



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Aplinkos poveikio įtakos lanksčių plytelių sukibimo stipriui su
skirtingais paviršiais tyrimai**

Magistro baigiamasis projektas

Rokas Kučinskas

Projekto autorius

doc. Ernestas Ivanauskas

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Aplinkos poveikio įtakos lanksčių plytelių sukibimo stipriui su skirtingais paviršiais tyrimai

Magistro baigiamasis projektas
Statybos valdymas (6211EX007)

Rokas Kučinskas
Projekto autorius

doc. Ernestas Ivanauskas
Vadovas

doc. Arūnas Aleksandras Navickas
Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Rokas Kučinskas

Aplinkos poveikio įtakos lanksčių plytelių sukibimo stipriui su skirtingais paviršiais tyrimai

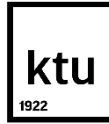
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Rokas Kučinskas

Patvirtinta elektroniniu būdu



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: STATYBOS VALDYMAS

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.): „NAUJOS KARTOS LANKSTAUS „KLINKERIO“
PLYTELIŲ ĮRENGIMO TECHNOLOGIJOS IR JŲ ĮTAKA FASADŲ ILGAMŽIŠKUMUI“

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: _____

(lietuvių k.): „Aplinkos poveikio įtakos lanksčių plytelių sukibimo stipriui su skirtingais paviršiais tyrimai“

(anglų k.): “Investigations of Environmental Conditions on the Bond Strength of Flexible Tiles with Different Surfaces”

Pradiniai duomenys darbui:

--

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	x
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį):

--

Vadovas:

(indėlis 100 %)

doc. Ernestas Ivanauskas

*pareigos, vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu*

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

Konsultantas:

(indėlis _____ %)

pareigos, vardas, pavardė

Studentas:

Rokas Kučinskas

*vardas, pavardė
Patvirtinta elektroniniu būdu*

Kučinskas, Rokas. Aplinkos poveikio įtakos lanksčių plytelių sukibimo stipriui su skirtingais paviršiais tyrimai. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. Ernestas Ivanauskas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų krypčių grupė: inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: lanksčios plytelės, aplinkos poveikis, sukibimo stipris, sukibimo stiprio bandymas.

Kaunas, 2022. 60 p.

Santrauka

Lanksčios plytelės yra sąlyginai naujas statybos produktas, kuris tampa vis populiariesnis Lietuvoje. Vis dažniau gyvenamosios bei komercinės paskirties namų savininkų ryžtasi fasadus įrengti su lanksčiomis plytelėmis, tačiau vis dar yra abejonių dėl jų ilgaamžiškumo. Lanksčios plytelės yra gaminamos iš kvarcinio smėlio, spalvos pigmentų ir technologinių priedų, kurie yra sumaišomi su polimerinės dispersijos rišikliu. Daugelis gamintojų deklaruoja, kad lanksčios plytelės yra patikimas išorės apdailos įrengimo sprendimas, tačiau nėra daug mokslinės informacijos, kuri įrodytų, kad šis statybos produktas yra atsparus aplinkos poveikiui. Jau žinoma, kad drėgmė, žema temperatūra, užšaldymo-atšildymo ciklai bei UV spinduliuotė veikia pastatų išvaizdą bei išorės apdailos mechanines savybes. Šio tyrimo tikslas yra įvertinti, kaip pastarosios aplinkos poveikio sąlygos veikia sukibimo stiprį tarp lanksčių plytelių ir paviršių. Šiam tikslui pasiekti buvo išsikelti uždaviniai, t.y. atlikti mokslinės literatūros analizę apie kitų tyrėjų atliktus tyrimus panašia tema, taip pat atlikti sukibimo stiprumo bandymus su lanksčiomis plytelėmis po skirtingo aplinkos poveikio.

Teorinės dalies metu buvo apžvelgta literatūra apie aplinkos poveikio įtaką statybinių medžiagų mechaninių savybių pokyčiams, taip pat, kaip klijuojamų keraminių plytelių įrengimo technologijos ar mišinio priedų panaudojimas veikia sistemos mechanines savybes.

Praktinės dalies metu buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu lanksčios plytelės įrengiamos ant dviejų skirtingų paviršių, atstojančių naujus ir modernizuojamus pastatus. Naudojantis laboratorine įranga buvo sukuriamas dirbtinas aplinkos poveikis – žema temperatūra, drėgmė, užšaldymo-atšildymo ciklai ir UV spinduliuotė. Remiantis Europinio techninio įvertinimo dokumento EAD 040287-00-0404 standartinėmis procedūromis buvo atlikti lanksčių plytelių sukibimo stiprumo bandymai po tam tikro aplinkos poveikio.

Atlikus bandymus paaiškėjo, kad žema temperatūra ženkliai pristabdo drėgmės išgaravimą iš šviežių plytelių klijų, tai lėtina klijų kietėjimo procesus, tačiau praėjus ilgesniam laikui bandiniai pilnai sukietėja ir įgauna reikiamą stiprį, kuris turi būti ne mažesnis nei 0,08 MPa. Taip pat, buvo nustatyta, kad bandinių mirkymas vandenyje turi neigiamos įtakos sukibimo kokybei, tačiau bandiniams pilnai išdžiuvus sukibimo kokybė ženkliai pagerėja. Galiausiai, atlikus pirminius užšaldymo-atšildymo ciklą bei UV spinduliuotės poveikio bandymus matomas sukibimo kokybės pablogėjimas, tačiau atlikus tolimesnius bandymus, vis dėl to, neigiamos įtakos sukibimui pastarosios aplinkos poveikio sąlygos neturėjo. Galima teigti, kad lanksčios plytelės ir jų klijai yra atsparūs įvairiam aplinkos poveikiui.

Kučinskas, Rokas. Investigations of Environmental Conditions on the Bond Strength of Flexible Tiles with Different Surfaces. Master's Final Degree supervisor doc. Ernestas Ivanauskas; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field group: Engineering Sciences.

Keywords: flexible tiles, environmental conditions, bond strength, bond strength test.

Kaunas, 2022. 60 p.

Summary

Flexible tiles are a relatively new construction material that becoming popular in Lithuania. More and more residential and commercial building owners decide to apply it but there are more questions than answers about its endurance and durability. Flexible tiles are made of quartz sand, color pigments, additives that are combined with polymer dispersion binder. Most manufacturers declare that flexible tiles are a reliable cladding solution but there is no scientific proof of polymeric tiles being able to withstand weathering. It is known that moisture, low temperature, freeze-thaw cycles, and UV greatly affect cladding appearance and mechanical properties. This research aim is to evaluate the influence of these environmental conditions on the bond strength between the flexible tiles and the surfaces. To reach the aim it is important to analyze current studies on a similar topic, also to test the bond strength of flexible tiles after exposure.

During the theoretical part of the research, literature was reviewed about the impact of the environmental conditions on the mechanical property's changes of construction materials, also the influence of adhered ceramic cladding installation methods or mixture additives on the mechanical properties of construction materials.

During the practical part of the research, experiments with flexible tiles on two different surfaces that represent new and renovated buildings were performed. Laboratory equipment was used to simulate weathering – low temperature, moisture, freeze-thaw cycles, and UV radiation. Finally, bond strength tests of flexible tiles after exposure were performed according to European assessment document EAD 040287-00-0404 standard procedures.

After low-temperature exposure, a decrease of evaporation on adhesives was indicated that resulted in a slow curing process, however, after longer duration specimens indicated good adhesion which is 0,08 MPa and higher. After immersion in water specimens indicated poor adhesion, after fully drying specimens indicated increased strength and good adhesion. Finally, after freeze-thaw and UV radiation exposure during the first tests, a decrease of strength was observed but after the full duration, good adhesion and increased strength were indicated. Summing up, flexible tiles and adhesives are resistant to various environmental conditions.

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Aplinkos sąlygų įtaka fasado ilgaamžiškumui įrengiant plyteles.....	12
1.2. Plytelių įrengimo technologijos įtaka klijų atsparumo tempimui jėgai ir kirpimui.....	24
1.3. Polimerinių dispersijų įtaka cementiniams skiediniams.....	26
2. Metodologija	32
2.1. Eksperimentiniai tyrimai	32
2.1.1. Medžiagos.....	32
2.1.2. Įranga.....	39
2.1.3. Bandinių ruošimas	42
2.1.4. Aplinkos poveikio sąlygos	45
2.1.5. Bandymai.....	47
3. Rezultatai ir diskusija	50
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58

Paveikslų sąrašas

1 pav. Kairėje - lokacijos B termograma padaryta ryte, dieną ir vakare; dešinėje – temperatūros profilių grafikas [1]	12
2 pav. „Įvertinimo vietoje“ Karsten vamzdelių metodas [2].....	13
3 pav. „Įvertinimo vietoje“ drėgmės matavimas matuokliu Tramex Survey Encounter [2].....	13
4 pav. Bandiniai, laikymo sąlygos, tyrimai [3].....	14
5 pav. Trečias bandinio pjūvis (sausomis laikymo sąlygomis) [3].....	15
6 pav. Plonių pjūvių periferiniai pavyzdžiai: a – 8 savaites laikyta sausose sąlygose; b – 6 savaites drėkinama per glaisto siūles; c – 450 dienų mirkoma vandenyje [3].....	15
7 pav. Mikroskopo maketai: a – drėkinamo bandinio pjūvis; b – susiformavęs organinių medžiagų ir vandens darinys įtrūkime; c – porose susidarę organinių medžiagų ir vandens dariniai netoli įtrūkimų [3].....	16
8 pav. Įtrūkimas sausai laikytame bandinyje. Dažnu atveju pasireiškia ties stambaus užpildo dalelėmis [3].....	17
9 pav. Vandens patekimo į (iš) sistemą (os) schema: a – bandinys be glaisto; b – bandinys su glaistu ir izoliuotu pagrindu; c – bandinys su glaistu, izoliuotu pagrindu ir hidroizoliacija tarp pagrindo ir skiedinio [3].....	17
10 pav. Dantytos mentelės dantų matmenys [4].....	18
11 pav. a) lenkimo ir b) gniuždymo jėgų grafikai, kai plytelių klijai kietėja skirtingose drėgmio režimuose prie 20°C [4].....	18
12 pav. Plytelių klijų skiedinio susitraukimas mm/m (40 x 40 x 160 mm cilindrai) esant skirtingam drėgniui [4].....	19
13 pav. 2020 metų lapkričio mėnesio temperatūra Lietuvoje.....	19
14 pav. Bandinys testuojamas su gniuždymo mechanizmu [6].....	20
15 pav. Atsparumo gniuždymui grafikas laikant bandinius skirtingomis sąlygomis ir laiko periodu: 3, 7, 28 – paros; F – žema temperatūra (5°C); A – kambario temperatūra (23° C).....	21
16 pav. Gniuždymo testo rezultatai [6].....	21
17 pav. Gniuždymo jėgos pokytis po 0, 10, 20, 30 ir 40 užšaldymo-atšildymo ciklų [7].....	22
18 pav. Apšvitos kiekis naudojant skirtingas UV lempas [24].....	23
19 pav. Polipropileno tempimo jėga po UV apšvitos [24].....	23
20 pav. Polipropileno mikroįtrūkimai po UV apšvitos [24].....	24
21 pav. Klijų II ir III atsparumo tempimo jėgai rezultatai [10].....	24
22 pav. Klijų įtrūkimo etapai [10].....	25
23 pav. Plyšimo-poslinkio kreivė. Atsparumo tempimui diagrama: klijų storis a) 2 mm; b) 4 mm; c) 7mm [10].....	26
24 pav. Polimerinių dispersijų miltelių savybės [19].....	28
25 pav. Šilumos atidavimas nuo laiko priklausomybės vykstant cemento šilumos atidavimo procesui. Viršuje – paprastas cementas; per vidurį – cementas sumaišytas su EVA PDM; apačioje – SB PDM [19].....	29
26 pav. Atsparumo gniuždymo (viršuje) ir lenkimo (apačioje) jėgoms diagrama, kai cementas įprastas ir modifikuotas su PDM [19].....	30
27 pav. Polistireninis putplastis "Termoporas" EPS100.....	32
28 pav. "Ceresit ZU" armavimo mišinys.....	33
29 pav. "Briko" armavimo tinklelis.....	33

30 pav. "Finnfoam" polistireninis putplastis EPS70.....	34
31 pav. "Caparol OrCa-Spachtel" dispersinė armavimo masė.....	34
32 pav. "Caparol PutzGrund 610" gruntiniai dažai.....	35
33 pav. "Caparol Acryl Fassadenputz" akrilinis dekoratyvinis tinkas.....	36
34 pav. "Klinkerit" giluminis akrilinis gruntas.....	36
35 pav. "Klinkerit" plytelių klijai.....	37
36 pav. "Klinkerit" lanksčios plytelės.....	38
37 pav. Dvikomponenčiai epoksidiniai klijai "Bison Epoxy 5-min"	39
38 pav. "FDM" klimatinė kamera.....	40
39 pav. "SNOL 58/350 LSP11" džiovavimo krosnis.....	40
40 pav. UV klimatinis kambarys.....	41
41 pav. Šaldymo kamera.....	41
42 pav. "DYNA Z" plėšimo prietaisas.....	42
43 pav. "NCS Colour Scan 2.0" spalvos skaitytuvas.....	42
44 pav. Polistireninio putplasčio bandiniai su armavimo sluoksniu.....	43
45 pav. Įrankiai, skirti klijams užtepti ant bandinių.....	44
46 pav. Struktūrinio tinko ir pilkojo polistireninio putplasčio bandiniai.....	44
47 pav. Aiškiai matomi bandinio sluoksniai.....	44
48 pav. Klijų sluoksnis ant bandinio.....	45
49 pav. Paruoštas kietinimui bandinys.....	45
50 pav. Užhermetizuota plytelių išorinė siūlė.....	46
51 pav. Reikalavimai sukibimo stiprio testams.....	47
52 pav. Apipjautos traukimo plokštelės vaizdas.....	47
53 pav. Klijai, maišymo dubenėlis ir metalinė plokštelė.....	48
54 pav. Multifukcinis įrankis "Dewalt"	49
55 pav. Ant bandinio suklijuotos metalinės traukimo plokštelės.....	49
56 pav. Nuo kairės – bandinio A plokštelės nutrauktos po 4, 9 ir 21 paros.....	50
57 pav. Bandinio B plokštelė nutraukta po žemos temperatūros poveikio.....	51
58 pav. Sukibimo stiprio grafikas kietinant bandinius žemoje temperatūroje.....	51
59 pav. Nuo kairės - bandinio A plokštelės po mirkymo vandenyje ir džiovavimo 23±2°C 2 valandas; 7 paras.....	52
60 pav. Nuo kairės - bandinio B plokštelės po mirkymo vandenyje ir džiovavimo 23±2°C 2 valandas; 7 paras.....	52
61 pav. Bandinių sukibimo stiprio grafikas po drėgmės poveikio.....	52
62 pav. Nuo kairės – bandinio A plokštelė po 0, 40, 80 užšaldymoatšildymo ciklų.....	53
63 pav. Nuo kairės – bandinio B plokštelė po 40, 80 užšaldymoatšildymo ciklų.....	53
64 pav. Bandinių sukibimo stiprio grafikas po užšaldymo-atšildymo ciklų poveikio.....	54
65 pav. Nuo kairės - bandinio A plokštelė po 0, 12, 24 parų UV spindulių poveikio.....	54
66 pav. Nuo kairės - bandinio B plokštelė po 0, 12, 24 parų UV spindulių poveikio.....	55
67 pav. Nuo kairės – bandinio A spalvos skaitytuvo rodmenys po 12 ir 24 parų UV spindulių poveikio.....	55
68 pav. Bandinių sukibimo stiprio grafikas po UV spindulių poveikio.....	56

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

IST – infraraudonųjų spindulių termografija;

MMF – mixed mode flexure;

PDM – polimerinės dispersijos milteliai;

PVAc – polivinilo acetatas;

PEVA – polivinilacetato etilenas;

EVA – vinilacetato etilenas;

SB – stireno butadienas;

PVOH – polivinilo alkoholis;

CSH – calcium silicate hydrate;

UV – ultravioletiniai spinduliai;

UVA – ultravioletiniai A diapazono spinduliai.

Terminai:

Ilgamžiškumas – tai statybinės medžiagos gebėjimas būti eksploatuojamai išlaikant geriausias mechanines, fizikines, estetines savybes per tam tikrą laiką neprireikiant remonto arba keitimo.

Atsparumas drėgmei – periodiškai drėgstančios ir džiūvančios medžiagos gebėjimas ilgą laiką išlaikyti fizikines, mechanines, chemines ir estetines savybes.

Santykinis oro drėgnis – terminas, apibūdinantis ore esančių vandens garų ir sočiųjų vandens garų slėgių toje pačioje temperatūroje santykį.

Atsparumas šalčiui – vandens prisotintos medžiagos gebėjimas nesuirti per tam tikrą laiką veikiant užšaldymui ir atšildymui.

Ultravioletinė spinduliuotė – tai elektromagnetinių bangų spektro dalis, prasidedanti nuo bangos ilgio 200 nm ir siekianti violetinės matomos šviesos bangų ilgį (400 nm).

Aplinkos poveikio sąlygos – tai klimato sąlygų (drėgmės, žemos temperatūros, šalčio, ultravioletinės spinduliuotės) sukeltas poveikis.

Sukibimo stipris – tai sukibimo stiprumo jėgos dydis (MPa), dažniausiai naudojamas vertinant paviršių mechaninį sukimbamumą.

Sukibimo stiprio testas – standartinis sukibimo stiprumo įvertinimo testas, kurio metu įvertinama paviršių sukibimo kokybė, nustatoma sukibimo plyšimo riba ir didžiausia jėga (MPa), kurios reikia atplėšti paviršius vieną nuo kito.

Įvadas

Pasaulyje ir Lietuvoje vis dažniau sukuriamos ir užpatentuojamos naujos statybinės medžiagos bei pastatų statybos technologijos. Ne išimtis yra lanksčios plytelės, kurių populiarumas pastaraisiais metais išaugo ir Lietuvoje. Vis daugiau pastatų savininkų ryžtasi fasadą įsirengti su naujomis lanksčiomis plytelėmis, nes jų kaina yra konkurencinga, įrengimas yra ne toks sudėtingas, lyginant su tradicinėmis klinkerio plytelėmis, pačios plytelės yra ypatingai lengvos, o vizualiai jos atrodo kaip prabangios klinkerio plytos ar fasadinis akmuo. Išskirtinė plytelių savybė – lankstumas, kuris leidžia joms prisitaikyti prie kiekvieno paviršiaus formos ir galimybė plytelę sulenkti 90 laipsnių ties namo kampu ar angokraščiais.

Lanksčios plytelės ir jų klijai gaminami iš kvarcinio smėlio, pigmentų bei priedų, kurie sujungiami polimerinės dispersijos rišamąja medžiaga. Nors gamintojai deklaruoja, kad tai patikimas bei ilgaamžis namo apdailos sprendimas, tai vis gi yra sąlyginai nauja medžiaga ir labai svarbu įvertinti šio gaminio ilgaamžiškumą priklausomai nuo aplinkos sąlygų.

Tiriamąo projekto tikslas – ištirti, kokią įtaką lanksčių plytelių sukibimui su skirtingais paviršiais turės aplinkos sąlygos.

Tiriamąo projekto objektas – lanksčios plytelės ir jų klijai.

Darbo uždaviniai:

- 1) atlikti mokslinės literatūros apžvalgą apie tai, kaip aplinkos poveikis veikia plytelių fasado ilgaamžiškumą, kokią įtaką klijų atparumui tempimo jėgai ir kirpimui turės plytelių įrengimo technologijos, kaip polimerinės dispersijos priedai įtakoja cementinių skiedinių eksploatacines savybes;
- 2) apibūdinti metodologiją – naudotas medžiagas, įrangą, aplinkos sąlygas, bandymus;
- 3) atlikti sukibimo stiprio bandymus po skirtingo aplinkos poveikio;
- 4) pateikti tyrimo rezultatus, padiskutuoti jų priežastis;
- 5) apibendrinti projekto rezultatus ir suformuluoti išvadas.

1. Literatūros apžvalga

Šioje dalyje analizuojama mokslinė literatūra susijusi su pasirinkta moksline darbo tematika. Prieš pradėdant praktinę dalį, būtina išsiaiškinti ir suprasti, kokie tyrimai yra atlikti kitų mokslininkų, kokios problemos buvo sprendžiamos, kokie rezultatai gauti, kokios iš to suformuluojamos išvados. Literatūros apžvalga apie kitų mokslininkų patirtis sprendžiant panašias problemas leidžia geriau suprasti, kokius tyrimus verta atlikti, norint kuo geriau papildyti esamas žinias apie tiriamąjį objektą.

