

Sami Haapaoja

**TIILILAATAN JA LAASTIN VÄLISEN TARTUNNAN SEKÄ LU-
JUUDEN TESTAUSMENETELMÄ**

TIILILAATAN JA LAASTIN VÄLISEN TARTUNNAN SEKÄ LU- JUUDEN TESTAUSMENETELMÄ

Sami Haapaoja
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Sami Haapaoja

Opinnäytetyön nimi: Tiililaatan ja laastin välisen tartunnan sekä lujuuden testausmenetelmä

Työn ohjaaja(t): Pekka Nykyri

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2015 Sivumäärä: 46 + 7 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää tiililaatan ja laastin välisen tartunnan ja lujuuden testausmenetelmä. Testausmenetelmää tarvittiin selvitettäessä uuden tiililaattamallin ja laastin välisen liitoksen lujuuden riittävyys. Opinnäytetyö tehtiin Stofix Oy:lle, joka valmistaa julkisivujen tiililaattaverhouselementtejä.

Stofixin käyttöön soveltuvan testausmenetelmän etsiminen aloitettiin teorianäytöksellä. Teoriaosuudessa perehdyttiin siihen, mitkä ominaisuudet vaikuttavat tiililaatan ja laastin väliseen tartuntaan. Seuraavaksi etsittiin soveltuvaa testausmenetelmää tutkimalla olemassa olevia tiililaattojen ja muurattujen rakenteiden standardeja. Tämän jälkeen testausmenetelmän soveltuvuutta testattiin Oulun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriossa tehdyillä kokeilla. Kokeita varten valmistettiin erilaisia rakennekoekappaleita yhteensaumatuista tiililaatoista. Tehdyillä testeillä haettiin oikea koko rakennekoekappaleille, sekä tarkennettiin testaussysteemin vaatimuksia.

Tehtyjen testien perusteella laadittiin ohjeet testausmenetelmän kokoonpanosta ja aineenkoetuslaitteen vaatimuksista. Testausmenetelmän avulla Stofix pystyy todentamaan uuden tiililaattamallin soveltumisen verhouspaneeliin ja varmistamaan näin laadukkaiden ja pitkäikäisten verhouspaneelien valmistuksen.

Asiasanat: Tiililaatta, laasti, tartuntalujuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Production Technology

Author(s): Sami Haapaoja

Title of thesis: Test Method of Solidity and Adhesion between Brick Slip and Plaster

Supervisor(s): Pekka Nykyri

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2015

Pages: 46 + 7 appendices

The purpose of this thesis was to determine a test method for solidity and adhesion between brick slip and plaster. The test method was needed in order to determine that the solidity and adhesion between new models of brick slip and plaster are adequate. This thesis is ordered by Stofix Oy, which manufactures brick facade panels.

The search for the best suitable test method for Stofix Oy was started with a theoretical study. The features which effect on the solidity and adhesion between brick slip and plaster are presented in the theoretical part of this thesis. The applicable test method was searched by examining the already existing standards for brick slips and plaster. The test for suitability of the test method was carried out in the facilities of Oulu University of applied sciences. For the test, different types of brick slip prototypes were manufactured from bricks seamed together. The objective of the tests was to find out right size for prototypes and to specify the requirements of the test method.

Both instructions for the construction of the test method and requirements for the tester were created with the help of the tests made. With the help of the test method, Stofix is able to verify the suitability of new brick slip models in to the brick slip facade, and therefore ensure the manufacturing of quality and long-lasting brick slip facades.

Keywords: Brick slip, plaster, adhesion

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 STOFIX-TIILILAATTAVERHOUS	8
3 POLTETUT TIILILAATAT	10
3.1 Tiililaatta	10
3.2 Raaka-aineet ja valmistus	10
3.3 Tiilen ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät	11
3.4 Tiililaatan luokitus	12
3.4.1 Bruttokuivatiheys	12
3.4.2 Vedenalkuimunopeus	13
4 LAASTIT	15
4.1 Sideaineet	15
4.2 Runkoaineet	15
4.3 Vesi	17
4.4 Lisäaineet	18
4.5 Laastimerkinnät ja tyypit	19
5 TIILEN JA LAASTIN VÄLINEN YHTEISTOIMINTA	20
5.1 Tuoreen laastin tartunta	20
5.2 Kovettuva laasti	21
5.3 Kovettunut laasti	23
6 TARTUNTALUJUUDEN TESTAUSMENETELMÄ	25
7 KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS	28
7.1 Esivalmistelut	28
7.2 Saumalaastin valmistus ja notkeuden määrittäminen	28
7.3 Prismojen valmistus	30
7.4 Koekappaleiden saumaus	30
8 TARTUNTA- JA PURISTUSLUJUUSTESTI	32
8.1 Testausjärjestely	32
8.2 Tartuntalujuustesti	33
8.3 Saumalaastin puristuslujuus	34
9 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	37
9.1 Tartuntalujuus	37

9.1.1 Sarja A	37
9.1.2 Sarja B	38
9.1.3 Sarja C	39
9.2 Saumalaastin puristuslujuus	40
9.3 Johtopäätökset	40
10 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44
LIITTEET	46

1 JOHDANTO

Muuratuissa rakenteissa tiilen ja laastin tulee sopia toiminnallisesti yhteen, jotta liitoksesta tulee tiivis ja luja. Laastin ja tiilen välinen tartunta on yksi tärkeimmistä tekijöistä muuratuissa rakenteissa. Tartuntaa tarvitaan, jotta rakenne kestäisi siihen kohdistuvat rasitukset. Tiilen ja laastin välistä tartuntaa voidaan testata rakennekoekappaleille tehtyjen testien avulla.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää testausmenetelmä, jolla saadaan luotettavasti selville tiililaatan ja laastin välinen tartunta ja lujuus. Testausjärjestelmän tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen, eivätkä testauksessa käytettävät voimat saisi kasvaa liian suuriksi. Menetelmän toimivuus todennetaan laboratoriossa tehtävillä testeillä.

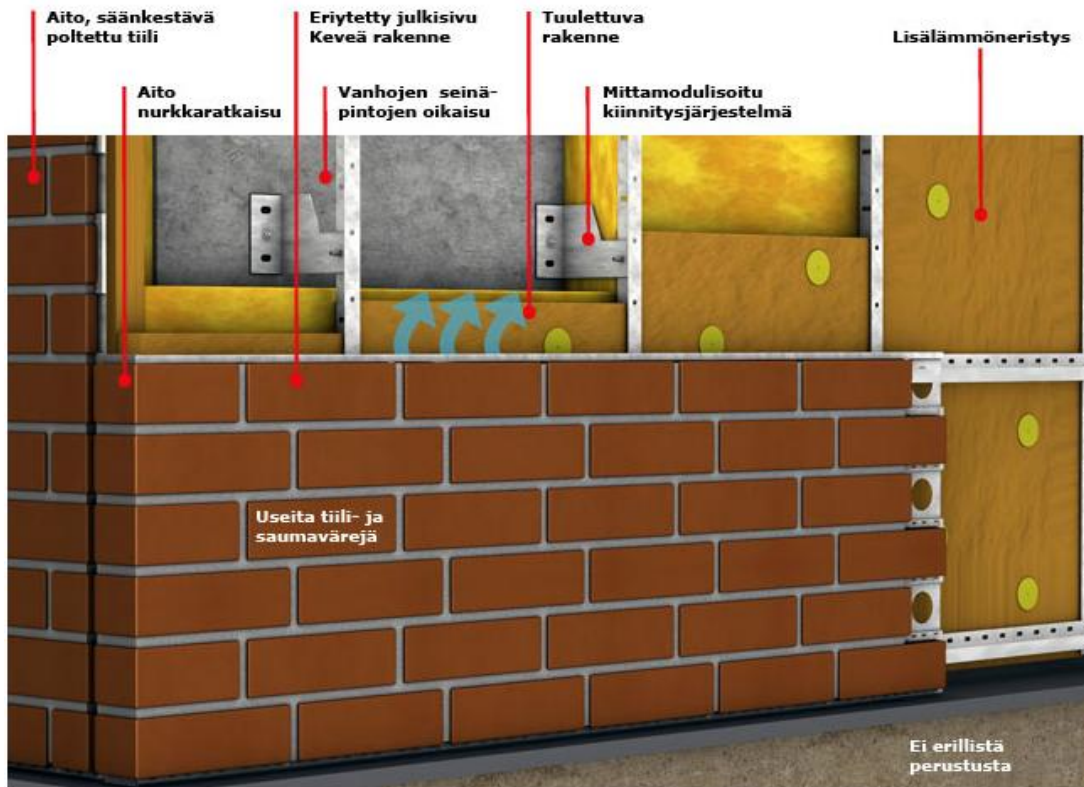
Tämän opinnäytetyön on tilannut Stofix Oy, joka valmistaa ja asentaa tiililaatta-verhouselementtejä korjaus- ja uudisrakennuskohteisiin. Yritys on perustettu vuonna 1993 ja sillä on toimintaa Suomen lisäksi Ruotsissa, Norjassa, Belgiassa sekä Iso-Britanniassa. Yrityksen Oulaisissa sijaitseva tuotantolaitos palvelee kotimaan ja muiden Pohjoismaiden kysyntää. Tänä vuonna Puolaan valmistuneen Puolan tehtaan tuotanto palvelee kasvavia Keski-Euroopan ja muun maailman markkinoita. (Stofix, linkki Yritys.)

Työ on rajattu koskemaan testausmenetelmän selvitystä. Stofixin käyttöön tulevan lopullisen testauslaitteen rakenteen ja rakenteeseen kuuluvan käyttölaitteen suunnittelua ei oteta tässä työssä huomioon.

