

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

GINTARĖ MIKŠIENĖ

IŠORINĖS TINKUOJAMOS SUDĖTINĖS
TERMOIZOLIACINĖS SISTEMOS
EKSPLOATAVIMO TRUKMĖS
PROGNOZAVIMAS

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)

2015, Kaunas

Disertacija rengta 2010-2015 metais Kauno technologijos universiteto, Statybos ir architektūros fakulteto, Statybinių medžiagų katedroje. Tyrimai atlikti Architektūros ir statybos instituto Statybinės fizikos laboratorijoje.

Mokslinis vadovas:

Prof. dr. Raimondas Bliūdžius (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija, 02T).

PAGRINDINĖS SAŲOKOS

Dirbtinis sendinimas – medžiagų bandinių sendinimas dirbtinai suklurtose laboratorinėse sąlygose.

Natūralus sendinimas – medžiagų bandinių sendinimas natūraliose aplinkos sąlygose.

SIMBOLIŲ SAŲAŠAS

H_h – lietaus kiekis į horizontalųjį paviršių per parą, mm;

h_{se} – išorinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

I_{dir} – metinis tiesioginės Saulės spinduliuotės kiekis, kW/m^2 ;

I_h – vidutinis paros lietaus intensyvumas į horizontalųjį paviršių, mm/min;

I_{UV} – metinis UV spinduliuotės srauto tankis, $W/m^2 \cdot metus$;

$I_{UV_{rek}}$ – vidutinis rekomenduojamas UV spinduliuotės srauto tankis, W/m^2 ;

$I_{\Sigma.SOL}$ – tiesioginės Saulės spinduliuotės srauto tankis į atitinkamos orientacijos paviršių, W/m^2 ;

\bar{I}_v – lietaus intensyvumas į vertikalųjį paviršių, kai į jį pučia šoninis vėjas, mm/min;

I_v – vidutinis lietaus intensyvumas į vertikalųjį paviršių, mm/min;

t_{UV} – UVA-340 lempų švitinimo trukmė klimatinėje kameroje, val/metus;

v – vidutinis vėjo greitis, statmenas į vertikalųjį paviršių, m/s;

v_k – vidutinis paros lietaus lašų kritimo greitis, m/s.

z – lietaus trukmė per parą, h.

α_{surf} – paviršiaus Saulės spinduliuotės sugerties koeficientas, vnt.d.;

γ – statmenas sienai azimutas;

θ_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus temperatūra, °C;

θ_e – vidutinė išorės oro temperatūra, °C.

θ – difrakcijos kampas.

Θ – vėjo azimutas lyjant;

SANTRUMPOS

ASHRAE – Jungtinių Amerikos Valstijų šildymo, šaldymo ir oro kondicionavimo draugija;

EDS - energijos dispersijos spektrometru

EN – damusis Europos standartas

ES – Europos sąjunga;

ETAG – Europos techninis įvertinimų vadovas;

HPMC – hidroksipropilmetilas;

NT BUILD – vertikalčiai orientuotų pastato atitvarų medžiagų ir komponentų senėjimo laipsnio prognozavimo metodas taikomas Suomijoje

ISO – tarptautinė standartizacijos organizacija;

ITSTS – išorinė tinkuojama sudėtinė termoizoliacinė sistema

LST – Lietuvos standartizacijos departamentas

RSN – Respublikinės statybos normos;

SEM – skanuotantis elektroninis mikroskopas;

STR – Statybos techninis reglamentas.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
ĮVADAS	11
Darbo tikslas.....	12
Sprendžiami uždaviniai.....	12
Mokslinis darbo naujumas	12
Tyrimo metodai	12
Praktinė darbo vertė.....	13
Ginamieji teiginiai	13
Darbo rezultatų aprobavimas.....	13
Disertacijos struktūra.....	13
1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ	14
1.1. Išorinės apšiltinimo sistemos.....	14
1.2. Išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos (ITSTS) techniniai reikalavimai ir norminiai dokumentai.....	17
1.2.1. ITSTS termoizoliacinės medžiagos.....	18
1.2.2. ITSTS armuotasis sluoksnis ir išorinė apdaila.....	22
1.2.2.1 Dažyta armuojamojo tinko sluoksnio danga	22
1.2.2.2. Išorinė tinko apdaila	24
1.3. ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimas.	28
1.3.1. Ilgaamžiškumo prognozavimo metodų sudarymo principai.....	28
1.3.2. ITSTS išorinės apdailos ilgaamžiškumą lemiantys poveikiai.....	30
1.3.2.1. Saulės šilumos ir aplinkos temperatūros kaitos poveikis.....	30
1.3.2.2. Saulės ultravioletinės spinduliuotės poveikis.....	33
1.3.2.3. Kondensacinės drėgmės ir lietaus poveikis.....	34
1.3.3. ITSTS savybių kaitos, dirbtinai sendinant įvertinimo būdai.....	36
1.3.4. ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo metodai.....	37
1.3.4.1. NT BUILD 495 2000 metodas.....	37
1.3.4.2. Lenkijos mokslininkų sukurtas metodas.....	38
1.3.4.3. Italų mokslininkų taikytas metodas	41
1.3.4.4. Europos techninių įvertinimų vadove (ETAG 004) pateiktas metodas	43
1.3.4.5. ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo metodų analizė	44
1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacinio darbo uždaviniai	47
2. ITSTS EKSPLOTAVIMO TRUKMĖS PROGNOZAVIMO MODELIO SUDARYMAS	48
2.1 Kompleksinis tyrimų planas.....	48
2.2. Tyrimų objekto aprašymas	49
2.3. Bandinių dirbtinio ir natūrinio sendinimo aprašymas	51
2.4. Klimato duomenų analizė ir klimato poveikių modeliavimas	52
2.4.1. Saulės UV spinduliuotės poveikio modeliavimas	52
2.4.2. Temperatūrinio poveikio modeliavimas	54
2.4.3. Drėgmės poveikio į vertikalųjų paviršių modeliavimas	56
2.5. Eksperimentiniams tyrimams naudota įranga.....	57

2.5.1	Klimatinė kamera UV spinduliuotės poveikio tyrimui.....	57
2.5.2.	Lietaus poveikiui imituoti naudotos priemonės	58
2.5.3.	Šaldymo-šildymo poveikiui modeliuoti naudota įranga	58
2.5.4.	Klimato duomenų matavimo ir kaupimo įrangos aprašas.....	58
2.6.	Eksperimentinių tyrimų aprašymas ir eiga	58
2.7.	ITSTS savybių kaitos įvertinimo būdai ir priemonės.....	61
2.8.	ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo modelis.....	62
2.9.	Antro skyriaus išvados	64
3	ITSTS ILGAAMŽIŠKUMO TYRIMO REZULTATAI.....	65
3.1.	Pradinės ITSTS charakteristikos.....	65
3.2.	UV spinduliuotės poveikio ITSTS ilgaamžiškumui eksperimentinis tyrimas	69
3.2.1.	Tinko paviršiaus vizualinis ir mikroskopinis įvertinimas.....	69
3.2.2.	Tinkų rentgenodifrakcinės ir energijos dispersijos spektroskopijos analizės rezultatai	72
3.2.3.	ITSTS bandinių vandens įgėrio analizė	75
3.2.4.	ITSTS bandinių mechaninio stiprumo analizė	76
3.2.5.	UV spinduliuotės poveikio ITSTS apibendrinimas.....	77
3.3.	Dirbtinis ir natūrinis sendinimas	78
3.3.1.	Tinko paviršiaus vizualinis ir mikroskopinis įvertinimas.....	78
3.3.2.	Vandens įgėrio kaitos dirbtinio ir natūrinio sendinimo eigoje analizė .	85
3.3.3.	Tinkų mechaninio stiprumo po dirbtinio ir natūrinio sendinimo analizė	87
3.4.	Klimato duomenų, naudotų dirbtinio sendinimo poveikių ciklui sudaryti ir faktinių klimato sąlygų natūrinio sendinimo metų palyginimas	88
3.4.1.	Saulės spinduliuotės analizė	88
3.4.2.	Išorės oro temperatūros analizė.....	89
3.4.3.	Lietaus į horizontalųjį paviršių analizė	92
3.5.	ITSTS eksploatacinių savybių nustatymo metodų koregavimas	94
3.5.1.	Saulės spinduliuotės poveikio analizė	94
3.5.2.	Šilumos ir drėgmės poveikio analizė.....	94
3.5.4.	Eksperimentinių tyrimų rezultatų apibendrinimas	95
3.6	Trečiojo skyriaus išvados	97
4.	IŠVADOS.....	98
	NAUDOTA LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	99
	MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	105

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1.1 lentelė.** Sistemų apdailai naudojamų dažų fizikinės savybės
- 1.2 lentelė.** Įvairių tinkų savybių suvestinė (<http://www.proproducts.lt/lt/produktai/apdailos-tinkai/tinku-rusys/>)
- 1.3 lentelė.** Vidutinis metinis įvairių tipų šalčio bangų skaičius Klaipėdoje
- 1.4 lentelė.** Pagreitintas sendinimo ciklas (NT BUILD 495, 2000)
- 1.5 lentelė.** Pagreitintas tinko sendinimo ciklas (Bochen ir kt., 2005)
- 1.6 lentelė.** Pagreitintas sistemų sendinimo ciklas (Bochen, 2009; Bochen, Gil, 2009)
- 1.7 lentelė.** Pagreitintas sendinimo ciklas ITSTS (Daniotti, Paolini, 2008a; Daniotti, Paolini, 2008b; Daniotti ir kt., 2008; Daniotti, Cecconi, 2013)
- 1.8 lentelė.** Paveiktą pagreintu laboratoriniu sendinimu bandinių įvertinimo metodikos
- 1.9 lentelė.** ITSTS ilgaamžiškumo hidroterminis ciklas (ETAG 004, 2013)
- 1.10 lentelė.** ITSTS ilgaamžiškumo užšalimo-atitirpimo ciklas (ETAG 004, 2013)
- 1.11 lentelė.** Pagreitinto sendinimo ciklų metodai
- 2.1 lentelė.** Pagrindinės išorinių tinkų sudėtinės medžiagos
- 2.2 lentelė.** Saulės spinduliuotės į pietų vertikalią plokštumą srauto tankis Kaune, esant vidutiniam debesuotumui kW/m^2 (RSN 156-94)
- 2.3 lentelė.** Saulės spinduliuotės metinio poveikio ciklas
- 2.4 lentelė.** Kauno vidutinė mėnesių oro temperatūra (RSN 156-94)
- 2.5 lentelė.** Šviesių spalvų paviršių Saulės šiluminės spinduliuotės sugerties koeficientai (Suehrcke ir kt., 2008, Norvaišienė ir kt., 2006)
- 2.6 lentelė.** Vertikalios paviršiaus mėnesinės temperatūros dėl bendrosios Saulės spinduliuotės poveikio, esant vidutiniam debesuotumui
- 2.7 lentelė.** Vidutinis metinis įvairių šalčio bangų skaičius Vilniuje
- 2.8 lentelė.** Pagreitintas sendinimas veikiant UV-drėkinimo-šaldymo-šildymo poveikiams
- 2.9 lentelė.** Įvertinimo kriterijai
- 3.1 lentelė.** Nesendintų ITSTS bandinių sukibimo stiprio vertės
- 3.2 lentelė.** ITSTS sukibimo stiprio vertės
- 3.3 lentelė.** Saulės spinduliuotės kiekis
- 3.4 lentelė.** Šalčio pusbangių suvestinė
- 3.5 lentelė.** Lietaus poveikio suvestinė

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Blokelių mūro siena su vėdinama apšiltinimo sistema: 1 – išorinė apdaila; 2 – vėdinamas oro tarpas; 3 – vėjo izoliacinis sluoksnis; 4 – termoizoliacinis sluoksnis; 5 – mediniai vertikalūs ir horizontalūs tvirtinimo tašai; 6 – tvirtinimo detalės; 7 – mūro siena; 8 – vidinis tinkas

1.2 pav. Oro natūralaus judėjimo atitvaroje su tarpeliais tarp orui laidaus termoizoliacinio sluoksnio ir kitų sluoksnių schema

1.3 pav. Blokelių mūro siena su išorine tinkuojama sudėtine termoizoliacine sistema: 1 – išorinė apdaila; 2 – armuotasis sluoksnis; 3 – stiklo pluošto tinklelis; 4 – termoizoliacinis sluoksnis; 5 – klijai; 6 – tvirtinimo smeigės; 7 – mūro siena; 8 – vidinis tinkas

1.4 pav. Polistireninio putplasčio dangtelis uždengia ITSTS tvirtinimo smeigę

1.5 pav. ITSTS komponentai: 1 – klijai; 2 – tvirtinimo smeigė; 3 – termoizoliacinis sluoksnis; 4 – stiklo pluošto tinklelis; 5 – armuotasis sluoksnis; 6 – šorinė apdaila (tinkas)

1.6 pav. Mineralinės vatos makrostruktūra: mineralinę vatą sudaro plaušeliai, iš kurių sudarytas gaminio karkasas ir suformuotos oro pripildytos erdmės (Steponaitis ir kt., 2012)

1.7 pav. Sienos su skirtingu termoizoliaciniu sluoksniu drėgminė būseną: 1 – vidinis tinkas; 2 – mūro siena; 3 – termoizoliacinis sluoksnis; 4 – išorinė apdaila; a) su mineralinės vatos izoliacija; b) su polistireninio putplasčio izoliacija

1.8 pav. Polistireninio putplasčio (EPS) mikrostruktūra: EPS sudaro uždarytų porų karkasas ir oro pripildytos poros (Vaitkus ir kt., 2006)

1.9 pav. Išorinėje apdailoje susidariusios pūslės dėl staigaus drėgmės garavimo po apdailos sluoksniu (<http://www.doityourself.com/stry/paint-blisters#.UwRq2c7AMcs>)

1.10 pav. Mėnesio vidutinės šilumos laidumo koeficiento palyginimo vertės (Kong, Zhang, 2013).

1.11 pav. Išorinėje apdailoje atsiradę įtrūkimai dėl apšiltinimo medžiagos plėtimosi ir traukimosi deformacijų

1.12 pav. Rišklio kiekio įtaka dažų plėvelės vandens garų laidumui (Topcuoglu ir kt., 2006)

1.13 pav. Akrilinių dažų plėvelės paviršiaus mikrostruktūra, kai panaudota (a) 10 % ir (b) 40% rišklio kiekio (Altinkaya ir kt., 2010)

1.14 pav. SEM nuotrauka: sukietėjusio modifikuoto cementinio skiedinio paviršiuje susidariusi polimerinė plėvelė (Zhong ir kt., 2013)

1.15 pav. Sukietėjusio modifikuoto cementinio skiedinio su HPMC priedu SEM nuotrauka (Zhong ir kt., 2013)

1.16 pav. Metilceliuliozės priedo įtaka tinko skiedinio vandens laikomumo rodikliui

1.17 pav. Natūralių kritinių poveikių sumavimas kuriant pagreitintą sendinimo ciklą ir nustatant jų skaičių. (Daniotti ir kt., 2013)

1.18 pav. Saulės spinduliuotės spektro dalys (CABOT)

1.19 pav. Pagal 1.1 lygtį apskaičiuotas vertikalaus paviršiaus mėnesinis temperatūros kitimas dėl Saulės spinduliuotės poveikio Kauno miste, esant vidutiniam debesuotumui

1.20 pav. Vidudienio Saulės ir UVA-340 bei UVB-313 lempų spinduliuotės spektrinių srautų tankių priklausomybė nuo bangos ilgio (CABOT)

1.21 pav. Dažyto tinko drėkinimo būdo įtaka vandens įgėriui (Norvaišienė ir kt., 2006)

1.22 pav. Klimatinės kameros schema. Bandiniai cikliškai veikiami: A – UV spinduliais ir šildymu; B – Vandeniui; C – Šalčiu; D – laboratorinėmis sąlygomis (NT BUILD 495, 2000)

1.23 pav. Klimato poveikius imituojančios kameros schema (Bochen 2009)

1.24 pav. Po 400 sendinimo ciklų tinko paviršiuje užfiksuoti įtrūkimai (Bochen, Gil, 2009)

1.25 pav. Pagreitinto sendinimo modelio sudarymo schema

2.1 pav. ITSTS ilgaamžiškumo kompleksinio tyrimo planas

2.2 pav. ITSTS bandinio pjūvis: 1- polistireninis putplastis; 2 – armuotasis sluoksnius; 3 – armuojantis stiklo pluošto tinklelis; 4 – išorinis apdailos tinkas

2.3 pav. Eksperimentiniai ITSTS fragmentai bandymams a) klimatinėje kameroje; b) natūrinėmis sąlygomis

2.4 pav. UV spinduliuotės poveikio ITSTS savybių kaitai nustatymo schema

2.5 pav. ITSTS bandiniai UV spinduliuotės klimatinėje kameroje

2.6 pav. UV spinduliuotės poveikio ITSTS bandiniams tyrimo schema

2.7 pav. Lietaus poveikio imitavimas

2.8 pav. Drėkinimo, šaldymo ir šildymo ciklo diagrama

2.9 pav. ITSTS bandinių vandens įgėrio nustatymo schema

2.10 pav. ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo modelis

3.1 pav. Nesendintų ITSTS išorinių tinkų paviršių SEM nuotraukos: a) Akrilinio tinko paviršius padengtas vientisa polimerine plėvele; b) Silikatinio-silikoninio tinko paviršiuje matomos atviros poros ir kalcito kristalai; c) Cementinio tinko paviršiumi būdingas atviras poringumas; d) Silikoninio tinko paviršius padengtas vientisa polimerine plėvele

3.2 pav. ITSTS išoriniame tinko sluoksnyje aptiktas polipropileno pluoštas a) akrilinio tinko paviršiuje; b) silikoninio tinko pjūvyje

3.3 pav. Nesendintų ITSTS išorinių tinkų rentgenogramos: S: SiO₂ (kvarcas); C: CaCO₃ (kalcitas); D: CaMg(CO₃)₂ (dolomitas); T: TiO₂ (titano dioksidas); Mh: Mg(OH)₂ (magnio hidroksidas); Ch: Ca(OH)₂ (kalcio hidroksidas); Mg: MgCO₃ (magnezitas)

3.4 pav. Nesendintų ITSTS bandinių vandens įgėrio vertės

3.5 pav. Bandinių atplyšimas termoizoliacinės medžiagos sluoksnyje

3.6 pav. ITSTS išorinių tinkų paviršiaus SEM nuotraukos prieš ir po 1 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio: a) Akrilinio tinko paviršius prieš UV poveikį. Matoma polimerinė plėvelė ir polipropileno pluoštai; b) Akrilinio tinko paviršius po UV poveikio. Paviršiuje nėra polimerinės plėvelės, matomi polipropileno pluoštai ir porėta paviršiaus struktūra; c) Silikatinio-silikoninio tinko paviršius prieš UV poveikį. Tinko paviršiuje matomos atviros poros; d) Silikatinio-silikoninio tinko paviršius po UV poveikio. Porų skersmuo padidėjo; e) Cementinio tinko paviršius prieš UV poveikį. Tinko paviršiuje matomos atviros poros; f) Cementinio tinko paviršius po UV poveikio. Poringumas sumažėjęs; g) Silikoninio

tinko paviršius prieš UV poveikį. Matoma tinko paviršių dengianti polimerinė plėvelė; h) Silikoninio tinko paviršius po UV poveikio. Paviršiuje nėra polimerinės plėvelės;

3.7 pav. Išorinių tinkų prieš ir po 5 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio rentgenogramos. S: SiO₂ (kvarcas); C: CaCO₃ (kalцитas); D: CaMg(CO₃)₂ (dolomitas), T: TiO₂ (titano oksidas); Mh: Mg(OH)₂ (magnio hidroksidas); Ch: Ca(OH)₂ (kalcio hidroksidas); Mg: MgCO₃ (magnezitas)

3.8 pav. SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: po 5 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio išorinių tinkų paviršiuose dominuoja dolomito kristalai: a) akrilinis tinkas; b) silikatinis-silikoninis tinkas; c) cementinis tinkas; d) silikoninis tinkas;

3.9 pav. Prieš ir po UV poveikį nustatytas ITSTS bandinių vandens įgėris

3.10 pav. ITSTS bandinių po 9 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio trūkimo zona išlieka termoizoliacinės medžiagos sluoksnyje

3.11 pav. Tinko paviršiaus pokyčiai a) prieš sendinimą; b) po vienerių, c) po dviejų natūrinio metų sendinimo

3.12 pav. Cementinio tinko paviršius po dviejų natūrinio sendinimo metų: rodyklės rodo įtrūkimo vietas, apibrėžtos vietos – dumblius ir pelėsius

3.13 pav. Akriliniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: (a) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b) - po vienerių metų natūrinio sendinimo; (c) po du metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (d) - po dviejų metų natūrinio sendinimo: a) Matomas polipropileno pluoštas; b) Matomas polipropileno pluoštas; c) Paviršių dengia smulkios medžiagos; d) Paviršių dengia smulkios medžiagos;

3.14 pav. Silikatinis-silikoniniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: (a, c) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b, d) - po vienerių metų natūrinio sendinimo; (e) - po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (f) - po dviejų metų natūrinio sendinimo: a) Poringą paviršių dengia kristalai; b) Paviršiuje dominuoja kristalai; c) Užfiksuoti mikroįtrūkimai; d) Rodyklėmis pažymėti mikroįtrūkimai; e) Poringą paviršių dengia smulkios medžiagos; f) Paviršiuje dominuoja smulkios medžiagos;

3.15 pav. Cementiniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos: (a) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b) - po vienerių metų natūrinio sendinimo; (c) - po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (d) po dviejų metų natūrinio sendinimo;

3.16 pav. Silikoniniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: (a) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b) – po vienerių natūrinio sendinimo metų; (c) - po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (d) – po dviejų natūrinio sendinimo metų: a) rodyklė rodo polipropileno pluoštą; c) Paviršių dengia smulkios struktūros medžiagos; d) Paviršių dengia smulkios struktūros medžiagos

3.17 pav. Bandinių vandens įgėrio kaita

3.18 pav. Bandinių vandens įgėrio kaita

3.19 pav. Atplėšimo pobūdis po dviejų dirbtinio (kairėje) ir natūrinio (dešinėje) sendinimo metų atplėšimo pobūdis

3.20 pav. Bendrosios Saulės spinduliuotės srauto tankio į horizontalią plokštumą palyginimas

3.21 pav. Metiniai išorės oro temperatūros duomenys

3.22 pav. Vidutinės mėnesio išorės oro temperatūros palyginimas

3.23 pav. 2012 m. spalio mėn. - 2013 m. balandžio mėn. išorės oro temperatūra

3.24 pav. 2013 metų sausio 21 dienos išorės oro temperatūros pasiskirstymas natūrinio sendinimo metu

3.25 pav. 2012 metų vasaros periodo išorės oro temperatūros natūrinio sendinimo metu

3.26 pav. Kiekvienos paros lietaus intensyvumas į horizontalų paviršių 2012-2013 metais

3.27 pav. ETAG 004 procedūros koregavimo modelis, ITSTS sistemų ilgaamžiškumui nustatyti

IVADAS

Statybinių medžiagų ir konstrukcijų tarnavimo trukmės prognozavimas yra svarbi pastatų ilgaamžiškumo ir eksploatacinių išlaidų jų priežiūrai ir remontui planavimo dalis. Žinios apie statybinių medžiagų eksploatacinių trukmę būtinos projektuojant pastatą, jį statant ir eksploatuojant visą numatytą pastato tarnavimo trukmę. Kuo tiksliau įvertinama ir nustatoma pastato statybai naudojamų medžiagų ir konstrukcijų tarnavimo trukmė, tuo tiksliau apskaičiuojamos bendrosios pastato statybos ir eksploatacijos sąnaudos, apibūdinančios pastato efektyvumą.

Išorinė tinkuojama sudėtinė termoizoliacinė sistema (toliau – ITSTS) – viena populiariausių fasadų šiltinimo sistemų Lietuvoje tiek renovuojant, tiek ir statant naujus pastatus. Pagrindinė ITSTS funkcija – užtikrinti atitvarų termoizoliacines charakteristikas ir apsaugoti pastatą nuo aplinkos poveikių bei suteikti išoriniam fasadui estetinę išvaizdą.

Šios ITSTS eksploatacinių trukmė priklauso nuo jos atsparumo klimato poveikiams. Eksploatacijos metu sistemas veikia krituliai, vėjo slėgis, išorės oro temperatūrų pokyčiai, Saulės šiluminė ir ultravioletinė bei dangaus skliauto ilgabangė spinduliuotė. ITSTS atsparumui šiems aplinkos poveikiams įvertinti taikomi įvairūs tyrimų ir bandymų metodai, tačiau dauguma jų nepripažinti tarptautiniu mastu: nėra nei tarptautinio standarto (ISO), nei darniojo Europos standarto (EN). Tai sąlygoja sudėtinga sistemos sandara, kadangi joje naudojami įvairūs statybos produktai, kuriuos apjungus į šiltinimo sistemą, gaunamas naujų eksploatacinių charakteristikų gaminys.

ES šalyse ITSTS eksploatacinių trukmei prognozuoti taikomas Europos techninio įvertinimo vadove (ETAG 004, 2013) pateiktas metodas. Vyrauja nuomonė, kad šis metodas per daug unifikuotas, todėl nevisiškai tinka vertinti ITSTS ilgaamžiškumą skirtingo klimato, o ypač šalto ir drėgno klimato zonose. Šiame metode nenumatyta Saulės ultravioletinės spinduliuotės įtakos sistemos savybėms įvertinimas. Todėl neaišku, ar pagal ETAG 004 nurodytą metodą sudarytos ir išbandytos sistemos eksploatacinės savybės išliks šioms sistemoms būdingą 25-30 metų laikotarpį.

ITSTS atsparumą klimato poveikiams tyrė daugelio šalių mokslininkai, taikė skirtingus eksploatacinių savybių prognozavimo metodus, tačiau pasigendama taikytų poveikių sąryšio su natūralios aplinkos sąlygomis. Dauguma mokslininkų aplinkos poveikius vertino kompleksiskai, todėl sudėtinga nustatyti atskirų faktorių įtaką sistemos savybėms ir ilgaamžiškumui.

Darbe išanalizuoti šalto ir drėgno klimato duomenys, ištirta UV spinduliuotės įtaka sistemos eksploatacinėms savybėms, nustatyti sistemų paviršiaus struktūros pokyčiai pradiniam eksploatacijos etape ir jų įtaka sistemų ilgaamžiškumui.

Darbo tikslas

Nustatyti klimato poveikį ITSTS eksploatacinių charakteristikų kaitai ir ilgaamžiškumui.

Sprendžiami uždaviniai

1. Išanalizuoti Lietuvos klimato duomenis ir nustatyti ultravioletinės spinduliuotės, oro temperatūros bei lietaus poveikių sienų apšiltinimo sistemoms trukmės ir intensyvumo ribines vertes;
2. Sulyginti klimato duomenų analizės rezultatus su ITSTS bandymuose taikomų poveikių parametrais ir nustatyti koreguotinus poveikių intensyvumo parametrus bei trūkstamus savybių įvertinimo būdus;
3. Sudaryti ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo modelį, įtraukiant dirbtinį ir natūralų bandinių sendinimą, jų savybių kaitos analizę bei ryšio tarp dirbtinio sendinimo ir eksploataavimo trukmės nustatymą;
4. Išanalizuoti Saulės UV spinduliuotės sukeltus sistemų tinko paviršiaus struktūros pokyčius ir nustatyti jų įtaką tinko eksploataciniams savybėms;
5. Ištirti pagal Lietuvos klimato duomenis koreguotų temperatūrinių ir drėgminių poveikių tinkamumą ITSTS ilgaamžiškumui ir savybių kaitai prognozuoti;
6. Parengti šalto ir drėgno klimato zonoje naudojamų ITSTS ilgaamžiškumo įvertinimo rekomendacijas.

Mokslinis darbo naujumas

1. Ištirtas termoizoliacinių sistemų išorinio tinko sluoksnio vandens įgėrio kitimas eksploatacijos laikotarpiu ir jo įtaka sistemos šalčio atsparumui;
2. Ištirtas UV spinduliuotės poveikis ITSTS tinko paviršiaus struktūrai ir vandens įgėrio kaitai;
3. Patobulinta ITSTS išorinio sluoksnio atsparumo šalčiui prognozavimo metodika, pritaikant ją šalto ir drėgno klimato regionui.

Tyrimo metodai

1. ITSTS atsparumas UV spinduliuotės poveikiui ištirtas bandymų stende sukūrus Saulės UV spinduliuotės poveikį naudojant UVA-340 liuminescencines lempas;
2. Sistemos atsparumas kompleksiniam klimato poveikiui ištirtas reguliuojamų parametrų kameroje taikant nuoseklius pagal Lietuvos klimato duomenis sudarytus poveikių ciklus;
3. Sistemos išorinio tinko paviršiaus struktūros kaitos analizė atlikta naudojantis skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) padarytomis nuotraukomis;
4. Sistemos išorinio tinko mineralinė sudėtis nustatyta naudojant rentgeno difraktometru;
5. ITSTS vandens įgėris ir mechaninis stipris nustatyti taikant standartinius metodus;
6. Natūriniai ITSTS tyrimai atlikti natūralios išorės aplinkos sąlygomis Kaune.

Praktinė darbo vertė

1. Taikant pagal šio darbo rezultatus pakoreguotą ITSTS ilgaamžiškumo nustatymo metodą, sistemų senėjimo procesas priartinamas eksploataciniam ir tiksliau prognozuojama sistemų tarnavimo trukmė;
2. Naudojant UV spinduliuote paveiktus bandinius, tiksliau apskaičiuojama sistemomis apšiltintos sienos drėgminė būklė;
3. Rekomenduojamas sistemų bandinių sendinimas prieš vandens įgėrio nustatymą padidins silikatinių tinkų naudojimo galimybes, nes didesnio pradinio vandens įgėrio tinko apdaila nebus vertinama kaip mažiau atspari šalčiui sistemos danga.

Ginamieji teiginiai

1. ITSTS pradinis vandens įgėris negali būti naudojamas sistemos ilgaamžiškumo prognozavimo rodikliu. Eksploatacinis sistemos vandens pralaidumas turi būti nustatytas suirus paviršinei polimerinei plėvelei ir pasibaigus karbonizacijos procesui.
2. Nuoseklus drėkinimo – šaldymo – šildymo poveikių ciklas tiksliau imituoja šalto ir drėgno klimato poveikius nei šiuo metu sistemoms įvertinti taikomi atskiri kaitinimo – drėkinimo ir šildymo – šaldymo poveikių ciklai.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema išspausdinti **trys** moksliniai straipsniai periodiniuose leidiniuose, du iš jų įtraukti į tarptautinę mokslinių straipsnių duomenų bazę „ISI Web of Science“. Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai paskelbti **trijose** tarptautinėse mokslinėse konferencijose.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir išspausdintų publikacijų sąrašai.

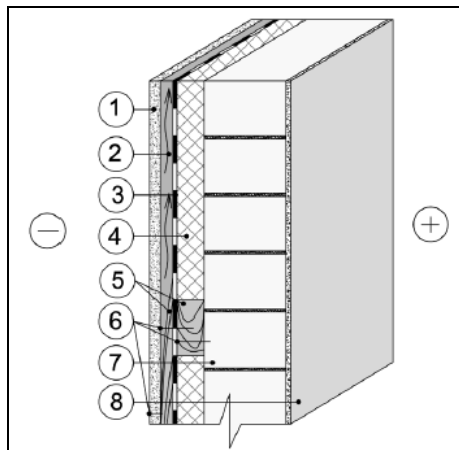
Darbo apimtis yra 106 puslapiai, kuriuose yra 62 paveikslai, 24 lentelės ir 7 lygtys. Rašant disertaciją buvo panaudoti 64 literatūros šaltiniai.

1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

1.1. Išorinės apšiltinimo sistemos

Per įvairaus apšiltinimo lygio pastato išorines sienas netenkama iki 50 % pastato šilumos, nes jų plotas, lyginant su kitomis atitvaromis, yra pats didžiausias. Apšiltintus modernizuojamų pastatų išorines sienas, pastato šilumos nuostolius per atitvaras galima sumažinti apie 30 %, taip sutaupoma apie 25 % kuro per metus (Collina, 2007; Collina, Lignola, 2010). Šilumos sąnaudų mažinimo požiūriu efektyviausias sienų apšiltinimas iš išorės. Taip sukuriama palankiausia patalpų mikroklimato sąlyga, geros laikančiųjų konstrukcijų eksploatacinių sąlygų, tačiau būtina užtikrinti termoizoliacinio sluoksnio apsaugą nuo išorinio poveikio. Tinkamai įrengta termoizoliacinio sluoksnio apsauga užtikrina sienos energinį efektyvumą ir ilgaamžiškumą. Naujų ir modernizuojamų pastatų apšiltinimui dažniausiai naudojamos iš įvairių statybinių medžiagų ir gaminių sudarytos, išbandytos ir sertifikuotos išorinės apšiltinimo sistemos.

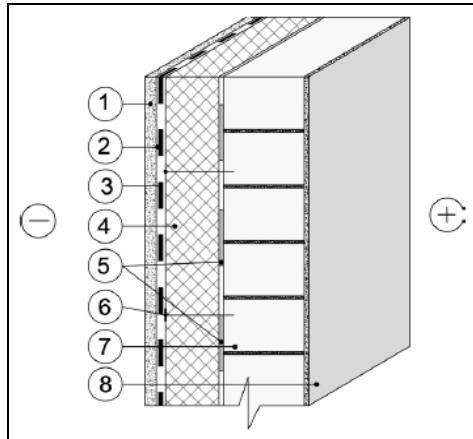
Pastatų išorinio apšiltinimo sistemas galima suskirstyti į dvi pagrindines grupes: vėdinamas ir nevėdinamas. Pirmajai priklauso sistemos, kuriose termoizoliacinė medžiaga montuojama tarp karkaso elementų, įrengiamas vėdinamas oro tarpas ir išorinė apdaila iš surenkamų elementų (1.1. pav.).



1.1 pav. Blokelių mūro siena su vėdinama apšiltinimo sistema: 1 – išorinė apdaila; 2 – vėdinamas oro tarpas; 3 – vėjo izoliacinis sluoksnis; 4 – termoizoliacinis sluoksnis; 5 – mediniai vertikalūs ir horizontalūs tvirtinimo tašai; 6 – tvirtinimo detalės; 7 – mūro siena; 8 – vidinis tinkas

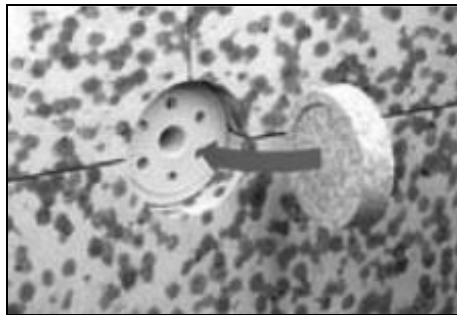
Pagrindinis vėdinamos sistemos privalumas: užtikrinamas sausas sienos konstrukcijos eksploatacinių būvis, kadangi iš išorinės pusės sistemos apdaila apsaugo vidinius sluoksnius nuo lietaus poveikio, o iš vidinės pusės migruojantys vandens garai laisvai praeina pro sienos sluoksnius ir patenka į oro tarpą, iš kurio pašalinami kartu su judančio oro srautu. Tarp apdailos plokštės ir šiltinamos medžiagos esančio vėdinamo oro tarpo storis turi būti ne mažesnis kaip 25 mm, bet ne didesnis kaip 100 mm. Esant mažam oro tarpo storiui, oro judėjimo intensyvumas gali būti nepakankamas, todėl vandens garai gali kondensuotis ant vidinio apdailinės

Antrajai grupei priklauso išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos (toliau ITSTS) (1.3 pav.).



1.3 pav. Blokelių mūro siena su išorine tinkuojama sudėtine termoizoliacine sistema:
 1 – išorinė apdaila; 2 – armuotasis sluoksnis; 3 – stiklo pluošto tinklelis;
 4 – termoizoliacinis sluoksnis; 5 – klijai; 6 – tvirtinimo smeigės; 7 – mūro siena;
 8 – vidinis tinkas

Pagrindinis šios sistemos privalumas: maža tvirtinimo elementų įtaka šiluminėms savybėms, nes termoizoliacinis sluoksnis klijuojamas arba tvirtinamas smeigėmis. Smeigę sudaro plastikinis kaištis, į kurį įsukama plieninė vinis, jos galvutė padengta sintetiniu pluoštu. Siekiant sumažinti šilumos perdavimą per smeigę, ji uždengiama polistireninio putplasčio dangteliu (1.4 pav.).



1.4 pav. Polistireninio putplasčio dangtelis uždengia ITSTS tvirtinimo smeigę

Smeigių kiekis apskaičiuojamas pagal smeigių gamintojo rekomendacijas ir priklauso nuo pastato atitvarų pagrindo ir jį veikiančių vėjo apkrovų. Kai tvirtinimui naudojama mažiau kaip 10 smeigių į kvadratinį metrą, jų poveikis šilumos perdavimui per apšiltintą konstrukciją nevertinamas.

Kitas svarbus šių sistemų privalumas – mažesnis sistemos storis. Kadangi nėra termoizoliacinį sluoksnį kertančių šilumai laidžių elementų įtakos, termoizoliaciniam sluoksniui naudojamos tankios ir mažai laidžios orui medžiagos,

todėl nesusidaro konvekciniai šilumos srautai, nereikalingas vėdinamas oras tarpas, projektinis ITSTS storis mažesnis už vėdinamų sistemų storį.

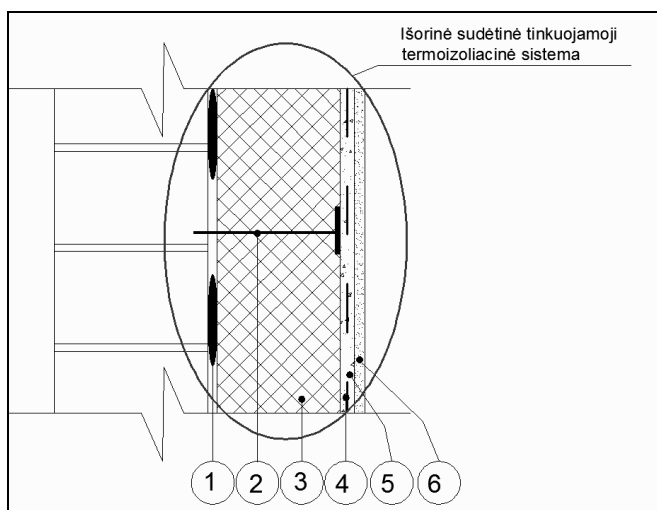
ITSTS turi keletą trūkumų. Šioms sistemoms įrengti taikomos nuo aplinkos sąlygų priklausomos montavimo technologijos. Armuotojo tinko ir apdailos įrengimui nustatytos griežtos aplinkos sąlygos, kurių nesilaikant šie sluoksniai nepakankamai sukimba tarpusavyje, pleišėja, mažėja jų atsparumas klimato poveikiams. Projektuojant ir įrengiant ITSTS, reikia įvertinti visų apšiltinamos sienos sluoksnių vandens garų laidumo savybes ir parinkti išorinę apdailą taip, kad nebūtų drėgmės kaupimosi termoizoliaciniame sluoksnyje. Nesuderinus sluoksnių savybių, kondensacinė drėgmė kaupsis termoizoliaciniame sluoksnyje, todėl padidės šio sluoksnio šiluminis laidumas, žemų temperatūrų laikotarpiu bus ardomas armuotasis ir išorinis apdailos sluoksnis (Šadauskienė ir kt., 2008). Pažeistų sistemų remontas sudėtingas: dažniausiai reikia iš naujo įrengti tinkuojamos sistemos armuotąjį ir apdailos sluoksnius.

Abi apšiltinimo sistemos įrengiamos siekiant dviejų tikslų: taupyti šiluminę energiją ir apsaugoti sieną nuo klimato poveikio. Šių tikslų įgyvendinimas priklauso nuo sistemų ilgaamžiškumo. Kadangi ITSTS labiau pažeidžiamos, jų atsparumas klimato poveikiui priklauso ne tik nuo atskirų sistemos sluoksnių savybių, bet ir šių sluoksnių tarpusavio sąveikos, toliau šiame darbe tiriamos tik išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos.

1.2. Išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos (ITSTS) techniniai reikalavimai ir norminiai dokumentai

ITSTS montuojamos statybos aikštelėje tiesiogiai ant pastato išorinės sienos naudojant pramoniniu būdu pagamintų statybos gaminių komplektą, kurį tiekia sistemos gamintojas. Sistemą sudarančių gaminių komplektas susideda iš komponentų (1.5 pav.), kuriuos sistemos gamintojas parinko suprojektuotai sistemai:

- a) klijų (1.5 pav. Nr.1) ir (arba) sistemos mechaninio tvirtinimo elementų (1.5 pav. Nr.2);
- b) termoizoliacinės medžiagos (polistireninio putplasčio arba mineralinės vatos) (1.5 pav. Nr.3);
- c) armavimo tinklelio (1.5 pav. Nr.4);
- d) armuotojo sluoksnio (1.5 pav. Nr.5);
- e) išorinio apdailos sluoksnio, kuris gali būti dažai arba dekoratyvusis tinkas (1.5 pav. Nr.6).