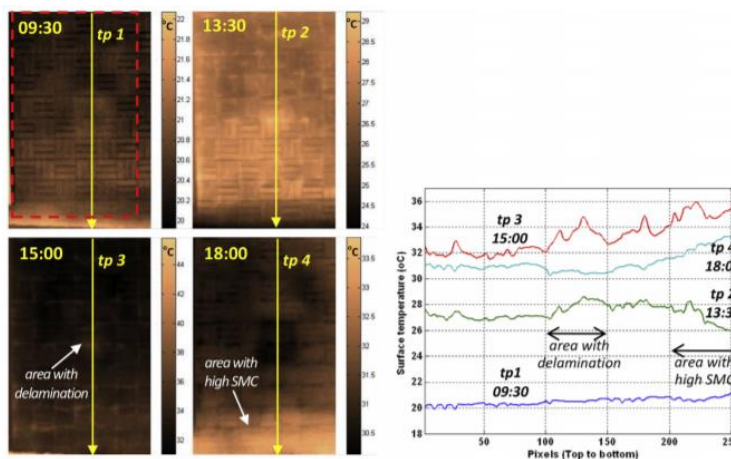
1.1. Aplinkos sąlygų įtaka fasado ilgaamžiškumui įrengiant plyteles

Vertėtų paminėti, kad tiek tradicinės, tiek naujosios lanksčios plytelės gali būti įrengiamos ant visų tvirtų paviršių – OSB (orientuotų skiedrų plokštė) plokščių, CDP (cemento drožlių plokštė) plokščių, armuoto polistireninio putplasčio, tinkuoto mūro, monolitinio ar surenkamo gelžbetonio.

Norint geriau suprasti, kaip aplinkos sąlygos gali veikti lanksčių plytelių fasado ilgaamžiškumą, reikėtų išmanyti tokio tipo plytelių klijavimo technologiją. Pati technologija nėra nauja, tokiu metodu yra klijuojamos ir tradicinės keraminės, akmens masės plytelės. Pagrindiniai įrengimo etapai ir šie:

- 1) paviršiaus gruntavimas;
- 2) klijų užtepimas dantyta mentele (šukomis);
- 3) plytelių klijavimas;
- 4) siūlių įrengimas.

Labai svarbus etapas yra pačių plytelių priklijavimas ant paviršiaus. Reikėtų užtikrinti, kad plytelė gerai prisitvirtintų ir nesusidarytų oro tarpas tarp plytelės ir paviršiaus, kur galėtų kauptis drėgmė, nes tose vietose dauginasi pelėsis, vyksta plytelės atsiskyrimo nuo paviršiaus procesai [1]. Taip pat mokslininkai paminėjo, kad drėgmė gali turėti įtakos namo mikroklimatui, nes drėgnos medžiagos yra laidesnės šilumai, kitaip tariant, bus prarandama daugiau šilumos per drėgnas išorės sienas. Edis [1], Floren-Colen [1] ir de Brito [1] tyrimo tikslas buvo naudojant neardomąjį IST (infraraudonųjų spindulių termografijos) metodą stebėti susikaupusią drėgmę ir nustatyti fasado defektus ten, kur buvo įrengtos plytelės. Naudojami infraraudonųjų spindulių kamera jie fiksavo fasado temperatūrą skirtingu paros metu (žr. 1 pav.). Gauti duomenys parodė, kad dėl susikaupusios drėgmės fasado temperatūra skyrėsi, o tose vietose buvo matyti defektai (atsiskyrimas, paviršiaus dėmės, pelėsis).



1 pav. Kairėje – lokacijos B termograma padaryta ryte, dieną ir vakare; dešinėje – temperatūros profilių grafikas [1]

Dar viena grupė metodų, taikytų identifikuoti vertikalių paviršių kokybę priklausomai nuo drėgmės yra vadinama „įvertinimo vietoje“ metodu (angl. *in situ assessment*) [2]:

- „Karsten“ vamzdelių metodas;
- drėgmės testavimas matuokliu.

„Karsten“ vamzdelių metodas leidžia įvertinti sienų pralaidumą vandeniui. Šis metodas yra taikomas, ten, kur nėra vizualiai matomų sienos įtrūkimų [2 p. 3]. Prie sienos priklijuojamas vertikalus vamzdelis, kuris apačioje, vietoje, kur liečiasi su siena, yra atviras (taip vanduo tiesiogiai liečiasi su siena), pats vamzdelis yra sugraduotas apie 10 cm (žr. 2 pav.). Į vamzdelį pilamas vanduo, stebima, koku greičiu vanduo nusės (t.y. susigers į paviršių). Jeigu paviršiaus atsparumas norminis, vandens vamzdelyje mažės po truputį, jeigu per didelis – vanduo susigers greičiau. Gauti rezultatai parodo kokį kiekį vandens sugeria tam tikras paviršius (mūras, betonas, tinkuotas paviršius) iš to galima spręsti apie tai, kaip jį veikia drėgmė ir ar tas paviršius yra tinkamas plytelėms klijuoti.



2 pav. „Įvertinimo vietoje“ „Karsten“ vamzdelių metodas [2]

Kitas „įvertinimo vietoje“ metodas yra paviršiaus matavimas drėgmės matuokliu (žr. 3 pav.) [2]. Tai greitas ir neardantysis metodas, skirtas fiksuoti labai drėgnas vietas. Jo veikimo principas yra paremtas naudojant elektrinę varžą.



3 pav. „Įvertinimo vietoje“ drėgmės matavimas matuokliu „Tramex Survey Encounter“ [2]

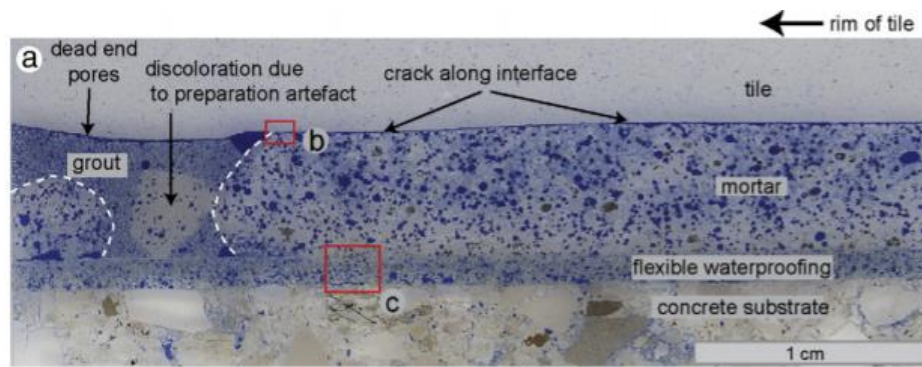
Nuo cementinių plytelių klijų priklauso sukibimas tarp plytelių ir paviršiaus [3 p. 1]. Jų mechaninės savybės yra labai svarbios fasadų ilgaamžiškumui, ypač kai prie to prisideda ir aplinkos sąlygos [3]. Kalbant apie klijuojamų plytelių sistemas, tiek klijai, tiek glaistas sukuria mechaninį ryšį su

klijuojamu paviršiumi. Kietėjant šiems komponentams juos veikia skirtingi išsiplėtimo-susitraukimo efektai. Cementinius mišinius veikia kapiliariniai susitraukimai, išsiplėtimas dėl vandens sugeriamumo, cheminio susitraukimo ar šilumos pokyčio, šiluminio susitraukimo-išsiplėtimo dėl temperatūros skirtumo [3]. Mokslininkai Wetzelis [3], Herweghas [3], Zurbriggenas [3] ir Winnefeldas [3] atliko tyrimą, norėdami išsiaiškinti kaip cementinių skiedinių savybės priklauso nuo vandens kiekio bei džiovimo ir drėkinimo. Jie įrengė tris eksperimentinius standus su 30 x 30 x 0,8 cm porceliano plytelėmis ant 40 x 40 x 4 cm betono pagrindo, naudodami standartinius klijų maišymo kiekius ir instrukciją. Pirmam standui, ekstremalioms džiovimo, drėkinimo sąlygoms paruošta plytelė su atvirais šonais ir neglaistytomis siūlėmis. Antram standui, papildomai prie plytelės priklijuoti likę fragmentai, kad būtų išgautos siūlės ir užglaistytos, galinė dalis ir šonai buvo užtepti dvikomponenčiais klijais tam, kad pristabdytų džiovimą iš kraštų. Paskutinis standas panašus į antrąjį, tačiau papildomai pagrindas buvo išteptas vienkomponekte lanksčia hidroizoliacine membrana savaitę prieš plytelių klijavimą. Laboratorijoje mėginiai laikomi įvairiomis dirbtinėmis aplinkos sąlygomis – vieni džiovinami 23 °C temperatūroje, 50% santykiname drėgnyje, kiti drėkinami, tretį – laikomi panardinti vandenyje (žr. 4 pav.). Atliekant bandymus su šiais standais bus nustatomas skirtingas drėgmės kelias ir jo įtaka plytelių klijų mikrostruktūrai, analizuojami klijų, glaisto mikroįtrūkimai.

Sample label		NG (no grout)		CO1 (concrete)			CO2 (concrete)			FW (flexible waterproofing)		
Setup	Stained Additive	none		CE			Latex			PVA		
	Treatment of tiles backside	abraded		wet cleaned high pressure						wet cleaned high pressure		
	Treatment substrates backside	no		sealed with two component adhesive						sealed with two comp. adhesive		
	Application of grouts	no		yes						yes		
	Flexible waterproofing	no		no						yes		
Storage	Sampled quadrant (see Fig. 1)	NW	SE	NW	NE	SE	NW	NE	SE	NW	NE	SE
	Dry (23°C / 50% r.H.) [days]	7	7	56	160	190	56	160	190	56	160	190
	Wet (grout moistening) [days]					42			42			42
	Wet (water immersion) [days]		450									
Analysis	Optical microscopy (thin sections)	E-W	E-W			E-W			E-W	diagonal		E-W
	LSM (polished sections)			diagonal	E-W	E-W	diagonal	E-W	E-W	diagonal	E-W	E-W
	Thermogravimetry		N-S	E-W		E-W				E-W		E-W
	SEM (fractured surfaces)		E-W									

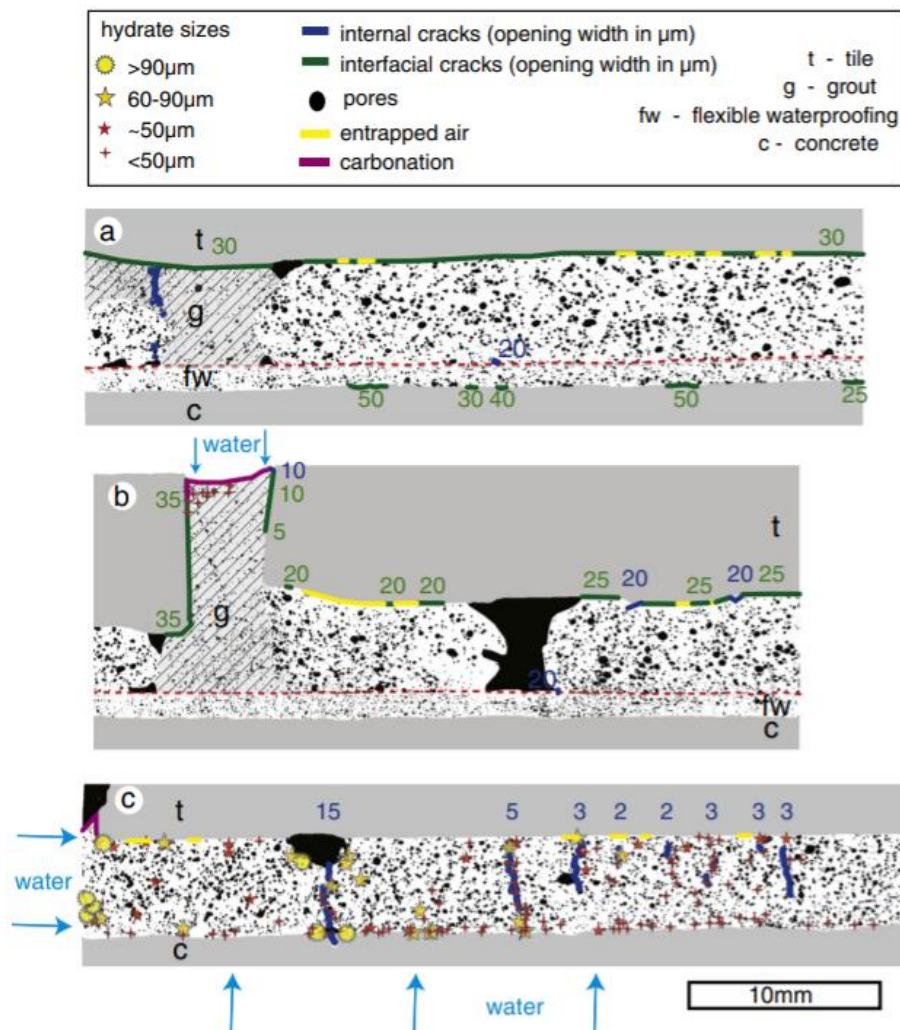
4 pav. Bandiniai, laikymo sąlygos, tyrimai [3]

Praėjus 42 dienoms, su tradiciniu optiniu mikroskopu buvo analizuojama trijų bandinio pjūvio mikrostruktūra. Plytelių klijai yra poringi, nes maišant šviežią skiedinį, į jį patenka oras. Porų dydis yra nuo 20 iki 600 mikrometrų, jų skiedinyje yra apie 25 % [3]. Taip pat, egzistuoja ir mažesnės poros skiedinio rišiklyje ir yra sudarytos iš oro kapiliarų ir želės porų. Kai kurios iš porų yra plytelių klijų paviršiuje, jos susidaro klijuojant plyteles [3]. Kita porų rūšis egzistuoja klijų bei glaisto paviršiuose (žr. 5 pav.), jos skiriasi nuo kitų išvaizda, bei galimybe įtraukti ir sulaikyti oro daleles. Tokios poros pasireiškia vienoje eilėje simetriškų porų ties plytelės riba glaistant, tuomet porose sulaikomos vandens dalelės [3].



5 pav. Trečias bandinio pjūvis (sausomis laikymo sąlygomis) [3]

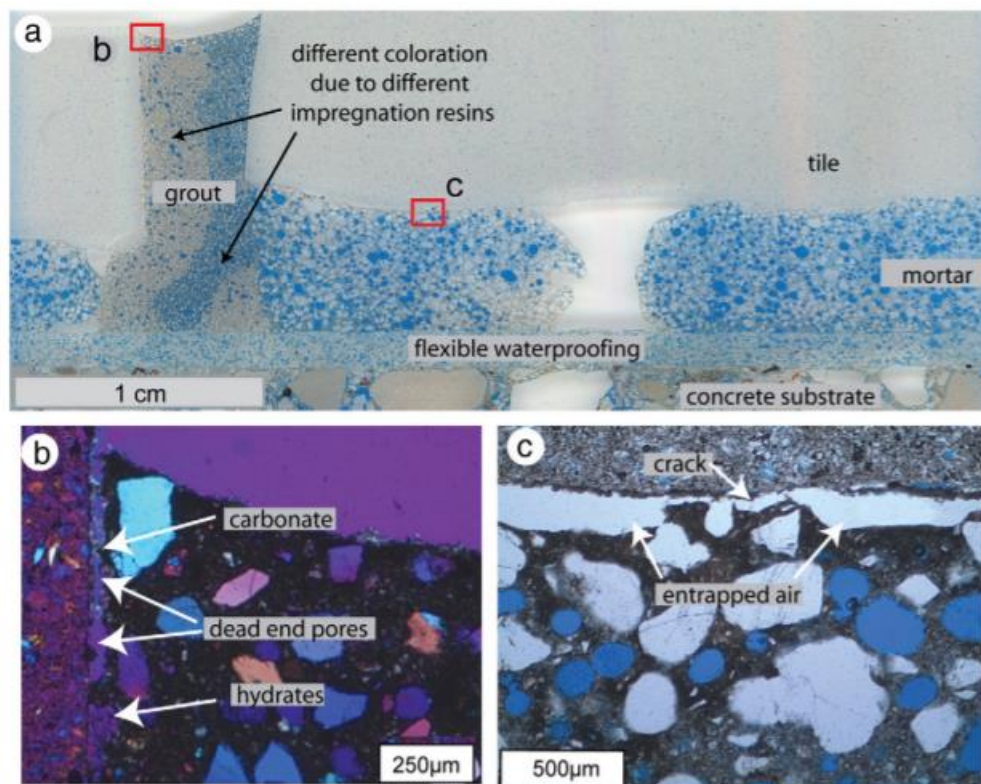
Taip pat Wetzelis [3] tyrimo metu su optiniu mikroskopu išanalizavo įvairius mikro- ir makroįtrūkimus, atsiradusius plytelių – plytelių klijų paviršiuose, plytelių vidinės pusės – glaisto paviršiuose, klijų – hidroizoliacijos paviršiuje, įtrūkimus skiedinio viduje, laikant bandinius sausu ir drėgnu aplinkos sąlygų režimu. Tam buvo sumaketuoti ploni pjūviai (žr. 6 pav.), juose matyti įtrūkimai skiedinyje (mėlyna spalva) ir jo paviršiuje (žalia spalva), sulaikytos oro dalelės (geltona spalva), karbonatų susidarymas (violetinė spalva), vandens ir organinių medžiagų susidarymas (įvairių dydžių ir formų simboliai).



6 pav. Plonų pjūvių periferiniai pavyzdžiai: a – 8 savaites laikyta sausomis sąlygomis; b – 6 savaites drėkinama per glaisto siūles; c – 450 dienų mirkoma vandenyje [3]

Daugiausia matyti įtrūkimai medžiagų paviršiuose ir plytelių klijuose arba glaiste. Įtrūkimai paviršiuose atsiranda tose vietose, kur yra susidarę oro tuštumos arba kur yra daug viena paskui kitą einančių simetriškos formos porų (žr. 5 pav., 7 pav.) [3 p. 6].

8 cm įtrūkimas esantis plytelės – klijų paviršiuje matomas 5 paveikslėlyje. Panašūs įtrūkimai matyti ir bandinyje, kuris buvo drėkinamas per siūles (žr 7 pav.). Šiuo atveju įtrūkimų išsidėstymas padrikas, vientisumas nesitęsiantis. Vis dėl to, abudu bandiniai (sausas ir drėgnas) gali būti lyginama pagal įtrūkimų plotį (žr 6 pav.).

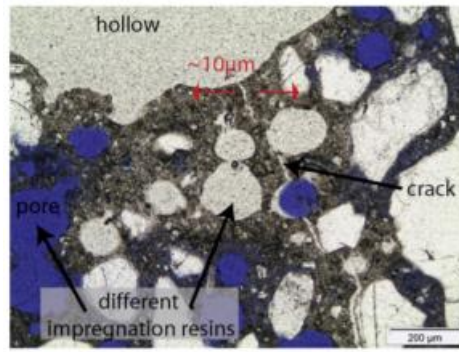


7 pav. Mikroskopo maketai: a – drėkinamo bandinio pjūvis; b – susiformavęs organinių medžiagų ir vandens darinys įtrūkime; c – porose susidarę organinių medžiagų ir vandens dariniai netoli įtrūkimų [3]

Plytelės dugno – glaisto paviršiuje taip pat galima matyti įtrūkimus drėkinamame bandinyje. Dešinėje siūlės pusėje matyti mažesnis 10 μm dydžio įtrūkimas, o kairėje pusėje, kiek didesnis – 35 μm (žr. 6 pav.).

Įtrūkimas matosi ir plytelių klijų – hidroizoliacijos paviršiuje. Jis – vidinis. Pastebėtina tai, kad jis pereina ir per pagrindo mineralines medžiagas.