2 STOFIX-TIILILAATTAVERHOUS

Stofix-tiililaattaverhousta ei muurata paikan päällä, vaan se valmistetaan tehdastiloissa hyvissä ja tasalaatuisissa olosuhteissa. Tiililaattaverhous koostuu kahdesta erillisestä järjestelmästä: kiinnitykseen käytettävästä metallirungosta sekä varsinaisesta tiililaattaverhouspaneelistä. Verhouspaneeli koostuu poltetuista tiililaatoista, jotka saumataan kuumasinkittyyn teräslevyyn polymeerimodifoidulla sementtipohjaisella laastilla. Yksittäisen verhouspaneelin standardikoko on 1 200 mm x 600 mm. Kiinnitykseen käytettävä metallirunko koostuu seinäkiinnikkeistä, pystyyn asennettavista eristyskiskoista sekä vaakasuuntaisista asennuskiskoista, joihin verhouspaneelit kiinnitetään (kuva 1). (Stofix, linkit Tuote -> Tekniset tiedot.)

Stofix-tiililaattaverhous voidaan asentaa julkisivuihin, joissa on kantavana rakenteena betoni, teräs, tiili tai puu. Kohteesta riippuen asennus voidaan tehdä vanhan ulkoverhouksen päälle tai vanha verhous on purettava pois. Toteutus tapa riippuu alla olevan rakenteen toimivuudesta ja vanhan ulkoverhouksen kunnosta. Stofix-tiililaattaverhousta käyttämällä voidaan myös parantaa kohteen energiataloutta lisäämällä lämmöneristystä. (Stofix, linkit Tuote -> Tekniset tiedot.)



KUVA 1. Stofix-tiililaattaverhous (Stofix, linkit Tuote -> Tekniset tiedot)

3 POLTETUT TIILILAATAT

3.1 Tiililaatta

Tiililaatta on savesta polttamalla valmistettu ohut laatta. Tiililaattoja käytetään yleisimmin betonielementtitalojen ulkoverhoukseen ja lattian päällysteiksi. Peruslaatan lisäksi saatavilla on erityyppisiä kulmalaattoja (kuva 2). (Tiileri, linkit Julkisivuratkaisut -> Tiililaatat.)



KUVA 2. Erityyppisiä tiililaattoja (Tiileri, linkit Julkisivuratkaisut -> Tiililaatat)

3.2 Raaka-aineet ja valmistus

Poltettujen savitiilien valmistukseen käytettävän massan pääraaka-aineena toimii savi, johon lisätään hiekkaa, sahanpurua sekä mahdollisesti muita lisäaineita. Massaan lisätyllä sahanpurulla parannetaan tiilen pakkasenkestävyyttä. Sahanpuru palaa tiilen polton yhteydessä, jolloin paikalle jää ilman täyttämiä huokosia. Jäätyvä vesi pääsee laajenemaan huokosiin tiiltä rikkomatta. Savea on alkumuovattava hienontamalla ja hiertämällä, jonka jälkeen se sekoitetaan taiseksi massaksi. Savi varastoidaan jopa useiksi kuukausiksi, jotta sen kosteus tasoittuu ja savikerrokset sekoittuvat keskenään. (Kavaja 2011, 14.)

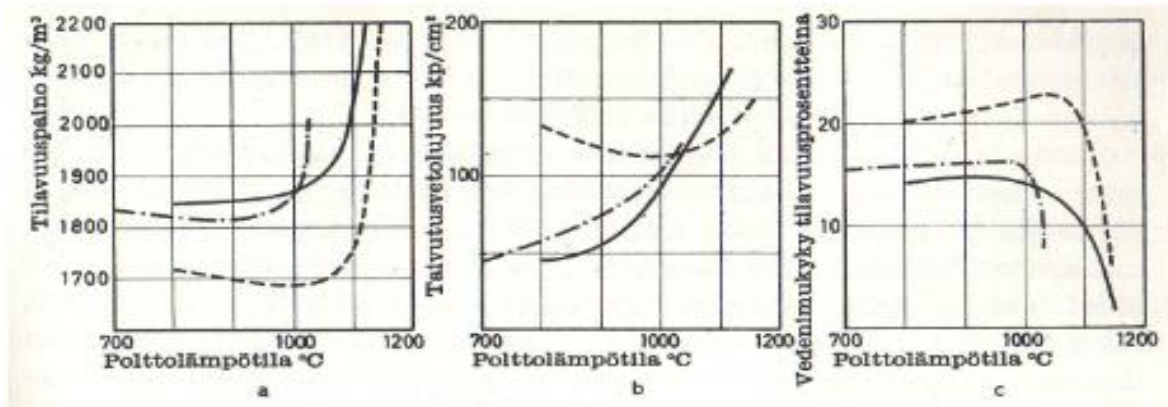
Kankipuristusmenetelmä on yleisin tiilituotteiden valmistusmenetelmä. Sopivan kostea ja notkea savi puristetaan muotosuuttimen läpi, mikä antaa kappaleelle muodon. Savi työntyy ulos tiilitankona, jonka automaattileikkuri katkoo oikean mittaisiksi tiiliaihioiksi. Kutistumista tapahtuu kuivauksen ja polton aikana. Vähemmän käytetyssä kuivapuristusmenetelmässä rakeisesta ja kuivasta savesta puristetaan tiilet kovan paineen avulla. Kuivapuristusmenetelmän etuna voidaan

pitää tiilen kutistumista vain polttovaiheen aikana, jolloin mittapoikkeamat jäävät pienemmiksi. (Siikanen 2001, 78.)

Kuivausvaiheessa tiilituotteita lämmitetään ja samalla ilman kosteus pidetään niin korkealla, ettei kuivumista pääse tapahtumaan vielä tässä vaiheessa. Kuivakutistumisvaiheessa ilman suhteellista kosteutta alennetaan tasaisesti, jolloin tiilituotteet kuivuvat ja kuivumiskutistumat jäävät mahdollisimman pieniksi. Polttovaiheessa tiilituotteita poltetaan tunneli- tai rengasuunissa. Yleisemmin käytetävissä tunneliuunissa poltettavat tiilet ladotaan vaunuille, jotka työnnetään uunin sisään toisesta päästä. Tunnelin esilämmitysosassa tiilestä poistuu kidevesi, hilavälivesi ja muovausvedet. Vaunujen liikkeessä eteenpäin nousee myös uunin lämpötila. Poltto tapahtuu uunin keskiosassa, jossa lämpötila nousee 950 - 1 100 °C:een. Polttovaiheessa savimassan raaka-ainesosien kosketuskohdat sintraantuvat yhteen, ja tiili saa huokoisen rakenteen. Tiilien annetaan jäähtyä ilman lämpötilaan tunnelin lopussa. (Siikanen 2001, 79.)

3.3 Tiilen ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät

Tiilen ominaisuuksiin vaikuttaa suuresti polttolämpötila. Lämpötilan kohoaminen alueella 900 - 1 100 °C suurentaa tilavuuspainoa, lämmönjohtavuutta ja lujuutta sekä pienentää tiilen vedenimukykyä (kuva 3). Korkea polttolämpötila lisää myös mittapoikkeamia, koska tiili kutistuu tiettyä lämpötilaväliä kohti enemmän lämpötilan kasvaessa. Polttolämpötilan lisäksi tiilen ominaisuuksiin vaikuttavat polttoaika, saven laatu sekä lisäaineiden määrä. (Dührkop – Saretok – Sneck – Svendsen 1966, 88 - 89.)



KUVA 3. Polttolämpötilan vaikutus kolmen eri savilajin tilavuuspainoon, taivutuslujuuteen ja vedenimukykyyn (Dührkop ym. 1966, 89)

3.4 Tiililaatan luokitus

Tiililaatat luokitellaan Suomessa standardin SFS 5514 mukaisesti bruttokuivatiheyden ja vedenalkuimunopeuden mukaan. Käyttötarkoituksen mukaisesti tiililaatat luokitellaan myös perusmittojen, mittapoikkeamien ja pitkäaikaiskestävyyden perusteella. Tiililaatan ja laastin välisen yhteistoiminnan kannalta tiililaatan tiheydellä ja vedenalkuimunopeudella on suuri merkitys. (SFS 5514. 2009, 2 - 3.)

3.4.1 Bruttokuivatiheys

Bruttokuivatiheys lasketaan jakamalla tiililaatan kuivapaino ulkomittojen mukaan lasketulla tilavuudella (taulukko 1). Syvennysten tai reikien osuutta ei vähennetä tilavuudesta. (SFS 5514. 2009, 4.) Kuten jo aiemmin mainittiin, tiilen tiheys kasvaa polttolämpötilan noustessa yli 900 °C:n, koska polttokutistuma pienentää tiilen tilavuutta (Dührkop ym. 1966, 88).

TAULUKKO 1. Tiililaattojen tiheysluokat (SFS 5514. 2009, 5)

Bruttokuivatiheysluokka	Bruttokuivatiheyksien keskiarvo kg/m ²
0,7	625...875
0,9	825...1 025
1,1	975...1 225
1,3	1 175...1 425
1,5	1 375...1 625
1,7	1 575...1 825
1,9	1 775...2 025
2,1	1 975...2 225

3.4.2 Vedenalkuimunopeus

Vedenalkuimunopeus sekoitetaan helposti vedenimukykyyn. Vedenimukyky kertoo, paljonko tiililaatta pystyy imemään vettä itseensä pidemmällä aikavälillä. Vedenalkuimunopeus puolestaan määritetään standardin SFS 5513 mukaisesti. Standardin mukaisesti tehtyjen testien tulokset ilmoittavat sen vesimäärän, joka imeytyy kuivaan tiililaattaan sen annettaessa olla lappeellaan vedessä 10 mm syvyydessä 60 sekunnin ajan. Tiililaatat jaetaan luokkiin taulukon 2 mukaan. (SFS 5513. 2009; SFS 5514. 2009; SFS-EN 772-11. 2011.)

