

Eerik Junnikkala

TIILILAATAN LAATUVAATIMUSTEN MÄÄRITTELY

TIILILAATAN LAATUVAATIMUSTEN MÄÄRITTELY

Eerik Junnikkala
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Eerik Junnikkala
Opinnäytetyön nimi: Tiililaatan laatuvaatimusten määrittely
Työn ohjaaja: Pekka Nykyri
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 51 + 6 liitettä

Julkisivuverhousta varten on olemassa laaja kategoria erilaisia tiililaattoja. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa suomen- ja englanninkielinen laatuvaatimusspesifikaatio, johon on määritelty raja-arvot ja mittaustavat tiililaatoille, jotta niitä voidaan käyttää Stofixin tiililaattaelementissä. Opinnäytetyön tilaaja on Stofix Oy, joka valmistaa julkisivujen tiililaattaverhouselementtejä.

Tiililaattaelementissä käytettävien tiililaattojen tärkeiden ominaisuuksien kartoittaminen suoritettiin Stofixin henkilökunnan haastatteluilla. Tämän jälkeen perehdyttiin tiililaatan ominaisuuksiin ja niihin vaikuttaviin seikkoihin tiililaatan valmistuksessa. Lisäksi selvitettiin tiililaatan laatuvaatimusten poikkeamien aiheuttamia ongelmia tiililaattaelementissä. Tutkimuksia jatkettiin selvittämällä olemassa olevat standardit tiililaatan laatuvaatimuksille ja niiden testaukselle sekä käymällä läpi tiililaattavalmistajien spesifikaatioita ja testaustuloksia. Kaikille ominaisuuksille ei ollut saatavilla kattavia tuloksia tai testausstandardeja, joten ominaisuudet, kuten mittapoikkeamat, vedenalkuimunopeus, lujuus ja brutto-kuivatiheys, testattiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa olemassa olevia standardeja soveltaen.

Opinnäytetyössä tehtyjen haastatteluiden, standardien, spesifikaatioiden ja testitulosten tutkimisen avulla tilaajalle tehtiin spesifikaatio, joka sisältää tiililaatan laatuvaatimusten raja-arvot ja mittaustavat. Spesifikaation avulla Stofix pystyy varmistamaan, että tiililaattavalmistajat ovat tietoisia laatuvaatimuksista ja pysyvät toimittamaan vaatimusten mukaisia tiililaattoja julkisivuverhouselementin valmistukseen.

Asiasanat: Tiililaatta, laatuvaatimus, tiililaattaelementti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Production Technology

Author: Eerik Junnikkala
Title of thesis: Quality Specification of Brick Slip
Supervisor: Pekka Nykyri
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015
Pages: 51 + 6 appendices

This thesis is ordered by Stofix. Stofix is a Finnish company which manufactures brick facade panels. The purpose of this thesis was to determine the most important technical features for the brick slips which are used in Stofix's facade brick panels and define the limit values and test methods for the brick slips.

The technical features were examined by interviewing employees who work in Stofix production and research & development department. The technical specification and some test results were available for the research and had been done by Stofix and vendors of brick slips. The research showed that the coverage of the test results was not broad enough and the test standards were not available for all the features. The most important feature tests were carried out in the facilities of Oulu University of Applied Sciences such as dimensions and tolerances, flexural strength, initial rate of water absorption and density. The production of bricks and issues which can occur if the brick slips values are out of the specification limits are shown in the theoretical part of this thesis.

The limit values of the specification definition were determined by interviews, test results and available standards. A new brick slip specification includes the limit values and test methods. Stofix can ensure that all vendors of brick slip are aware of the quality requirements and they can ensure that all the brick slips which are delivered to production meet the specification requirements.

Keywords: Brick slip, requirement, brick panel

SISÄLLYS

| | |
|-----------------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 STOFIX-TIILILAATTAVERHOUS | 8 |
| 3 POLTETTU TIILI | 9 |
| 3.1 Luokittelu | 9 |
| 3.2 Tunnukset | 9 |
| 3.3 Raaka-aineet | 9 |
| 3.4 Valmistusprosessi | 10 |
| 4 TIILILAATAN OMINAISUUDET | 12 |
| 4.1 Mitat ja mittapoikkeamat | 12 |
| 4.1.1 Lähtötiedot | 15 |
| 4.1.2 Testausmenettely ja testaus | 16 |
| 4.1.3 Mallinnus | 24 |
| 4.1.4 Raja-arvojen määrittely | 26 |
| 4.2 Vedenalkuimunopeus | 26 |
| 4.2.1 Testausmenettely ja testaus | 28 |
| 4.2.2 Raja-arvojen määrittely | 29 |
| 4.3 Vedenimukyky | 30 |
| 4.3.1 Testausmenettely | 30 |
| 4.3.2 Raja-arvojen määrittely | 31 |
| 4.4 Bruttokuivatiheys | 32 |
| 4.4.1 Testausmenettely ja testaus | 33 |
| 4.4.2 Raja-arvojen määrittely | 34 |
| 4.5 Lujuus | 34 |
| 4.5.1 Lähtötiedot | 36 |
| 4.5.2 Testausmenettely ja testaus | 36 |
| 4.5.3 Raja-arvojen määrittely | 39 |
| 4.6 Pitkäaikaiskestävyys | 41 |
| 4.6.1 Testausmenettely | 42 |
| 4.6.2 Raja-arvojen määrittely | 42 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.7 Liukoinen suola | 42 |
| 4.7.1 Testausmenettely | 44 |
| 4.7.2 Raja-arvojen määrittely | 44 |
| 4.8 Palokäyttäytyminen | 44 |
| 5 YHTEENVETO | 46 |
| LÄHTEET | 49 |
| LIITTEET | 51 |

1 JOHDANTO

Rakennuksen julkisivusuunnittelu on tärkeää, jotta rakennus sopii ympäristöön arkkitehtuurin ja värin perusteella. Rakennusten julkisivujen arkkitehtuuri vaihtelee aikakauden, kulttuurin ja maan mukaan. Julkisivun tiiliverhousta käytetään maailmanlaajuisesti sekä korjaus- että uudisrakentamisessa. Tästä johtuen myös tiilivalmistajia on useissa maissa ja tiilien ulkonäkö ja laatuvaatimukset ovat vaihtelevia.