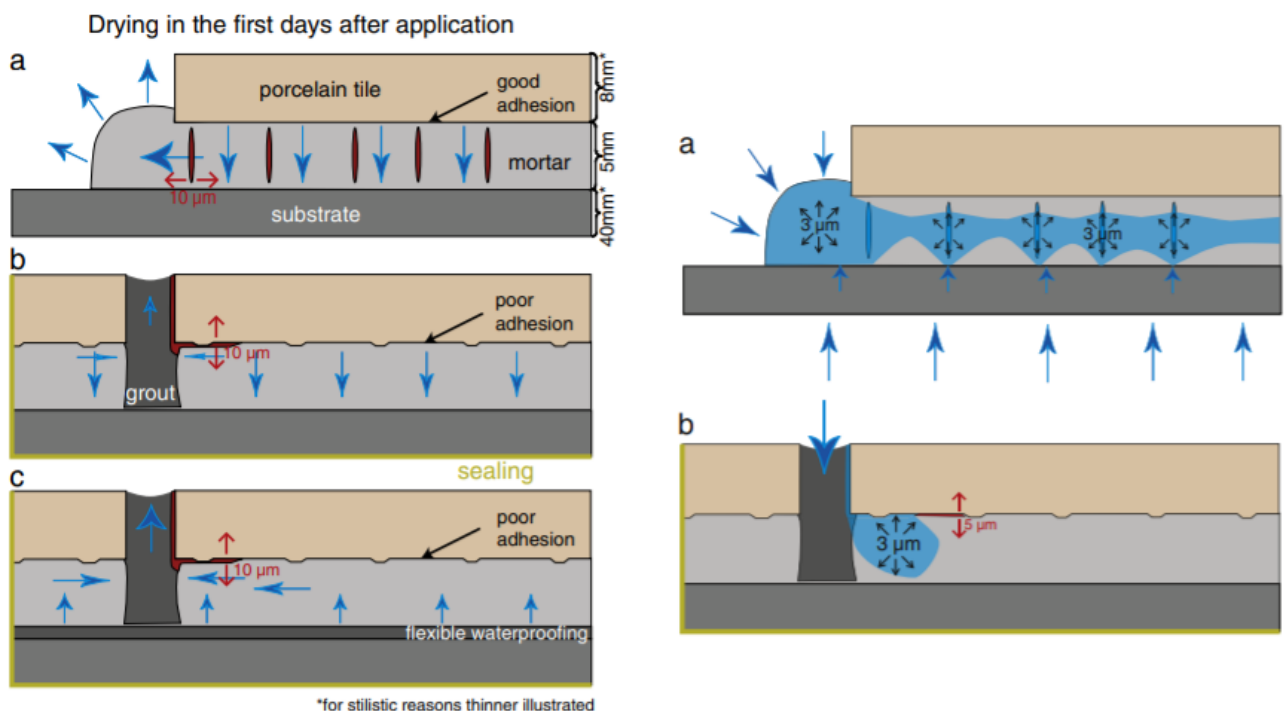
Vidiniai įtrūkimai pasireiškia tose vietose, kur bandinių šonai yra pašveisti, yra beveik statūs plytelei ir daugiausia pasireiškia tuštumose (kur plytelė ne visai liečiasi su skiediniu). Vidiniai įtrūkimai dažnai pasireiškia tose vietose, kur yra stambių užildų dalelės [3 p. 6] (žr. 8 pav.).



8 pav. Įtrūkimas sausomis sąlygomis laikytame bandinyje. Dažnu atveju pasireiškia ties stambaus užpildo dalelėmis [3]

Kartais jie tęsiasi per visą skiedinio sluoksnį, bet niekada nepasiekia plytelės ar betono sluoksnių (žr. 6 pav. c atvejį).

Wetzelis [3] tyrinėjo ir skiedinio džiūvimo procesus. Iš esmės, džiūvimo procesai skiedinyje prasideda iškart, kai jis užtepamas ant pagrindo, taip įtakojamas kapiliarinis susitraukimas, kai vanduo reaguoja su cementu kol susidaro organiniai junginiai, visa tai pasireiškia cheminiu susitraukimu [3 p. 8]. Wetzelis [3] išsiaiškino, kad tūrio pasikeitimai dėl džiūvimo ir drėkinimo kietėjant sukelia lokalines deformacijas, t.y. įtrūkimus. Šie įtrūkimai veikia paviršių tarpusavio sukibimą.

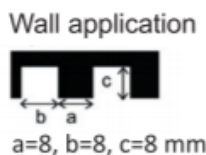


9 pav. Vandens patekimo į (iš) sistemą (-os) schema: a – bandinys be glaisto; b – bandinys su glaistu ir izoliuotu pagrindu; c – bandinys su glaistu, izoliuotu pagrindu ir hidroizoliacija tarp pagrindo ir skiedinio [3]

Apibendrinus šį tyrimą, galima teigti, kad nuo aplinkos sąlygų priklauso plytelių sistemos mikrostruktūra. Skiedinio džiūvimas ir drėkinimas sukėlė įvairias sistemos anomalijas. Sausomis sąlygomis laikytuose bandiniuose formavosi pailgi paviršiaus įtrūkimai tarp plytelių ir klijų,

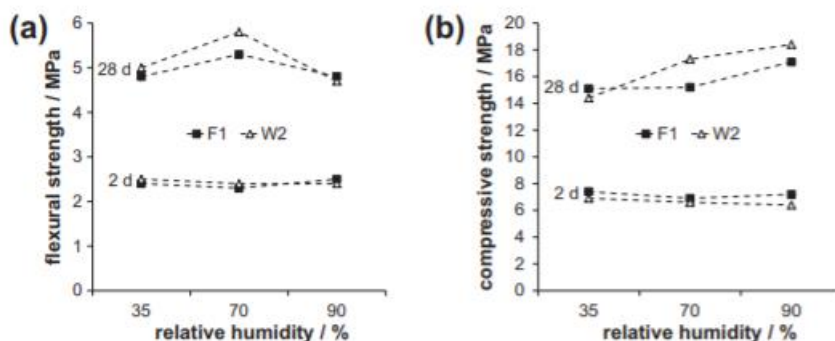
drėkinamame bandinyje dažniau formavosi mažesni, padriki vidiniai paviršių įtrūkimai, dažnai prasidedantys ties siūlėmis. Bandinyje, kuris buvo pamertkas vandenyje, pasireiškė vidiniai skiedinio įtrūkimai, taip pat susidarė organinių ir vandens junginių sancaupos. Įtrūkimai sudarė galimybes į plytelių dangos vidų patekti vandeniui. Tyrimo metu buvo atliktas tik vienas džiovimo ir drėkinimo ciklas, tačiau realiomis sąlygomis tokie susitraukimo (brinkimo) ciklai kartojasi nuolatos, o tai ženkliai veikia plytelių ilgaaamžiškumą [3 p. 10].

Kitas veiksnys, turintis įtakos klijuojamų fasadų kokybei yra santykinis oro drėgnis. Tai chemijos mokslo terminas, apibūdinantis ore esančių vandens garų ir sočiųjų vandens garų slėgių toje pačioje temperatūroje santykį. Winnefieldas [4], Kaufmannas [4], Hackas [4], Harzeris [4], Wetzelis [4], Zurbriggennas [4] atliko bandymus skirtingomis aplinkos sąlygomis su skirtingais klėjais, norėdami sužinoti, kaip santykinis oro drėgnis veikia plytelių klijų mechanines savybes – atsparumą lenkimo, gniuždymo jėgoms. Eksperimente buvo naudojami neįvardinti F1 (šviežio skiedinio tankis ir oro tuštumų kiekis yra 1,54 g/cm³ ir 20%) ir W2 (šviežio skiedinio tankis ir oro tuštumų kiekis yra 1,73 g/cm³ ir 14%) cementiniai plytelių klėjai, paviršius – betono (kietėjimo sąlygos – 28 paros 23°C šilumoje ir 50% santykiniam oro drėgnyje), plytelės – keraminės, dantytos mentelės dantų matmenys pavaizduoti 10 paveikslėlyje.



10 pav. Dantytos mentelės dantų matmenys [4]

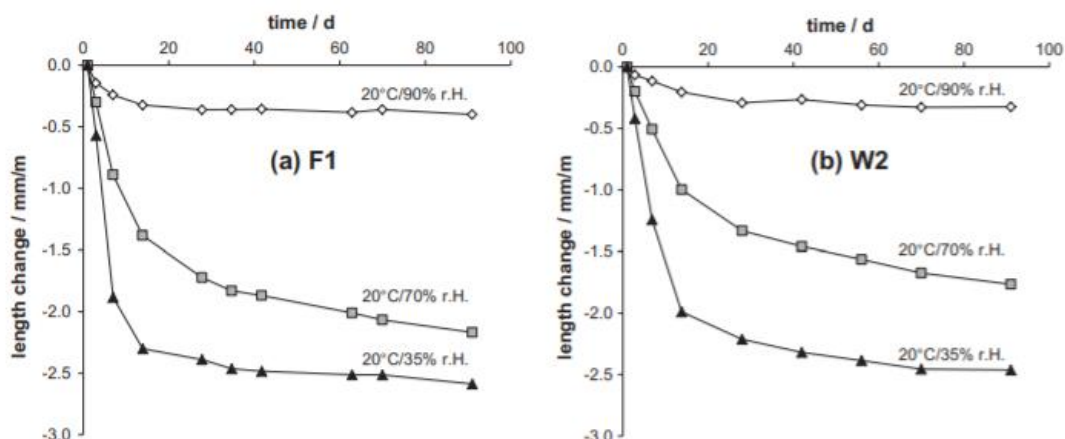
Mokslininkams atlikus eksperimentą, nustatyta, kad skirtingas santykinis oro drėgnis neturi reikšmingos įtakos lenkimo jėgai po 2 dienų esant skirtingam oro drėgniui, tačiau panašu, kad plytelių klijų W2 atsparumas po 28 dienų esant 70% drėgniui yra didesnis nei F1, taip pat atsparumas gniuždymo jėgai šiek tiek didesnis, negu F1 po 28 dienų dėl mažesnio oro porų kiekio [4 p. 5]. 11 paveikslėlyje pavaizduoti jėgų grafikai po 2 ir 28 parų kietėjimo įvairiame santykiniam oro drėgnyje.



11 pav. a) lenkimo ir b) gniuždymo jėgų grafikai, kai plytelių klėjai kietėja skirtingomis drėgnio sąlygomis prie 20°C [4]

Tie patys mokslininkai atliko dar vieną eksperimentą su klijų skiediniu, norėdami sužinoti, ar oro drėgnis turės įtakos skiedinio susitraukimui. Kaip žinome, per greitai susitraukę klėjai ima trūkinėti.

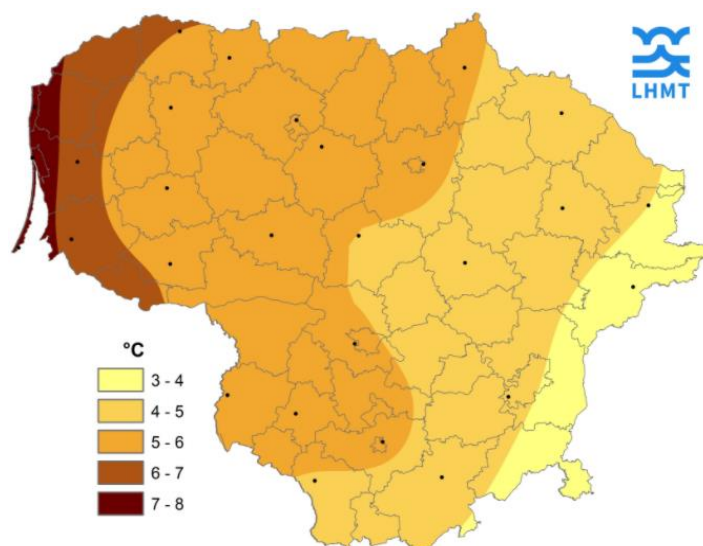
Bandymo metu mokslininkų komanda į 40 x 40 x 160 mm cilindrus supylė klijus ir leido jiems kietėti skirtingose drėgnio režimuose, gauti rezultatai pavaizduoti grafike (žr. 12 pav.).



12 pav. Plytelių klijų skiedinio susitraukimas mm/m (40 x 40 x 160 mm cilindrai) esant skirtingam drėgmeniui [4]

Abu skiediniai pademonstravo didelį susitraukimą 35% drėgnyje, tuo tarpu minimalus susitraukimai buvo nustatyti esant 90% drėgmeniui. Susitraukimas labai priklauso nuo kietėjimo sąlygų – jis didėja, kai mažėja santykinis oro drėgnis, nes daugiau vandens gali greičiau išgaruoti iš skiedinio [4 p. 5]. Galima padaryti išvadą, kad plyteles geriau įrengti, kai yra pastovios oro sąlygos, nes po gausingo lietaus staiga pašildžius saulei, oro drėgnis staiga sumažės, tai lems greitesnį skiedinio džiūvimą, galimai ir dėl to kilusias klijų trūkinėjimo problemas.

Žema temperatūra yra dar vienas aplinkos veiksnys, turintis įtakos tiek klijų sukibimui su paviršiumi, tiek su pačia plytele. Anksčiau įvardinome, kad labai svarbu įsprausti plytelę į klijus, kad nesusidarytų oro tarpas, kuriame galėtų kauptis vanduo. Šaltuoju metų laiku susikaupus drėgmei ar vandeniui, jam užšalus, plytelė galėtų prarasti sukibimą su pagrindu. Kitas faktorius – darbinė temperatūra. Cementinių klijų gamintojų dažniausiai deklaruojama darbinė temperatūra yra +5 – +25 °C. Jau seniai žinoma, kad temperatūrai nukritus nuo +20 iki +5 kietėjimo laikas pailgėja apie 6 kartus ir beveik sustoja nukritus žemiau negu +5°C. Cemento kietėjimas yra kristalizacijos procesas, kuriam reikalingas skystas vanduo. Jeigu vanduo užšala, kietėjimas nevyksta [5]. Tačiau nuo +5 iki 0 °C kietėjimas vyksta itin ilgai.



13 pav. 2020 metų lapkričio mėnesio temperatūra Lietuvoje

Savarisas [6] tyrinėjo betono savybes jam kietėjant žemoje temperatūroje. Jo tyrimo tikslas buvo įvertinti žemos temperatūros įtaką atsparumui gniuždymo jėgai betono kietėjimo periode. Jis betono bandinius kietino 5° ir 23° C temperatūroje ir atliko bandymus po 3, 7 ir 28 parų. Bandymams atlikti Savarisas [6] pagamino ritinio formos bandinius (10 cm skersmuo ir 20 cm aukštis). Po 24 valandų bandiniai buvo išimti iš formų ir toliau palikti kietėti, vieni – vandenyje, 23° C, kiti šaldytuve, 5° C. Iš viso, 66 bandiniai buvo pagaminti, jie suskirstyti į 11 grupių, o kiekvienai grupei priklausė 6 bandiniai. Gniuždymo jėgos atsparumo testai buvo atliekami naudojant universalų gniuždymo mechanizmą (žr. 14 pav.), kuri apkrovė bandinius 2000 kN jėga po 3, 7 ir 28 parų kietėjimo.



14 pav. Bandinys testuojamas su gniuždymo mechanizmu [6]

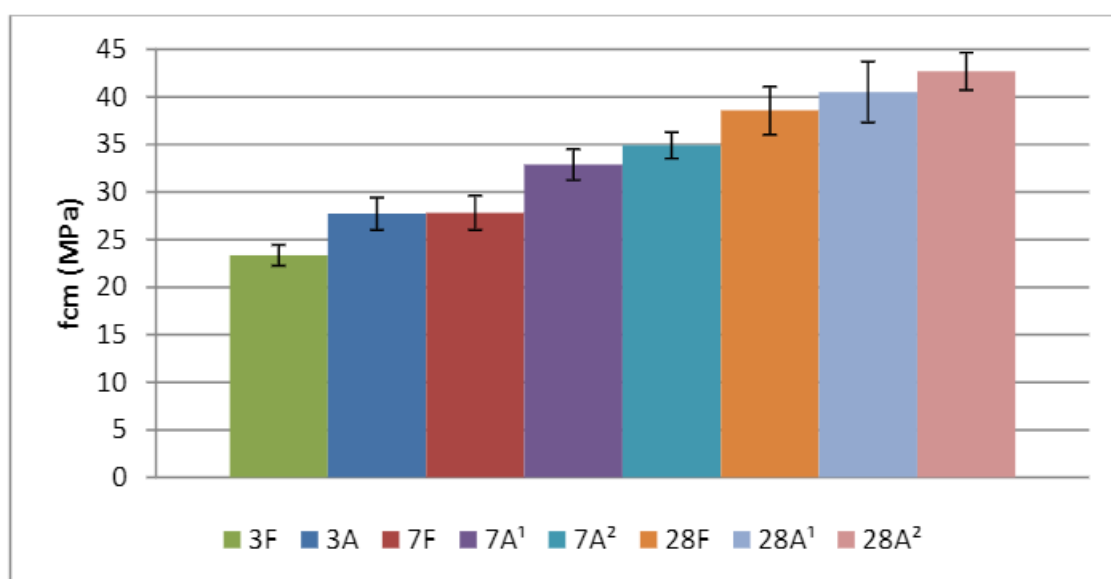
Gauti rezultatai buvo palyginami tarpusavyje po skirtingo laikotarpio esant žemai ir kambario temperatūroms. Taip pat, gniuždymo jėgos pokyčiai buvo įvertinti, kai bandinys pirmas dienas kietėjo žemoje temperatūroje, o vėliau buvo perneštas į kambario temperatūrą.

15 paveikslėlyje pavaizduotas vidutinės gniuždymo jėgoms grafikas. Kiekvienas stulpelis vaizduoja atsparumą gniuždymo jėgai skirtingomis laikymo sąlygomis. Bandiniai, kurie buvo laikomi kambario

temperatūroje parodė ženkliai geresnius rezultatus lyginant su bandiniais, laikytais šaldytuve. Svarbu paminėti, kad bandinio atsparumas, įgautas po 7 parų žemoje temperatūroje parodė šiek tiek geresnius rezultatus nei bandinio, kurio atsparumas buvo įgautas po 3 parų kambario temperatūroje. Tai reiškia, kad esant žemai temperatūrai, betonui reikia daugiau nei 2 kartus daugiau laiko pasiekti tą patį atsparumą (trečios paros kambario temperatūroje) [6 p. 6]. Atlikus ekperimentą galima padaryti šias išvadas:

- po 3 parų bandiniai laikyti žemoje temperatūroje parodė 15,7% mažesnę atsparumą nei bandiniai, laikyti kambario temperatūroje;
- po 7 parų bandiniai laikyti žemoje temperatūroje parodė 20% mažesnę atsparumą nei bandiniai, laikyti kambario temperatūroje;
- po 28 parų bandiniai laikyti žemoje temperatūroje parodė 9,6% mažesnę atsparumą nei bandiniai, laikyti kambario temperatūroje;

Norint patikrinti rezultatų patikimumą, su kompiuterine programa buvo atliktas Stjudento vienos imties t testas su 95% patikimumo koeficientu. Rezultatai gauti didesni nei 0,05 būtų nepatikimi. 16 paveikslėlyje pavaizduoti testo rezultatai.



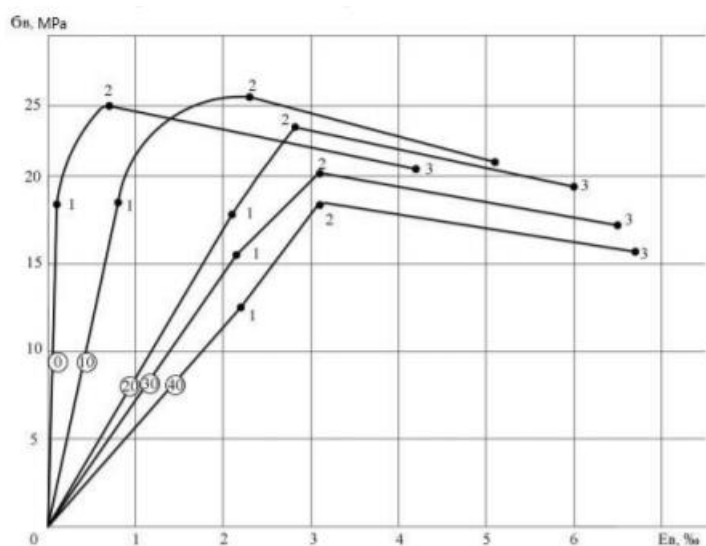
15 pav. Atsparumo gniuždymui grafikas laikant bandinius skirtingomis sąlygomis ir laiko periodu: 3, 7, 28 – paros; F – žema temperatūra (+5°C); A – kambario temperatūra (+23°C) [6]

Tratamento	Resistência Média (MPa)	p-valor
3F	23,34	0,0003
3A	27,71	
7F	27,82	0,0001
7A	34,91	
28F	38,58	0,0108
28A	42,68	

16 pav. Gniuždymo testo rezultatai [6]

Atsižvelgus Savariso [6] tyrimą ir pritaikius jį plytelių klijų skiediniams, galima teigti, kad žema temperatūra turi neigiamos įtakos skiedinio kietėjimui. Betonai, kietėjęs žemoje temperatūroje parodė prastesnius gniuždymo jėgos rezultatus, nei betonai, kietėjęs kambario temperatūroje. Dėl žemos temperatūros plytelių klijuose esantis vanduo lėčiau atiduoda drėgmę aplinkai, pristabdomas kristalizacijos procesas, plytelė gali prarasti sukibimą su paviršiumi.