TAULUKKO 2. Tiililaattojen vedenalkuimunopeusluokat (SFS 5514. 2009, 4)

Vedenalkuimunopeusluokka	Vedenalkuimunopeuksien keskiarvo kg/m ² x min SFS 5513 mukaan määritettynä
1	<1,0
2	0,5...2,0
3	1,5...3,0
4	>2,5

Tiililaatan vedenalkuimunopeuteen vaikuttaa polttovaiheessa tiiliainekseen syntyvä huokosrakenne. Mitä korkeammassa lämpötilassa tiililaatta poltetaan, sitä suurempi on siinä isojen huokosten suhteellinen osuus. Vesi imeytyy isoihin kapilaarihuokosiin nopeammin, mutta pienemmissä kapilaarihuokosissa veden nousukorkeus on suurempi (taulukko 3). Tiililaatan vedenalkuimunopeus vaikuttaa tuoreen laastin jäykistymiseen tiililaattojen välisissä saumoissa vaikuttaen näin rakenteen lujuuteen ja saumojen tiiviyyteen. Mitä pienempi vedenalkuimu-

nopeus on, sitä kauemmin laasti säilyttää työstöveden ja sementin sitomisreaktioon tarvittavan veden. Pienillä, alle 1 kg/m^2 vedenimunopeuksilla laastin alkukovettuminen tapahtuu hitaasti, jolloin tiili jää kellumaan laastin päälle. Tällöin tiilet saattavat liikkua toistensa suhteen helposti, mistä voi aiheutua ongelmia. Suurilla, yli 3 kg/m^2 vedenimunopeuksilla laastin vedenpidätyskyky on oltava hyvä. (RIL 99-1975. 1975, 36; Siikanen 2001, 81 - 82.)

TAULUKKO 3. Veden imeytyminen kapilaarihuokosiin (RIL 99-1975. 1975, 37)

Kapillaarin säde, mm Raon leveys, mm	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,00001
Veden nousu- korkeus, m	0,0149	0,149	1,49	14,9	149	1490
Veden nousunopeus cm/s	—	17,2	1,72	0,172	0,0172	0,00172

4 LAASTIT

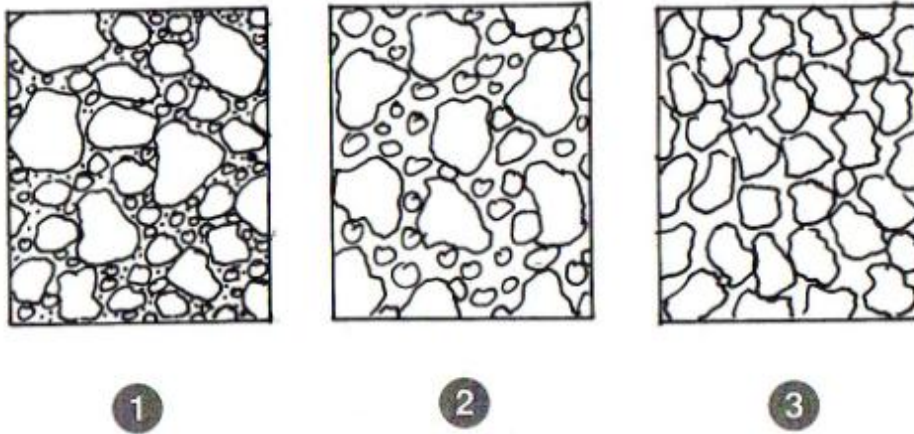
Muuratussa rakenteessa tiilet sidotaan yhtenäiseksi kokonaisuudeksi laastin avulla. Rakenteelta vaaditaan esteettisten ominaisuuksien lisäksi lujuutta, kestävyyttä sekä suojaa sadetta ja säätä vastaan. Laastin ja tiilen välinen yhteistoiminta määrää täyttääkö laasti sille asetetut vaatimukset. Laasti joutuu aina kosketuksiin jonkin alustan kanssa, ja niiden välisen sidoksen laatu määrää rakenteen yleisominaisuudet. Laasti on sideaineiden, veden, runkoaineiden sekä ilman seos. Laastissa voi olla myös väri-, täyte- ja lisäaineita. (Dührkop ym. 1966, 176; RIL 99-1975. 1975, 57.)

4.1 Sideaineet

Sideaineen tehtävä on sitoa kovettuessaan laastin runkoaineen rakeet kiinteästi toisiinsa ja liittää laasti ja tiilet yhteen. Tuoreen laastin ominaisuuksiin vaikuttaa sideaineiden suhteellinen osuus ja laatu. Sideaineet jaotellaan kahteen päätyyppiin sen mukaan, kovettuvatko ne ainoastaan ilmassa vai myös vedessä. Ilmasideaineista tärkein on kalkki, joka kovettuu ilman hiilidioksidin vaikutuksesta. Hydrauliset sideaineet reagoivat veden kanssa ja ne kovettuvat sekä ilmassa että vedessä. Tärkeimpiä hydraulisia sideaineita ovat sementit. (Kavaja 2011, 25.)

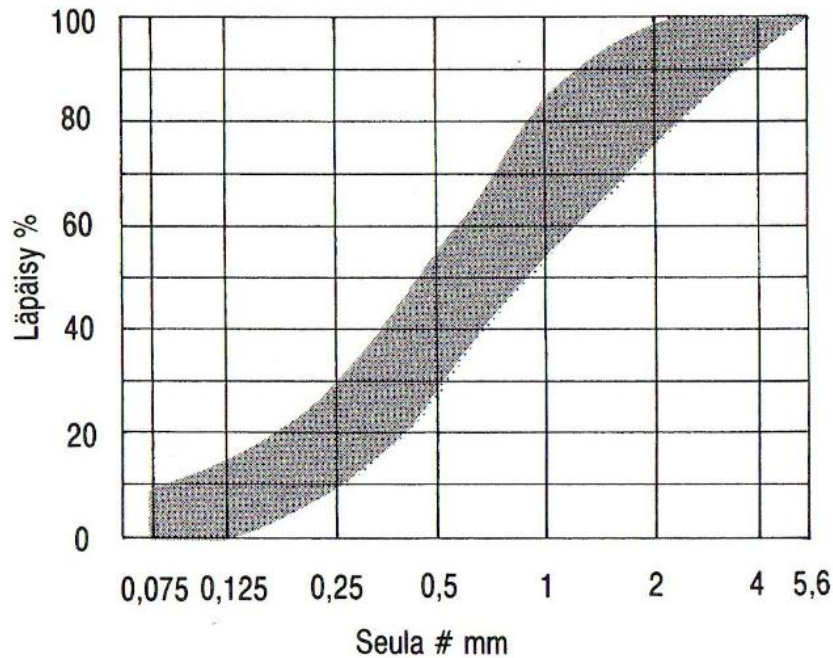
4.2 Runkoaineet

Laastin runkoaineena käytetään yleisimmin murskattua kiviainesta tai hiekkaa. Käytettävän runkoaineen raekoostumus tulisi olla sopiva (kuva 4). Periaatteena on se, että runkoaineen rakeiden välinen tyhjä tila olisi mahdollisimman pieni. Sopivalla raekoostumuksella vähennetään ylimääräisen sideaineen tarvetta. Työstettävyyden kannalta runkoaineksessa tulee olla riittävästi hienoainesta. Liiallista hienoainesmäärää tulee välttää, koska myös se lisää sideaineen tarvetta. Suurista sideainemääristä aiheutuu kutistumisvaaraa. (Kavaja 2011, 26.)



KUVA 4. Erilaisia runkoainekoostumuksia 1. Hyvä runkoaines sisältää kaikkia raekokoja 2. Runkoaineksestä puuttuu hienoin kiviaines 3. Runkoaines tasaraakeista (Kavaja 2011, 26)

Laastihiekka on sopivan rakeisuuden saamiseksi yleensä seulottava ja suhteittava eri seulontalajikkeista. Ensin seulottava hiekkaerä tulee kuivata 105 °C:n lämpötilassa ja punnita. Seulonnassa hiekan erikokoisten rakeiden jakauma määritetään seulontakoneella. Seulonnan aikana eri tiheyksille verkkoseuloille jääneet erät punnitaan ja saatujen painoerien osuudet lasketaan läpäisyprosentteiksi. Eri verkkoseuloilta saadut arvot sijoitetaan ruudukkoon, jossa on suositellut rakeisuuden raja-arvot tummennettuna (kuva 5). (Kavaja 2011, 26.)



KUVA 5. Runkoaineen rakeisuuskäyrän raja-alue (Kavaja 2011, 26)

Jos merkittyjen arvojen välinen käyrä ei sovi tummennetulle alueelle, voidaan runkoaineen rakeisuutta muuttaa sekoittamalla kahta eri hiekkalaatua keskenään. Suositus hiekan suurimmaksi raekooksi on 30 - 40 % sauman paksuudesta. Suositellusta rakeisuuden raja-arvoista voidaan poiketa ennakkokokeiden perusteella. Tämä voi olla tarpeellista laasteja ja tiiliä yhteen sovitettaessa. Eräissä tapauksissa hienoa runkoainesta sisältävistä laasteista nopea veden poistuminen voi olla hyödyllistä. (RIL 99-1975. 1975, 58; Kavaja 2011, 26.)

4.3 Vesi

Vesi käynnistää laastin sideaineen kovettumisreaktiot tai toimii väliaineena, jossa reaktiot tapahtuvat. Vesi myös säätelee yhdessä sideaineen kanssa tuoreen laastin työstettävyyden. Tarvittavaan vesimäärään vaikuttaa valmistusmenetelmä, käyttötarkoitus ja laastin ainesosat. Käytettävä vesi ei saa sisältää epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat haitallisesti laastin kovettumiseen tai ulkonäköön. Sementti on herkempi veden epäpuhtauksille kuin kalkki. Vedessä mahdollisesti olevat orgaaniset aineet, öljyt ja humus sekä liukoiset suolat voivat häiritä sementin sitoutumista ja kovettumista. Liukoiset suolat erittyvät laastin pintaan,

minkä vuoksi suolapitoista vettä ei tule käyttää laastien valmistukseen. Rautapi-toisesta vedestä voi aiheutua ruosteläiskiä. (RIL 99-1975. 1975, 58.)