1.5 pav. ITSTS komponentai: 1 – klijai; 2 – tvirtinimo smeigė; 3 – termoizoliacinis sluoksnis; 4 – stiklo pluošto tinklis; 5 – armuotasis sluoksnis; 6 – šorinė apdaila (tinkas)

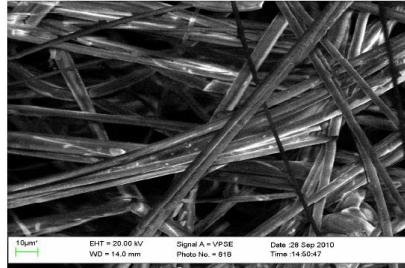
Išorinės termoizoliacinės sudėtinės tinkuojamos sistemos sudaromos, išbandomos ir jų savybės deklaruojamos pagal ES dokumentą – Europos techninių įvertinimų vadovą ETAG 004 (ETAG 004, 2013), kuriame nurodyti ITSTS sudarymo, savybių nustatymo bei ilgaamžiškumo vertinimo principai. Sistemos gamintojas, įvykdęs šiame dokumente nurodytas procedūras, gauna Europos techninį įvertinimą (ETĮ) (EOTA, 1999) ir įgyja teisę tiekti šias sistemas į visos Europos Bendrijos rinką. Lietuvoje pastatų apšiltinimas išorine tinkuojama termoizoliacine sistema projektuojamas pagal statybos techninį reglamentą „Išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos“ (STR 2.01.10:2007). Šiame norminiame dokumente pateiktas reikalavimas, kad atitvarų projektavimui ir statybai būtų naudojamos tik turinčios Europos techninį įvertinimą (ETĮ) ir CE ženklu ženklintos išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos. ETĮ yra ne tik atitiktis sistemos reikalavimams sertifikatas, bet ir griežtas technologijos aprašas, jo nuostatų laikymasis užtikrina ITSTS ilgalaikę eksploataciją. ETĮ rengia ir ženkлина CE ženklu sistemos gamintojas, prisiimdamas atsakomybę, kad į rinką pateks tinkamai parengtas Europos Sąjungos saugos, sveikatos ir aplinkos apsaugos, šilumos taupymo esminius reikalavimus atitinkantis statybos produktas.

1.2.1. ITSTS termoizoliacinės medžiagos

Svarbiausias pastato šiluminės savybės apsprendžiantis elementas – termoizoliacinis sluoksnis. Šiam sluoksniui įrengti naudojamos dviejų rūšių medžiagos: neorganinės pluoštinės medžiagos (stiklo vata ir akmens vata) sudaro 60 %, o organinės kilmės medžiagos – pūstasis (EPS) ir ekstrūzinis (XPS) polistireninis putplastis – apie 27 % Europos termoizoliacinių medžiagų rinkos (Papadopoulos, 2005). Likusią rinkos dalį užima poliuretanoi, fenolio formaldehidinės putos, iš antrinių žaliavų pagamintos termoizoliacinės medžiagos. Mineralinės vatos ir

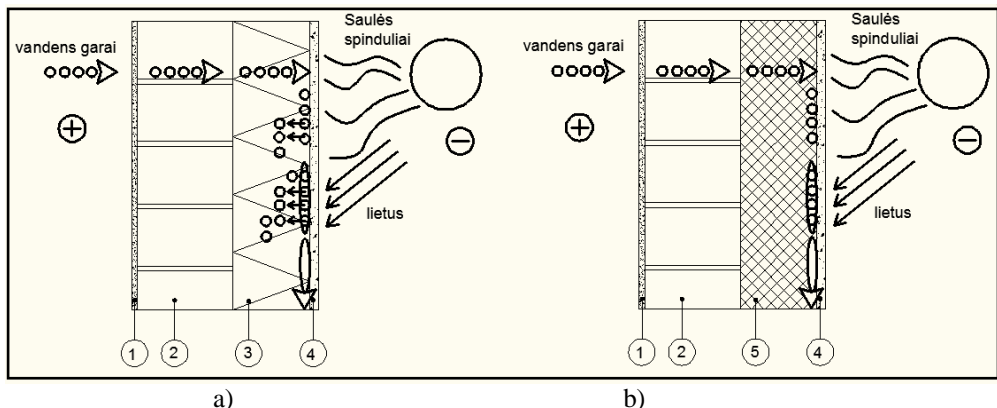
polistireninių putplasčių šilumos izoliacinės savybės panašios: mineralinės vatos šilumos laidumo koeficiento deklaruojamoji ($\lambda_{s, dec}$) vertė yra nuo 0,032 W/(m·K) iki 0,052 W/(m·K), EPS – nuo 0,030 W/(m·K) iki 0,045 W/(m·K). Abiejų rūšių sistemose naudojamos termoizoliacinės medžiagos turi privalumų ir trūkumų.

Mineralinė (stiklo arba akmens) vata laidu orui ir vandens garams. Tai pluoštinės struktūros medžiaga, kurioje tarp plaušų suformuotos oro pripildytos ertmės (1.6 pav.).



1.6 pav. Mineralinės vatos makrostruktūra: mineralinę vatą sudaro plaušeliai, iš kurių sudarytas gaminio karkasas ir suformuotos oro pripildytos ertmės (Steponaitis ir kt., 2012)

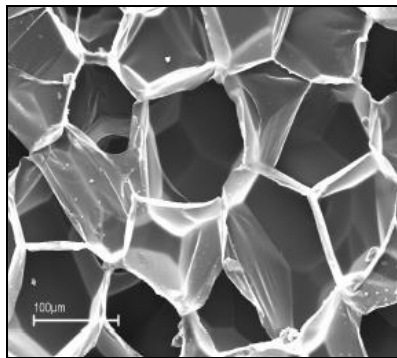
Šia medžiaga apšiltinus sienas, pro konstrukcinį sluoksnį praėję vandens garai laisvai patenka į vatą ir nesukelia laikančiojo sluoksnio drėgminių deformacijų. Trumpalaikis drėgmės kaupimasis galimas prie išorinio apdailos sluoksnio, tačiau dėl išorės šilumos poveikio padidėjus vandens garų slėgiui, jis išsilygina mineralinės vatos sluoksnyje ir neardo išorinės dangos. Mineralinė vata yra hidrofobinė medžiaga, todėl savyje negali išlaikyti didelio kiekio drėgmės (pagal STR 2.05.01 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas“ didžiausias leistinas mineralinės vatos drėgmės prieaugis 0,045 kg/kg (STR 2.05.01:2013)). Esant didesniam drėgmės prieaugiui, kondensacinė drėgmė teka žemyn, koncentruojasi atitvarų apačioje ir gali pakeisti sienų ir perdangų konstrukcijas (1.7 pav. a).



1.7 pav. Sienos su skirtingu termoizoliaciniu sluoksniu drėgminė būsena: 1 – vidinis tinkas; 2 – mūro siena; 3 – termoizoliacinis sluoksnis; 4 – išorinė apdaila; a) su mineralinės vatos izoliacija; b) su polistireninio putplasčio izoliacija

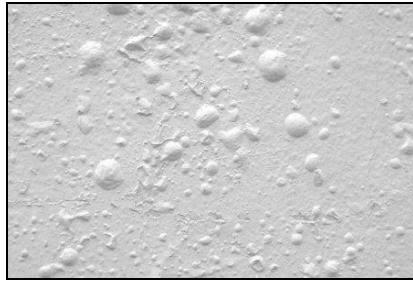
Tas pats atsitinka, kai lietaus vanduo prasiskverbia pro išorinį sluoksnį. Į mineralinės vatos sluoksnį prasiskverbę nedideli vandens kiekiai išsilaiko ant vatos karkaso ir, nustojus lyti, išdžiūsta, tačiau didesni vandens kiekiai gali migruoti per vatą žemyn ir sudrėkinti kitas pastato konstrukcijas (1.7 pav. a). Pluoštinių termoizoliacinių medžiagų drėgmės ir šiluminės savybės priklauso nuo aplinkos temperatūros, oro filtracijos pro medžiagą ar šalia jos, medžiagos senėjimo procesu (Endriukaitytė ir kt., 2004; Šadauskienė ir kt., 2009). Tyrimais nustatyta, kad į neigiamų temperatūrų zoną patenka iki 20 mm storio išorinis pluoštinės termoizoliacinės medžiagos sluoksnis, tačiau drėgmė užšąla tik 10 mm storio sluoksnyje. Todėl šildymo sezono metu nevėdinamos pluoštinės termoizoliacijos drėgnis gali padidėti iki 15 %, o šiluminė varža sumažėti iki 10 % (Steponaitis ir kt., 2012). Daugkartiniai įdrėkinimo ir džiovavimo ciklai gali pabloginti mineralinės vatos patvarumą (Zirkelbach ir kt., 2005). Dažnai sudrėkstanti mineralinė vata praranda savo hidrofobines savybes, kai užšąla – pluoštas trupa ir vata praranda mechanines savybes (Endriukaitytė ir kt., 2004).

Polistireninis putplastis – mažai orui ir vandens garams laidus medžiaga. Tai uždarytų porų, be išsivėsių kapiliarų medžiaga (1.8 pav.).



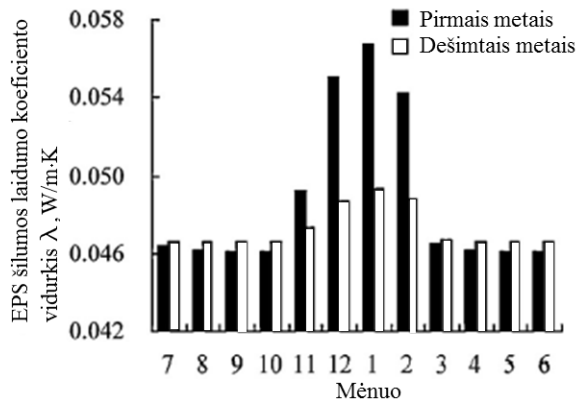
1.8 pav. Polistireninio putplasčio (EPS) mikrostruktūra: EPS sudaro uždarytų porų karkasas ir oro pripildytos poros (Vaitkus ir kt., 2006)

Polistireninio putplasčio termoizoliacinis sluoksnis pristabdo vandens garų judėjimą iš vidaus į išorę, todėl galimas drėgmės kaupimasis laikančiojoje sienoje (1.7 pav. b). Vandens garai juda pro polistireninį putplastį lėtai, todėl prie išorinės apdailos drėgmė nesikaupia, nes spėja pro ją išdžiūti. Į išorinę apdailą patekęs lietaus vanduo dažniausiai nespėja įsigerti į EPS, todėl nesumažėja termoizoliacinio sluoksnio efektyvumas. Tačiau tada, kai sudrėkusi išorinė apdaila staigiai pašildoma (dažniausiai veikiant Saulės spinduliutei), drėgmė garuoja, vandens garai negali skverbtis į polistireninį putplastį, todėl išorinėje apdailoje gali susidaryti pūslės (1.9 pav.), ši apdaila gali būti atplėšta nuo termoizoliacinio sluoksnio.



1.9 pav. Išorinėje apdailoje susidariusios pūslės dėl staigaus drėgmės garavimo po apdailos sluoksniu
(<http://www.doityourself.com/stry/paint-blister#.UwRq2c7AMcs>)

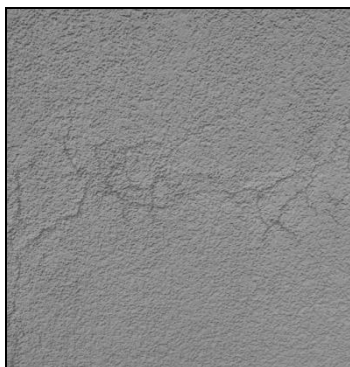
Kai sienos vidinis sluoksnis laidus vandens garams, gali padidėti polistireninio putplasčio drėgnumas, todėl didėja šilumos laidumo koeficientas, mažėja sienos izoliacinis efektyvumas (Vėjelis, Vaitkus, 2006). Naujose ar apšiltintose sienose vyksta intensyvūs vandens garų judėjimo ir sienos džiovimo procesai, visoje atitvaroje galimas padidintas drėgmės kiekis. Todėl per pirmuosius eksploataavimo metus patiriami didesni šilumos nuostoliai (1.10 pav.) (Kong, Zhang, 2013).



1.10 pav. Mėnesio vidutinės šilumos laidumo koeficiento palyginimo vertės (Kong, Zhang, 2013).

Pirmaisiais atitvaros eksploataavimo metais vandens garų difuzija didžiausia. Vėliau, palaipsniui konstrukcinė drėgmė pasišalina ir šilumos laidumas visuose atitvaros sluoksniuose stabilizuojasi.

Polistireniniam putplasčiui būdinga susitrauktis, kuri skirstoma į ankstyvąją ir vėlyvąją. Polistireninio putplasčio matmenys visiškai stabilizuojasi po 150 parų. Polistireninio putplasčio gaminių matmenys kinta dėl šilumos poveikio: terminio plėtimosi koeficientas kinta nuo 0,05 iki 0,07 mm/m, gaminio temperatūrai pakilus 1 °C. Polistireninio putplasčio gaminyje, kurio ilgis 0,4 m, atšaldytas nuo +20 iki -20 °C temperatūros, susitraukia 1 mm. Šios polistireninio putplasčio deformacijos gali būti išorinio apdailos sluoksnio trūkinėjimo priežastimi (1.11 pav.).



1.11 pav. Išorinėje apdailoje atsiradę įtrūkimai dėl apšiltinimo medžiagos plėtimosi ir traukimosi deformacijų

Apšiltintos sienos energinis efektyvumas užtikrinamas visą eksploatacijos laikotarpį tik tada, kai bus suderintos jos sluoksnių garų izoliacinės savybės (nebus drėgmės kaupimosi sienos konstrukcijoje), optimizuotos išorinės apdailos vandens garų ir vandens pralaidumo savybės bei užtikrintas išorinės dangos ilgaamžiškumas (termoizoliacinis sluoksnis bus apsaugotas nuo klimato poveikio). Šiam tikslui naudojamos įvairių rūšių išorinės tinkuojamos dangos.

1.2.2. ITSTS armuotasis sluoksnis ir išorinė apdaila

Sistemos armuotasis sluoksnis ir išorinė apdaila įrengiami pagal sistemų gamintojų taisykles. Šių sluoksnių paskirtis – užtikrinti apšiltintos sienos apsaugą nuo išorinių klimato poveikių: kritulių, vėjo, Saulės šiluminės ir ultravioletinės spinduliuotės bei apsaugoti termoizoliacinį sluoksnį nuo mechaninių poveikių. Apdailos mechaninis atsparumas gaunamas įrengiant armuotąjį sluoksnį, atsparumas klimato poveikiams – dekoratyvinio arba dažyto tinko danga. Šioms dangoms būdingos skirtingos apsaugos nuo aplinkos poveikių charakteristikos.

1.2.2.1 Dažyta armuojamojo tinko sluoksnio danga

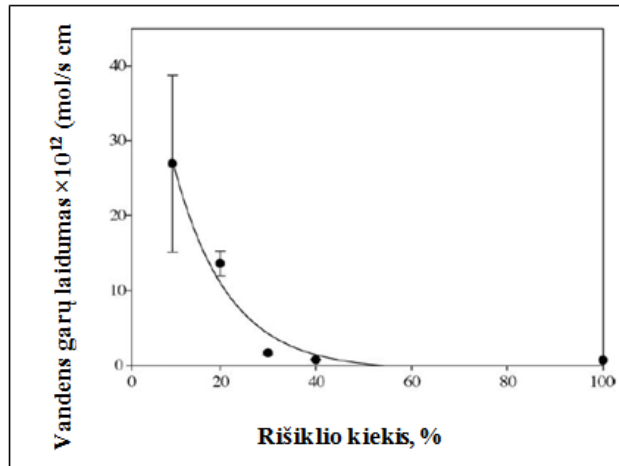
Dažai tinkuotai sienai suteikia norimą estetinę išvaizdą ir vandens garų laidumo ir vandens nepralaidumo savybes. Dangai įrengti naudojami skirtingų savybių akriliniai, silikatiniai ir silikonų dervų (silikoniniai) dažai (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Sistemų apdailai naudojamų dažų fizikinės savybės (Šadauskienė ir kt., 2008)

Fasado dažai	Garų pralaidumas	Atsparumas drėgmei ir purvui	Spalvos išlaikymas	Iлгаamžiškumas
Akriliniai	Geras	Labai didelis	Vidutinis	Vidutinis
Silikatiniai	Labai geras	Didelis	Geras	Didelis
Silikonų dervų	Labai geras	Labai didelis	Geras	Labai didelis

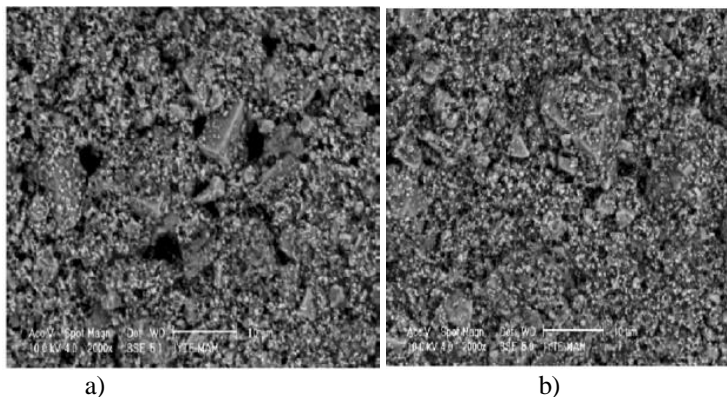
Dažų dangos visam išorinės apdailos sluoksniui suteikia reikiamą vandens garų pralaidumo ir vandens nepralaidumo savybių derinį, kuriam esant sistemoje

nesikaups drėgmė. Tai priklauso nuo dažų rišamosios medžiagos rūšies ir jos kiekio. Akrilinių dažų danga sudaro išorinę plėvelę, kuri sumažina išorinio vandens patekimą į sistemą, tačiau sulėtina ir vandens garų išgaravimą iš sistemos greitį. Akriliniuose dažuose didėjant rišiklio kiekiui, mažėja vandens garų laidumas (1.12 pav.).



1.12 pav. Rišiklio kiekio įtaka dažų plėvelės vandens garų laidumui (Topcuoglu ir kt., 2006)

Akriliniuose dažuose didėjant rišiklio kiekiui (nuo 10 % iki 40 %), keičiama dažų plėvelės morfologijos struktūra – mažėja poringumas (1.13 pav.).



1.13 pav. Akrilinių dažų plėvelės paviršiaus mikrostruktūra, kai panaudota (a) 10 % ir (b) 40% rišiklio kiekio (Altinkaya ir kt., 2010)

Akriliniai dažai naudotini tais atvejais, kai mažas iš vidaus pro sistemą judančių vandens garų kiekis. Silikoninių dervų dažai labai gerai praleidžia vandens garus, o jų vandens pralaidumas sumažinamas naudojant vandenį atstumiančius priedus. Silikatiniai dažai labai gerai praleidžia ir vandens garus, ir vandenį, jų paviršiaus nedengia plėvelė, todėl abiem būdais į armuotąjį tinką patekusi drėgmė greitai išgaruoja ir dažniausiai neturi neigiamo poveikio sistemos ilgaamžiškumui. Kadangi dekoratyvinio tinko savybes apsprendžia tokios pat kaip dažų sudėtyje

naudojamos medžiagos, įvairių rišamųjų medžiagų ir priedų naudojimas reikiams dangų vandens garų pralaidumo ir vandens nepralaidumo savybėms pasiekti išsamiau aprašytas sekančiame skyriuje.

Visų polimerų pagrindu pagamintų dažų ilgaamžiškumą mažina Saulės ultravioletinė (UV) spinduliuotė (Bieliūnienė, Pralgauskienė, 2002; Norvaišienė ir kt., 2003; Norvaišienė ir kt., 2010; Šadauskienė ir kt., 2009; Vektaris, Daunoravičius, 2002). UV spinduliuotė sukelia polimerinėse medžiagose fotocheminius procesus ir dažų dangos pradeda trūkinėti, prarasti spalvą. Sueižėjusi dažų danga neatlieka savo apsauginės funkcijos, lietaus vanduo per ją patenka į gilesnius sistemos sluoksnius, užšala ir ardo išorinę apdailą.

Išorinio armuotojo sluoksnio dažymas vis dažniau pakeičiamas 3–4 mm storio dekoratyvinio tinko sluoksniu. Spalva suteikta visam šios dangos sluoksniui, todėl lėčiau kinta, platesnis paviršiaus struktūros pasirinkimas, mažiau skiriasi armuotojo sluoksnio ir išorinio apdailos tinko deformacinės savybės, naudojant priedus lengviau sukuriama reikiama vandens garų pralaidumo ir vandens nepralaidumo savybės.

1.2.2.2. Išorinė tinko apdaila

Išorinės apdailos tinkas pagal rišamosios medžiagos kilmę skirstomas į mineralinį ir polimerinį. Mineralinės kilmės tinkams priskiriamas cementinis ir silikatinis, o polimerinės – akrilinis ir silikoninis, silikatinis-silikoninis. Šių tinkų paskirtis tokia pat kaip ir dažų dangos: dekoratyvinė (spalva, paviršiaus struktūra) ir apsauginė (ilgaamžiškumas, priklausantis nuo garų pralaidumo ir vandens nepralaidumo). Išorinio tinko mišinio sudėtis turi būti suprojektuota taip, kad būtų gautos apšiltinamosios sienos drėgminiais skaičiavimais pagrįstos vandens garų ir vandens pralaidumo savybės, ir jos išliktų leidžiamose kitimo ribose visą sistemos eksploataavimo trukmę. Siekiant ilgo ITSTS eksploataavimo turi būti užtikrinamas komponentų tarpusavio suderinamumas.

Išorinio dekoratyvinio tinko architektūrinės – estetinės savybės: spalva ir paviršiaus struktūra. Tinko spalva gaunama į tinko sudėtį įmaišant pigmentus, o struktūra priklauso nuo užpildo granulimetrinės sudėties ir įrengimo technologijos. Tinko paviršius gali būti raižytas, su paviršiuje esančiais stambesniais grūdeliais, suteikiančiais paviršiui šiurkštumą. Tam dažniausiai naudojamas dolomitas kaip atspari mechaniniams bei atmosferos poveikiams medžiaga.

Cementinio tinko rišamoji medžiaga yra portlandcementis, nors kai kada naudojami ir kitų rūšių cementai. Stambiajam užpildui dažniausiai naudojami tam tikros frakcijos mineralai: kalcitas, dolomitas ir smėlis. Cementiniame tinke panaudotos kalkės (kalcio oksidas) užtikrina garų pralaidumą, tvirtumą, atsparumą teršalams, grybeliams ir pelėsiams, atsparumą trūkinėjimui (Kolokotsa ir kt., 2012), o hidrofobiniai priedai padidina vandens nepralaidumą. Tinke panaudotos gesintos kalkės (kalcio hidroksidas), kaip smulkusis užpildas, tinko išoriniame paviršiuje karbonizuoja reaguodamos su atmosferiniu CO₂, t.y. iš Ca(OH)₂ susidaro kalcitas (kalcio karbonatas CaCO₃), todėl sumažėja tinko skiedinio poringumas (Bochen, 2009). Taip reikšmingai nemažinant laidumo vandens garams, sumažinamas vandens pralaidumas. Vienas šių dangų trūkumų – veikiant atmosferos poveikiams,

jos blunka ir praranda spalvą, po kelerių eksploataavimo metų sienas tenka perdažyti, o tam tinka tik mineralinės kilmės dažai, kad būtų užtikrintas reikiamas garų pralaidumas. Šios rūšies tinkų atsparumas mechaniniams poveikiams nedidelis, todėl nerekomenduojama naudoti mechaniškai pažeidžiamose vietose.

Silikatinio tinko pagrindinė rišamoji medžiaga yra kalio natrio silikatas. Kaip stambusis užpildas šiam tinkui naudojamas smėlis, dolomitas ir kalcitas, kaip smulkusis užpildas – negesintos kalkės (kalcio oksidas ir (arba) magnio oksidas). Dažniausiai visi tinko komponentai būna sumaišyti ir pateikiami kaip sausi tinko mišiniai, todėl su jais patogiau dirbti. Kaip ir cementiniam, silikatiniam tinkui panaudojus hidrofobinius priedus, sumažinamas vandens įgėris. Šio tipo tinkams būdingas geras vandens garų laidumas, kadangi jame naudojama mineralinė rišamoji medžiaga, todėl eksploatuojama sienos konstrukcija visada išlieka sausa, užkertamas kelias grybelių ir pelėsių augimui. Šis tinkas mechaniškai stipresnis nei cementinis tinkas, kadangi rišamoji medžiaga su užpildais sudaro tvirtą tinko karkasą.

Tinkai, kurių rišamoji medžiaga yra sintetinių dervų polimero vandens dispersija, vadinami polimeriniais, kurie pagal pagrindinį rišiklį skirstomi į akrilinius, silikoninius ir silikatinius-silikoninius. Akrilinio tinko pagrindiniai komponentai – akrilo rūgšties esteris ir stireno kopolimeras, statybinėje pramonėje dar vadinamas stireno akrilo dispersija; silikoninio tinko rišamoji medžiaga – silikoninė ir akrilo dispersijos; silikatinio-silikoninio – kalio natrio silikato ir siloksano ir (arba) akrilo dervos sudėtinis produktas. Užpildams dažniausiai naudojamas kalcitas, dolomitas, smėlis. Papildomai gali būti naudojami negesintos kalkės (kalcio ir (arba) magnio oksidai). Šių tipų dekoratyviniai išoriniai tinkai į rinką tiekiami specialiose talpose (dažniausiai kibiruose), pastos konsistencijos, taip užtikrinant palankias tinkavimo darbų sąlygas. Šių tinkų rišamosios medžiagos pagrindas yra polimeras, kuris tinkams suteikia elastingumą, todėl gerai atlaiko temperatūrines deformacijas, gerai sukimba su pagrindu (armuojamuoju sluoksniu). Į polimerinį tinką papildomai įmaišius mikro plaušus, pagerinamas mechaninis stiprumas. Sukietėjus rišamajai medžiagai, tinko paviršiuje susidaro polimerinė plėvelė, kuri sumažina vandens nepralaidumą, o kartu ir garų pralaidumą. Tyrimais nustatyta, kad vandeniniai polimeriniai (akriliniai ir silikoniniai) tinkai apšiltinimo sistema ilgą laiką išlieka drėgnoje būsenoje, todėl padidėja biologinio pažeidžiamumo rizika (gali augti pelėsiai) (Wangler ir kt., 2012). Esant lėtam išorinio sluoksnio džiuvimui gali susikaupti drėgmė, o esant palankiai temperatūrai, susidaro sąlygos augti grybeliams ir pelėsiams (Johansson ir kt., 2010; Styszko ir kt., 2014). Siekiant išvengti galimo vandens garų barjero susidarymo išoriniame tinke ir užtikrinti laisvą vandens garų judėjimą į išorę, į šiuos tinkus įmaišomi specialūs modifikuotieji priedai, taip užtikrinant visos tinkuotos sienos išdžiūvimą. Biologinei apsaugai padidinti įmaišomi algicidai ir fungicidai.

Tinkų savybių suvestinė pateikta 1.5 lentelėje.

1.2 lentelė. Įvairių tinkų savybių suvestinė

(<http://www.proproducts.lt/lt/produktai/apdailos-tinkai/tinku-rusys/>)

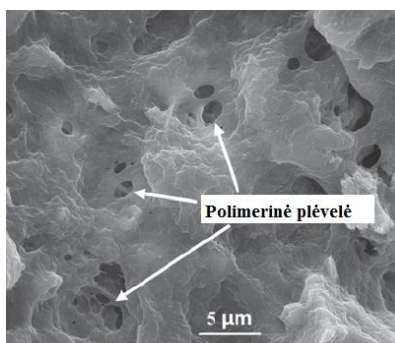
Tinkų sistemų savybės	Cementinis tinkas	Silikatinis tinkas	Silikoninis tinkas	Akrilinis tinkas	Silikatinis – silikoninis tinkas
Rišiklis	Cementas, kalkės	Kalio natrio silikatas	Silikono derva	Polimero dispersija	Kalio natrio silikatas ir siloksano ir (arba) akrilo derva
Rišimosi procesas	Hidratacija, karbonizacija	Silikatizacija	Plėvelės formavimasis	Plėvelės formavimasis	Plėvelės formavimasis
Tinkamas pagrindas	Mineralinis	Mineralinis	Mineralinis ir organinis	Mineralinis ir organinis	Mineralinis ir organinis
Žemiausia oro temperatūra tinkama darbui	+5 ⁰ C	+8 ⁰ C	+5 ⁰ C	+5 ⁰ C	+5 ⁰ C
Vandens garų laidumas	++++	+++	++	+	+++
Vandens įgėris	++++*	+++*	++++	+++	++++*
Drėgmės iš tinko džiūvimo trukmė	++++	++	++	+	++
Džiūvimas ir rišimasis be dėmių	+	+	+++	+++	++
Intensyvių spalvų panaudojimas	++	++	+++	++++	+++
Patogumas dirbant	++	+++	+++	++++	+++
Mechaninis dangos atsparumas	++	+++	+++	++++	+++
Atsparumas teršalams, grybeliams ir pelėsiams	+++	+++	+++	+	+++
Tinkamumas tinkuojamoms šiltinimo sistemoms (ISTS) sistemoms	+++	+++	++++	++	+++

Paaiškinimai:

Vertinimo skalė: + + + + = puikiai, + + + = labai gerai, ++ = gerai, + = patenkinamai

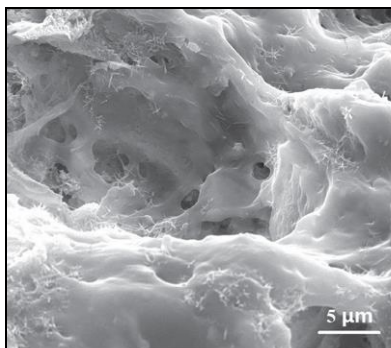
* gaminių su hidrofobiniais priedais vandens įgėris

Siekiant padidinti išorinių tinkų ilgaamžiškumą ir suteikti jų mišiniams reikiamas savybes, naudojami organinės ir neorganinės kilmės priedai: plastikliai, rišimosi greitikliai ir lėtikliai, sintetiniai arba natūralios kilmės pluoštai. Plastikliai, greitikliai ir lėtikliai reguliuoja mišinių reologines savybes, rišimosi ir kietėjimo trukmes, pagerina tinkavimo technologiškumą. Naudojant silikoninius priedus - oligomerinius siloksanus ir alkylsilanus, silikoninius aliejus, silano/siloksano mišinį, užtikrinamas atsparumas vandeniui, padidinamas temperatūrinis deformatyvumas ir elastingumas, pagerėja sukibimas su pagrindu (Kus, Jerngerg, 2000; Roos ir kt., 2008). Stireno akrilo esterio (SAE) lateksas naudojamas modifikuojant mineralinės kilmės tinkus, taip pagerinamas technologiškumas, vandens nepralaidumas, mechaninis stiprumas, elastingumas ir hidrofobinės savybės. (Zhong ir kt., 2013). Sukietėjus priedais modifikuotam skiediniui, jo paviršiuje susidaro polimerinė plėvelė, sauganti skiedinį nuo išorės aplinkos poveikių (1.14 pav.)



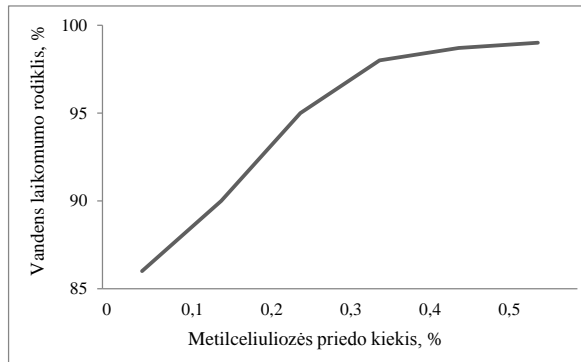
1.14 pav. SEM nuotrauka: sukietėjusio modifikuoto cementinio skiedinio paviršiuje susidariusi polimerinė plėvelė (Zhong ir kt., 2013)

Dažniausiai į tokią modifikuotą medžiagą įdedami hidroksipropilmetilo (HPMC) milteliai (organiniai priedai), kurie padidina mišinyje esančio vandens klampumą ir cementinio skiedinio stabilumą (1.15 pav.). Kadangi HPMC milteliai netirpūs vandenyje, užtikrinama medžiagos ilga tarnavimo trukmė, padidinamas išorinio tinko atsparumas tempimui, lenkimui, sumažinamas kapiliarinis vandens įgėris.



1.15 pav. Sukietėjusio modifikuoto cementinio skiedinio su HPMC priedu SEM nuotrauka (Zhong ir kt., 2013)

Vandenyje tirpūs metilceliuliozės priedai veikia dvejopai: tinkavimo pradžioje sulaiko vandenį (1.16 pav.) neleidami tinkui greitai išdžiūti, taip išvengiama paviršinių plyšių atsiradimo, o sukietėjęs tinkas tampa deformatyvesnis, geriau sukimba su kitais sienos sluoksniais. (Kaminskas, 2012).



1.16 pav. Metilceliuliozės priedo įtaka tinko skiedinio vandens laikomumo rodikliui

Didžiausias vandens išlaikymas tinko skiedinyje pasiekiamas, kai į tinko masę įdedama 0,5 % metilceliuliozės.

Pluoštiniai priedai gali būti natūralios ir sintetinės kilmės. Natūraliems priskiriami celiuliozės, anglies pluoštai, sintetiniams – stiklo ir polipropileno pluoštai. Šie pluoštai sudaro trimatį tinklelį tinko skiedinyje ir sumažina sukietėjusio tinko pleišetumą, padidina mechaninį atsparumą, temperatūrinį deformatyvumą, lėtina nusidėvėjimą.

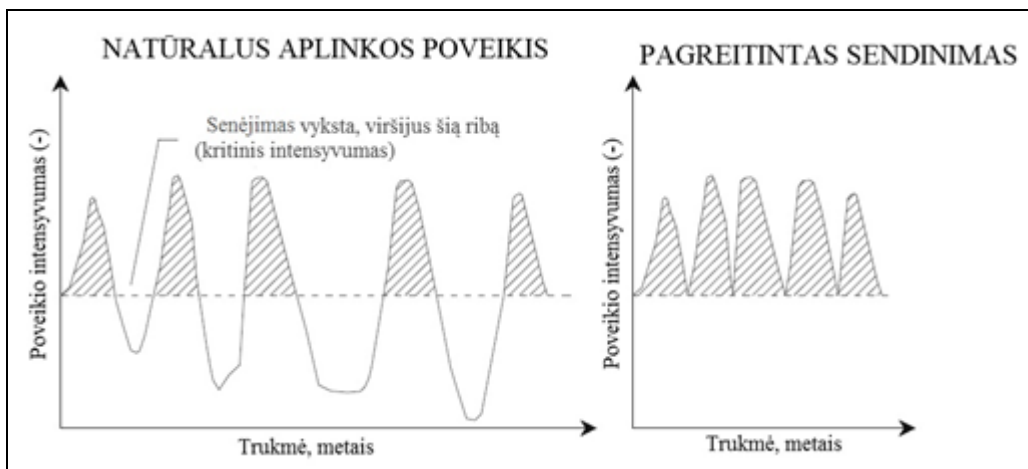
Nuo išorinio tinko komponentų suderinamumo priklauso visos ITSTS efektyvumas ir eksploatacijos trukmė. Tačiau sistemos ilgaamžiškumui nustatyti nepakanka išanalizuoti ir išbandyti vien tik išorinės tinko dangos savybes, todėl tiriama visa išorinė tinkuojama termoizoliacinė sistema. Sistemų ilgaamžiškumo analizei naudojami įvairūs metodai, kurie skiriasi taikomais poveikiais ir jų intensyvumu.

1.3. ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimas.

1.3.1. Ilgaamžiškumo prognozavimo metodų sudarymo principai

Pastatų išorinių paviršių ilgaamžiškumas prognozuojamas klimatinėse kameroje imituojant artimus natūraliems poveikius. Siekiant sutrumpinti tyrimo trukmę, modeliuojamas pagreitintas dirbtinis sendinimo ciklas. Šiame poveikio cikle turi būti įvertinti paviršiaus ilgaamžiškumą natūraliomis sąlygomis įtakojantys poveikiai, jų trukmė ir intensyvumas. Daniotti (Daniotti, Paolini, 2005; Daniotti ir kt., 2008; Daniotti ir kt., 2013) pasiūlė pagreitinto sendinimo modelio kūrimo principą, kuris gali būti pritaikomas bet kokiai klimato zonai: išsamiai išanalizuojami ITSTS ilgaamžiškumą įtakojantys poveikiai, išeliminuojami reikšmingos įtakos ITSTS eksploataavimo trukmei neturintys poveikiai; likusieji kritiniai poveikiai sumuojami ir sudaromas pagreitinto sendinimo ciklas,

imituojantis nepalankiausią metinį natūralaus sendinimo mechanizmą; nustatomas vienų eksploatacijos metų natūralų poveikį atitinkančių ciklų skaičius (1.17 pav.).



1.17 pav. Natūralių kritinių poveikių sumavimas kuriant pagreintą sendinimo ciklą ir nustatant jų skaičių (Daniotti ir kt., 2013)

Statybinių medžiagų eksploataavimo trukmės prognozavimui taip pat taikomas ISO 15686-2:2012 „Pastatai ir konstrukcijos. Eksploataavimo laiko planavimas. 2 dalis: Eksploataavimo trukmės prognozavimo procedūros (ISO 15686-2:2012), kuriame išdėstyti bendrieji poveikių pastatams ir jų konstrukcijoms įvertinimo bei koreliacijos tarp dirbtinio pagreitinto ir natūralaus poveikio nustatymo principai. Numatyta galimybė vieną bandymo metodą pakeisti kitu, jeigu tyrimais įrodoma, kad vienu ir kitu metodu tirtos medžiagos suirimo laipsnis yra toks pat.

Sudarant pagreintą sendinimo ciklą ir konstrukcijos ilgaamžiškumo tyrimo modelį, įtraukiami labiausiai ITSTS išorinio tinko ilgaamžiškumą, o kartu ir visos sistemos eksploatacijos trukmę lemiantys poveikiai. Išanalizavus atliktus mokslinius tyrimus nustatyta, kad ITSTS ilgaamžiškumui nustatyti vertinami šie poveikiai: UV spinduliuotė (intensyvumas ir trukmė), šilumos poveikis (aukščiausia ir žemiausia aplinkos ir tiriamojo paviršiaus temperatūra), vandens garų ir kondensacinės drėgmės kaupimasis (kiekis ir dažnis), lietaus poveikis (lietaus trukmė ir kritulių kiekis į paviršių). Poveikių reikšmingumas apibūdinamas suirimo laipsniu ir sparta, priklauso nuo medžiagų rūšies (Barreira, Freitas, 2013; CABOT). Pvz., mineralinėms medžiagoms dažniausiai nereikšmingas UV spinduliuotės poveikis, kaip medžiagos cheminę struktūrą ardantis poveikis, tačiau gali būti vertinamas kaip papildomas paviršiaus temperatūrinių deformacijų sukėlėjas. Neigiamų temperatūrų laikotarpiai ir jų pasikartojimų dažnis reikšmingas tik tais atvejais, kai medžiagos porose užšąla vanduo. ITSTS ilgaamžiškumą lemiantys poveikiai, jų reikšmingumas ir įvertinimo būdai pateikti sekančiame poskyryje.

1.3.2. ITSTS išorinės apdailos ilgaamžiškumą lemiantys poveikiai

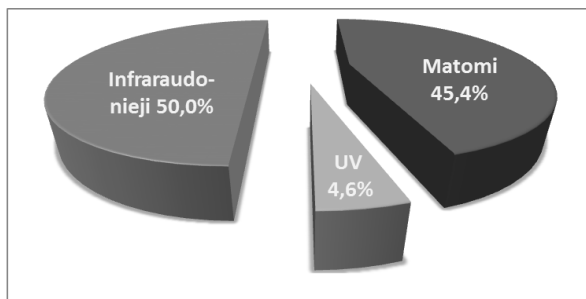
1.3.2.1. Saulės šilumos ir aplinkos temperatūros kaitos poveikis

Pastatų sienų išorinės apdailos temperatūros pokyčiai sukelia jos periodines plėtimosi ir susitraukimo deformacijas. Išorinio sluoksnio temperatūrinių deformacijų metu apdaila pradeda trūkinėti, susidaro plyšiai, apdailos sluoksnis atplėšiamas nuo sienos konstrukcijoje esančių tolimesnių sluoksnių. Taip reikšmingai sumažėja išorės apdailos mechaninis atsparumas, padidėja vandens įgėris, pro susidariusius plyšius ir įtrūkimus periodiškai patenka vanduo, kuris padidina išorinės apdailos drėgmines deformacijas ir sumažina jos atsparumą šalčiui. Šių deformacijų dydis priklauso nuo paviršiaus sluoksnio temperatūros svyravimo amplitudės ir dažnio.

Pastato sienos paviršiaus sluoksnio temperatūra priklauso nuo išorės oro temperatūros, saulės šiluminės spinduliuotės ir ilgabangės dangaus skliauto spinduliuotės kompleksinio poveikio.