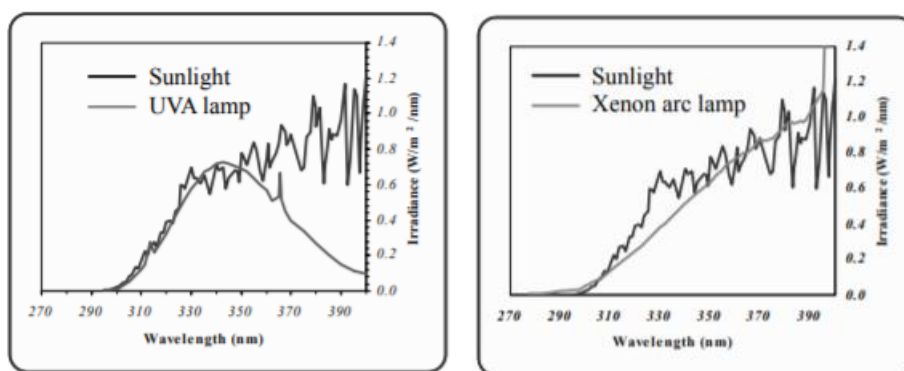
Kitas faktorius susijęs su žema temperatūra yra plytelių klijų užšaldymo ir atšildymo ciklai. Vienas ciklas realiomis sąlygomis skaičiuojamas, kai temperatūra iš teigiamos pereina į neigiamą ir vėl grįžta į teigiamą. Anot Vektario [7] ir Vilko [7], cementinių skiedinių atsparumas šalčiui priklauso nuo medžiagos poringumo bei porų ir kapiliarų dydžio, jų išsidėstymo medžiagoje, taip pat, ar tos poros yra atviros, ar uždaros. Nevisiškai užsipildžiusios poros yra vadinamos rezervinėmis. Esant neigiamai temperatūrai, į tokias poras iš užsipildžiusių porų gali patekti vanduo ir susidaryti galimybė ledui plėstis. Pinusas [8] tyrinėjo betono savybes veikiant užšaldymo-atšildymo ciklams (šalčio atsparumas). Tyrimo tikslas buvo įvertinti, kokią įtaką betono atsparumui gniuždant turi užšaldymo-atšildymo ciklai. Tam buvo pagaminti 84 betono bandiniai (100 x 100 x 400 mm). Iki temperatūrinių testų pradžios vieni bandiniai buvo kietinami mėnesį, kiti – du. Užšaldymas buvo atliekamas esant $-40\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, o atšildymas buvo atliekamas $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandenyje. Iš viso buvo dirbtinai sukurta 40 ciklų.



17 pav. Gniuždymo jėgos pokytis po 0, 10, 20, 30 ir 40 užšaldymo-atšildymo ciklų [7]

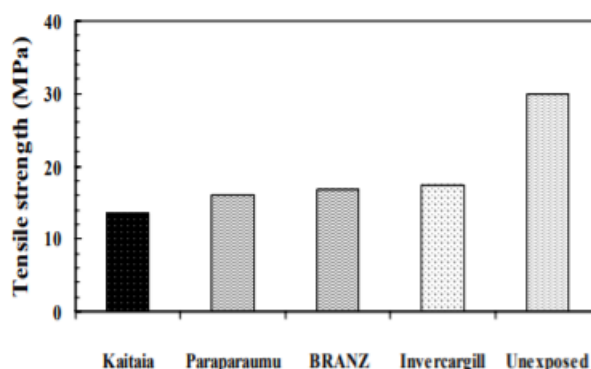
17 paveikslėlyje pavaizduota, kaip keitėsi betono bandinių atsparumas gniuždymo jėgai po 0, 10, 20, 30, 40 ciklų. Taip pat, horizontalioje skalėje pavaizduotas deformacijų kiekis procentais. Matome, kad didėjant ciklų skaičiui mažėjo atsparumas gniuždymui, taip pat didėjo deformacijų kiekis. Pastebėtina, kad po 10 ciklų pasiektas stipris buvo šiek tiek didesnis nei esant 0 ciklų, tačiau po 20 ciklų prasidėjo atsparumo mažėjimas, o po 40 užšaldymo-atšildymo ciklų atsparumas sumažėjo net 28 procentais (0 ciklų – 25 MPa; 40 ciklų – 18 MPa). Apibendrinant šį tyrimą, galima teigti, jog plytelių klijų atsparumas šalčiui yra viena iš svarbiausių savybių, nuo kurios priklauso dangos ilgaamžiškumas, nes cikliška šaldymas ir šildymas skiedinys gali suirti. Pagrindinė irimo priežastis yra ta, kad medžiagos porose užšalancio ledo tankis yra didesnis nei vandens, todėl ledo kristalai veikia medžiagos porų sienelės, plečia medžiagą ir ją suardo.

Paskutinis analizuotas aplinkos faktorius yra UV spinduliuotė. Anot Jones'o [24], pastaraisiais metais išaugo polimerų pagrindu pagamintų gaminių, tokių kaip termoplastikų, termoreaktorių ir kompozitų panaudojimas vietoje tradicinių statybinių medžiagų, tokių kaip mediena, metalas ar cementas. Tiesa, pakankamai informacijos apie polimerinių statybinių medžiagų atsparumą aplinko sąlygoms nėra. Mokslininkas išsiaiškino, kad dauguma organinių polimerų, naudojamų statybos produktuose, dėl UV radiacijos praeina sudėtingas fotolitinės ir fotooksidacines reakcijas, anot jo, polimeruose gausu chromoforinių junginių, tokių kaip karbono-karbono ar karbonilų, kurie sugeria UV skleidžiamą energiją skirtą fotoreakcijai, ko pasekoje polimeras yra suardomas. Pagrindiniai polimerų pažeidimai – spalvos patamsėjimas ar pageltonavimas, taip pat mechaninių savybių praradimas. Jones'as [24] atliko tyrimą apie UV radiacijos įtaką polimerais modifikuotų statybos medžiagų savybėms. Tyrime buvo naudotas UV pagreitinto sendinimo metodas. Eksperimente buvo naudota skirtinga klimatinė aparatūra su skirtingais apšvitos šaltiniais, tai UVA fluorascensinės tubos tipo lempos ir ksenoninės lempos. Abu šaltiniai panašiai atstoja saulės spindulius, tačiau ksenoninių lempų apšvita geresnė (žr 18 pav.)



18 pav. Apšvitos kiekis naudojant skirtingas UV lempas [24]

Tyrimo metu nustatyta, kad UV spinduliuotė ženkliai paveikė polimerinių medžiagų atsparumą tempimo jėgoms – atsparumas sumažėjo 40% (žr. 19 pav.) Buvo stebėtos polipropileno medžiagos skirtingose vietose. Paskutinis grafiko stulpelis rodo atsparumą tempimo jėgai neapšviestos polipropileno medžiagos. Taip pat, ištyrus medžiagos mikrostruktūrą pastebėta mikroįtrūkimų (žr. 20 pav.)



19 pav. Polipropileno tempimo jėga po UV apšvitos [24]



20 pav. Polipropileno mikroįtrūkimai po UV apšvitos [24]

1.2. Plytelių įrengimo technologijos įtaka klijų atsparumo tempimui jėgai ir kirpimui

Ilgamžiškumas yra pastato gebėjimas būti eksploatuojamam išlaikant geriausias mechanines, fizikines, estetineles savybes per tam tikrą laiką ir neprireikiant remonto arba jo dalių keitimo [9]. Atsparumas tempimo ir kirpimo jėgoms yra viena iš svarbiausių mechaninių savybių, nuo kurios priklauso dangos ilgamžiškumas, būtent dėl to gamintojai dažnai deklaruoja būtent tokias mechanines klijų savybes. Melo [10] ištyrė, kaip plytelių klijus veikia tempimo jėgos ir kirpimo deformacijos, kokią įtaką klijų užimamas plotas (angl. contact area) bei storis turės sukibimui, taip pat, kaip keisis atsparumas tempimui, kirpimui.

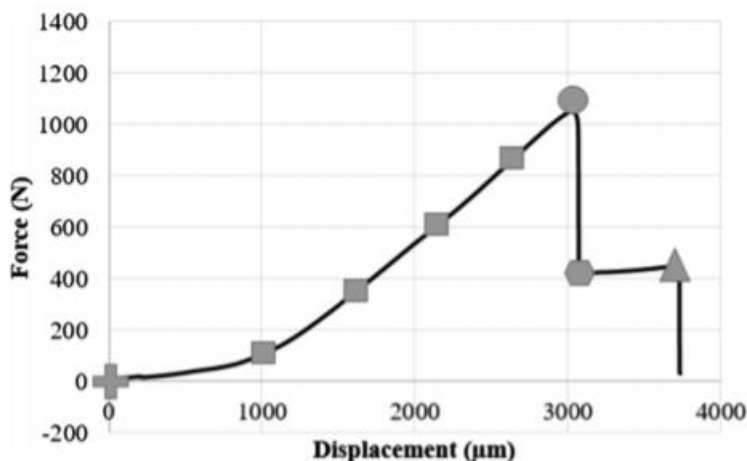
Mokslininkas sukūrė specialius standus ($4 \times 16 \text{ cm}^2$), suklijavo keramines plyteles dviem skirtingais klijais (AC II, AC III, charakteristikos nenurodomos) panaudodamas skirtingus klijų storius (2, 4 ir 7 mm) ir atilkinėjo tempimo jėgos ir kirpimo deformacijos testus naudodamasis mišraus lankstumo būdą (MMF(B) – Mixed Mode Flexure (Bending)). MMB testai yra mišraus režimo atsparumo lūžiams testai, kurie palengvina skirtingų apkrovos sąlygų pritaikymą naudojant tą pačią bandinių geometriją [11]. Dalykai, į kuriuos vertėtų atkreipti dėmesį:

- stende naudota tik viena keraminių plytelių rūšis, todėl vandens įgeriamumo įtaka rezultatuose nėra įvertinama;
- santykinis oro drėgnis, temperatūra, dehidratacija nėra įvertinta rezultatuose, nes bandiniai buvo kietinami laboratorijos sąlygomis
- testai buvo atlikti 28 paros po standų paruošimo, į kietėjimo laiką atsižvelgta nebuvo.

Ceramic plate	Adhesive mortar II		Adhesive mortar III	
	Load (N)	MPa	Load (N)	MPa
1	2578.07	1.03	2939.99	1.18
2	2187.99	0.88	2637.13	1.05
3	2421.49	0.97	3350.66	1.34
4	1998.45	0.80	3044.37	1.22
5	2407.75	0.96	3251.08	1.30
6	2150.22	0.86	3258.64	1.30
7	2370.67	0.95	2775.85	1.11
8	1843.93	0.74	2874.74	1.15
9	2668.03	1.07	3500.38	1.40
10	2882.30	1.15	3196.14	1.28
Overall average (MPa):		0.94		1.23
Open time: ≥ 20 min				

21 pav. Klijų II ir III atsparumo tempimo jėgai rezultatai [10]

21 paveikslėlis vaizduoja plytelių klijų atsparumo tempimo jėgai rezultatus. Bandiniai buvo kietinami normaliomis sąlygomis pagal LST EN 196-1 [16] 28 parą. Testo metu visi įtrūkimai pasireiškė tarp skiedinio ir plytelės [12]. Plytelės klijai AC III pasiekė geresnius rezultatus, vidutinė jėga $> 1 \text{ N/mm}^2$, pagal LST EN 12004-1:2017 [13] atitiko C2 kategoriją, todėl galima teigti, kad pastarųjų klijų mechaninės ir cheminės savybės buvo geresnės. Tam, kad būtų galima lengviau suprasti 21 paveikslėlyje pateiktus testo rezultatus, buvo išskirti skirtingi etapai, kaip keitėsi įtrūkimas (žr. 22 pav.)



22 pav. Klijų įtrūkimo etapai [10]

+

- etapas, kuomet bandinį pradeda veikti jėga;

■

- poslinkis didėja progresyviai kartu su jėga;

●

- etapas, kai prarandamas sukibimas tarp klijų ir plytelės, šis lūžio taškas yra didžiausia pasiekta jėga, kokią klijai gali atlaikyti veikiant tempimo ir kirpimo įtempimams;

●

- momentas, kurio metu jėga perduodama plytelei;

▲

- plytelės deformavimasis (testo pabaiga).

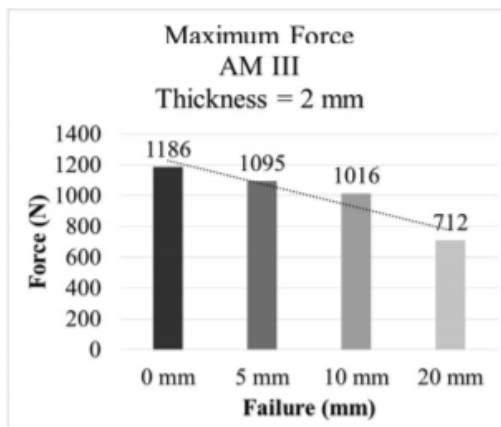
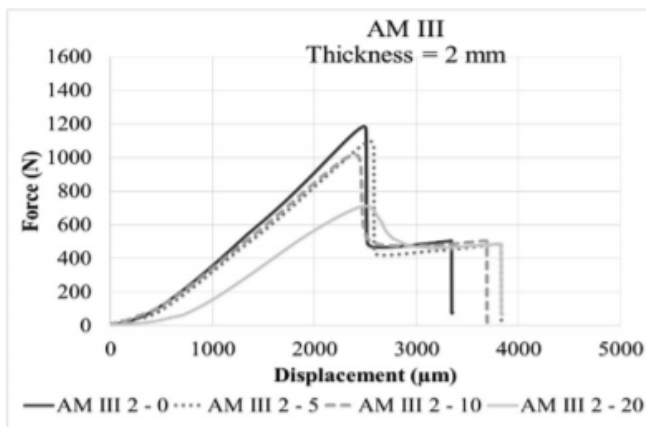
Nors pagal testo rezultatus, plytelė parodė deformaciją, ji vis dar išliko sukibusi su klijais. Įtrūkimai pasireiškė mikrometrų dydžio vidinėje plytelės-klijų pusėje, todėl pamatyti jų neįmanoma, tačiau mechanizmas tai parodė matavimo metu.

Taip pat buvo atliktas traukimo testas (angl. pull-of test). Pagal gautus rezultatus grafikuose pateikiamas tempimas ir poslinkiai. Bandiniai buvo įrengti naudojant skirtingą klijų pasiskirstymą, bei storį. Teste buvo naudojami II klijai, geriausią rezultatą parodė bandiniai su 4 mm storio klijais, antroje vietoje – 2 mm, paskutinėje – 7 mm. Klijų pasiskirstymas taip pat turėjo didelę įtaką. Kuo klijų pasiskirstymas didesnis, tuo didesnis atsparumas tempimui. Žinoma, poslinkiai taip pat didesni, bet tai normalu, nes plytelė ilgiau tempiama. Esant geriausiam klijų pasiskirstymui, 4 mm storiui, buvo pasiekta didžiausia – 1462 N jėga, tuo tarpu prasčiausias rezultatas pasiektas esant mažiausiam pasiskirstymui ir 7 mm storiui – 634 N jėga. Rezultatai pateikiami 23 paveikslėlyje.

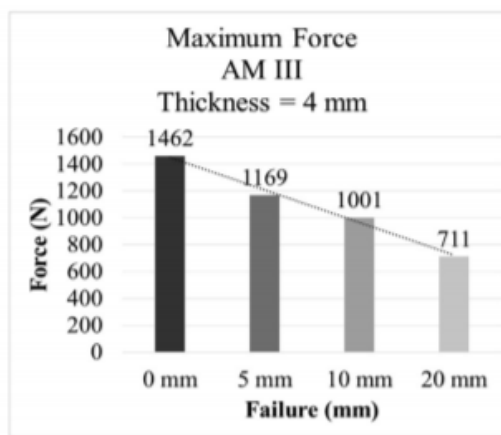
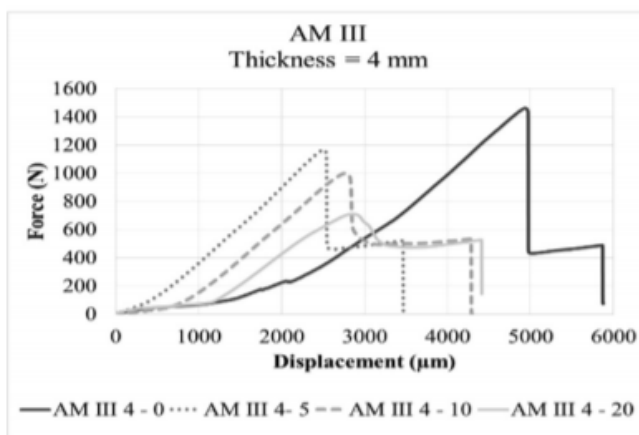
Apibendrinant tyrimą galima daryti išvadą, kad plytelių įrengimo technologija, kuri apima tinkamą klijų pasiskirstymą ir naudojamą klijų storį, iš esmės keičia sukibimo kokybę. Geriausius rezultatus parodė vidutinio storio (4mm) klijų sluoksnis. Mažiausiai tempimui atsparūs bandiniai buvo tie, kurių

klijų storio sluoksnis buvo 7 mm. Taip pat, verta paminėti, kad geriausiai pasiskirstę klijai buvo atspariausi tempimui, blogiausiai pasiskirstę – mažiausiai atsparūs.

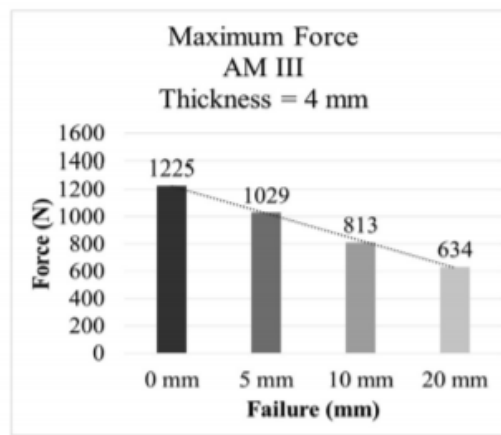
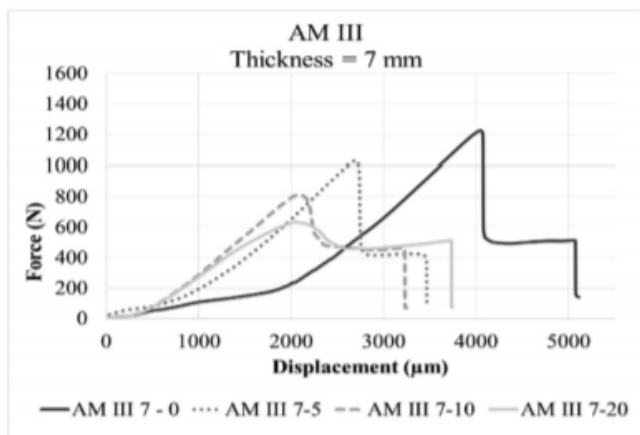
(a)



(b)



(c)



23 pav. Plyšimo-poslinkio kreivė. Traukimo testų rezultatai diagramose:
klijų storis a) 2 mm; b) 4 mm; c) 7mm [10]

1.3. Polimerinių dispersijų įtaka cementiniams skiediniams

Vis labiau pasaulyje ir Lietuvoje auga poreikis cementinius skiedinius keisti į visiškai polimerinius arba modifikuotus polimerinėmis dispersijomis. Tai yra natūralus poreikis, nes cementiniai mišiniai

yra vertinami vis prasčiau. Nors ilgą laiką įprastas cementas buvo laikomas kaip pigi, geras gniuždymo savybes demonstruojanti statybinė medžiaga, ji vis dėl to prastai vertinama kalbant apie sukibimo, lenkimo jėgą, atsparumą cheminėms medžiagoms. Anot Tarannumo [14], polimerinės dispersijos milteliai (polimerinės dispersijos) turi daug privalumų, kurių negali pasiūlyti vienas cementas:

- geresnė sukibimo jėga – įmaišius polimerinės dispersijos į cementinius skiedinius, tuščias rišiklio poras užpildo polimerų dalelės, tai užtikrina geresnę sukibimą su paviršiumi;
- geresnės lenkimo savybės – išgaravus vandeniui iš cementinio skiedinio, statinyje, polimerai padaro konstrukciją elastingesne ir tvirtesne, tai sumažina įtempius ir pagerina atsparumą iškraipymams;
- geresnis atsparumas smūgiams, nes polimerai yra plastiška dervinė medžiaga. Polimerų dalelės sugeria išorinius mechaninius smūgius;
- geresnis vandens atsparumas – cemento džiuvimo laikotarpiu polimerai sukuria negrižtamą apsaugą. Vanduo į skiedinį patenka per poras, mažas oro daleles, tačiau polimerų dalelėms užpildžius tuščias vietas, vanduo negali visiškai dominuoti. Apskritai, dervos yra hidrofobiškos;
- tvirtesnis skiedinys – įdėjus į skiedinį polimerinės dispersijos miltelių, tankumo lygis tarp skiedinio ir polimerų padidėja. Padidėjus tankumui, padidėja sukibimo jėga ir pagerinamas atsparumas kirpimui. Dėl to sumažinamas susidėvėjimo greitis, pagerinamas atsparumas dilumui ir prailginamas skiedinio tarnavimo laikas;
- užkertamas kelias medžiagos įtrūkimams ir pagerinamas atsparumas užšaldymui-atšildimui – polimerinės dispersijos yra termoplastiškos, t.y. veikiant karščiui taptų elastingos, o šalčiui – grįžtų į pradinę būseną. Ši savybė esant išsiplėtimams ar susitraukimams dėl temperatūros kaitos neleis visiška deformuotis, atsirasti įtrūkimams, todėl medžiagos tarnauja ilgiau.

