



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

Ugniai atsparaus medinių konstrukcijų tinko tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Gintautas Tamošaitis
Projekto autorius

Doc. dr. Rėda Bistrickaitė
Vadovė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Ugniai atsparaus medinių konstrukcijų tinko tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)

Gintautas Tamošaitis

Projekto autorius

Doc. dr. Rėda Bistrickaitė

Vadovė

Dr. Danutė Vaičiukynienė

Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Gintautas Tamošaitis

Ugniai atsparaus medinių konstrukcijų tinko tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Gintauto Tamošaičio, baigiamasis projektas tema „Ugniai atsparaus medinių konstrukcijų tinko tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Tamošaitis, Gintautas. Ugniai atsparaus medinių konstrukcijų tinko tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Rėda Bistrickaitė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslų, Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (L), (6211EX008).

Reikšminiai žodžiai: tinkas, geopolimerinis betonas, atsparumas ugniai, pasyvi sauga, medinės konstrukcijos.

Kaunas, 2018. 68 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame projekte tiriamas ugniai atsparus medinių konstrukcijų tinkas. Nagrinėjama galimybė panaudoti ugniai atsparų tinką medinio kultūros paveldo vertybių pasyviai priešgaisrinei apsaugai.

Metodinėje darbo dalyje apžvelgiami reglamentuoti konstrukcijų atsparumo ugniai reikalavimai, pasyvios priešgaisrinės saugos svarba medinių kultūros paveldo vertybių apsaugai, aprašomas įprasto ir ugniai atsparaus tinko naudojimas, sudėtis ir savybės. Pateikta tinko dangos bandymų atlikimo tvarka ir įranga. Praktinėje-tiriamajoje darbo dalyje gaminamas ugniai atsparus tinkas iš ekologiškų antrinių pramonės atliekų, naudojant rišamąją medžiagą geopolimerą ir jos produktą – geopolimerinį betoną. Aprašoma tinko sudėtis bei kiti komponentai, gerinantys dangos mechanines ir termoizoliacines savybes. Tyrimo metu eksperimentiškai nustatyta ugniai atsparaus tinko mechaninės, termoizoliacinės savybės, tinko įtaka medinės konstrukcijos anglėjimo greičiui.

Medinių konstrukcijų atsparumo ugniai didinimas yra aktualus, siekiant išsaugoti visuomenės poreikiams medinės kultūros paveldo vertybes. Ugniai atsparių medžiagų tyrimai ir naudojimas išplečia konstrukcijų naudojimo ir apsaugos galimybes.

Tamošaitis, Gintautas. The Investigation of Fire Resistant Plaster for Wooden Structures. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Rėda Bistrickaitė; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technology science, Structural and Building Products Engineering (L) (6211EX008).

Keywords: plaster, geopolymer concrete, fire-resistant, passive safety, wooden structures.

Kaunas, 2018. 68 pages.

Summary

The master's final project studies refractory plaster of wooden structures. The possibility of using fire-resistant plasters for passive fire protection of wooden structures cultural heritage values are considered.

The methodical part of the work reviews regulatory requirements for fire resistance of structures, the importance of passive fire safety for the protection of the values of wooden structures cultural heritage, describes the use, composition, and properties of ordinary and refractory plaster. The procedure and equipment for the testing of plasterboard are given. In the practical part of the research work, refractory plaster is produced from environmentally friendly secondary industrial waste using a geopolymer binding agent and its product, geopolymeric concrete. The composition of the plaster and other components that improve the mechanical and thermal insulation properties of the coating are described. The experimentally determined the mechanical, thermal insulation properties of the refractory plaster, the influence of plaster on the burning point of the wooden structure.

Increasing the fire resistance of wooden structures is topical in order to preserve wooden cultural heritage values for the needs of society. Research and use of refractory materials extend the use and passive protection of structures.

Turinys

Įvadas	9
1. Literatūros analizė	10
1.1. Statybinėms medžiagoms ir konstrukcijoms taikomi gaisrinės saugos reikalavimai.....	10
1.2. Medienos fizinės savybės.....	13
1.3. Medienos degimo procesas	14
1.3.1. Medienos anglėjimas	16
1.4. Aukštos temperatūros poveikis medinėms konstrukcijoms	17
1.5. Apsauginių dangų naudojimas	21
1.6. Aukštos temperatūros poveikis betonui	24
1.6.1. Betono sprogstamoji irtis	25
1.6.2. Ugniai atsparūs betonai.....	25
1.7. Medinių konstrukcijų apsauga Kultūros paveldo vertybėse	27
2. Darbo tikslai ir uždaviniai	31
3. Tyrimo metodika ir naudotos žaliavos	32
3.1. Tyrimo metodikų ir metodų aprašymas	32
3.2. Tyrimams naudotos medžiagos	38
4. Tyrimo objektas, tyrimo eiga ir rezultatai	43
4.1. Ugniai atsparaus tinko mechaninių savybių tyrimas	43
4.1.1. Šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinio mechaninių savybių nustatymas	43
4.1.2. Šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinio sukibimo su pagrindu nustatymas.....	45
4.2. Ugniai atsparaus tinko ir kalkių-cemento tinko skiedinio savybių tyrimas	46
4.2.1. Medžiagos terminio plėtimosi koeficiento nustatymas	46
4.2.2. Bandinių tūrinio kaitinimo krosnyje savybių nustatymas	49
4.3. Ugniai atspariu tinku tinkuoto medienos paviršiaus anglėjimo greičio tyrimas	53
4.3.1. Bandinių vienpusio kaitinimo krosnyje savybių nustatymas.....	54
Išvados	63
Literatūros sąrašas	64
Priedai	68

Paveikslų sąrašas

1 pav. Statybinių konstrukcijų atsparumo ugniai savybės	10
2 pav. Spygliuočių (kairėje) ir lapuočių (dešinėje) medienos mikrostruktūra [11].....	13
3 pav. Klasikinis degimo trikampis. Degimo trikampis atskyrus vieną kampą [15].....	14
4 pav. Degimo procesas [15].....	15
5 pav. Sąlyginės degimo zonos medienoje [15].	16
6 pav. Medinės kolonos skerspjūvio mažėjimas veikiant temperatūrai $t=5, 15, 30$ ir 60min [18]....	18
7 pav. Medinių elementų sujungtų metalinėmis detalėmis suirimas.	18
8 pav. Medžio sijos atsparumo ugniai skaičiavimo schema. a, h – sijos matmenys, a_{cr}, h_{cr} – kritiniai sijos matmenys, W_{cr} – kritinis sijos skerspjūvio plotas [17].	19
9 pav. Vienmatis ir sąlyginis anglėjimo greitis [19].....	20
10 pav. Degumo klasės [9].....	21
11 pav. a) mineralinės vatos plokštės; b) lengvo kalcio silikato plokštės; c) kieto kalcio silikato plokštės [20].	22
12 pav. a) bandinių paruošimas; b) bandymas [21].....	23
13 pav. Medienos paviršiaus temperatūros priklausomybė nuo tinko storio [21].....	23
14 pav. Portlandcemenčio bandiniai po degimo ir išlaikymo 3 paras drėgnomis sąlygomis [23]. ...	24
15 pav. Šarmu aktyvuoto šlako su (0-5%) fosfogipso rentgenogramos.	27
16 pav. a) armavimo tinklo pavyzdžiai; b) balanų tinklo įrengimas [29].....	28
17 pav. Kretingos vienuolyno restauravimo ir atkūrimo darbai.	29
18 pav. Rietavo dvaro oficinios restauravimo ir atkūrimo darbai.	29
19 pav. Abromiškės dvaro medinių pastatų restauravimo ir atkūrimo darbai.....	29
20 pav. a) forma bandiniams gaminti; b) stiprio lenkiant bandymas [38].	34
21 pav. a) suirimo tipas A - tinko skiedinio atplyšimas nuo pagrindo; b) suirimo tipas B – kohezinis suirimas per tinko sluoksnį; c) suirimo tipas C – kohezinis suirimas per pagrindo sluoksnį; 1) atplėšimo antdėklas, 2) klijų sluoksnis, 3) tinko sluoksnis, 4) pagrindas [39].....	35
22 pav. Linseis „LH75 PT1600“ horizontalus dilatometras ir jo schematinis vaizdas [43].	36
23 pav. Vienpusio konstrukcinių elementų kaitinimo įrangos principinė schema: 1 – kaitinimo prietaisas; 2 – tiriamosios konstrukcijos fragmentas; 3 – temperatūros matavimo įranga; 4 – matavimo priemonių rodmenis fiksuojantis savirašis; 5 – kaitinimo kameros temperatūrą reguliuojantis termoregulatorius [46].....	37
24 pav. Gaisro temperatūros kitimas laiko atžvilgiu [3].....	37
25 pav. a) nemaltas šlakas; b) maltas šlakas.	39
26 pav. (a) fosfogipsas; (b) NaOH granulės.....	40
27 pav. a) polipropileno pluoštas; b) stiklo pluošto armavimo tinklelis.....	42
28 pav. a) lenkimo stiprio nustatymas; b) gniuždymo stiprio nustatymas [38].....	44
29 pav. Bandinių gniuždomasis ir lenkiamasis stipris po 28 parų kietėjimo.	44
30 pav. Sukibimo su paviršiumi stiprio bandymui paruošti bandiniai.....	45
31 pav. Sukibimo su paviršiumi stiprio bandymas.....	46
32 pav. Šarmu aktyvuoto šlako bandiniai kaitinti horizontaliame dilatometre.....	48
33 pav. Bandinio matmenų pokytis dėl kaitinimo.	48
34 pav. Bandinio medžiagos terminio išsiplėtimo koeficiento pokytis dėl kaitinimo.....	49
35 pav. Bandinių kaitinimas krosnyje.....	50
36 pav. a) mediniai bandiniai; b) bandiniai su pritvirtintu armavimo tinkleliu.....	50
37 pav. a) bandiniai su kalkių tinku; b) bandiniai su šarmu aktyvuoto šlako tinku.	51

38 pav. Bandymo rezultatai po 30 min kaitinimo.....	51
39 pav. Bandymo rezultatai po 10 min kaitinimo.....	52
40 pav. a) medinių bandinių su kalkių tinko sluoksniu skerspjūvis po kaitinimo;.....	53
41 pav. Bandymo metu naudota įranga.....	55
42 pav. a) bandiniai su armavimo tinkleliu; b) tinkuoti bandiniai.....	56
43 pav. a) tinko sluoksnio storis; b) tinkuotas bandinys.....	56
44 pav. Pirmo bandinio kaitinimas. Krosnies vidaus ir išorės temperatūrinės laiko kreivės.....	57
45 pav. a) bandinio skerspjūvis; b) bandinio pažeidimai.....	57
46 pav. Antro - ketvirto bandinio kaitinimas. Krosnies vidaus ir išorės temperatūrinės laiko kreivės.	58
47 pav. Bandinys po kaitinimo.....	59
48 pav. Bandinių skerspjūviai po kaitinimo. a) išilginis pjūvis; b) skersiniai pjūviai.....	59
49 pav. Bandinių skerspjūvio nuotrauka padidinta x10 kartų mikroskopu.....	60
50 pav. Tinko paviršiaus nuotraukos padidintos x10 kartų mikroskopu. a) tinko paviršius prieš kaitinimą; b) tinko paviršius po kaitinimo.....	60
51 pav. Bandinių nekaitinamo išorės paviršiaus temperatūrinės laiko kreivės.....	61
52 pav. Bandinių anglėjimo greičio priklausomybė, mm/min.....	62

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Medienos fizikinių ir mechaninių savybių charakteristinių rodiklių reikšmės [14].....	14
2 lentelė. Pagrindinių pirolizės produktų išėiga [12].....	17
3 lentelė. Skaičiuotinė anglėjimo sparta [19].....	20
4 lentelė. Sukietėjusio skiedinio savybių klasifikacija [36].....	33
5 lentelė. Sukietėjusiems skiediniams keliamų reikalavimų suvestinė [36].....	33
6 lentelė. Vidutinė kaitinimo temperatūra, °C kameroje nustatytu laiko intervalu [46].....	38
7 lentelė. Bandymų metu naudojamo malto šlako procentinė sudėtis.....	39
8 lentelė. Smėlio graniulimetrinė sudėtis.....	41
9 lentelė. Polipropileno pluošto savybės.....	41
10 lentelė. Stiklo audinio armavimo tinklelio savybės.....	42
11 lentelė. Šarmu aktyvuoto šlako su užpildu bandinių mišinių sudėtys.....	43
12 lentelė. Šarmu aktyvuoto šlako su užpildu bandinių parametrai.....	43
13 lentelė. Terminio plėtimosi koeficiento nustatymo bandinių mišinių sudėtys.....	47
14 lentelė. Medinių bandynių fiziniai ir mechaniniai parametrai.....	49
15 lentelė. Tinkuotų medinių bandynių fiziniai ir mechaniniai parametrai.....	50
16 lentelė. Nustatyta kaitinimo temperatūra, °C kameroje pirmo bandymo metu.....	51
17 lentelė. Nustatyta kaitinimo temperatūra, °C kameroje trečio-šešto bandymo metu.....	52
18 lentelė. Tinkuotų medinių bandynių fiziniai ir mechaniniai parametrai.....	53
19 lentelė. Bendrieji krosnies parametrai.....	55
20 lentelė. Vienpusio kaitinimo bandymo bandinių mišinio sudėtis.....	56

Įvadas

Magistro baigiamajame projekte tiriamas ugniai atsparaus medinių konstrukcijų tinkas. Nagrinėjama galimybė panaudoti ugniai atsparų tinką medinio kultūros paveldo vertybių pasyviai priešgaisrinei apsaugai.

Mediena yra plačiai statyboje naudojama medžiaga. Mediena pasižymi savo mechaninėmis ir termoizoliacinėmis savybėmis ir turi daug privalumų, lyginant ją su kitomis medžiagomis. Mediena turi geras mechanines savybes, nesunkiai apdirbama, lengva ir t. t. Didžiausi medienos trūkumai - mažas atsparumas atmosferos poveikiui, drėgmei ir degumas. Šios medienos savybės riboja medinių konstrukcijų naudojimą be papildomos apsaugos pastatų išorėje ir viduje. Mediniuose pastatuose kilus gaisrui, medinės konstrukcijos nesuyra iš karto. Dėl aukštos temperatūros iš medienos išsiskiria degios dujos, kurios skatina degimą. Degimo metu medienos paviršiuje pastebimas degimo požymis – medienos anglėjimas. Šios medienos savybės susiejimas su gaisro poveikiu, trukme ir temperatūra yra labai svarbus statybinių konstrukcijų elgesio prognozavimui gaisro metu.

Šiaurės Europos ir Baltijos jūros regiono šalyse populiaru medinių pastatų statyba. Yra išlikę daugybė medinių pastatų ir statinių, kurie dėl savo kultūrinės vertės yra saugomi valstybės, todėl gaisrų grėsmė šiuose pastatuose yra ypač didelė, o jų pasekmės įvykus gaisrui neįkainojamos.

Vienas iš esminių statybinėms konstrukcijoms keliamų reikalavimų – atsparumas ugniai. Siekiant pagaminti atsparias konstrukcijas ir apsaugoti esamas, būtina žinoti medžiagų, iš kurių gaminamos konstrukcijos, techninius pokyčius aukštose temperatūrose, jų įrengimo būdus, tinkamai parinkti medžiagų žaliavas ir sudėtį. Derinant skirtingas medžiagas tarpusavyje, galima gauti maksimalaus stiprumo ir standumo bei minimalios kainos ir masės kompozitines konstrukcijas.

Darbe analizuojamoms problemoms spręsti formuluojamas darbo tikslas ir uždaviniai:

Darbo tikslas:

Ištirti ugniai atsparaus tinko įtaką medinės konstrukcijos atsparumui ugniai.

Darbo uždaviniai:

- ugniai atsparaus tinko mechaninių savybių nustatymas;
- ugniai atsparaus tinko ir kalkių-cemento tinko savybių palyginimas;
- ugniai atspariu tinku tinkuotos medienos paviršiaus anglėjimo greičio nustatymas ir palyginimas su skaičiuotiniu anglėjimo greičiu.

1. Literatūros analizė

Kuriant naujas statybos technologijas, pastatų statyboje atsiranda naujų statybinių medžiagų pritaikymo galimybės. Būtina žinoti ar naudojamose pastatų konstrukcijose, medžiagos ir gaminiai yra saugūs, ar nekelia pavojaus normaliomis sąlygomis bei kilus gaisrui. Norint apsaugoti žmones nuo kylančio pavojaus gaisro metu, reikia gerai išmanyti medžiagų savybes ir jų įrengimo būdus.

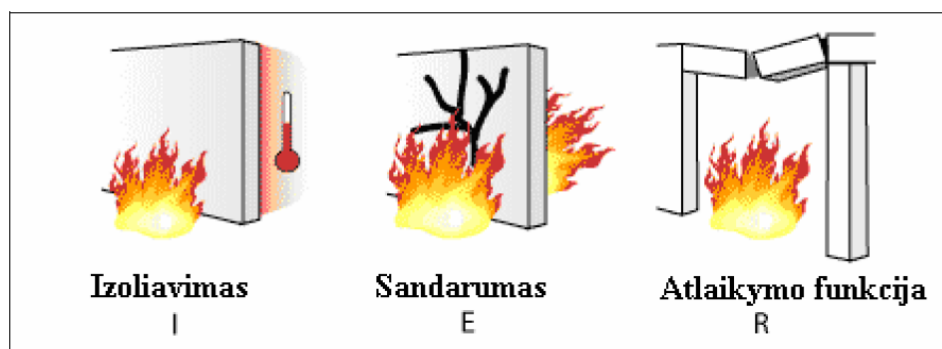
Apžvelgiant atliktus tyrimus pastebėta, kad gaisrinės saugos požiūriu daugiausia tyrinėjama statybinės betono, plieno konstrukcinės medžiagos. Šis pasirinkimas yra motyvuotas statybiniu ir architektūriniu požiūriu, tai efektyvios konstrukcijos, suteikiančios galimybę pastatyti statinį greitai ir iš dalies nebrangiai. Šių konstrukcijų medžiagų savybės gaisro metu išsamiai ištirtos.

Medienos naudojimas statybinių konstrukcijų gamybai ir pastatų statybai plačiai naudojamas dėl savo fizinių savybių, nesudėtingo apdirbimo, paplitimo ir kainos. Kartu, tai viena seniausių statybinių medžiagų. Tačiau medienos naudojimą riboja jos degumas. Neapsaugota mediena gaisro metu palaiko degimą.

1.1. Statybinėms medžiagoms ir konstrukcijoms taikomi gaisrinės saugos reikalavimai

Lietuvos Respublikos Priešgaisrinės saugos įstatymas nustato priešgaisrinės saugos užtikrinimo ir organizavimo Lietuvos Respublikoje teisinius pagrindus, priešgaisrinės saugos užtikrinimo sistemą, valstybės ir savivaldybių institucijų bei įstaigų funkcijas, gyventojų, įmonių, įstaigų ir organizacijų teises bei pareigas priešgaisrinės saugos srityje [1].

Vienas iš Priešgaisrinės saugos įstatymo uždavinių yra gaisrų prevencijos užtikrinimas. Gaisrų prevencijai užtikrinti nustatomi statinių projektavimo, teritorijų planavimo bei objektų eksploatavimo reikalavimai, užkertantys kelią gaisrų kilimui bei sudarantys sąlygas gaisrams gesinti, žmonėms ir turtui gelbėti. [1].



1 pav. Statybinių konstrukcijų atsparumo ugniai savybės

Atsparumas ugniai – pastato konstrukcijos ar elemento (statybos produkto) gebėjimas standartiniu atsparumo ugniai bandymu nustatyta laiko tarpą išlaikyti nustatytas apkrovas ir (arba) šilumos

izoliacinės savybės ir (arba) išlikti vientisam (sandariam, be plyšių) (1 pav.). **Izoliavimas (I)** – pastato konstrukcijos skiriančiojo elemento izoliacinės savybės, iš vienos pusės veikiamo gaisro, gebėjimas apriboti gaisro temperatūros padidėjimą iki mažesnių nei nustatytieji dydžiai. **Sandarumas (E)** – pastato konstrukcijos skiriančiojo elemento vientisumo (sandarumo) savybės, iš vienos pusės veikiamo gaisro, gebėjimas neleisti per jį prasiskverbti liepsnai bei karštomis dujomis ir neleisti atsirasti liepsnai gaisro neveikiamoje pusėje. **Spinduliavimas (W)** – medžiagos savybė izoliuoti šilumos spinduliavimą. **Atlaikymo funkcija (R)** – konstrukcijos arba konstrukcinio elemento gebėjimas atlaikyti nustatytus poveikius atitinkamo gaisro metu pagal apibrėžtus kriterijus [2].

Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(2):1999 „Esminiai statinio reikalavimai. Gaisrinė sauga“ priklauso techninių reikalavimų reglamentams, kurie nustato pagrindines Lietuvos Respublikos statybos techninio normavimo, projektavimo ir statybos kryptis, suderintas (harmonizuotas) su Europos Ekonominės Bendrijos Tarybos 1988 m. gruodžio 21 d. direktyvos 89/106/EEC Statybos produktų direktyva, jos priedų ir ją papildančių aiškinamųjų dokumentų nuostatomis. Šie statybiniai normatyvai reikalauja, kad statinys turi būti suprojektuotas ir pastatytas taip, kad kilus gaisrui [2]:

- statinio laikančiosios konstrukcijos tam tikrą laiką išlaikytų apkrovas;
- būtų ribojamas ugnies bei dūmų plitimas statinyje;
- būtų ribojamas gaisro plitimas į gretimus statinius;
- žmonės galėtų saugiai išeiti iš statinio ar būtų galima juos gelbėti kitomis priemonėmis;
- pradėtų veikti gaisrinės saugos bei gaisro aptikimo, gesinimo sistemos;
- ugniagesiai gelbėtojai galėtų saugiai dirbti.

Statybinių konstrukcijų atsparumas ugniai apibūdinamas atsparumo ugniai riba. Tai laikas, kuriam praėjus konstrukcija praranda atitvarinę arba laikomąją galią ir matuojama minutėmis nuo gaisro arba konstrukcijos bandymo atsparumo ugniai pradžios, kol konstrukcijoje atsirastų vienas iš šių požymių [2-8]:

- plyšiai arba skylės, pro kurias gali prasiskverbti degimo produktai arba liepsna;
- gaisro veikiamos konstrukcijos kitos pusės temperatūra vidutiniškai pakilo daugiau kaip 140 °C, arba daugiau kaip 180 °C bet kuriame to paviršiaus taške, lyginant su konstrukcijos temperatūra iki bandymo, arba 220 °C nepaisant konstrukcijos temperatūros iki bandymo;

Pagrindinis veiksnys, gaisro metu ardantis konstrukcijas, yra aukšta temperatūra. Temperatūra, kurioje konstrukcija pasiekia atsparumo ugniai ribą, vadinama kritine temperatūra [2-8].

Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų taisyklėse išdėstyti pagrindiniai statinių gaisrinės saugos reikalavimai. Rengiant naujo statinio projektą, esamo statinio rekonstravimo, kapitalinio remonto

projektą ir naudojant statinį, taikomos gaisrinės saugos priemonės turi atitikti esminį statinio gaisrinės saugos reikalavimą per visą statinio naudojimo trukmę [6-8].

Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų taisyklėse statybos produktai (išskyrus grindų dangas, vamzdynų izoliaciją ir elektros kabelius), vadovaujantis LST EN 13501 serijos standartu, skirstomi į šias klases: pagal gaisro pobūdį – A1, A2, B, C, D, E, F; pagal dūmų susidarymą – s1, s2, s3; pagal liepsnojančių dalelių ir (arba) dalelių susidarymą – d0, d1, d2 [6-8].

Pagal reglamentuojantį standartą [9] statybos gaminiai pagal atsaką į ugnį skirstomi į 7 klases:

F gaminiai, kurių atsakas į gaisro poveikį nėra nustatomas arba kurie negali būti klasifikuojamos vienoje iš A1, A2, B, C, D, E kategorijų. Nereglamentuojama;

E gaminiai atsparūs trumpalaikiam, silpnos ugnies poveikiui be žymesnio liepsnos plitimo. Gaminys skatina degimą;

D gaminiai, tenkinantys E klasės kriterijų, ir ilgesnį laikotarpį galintys atlaikyti mažos liepsnos poveikį be žymesnio liepsnos plitimo. Be to, jie taip pat gali atlaikyti šilumos poveikį pavienių degančių daiktų su pakankama delsa ir ribotu šilumos išsiskyrimu. Gaminys ženkiai palaiko degimą;

C kaip D klasės, bet tenkinantys daug griežtesnius reikalavimus. Be to, veikiami šilumos poveikio, sukkelto vienu degančiu daiktu, jie turi ribotą šoninį liepsnos plitimą. Gaminys kažkiek palaiko degimą;

B kaip ir C klasės, bet daug griežtesni reikalavimai. Gaminys nežymiai palaiko degimą;

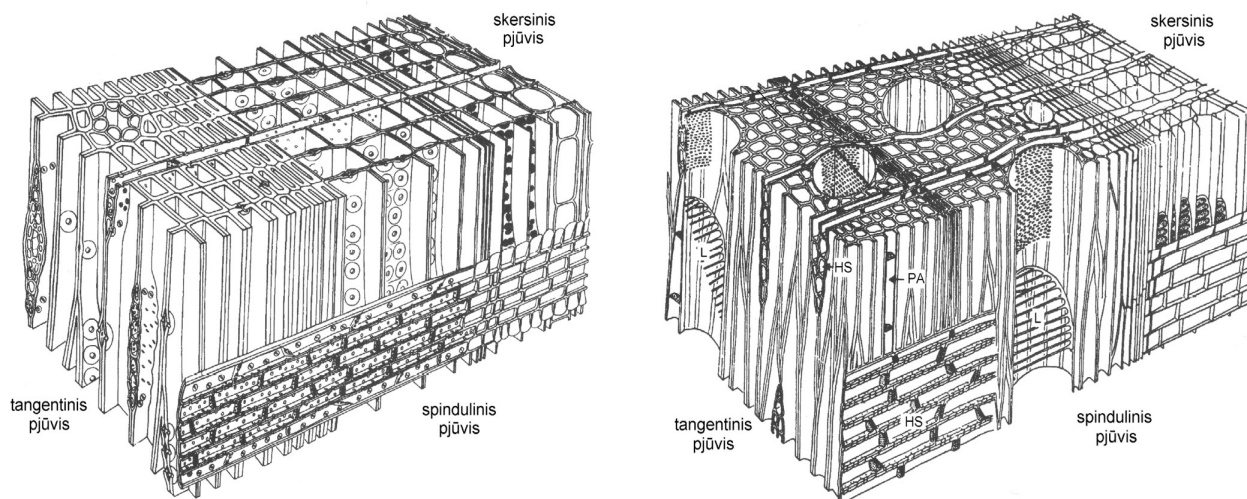
A2 tenkinantys tuos pačius kriterijus, kaip B klasės, atliekant vienu degančiu objektu (SBI) bandymą pagal LST EN 13823:2002. Be to, visiškai išsivysčiusio gaisro sąlygomis šie gaminiai neturės didelio poveikio gaisro apkrovai ir gaisro augimui. Gaminys visiškai nepalaiko degimo;

A1 A2 klasės gaminiai neturintys poveikio bet kokios išsivystymo stadijos gaisrui, taip pat ir visiškai išsivysčiusiam gaisrui. Dėl šios priežasties jie yra laikomi kaip galintys automatiškai tenkinanti visus žemesnių klasių reikalavimus. Gaminys visiškai nepalaiko degimo [9].