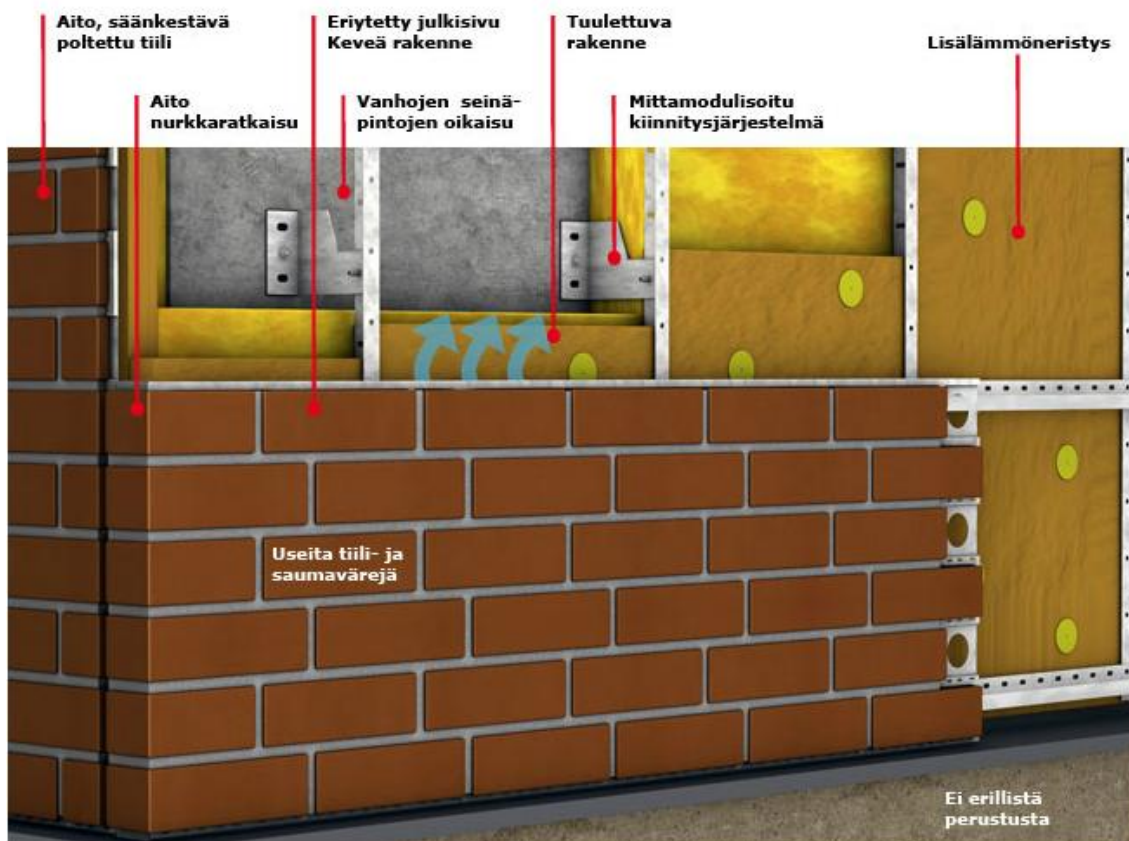
Opinnäytetyössä selvitetään, mitkä tiililaatan ominaisuuksista ovat tärkeitä asiakkaille, tuotannolle ja työmaatoiminnalle. Sen jälkeen selvitetään tiililaatan ominaisuuksille olemassa olevat testausmenetelmät sekä laatustandardit ja näiden soveltuvuus tiililaatan laatuvaatimusten määrittämiseen. Tiililaatoille tehdään tarvittavat testit ja määritellään selkeä laatuvaatimus tiililaatan ominaisuuksille. Laatuvaatimusten tarkoituksena on varmistaa, että tiililaattaelementeissä voidaan käyttää usean eri toimittajan tiililaattoja, ja varmistaa tuotannollinen ja laadukas tiililaattaelementeillä toteutettu julkisivuverhous.

Tämän opinnäytetyön on tilannut Stofix Oy, joka on perustettu Suomessa vuonna 1993. Yrityksen tavoite on kehittää muurausperinnettä vastaamaan modernin rakennusteollisuuden vaatimuksia. Tiiliverhouselementin tuotanto on aloitettu vuonna 1997 ja Oulaisten tehdas on aloittanut toimintansa vuonna 2009. Stofix Oy toimittaa ja asentaa tiililaattaelementtijulkisivuja maailman laajuisesti. Pääasiassa arkkitehtuurillisista syistä asiakas toimittaa tiililaatat Stofixin tehtaalle, missä tiililaattaelementin valmistus tapahtuu. Tiililaattavalmistajilla on omat tuotantoprosessinsa, joten eri valmistajalta tulevien tiililaattojen laatutaso vaihtelee. (Stofix, linkki Yritys; Juola 2015.)

2 STOFIX-TIILILAATTAVERHOUS

Stofix-tiililaattaverhousta ei muurata paikan päällä, vaan verhous valmistetaan tehtaalla sisätiloissa tasalaatuisissa olosuhteissa, minkä jälkeen ne kuljetetaan kohteeseen ja asennetaan tiililaattalevyinä seinään. Tiililaattaverhous ei ole siis kantava rakenne vaan seinän verhous, joka voidaan asentaa joko uudisrakennukseen tai korjauskohteeseen. (Juola 2015.)

Normaali tiililaattaelementissä käytetään 20 mm:n paksuista poltettua tiililaattaa. Tiililaattalevy valmistetaan kiinnittämällä tiililaatta kuumasinkittyyn metallilevyyn polymeerimodifioidulla sementtipohjaisella saumalaastilla. Standardikokoinen tiililaattaelementti on 1 200 x 600 mm, ja se asennetaan kiinnitysjärjestelmänsä avulla ulkoseinään (kuva 1). Tämän jälkeen tiililaattaelementit saumataan toisiinsa pinnan viimeistelemiseksi. (Stofix, linkit Tuote -> Tekniset tiedot.)



KUVA 1. Stofix-tiililaattaverhouksen ulkoseinän rakennekuva (Stofix, linkit Tuote -> Tekniset tiedot)

3 POLTETTU TIILI

Poltetun tiilen nimitys tulee valmistusprosessista, jossa savesta, hiekasta ja sahanpurusta sekoitettu massa poltetaan korkeassa lämpötilassa keraamisen sidoksen aikaansaamiseksi. Poltetun tiilen valmistusprosessilla ja raaka-aineilla on suuri vaikutus tiilen laatuun. Prosessin avulla voidaan säädellä tiilen teknisiä ominaisuuksia, kuten lujuutta ja vedenalkuimunopeutta, jotka ovat tärkeitä ominaisuuksia laadukkaan muurauksen kannalta. (Siikanen 2001.)