Polimerinės dispersijos milteliai yra polimerinės emulsijos, kurios yra gaunamos po įvairių procesų. Milteliai plačiai naudojami statyboje, dažnai tam, kad pagerintų cemento mechanines, fizikines ir chemines savybes. PDM yra gaunami dviem etapais. Pirma, vykstant sudėtingam chemiam procesui, emulsijos polimerizacijai, gaunama žaliava polimerinis lateksas (sintetinė derva – guma). Antra, sintetinis polimerinis lateksas yra išdžiovinamas naudojant specialų oro džiovintuvą (skystos medžiagos paverčiamos milteliais). Galiausiai, gaunami PDM. Prieš džiovinimą, į skystą lateksą dedami baktericidai, priedai nuo putojimo ir susisluoksniavimo. Dažnai į žaliavą dedamas molio silicio dioksidas ar kalcio karbonatas. Po visų procesų gaunamos tokios medžiagos kaip polivinilo acetato (PVAc) PDM, polivinilacetato etileno (PEVA) PDM. [14][15]. Tiesa, įmaišius PDM į vandenį, PDM išsisklaido ir įgauna originalią, skystos polimerinės dispersijos, būseną [18].

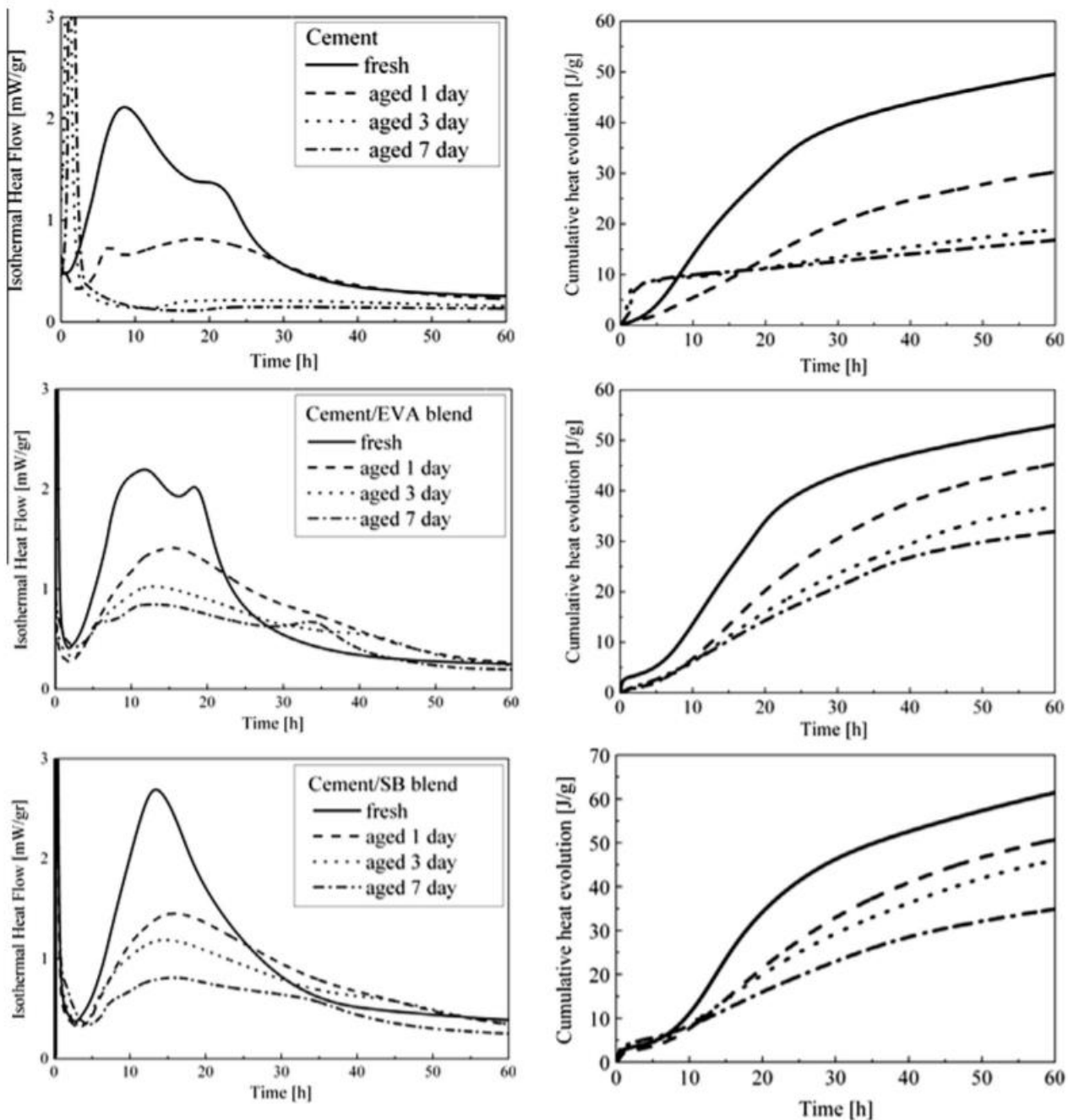
Pique [19] ištyrė cemento, į kurį buvo įmaišytas EVA (vinilacetato etilenas) ir SB (stirenas butadienas) PDM laikomo aukštoje temperatūroje, mechanines, fizikines savybes, taip pat palygino savybes bei cemento tarnavimo laikotarpį su įprastiniu cementu. Tyrime buvo naudojamas portlandcementis CEM I 52,5N, kurio vidutinis cemento dalelių dydis – 11,8 μm , tankumas – 3,2 g/cm^3 , EVA ir SB PDM, kurių savybės nurodomos 24 paveikslėlyje. Į PDM papildomai įdėta kaolino (nuosėdinė uoliena miltelių forma, kuri neleidžia PDM susisluoksniuoti) – apie 12% viso kiekio ir

polivinilo alkoholio (PVOH) apie 10% [20]. Paprastas cementas buvo laikomas 40 ± 1 °C temperatūroje ir $90 \pm 3\%$ santykiame oro drėgnyje 1, 3 ir 7 dienas. Kitu atveju, į sausą cementą buvo įdėta 4% PDM ir taip pat laikyta tokiomis pačiomis sąlygomis. Tam, kad būtų atlikti atsparumo gniuždymo ir lenkimo jėgoms testai, buvo paruošti bandiniai iš paprasto cemento ir cemento su PDM 4%. Vandens ir cemento santykis (w/c ratio) buvo 0.6, smėlio ir cemento santykis (s/c ratio) – 3. Bandiniai buvo gaminami laikantis LST EN 196-1 [13] standarto reikalavimų ir kietinami 28 paras 22 ± 2 °C temperatūroje ir $50 \pm 3\%$ santykiname oro drėgnyje.

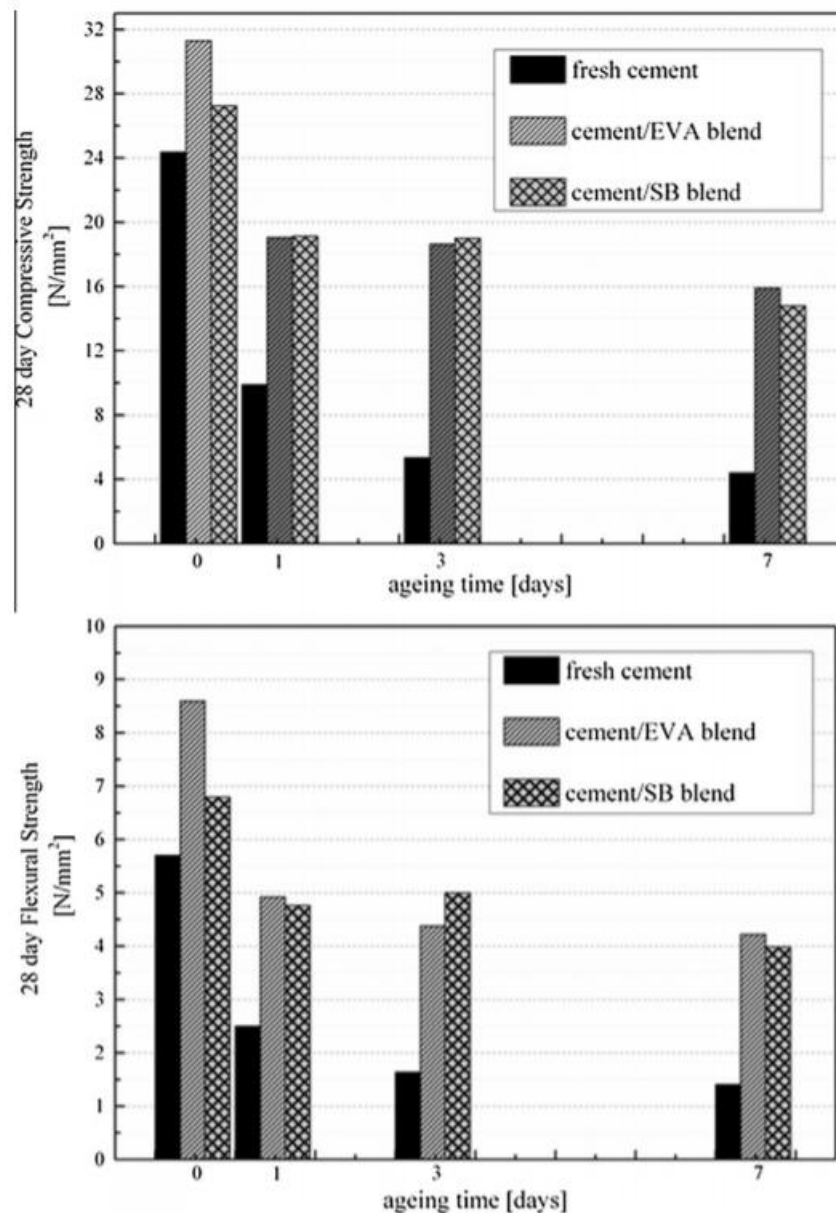
Component or property	EVA powder	SB powder
Colloidal stabilizer	PVOH	PVOH
Anti-caking agent	Kaolin	Kaolin
Primary particle size [nm]	300-1250	150-600
Particle size distribution	Polydisperse	Polydisperse
Anionic charge density [C/g]		
In water @ pH 7.0	1.0	27.3
In water @ pH 12.5	12.8	32.0
T _g [°C]	20.0	6.0
MFFT [°C]	3.0	5.0

24 pav. Polimerinių dispersijų miltelių savybės [19]

Šviežio ir sustengusio cemento ir cemento su PDM šilumos atidavimas buvo matuojamas su oro izotermio šilumos laidumo kalorimetru. Testas parodė, kad PDM cementas reaguodamas su vandeniu ženkliai pagerino hidratacijos procesą ankstyvojoje kietėjimo stadijoje. Pasirodo, PDM buvimas sukietėjusiam cemente iš esmės pakeičia hidratacijos reakciją. Cemento hidratacija – tai įvairių sudėtingų cheminių procesų visuma, kai vanduo reaguoja su cementu [15]. Reaguojant vandeniui su cementu, susidaro hidratai C-S-H (angl. calcium silicate hydrate), pagrindiniai cemento kietėjimo produktai, dėl kurių sukietėjęs cementas įgauna atsparumą gniuždymo jėgai [16]. Šilumos išsiskyrimas rodo, kad nemodifikuotas cementas po 1 dienos kietėjimo atiduoda apie 40% mažiau šilumos, o toks pat šilumos atidavimas PDM cimente pastebimas tik po 7 dienų (žr. 25 pav.). Iš grafikų matyti, kad modifikuotas cementas ilgiau išskyrinėjo didesnę kiekį šilumos. Taip yra dėl to, nes PDM paspartino cemento hidrataciją ir kaip vėliau matysime, dėl to ženkliai išaugo atsparumas gniuždymo jėgai ankstyvojoje kietėjimo stadijoje [17]. Mechaninėms savybėms nustatyti ir palyginti buvo paruošti bandiniai iš cementinio skiedinio. Paprasto cemento atsparumo gniuždymo jėgai sumažėjimas buvo itin didelis. Po 1 paros, 60% pirminės jėgos buvo prarasta (žr. 26 pav.). Po 7 parų, mažiau nei 20% pirminės jėgos buvo likę. Priešingai nei paprastas cementas, PDM modifikuotas cementas pademonstravo daug mažesnius jėgos nuostolius. Po 1 paros, abu modifikuoti bandiniai parodė 30% (EVA) ir 40% (SB) jėgos sumažėjimą, tačiau po 7 dienų vis dar išlaikė 50% pirminės jėgos. Kaip ir atsparumo gniuždymo jėgai, taip ir lenkimo jėgos rodikliai buvo daug geresni tų bandinių, kurie buvo sumaišyti su PDM. Taigi, polimerinėmis dispersijomis modifikuotas cementas pademonstravo geresnes fizikines bei mechanines savybes. Tyrimo rezultatai taip pat įrodo, kad polimerinių dispersijų cementiniai mišiniai tarmaus ilgiau nei įprasti.



25 pav. Šilumos atidavimas nuo laiko priklausomybės vykstant cemento šilumos atidavimo procesui. Viršuje – paprastas cementas; per vidurį – cementas sumaišytas su EVA PDM; apačioje – SB PDM [19]



26 pav. Atsparumo gniuždymo (viršuje) ir lenkimo (apačioje) jėgoms diagrama, kai cementas įprastas ir modifikuotas su PDM [19]

Apibendrinant mokslinės literatūros apžvalgą, galima teigti, kad aplinkos sąlygos veikia fasado iš klijuojamų plytelių ilgaamžiškumą – fizikines, mechanines bei estetines savybes. Nors įrengimo technologijos taip pat gali turėti neigiamos įtakos sistemos tarnavimo laikotarpiui, vis dėl to, tam tikri priedai gali pagerinti sistemos ilgaamžiškumą.

Infraraudonųjų spindulių termografijos metodas buvo taikytas, norint stebėti fasado temperatūros pokyčius. Duomenys parodė, kad dėl susikaupusios drėgmės, fasado temperatūra skyrėsi, o tose vietose buvo matyti paviršiaus defektai – nestabilios plytelės, dėmės, pelėsis. Toms pačioms problemoms atskleisti, buvo taikyti kiti paviršių įvertinimo metodai, vadinami neardantieji „įvertinimo vietoje“ metodai. Vienas iš jų – „Karsten“ vamzdelių metodas, kuriuo buvo stebimas paviršių vandens pralaidumas, kitas – paviršių matavimas drėgmės matuokliu, kuriuo fiksuotos labai drėgnos vietos. Kito tyrimo metu buvo išsiaiškinta, kad nuo aplinkos sąlygų priklauso ir plytelių sistemos mikrostruktūra. Klijų džiuvinimas, jų laikymas drėgnoje aplinkoje ar vandenyje sukėlė įvairias sistemos anomalijas. Sausose aplinkos sąlygose laikytuose bandiniuose pasireiškė pailgi paviršiaus įtrūkimai tarp plytelių ir klijų, drėkinamame bandinyje labiau pasireiškė maži, padriki vidiniai

paviršių įtrūkimai, jie formuodavosi ties siūlėmis. Bandinyje, kuris buvo pamerktas vandenyje, atsirado vidiniai klijų mikroįtrūkimai, susidarė organinių, vandens junginių sankaupos. Įtrūkimai sudarė galimybes į plytelių dangos vidų patekti vandeniui. Svarbus aplinkos sąlygos veiksnys yra žema temperatūra. Atliekant gniuždymo atsparumo bandymus paaiškėjo, kad bandiniai, kietinami žemoje (5°C) temperatūroje visais atvejais parodė blogesnius rezultatus, nei bandiniai kietinami kambario (23°C) temperatūroje. Atlikus užšaldymo-atšildymo ciklų testą buvo pastebėtas neigiamas poveikis betono atsparumui gniuždant – didėjant ciklų skaičiui, atsparumas mažėjo. Palyginus 0 ir 40 ciklų, atsparumas gniuždymo jėgai sumažėjo 28 procentais. Mažiausiai informacijos yra sukaupta apie UV radiacijos įtaką polimerinių statybos produktų savybėms. Buvo atliktas tyrimas ir nustatyta, kad polipropileno bandiniai apšviesti UV spinduliais turėjo mažesnę atsparumą tempimo jėgai apie 43 procentais, taip pat tiriant medžiagos mikrostruktūrą, buvo pastebėta mikroįtrūkimų.

Norint sužinoti, kaip plytelių įrengimo technologija įtakoja klijų atsparumą tempimo jėgai ir kirpimo deformacijai, buvo įrengti specialūs plytelių sistemos standai ir taikyti keli metodai, mišraus lankstumo būdas ir plėšimo testas. Standai buvo įrengti, naudojant skirtingą klijų pasiskirstymą bei klijų storį. Geriausius rezultatus parodė 4 mm storio klijų sluoksnis, mažiausiai tempimui atsparūs buvo tie, kurių klijų storis buvo 7 mm. Kaip buvo tikėtasi, geriausiai pasiskirstę klijai buvo atspariausi tempimui.

Vienas iš šiuo metu populiariausių priedų, gerinančių cementinių skiedinių savybes yra polimerinės dispersijos. Ši sintetinė derva pasižymi geresne sukibimo jėga, turinti geresnes lenkimo savybes, dėl didesnio tankumo labiau atsparesnė vandeniui. Taikant izoteriminio šilumos laidumo metodą, buvo stebimas įprasto cemento ir modifikuoto su polimerinių dispersijų milteliais cemento hidratacijos procesas. Rezultatai parodė, kai mišinyje yra polimerinės dispersijos, hidratacijos procesas vyko sparčiau, tai leido skiediniui pasiekti didesnę ankstyvąją atsparumą gniuždymui bei lenkimui. Po 7 parų įprastinis cementas išlaikė mažiau nei 20 procentų pirminio atsparumo gniuždymo jėgoms, kai tuo tarpu modifikuoti skiediniai vis dar išlaikė 50 procentų. Polimerinės dispersijos priedu patobulintas cementas parodė geresnes fizikines bei mechanines savybes.

2. Metodologija

Tyrimui įgyvendinti ir jo tikslams pasiekti pasirinkta metodika – eksperimentiniai tyrimai. Tai metodika, kurios metu atliekami praktiniai eksperimentai su tiriamuoju objektu – lanksčiomis plytelėmis ir jų klijais.

2.1. Eksperimentiniai tyrimai

Šiame skyriuje aprašomi atlikti eksperimentiniai tyrimai su lanksčiomis plytelėmis, kita, su eksperimentais susijusi informacija – naudotos medžiagos, įranga, bandinių ruošimas, klimato poveiko sąlygos, sukibimo stiprio bandymas.

2.1.1. Medžiagos

Šiame poskyriuje aprašomos bandymų metu naudojamos medžiagos, jų sudėtis, techninės specifikacijos, savybės.

Polistireninis putplastis EPS100. AB „Ukmergės gelžbetonis“ polistireninio putplasčio plokštės „Termoporas“ EPS100.