Visi statybos gaminiai nagrinėjami eksperimentiškai, gaisro metu, kuris gali išaugti ir galiausiai pasiekti visišką užsiliepsnojamą, atžvilgiu. [...] Gaminiai yra tiriami atsižvelgiant į jų praktinį panaudojimą [10].

1.2. Medienos fizinės savybės

Mediena, kaip statybinė medžiaga, pastatų konstrukcijose atlieka daugelį svarbių funkcijų. Konstrukcijos atitikimą nustatytiems reikalavimams iš esmės lemia medienos charakteristikos.



2 pav. Spygliuočių (kairėje) ir lapuočių (dešinėje) medienos mikrostruktūra [11].

Statyboje naudojama spygliuočių ir lapuočių mediena (2 pav.). Spygliuočių mediena turi tiesų ir lygų kamieną, ji atsparesnė ligoms, ne taip greitai pūva. Iš lapuočių medienos statomi laikini pagalbiniai pastatai, daromos tvoros, klojiniai, gaminamos statybinės detalės. Sausos medienos masė (apie 99 proc.) susideda iš organinių medžiagų. Be jų dar šiek tiek yra neorganinių medžiagų (apie 0,2-1,2 proc.), kurios medienai sudegus, virsta pelenais. Pelenų kiekis priklauso nuo medžio augimo sąlygų, amžiaus ir t.t. Neorganinių medžiagų daugiausia yra žievėje ir lapuose. Statybinių konstrukcijų gamybai naudojamas medienos drėgnumas turi būti toks, koks jis bus eksploataavimo metu [12].

Mediena atspari gniuždymui, todėl iš jos dažnai gaminamos gniuždomosios detalės. Medienos gniuždomasis stipris priklauso nuo jos rūšies ir gniuždymo krypties. Tempimas gali būti išilgai arba statmenai sluoksnių. Jei tempimo plokštumoje yra plyšių, atsparis gali sumažėti iki nulio. Dėl to mediena retai naudojama šios rūšies apkrovoms atlaikyti. Mediena yra labai atspari lenkimui. Dėl šios savybės ji plačiai naudojama konstrukcijoms ir detalėms, kurias veikia lenkimo jėgos - sijoms, santvaroms, tiltams ir t.t. Lenkiamų elementų ir detalių matmenis, paprastai, lemia atsparumo rodikliai bei leidžiamas įlinkio dydis [13]. Medienos fizikinių ir mechaninių savybių charakteristinių rodiklių reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Medienos fizikinių ir mechaninių savybių charakteristinių rodiklių reikšmės [14].

Biologinės rūšys		Spygliuočiai			Lapuočiai		
Stiprumo klasės		C18	C24	C30	D30	D40	D60
Stiprio reikšmės (MPa)							
Lenkimas	$f_{m, k}$	18	24	30	30	40	60
Tempimas išilgai pluoštų	$f_{t,0, k}$	11	14	18	18	24	36
Tempimas skersai puoštų	$f_{t,90, k}$	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7
Gniuždymas išilgai pluoštų	$f_{c,0, k}$	18	21	23	23	26	32
Gniuždymas skersai pluoštų	$f_{c,90, k}$	4,8	5,3	5,7	8,0	8,8	10,5
Šlytis (kirpimas) išilgai pluoštų	$f_{v, k}$	2,0	2,5	3,0	3,0	3,8	5,3
Modulių reikšmės (10^{-3} MPa)							
Vidutinis tamprumo išilgai pluošto modulis	$E_{0, mean}$	9	11	12	10	11	14,3
5% tamprumo išilgai pluošto modulis	$E_{0,05}$	6,0	7,4	8,0	8,0	9,4	14,3
Vidutinis tamprumo skersai pluošto modulis	$E_{90, mean}$	0,30	0,37	0,40	0,64	0,75	1,13
Vidutinis šlyties modulis	G_{mean}	0,56	0,69	0,75	0,60	0,70	1,06
Tankio reikšmės (kg/m^3)							
Tankis	ρ_k	320	350	380	530	590	700
Vidutinis tankis	ρ_{mean}	380	420	460	640	700	840

1.3. Medienos degimo procesas

Degimas yra pagrindinis procesas, vykstantis gaisre. **Degimas** – medžiagos (statybos produkto) egzoterminė reakcija su oksidantu, paprastai lydima liepsnos ir (arba) rusenimo ir (arba) dūmų išsiskyrimo [2].

Kitaip sakant, degimas – tai cheminė reakcija, kurios metu degioji medžiaga ir ore esantis deguonis susijungia ir dėl to atsiranda šiluma, matome liepsną, išsiskiria degimo produktai. Degant kai kurioms medžiagoms, dūmai ir (arba) liepsna gali būti nematomi. Tam, kad vyktų degimas, turi būti trys pagrindiniai komponentai: degioji medžiaga, oksidatorius (ore esantis deguonis) ir uždegimo šaltinis. Kai visi trys komponentai yra kartu, vyksta degimo procesas (3 pav.). Atskirkime nors vieną kampą – degimo procesas nutrūks [15].



3 pav. Klasikinis degimo trikampis. Degimo trikampis atskyrus vieną kampą [15].

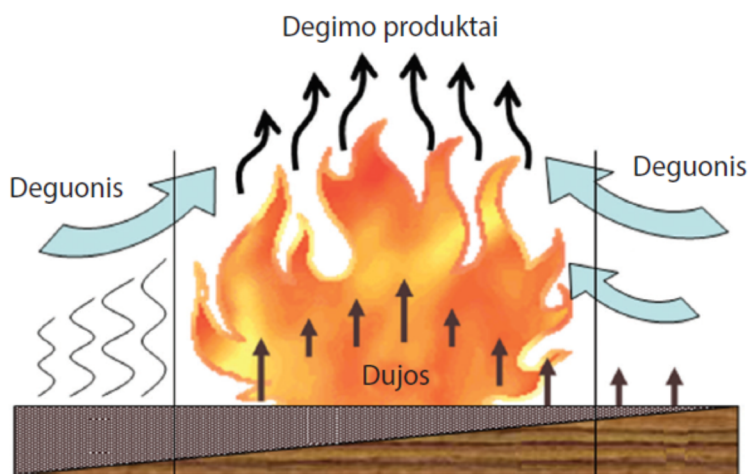
Degioji medžiaga (reduktorius) yra nuo uždegimo šaltinio užsideganti ir normaliomis sąlygomis toliau deganti medžiaga. Ji gali būti kieta (mediena), skysta (benzinas) arba dujinė (metano dujos). Svarbiausi degieji cheminiai medžiagų elementai gamtoje yra anglis (C), vandenilis (H₂) ir siera (S). Sunkiai degi medžiaga užsidega nuo uždegimo šaltinio poveikio, bet, pašalinus uždegimo šaltinį, ji užgęsta. Nedegi medžiaga, veikiamą uždegimo šaltinio, nedega, per ją neplinta ugnis [15].

Oksidatoriumi degimo reakcijoje gali būti deguonis. Jo atmosferoje yra apie 21 %. Sumažėjus deguonies kiekiui ore iki 17 %, degimas atvira liepsna nutrūksta, bet visiškai užgesti gali, kai deguonies kiekis ore sumažėja iki 13 % [15].

Uždegimo šaltinis – tai šiluma, kurios užtenka degiajai medžiagai užsidegti. Uždegimo šaltinio atsiradimo priežastys labai įvairios. Jos gali būti gamtinės kilmės, t. y. nepriklausančios nuo žmogaus veiklos, arba sudarytos dirbtinai, inicijuotos žmogaus veiklos [15].

Skirtingos medžiagos užsidega, dega skirtingu greičiu ir sudega per skirtingą laiką. Yra kelios degimo stadijos: pradinė, degimo, užgesimo. Kadangi degimas yra cheminė reakcija, tai medžiagos reaguoja tik tuo atveju, kai jos yra vienodos fizinės būklės, tai yra kai jos yra dujinės [15].

Degiosios dujos maišosi su ore esančiu deguonimi ir sudaro degųjį mišinį (4 pav). Degusis mišinys užsiliepsnoja ir vėl skleidžia šilumą. Taip procesas kartojasi tol, kol nesudegs visos galinčios sudegti medžiagos [15].



4 pav. Degimo procesas [15].

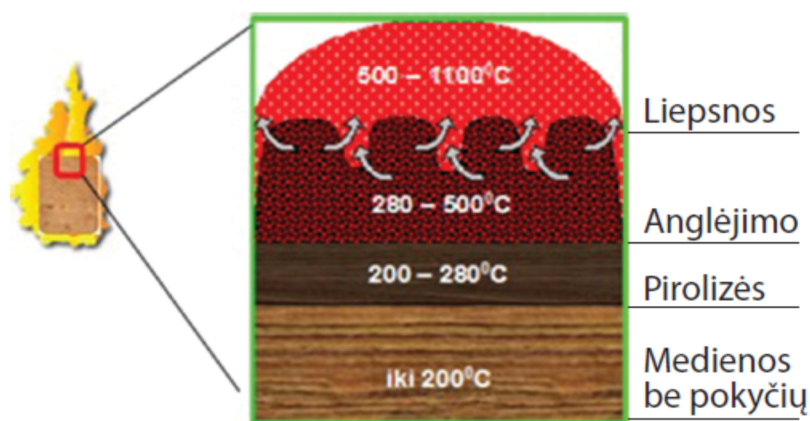
Gaisras - degimo procesas, pasižymintis šilumos išskyrimu, lydymas dūmų ir (arba) liepsnos. Gaisro metu išsiskirianti šiluma į aplinką patenka skirtingais keliais. Jos išsiskyrimo intensyvumas skirtingais gaisro etapais gali skirtis. Išskiriami trys pagrindiniai šilumos perdavimo būdai: konvekcinis, kondukcinis (kontaktinis), šiluminis spinduliavimas [2] [15].

Degimo produktai, išsiskiriantys degimo metu, yra nuodingi, o kai kurios medžiagos degdamos išskiria tokių nuodingųjų medžiagų, kurių vieną kartą įkvėpus pakanka gauti mirtiną toksinių medžiagų dozę. Degant natūralioms degiosioms medžiagoms išsiskiria trys pagrindinės degimo produktus sudarančios medžiagos: anglies dioksidas CO_2 , anglies monoksidas (CO arba smalkės) ir suodžiai (kietosios degimo produktų dalelės). Žmogui pavojingiausios yra anglies monoksido dujos. Įkvėpus šių dujų, CO jungiasi su žmogaus kraujo hemoglobinu. Kadangi CO yra aktyvesnis negu deguonis, CO lieka kraujyje ir kraujo gebėjimas pernešti deguonį į ląstelę ir CO_2 atgal sumažėja [15].

1.3.1. Medienos anglėjimas

Mediena termiškai skyla kaitinama visai be oro arba kaitinama esant oro pertekliui. [12]. **Pirolizė** (gr. pyr – ugnis, karštis ir lysis – atskyrimas, tirpdymas) – terminis organinių medžiagų (medienos, naftos produktų, anglies junginių ir kitų) skaidymas be deguonies ir kitų reagentų, išskyrus galimus garus.

Pavyzdžiui, kaitinant medieną pirmiausia susidaro karštas paviršiaus sluoksnis (5 pav.). Kuo ilgiau kaitinama mediena, tuo gilesnis yra įkaitęs sluoksnis [15]. Skirtingai nuo kitų medžiagų, mediena nėra laidus šilumai, todėl susiformuoja keli skirtingai įkaitę sluoksniai. Sąlyginai mes juos galime suskirstyti į zonas. Medienos be pokyčių zona yra ta, kur mediena įkaitusi iki $200\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūros. Dalis medienos, kuri įkaitusi nuo 200 iki $280\text{ }^\circ\text{C}$, pradeda skilti. Ten prasideda pirolizės procesas. Todėl tą zoną pavadiname pirolizės. Medienos paviršius, kuris tiesiogiai veikiamas liepsnos, anglėja, o iš šios zonos išsiskiria didžiausias degių dujų kiekis. Anglėjimo zonos temperatūra būna nuo 280 iki $500\text{ }^\circ\text{C}$. Liepsnos zonoje degiosios dujos dega, kai pasiekia 500 iki $1100\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrą [15].



5 pav. Sąlyginės degimo zonos medienoje [15].

Pirolizės metu gaunami kieti (anglys), skysti ir dujiniai produktai. Pakaitinus iki $120\text{--}125\text{ }^\circ\text{C}$, išsiskiria vanduo ir iš dalies skyla neatsparios hemiceliuliozės, $150\text{--}275\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje suskaldomos visos hemiceliuliozės, o esant $275\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$ vyksta pagrindinės medienos irimo reakcijos (joms vykstant, audringai išsiskiria šiluma). $450\text{--}550\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje (vėl pakaitinus iš išorės) iškaitinama anglis [12].

Mažo tankio mediena (eglė, gluosnis, liepa, drebulė) užsidega greičiau, nes tokiai medienai įkaitinti iki užsidegimo temperatūros reikia mažiau šilumos negu didelio tankio medienai [12].

2 lentelė. Pagrindinių pirolizės produktų išeiga [12].

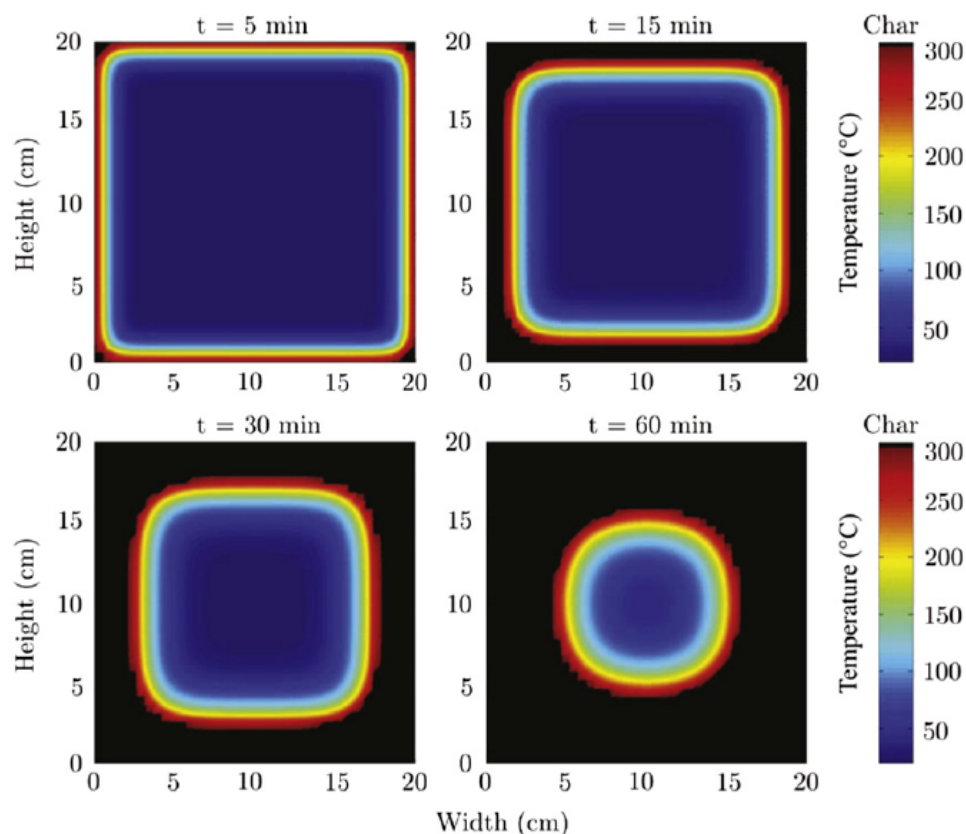
Medžio rūšis	Išeiga (% nuo visiškai sausos žaliavos masės)				
	anglys	dujos	acto rūgštis	metilo spiritas	dervos
Beržas	33,0	15,3	6,9	1,6	6,3
Pušis	37,9	18,2	3,1	0,85	7,0

Medienos pirolizės mechanizmui įtakos turi jos pagrindinės sudedamosios dalys (hemiceliuliozė, celiuliozė, ligninas), taip pat tankis, temperatūra, degimo terpė ir kt. Atliktų medienos terminio skilimo tyrimų duomenys nevienodi, naudojamos skirtingos degimo terpės, skirtinga mediena. Medienos savybėms įtakos turi jos augimo aplinka, sąlygos, todėl reikia atlikti tyrimus su Lietuvoje užaugusia mediena, kad įvertinti jos degumą [16].

1.4. Aukštos temperatūros poveikis medinėms konstrukcijoms

Materialinių nuostolių, patiriamų gaisro metu, didumas tiesiogiai priklauso nuo pastato arba statinio konstrukcijų atsparumo ugniai lygio. [...] Pastatų, statinių ir jų konstrukcinių elementų atsparumas ugniai gali būti apibūdinamas kaip sugebėjimas gaisro metu, išsaugoti laikančiąją galią, atitvarines funkcijas ir priešintis ugnies plitimui. Laikančios galios netekimo kriterijais gali būti tiek konstrukcijų suirimas, tiek jų deformacijos, padarančios neleistiną tolimesnę konstrukcijų eksploataciją. [...] Atitvarinės funkcijos netekimas nustatomas pagal atitvaros pusės tiesiogiai neveikiamos ugnimi įkaitimą iki kritinės temperatūros, kurią viršijus gaisras gali kilti gretimose patalpose arba pagal atsirandančius plyšius, leidžiančius skverbtis liepsnai. [...] Medinės konstrukcijos gaisro metu pasiekia ribinį būvį, mažėjant skerspjūvio matmenims. Medžio konstrukcijų skerspjūvio mažėjimas vyksta anglėjant medienai. Mažėjant skerspjūviui, didėja veikiantys įtempimai ir, jiems pasiekus stiprumo ribą, konstrukcija suyra. Todėl, žinant medienos anglėjimo greitį, skaičiavimu nustatomas laikas per kurį skerspjūvis sumažėja iki kritinių matmenų. [17]

Mokslininkai S. Schnabl, G. Turk, ir I. Planinc 2011m. straipsnyje [18] nagrinėjo medinės kolonos mechaninės savybės veikiamos nuolatinės apkrovos ir ugnies poveikio. Tyrimo metu nustatyta, kad pasireiškia bendra tendencija, rodanti, kad kolonos laikomoji galia žymiai sumažėja gaisro metu. Atsiranda tikimybė, kad medinė kolona suirs, vykstant gaisrui. Tyrimo metu stebėta vandens pasišalinimas iš medienos masyvo ir kolonos skerspjūvio mažėjimas [18].



6 pav. Medinės kolonos skerspjūvio mažėjimas veikiant temperatūrai $t=5, 15, 30$ ir 60 min [18].

Didelę reikšmę konstrukcijų elgsenai gaisro metu turi temperatūrinės jų deformacijos. Medienos temperatūrinės deformacijos mažos ir neturi žymaus poveikio pastato karkaso laikomajai galiai. [...] Medienos užsidegimas priklauso nuo daugelio veiksnių. Mažas medienos šilumos laidumas sudaro blogas šilumokaitos sąlygas, temperatūra ties medienos paviršiumi greitai kyla ir susidaro palankios sąlygos konstrukcijai užsidegti [17].

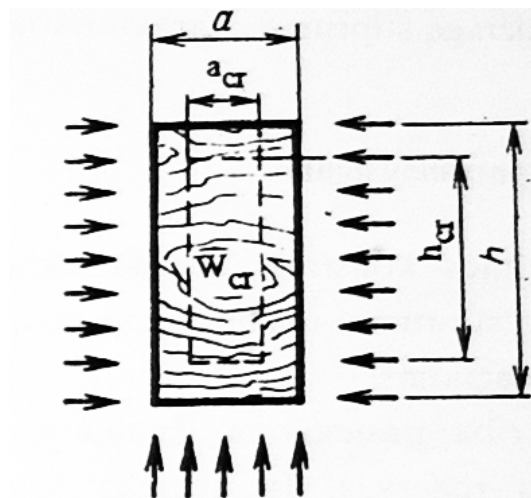
Medinių elementų jungimui dažnai naudojamos metalinės detalės, varžtai. Tokiuose mazguose, kaistant metalinėms detalėms, mediena anglėja ties jomis ir blogėja metalo medienos kontaktas (7 pav.), o esant pakankamai aukštai temperatūrai gali suirti pats jungiantysis metalinis elementas [17].



7 pav. Medinių elementų sujungtų metalinėmis detalėmis suirimas.

Kritinių temperatūrų ir kritinių skerspjūvių nustatymo uždaviniai vadinami **statiniais**, o konstrukcijų ar jos dalies perkaitimo – **šiluminiai**. Sprendžiant šiluminius uždavinius, daromos papildomos prielaidos [17]:

- skaičiuojamas atskiras konstrukcinis elementas, neįvertinant jo ryšių su kitais elementais;
- gaisro metu konstrukciniai elementai yra tolygiai kaitinami per visą jų ilgį;
- temperatūros nuostoliai per skaičiuojamo elemento galus – nevertinami;
- temperatūriniai įtempimai, atsirandantys dėl skirtingo atskirų skerspjūvio sluoksnių įkaitimo, nevertinami;
- skaičiuojant kritines temperatūras ir kritinius skerspjūvio matmenis, naudojamos norminės medžiagų stiprumo charakteristikos.

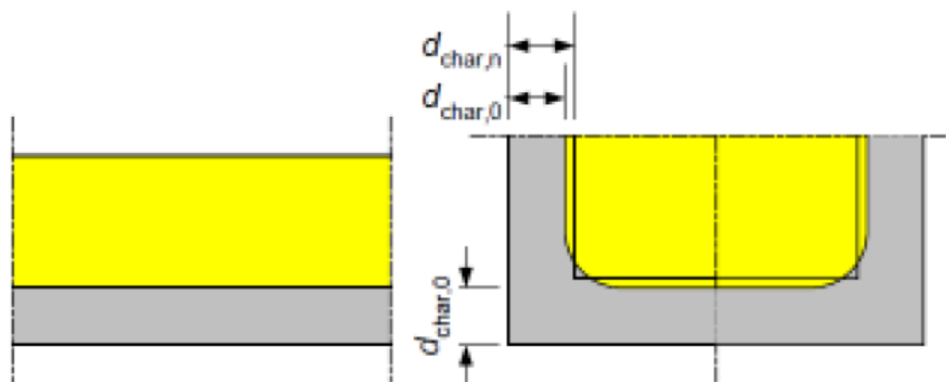


8 pav. Medžio sijos atsparumo ugniai skaičiavimo schema. a , h – sijos matmenys, a_{cr} , h_{cr} – kritiniai sijos matmenys, W_{cr} – kritinis sijos skerspjūvio plotas [17].

Medinių konstrukcijų atsparumo ugniai skaičiavimui reikia žinoti [19]:

- medinio elemento šiluminio poveikio mastą gaisro metu (vienpusis, dvipusis, tripusis ar keturpusis kaitinimas);
- medienos apsaugos nuo ugnies poveikio būdus;
- anglėjimo greitį;
- temperatūros pasiskirstymą medinio elemento skerspjūvyje;
- stipruminių rodiklių pokyčius, veikiant aukštesnėms temperatūroms.

Medinių konstrukcijų elgsenos gaisro metu skaičiavimui LST EN 1995-1-2:2005 pateikiama „veiksmingojo skerspjūvio“ sąvoka, t.y. skerspjūvio, gauto atėmus nuo sluoksnio storio suanglėjusį sluoksnį [19].



9 pav. Vienmatis ir sąlyginis anglėjimo greitis [19].

Vienmačio anglėjimo sparta (9 pav.) turi būti laikoma pastovia. Skaičiuotinis anglėjimo gylis turi būti apskaičiuojamas taip:

$$d_{char,0} = \beta_0 t$$

čia: $d_{char,0}$ – skaičiuotinis vienmačio apanglėjimo gylis; β_0 – skaičiuotinė vienmačio anglėjimo sparta standartinio gaisro poveikio sąlygomis; t – gaisro poveikio trukmė.

Sąlyginė anglėjimo sparta, kurios dydis aprėpia kampų apvalumų ir įtrūkių poveikį, turi būti laikoma pastovia. Sąlyginis anglėjimo gylis turi būti apskaičiuojamas taip:

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

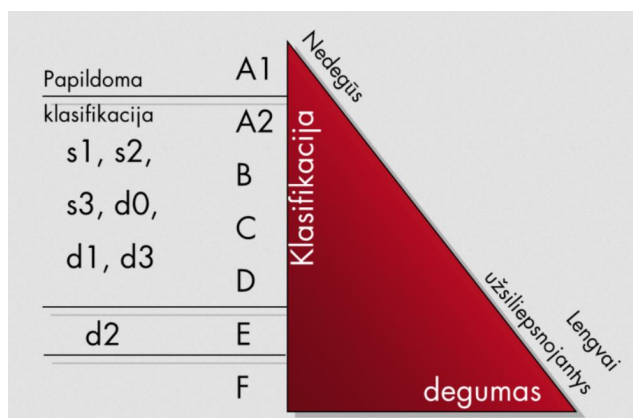
čia: $d_{char,n}$ – sąlyginis apanglėjimo gylis, kurį taikant atsižvelgiama į kampų apvalumų poveikį; β_n – sąlyginė anglėjimo sparta, kurios dydis aprėpia kampų apvalumų ir įtrūkių poveikį; t – gaisro poveikio trukmė [19].

3 lentelė. Skaičiuotinė anglėjimo sparta [19].

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Spygliuočių mediena ir bukas		
Klijuota sluoksniuotoji mediena, kurios charakteristinis tankis yra $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vientisoji mediena, kurios charakteristinis tankis yra $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Lapuočių mediena		
Vientisoji arba klijuota sluoksniuotoji lapuočių mediena, kurios charakteristinis tankis yra 290 kg/m^3	0,65	0,7
Vientisoji arba klijuota sluoksniuotoji lapuočių mediena, kurios charakteristinis tankis yra $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL, kurios charakteristinis tankis yra $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Plokštės		
Medinės plokštės	0,9 ^a	–
Fanera	1,0 ^a	–
Pertvarkytosios medienos plokštės, išskyrus fanerą	0,9 ^a	–

1.5. Apsauginių dangų naudojimas

Vadovaujantis statybos produktų degumo klasifikavimu (10 pav.), statybos produktai pagaminti iš medienos priskiriami D, s2, d0 degumo klasei, tai reiškia, jog medinės konstrukcijos yra degios, tačiau sunkiai užsiliepsnojančios, degdamos išskiria dūmų, tačiau nesusidaro degančių dalelių. Naudojant apsaugines priemones pasiekama B, s1, d0 degumo klasė, tai sunkiai degi, degimo metu mažai dūmų išskirianti degumo klasė, kuri padidina užsiliepsnojimo temperatūra [20].



10 pav. Degumo klasės [9].