Prognozuojant pastatų ir jų konstrukcijų ilgaamžiškumą, analizuojamos ekstremalios teigiamos ir neigiamos išorės oro temperatūros. Didžiausios teigiamos išorės oro temperatūros vidutinio klimato zonoje nedaug (15-20 °C) skiriasi nuo aplinkos oro temperatūros statybos apdailos įrengimo metu, todėl nesukelia reikšmingų temperatūrinių deformacijų. Sienų paviršių temperatūra tampa žymiai didesnė už aplinkos oro temperatūrą veikiant Saulės šiluminei spinduliuotei.

Siekiant nustatyti Saulės spinduliuotės poveikį apdailos paviršiaus temperatūrai, apskaičiuojamas arba iš norminės literatūros paimamas didžiausias į paviršių patenkančios Saulės spinduliuotės srauto tankis. Bendroji Saulės spinduliuotė normose pateikiama MJ/m² per laiko vienetą (parą, mėnesį) ir nusako, koks vidutinis Saulės spindulinės šilumos kiekis perduodamas į Žemės paviršiaus kvadratinį metrą per tam tikrą laiką. Paprastai ITSTS paviršiai būna vertikalūs, todėl šias sistemas veikia tiesioginė, išsklaidytoji ir atspindėtoji Saulės spinduliuotės. Apie 4,6 % Saulės spinduliavimo energijos sudaro UV spinduliai, 45,4 % – matomoji ir 50 % – infraraudoji Saulės spektro dalys (1.18 pav.) (CABOT).



1.18 pav. Saulės spinduliuotės spektro dalys (CABOT)

Atmosferoje išsklaidoma apie 25 % bendro Saulės spindulių srauto ir tik apie du trečdalius išsklaidytosios spinduliuotės patenka ant žemės paviršiaus. Šie spinduliai krenta į Žemės paviršių įvairiais kampais. Ant paviršiaus patenkantis

neišklaidyty Saulės spindulių srautas vadinamas tiesiogine Saulės spinduliuote. Didžiausias tiesioginės Saulės spinduliuotės srauto tankis ant paviršiaus patenka esant giedram orui vasaros laikotarpiu, kai Saulės altitudė didžiausia, o Saulės spindėjimo trukmė ilgiausia (Banionis, 2011). Pietų kryptimi orientuotiems paviršiams tenka didžiausias Saulės spinduliuotės intensyvumas (Barreira, Freitas, 2013).

Horizontalių ir vertikalų paviršių, kuriuos veikia Saulės spinduliuotė, temperatūrai apskaičiuoti taikomi įvairūs metodai (Chebil ir kt., 2003; Norvaišienė ir kt., 2006; Suehrcke ir kt., 2008; Šadauskienė ir kt., 2008). J. Šadauskienės mokslo monografijoje, paviršiaus temperatūrai apskaičiuoti gali būti taikoma A.K.Škloverio lygtis:

$$\theta_{se} = \theta_e + \frac{\alpha_{surf} \cdot I_{\Sigma.SOL}}{h_{se}}; \quad (1.1)$$

čia: θ_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus temperatūra, įvertinus Saulės spinduliuotės poveikį, °C;

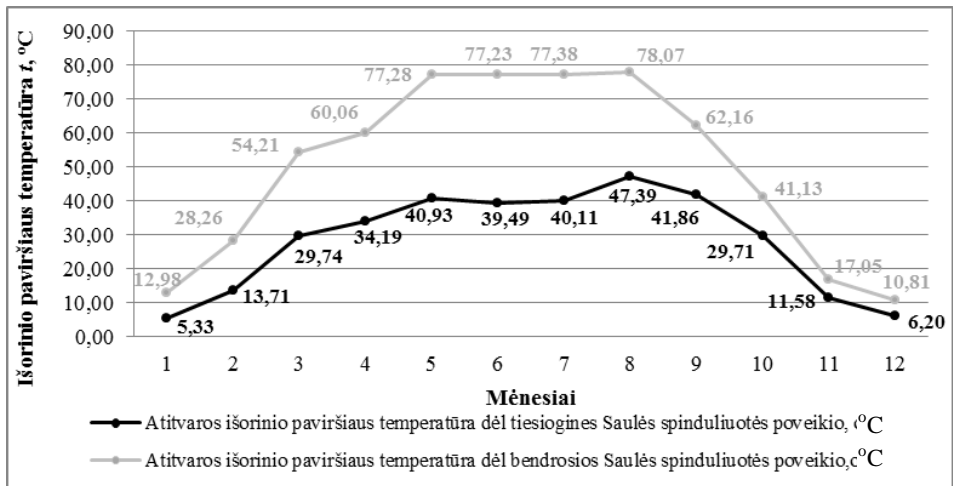
θ_e – išorės oro temperatūra, °C;

$I_{\Sigma.SOL}$ – bendrosios Saulės spinduliuotės srauto tankis į atitinkamos orientacijos paviršių, W/m²;

α_{surf} – atitvaros išorinio paviršiaus Saulės spinduliuotės sugerties koeficientas, vnt.d.;

h_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²·K).

Pagal 1.1 lygtį apskaičiuotas statmeno išorinio paviršiaus temperatūros dėl Saulės spinduliuotės poveikio metinis kitimas pateiktas 1.19 paveiksle.



1.19 pav. Pagal 1.1 lygtį apskaičiuotas vertikalaus paviršiaus metinis temperatūros kitimas dėl Saulės spinduliuotės poveikio Kauno miste, esant vidutiniam debesuotumui

Saulės šiluminę spinduliuotę apdailos sugeria ir spinduliuoja skirtingai (Banionis, 2011). Tamsesni ar šiurkštesni paviršiai, veikiami Saulės šiluminės

spinduliuotės, įšils labiau nei blizgūs, šviesesni ar mažiau šiurkštūs paviršiai (Suehrcke ir kt., 2008). Šiame darbe analizuojama tinko apdaila, kuri dažniausiai būna matinė, šiurkšti ir dažniau šviesių atspalvių, jų Saulės spinduliuotės sugerties koeficientas dažniausiai priimamas 0,4-0,6. D. G. Stephenson (1963) yra atlikęs eksperimentus su įvairių spalvų dangomis ir nustatė, kad baltas dažais nudažytas paviršius sugeria apie 40 %, o juodais dažais dažyti paviršiai – apie 90 % Saulės šiluminės spinduliuotės.

Žemiausios aplinkos oro temperatūros siejasi su paviršių apdailos susitraukimo deformacijomis ir atsparumu šalčiui. Vidutinio klimato juostoje žemiausia išorės oro temperatūra gali skirtis nuo apdailos įrengimo aplinkos temperatūros 40-50 °C, todėl tokio temperatūrų skirtumo sukeltos susitraukimo deformacijos gali reikšmingai sumažinti apdailos ilgą laiką išlaikant. Ilgalaiškės dangaus skliauto spinduliuotės poveikis dar labiau atvėsina paviršių, tačiau žymiai nepakeičia masyvių konstrukcijų paviršių temperatūros. K. Banionio mokslinėje disertacijoje, buvo analizuojama atitvarų išorinio paviršiaus temperatūra, įvertinant ilgabangės dangaus skliauto spinduliuotės poveikį, apskaičiuojama (Banionis, 2011):

$$\theta_{se} = \theta_e - \frac{\varepsilon_{surf} \cdot \Delta R}{h_{se}}, \quad (1.2)$$

čia: ε_{surf} – išorinio paviršiaus ilgabangės spinduliuotės spinduliuavimo geba, vnt.d;
 ΔR – ilgabangės spinduliuotės balansas (dangaus skliauto ilgabangė spinduliuotė minus atitvaros paviršiaus ilgabangė spinduliuotė), W/m²;
 h_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²·K).

Įvertinta tai, kad ilgabangės spinduliuotės poveikiai horizontaliems ir vertikaliems atitvarų paviršiams skirtingi. Skaičiuojant horizontalių paviršių sąlyginę temperatūrą, ji turi būti sumažinta apytiksliai 3,6 °C, o skaičiuojant vertikalinių paviršių – apytiksliai perpus mažiau nei horizontalių.

Pagal ASHRAE rekomendacijas, pataisos narys, įvertinantis atitvaros paviršiaus ir dangaus skliauto ilgabangių spinduliuočių mainus, skaičiavimuose gali būti naudojamas kaip pastovus dydis ir sudaro 4 °C horizontaliems atitvarų paviršiams, t.y. dėl ilgabangės spinduliuotės poveikio paviršiaus temperatūra sumažėja 4 °C, o vertikaliems paviršiams šis pataisos narys prilyginamas 0 (ASHRAE, 2001). Kiti autoriai (Banionis, 2011; Granja, Labaki, 2003; Kaška ir kt., 2009) teigia, kad vertikaliems paviršiams šie poveikiai nėra lygūs 0, skaičiuojant vertikaliuosius sienos paviršiaus temperatūrą dėl ilgabangės dangaus skliauto spinduliuotės poveikio taikoma (1.2) formulė. Tačiau daugeliu atvejų tyrimo ir bandymo metu naudoti žemiausias aplinkos arba tiriamojo paviršiaus temperatūras nebūtina, nes porėtos struktūros medžiagose drėgmė užšąla anksčiau, todėl ir prie aukštesnių temperatūrų pasiekiamas didžiausias galimas apdailos ardomas poveikis. Nustatyta, kad statybinėse medžiagose įgerta drėgmė užšąla esant žemesnei kaip –6 °C temperatūrai (Ramanuskas, Stankevičius, 1998) ir mažiausiai užšalęs vanduo turi išbūti 2 valandas, kad vyktų kristalizacijos bei plėtimosi

procesai. Pasiekus $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių temperatūrą susidariusio ledas, kuris daugiau nebesiplečia – pasiekiamas maksimalus ledo plėtimosi tūris (Burlingis, 1995).

Žema apdailos paviršiaus temperatūra ne tik didina susitraukimo deformacijas, bet ir intensyvina apdailos porose esančios drėgmės ardančiąjį poveikį – mažina sistemos atsparumą šalčiui. Žemų temperatūrų poveikis apdailos ilgaamžiškumui didėja, didėjant teigiamos ir neigiamos aplinkos temperatūros kaitos dažniui, t.y., nuo užšalimo-atšilimo ciklų skaičiaus. Pasikartojantys atlydžio su atšalimu ciklai ardo išorinio tinko struktūrą. Modeliuojant šalčio ciklą, įvertinamas vidutinis metinis įvairių šalčio bangų skaičius, atsižvelgiant į galimą ardomąjį poveikį ITSTS. Lietuvos statybinėje klimatologijoje neigiamų pusbangių amplitudės suskirstytos į kelias grupes (RSN 156-94, 1995). Pavyzdžiui, Klaipėdos mieste nuo 0 iki $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių temperatūra pasikartoja maždaug apie 18,14 kartų, nuo -3 iki $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių – 5,03 kartus, nuo -6 iki $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių – 4,38 kartus bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ laipsnių ir žemiau – 3,87 kartus per metus (1.3 lentelė).

1.3 lentelė. Vidutinis metinis įvairių tipų šalčio bangų skaičius Klaipėdoje

Šalčio pusbangės amplitudė, $^{\circ}\text{C}$	Vidutinė šalčio pusbangių temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Nustatyti atvejai
0 -3	-1,5	18,14
-3 -6	-4,5	5,03
-6 -10	-8	4,38
-10 ir daugiau	-12	3,87

Remiantis Daniotti modelio kūrimo principu (1.17 pav.), vertinamos tik tos šalčio pusbangės, kurių metu galimi reikšmingi tiriamųjų apdailų pokyčiai. Kaip paminėta anksčiau, ardančiųjų ciklų skaičių žiemos metu padidina Saulės šiluminė spinduliuotė, neigiamų temperatūrų metu sukelti išorinio paviršiaus porose užšalusio vandens atodrėkius.

Pagreitinto sendinimo metu saulės šiluminės spinduliuotės poveikis imituojamas naudojant kameros oro šildymą bei įvairias lempas. Tiriant paviršiaus deformacijas, jo temperatūrai padidinti naudojamos infraraudonųjų spindulių lempos.

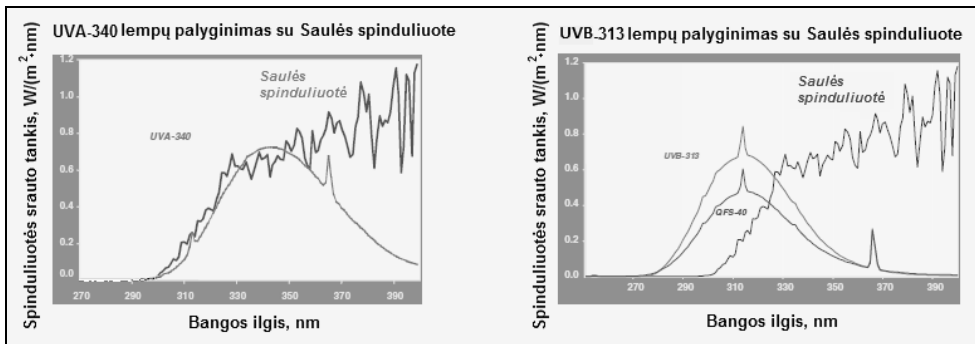
1.3.2.2. Saulės ultravioletinės spinduliuotės poveikis

Ilgalaikis Saulės poveikis neigiamai veikia medžiagos ilgaamžiškumą. Veikiant ultravioletinei (UV) Saulės spinduliuotei, sienos išoriniame paviršiuje sukelti fotocheminiai irimai. Saulės UV spinduliai, pasiekę polimerinių dažų ar tinkuojamos dangos paviršius, suskaido polimerines grandines, kurios susidarė kietėjant polimeriniam rišikliui ar panaudotam polimeriniam priedui. Tokios dangos nėra atsparios UV sukeltam ardomajam procesui, taip pabloginamos fizikinės išorinių dangų savybės. Esant Saulės UV spinduliuotės poveikiui išorinės dangos ardamos, sumažinamas elastingumas, išorinis sluoksnis atitrūksta nuo pagrindo.

Saulės spinduliuotės dalis, kurios bangų ilgis yra nuo 100 iki 390 nm, vadinama ultravioletine (UV). Saulės spinduliuotės spektre UV spinduliuotė prie Žemės paviršiaus sudaro 4,6 % (CABOT), tačiau ji sukelia didžiausius statybinių

apdailos medžiagų paviršių pokyčius: šie apšiuursta, išblunka, sutrūkinėja. Šis elektromagnetinio spauto diapazonas meteorologijoje skirstomas į tris dalis: atmosferos beveik pilnai sugeriamą UVC (100 – 280 nm), iš dalies atmosferos sugeriamą UVB (280 – 320 nm) ir santykinai mažai atmosferos sugeriamą UVA (320 – 390 nm). UVC bangų srautas Žemės paviršiaus beveik nepasiekia, todėl nesukelia paviršių pokyčių. UV spinduliuotės intensyvumas ir spektrinė sudėtis kinta taip pat kaip ir bendrosios Saulės spinduliuotės, priklauso nuo geografinės platumos, vietovės klimato, aplinkos drėgnio ir temperatūros (Barreira, Freitas, 2013; Cibse guide, 1984).

UV poveikiui atkurti klimatinėje kameroje naudojama dviejų diapazonų spinduliuotė, UVB ir (arba) UVA, imituojama UVB-313 arba UVA-340 lempomis. Literatūroje teigiama, jog UVB-313 lempomis sukuriama per greitas ir per griežtas Saulės spinduliuotės poveikis, o UVA-340 lempomis, kurių bangos ilgis nuo 320 iki 390 nm, atkuriamas natūralios Saulės spinduliuotės UV spektro dalies vasaros vidurdienio (bangos ilgis nuo 280 iki 400 nm) poveikis (Norvaišienė ir kt., 2006), (1.20 pav.).



1.20 pav. Vidurdienio Saulės ir UVA-340 bei UVB-313 lempų spinduliuotės spektrinių srautų tankių priklausomybė nuo bangos ilgio (CABOT).

1.3.2.3. Kondensacinės drėgmės ir lietaus poveikis

Iš patalpų į išorę per pastato sienas praeinantys garai gali kondensuotis ir kauptis apdailos sluoksniuose, tačiau leidžiamas tik trumpalaikis kaupimasis šalčiausiais metų mėnesiais. Vanduo išorinėje apdailoje atsiranda dėl susidariusios kondensacijos ir lietaus poveikio. Tačiau intensyviausiai sienų apdailą drėkina lietaus vanduo, kadangi į apdailą patenka didesni kiekiai per trumpesnę laiką, todėl, tiriant drėgmės įtaką apdailų ilgaamžiškumui, analizuojamas tik lietaus vandens poveikis.

Lietaus klimatinio poveikio rodikliai yra lietaus trukmė bei jo kiekis į horizontalųjį paviršių.

Vidutinis paros lietaus intensyvumas į horizontalųjį paviršių I_h , mm/min, apskaičiuojamas:

$$I_h = \frac{H_h}{60 \cdot z} \quad (1.3)$$

čia: I_h – vidutinis paros lietaus intensyvumas į horizontalųjį paviršių, mm/min;

H_h – lietaus kiekis į horizontalųjį paviršių per parą, mm;
 z – lietaus trukmė per parą, h.

Vandens įgėris į išorės sienos paviršių daugiausiai priklauso nuo vėjo greičio ir kryties lietaus metu, lietaus trukmės, kiekio ir intensyvumo. V. Paukščio (Pauktys ir kt., 2002) mokslinėje monografijoje išanalizuota vidutinio paros lietaus lašų kritimo greičio v_k ir lietaus į vertikalųjį paviršių intensyvumo I_v , mm/min, priklausomybė:

$$I_v = I_h \cdot \frac{v}{v_k} \quad (1.4)$$

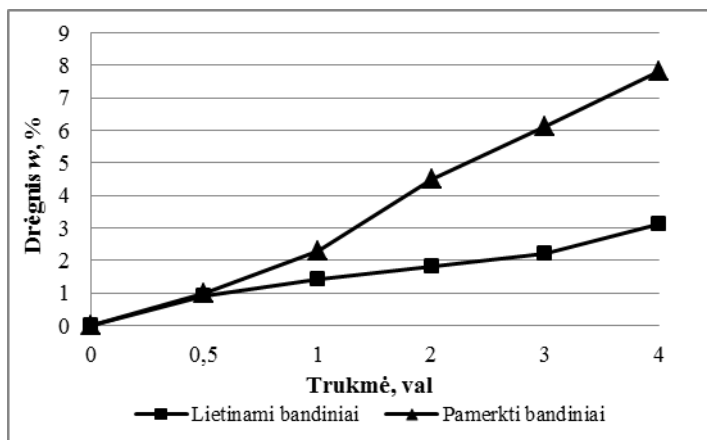
čia: I_h – vidutinis lietaus intensyvumas į horizontalųjį paviršių, mm/min;
 I_v – vidutinis lietaus intensyvumas į vertikalųjį paviršių, mm/min;
 v – vidutinis vėjo greitis, statmenas į vertikalųjį paviršių, m/s;
 v_k – vidutinis paros lietaus lašų kritimo greitis, m/s.

Nustatyta, kad vėjas ne visada pučia statmenai į pastato sieną, todėl perskaičiuojamas lietaus į vertikalųjį paviršių intensyvumas, esant bet kokiai vėjo kryptčiai (Paukštys ir kt., 2002):

$$\vec{I}_v = I_v \cdot \cos(\Theta - \gamma) \quad (1.5)$$

čia: \vec{I}_v – lietaus intensyvumas į vertikalųjį paviršių, kai į jį pučia šoninis vėjas, mm/min;
 Θ – vėjo azimutas lyjant;
 γ – statmenas sienai azimutas.

Kai kada laikomasi nuomonės, kad tinkamiausiais būdas modeliuoti lietaus poveikį būtų vandens purškimas ant bandomojo paviršiaus. Tačiau eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad, purškiant vandenį, dalis vandens lašų atšoka nuo paviršiaus ir neįsigeria į apdailą. Lietaus lašai, patekę ant paviršiaus, turi susigerti į poras ar kapiliarus, tik taip sienos išorinis paviršius įdrėksta. Realiose sąlygose toks procesas vyksta, kai lietaus vanduo teka žemyn sienos paviršiumi. Todėl siekiant atkurti realų lietaus poveikį, turi būti užtikrinamas vienodas viso išorinio paviršiaus įdrėkimas. Tai pasiekama įmerkiant bandinių tiriamuosius paviršius į vandenį 1-3 mm. Šis būdas patogesnis tiriant nedidelių matmenų bandinius, įvertinamas nepalankiausias atvejis. Pvz., dažyto tinko vandens įgėris skirtingomis drėkinimo sąlygomis nevienodas (1.21 pav.) (Norvaišienė ir kt., 2006), vandens įgėris didesnis mirkant bandinį (2-3 mm gylyje), nei lietinant vandens srove.



1.21 pav. Dažyto tinko drėkinimo būdo įtaka vandens įgėriui (Norvaišienė ir kt., 2006)

1.3.3. ITSTS savybių kaitos, dirbtinai sendinant įvertinimo būdai

Siekiant įvertinti pagreitinoto sendinimo atitiktį natūraliam senėjimui, turi būti nuolat stebima savybių kaita ir nustatomi šią kaitą apibūdinantys parametrai. Tiriamos apdailos vertinimo metodai turi būti taikomi nustatant dirbtinai ir natūraliai sendintų bandinių savybes. Tiriant ITSTS apdailos tinko senėjimą, dažniausiai naudojami šie savybių kaitos įvertinimo būdai: vizualinis įvertinimas, mikroskopinė ir rentgenodifrakcinė analizė, vandens įgėris ir mechaninis stipris. Šios savybės nustatomos nesendintiems bandiniams ir po nustatyto skaičiaus poveikio ciklą.

Vizualinis įvertinimas. Tiriamojo paviršiaus vizualinę apžiūrą pokyčiams po ciklinių poveikių nustatyti rekomenduoja atlikti daugelis tyrėjų (Daniotti, Paolini, 2008; Daniotti, Cecconi, 2009; EOTA, 1999; Norvaišienė ir kt., 2006). Po tam tikro dirbtinio poveikio ciklą skaičiaus ir juos atitinkančių natūrinių metų skaičiaus ITSTS bandiniai apžiūrimi, įvertinami išorinio tinko paviršiaus pokyčiai bei defektai:

- įtrūkimai ir mikroplyšiai;
- spalvos pokyčiai, dėmėtumas;
- paviršiaus atsisluoksniavimas.

Šie pokyčiai pažymimi ir įtraukiami į gedimų sąrašą, jie įvertinami, analizuojant kitų tinko savybių pokyčius.

Mikroskopinė analizė. ITSTS tinko paviršiaus struktūros pokyčiai prieš bandymus ir po jų nustatomi skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM).

Rentgenodifrakcinė analizė. Siekiant išsamiau iširti apdailos mineralinės sudėties pokyčius, atliekama rentgenodifrakcinė analizė. Rentgeno spindulių difrakcinė analizė atliekama difraktometru.

Mikroskopinę ir rentgenodifrakcinę analizes taikė ir kiti autoriai (Bochen, Gil, 2009, Zhong ir kt., 2013), nes pritaikius šiuos įvertinimo metodus nustatomi skirtumai prieš ir po sendinimo, patogu palyginti gautus rezultatus, kadangi duomenys perteikiami nuotraukose arba grafikuose.

Vandens įgėris. Bandinių vandens įgėris nustatomas prieš ir po realių arba metus atitinkančių dirbtinio sendinimo ciklų skaičiaus. ITSTS vandens įgėris nustatomas dalinai panardinus bandinius ne mažiau kaip 24 valandas. Tai vienas iš pagrindinių įvertinimo kriterijų, lemiančių sistemos eksploatavimo trukmę. Nustatyta, kad mažiau vandens įgeriantis tinkas sąlygoja ilgesnę ITSTS tarnavimo trukmę (Kus, Jerngerg, 2000; Topcu, Merkel, 2008).

Mechaninis stiprumas. Tai ardomasis įvertinimo metodas, kurį pritaikė ir siūlo Daniotti ir Paolini (2008). Šis kriterijus parodo, kaip po ciklinių apkrovų sumažėja išorinio tinko atsparumas mechaniniams poveikiams. Sumažėjus mechaniniam stiprumui žemiau 0,08 MPa vertės, ITSTS negali būti toliau eksploatuojama.

Pagreitintas klimatinis sendinimas naudojamas ne tik medžiagų ir sistemų ilgaamžiškumui prognozuoti, bet ir jo rezultatai naudojami tiriamųjų medžiagų ir sistemų irimo procesų analizei. Toliau pristatyti tinkuojamai sistemai tirti ir įvertinti taikomi ilgaamžiškumo prognozavimo metodai.

1.3.4. ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo metodai

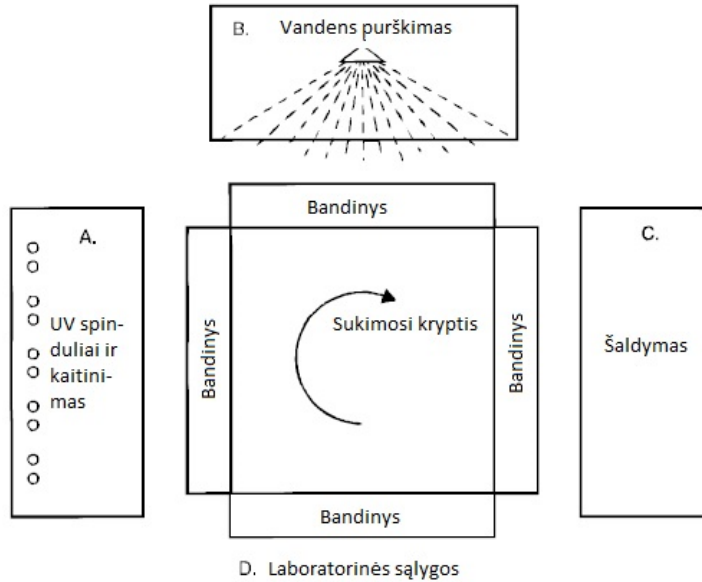
1.3.4.1. NT BUILD 495 2000 metodas

Literatūroje dažnai sutinkamas Suomijos mokslininkų sukurtas vertikaliai orientuotų pastato atitvarų medžiagų ir komponentų senėjimo laipsnio prognozavimo metodas (NT BUILD 495, 2000), kurį naudojo ir kiti autoriai (Jelle ir kt., 2010). Šis metodas taikomas ir ITSTS ilgaamžiškumo tyrimams. Klimatinio sendinimo cikle numatyti UV spinduliuotės, aukštos ir žemos temperatūrų bei lietaus poveikiai. Šio metodo poveikių trukmės ir intensyvumai pateikti 1.4 lentelėje:

1.4 lentelė Pagreitintas sendinimo ciklas (NT BUILD 495, 2000)

Poveikis	Klimato poveikių režimai		Pastabos
	Temperatūra ciklo metu, °C	Poveikio trukmė, val.	
UV (pagal DS/EN ISO 4892-3, 1999) + Aukšta temperatūra	+35±5 +50±5 +75±5	≥1 val. ≥1 val. ≥1 val.	Temperatūra reguliuojama infraraudonųjų spindulių halogeninėmis lempomis. Lietus imituojamas purškimu. Rekomenduojamas 1 l/(m ² val) vandens kiekis Viso ciklo metu santykinis drėgnis RH yra 50 ± 10%
Lietus	15±2	≥1 val.	
Žema temperatūra	-20±5	≥1 val.	
Laboratorinės sąlygos	+23±5	≥1 val.	

Sendinimo procesas vyksta besisukančioje kameroje (1.22 pav.) pagal nustatytą režimą. Po vieno sendinimo ciklo (rato) bandiniai apžiūrimi, jei reikia, sutvarkomi arba keičiami kitais.

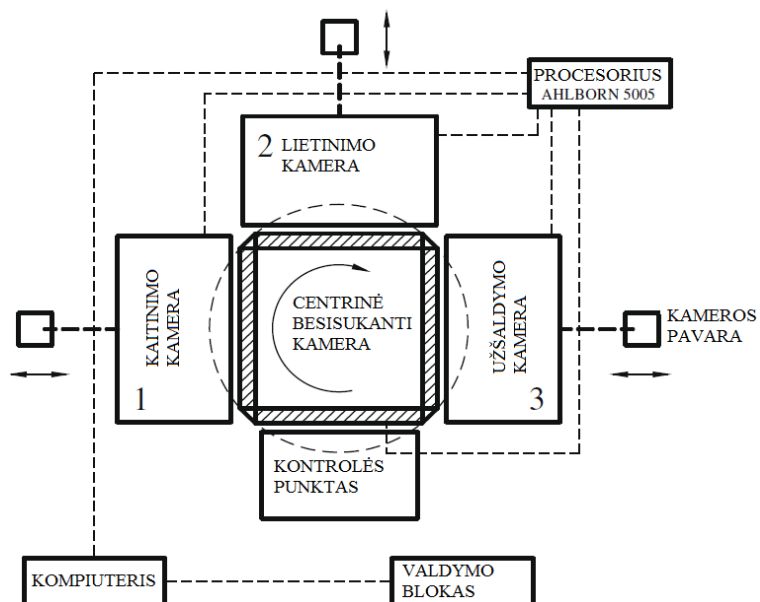


1.22 pav. Klimatinės kameros schema. Bandiniai cikliškai veikiami: A - UV spinduliais ir šildymu; B – vandeniu; C – Šalčiu; D - laboratorinėmis sąlygomis (NT BUILD 495, 2000)

Bandinio išlaikymo kiekvienoje padėtyje trukmė ir poveikio intensyvumas skirtingi įvairioms medžiagoms, nustatomi pagal natūrinių aplinkos poveikių analizės rezultatus ir apdailos medžiagos reakciją į poveikį. Tačiau, kiekvieno poveikio trukmė turi trukti ne mažiau kaip vieną valandą. Jeigu bandymo metu atsiranda įskilimai, įtrūkimai, spalvos pokyčiai, atsisluoksniavimas, tai pažymima ir priimami sprendimai dėl eksperimento tęsimo.

1.3.4.2. Lenkijos mokslininkų sukurtas metodas

Lenkų mokslininkai J. Bochen, S. Gil ir J. Szwabowski (Bochen ir kt., 2005; Bochen, 2009) sudarė pagreitintą sendinimo ciklą, kuris taip pat vykdomas besisukančioje klimatinėje kameroje (1.23 pav.).



1.23 pav. Klimato poveikius imituojančios kameros schema (Bochen 2009)

2005 metais sukurtas sendinimo metodas pritaikytas mineralinių išorinių plonasluoknių tinkų senėjimui prognozuoti. Nustatyta koreliacija tarp natūraliai ir dirbtinai (taikant šį metodą) sendintų išorinių dangų, kuris priklauso nuo išorinės dangos sudėties. 100 dirbtinio sendinimo ciklų atitinka 1.5–2.7 metų natūralios aplinkos poveikį (1.5 lentelė).

1.5 lentelė Pagreitintas tinko sendinimo ciklas (Bochen ir kt., 2005)

Poveikis	Klimato poveikių režimai		Pastabos
	Temperatūra ciklo metu, °C	Poveikio trukmė, val.	
UV + Aukšta temperatūra	+60	1 val.	100 ciklų atitinka 1,5–2,7 metų realų aplinkos poveikį
Lietus	-	15min (0,25val.)	
Žema temperatūra	-20	1 val.	
Laboratorinės sąlygos (vykdoma kontrolė)	+18		

Tuo pat metu buvo vykdomi tinko natūriniai tyrimai. Po kiekvienų 100 dirbtinio sendinimo ciklų ir vienerių natūrinių metų įvertinamas tinko paviršiaus pokytis: gyvsidabrio porosimetrijos metodu nustatomas atviras poringumas, porų struktūros ir dydžio pokytis. Pagal turimus duomenis nustatomas tinko irimo greitis,

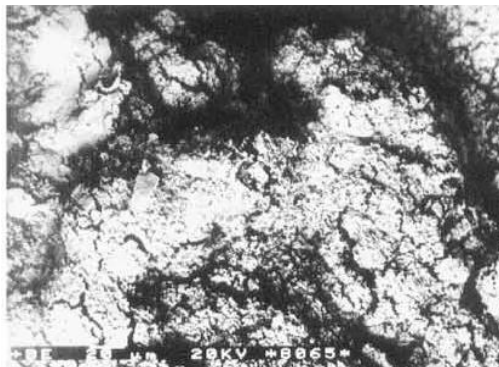
prognozuojamas tinko ilgaamžiškumas bei nustatoma dirbtinio ir natūrinio sendinimo poveikių koreliacija.

Naudojant tą pačią laboratorinę įrangą (1.23 pav.) ir pakoregavus poveikio ciklus buvo tiriama visa ITSTS (Bochen, 2009; Bochen, Gil, 2009). Šioje kameroje, imituojant tuos pačius klimato poveikius, buvo nustatyta visos ITSTS tarnavimo trukmė. Poveikių trukmės ir intensyvumai pateikti 1.6 lentelėje:

1.6 lentelė Pagreitintas sistemų sendinimo ciklas (Bochen, 2009; Bochen, Gil, 2009)

Poveikis	Klimato poveikių režimai		Pastabos
	Temperatūra ciklo metu, °C	Poveikio trukmė, val.	
UV + Aukšta temperatūra	iki +50	1 val.	Per 28 dienas įvyksta 100 ciklų, kurie atkuria 2 metų realų aplinkos poveikį
Lietus	15	15min (0,25val.)	
Žema temperatūra	-20	1 val.	
Laboratorinės sąlygos (vykdoma kontrolė)	+20		

Po kiekvienų 100 ciklų išanalizuoti išorinio tinko struktūros ir morfologijos pokyčiai. Gauti rezultatai parodė, kad sendinimo metu kinta tinko poringumas, porų struktūra ir paviršiaus medžiagos cheminė sudėtis. Tai lemia deformacinius įtrūkimus, kurie susilpnina tinko sukibimą su pagrindu. Mikroskopu užfiksuotose nuotraukose matomi tinko paviršiaus įtrūkimai (1.24 pav.).



1.24 pav. Po 400 sendinimo ciklų tinko paviršiuje užfiksuoti įtrūkimai (Bochen, Gil, 2009)

Lygiagrečiai vyko natūrinis sendinimas, dirbtinai ir realiai paveiktų bandinių rezultatų sulyginimas panaudotas koreliacijai tarp natūrinio ir dirbtinio sendinimo

poveikių nustatyti. Nustatyta, kad 100 ciklų (t.y. 28 paros) atitinka dviejų natūrinių metų poveikį.

1.3.4.3. Italų mokslininkų taikytas metodas

Italų mokslininkų sukurtas metodas tinko eksploatavimo trukmei prognozuoti pagal natūralų senėjimą ir irimo laipsnį (1.7 lentelė). B. Daniotti pasiūlė eksperimentinę programą ITSTS tinko ilgaamžiškumui įvertinti, taikant pagreitintus dirbtinius sendinimo ciklinius poveikius (Daniotti, Paolini, 2008a; Daniotti, Paolini, 2008b; Daniotti ir kt., 2008; Daniott, Cecconi, 2013). Kuriant bandymo metoda remtasi ISO 15686-2 pateikta ilgaamžiškumo įvertinimo schema (ISO 15686-2 2012). ITSTS poveikių charakteristikos nustatytos pagal tarptautinius, Europos ir Italijos standartus. Sudarant pagreitintą sendinimo poveikių ciklą, klimatiniai poveikiai nustatyti pagal EOTA rekomendacijas (EOTA, 1999), ISO 6241 ir UNI 8290 standartus, o poveikių trukmės ir jų intensyvumai priimti pagal Milane surinktus klimato duomenis (ISO 6241 1984; UNI 8290).

1.7 lentelė Pagreitintas sendinimo ciklas ITSTS (Daniotti, Paolini, 2008a; Daniotti, Paolini, 2008b; Daniotti ir kt., 2008; Daniott, Cecconi, 2013)

Pagrin- dinis ciklas	Kartai	Nr.	Fazė	Klimatinė kamera			Laboratorijos sąlygos		
				t_{oro} , °C	$t_{vandens}$, °C	Santy- kinė drėgmė, %	$t_{op,i}$, °C	Santy- kinis drėgnis, %	Trukmė, min.
UV	25	1.1	UV	35	-	15±2	26±3	60±5	60
	10	2.1	Lietus: 1 lt/m ²	5±1	5±1	100	19±2	60±5	60
		2.2	Šaldymas	-20±2	-	-	19±2	60±5	180
		2.3	Žiemos šildymas	30±2	-	50±2	19±2	60±5	60
Vasara	25	3.1	Sausas šildymas	70±5	-	15±2	26±3	60±5	60
		3.2	Lietus	20	20	100	26±3	60±5	60

B. Daniotti teigia, kad, siekiant sulygtinti dirbtinį sendinimą su natūraliu poveikiu, reikia sudaryti tokį pagreitintą klimatinį poveikių ciklą, kuriame būtų natūriniai poveikiai ir jų trukmės bei maksimalūs jų intensyvumai. Šio pasiūlyto pagreitinto ciklo patikimumui įvertinti pasiūlyti ardomieji ir neardomieji bandymų metodai, kuriais nustatomas ITSTS suirimo laipsnis (1.8 lentelė).

1.8 lentelė. Paveiktų pagreitintu laboratoriniu sendinimu bandinių įvertinimo metodikos

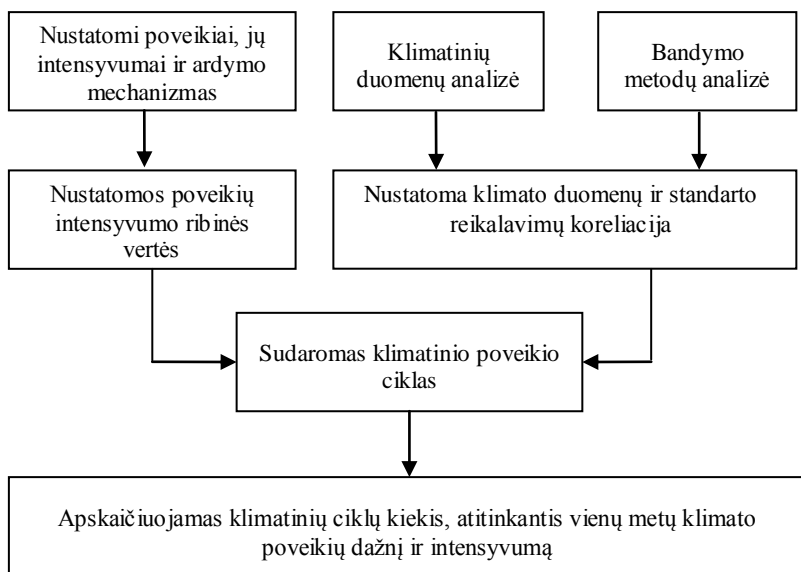
Bandymo tipas	Ardomasis	Neardomasis
Atlikimo Etapas/Trukmė	$T_0 + T_f$	T_0, T_1, \dots, T_f
Bandiniai	Tinkami mažo dydžio bandiniai [etaloniniai + paveikti mėginiai] Apskriti nuo 1m ² dydžio mėginiai [etaloniniai + paveikti mėginiai]	1m ² dydžio mėginiai

1.8 lentelės tęsinys

Bandymas	Mikroskopinė analizė	Nuotraukos: suirimo laipsnio tyrimas
	Vandens įgėris [EN ISO 15148]	Karsten: mažo slėgio vandens įgėris
		IRT – Infraraudonųjų spindulių termografija
		Drėgmės savybės matavimas
	Vandens garų pralaidumas [EN 12086]	
	Klijų, paruošiamojo sluoksnio ir termoizoliacinės medžiagos sukibties tempiamojo stiprio nustatymas [EN 13494]	
	Tinko juostelės tempimo bandymas [ETAG 004 - § 5.5.4.1]	
Pastabos: T_0 – pradinis; T_1 – po vieno ciklo derinio; T_f - po keletą ciklo derinių		

Natūraliai sendintiems bandiniams įvertinti taikomi tie patys bandymo metodai ir kriterijai, todėl galima palyginti gautus rezultatus.

Autorius palygino natūralaus sendinimo (ilgalaikio) ir pagreitinto dirbtinio (trumpalaikio) sendinimo rezultatus. Po natūrinio ir dirbtinio sendinimo gauti panašūs ITSTS pokyčiai ir suirimo laipsniai. Pagal gautus rezultatus pakoreguota dirbtinio sendinimo trukmė, kuri atitinka vienerių metų natūralios aplinkos poveikį (1.25 pav.).



1.25 pav. Pagreitinto sendinimo modelio sudarymo schema

1.3.4.4. Europos techninių įvertinimų vadove (ETAG 004) pateiktas metodas

Į Europos Sąjungos šalių rinką tiekiamų išorinių tinkuojamų termoizoliacinių sistemų įvertinimui šiuo metu taikoma Europos techninių įvertinimų vadove ETAG 004 nurodyta bandymų ir įvertinimų procedūra (ETAG 004, 2013). Šiame dokumente pateiktas sistemų savybių kaitos per eksploataavimo trukmę prognozavimo metodas. Tačiau nuolat kyla abejonės, kad šis metodas per daug unifikuotas, todėl nevisiškai tinka vertinti ITSTS, kurios naudojamos visose Europos klimato zonose. Šiame Europos techniniame vadove pateiktos dvi sistemos ilgaamžiškumo įvertinimo vienu metu poveikiu metodikos, kurios taikomos esant vienai iš sąlygų:

- kai sistemos išorinės apdailos vandens įgėris mažesnis kaip $0,5 \text{ kg/m}^2$ per 24 valandas, turi būti atliktas hidroterminis bandymas, t.y. 80 šildymo-drekinimo ciklų ir 5 šildymo-šaldymo ciklai;
- kai vandens įgėris lygus arba didesnis kaip $0,5 \text{ kg/m}^2$ per 24 valandas, prieš hidroterminį bandymą turi būti atliktas 30 užšalimo-atitirpimo ciklų bandymas.