27 pav. Polistireninis putplastis „Termoporas“ EPS100

Sudėtis:

- 98 proc. oro;
- 2 proc. polistireno, kuris sudarytas iš angliavandenilių stirolo ir pentano, gaunamų iš naftos.

Techniniai duomenys:

- šilumos laidumo koeficientas: $\leq 0,035$ W/mK;
- stipris gniuždant iki 10% deformacijos, kPa: ≥ 100 ;
- stipris lenkiant, kPa: ≥ 150 .

Savybės:

- laidus šilumai;
- tvirtas;
- atsparus drėgmei;
- ekologiškas.

Armavimo mišinys. Ceresit ZU sausas klijuojantis ir armuojantis mišinys polistireniniui putplasčiui.



28 pav. „Ceresit ZU“ armavimo mišinys

Sudėtis:

- cementas;
- mineraliniai užpildai;
- modifikatoriai;

Techniniai duomenys:

- piltinis tankis – apie 1,3 kg/dm³;
- maišymo proporcijos armuojančiam sluoksniui – 4,75 – 5,25 l vandens / 25kg mišiniui;
- naudojimo temperatūra – nuo +5° iki +25 °C;
- sunaudojimo laikas – apie 2h;
- sukibimas – su betonu >0,3 MPa, su putplasčiu >0,1 MPa (plyšimas putplasčio sluoksnyje);
- sunaudojimas armavimo sluoksniui – apie 4,0 kg/m².

Savybės:

- elastingas;
- patvarus;
- gerai sukimba;
- atsparus atmosferos poveikiui.

Armavimo tinklelis. Lietuvių gamintojo „Briko“ stiklo pluošto tinkuojamų fasadų paviršių ant termoizoliacinio sluoksnio armavimo tinklelis.



29 pav. „Briko“ armavimo tinklelis

Sudėtis:

- Stiklo pluošto audinys.

Techniai duomenys:

- Tankis – 160 g/m³.

Savybės:

- Atsparus karščiui.

Polistireninis putplastis EPS70. „Finnfoam“ forminis polistireninis putplastis FF-EPS70.



30 pav. „Finnfoam“ polistireninis putplastis EPS70

Sudėtis:

- oras;
- pilkasis polistirenas;

Techniniai duomenys:

- šilumos laidumo koeficientas – 0,030 W/mK;
- stipris gniuždant – 70 kPa;
- stipris lenkiant – 115 kPa.

Savybės:

- tikslūs ir stabilūs matmenys;
- geresnės šiluminės savybės;
- 100% perdirbamas.

Armavimo masė. Paruošta darbui, karbono pluoštu sustiprinta hibridinė silikatinė organinė dispersijos rišiklio armavimo masė „Caparol“ OrCa-Spachtel.



31 pav. „Caparol OrCa-Spachtel“ disperinė armavimo masė

Sudėtis:

- silikatinė dispersija;
- karbono pluoštas;
- vanduo.

Techniniai duomenys:

- tankis – apie $1,3 \text{ g/cm}^3$;
- sąnaudos – apie $1,3 \text{ kg/m}^2$, kai sluoksnio storis 1 mm;
- atsparumas ugniai – A2-s1, d0 pagal DIN EN 13501-1;
- vandens sugerties koeficientas - apie $0,03 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{h}0,5)$ pagal DIN EN 1062, (vidutinė) klasė W2.

Savybės:

- lengva ir elastinga;
- labai gera sukibtis;
- hidrofobiška;
- itin atspari smūgiams ir plyšimui.

Gruntiniai dažai. „Caparol“ PutzGrund 610 sukibtį gerinantys, užpildantys gruntiniai dažai vandens pagrindu, skirti tinkuojamoms termoizoliacinės plokštėms prieš dengiant dekoratyvinio tinko sluoksnį.



32 pav. „Caparol PutzGrund 610“ gruntiniai dažai

Sudėtis:

- sintetinių medžiagų dispersija pagal DIN 55945;
- vanduo;
- grūdėliai, S2 klasė.

Techniniai duomenys:

- tankis – apie $1,6 \text{ g/cm}^3$;
- oro sluoksnio storis - (sd -dydis): $< 0,14 \text{ m}$ ($0,03 \text{ m}$ (aukštas), V1);
- didžiausias grūdėlių dydis – vidutinis $< 300 \text{ my}$.

Savybės:

- labai gera sukibtis;
- nedegus arba sunkiai užsidegantis.

Dekoratyviniis tinkas. „Caparol“ Acryl Fassadenputz akrilinis dekoratyvinis tinkas, paruoštas dengti, naudojamas kaip baigiamasis sluoksnis ant sudėtinių fasadų šiltinimo sistemų.



33 pav. „Caparol Acryl Fassadenputz“ akrilinis dekoratyvinis tinkas

Sudėtis:

- polimerinės (akrilinės) dispersijos;
- vanduo;
- grūdeliai.

Techniniai duomenys:

- tankis – $1,77 \text{ g/cm}^3$;
- sukimbamasis stiprumas – $\geq 0,3 \text{ MPa}$;
- gaisrinė laikysena – su polistireniniu putplasčiu (EPS) – B-s2,d0 pagal EN 13501-1;
- vandens sugerties koef. – W3 pagal DIN EN 1062-3;
- vandens garų pralaidumas – V2.

Savybės:

- atsparus nepalankių atmosferos veiksnių poveikiui;
- hidrofobiškas;
- atsparus skilinėjimui;
- atsparus šarmams.

Giluminis gruntas. Lietuvių gamintojo „Klinkerit“ akrilinis giluminis fasado gruntas, skirtas pagrindo sutvirtinimui ir sukibimo kokybės pagerinimui prieš klijuojant lanksčias plyteles.



34 pav. „Klinkerit“ giluminis akrilinis gruntas

Sudėtis:

- polimerinės dispersijos;
- technologiniai priedai;
- vanduo.

Techniniai duomenys:

- tankis – $1,01 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$;
- pH – 8-9;
- sausos medžiagos kiekis - $7 \pm 0,25\%$;
- išeiga - 150-200 ml/m²;
- džiuvimo laikas – 2 val.

Savybės:

- gerina sukibimą su paviršiumi;
- didina atsparumą vandens įgeriamumui;
- „suriša“ pagrindo nešvarumus.

Plytelių klėjai. „Klinkerit“ polimeriniai plytelių klėjai. Paruošti naudoti.



35 pav. „Klinkerit“ plytelių klėjai

Sudėtis:

- užpildai;
- technologiniai priedai;
- vanduo;
- polimerinės disperijos (rišiklis).

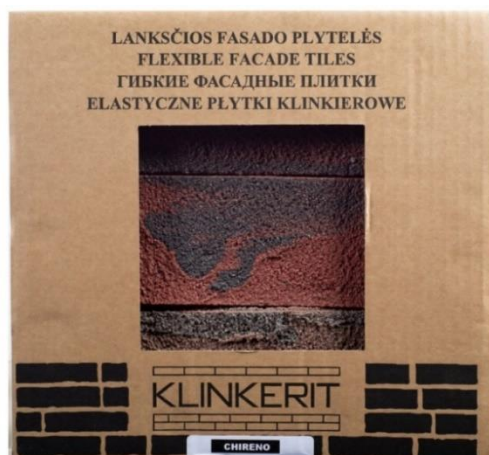
Techniniai duomenys:

- tankis – $1,8 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$;
- didžiausias dalelių dydis – $\leq 1,0 \text{ mm}$;
- sausos medžiagos kiekis – $105 \text{ }^\circ\text{C}: \geq 86 \%$;
- sąnaudos – $\sim 2,5 \text{ kg/m}^2$;
- sandėliavimo temperatūra – nuo $+5^\circ\text{C}$ iki $+30^\circ\text{C}$.

Savybės:

- elastingumas;
- greitas sukibimas
- atsparumas vandeniui ir šalčiui.

Lankačios plytelės. „Klinkerit“ lanksčios plytelės, skirtos naujų ir modernizuojamų pastatų fasadų įrengimui.



36 pav. „Klinkerit“ lanksčios plytelės

Sudėtis:

- kvarcinis smėlis;
- pigmentai;
- priedai;
- polimerinės dispersijos (rišiklis).

Techniniai duomenys:

- svoris – 1 m² – 4 kg;
- storis – 4 mm;
- matmenys – ilgis 240 mm, plotis 70 mm.

Savybės:

- lankstumas;
- atsparumas smūgiams;
- laidumas garams;
- atsparumas šalčiui ir UV spinduliams.

Dvikomponenčiai epoksidiniai klijai. Sukibimo stiprio bandymams naudojami dvikomponenčiai epoksidiniai klijai Bison Epoxy 5-min. Tai greitai stengstantys, skaidrūs, vandeniui atsparūs, universalūs klijai, tinkantys daugumai paviršių.



37 pav. Dvikomponenčiai epoksidiniai klijai „Bison Epoxy 5-min“

Sudėtis:

- derva;
- kietiklis.

Techniniai duomenys:

- tankis – apie 1,16 g/cm³;
- galutinis sukibimo stiprumas – 17 N/mm²;
- darbo trukmė, iki kol klijai pradeda kietėti – 5 minutės;
- darbinė temperatūra nuo +10°C iki +35°C;
- klijai nekietėja žemesnėje nei +5°C temperatūroje;
- pilna sukibimo jėga po 1 valandos.

Savybės:

- atsparūs vandeniui, drėgmei, UV;
- greitai kietėjantys;
- atsparūs žemai (-40°C) ir aukštai (+100°C) temperatūroms.

2.1.2. Įranga

Šiame poskyriuje aprašoma eksperimentinių tyrimų metu naudota laboratorinė įranga, kurios pagalba sukuriamos dirbtinės aplinkos sąlygos, atliekamas mechaninio atsparumo bandymas, nustatomi bandinių išvaizdos pokyčiai.

FDM – F.lli Della Marca klimatinė bandinių testavimo kamera. Italų gamintojo įranga, kurios pagalba simuliuojamos dirbtinės aplinkos sąlygos – temperatūra, drėgmė.



38 pav. „FDM“ klimatinė kamera

Techniniai duomenys:

- temperatūra nuo -25°C iki $+70^{\circ}\text{C}$;
- drėgmė nuo 10% iki 98%.

SNOL 58/350 LSP11 džiovinimo krosnis. Tai krosnis, skirta terminiam medžiagų apdirbimui iki 350°C . Krosnyje galima džiovinti, kaitinti, sendinti statybines medžiagas.



39 pav. „SNOL 58/350 LSP11“ džiovinimo krosnis

Techniniai duomenys:

- tūris – 58 l;
- darbinė temperatūra – nuo $+10$ iki $+350^{\circ}\text{C}$;
- darbinės kameros aplinka – ventiliuojamas oras;
- maksimalus įkaitinimo laikas – 40 minučių.

UVA-340 klimatinis kambarys. Klimatinis kambarys, kuriame sukuriamos UV spindulių pagreitinto sendinimo sąlygos.



40 pav. UV klimatinis kambarys

Techniniai duomenys:

- galingumas – 15W x 4vnt;
- šilumos srauto tankis (energinė apšvieta) - 0,68 W/m²;
- bangų ilgis – 340 nm;
- lempų korpuso temperatūra – 60°C.

Šaldymo kamera. Užšaldymo-atšildymo ciklus sukurianti šaldymo kamera.



41 pav. Šaldymo kamera

Techniniai duomenys:

- užšaldymas – -20±2°C;
- atšildymas – +10±2°C temperatūros vandenyje;
- vėdinimas – ventiliatoriaus pagalba.

DYNA Z Pull-Off Tester plėšimo prietaisas su skaitmeniniu manometru. Plėšimo prietaisas yra mobilus ir daugiafunkcinis. Prietaisą galima naudoti tiek laboratorijose, tiek statybos aikštelėse, su juo galima matuoti dangų sukibimo stiprį arba nustatyti paviršių stiprumą.



42 pav. „DYNA Z“ plėšimo prietaisas

Techniniai duomenys:

- maksimali tempimo jėga – 16kN;
- tikslumas – < 2 %;
- skiriamoji geba – 0.01 N/mm².

NCS Colour Scan 2.0 spalvos skaitytuvas. Mobilus spalvos skaitytuvas, kuris nustato medžiagų paviršiaus spalvą. Įrenginys identifikuoja spalvos kodą pagal NCS spalvų standartą ir nurodo spalvos numerį NCS spalvų paletėje.



43 pav. „NCS Colour Scan 2.0“ spalvos skaitytuvas

Techniniai duomenys:

- nuskaitymo trukmė – < 3 sekundės;
- darbinė temperatūra – 0° to 40°C;
- prietaiso sandėliavimo temperatūra – -20° to 60°C.

2.1.3. Bandinių ruošimas

Šiame poskyriuje aprašoma bandinių ruošimo metodika, dydis, kiekis.

Lanksčios plytelės ant armuoto polistireninio putplasčio „Termoporas“ EPS100. Tai paviršius imituojantis naujai statomo pastato fasadą. Bandiniai žymimi raide A. Prieš išpjaunant polistireninio putplasčio bandinius, nustatoma, kokio dydžio reikia, norint teisingai atlikti pagrindinį bandymą, t.y. sukibimo stiprio bandymą. Pagal Europos techninio įvertinimo Europos vertinimo dokumento EAD 040287-00-0404 reikalavimus plėšimo testui atlikti reikalingos penkios atplėšimo plokštelės, kurios

vienos dydis yra 50×50 mm. Taip pat, įvertinama, kokį plotą ant bandinio užima plėšimo prietaisas, kuris į pagrindą atsiremia trimis atraminėmis kojomis. Įvertinus visas sąlygas, nustatomas bandinių dydis nemažesnis nei 410×210 mm.

Pagal Statybos taisyklių ST 304915297.01:2021 „Bendrieji statybos darbai“ II skirsnis. Naujų ir eksploatuojamų statinių išorės sienų apšiltinimas. 570 punktą ant 1000×1000×100 mm dydžio polistireninio putplasčio įrengiamas armavimo mišinio su armavimo tinkleliu sluoksnis.



44 pav. Polistireninio putplasčio bandiniai su armavimo

Ant įrengto bandinio su pieštuku ir liniuote subraižomi mažesni, reikiamo dydžio bandiniai (31 pav.) ir naudojant rankinį pjūklą išpjaunami.

Pagal „Klinkerit“ lanksčių plytelių gamintojo reikalavimus ant bandinių klijuojamos plytelės. Naudojami specialūs, polimeriniai, paruošti naudoti, lanksčioms plytelėms skirti klijai. Prieš klijuojant klijai maišomi elektriniu maišytuvu tol, kol klijų spalva bus tolygi, masė vientisa, apie 30 sekundžių. Naudojantis 6×6 mm dydžio dantyta mentele ant bandinio užtepamas apie 4 mm storio klijų sluoksnis, klijuojamos plytelės, stengiantis jas įspaudžiant į klijų sluoksnį taip, kad neliktų oro tarpų, tarp plytelių įrengiamos 10 mm dydžio siūlės, tarp siūlių esantys klijai su drėgnu teptuku švelniai išlyginami, sandariai užtepant plytelių kraštus, kad nepatektų vanduo. Iš viso įrengiama 11 bandinių.



45 pav. Įrankiai, skirti klijams užtepti ant bandinių

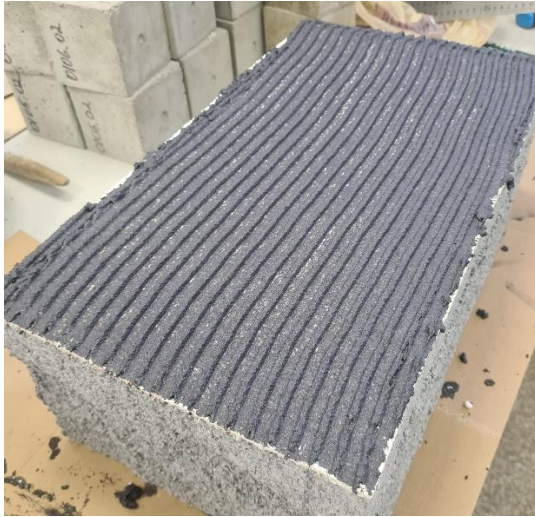
Lanksčios plytelės ant dekoratyvinio tinko, įrengto ant pilkojo polistireninio putplasčio EPS70. Šis paviršius pasirinktas, norint imituoti seniau įrengtus struktūrinio tinko namų fasadus, modernizuojant fasadą su lanksčiomis plytelėmis. Bandiniai žymimi raide B. Ruošimo metodika analogiška. Bandiniai, jų sluoksniai, užteptas plytelių klijų sluoksnis ir paruoštas kietinimui bandinys pavaizduoti atitinkamai 46 paveikslėlyje, 47 paveikslėlyje, 48 paveikslėlyje ir 49 paveikslėlyje.



46 pav. Struktūrinio tinko ant grafitinio polistireninio putplasčio bandiniai



47 pav. Aiškiai matomi bandinio sluoksniai



48 pav. Klijų sluoksnis ant bandinio



49 pav. Paruoštas kietinimui bandinys

2.1.4. Aplinkos poveikio sąlygos

Šiame poskyriuje aprašomos bandinių atmosferos poveikio sąlygos – žema temperatūra kietėjant, drėgmė, atšildymo-užšaldymo ciklai, UV spinduliuotė.

Žema temperatūra. Savaris [7] tyrime analizavo skirtingose temperatūrose kietintų betono bandinių atsparumą gniuždymui ir rezultatai parodė, kad žemoje temperatūroje bandiniai neįgavo tokio atsparumo, kokį įgavo prie kambario temperatūros, todėl būtina nustatyti ar polimerinių dispersijų pagrindu pagamintos lanksčios plytelės bei jų klijai taip pat gali būti įtakojami esant skirtingai temperatūrai klijams kietėjant. Remiantis šiame tyrime anksčiau apžvelgtais moksliniais šaltiniais bei plytelių gamintojų rekomendacijomis, kad darbinė bei kietėjimo temperatūra turėtų būti nemažesnė nei $+5^{\circ}\text{C}$ ir nedidesnė nei $+25^{\circ}\text{C}$, norime patikrinti, kokią įtaką sukibimo kokybei su paviršiumi turėtų skirtingos kietinimo temperatūros. Taip pat skirtingas bandinių laikymo sąlygas sukibimo stiprio bandymams nurodo Europos techninio įvertinimo Europos vertinimo dokumento EAD 040287-00-0404 „Kits for external thermal insulation composite system (ETICS) with panels as thermal insulation product and discontinuous claddings as exterior skin“ [24] reikalavimai. Kadangi tiriamų plytelių gamintojas nurodo klijų kietėjimo terminą 3-5 paras, tokiu metu bus matuojamas ankstyvasis sukibimo stipris. Po to, stipris bus išmatuotas po 9, 21 paras.

Laikymo sąlygos:

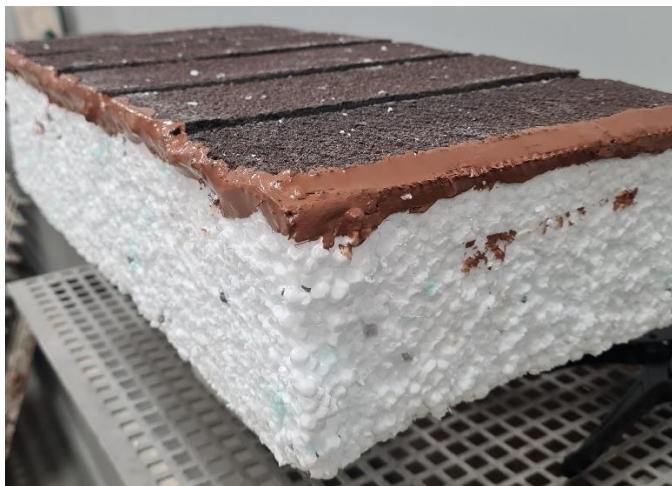
- 1) 4 paras $+5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;
- 2) 9 parų $+5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;
- 3) 21 parų $+5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;
- 4) 4 paras $+23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;
- 5) 28 parų $+23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;

Drėgmė. Išanalizavus panašius tyrimus, buvo nustatyta, kad drėgmė sukelia įvairias anomalijas klijų sluoksnyje, pavyzdžiui sukelia vidinius mikroįtrūkimus, dėl to keraminės plytelės praranda sukibimą su paviršiumi ir panašiai. Remiantis kitų tyrėjų praktika bei EAD 040287-00-0404 bandinių laikymo sąlygų reikalavimais sukibimo stiprio testams atlikti vienas iš bandinių pamerkiamas išorine apdailos puse į vandenį. Prieš tai išorinė plytelių siūlė užsandarinama silikoniniu hermetiku (37 pav.).