4.4 Lisäaineet

Laastissa käytettävien lisäaineiden tarkoituksena on parantaa laastin laatua. Niillä voidaan vaikuttaa tuoreen ja kovettuneen laastin ominaisuuksiin. Käytettävien lisäaineiden tulee olla tarkastettuja ja hyväksytyjä. (Kavaja 2011, 27.)

Kiihdyttävät lisäaineet nopeuttavat laastin sitoutumista ja kovettumista. Niitä käytetään yleensä kalkkisementti- ja sementtilaasteissa. Samoihin laastityyppeihin voidaan lisätä myös hidastimia, joita käytetään, kun työskentelylämpötila on korkea. Valmislaasteissa saadaan työstettävyyttä lisättyä huomattavasti hidastinta käyttämällä. (Ylä-Mattila 1984, 15.)

Huokoistavia lisäaineita käyttämällä voidaan parantaa laastin pakkasenkestävyyttä ja työstettävyyttä. Laastin sekoitusvaiheessa huokoistusaineet muodostavat laastiin pieniä ilmakuplia, jotka toimivat laakerien tavoin laastinosien välissä parantaen tuoreen laastin työstettävyyttä. Kovettuneessa laastissa ilmakuplien jättämät huokokset parantavat rakenteen pakkasenkestävyyttä. Huokoistimien käyttö alentaa laastin lujuutta erottamalla runkoainerakeita toisistaan. Parempi laastin työstettävyys mahdollistaa vesisementtisuhteen alentamisen, jolloin lujuuden alentumien ei ole niin suurta. Pienin ilmapitoisuus, mikä lisää merkittävästi työstettävyyttä ja pakkasen kestoa, on 10 %. 18 - 20 %:n ilmapitoisuus alentaa laastin lujuutta jo merkittävästi. (RIL 99-1975. 1975, 59; Ylä-Mattila 1984, 15.)

Polymeereillä voidaan parantaa laastien tartuntaa ja työstettävyyttä. Ne soveltuvat parhaiten sementtilaasteille. (Kavaja 2011.)

Väriaineita käytetään laastin värjäämiseen. Ne ovat hienojakoisia kiinteitä pigmenttejä, jotka käyttäytyvät laastissa hienon runkoaineen tavoin. Tämän vuoksi väriainemäärä ei saisi ylittää 8 % sideaineen määrästä. Väriaineen tulee kestää emäksiä ja valoa. Väriaineita käytettäessä vesimäärä on pidettävä vakiona, koska vesimäärän vaihtelu voi vaikuttaa valmiin laastin värisävyyteen. (Ylä-Mattila 1984, 16.)

4.5 Laastimerkinnät ja tyypit

Laastit merkitään niissä käytettyjen sideaineiden mukaisesti kalkkilaasteihin (K), kalkkisementtilaasteihin (KS), sementtilaasteihin (S) ja muurausmenttilaasteihin (M). Laastin ainesosien suhteet määritetään kirjainten jälkeen seuraavilla numeroilla. Käytettävän sideaineen tai sideaineiden yhteenlaskettu määrä on aina 100 ja runkoaineen määrään vaikuttaa valmistettava laastilaatu. Esimerkiksi kalkkisementtilaastin merkintä KS 35/65/600 tarkoittaa laastia jossa on 35 paino-osaa kalkkia, 65 paino-osaa sementtiä ja 600 paino-osaa kuivaa runkoainetta. (Kavaja 2011, 28.)

Nykyisin laastit valmistetaan lähes poikkeuksetta kuivalaasteina. Kuivalaasti voi olla minkä tahansa laastin kuivaa seosta, johon työpaikalla lisätään vain vesi. Kuivalaasti valmistetaan tehtaassa kuivatuista ja seulotuista runkoaineksista, sementistä tai kalkkisementtisisideaineista. Myös mahdolliset lisäaineet lisätään valmiiksi kuivalaastiin. Yleensä kuivalaastit toimitetaan työpaikalle 25 kg:n säkeissä tai 1000 kg:n suursäkeissä. (Kavaja 2011, 29.)

5 TIILEN JA LAASTIN VÄLINEN YHTEISTOIMINTA

5.1 Tuoreen laastin tartunta

Tiilen aiheuttama imu on suurin tuoreeseen laastiin vaikuttava ulkoinen tekijä. Laasti luovuttaa osan laastivedestä imun alaisena ja se alkaa jäykistyä jo muutamana sekunnin tai minuutin kuluttua jouduttuaan kosketuksiin tiilen kanssa. Side- ja hienoainesta tunkeutuu veden mukana tiilen huokosiin ja tartunta alkaa. Laastin tulisi olla ominaisuuksiltaan tahmaista, jotta se olisi hyvin kosketuksissa tiilen pintaan. Pöly ja muut epäpuhtaudet tiilen pinnassa heikentävät tartuntaa oleellisesti. (Dührkop ym. 1966, 188.)

Varsinaista tartunnan syntymekanismia ei tarkoin tunneta. Yleinen päätelmä on, että tartuntailmiö voidaan jakaa fysikaaliseen, kemialliseen ja mekaaniseen osaan. Mekaanisessa tartunnassa laastia tunkeutuu alustan aukkoihin, epätasaisuuksiin ja huokosiin. Laastin ja alustan välille syntyy mekaanisia kiinnekohtia, jotka estävät niiden väliset liikkeet. Fysikaalisessa tartunnassa laasti joutuu kosketuksiin niin tiiviisti alustan kanssa, että molekyylivoimat pitävät sitä paikoillaan. Tällöin tartuntavyöhykettä kohtisuoraan vastaan vaikuttavat voimat imevät laastia alustaan. Tartuntavyöhykkeessä tapahtuvat kemialliset reaktiot vaikuttavat myös tartuntaan. Tartunnan lopullinen teho määräytyy laastin alkujäykistymisen aikana. (Dührkop ym. 1966, 188.)

Alustan kohtuullinen imukyky luo parhaat edellytykset tartunnan syntymiselle. Heti alustan imukyvyn kasvaessa alkaa ilmaantua ongelmia. Paljon sementtiä sisältävät laastit ovat herkimpiä nopealle veden poistumiselle, koska nopea veden poistuminen vaikuttaa haitallisesti kovettumisprosessin kulkuun. Vaikutus on suurin alustan ja laastin rajapinnassa. Parhaiten imua kestävät paljon kalkkia sisältävät laastit. (Dührkop ym. 1966, 188.)

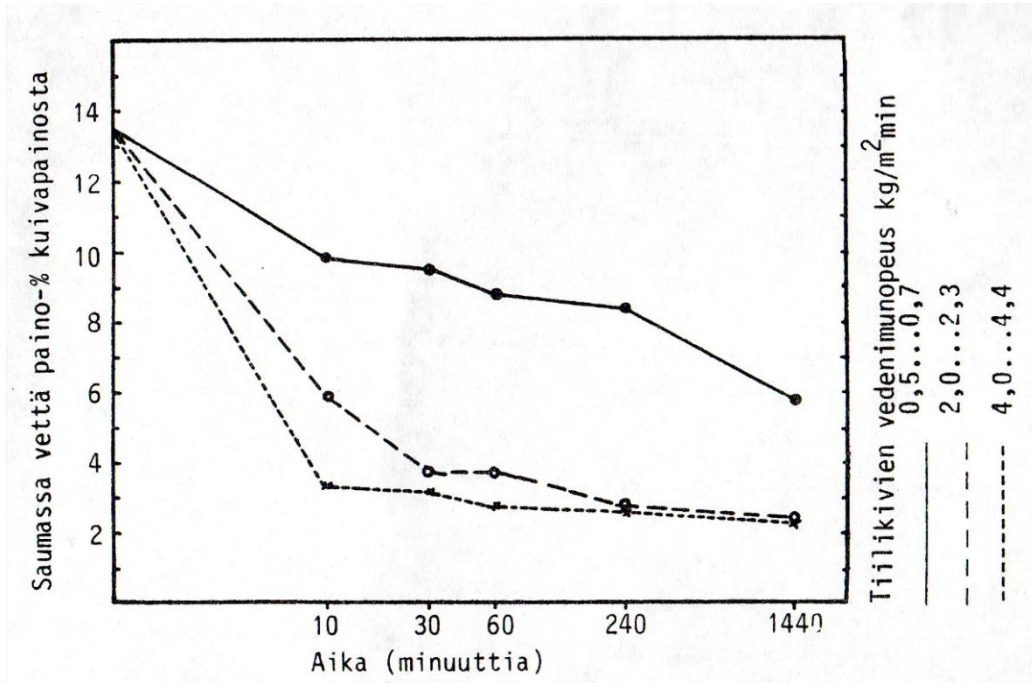
Tartuntaan vaikuttavat monet tekijät ja usein käytännön tulokset ovat yllättäviä. Esimerkiksi, jos alustan imukyky on olematon tai vähäinen, paranee tartunta laastin sementtipitoisuutta kasvatettaessa. Vaikka tartunta-alusta ei imisi vettä ollenkaan ja olisi täysin sileä, voi laastin S 100/100 tartunta olla hyvä sillä edellytyksellä, että laasti on notkeaa ja laastikerrokset tarpeeksi ohuita. Toinen esi-

merkki on runsaasti vettä sisältävistä sementtilaasteista, jotka tarttuvat hyvin suuren vedenimukyvyn omaaviin tiiliin. Ilmiö johtuu siitä, että laasteissa on paljon ylimääräistä vettä ja niiden vedenpidätyskyky on pieni. Tällöin laasteista voi vaaratta poistua paljon vettä, joka kyllästää tiilen. Samalla niiden lujuus paranee vesi-sementtisuhteen pienentyessä. (Dührkop ym. 1966, 188 - 189.)