3.1 Luokittelu

Stofixin tiililaataelementissä käytetään ulkokäyttöön tarkoitettuja pakkasenkestäviä HD-tiililaattoja. Tiililaatan luokittelu tapahtuu vedenalkuimunopeuden ja bruttokuivatiheyden perusteella. Poltettu tiili jaetaan LD- ja HD-luokkiin. LD-luokan tiiliä käytetään suojatussa muurauksessa, jonka bruttokuivatiheys on enintään 1 000 kg/m³. HD-luokan tiiliä käytetään suojaamattomassa julkisivussa ja sen bruttokuivatiheys on vähintään 1 000 kg/m³. (RakMK-21353. 2007; SFS 5514. 2009.)

3.2 Tunnukset

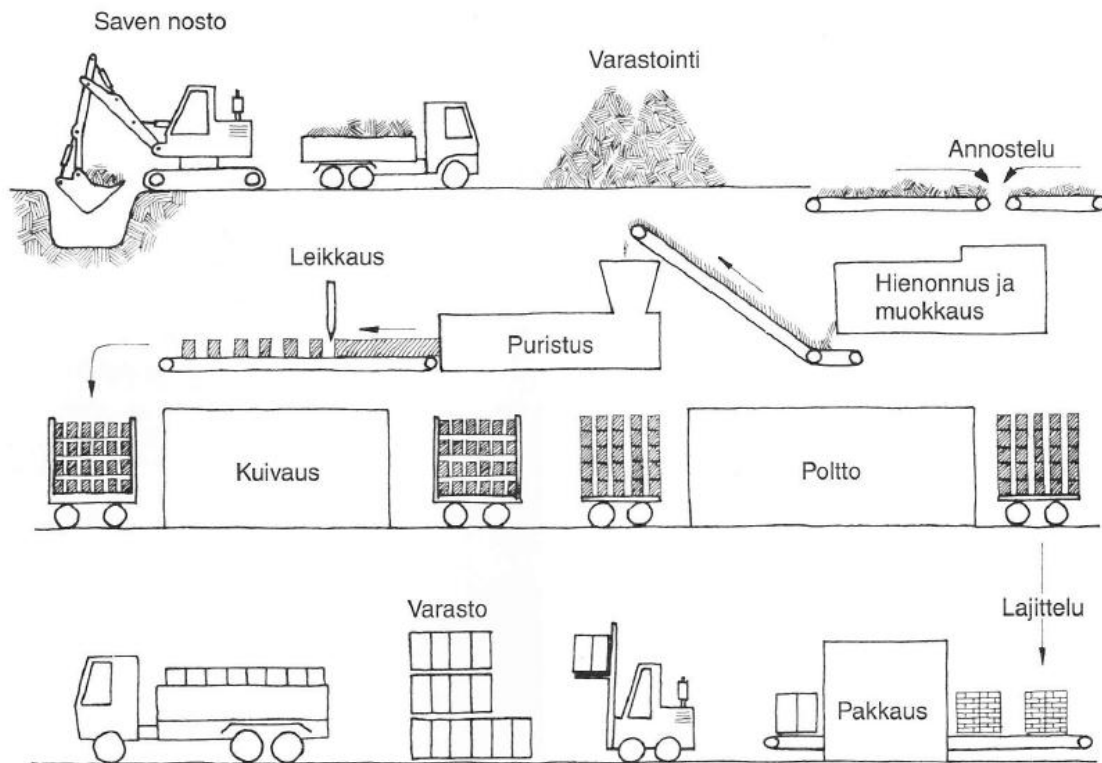
Tiililaatan pakkaukseen tulee tunnus, josta selviävät niiden käyttötarkoituksiin vaadittavat tärkeät ominaisuudet. Tämä helpottaa valitsemaan oikean tiililaatan oikeaan käyttökohteeseen. Esimerkiksi tunnus "TL (285 x 85 x 20) 1,9/1 punainen, sileä" tarkoittaa, että kyseessä on tiililaatta, jonka pituus on 285 mm, leveys 85 mm, korkeus 20 mm, bruttokuivatiheysluokka 1,9, vedenalkuimunopeusluokka 1, väri punainen ja pinta sileä. (SFS 5514. 2009.)

3.3 Raaka-aineet

Tiilen raaka-aineet ovat puhtaasti luonnonmateriaaleja ja ottomäärät ovat suhteellisen pieniä. Tiilen pääraaka-aineen saven lisäksi valmistuksessa käytetään hiekkaa 15 - 25 %, sahanpurua 1 - 1,5 %, tiili- ja kivimurskaa, sekä kalkkifilleriä ja pigmenttejä värisävyjen aikaansaamiseksi. (Tiilen valmistus. 2007.)

3.4 Valmistusprosessi

Tiilen valmistusprosessi on pitkäaikainen ja tapahtuu yleensä keskeytymättömässä kolmivuorotyössä. Kuivatus ja tunneliuunissa poltto ovat ympäri vuorokauden tapahtuvaa toimintaa ja niiden alasajoja sekä uudelleen käynnistyksiä pyritään välttämään. Kuvassa 2 on kaavio poltetun tiilen valmistuksesta yleisellä tasolla. (Tiilen valmistus. 2007.)



KUVA 2. Poltetun tiilen valmistus (Siikanen 2001)

Poltetun tiilen valmistus alkaa **saven nostosta ja raaka-aineiden kuljetuksesta** tehtaan varastointiin. Energiansäästämiseksi ja taloudellisuuden vuoksi raaka-aineet pyritään ottamaan mahdollisimman läheltä tehdasta. (Tiilen valmistus. 2007.)

Hienonnuks ja muokkaus tehdään raaka-aineille, jotka valitaan massareseptin mukaisesti käyttäen eri savilaatuja, laihdutusaineita ja tarvittaessa lisäaineita. Raaka-aineet annostellaan laatikkosyöttimen avulla ja sekoitetaan yhtenäiseksi massaksi. Massa hienovalssataan tai karkeat aineet poistetaan kivenerotusvalssien avulla. Muokkauksessa poistetaan kivet ja lisätään reseptin mukaiset

aineet, kuten hiekka, sahanpuru ja pigmentit. Lopullisesti massa muokataan hienovalssien ja pyöröseulasekoittimen avulla. (Tiilen valmistus. 2007.)

Massa varastoidaan eli **sumpataan**. Sumppaus kestää 3-6 viikkoa, jonka aikana massan kosteusvaihtelu tasaantuu. (Tiilen valmistus. 2007.)

Tiili puristetaan tiilitangoksi, jolloin määräytyvät muoto, pinnanlaatu ja koko. Tyhjiöpuristusvaiheessa poistetaan savikerrosten välinen ilma tiilitangosta. Tiilitanko leikataan oikean mittaisiksi tiiliaihioiksi ja asetetaan kaseteille siirtoa varten. (Tiilen valmistus. 2007.)