Hidroterminio bandymo pirmąjį etapą sudaro šis šildymo-drekinimo ciklas:

1 – kaitinimas iki $70 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatūros pakėlimas per 1 valandą) ir 2 valandų išlaikymas prie $70 + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūros, kai santykinis oro drėgnis 10 - 30 % (viso 3 valandos);

2 – lietinimas 1 valandos (vandens temperatūra $+15 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$), tiekiamo (purškiamo) vandens kiekis $1 \text{ l/m}^2\text{min}$);

3 – valandų išlaikymas (drenažas).

Viso atliekama 80 ciklų (1.9 lentelė).

Po pirmojo hidroterminio bandymo etapo bandiniai laikomi 48 valandas kondicionavimo patalpoje, kurios temperatūra nuo $10 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $25 \text{ }^\circ\text{C}$ bei santykinis oro drėgnis ne mažesnis kaip 50 %. Po to tas pats sienos fragmentas veikiamas 5 šildymo-šaldymo ciklais, kurių kiekvieno trukmė 24 valandų:

1 – per 1 valandą temperatūra pakeliama iki $(50 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ir išlaikoma 7 valandas, kai santykinis oro drėgnis ne didesnis už 30 % (8 valandas);

2 – per 2 valandas temperatūra sumažinama iki $(-20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ir išlaikoma 14 valandų. Viso 16 valandų.

Atliekami 5 ciklai (1.9 lentelė).

1.9 lentelė ITSTS ilgaamžiškumo hidroterminis ciklas (ETAG 004, 2013)

Poveikis*		Klimato poveikių režimai			Tikrinimas/įvertinimas	
		Temperatūra ciklo metu, $^\circ\text{C}$	Santykinis drėgnis, %	Poveikio trukmė, val.		
80 šildymo-drekinimo ciklų	kaitinimas	$+70 \pm 5$	10 - 30	3	Atsparumas smūgiams Mechaninis atplėšimas	Atlaikius šiuos ciklus tarnaus visą eksploataavimo trukmę
	lietinimas	vandens $+15 \pm 5$	-	1		
	drenažas	-	-	2		

1.9 lentelės tęsinys

Kondicionavimas	išlaikymas	+10 - 25	≥ 50	48	Vandens garų pralaidumas Vizualinis vertinimas
	5 šildymo-šaldymo ciklai	kaitinimas	+50±5	≤ 30	
	šaldymas	-20 ± 5	-	16	
Pastabos: * ITSTS ilgaamžiškumui nustatyti UV poveikis netaikomas					

Viso bandymo metu sistemos bandinys (matmenys: plotis $\geq 2,5$ m, aukštis $\geq 2,0$ m; plotas ≥ 6 m²) stebimas: tikrinama ir užrašoma, ar paviršiuje neatsirado įtrūkimų, deformacijų, pūslių ir pan.

Užšalimo-atitirpimo bandymą sudaro šie etapai:

1 – pamerkimas į indą su vandeniu 8 valandoms (vandens temperatūra $+23 \pm 2$ °C);

2 – šaldymas iki -20 ± 2 °C temperatūros bandinių paviršiams sumažinama per 5 valandas, o kondicionuojant per 2 valandas, atitinkamai dar išlaikoma 11 valandų ir 14 valandų. Viso 16 valandų.

Bandymo metu atliekama 30 užšalimo-atitirpimo ciklų (1.10 lentelė).

1.10 lentelė ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo užšalimo-atitirpimo ciklas (ETAG 004, 2013)

Poveikis*	Klimato poveikių režimai		Tikrinimas/įvertinimas	
	Temperatūra ciklo metu, °C	Poveikio trukmė, val.		
Drėkinimas	vandens $+23 \pm 2$	8	Kontrolė: kas tris ciklus Mechaninis atplėšimas Vizualinis vertinimas	Atlaikius šiuos ciklų tarnaus visą eksploataavimo trukmę
Šaldymas	-20 ± 2	16		
Pastabos: * ITSTS ilgaamžiškumui nustatyti UV poveikis netaikomas				

Viso bandymo metu ne mažiau kaip 3 vienos rūšies bandiniai (bandinių matmenys 500 mm × 500 mm) stebimi, kas tris ciklus tikrinami ir užrašomi stebėjimo duomenys. Jei sistemoje po 30 ciklų nėra defektų, sistema tikrinama hidroterminiu bandymu pagal aukščiau aprašytą metodiką. Jei neatlaiko, sistema vertinama kaip neatlaikiusi bandymų. Jei sistema atlaiko hidroterminį bandymą, patvirtinama, kad ITSTS bus ilgaamžė ir gali būti eksploatuojama.

1.3.4.5. ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo metodų analizė

Sistemų ilgaamžiškumo tyrimams ir atitikčiai įvertinti naudojamuose metoduose taikomi poveikiai, jų trukmė ir intensyvumas apibendrinti 1.11 lentelėje.

1.11 lentelė Pagreitinto sendinimo ciklų metodai

Metodas	Klimato poveikiai				Santykinė drėgmė, %	Sendinimo stebėjimas per/po bandymų	Atitikimas natūraliam sendinimui	
	UV	LIETUS	ŠALTIS	KARŠTIS				
NT Built 495	+35±5 °C/1val. +50±5 °C/1val. +75±5 °C/1val.	Purškimas 1/(m ² val.) (siūlomas vandens temperatūra +15±2 °C, trukmė ≥1 val.	-20± 5°C / ≥1 val.	su UV/ ≥1 val.	50 ± 10	Vizualinis vertinimas	Nenustatytas	
J. Bochen¹	+60 °C /1val.	Purškimas su oro gūšiais/4 val.	-20 °C/4 val.	su UV	-	Tinke atsiradusių porų vidurkis, bei porų spindulys	100 ciklų atitinka 1.5-2.7 metų	
J. Bochen²	+50 °C /1val.	Purškimas /0,25 val.	-20 °C/1 val.	su UV	-	Tinke atsiradusių porų vidurkis, bei porų spindulys	100 ciklų atitinka 2 metus	
B. Daniotti	UV (25 ciklai)	+35 °C/1val.			15 ± 2	Mikroskopinė analizė Vandens įgėris Vandens garų pralaidumas Tempimo stipris Tinko juostelės deformatyvumas, IRT, drėgminių savybių nustatymas, suirimo laipsnio tyrimas	25 UV+10 šalčio+25 karščio ciklų atitinka 1 metus	
	Lietus (10 ciklų)		+5±2 °C /1val. Purškimas 1 l/(m ² val.)		100			
	Užšalimas (10 ciklų)			-20±2 °C /3 val.				-
	Žiema šilta (10 ciklų)				+30±2 °C/1val			50 ± 5
	Sausa vasara (25 ciklai)				+70±5 °C/1 val.			15 ± 2
	Drėgna vasara (25 ciklai)		+20 °C/1val.					100
ETAG 004	Šildymo - lietinimo ciklai (80)	-	+15±5 °C /1 val. Purškimas 1 l/(m ² min.)	-	+70±5 °C/3 val.	30	Atsparumas smūgiams Mechaninis atplėšimas Vandens garų pralaidumas Kenksmingų medžiagų išsiskirimas Vizualinis vertinimas	Visa eksploataavimo trukmė
	Šildymo - šaldymo ciklai (5)	-	-	-20±5 °C /16 val.	+50±5 °C/8 val.	30		
	Užšalimo-atitirpimo ciklai (30)	-	Drėkinimas +23± 2 °C /8 val.	-20±2 °C /16 val.	-	-		

Išanalizavus sistemų ilgaamžiškumo ir jų savybių kaitos įvertinimo metodus, identifikuoti jų privalumai ir trūkumai:

NT Built 495 metodas: šis metodas tinkamesnis irimo analizei, tačiau netinkamas ilgaamžiškumui prognozuoti, nes nenustatyta dirbtinio ir natūralaus sendinimo koreliacija. Bandymų rezultatai pateikiami, kai atsiranda bandinio pokyčiai, tačiau šie pokyčiai nesusieti su sistemų eksploatacija natūralios aplinkos sąlygomis.

Lenkijos mokslininkų (Bochen, 2009; Bochen, Gil, 2009) sukurto pagreitinto sistemų tyrimo ciklo metu tinko išorinis sluoksnis drėkinamas tik 15 minučių. Nors autorius teigia, kad turi būti taikomas maksimalus poveikis, tačiau neaišku, ar visų rūšių tinkai perdrėks ir sukaups didžiausią galimą vandens kiekį per šį drėkinimo laikotarpį. Lietaus trukmė žymiai ilgesnė, todėl lietinio ciklo sutrumpinimas galimas tik tada, kai per trumpesnę laiką sistemos apdailos paviršius prisotinamas vandeniu. Esant nepakankamam prisotinimui vandeniu, gali būti neteisingai įvertintas sistemos apdailos atsparumas šalčiui. Šiame metode nenurodytas temperatūros keitimo greitis pereinamaisiais iš šildymo ir šaldymą bei atvirkščiai laikotarpiais. Neaišku, ar per 1 valandą suspės užšalti tinko porose esantis vanduo.

Išsamiausių sistemų ilgaamžiškumo programą sudarė Daniotti. Pagreitintą tyrimo ciklą sudaro UV, aukštų ir žemų temperatūrų, lietaus poveikiai, taikoma daug tinko paviršiaus ir viso sluoksnio pokyčių analizės metodų. Tačiau kiti tyrėjai (Topcu, Merkel 2008) teigia, kad toks išsamus įvertinimas nebūtinai, nes anksčiau atliktų mokslinių tyrimų rezultatai įrodė, kad paprasčiausias ir patikimiausias tinko atsparumo šalčiui, o kartu ir eksploataavimo trukmės rodiklis yra vandens įgėrio pokytis per sendinimo laiką. Teigiama, kad mažai vandens įgeriantis tinkas bus atsparus šalčiui, todėl išsamesni tyrimai nebūtinai.

ETAG 004 (2013) sistemų ilgaamžiškumą apibūdinantys bandymo metodai nepakankamai įvertina šalto klimato zonoje esančių šalių klimato poveikius. ETAG 004 neįvertinama Saulės ultravioletinės spinduliuotė, t.y. ITSTS rišamųjų medžiagų polimerines grandis ardantis klimato poveikis. 1.3.2.2 skyrelyje nurodyta, kad ITSTS išorinis tinko rišamoji medžiaga gali būti polimeras. Taip pat šiame sluoksnyje gali būti polimeriniai priedai, gerinantys tinko fizikines, mechanines, reologines savybes (Kus, Jerngerg, 2000; Roos ir kt., 2008) Todėl neaišku, ar ITSTS ilgaamžiškumo bandymai pagal ETAG 004 pasiūlytą metodiką be UV poveikio vertinimo patikimi ir atitinka natūralų klimato poveikį tinko apdailai.

Abejonių kelia ir šioje metodikoje taikomi tinko atsparumo šalčiui vertinimo metodai. 5 ciklų poveikis hidroterminio bandymo metu, kai tiriami mažiau nei 0,5 kg/m²·24 valandas įgeriantys tinkai ir 30 ciklų poveikis tiriant daugiau kaip 0,5 kg/m²·24 valandas įgeriančius tinkus gali būti nepakankamas įvertinti sistemų tinkamumą naudoti šalto ir drėgno klimato sąlygose.

Išanalizavus literatūroje pateiktus pagreitinto sendinimo metodus nustatyta, kad juose akcentuojamas tinko deformatyvumo tyrimas, taikant šildymo – šaldymo poveikius. Saulės UV spinduliuotės poveikis tinkų su polimerinėmis rišamosiomis medžiagomis ir priedais ilgaamžiškumui nėra išsamiai ištirtas ir aprašytas. Reikšmingą įtaką, vertinant tinko apdailas, turi jų pradinis vandens įgėris, tačiau jo kaitos tendencijos eksploatacijos metu vertinamos nepakankamai. Tinko apdailos

atsparumo šalčiui vertinimas unifikuotas, nenumatytos galimybės koreguoti ciklų skaičių ir trukmę atsižvelgiant į tinko savybes ir sistemos naudojimo vietovės klimato duomenis. Šių klausimų analizė, tinkų eksperimentiniai tyrimai ir gautų rezultatų įvertinimas yra šio disertacinio darbo tikslas.

1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacinio darbo uždaviniai

1. Mokslinėje ir norminėje literatūroje pateiktuose ITSTS vertinimo metoduose išsamiausiai vertinamas išorinio tinko deformatyvumas, taikant šildymo – šaldymo poveikius;
2. Saulės UV spinduliuotės poveikis įtrauktas ne į visus analizuotus metodus, UV poveikis tinkų ilgaamžiškumui nepakankamai ištirtas ir aprašytas;
3. Sistemų apdailos atsparumas šalčiui vertinamas nepakankamai, nėra žemų temperatūrų poveikio trukmės ir intensyvumo sąryšio su tiriamosios medžiagos savybėmis ir klimato poveikiais eksploatacijos metu;
4. Sistemų apdailos savybių vertinimui naudojamos tik pradinio vandens įgėrio vertės. Vandens įgėrio kaitos sistemų eksploatacijos eigoje vertinimas esamose ilgaamžiškumo vertinimo metodikose nenumatytas;
5. Nėra aiškaus ryšio tarp natūralaus ir pagreitinoto sendinimo nustatymo metodikos.

Remiantis literatūros analizės rezultatais ir aukščiau pateiktomis išvadomis, formuluojami šie disertacinio darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti Lietuvos klimato duomenis ir nustatyti ultravioletinės spinduliuotės, oro temperatūros bei lietaus poveikių sienų apšiltinimo sistemoms trukmės ir intensyvumo ribines vertes;
2. Sulyginti klimato duomenų analizės rezultatus su ITSTS bandymuose taikomų poveikių parametrais ir nustatyti koreguotinus poveikių intensyvumo parametrus bei trūkstamus savybių įvertinimo būdus;
3. Sudaryti ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo modelį, įtraukiant dirbtinį ir natūralų bandinių sendinimą, jų savybių kaitos analizę bei ryšio tarp dirbtinio sendinimo ir eksploataavimo trukmės nustatymą;
4. Išanalizuoti Saulės UV spinduliuotės sukeltus sistemų tinko paviršiaus struktūros pokyčius ir nustatyti jų įtaką tinko eksploatacinėms savybėms;
5. Ištirti pagal Lietuvos klimato duomenis koreguotų temperatūrinių ir drėgminių poveikių tinkamumą ITSTS ilgaamžiškumui ir savybių kaitai prognozuoti;
6. Parengti šalto ir drėgno klimato zonoje naudojamų ITSTS ilgaamžiškumo įvertinimo rekomendacijas.

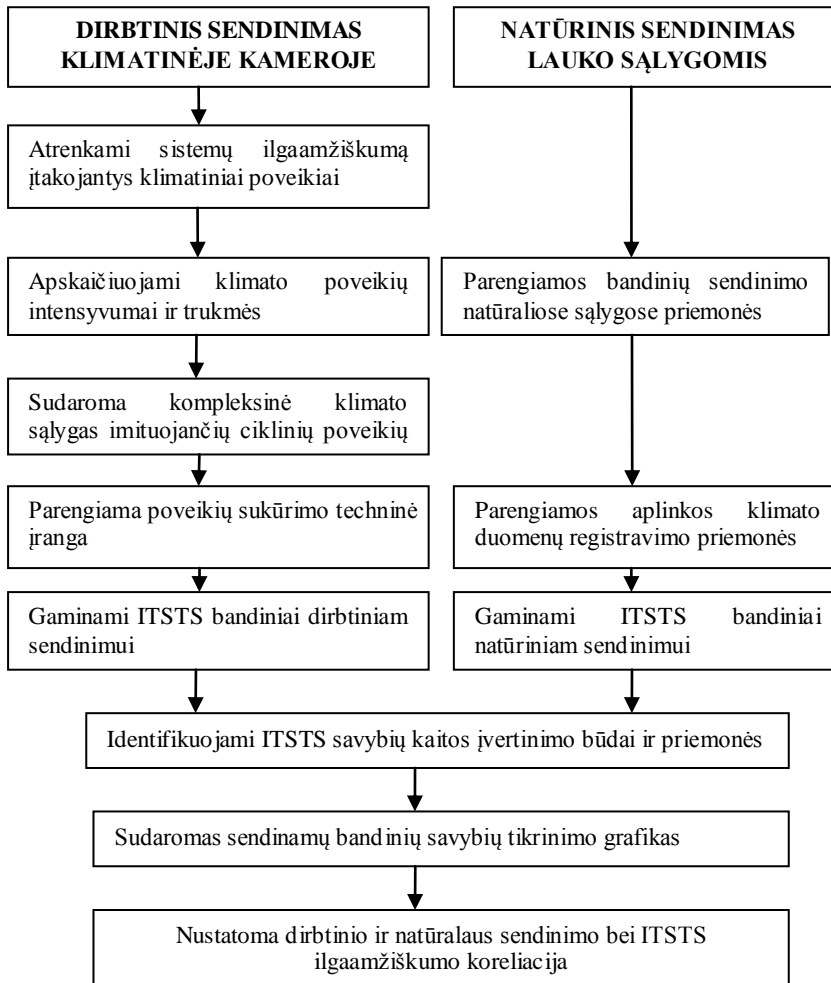
2 ITSTS EKSPLOATAVIMO TRUKMĖS PROGNOZAVIMO MODELIO SUDARYMAS

2.1 Kompleksinis tyrimų planas

Pagal 1.4 skyriuje pateiktas literatūros analizės išvadas ir naudojantis sukaupta pastatų išorinių sluoksnių ilgaamžiškumo tyrimų patirtimi, darbo uždaviniams spręsti sudaromas kompleksinis ITSTS eksploataavimo trukmės tyrimų planas, apimantis dirbtinius sistemų tyrimus klimatinėse kamerose ir natūrinius sistemų bandinių tyrimus natūralios aplinkos sąlygose:

1. Pagal literatūros analizės duomenis atrenkami sistemų ilgaamžiškumą įtakojantys klimatiniai poveikiai;
2. Pagal klimato duomenis apskaičiuojami klimato poveikių intensyvumai ir trukmės;
3. Sudaroma kompleksinė klimato sąlygas imituojančių ciklinių poveikių seka;
4. Parengiama ciklinių poveikių sekos sukūrimo techninė įranga.
5. Parengiamos bandinių sendinimo natūraliose sąlygose priemonės.
6. Parengiamos natūralaus sendinimo aplinkos klimato duomenų registravimo priemonės.
7. Gaminami ITSTS bandiniai natūraliam ir dirbtiniam sendinimui;
8. Identifikuojami ITSTS savybių kaitos įvertinimo būdai ir priemonės;
9. Sudaromas sendinamų bandinių savybių tikrinimo grafikas;
10. Nustatoma dirbtinio ir natūralaus sendinimo bei ITSTS ilgaamžiškumo koreliacija.

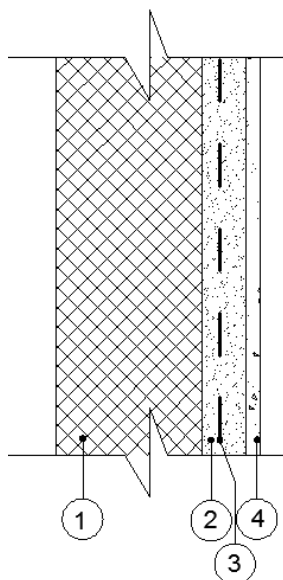
Šio plano vykdymo schema pateikta 2.1 pav.



2.1 pav. ITSTS ilgaamžiškumo kompleksinio tyrimo planas

2.2. Tyrimų objekto aprašymas

Dirbtinio ir natūrinio sendinimo tyrimams pasirinkta ITSTS. Suformuoti bandiniai, kurie padengti keturiais skirtingais tinkais: akriliniu, silikatinu-silikoniniu, cementiniu ir silikoniniu. Šie tinkai pasirinkti kaip šiuo metu populiariausi ir plačiai taikomi Lietuvoje, o informacija apie šių sistemų tarnavimo trukmę ribota. Visi ITSTS bandiniai sudaryti iš: išorinio apdailos tinko ($d = 1-2$ mm), stiklo pluoštu armuotojo sluoksnio ($d = 3-4$ mm) ir polistireninio putplasčio plokštės EPS 70 (storis $d = 50$ mm) (2.2 pav.). ITSTS bandiniai pagaminti pagal sistemų gamintojų rekomendacijas. Naujai suformuoti bandiniai išlaikyti patalpoje, kurioje palaikomas $60 \pm 5\%$ santykinis drėgnis ir 20 ± 5 °C temperatūra. Pradiniai eksperimentiniai tyrimai pradėti po 28 parų.



2.2 pav. ITSTS bandinio pjūvis: 1 - polistireninis putplastis; 2 – armuotasis sluoksnis; 3 – armuojantis stiklo pluošto tinkelis; 4 – išorinis apdailos tinkas

Akrilinio, silikatinio-silikoninio ir silikoninio tinko dangoms įrengti panaudoti iš anksto paruošti drėgni tinkavimo mišiniai. Cementiniam tinkui panaudotas sausas komponentų mišinys, kuris prieš tinkavimą sumaišytas su vandeniu. Visų tiriamųjų tinkų pagrindiniai komponentai pateikti 2.1 lentelėje.

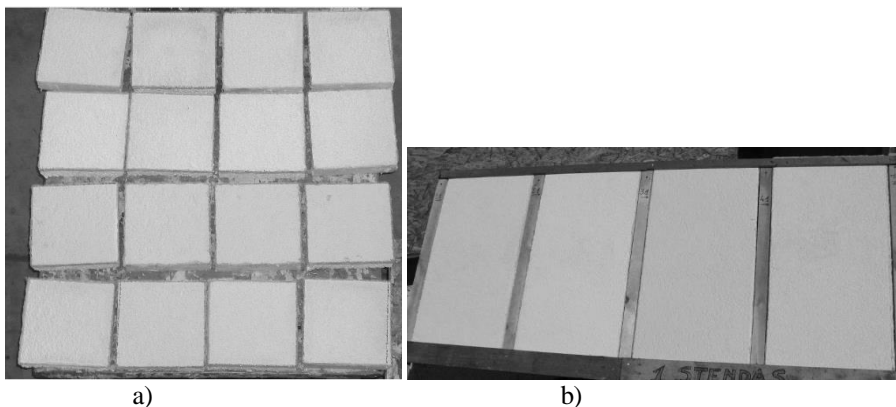
2.1 lentelė. Pagrindinės išorinių tinkų sudėtinės medžiagos

Medžiagos	Išorinio tinko pavadinimas			
	Akrilinis	Silikatinis-silikoninis	Cementinis	Silikoninis
Rišiklis	Stireno-akrilo vandeninė dispersija	Stireno-akrilo vandeninė dispersija ir kalio natrio silikato mišinys	Sausas cemento - kalkių mišinys	Stireno-silikono ir stireno-akrilo vandeninės dispersijos mišinys
Skystasis komponentas	Vanduo	Vanduo	Vanduo	Vanduo
Stambusis užpildas	Dolomitas	Dolomitas	Dolomitas	Dolomitas
Smulkusis užpildas	Kalcitas, smėlis	Kalcitas, smėlis	Kalcitas, smėlis	Kalcitas, smėlis
Pigmentas	Titano dioksidas	Titano dioksidas	Titano dioksidas	Titano dioksidas
Vandenį atstumiantys priedai	Polisiloksanas	Polisiloksanas	-	Polisiloksanas
Tirštinantys priedai	Polipropileno pluoštas	Polipropileno pluoštas	-	Polipropileno pluoštas

Stireno-akrilo vandeninė dispersija panaudota kaip pagrindinis rišiklis akriliniui tinkui, o silikatiniam-silikoniniam ir silikoniniam – kaip papildomas rišiklis. Cementinio tinko rišamieji komponentai – cementas ir kalkės. Visuose tiriamuosiuose tinkuose kaip stambusis užpildas panaudotas 1-2 mm frakcijos dolomitas ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), o kaip smulkusis užpildas – $< 0,5$ mm frakcijos kalцитas (CaCO_3), smėlis (SiO_2). Kadangi vienas iš įvertinimo kriterijų yra estetiškas pokytis po sendinimo, siekiant kuo geriau nustatyti spalvos pakitimus, visi tinkai buvo baltos spalvos, kurią suteikė titano dioksido milteliai (TiO_2). Siekiant tinko kietėjimo pradžioje išlaikyti vandenį ir išvengti paviršinių plyšių, o sukietėjus tinkui gauti didesnę deformatyvumą, tvirtesnę sukibimą su armuotuoju sluoksniu, į akrilinio, silikatinio-silikoninio ir silikoninio tinko mišinius įdedamas susmulkintas polipropileno pluoštas. Taip pat šių trijų rūšių tinkuose panaudotas skystas organinis priedas – polisiloksanas, kuris padidina tinkų lietaus vandens nepralaidumą, bet reikšmingai nemažina vandens garų pralaidumo. Taip užtikrinama sienos drėgminė pusiausvyra.

2.3. Bandinių dirbtinio ir natūrinio sendinimo aprašymas

Eksperimentiniams dirbtinio ir natūrinio sendinimo tyrimams suformuoti dviejų dydžių tinkuojamos sistemos bandiniai. Dirbtiniams tyrimams klimatinėje kameroje išpjauti 200 mm pločio ir 200 mm ilgio bandiniai (200 mm × 200 mm dydžio) (2.3 pav. a). Natūriniams (lauko sąlygomis) tyrimams – 500 mm pločio ir 1000 mm ilgio bandiniai (1000 mm × 500 mm dydžio) (2.3 pav. b).



2.3 pav. Eksperimentiniai ITSTS fragmentai bandymams
a) klimatinėje kameroje; b) natūrinėmis sąlygomis

Visi tyrimams naudotų ITSTS bandinių kraštai užtepti vandeniui nelaidžia epoksidine danga.

Natūriniam sendinimui skirti bandiniai įtvirtinti mediniame rėme ir užkelti ant pastato stogo ir nukreipti į pietų pusę (2.3 pav. b). Tokia paviršiaus orientacija užtikrina didžiausią metinį Saulės spinduliuotės poveikį (Banionis 2011). Natūriniam sendinimui sumontuoti trys identiški ITSTS stendai S1, S2 ir S3.

2.4. Klimato duomenų analizė ir klimato poveikių modeliavimas

ITSTS sistemų ilgaamžiškumo tyrimams naudoti Kauno miesto vidutiniai metiniai ir mėnesiniai klimatiniai duomenys iš RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“ (RSN 156-94) ir valandinės Saulės spinduliuotės, oro temperatūros bei lietaus intensyvumo vertės iš KTU ASI meteorologinės stoties archyvo. Kadangi nurodyti klimato duomenų šaltiniai, duomenų apdorojimo metodikos ir vertinimo kriterijai, sudarytas modelis bus nesunkiai adaptuojamas kitose klimato zonose eksploatuojamų sistemų ilgaamžiškumo analizei.

2.4.1. Saulės UV spinduliuotės poveikio modeliavimas

Siekiant pritaikyti didžiausią Saulės ultravioletinės spinduliuotės sukeltą poveikį ITSTS paviršiams, naudojamas didžiausias tiesioginės Saulės ultravioletinės spinduliuotės į pietų kryptimi orientuotą vertikalių paviršių srauto tankis (žinoma, kad pietų kryptimi orientuotiems paviršiams tenka didžiausias tiesioginės Saulės spinduliuotės intensyvumas (Barreira, Freitas 2013)). Tačiau šie klimato duomenys meteorologijos stotyse nematuojami ir neregistruojami, todėl pirmiausiai surandami Saulės spinduliuotės srauto tankio, kW/m^2 , į pietų orientacijos vertikalią plokštumą, esant vidutiniam debesuotumui Kaune, duomenys (RSN 156-94). Šie duomenys pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Saulės spinduliuotės į pietų vertikalią plokštumą srauto tankis Kaune, esant vidutiniam debesuotumui kW/m^2 (RSN 156-94)

Saulės spinduliuotės dalis	Mėnuo												Metinė
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tiesioginė	0,66	1,13	1,88	1,77	1,78	1,48	1,45	1,94	1,87	1,41	0,61	0,53	16,52
Išsklaidytoji	0,48	0,91	1,53	1,62	2,27	2,36	2,33	1,92	1,27	0,71	0,34	0,29	16,02
Bendroji	1,14	2,04	3,41	3,39	4,05	3,84	3,78	3,85	3,14	2,13	0,95	0,82	32,54

Saulės spinduliuotės poveikis būna ne tik vasaros, bet ir žiemos metu (Šadauskienė ir kt., 2008), todėl UV spinduliuotės srauto tankiui apskaičiuoti imamas visas metinis tiesioginės Saulės spinduliuotės kiekis – $I_{dir} = 16,52 \text{ kW/m}^2$.

Žinoma, kad UV spinduliuotė sudaro 4,6% Saulės spektro (CABOT). Pagal 2.1 lentelę, tiesioginės Saulės spinduliuotės intensyvumas I_{dir} į pietų krypties vertikaliųjų paviršių Lietuvoje yra $16,52 \text{ kW/m}^2$ per metus. Todėl UV spinduliuotės srauto tankis I_{UV} , per metus, veikiantis pietų pusėje įrengtas ITSTS, apskaičiuojamas:

$$I_{UV} = I_{dir} \cdot \frac{4,6}{100} = 16,52 \cdot 0,046 = 0,76 \text{ kW/m}^2 \text{ per metus} \quad (2.1)$$

čia: I_{UV} – metinis UV spinduliuotės srauto tankis, $\text{kW/m}^2 \cdot \text{metus}$;

I_{dir} – metinis tiesioginės Saulės spinduliuotės srauto tankis į pietų krypties vertikaliųjų paviršių, $\text{kW/m}^2 \cdot \text{metus}$.

Vidutinis rekomenduojamas UV spinduliuotės srauto tankis $I_{UV_{rek}}$ poveikiui sukurti yra 40 W/m^2 (Norvaišienė ir kt., 2010). Toks UV spinduliuotės poveikis artimas vasaros vidudienio Saulės UV spinduliuotės į vertikalų paviršių poveikiui. Taip sukuriama didžiausias ir natūralaus neviršijantis UV spinduliuotės poveikis. Vienerius natūrinius metus atitinkanti UV spinduliuotės poveikio ciklo trukmė t_{UV} apskaičiuojama:

$$t_{UV} = \frac{I_{UV}}{I_{UV_{rek}}} \cdot 24 = \frac{760}{40} \cdot 24 = 456 \text{ val./metus} \quad (2.2)$$

čia: t_{UV} – UVA-340 lempų švitinimo trukmė klimatinėje kameroje, val./metus;

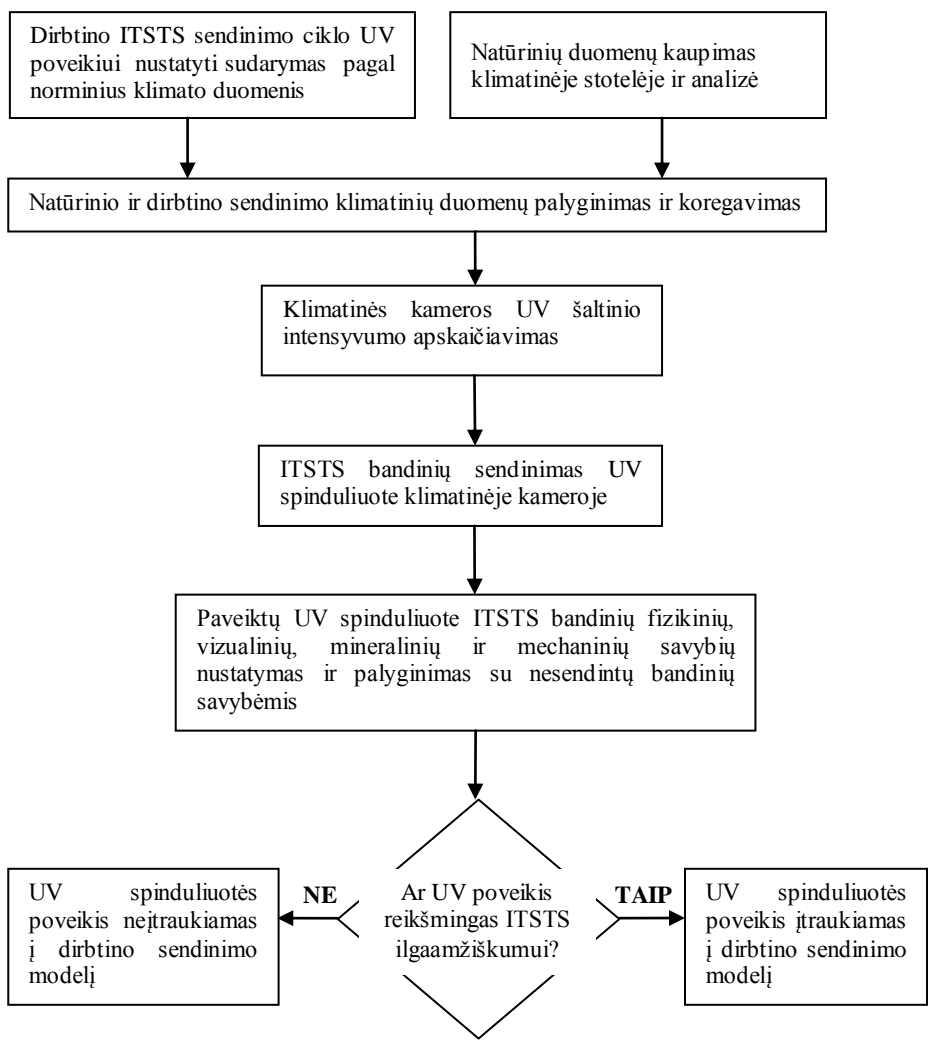
$I_{UV_{rek}}$ – vidutinis rekomenduojamas UV spinduliuotės srauto tankis, W/m^2 ;

Apskaičiuota švitinimo trukmė – 19 dienų per metus (456 valandos nepertraukiamo švitinimo UVA-340 lempomis). Saulės spinduliuotės metinio poveikio ciklo parametrai pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Saulės spinduliuotės metinio poveikio ciklas

Paviršiaus orientacija	Lempos, (bangų ilgis, nm)	Metinis tiesioginės Saulės spinduliuotės intensyvumas I_{dir} , $\text{kW/m}^2 \cdot \text{metus}$	UV spinduliuotės dalis, %	Metinis UV spinduliuotės srauto tankis I_{UV} , $\text{kW/m}^2 \cdot \text{metus}$	Vidutinis UV spinduliuotės srauto tankis $I_{UV_{rek}}$, W/m^2	Švitinimo trukmė t_{UV} , val./metus
Pietų vertikalus	UVA-340 (320 – 390)	16,52	4,6	0,7599	40	456

UV spinduliuotės poveikis ITSTS savybių kaitai nustatytas atlikus eksperimentinius tyrimus pagal 2.4 paveiksle pateiktą schemą.



2.4 pav. UV spinduliuotės poveikio ITSTS savybių kaitai nustatymo schema

2.4.2. Temperatūrinio poveikio modeliavimas

Temperatūros kitimas modeliuojamas pagal vidutinius mėnesinius Lietuvos klimato duomenis.

Tinko paviršiaus temperatūra apskaičiuojama pagal vidutinę išorės oro temperatūrą. Vidutinės mėnesinės temperatūros (RSN 156-94) pateiktos 2.4 lentelėje

2.4 lentelė. Kauno vidutinė mėnesių oro temperatūra (RSN 156-94)

Parametras	Mėnuo											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lietuvos vidutinė oro temperatūra, °C	-5,2	-4,3	-0,4	5,8	12,4	15,8	16,9	16,4	11,9	7,1	1,8	-2,3

Kaip minėta 1 dalies 1.3.2.1. skyriuje, ekstremalius sistemų paviršiaus pokyčius sukelia Saulės šiluminė spinduliuotė, kurią paviršiai sugeria ir spinduliuoja skirtingai (Banionis, 2011). Šviesių spalvų paviršių Saulės trumpabangės spinduliuotės sugerties koeficientai pateikti 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. Šviesių spalvų paviršių Saulės šiluminės spinduliuotės sugerties koeficientai (Suehrcke ir kt., 2008, Norvaišienė ir kt., 2006)

Paviršiaus apibūdinimas	Saulės šiluminė spinduliuotės sugerties koeficientas, α
Balti dažai	0,20 ÷ 0,40
Šviesi ir balti paviršiai	0,35 ÷ 0,50
Šviesūs paviršiai	0,55

Tinkuojamos sistemos išoriniai paviršiai matiniai, šiurkštūs ir dažniausiai šviesių spalvų, todėl sistemų išorinio paviršiaus temperatūrai apskaičiuoti naudojama Saulės spinduliuotės sugerties koeficiento vertė priimta 0,4.

Išorinės tinkuojamos sistemos išorinio paviršiaus temperatūra apskaičiuojama esant vidutiniam vėjo greičiui v 5 m/s, todėl paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas $h_{se} = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Pagal 1.1 lygtį apskaičiuota vidutinė vertikalaus išorinio paviršiaus temperatūra dėl Saulės spinduliuotės poveikio sausio mėnesį:

$$\theta_{se} = \theta_e + \frac{\alpha_{surf} \cdot I_{\Sigma.SOL}}{h_{se}} = -5,2 + \frac{0,4 \cdot 1136,02}{25} = 5,33, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.1)$$

čia: θ_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus temperatūra, $^\circ\text{C}$;

θ_e – vidutinė išorės oro temperatūra, $^\circ\text{C}$;

$I_{\Sigma.SOL}$ – tiesioginis Saulės spinduliuotės srauto tankis į atitinkamos orientacijos paviršių, W/m^2 ;

α_{surf} – paviršiaus Saulės spinduliuotės sugerties koeficientas, vnt.d.;

h_{se} – išorinio paviršiaus šilumos perdavimo koeficientas, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Pagal 1.1 lygtį apskaičiuota visa metinė kaita, kuri pateikta 2.6 lentelėje:

2.6 lentelė. Vertikalaus paviršiaus mėnesinės temperatūros dėl bendrosios Saulės spinduliuotės poveikio, esant vidutiniam debesuotumui

Parametras	Mėnuo											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dėl tiesioginės Saulės spinduliuotės poveikio, $^\circ\text{C}$	5,33	13,71	29,74	34,19	40,93	39,49	40,11	47,39	41,86	29,71	11,58	6,20

Pagal 2.5 lentelėje pateiktus duomenis, daugiausiai išorinis paviršius įkaista vasaros periodu. Didžiausia temperatūra ant išorinio paviršiaus yra rugpjūčio mėnesį t.y $+47,39^\circ\text{C}$. Taigi, klimatinėje kameroje imituojuojant vasaros poveikį, taikoma aukščiausia temperatūra yra $+50^\circ\text{C}$.

ITSTS eksploataavimo trukmė taip pat priklauso nuo žemiausios išorės temperatūros. Dideli temperatūros svyravimai sukelia išorinio paviršiaus sluoksniu

deformacijas, kurios gali būti paviršiaus įtrūkių priežastimi. Tačiau literatūros analinės metu nustatyta, kad tinkamai sudarytos ITSTS yra atsparios temperatūrinėms deformacijoms (Roos ir kt., 2008; Kus, Jerngerg 2000; Zhong ir kt., 2013). Žemos aplinkos temperatūros svarbesnės analizuojant išorinių tinkų atsparumą šalčiui, kuris priklauso nuo žemiausios temperatūros, užšalimo ir atšilimo ciklų skaičiaus.

Pirmoje dalyje 1.3.2.1. poskyryje išanalizuotas vidutinis metinis įvairių šalčio bangų skaičius Klaipėdoje (1.3 lentelė). Šiam atvejui reikalingas Kauno miesto šalčio bangų skaičius, tačiau klimatologijoje nėra pateikta šio miesto duomenų, todėl priimame artimiausią miestą šalčio bangų skaičiui įvertinti t.y. Vilnių (2.7 lentelė):

2.7 lentelė. Vidutinis metinis įvairių šalčio bangų skaičius Vilniuje

Šalčio pusbangės amplitudė, °C	Vidutinė šalčio pusbangių temperatūra, °C	Nustatyti atvejai
0 -3	-1,5	24,16
-3 -6	-4,5	7,44
-6 -10	-8	4,44
-10 ir daugiau	-12	5,72

Kai šalčio pusbangės temperatūra yra nuo 0 iki -3 °C (24,16 kartų), tikėtina labai maža įtaka išoriniam tinko sluoksniui, nes tinko porose esantis vanduo nespėja užšalti. Remiantis Daniotti pasiūlytu ilgaamžiškumo prognozavimo modelio kūrimo principu (1.17 pav.), šios šalčio pusbangės atmetamos, kaip neturinčios poveikio ITSTS ilgaamžiškumui. Susumavus likusius ciklus, sudaromas metinis natūralaus šalčio poveikis išoriniam sluoksniui – 17 užšaldymo-atšildymo ciklų per metus.