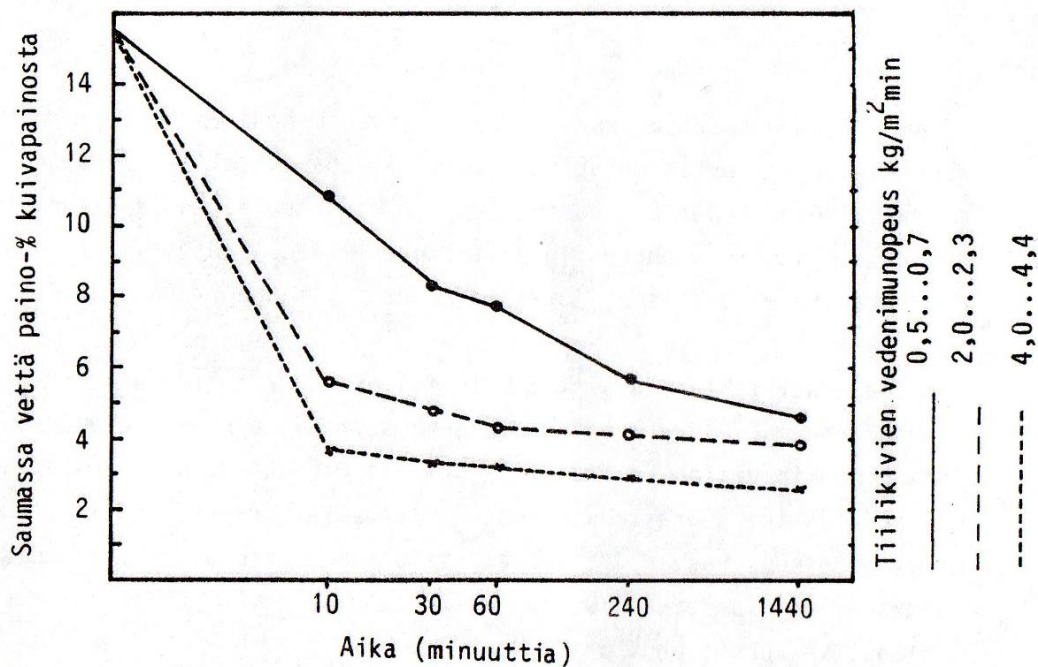
5.2 Kovettuva laasti

Tuoreen laastin ja tiilen väliset reaktiot sekä mahdolliset haittavaikutukset määräävät laastin kovettumismahdollisuudet. Kovettumisvaiheen aikaisia haittavaikutuksia ovat laastin ja tiilen kosteus, lämpöliikkeet, sekä laastissa kovettumisen aikana tapahtuvat muodonmuutokset. Syntyneen liitoksen laatuun ei voi yleensä vaikuttaa jälkikäteen. (RIL 99-1975. 1975, 64.)

Runsaasti sementtiä sisältävien laastien lujuus kasvaa nopeasti ja se on puolet lopullisesta lujuudesta jo muutaman vuorokauden kuluttua. Loppulujuuden kehittymiseen vaikuttavat suurelta osin kovettumisolosuhteet sekä niiden vaikutukset laastin kosteuspitoisuuteen. Eri tiilien vedenimunopeus voi vaihdella suuresti. Jos vesi imeytyy nopeasti pois laastista, sideaineiden kemialliset reaktiot pysähtyvät kokonaan. Tällöin laastin lujuus ja tartunta jäävät paljon odotettua heikommaksi. Käytettäessä suuren vedenimunopeuden omaavia tiiliä laastin vedenpidätyskyvyn tulisi olla suuri. Korkea lämpötila nopeuttaa kovettumisreaktiota alhaisen lämpötilan puolestaan hidastaa tai pysäyttää reaktion kokonaan. (Dührkop ym. 1966, 189 - 190.) Kuvassa 6 ja 7 on esitetty kahden eri laastin vesipitoisuuden muutos eri alkuvedenimunopeuden omaavien tiilien kanssa. (Ylä-Mattila 1984, 28.)



KUVA 6. Tiilen vedenimukyky saumalaastista M 100/300 (Ylä-Mattila 1984, 28)



KUVA 7. Tiilen vedenimukyky saumalaastista KS 20/80/450 (Ylä-Mattila 1984, 29)

Sementtipitoiset laastit saavat kovettuessaan pieniä huokoisia sisältävän huokosrakenteen. Jos tiilessä on suuret huokokset, voi kovettunut laasti suuremman imuvoiman omaavana imeä vettä takaisin tiilestä. Veden imeytyminen tiilestä on

epätodennäköistä tiilen ja laastin huokosrakenteen vastatessa toisiaan. Tällöin imeytymiseen vaikuttaa laastin ja tiilen sisältämien vesimäärien suuruus. (RIL 99-1975. 1975, 64.)

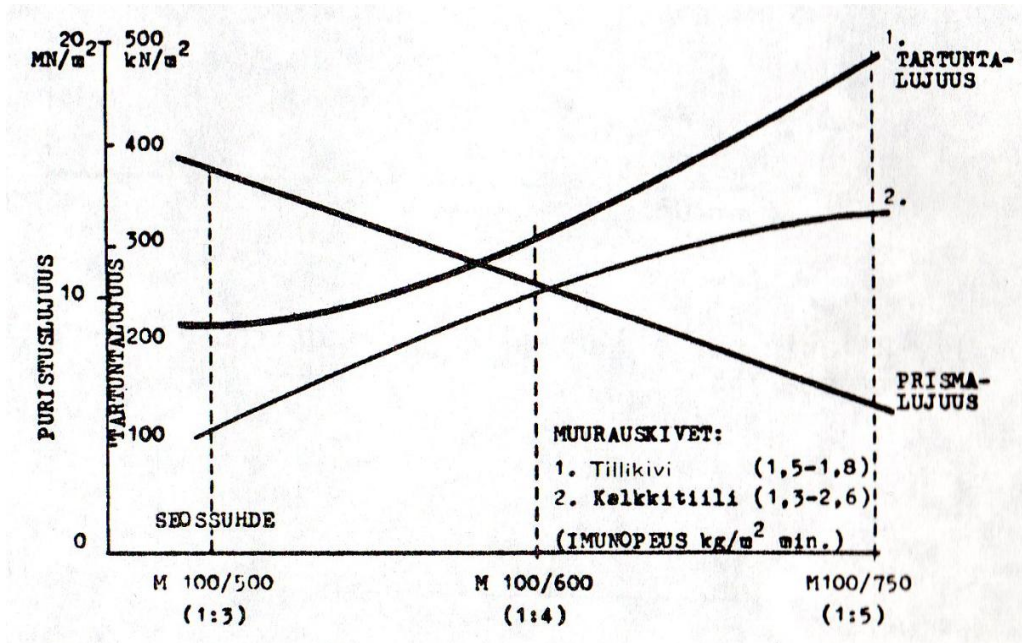
Kosteuden siirtymisestä aiheutuvia muodonmuutoksia tapahtuu sekä tiilessä että laastissa. Vähän vettä sisältävän laastin kovettuminen ei aiheuta suuria muodonmuutoksia. Paljon vettä sisältävän laastin kovettuminen heikon imun alaisena johtaa suurempiin muodonmuutoksiin. Hankalimman tilanteen aiheuttaa hitaasti paljon vettä imevä tiili. Pitkään jatkuva heikko imu aiheuttaa tilanteen, jossa laasti alkaa kovettua runsaasti vettä sisältävänä. Sideaineiden reagointi muodostaa sille kiinteytyvän sisäisen rakenteen. Tällöin pitkäaikaisen imun alainen laasti ei muuta enää muotoaan plastisesti. Veden poistumisen edelleen jatkuessa tiili ja laasti kutistuvat, josta aiheutuu jännityksiä sauman rajapintaan. On myös mahdollista, että kosteuden siirtyessä laastista tiileen laasti kutistuu ja tiilen tilavuus samanaikaisesti kasvaa. Kovettumisen aikaiset rasitukset vaurioittavat laastia helposti. Jäykistynyt laasti ei kykene enää sulkemaan syntyviä halkeamia tai korjaamaan muuta vaurioitumista. (RIL 99-1975. 1975, 64.)

5.3 Kovettunut laasti

Kovettuneen laastin on kestettävä kaikki rakennusosaan kohdistuvat rasitukset. Muuratuissa rakenteissa puristuslujuus on tärkeä laastin lujuusominaisuus. Kovettuneen laastin tulee kestää kaikki kantavien rakenteiden aiheuttamat puristuskuormitukset vaurioitumatta. Laastin lujuuden ja muuratun rakenteen välinen riippuvuus ei ole yleensä suoraviivainen. Tämän vuoksi laastin lujuuden määrittämisellä ei voida määrittää muuratun rakenteen lujuutta, vaan se on tehtävä rakennekoekappalein. Puristuslujuus on kuitenkin tärkeä siksi, että se on helposti mitattavissa. Se on myös yhteydessä muihin tärkeisiin ominaisuuksiin, kuten veto- ja taivutuslujuuteen. Puristuslujuuden kehittyminen on osoitus laastin muidenkin ominaisuuksien kehittymisestä. (Ylä-Mattila 1984, 30.)

Kovettuneen laastin puristuslujuus määritetään standardin SFS-EN 1015-11 mukaisesti valmistetuista prismakoekappaleista. Laastin lujuusominaisuuksiin vaikuttavat eniten sideaine- ja seossuhteet sekä runkoaineen raekoko. Kuvassa

8 on esitetty laastin prismalujuuden ja tartuntalujuuden muuttuminen seossuhteen muuttuessa. Sideainepitoisuuden vähentyessä tartuntalujuus paranee, mutta puristuslujuus pienenee. (Ylä-Mattila 1984, 33.)