Tiiliaihiot **kuivataan** 1 - 3 vuorokautta kuivatustunneleissa riippuen massan ominaisuuksista. Kuivatuksen aluksi lämpötilaa nostetaan ja pidetään suhteellinen kosteus korkealla. Seuraavaksi kosteutta aletaan laskea, jolloin kuivaminen alkaa. Menetelmällä saadaan kuivumiskutistuma pienemmäksi. Kuivauksen jälkeä kosteuden täytyy olla 1 - 2 %. (Tiilen valmistus. 2007.)

Kuivatut tiiliaihiot ladotaan harvaksi pinoiksi ja **poltetaan** lämpötunnelissa, jonka lämpötila on 1 000 - 1 100 °C. Poltossa palaa sahanpuru pois, jolloin tilalle jää tyhjiä huokosia ja pakkasen kestävyys paranee. Poltossa tiili saa lopullisen värin, lujuuden, veden imukyvyn sekä säänkestävyyden. Tämän vuoksi on tärkeää varmistaa, että jokainen tiili saa saman lämpömäärän. (Tiilen valmistus. 2007.)

Valmistajasta riippuen tiililaatat joko **puristetaan** oikeaan muotoonsa puristusvaiheessa tai tiililaatta **leikataan** suuremmasta normaalikokoisesta tiilestä haluttuun muotoonsa. (Juola 2015.)

Lajittelu tapahtuu värin mukaan ja mahdolliset vialliset tiilet poistetaan, murskataan ja käytetään uudestaan runkoaineena. Tiilet pakataan muovikalvoon ja varastoidaan kuljetusta varten. (Tiilen valmistus. 2007.)

4 TIILILAATAN OMINAISUUDET

Opinnäytetyön lähtökohtana oli selvittää ne tiililaatan ominaisuudet, jotka vaikuttavat tuotantoon, asennukseen, kestävyyteen ja ulkonäköön, sekä selvittää näille ominaisuuksille olemassa olevat standardit ja niiden soveltuvuus laatuvaatimusten määrittelyyn (liite 1). Ominaisuudet selvitettiin haastattelemalla Stofixin henkilöstöä ja tutkimalla tuotantoprosessia, aikaisempia testaustuloksia ja tiilivalmistajien spesifikaatioita sekä mallintamalla tiililaattoja ja asennusta.

Haastattelut tehtiin keväällä 2015. Haastattelun piiriin kuuluivat tekninen johtaja sekä tuotannon henkilöstöä. Haastatteluiden, tutkimusten sekä mallintamisen perusteella saatiin selville, että tiililaatan ja niiden saumojen väliseen laatuun sekä tiililaattaverhouksen valmistukseen vaikuttavat ominaisuudet ovat

- mitat ja mittapoikkeamat
- vedenalkuimunopeus
- vedenimukyky
- bruttokuivatiheys
- tiililaatan lujuus
- pitkäaikaiskestävyys
- suolapitoisuus
- paloluokitus.

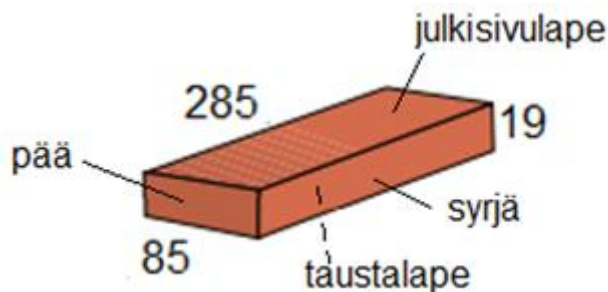
Opinnäytetyössä keskitytään kyseisiin tiililaatan ominaisuuksiin ja niiden vaikutuksiin tiililaattaverhouksen valmistuksessa. Tekninen johtaja toimitti tiililaattavalmistajien mittaustuloksia ja spesifikaatioita tutkimuksia varten. Ominaisuuksista kerättiin yhteenveto, joka on esitetty liitteessä 2. Yhteenvetoon on kerätty kultakin valmistajilta tiiliä siten, että ne edustavat kattavan otannan Stofixin tuotannossa käytettävistä tiilistä.

4.1 Mitat ja mittapoikkeamat

Tiililaatan mitat ja mittapoikkeamat vaikuttavat sekä julkisivun ulkonäköön että asennettavuuteen rakennustyömaalla ja tiililaattaelementin tuotannollisuuteen

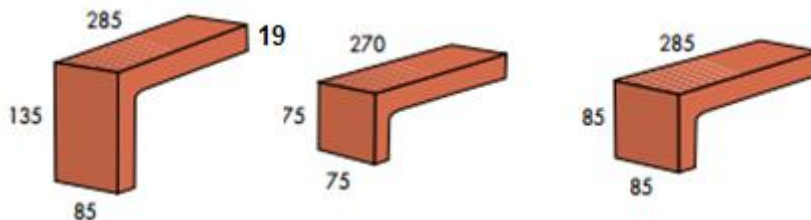
tehtaalla. Yksittäiselle tiililaatalle ilmoitetaan pituuden, leveyden ja paksuuden / korkeuden nimellimitat. Merkinässä on eri käytäntöjä valmistajasta ja maasta riippuen. Kuvan 3 mukaisen tiililaatan mitat voidaan ilmoittaa seuraavilla tavoilla:

- 285 x 85 x 19, jolloin pituus on 285 mm, leveys 85 mm ja paksuus 19 mm
- 285 x 19 x 85, jolla tarkoitetaan saman kokoista tiililaatta, jossa pituus on 285 mm, mutta leveydeksi merkitään 19 mm ja korkeudeksi 85 mm. (Juola 2015; SFS 5514. 2009.)



KUVA 3. Tiilen mitat ja pinnat (Tiileri RT 38096. 2011; SFS 5514. 2009)

Kulmatiilen merkinnässä sulkuihin laitetaan lappeiden pituudet ja sen jälkeen paksuus ja leveys. Esimerkiksi kuvan 4 vasemman puoleinen tiililaatta merkitään (285 + 135) x 19 x 85. (Juola 2015.)



KUVA 4. Esimerkkejä kulmatiililaatoista (Tiileri RT 38096. 2011)

Poltettujen tiililaattojen sallituille mittapoikkeamille on useita eri standardeja. Kansallisessa SFS 5514 -standardissa on määritelty tiililaattojen sallitut mittapoikkeamat ja lueteltu standardit niiden määrittämiseen. Standardissa mitta-

poikkeamat ovat määritelty tiililaatalle taulukon 1 mukaisesti. Taulukosta nähdään sallittujen mittapoikkeamien riippuvan perusmitoista siten, että pienemmällä perusmitalla sallittu mittapoikkeama on pienempi. (SFS 5514. 2009.)