Prieš tai nagrinėtuose sendinimo modeliuose tyrimų kameroje taikyta -20 °C žemiausia temperatūra (ETAG 004, 2013; NT Built 495; Daniotti ir Paolini, 2008; Bochen ir kt., 2005; Bochen, 2009). Tačiau modeliuojant šaltojo sezono temperatūrą, ji turi būti tokia, kad išorinio tinko įgertas vanduo porose užšaltų ir susidaręs ledas ardytų tinką. Žinoma, kad tinkuose visa įgerta drėgmė užšąla esant -6 °C temperatūrai (Ramanauskas, Stankevičius, 1998) ir užšalęs vanduo mažiausiai turi išbūti 2 valandas, kad vyktų kristalizacijos bei plėtimosi procesai. Pasiekus -12 °C temperatūrą, susidaręs ledas daugiau nebesiplečia – pasiekiamas maksimalus ledo plėtimosi tūris (Burlingis, 1995). Todėl žemesnę kaip -12 °C temperatūrą (pvz. -20 °C) naudoti netikslinga. Siekiant atkurti natūrinį vienerių metų šalčio poveikį, priimama -12 °C temperatūra, palaikoma 7 valandas ir pasikartojanti 17 kartų. ITSTS bandiniai sudedami į klimatinę kamerą, kurioje vieno ciklo metu temperatūra per 2 valandas sumažinama iki -12 °C ir palaikoma dar 5 valandas. Bandiniai po užšaldymo palaipsniui atšildomi (viso 10 valandų). Viso bandymo metu klimatinėje kameroje palaikomas oro santykinis drėgnis: šaldymo metu – 40%, šildymo – 90 %.

2.4.3. Drėgmės poveikio į vertikalųjų paviršių modeliavimas

R. Norvaišienės monografijoje (Norvaišienė ir kt., 2006) nurodyta, kad vidutinė kritulių į vertikalųjų P orientacijos atitvaros paviršių trukmė yra 7,35

valandos, kuris vidutiniškai lyja 16 kartų per metus. Panašūs duomenys pateikti ir Lietuvos klimatologijoje (RSN 156-94).

Pagreitintam sendinimo modeliui sukuriama toks lietaus poveikio ciklas ir poveikio imitavimo būdai:

- bandiniai drėkinami vandenyje (pamerkti 2-3 mm), taip sukuriama didžiausio lietaus vandens įgėrio sąlygas;
- drėkinama 7 valandas siekiant užtikrinti visos ITSTS įdrėkinimą vandeniu;
- vienerių metų poveikiui modeliuoti, drėkinimas kartojamas 16 kartų.

2.5. Eksperimentiniams tyrimams naudota įranga

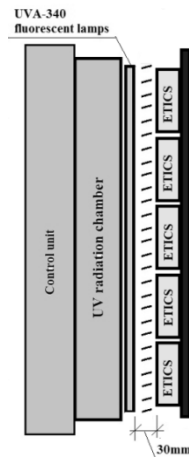
2.5.1 Klimatinė kamera UV spinduliuotės poveikio tyrimui

Siekiant nustatyti UV spinduliuotės poveikį ITSTS išoriniam sluoksniui, naudojama UV spindulių klimatinė kamera (2.5 pav.). Šioje kameroje esančios UVA-340 liuminescencinės lempos atkuria vasaros vidurdienio poveikį, kai bangos ilgis būna nuo 280 iki 400 nm.

Reikiamas UV spinduliuotės intensyvumas – 40 W/m^2 pasiekiamas, kai atstumas tarp bandinių ir liuminescencinių lempų yra 30 mm (2.6 pav.). ITSTS bandiniai pritvirtinami prie medžio drožlių plokštės ir dedami į klimatinę kamerą. Pagal apskaičiuotą UV spindulių poveikio režimą, bandiniai veikiami nepertraukiamai 456 valandas (t.y. 19 parų).



2.5 pav. ITSTS bandiniai UV spinduliuotės klimatinėje kameroje



2.6 pav. UV spinduliuotės poveikio ITSTS bandiniams tyrimo schema

Visi eksperimentams naudoti ITSTS bandiniai įrengiami taip, kad vėliau tyrimo eigoje būtų galima išimti mėginius ir nustatyti 1.3.3. skyriuje aprašytus pokyčius.

2.5.2. Lietaus poveikiui imituoti naudotos priemonės

Siekiant atkurti lietaus poveikį, ITSTS bandiniai tinku žemyn drėkinami vandens vonelėje (2.7 pav.), vandens temperatūra 20 ± 5 °C.



2.7 pav. Lietaus poveikio imitavimas

2.5.3. Šaldymo-šildymo poveikiui modeliuoti naudota įranga

Po drėkinimo bandiniai sudedami į reguliuojamų parametrų klimatinę kamerą Feutron 3423/16, kurioje sukuriamos reikiamos drėgmės ir temperatūros sąlygos bei jų kaita.

2.5.4. Klimato duomenų matavimo ir kaupimo įrangos aprašas

Viso natūrinio sendinimo eksperimento metu KTU ASI meteorologijos stotelėje „Davis Vantage Pro2 6162C“ buvo matuojami ir kaupiami klimatiniai duomenys. Eksperimentiniai tyrimai buvo vykdomi Kauno mieste KTU Architektūros ir statybos instituto teritorijoje.

Stotelėje buvo fiksuojami šie klimato duomenys:

- išsklaidytosios Saulės spinduliuotės intensyvumas, W/m^2 ;
- bendrosios Saulės spinduliuotės intensyvumas, W/m^2 ;
- dangaus skliauto ilgabangės spinduliuotės intensyvumas, W/m^2 ;
- ilgabangės spinduliuotės tarp dangaus skliauto ir Žemės paviršiaus intensyvumų balansas, W/m^2 ;
- išorės oro temperatūra, °C;
- išorės oro santykinis drėgnis, %;
- atmosferos slėgis, hPa;
- vėjo greitis, m/s;
- vėjo kryptis, °;
- kritulių kiekis, mm.

2.6. Eksperimentinių tyrimų aprašymas ir eiga

Išanalizavus Lietuvos klimatinius duomenis ir kitų autorių atliktos klimato duomenų analizės rezultatus, nepalankiausia klimato poveikių deriniui imituoti

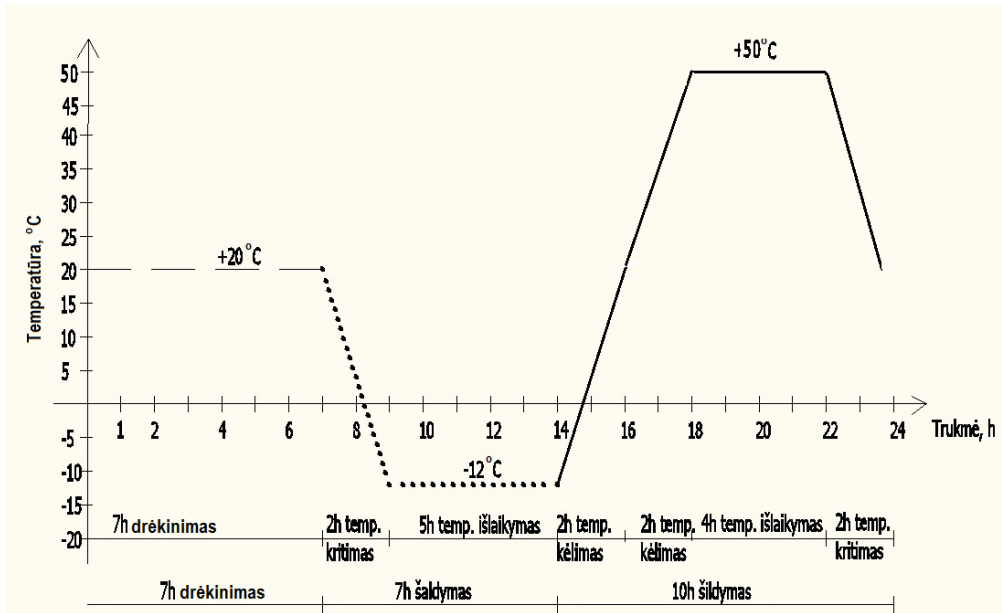
sudarytas pagreitintas dirbtinis sendinimo ciklas. Siekiant imituoti natūralų klimato sendinimą, klimatinius poveikius reikia išdėstyti tam tikra seka.

Pirmiausiai taikomas UV spinduliuotės poveikis siekiant suardyti kai kurių išorinių tinkų paviršiuje esančią polimerinę plėvelę. Kitų autorių sukurti dirbtiniai sendinimai taip pat pradedami nuo UV spinduliuotės poveikio (NT BUILD 495, 2000; Bochen ir kt., 2005; Bochen 2009; Bochen, Gil 2009; Daniotti, Paolini 2008; Daniotti, ir kt., 2008; Daniotti, Ceconi 2009; Daniotti ir kt., 2013). Todėl pirmajame sendinimo etape ITSTS bandiniai sudedami į UV spindulių klimatinę kamerą (2.5 pav.) ir švitinami UV spinduliuote. Literatūros analizės metu (1 dalyje 1.3.2.2. skyrius) nustatyta, kad Saulės sukeliamas UV spinduliuotės poveikis priklauso nuo suminio UV spinduliuotės kiekio, todėl vietoj 19 ciklų po 24 valandas naudojamas nepertraukiamas 456 valandų UV poveikis. Taip sumažinama bandymo trukmė ir išvengiama kitų poveikių.

Toliau ITSTS bandiniai drėkinami, imituojant lietaus poveikį (2.7 pav.). Tikėtina, kad po UV spinduliuotės poveikio polimerinių ir mineralinio kilmės tinkų išoriniai paviršiai tapo pažeisti UV spindulių, todėl tai turės įtakos vandens įgėrio vertėms. Bandiniai tinku žemyn sudedami į vonelę su vandeniu (+ 20±5 °C temperatūros) ir po 7 valandų išimami, nusausinami ir sudedami į reguliuojamų parametrų klimatinę kamerą.

Po drėkinimo taikomas atsparumo šaldymo-šildymo cikliniams poveikiams bandymas klimatinėje kameroje. ITSTS bandinių išorinio ir armuotojo sluoksnio poros užpildytos vandeniu, todėl cikliniai poveikiai sudarys didžiausias apkrovas. Klimatinėje kameroje pagal sudarytą ciklą bandiniai per 2 valandas atšaldomi iki -12 °C temperatūros. Taip užtikrinamas tinko porose esančio vandens pradinis vėsimo procesas. Per 5 valandas, esant -12 °C temperatūrai, visas įgertas vanduo užšąla. Per šį periodą vyksta susidariusio ledo plėtimasis.

Pasibaigus šaldymo periodui, įjungiamas šildymas. Per 2 valandas kameros temperatūra keliama nuo -12 °C iki + 20 °C temperatūros, siekiant išvengti staigių temperatūrinių deformacijų. Kitas 2 valandas temperatūra keliama nuo + 20 °C iki + 50 °C temperatūros, imituojant lėtą paviršiaus įkaitimą vasaros metu ir tinko džiūvimo pradžią. Sekantis kaitinimo etapas – 4 valandų išlaikymas esant + 50 °C temperatūrai, imituojant vidurdienio Saulės spinduliuotės poveikį. Per šį periodą tinko porose esantis vanduo išgarinamas. Paskutinis etapas – atvėsinimas per 2 valandas nuo + 50 °C iki + 20 °C temperatūros, kurio metu ITSTS bandiniai išdžiovinami iki pradinės masės ir parengiami ciklą kartoti iš naujo. Viso šildymo ciklo metu vyrauja 90 % oro santykinis drėgnis. Vienas drėkinimo-šaldymo-šildymo ciklas pateiktas diagramoje (2.8 pav.).



2.8 pav. Drėkinimo, šaldymo ir šildymo ciklo diagrama

Vienas dirbtinis klimatinis ciklas trunka 24 valandas. 17 tokių drėkinimo, šaldymo ir šildymo kompleksinių poveikio ciklų atitinka vienerių natūrinių metų poveikį. Visa dirbtinio sendinimo seka pateikiama 2.8 lentelėje.

2.8 lentelė Pagreitintas sendinimas veikiant UV ir drėkinimo-šaldymo-šildymo poveikiams

Aprašymas	Oro temperatūra, °C	Santykinis drėgnis, %	Procesas	Vienos ciklo fazės trukmė, val.	Gedimo stebėjimas per/po sendinimo	Atitikimas natūraliam sendinimui
UV	20±5	60±5	švitinimas	456	Vizualinis stebėjimas Mikroskopinė analizė Rendgenodifrakcinė analizė Vandens įgėris Mechaninis atplėšimas	Vienerių natūrinių metų sendinimas imituoja 19 dienų UV švitinimu
Lietus	+20±2	-	drėkinimas	7	Vizualinis stebėjimas Mikroskopinė analizė Rendgenodifrakcinė analizė Vandens įgėris Mechaninis atplėšimas	Vienerių natūrinių metų sendinimas imituoja 17 ciklinių poveikių
Žema temperatūra	-12±2	20±5	šaldymas	7		
Aukšta temperatūra	+50±2	90±5	šildymas	10		

Po 19 dienų UV švitinimo ir po 17 dienų truncančio kompleksinio drėgmės-šalčio-kaitinimo ciklo, kurie atitinka natūralų vienerių metų poveikį, bandiniai įvertinami pagal užsibrėžtus kriterijus.

Lygiagrečiai dirbtiniam sendinimui vyko natūrinis sendinimas lauko sąlygomis. Po vienerių sendinimo metų paimami ITSTS mėginiai savybių kaitos įvertinimui.

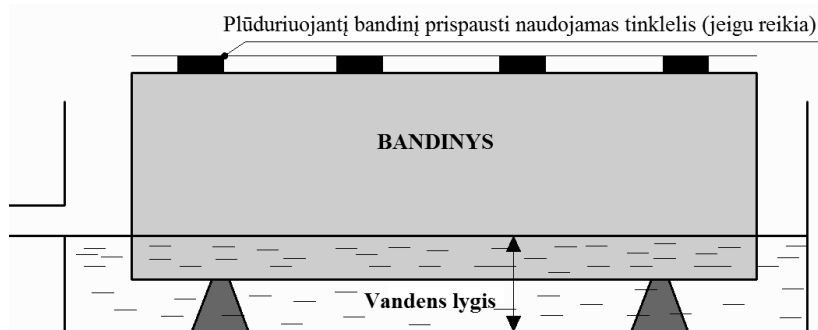
2.7. ITSTS savybių kaitos įvertinimo būdai ir priemonės

ITSTS savybių kaitos analizei taikomi 1 dalies 1.3.3. skyriuje nurodyti įvertinimo būdai ir priemonės. Prieš sendinimą apžiūrimas išorinio tinko paviršius: spalva, tekstūra ir pan. Po klimatinių poveikių bandiniai vėl apžiūrimi ir įvertinami išorinio tinko pokyčiai.

Nuo kiekvienos rūšies tinko tiriamojo paviršiaus prieš sendinimo poveikius ir po jų paimami bandiniai išorinio tinko mikroskopinei analizei. Skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) Quanta 200 FEG stebima ir analizuojama tinko paviršiaus struktūra: išmatuojami porų skersmenys, plyšių ir įtrūkimų ilgiai. SEM sumontuotu rentgeno spindulių energijos dispersijos spektrometru (EDS) XFlash® 4030 analizuojama tinko cheminė sudėtis pasirinktame plote arba taške. Padaromos ITSTS tinko paviršiaus nuotraukos. Sulyginus prieš ir po sendinimo paimtų tinko bandinių nuotraukas, nustatomi bandinių paviršiaus struktūros pokyčiai.

Siekiant išsiaiškinti išorinio tinko mineralinės sudėties pokyčius, atliekama tinko rentgenodifrakcinė analizė rentgeno difraktometru *DRON-6*. Naudojami tie patys kaip ir mikroskopinei analizei naudoti tinkų bandiniai. Medžiagos identifikuotos naudojant Crystallographica Search-Match Version 2 programos duomenų bazę.

Kadangi mikroskopinei ir rentgenodifrakcinei analizei naudotų ITSTS bandinių paviršiai pažeidžiami, būtina šias vietas užsandarinti vandeniui nelaidžia sandarinimo medžiaga, nes sekantis įvertinimo būdas – vandens įgėrio nustatymas. ITSTS vandens įgėris nustatomas dalinai panardinus bandinius ne mažiau kaip 24 valandas pagal LST EN ISO 15148:2004 reikalavimus (LST EN ISO 15148:2004)(2.9 pav.).



2.9 pav. ITSTS bandinių vandens įgėrio nustatymo schema

Literatūros apžvalgos 1.3.2.1 skyriuje nustatyta, kad taikomi cikliniai poveikiai mažina ITSTS mechaninį stiprį. Norminiuose dokumentuose nurodytas mažiausias mechaninis stipris, kuriam esant ITSTS dar galima eksploatuoti. Todėl sekančiame etape pagal ETAG 004 5.5.4.1 punkte pateiktą bandymo procedūrą

patikrintas ITSTS armuotojo tinko apdailos ir termoizoliacinio sluoksnių sukibimo stipris (ETAG 004, 2013).

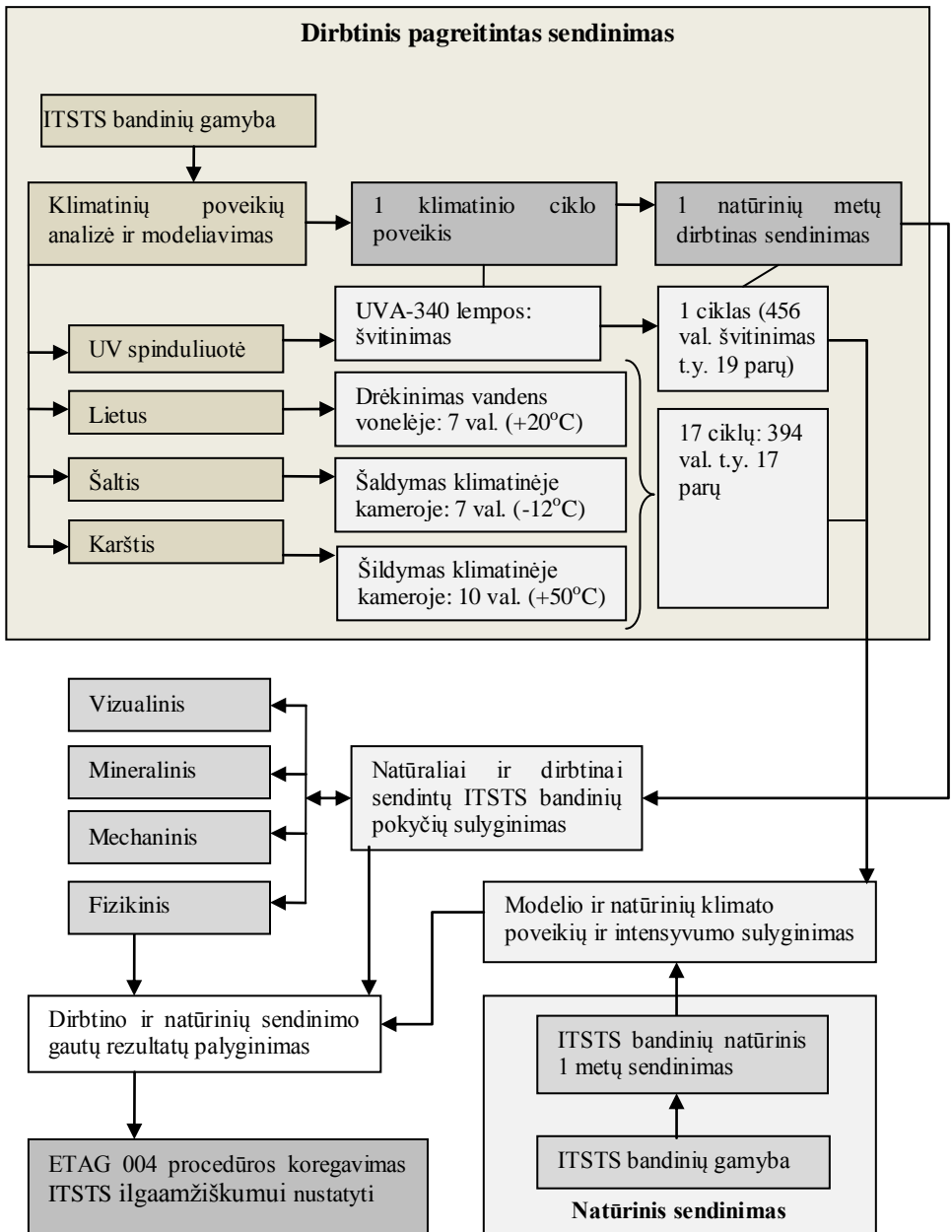
Visi įvertinimo kriterijai ir jiems būdingi parametrai pateikiami 2.9 lentelėje.

2.9 lentelė. Įvertinimo kriterijai

Kriterijus	Metodas	Pokyčiai
Vizualinis stebėjimas	Išorės tinko apžiūra	Paviršiaus įtrūkimai ir mikroplyšiai; Paviršiaus spalvos pablukimai; Paviršiaus dėmėtumas; Paviršiaus atsisluoksniavimas
Mikrostruktūros analizė	Skenuojantis elektroninis mikroskopas (SEM) Quanta 200 FEG	Tinko paviršiaus struktūros, plyšių ir porų pokyčiai
	Rentgeno spindulių energijos dispersijos spektroskopija (EDS), spektrometras XFlash® 4030	Tinkų cheminės sudėties pokyčiai pasirinktame plote arba taške
Rentgenografinė analizė (XRD)	Rentgeno difraktometras DRON-6. Crystallographica Search-Match programa Version 2 programos duomenų bazėse	Kristalinių junginių ir fazių pokyčių identifikavimas. Medžiagų indentifikavimas, difracinių smailių padėties nustatymas
Vandens įgėris	LST EN ISO 15148:2004	Vandens įgerio pokytis
Mechaninis stiprumas	ETAG 004, 2013	Sukibimo stiprio pokytis

2.8. ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo modelis

ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo modelis pateiktas 2.10 paveiksle.



2.10 pav. ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo modelis

Pagal gautus sendinimo duomenis, galima nustatyti sukurto metodo patikimumą. Nustačius dirbtinio ir natūralaus poveikių koreliacija, galima nustatyti ITSTS ilgaamžiškumą.

2.9. Antro skyriaus išvados

1. Sukurtas ITSTS ilgaamžiškumo prognozavimo modelis, apjungiantis natūralų ir dirbtinį klimato poveikį, išorinių tinkų savybių pokyčių vertinimą ir dirbtinio bei natūralaus poveikio koreliacijos nustatymą;
2. Dirbtinis sendinimas sumodeliuotas pagal Lietuvos klimato duomenis ir gali būti koreguojamas kitiems šalto ir drėgno klimato regionams;
3. Modelyje numatyti ITSTS savybių nustatymo ir jų kaitos įvertinimo metodai apima paviršiaus struktūros, tinko mineralinės sudėties, vandens įgėrio ir mechaninio stiprio analizę ir suteikia ITSTS ilgaamžiškumui prognozuoti reikiamą informaciją.

3 ITSTS ILGAAMŽIŠKUMO TYRIMO REZULTATAI

Šiame skyriuje pateikti ITSTS ilgaamžiškumo tyrimo pagal 2 skyriuje aprašytą kompleksinių tyrimų planą rezultatai. Pradžioje pateiktos nesendintų ITSTS bandinių charakteristikos, vėliau nurodytos po kiekvieno dirbtinio ir natūrinio sendinimo etapo nustatytos savybių vertės, identifikuoti bandinių pokyčiai, sulyginami ir išanalizuoti natūrinio ir dirbtinio sendinimo metu ITSTS bandinių pokyčius lemiantys poveikiai.

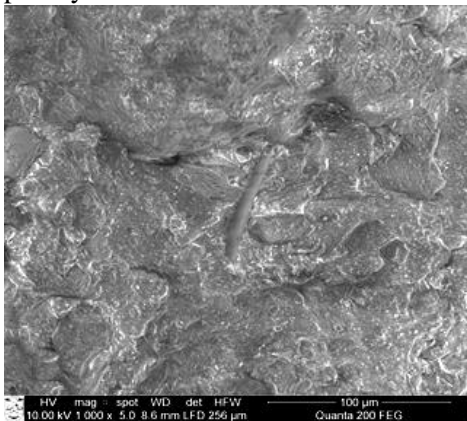
3.1. Pradinės ITSTS charakteristikos

Pradinės ITSTS charakteristikos nustatytos siekiant sukaupti pirminę informaciją apie įvairių išorinių tinkų savybes, kurią būtų galima lyginti su sendintų bandinių charakteristikomis ir identifikuoti bandinių savybių pokyčius bei nustatyti juos sukėlusius poveikius. Pradinės ITSTS charakteristikos nustatytos taikant 2 skyriuje 2.7 poskyryje aprašytus sistemų savybių įvertinimo būdus ir priemones.

Naujai suformuoti kiekvienos tinko rūšies ITSTS bandiniai buvo išlaikyti 28 paras laboratorinėse sąlygose, po to nustatytos jų pradinės charakteristikos: vizualiai įvertinta išorinio paviršiaus struktūra, SEM padarytos tinko paviršiaus nuotraukos, atlikta tinko rentgenodifrakcinė analizė, nustatytas bandinių vandens įgėris ir mechaninis stiprumas.

Visi tyrimui naudoti išoriniai tinkai buvo baltos spalvos, kad tyrimo eigoje būtų aiškiau pastebimi dirbtinio ir natūrinio sendinimo sukelti pokyčiai.

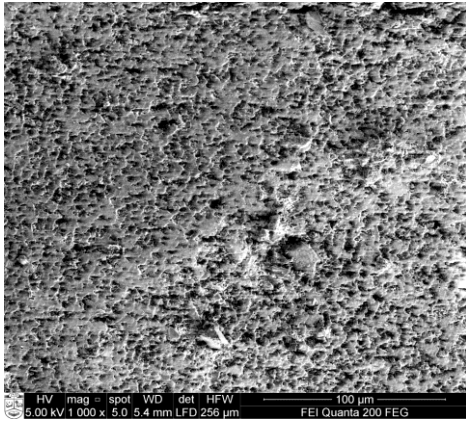
3.1 pav. a, b, c, d pateiktos nesendintų ITSTS bandinių paviršių SEM padarytos nuotraukos.



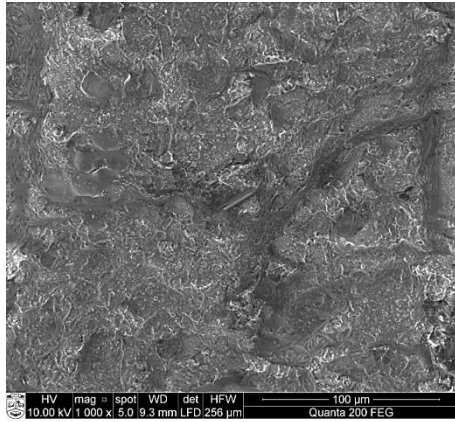
a) Akrilinio tinko paviršius padengtas vientisa polimerine plėvele



b) Silikatinio-silikoninio tinko paviršiuje matomos atviro poros ir kalcito kristalai



c) Cementinio tinko paviršiumi būdingas atviras poringumas

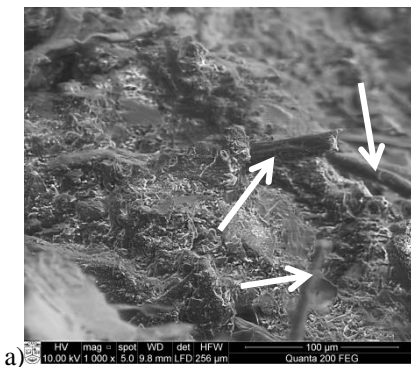


d) Silikoninio tinko paviršius padengtas vientisa polimerine plėvele

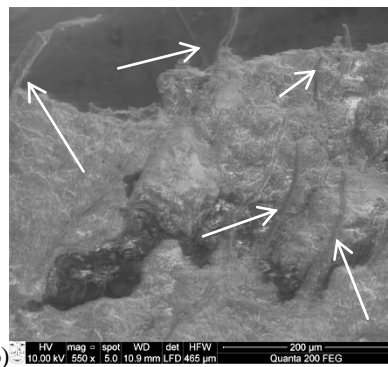
3.1 pav. Nesendintų ITSTS išorinių tinkų paviršių SEM nuotraukos

Akrilinio (3.1 pav. a) ir silikoninio (3.1 pav. d) tinkų SEM nuotraukose matoma paviršius dengianti polimerinė plėvelė. Šią plėvelę sudarė tinkuose panaudotos polimerinės rišamosios dervos. Plėvelė uždengia tinko poras ir kapiliarus, todėl sumažėja lietaus vandens įsigerimo į išorinio tinko ir armuotąjį sluoksnius greitis. Silikatinio-silikoninio (3.1 pav. b) ir cementinio (3.1 pav. c) tinkų SEM nuotraukose matomos paviršiuje suformuotos atviros poros: silikatinio-silikoninio tinko porų skersmuo apie 1,0-2,5 μm , o cementinio – 3,7-6,7 μm . Pastarųjų dviejų tinkų paviršius nepadengtas vientisa plėvele, nes panaudotos pagrindinės rišamosios medžiagos yra mineralinės kilmės: silikatinio-silikoninio tinko pagrindinė rišamoji medžiaga yra skystas kalio silikatas; cementinio tinko rišamoji medžiaga yra cemento ir kalkių mišinys.

Akrilinio, silikatinio-silikoninio ir silikoninio tinkų paviršiuose ir pjūviuose aptiktos polipropileno pluoštinės medžiagos. Šie pluoštai ne tik pagerina tinko technologiskumą tinkavimo pradžioje, bet ir padidina sukietėjusio tinko deformatyvumą ir mechaninį stiprumą.



a)

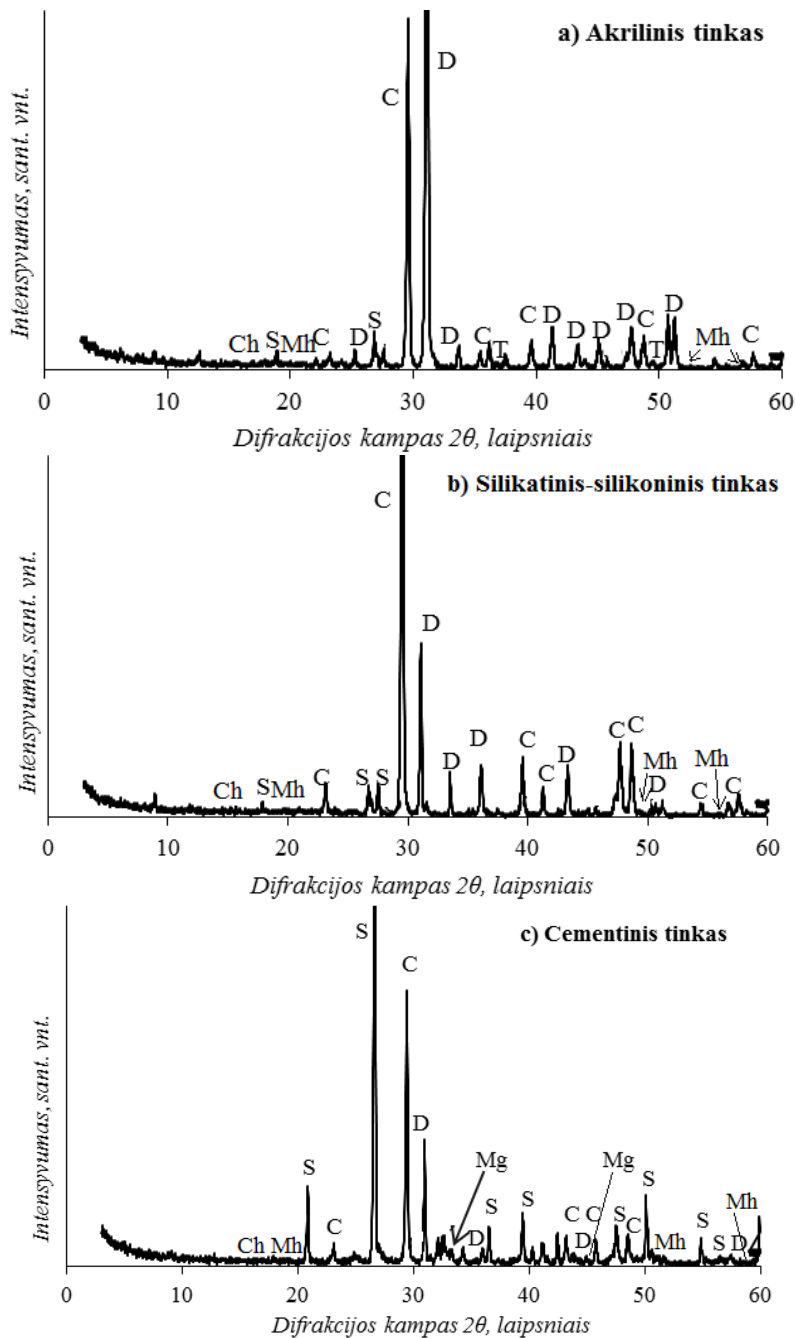


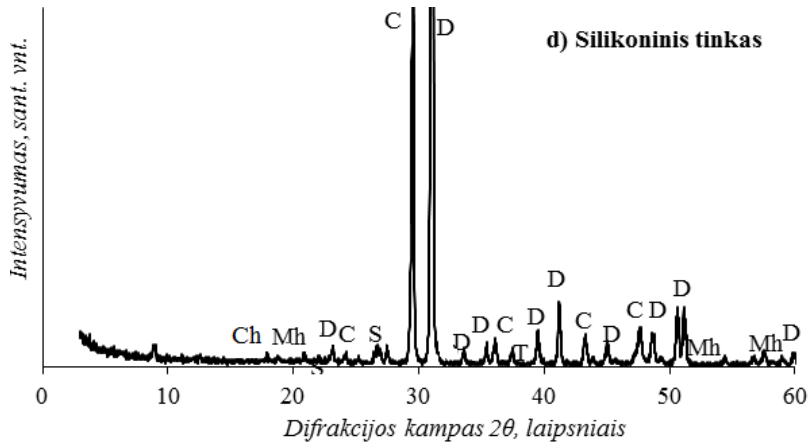
b)

3.2 pav. ITSTS išoriniame tinko sluoksnyje aptiktas polipropileno pluoštas:

a) akrilinio tinko paviršiuje; b) silikoninio tinko pjūvyje

Rentgeno difrakcinės analizės metu nustatyta, kad akriliniame, silikatiniamiame, silikoniniame, cementiniame ir silikoniniame tinkuose dominuoja dolomito (D – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), kalcito (C – CaCO_3) t.y. karbonatų klasės mineralai (3.3 pav. a, b, c, d). Šie mineralai panaudoti kaip stambūs ir smulkūs užpildai, o cementinio tinko atveju papildomas CaCO_3 kiekis susidarė kietėjant cementui.

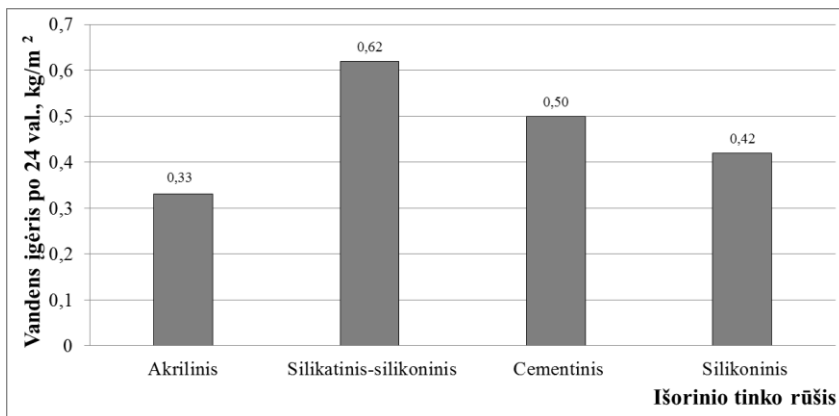




3.3 pav. Nesendintų ITSTS išorinių tinkų rentgenogramos: S: SiO_2 (kvarcas); C: CaCO_3 (kalcitas); D: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomitas), T: TiO_2 (titano dioksidas); Mh: $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (magnio hidroksidas); Ch: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalcio hidroksidas); Mg: MgCO_3 (magnezitas)

Išanalizavus rentgeno difrakcines kreives, be užpildo medžiagų: dolomito ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), kalcito (CaCO_3), silicio dioksido (SiO_2) ir pigmento: titano dioksido (TiO_2), aptikti kalcio bei magnio hidroksidai ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ ir $\text{Mg}(\text{OH})_2$). Cementinio tinko bandiniuose aptiktas magnezitas (MgCO_3) (3.3 pav. c)

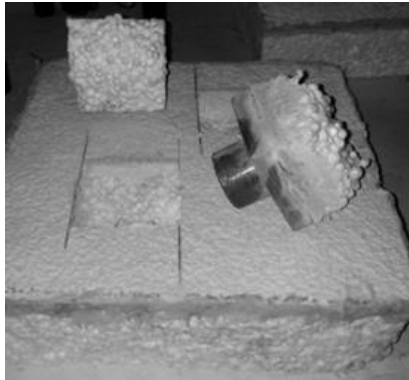
Prieš sendinimą buvo nustatytas ITSTS bandinių pradinis vandens įgėris (3.4 pav.).



3.4 pav. Nesendintų ITSTS bandinių vandens įgėrio vertės

ITSTS bandiniai su silikatinium-silikoniniu ir cementiniu tinku įgėrė didžiausią vandens kiekį. Tai lėmė šių tinkų paviršiaus struktūra: mikroskopinės analizės metu nustatyta, kad abiejų tinkų paviršiuose dominuoja mažo skersmens atviros poros ir paviršiuje nėra polimerinės plėvelės (3.1 pav. b ir c). Į tokias poras įgeriamas ir jose išlaikomas didelis vandens kiekis. Bandinių su akriliniu ir silikoniniu tinku pradinis vandens įgėris mažesnis, nes paviršiuje susidariusi ištisinė polimerinė plėvelė uždengė poras ir pristabdė vandens įsigėrimą į tinko sluoksnį (3.1 pav. a ir d).

Nustatytas nesendintų bandinių sukibimo stipris. Bandymas atliktas pagal ETAG 004 (2013) punkto 5.1.4.1.1. reikalavimus, perpjovus tinko ir armuotąjį sluoksnius iki termoizoliacinės medžiagos. Tempiant taip paruoštus bandinius, nustatoma silpniausia sluoksnių sukibimo vieta ir surandamas pagrindinis visos ITSTS tinkamumą naudoti nusakantis kriterijus t.y. sukibimo stipris. Visi ITSTS bandiniai atplyšo per termoizoliacinę medžiagą (3.5 pav.), atitinka stiprumo reikalavimus, t.y. sukibimo stiprio vertė ne mažesnė už 0,08 MPa (3.1 lentelė). Tai reiškia, kad tinko ir armuotojo sluoksnių sukibimo stipris taip pat atitinka sistemoms keliamus reikalavimus.



3.5 pav. Bandinių atplyšimas termoizoliacinės medžiagos sluoksnyje

3.1 lentelė. Nesendintų ITSTS bandinių sukibimo stiprio vertės

ITSTS bandinio apdaila	Sukibimo stipris, MPa
Akrilinis tinkas	0,08
Silikatinis-silikoninis tinkas	0,08
Cementinis tinkas	0,10
Silikoninis tinkas	0,10

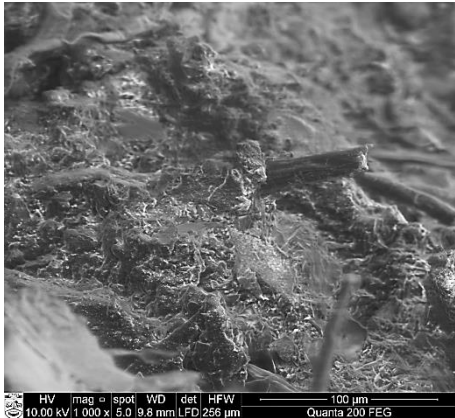
3.2. UV spinduliuotės poveikio ITSTS ilgaamžiškumui eksperimentinis tyrimas

Tyrimas atliktas pagal 2.4 pav. nurodytą schemą, bandinius nepertraukiamai švitinant UV spinduliuote 456 valandas (19 dienų), imituojant vienerių metų Saulės UV spinduliuotės natūrinį poveikį. Po kiekvieno 19 dienų ciklo bandiniai vizualiai įvertinti, nustatytas paveiktų bandinių vandens įgėris. Po 1, 5 ir 9 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio atlikta tinko paviršiaus mikroskopinė analizė. Po 5 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio atlikta tinko rentgeno difrakcinė analizė. Gauti rezultatai sulyginami su nesendintų bandinių charakteristikomis.