KUVA 8. Puristus ja tartuntalujuuden riippuvuus muurausmenttilaastin seossuhteesta (Ylä-Mattila 1984, 33)

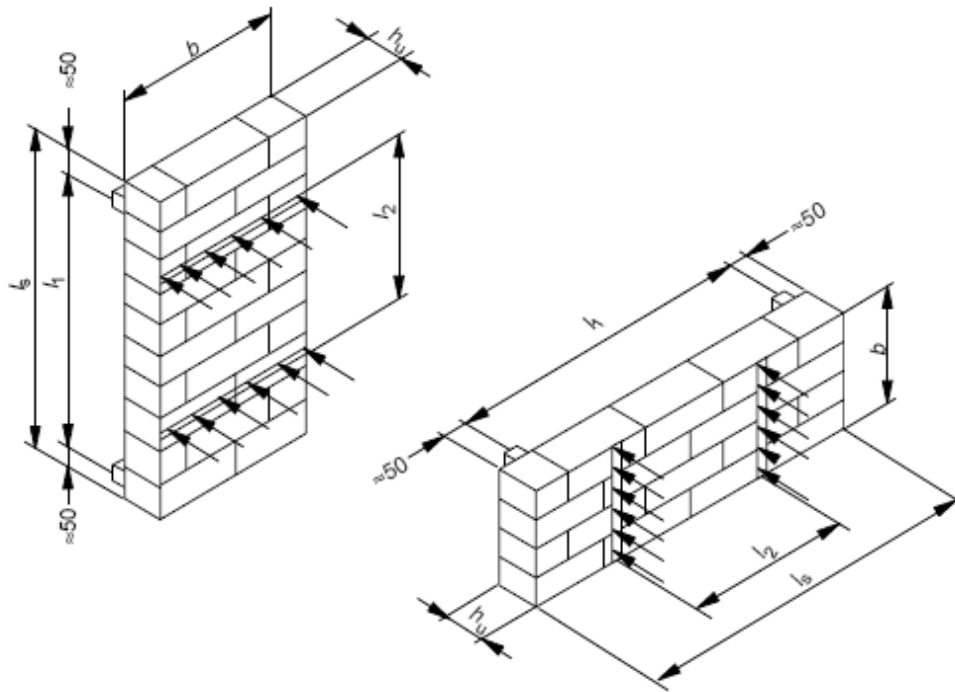
Runkoaineen raekolla on suuri merkitys laastin lujuusominaisuuksille. Hienorunkoaines lisää tartuntalujuutta, mutta taivutus- ja puristuslujuudet ovat pienempiä kuin karkeampaa runkoainesta käytettäessä. Hieno runkoaines vaatii tarvittavan notkeuden saavuttamiseksi enemmän vettä, jolloin puristuslujuus pienenee. Haettaessa hyvää tartuntalujuutta laastin tulee sisältää riittävästi vettä. Tartuntalujuus pienenee huomattavasti, jos laastin notkeus ja vesimäärä pienenevät. (Ylä-Mattila 1984, 33 - 38.)

6 TARTUNTALUJUUDEN TESTAUSMENETELMÄ

Testausmenetelmällä tulee pystyä testaamaan luotettavasti uusien tiililaattamalien soveltuminen verhouselementteihin. Verhouselementteihin kohdistuu kuormituksia, jotka tiililaatan ja laastin välisen liitoksen tulee kestää. Kuormituksia aiheutuu valmistuksen jälkeisestä pakkaamisesta, asennuspaikalle kuljetuksesta, ja verhouselementtien asennustöistä. Asennettuihin verhouselementteihin kohdistuu tuulen vaikutuksesta vaakakuormia. Myös lämpötilan muutoksen aiheuttamat lämpöliikkeet rasittavat tiilen ja laastin välistä liitosta. Tiililaatan ja laastin tulee toimia hyvin yhdessä, jotta liitoksen tiiveys ja lujuus on riittävä. Tiiviillä ja lujalla liitoksella varmistetaan verhouselementtien pitkä käyttöikä. (Juola, 2015.)

Stofixille soveltuvan tartuntalujuuden testausmenetelmän etsiminen aloitettiin tutustumalla olemassa oleviin muurattujen rakenteiden testausmenetelmiin ja standardeihin. Hankaluuksia valmiin standardin löytymiselle aiheutti verhouselementtien ainutlaatuinen rakenne. Käytössä olevista testausmenetelmistä ainoastaan standardin SFS-EN 1052-2 mukainen menetelmä on mahdollista toteuttaa verhouselementeille.

Standardissa SFS-EN 1052-2 määritetään normaalikokoisista tiilistä muuratun rakenteen taivutusvetolujuuden testausmenetelmä. Taivutusvetolujuuden määrittämistä varten on valmistettava koekappaleita, jotka vastaavat varsinaista rakennetta. Taivutusvetolujuus määritetään kahdessa suunnassa, vaakasauman suuntaisesti ja kohtisuoraan vaakasaumaa vastaan. Valmistettavien koekappaleiden paksuus on yleensä sama kuin muurauskappaleen paksuus. (SFS-EN 1052-2. 1999, 4 - 8.) Kuvassa 9 on esitetty tiilistä muurattujen koekappaleiden kuormituskohdat ja limitykset.



KUVA 9. Koekappaleiden kuormitus- ja limityskohdat taivutusvetolujuuden testausta varten (SFS-EN 1052-2. 1999, 8)

Stofixilla on käytössä kuvan 10 mukainen omakehitteinen tartuntalujuuden testausmenetelmä, jossa kahta yhteen saumattua tiililaattaa kuormitetaan tukien keskeltä murtoon saakka. Murtoon käytetty voima kirjataan ylös ja verrataan aikaisempiin testaustuloksiin. Menetelmän soveltuvuutta tartuntalujuuden testausmenetelmäksi ei ole testattu laboratorikokeilla.



KUVA 10. Stofixin tartuntalujuuden testausmenetelmä

Työn tilaajan kanssa käydyissä keskusteluissa päätettiin testata tarkemmin Stofixin aikaisemmin käyttämän testausmenetelmän soveltuvuus OAMK:n laboratoriossa. Standardin SFS-EN 1052-2 mukainen testausmenetelmä ei sovellu Stofixin käyttöön työlään testausjärjestelmän ja suurten koekappaleiden vuoksi.

7 KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS

Valitun tartuntalujuuden testausmenetelmän soveltuvuutta testattiin kolmen eri valmistajan tiililaatoilla. Valitut tiililaatat olivat käytännön kokemuksen perusteella tartuntalujuudeltaan erilaisia, jolloin tämän tulisi myös näkyä lopullisissa mitaustuloksissa. Testattavat tiililaatat saumattiin pareittain ja niiden annettiin kuivua vähintään 7 vuorokautta. Samalla päätettiin myös tutkia käytössä olevan saumalaastin ominaisuuksia. Laastille tehtiin notkeustesti ja laastista valmistettiin prismakoekappaleet puristustestiä varten. Tiililaatat ja koekappaleet kuljetettiin kuivumisajan jälkeen testattaviksi Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön rakennuslaboratorioon.

7.1 Esivalmistelut

Koekappaleet valmistettiin Stofixin Oulaisten tehtaalla, jossa työ aloitettiin valitsemalla aikaisemmin päätetyiltä kolmelta eri valmistajalta tiililaattoja. Koekappaleisiin käytettävät tiililaatat valittiin toimituseristä sattumanvaraisesti, jotta ne edustaisivat mahdollisimman todenmukaisesti testattavia tiililaattoja. Tiililaatat aseteltiin pareittain ladontapöydälle saumausta varten. Tiililaattojen välinen etäisyys mitattiin, jotta sauman korkeus olisi sama jokaisessa koekappaleessa.

7.2 Saumalaastin valmistus ja notkeuden määrittäminen

Stofixin saumauksessa käyttämä laasti on polymeerimodifioitua sementtipohjaista saumauslaastia. Laasti on kuivalaastia, jolloin siihen tarvitsee valmistusvaiheessa lisätä ainoastaan vettä.

Koekappaleisiin ja saumaukseen tarvittava määrä laastia sekoitettiin käsikäyttöisellä laastinsekoittimella laastipaljussa. Käytettävän kuivalaastin ja veden määrät mitattiin, minkä jälkeen vesi lisättiin hiljalleen massan sekaan koko ajan sekoittaen. Vetenä käytettiin puhdasta vesijohtovettä. Laastin valmistuksessa noudatettiin valmistajalta saatuja ohjeita.

Valmiille saumauslaastille tehtiin standardin SFS-EN 1015-3 mukainen notkeuden määrittäminen iskupöydällä (kuva 11).



KUVA 11. Iskupöytä ja metallikartio

Standardin mukaisesti kartio ja iskupöytä pyyhittiin puhtaaksi kostealla kankaalla ennen testausta. Puhdistuksen jälkeen metallinen kartio asetettiin iskupöydälle ja täytettiin saumauslaastilla puoleen väliin saakka. Massaa tiivistettiin sullontasauvan avulla kymmenellä lyhyellä painalluksella. Toisessa vaiheessa kartio täytettiin kokonaan ja tiivistys suoritettiin uudestaan. Laastin pinta tasoitettiin tasoitusvälineellä kartion yläpintaan, minkä jälkeen kartio poistettiin. Iskupöytää täräytettiin pyörittämällä kammesta 15 kertaa vakionopeudella, joka oli noin yksi pyöräytys sekunnissa. Tärinän aiheuttama laastin leviämä mitattiin työntömitalla kahdesta toisistaan vastaan kohtisuorasta suunnasta. Saadut tulokset pyöristettiin lähimpään millimetriin. Notkeuskoe suoritettiin kahdesti ja kahden mittauksen keskiarvo laskettiin. Tulokseksi saatu keskiarvo oli laastinäytteen leviämän arvo. (SFS-EN 1015-3. 2007, 5.) Notkeuden arvoa verrattiin valmistajalta saatuun ihannearvoon. Tulokset on esitetty liitteessä 1.