TAULUKKO 1. SFS 5514 sallitut tiililaatan mittapoikkeamat (SFS 5514. 2009)

| | Sallitut mittapoikkeamat valmistajan ilmoittamasta perusmitasta |
|--|---|
| | Yksittäiset mitat (mm) |
| Perusmittojen ja mittapoikkeamien mukaan luokitellut tiililaatat (elementtikäyttö) | |
| mitta > 200 | +3 -4 |
| 100...200 | +2 -3 |
| < 100 | +2 -2 |
| Tiililaatan käyryys (poikkeama keskipaksuudesta) | 2 |

SFS 5514 on kansallinen standardi tiililaatoille, joten sitä ei voida käyttää sellaisenaan tiililaatan raja-arvojen määrittämisessä. Tämän lisäksi on olemassa Euroopan-laajuinen SFS-EN 771-1 -standardi, jossa on määritelty HD-luokan tiilien keskiarvojen sallitut mittapoikkeamat ja niitä vastaavat luokat T1, T2 ja Tm (taulukko 2) sekä yksittäisen HD-luokan tiilen luokat R1, R2 ja Rm ja niiden sallitut mittapoikkeamat (taulukko 3). (SFS-EN 771-1. 2011.)

TAULUKKO 2. HD-tiilen keskiarvojen sallitut mittapoikkeamat ja luokat (SFS-EN 771-1. 2011)

| | |
|----|--|
| T1 | $\pm 0,40 \sqrt{\text{nimellismitta}}$ tai 3 mm, kumpi näistä on suurempi |
| T2 | $\pm 0,25 \sqrt{\text{nimellismitta}}$ tai 2 mm, kumpi näistä on suurempi |
| Tm | valmistajan ilmoittama mittapoikkeama millimetreinä (se voi olla suurempi tai pienempi kuin muissa luokissa) |

TAULUKKO 3. Yksittäisen HD-tiilen sallitut mittapoikkeamat ja luokat (SFS-EN 771-1. 2011)

| | |
|----|--|
| R1 | $\pm 0,60 \sqrt{\text{nimellismitta}}$ mm |
| R2 | $\pm 0,30 \sqrt{\text{nimellismitta}}$ mm |
| Rm | valmistajan ilmoittama yksittäisen HD-tiilen mittojen sallittu vaihteluväli millimetreinä (se voi olla suurempi tai pienempi kuin muissa luokissa) |

4.1.1 Lähtötiedot

Mittapoikkeamien lähtötietojen hankinta suoritettiin haastattelemalla teknistä johtajaa ja tuotannon henkilökuntaa keväällä 2015. Haastatteluiden tarkoituksena oli selvittää, millaisia mittapoikkeaman omaavia tiililaattoja toimitetaan tuotantoon ja mitä haasteita suuret mittapoikkeamat aiheuttavat tuotannossa ja asennuksessa. Tämän vuoksi keväällä 2015 vierailtiin Oulaisten tehtaalla, jossa havainnollistettiin tuotantoa sekä mittapoikkeamien vuoksi hylkyyn menneitä tiililaattoja.

Haastatteluiden ja vierailun aikana selvisi, että tiililaattaelementissä käytetään useita eri kokoisia suorja ja kulmatiiliä ja erilaisilla limityksillä. Jotta eri muotoiset tiililaatat saataisiin asettumaan suunnitellulla tavalla, niille täytyisi määritellä sallitut mittapoikkeamat tutkimalla tiililaattaelementin tuotantomenetelmiä ja aikaisempia tuloksia sekä mittaamalla ja mallintamalla äärimitoissa olevia kappaleita.

Stofix oli määritellyt tiililaatan pituudelle, leveydelle ja paksuudelle seuraavat sallitut mittapoikkeamat:

- pituus +1 mm / -3 mm
- leveys ± 1 mm
- paksuus ± 1 mm.

Kävi myös ilmi, että standardeissa SFS 5514 tai SFS-EN 771-1 määritellyt mittapoikkeamien sallitut vaihteluvälit eivät sovellu käytettäväksi sellaisenaan jul-

kisivutiililaattaelementin valmistus- ja asennusprosessista johtuen. Perinteisessä muurauspaikalla tapahtuvassa tiililaattojen muurauksessa voidaan tiililaatat valikoida ja asettaa yksilöllisesti paikoilleen. Tiililaattaelementin valmistus tapahtuu puolestaan tehtaalla, jossa tiililaatat asennetaan sinkittyyn taustalevyyn. Tämän jälkeen tiililaattaelementti kuljetetaan kohteeseen ja asennetaan paikalleen. Nykyisillä tuotantomenetelmillä yksittäisen tiililaatan valitsemista ja asettelua ei voida toteuttaa samalla tavalla kuin paikalla tapahtuvassa tiililaattojen muurauksessa. (Juola 2015.)

Etenkin kulmatiilien mittapoikkeamat aiheuttavat haasteita tuotantoon ja asentukseen (Juola 2015). Kuvassa 5 on havainnollistettu kulmatiilien mittapoikkeaman aiheuttamia haasteita asentukseen. Kuvasta nähdään, että kulmaelementin ja suoranelementin saumaväli ei ole saman levyinen kuin muualla johtuen vinoista kulmatiilistä ja tiililaattaseinään tulee myös pykälä tiilien välille.



KUVA 5. Esimerkki testiseinästä, jonka kulmatiilissä on liian suuria mittapoikkeamia

4.1.2 Testausmenettely ja testaus

Tiililaattojen mittojen ja mittapoikkeamien testauksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia tiililaattoja tuotantoon tulee, ja kokeilla eri mittausmenettelyjä. Mittojen

määrittämiseksi löydettiin useita eri standardeja. SFS-EN -merkinnän omaavat standardit on ovat Euroopan laajuisia, joten ne soveltuvat laajempaan käyttöön. SFS 5513 ja 5514 ovat suomalaisia standardeja, joten niitä voitiin käyttää apuna tiililaattojen testauksessa ja raja-arvojen määrittämisessä, mutta ne eivät soveltuneet sellaisenaan kansainväliseen spesifikaatioon.

Testaukseen valittiin tuotannossa hylkyyn menneitä sekä silmämääräisesti nimellismitoissa olevia tiililaattoja. Tiililaattojen mittaus suoritettiin OAMK:n laboratoriossa. Mittojen määrittelyssä käytettiin apuna seuraavia standardeja:

- SFS 5514 Poltetut tiililaatat, mitat, mittapoikkeama ja niiden esittäminen
- SFS 5513 Tiililaattojen testaus, pituus, leveys, paksuus, poikkeama keskipaksuudesta
- SFS-EN 771-1 Muuraukappaleiden spesifikaatiot, poltetut tiilet
- SFS-EN 772-16 Muuraukappaleiden testimenetelmiä, pituus, leveys, korkeus, lappeiden yhdensuuntaisuus
- SFS-EN 772-20 Muuraukappaleiden testimenetelmiä, pinnan tasaisuuden määrittäminen (lävistäjä, koveruus, kuperuus).