Siekiant padidinti medinių konstrukcijų atsparumą ugniai yra taikomi įvairūs konstrukcijų apsaugos priemonės nuo gaisro poveikio. Medinių konstrukcijų atsparumas ugniai priklauso nuo apsauginio sluoksnio rūšies ir storio. Medinių konstrukcijų atsparumas ugniai gali būti didinamas šiomis priemonėmis [20]:

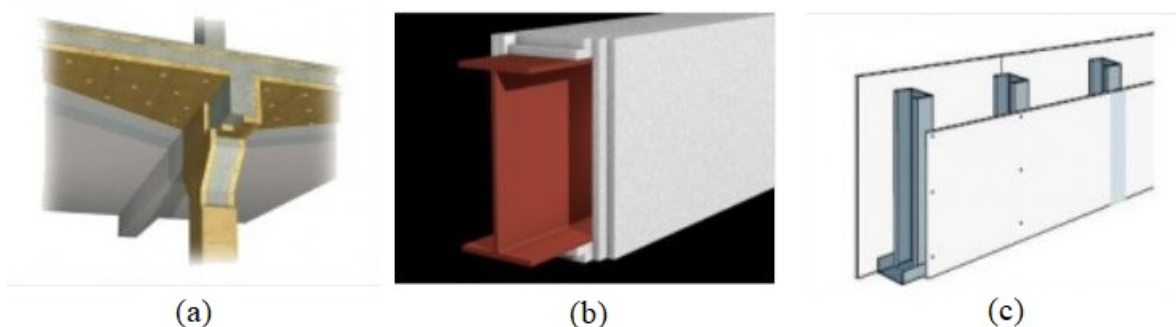
- padengiant besiplečiančiais ar degumą mažinančiais dažais;
- įrengiant papildomas surenkamas nedegių plokščių sistemas;
- aptaisant nedegiomis medžiagomis, tinkuojant.

Apsauginiai dažai. Medžiagos, stabdančios ugnies poveikį - tai cheminės priemonės, vadinamos antipirenais. Antipirenas - tai speciali medžiaga ir jos naudojimo būdas, siekiant slopinti, smarkiai sumažinti ar uždelsti degimą. Antipirenai gaminami įvairių druskų tirpalų pagrindu. Cheminė medienos apsauga yra procesas, kurio metu cheminiai junginiai įsiskverbia į medieną ir keičia jos savybes ugnies bei karščio atžvilgiu. Kokybiškas medinių konstrukcijų ir kitų medinių gaminių impregnavimas antipirenais, kilus gaisrui, leidžia išsaugoti žmonių gyvybes ir materialines vertybes [21].

Amonio polifosfato ir melamino polifosfato naudojimas priešgaisrinėse išsipučiančiose dangose turi įtakos tūriniam priešgaisrinių dangų padidėjimui bei nedegių liekanų sluoksnio susidarymui, taip pat ir dūmų susidarymui, tačiau šioms medžiagoms yrant išsiskiria pavojingos žmonių sveikatai medžiagos, tokios kaip CO, CO₂ ir NH₃ [21].

Priešgaisrinės išsipučiančios dangos vandens pagrindu išskiria mažiau dūmų nei organinių tirpiklių pagrindu, tačiau yra mažiau atsparios aplinkos poveikiui. Norint dangas apsaugoti nuo aplinkos poveikio, joms būtina papildoma apsauga, kuri, deja, ženkliai padidina dūmų išsiskyrimą, tuo pačiu ir didesnę išskiriamų nuodingų medžiagų kiekį. Dangas vandens pagrindu papildomai padengus viršutine apsaugine danga, degumo klasė pablogėja nuo B s2, d0 iki D s2, d0. Tuo pačiu gaisro metu daugiau išskiriama nuodingų medžiagų [21].

Surenkamos priešgaisrinės konstrukcijos. Jeigu reikalinga aukštesnė atsparumo ugniai klasė ant medinių paviršių įrengiamos surenkamos priešgaisrinės plokštės. Tokiu būdu medinių konstrukcijų atsparumą ugniai galima padidinti iki R90 laipsnio [20].



11 pav. a) mineralinės vatos plokštės; b) lengvo kalcio silikato plokštės; c) kieto kalcio silikato plokštės [20].

Mineralinės (akmens) vatos plokštės. Akmens vatos plokštės (11 pav. a) skirtos metalo ir gelžbetonio konstrukcijų, kaminų bei krosnių apsaugai nuo ugnies. Apsaugant metalines konstrukcijas pasiekiamas atsparumas ugniai iki 210 min. Gali būti apsaugomos konstrukcijos ugnies veikiamos iš keturių pusių [20].

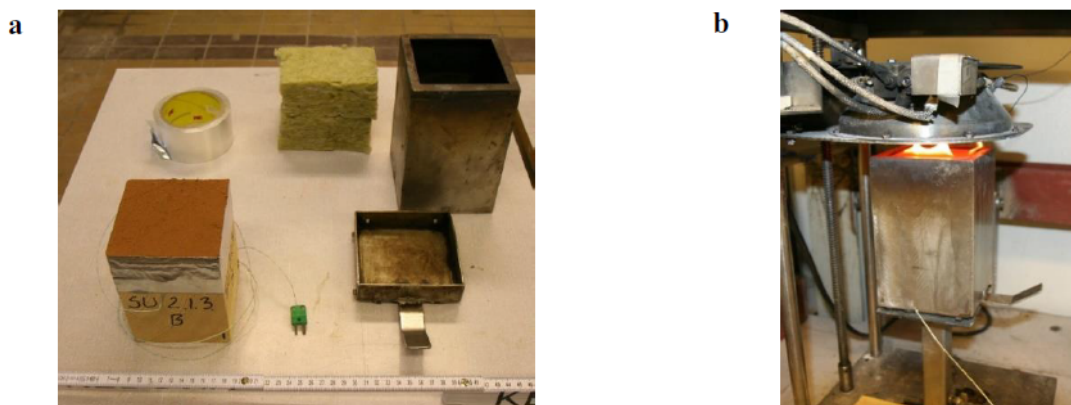
Lengvos kalcio silikato plokštės. Kalcio silikato plokštės (11 pav. b) skirtos laikančiųjų metalinių konstrukcijų bei ortakių apsaugai nuo ugnies. Naudojant šias plokštes pasiekiamas metalinių konstrukcijų atsparumas ugniai iki 180 min, naudojant jas ortakių apsaugai – iki 90 min. Kalcio silikato plokštės taip pat gali būti naudojamos medienos plokščių apsaugai nuo ugnies, pagal reakcijos į ugnį bandymus pasiekiamos K1 10 A1 ir K2 30 A1 degumo klasės [20].

Kietos kalcio silikato plokštės. Kietos kalcio silikato plokštės (11 pav. c) skirtos statybinių konstrukcijų atsparumo ugniai didinimui, priešgaisrinių pertvarų įrengimui, židinių, krosnių montavimui. Pasiekiamas vertikalios atitvaros atsparumas ugniai iki 120 min. Naudojant kartu su gipso kartono plokštėmis gali būti naudojamos perdangų, pakabinamų lubų įrengimui, kurių atsparumas ugniai iki 180 min [20].

Priešgaisrinis tinkas. Priešgaisrinis purškiamas glaistas naudojamas konstrukcijų apsaugai beveik visuose statybos objektuose. Tai vienas iš nedaugelių būdų, kuris gali būti naudojamas išorinėms ir vidinėms konstrukcijoms ir elementams apsaugoti [20].

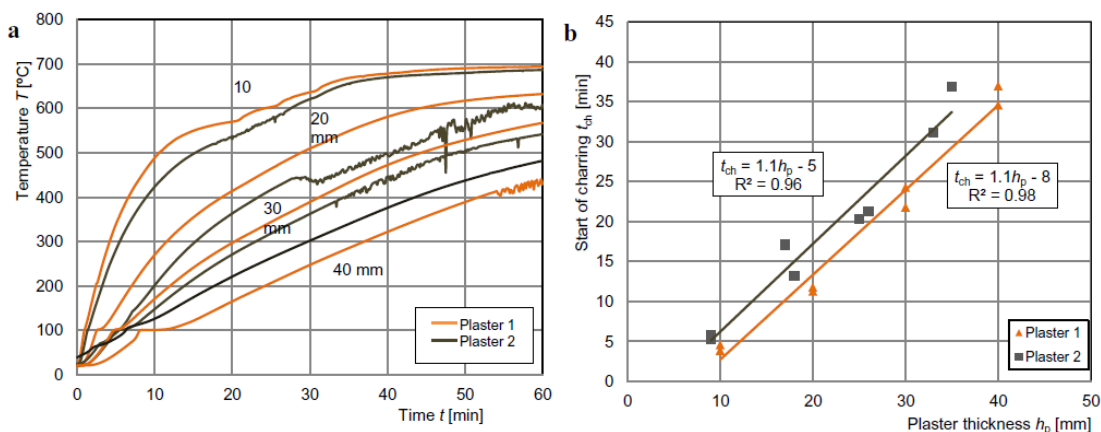
Purškiamas priešgaisrinis gipsinis tinkas. Purškiamas priešgaisrinis gipsinis tinkas skirtas apsaugoti nuo ugnies gelžbetoninėms konstrukcijoms (sijoms ir kolonom), plieniniams laikantiems elementams, laikantiems betono ir profiliuotų kompozitinių medžiagų elementams bei ventiliacijos ortakiams. Plieninių bei gelžbetoninių konstrukcijų atsparumas ugniai pasiekiamas iki 240 minučių, ortakų – iki 120 minučių [20].

Mokslininkai J. Liblik ir A. Just 2016 m. straipsnyje [21] nagrinėjo tinką iš molio skiedinio (12 pav.). Molio tinkas buvo įrengtas ant medinio paviršiaus [21].



12 pav. a) bandinių paruošimas; b) bandymas [21].

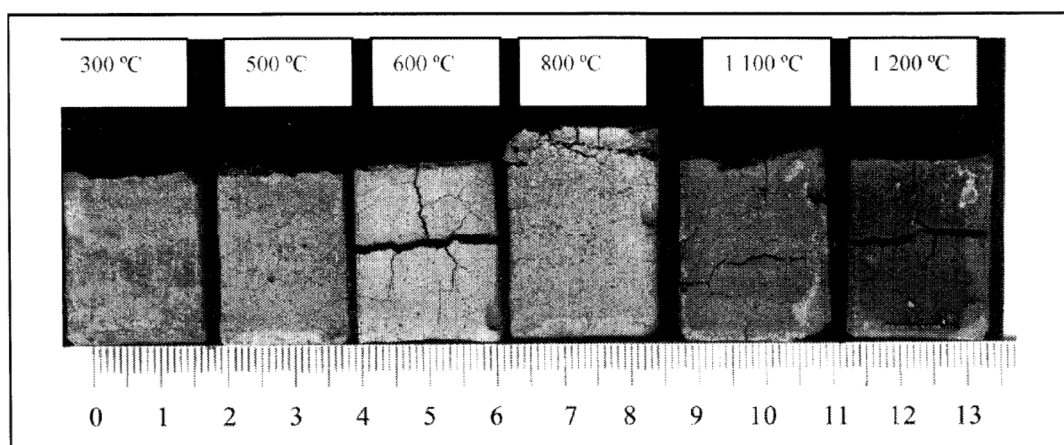
Straipsnyje aprašyti bandymo rezultatai rodo, kad tradicinė statybinė medžiaga - molio tinkas yra tinkama medienos apsauga konstrukcijoms gaisro metu. Molio-gipso tinko naudojimas riboja medinių konstrukcijų užsiliepsnojamą gaisro metu ir mažina medinio elemento paviršiaus anglėjimo spartą (13 pav.), kai prie medinės konstrukcijos paviršiaus pritvirtinamas molio tinkas. Molio tinko storis yra svarbus parametras, nuo kurio priklauso medinio paviršiaus anglėjimo pradžia [21].



13 pav. Medienos paviršiaus temperatūros priklausomybė nuo tinko storio [21].

1.6. Aukštos temperatūros poveikis betonui

Veikiant portlandcemenčio akmenį aukštomis temperatūroms, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristalohidratai, kurių dydis siekia 10 nm, kaitinami praranda vandenį ir pasikeičia į CaO kristalus, kurių būdingasis dydis yra 10-3 nm. Kalcio oksido savitasis paviršius didelis, todėl jis iš aplinkos prisisotina drėgmės ir pakartotinai hidratuojasi. Antros hidratacijos metu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tūris padidėja 44 %. Mokslininkai S. Goberis ir V. Antonovic atliko tyrimus. Bandymams buvo panaudotas portlandcementis (CEM I 42,5). Vandens ir cemento santykis 0,25. Cementiniai bandiniai kietėjo 7 paras normaliomis sąlygomis, vėliau buvo degti įvairiose temperatūrose nuo 300 °C iki 1200 °C ir laikomi 3 paras drėgnomis sąlygomis. Bandiniai suyra (14 pav.) juos išdegus 600 °C temperatūroje ir palaikius 3 paras drėgnomis sąlygomis [23-24].



14 pav. Portlandcemenčio bandiniai po degimo ir išlaikymo 3 paras drėgnomis sąlygomis [23].

Tyrimo rezultatai patvirtina aukščiau aprašytą mechanizmą, kad portlanditas $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pasiekęs 530 - 560 °C, skyla ir susidaro kalcio oksidas (CaO). Vėliau aušimo metu kalkės iš aplinkos absorbuoja vandenį ir vėl hidratuoja. Antrą kartą hidratuotas portlanditas yra mažiau kristalizavęs nei pradinis, ir jo terminio skilimo temperatūra tampa mažesnė [23].

Gerinant betono charakteristikas į betono sudėtį įmaišomi įvairūs priedai. Granuliuotų šlakų veikimas cementinėse sistemose yra toks pat, kaip pucolaninių priedų. Tačiau šlakai skiriasi nuo kitų pucolanų, nes jie patys savaime gali kietėti. Nustatyta, kad aukštakrosnių šlako, sumaišyto su portlandcemenčiu ir užpiltu vandeniu, hidratacijos pagrindinis produktas iš esmės lygiai toks pat, kaip ir portlandcemenčio, t. y. kalcio hidrosilikatas (C-S-H). Granuliuoto aukštakrosnių šlako hidratacijos produktai paprastai yra gelio pavidalo, priešingai negu portlandcemenčio. Tai irgi didina granuliuoto aukštakrosnių šlako cementinės tešlos tankumą. Granuliuoto aukštakrosnių šlako hidratacija portlandcemenčio aplinkoje didžiąja dalimi priklauso nuo stikliškos šlako struktūros išskaidymo ir ištirpymo hidroksido jonais, išlaisvintais portlandcemenčio hidratacijos metu. Hidrolizuojantis granuliuotam aukštakrosnių šlakui, jis reaguoja su šarmais ir kalcio hidroksidu $\text{Ca}(\text{OH})_2$,

sudarydamas papildomą kalcio hidrosilikatą (C-S-H). Aukštakrosnių šlakuose CaO, SiO₂, Al₂O₃ ir MgO suma sudaro nuo 90 % iki 95 % visos masės. Be to, juose šiek tiek yra MnO, FeO, CaS, FeS ir kitų oksidų bei sulfidų. Taigi, didelė šlakų dalį sudaro tie patys oksidai, kurie yra ir portlandcemenčio sudėtyje, tik čia yra kitoks jų kiekių santykis [25].

Betono gamybai visais atvejais naudojamas smulkusis užpildas, kuris dažniausiu atveju būna smėlis. Smėlis yra nuosėdinė uoliena, turinti gana įvairią mineralinę sudėtį, daugiausiai kvarco. Kvarcas yra silicio dioksido mineralas, kuris pasiekęs 573 °C temperatūrą deformuojasi ir keičia kristalinę gardelę iš beta - β į alfa - α, taip didindamas savo tūrį 1,5 %, kaitinamas 870 °C temperatūroje kvarcas virsta tridimitu ir dar padidina tūrį [13].

1.6.1. Betono sprogstamoji irtis

Kaitinant betoną, galimas sprogstamasis efektas. Sprogstamasis efektas galimas prie žemesnių kaip 200 °C temperatūrų. Didelio stiprumo betonas turi didesnę tendenciją sproginėti, nei normalaus stiprumo betonas. Paviršiaus trūkinėjimas didėja, didėjant betono drėgnumui, betono nelaidumui, išorinės apkrovos gniuždymui, temperatūros greičiui, nevienodam temperatūros pasiskirstymui. Betono sprogstamoji irtis susijusi su vandens garų slėgiu betone. Kaitinant betoną, laisvasis vanduo kaista ir garuoja, nesant sąlygų vandeniui išgaruoti (uždaros poros) atsiranda didelis slėgis [24].

1.6.2. Ugniai atsparūs betonai

Ugniai atspariomis medžiagomis vadinamos medžiagos, kurios nesilydo ir nesuyra aukštoje temperatūroje. [...] Remiantis kitų šalių patirtimi, ugniai atspariomis medžiagomis ar ugniai atspariais gaminiais reikėtų vadinti tokius, kurie aukštesnėje kaip 1000 °C temperatūroje nepraranda eksploatacinių savybių. [...] Visas ugniai atsparias medžiagas galima klasifikuoti pagal bendruosius požymius (cheminę bei mineralinę sudėtį, atsparumą ugniai, poringumą, naudojimo sritį) ar specialiuosius požymius (rišiklio rūšį, formavimo būdą, matmenis, formą) [26].

Ugniai atsparūs betonai klasifikuojami vadovaujantis LST EN ISO 1927-1:2013. Neforminiai ugniai atsparūs gaminiai. 1 dalis. Įvadas ir klasifikavimas. Neforminiai ugniai atsparūs gaminiai turi būti klasifikuojami, atsižvelgiant į tris kriterijus [35]:

- gaminio tipą ir klojybos metodą;
- pagrindinės žaliavos bazę;
- klasifikacinę temperatūrą.

Pagal cheminės sudėties tipą neforminiai ugniai atsparūs gaminiai klasifikuojami:

- aliumosilikatiniai gaminiai – daugiausia sudaryti iš aliuminio oksido, silicio dioksido ir aliumosilikatų;

- baziniai gaminiai – daugiausia sudaryti iš magnio oksido, dolomito, kalcio oksido, magnezito ir chromito, chromo rūdos bei špinelio.
- specialieji gaminiai – daugiausia sudaryti iš oksidų arba nedeguoninių junginių, kitokių, nei alimosilikatiniuose ir baziniuose gamininiuose.
- anglingieji gaminiai – daugiausia sudaryti iš alimosilikatinių, bazinių ar specialiųjų gaminių užpildų, ir turi daugiau nei 1 % anglies.

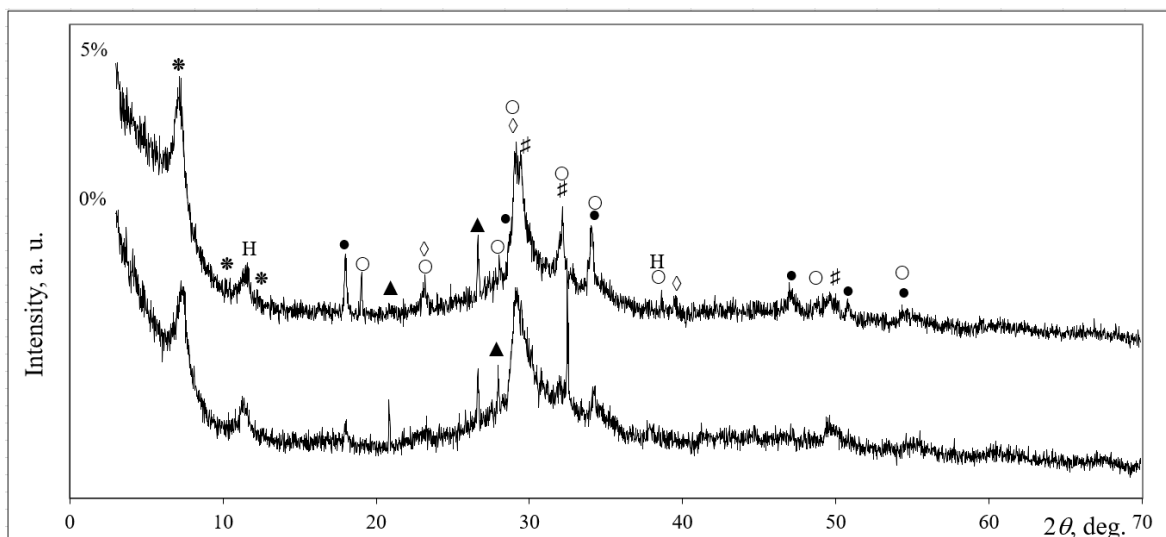
Statyboje plačiausiai naudojami ugniai atsparūs betonai pagaminti aluminatinio cemento pagrindu. Aukščiausia naudojimo temperatūra, pateikiama skirtingų gamintojų, svyruoja nuo 1000 iki 1200 °C. Į mišinio sudėtį įeina ugniai atsparus užpildas, pvz. maltas šamotas ir aluminatinis cementas. Įpylus atitinkamą kiekį vandens į šių dviejų komponentų mišinį, gaunama kieta monolitinė ugniai atspari masė, kuri rišasi hidrauliniu sukietėjimu. Šis sukietėjimas aukštesnėje kaip 1000°C temperatūroje virsta keraminiu sukietėjimu. Ugniai atspariu betonu galima pakeisti degtus ugniai atsparius gaminius. Iš jo galima gaminti monolitinius liejinius betarpiškai naudojimo vietoje arba formose [26].

Nemažai atliktų tyrimų rodo, kad sukietėję geopolimerinio betono gaminiai pasižymi savybėmis, gerinančiomis šios medžiagos atsparumą ugniai ir karščiui lyginant su portlandcemenčio betonu.

Geopolimerai tai – mineralų molekuliniai tinklai arba grandinės, susijungę kovalentiniais ryšiais, o savo chemine sudėtimi yra panašūs į ceolitus, tačiau geopolimerai turi labiau amorfinę mikrostruktūrą. Tokia medžiaga yra ekologiškesnė nei įprastas portlandcementis, ne tik dėl to, kad jo gamybos metu į aplinką patenka mažiau CO₂, bet gamyboje gali būti naudojamos įvairios pramoninės atliekos, kaip, kad lakieji pelenai, aukštakrosnių šlakas, naftos krekingo katalizinės atliekos [27].

Mokslininkai D. Vaičiukynienė, D. Nizevičienė, A. Kielė, E. Janavičius, D. Pupeikis straipsnyje [28] tyrinėtas geopolimerinio cemento mišinys iš šarmu aktyvuoto šlako su fosfogipso priedu. Šarmu aktyvuoto šlako mėginiai buvo išbandyti tiek kambario, tiek aukštoje temperatūroje. Nustatyta, kad fosfogipsas sutrumpino šarminiu būdu aktyvuoto šlako mišinio rišimosi trukmę kambario temperatūroje. Bandinių gniuždymo stipris priklauso nuo fosfogipso kiekio mišinyje. Didžiausia gniuždymo jėga MPa buvo pasiekta bandinių, kurie turėjo 5% fosfogipso. Bandinių gniuždymo stipris buvo panašus bandinius paveikus aukšta temperatūra [28].

Nustatyta, kad į mišinį įtraukus 5% fosfogipso pasiekiamas optimalus rezultatas, kurio metu buvo gautas didesnis gniuždymo stipris po apdorojimo 400, 600, 800 ir 1000 °C temperatūra. Šių tipų egzemplioriai parodė vidutiniškai 1,2 karto didesnę liekamojo stiprumo vertę nei egzemplioriai be fosfogipso. Tai reiškia, kad su šarmu aktyvuotas šlakas, sumaišytas su fosfogipsu, turi didelį atsparumą kaitrai ir galimybę geopolimerinį betoną pritaikyti ugniai atsparių gaminių gamybai [28].



15 pav. Šarmu aktyvuoto šlako su (0-5%) fosfogipso rentgenogramos.

Pastaba: ● – portlanditas Ca(OH)_2 ; ○ – natrio silikatas Na_2SO_4 ; # - kalcio hidrosilikatas – C-S-H [27].

Šlakiniam cementui yra būdingos šios pagrindinės savybės [25]:

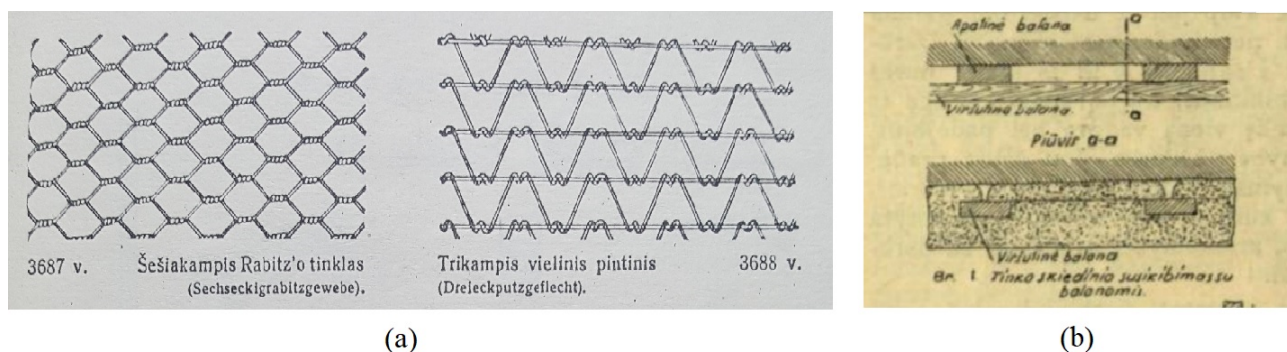
- hidratuojantis šlakiniam cementui, šilumos išsiskiria mažiau ir per ilgesnį laiko tarpą negu hidratuojantis portlandcemenčiui.
- šlakinis cementas vadinamas latentine hidrauline rišamąja medžiaga, nes jos hidratacijos periodas ir kietėjimo trukmė ištesėti. Jo stipruminės charakteristikos priklauso nuo kietėjimo parų skaičiaus ir kinta kitaip negu portlandcemenčio.
- atsparus sulfatų ir chloridų tirpalų poveikiui, nes beveik nėra trikalčio aluminato. Šiam cementui hidratuojantis, susidaro palyginti nedaug kalcio hidroksido, kuris dar reaguoja su šlaku. Dėl to šlakinio cemento akmenyje, veikiamame sulfatų ir chloridų tirpalų, nesusidaro ji ardančių junginių.

1.7. Medinių konstrukcijų apsauga Kultūros paveldo vertybėse

Medinių konstrukcijų atsparumo ugniai didinimas labai aktualus pastatuose, kuriuose negalima pakeisti jų kita medžiaga. Tai kultūros paveldo pastatai. Remontuojant ar restauruojant šiuos pastatus reikalaujama išlaikyti jas statant naudotas statybos technologijas ar atkurti autentiškas naudotas medžiagas, tačiau tuo pačiu pritaikomi lankymui pastatai turi atitikti gaisrinės saugos reikalavimus.