Realiomis sąlygomis visos įmanomos siūlės užsandarinamos įrengiant plyteles ant fasado. Laboratorijoje tai daroma tam, kad vanduo galimai nepatektų pro šonines siūles po plytelėmis ir nepablogintų klijų sukibimo, nesuardytų klijų struktūros.

Laikymo sąlygos:

- 1) 2 paros vandenyje, 2 valandos džiovinimas $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;
- 2) 2 paros vandenyje, 7 paros džiovinimas $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir $50\pm 5\%$ santykinėje drėgmėje;



50 pav. Užhermetizuota plytelių išorinė siulė

Užšaldymo-atšildymo ciklai. Pinus [8] nustatė, kad betono atsparumas gniuždymui po užšaldymo-atšildymo ciklų sumažėjo, taip pat atsirado įtrūkimų. Vertinant tai, kad namų fasadus taip pat veikia tokios pačios aplinkos sąlygos, buvo nuspręsta šį bandymą atlikti ir su lanksčių plytelių sistema. Taip pat šį metodą reglamentuoja EAD 040287-00-0404. Tai vienas iš svarbiausių aplinkos veiksnių, nuo kurio priklauso statybinių konstrukcijų ar medžiagų kokybė. Sukibimo stiprio bandymus atliksime po to, kai bandinį veiks tam tikras skaičius ciklų. Užšaldymas – $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$, atšildymas – $+10\pm 2^{\circ}\text{C}$ vandenyje. Po ciklų bandinys džiovinamas 7 paros.

Laikymo sąlygos:

- 1) 40 ciklų, kai užšaldymas $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, atšildymas $+10\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandenyje, šaldymas – 2,5 valandos, šildymas – 3 valandos, per parą įvyksta apie 3 ciklus, iš viso 14 parų;
- 2) 80 ciklų, kai užšaldymas $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, atšildymas $+10\pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandenyje, šaldymas – 2,5 valandos, šildymas – 3 valandos, per parą įvyksta apie 3 ciklus, iš viso 14 parų;

51 paveikslėlyje pavaizduota lentelė iš EAD 040287-00-0404, pagal kurią sukibimo stiprio testai atliekami po to, kai bandiniai buvo laikyti tam tikromis aplinkos poveikio sąlygomis. Mažiausia jėga, kurią turėtų atlaikyti sukibę sluoksniai yra 0,08 MPa.

Bond strength	Specimen conditioning (i)	Bond strength minimum level (MPa)
Connection 1: Between the external layers (skin and reinforced base coat) and the insulation panel	a) dry conditions	≥ 0,08 (iii)
	b) 2 d. H ₂ O + 2 h. drying	
	c) 2 d. H ₂ O + 7 d. drying	
	d) after freeze-thaw cycles	

51 pav. Reikalavimai sukibimo stiprio testams [24]

UV spinduliuotė. Saulės spinduliai turi reikšmingos įtakos polimerams. Anot Tohacek ir kt. [23], dėl fotoindukcinių procesų, polimerai paprastai pirma pakeičia savo išvaizdą (paviršiaus nublukimas, spalvos pokytis), vėliau suprastėja medžiagos mechaninės savybės (stiprumas, įtempiai, lankstumas). Dažniausiai mums žinoma, kad dėl UV spindulių pasikeičia paviršiaus spalvos, tačiau įdomu sužinoti, kaip spinduliai gali paveikti plyteles ir klijus, jų tarpusavio sukibimą. Laboratorijoje bandinys bus apšviestas UVA-340 lempomis, esant šilumos srauto tankiui $0,68 \text{ W/m}^2$ ir bangų ilgiui 340 nm [25]. Anot ATLAS Weathering Testing Guidebook [26], 240 valandų tiesioginės UVA-340 spindulių apšvitos atitinka vienerius metus realios saulės spinduliuotės, tačiau kituose šaltiniuose nurodomas skirtingas laikotarpis.

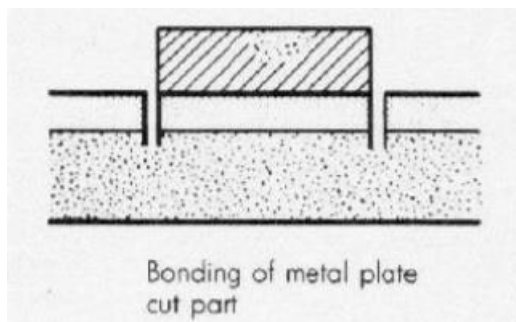
Laikymo sąlygos:

- 1) 12 dienų UV kameroje, esant $0,68 \text{ W/m}^2$ šilumos srauto tankiui, 340 nm bangų ilgiui ir $\sim 30^\circ\text{C}$ aplinkos temperatūrai;
- 2) 24 dienų UV kameroje, esant $0,68 \text{ W/m}^2$ šilumos srauto tankiui, 340 nm bangų ilgiui ir $\sim 30^\circ\text{C}$ aplinkos temperatūrai.

2.1.5. Bandymai

Šiame poskyriuje aprašomas sukibimo stiprio bandymas, atlikimo eiga.

Sukibimo stiprio testas. Tai yra pagrindinis tyrimo bandymas, kuriuo išsiaiškinama, kokia yra paviršių sukibimo kokybė. Sukibimo jėga nustatoma traukimo testo metu, kai mobilaus traukimo prietaiso pagalba tam tikra jėga nuplėšiama keturkampio formos speciali traukimo plokštelė, kuri yra priklijuojama prie paviršiaus, t.y. lanksčios plytelės. Pagal EAD 040287-00-0404, prie bandinio turi būti priklijuotos 5 traukimo plokštelės, o traukimas atliekamas, prieš tai apipjaunant plokšteles iki klijuojamo pagrindo, į pagrindą įgilinant iki 1 cm (šiuo atveju pagrindas yra termoizoliacinė medžiaga).



52 pav. Apipjautos traukimo plokštelės vaizdas [24]

Atlikus nutraukimą, rodmenys (MPa) užfiksuojami kaip rezultatas, taip pat, jeigu tą įmanoma padaryti, nufotografuojamas plyšimas. Kadangi traukimo prietaisas parodo rodmenis pagal apskritimo formos 50 mm skersmens traukimo plokšteles, o mūsų atveju naudojamos kvadrato formos 50×50 mm dydžio plokštelės, turi būti apskaičiuoti tikrieji rodmenys.

Iš pradžių apskaičiuojamas apskritimo plotas:

$$S_{apskritimo} = \pi r^2 = 3,14 \cdot 25^2 = 1962,5 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

Apskaičiuojamas kvadrato plotas:

$$S_{kvadrato} = a^2 = 50 \cdot 50 = 2500 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

Gautas apskritimo plotas yra didesnis už kvadrato, vadinasi, tikrasis rezultatas yra mažesnis. Norint paskaičiuoti tikrąjį rezultatą, gautąjį rodmenį reikia sumažinti. Dydis, kuriuo sumažinamas gautas rodmuo yra kvadrato ir apskritimo plotų santykis:

$$\frac{S_{kvadrato}}{S_{apskritimo}} = \frac{2500}{1962,5} = 1,273885 \quad (3)$$

Bandymų atlikimo eiga. Sukibimo stiprio testai atliekami po to, kai:

- 1) bandiniai kietinami žemoje ir kambario temperatūrose sausomis sąlygomis;
- 2) sukietėję bandiniai pamerkiami į vandenį, tada džiovinami skirtingą trukmę;
- 3) sukietėję bandiniai veikiami užšaldymo-atšildymo ciklų;
- 4) sukietėję bandiniai veikiami pagreitinto sendinimo UV spinduliuote.

Pirma, prie bandinių prikljuojamos penkios 50×50 mm dydžio metalinės keturkampės traukimo plokštelės. Plokštelės klijuojamos viduryje plytelių, ne ant siūlių. Naudojami epoksidiniai, dvikomponenčiai, greitai stengstantys klijai Bison Epoxy 5-min (žr. 53 pav.). Trukmė, kol klijai pradeda kietėti yra apie 5 minutės, todėl reikia dirbti greitai ir teisingai. Klijai išspaudžiami santykiu 1:1 ir išmaišomi iki vientisos masės. Tada ant kiekvienos plokštelės, per visą plotą tepamas plonas, apie 1 mm storio klijų sluoksnis.



53 pav. Klijai, maišymo dubenėlis ir metalinė plokštelė

Suklijuotos plokštelės 20 minučių apkraunamos papildomu svoriu, o po 1 valandos, kai klijai pilnai sukietėja, galima atlikti apipjaustymą. Kiekviena plokštelė apipjaunama iki termoizoliacinės medžiagos, įgilinant apie 1 cm į ją. Kadangi sukietėjusios plytelės itin tvirtos, jas rankiniu būdu įgilinti nėra saugu. Tai daroma su multifunkciniu įrankiu Dewalt DCS355D2 naudojant karbidinį pjovimo peiliuką.



54 pav. Multifunkcinis įrankis Dewalt



55 pav. Ant bandinio suklijuotos metalinės traukimo plokštelės

3. Rezultatai ir diskusija

Šioje dalyje aprašomi gauti rezultatai – nurodomi traukimo prietaiso rodmenys, nustatoma plyšimo vieta pagal sluoksnius, ar sukibimo jėga tenkina minimalius reikalavimus, pateikiama vaizdinė medžiaga. Taip pat, diskutuojama, kodėl vieni ar kiti rezultatai buvo gauti.

Bandiniai, kur lanksčios plytelės įrengtos ant armuoto polistireninio putplasčio EPS100 (nauja statyba), žymimi raide A.

Bandiniai, kur lanksčios plytelės įrengtos ant dekoratyvinio tinko ir pilkojo polistireninio putplasčio EPS70 (pastato modernizavimas), žymimi raide B.

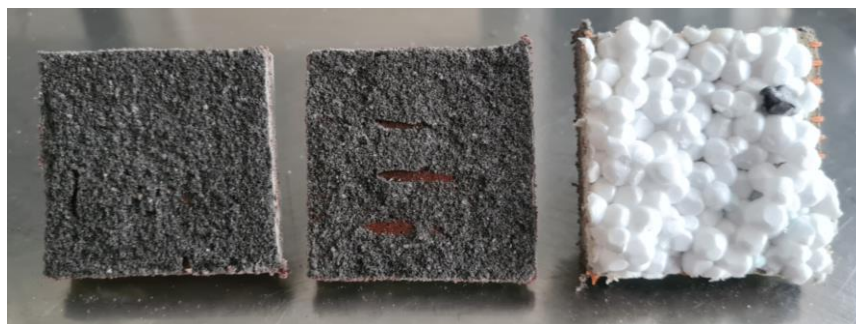
Traukiamos penkios plokštelės, jeigu rezultatai nežymiai skiriasi, užskaitomi visi rodmenys, tačiau mažiausiai trys rodmenys turėtų atikti EAD 040287-00-0404 reikalavimus, sukibimo stipris nemažesnis nei 0,08 MPa. Vienas dydis mažesnis nei 0,08 MPa, bet didesnis nei 0,06 MPa yra priimtinas [24].

Žema temperatūra. Po keturių parų bandinio A sukibimo kokybė bloga. Sukibimo stipris neatitiko EAD 040287-00-0404 reikalavimų. Plytelė nutraukta klijų sluoksnyje. Klijai nesukietėję. Galimai žema temperatūra pristabdė vandens išgaravimą iš klijų. Nėra aišku, ar praėjus daugiau laiko, vanduo išgaruos ir klijai įgaus reikiamą stiprį.

Po 9 parų sukibimas blogas. Traukimo prietaiso rodmenys $\leq 0,08$ MPa. Plokštelė nutraukta klijų sluoksnyje. Klijai išdžiuvę, tačiau sukibimas per silpnas. Palyginimui, po 4 parų (vidutiniškai 0,02 MPa) jėga buvo dar silpnesnė.

Po 21 paros stebimas ženklus sukibimo stiprio padidėjimas – 75%. Drėgmei visiškai išgaravus ir praėjus ilgesniam laikotarpiui sukibimo kokybė gera.

Nutrauktos bandinio A plokštelės pavaizduotos paveikslėlyje. Po 4 parų, pagal klijų likutį ant plokštelės galima spręsti, kad paviršiai nebuvo gerai sukibę. Po 9 parų matyti, kad klijų storis ant nutrauktos plytelės mažesnis, tai įrodo ir didėjantis sukibimo stipris (žr. 56 pav.). Po 21 paros kietėjimo, sukibimas pagerėjęs, plyšimas įvyko termoizoliaciniame sluoksnyje.



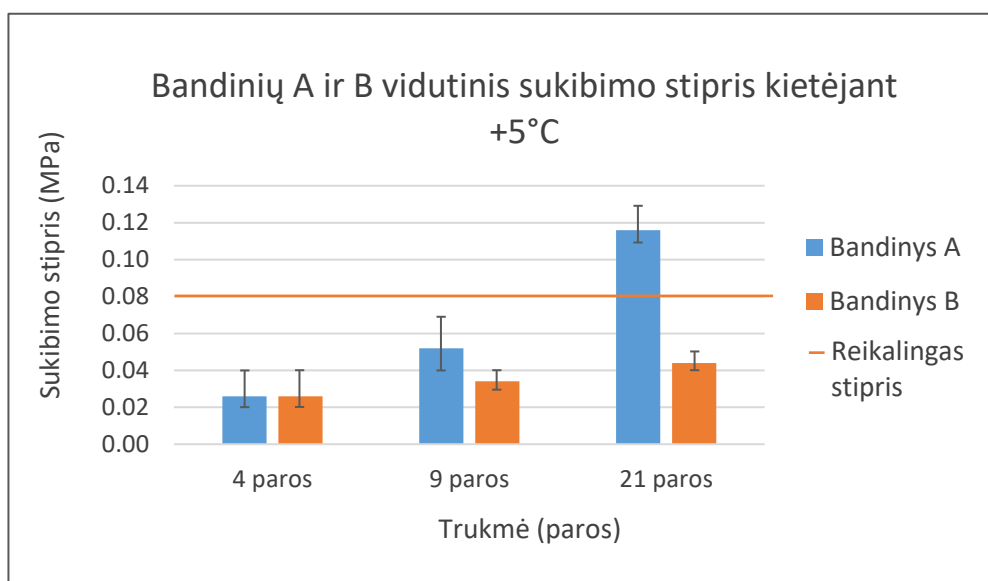
56 pav. Nuo kairės – bandinio A plokštelės nutrauktos po 4, 9 ir 21 paros

Kiek netikėtai bandinys B visais atvejais nepasiekė reikiamo stiprio, sluoksniai atšoko nuo termoizoliacinės plokštės (žr. 57 pav.), galimai dėl prasto sukibimo su armavimo sluoksniu.



57 pav. Bandinio B plokštelė nutraukta po žemos temperatūros poveikio

Grafikas vaizduoja bandinių A ir B vidutinį sukibimo stiprį kietėjant +5°C temperatūroje.



58 pav. Sukibimo stiprio grafikas kietinant bandinius žemoje temperatūroje

Drėgmė. Po 2 parų mirkymo vandenyje ir 2 valandų džiovavimo 23±2°C temperatūroje bandinio A sukibimo kokybė bloga. Minimali stiprio riba nepasiekta. Vanduo ganėtinai stipriai įsigėrė į plyteles, klijų sluoksnį, išbrinko. Galima teigti, kad vanduo stipriai paveikė klijų mikrostruktūrą, plytelė prarado sukibimą su paviršiumi. Rezultatas, kurio tikėtasi, tačiau svarbiausia nustatyti, ar visiškai išdžiuvusios plytelės pademonstruos pagerėjusius rezultatus.

Po 2 parų mirkymo vandenyje ir 7 parų džiovavimo 23±2°C temperatūroje bandinio A sukibimo stipris padidėjo 70% lyginant su praeitu bandymu. Galima teigti, kad drėgmei išgaravus sistema įgauna pradines sukibimo savybes.

59 paveikslėlyje pavaizduotos bandinio A nutrauktos plokštelės, kuriose matyti plyšimo pobūdis po skirtingo džiovavimo laikotarpio.



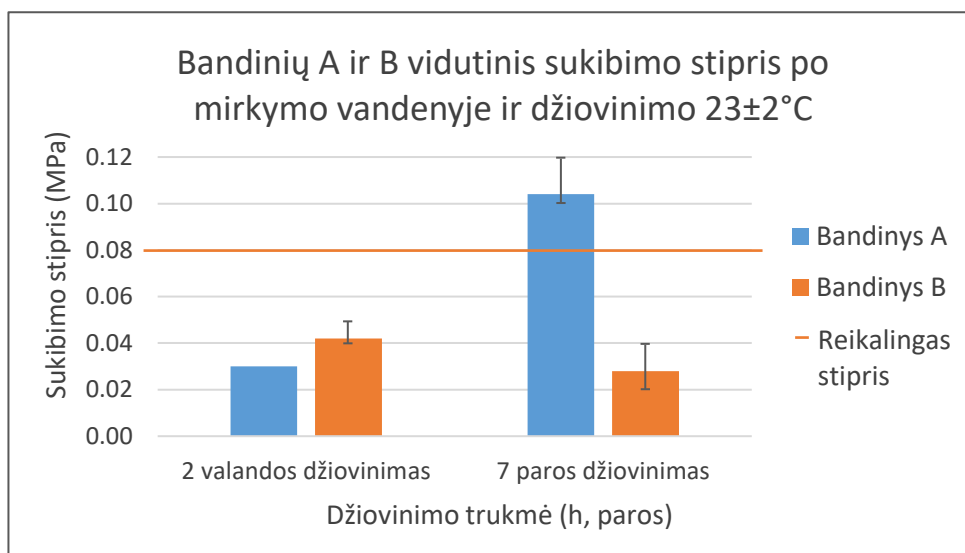
59 pav. Nuo kairės - bandinio A plokštelės po mirkymo vandenyje ir džiovavimo $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 2 valandas; 7 paras

Bandinys B vėl nepasiekė reikiamo stiprio, sluoksniai atšoko nuo termoizoliacinės plokštės (60 pav.). Ryškėja tendencija, kad bandinio pirminis sluoksnis (armavimo) nėra gerai sukibęs su pagrindu, todėl nepasiekus reikiamo stiprio, atšoka su sekančiais sluoksniais.



60 pav. Nuo kairės - bandinio B plokštelės po mirkymo vandenyje ir džiovavimo $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 2 valandas; 7 paras

61 paveikslėlyje pavaizduotas bandinių A ir B vidutinis sukibimo stiprio grafikas.



61 pav. Bandinių sukibimo stiprio grafikas po drėgmės poveikio

Užšaldymo-atšildymo ciklai. Po 40 ciklų atlikus bandymus su bandiniu A, nepasiektas reikiamas sukibimo stipris (0,08 MPa). Lyginant 0 ir 40 ciklų, stipris sumažėjo 55%. Verta paminėti, kad plyšimas įvyko tarp termoizoliacinės plokštės ir cementinio armavimo sluoksnio, tai reiškia, kad

šaldymas nepaveikė polimerinių klijų ar plytelių. Galima teigti, kad armavimo sluoksnio struktūroje, dėl temperatūrinių šuolių atsirado mikrotrūkimų.

Po 80 ciklų bandinio A lanksčių plytelių su paviršiumi gera. Pasiektas reikiamas stipris, plyšimas – termoizoliaciniame sluoksnyje (žr. 62 pav.). Nors stipris atitinka EAD 040287-00-0404 reikalavimus, vis gi palyginus po 0 ciklų, stipris sumažėjo 27%, tačiau negalima teigti, kad ciklai neigiamai įtakojo polimerinius klijus ir plyteles, nes tarp sluoksnių deformacija nenustatyta, sukibimo kokybė gera, atsparumas tempimui atitinka reikalavimus.