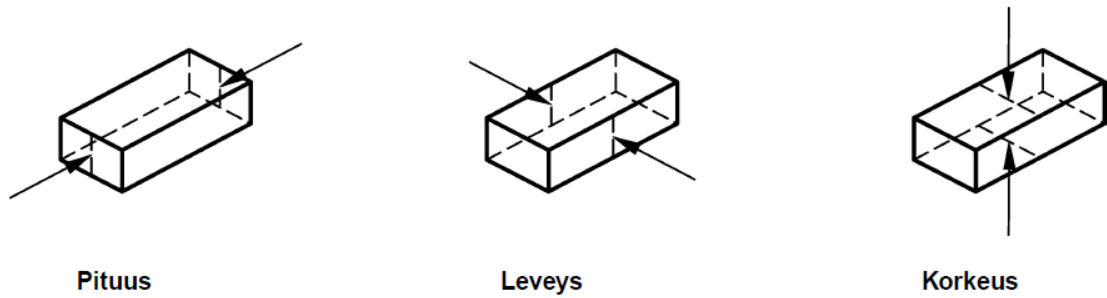
Pituus, leveys, paksuus SFS 5513 ja SFS-EN 772-16

Testauksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon tiililaatan mitat poikkeavat nimellismitoista. Testaus suoritettiin neljän eri tiililaattavalmistajan tiililaatoille. Tiililaattoja otettiin testaukseen yhteensä 30 kappaletta. Mittaus tapahtui työntömitalla standardin SFS-EN 772-16 mukaisesti.

Standardin määritelmän mukaisesti mittauskohdat määräytyvät pituuden, leveyden ja korkeuden mukaan. Mikäli kaksi seuraavista ehdoista täyttyy, jokaisesta koekappaleesta otetaan yksi mitta työntömitalla suunnilleen keskeltä ja mittauskohdat ovat kuvan 6 mukaiset:

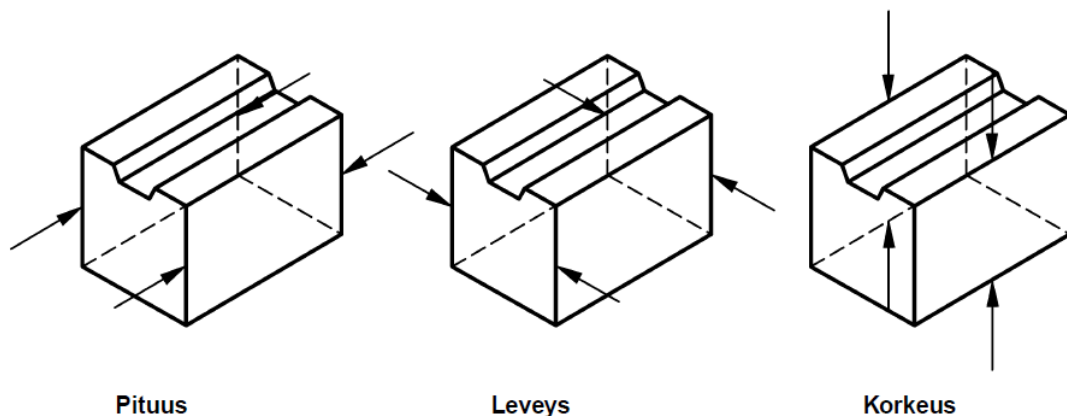
- pituus \leq 250 mm
- leveys \leq 125 mm
- paksuus \leq 100 mm.

Stofixin käyttämistä tiililaatoista kaksi jälkimmäistä ehtoa täyttyy aina.



KUVA 6. Tiililaatan lappeiden mittauskohdat (SFS-EN 772-16. 2012)

Mittauksissa havaittiin, että tiililaatoista ei saa todellista kuvaa, jos mittauspaikkoja on vain yksi. Standardista löytyi myös määritelmä koekappaleille, joiden pinnassa on ulokkeita, uria, nostosyvennyksiä, rappausuria tms., joten tätä sovellettiin tiililaattojen mittauksessa. Mitat määriteltiin kuvan 7 mukaisista paikoista.



KUVA 7. Tiililaatan lappeiden mittauskohdat epätasaisille pinnoille (SFS-EN 772-16. 2012)

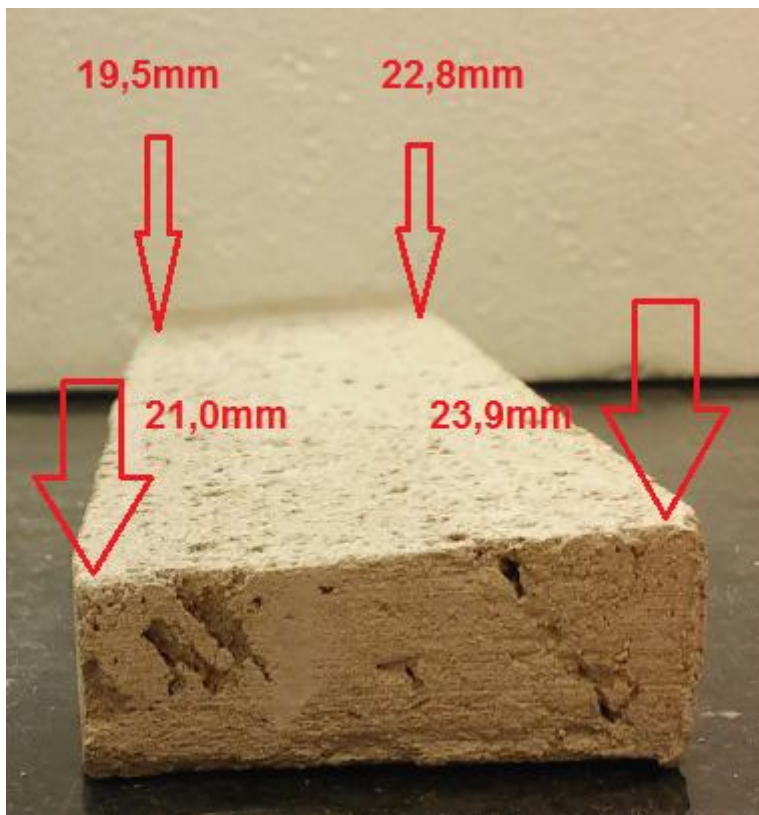
Mittaukset kirjattiin liitteeseen 4. Mittaukset osoittavat, että keskiarvot ovat Stofixin aikaisemmin määritetyissä raja-arvoissa, mutta yksittäisissä tiililaatoissa on liian suuria poikkeamia. Haasteita mittaukseen toi se, että osa tiililaatoista on hyvinkin karkeapintaisia, joten niistä tarkan mitan saaminen on vaikeaa.