Mūrinių ir medinių pastatų vidinių ir fasado sienų tinkavimas kultūros paveldo pastatuose yra labai paplitęs. Pastatai pradėti tinkuoti XVI a. II p.–XIX a., kada Lietuvoje paplito renesanso architektūros stilius. Mūriniams nebereikėjo estetiškai rišti plytų. Buvo klojamos tik ilginių ir tik trumpinių plytų eilės. Toks plytų rišimas vadinamas renesansiniu. Akmenys ir plytos buvo rišami kalkių ir smėlio „riebiu“ skiediniu. Seniausių akmenų mūro pastatų skiedinys susidėjo iš kalkių tešlos ir smėlio santykiu 1:0,7–1:1,3. Buvo naudojamas smulkus smėlis su molio priemaiša. Plytų mūro skiedinio kalkių ir smėlio santykis 1:0,5–1,3. Užpildas šiuo atveju buvo stambesnis ir švaresnis [30].

Medinių konstrukcijų sienos, tinkuojamos kalkėmis ar kalkėmis su gipsu (vidinės sienos) storesniu sluoksniu ~2,5 cm, yra reikalingas paviršiaus šiurkštinimas, kuris daromas, išmušant balanų tinklu.



16 pav. a) armavimo tinklo pavyzdžiai; b) balanų tinklo įrengimas [29].

Tinkuoti reiškia ant tinkuojamos vietos užtraukti atitinkamo skiedinio tam tikrą sluoksnį, kuris būna nuo 3mm (mūro sienos užtrynimasis) iki 1-1,5cm (sienos uždrėbimas) ir 1,5-2,5cm (paprastas mūro, medžio sienų tinkas). Tinko darbams vartojamos medžiagos yra šios: degtos kalkės CaO, degtas gipsas, alebastras $\text{CaSO}_4+2\text{H}_2\text{O}\cdot 0,25$, hidraulinis gipsas CaSO_4 , cementas (romancementas, portlandcementis ir kt.), įvairaus pavidalo smėlis (SiO_2 , smulkintas marmuras CaCO_3 , granitas ir kt.). Šioms sausoms birioms medžiagoms paversti į tešlą vartojamas vanduo H_2O . Kalkės, cementas, gipsas nevienodai greit stingsta, kietėja: kalkinis skiedinys ilgai laikosi minkštas, kol cheminiu procesu iš minkštų gesintų kalkių tešlos $\text{CaO}+\text{H}_2\text{O}=\text{Ca}(\text{OH})_2$ pavirsta į kietą akmenį kalcitą, imdamas iš oro - $\text{Ca}(\text{OH})_2+\text{O}(\text{iš oro})=\text{CaCO}_3+\text{H}_2\text{O}(\text{išgaruoja})$. Toks kalkių kietėjimas priklauso nuo tinko sluoksnio storio ir trunka savaitėmis, mėnesiais. Cementas pradeda traukti skiedinį per 15 min. (romancem.) ir 45 min. (portlandcem.), kietėja valandomis (1-4 val.) [29].

Vadovaujantis Paveldo tvarkybos reglamentais PTR 2.02.03:2007 „Akmens mūro ir natūralaus akmens, plytų mūro paveldo tvarkyba“, PTR 2.06.01:2010 „Fasadų dekoratyvinių dangų, dekoratyvinio tinko, tinkuotų, dažytų paviršių tvarkyba“, PTR 2.06.02:2010 „Interjerų dekoratyvinių dangų, dekoratyvinio tinko, tinkuotų, dažytų paviršių tvarkyba“ saugomi pastatai, jų dalys, konstrukcijos ir medžiagos gali būti tvarkomos atkūrimo darbais [30-32].

Atkūrimo tikslas – parodyti reikšmingą ar buvusį vertingą kultūros paveldo objektų fasadų istorinį įvaizdį (atliekant išsamius tyrimus bei išnagrinėjus epochos technikos ir stilių būdingas savybes bei technologijos lygį). Fasadų dangų atkūrimui būtina naudoti išlikusius istorinius duomenis ir iš dalies išlikusių fragmentų tyrimo rezultatus. Atkūrimas atliekamas pagal restauravimo darbų principus. Kai atkūrimui duomenų nepakanka – atkuriamas tik paviršiaus istorinis įvaizdis. Kai apie buvusį objektą yra tik nepatikimi aprašomieji duomenys, atkūrimui naudojamos šiuolaikinės architektūrinės priemonės, sąlygiškai paryškinant buvusias paveldo objekto funkcijas, atsižvelgiant į buvusias istorinio laikotarpio technikos ir technologijos tradicijas. Projektuojant fasadų dekoratyvinių dangų,

dekoratyvinio tinko, tinkuotų ir dažytų paviršių atkūrimo darbus turi būti atsižvelgiama į objekto pritaikymo specifiką [30-32].



17 pav. Kretingos vienuolyno restauravimo ir atkūrimo darbai.



18 pav. Rietavo dvaro oficos restauravimo ir atkūrimo darbai.



19 pav. Abromiškės dvaro medinių pastatų restauravimo ir atkūrimo darbai.

Literatūros analizės apibendrinimas

Medienos degimo procesas yra išsamiai ištirtas, tačiau dėl nevienodų medienos struktūros savybių medienos anglies sluoksnio susidarymas ir anglėjimo sparta gaisro metu gali skirtis. Medienos anglėjimo sparta labai priklauso nuo medienos rūšies, tankio, drėgnumo [16].

Medienos konstrukcijų naudojimo paplitimas ir medienos degimo savybės reikalauja papildomos apsaugos, siekiant užtikrinti konstrukcijų atsparumą ugniai.

Medinių konstrukcijų apsaugai yra taikomi įvairūs apsaugos būdai ir priemonės. Tradiciškai medinės konstrukcijos (sienos, lubos) tinkuojamos tinko skiediniais. Tai pagerina pastatų interjero ir fasadų eksploatacines savybes. Toks apsaugos būdas buvo paplitęs medinės architektūros pastatuose, mediniuose dvaruose, o dabar yra išlikęs visuomenei svarbiuose kultūros paveldo objektuose (17-19 pav.). Gaisro pasėkmės, tokiuose pastatuose, sukuria ne tik materialinius, bet ir kultūrinius nuostolius.

Tinko skiediniams įprastai būdavo naudojami kalkių skiediniai. Literatūros šaltiniuose [30] nurodoma, kad pagerinti tinko skiedinio savybes į mišinį būdavo pridėdama smulkinto kalvių šlako ar pelenų. Remiantis literatūros šaltiniais [28,48] aukštakrosnių šlako pagrindu sudaryti rišikliai pasižymi atsparumu kaitinimui ir išlaiko savo mechanines savybes net aukštoje temperatūroje. Sukietėjęs šarmu aktyvuoto šlako rišiklis turi į portlandcementį panašią sudėtį, tačiau žymiai mažesni kalcio hidroksido Ca(OH)_2 kiekį (15 pav.) [28]. Kaitinimo metu betone kalcio hidroksidas Ca(OH)_2 skyla į kalcio oksidą CaO ir vandenį, o iš betono išsiskiriantis vanduo sukuria vidinius įtempius betone ir jį suardo [23].

Apibendrinus literatūros analizės skyriuje apžvelgtus šaltinius sudaromos analizės išvados:

- šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinio mechanines savybes, užpildų ir priedų naudojimas, mišinio sudėtis ir skiedinio technologinės įrengimo galimybės gali būti panaudotos ugniai atsparaus tinko kūrimui;
- reikia nustatyti ir tiksliai žinoti tinko skiedinio termines savybes. Palyginti tradiciškai naudoto kalkių tinko skiedinį su ugniai atsparaus tinko skiedinio pagaminto iš šarmu aktyvuoto šlako rišiklio ir užpildo;
- ugniai atsparaus tinko įtaką medienos paviršiaus anglėjimo spartai turi būti nustatoma eksperimentiškai.

Literatūros analizės išvadose nurodytoms problemoms spręsti formuojamas darbo tikslas ir uždaviniai.

2. Darbo tikslai ir uždaviniai

Darbo tikslas:

Ištirti ugniai atsparaus tinko įtaką medinės konstrukcijos atsparumui ugniai.

Darbo uždaviniai:

- ugniai atsparaus tinko mechaninių savybių nustatymas;
- ugniai atsparaus tinko ir kalkių-cemento tinko savybių palyginimas;
- ugniai atspariu tinku tinkuotos medienos paviršiaus anglėjimo greičio nustatymas ir palyginimas su skaičiuotiniu anglėjimo greičiu.

Tyrimo objektas:

Ugniai atsparaus apsauginio tinko sluoksnio įrengto ant medinio masyvo paviršiaus tyrimas

Tyrimo eiga:

Tyrimas skirstomas į tris dalis, atsižvelgiant į suformuotus darbo uždavinius. Sprendžiant kiekvieną darbo uždavinį aprašomi tyrimo metodai ir naudotos medžiagos. Vadovaujantis tyrimo metodais atliekami eksperimentai ir aprašomi rezultatai. Tyrimo metu atsižvelgiant į gaunamus bandymų rezultatus nuosekliai keičiamos ir gerinamos naudojamų mišinių sudėtys. Bandymų metu gaunami rezultatai naudojami sekančių darbo uždavinių sprendimui.

Tyrimo rezultatai apibendrinami ir iš jų formuluojamos bendros darbo išvados.

3. Tyrimo metodika ir naudotos žaliavos

3.1. Tyrimo metodikų ir metodų aprašymas

Šioje dalyje nurodomi standartai ir reglamentai, kuriais vadovaujantis turi būti atliekami tyrimai, norint ištirti išorei ir vidui naudojamą tinko savybes. Pagrindiniai standartai aprašantys tinko mišiniui keliamus reikalavimus - LST EN 13914-1:2016. Išorės ir vidaus tinko projektavimas, paruošimas ir dengimas. 1 dalis. Išorės tinkas [33]; LST EN 13914-2:2016. Išorės ir vidaus tinko projektavimas, paruošimas ir dengimas. 2 dalis. Vidaus tinkas [34]. Šie standartai nustato tinko rūšies, savybių gamybos, naudojimo, paviršiaus tipą ir paruošimo tinkavimui sąlygas. Standartuose nurodomas privalomas medinių paviršių paruošimas įrengiant armavimo sluoksnį.

Ugniai atspariems torkretuojamiems tinko mišiniams keliami reikalavimai nustatyti LST EN ISO 1927-1:2013. Neforminiai ugniai atsparūs gaminiai. 1 dalis. Įvadas ir klasifikavimas. Ugniai atsparios torkretuojamos medžiagos, tai yra ugniai atsparių užpildų ir rišiklio (-ių) mišiniai, specialiai paruošti kloti pneumatiniu arba mechaniniu būdu.[...] Priklausomai nuo rišiklio rūšies toliau skiriamos hidrauliškai surištos, chemiškai surištos ir keramiškai surištos torkretuojamos medžiagos. Ugniai atsparios medžiagos yra klasifikuojamos pagal klasifikacinę temperatūrą. Šis klasifikavimo kriterijus, tai visuminis tiesinis medžiagos ilgio pokytis išdegus. Klasifikacinė neforminių izoliacinių ugniai atsparių medžiagų temperatūra yra ta, kurioje visuminis tiesinis pokytis negali būti mažesnis nei 1,5% susitraukimo. Standarte aprašomi kiti neforminiai ugniai atsparūs gaminiai, tarp kurių pažymimos dangos – smulkių ugniai atsparių užpildų ir rišiklio (-ių) mišinys tiekiamas paruoštas naudoti su didesniu vandens arba kito skysčio kiekiu nei medžiagos, skirtos kloti arba sujungti. Mišiniai yra dengiami rankiniu būdu (teptuku arba mentele), pneumatiniu arba mechaniniu būdu arba purškiant [35].

Reikalavimai tinko skiediniui nustatyti LST EN 998-1:2017. Techniniai mūro skiedinio reikalavimai. 1 dalis. Tinko skiedinys. Tinko skiedinių savybės iš esmės priklauso nuo naudojamų rišamųjų medžiagų tipo (-ų) ir atitinkamų jų santykių. Specialiosios savybės gali būti gautos naudojant tam tikro tipo užpildus, įmaišas ir (arba) priedus. Tinko skiediniai skirstomi: a) pagal sąvokas: 1 – projektiniai, 2 – receptiniai; b) pagal pagaminimo būdą: 1 – gamykliniai, 2 – pusiau paruošti gamykliniai, 3 – statybvietėje pagaminti tinko skiediniai; c) pagal savybes ir (arba) naudojimą: 1 – bendrosios paskirties, 2 – lengvasis, 3 – spalvotasis, 4 - vienasluoksnis, 5 – renovacinis, 6 – termoizoliacinis tinko skiedinys. Galutinės tinko skiedinių charakteristikos gaunamos tikrai jiems sukietėjus. Tinko eksploatacinės charakteristikos, pateiktos 4 ir 5 lentelėse, priklauso nuo naudotų medžiagų tipo ir savybių, sluoksnių storio ir naudojimo būdo. Be to, nuo tinko skiedinių priklauso konstrukcijos paviršius [36].

4 lentelė. Sukietėjusio skiedinio savybių klasifikacija [36].

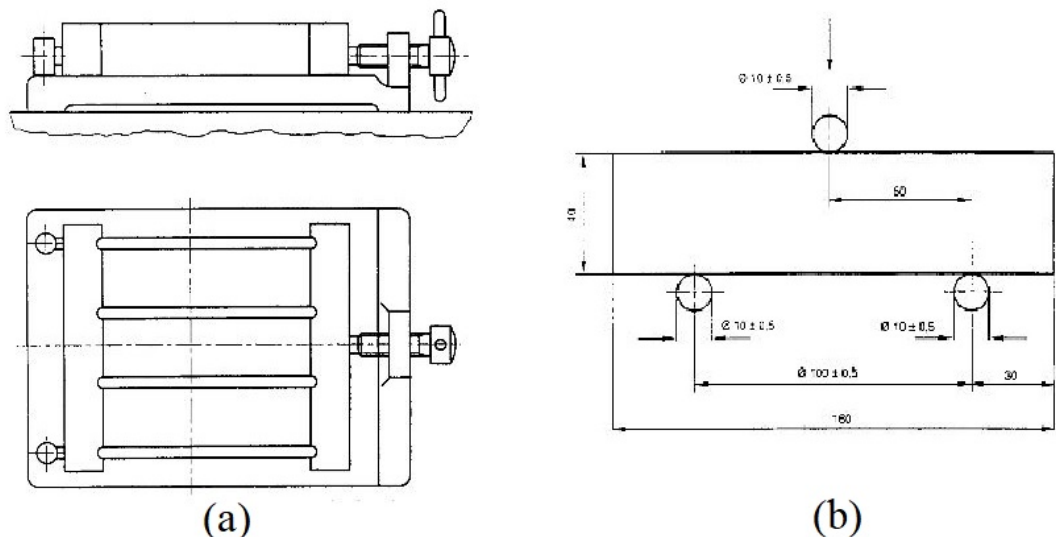
Savybės	Kategorijos	Vertės
Gniuždymo stipris po 28 parų	CS I CS II CS III CS IV	Nuo 0,4 N/mm ² iki 2,5 N/mm ² Nuo 1,5 N/mm ² iki 5,0 N/mm ² Nuo 3,5N/mm ² iki 7,5 N/mm ² ≥ 6,5 N/mm ²
Kapiliarinio vandens absorbcija	Wc 0 Wc 1 Wc 2	Neapibrėžta C ≤ 0,40 kg/(m ² · min ^{0,5}) C ≤ 0,20 kg/(m ² · min ^{0,5})
Savitasis šilumos laidis	T 1 T 2	≤ 0,10 W/m · K ≤ 0,20 W/m · K

5 lentelė. Sukietėjusiems skiediniams keliamų reikalavimų suvestinė [36].

Nr.	Tiriamasis parametras	Bandymo metodas
L1	Sausasis piltinis tankis (kg/m ³)	EN 1015-10
L2	Gniuždymo stipris (kategorijos)	EN 1015-11
L3	Adhezija (N/mm ² ir suirimo linijos (FP) A, B arba C)	EN 1015-12
L9	Savitasis šiluminis laidis – vidutinės vertės (W/m·K) (skiedinių, numatomų naudoti elementuose, susijusiuose su degumo reikalavimais)	EN 1745:2002
L11	Reakcijos į ugnį (klasė)	EN 13501-1

Tinko skiedinio mechaninių savybių nustatymas. Sukietėjusio skiedinio stipris lenkiant ir gniuždant nustatomas vadovaujantis standartu LST EN 1015-11 Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymas. Šiame standarte aprašomas suformuoto skiedinio bandinių stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymo metodas. Metodo esmė – skiedinio stipris lenkiant nustatomas suformuotą sukietėjusio skiedinio prizmę apkraunant trijuose taškuose iki lūžimo. Skiedinio stipris gniuždant nustatomas bandant dvi prizmės dalis, gautas bandant stiprį lenkiant [38].

Skiedinio stipris lenkiant. Bandymui paruošimi trys 160x40x40 mm dydžio prizmės. Bandiniai gaminami metalinėse atviro rėmo formose su surenkamomis sienutėmis (20 pav a). Formose bandiniai tankinami plūktuvu. Forma patalpinama į drėgmės kamerą arba į sandariai uždarytus polietileninius maišus. Praėjus nurodytam laikui, bandiniai išformuojami. Bandiniai ruošiami bandymui po 28 parų kietėjimo. Stiprio gniuždant bandymui prizmės perlaužiamos į du gabalus ir taip gaunamos šešios prizmių pusės. Bandymo mašina, galinti apkrauti bandinį be smūgių, pastoviu nuo 10 N/s iki 50 N/s greičiu taip, kad bandinys sulūžtų (30-90) s laiko tarpą. Bandymo mašinoje turi būti du nuo 45 mm iki 50 mm ilgio ir 10 mm ± 0,5 mm skersmens plieniniai atraminiai ritiniai, esantys 100,0 mm ± 0,5 mm atstumu vienas nuo kito, ir trečias tokio pat ilgio ir skersmens plieninis ritinys, esantis centre tarp atraminių ritinių [38].



20 pav. a) forma bandiniams gaminti; b) stiprio lenkiant bandymas [38].

Trys vertikalios plokštumos, einančios per trijų ritinių ašis, turi būti lygiagrečios ir išlikti lygiagrečios, vienodai nutolusios ir statmenos bandomai prizmei (20 pav. b). Vienas iš atraminių ritinių ir apkrovimo ritinys turi galėti šiek tiek pakrypti vienodam apkrovos paskirstymui prizmės plotyje, be jokio sukimo įtempimo. Bandymo metu užrašoma didžiausia apkrova, N . Sulūžęs bandinys gražinamas į laikymo kamerą ir laikomas, jeigu reikia nustatyti stiprį gniuždant. Stipris lenkiant, f , N/mm^2 skaičiuojamas pagal formuolę [38]:

$$f = 1,5 \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2}$$

čia: f – stipris lenkiant (N/mm^2); F – didžiausia apkrova, kuria apkraunamas bandinys, niutonais (N); l – atstumas tarp apatinių ritinių ašių, milimetrais (mm); b – bandinio plotis, milimetrais (mm); d – bandinio storis, milimetrais (mm) [38].

Skiedinio stipris gniuždant. Bandinių paruošimas ir laikymas. Bandinys bandomas tuoj pat po stiprio lenkiant bandymo. Bandymo mašina, galinti apkrauti bandinį nurodytu greičiu. Viršutinė mašinos plokštė turi laisvai judėti ir priglusti prie bandinio paviršiaus. Naudojamos dvi atraminės plokštelės, pagamintos iš plieno, kurių paviršiaus kietumas ne mažesnis kaip 600HV. Plokštelės turi būti 40,0mm ilgio, 40,0mm pločio ir 10mm storio. Sąlyčio paviršių tolerancija turi būti 0,01mm. Bandinys kruopščiai padedamas taip, kad apkrova būtų perduodama visam bandinio paviršiaus plotui, besiliečiančiam su plokštėmis. Gniuždymo šablono įrenginys kruopščiai centruojamas ant apatinės bandymo mašinos plokštės. Apkrova pridedama be smūgio ir didinama pastoviu nuo 50 N/s iki 500 N/s greičiu taip, kad bandinys sulūžtų (30-90) s laiko tarpą. Stipris gniuždant apskaičiuojamas taip: didžiausia apkrova, pasiekta bandant bandinį, dalijama iš bandinio skerspjūvio ploto [38].

$$f = \frac{F}{A}$$

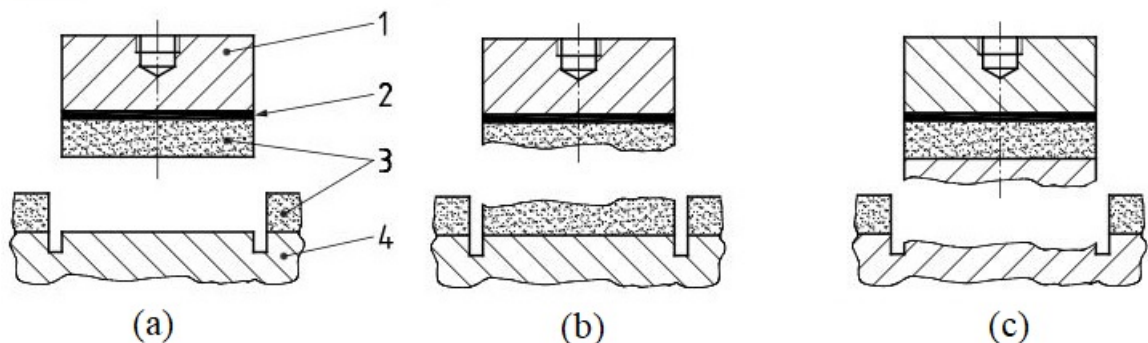
čia: f – stipris gniuždant (N/mm^2); F – didžiausia apkrova, kuria apkraunamas bandinys, niutonais (N); A – bandinio skerspjūvio plotas kvadratiniais milimetrais, (mm), kurį veikė gniuždymo jėga apskaičiuota iš bandinio šablono plokštelių dydžio [38].

Užrašomas kiekvieno bandinio stipris lenkiant ir gniuždant, suapvalinus iki artimiausio $0,5 \text{ N}/\text{mm}^2$. Apskaičiuojamas vidurkis, suapvalintas iki artimiausio $0,1 \text{ N}/\text{mm}^2$ [38].

Tinko skiedinio sukibimo su pagrindu savybių nustatymas. Sukietėjusio tinko skiedinio adhezija su pagrindu nustatoma vadovaujantis standartu LST EN 1015-12 Mūro skiedinio bandymo metodai. 12 dalis. Sukietėjusių tinko skiedinių sukibimo su pagrindu stiprio nustatymas. Metodo esmė – nustatyti tinko skiedinio, užteptą ant pagrindo, sukibimo stiprį tempiant. Pagal šį bandymo metodą tiesiog atplėšiamas skritulinis antdėklas, kuris priklijuojamas prie sukietėjusio tinko skiedinio. Bandymui naudojama sukibimo stiprio nustatymo mašina, kurios tempimo apkrova bandymo metu pastoviai ir tolygiai didinama ($0,05 \pm 0,01$) MPa/s greičiu iki atplėšimo. Registruojama atplėšimo jėga ir tada nustatomas bandinio atplėšimo paviršius skersmens vidurkis iš 3vnt. bandinių. Tinko skiedinio sukibimo stipris nustatomas pagal suirimo tipą A, B, C (21 pav.). Galimi tarpiniai suirimo tipai A/B, B/C. Sukibimo tempiant stipris skaičiuojamas didžiausią pasiektą atplėšimo jėgą dalinant iš standartinio bandinio ploto pagal formulę [39]:

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

čia: f_u – sukibimo stipris (N/mm^2); F_u – didžiausia apkrova, niutonais (N); A – atplėšimo antgalio skerspjūvio plotas kvadratiniais milimetrais, (mm) [39].

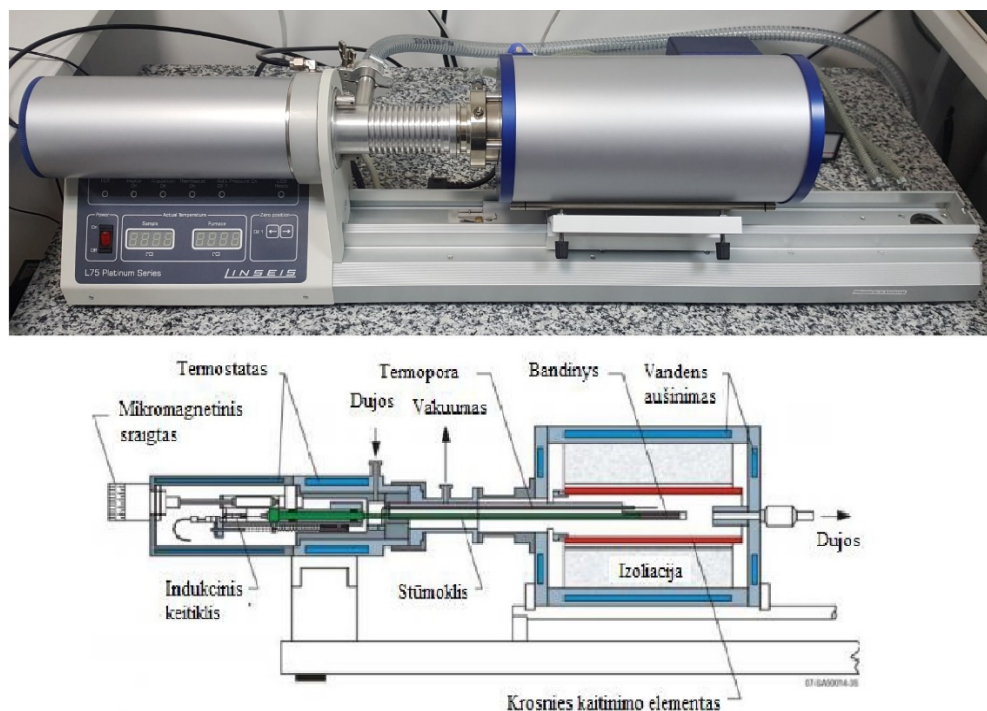


21 pav. a) suirimo tipas A - tinko skiedinio atplyšimas nuo pagrindo; b) suirimo tipas B – kohezinis suirimas per tinko sluoksnį; c) suirimo tipas C – kohezinis suirimas per pagrindo sluoksnį; 1) atplėšimo antdėklas, 2) klijų sluoksnis, 3) tinko sluoksnis, 4) pagrindas [39].

Medžiagos terminio plėtimosi koeficiento nustatymas. Terminio plėtimosi koeficiento nustatymui naudojamas dilatometrijos metodas – tai tyrimo metodas, pagrįstas tiriamosios medžiagos matmenų (tūrio) kitimo matavimu [43].