7.3 Prismojen valmistus

Notkeuskokeiden jälkeen saumauslaastista valmistettiin standardin SFS-EN 1015-11 mukaiset prismakoekappaleet kovettuneen laastin puristuslujuuden määrittämistä varten. Prismat valmistettiin kuvan 12 mukaisella teräsmuotilla, josta saadaan kolme 160x40x40 mm³:n prismaa.



KUVA 12. Prismamuotti

Prismamuotin täyttö tapahtui kahdessa vaiheessa. Ensin muotti täytetiin puoliväliin saakka, minkä jälkeen sitä tiivistettiin painamalla sitä sullontasauvalla 25 kertaa. Toisessa vaiheessa muotti täytettiin muotin yläpintaan saakka ja laasti tiivistettiin toistamiseen sullontasauvan avulla. Ylimääräinen laasti kuorittiin tasoitusvälineellä pois ja laastin yläpinta tasoitettiin. Laastin pinnalle asetettiin lasilevy, jonka päälle laitettiin noin 5 kg:n kuorma. Kuormitus ja lasilevy poistettiin kolmen tunnin kuluttua, ja muotti asetettiin suljettuun polyeteenipussiin. Prismat purettiin varovasti muotista kahden vuorokauden kuluttua, minkä jälkeen niitä säilytettiin vielä viisi vuorokautta suljetussa polyeteenipussissa. (SFS-EN 1015-11. 2007, 6.)

7.4 Koekappaleiden saumaus

Prismamuotin täytön jälkeen oli vuorossa tiililaattojen saumaus. Tiililaattojen saumauksessa käytettiin apuna laastipumppua, jolla saumauslaasti saatiin

pumpattua tiililaattojen väliseen saumaan. Sauma täytettiin tiililaattojen yläpintaan saakka ja samalla tarkkailtiin, että sauman korkeus pysyy samana. Ylimääräinen laasti kuorittiin pois ja laastin yläpinta tasoitettiin tiililaattojen ylläpinnan tasoon. Koekappaleet jätettiin kuivumaan ladontapöydille (kuva 13).



KUVA 13. Saumatut tiililaatat kuivumassa

8 TARTUNTA- JA PURISTUSLUJUUSTESTI

8.1 Testausjärjestely

Tiililaatat ja prismat toimitettiin testausta varten Oulun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorioon. Yhteensaumatut tiililaatat jaoteltiin valmistajakohtaisesti kolmeen sarjaan (A, B ja C). Käytetyt tiililaatat eivät ole moduulimittaisia, jolloin niiden pituudet ja korkeudet ovat erilaiset. Ennen varsinaisia tartuntalujuuskokeita tehtiin esitestejä, joissa haettiin sopivaa kokoonpanoa testauslaitteistolle. Tiililaatat katkaistiin ennen esitestausta 100 mm:n pituisiksi koekappaleiksi (kuva 14). Tällöin yhdestä tiililaattaparista saatiin kaksi koekappaleita testausta varten.



KUVA 14. 100 mm:n leveyteen katkaistut koekappaleet

Stofixin käytössä olleen testauslaitteiston pohjalta esitestausta lähdettiin tekemään liitteen 2 mukaisilla tuentajärjestelyillä, jossa on laidoilla kaksi tukena toimivaa terästankoa. Tankojen välistä etäisyyttä voitiin tarvittaessa säätää haettaessa sopivaa tuentaetäisyyttä erikorkuisille koekappaleille. Kolmas terästanko on kuormittava tanko, joka sijaitsee tukien puolivälissä. Toisessa tukitangossa ja kuormitustangossa on kallistumismahdollisuus. Kallistusmahdollisuudella pyritään kohdistamaan kuorma tasaisesti koko koekappaleen leveydelle aiheuttamatta vääntöjännityksiä. Koekappaleet aseteltiin tukien päälle julkisivupinta alaspäin niin, että kuormittava tanko tuli keskelle laastisaumaa. Testauskonee-

na toimi kalibroitu Easy-M aineenkoetuslaite, josta saatiin tulokseksi murtoon käytetty voima (kuva 15).

Esitestien perusteella testausjärjestelmä todettiin toimivaksi. Koekappaleiden 100 mm:n pituus oli riittävä. Myös tukitankojen väliseksi etäisyydeksi valittiin 100 mm:n, jolloin erikorkuiset koekappaleet voitiin testata samoilla asetuksilla. Kuormitus käynnistettiin sysäyksettömästi ja kasvatettiin tasaisesti valittuun kuormitusnopeuteen. Sopivaksi kuormitusnopeudeksi valikoitui esitestien perusteella 20 N/s, jolloin koekappaleet murtuivat 18 - 35 s:n kuluttua kuormituksen aloittamisesta.



KUVA 15. Esitestausjärjestelyt

8.2 Tartuntalujuustesti

Varsinainen tartuntalujuuden testaus koekappaleille suoritettiin 14 vuorokauden kuluttua niiden saumaamisesta. Koekappaleita testattiin jokaisesta sarjasta vä-

hintään 10 kappaletta. Jokaisen koekappaleen murtoon tarvittu suurin voima kirjattiin (N). Jokaisen koekappaleen tuloksesta laskettiin taivutuslujuus kaavalla 1. Tulokset kirjattiin pyöristettynä lähimpään 0,05 N/mm²:iin. Lopuksi laskettiin vielä taivutuslujuuden keskiarvo pyöristettynä lähimpään 0,1 N/mm²:iin. Koekappaleen laastisauman korkeutena käytettiin kolmen mittaustuloksen keskiarvoa. Laastisauman korkeus mitattiin koekappaleen päistä ja keskeltä.

$$f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2} \quad \text{KAAVA 1}$$

f = taivutuslujuus (N/mm²)

F = koekappaleen kuorma (N)

l = tukitankojen välinen etäisyys (mm)

b = koekappaleen leveys (mm)

d = koekappaleen laastisauman korkeus (mm)

8.3 Saumalaastin puristuslujuus

Puristuslujuudet prismakoekappaleille määritettiin 14 vuorokauden iässä. Ennen puristuslujuuden testausta prismat (kuva 16) numeroitiin ja niiden tiheys määritettiin vesipunnituksen avulla. Tiheys laskettiin Arkhimedeen lain avulla kaavalla 2.



KUVA 16. Prismat ennen tiheyden määrittystä

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_n$$

KAAVA 2

ρ = koekappaleen tiheys (kg/m³)

m_1 = kappaleen massa ilmassa punnittuna (kg)

m_2 = kappaleen massa nesteessä punnittuna (kg)

ρ_n = nesteen tiheys (kg/m³)

Puristuslujuudet testattiin Oulun ammattikorkeakoulun kalibroidulla Dartec-aineenkoetuslaitteella. Ennen testausta prismat katkaistiin keskeltä, jolloin saatiin kaksi puristuslujuustulosta jokaisesta prismasta. Aineenkoetuslaitteessa (kuva 17) käytettiin prismojen testaukseen tarkoitettuja teräksisiä lisälevyjä, joilla puristus kohdistettiin 40 x 40 mm²:n alalle.



KUVA 17. Prisma puristuslujuustestauksessa.

Puristuslujuustestauksessa koekappaleita kuormitettiin tasaisella kuormalla 0,4 kN/ s murtoon saakka. Murtoon käytetty suurin voima kirjattiin ja tuloksista laskettiin puristuslujuus kaavalla 3. Lopuksi laskettiin kahden puristuslujuustuloksen keskiarvo.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

KAAVA 3

f_c = puristuslujuus (N/mm²)

F = kuorma murtohetkellä (N)

A_c = kuormituspinnan pinta-ala (mm²)

9 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1 Tartuntalujuus

Tartuntalujuustestit suoritettiin koekappaleille 14 vuorokauden iässä. Stofixin tapauksessa on tärkeää, että menetelmällä pystytään testaamaan tartuntalujuuden kehitys jo varhaisessa vaiheessa. Mahdollisen uuden tiililaattamallin soveltuminen verhouselementtiin kyetään näin toteamaan mahdollisimman nopeasti. Testattavat koekappaleet oli jaoteltu valmistajakohtaisesti kolmeen sarjaan A, B ja C.

Myös testauksesta koekappaleisiin aiheutuneet murtokuviot tutkittiin. Testauksesta aiheutuva murtuminen voi tapahtua laastin ja tiililaatan rajapinnalta, laastissa, tiililaatassa tai kaikkien kolmen yhdistelmänä. Jos murtuminen tapahtuu rajapinnalta, on tartunta pettänyt. Murtuman ollessa laastissa tai tiilessä jomankumman aineen lujuus on pettänyt. Tällöin tartuntaa voidaan pitää hyvänä ja liitoksen lopulliseen lujuuteen vaikuttaa tiililaatan tai laastin lujuus.

9.1.1 Sarja A

Valmistajan A tiililaatoista tehtyjä koekappaleita testattiin 12 kappaletta. Murto-kuormissa esiintyi kohtalaista hajontaa. Ainoastaan kahden koekappaleen kohdalla murtokuormitus oli selkeästi pienempi kuin muilla koekappaleilla. Kyseisiä koekappaleita silmämääräisesti tutkittaessa pienemmille arvoille ei löytynyt selkeää syytä. Todennäköisesti tiilen pinnassa on ollut epäpuhtauksia, jotka ovat heikentäneet tartuntaa. Tulokset on koottu liitteeseen 3.

Sarjalla A tiilen ja laastin välisen liitoksen murtuminen on tapahtunut laastin ja tiilen väliseltä rajapinnalta (kuva 18). Testaustuloksiin vaikuttaa tiililaatan ja laastin välinen tartuntalujuus.