Lappeiden yhdensuuntaisuus SFS-EN 772-16

Lappeiden yhdensuuntaisuustestillä oli tarkoitus selvittää, kuinka paljon tiililaatoissa on mittapoikkeamia ja miten kyseinen mitta suoritetaan. Testiin valittiin tiililaattoja, jotka olivat menneet hylkyyn liian suuren mittapoikkeaman vuoksi tiililaattaelementin valmistusta ajatellen. Kuvassa 8 on ääriesimerkki paksuuden vaihtelusta. Lappeiden yhdensuuntaisuustestaus suoritettiin kyseiselle tiililaatalle standardin SFS-EN 16 määrittelemällä tavalla seuraavasti:

- tiililaatta asetettiin stabiilisti tasaiselle pinnalle
- etäisyys mitattiin tiililaatan lappeen yläreunaan neljästä eri nurkasta työntömitalla
- tulokset kirjattiin ylös ja laskettiin pienimmän ja suurimman mittatuloksen välinen ero.

Tulokseksi saatiin 4,4 mm, joten tiili aiheuttaisi näkyvän pykälän julkisivuun. Sitä ei siis voitaisi käyttää tiililaattaelementissä.



KUVA 8. Suorantiililaatan lappeiden yhdensuuntaisuuden mittakohdat ja mittapoikkeamat

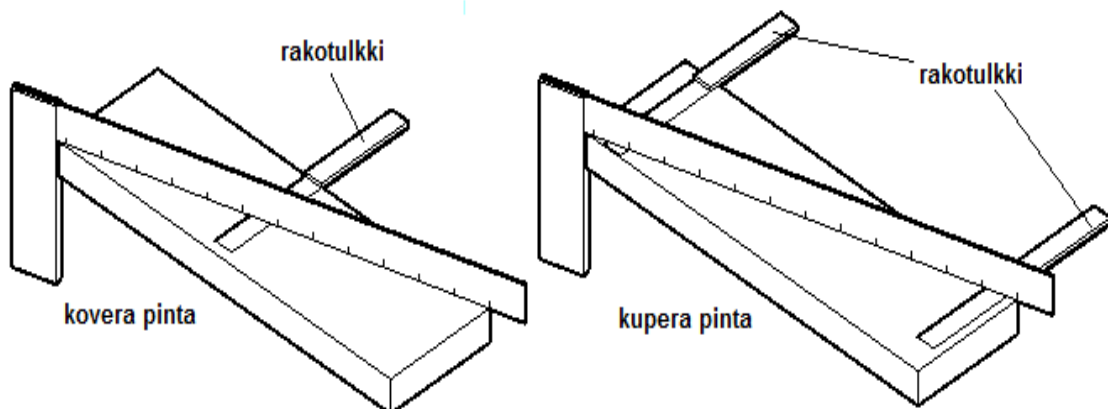
Pinnan tasaisuus (lävistäjä, kuperuus ja koveruus) SFS-EN 772-20

Tutkimalla pinnan tasaisuuden mittausmenetelmää saatiin selville, miten kyseinen mittaus suoritetaan. Standardin SFS-EN 771-1 mukaan silloin, kun poltetut tiilet muurataan ohutsaumalaastilla, valmistajan on ilmoitettava lappeiden suurin tasaisuuspoikkeama. Tasaisuuden mittaukseen ei ole olemassa omaa standardia poltetuille tiilille, vaan mittaus tulee suorittaa betoniharkoille sekä keinokivi- ja luonnonkivikappaleille tarkoitetulla SFS-EN 772-20 -standardilla.

Stofixin tiililaattaelementin valmistus- ja asennusprosessin vuoksi pinnan epätasaisuus on huomioitava. Tiililaatan pinnan liiallinen epätasaisuus, kuten kuperuus tai koveruus, voi aiheuttaa tiililaatan kääntymistä tuotannossa tai tiililaatan halkeamisen pakkaus- ja kuljetusvaiheessa. Mikäli tiililaatta halkeaa jo valmiiksi tehdyssä tiililaattaelementissä, tällöin koko tiililaattaelementti on käyttökelvoton. (Juola 2015.)

Pinnan koveruuden, kuperuuden ja lävistäjän testimenetelmän tutkimiseen valittiin silmämääräisesti koveria ja kuperia testikappaleita. Mittaukset suoritettiin jokaiselle lappeelle standardin SFS-EN 772-20 mukaisesti

- asettamalla suorakulma testikappaleen pintaa vasten lävistäjän kohdalle
- mittaamalla lävistäjät suorakulmalla
- mittaamalla rakotulkilla tiililaatan pinnan ja suorakulman välinen suurin etäisyys kuvan 9 osoittamalla tavalla.



KUVA 9. Pinnan koveruuden ja kuperuuden mittausperiaatteet

Yhdeksi testikappaleeksi valittiin silmämääräisesti arvioituna täysin virheetön sileä tiililaatta (kuva 10). Tausta- ja julkisivupinnan lappeen lävistäjät eli ristimitat mitattiin suorakulmalla. Julkisivulapteen lävistäjien keskiarvoksi saatiin 293,9 mm ja lävistäjien mittaeroksi 1,1 mm.

Pintojen tasaisuusmittausten perusteella havaittiin, että tiililaatta on kupera julkisivu- ja kovera taustapinnaltaan. Taustapinnan koveruus mitattiin kahdella tavalla, SFS-EN 772-20 mukaisesti sekä asettamalla tiililaatta tasaiselle alustalle ja mittaamalla rakotulkilla tiililaatanpinnan etäisyys alustaan. Julkisivupinta oli kupera, joten suorakulma asetettiin pintaa vasten siten, että tiililaatan päiden ja suorakulman väliset etäisyydet olivat yhtä suuret. Tämän jälkeen mitattiin rakotulkilla suorakulman ja tiililaatan pinnan välinen etäisyys. Mittauksen periaatteet ovat esitetty kuvassa 9. Mittauksissa kuvan 10 tiililaatalle julkisivupinnan kupe-ruudeksi saatiin 0,20 mm ja taustapinnan koveruudeksi 0,35 mm.

Kyseisestä tiililaatasta mitattiin myös lappeiden yhdensuuntaisuus eli paksuus jokaisesta nurkasta. Poikkeama paksuudessa eri nurkkien kulmien välillä oli alle 0,5 mm. Tällaisen mittapoikkeaman omaavia tiililaattoja voidaan käyttää tuotannossa ilman ongelmia.