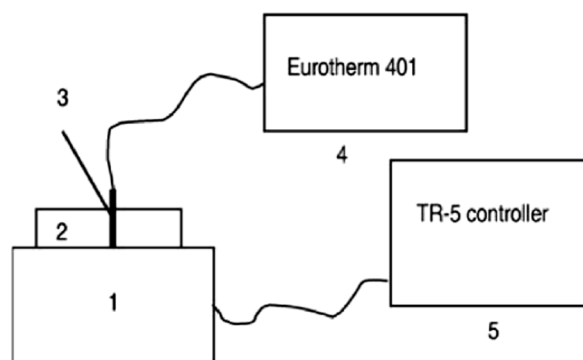
Medžiagos terminis išsiplėtimas apibūdinamas linijiniu α arba tūriniu β plėtimosi koeficientu. Kietųjų kūnų plėtimosi koeficientas priklauso nuo temperatūros ir ši priklausomybė kartais būna labai sudėtinga. Dažniausiai naudojamas vidutinis plėtimosi koeficientas ir priimama, kad nagrinėjamame temperatūrų intervale plėtimosi koeficiento reikšmė yra pastovi. Terminio plėtimosi koeficientas yra santykis bandinio pailgėjimo (arba tūrio padidėjimo) su pradiniu bandinio ilgiu (arba tūriu), pakėlus temperatūrą vienu laipsniu [43].

Medžiagos terminis išsiplėtimas yra nustatomas dilatometru (22 pav.). Dilatometrai gali naudoti stūmoklį, konteinerį, optinę/lazerinę sistemą. Be to, gali būti horizontalūs ir vertikalūs [43].



22 pav. Linseis „LH75 PT1600“ horizontalus dilatometras ir jo schematinis vaizdas [43].

Tūrinio ir vienpusio bandinių kaitinimo krosnyje pagal LST EN 1363-1:2012 reikalavimus savybių nustatymas. Siekiant nustatyti tinkuotos medienos apanglėjimo ypatumus skirtingose temperatūrose, buvo panaudota speciali vienpusio konstrukcijų kaitinimo kamera pagal šaltinius [44], [45]. Ši įranga užtikrina tiriamojo bandinio modeliuotą kaitinimą iš vienos pusės iki 950 °C. Įrenginį sudaro vienpusio konstrukcijų kaitinimo prietaisas, termoregulatorius, matavimo priemonės ir jų rodmenis fiksuojanti aparatūra [46].

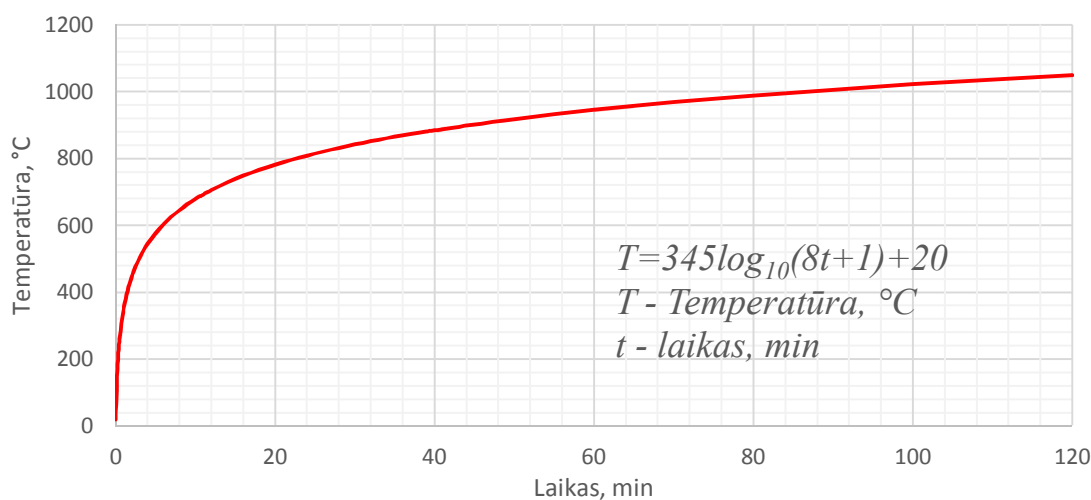


23 pav. Vienpusio konstrukcinių elementų kaitinimo įrangos principinė schema: 1 – kaitinimo prietaisas; 2 – tiriamosios konstrukcijos fragmentas; 3 – temperatūros matavimo įranga; 4 – matavimo priemonių rodmenis fiksuojantis savirašis; 5 – kaitinimo kameros temperatūrą reguliuojantis termoreguliatorius [46].

Eksperimento principas – kaitinti bandinį iš vienos ir iš visų pusių, kaip numatyta ir standarte LST EN 1363 – 1:2012 pagal reglamentuotą temperatūros – laiko priklausomybę. LST EN 1363-1:2012 Atsparumo ugniai bandymai. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai nurodo dažniausiai pasikartojantį gaisro atvejį “Nominal fire”. Šio gaisro atvejo metu temperatūros kitimas bandymo krosnyje apibrėžiamas logaritmine kreive [3]:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

čia: T – vidutinė krosnies temperatūra, Celsijaus laipsniais; t – laikas, minutėmis.



24 pav. Gaisro temperatūros kitimas laiko atžvilgiu [3].

Bandymui atlikti anksčiau aprašyta įranga (23 pav.) užtikrina pasirinktą šiluminę apkrovą. Be abejo, temperatūros pasiskirstymui konstrukcijos skerspjūvyje turi įtakos ir konstrukcijos paviršiui tenkanti šiluminė apkrova bei apkrovos vertės kaita priklausomai nuo kaitinimo režimo [46].

Pagrindinė pasirinkta šiluminė apkrova buvo reglamentuojama standartinio gaisro temperatūros priklausomybe nuo laiko, kuri imituoja išsiplėtusio gaisro stadiją. Naudojantis minėtają priklausomybę, konstrukcijų atsparumo ugniai bandymai atliekami įvairiose pasaulio šalyse [46].

6 lentelė. Vidutinė kaitinimo temperatūra, °C kameroje nustatyto laiko intervalu [46].

Kaitinimo laikas, min	Pasiekta vidutinė temperatūra kaitinimo kameroje, °C
5	580
10	680
20	780
30	840
45	900

Skirtinga temperatūros kaitos sparta (6 lentelė) kaitinimo kameroje svarbi keliais aspektais. Greitai pasiekta aukšta temperatūra imituoja pačias nepalankiausias tiriamajai medžiagai aplinkos sąlygas, kai joje prasideda nepertraukiamas šilumos sklidimo procesas, darantis įtaką fizikiniams – cheminiams virsmams tiriamojoje medžiagoje. Naudojant minėtą įrangą (23 pav.) medienos bandiniai kaitinami tam tikrą iš anksto numatytą laiko tarpą t , min. Po šio laiko bandinys ištraukiamas iš kameros ir užgesinamas uždengiant jį nedegiu audiniu arba vandeniu, naudojant purkštuvą [46-47].

Ataušus bandiniui jis supjaustomas per bandinio ašis ir nustatomas tiriamo medienio bandinio apanglėjimo gylis. Slankmačiu matuojama išlikusi sveikos medienos dalis, o matavimo rezultatas yra ne mažiau kaip 3 matavimų vidurkis. Toliau, jeigu bandinys nudegė, išmatuojamas nudegusio sluoksnio storis, o anglies gylio ir nudegusio bandinio sluoksnio suma vadinama apanglėjimo gyliu H , mm. Išmatavus apanglėjimo gylį apskaičiuojamas medienos anglėjimo greitis β , mm/min, pagal tokią lygtį [46-47]:

$$\beta = \frac{H}{\tau}$$

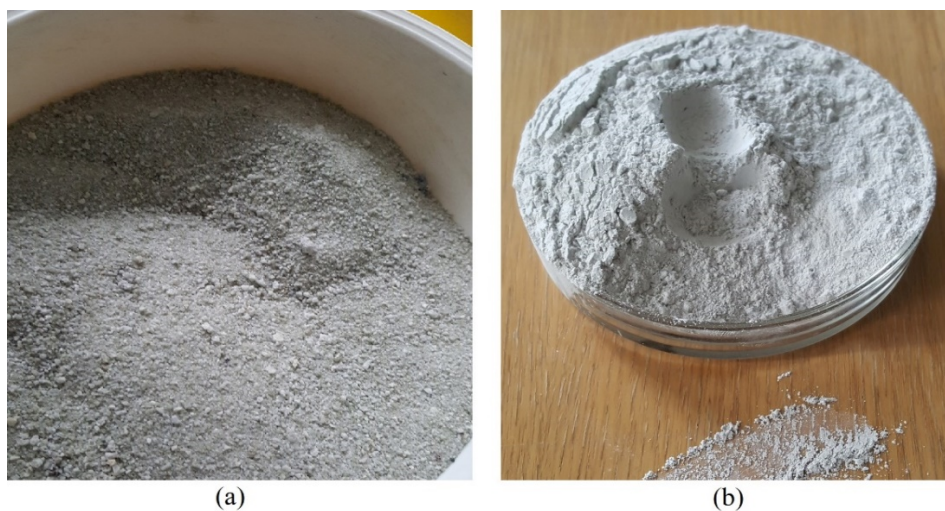
čia: β – medienos apanglėjimo greitis, mm/min, τ – kaitinimo trukmė, min, H –apanglėjimo gylis, mm.

3.2. Tyrimams naudotos medžiagos

Šlakas. Šlakas - metalurgijos pramonės procesų produktas, kuris susirenka ant išlydyto metalo paviršiaus. Degant geležies rūdai gaunamas ketus, o visos kitos likusios medžiagos: CaO, SiO₂, Al₂O₃ ir MgO, sudaro aukštakrosnių šlaką. Skystas šlakas nuliejamas nuo krosnyje likusio išlydyto metalo lydinio. Skysto šlako temperatūra nuliejimo metu siekia 1430 °C. Šlakas staiga aušinamas vandeniu sutrūkinėja ir porėja. Šio proceso metu vyksta cheminės reakcijos, kurios suteikia šlakui rišamąsias hidraulines medžiagos savybes [48].

Smulkintas šlako lydalas prieš malimą (25 pav. a) išdžiovinamas džiovinimo kameroje. Išdžiovintas šlakas malamas malūne iki cemento dalelių (25 pav. b) smulkumo (>300 m²/kg). Sausą šlaką būtina

smulkiai sumalti, kad būtų sudarytos kuo geresnės hidratacijos sąlygos. Malant šlaką, tampa tolygesnė jo mineralinė sudėtis, ir sudaroma tinkama grūdelių granulimetrinė sudėtis. Birios medžiagos tankis priklauso nuo dalelių stambumo, granulimetrinės sudėties ir susitankinimo laipsnio [42]. Nemalto šlako piltinis tankis $\rho_p = 985,4 \text{ kg/m}^3$, malto šlako piltinis tankis $\rho_p = 1148,3 \text{ kg/m}^3$.



25 pav. a) nemaltas šlakas; b) maltas šlakas.

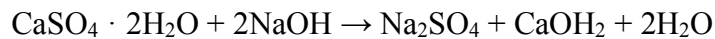
Šlako sudėtis, pateikta 7 lentelėje, gali neženkliai skirtis, priklausomai nuo šlako susidarimo technologijos, tačiau dažniausiai šlake vyrauja kalcio ir silicio oksidai su neženkliais kiekiais kitų oksidų [28,48].

7 lentelė. Bandymų metu naudojamo malto šlako procentinė sudėtis.

Elementas	Proc. sudėtis	Elementas	Proc. sudėtis
CaO	45.20	K ₂ O	0.517
SO ₃	1.85	Fe ₂ O ₃	0.793
SiO ₂	37.10	Na ₂ O	1.02
Al ₂ O ₃	6.44	P ₂ O ₅	0.683
MgO	5.76	SrO	0.069
F	-	BaO	0.068
ZrO ₂	0.02	TiO ₂	0.285

Fosfogipsas. Fosfogipsas – gipsas, gautas kaip šalutinis produktas fosfatą paveikus sieros rūgštimi (toks procesas vykdomas gaminant chemines trąšas) (26 pav. a). Fosfogipsas yra gamybos atliekos. Fosfogipsą galima naudoti statybinių medžiagų gamybai [28]. Lietuvoje vienintelė įmonė, kurios gamybos procesuose išskiriamas fosfogipsas, yra AB Lifosa. Šalia Kėdainių, už Medekšių kaimo yra supilti kelių kilometrų ilgio „fosfogipso kalnai“ (aukštis iki 80 m, masė – apie 45 mln. tonų).

Fosfogipsas šarmu aktyvuoto šlako mišinyje pagreitina mišinio hidrataciją. Fosfogipso reakcija šarmu aktyvuoto šlako mišinyje [28]:



Tinkamas kiekis fosfogipso pagerina šarmu aktyvuoto šlako akmens mechanines savybes aukštoje temperatūroje [28].

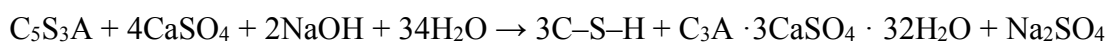


26 pav. (a) fosfogipsas; (b) NaOH granulės.

Natrio šarmas. Natrio šarmas (26 pav. b) NaOH, natrio hidroksidas arba kaustinė soda – stipri bazė. Kartais natrio šarmu vadinamas tik šio junginio vandeninis tirpalas. Natrio šarmas gali būti gaunamas elektrizuojant vandeninį natrio chlorido tirpalą. Tokiu atveju prie katodo išsiskiria vandenilis, o prie anodo – chloras. Natrio šarmas reaguoja su anglies dioksidu, virsdamas natrio karbonatu, dėl to jis paprastai laikomas sandariai uždarytas. NaOH yra plačiai paplitęs ir pigus, gamybos procesas gana paprastas. Tirpalas pasižymi mažu takumu ir tinkamas geopolimerams iš aukštakrosnių šlako [48].

Šarmu aktyvuoto šlako rišamoji medžiaga gaunama smulkiai sumalus ($>300 \text{ m}^2/\text{kg}$) katilinių arba aukštakrosnių granuliuotus šlakus ir sumaišius juos su natrio šarmo arba skysto stiklo tirpalais. Paprasti šlakiniai betonai gali kietėti kambario temperatūroje. Hidrauliškų savybių vandeniui atsparūs šlakiniai betonai gaunami šlakų miltelius drėkinant didelio bazingumo skysto stiklo arba natrio šarmo vandeniniais tirpalais, kurie vaidina aktyvatoriaus ir mineralizatoriaus vaidmenį. Šūtinant arba hidrotermiškai apdorojant šlakų-šarmų aliumosilikatinius dirbinius, gaunami atsparūs vandeniui monolitai. Didėjant naujadarų kiekiui, tankėja struktūra, susidaro kristaliniai kontaktai, išstumiamas vanduo, persiformuoja rišiklio sistema. Šlakinių betonų stipris gniuždant siekia 50-140 MPa [41].

Šarmu aktyvuoto šlako pagrindiniai hidratacijos produktai yra kalcio hidrosilikatas C-S-H ir kalcio hidroksidas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - portlanditas. Kietėjimo metu kalcio hidroksidas, susidaręs hidratacijos metu reaguoja su šlake esančiu silicio dioksidu ir aliuminio oksidu ir susidaro kalcio hidrosilikatai ir kalcio hidroaliuminatai [48]:



Užpildai. Tyrimams naudotas smėlis 0/2 frakcijos, kurio gralionometrinės sudėtis pateikta 8 lentelėje, piltnis tankis $\rho_p = 1609,4 \text{ kg/m}^3$. Užpildo drėgnumas – 4,5%. Užpildo savybės tenkina LST EN 12620:2003+A1:2008 standarto reikalavimus.

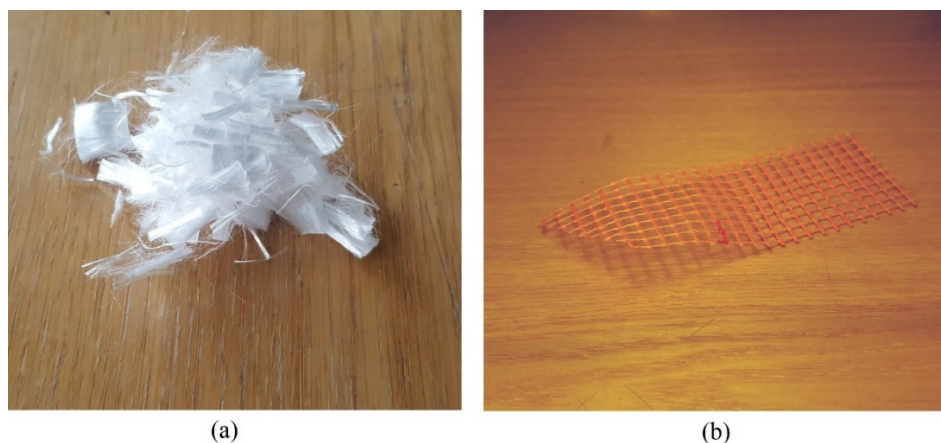
8 lentelė. Smėlio graniulimetrinė sudėtis.

Sietas	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0
Išbira, %	0,5	1,5	28,7	54,9	83,4	91,4	98,3	100,0
Liekanos dalis, %	0,98	27,25	26,16	28,54	7,95	6,90	1,73	0

Polipropileno pluoštas. Vienalyčių skaidulų polipropileno pluoštas (27 pav. a), pasižymi optimaliomis mechaninėmis, fizinėmis ir cheminėmis savybėmis (9 lentelė) yra skirtas naudoti betone ir skiedinyje. Didelis paviršiaus plotas pluoštui ($725 \text{ m}^2/\text{kg}$). Didelis sukibimo lygis. Atsparus rūgštims ir šarmams. Gaisro metu betoninės konstrukcijos gali sugriūti dėl vandens slėgio, susidarancio dėl garuojančio vandens sparčiai kylant temperatūrai. Tokiu atveju vandens garai negali pakankamai greitai išsilaisvinti iš betono, jis gali suskilti į dalis ar sutrūkinėti. Betonas prarasdamas vandenį gali greitai sumažinti savo stiprį. Betono mišinyje polipropileno pluoštas $160 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje išsilydo, o $590 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje sudega ir sukuria mikrokanalus karščio veikiamose srityse. Dėl to, net išgaravus didžiajai daliai vandens garų, betono suskeldėjimas bus minimalus. Betono su polipropileno pluoštu mažiau mikro įtrūkimų dėl plastiško traukimosi jėgų, didesnis betono tankis, didesnis atsparumas fiziniams pažeidimams, mažesnis kraštų ir kampų pažeidimas, mažesnis pažeidimas nuimant klojinius ir pervežant elementus, spartesnis ir geresnis sukibimas statant. Naudojamas pluošto kiekis betono mišinyje – $1 - 2 \text{ kg/m}^3$ [40].

9 lentelė. Polipropileno pluošto savybės.

Parametro pavadinimas	Žymėjimas
Medžiaga	100% vienagijis polipropilenas
Pluošto gijų ilgis (mm)	6
Skersmuo (μm)	18
Pluošto skaidulų skaičius (mln./kg)	725
Naudojamas pluošto kiekis mišinyje (kg/m^3)	1
Tankis (g/cm^3)	0,91 +/- 0,01
Tempimo stipris (N/mm^2)	>300
Tamprumo modulis (N/mm^2)	≥ 3500
Lydimosi temperatūra ($^\circ\text{C}$)	160-170
Degimo temperatūra ($^\circ\text{C}$)	590
Vandens sugertis	nesugeriantis
Rūgščių ir šarmų atsparumas	stiprus



27 pav. a) polipropileno pluoštas; b) stiklo pluošto armavimo tinklelis.

Armavimo tinklelis. Tinklelis gaminamas iš stiklo pluošto (27 pav. b), kuris apsaugotas akrilu nuo klijuose ar skiediniuose esančių agresyvių šarmų. Neslystantis tinklelis naudojamas karščiui atsparaus pagrindo armavimui, tinko ir betono užpildo sustiprinimui. Šis tinklelis yra atsparus šarmams, nekeičia savo dydžio, nepūva, sudėtyje nėra sodos ar kenksmingų odą dirginančių medžiagų. Stiklo audinio armavimo tinklelio savybės pateiktos 10 lentelėje.

10 lentelė. Stiklo audinio armavimo tinklelio savybės.

Parametro pavadinimas	Žymėjimas
Medžiaga	Stiklo pluoštas
Akučių matmenys (mm)	5,5x5,0
Storis (mm)	18
Svoris (g/m ²)	160
Lydimosi temperatūra (°C)	1200
Degimo temperatūra (°C)	1713
Rūgščių ir šarmų atsparumas	stiprus

Kalkių-cemento tinkas. Statybinės kalkės naudojamos pagal Lietuvos standartą LST EN 459-1+AC(D):2004 „Statybinės kalkės. 1 dalis. Apibrėžimai, reikalavimai ir atitikties požymiai“. Kalkių tešlos pagaminimas. Istorinio statinių tvarkybos darbams galima naudoti degtas kalkes, kurių aktyvumas ne mažesnis kaip 67 % CaO+MgO. Kiekvienas kalkių tipas turi įvairių ypatybių, kurias kiekvienas meistras (amatininkas) panaudoja savaip [30].

Orinių kalkių kietėjimas gali būti kelių tipų: kristalizacinis, karbonizacinis ir hidratinis. Karbonizacinis kietėjimas vyksta reaguojant gesintoms kalkėms su anglies dioksidu, esančio ore [49]:



Mediena. Bandinių ruošimui naudota spygliuočių (pušies) Mediena. Stiprumo klasė – C24. Medienos vidutinis tankis ρ_m – 485,2 kg/m³. Gaminant medinius bandinius išrinkti medienos defektai, šakos. Medienos bandiniai buvo pilnai išdžiovinti, bandinių drėgmė neviršijo 15 %. Medienos drėgnumas 9-10% išmatuotas drėgnomačiu „HPM 20“, veikiančiu elektrinio laidumo matavimo principu.

4. Tyrimo objektas, tyrimo eiga ir rezultatai

4.1. Ugniai atsparaus tinko mechaninių savybių tyrimas

4.1.1. Šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinio mechaninių savybių nustatymas

Tyrimo objektas. Sukietėjusio skiedinio stipris lenkiant buvo nustatomas vadovaujantis standartu LST EN 1015-11. Lenkimo bandymas buvo atliktas su 160x40x40 mm bandiniais. Lenkimo bandymui prizmės buvo pagamintos iš trijų sudėčių mišinių, pateiktų 11 lentelėje. Mišinių sudėtis skiriasi užpildo kiekiu mišinyje.

11 lentelė. Šarmu aktyvuoto šlako su užpildu bandinių mišinių sudėtys.

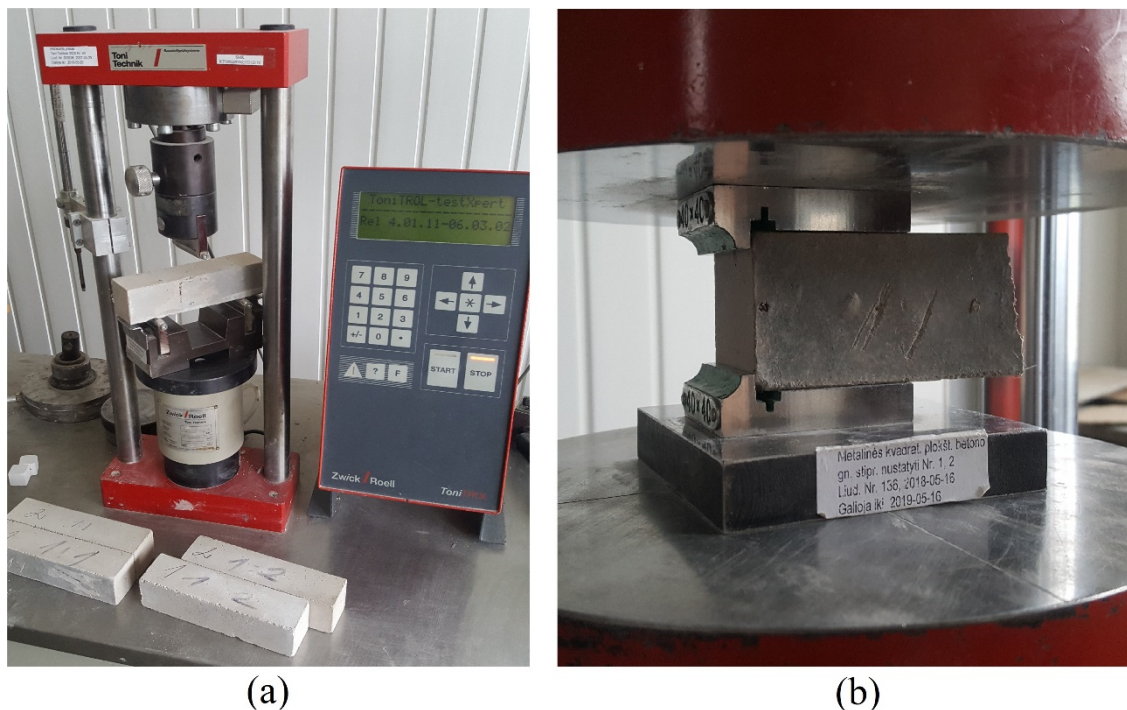
Medžiaga	Šarmu aktyvuoto šlako : smėlio mišinys. Mišinio dalių santykis – 1 : 0,5	Šarmu aktyvuoto šlako : smėlio mišinys. Mišinio dalių santykis – 1 : 1	Šarmu aktyvuoto šlako : smėlio mišinys. Mišinio dalių santykis – 1 : 2
Maltas šlakas, g	880,24	660,18	440,12
Fosfogipsas, g	46,32	34,74	23,16
Natrio šarmas NaOH, g	90,0	67,5	45,0
Polipropileno pluoštas, g	0,5	0,5	0,5
Smėlis 0-2fr., g	463,28	694,9	925,6
Vanduo, g	290,0	217,5	170,0
V/C santykis	0,31	0,31	0,36

Tyrimo eiga. Mišiniai buvo pilami į plienines formas ir sutankinti. Visų bandymų metu formos buvo sutepamos identišku statybiniu formų tepalu. Suformuoti bandiniai buvo uždengti ir 2 paras kietinami kambario 20 °C temperatūroje, po to išformuojami ir dar 28 paroms paliekami kietinimui. Sukietėjus bandiniams buvo nustatyti jų dydžio, svorio, tankio, vandens įgeriamumo parametrai, pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Šarmu aktyvuoto šlako su užpildu bandinių parametrai.