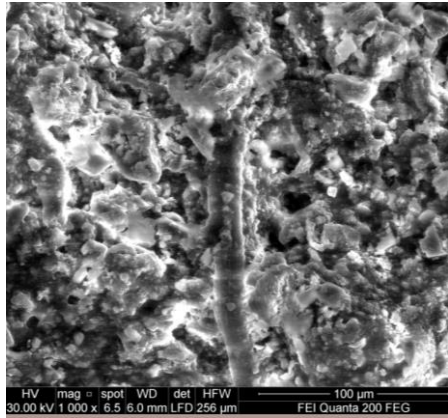
3.2.1. Tinko paviršiaus vizualinis ir mikroskopinis įvertinimas

Po 9 UV spinduliuotės poveikio ciklą (atitinka 9 natūrinius metus), bandinių tinko spalva nepakito, tinkas neatsiskyrė nuo armuotojo sluoksnio, nesutrūkinėjo. Tai reiškia, kad UV spinduliuotė nesuardė tinko struktūros tiek, kad sukeltų

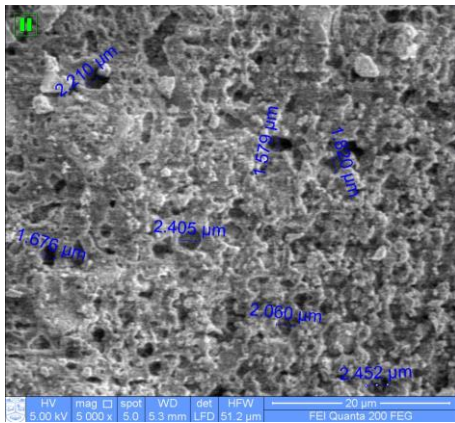
matomus paviršiaus defektus. Tačiau 3.6 paveiksle pateiktų nesendintų ir po vienerius metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio bandinių tinkų paviršiaus SEM nuotraukų sulyginamoji analizė parodė paviršiaus struktūros pokyčius.



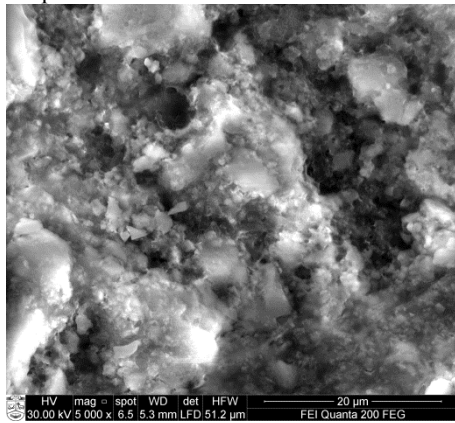
a) Akrilinio tinko paviršius prieš UV poveikį. Matoma polimerinė plėvelė ir polipropileno pluoštai



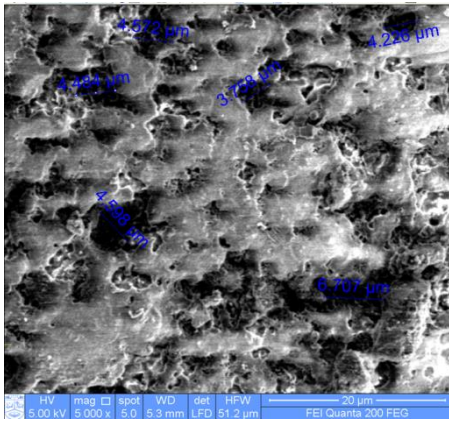
b) Akrilinio tinko paviršius po UV poveikio. Paviršiuje nėra polimerinės plėvelės, matomi polipropileno pluoštai ir porėta paviršiaus struktūra



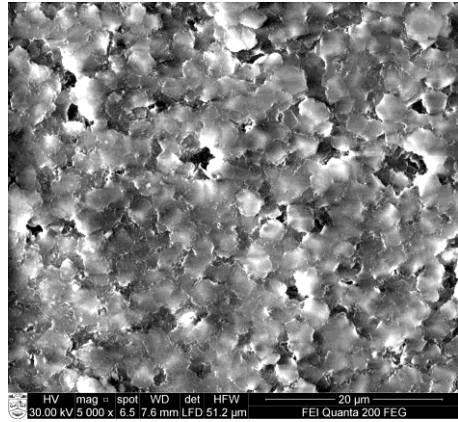
c) Silikatinio-silikoninio tinko paviršius prieš UV poveikį. Tinko paviršiuje matomos atviros poros



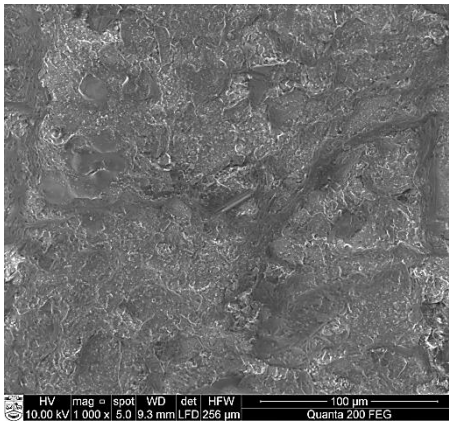
d) Silikatinio-silikoninio tinko paviršius po UV poveikio. Porų skersmuo padidėjo



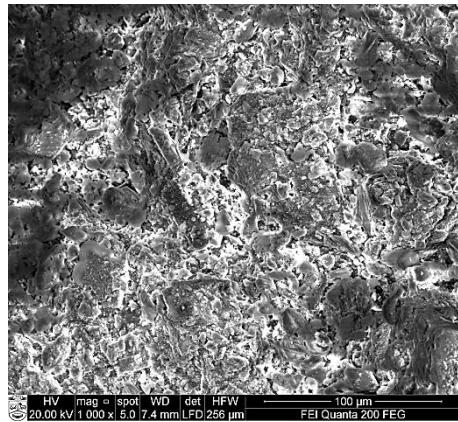
e) Cementinio tinko paviršius prieš UV poveikį. Tinko paviršiuje matomos atviros poros



f) Cementinio tinko paviršius po UV poveikio. Poringumas sumažėjęs



g) Silikoninio tinko paviršius prieš UV poveikį. Matoma tinko paviršių dengianti polimerinė plėvelė



h) Silikoninio tinko paviršius po UV poveikio. Paviršiuje nėra polimerinės plėvelės

3.6 pav. ITSTS išorinių tinkų paviršiaus SEM nuotraukos prieš ir po 1 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio

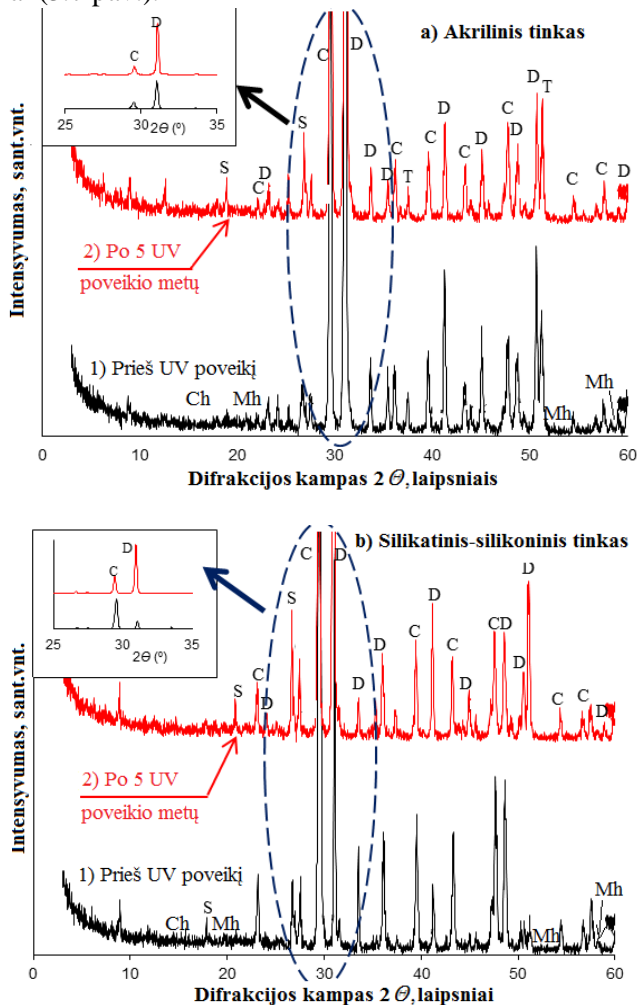
Po vienus metus atitinkančio UV spinduliuotės ciklo poveikio atliktos tinkų paviršiaus mikroskopinės analizės metu nustatyta, kad akrilinio ir silikoninio tinko paviršiuje prieš UV poveikį (3.6 pav. a ir g) buvusios polimerinės plėvelės nėra, o tinkų paviršius padengtas smulkiomis medžiagomis (3.6 pav. b ir h). Šios medžiagos uždengė dalį porų ir kapiliarų. EDS analizės metodu analizuojamame plote nustatyti šių medžiagų pagrindiniai cheminiai komponentai – kalcis, magnis, deguonis, anglis (Ca, Mg, O, C), kurie sudaro mineralus – kalcitą ir dolomitą (CaCO_3 ir $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$). Analizuojant silikatinio-silikoninio tinko paviršių nustatyta, kad prieš tai buvusi atvirų porų struktūra (3.6 pav. c) pakitusi – poringumas sumažėjo, tačiau porų skersmuo padidėjo dvigubai (3.6 pav. d). Šio tinko paviršiuje taip pat dominuoja smulkios struktūros medžiagos. Prieš UV poveikį buvusios atviros cementinio tinko porų kiekis (3.6 pav. e) sumažėjo (3.6 pav. f). Akrilinio, silikatinio-

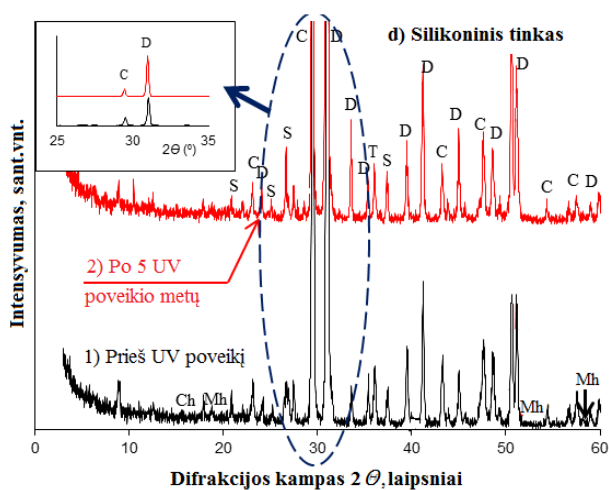
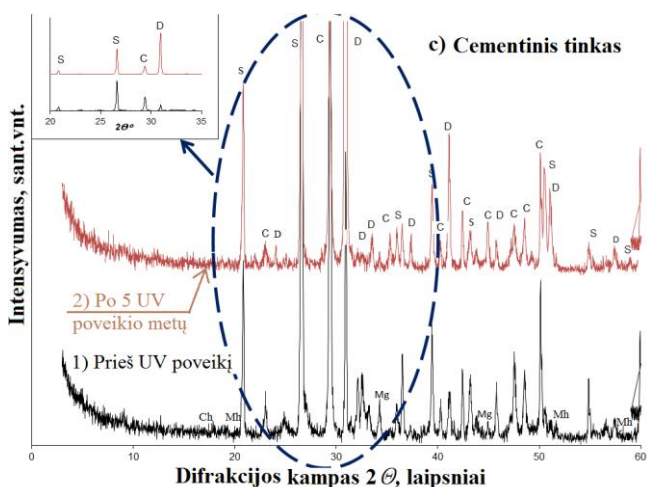
silikoninio ir silikoninio tinkų paviršiuose po UV sendinimo matomas polipropileno pluoštas (3.6 pav. b).

Po penkis ir po devynis metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio atlikta tinkų paviršiaus struktūros analizė parodė, kad išorinių tinkų paviršiuose naujų ar reikšmingų pokyčių, lyginant su analizės po vienus metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio rezultatais, nėra. Siekiant išsamiau išsiaiškinti išorinių tinkų paviršiuje įvykusius pokyčius, atlikta tinkų rentgenodifrakcinė analizė.

3.2.2. Tinkų rentgenodifrakcinės ir energijos dispersijos spektroskopijos analizės rezultatai

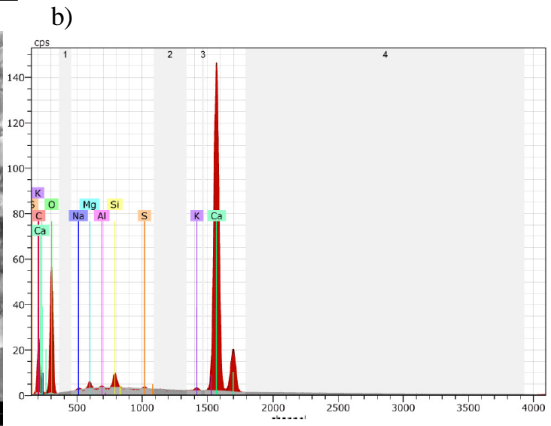
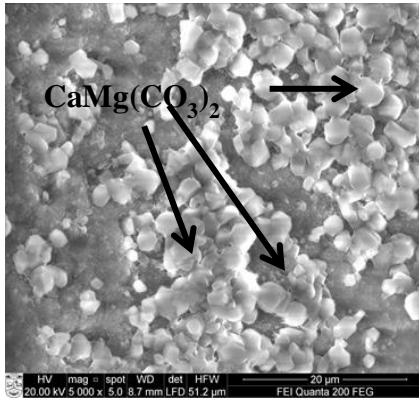
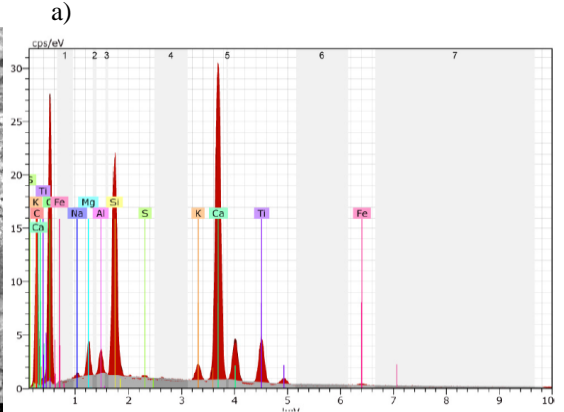
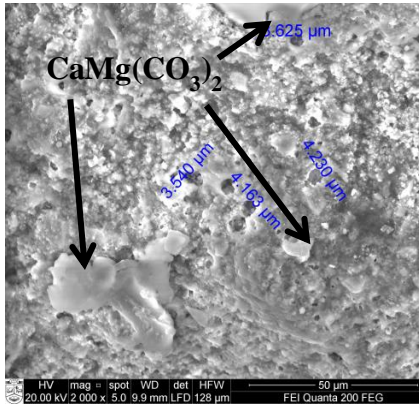
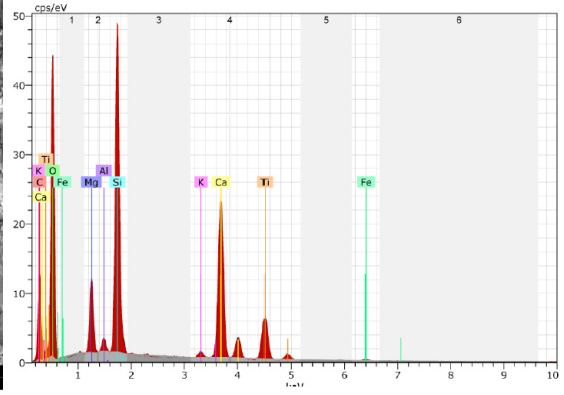
Analizuojant visų tinkų po penkis metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio rentgenogramas, tinkų paviršiaus mineralinėje sudėtyje neaptikti naujai susidarę junginiai (3.7 pav.).



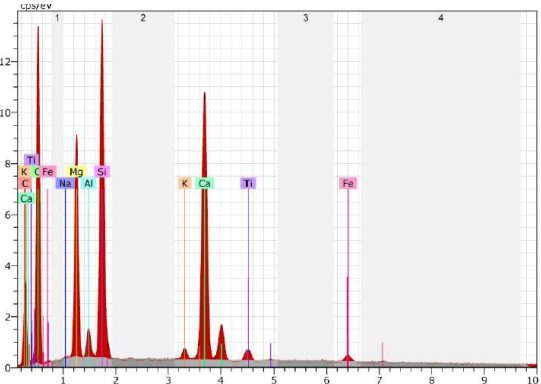
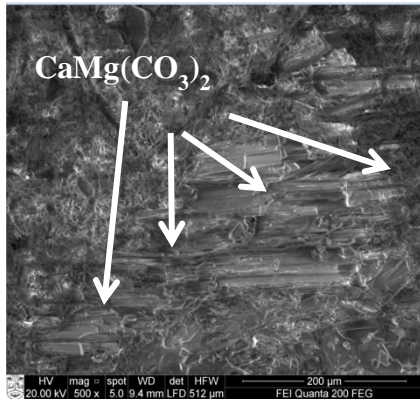


3.7 pav. Išorinių tinkų prieš ir po 5 metų atitinkančio UV spinduliuotės poveikio rentgenogramos. S: SiO₂ (kvarcas); C: CaCO₃ (kalcitas); D: CaMg(CO₃)₂ (dolomitas), T: TiO₂ (titano oksidas); Mh: Mg(OH)₂ (magnio hidroksidas); Ch: Ca(OH)₂ (kalcio hidroksidas); Mg: MgCO₃ (magnezitas)

Po 5 metų atitinkančio UV spinduliuotės poveikio atliktose visų tinkų rentgenogramose matomas CaMg(CO₃)₂ (dolomito) pagrindinių smalių padidėjimas ($d = 0,288 \text{ nm}; 0,240 \text{ nm}; 0,219 \text{ nm}; 0,179 \text{ nm}$) (3.7 pav. 2) kreivės.). Tai reiškia, kad tinkuose vyksta karbonizacija, tą patvirtina sumažėję kalcio ir magnio hidroksidams būdingos smailės. Šie hidroksidai reagavo su atmosferoje esančių CO₂ ir perėjo į dolomitą CaMg(CO₃)₂. Vadinasi, visuose tinkuose karbonizacija pakeitė išorinio tinko struktūrą, paviršiuje aptikti šio proceso padariniai – stambesni ir aiškesni karbonatų klasės kristalai. Tą patvirtina tinkų paviršiaus SEM nuotraukos po 5 metų atitinkančių UV spinduliuotės ciklų (3.8 pav.).



c)



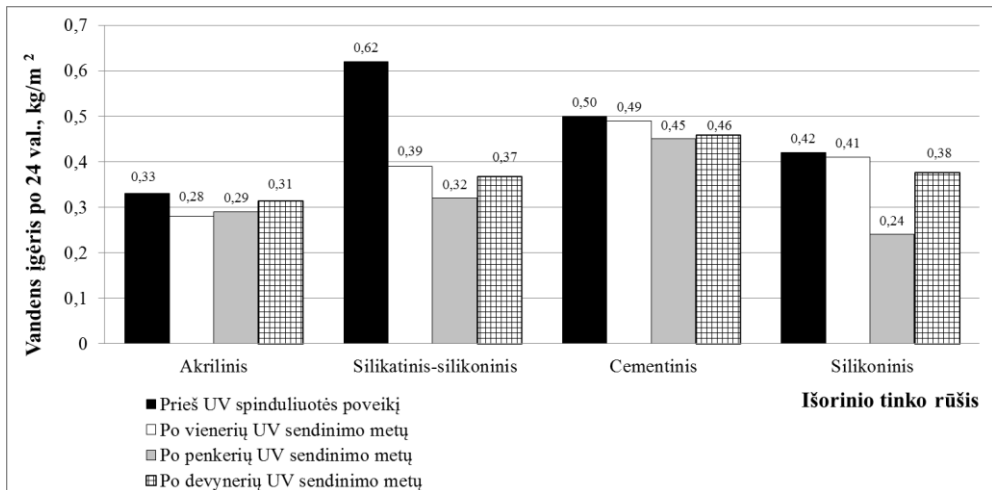
d)

3.8 pav. SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: po 5 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio išorinių tinkų paviršiuose dominuoja dolomito kristalai: a) akrilinis tinkas; b) silikatinis-silikoninis tinkas; c) cementinis tinkas; d) silikoninis tinkas

Karbonizacijos metu susidarę karbonatų klasės kristalai uždengė dalį smulkių porų ir kapiliarų, todėl keitėsi ir tinko paviršiaus galimybės įgerti vandenį. Sendintų ITSTS bandinių vandens įgėrio pokyčiai ir jų priežastys analizuojami sekančiame poskyryje.

3.2.3. ITSTS bandinių vandens įgėrio analizė

Po 1 metus atitinkančio UV spinduliuotės ciklo nustatytas bandinių su silikatinium-silikoniniu tinku vandens įgėris sumažėjo perpus, lyginant su nesendintų ITSTS bandinių vandens įgėriu. Po 5 ir 9 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio nustatytas nežymus šio tinko bandinių vandens įgėris sumažėjimas (3.9 pav.).



3.9 pav. Prieš ir po UV poveikį nustatytas ITSTS bandinių vandens įgėris

Rentgeno difrakcinės analizės metu nustatyta, kad karbonizacijos metu susidarę kalcito (CaCO_3) kristalai sutankino medžiagos struktūrą, sumažino atvirąjį tinko porėtumą (3.8 pav. b) jau po pirmojo UV spinduliuotės poveikio ciklo. Todėl vėlesnis UV spinduliuotės sendinimas neturėjo reikšmingo poveikio ITSTS bandinių vandens įgėriui.

Akriliniu ir silikoniniu tinku padengtus ITSTS bandinius pradinio vandens įgėrio nustatymo metu nuo karbonizacijos saugojo polimerinė plėvelė (3.6 pav. a ir g), todėl jų pradinio ir po 1 metų UV sendinimo nustatytų vandens įgėrio verčių skirtumas nedidelis. Plėvelė buvo ardoma palaipsniui, o po 5 metus atitinkančio UV sendinimo visiškai suardyta, tačiau paviršių padengę dolomito kristalai (3.8 pav. a ir d). Akriliniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėris ilgiau išliko mažesnis už silikoniniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėrį, nes jame panaudota daugiau UV spinduliams atsparesnės stireno-akrilo rišamosios dervos, suformuojančios mažiau vandeniui laidžią plėvelę. Tačiau šią plėvelę palaipsniui ardo UV spinduliuotė, todėl po 5 metus atitinkančio UV sendinimo akrilinio tinko bandinių vandens įgėris truputį padidėja.

Cementiniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėrio rezultatai parodė, kad sendinant bandinius vandens įgėris nežymiai mažėja. Be to, išanalizavus šio UV spinduliuote nepaveikto tinko rentgenogramas, aptikta magnezito (MgCO_3) kristalų, kurie galėjo susidaryti kietėjant kalkėms. Vėliau, po 5 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio atlikus rentgenodifrakcinę analizę nustatyta, kad šių kristalų neliko. Šie kristalai galėjo būti išplauti nustatant vandens įgėrį, todėl tinko paviršiuje aptinkama daugiau dolomito kristalų (3.8 pav. c).

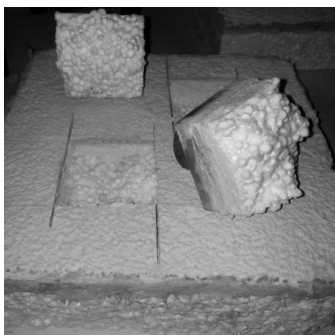
UV sendinimo tyrimai parodė, kad ITSTS bandinių su visų rūšių tinkais vandens įgėris po UV spinduliuotės poveikio ne didesnis už pradinio vandens įgėrio vertes. Nors UV spinduliuotė suardo akrilinio, silikatinio-silikoninio ir silikoninio tinkų rišamųjų medžiagų polimerines grandis ir paviršius dengiančias polimerines plėveles, tuo pat metu vykstančio karbonizacijos proceso metu susidarantys karbonatų klasės mineralai uždengia dalį atsivėrusių porų ir taip sustabdo tinkų vandens įgėrio padidėjimą.

3.2.4. ITSTS bandinių mechaninio stiprumo analizė

Nustatytas ITSTS bandinių po 9 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio sukibimo stipris (3.2 lentelė). Kaip ir pradinio sukibimo stiprio matavimo metu, atitrūko termoizoliacinė medžiaga (3.10 pav.), todėl daroma išvada, kad UV poveikis neturi reikšmingos įtakos ITSTS bandinių mechaninėms savybėms.

3.2 lentelė. ITSTS sukibimo stiprio vertės

ITSTS bandinių danga	Sukibimo stipris prieš UV poveikį, MPa	Sukibimo stipris po 9 UV poveikio metų, MPa
Akriliniu	0,080	0,075
Silikatiniu-silikoniniu	0,080	0,077
Cementiniu	0,100	0,090
Silikoniniu	0,100	0,088



3.10 pav. ITSTS bandinių po 9 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio trūkimo zona išlieka termoizoliacinės medžiagos sluoksnyje

3.2.5. UV spinduliuotės poveikio ITSTS apibendrinimas

Akrilinio ir silikoninio tinko paviršiuje kietėjimo metu susidariusi ištisinė polimerinė plėvelė pristabdo vandens patekimą į medžiagą ir sulėtina karbonizacijos procesą. Silikatinio-silikoninio tinko paviršiuje ištisinė polimerinė plėvelė nesusidaro, nes panaudotos kitos rišamosios medžiagos t.y. stireno-akrilo vandenininės dispersijos ir kalio natrio silikato mišinys. Tokia rišamosios medžiagos sudėtis lėmė, kad silikatinio-silikoninio tinko paviršiuje susiformuoja atviras poringumas. Vanduo užpildo ne tik poras ir kapiliarus, bet ir intensyviai dalyvauja hidratacijos reakcijoje. Todėl šio tinko pradinis vandens įgėris didžiausias. Cementinio tinko paviršiuje pradiniam etape susiformuoja atvirai porėta struktūra, nes panaudota kita rišamoji medžiaga – cemento-kalkių mišinys. Tyrimo eigoje, po dirbtinio UV spinduliuotės poveikio ir vandens įgėrio nustatymo, išryškėja dolomito kristalai, kurie dengia dalį atvirų porų. Todėl tik pradiniam etape cementinio tinko vandens įgėris didžiausias.

Akrilinio ir silikoninio tinkų plėvelė suardoma per pirmuosius UV spinduliuotės poveikio metus. Tačiau ITSTS bandinių vandens įgėris reikšmingai nedidėja, nes tinkų paviršiuose karbonizacijos metu susidarę karbonatų klasės kristalai sutankina išorinių tinkų paviršių, todėl sumažėja atviras poringumas.

Visų tyrime analizuojamų išorinių tinkų vandens įgėrio sumažėjimas, lyginant su pradiniu vandens įgėriu, paaiškinamas tuo, kad atliekant pradinio vandens įgėrio bandymą, dalis su užpildais patekusių priemaišų galėjo būti išplauti. Silikatinio-silikoninio ir cementinio išorinio tinko kapiliarų skersmuo padidėjo, bet tuo pačiu kapiliarais įsiurbiamo vandens kiekis sumažėjo. Tačiau karbonizacijos metu susidarę kalcito kristalai bei, kaip užpildai tinke panaudoti dolomito, kalcito ir kvarco mineralai, yra stabilūs ir patvarūs, netirpūs vandenyje, todėl vanduo jų neišplauna iš tinko.

Akrilinio tinko vandens įgėris tiek pradinio, tiek po 9 metus atitinkančio UV spinduliuotės poveikio yra mažesnis negu kitų tinkų, tačiau jis didėja. Tai rodo, kad per pirmuosius dirbtinius UV spinduliuotės poveikio metus suardoma tik paviršiuje susiformavusi polimerinė plėvelė, o vėliau palapsniui ardomos gilesniuose išorinio

tinko sluoksniuose esančios polimerinės medžiagos, tačiau tai neturi reikšmingos įtakos tinkų savybėms.

Įvertinus UV spinduliuotės poveikį sistemų paviršiaus struktūrai ir tinke pradiniu eksploatacijos laikotarpiu vykstantiems procesams, nutarta rekomenduoti taikyti vienus metus atitinkantį UV poveikį sistemoms su organinėmis rišamosiomis medžiagomis ir priedais. Po tokio sendinimo ciklo nustatytos tinko charakteristikos, naudojamos visos sistemos drėgminiam būviui prognozuoti, labiausiai atitiks realių pastatų apšiltinimo sistemų tinko eksploatacines savybes. Įtraukti UV spinduliuotės poveikį į ilgalaikius sendinimo bandymus netikslinga, kadangi tyrimais įrodyta, kad polimerų įtaka tinko paviršiaus struktūrai ir savybėms išnyksta po pirmųjų eksploatacijos metų.

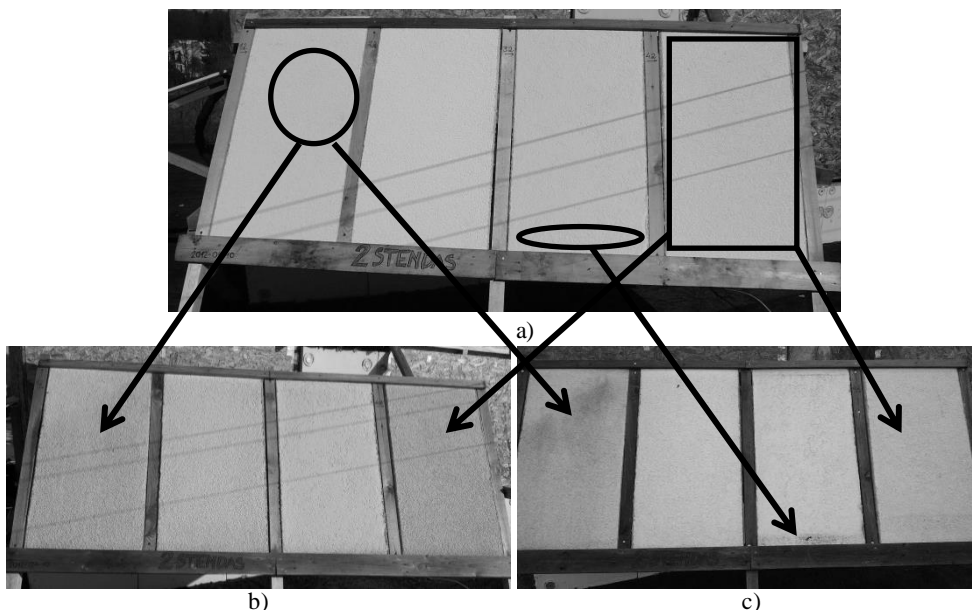
3.3. Dirbtinis ir natūrinis sendinimas

Ištyrus UV spinduliuotės poveikį, toliau ITSTS ilgaamžiškumas buvo tiriamas taikant drėgmės, šalčio ir kaitinimo poveikius. Vienerių metų dirbtinis poveikis atkuriamas per 17 kompleksinių sendinimo ciklų, kurie trunka 17 parų. Šiam dirbtinio sendinimo etapui suformuoti nauji $200\text{ mm}^2 \times 200\text{ mm}^2$ dydžio ITSTS bandiniai. Po 17 ir 34 dirbtinio sendinimo ciklų ir po vienerių ir dviejų natūrinio sendinimo metų nustatyti bandinių pokyčiai taikant 2.7 skyriuje aprašytus įvertinimo būdus, išskyrus rentgeno difrakcinę analizę: po 5 dirbtinio UV spinduliuotės poveikio ITSTS bandinių išorinių tinkų mineralinė sudėtis nepasikeitė, naujadarai nesusidarė. Be to, nėra galimybės identifikuoti polimerines medžiagas. ITSTS bandinių paviršiuje dirbtinio ir natūrinio poveikio metu išoriniame paviršiuje vyks tie patys procesai – hidratacija ir karbonizacija, todėl ir natūrinio sendinimo metu nesitikima gauti naujų medžiagų.

Gauti tyrimo rezultatai sulyginami tarpusavyje (po dirbtinio ir natūrinio sendinimo), taip nustatant dirbtinio sendinimo metodo atitiktį natūriniais poveikiams.

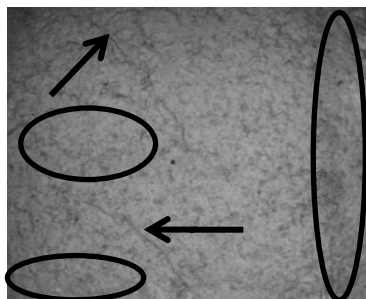
3.3.1. Tinko paviršiaus vizualinis ir mikroskopinis įvertinimas

Po 1 ir 2 metus atitinkančių dirbtinio sendinimo ciklų sekų, išorinių tinkų paviršių pokyčių nenustatyta: visų bandinių paviršius panašus kaip ir prieš sendinimą. Tačiau jau po vienerių natūrinio sendinimo metų aptikti pokyčiai: spalvos kaita (pablukimas ir papilkėjimas), vietomis aptiktas dėmėtumas ir mikroįtrūkimai (3.11 pav.).



3.11 pav. Tinko paviršiaus pokyčiai a) prieš sendinimą; b) po vienerių, c) po dviejų natūrinio metų sendinimo

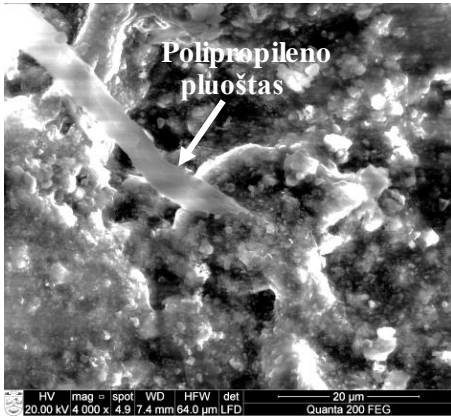
Šie pokyčiai galėjo atsirasti dėl užteršto oro, CO_2 ir rūgštaus lietaus poveikio. Akriliniu ir silikoniniu tinku dengtų ITSTS bandinių paviršius užterštas labiausiai. To būtų galima išvengti panaudojant specialius nešvarumus atstumiančius priedus ir biocidus, apsaugojančius nuo dumblių ir pelėsio augimo (Wangler ir kt., 2012, Styszko ir kt., 2014). Dar vienas pokytis po vienerių metų sendinimo pastebėtas tik silikatiniu-silikoniniu tinku dengtų bandinių paviršiuje – įtrūkiai. Po dviejų metų sendinimo šie įtrūkiai atsirado ir cementiniu tinku dengtų ITSTS bandinių paviršiuje. Šių pažaidų tinkų paviršiuje atsiradimo priežastis - Pietų kryptimi orientuoti bandiniai neatlaikė temperatūros sukeltų poveikių, šių bandinių išoriniams tinkams panaudotos rišamosios medžiagos neužtikrino elastingumo ir deformatyvumo. Be to, ant cementiniu tinku padengtų bandinių išorinio paviršiaus pastebėti dumbliai ir pelėsiai (3.12 pav.).



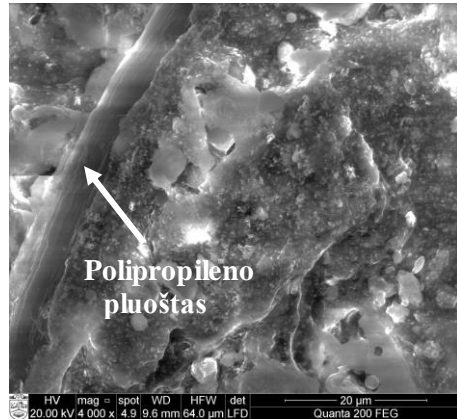
3.12 pav. Cementinio tinko paviršius po dviejų natūrinio sendinimo metų: rodyklės rodo įtrūkimo vietas, apibrėžtos vietos – dumbliaus ir pelėsiaus

Siekiant išsiaiškinti tinkų struktūros pokyčius ir jų skirtumus po dirbtinio ir po natūrinio sendinimo, atlikta mikroskopinė tinkų analizė.

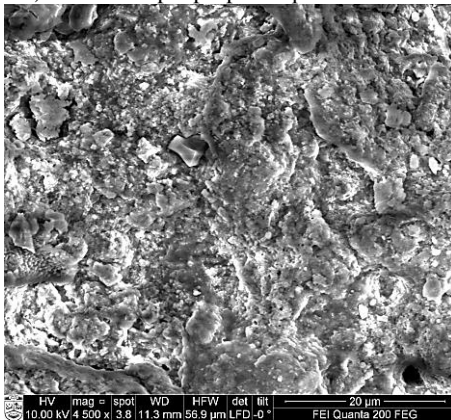
Ant akriliniu tinku padengtų bandinių paviršiaus kaip po dirbtinio, taip ir po natūrinio sendinimo, polimerinė plėvelė nebeaptikta (3.13 pav.)



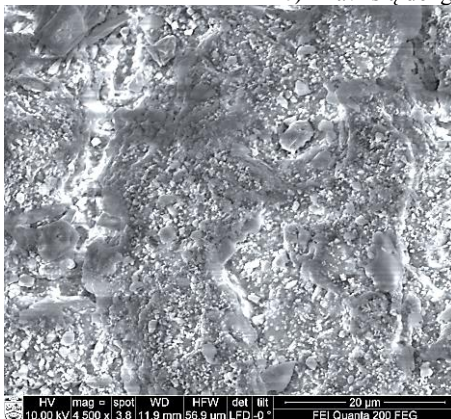
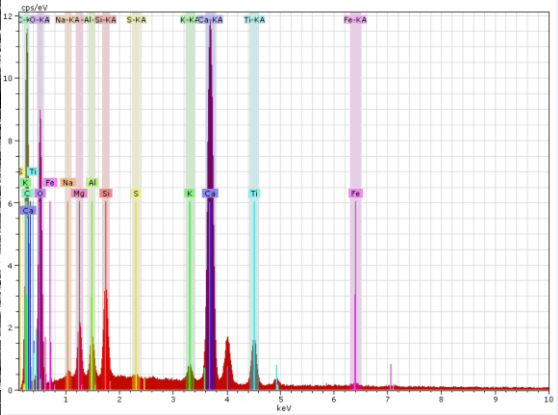
a) Matomas polipropileno pluoštas



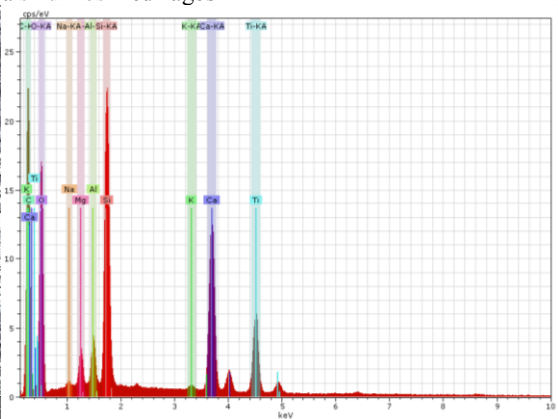
b) Matomas polipropileno pluoštas



c) Paviršių dengia smulkios medžiagos



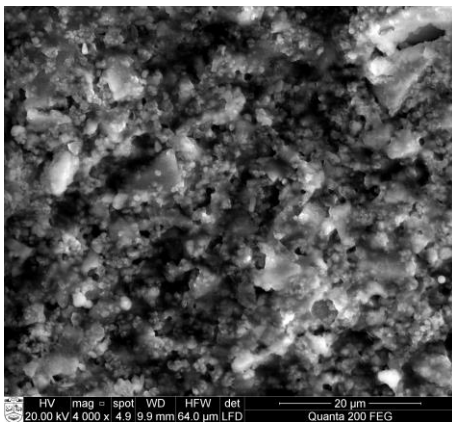
d) Paviršių dengia smulkios medžiagos



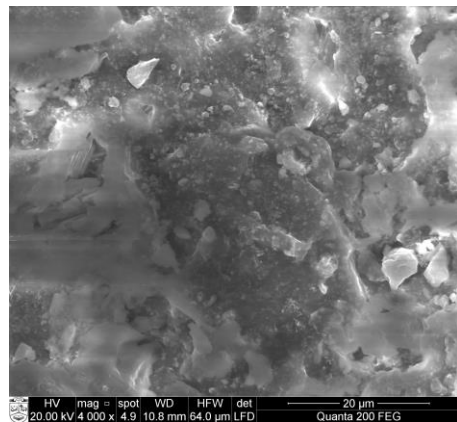
3.13 pav. Akriliniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos ir EDS ploth analizė: (a) - po vienerių metų atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b) - po vienerių metų natūrinio sendinimo; (c) po du metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (d) - po dviejų metų natūrinio sendinimo

Po vienerius ir dvejus metus atitinkančių dirbtinio sendinimo bei po dviejų metų natūrinio sendinimo akriliniu tinku dengtų bandinių paviršių pokyčiai panašūs. Visais atvejais tinkų paviršiuje kietėjimo metu susiformavusios polimerinės plėvelės nepastebėta, paviršiuje aiškiai matomos smulkios medžiagos. Po vienerių dirbtinio ir natūrinio sendinimo metų rentgeno spindulių energijos dispersijos spektrometru nustatyta, kad išorinio tinko paviršiuje pagrindinės dominuojančios cheminius elementus yra Ca, C, O, Mg, Ti: tai gali būti kalcito, dolomito ir balto pigmento sudėtinės dalys. Mažiau aptikta Na, Al, Si: tai kvarco ir kitų priedų cheminiai komponentai. Visose SEM nuotraukose matomas išlikęs polipropileno pluoštas (3.13 pav. a ir b). Po du metus atitinkančio dirbtinio ir dviejų metų natūrinio sendinimo (3.13 pav. c ir d) bandinių paviršiuje matomos smulkesnės medžiagos, negu po vienerių metų (3.13 pav. a ir b). Suirus polimerinei plėvelei, tinkas prarado savo hidrofobinę apsauginę funkciją, o, esant šalčio poveikiui, buvo ardoma išorinė danga. Tiek po vienerius metus atitinkančio dirbtinio, tiek po vienerių metų natūrinio sendinimo suirimo laipsnis mažesnis kaip po dviejų metų sendinimo.