KUVA 18. Murtoon asti kuormitettu A-sarjan koekappale

9.1.2 Sarja B

Valmistajan B tiililaatoista tehtyjä koekappaleita testattiin 12 kappaletta. Kyseisen valmistajan tiililaatoissa on muista poiketen tiilen sivuilla urat, joiden tulisi parantaa tiilen ja laastin välisen liitoksen lujuutta. Tulosten perusteella urasta on hyötyä. Taivutuslujuuden keskiarvo oli suurempi kuin kahden muun valmistajan tiililaatoilla. Tuloksissa esiintyi kohtalaista hajontaa. Tulokset on koottu liitteeseen 4.

Sarjalla B murtumakuviot olivat urasta johtuen monilaatuiset. Murtuminen tapahtui tiilen ja laastin välisessä rajapinnassa, laastissa sekä tiilessä (kuva 19). Testaustuloksiin vaikuttavat tiilen ja laastin välinen tartunta sekä laastin ja tiilen lujuusominaisuudet. Koekappaleita silmämääräisesti tutkittaessa oli havaittavissa, että joidenkin koekappaleiden ura ei ollut täyttynyt täydellisesti saumalaastilla. Tämän pystyi havaitsemaan myös kyseisten koekappaleiden kohdalla pienempänä murtokuormana.



KUVA 19. Murtoon asti kuormitettu B-sarjan koekappale

9.1.3 Sarja C

Valmistajan C tiililaatoista tehtyjä koekappaleita testattiin 11 kappaletta. Kokeusten perusteella kyseisen valmistajan koekappaleille odotettiin pienintä taivutuslujuutta. Tulos oli kuitenkin lähes A-sarjan tasolla ja tuloksissa esiintyi vähemmän hajontaa kuin muilla koekappalesarjoilla. Tulokset on koottu liitteeseen 5.

Sarjalla C murtuminen tapahtui tiilestä (kuva 20). Joissakin koekappaleissa murtumaa oli havaittavissa myös tiilen ja laastin väliseltä rajapinnalta. Testaus-tuloksiin vaikuttavat tiilen ja laastin välinen tartunta sekä tiilen lujuusominaisuudet.



KUVA 20. Murtoon asti kuormitettu C-sarjan koekappale

9.2 Saumalaastin puristuslujuus

Saumalaastille tehtiin standardin SFS-EN 1015-11 mukainen kovettuneen laastin puristuslujuuden määrittämien. Puristuslujuuden määrittämisellä ei saada oikeaa kuvaa tiilen ja laastin välisestä yhteistoiminnasta. Puristuslujuus on kuitenkin yhteydessä muihin laastin tärkeisiin ominaisuuksiin, kuten taivutus- ja vetolujuuteen. Puristuslujuuden kehitys on osoitus muidenkin ominaisuuksien kehityksestä. Puristuslujuuden määritystä voidaan käyttää myös apuna laadunvalvonnassa.

Puristuslujuustestissä saatuja tuloksia verrattiin valmistajalta saatuihin arvoihin. Tuloksista voidaan päätellä, että laastin puristuslujuus kehittyy varsin nopeasti ja on jo 14 vuorokauden iässä ohjearvon tasolla. Tulokset on koottu liitteeseen 6.

9.3 Johtopäätökset

Tehtyjen testien perusteella menetelmä soveltuu tiililaatan ja laastin välisen tartunnan ja lujuuden testausmenetelmäksi. Saadut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

A ja B valmistajan tiililaatoilla tuloksissa oli suurimmat keskihajonnat. Näillä koekappaleilla murtuminen tapahtui pääsääntöisesti tiilen ja laastin rajapinnalta, jolloin liitoksen lujuuteen vaikuttaa tartuntalujuus. Tartuntalujuuteen vaikuttaa niin moni tekijä, että hajontaa syntyy helposti. Esimerkiksi A-sarjalla keskihajontaan vaikutti suuresti kaksi koekappaletta, joilla oli huomattavasti pienempi murtokuorma kuin muilla saman sarjan koekappaleilla. Selkeää syytä heikommalle tartuntalujuudelle ei silmämääräisellä tutkimuksella löytynyt. Tämän vuoksi testattavien koekappaleiden määrän tulee olla suuri.

Valmistajan C tiililaatoilla keskihajonta oli paljon pienempi, koska murtuminen tapahtui tiililaatasta. Tällöin tartuntalujuus on ollut suurempi kuin tiililaatan lujuus. Keskihajontaan vaikuttaa myös sauman poikkipinta-alan määrittäminen. Sauman pinta ei ole aivan tasainen, jolloin tuloksiin tulee helposti heittoa joka vaikuttaa taivutuslujuuden tulokseen. Testien perusteella laadittiin liitteen 7 mukaiset ohjeet koekappaleiden valmistukseen ja testausjärjestelmän vaatimuksista.

10 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Stofixin käyttöön yksinkertainen ja helposti toteutettavissa oleva testausmenetelmä, jolla pystytään testaamaan luotettavasti tiililaatan ja laastin välinen tartunta ja lujuus. Menetelmää käytetään tutkittaessa uusien tiililaattojen soveltuvuutta verhouselementteihin.

Työ aloitettiin tutkimalla olemassa olevia tiililaattojen ja muurattujen rakenteiden testausmenetelmiä ja standardeja. Verhouspaneelien ainutlaatuisen rakenteen vuoksi sopivaa standardia testaukselle ei löytynyt. Käytössä olevat testausmenetelmät ovat normaalikokoisista tiilistä muuratuille rakenteille, eivätkä ne soveltuneet Stofixin käyttötarkoitukseen. Stofix oli testannut aikaisemmin uusia tiililaattoja omakehitteisellä testausjärjestelmällään. Menetelmän soveltuvuus päätettiin tutkia tarkemmin OAMK:n rakennustekniikan laboratoriossa tehtävillä testeillä. Testejä varten Stofixin Oulaisten tehtaalla valmistettiin kolmen eri valmistajan tiililaatoista koekappaleita.

Tehtyjen testien perusteella menetelmä todettiin toimivaksi ja testauksesta saatuja tuloksia voidaan käyttää määrittäessä raja-arvoa tiilen ja laastin välisen liitoksen lujuudelle. Testausjärjestelmän rakenne oli yksinkertainen, eivätkä koekappaleiden murtovoimat kasvaneet liian suuriksi.

Testaustuloksissa esiintyi jonkin verran hajontaa. Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi testattavasta tiililaatasta tulisikin valmistaa vähintään 12 koekappaleita testejä varten. Koekappaleita valmistettaessa on kiinnitettävä huomiota sauman korkeuteen. Tiililaatat liikkuvat helposti saumauksen yhteydessä, jolloin sauman korkeus voi muuttua. Testeissä todettiin myös saumauksen yläpinnan tasoituksen tarpeellisuus. Joitakin koekappaleita jouduttiin hylkäämään epäonnistuneen sauman yläpinnan tasoituksen vuoksi. Epätasaisen pinnan vuoksi kuormitus ei olisi kohdistunut tasaisesti koko koekappaleen leveydelle. Ylimääräinen laasti tulisi kaapia pois heti saumauksen jälkeen.

Testausmenetelmää voidaan käyttää hyödyksi myös muihin tarkoituksiin. Esimerkiksi laastille parasta tartuntalujuutta haettaessa voidaan koekappaleita valmistaa käyttämällä laastin eri notkeusarvoja. Koekappaleiden testaustulosten

perusteella voidaan päätellä millä laastin notkeudella saavutetaan paras tartuntalujuus. Testausmenetelmää voidaan hyödyntää myös Stofixin laadunvalvonnassa.

LÄHTEET

Dührkop, Henry – Saretok, Vitold – Sneck, Tenho – Svendsen, Sven D 1966. Laasti muuraus rappaus. Helsinki: Rakentajain kustannus Oy.

Juola, Antti 2015. Tekninen johtaja, Stofix Oy. Haastattelu 20.3.2015.

Kavaja, Reijo 2011. Muuraustyöt. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RIL 99-1975. 1975. Muuratut rakenteet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto ry.

SFS-EN 1015-3 +A1 +A2. 2007. Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 3: Tuoreen laastin notkeuden määrittäminen iskupöydällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1015-11 +A1. 2007. Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 11: Kovetuneen laastin taivutus- ja puristuslujuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 5513. 2009. Tiililaattojen testaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 5514. 2009. Poltetut tiililaatat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1052-2. 1999. Muurattujen rakenteiden testimenetelmiä. Osa 2: Taivutusvetolujuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 772-11. 2011. Muurauskappaleiden testimenetelmiä. Osa 11: Betoni- harkkojen, höyrykarkaistujen kevytbetoniharkkojen sekä keinokivi- ja luonnonkivimuurauskappaleiden kapilaarisen vedenimukyvyyn ja poltettujen tiilien veden alkuimunopeuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Siikanen, Unto 2001. Rakennusaineoppi. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy.

Stofix. Saatavissa: <http://www.stonel.fi/> Hakupäivä 7.6.2015.

Tiileri. Saatavissa: <http://www.tiileri.fi/>. Hakupäivä 26.5.2015.

Ylä-Mattila, Reijo 1984. Muurauslaastien ominaisuudet, Osa 1. Kirjallisuustutkimus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

LIITTEET

Liite 1 Notkeuskokeen tulokset (ei julkinen)

Liite 2 Esitestauksen kokoonpano (ei julkinen)

Liite 3 Tartuntalujuustesti A-sarja (ei julkinen)

Liite 4 Tartuntalujuustesti B-sarja (ei julkinen)

Liite 5 Tartuntalujuustesti C-sarja (ei julkinen)

Liite 6 Laastin puristuslujuus (ei julkinen)

Liite 7 Testausmenetelmä (2 kpl, ei julkinen)