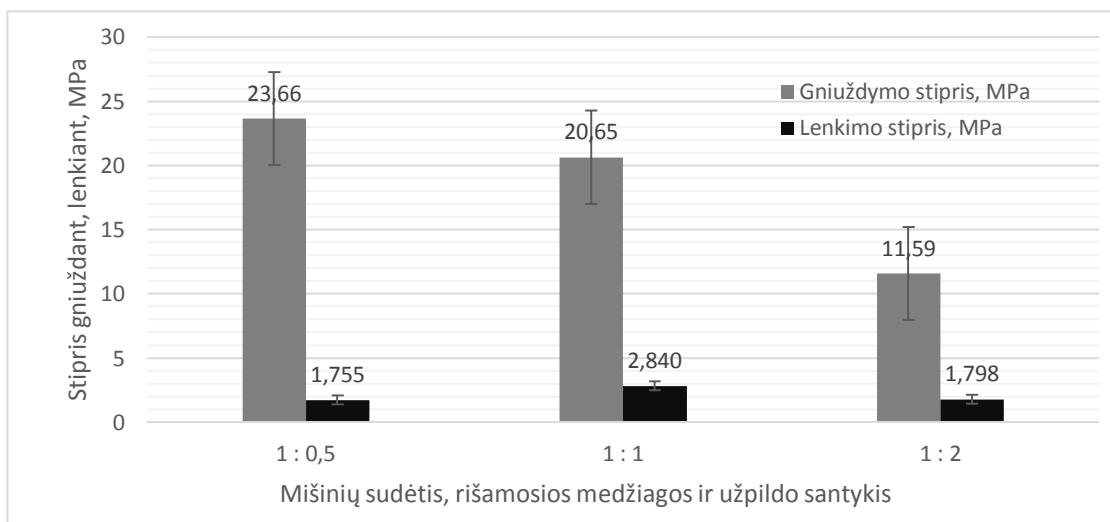
Parametrai	Šarmu aktyvuoto šlako : smėlio mišinys. Mišinio dalių santykis – 1 : 0,5		Šarmu aktyvuoto šlako : smėlio mišinys. Mišinio dalių santykis – 1 : 1		Šarmu aktyvuoto šlako : smėlio mišinys. Mišinio dalių santykis – 1 : 2	
Plotis, mm	41,06	40,51	38,39	39,16	39,38	39,21
Aukštis, mm	40,0	39,79	39,89	39,88	40,16	39,77
Ilgis, mm	158,5	159,0	159,2	160	160	160,2
Masė, g	520,2	512,6	507,7	523,1	529,8	528,0
Tankis, kg/m ³	1998,31	2000,07	2082,49	2093,47	2114,27	2093,06
Bandinių vandens įgėrio vidurkis, %	16,63		13,37		11,59	

Nustačius bandinių matmenis bandiniai lenkiami hidraulinio presu „Toni Technik“ (28pav. a). Stiprio gniuždant bandymui naudojamos prizmės perlaužtos stiprio lenkiant nustatymo metu (28 pav. b).



28 pav. a) lenkimo stiprio nustatymas; b) gniuždymo stiprio nustatymas [38].

Rezultatai. Iš stiprumo rezultatų 29 paveiksle matyti, kad bandiniai su mažiausia užpildo dalimi (1:0,5) pasiekė didžiausias gniuždomojo stiprumo ribas po 28 dienų. Bandinių su mažesne rišamosios medžiagos dalimi (1:1) ir (1:2) gniuždymo stipris atitinkamai buvo 13 % ir 51 % mažesnis negu (1:0,5). Kaip ir buvo tikėtasi prieš bandymą rišamosios medžiagos ir užpildo santykis mišinyje įtakojo mechanines bandinių savybes. Mažėjanti rišamosios medžiagos dalis ir didėjanti užpildo dalis nuosekliai mažino bandinių gniuždymo stiprį.



29 pav. Bandinių gniuždomasis ir lenkiamasis stipris po 28 parų kietėjimo.

Lenkiamasis stipris 1:1 mišinio bandinių pasiekė didžiausią lenkimo apkrovą. Bandinių su (1:0,5) ir (1:2) rišamosios medžiagos dalimis, lenkimo stipris atitinkamai buvo 38 % ir 37 % mažesnis negu (1:1). Bandinių gniuždymo ir lenkimo stipriams įtaką turėjo polipropileno pluoštas. Bandiniuose pasireiškė plastinės deformacijos.

Plastiškas suirimas pagerina betono naudojimo galimybes statyboje, nes pleišėjant dispersiškai armuotam betonui, plaušas suvaržo atsiveriančius plyšius ir perima elemento tempiamojoje zonoje veikiančius tempimo įtempius. Dispersiškai armuojant betoną taip pat padidinamas elementų ilgaamžiškumas ir atsparumas dėvėjimuisi bei nuovargiui. Dėl plaušo įtakos gaunami du pagrindiniai efektai: pirma, suvaržomas plyšys ir padidėja betoninio elemento plastiškumas; antra, padidėja pasipriešinimas tempimo jėgoms [40].

Nustatant bandinių parametrus nustatyta, kad didinant užpildų kiekį mišinyje, vandens įgeriamumas mažėja. Vandens įgeriamumas mažėja tiesiškai proporcingai įdėtam užpildo kiekiui. Mažėjant vandens įgeriamumui betone mažėja betono poringumas.

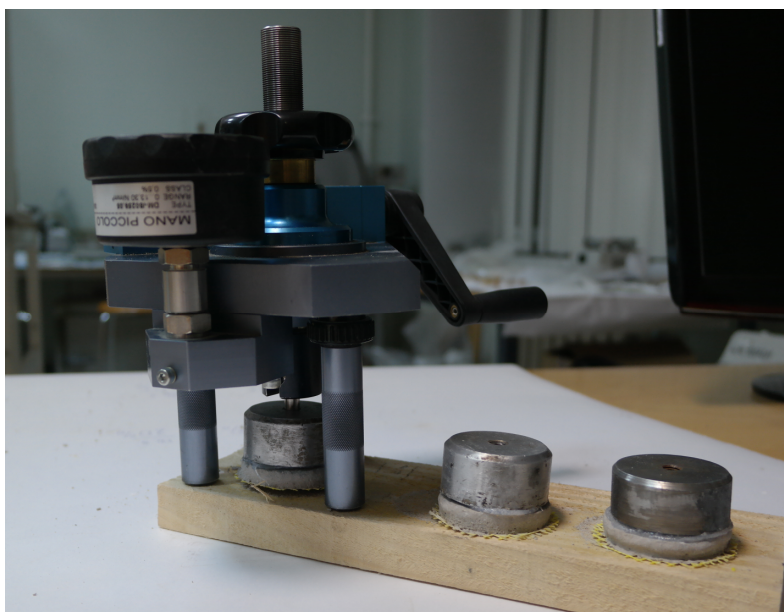
4.1.2. Šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinio sukibimo su pagrindu nustatymas

Tyrimo objektas. Sukietėjusio tinko skiedinio adhezija su pagrindu nustatoma vadovaujantis standartu LST EN 1015-12 Mūro skiedinio bandymo metodai. 12 dalis. Sukietėjusių tinko skiedinių sukibimo su pagrindu stiprio nustatymas [39]. Bandymui naudojama sukibimo stiprio nustatymo mašina, kurios tempimo apkrova bandymo metu pastoviai ir tolygiai didinama iki atplėšimo. Registruojama atplėšimo jėga ir apskaičiuojamas sukibimo stipris vidurkis 3 vnt bandinių. Bandymui paruošiamos keturios medinės lentelės. Ant kiekvienos lentelės įrengiami trys bandiniai (30 pav.). Tinko bandiniai buvo paruošti iš trijų skiedinio mišinių. Bandinių mišinių sudėtys parinktos tos pačios kaip ir gniuždymo ir lenkimo stiprio nustatymo metu. Mišinių sudėtys pateikiamos 11 lentelėje.



30 pav. Sukibimo su paviršiumi stiprio bandymui paruošti bandiniai.

Suformuoti bandiniai buvo uždengti ir kietinami kambario 20 °C temperatūroje 28 paras standartinėmis kietinimo sąlygomis.



31 pav. Sukibimo su paviršiumi stiprio bandymas.

Rezultatai. Bandymo metu gauti labai prasti sukibimo su paviršiumi stiprio rezultatai. Bandiniai iš 1:0,5 ir 1:2 rišamosios medžiagos ir užpildo santykio mišinio atšoko nuo medinio paviršiaus, sukibimas nenustatytas. Bandiniai iš 1:1 rišamosios medžiagos ir užpildo santykio mišinio buvo bandomi atplėšimo prietaisu (31 pav.). Gautas vidutinis sukibimo stipris $f_u = 0,2 \text{ N/mm}^2$. Bandymo metu nustatyta, kad medinio paviršiaus ir tinko skiedinio sukibimo stipris yra labai mažas arba jo nėra, o gauti duomenys negali būti patikimai taikomi. Iš gautų rezultatų daroma išvada, kad medienos paviršiuje turi būti įrengiamos papildomos armavimo priemonės, pvz. erdviniai armavimo tinklai tvirtinami mechaniškai ar klijuojant, siekiant užtikrinti tinkamą konstrukcijos naudojimą.

4.2. Ugniai atsparaus tinko ir kalkių-cemento tinko skiedinio savybių tyrimas

Tyrimo metu nustatomos ir palyginamos ugniai atsparaus ir kalkių tinkų skiedinių savybės

4.2.1. Medžiagos terminio plėtimosi koeficiento nustatymas

Tyrimo eiga. Bandiniai tyrimui buvo paruošti vadovaujantis horizontalaus dilatometro naudojimo aprašymu ir laboratorijos darbuotojo nurodymais. Bandymo metu tiriami trys sukietėjusio tinko skiedinio bandiniai, kurių mišinių sudėtys pateiktos 13 lentelėje. Bandymui paruošiamos tinko skiedinio mišinio prizmelės, kurių ilgis $20 \pm 1 \text{ mm}$, skersmuo $5 \pm \text{ mm}$. Bandiniai buvo džiovinami kol kietėjimo laikas pasiekė bendrą 28 parų kietėjimo laiką. Laboratorijos bandinių kietinimo patalpos temperatūra buvo nustatyta $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ laipsnių temperatūrai ir 95 % aplinkos drėgnei.

13 lentelė. Terminio plėtimosi koeficiento nustatymo bandinių mišinių sudėtys.

Medžiaga	Kalkių-cemento-smėlio tinkas	Šarmu aktyvuoto šlako be PP pluoštu tinkas	Šarmu aktyvuoto šlako su PP pluoštu tinkas
Kalkės CL90-S, CaO+MgO, g	40	-	-
Cementas CEMII / A-LL 42,5N, g	9,6	-	-
Smėlis 0-2fr., g	112	-	-
Maltas šlakas, g	-	105,63	105,63
Fosfogipsas, g	-	5,56	5,56
Natrio šarmas NaOH, g	-	10,8	10,8
Polipropileno pluoštas, g	-	-	0,1
Vanduo, g	38,4	30,0	30,0

Horizontalaus dilatometro veikimo principas: stūmoklis indukcinio poslinkio keitiklio (LVDT sistema) pagalba kontaktuoja su laikiklyje esančiu bandiniu ir registruoja bet kokius ilgio pokyčius bandinyje kaitinant ar šaldant. Tyrimo pradžioje, slankmačiu 0,01 mm tikslumu išmatuojamas tiriamojo bandinio ilgis. Bandinys yra įstatomas į korundinį 7 mm skersmens vamzdinio tipo horizontalaus dilatometro laikiklį ir nuspaudus aparato valdymo skyde „→“ stūmoklis pritraukiamas prie bandinio. Uždaroma krosnelė. Linseis dilatometro valdymo programoje įvedamos eksperimentinės sąlygos. Viršutiniame meniu pasirinkus Temperature profile kortelę, įvedamas temperatūros intervalas (30–1000 °C) ir temperatūros kėlimo greitis – 10 °C/min. Sekančiame etape, pasirenkama statinėmis sąlygomis bandinį veikiančios jėgos vertė, kuri gali kisti nuo 300–500 mN.

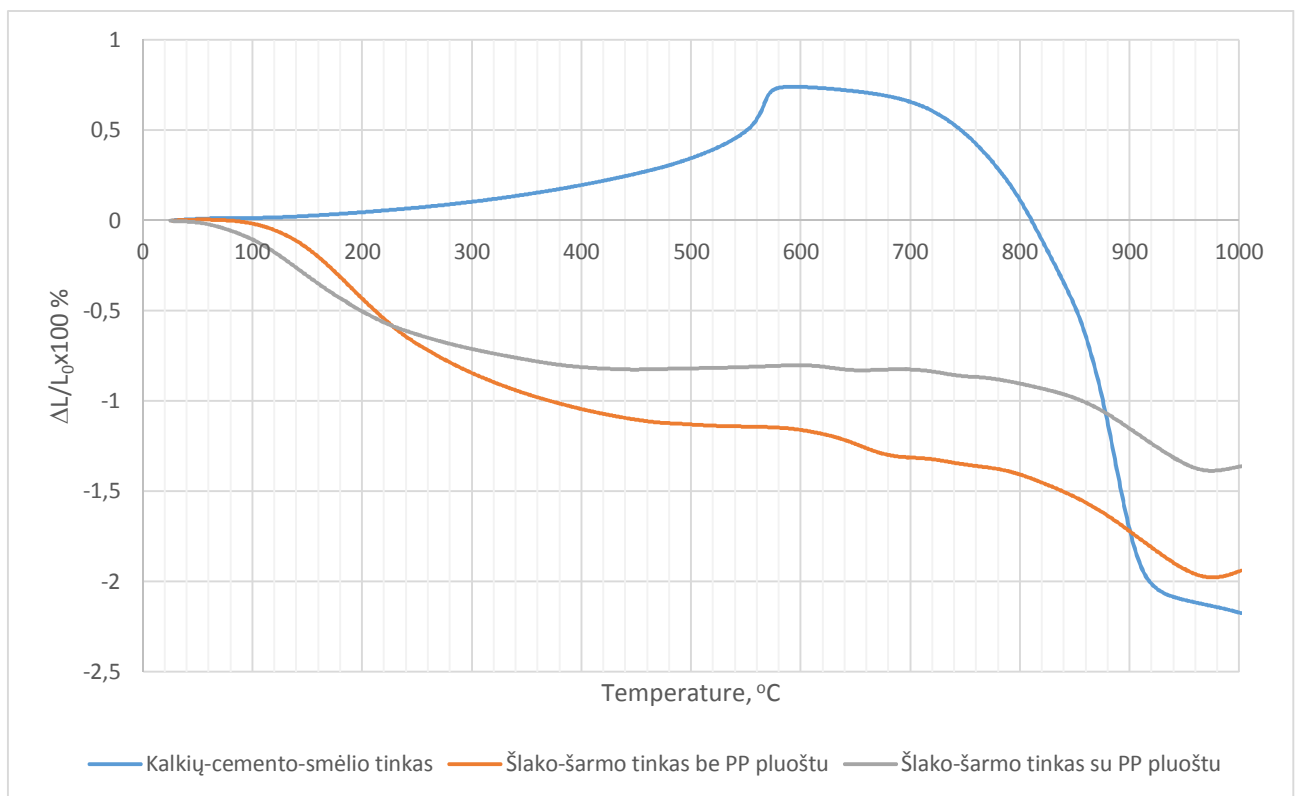
Norint pradėti analizę, spaudžiamas „Start measurement“ laukelis. Užrašoma tiriamosios medžiagos dilatimetrinė kreivė. Gauti rezultatai matematiškai apdorojami Linseis TA Evaluation programoje.

Rezultatai. Dilatimetrinės analizės kreivėse, pateiktose 33 paveiksle, matomas bandinių pailgėjimo kitimas, didėjant temperatūrai. Kalkių-cemento-smėlio tinko ilgio matmenų kreivės kitimas labai skiriasi nuo šarmu aktyvuoto šlako tinko. Kalkių-cemento-smėlio tinko priešingai nei šarmu aktyvuoto šlako tinko bandinys plečiasi iki 570 °C temperatūros. Tuomet kreivė kylant temperatūrai nuosekliai krinta, kol bandinio matmenų pokytis pasiekia – 2%, pasiekus 900 °C temperatūrą. Terminio išsiplėtimo koeficiento kreivėje, pateiktoje 34 paveiksle, matomas bandinio matmenų kitimo greitis. Šioje kreivėje matomas kalkių-cemento-smėlio tinko šuolis parodo tinko bandinyje suirimą dėl išsiskiriančio vandens. Kalkių-cemento-smėlio tinko bandinys suiro, išimant iš tyrimo aparato. Šarmu aktyvuoto šlako tinko bandinio pailgėjimo kitimas nuoseklus visą kaitinimo laiką. Terminio išsiplėtimo koeficiento kreivėje nėra pastebimas bandinio matmenų kitimo greičio pokytis, todėl galima teigti, kad kintant temperatūrai bandinyje nevyksta cheminės reakcijos, tačiau nuosekliai išlaisvinamas vanduo, o bandinys traukiasi.

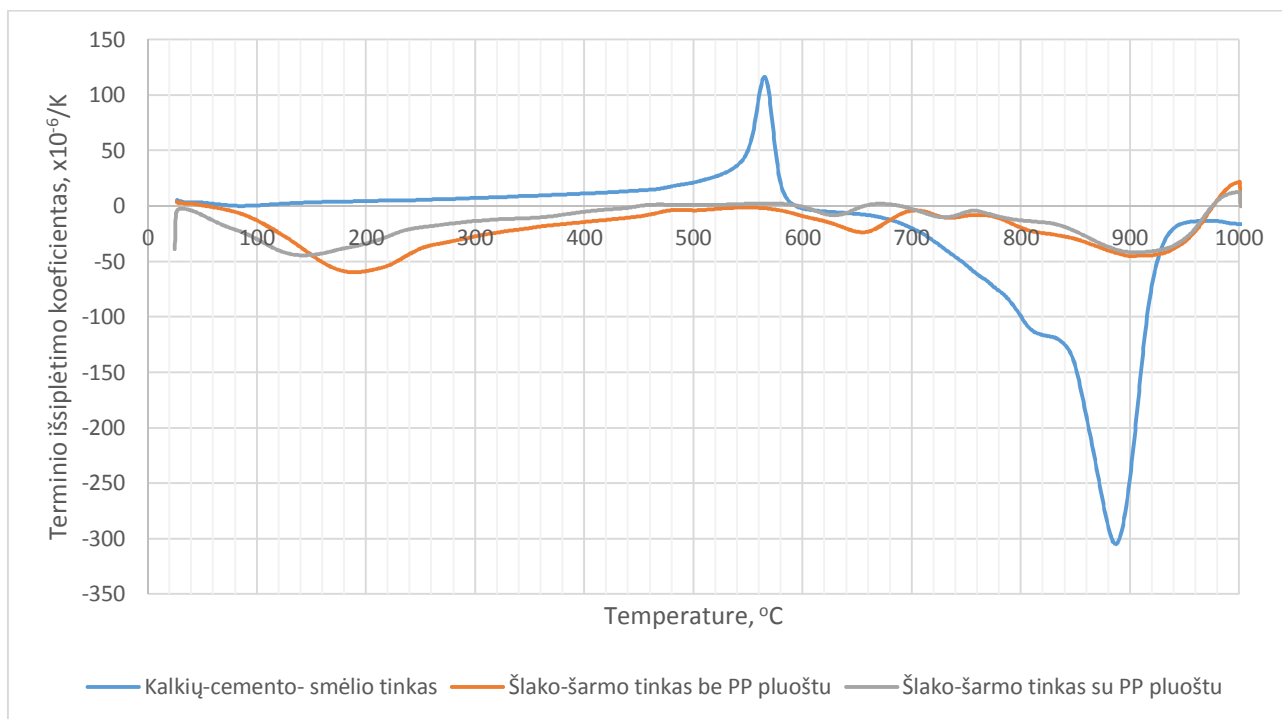


32 pav. Šarmu aktyvuoto šlako bandiniai kaitinti horizontaliame dilatometre.

Būtina pažymėti, kad šarmu aktyvuoto šlako tinko su polipropileno pluoštu bandinio matmenų kitimo kreivė skiriasi nuo bandinio be pluošto (32 pav.). Bandinys su pluoštu mažiau keičia savo matmenis iki 600 °C temperatūros. Tai lemia polipropileno pluošto terminės savybės. Polipropileno pluoštas dega pasiekęs 590 °C temperatūrą, todėl bandinyje atsiranda vidiniai įtempiai dėl pluošto, kurie neleidžia keisti bandinio matmenų dėl kylančios temperatūros.



33 pav. Bandinio matmenų pokytis dėl kaitinimo.



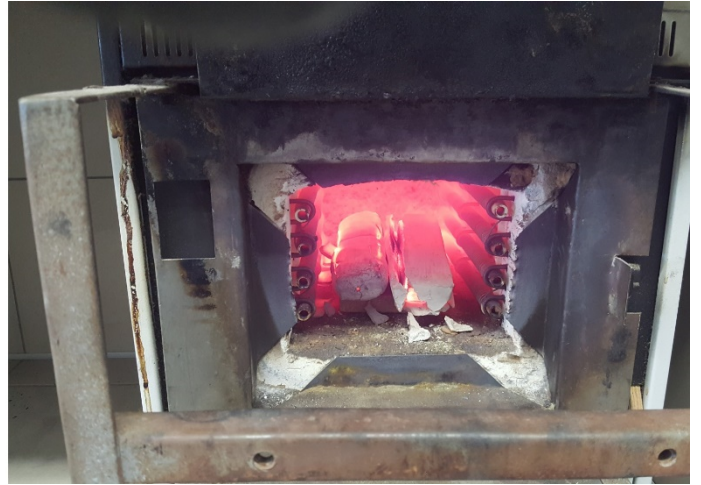
34 pav. Bandinio medžiagos terminio išsiplėtimo koeficiento pokytis dėl kaitinimo.

4.2.2. Bandinių tūrinio kaitinimo krosnyje savybių nustatymas

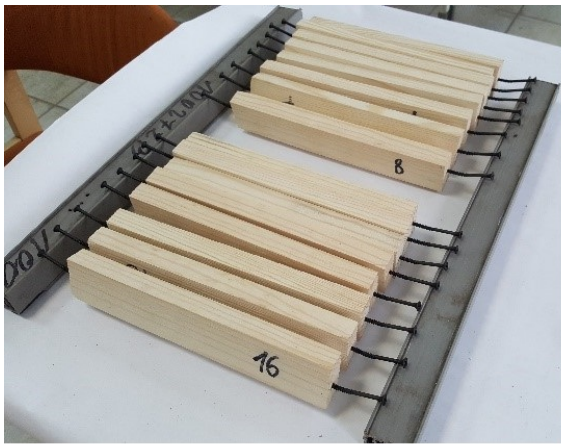
Tyrimo objektas. Šio bandymo tikslas buvo palyginti skirtingų sudėčių ir savybių tinko skiedinių savybes kaitinant bandinius tūrinio kaitinimo būdu krosnyje. Taip pat siekiama patvirtinti, prieš tai skyriuje atliktų tos pačios sudėties tinko skiedinio mišinių dilatometrines analizės bandymo duomenis. Bandinių atsparumo ugniai tyrimas buvo atliktas Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie Lietuvos Respublikos Vidaus reikalų ministerijos Gaisrinių tyrimų centro laboratorijoje. Laboratorijos įranga yra sertifikuota atsparumo ugniai tyrimams. Bandymas buvo atliktas prižiūrint laboratorijos darbuotojui. Tyrimo metu bandiniai buvo kaitinami kaitinimo krosnyje (35 pav.) vadovaujantis LST EN 1363-1:2012 Atsparumo ugniai bandymai. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai. Bandymui buvo parinkti bandiniai iš spygliuočių masyvo medienos. Bandiniai buvo sugrupuoti į dvi imtis po 8 vnt (37 pav.). Bandinių ilgis parinktas pagal krosnies dydį. Medienos drėgnis - 9-10%. Nustačius bandinių mechaninius parametrus, pateiktus 14 lentelėje, medinis paviršius buvo padengtas stiklo pluošto tinko armavimo tinkleliu (36 pav. b). Armavimo tinklelis buvo priklijuotas prie medinio paviršiaus, siekiant padidinti tinko ir medienos sukibimą.

14 lentelė. Medinių bandynių fiziniai ir mechaniniai parametrai.

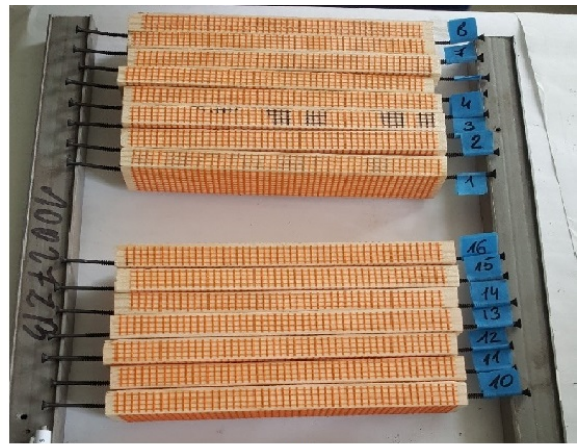
Bandinio numeris	Ilgis, mm	Plotis, mm	Storis, mm	Masė, kg	Tankis, kg/m ³	Skerspjūvio plotas, mm ²
Nr.1-16 vidutinė reikšmė	250	40	20	0.095	485	0,000784



35 pav. Bandinių kaitinimas krosnyje.



(a)



(b)

36 pav. a) mediniai bandiniai; b) bandiniai su pritvirtintu armavimo tinkleliu.

Tinko skiediniai parinkti dviejų skirtingų mišinių (13 lentelė). Bandimui naudoti kalkių-cemento-smėlio tinkas ir šarmu aktyvuoto šlako be PP pluošto tinkas. Tinko skiedinių mišinių sudėtys ir medžiagos naudotos terminio plėtimosi koeficiento nustatymo metu.

Nutinkuoti bandiniai buvo kietinami 28 paras esant 20 ± 2 °C laipsnių temperatūrai ir 95 % aplinkos drėgnumui. Sukietėjus tinkui (37 pav.) bandiniai buvo sužymėti ir pakartotiniai nustatytos mechaninės charakteristikos, pateiktos 15 lentelėje. Bandinių matmenys padidėjo apie 10mm visomis kryptimis, o vidutinis tinko sluoksnio storis – 4-5 mm. Bandinių masė pasikeitė 4 kartus.

15 lentelė. Tinkuotų medinių bandynių fiziniai ir mechaniniai parametrai.

Bandinio numeris	Ilgis, mm	Plotis, mm	Storis, mm	Masė, kg	Tankis, kg/m^3	Skerspjūvio plotas, mm^2
Nr.1-16 vidutinė reikšmė	261	52	30,5	0.383	995	0,000872



(a)



(b)

37 pav. a) bandiniai su kalkių tinku; b) bandiniai su šarmu aktyvuoto šlako tinku.

Tyrimo eiga. Bandiniai į krosnį buvo dedami po du (35 pav.), vienas bandinys iš kiekvienos medžiagos grupės. Bandiniai buvo padėti ant šamoto plytelių, kad būtų kaitinimui iš visų pusių.

Bandymo metu kaitinimo laikas buvo pasirinktas 10, 15 ir 30 min. Bandinių išlaikymo krosnyje laikas buvo pasirinktas 30 min pirmu kaitinimu, 10 min antru kaitinimu ir 15 min trečiu-šeštu kaitinimais. Viso bandymo metu buvo atlikti 6 kaitinimai po 2 vnt. bandinių, viso 12 vnt. Likę bandiniai dėl tinko defektų (įtrūkimai, nuskilimai) buvo atmesti ir nebandyti.

Rezultatai. Pirmo kaitinimo metu bandiniai kameroje buvo išlaikyti 30 min.

16 lentelė. Nustatyta kaitinimo temperatūra, °C kameroje pirmo bandymo metu.

Bandymo Nr.1							
Bandymo trukmė, min	0	5	10	15	20	25	30
Pasiekta temperatūra krosnyje, °C	23	358	620	725	775	820	850



38 pav. Bandymo rezultatai po 30 min kaitinimo.

Po 30 min. bandiniai krosnyje suiro (38 pav.). Dėl mažo bandinių dydžio, bandiniai pilnai perkaito, o mediena dėl pirolizės proceso visiškai suanglėjo. Dėl šių priežasčių nebuvo nustatyta skirtumų tarp skirtingų tinko skiedinių mišinių. Bandymo metu nuspręsta trumpinti kaitinimo laiką.