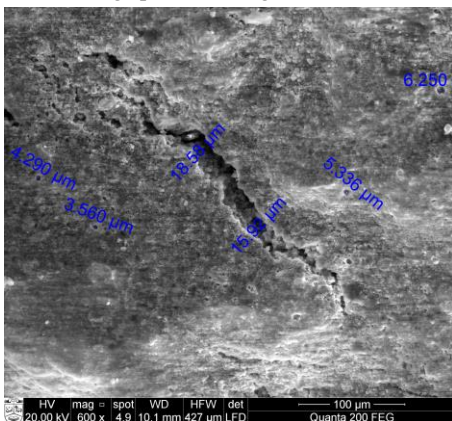
Analizuojant silikatiniumi-silikoniniu tinku padengtų ITSTS bandinių paviršiaus pokyčius po dirbtinio ir po natūrinio sendinimo, užfiksuoti kiti pokyčiai (3.14 pav.).



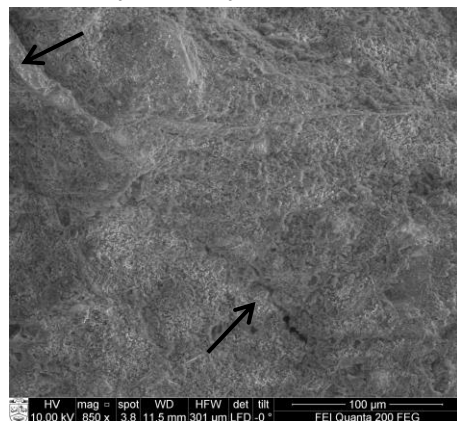
a) Poringą paviršių dengia kristalai



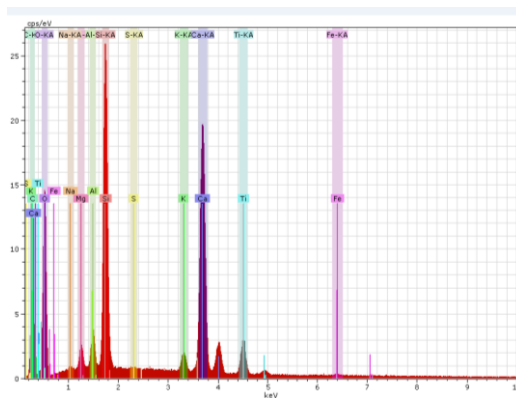
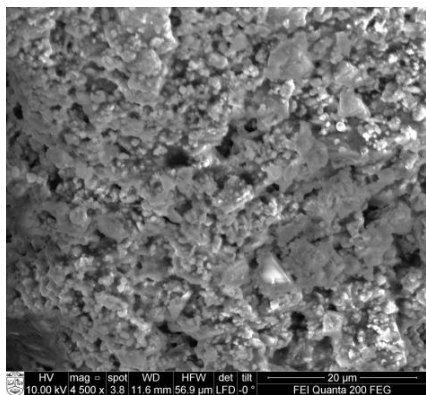
b) Paviršiuje dominuoja kristalai



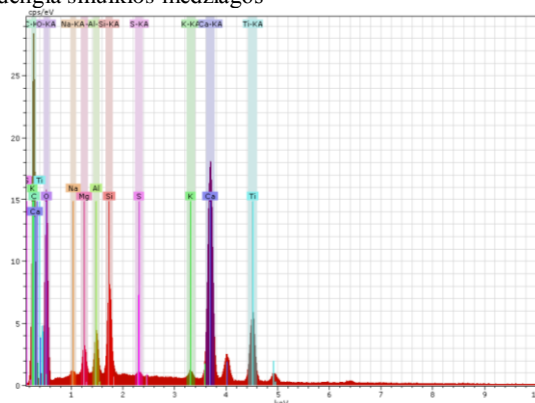
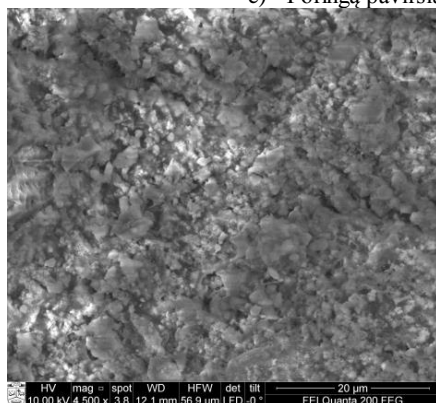
c) Užfiksuoti mikroįtrūkimai



d) Rodyklėmis pažymėti mikroįtrūkimai



e) Poringą paviršių dengia smulkios medžiagos

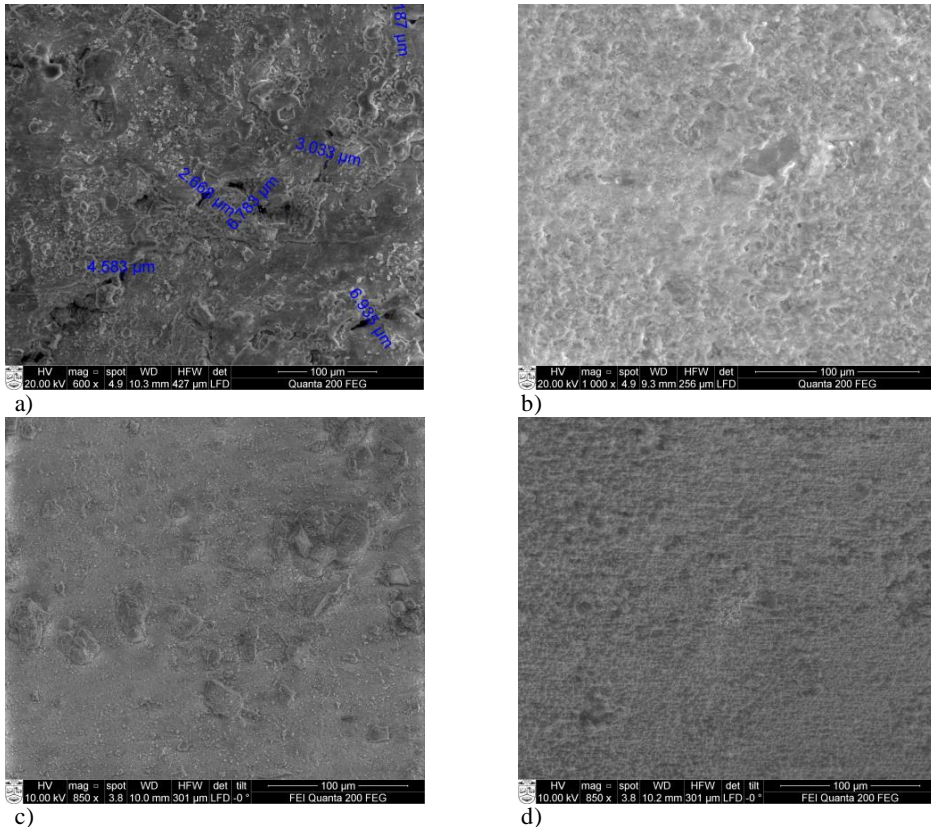


f) Paviršiuje dominuoja smulkios medžiagos

3.14 pav. Silikatinio-silikoniniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: (a, c) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b, d) - po vienerių metų natūrinio sendinimo; (e) - po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (f) - po dviejų metų natūrinių sendinimo.

Nesendintų tinkų mikrostruktūrinės analizės metu išorinio silikatinio-silikoninio tinko paviršiuje nustatytas atviras poringumas, o porų skersmuo - apie 1,0-2,5 μm (3.14 pav. b). Tai įtakojo ITSTS pradinę vandens įgėrio vertę. Po vienerius metus atitinkančio dirbtinio ir vienerių metų natūrinio sendinimo padarytose SEM nuotraukose matomas sumažėjęs tinko paviršiaus porėtumas: dalį porų uždengia kristalai (3.14 pav. a ir b). Tiek po dvejus metus atitinkančio dirbtinio, tiek po dviejų metų natūrinio sendinimo, nustatytas toks pat paviršiaus pobūdis (3.14 pav. e ir f). EDS analizė parodė, kad nagrinėjamame plote daugiausiai aptikta Si, Ca, C, O, Mg, Ti cheminių elementų, kurie sudaro silikatinės ir karbonatinės kilmės medžiagas. Vizualinio įvertinimo metu nustatyta, kad silikatinio-silikoniniu tinku padengtų bandinių paviršiuje po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo įtrūkimų nėra, tačiau mikrolgyje jie pastebimi (3.14 pav. c), kaip ir po vienerių natūrinių sendinimo metų (3.14 pav. d). Plyšių plotis - nuo 10 μm iki 20 μm. Ir po dirbtinio, ir po natūrinio sendinimo pastebėtas nesuiręs polipropileno pluoštas.

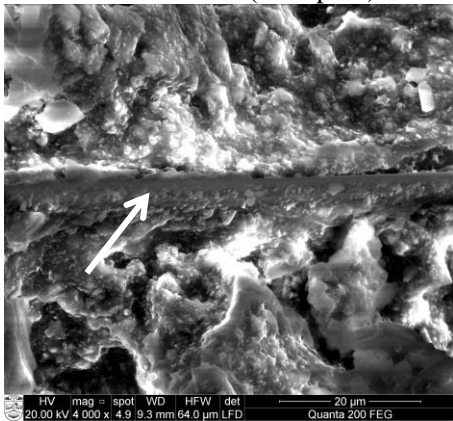
Bandinių su cementinio tinko danga tinko mišinys, skirtingai nei kitų tinkų atveju, buvo gaminamas iš sauso cemento, kalkių, užpildų bei priedų mišinio, sumaišant jį su vandeniu. Sumaišius cementą su vandeniu, vyksta hidratacijos ir kietėjimo procesai, kuriems pasibaigus susidaro cementinis akmuo, o tinko paviršiuje susiformavo smulkios atviros poros, kurių skersmuo - apie 3,7-6,7 μm (3.1 pav. c). Analizuojant paviršių struktūrą po dirbtinio ir natūrinio sendinimo, matomas pakitęs paviršiaus porėtumas (3.15 pav.).



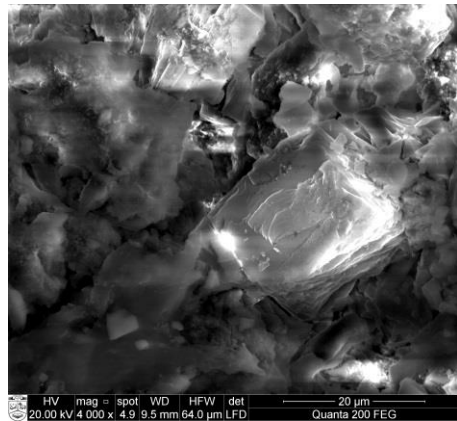
3.15 pav. Cementiniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos: (a) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b) - po vienerių metų natūrinio sendinimo; (c) - po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (d) po dviejų metų natūrinio sendinimo.

Paviršiuje matomos mažesnio skersmens poros, jų skersmuo - nuo 2,6 μm iki 6,9 μm (3.15 pav. a). Išorinio tinko paviršiuje pastebėti karbonizacijos padariniai: prieš sendinimą aptikta kalcio ir magnio hidroksidų ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ ir $\text{Mg}(\text{OH})_2$), kurie, reaguodami su atmosferiniu anglies dioksidu (CO_2), sudarė kalcito ir magnezito kristalus (CaCO_3 ir MgCO_3). Šie uždengė dalį porų ir sumažino tinko atvirąjį poringumą. Šios reakcijos padariniai dar labiau matomi po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo ir dviejų natūrinio sendinimo metų (3.15 pav. c ir d). Tinko paviršiuje dominuoja karbonatinės kilmės medžiagos (EDS analizės metu nustatyta, kad paviršiaus plote pagrindiniai dominuojantys cheminiai komponentai yra Ca, Mg, O, C medžiagos – dolomito ir kalcito sudedamosios dalys).

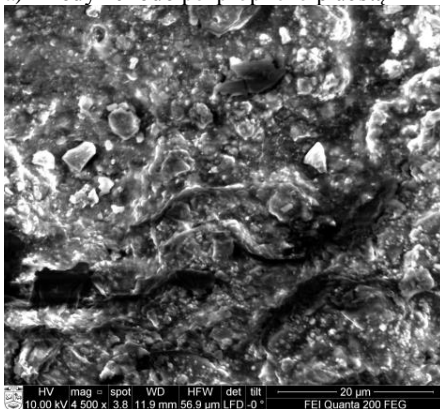
Toliau analizuojami silikoninio tinko paviršiaus pokyčiai po dirbtinio ir natūrinio sendinimo (3.16 pav.).



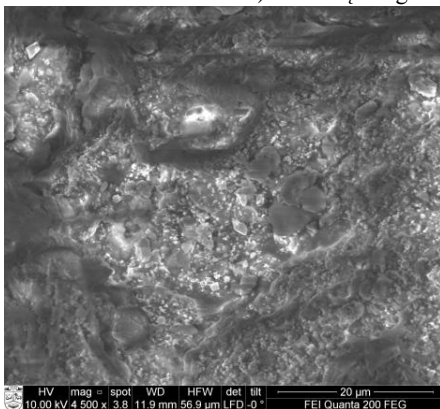
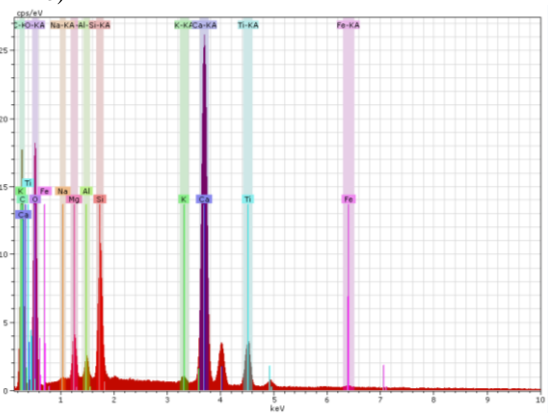
a) Rodyklė rodo polipropileno pluoštą



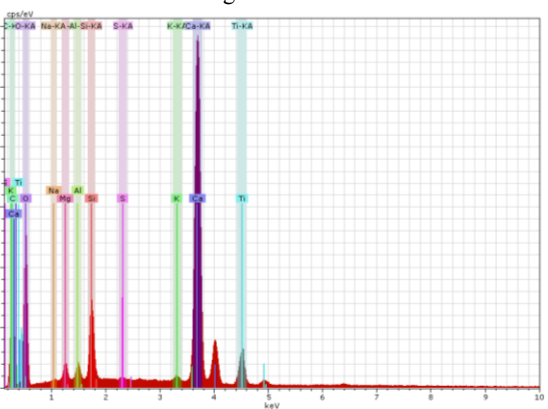
b)



c) Paviršių dengia smulkios struktūros medžiaga



d) Paviršių dengia smulkios struktūros medžiaga



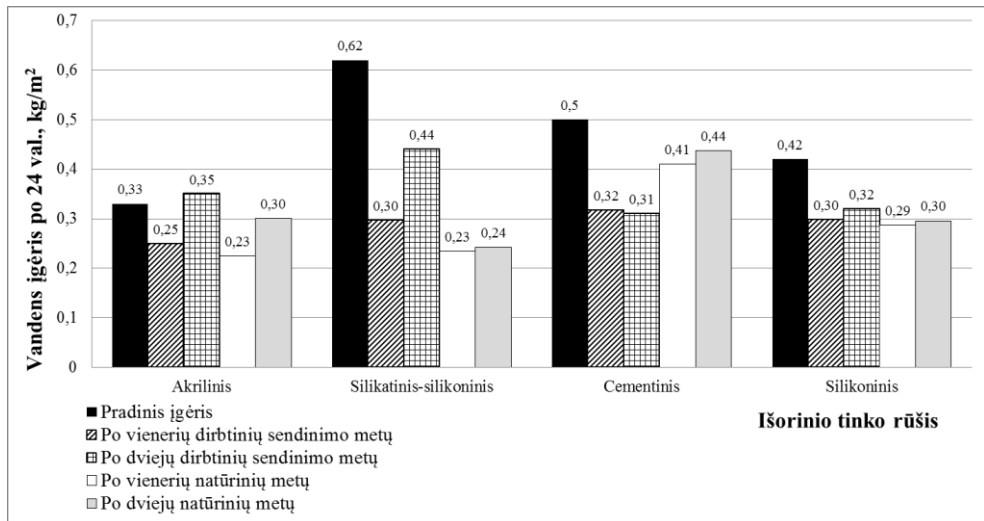
3.16 pav. Silikoniniu tinku padengtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos ir EDS ploto analizė: (a) - po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (b) – po vienerių natūrinio sendinimo metų; (c) - po dvejus metus atitinkančio dirbtinio sendinimo; (d) – po dvejų natūrinio sendinimo metų.

Jau po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo polimerinė plėvelė nepastebėta (3.16 pav. a). Panaši tinko paviršiaus struktūra ir po vienerių natūrinio sendinimo metų (3.16 pav. b). Paviršiuje matomi stambūs kristalai bei polipropileno pluoštas. Po dviejų metų sendinimo paviršiuje aptinkami smulkūs kristalai. EDS analizė parodė, kad pagrindiniai cheminiai elementai vyraujantys paviršiaus plote yra Ca, Si, Mg, Ti, O, C. Kaip ir cementinio tinko atveju, silikoninio tinko paviršiuje vyko karbonizacijos reakcijos, todėl padidėjo kalcito ir magnezito kiekis (3.16 pav. c).

Mikrostruktūrinės analizės rezultatai parodė, kad dirbtinis sendinimas sukelia panašius tinkų struktūros pokyčius kaip ir natūrinis sendinimas. Siekiant sulygtinti dirbtinio ir natūrinio sendinimo poveikį tinkų vandens įgėriui, po vienerius ir dvejus metus atitinkančio dirbtinio ir po vienų ir dviejų metų natūrinio sendinimo nustatyta vandens įgėrio kaita.

3.3.2. Vandens įgėrio kaitos dirbtinio ir natūrinio sendinimo eigoje analizė

Tinkų vandens įgėrio pokyčiai dirbtinio ir natūrinio sendinimo metu pateikti 3.17 paveiksle.



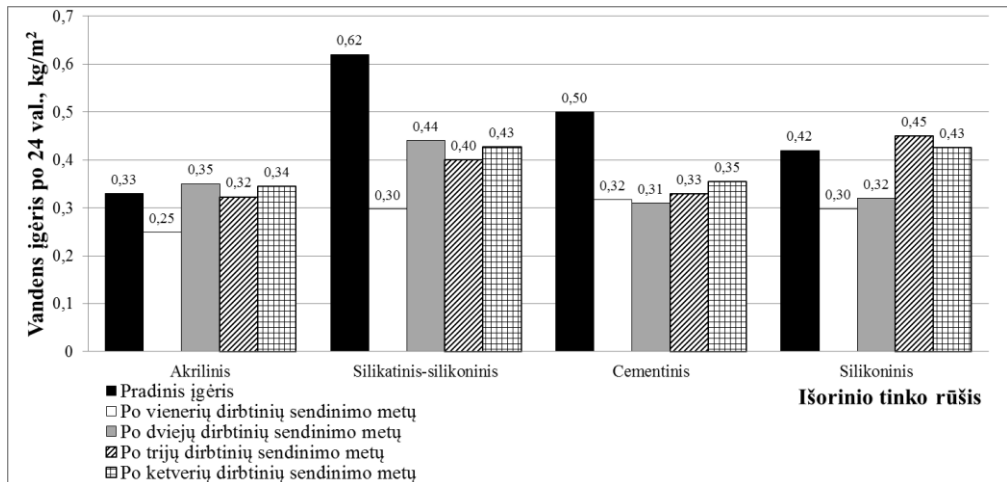
3.17 pav. Bandinių vandens įgėrio kaita

Išanalizavus vandens įgėrio vertes nustatyta, kad silikatinium-silikoniniu, cementiniu ir silikoniniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėris po vienerių bei dviejų dirbtinio ir natūrinio sendinimo metų neviršija pradinio lygio. Akriliniu tinku padengtų bandinių vandens įgėris po dviejų dirbtinio sendinimo metų 5,7 % didesnis už pradinį vandens įgėrį. Daugiausiai sumažėjo bandinių su silikatinio-silikoninio tinko danga vandens įgėris: po dirbtinio sendinimo – apie du kartus (nuo 29 % iki 52%), o po natūrinio – nuo 61 % iki 63 %.

Akriliniu, silikatinium-silikoniniu ir silikoniniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėriai po dirbtinio sendinimo didesni nei po natūrinio sendinimo. Tikėtina, kad dalis atvirų tinko paviršiaus porų buvo užkimštos natūraliais atmosferos teršalais, todėl sumažėjo vandens įgėris. Bandinių su cementinio tinko danga

vandens įgėrio vertės dirbtinio sendinimo metu kito nedaug, o po natūrinio sendinimo nustatytas didesnis vandens įgėris. Šis cementinio tinko vandens įgėrių skirtumas paaiškinamas intensyvesniu vandenyje tirpių medžiagų išplovimu lyjant lietu natūrinio sendinimo metu, lyginant su drėkinimu dirbtinio sendinimo metu.

Analizuojant bandinių vandens įgėrio vertes nustatyta, kad po vienerių ir dirbtinio, ir natūralaus sendinimo metų vandens įgėris sumažėjo lyginant su pradiniu, o po dviejų – padidėjo, lyginant su nustatytu po vienerių metų sendinimo. Todėl siekiant išsiaiškinti tolimesnę ITSTS bandinių vandens įgėrio kaitą, buvo tęsiamas dirbtinis sendinimas. Atlikti dar du pagreitinti dirbtinio sendinimo ciklai. ITSTS bandinių vandens įgėrio pokyčiai pateikti 3.18 pav.



3.18 pav. Bandinių vandens įgėrio kaita

Ištyrus akriliniu tinku padengtus ITSTS bandinius galima teigti, kad pirmuosius dirbtinio sendinimo metus atitinkantis pagreitintas sendinimas buvo reikšmingas tolimesnei vandens įgėrio kaitai. Per pirmąjį sendinimo ciklą buvo pažeista akriliniu tinku padengto bandinio paviršiaus struktūra t.y. suardyta polimerinė danga, tačiau tai nesukėlė reikšmingo vandens įgėrio pokyčio. Vėliau, po antrojo sendinimo ciklo vandens įgėrio vertės didėjo ir stabilizavosi, todėl po ketverių sendinimo ciklų nuspręsta, kad tolimesnis dirbtinis sendinimas įtakos nebeturės.

Silikatiniu-silikoniniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėrio kaitos tendencija panaši kaip ir bandinių su akriliniu tinku. Bandinių vandens įgėrio vertės po vienerių dirbtinio sendinimo metų sumažėjo, o po dviejų, trijų ir ketverių dirbtinio sendinimo metų kito nedaug (akriliniu tinku padengtų bandinių - apie 3-8 %, silikatiniu-silikoniniu – 2-9 %, mineraliniu – 6-11 %, silikoniniu – 4-29 %). Pagal gautas vandens įgėrio vertes nustatyta, kad pirmaisiais dirbtinio sendinimo metais silikatinio-silikoninio tinko paviršiuje susiformavo kalcito mineralai, kurie uždengė dalį porų ir kapiliarų. Antraisiais sendinimo metais buvo išplauta dalis tirpių ir chemiškai nesurištų komponentų, susidarė stabili paviršiaus struktūra.

Analizuojant cementiniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėrio vertes matoma, kad dirbtinis sendinimas vandens įgėrio kaitai nežymus. Pradinio vandens įgėrio nustatymo metu kalkės reagavo su vandeniu, o vėliau ir atmosferiniu CO₂ ir susidarė kalcito kristalai, kurie užkišo dalį paviršiaus porų. Tęsiant dirbtinį sendinimą, tinkas tik tvirtėjo ir nebeleido vandeniui patekti į gilesnius išorinio tinko sluoksnius. Todėl jau po vienerius metus atitinkančio dirbtinio sendinimo vandens įgėris stabilizavosi.

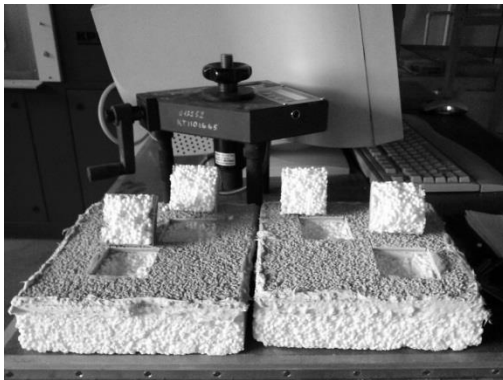
Silikoniniu tinku padengtų ITSTS bandinių vandens įgėris po sendinimo pakito mažiausiai. Analizuojant vandens įgėrio kaitą pastebėta, kad tiek po pirmuosius, tiek po antruosius metus atitinkančio pagreitinto sendinimo vandens įgėris neviršija pradinio vandens įgėrio vertės. Tik po tris metus atitinkančio dirbtinio sendinimo nustatyta vandens įgėrio vertė viršija pradinę, o po keturis metus atitinkančio sendinimo – stabilizuojasi.

Išanalizavus ITSTS bandinių vandens įgėrio kaitą nustatyta, kad visų tinkų vandens įgėris kinta, tačiau neviršija tinkamumą naudoti apribojančios 0,5 kg/m² per 24 valandas vertės (LST EN 15148:2004). Tai reiškia, kad po keturis metus atitinkančio sendinimo tinkai tinkami eksploatuoti. Tinkų vandens įgėrio verčių po dirbtinio ir natūrinio sendinimo kaita panaši, tai parodo, kad dirbtinio sendinimo metu sukurta poveikių seka atitinka natūralios aplinkos vykusių klimato poveikius.

Siekiant nustatyti, sendinimo poveikį tinkų mechaninėms savybėms, po dirbtinio ir natūrinio sendinimo nustatytas tinko sukibimo stipris.

3.3.3. Tinkų mechaninio stiprumo po dirbtinio ir natūrinio sendinimo analizė

Nustatant ITSTS sukibimo stiprį, visi bandiniai atplyšo per termoizoliacinį sluoksnį (3.19 pav.).



3.19 pav. Bandinių po dviejų dirbtinio (kairėje) ir natūrinio (dešinėje) sendinimo metu atplėšimo pobūdis

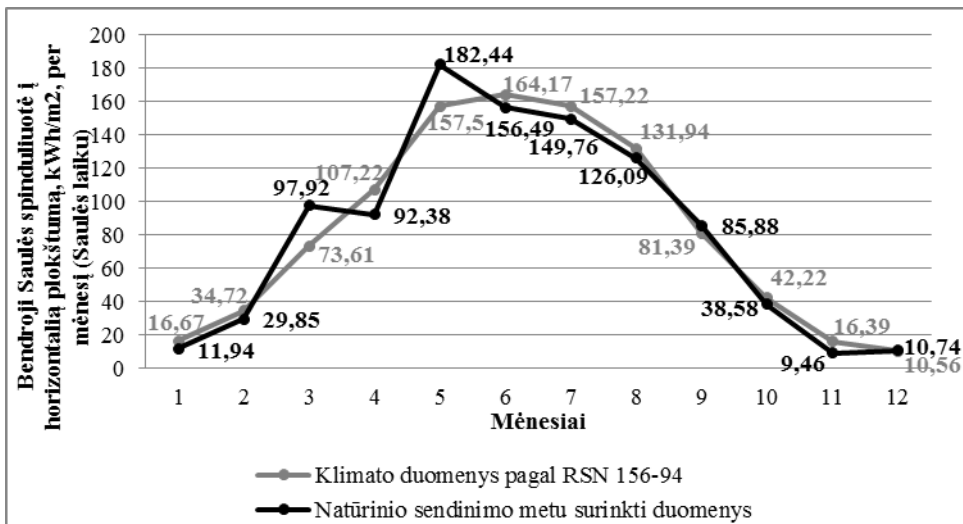
Tai reiškia, kad ir po dirbtinio ir natūralaus sendinimo, tinko sukibimo stipris išliko didesnis už polistirenio putplasčio stiprį tempiant, todėl nėra galimybių nustatyti dirbtinio ir natūralaus sendinimo poveikių išoriniam tinkui skirtumus. Pagal atplėšimo pobūdį galima teigti, kad tyrimui naudoto tinko po dirbtinio ir natūralaus sendinimo mechaninės savybės atitinka eksploatacinius reikalavimus.

3.4. Klimato duomenų, naudotų dirbtinio sendinimo poveikių ciklui sudaryti ir faktinių klimato sąlygų natūrinio sendinimo metų palyginimas

Siekiant nustatyti pagreitinto dirbtinio sendinimo modelio atitiktį natūralaus sendinimo eigai, pagal antroje šio darbo dalyje aprašytą metodiką (žr. 2.4 skyrius) palyginti natūrinio sendinimo metu surinkti klimato duomenys su RSN 156-94 pateiktais duomenimis. Natūriniai klimatiniai duomenys pradėti registruoti 2012 metų balandžio mėnesio 10 dieną. Per vienerius metus, t.y. iki 2013 metų balandžio mėnesio 10 dienos sukauptas klimatinių duomenų paketas išanalizuotas ir palygintas su teoriniu klimatinio poveikiu, kuris buvo pritaikytas dirbtiniam sendinimui (RSN 156-94). Išanalizuoti šie klimato poveikio komponentai: bendrasis Saulės spinduliuotės srauto tankis, kritulių kiekis į horizontalųjį paviršių, vėjo greitis ir kryptis, išorės oro temperatūra.

3.4.1. Saulės spinduliuotės analizė

Natūrinio sendinimo metu išmatuotas bendrasis Saulės spinduliuotės kiekis į horizontalią plokštumą. 3.20 pav. pateiktas grafinis natūrinių ir Lietuvos klimatologijos normose pateiktų bendrosios Saulės spinduliuotės kiekio į horizontalią plokštumą duomenų palyginimas.



3.20 pav. Bendrosios Saulės spinduliuotės srauto tankio į horizontalią plokštumą palyginimas

Pagal Lietuvos klimatologinius duomenis (RSN 156-94), metinis bendrosios Saulės spinduliuotės į horizontalią plokštumą kiekis yra 993611 Wh/m^2 . Natūrinio sendinimo metu išmatuotas kiekis – 972527 Wh/m^2 , skirtumas nežymus, tik 2 %.

Dirbtiniam UV spinduliuotės sendinimui taikytas metinis Saulės spinduliuotės kiekis, tenkantis nuo tiesioginės Saulės spinduliuotės kiekio į Pietų krypties vertikalųjį paviršių (3.3 lentelė).

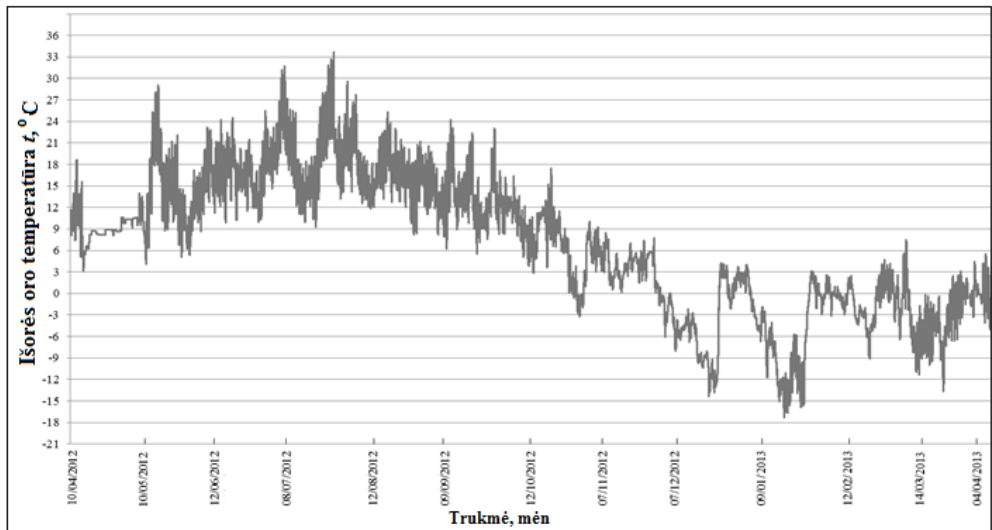
3.3 lentelė. Saulės spinduliuotės kiekis

Spinduliai	Saulės spinduliuotės kiekis Wh/m ² per metus	
	Pagal RSN 156-94 duomenis (1961-1990 m.)	Duomenys surinkti natūrinio sendinimo metu (nuo 2012-04-10 iki 2013-04-10)
Bendroji Saulės spinduliuotė horizontaliųjų paviršių	993611	972527

Dirbtinio sendinimo ciklo UV spinduliuotės kiekiui apskaičiuoti naudotas Saulės spinduliuotės kiekis artimas natūrinio sendinimo metu išmatuotam Saulės spinduliuotės kiekiui. Tai parodo, kad UV spinduliuotės poveikis ITSTS bandiniams dirbtinio sendinimo metu artimas natūraliam Saulės UV spinduliuotės poveikiui.

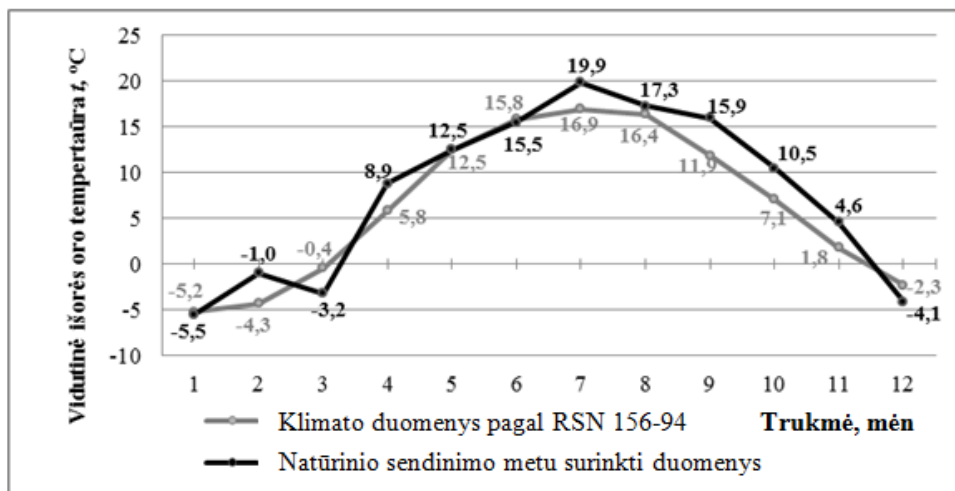
3.4.2. Išorės oro temperatūros analizė

Klimato duomenų stotelėje sukaupti metų išorės oro temperatūros duomenys pateikti 3.21 pav.



3.21 pav. Metiniai išorės oro temperatūros duomenys

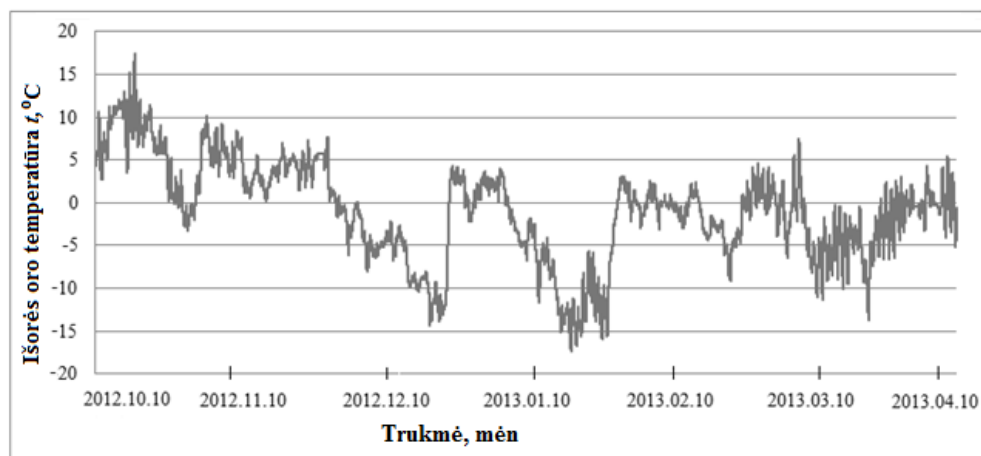
Iš natūroje sukauptų duomenų apskaičiuotos vidutinės mėnesio išorės oro temperatūros vertės ir palygintos su statybinėje klimatologijoje pateiktomis vidutinėmis mėnesio išorės oro temperatūros vertėmis (3.22 pav.).



3.22 pav. Vidutinės mėnesio išorės oro temperatūros palyginimas

Iš pateikto grafiko matyti, kad natūrinio sendinimo metu išmatuotos išorės oro temperatūros vidutinės vertės sausio mėnesį panašios į statybinėje klimatologijoje pateiktus duomenis, vasario mėnesio temperatūra 3,3 laipsnio aukštesnė, o kovo – 2,8 laipsnio žemesnė už pateiktas normose. Rudens mėnesiai nustatyti mažesni temperatūrų skirtumai. Šiltuoju metų laiku išorės oro temperatūra buvo aukštesnė už norminę.

Kadangi vienas svarbiausių ITSTS ilgaamžiškumą įtakančių klimato poveikių – neigiamų temperatūrų poveikis, todėl atskirai buvo išanalizuota šalčio metų periodo išorės oro temperatūros kaita. (3.23 pav.).



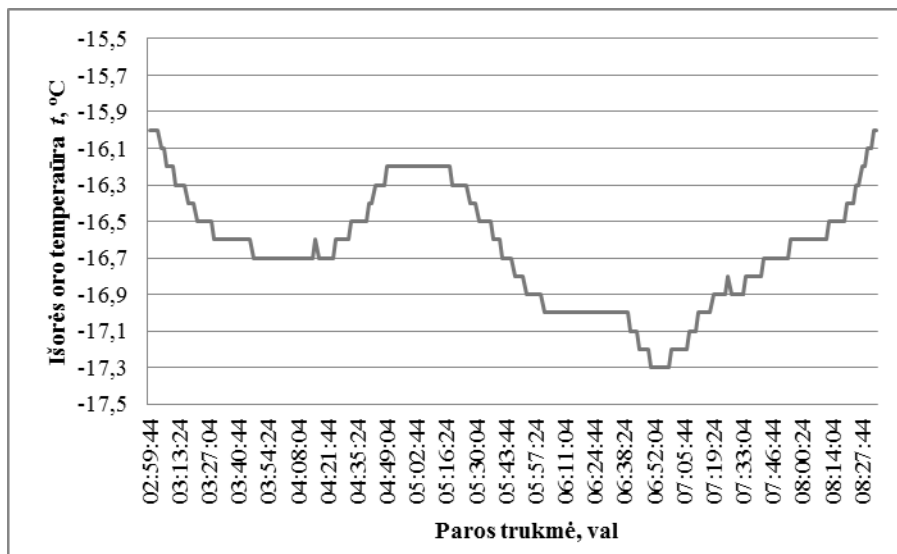
3.23 pav. 2012 m. spalio mėn. - 2013 m. balandžio mėn. išorės oro temperatūra

Iš šalčio metų laiku temperatūrų sekos apskaičiuotas šalčio pusbangių skaičius, kurio palyginimas su Lietuvos statybinės klimatologijos normose nurodytu skaičiumi pateiktas 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Šalčio pusbangių suvestinė

Šalčio pusbangės amplitudė (°C)	Šalčio pusbangių skaičius	
	Pagal RSN 156-94 duomenis (1961-1990 m.)	Duomenys surinkti natūrinio sendinimo metu (nuo 2012-04-10 iki 2013-04-10)
0...-3	24,16	24
-3...-6	7,44	9
-6...-10	4,44	1
-10...ir žemiau	5,72	3

Kaip ir sudarant dirbtinį šalčio poveikį pagreitintam sendinimui, buvo atmestos šalčio pusbangės, kurios neturi reikšmingos įtakos išoriniam ITSTS sluoksniui t.y. temperatūros nuo 0 °C iki -3 °C kaita. Eliminavus šias pusbanges gauta, kad per šaltąjį periodą užfiksuota 13 šalčio pusbangių, kurių metu išorės oro temperatūra nukrenta žemiau -3 °C. Dirbtinio sendinimo metu taikyta 17 temperatūrinio poveikio ciklą, temperatūrą žeminant iki -12 °C. Natūrinio sendinimo metu žemiausia temperatūra, išmatuota 2013 metų sausio mėnesį 21 dieną, buvo -17,3 °C. Ši temperatūra (nuo 16,0 °C iki -17,3 °C) išsilaikė 5 valandas ir 30 minučių (3.24 pav.). Dirbtinio sendinimo metu prie -12 °C temperatūros ITSTS bandiniai buvo atšaldomi ir išlaikomi penkias valandas (žr. 2 dalis 2.6.2. skyrius).

