterijaus pavadinimas	Mato vnt.	Min ar max	Reikšmingumas q_i	Produktas			
				1	2	3	4
1. Lenkiamasis stipris	kN/m ²	+	0,449	0,154	0,097	0,086	0,112
2. Masė	kg/m ²	-	0,179	0,018	0,038	0,048	0,075
3. Drėgminis plėtimosi koeficientas	mm/m	-	0,312	0,001	0,099	0,173	0,039
4. Šiluminis plėtimosi koeficientas	mm/(mK)	-	0,284	0,142	0,059	0,059	0,024
5. Degumo klasė	klasės	-	0,408	0,153	0,102	0,102	0,051
6. Spalvos pastovumas	ΔE	-	0,417	0,229	0,046	0,027	0,115
7. Kaina	€/m ²	-	0,641	0,197	0,163	0,109	0,173
Maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma				0,154	0,097	0,086	0,112
Minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma				0,741	0,506	0,517	0,477
Produkto varianto reikšmingumas				0,566	0,699	0,675	0,751
Produkto varianto prioritetiškumas				4	2	3	1
Produkto varianto naudingumo laipsnis				75,3	93,0	89,8	100,0

Iš apskaičiuotų santykinų reikšmingumų matoma, kad produktų prioritetiškumas išsidėsto šia tvarka:

1. Produktas 4 (keraminės plytelės „Tonality“), kurio reikšmingumas $Q_4=0,751$.
2. Produktas 2 (pluoštinio cemento plokštės „Natura Pro“), kurio reikšmingumas $Q_2=0,699$.
3. Produktas 3 (cementinės dailylentės „Cedral“), kurio reikšmingumas $Q_3=0,675$.
4. Produktas 1 (aliuminio kompozitinės plokštės „Reynobond“), kurio reikšmingumas $Q_1=0,566$.

Tai reiškia, kad racionaliausias variantas yra 4-as ir jo naudingumo laipsnis 100%. Kitų pasirinkimų naudingumo laipsniai mažesni. Mažiausiai racionalus 1-as produktas, jo naudingumo laipsnis siekia 75,3%.

IŠVADOS

1. Pasitelkiant ekspertinį kriterijų vertinimo metodą buvo nustatyti subjektyvūs kriterijų reikšmingumai. Svarbiausias apdailinio sluoksnio kriterijus – lenkiamasis stipris (98 balai iš 140), mažiausiai svarbus – šiluminis plėtimosi koeficientas (62 balai iš 140).
2. Panaudojant daugiakriterinės analizės metodą paaiškėjo kiekybinių ir kokybinių kriterijų objektyvus reikšmingumas. Kainos kriterijus turi didžiausią reikšmingumą ($q_7 = 0,641$), o masės kriterijus mažiausią reikšmingumą ($q_2 = 0,179$).
3. Atlikus skirtingų vėdinamų fasadų sistemų apdailinių sluoksnių daugiakriterinę analizę paaiškėjo, jog racionaliausias pasirinkimas – keraminės plytelės „Tonality“ (naudingumo laipsnis $N_4=100\%$), tuo tarpu aliuminio kompozitinės plokštės „Reynobond“ ($N_1=75,3\%$) – mažiausiai efektyvi alternatyva.

LITERATŪROS SARAŠAS

1. AKSAMIJA Alja, Ph. D. Perkins Will. Sustainable Facades. Design Methods for High-Performance Building Envelopes. John Wiley & Sons, 2013– 256 pp ISBN1118549643, 9781118549643
2. ANDRADY AL ir kt. A Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. Environmental Effects of Ozone Depletion: 1998, ISBN 92-807-1724-3.
3. CARFRAE, Jim, Pieter De Wilde , John Littlewood , Steve Goodhew and Peter Walker. DETAILING THE EFFECTIVE USE OF RAINSCREEN CLADDING TO PROTECT STRAW BALE WALLS IN COMBINATION WITH HYGROSCOPIC, BREATHABLE FINISHES, Detail Design in Architecture 8 – Translating Sustainable Design into Sustainable Construction © 2009 Emmitt, Littlewood (eds) ISBN 978-1905617-93-7.
4. CEDRAL - Cementinės dailylentės [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-12-10]. Prieiga per internetą: <http://www.cedralsidings.com/ltlt>
5. Chemed Corporation, Robert E. Ebbeler. Cleaner for anti-graffiti system. Patentas: 4353745, 1982-11-12. [žiūrėta 2017-10-21]. Prieiga internetu: <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US4353745.pdf>
6. CHOWN G.A., W.C. Brown and G.F. Poirier. Evolution of Wall Design for Controlling Rain Penetration. National Research Council of Canada 1997. ISSN 1206-1220
7. Equitone [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-12-10]. Prieiga per internetą: <http://eur.equitone.com/lt>
8. EQUITONE planavimo ir pritaikymo vadovas [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-12-10]. Prieiga per internetą: https://www.eternit.lt/LT/download/file/lt/35b6257373374ab88090a8330099cb7f/equitone_installation_guide_2017_ltdpdf?rev=9e4501aa-f6f9-49b8-a414-7eb8a4520228
9. Exterior Window Shades, Vinyl Siding Melting [interaktyvus] [žiūrėta 2017-12-02]. Prieiga per internetą: <https://ezsnapdirect.com/melted-vinyl-siding-mystery-solved/>
10. Fasadų šiltinimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-10-14]. Prieiga per internetą: <http://www.renovacija.lt/statybu-sprendimas/fasadu-siltinimas/>
11. Gaisrinis klasifikavimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-11-12]. Prieiga per internetą: <http://www.paroc.lt/verta-zinoti/gaisras/gaisrinis-klasifikavimas>
12. GUDUM, C. (2003). Moisture Transport and Convection in Building Envelopes. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. 2003. ISBN 87-7877-107-2