Antro kaitinimo metu bandiniai kameroje buvo išlaikyti 10 min. Bandymo trukmė 10:38-10:53. Patalpos temperatūra – 20 °C, krosnies pradinė temperatūra – 70 °C. Po bandymo krosnies temperatūra turi nukristi iki patalpos temperatūros, tačiau dėl aukštos didelio diametro termoporos temperatūra nusistovėjo ties 70 °C, po 1,5 val. krosnies aušimo.



39 pav. Bandymo rezultatai po 10 min kaitinimo.

Po 10 min. krosnyje nuo bandinio su kalkių tinku atšoko tinko sluoksnis ir apanglėjo medienos paviršius, mediena pakeitė spalvą. Bandinio su karščiui atspariu tinku žymių pokyčių nepastebėta (39 pav.). Apibendrinus pirmo ir antro bandimų rezultatus nuspręsta bandimo trukmei pasirinkti 15 min kaitinimo laiką. Trečio-šešto kaitinimų metu bandiniai kameroje buvo išlaikyti 15 min. Bandymo trukmės Nr. 3 - 11:48-11:58, Nr. 4 - 12:40-12:55, Nr. 5 - 13:38-13:53, Nr. 6 - 14:33-14:48. Patalpos temperatūra – 20 °C, krosnies pradinė temperatūra – 70 °C. Po bandymo krosnies temperatūra turi nukristi iki patalpos temperatūros, tačiau dėl aukštos laiko temperatūros ir didelio diametro termoporos temperatūra nusistovėjo ties 70°C, po 1,5 val. krosnies aušimo.

17 lentelė. Nustatyta kaitinimo temperatūra, °C kameroje trečio-šešto bandymo metu.

Bandymo Nr.2				
Bandymo trukmė, min	0	5	10	15
Pasiekta vidutinė temperatūra krosnyje, °C	70	365	645	695



(a)



(b)

40 pav. a) medinių bandinių su kalkių tinko sluoksniu skerspjūvis po kaitinimo;

b) medinių bandinių su šarmu aktyvuoto šlako tinko sluoksniu skerspjūvis po kaitinimo.

Trečio – šešto bandymų metu krosnyje po 15 minučių vidutiniškai pasiekdavo 700 °C temperatūrą. Atliktų keturių bandymų rezultatai panašūs (40 pav.). Kalkių – cemento – smėlio tinko sluoksnis stipriai pakeitė savo savybes. Tinkas atšoko nuo medinio paviršiaus ir jo neapsaugojo nuo degimo. Atidarius krosnies kamerą, mediena lengvai užsidegdavo ir suanglėdavo visas skerspjūvis (40 pav. a). Bandiniai ryškiai pakeitė savo masę daugiau kaip 45%. Atlikus kaitinimo bandymus buvo nustatyti bandinių mechaniniai parametrai (18 lentelė).

18 lentelė. Tinkuotų medinių bandinių fiziniai ir mechaniniai parametrai.

Bandinio numeris	Ilgis, mm	Plotis, mm	Storis, mm	Masė, kg	Tankis, kg/m ³	Skerspjūvio plotas, mm ²
Nr.1,4,5,7 vidutinė reikšmė	245	39	18	0,0723	420,0	0,00072

Bandinių, kurie buvo padengti šarmu aktyvuoto šlako tinko sluoksniu, mediena ryškiai nepakito. Bandinių briaunose atsirado įtrūkimai, per kuriuos paveikta mediena apanglėjo (40 pav. b). Mediena iš esmės nepakeitė savo skerspjūvio ir formos. Tinko sluoksnis laikėsi ant bandinių. Nuvalius tinko sluoksnį nuo medinio paviršiaus, bandinių masė pakito – 16-28%.

4.3. Ugniai atspariu tinku tinkuoto medienos paviršiaus anglėjimo greičio tyrimas

Bandinių atsparumo ugniai tyrimas buvo atliktas Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie Lietuvos Respublikos Vidaus reikalų ministerijos Gaisrinių tyrimų centro laboratorijoje. Laboratorijos įranga yra sertifikuota atsparumo ugniai tyrimams. Bandymas buvo atliktas prižiūrint laboratorijos darbuotojui. Tyrimo metu bandiniai buvo kaitinami kaitinimo krosnyje vadovaujantis LST EN 1363-1:2012 Atsparumo ugniai bandymai. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai.

4.3.1. Bandinių vienpusio kaitinimo krosnyje savybių nustatymas

Tyrimo objektas. Šio bandymo tikslas buvo nustatyti ugniai atspariu tinku tinkuoto medinio paviršiaus tinko skiedinio savybes ir medienos anglėjimo spartą kaitinant bandinius vienpusio kaitinimo būdu krosnyje. Bandymo metu gauti rezultatai lyginami su medinio neapsaugotu bandinio kaitinamo rezultatais, bandinius kaitinant vienodomis sąlygomis.

Metodo esmė – kaitinti bandinį iš vienos pusės kaip numatyta ir standarte LST EN 1363 – 1:2012 pagal reglamentuotą temperatūros – laiko priklausomybę ir nustatyti nekaitinamos bandinio pusės įkaitimo iki užsiduotos temperatūros laiką bandymo metu esant skirtingoms bandymo temperatūroms, t. y. gaisro sąlygoms.

Bandymo metu temperatūra fiksuojama nekaitinamoje bandinio pusėje kas pusę minutės tol, kol konstrukcijoje atsiras vienas iš šių požymių [2-8]:

- plyšiai arba skylės, pro kurias gali prasiskverbti degimo produktai arba liepsna;
- gaisro veikiamos konstrukcijos kitos pusės temperatūra vidutiniškai pakilo daugiau kaip 140 °C, arba daugiau kaip 180 °C bet kuriame to paviršiaus taške, lyginant su konstrukcijos temperatūra iki bandymo, arba 220 °C nepaisant konstrukcijos temperatūros iki bandymo.

Tyrimo eiga. Bandymo metu tinkuotas bandinys buvo įtvirtintas vietoje krosnies durelių. Bandinys prie krosnies pritvirtintas laikymo įtaisu. Bandinio laikymo įtaisas užtikrina bandinio stabilų padėtį bandymo metu. Bandinys nuo įkaitusių krosnies elementų buvo izoliuotas nedegia akmens vata. Sandariai įrengta izoliacinė vata riboja papildomo oro pritekėjimą per krosnies dureles. Papildomas oro pritekėjimas sudarytų sąlygas bandinio atviram degimui, ne pirolizės sąlygomis. Pritekamojo oro trūkumas kaitinimo kameroje atitinka LST EN 1363-1:2012 reikalavimus.

Bandymo metu bandinius veikia tik krosnies kaitinimo elementų sukuriamas šilumos srautas. Krosnies sandarumas užtikrina, kad kameros viduje degimas nevyksta.

Bandinio nekaitinama pusė buvo palikta atvira, o prie nekaitinamo medinio paviršiaus pritvirtinta termopora. Prietaisas, registruojantis krosnies bei bandinio nekaitinamojo paviršiaus temperatūras, karštąją lydvietę sudaro nikelio-chromo/nikelio-aliuminio („K“ tipo) vielos izoliuotos termoporos. Termoporos matavimo diapazonas yra nuo (-200) °C iki 1300 °C pagal LST EN 1363-1:2012 reikalavimus. Termoporos sujungtos su prietaisu registruojančiu temperatūrą. Termoporų matavimo rodmenys fiksuojami „Eurotherm“ savirašiu. Prietaisas temperatūrą registruoja nerečiau kaip kas vieną sekundę pagal termoporų parodymus.



41 pav. Bandyto metu naudota įranga.

Bandytas pagal LST EN 1363-1:2012 reikalavimus atliekamas kai aplinkos oro temperatūra nuo 10 °C iki 30 °C; santykinė drėgmė nuo 40 % iki 80 %; atmosferos slėgis nuo 84kPa iki 106 kPa. Vadovaujantis laboratorijoje įrengtais kalibruotais ir sertifikuotais aplinkos matavimo prietaisais bandymo aplinka atitiko LST EN 1363-1:2012 reikalavimus.

Kaitinimo kamerasi šildyti buvo naudojami 8 vnt. 32A13/0,7T220 tipo vamzdiniai elektriniai kaitinimo elementai, kurių kiekvieno galingumas buvo 0,7 kW, skersmuo – 13 mm, o ilgis – 200 mm. Visi kaitinimo elementai sujungti lygiagrečiai. Krosnies parametrai pateikti 19 lentelėje.

19 lentelė. Bendrieji krosnies parametrai.

Pagaminimo metai	2007
Galia, kW	2,4
Maitinimo šaltinio įtampa, V	220
Kaitinimo šaltinis	Elektrinės spiralės
Krosnies kameros tūris, m³	0,006
Kaitinimo ir temperatūros valdymas	Automatinis arba rankinis

Bandyams ruošiami vienodi bandiniai. Bandymui buvo parinkti spygliuočio medienos masyvo bandiniai (42 pav.). Medinių bandinių ilgis 250 ± 1 mm, plotis 100 ± 1 mm, storis 25 ± 1 mm. Bandinių ilgis parinktas pagal krosnies matmenis. Medienos drėgnis - 9-10%. Nustačius bandinių mechaninius parametrus, medinis paviršius buvo padengtas stiklo pluošto tinko armavimo tinkleliu (42 pav. a). Armavimo tinklelis buvo pritvirtintas prie medinio paviršiaus, siekiant padidinti tinko ir medienos sukibimą. Tinko skiedinio sluoksnis parinktas atsižvelgiant į ankstesnių skyrių rezultatų duomenis. Vienpusio kaitinimo bandymo bandinių mišinio sudėtis pateikta 20 lentelėje.

20 lentelė. Vienpusio kaitinimo bandymo bandinių mišinio sudėtis

Medžiaga	Masė, g 1 vnt. band.
Maltas šlakas	330,09
Fosfogipsas	17,37
Natrio šarmas NaOH	33,75
Smėlis	374,46
Polipropileno pluoštas	0,5g
Vanduo, V/C santykis – 0,77	108,75



(a)



(b)

42 pav. a) bandiniai su armavimo tinkleliu; b) tinkuoti bandiniai.

Bandymui paruošti trys bandiniai su tinko sluoksniu ir trys kontroliniai mediniai bandiniai (42 pav. b). Nutinkuoti bandiniai buvo kietinami 28 paras esant 20 ± 2 °C laipsnių temperatūrai ir 95 % aplinkos drėgnei. Sukietėjus tinkui bandiniai buvo sužymėti ir pakartotiniai nustatytos mechaninės charakteristikos. Vidutinis tinko sluoksnio storis – 4-5 mm, tai nustatyta perpjovus papildomus kontrolinius bandinius ir išmatavus tinko sluoksnį (43 pav. a). Bandinių masė pasikeitė 4 kartus. Visi matavimo duomenys yra surašomi ir bandinio dangos storis yra visų matavimų aritmetinis vidurkis.



(a)

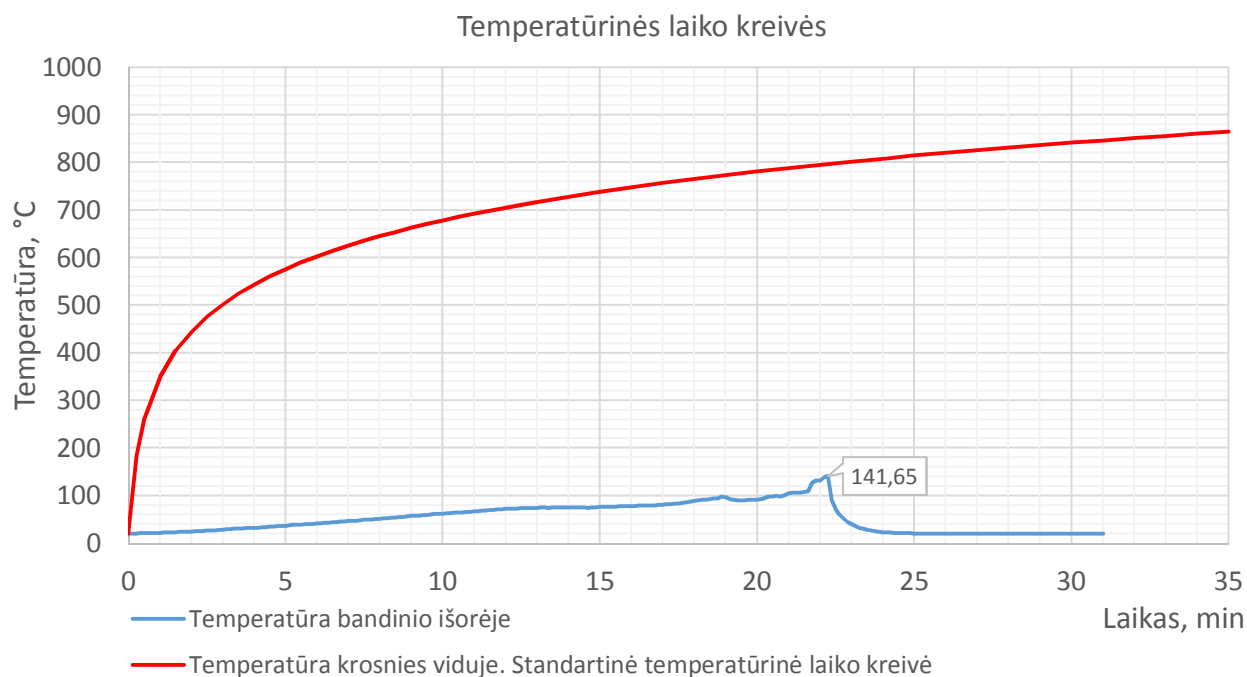


(b)

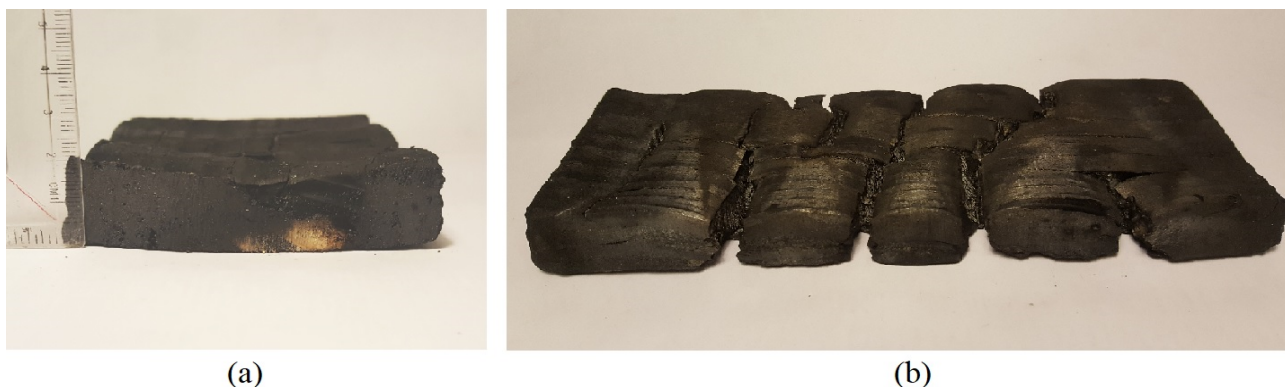
43 pav. a) tinko sluoksnio storis; b) tinkuotas bandinys.

Bandymo pradžioje įjungiamas temperatūros registravimo prietaisas ir patikrinama elektrinės krosnies kaitimo valdymo bloko programa, t. y. nustatyto gaisro augimo greitis. Bandymas pradamas, kai įjungiamas nustatytos temperatūrinės priklausomybės nuo laiko, krosnies kaitimas. Bandymas atliekamas traukos spintoje, kai įjungta ventiliacija. Bandymo metu temperatūros registravimo prietaisu fiksuojamos krosnies ir bandinio nekaitinamo paviršiaus perkaitimo temperatūra ir laikas, nuo bandymo pradžios. Iš temperatūros registravimo prietaiso duomenų nustatomas laikas, per kurį, nuo bandymo pradžios, pasiekiamos nekaitinamoje bandinio pusėje kritinės temperatūros [3].

Rezultatai. Pirmo kaitinimo metu medinis bandinys buvo kaitinamas nustatytu režimu, kol išorinės termoporos matuojamas temperatūra pakilo iki 141,65 °C. Krosnies kameroje tuo metu išmatuota 795,6 °C. Kaitinimo rezultatai pateikti 44 paveiksle. Bandymo metu pro bandinį izoliuojančią medžiagą pastebėti medienos plyšiai ir bandymas nutrauktas po 22 minučių nuo bandymo pradžios.



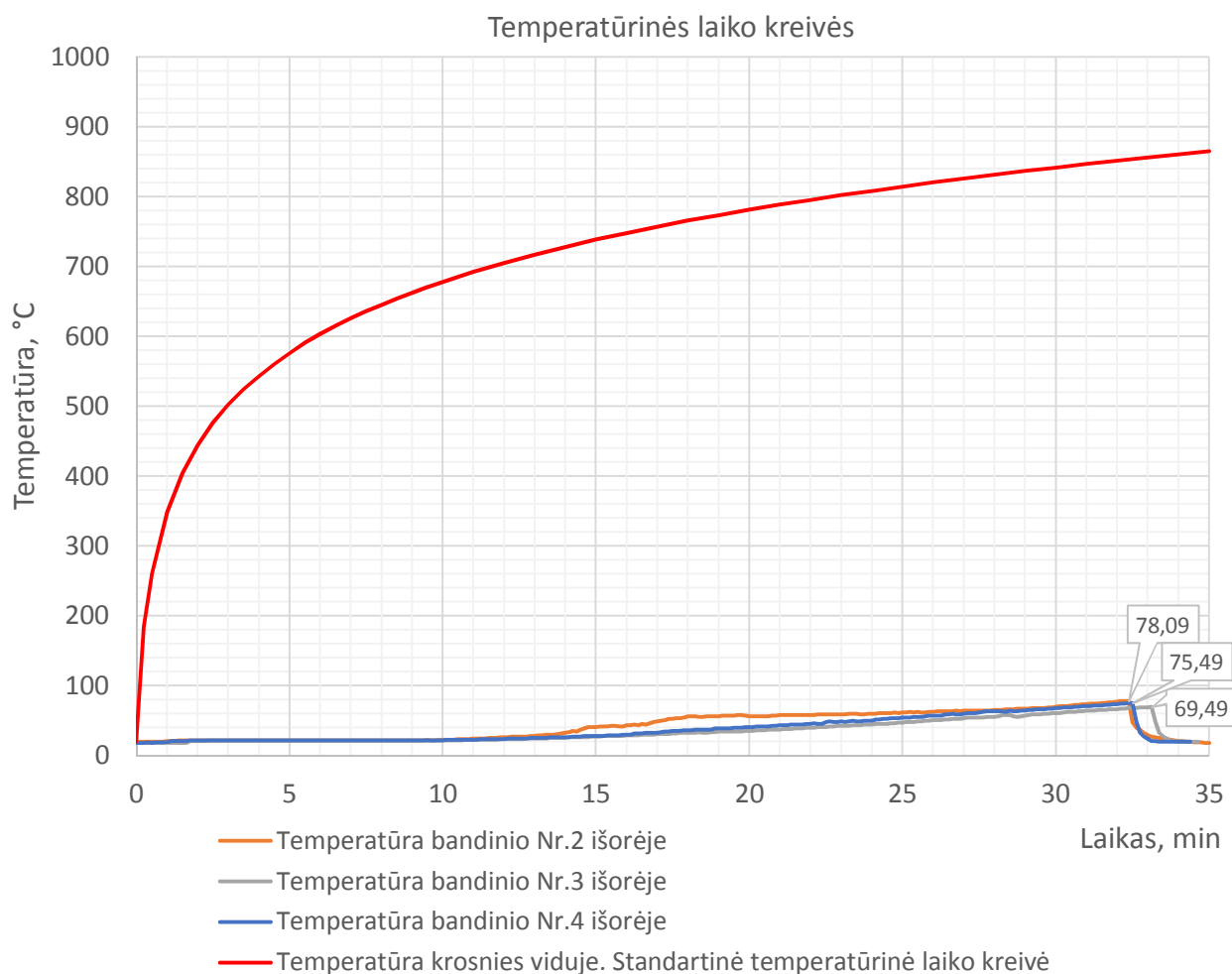
44 pav. Pirmo bandinio kaitinimas. Krosnies vidaus ir išorės temperatūrinės laiko kreivės.



45 pav. a) bandinio skerspjūvis; b) bandinio pažeidimai.

Bandinio skerspjūvis visiškai suanglėjo dėl pirolizės proceso. Bandinyje atsirado plyšiai ir pažeidimai (45 pav. b). Tiksliai nustatyti bandinio apanglėjimo gylį nepavyko, nes visas bandinio skerspjūvis suanglėjo (45 pav. a). Skaičiuotinė medienos anglėjimo sparta $\beta_n = 1,04$ mm/min. Reglamentuojama šios rūšies medienos anglėjimo sparta – 0,8 mm/min. Bandymo metu nustatyta kontrolinio medinio bandinio anglėjimo sparta galėjo skirtis nuo skaičiuotinės dėl mažų bandinio matmenų ir medienos drėgmės. Medinis bandinys buvo pilnai išdžiovintas. Medienos drėgnumas turi didelę įtaką medienos anglėjimo greičiui.

Antro – ketvirto kaitinimo metu bandiniai buvo kaitinami nustatytu režimu, kol išorinės termoporos matuojama temperatūra vidutiniškai pakilo iki 74,3 °C. Krosnies kameroje tuo metu išmatuota 856,0 °C. Kaitinimo rezultatai pateikti 46 paveiksle. Bandymo metu pro bandinį izoliuojančią medžiagą pastebėti medienos plyšiai ir bandymas nutrauktas po vidutiniškai 33 min. nuo bandymo pradžios.



46 pav. Antro - ketvirto bandinio kaitinimas. Krosnies vidaus ir išorės temperatūrinės laiko kreivės. Nuimant bandinį nuo kaitinimo krosnies tinko sluoksnis buvo įkaitęs. Vėsinant bandinį visas tinko sluoksnis atšoko nuo bandinio dėl staigaus temperatūros pokyčio. Neatvėsinus bandinio anglėjimo procesas būtų nesustojęs. Medinis bandinys po tinko sluoksniu apanglėjo, tačiau neužsidegė. Tinko

sluoksnis nesuiro, paviršiuje neatsirado didelių plyšių, pro kuriuos būtų prasiskverbusi kaitra (47 pav).

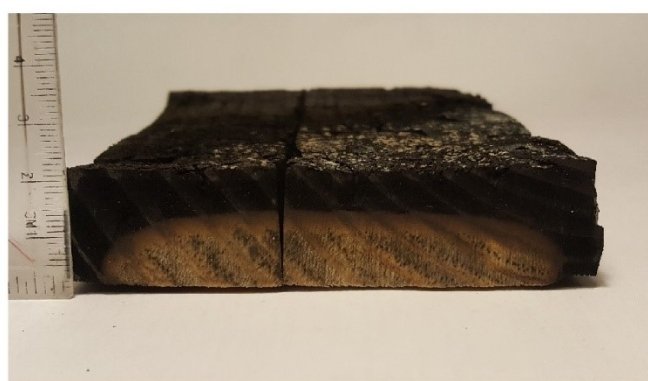
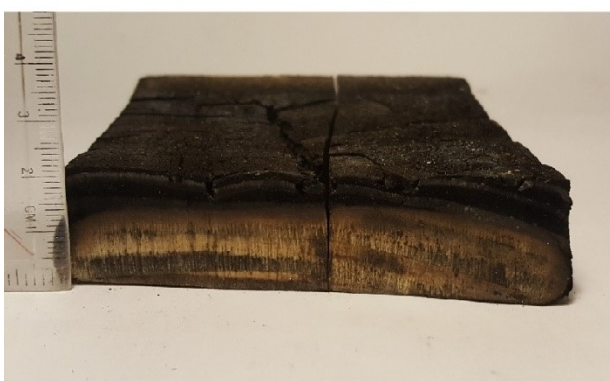


47 pav. Bandinys po kaitinimo.

Bandinių skerspjūviai pažeisti iš dalies. Bandinių anglies sluoksnyje atsirado plyšiai ir pažeidimai (48 pav). Apanglėjęs sluoksnis po bandymo buvo nuvalytas ir išmatuotas likęs nepažeistas medienos sluoksnis. Iš bandinio matmenų atėmus nepažeistos medienos sluoksnio vidutinę mažiausią reikšmę apskaičiuotas anglėjimo gylis ir greitis. Giliausias bandinių pažeidimas išmatuotas 15 mm.



a)

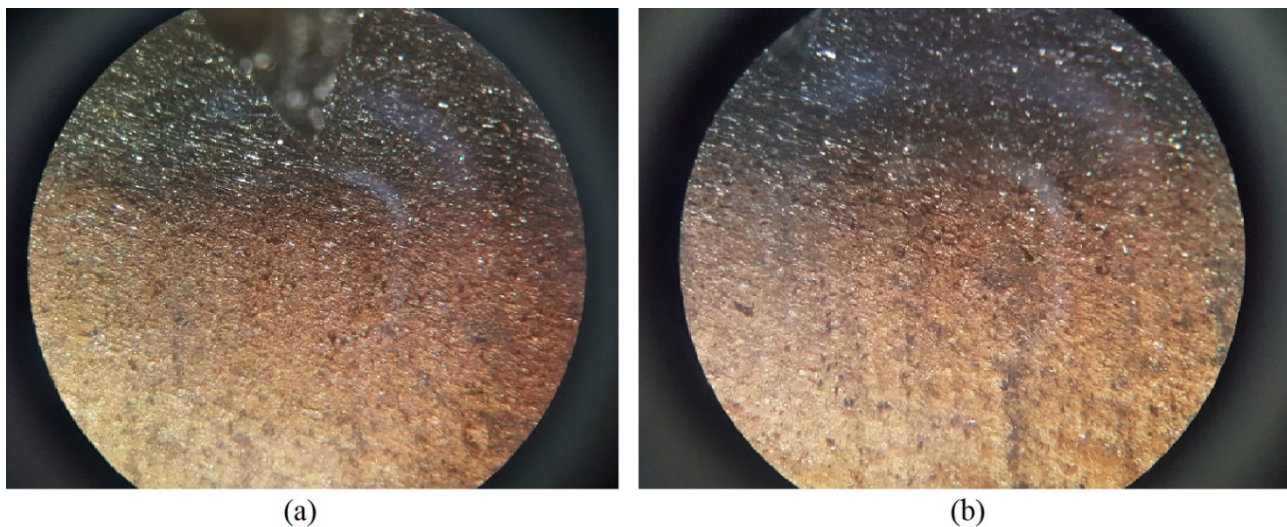


b)

48 pav. Bandinių skerspjūviai po kaitinimo. a) išilginis pjūvis; b) skersiniai pjūviai.