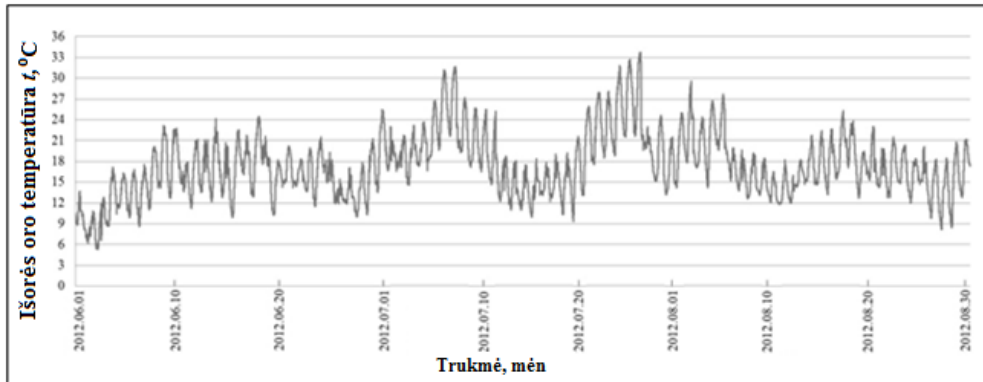


3.24 pav. 2013 metų sausio 21 dienos išorės oro temperatūros pasiskirstymas natūrinio sendinimo metu

Klimato ir natūrinių išorės oro temperatūros duomenų analizė parodė, kad dirbtinis sendinimas buvo agresyvesnis, nei nustatytas natūroje nuo 2012 metų spalio mėnesio iki 2013 metų balandžio mėnesio. Pagreitintam dirbtiniam sendinimui buvo taikyta 17 šaldymo – šildymo ciklą, o natūroje suskaičiuota tik 13 šalčio pusbangių. Dirbtinio sendinimo metu visada bandiniai buvo šaldomi iki -12

°C, o natūroje tokios temperatūros poveikį bandiniai patyrė tik 4 atvejais iš 13. Daroma išvada, kad dirbtiniam sendinimui parinkti išorės oro temperatūros parametrai ir jų pasikartojamumas sukūrė griežtesnes nei natūrinės sąlygas ir gali būti naudojamas ITSTS atsparumui šalčio poveikiui prognozuoti. Tiksliesniam poveikių suliginimui būtina atlikti ilgesnio laikotarpio išorės oro temperatūrų analizę.

Palygintos aukščiausias dirbtinio ir natūrinio sendinimo metu nustatytos išorės oro temperatūros. Išmatuota didžiausia oro temperatūra buvo liepos mėnesio 29 dieną, kuri siekė 33-33,7 °C ir truko 3 valandas ir 30 minučių. (3.25 pav.).

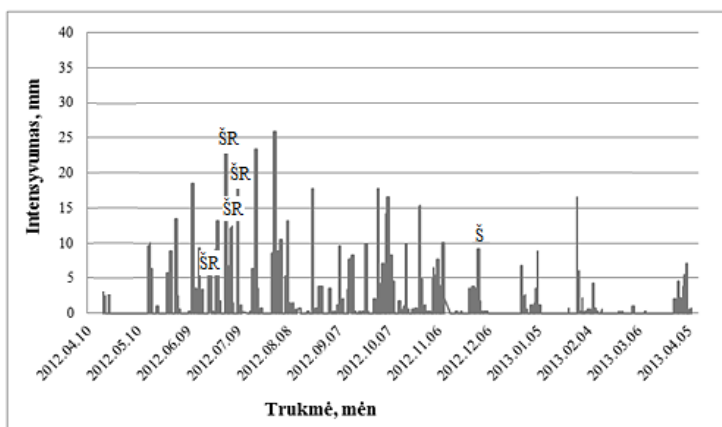


3.25 pav. 2012 metų vasaros periodo išorės oro temperatūros natūrinio sendinimo metu

Dirbtinio sendinimo metu buvo šildoma nuo +20 °C iki +50 °C temperatūros, šildymo ciklas truko 10 valandų. +50 °C temperatūra buvo palaikoma 4 valandas, imituojant karščiausią vasaros dienos periodą t.y. laikotarpį nuo 12 valandos iki 16 valandos (žr. 2 dalis 2.6.2. skyrius). Tai rodo, kad dirbtinio sendinimo metu sukeltos temperatūrinės tinko deformacijos ne mažesnės už vykusias natūraliomis sąlygomis. Apibendrinus natūrinio sendinimo metu surinktus temperatūros duomenis galima teigti, kad dirbtinio sendinimo metu sukuriama temperatūrinis režimas apėmė tiriamųjų metų faktinės išorės oro temperatūros svyravimo ribas.

3.4.3. Lietaus į horizontalųjį paviršių analizė

Siekiant palyginti dirbtinio sendinimo metu taikyto lietaus poveikio trukmę ir kiekį su natūrinio sendinimo metu sukauptais lietaus kiekiu ir trukmės duomenimis, klimatologinėje stotelėje sukaupti lietaus kiekio ir trukmės duomenys apdoroti įvertinant lauko išorės vidutinę temperatūrą; vėjo kryptį ir lietaus intensyvumą. Klimatologinėje stotelėje lietaus kiekis matuojamas tik esant teigiamai išorės oro temperatūrai, nes esant žemiau 0 °C temperatūrai būna kito pavidalo krituliai – sniegas, kuris meteorologine įranga neregistruojamas. Lietaus kiekis kiekvieną parą pateiktas 3.26 pav.



3.26 pav. Kiekvienos paros lietaus intensyvumas į horizontalų paviršių 2012-2013 metais

Natūrinio sendinimo metu bandiniai buvo orientuoti į Pietus, todėl bandiniams tenkančiam lietaus kiekiui apskaičiuoti įvertinti tik lietaus atvejį, kai pūtė rytų (R), pietryčių (PR), pietų (P), pietvakarių (PV) ir vakarų (V) krypties vėjai. Eliminuojami lietaus atvejai, kai pūtė šiaurės (Š), šiaurės rytų (ŠR) ir šiaurės vakarų (ŠV) vėjai, nes tada lietus nedrėkino Pietų kryptimi orientuotų bandinių paviršių. 3.25 pav. atitinkamai pažymėti neaktualūs atvejai, kai vėjo kryptis buvo Š, ŠR ir ŠV.

Siekiant eliminuoti ITSTS išorinio tinko nepakankamą pridrėkimą lietaus vandeniu, įvertinti tik ne mažesnio kaip 5 mm intensyvumo lietaus atvejį, taip užtikrinamos nepalankiausių lietaus atvejų sąlygos. Nustatyta, kad nuo 2012 metų balandžio mėnesio iki 2013 metų balandžio mėnesio didesnio kaip 5 mm intensyvumo lietus, tenkantis R, PR, P, PV, V orientuotiems paviršiams, pasikartojė 20 kartų. Taip pat nustatyta, kad didžiausias kritulių kiekis buvo užfiksuotas liepos mėnesį ir siekė 84,84 mm, o vidutinė lietaus trukmė – 7 valandos ir 11 minučių. Klimatologijos normose nurodyta, kad liepos mėnesį didžiausias lietaus intensyvumas yra 80 mm, o vidutinė lietaus trukmė – 7 valandos. (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. Lietaus poveikio suvestinė

Lietaus poveikis	Duomenys pagal	
	RSN 156-94 1961-1990 metų duomenys	Duomenys surinkti natūrinio sendinimo metu (nuo 2012-04-10 iki 2013-04-10)
Lietaus pasikartojimas	16 kartų	20 kartų
Lietaus trukmė <i>t</i>	7 val.	7 val. ir 11 min.
Didžiausias kritulių intensyvumas, mm (mėn.)	80 (liepa)	84,84 (liepa)

Lietaus intensyvumo ir trukmės analizė parodė, kad natūrinio sendinimo metu lietaus pasikartojamumas buvo didesnis, nei taikytas dirbtinio sendinimo metu. Šiltuoju metų sezonu (nuo balandžio iki spalio), sugertas lietaus vanduo buvo išgarinamas ir ITSTS išorinės dangos atlaikė drėgmės poveikį, t.y., drėgminės deformacijos nesuardė tinko. Tačiau šaltuoju metų metu periodu (nuo spalio iki balandžio), kai sugerta drėgmė užšąla, užregistruoti 7 lietaus atvejai. Tai reiškia, kad

dirbtinio sendinimo metu ITSTS bandiniai atlaikė intensyvesnį šalčio ir drėgmės poveikį, nei natūraliai sendinti bandiniai.

Norminių ir natūrinių klimato duomenų analizė parodė, kad dirbtinio sendinimo metu tinko bandiniams teko didesnis klimatinis poveikis, nei natūralaus sendinimo metu. Bandinių po abiejų sendinimų analizė parodė, kad jų savybių kaita sendinimo metu panaši. Todėl daroma išvada, kad sukurtas dirbtinio klimato poveikio ciklas sudarė griežtesnes nei natūralios eksploatacines sąlygas, tačiau bandinių po dirbtinio sendinimo pokyčiai reikšmingai nesiskiria nuo natūraliomis sąlygomis sendintų bandinių pokyčių. Tai sudaro prielaidas naudoti sukurtą dirbtinio sendinimo modelį ITSTS ilgaamžiškumui prognozuoti.

3.5. ITSTS eksploatacinių savybių nustatymo metodų koregavimas

3.5.1. Saulės spinduliuotės poveikio analizė

3.2.1. skyriuje pateikti UV spinduliuotės poveikio tinkuotų dangų paviršiaus struktūrai rezultatai rodo, kad UV spinduliuotė jau pirmaisiais tinko eksploatacijos metais suardo tinkų su stireno-akrilo ir stireno-silikono rišamosiomis medžiagomis paviršiuje tinko kietėjimo metu suformuotą ištisinę polimerinę plėvelę. Vėlesni tyrimai parodė, kad UV spinduliuotės poveikis nekeičia tinko dangos vandens pralaidumo, nes atsivėrusios poros ir kapiliarai uždengiami karbonatinės kilmės mineralais, kurie apsaugo tinką nuo vandens įgėrio padidėjimo (žr. 3.2.3. sk. 3.9 pav.). Tyrimais įrodyta, kad trumpalaikis dirbtinis (imituojant vienerius metus) UV spinduliuotės poveikis sudaro sąlygas tinko karbonizacijos ir hidratacijos procesams, kurių pasėkoje išorinis paviršius įgauna galutines eksploatacines savybes.

Remiantis atliktų UV spinduliuotės poveikio tinkų struktūrai ir ilgaamžiškumui tyrimų rezultatais, rekomenduojama dirbtinio UV poveikio neįtraukti į ilgalaikio dirbtinio sendinimo ciklus ITSTS eksploataavimo trukmei prognozuoti. Tačiau bent vienus eksploataavimo metus atitinkantis dirbtinas UV spinduliuotės poveikis turėtų būti taikomas tinkams su polimerinėmis rišamosiomis medžiagomis ir polimeriniais vandenį atstumiančiais priedais prieš nustatant jų eksploatacines charakteristikas. Tada jos atitiks eksploatacinę išorinės dangos struktūrą.

3.5.2. Šilumos ir drėgmės poveikio analizė

Europos techninių įvertinimų vadove pagrindinis dėmesys skiriamas įvertinti sistemos atsparumą temperatūrinėms ir drėgminėms deformacijoms teigiamų temperatūrų diapazone (80 ciklų). Tik 5 poveikio ciklai atliekami esant neigiamoms aplinkos temperatūroms, šiuo atveju tikrinamas tik tinko dangos deformatyvumas. Sistemų atsparumas šalčiui papildomai tikrinamas tik esant dideliame pradiniam vandens įgėriui (30 ciklų). Atlikto darbo rezultatai rodo, kad šalto ir drėgno klimato sąlygomis išorės oro temperatūros kinta lėtai, kaitos amplitudės nedidelės, o lietus ir kondensacinė drėgmė ant sienų paviršiaus – dažnas reiškinys. Tiriamojo periodo, t.y. nuo 2012 metų balandžio mėnesio 10 dienos iki 2013 metų balandžio mėnesio 10 dienos, žemiausia užfiksuota oro temperatūra buvo 2013 metų sausio mėnesio 21 dieną, -17,3 °C, o išmatuota didžiausia oro temperatūra – liepos mėnesio 29 dieną - +33,7 °C. RSN 156-94 pateiktas Kauno mieste nustatytas žemiausias minimumas

1956 metų vasario mėnesį $-36,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, o aukščiausia teigiama oro temperatūra išmatuota 1959 metais liepos mėnesį, kuri siekė $+34,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Natūrinio sendinimo metu lietaus poveikis į pietų krypties orientuotą paviršių šaltuoju metų periodu (nuo spalio mėnesio iki balandžio mėnesio) pasikartojė 8 kartus. Drėgmės poveikis natūrinėmis sąlygomis didesnis nei nurodyta sistemų įvertinimo dokumente (hidroterminiame bandyme tik 5 kartais). Tyrimais nustatyta, kad po vienerių ir dviejų natūrinių sendinimo metų ir nuoseklių 17 bei 34 lietaus-šaldymo-šildymo dirbtinių ciklų nustatyti panašūs išorinių tinkų mikrostruktūros pokyčiai ir išorinio sluoksnio irimo sparta (žr. 3.3.1. sk.). Tai rodo, kad nuoseklus dirbtinis tinko paviršiaus šildymas, drėkinimas ir šaldymas labiau atitinka šalto ir drėgno klimato poveikį tinko paviršiui, nei atskiras sistemos deformatyvumo ir atsparumo šalčiui įvertinimas.

ETAG nurodytų klimato poveikių imitavimo intensyvumas skiriasi nuo realių eksploatacijos sąlygų. Sistemos deformatyvumas tiriamas teigiamose ir neigiamose-teigiamose temperatūrose sudarant atitinkamai $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$) ir $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) temperatūrų skirtumą. Tyrimai rodo, kad sistemų deformatyvumas gali būti įvertintas kartu su atsparumo šalčiui nustatymu, taikant $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$,) temperatūrų skirtumą, kadangi tinko porose vanduo užšąla esant $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai. Bandinių išlaikymo $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje laikas turėtų būti 7 valandos, per šį laikotarpį užšąla visa tinke esanti chemiškai nesurišta drėgmė. Lietaus poveikio trukmė turėtų būti 4 valandos, per šį laikotarpį vandeniu užsipildo ir naujų, ir sendintų bandinių išorinis tinkas. Įdrėkinto tinko šaldymas būtų griežtesnis poveikis nei taikomas hidroterminio bandymo metu, todėl įvertinimo patikimumas nesumažėtų.

ETAG 004 nurodytą reikalavimą atlikti atsparumo šalčiui įvertinimą tik sistemoms, kurių pradinis vandens įgėris didesnis kaip $0,5\text{ kg/m}^2$ per 24 valandas, būtina koreguoti. Tyrimo rezultatai rodo, kad eksploatacijos metu veikiant Saulės ultravioletinei spinduliutei, toliau vykstant karbonizacijos procesui, kinta tinko paviršiaus struktūra ir tinko charakteristikos, todėl nepatikima vien tik pagal pradinį tinko vandens įgėrį priimti sprendimą, ar sistema bus atspari šalčiui. Siūloma atsisakyti sistemų šalčio atsparumo vertinimo pagal pradinį vandens įgėrį ir visoms sistemoms taikyti nuoseklių temperatūrinių – drėgminių deformacijų ir atsparumo šalčiui įvertinimo metodą. Įdiegus šias rekomendacijas, sumažėtų ITSTS įvertinimo trukmė ir energinės bandymo sąnaudos, sukurtos dirbtinio poveikio sekos labiau atitiktų šalto ir drėgno klimato eksploatacines sąlygas.

3.5.4. Eksperimentinių tyrimų rezultatų apibendrinimas

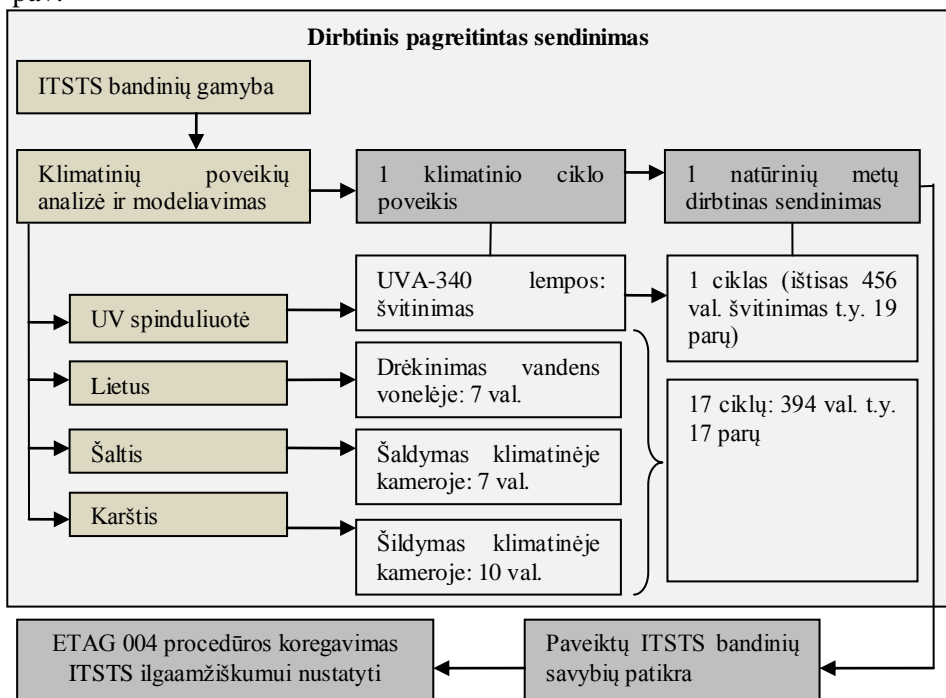
Šiame skyriuje pateikti pasiūlymai keisti ETAG nurodytus ITSTS įvertinimo reikalavimus turėtų būti taikomi tik šalto ir drėgno klimato šalims, kaip šio dokumento priedas, įvertinantis savitas klimato sąlygas. Pakeisti reikalavimai taikomi visoms šalto ir drėgno klimato regione naudojamoms išorinėms tinkuojamoms sudėtinėms termoizoliacinėms sistemoms.

Pasiūlymai ir rekomendacijos:

- ✓ *Esama* ETAG 004 redakcija, 5.1 skyrius „Sistemų bandymas“ 5.1.3.1 poskyris „Vandens įgėris (kapiliarumo bandymas)“-atliekami pradiniai

vandens įgėrio bandymai, pagal kuriuos apsprendžiamas ITSTS ilgaamžiškumas.

- ✓ Siūloma koreguoti: - „prieš pradinį vandens įgėrio ir garų laidumo nustatymą tinko bandiniams pritaikomas dirbtinis vienerius metus atitinkantis UV spinduliuotės poveikis“;
- ✓ Esama ETAG 004 redakcija, 5.1.3.2.1. poskyris „Hidroterminės savybės“, Šildymo-drėkinimo ciklas: laistymas 1 val. (vandens temperatūra (+15±5) °C, vandens kiekis 1l/m²min).
- ✓ Siūloma koreguoti: drėkinimas, 7 valandos (vandens temperatūra (+20±5 °C));
- ✓ Esama ETAG 004 redakcija 5.1.3.2.2. skyrius „Užšalimo-atitirpimo“ bandymas: šaldymas iki -20 ± 2 °C temperatūros. Bandinių paviršiaus temperatūra sumažinama per 5 valandas, išlaikoma 11 valandų. Viso 16 valandų.
- ✓ Siūloma koreguoti: šaldymas iki -12 ± 2 °C temperatūros. Bandinių paviršiaus temperatūra sumažinama per 2 valandas, išlaikoma 5 valandas;
- ✓ Esama ETAG 004 redakcija, 5.1.3.2.1. skyrius „Hidroterminės savybės“: Šildymo-šaldymo ciklas pakartojamas 5 kartus.
- ✓ Siūloma koreguoti: Atsisakoma atskiro šaldymo – šildymo bandymo. Pateikiamas naujas vienus metus atitinkantis „Šildymo – drėkinimo – šaldymo“ ciklas. Ciklo poveikiai, jų seka ir trukmės grafiškai atvaizduota 3.27 pav.



3.27 pav. ETAG 004 procedūros koregavimo modelis, ITSTS ilgaamžiškumui nustatyti

3.6 Trečiojo skyriaus išvados

1. Tinkų su polimerinėmis rišamosiomis medžiagomis ir priedais paviršiuje susidariusi polimerinė plėvelė įtakoja tik pradinį vandens įgėrį. Vėliau plėvelė suardoma, tačiau tinko vandens įgėris nedidėja, nes atsivėrusias poras ir kapiliarus uždengia karbonizacijos eigoje susiformavę kalcito kristalai;
2. UV spinduliuotė suardo tinkų paviršiuje suformuotas polimerines dangas per vienerių metų laikotarpį, todėl ilgesnis UV spinduliuotės poveikio taikymas nustatant sistemos ilgaamžiškumą netikslingas;
3. Nuoseklus šildymo – drėkinimo – šaldymo ciklinis poveikis geriau atitinka šalto ir drėgno klimato sąlygas nei šiuo metu taikomi atskiri šildymo – drėkinimo ir šildymo – šaldymo cikliniai poveikiai;
4. Esamuose bandymų metoduose naudojamas vienos valandos lietinimas neužtikrina pakankamo tinko prisotinimo vandeniui, todėl nepalankiausių drėgminių sąlygų sukūrimui turi būti taikomas 7 val trukmės drėkinimas;
5. Tinko bandinių šaldymo temperatūra - $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ gali būti pakeista į $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, kadangi šaldomi įmirkyti tinko bandiniai, nesumažinamas šalčio poveikis tinko deformatyvumui, tačiau sutaupomas bandymo laikas ir energiniai resursai;
6. Tyrimo laikotarpio klimato duomenų analizė parodė, kad sudaryto ciklo ir natūraliomis sąlygomis bandinius veikusių klimato poveikių trukmės ir intensyvumo vertės panašios: lietaus pasikartojimas – natūroje – 20 kartų, pagal normas – 16 kartų; šalčio bangų skaičius natūroje – 13 kartų, pagal normas – 17 kartų, todėl panaši ir dirbtinai bei natūraliai sendintų bandinių struktūros ir savybių kaita.

4. IŠVADOS

1. Mokslinėje ir norminėje literatūroje pateiktuose ITSTS vertinimo metoduose išsamiausiai vertinamas išorinio tinko deformatyvumas, taikant šildymo – šaldymo poveikius. Tinkų atsparumas Saulės UV spinduliuotei ir šalčiui vertinamas nepakankamai, nėra natūralaus ir pagreitinto sendinimo sąryšio nustatymo metodikos.
2. Pietų orientacijos sienos išoriniam paviršiui per metus tenka $0,76 \text{ kW/m}^2$ UV spinduliuotės, kuri veikia 456 valandas, šiltuoju metu periodu paviršiai įšyla iki $+47 \text{ }^\circ\text{C}$, sienos paviršiui lietaus poveikis vidutiniškai trunka 7,35 valandos, kuris pasikartoja 16 kartų per metus, sienos paviršiui tenka atlaikyti 17 šilumos-šalčio bangų per metus, kai išorės oro temperatūra nukrinta žemiau $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūros.
3. Esamuose bandymų metoduose naudojamas 1 valandos lietinimas neatitinka vidutinės lietaus trukmės ir yra nepakankamas užtikrinti tinko prisotinimą vandeniu prieš šaldymą; šaldymas iki $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ – perteklinis sukuriant nepalankiausių drėgminių-šaldymo sąlygų derinį, nes tik 6 šalčio bangų atveju išorinis paviršius atšąla žemiau $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ (vidutiniškai iki $-12 \text{ }^\circ\text{C}$). Nustatyta, kad prie šios temperatūros užšąla didžioji dalis tinko porose esančio tinko struktūros ardyumą įtakojančio vandens.
4. Sukurto modelio tinkamumas sistemų su įvairių rūšių tinkais ilgaamžiškumui prognozuoti įrodytas sulyginus tyrimų laikotarpio ir modelyje naudotų klimato duomenis bei gavus panašius bandinių paviršiaus po natūralaus ir dirbtinio sendinimo pokyčių analizės rezultatus.
5. Pirmaisiais sistemos eksploatacijos metais UV spinduliuotė suardo tinkų paviršių dengiančias polimerines plėveles, tačiau tuo pat metu karbonizacijos eigoje susidarantys kalcito kristalai uždengia atsivėrusias poras bei kapiliarus ir suformuoja eksploatacinę tinko paviršiaus struktūrą.
6. Nuoseklus šildymo – drėkinimo – šaldymo ciklinis poveikis geriau atitinka šalto ir drėgno klimato sąlygas nei šiuo metu taikomi atskiri šildymo – drėkinimo ir šildymo – šaldymo cikliniai poveikiai. Šaltuoju metų periodu oro temperatūros kinta lėtai, kaitos amplitudės nedidelės, o lietus ir kondensacinė drėgmė ant sienų paviršiaus – dažnas reiškinys.
7. Sistemų pradinis vandens įgėris ir garų laidumas nustatomas tinko bandiniams pritaikius dirbtinį vienerius metus atitinkantį UV spinduliuotės poveikį; sistemų hidroterminio bandymo metu paviršius lietinamas 7 valandų, taikomas nuoseklus šildymo – drėkinimo – šaldymo ciklinis poveikis, šaldant iki $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūros. Sistemos eksploataavimo trukmę atitinkantis ciklų kiekis apskaičiuojamas pagal vietovės klimato norminius duomenis arba trumpalaikių klimato parametrų matavimo rezultatus.

NAUDOTA LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

Straipsniai iš žurnalų:

1. Endriukaiytė, A., R. Bliūdžius, R. Samajauskas. Investigation of Hydrothermal Performance of Fibrous Thermal Insulation Materials. *Materials Science*, 2004, 10(1), 71-74. ISSN 1392–1320.
2. Bieliūnienė, V., and N. Pralgauskienė. The UV Irradiation Effect on the Exterior Acrylic Paint Coatings and the Prediction of their Durability. *Materials Science*, 2002, 8(3), 284-286. ISSN 1392–1320.
3. Norvaišienė, R., R. Miniutaitė, V. Stankevičius. Climatic and Air Pollution Effects on Building Facades. *Materials Science*, 2003, 9(1), 102-105. ISSN 1392–1320.
4. Norvaišienė, R., A. Burlingis, V. Stankevičius. Durability Tests on Painted Facade Rendering by Accelerated Ageing. *Materials Science*. 2010, 16(1), 80-85. ISSN 1392–1320.
5. Steponaitis, L., S. Vėjelis, S. Vaitkus. Analysis of Structure and Deformation Mechanisms of Mineral Wool Slabs under Compression. *Materials Science*, 2012, 18(2), 192–196. ISSN 1392–1320.
6. Vaitkus, S. ir kt. Experimental Analysis of Structure and Deformation Mechanisms of Expanded Polystyrene (EPS) Slabs. *Materials Science*, 2006, 12(4), 323-327. ISSN 1392–1320.
7. Vektaris, B., and M. Daunoravičius. The Influence of Polymers and other Admixtures on Moisture Exchange in Mortars. *Materials Science*, 2002, 8(1), 83-86. ISSN 1392–1320.
8. Vėjelis, S., Vaitkus, S. Investigation of Water Absorption by Expanded Polystyrene Slabs. *Materials Science*, 2006, 12(2), 134-137. ISSN 1392–1320.

Normatyviniai dokumentai, standartai:

1. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) Handbook 2001. Atlanta, United States of America. 11 p.
2. CABOT, Cabot Corporation, M.A.-U.S.A. UV Weathering and Related Test Methods, USA, 11 p.
3. CIBSE GUIDE, Volume A, design data. Section A2. Weather and solar data. Table A2.34, p. A2-75; table A2.27, 1984, p.A2-63.
4. ETAG 004. Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, European Organisation for Technical Approval. Briussel 2013.
5. European Organisation for Technical Approvals (EOTA). *Assessment of Working Life of Products (EOTA GD 003)*. Edition December. 1999.
6. ISO 6241:1984. *Performance standards in building -- Principles for their preparation and factors to be considered*. 1984
7. ISO 15686-2:2012. *Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 2: Service life prediction procedures*. Šveicarija. 2012.

8. LST EN ISO 15148 *Statybinių medžiagų ir gaminių higroterminės charakteristikos. Vandens sugerties koeficiento nustatymas dalinai panardinus (ISO 15148:2002)* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004.
9. NT BUILD 495. *Nordtest Method. Building materials and components in the Vertical position: Exposure to accelerated climatic strains.* Finland, 2000.
10. RSN 156-94. *Statybinė klimatologija.* Vilnius: Lietuvos Respublikos statybos ir urbanistikos ministerija, Valstybės žinios, 1994, Nr. 24 – 394.
11. STR 2.01.10:2007. *Išorinės tinkuojamos sudėtinės termoizoliacinės sistemos.* Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, Valstybės žinios, 2007, Nr. 43-1651.
12. STR 2.05.01:2013. *Pastatų energinio naudingumo projektavimas.* Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, Valstybės žinios, 2013, Nr. 129-6566.
13. UNI 8290 – Edilizia residenziale. Sistema tecnologico: analisi dei requisiti.

Monografijos, disertacijos, knygos:

1. Banionis, K. *The impact of solar radiation on the thermal condition of the ventilated roofs with steel coatings: Summary of Doctoral Dissertation.* Kaunas: Technologija, 2011.
2. Burlingis, A. *Apdailos keraminių plytų atsparumas klimato poveikiui: daktaro disertacija.* Kaunas, Technologija, 1995.
3. Daniotti, B., and F.R. Cecconi. *Accelerated Laboratory Test Procedures and Correlation Between Laboratory Tests and Service Life Data.* Milano, Italy, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
4. Norvaišienė, R., A. Burlingis, V. Stankevičius. *Dažytų tinkuotų pastatų fasadų ilgaamžiškumas, įvertinus rūgščiųuosius kritulius: mokslo monografija.* Kaunas, Technologija, 2006.
5. Paukštys, V., V. Stankevičius, R. Bliūdžius. *Lietaus ir vėjo poveikis pastatų sienų drėgminei būsenai: mokslo monografija.* Kaunas, Technologija 2002.
6. Samajauskas, R. *Konvekcijos poveikis vėdinamų konstrukcijų šilumos perdavimui: daktaro disertacija.* Kaunas, Technologija, 2002.
7. Samajauskas, R., V. Stankevičius, R. Bliūdžius. *Konvekcijos poveikis vėdinamų atitvarų šilumos perdavai: mokslo monografija.* Kaunas, Technologija, 2003.
8. Šadauskienė, J., V. Stankevičius, E. Monstvilas. *Pastatų apšiltinimo sistemų dažyto plonaslukšnio tinko ilgaamžiškumas: mokslo monografija.* Kaunas, Technologija, 2008.

Straipsniai iš mokslo darbų rinkinių, konferencijų medžiagos rinkinių:

1. Chebil, S., N. Galanis, R. Zmeureanu. Computer simulation of thermal impact of air infiltration through multilayered exterior walls. In *8-th International IBPSA Conference, August 11-14, 2003, Eindhoven, Netherlands.* Building simulation, 2003. pp.155-162.

2. Collina, A. Comfort and energy saving: the External Thermal Insulation Composite System (ETICS). In *2nd Portuguese Congress on Construction Mortars (APFAC), Lisboa, Portugal, 2007*.
3. Collina, A., and G. P. Lignola. The External Thermal Insulation Composites System (ETICS) – More than comfort and energy saving. In *3rd Portuguese Congress on Construction Mortars (APFAC), March 18–19, 2010, Portugal, Lisboa*.
4. Daniotti, B., and R. Paolini. Durability Design of External Thermal Insulation Composite System with Rendering. In *Proceedings of the 10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, April 17–20, 2005, Lion, France*.
5. Daniotti, B., and R. Paolini. Evolution of Degradation and Decay in Performance of ETICS. In *11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, May 11-14 2008, Istanbul, Turkey. 2008a*.
6. Daniotti, B., and R. Paolini. Experimental Programme to Assess ETICS Cladding Durability. In *11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components May 11-14 2008, Istanbul, Turkey. 2008b*.
7. Daniotti, B., S.L. Spagnolo, R. Paolini. Climatic Data Analysis to Define Accelerated Ageing for Reference Service Life Evaluation. In *11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components May 11-14 2008, Istanbul, Turkey*.
8. Kus, H., and P. Jerngerg. External walls: treatment with silicon-based water repellants. In *Proceedings of Healthy Buildings, August 6-10, 2000, Espoo, Finland*.
9. Jelle B.P., ir kt. Accelerated Climate Ageing of Building Materials and Application of the Attenuated Total Reflectance (ATR) Fourier Transform Infrared (FTIR) Radiation Experimental Method. In *Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, November 11, 2010, Oslo, Norway*.
10. Roos, M., ir kt. Evolution of Silicone Based Water Repellents for Modern Building Protection. In *5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*. Aedificatio Publishers, 2008. pp. 3-15.
11. Topcu, D., and H. Merkel. Durability of External Wall Insulation Systems with Extruded Polystyrene Insulation Boards. In *Proceedings of the 11th International Conference on Durability of Building Materials and Components, May 11–14, 2008, Istanbul, Turkey*.
12. Zirkelbach, D., A. Holm, H.M. Künzel. Influence of temperature and relative humidity on the durability of mineral wool in ETICS. In *Proceedings of 10DBMC international conference on durability of building materials and components, April 17–20; 2005, Lion, France*.

Elektroniniai leidiniai:

1. Kaminskas, R. *Rišamųjų medžiagų statybiniai gaminiai: metodinė priemonė* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2013-04-08]. Prieiga per ebooks.ktu.lt: https://www.-ebooks.ktu.lt/eb/933/risamuju_medziagu_-_statybiniai_gaminiai/
2. Stephenson, D. G. (1963). *Extreme temperatures at the outer surfaces of buildings: publication*. [interaktyvus]. 1963. [žiūrėta 2013-09-19]. Prieiga per web.mit.edu:<http://web.mit.edu/parmstr/Public/NRCan/-CanBldgDigests/cbd047e.ht-ml>

Elektroniniai straipsniai duomenų bazėse:

1. Altinkaya, S.A., O. Topcuoglu, Y. Yurekli, D. Balkose. The influence of binder content on the water transport properties of waterborne acrylic paints. *Progress in Organic Coatings* [interaktyvus]. Elsevier, December 2010, vol. 69(4). 417-425 [žiūrėta 2012-04-10]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.porgcoat.2010.08.005.
2. Barreira, E.; and V.P. Freitas, Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS). *Building and Environment* [interaktyvus]. Elsevier, May 2013, vol. 63, 31-39 [žiūrėta 2013-03-18]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.buildenv.2013.02.001.
3. Bochen, J., S. Gil, J. Szwabowski. Influence of ageing process on porosity changes of the external plasters. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. Elsevier, August–September 2005, vol. 27(7-8), 769-775 [žiūrėta 2012-10-10]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.cemconcomp.2005.01.003.
4. Bochen, J., and S. Gil. Properties of pore structure of thin-layer external plasters under ageing in simulated environment. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Elsevier, August 2009, vol. 23(8), 2958-2963 [žiūrėta 2012-10-10]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.02.041.
5. Bochen, J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Elsevier, July 2009, vol. 23(7), 2559-2566 [žiūrėta 2012-10-10]. Prieiga per doi:doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.02.028.
6. Daniotti, B., R. Paolini, F.R. Cecconi. Effects of Ageing and Moisture on Thermal Performance of ETICS Cladding. *Durability of Building Materials and Components*, Building Pathology and Rehabilitation [interaktyvus]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, vol. 3, 127-171 [žiūrėta 2013-11-04]. Prieiga per doi: 10.1007/978-3-642-37475-3_6.
7. Granja, A.D, and L.C. Labaki. Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. *International Journal of Energy Research*. [interaktyvus]. Academia.edu,

- November 2003, vol. 27, 771–779 [žiūrėta 2011-11-25]. Prieiga per doi: DOI: 10.1002/er.915.
8. Johansson, S., L. Wadso, K. Sandin, Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. *Building and Environment* [interaktyvus]. Elsevier, May 2010, vol. 45(5), 1153-1160 [žiūrėta 2012-01-30]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.buildenv.2009.10.022.
 9. Kaşka, Ö., R. Yumrutaş, O. Arpa. Theoretical and experimental investigation of total equivalent temperature difference (TETD) values for building walls and flat roofs in Turkey. *Applied Energy* [interaktyvus]. Elsevier, May 2009, vol. 86(5), 737-747 [žiūrėta 2011-05-25]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.apenergy.2008.09.010.
 10. Kolokotsa, D. ir kt. Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy* [interaktyvus]. Elsevier, May 2012 vol. 86 (5), 1648–1659 [žiūrėta 2012-10-25]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.solener.2012.02.032.
 11. Kong, F., and Q. Zhang. Effect of heat and mass coupled transfer combined with freezing process on building exterior envelope. *Energy and Buildings*. [interaktyvus]. Elsevier, July 2013. Vol. 62, 486-495 [žiūrėta 2013-07-12]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.enbuild.2013.03.012.
 12. Papadopoulos, A.M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. Elsevier, January 2005, vol. 37(1), 77–86 [žiūrėta 2012-10-25]. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.enbuild.2004.05.006.
 13. Ramanauskas, J., and V. Stankevičius, Weather durability of external wall thermal insulation system with a thin-layer plaster finish. *Civil Engineering* [interaktyvus]. Taylor & Francis, 1998, 4(3), 206-213 [žiūrėta 2012-10-25]. Prieiga per doi: 10.1080/13921525.1998.10531406.
 14. Styszko, K., ir kt. Desorption of biocides from renders modified with acrylate and silicone. *Chemosphere* [interaktyvus]. Elsevier, January 2014, vol. 95, 187–191 [žiūrėta 2014-02-25]. Prieiga per doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.08.064.
 15. Suehrcke, H., E. L. Peterson, N. Selby. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. Elsevier, 2008, vol. 40(12), 2224-2235 [žiūrėta 2012-10-25]. Prieiga per doi: 10.1016/j.enbuild.2008.06.015.
 16. Šadauskienė, J. ir kt. The impact of the exterior painted thin-layer renders water vapour and liquid water permeability on the moisture state of the wall insulating system. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Elsevier, August 2009, vol 23(8), 2788-2794 [žiūrėta 2011-09-05]. Prieiga per doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.03.010.
 17. Topcuoglu, O., S.A. Altinkaya, D. Balkose. Characterization of waterborne acrylic based paint films and measurement of their water vapor permeabilities. *Progress in Organic Coatings* [interaktyvus]. Elsevier,

- August, 2006, vol. 56(4), 269-278 [žiūrėta 2011-09-05]. Prieiga per doi: 10.1016/j.porgcoat.2006.02.003.
18. Wangler, T.P. ir kt. Laboratory scale studies of biocide leaching from façade coatings. *Building and Environment* [interaktyvus]. Elsevier, August, 2012, vol. 54, 168-173 [žiūrėta 2012-09-15]. Prieiga per doi: 10.1016/j.buildenv.2012.02.021.
 19. Zhong, S. ir kt. Influences of HPMC on adsorption of styrene-acrylic ester latex particles on cement grains. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Elsevier, January, 2013, vol 38, 567-574 [žiūrėta 2013-02-23]. Prieiga per doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.08.051.

Interneto tinklalapis:

1. Do it your self. *Do it your self: Paint Blisters*. [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2014-01-23]. Prieiga per internetą: http://www.doityourself.com/stry/paint-blisters#.U9j0sPl_uEi
2. Alkesta. *Pro products šiltinimo sistemas apdailos tinkai, dažai, gruntai: apdailos tinkai, tinkų rūšys*. [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013-04-08]. Prieiga per internetą: <http://www.proproducts.lt/lt/produktai/apdailos-tinkai/tinku-rusys/>

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

STRAIPSNIAI

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „ISI Web of Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą

1. Rosita Norvaišienė, Gintarė Gričiutė, Raimondas Bliūdžius, Juozas Ramanauskas. The Changes of Moisture Absorption Properties during the Service Life of External Thermal Insulation Composite System // Materials Science = Medžiagotyra / Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania. Kaunas: KTU. 2013, vol.19, no.1, ISSN 1392-1320. p.103-107. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); Materials Science Citation Index; Neuroscience Citation Index; Journal Citation Reports]. [0,250].
2. Gintarė GRICIUTĖ, Raimondas BLIŪDŽIUS. Study on the microstructure and water absorption changes of exterior thin-layer polymer renders during natural and artificial ageing// Materials Science = Medžiagotyra / Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania. Kaunas: KTU. 2015, vol.21, no.1, ISSN 1392-1320. p.145-154. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); Materials Science Citation Index; Neuroscience Citation Index; Journal Citation Reports]. [0,5].

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose

Konferencijų pranešimų medžiagoje

1. Rosita Norvaišienė, Gintarė Gričiutė, Raimondas Bliūdžius, Juozas Ramanauskas. The Changes of Moisture Absorption Properties during the Service Life of External Thermal Insulation Composite System // Materials Engineering 2011: 20th International Conference, October 27-28, Kaunas, Lithuania : book of abstracts / Kaunas University of technology, Association of Baltic Materials Societies, Lithuania, p. 13
2. Gintarė GRICIUTĖ, Raimondas BLIŪDŽIUS. The durability test method for external thermal insulation composite system used in cold and wet climate countries // Advanced construction 2012: proceedings of the 3rd International Conference, 18-19 October, 2012, Kaunas , Lithuania / Kaunas University of Technology. 2012. ISSN 2029-1213. p. 182.
3. Gintarė GRICIUTĖ, Raimondas BLIŪDŽIUS. Study on the microstructure and water absorption changes of exterior thin-layer polymer renders during natural and artificial ageing // Advanced materials and technologies : book of abstracts of the 15th International conference-school, 27-31 August 2013, Palanga, Lithuania. 2013. ISSN 1822-7759 p. 37.

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose

1. Gintarė GRICIUTĖ, Raimondas BLIŪDŽIUS, Rosita NORVAIŠIENĖ. The durability test method for external thermal insulation composite system (ETICS) used in cold and wet climate countries. // Journal of sustainable

architecture and civil engineering = Darnioji architektūra ir statyba / Kaunas University of Technology. 2013, Nr. 1(2). ISSN 2029-9990 p. 50-56.