13. JOHANSSON Sanne, Lars Wadsö, Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. Research Gate, 2010, DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.10.022.
14. JONES M.S., Building Research Association of New Zealand (BRANZ), Judgeford "Effects of UV Radiation on Building Materials". [žiūrėta 2017-10-22]. Prieiga per internetą: <https://www.niwa.co.nz/sites/niwa.co.nz/files/import/attachments/Jones.pdf>
15. KOTNAROWSKA Danuta, Influence of Ultraviolet Radiation on Erosive Resistance of Modified Epoxy Coatings, Solid State Phenomena Vol. 113 (2006) pp 583-588, DOI:10.4028/www.scientific.net/SSP.113.583
16. LANGMANS Jelle, Roels Staf. Experimental analysis of cavity ventilation behind rainscreen cladding systems: a comparison of four measuring techniques. Building and Environment, Volume 87, May 2015, Pages 177-192. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.030>
17. LIETUVOS STATYBININKŲ ASOCIACIJA. FASADŲ ĮRENGIMO DARBAI, Vėdinamų fasadų su mineralinės vatos šilumos izoliacija įrengimas (A ir aukštesnės energinio naudingumo klasės pastatams), VILNIUS 2014. ST 121895674.205.20.02.01:2015
18. LST EN ISO 10545-8:2014. Keraminės plytelės. 8 dalis. Tiesinio šiluminio plėtimosi nustatymas (ISO 10545-8:2014). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2014. 5 p.
19. LST EN ISO 10545-10:2001. Keraminės plytelės. 10 dalis. Plėtimosi dėl drėgmės poveikio nustatymas (ISO 10545-10:1995)
20. LST EN 12467:2012. Plokštieji fibrocementiniai lakštai. Gaminių techniniai reikalavimai ir bandymo metodai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012. 54 p.
21. MAO Qian, Paul Fazio, Jiwu Rao In-cavity evaporation allowance - A drying capacity indicator for wood-rammed system, Building and Environment, 2009 Vol. 44 Pages 2418-2429, DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.04.005
22. NEDROŠLIANSKIS Jaroslavas, Gyvenamųjų pastatų apšiltinimo ir apdailos defektų diagnostikos ir eliminavimo būdų analizė, Vilnius, 2017.
23. NEIDE Matiko Nakata Sato ir kt. Influence of Thermal Properties of Materials in Condensation and Microorganism Growth on Building Facades, Istanbul Turkey May 11-14, 2008
24. NORVAIŠIENĖ R., R. Miniotaitė, V. Stankevičius Climatic and Air Pollution Effects on Building Facades Vol. 9, No. 1., Research Gate, 2003, ISSN 1392–1320.

25. PECE L3pez,F., Jensen, R.L.,Heiselberg P., Ruiz de Adana Santiago,M. Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade. Building and Environment.Vol. 56 (2012) 265-275. DOI:10.1016/j.buildenv.2012.03.017.
26. PERINI Katia ir kt., Greening the building envelope, façade greening and living wall systems, Vol.1, No.1, 1-8 (2011) Open Journal of Ecology Copyright  2011 SciRes. Greening the building envelope, façade greening and living wall systems, DOI: 10.4236/oje.2011.11001
27. Reynobond aluminium composite panels [interaktyvus]. [žiūrta 2017-10-14]. Prieiga per internet: https://www.arconic.com/aap/europe/en/product_category.asp?cat_id=1843
28. ROMILA, Claudiu ir kt. REDUCTION OF BUILDING ENERGY CONSUMPTION USING VENTILATED FAÇADES.Apr2012, Vol. 11 Issue 4, p806-811. 6p. 2 Color Photographs, 8 Graphs.
29. ROUSSEAU M.Z. Facts and Fictions of Rain-Screen Walls, Construction Canada, 1990 p. 40, 42-44, 46. [interaktyvus] [žiūrta 2017-12-09]. Prieiga per internet: http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:BpY3JuJuqlsJ:scholar.google.com/&hl=lt&as_sdt=0,5
30. Site Analysis. Understanding all the features of a site, using and protecting the best, and minimising the impact of the worst [interaktyvus] 2017. [žiūrta 2017-09-23]. Prieiga per internet:<http://www.level.org.nz/site-analysis/sun/>
31. TONALITY – Certified quality [interaktyvus] [žiūrta 2017-10-22]. Prieiga per internet: <http://tonality-facades.de/en/produkt/>
32. Transcontinental Marketing Group, Inc., Cassius W. Leys. Cleaner compositions for removing graffiti from surfaces. Patentas : 5346640, 1994-09-13. Prieiga internetu: <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US5346640.pdf>
33. Thermal Hysteresis: Stone Panel Bowing, Causes and Solutions [interaktyvus] 2012. [žiūrta 2017-12-15]. Prieiga per internet: <https://www.stone-panel.com/benefits/thermal-hysteresis-stone-panel-bowing-causes-and-solutions/>
34. URBONAS M., Kelpien L., ETERNIT FIBROCEMENTINS PLOKŠTĖS ANTIGRAFITINS DANGOS TYRIMO REZULTAT ANALIZ 2017. ISSN 1648-8776
35. Vdinam fasad konstrukcij mazgai [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-10-07]. Prieiga per internetą: <http://www.plantas.lt/lt/m/projektavimas/paslaugos-1/mazgai-vedinamu-fasadu-konstrukciju/#mazgai>
36. ZAVADSKAS E.K., Kaklauskas A., Banaitien N., Pastato gyvavimo proceso daugiakriterin analiz. Vilnius: Technika, 2001. ISBN 9986-05-441-9.