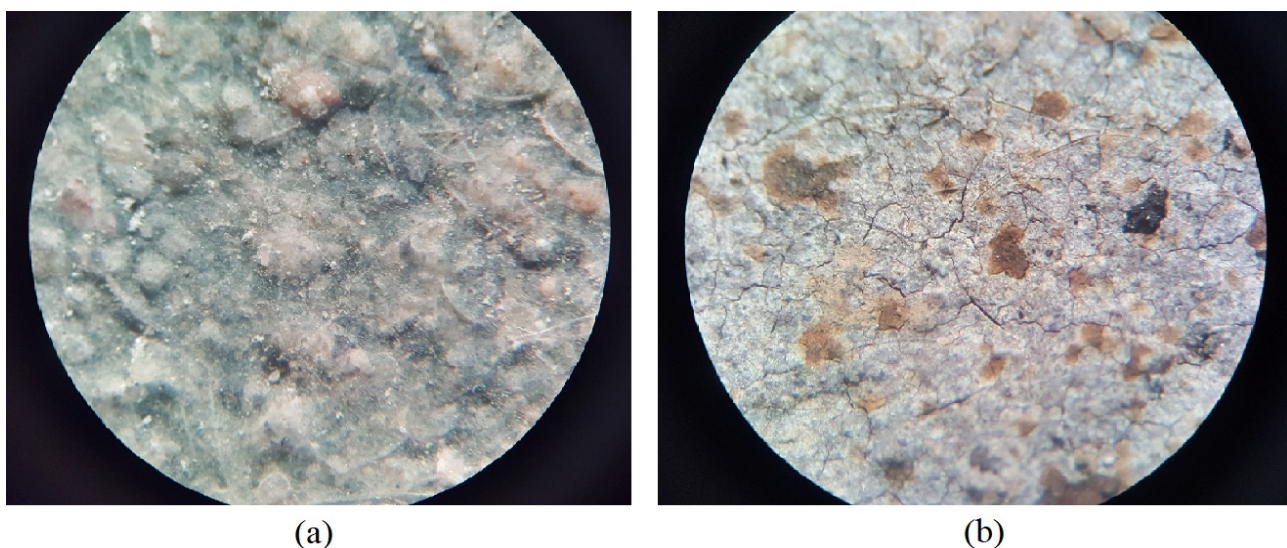
Padidinus mikroskopu 10 kartų (49 pav.) bandinių paviršiaus skerspjūvyje matomas medienos anglėjimo procesas. Matoma kaip tamsus medžio anglies sluoksnis pereina į pirolizės paveiktą

sluoksnį ir po juo nepažeistą medieną. Dėl pirolizės šiame sluoksnyje suirusi ar pradėjusi irti hemiceliolizė. Sluoksnio storis apie 4-5 mm.



49 pav. Bandinių skerspjūvio nuotrauka padidinta x10 kartų mikroskopu.

Padidinus mikroskopu 10 kartų bandinių tinko paviršių matomi nekaitintas ir kaitintas tinko pokyčiai (50 pav.). Tinko paviršiuje matomas šarmu aktyvuoto šlako rišiklis, polipropileno pluoštas, smėlio užpildo dalelės. Kaitinto tinko paviršiaus nuotraukoje (50 pav. b) matomas šarmu aktyvuoto šlako skiedinys kaitintas iki 850 °C temperatūroje. Tinko paviršiuje matomas ištirpęs polipropileno pluoštas ir vietoje pluošto atsiradę kanalai, užpildo smėlio dalelės (tamsiai rudos dalelės tinko paviršiuje). Tinko paviršius sutrūkinėjęs, matomi mikro įtrūkimai, kurie atsirado dėl vandens išgaravimo kaitinimo metu.

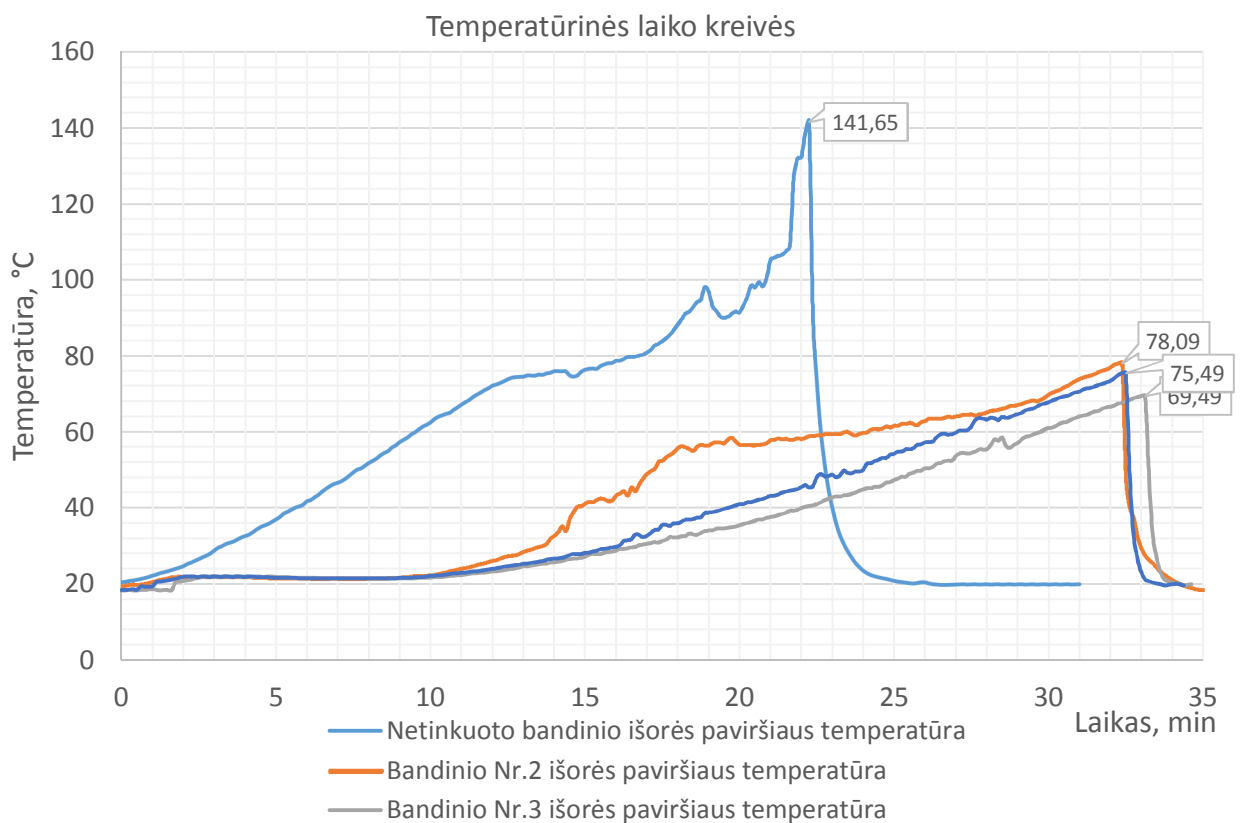


50 pav. Tinko paviršiaus nuotraukos padidintos x10 kartų mikroskopu. a) tinko paviršius prieš kaitinimą; b) tinko paviršius po kaitinimo.

Lyginant bandinių išorės temperatūras 51 paveiksle pastebima, kad tinkas turi įtakos medienos anglėjimo greičiui. Neapsaugoto medinio bandinio nekaitintos pusės temperatūra pradėjo kilti po 1-2 min. Tuo metu krosnyje temperatūra pasiekė 300 °C. Šioje temperatūroje pilnai išgaruoja medienoje esantis vanduo, o paviršiuje prasideda anglėjimo procesas dėl pirolizės. Temperatūrinė laiko kreivė kyla pastoviu greičiu, iki kol medinio bandinio kraštuose pastebimi perkaitę plyšiai, o išorės temperatūra pasiekia 141,65 °C.

Tinkuotų medinių bandinių temperatūrinės laiko kreivės kitimo greitis skiriasi nuo kontrolinio medinio bandinio. Visuose trijuose bandymuose pastebima, kad išorinės temperatūros kilimas uždelstas. Matoma, kad bandinių išorės temperatūra pradeda kilti po 10 minučių nuo bandymo pradžios. Kaitinimo pradžioje iš tinko skiedinio turėjo pasišalinti laisvasis vanduo ir pradėjo lydintis polipropileno pluoštas. Polipropileno pluošto lydymosi temperatūra 160 °C, o degimo temperatūra 590 °C.

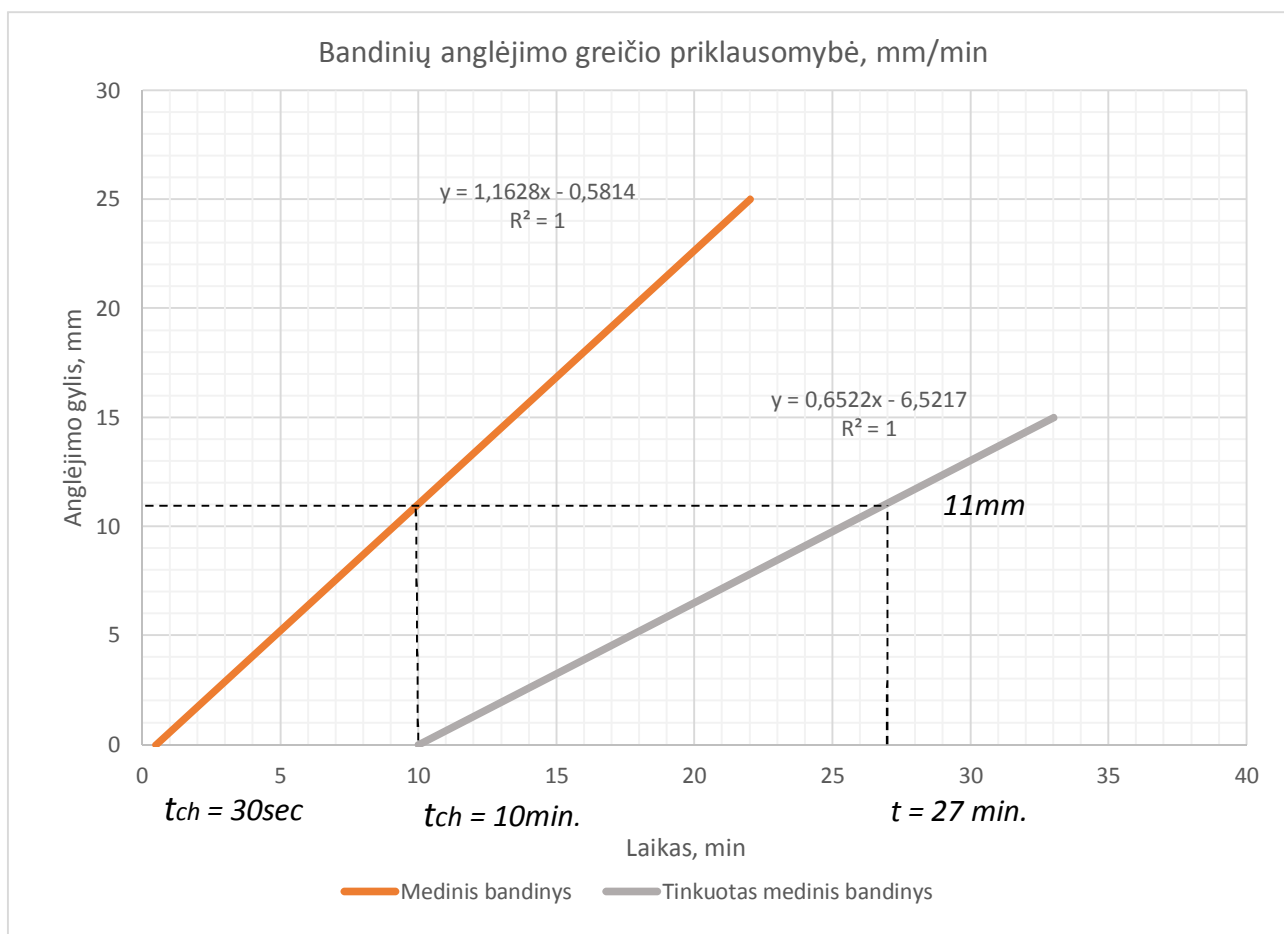
Kaitinimo metu krosnies viduje po 8-10 minučių buvo pasiekta 600 °C temperatūra. Šioje temperatūroje polipropileno pluoštas turėjo pilnai išsilydyti ir pradėti degti. Pagal polipropileno pluošto degimo temperatūrą ir bandymo metu nustatytą bandinio išorės temperatūrą galima teikti, kad medienos paviršiaus sluoksnio anglėjimo proceso pradžia t_{ch} yra po 10 minučių nuo kaitinimo pradžios.



51 pav. Bandinių nekaitinamo išorės paviršiaus temperatūrinės laiko kreivės.

Tinko skiedinio sukibimas su mediniu paviršiumi dėl anglies sluoksnio atsiradimo turi mažėti, todėl manoma, kad tinko apsauginės savybės prastėja pilnai perkaitus tinko sluoksniui. Vadovaujantis šarmu aktyvuoto šlako tinko dilatometrijos tyrimo duomenimis medžiagos matmenys kinta nuosekliai susitraukdami. Atsiradę mikro plyšiai tinke leido iš medienos, kaitinimo metu, pasišalinti vandens garams ir dujoms. Dėl šios savybės ir dėl tinko armavimo, skiedinys nesuiro per visą kaitinimo laiką. Nesuireš tinkas neleido savaime užsidegti medienos paviršiui.

Skaičiuotinis medienos anglėjimo greitis, skaičiuojant nuo medinio paviršiaus anglėjimo pradžios t_{ch} (10 minučių) $\beta = 0,65$ mm/min. Tai atitinka labai lėtą medienos anglėjimo greitį aprašytą eksperimentinių bandymų metu [17].



52 pav. Bandinių anglėjimo greičio priklausomybė, mm/min.

Išvados

1. Lyginant bandinių išorės temperatūras pastebima, kad apsauginis tinkas turi įtakos medienos anglėjimo spartai. Visuose trijuose bandymuose pastebima, kad išorinės temperatūros kilimas uždelstas. Matoma, kad bandinių išorės temperatūra pradeda kilti po 10 minučių nuo bandymo pradžios. Kaitinimo pradžioje iš tinko skiedinio turėjo pasišalinti laisvasis vanduo ir pradėjo lydintis polipropileno pluoštas. Polipropileno pluošto lydymosi temperatūra $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, o degimo temperatūra $590\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kaitinimo metu krosnies viduje po 8-10 minučių buvo pasiekta $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūra. Pagal polipropileno pluošto degimo temperatūrą ir bandymo metu nustatytą bandinio išorės temperatūrą galima teikti, kad medienos paviršiaus sluoksnio anglėjimo proceso pradžia tch yra po 10 minučių nuo kaitinimo pradžios. Bandymo metu atsiradę mikro plyšiai tinke leido iš medienos paviršiaus pasišalinti vandens garams ir degioms dujoms. Dėl šios savybės ir dėl tinko armavimo skiedinys nesuiro per visą kaitinimo laiką. Nesuiręs tinkas neleido savaime užsiliepsnoti medienos paviršiui.

2. Pagrindiniai rodikliai, turintis įtakos medinių konstrukcijų padengtų apsauginėmis medžiagomis atsparumui ugniai, yra apsauginės medžiagos savybės. Atlikus kalkių-cemento tinko skiedinio terminio plėtimosi koeficiento nustatymo tyrimą, nustatyta, kad skiedinio ilgio (tūrio) susitraukimas $-2,175\%$, bandiniui pasiekus $1001,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ kaitinimo temperatūrą. Šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinio mišinio su polipropileno plaušu, bandinio ilgio (tūrio) susitraukimas pasikeitė $-1,360\%$, ($1001,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Reglamentuojamas ugniai atsparus apsauginio tinko ilgio (tūrio) susitraukimas ribojamas iki $-1,5\%$, ($1000,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Iš šių duomenų daroma išvada, kad šarmu aktyvuoto šlako tinko skiedinys yra tinkamas naudoti apsauginės dangos įrengimui, tačiau mišinys turi būti papildytas tinko mechanines savybes gerinančiais priedais.

3. Kambario temperatūroje kietėdami bandiniai atšoko nuo medinio paviršiaus. Bandinių, kurių tinko mišinį sudaro viena dalis rišamosios medžiagos ir viena dalis smėlio užpildo, atliekant bandymą, nustatyta vidutinė sukibimo stiprio reikšmė $-0,2\text{ N/mm}^2$. Šis rezultatas netenkina reglamentuojamo sukibimo stiprio reikšmės ($>1,0\text{ N/mm}^2$). Todėl daroma išvada, kad ant medinės konstrukcijos turi būti įrengiamos papildomos armavimo priemonės (stiklo pluošto, plieno armavimo tinklai).

4. Medinės konstrukcijos plačiai naudojamos statybose, tačiau jų degumas yra viena iš didžiausių neigiamų savybių. Medienos tankis, drėgnumas, rūšis turi didelę įtaką medienos anglėjimo greičiui. Ugniai atsparios apsauginės dangos riboja medienos paviršiaus užsiliepsnojamą ir lėtina medienos anglėjimo spartą. Šarmu aktyvuoto šlako rišiklis dėl savo terminio susitraukimo savybių gali būti naudojamas tiriant ugniai atsparias dangas, kaip priedas tinkui arba kaip skiedinio rišamoji medžiaga, tačiau turi būti atlikta daugiau tyrimų, kad būtų galima parinkti optimalią mišinio sudėtį ir armavimo būdą.

Literatūros sąrašas

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos priešgaisrinės saugos įstatymas*: 2002-12-05, Nr. IX-1225 [interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.197461/NEwRIkCINq>.
2. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *STR 2.01.01(2):1999. Esminiai statinio reikalavimai. Gaisrinė sauga*. 1999-12-27, Nr. 422 [interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.96037/pwmNAjBvmA>.
3. LST EN 1363-1:2012. Atsparumo ugniai bandymai. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2012.
4. LST EN 1364-1:2015. Nelaikančiųjų elementų atsparumo ugniai bandymai. 1 dalis. Sienos: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2015.
5. LST EN ISO 11925-2:2010/AC:2011. Reakcijos į ugnį bandymai. Gaminių užsidegamumas tiesiogiai veikiant liepsna: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2011
6. PRIEŠGAISRINĖS APSAUGOS IR GELBĖJIMO DEPARTAMENTAS. *Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai*. 2010-12-07 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2018-10-10] <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658/KURtvOTMII>
7. PRIEŠGAISRINĖS APSAUGOS IR GELBĖJIMO DEPARTAMENTAS. *Visuomeninių statinių gaisrinės saugos taisyklės*. 2011-01-17 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2018-10-10]. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.391196/aRZXyCHFVA>
8. PRIEŠGAISRINĖS APSAUGOS IR GELBĖJIMO DEPARTAMENTAS. *Gyvenamųjų pastatų gaisrinės saugos taisyklės*. 2011-02-22 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2018-10-10]. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.393013/MsEmSGzyY>
9. LST EN 13501-1:2007+A1:2010. Statybos gaminių ir pastato elementų klasifikavimas pagal atsparumą ugniai. 1 dalis. Klasifikavimas pagal atsako į ugnį bandymų duomenis: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2010.
10. ŽUKAS, A., R. MAČIULAITIS, R. ŠUKYS. *Saugus statybinių produktų panaudojimas priešgaisrinio požiūriu: Mokomoji knygelė*. Vilnius: Technika, 2005.
11. JUODELIENĖ, I. *Medienos sandara: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2011.
12. JAKINEVIČIUS, Č. *Medienotyra*. Kaunas: Technologija, 1998. ISBN 9986-13-633-4.
13. DELTUVA, J, A. GAILIUS, A. GUMULIAUSKAS ir kiti. *Statybinės medžiagos*. Vilnius: Mokslas. 1982. ISBN
14. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *STR 2.05.07:2005. Medinių konstrukcijų projektavimas*. 2005-02-10 D1-79 [interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250623>

15. PAULAUSKAS. G. *Savanorio ugniagesio parengimo metodinės rekomendacijos*. Vilnius: Didakta. 2016. ISBN 978-609-442-028-3.
16. JEFIMOVAS. A. Medienos degimo ir anglėjimo ypatumai. *14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos straipsnių rinkinys*. 2011. ISBN 978-9955-28-929-6.
17. ŠAPALAS. A. *Statybinių konstrukcijų atsparumas ugniai: Vadovėlis*. Vilnius: Technika. 1995.
18. S. SCHNABL, G, I. TURK. Planinc. Buckling of timber columns exposed to fire. *Fire safety journal* [interaktyvus]. 2011. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: Science direct.
19. Eurocodas 5. LST EN 1995-1-2+AC. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-2 dalis. Bendrosios nuostatos. Konstrukcijų elgsenos ugnyje skaičiavimas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
20. FIRE EXPERTS. *Priešgaisriniai produktai*. [Interaktyvus]. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per internetą: <http://www.fire-experts.lt/katalogas/prekes/>
21. GRIGONIS, M., V. PRANIAUSKAS, R. MAČIULAITIS, D. LIPINSKAS, V. JOCIUS, Ž. KUODIS. Priešgaisrinių dangų, skirtų plieninių ir medinių konstrukcijų apsaugai nuo ugnies nuodingų dūmų susidarymo, tyrimai. Iš: *Visuomenės sveikata*. [interaktyvus], 2011m. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: Science Direct.
22. LIBLIK, J. A., A. JUST. Performance of constructions with clay plaster and timber at elevated temperatures. Iš: *Energy procedia* [Interaktyvus], 2016. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: Science direct.
23. GOBERIS, S., V. ANTONOVIC. *Kaitrai atsparūs šamotbetoniai: Monografija*. Vilnius: Technika, 2007.
24. JOCIUS, V. *Cemento tipo, užpildų ir oro kiekio mišinyje įtaka betono atsparumui ugniai: Daktaro disertacija*. Vilnius: Technika. 2017.
25. VEKTARIS, B., V. VILKAS. *Betono tvarumas: Monografija*. Kaunas: Technologija, 2006.
26. ŠIAUČIŪNAS, R., A. ŠTUOPYŠ. *Ugniai atsparios medžiagos: Vadovėlis*. Kaunas: Technologija, 1998.
27. VAIČIUKYNIENĖ, D., V. BOCULLO, Ž. PAŽĖRAITĖ, M. MIČELYTĖ. *Pramoninių atliekų panaudojimas geopolimerinio betono gamybai*. KTU. Technorama. 2015-05-18. [Žiūrėta 2018-10-10]. <https://technorama.ktu.edu/news/pramoniniu-atlieku-panaudojimas-geopolimerinio-betono-gamybai>.
28. VAIČIUKYNIENĖ, D., D. NIZEVIČIENĖ, A. KIELĖ, E. JANAVIČIUS, D. PUPEIKIS. Effect of phosphogypsum on the stability upon firing treatment of alkali-activated slag. Iš: *Construction and Building Materials* [interaktyvus], 2018m. [žiūrėta 2018-10-10]. ISBN Prieiga per: Science Direct.

29. ŠIMOLIŪNAS, J. *Statyba: stogai, bokštai, lubos, grindys, laiptai, durys, langai, tinkavimas, sanitariniai bei ūkiniai įrenginiai*. Kaunas: VDU Statybos fakultetas, 1943.
30. KULTŪROS PAVALDO DEPARTAMENTAS. PTR 2.02.03:2007. Akmens mūro ir natūralaus akmens, plytų mūro paveldo tvarkyba. Paveldo tvarkybos reglamentas. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per internetą: <http://testinis.kpd.lt/lt/node/381>
31. KULTŪROS PAVALDO DEPARTAMENTAS PTR 2.06.01:2010. Fasadų dekoratyvinių dangų, dekoratyvinio tinko, tinkuotų, dažytų paviršių tvarkyba. *Paveldo tvarkybos reglamentas*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per internetą: <http://testinis.kpd.lt/lt/node/381>
32. KULTŪROS PAVALDO DEPARTAMENTAS PTR 2.06.02:2010. Interjerų dekoratyvinių dangų, dekoratyvinio tinko, tinkuotų, dažytų paviršių tvarkyba“ *Paveldo tvarkybos reglamentas*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per internetą: <http://testinis.kpd.lt/lt/node/381>
33. LST EN 13914-1:2016. Išorės ir vidaus tinko projektavimas, paruošimas ir dengimas. 1 dalis. Išorės tinkas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.
34. LST EN 13914-2:2016. Išorės ir vidaus tinko projektavimas, paruošimas ir dengimas. 2 dalis. Vidaus tinkas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.
35. LST EN ISO 1927-1:2013. Neforminiai ugniai atsparūs gaminiai. 1 dalis. Įvadas ir klasifikavimas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2013.
36. LST EN 998-1:2017. Techniniai mūro skiedinio reikalavimai. 1 dalis. Tinko skiedinys: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2017.
37. LST EN 1015-10:1999. Mūro skiedinio bandymo metodai. 10 dalis. Sukietėjusio sauso skiedinio tūrinio tankio nustatymas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1999.
38. LST EN 1015-11:1999. Mūro skiedinio bandymo metodai. 11 dalis. Sukietėjusio skiedinio stiprio lenkiant ir gniuždant nustatymas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1999.
39. LST EN 1015-12:2016. Mūro skiedinio bandymo metodai. 12 dalis. Sukietėjusių tinko skiedinių sukibimo su pagrindu stiprio nustatymas: *Lietuvos standartas*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.
40. KAKLAUSKAS, G., D. BAČINSKAS, V. GRIBNIAK, R. JAKUBOVSKIS, D. ULBINAS, E. GUDONIS, A. MEŠKĖNAS, E. TIMINSKAS, A. SOKOLOV. *Kompozitais armuotos betoninės konstrukcijos*. Vilnius: Technika, 2012.
41. MATULIS B., Z. VALANČIUS, G. VAICKELIONIS. *Silikatai, aliumosilikatai ir ceolitai: Mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2011.

42. DELTUVA, J. RUDŽIONIS, Ž. VAITKEVIČIUS, V. VAIČIUKYNIENĖ, D. *Statybinė medžiagotyra: Vadovėlis*. Kaunas: Technologija, 2017.
43. LINSEIS: *Dilatometrija. Horizontalus dilatometras*. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per internetą: <https://www.linseis.com/en/products/dilatometer/175-pt-horizontal/>
44. LUKOŠIUS, K. *Naujas vienpusis konstrukcijų kaitinimo metodas ir jo taikymas prognozuojant atitvarinių konstrukcijų atsparumą ugniai. Daktaro disertacija*. Vilnius: Technika, 2004.
45. LIPINSKAS, D. MAČIULAITIS, R. Further opportunities for development of the method for fire origin prognosis. Iš: *Journal of Civil Engineering and Management*. [Interaktyvus]. 2005. [Žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: *Journal of Civil Engineering and Management*.
46. MAČIULAITIS R., A JEFIMOVAS, P. ZDANEVIČIUS. Research of natural wood combustion and charring processes. Iš: *Journal of Civil Engineering and Management*. [Interaktyvus]. 2012. [Žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: *Journal of Civil Engineering and Management*.
47. BABRAUSKAS, V. Charring rate of wood as a tool for fire investigation. Iš: *Fire safety journal*. [Interaktyvus]. 2005. [Žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: Science direct.
48. CAIJUN S., P. KRIVENKO, D. ROY. *Alkali-activated cements and concretes*. New York, NY: Taylor & Francis. 2006.
49. SKRIPKIŪNAS G. *Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės: Vadovėlis*. Kaunas: Technologija. 2007

Priedai

1 priedas