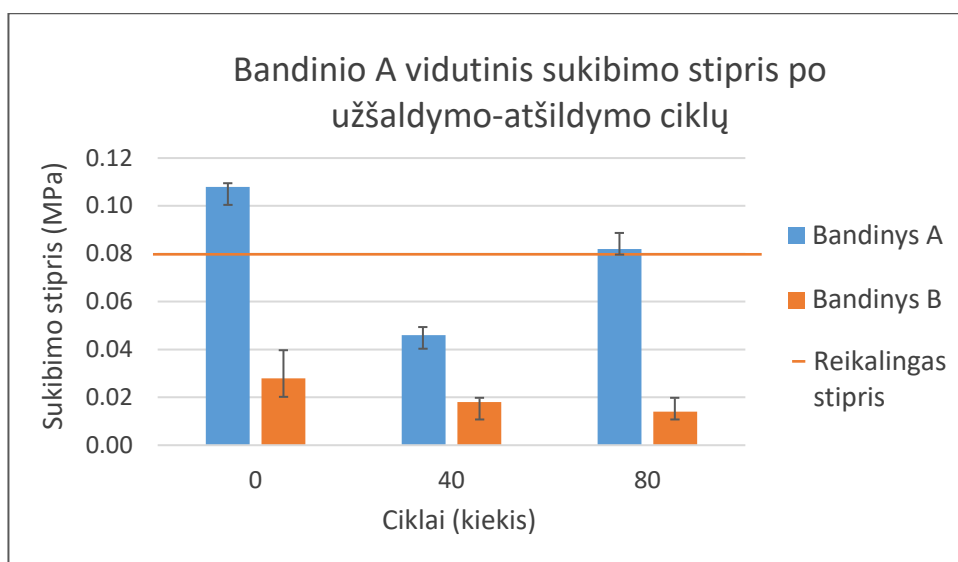
62 pav. Nuo kairės – bandinio A plokštelė po 0, 40, 80 užšaldymo-atšildymo ciklų

Kalbant apie bandinį B, buvo nustatytos tos pačios problemos, kaip ir praeituose bandymuose. Plyšimas analogiškas. Minimalus stiprio reikalavimas nepasiektas. Šį kartą sukibimo stipris mažėjo didėjant ciklų skaičiui, taip pat matyti, kad ciklai turėjo įtakos ir armavimo sluoksnio spalvos pokyčiams (patamsėjimui). (žr 63 pav.)



63 pav. Nuo kairės – bandinio B plokštelė po 40, 80 užšaldymo-atšildymo ciklų

Žemiau pateiktas grafikas (žr. 64 pav.) vaizduoja bandinių sukibimo stiprį po užšaldymo-atšildymo ciklų poveikio.



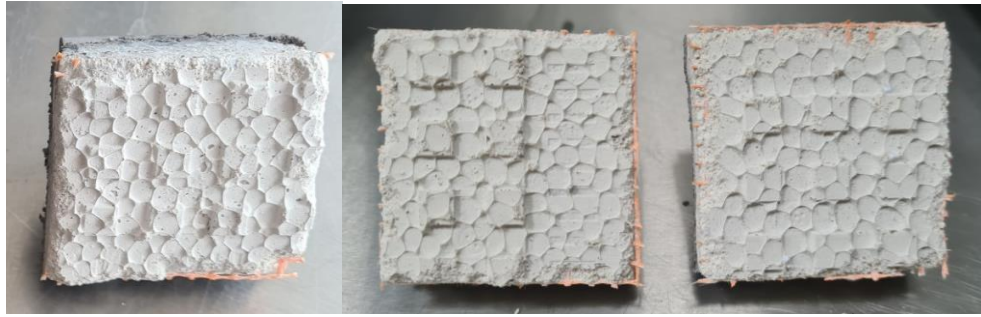
64 pav. Bandinių sukibimo stiprio grafikas po užšaldymo-atšildymo ciklų poveikio

UV spinduliuotė. Po 12 parų poveikio UVA-340 lempomis, atlikus testą su bandiniu A, nustatytas sukibimo stiprio sumažėjimas 45%. Nors plyšimas įvyko termoizoliaciniame sluoksnyje, ne plytelių klijų, vis gi, nebuvo pasiektas minimalus reikalavimas pagal EAD 040287-00-0404. Sunku teigti, dėl kokių priežasčių termoizoliacinis sluoksnis neatlaikė reikiamo sukibimo, tačiau po 24 parų jau galima įsitikinti pagerėjusiomis savybėmis ir tai reiškia, kad UV spinduliuotė neturėjo įtakos sukibimo stipriui. Rezultatai po 12 parų labiau panašūs į atsitiktinumą. Nutrauktos bandinio A plokštelės po UV spindulių poveikio pavaizduotos 65 paveikslėlyje.



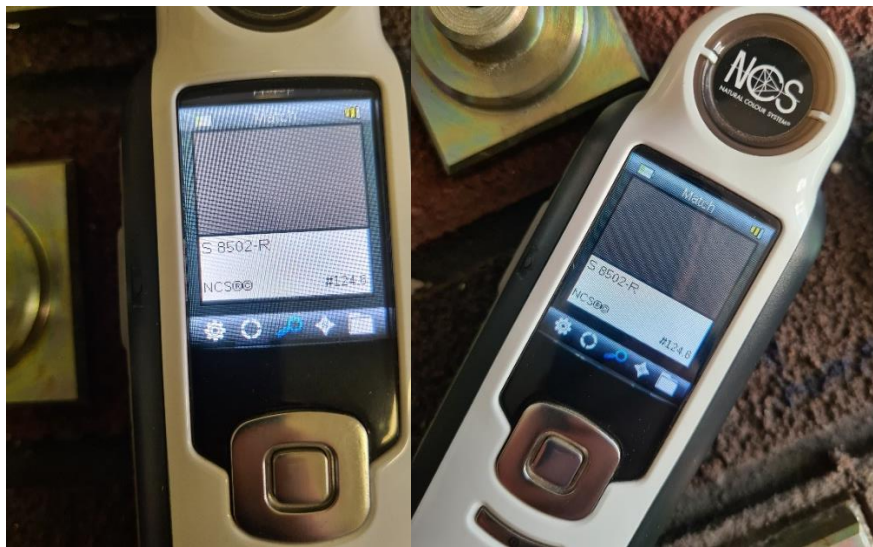
65 pav. Nuo kairės - bandinio A plokštelė po 0, 12, 24 parų UV spindulių poveikio

Po 12, 24 parų UV poveikio bandinys B pademonstravo padidėjusį stiprį, tačiau nepakankamą geram sukibimui. Plokštelės pavaizduotos 66 paveikslėlyje.



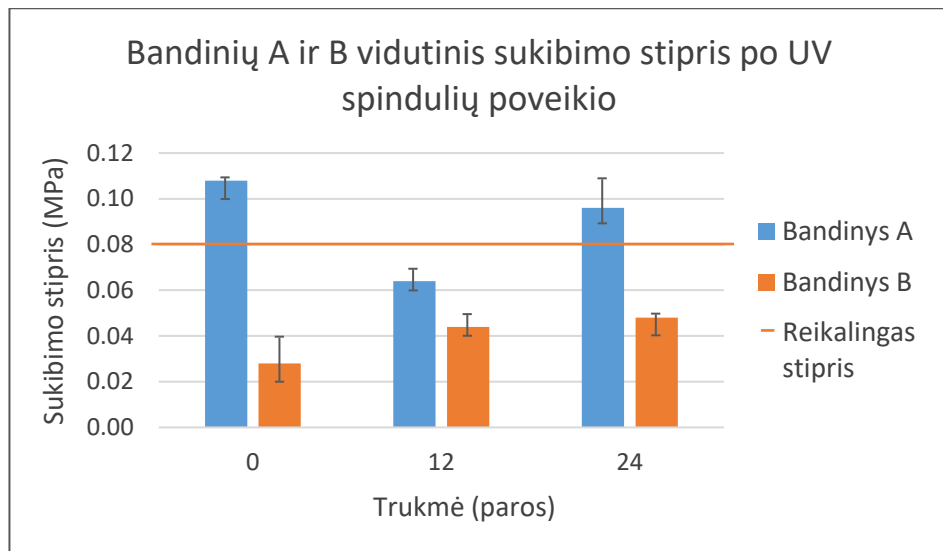
66 pav. Nuo kairės - bandinio B plokštelė po 0, 12, 24 parų UV spindulių poveikio

Nei po 12, nei po 24 parų nebuvo nustatyti plytelių ar siulės spalvos pokyčiai, tai įrodo, kad UV spinduliuotė neturėjo įtakos plytelių savybių pokyčiams (žr. 67 pav.)



67 pav. Nuo kairės – bandinio A spalvos skaityvuvo rodmenys po 12 ir 24 parų UV spindulių poveikio

68 paveikslėlyje pavaizduotas bandinių sukibimo stiprio grafikas po UV spindulių poveikio.



68 pav. Bandinių sukibimo stiprio grafikas po UV spindulių poveikio

Išvados

Teorinės dalies metu atlikta mokslinės literatūros apžvalga – kaip aplinkos sąlygos įtakoja keraminių plytelių fasado ilgaamžiškumą, kokią įtaką klijų atsparumui tempimui jėgai ir kirpimo deformacijoms turės plytelių įrengimo technologijos bei kaip polimerinės dispersijos priedai įtakoja cementinių skiedinių savybes. Buvo išsiaiškinta, kad:

1. dėl susikaupusios drėgmės buvo matyti paviršiaus defektai – nestabilios plytelės, pelėsis, paviršiaus dėmės;
2. dėl skirtingų drėgmės sąlygų plytelių klijų paviršiuje ar viduje formavosi įvairios kilmės mikroįtrūkimai;
3. betono bandiniai, kietinami žemoje (+5°C) temperatūroje parodė prastesnius atsparumo gniuždymo jėgai rezultatus, nei bandiniai, kietinami kambario (+23°C) temperatūroje;
4. didėjant užšaldymo-atšildymo ciklams nuo 0 iki 40, betono atsparumas gniuždymo jėgai sumažėjo 28 procentais;
5. UV spinduliuotė polipropileno bandiniuose sukėlė mikroįtrūkimus, dėl tos priežasties atsparumas tempimo jėgai sumažėjo 40 procentų;
6. didžiausią atsparumą tempimui turėjo 4 mm storio plytelių klijų sluoksnis, o praščiausiai – 7 mm.
7. cementiniai skiediniai, į kuriuos buvo įmaišyta polimerinės dispersijos miltelių, dėl spartesnio hidratacijos proceso, po 7 parų išlaikė 50 procentų pirminio atsparumo gniuždant, lyginant su įprastais skiediniais, kurie teišlaikė mažiau nei 20 procentų atsparumą.

Praktinės dalies metu buvo atlikti sukibimo stiprio bandymai po skirtingo aplinkos poveikio lanksčioms plytelėms – žemos temperatūros (+5°C), drėgmės, užšaldymo-atšildymo ciklų ir UV spinduliuotės. Atlikus bandymus buvo nustatyta, kad:

8. bandinyje A žema temperatūra (+5°C) ženkliai sulėtino drėgmės išgaravimą iš klijų sluoksnio, todėl po 4 (0,03 MPa) ir 9 parų (0,05 MPa) buvo nustatytas blogas sukibimas, tačiau po 21 paros, drėgmei išgaravus, sukibimo stipris padidėjo 75% (0,12 MPa);
9. po bandinio A mirkymo vandenyje 2 paras, drėgmė paveikė klijų sluoksnį, todėl sukibimas po 2 valandų džiovinimo buvo blogas (0,03 MPa), po 7 parų džiovinimo, drėgmei išgaravus, stipris padidėjo 70% (0,10 MPa);
10. po 40 užšaldymo-atšildymo ciklų, bandinio A sukibimas buvo blogas (0,05 MPa), nes nuo termoizoliacinės plokštės atšoko sekantys sluoksniai, po 80 ciklų sukibimo stipris padidėjo 38% (0,08 MPa);
11. po 12 parų UV spinduliuotės poveikio, bandinio A sukibimas buvo geras, tačiau nebuvo pasiekta minimali stiprio riba ($0,06 \leq 0,08$ MPa), po 24 parų poveikio, sukibimas geras, stipris padidėjęs 40% (0,10 Mpa), bandinių spalvos pokyčių nenustatyta;
12. visais atvejais bandinio B sukibimas buvo blogas, nepasiektas minimalus stiprio lygis, tai įvyko dėl blogo vidinių sluoksnių sukibimo (termoizoliacinės plokštės ir armavimo sluoksnio).

Apibendrinant atliktą tyrimą galima teigti, kad lanksčios plytelės ir jų klijai yra atsparūs įvairiems aplinkos poveikiams. Kadangi šis tyrimas galimai yra vienas iš pirmųjų, norint papildyti tyrimo duomenis, reikėtų atlikti daugiau panašių tyrimų, kuriuose būtų įvertintas kompleksiškas aplinkos sąlygų poveikis lanksčioms plytelėms.

Literatūros sąrašas

1. EDIS E., FLORES-COLEN I., DE BRITO J. Quasi-quantitative infrared thermographic detection of moisture variation in facades with adhered ceramic cladding using principal component analysis. *Building and Environment* [interaktyvus]. Istanbul Technical University, Universidade de Lisboa, 2015, vol 94 (97-108) [žiūrėta 2021-03-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315300767?via%3Dihub>;
2. MENEZES, A., GLORIA GOMES M., FLORES COLEN I. In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Universidade de Lisboa, 2015 vol 75 (283-292) [žiūrėta 2021-03-23]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814012513?via%3Dihub>;
3. WETZEL A., HERWEGH M., ZURBRIGGEN R., WINNEFELD F. Influence of shrinkage and water transport mechanisms on microstructure and crack formation of tile adhesive mortars. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus]. University of Bern, Switzerland, 2012, vol 42 (39-50) [žiūrėta 2021-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884611002079?via%3Dihub>;
4. WINNEFELD F., KAUFMANN J., HACK E., HARZER S., WETZEL A., ZURBRIGGEN R. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, 2012, vol 30 (426-438) [žiūrėta 2021-03-21]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811007008?via%3Dihub>;
5. NASSIF Y. A., PETROU F. M. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete. *Construction and Building Materials* [interkatyvus]. University of Portsmouth, United Kingdom, 2013, vol 44 (161-167) [žiūrėta 2021-04-03] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813002213>;
6. TEIXEIRA G R W., IBRAHIM L B., BALESTRA C E., SAVARIS G. Compressive strength of concrete cured at low temperature. *Construção Civil* [interaktyvus] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brazil, 2020, vol 16 (36-45) [žiūrėta 2021-04-03]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/341345267> Compressive strength of concrete cured at low temperature;
7. VEKTARIS, Bronius ir Vytis VILKAS. *Betono sulfatinė ir šarminė korozija, atsparumas šalčiui ir karbonizacijai. Tyrimai ir prevencinės priemonės: monografija.* [interaktyvus] Kaunas: Technologija, 2006. ISBN: 995525158. [žiūrėta 2021-04-03] Prieiga per: https://vb.ktu.edu/primo-explore/fulldisplay?docid=ELABAPDB5705924&context=L&vid=KTU&lang=lt_LT&search_scope=KTU&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default_tab&query=sub,exact,Atsparumas%20%C5%A1al%C4%8Diui,AND&mode=advanced&pfilter=pfilter,exact,books,AND&of fset=0;
8. PINUS B. I. Changes properties of concrete with cyclic low-temperature impacts. *Materials Science and Engineering.* [interaktyvus]. Irkutsk National Research Technical University, Russia, 2020, vol 880 [žiūrėta 2021-04-03] Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/342849110> Changes properties of concrete with cyclic low-temperature impacts;
9. SOUZA J., SILVA A., DE BRITO J., BAUER E. Service life prediction of ceramic tiling systems in Brasília-Brazil using the factor method. *Construction and Building Materials* [interkatyvus].

- PECC – University of Brasilia, Asa Norte, Brazil, 2018, vol 192 (38-49) [žiūrėta 2021-04-05] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818324905>;
10. MELO A. C., COSTA E SILVA A. J., TORESS S. M., DELGADO J. P. M. Q., AZEVEDO A. C. Influence of the contact area in the adherence of mortar – Ceramic tiles interface. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brazil, 2020, vol 243, (118274) [žiūrėta 2021-04-05] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820302798#b0075>;
 11. ALLEGRI, G., MOHAMED G., HALLETT S. R. 17 - Multi-scale modelling for predicting fracture behaviour in through-thickness reinforced laminates. *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering* [interkatyvus]. Imperial College, London, UK, 2015 (457-478) [žiūrėta 2021-04-05] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081003329000177>;
 12. DE FREITAS V. P., CORVACHO H., QUINTELA M., DELGADO J. M. P. Q. Assessing the durability of mortars tiles – A contribution for a prediction model. *Engineering Failure Analysis* [interaktyvus]. Universidade do Porto, Portugal, 2014, vol 44 (36-45) [žiūrėta 2020-04-05] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630714001411>;
 13. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 12004-1:2017]. Keraminių plytelių klijai. 1 dalis. Reikalavimai, eksploatacinių savybių pastovumo vertinimas ir tikrinimas, klasifikavimas ir ženklavimas. Adhesives for ceramic tiles - Part 1: Requirements, assessment and verification of constancy of performance, classification and marking. Europos standartas EN 12004-1:2017 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017;
 14. TARANNUM N., POOJA KM., KHAN R. Preparation and applications of hydrophobic multicomponent based redispersible polymer powder: A review. *Construction and Building Materials* [interkatyvus]. Chaudhary Charon Singh University Meerut, India, 2020, vol 247 (118579) [žiūrėta 2021-04-07] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820305845?via%3Dihub>;
 15. FAN X., NIU L. Performance of redispersible polymer powders in wall coatings. *Journal of Adhesion Science and Technology* [interaktyvus]. Taiyuan Institute of Technology, China, 2015, vol 29 (296-307) [žiūrėta 2021-04-07] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/269775628_Performance_of_redispersible_polymer_powders_in_wall_coatings;
 16. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 196-1:2016]. Cemento bandymų metodai. 1 dalis. Stiprio nustatymas. Methods of testing cement – Part 1: Determination of strength. Europos standartas EN 196-1:2016 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016;
 17. BULLAR W. J., JENNINGS M. H., LIVINGSTON A. R., NONAT A., SCHERER W. G., SCHWEITZER J., SCRIVENER L. K., THOMAS J. J. Mechanisms of Cement Hydration. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD USA, 2011, vol 41 (1208-1223) [žiūrėta 2021-04-11] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884610002152>;
 18. BROOKS J. J. 15 – *Theoretical Aspects of Creep and Shrinkage of Mortar and Concrete. Concrete and Masonry Movements: eBook.* [interaktyvus] Oxford, UK, Butterworth-

- Heinemann, 2015. ISBN: 978-0-12-801525-4 [žiūrėta 2021-04-11] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128015254000157#!>;
19. ZHOU W., TIAN W., QI T., LIU S., FENG C., MA G., CHANG X. Investigation on Hydration and Mechanical Properties of Mortar Containing Limestone Powder and Fly Ash Based on the Coupled Chemical–Thermal–Mechanical Method. *Materials* [interaktyvus]. Wuhan University, China, 2020, vol 13 (4378) [žiūrėta 2021-04-11] Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/19/4387>;
 20. KAUFMANN J., WINNEFELD F., ZURBRIGGEN R. Polymer dispersions and their interaction with mortar constituents and ceramic tile surfaces studied by zeta-potential measurements and atomic force microscopy. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus] Laboratory for Concrete and Construction Chemistry, Duebendorf, Switzerland, 2012, vol 34 (604-611) [žiūrėta 2021-04-11] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946512000200>;
 21. PIQUE M. T., BAUEREGER S., PLANK J. Influence of temperature and moisture on the shelf-life of cement admixed with redispersible polymer powder. *Construction and Building Materials* [interaktyvus] Technische Universität München, Germany, 2016, vol 115 (336-344) [žiūrėta 2021-04-10] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816305931?via%3Dihub>;
 22. BAUEREGER S., PERELLO M., PLANK J. Influence of anti-caking agent kaolin on film formation of ethylene–vinylacetate and carboxylated styrene–butadiene latex polymers. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus] Technische Universität München, Germany, 2014, vol 58 (112-120) [žiūrėta 2021-04-10] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000888461400026X>;
 23. TOCHACEK J., VRATNICKOVA Z. Polymer life-time prediction: The role of temperature in UV accelerated ageing of polypropylene and its copolymers. *Polymer Testing* [interkatyvus] Brno University of Technology, Czech Republic, 2014, vol 69 (82-87) [žiūrėta 2021-09-10] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/261564182_Polymer_life-time_prediction_The_role_of_temperature_in_UV_accelerated_ageing_of_polypropylene_and_its_copolymers;
 24. EUROPEAN ASSESSMENT DOCUMENT. [EAD 040287-00-0404]. Kits for external thermal insulation composite (ETICS) with panels as thermal insulation product and discontinuous claddings as exterior skin, 2017. Prieiga per: https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-04-0287/for%20ojeu/ead%20040287-00-0404_ojeu2018.pdf;
 25. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 16474-3:2021]. Dažai ir lakai. Eksponavimo veikiant laboratoriniais šviesos šaltiniais metodai. 3 dalis. Liuminescencinės ultravioletinės lempos. Europos standartas EN ISO 16474-3:2021 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2021;
 26. ATLAS. Material testing solutions. Weathering testing guidebook, USA, 2001. [interaktyvus] Prieiga per: <http://www.strenometer.dk/Files/Downloads/Guidebook.pdf>.