KUVA 10. Esimerkki hyväksyttävästä tiililaatasta

Poikkeama keskipaksuudesta SFS 5513

Keskipaksuuden poikkeama -testissä tiililaatta asetetaan laitteeseen, jossa ovat yhdensuuntaiset tasolevyt. Tasolevy lasketaan tiililaatan päälle ja levyjen välinen etäisyys mitataan. Tulosta verrataan tiililaattojen keskiarvoon ja tulos ilmoitetaan 0,5 millimetrin tarkkuudella. (SFS 5513. 2009.)

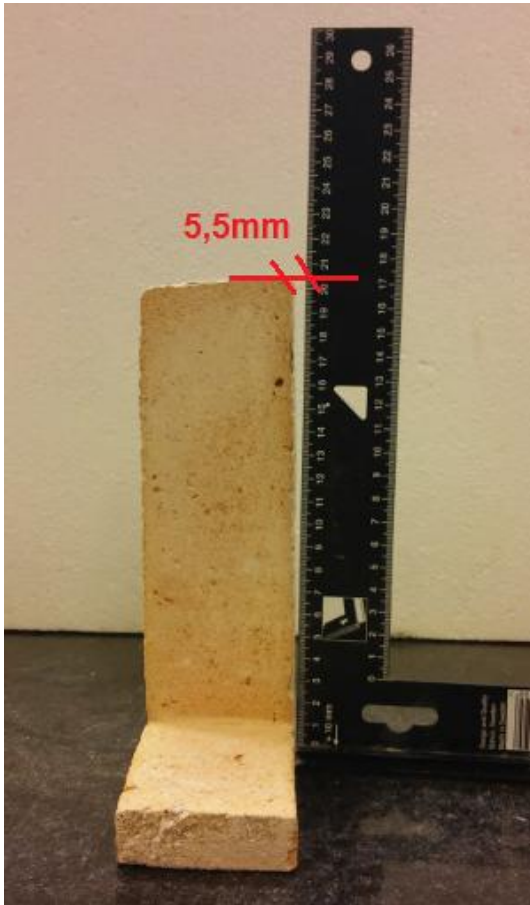
Poikkeamat keskipaksuudesta näkyvät tiililaattojen välisinä pykälinä ulkoseinässä. Myös saumojen saaminen siistiksi aiheuttaa haasteita, jos poikkeamat keskipaksuudesta ovat suuria. (Juola 2015.) Mittaus antaa hyvän kuvan siitä, kuinka paljon yksittäinen sileä tiililaatta poikkeaa keskipaksuudesta. Kyseistä testilaitetta ei ole OAMK:n laboratoriossa, joten opinnäytetyössä ei suoritettu käytännön testausta.

Kulmatiililaatta

Kulmatiililaatoille ei ole olemassa varsinaisia mittauststandardeja, joten mittauksissa täytyi soveltaa olemassa olevia menetelmiä. Teknisen johtajan ja tuotannon henkilöstön haastatteluiden perusteella tultiin siihen tulokseen, että kulmatiililaattojen mittapoikkeamat ovat yleisempiä ja niiden valmistus nimellismittoihin haastavampaa. Tämän vuoksi kulmatiililaatan mittaus käsitellään opinnäytetyössä erillisenä asiana.

Testeihin valittiin hylkyyn menneitä kulmatiililaattoja. Kyseisten kulmatiililaattojen mittauksissa havaittiin huomattavia mittapoikkeamia. Kuvassa 11 on yksittäinen kulmatiililaatta, jonka vinoon leikattu kulma aiheuttaa selvän poikkeaman kulmatiilen päässä. Tällainen poikkeama näkyisi jo häiritsevästi tiililaattojen välisen sauman kapenemisella, mikäli saumaväli on normaali 15 mm.

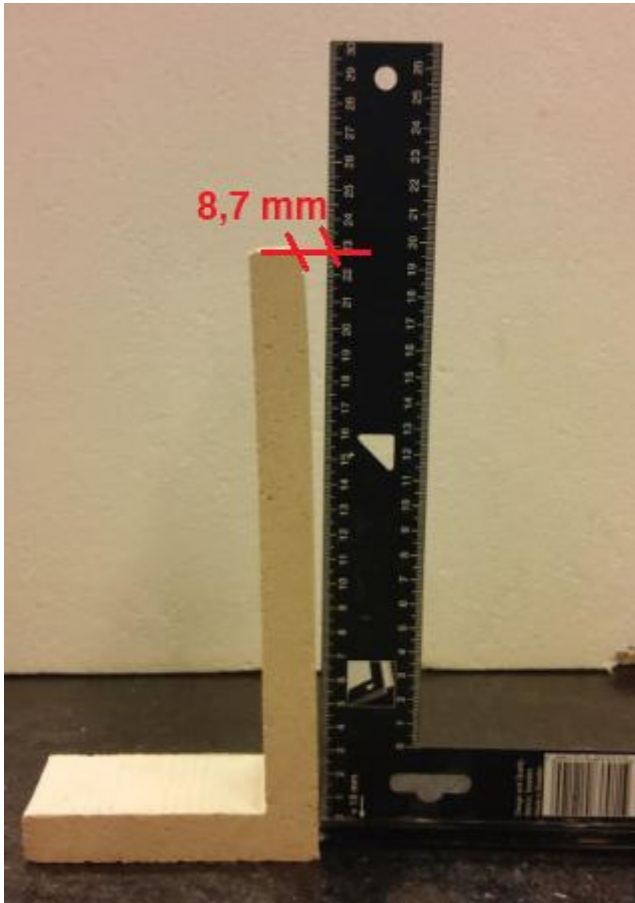
Mittapoikkeaman mittaus suoritettiin laittamalla kulmatiililaatta tasaiselle alustalle ja asettamalla suorakulma tiililaatan sivuun kiinni, jonka jälkeen työntömitalla mitattiin etäisyys suorakulmaan. Kuvan 11 suorakulman ja tiilen väliseksi etäisyydeksi mitattiin 5,5 mm.



KUVA 11. Kulmatiili leikattu vinoon

Toisen tarkasteltavan kulmatiilen kulma ei ollut 90 astetta. Tämän lisäksi, kuten kuvasta 12 näkyy, pidempi julkisivulape on kupera. Näistä seikoista johtuen mitapoikkeama kulmatiilen lappeen päässä on 8,7 mm. Näin suuri poikkeama aiheuttaisi pykälän tiilien välille, mikäli tällainen tiililaatta asennettaisiin tiililaatta-elementtiin.

Kyseisen kulmatiililaatan taustapinnan koveruus mitattiin asettamalla tiililaatta tasaisen alustan päälle, minkä jälkeen mitattiin rakotulkilla alustan ja tiilen välinen etäisyys. Kulmatiililaatan pidemmän lappeen koveruudeksi mitattiin 0,9 mm.

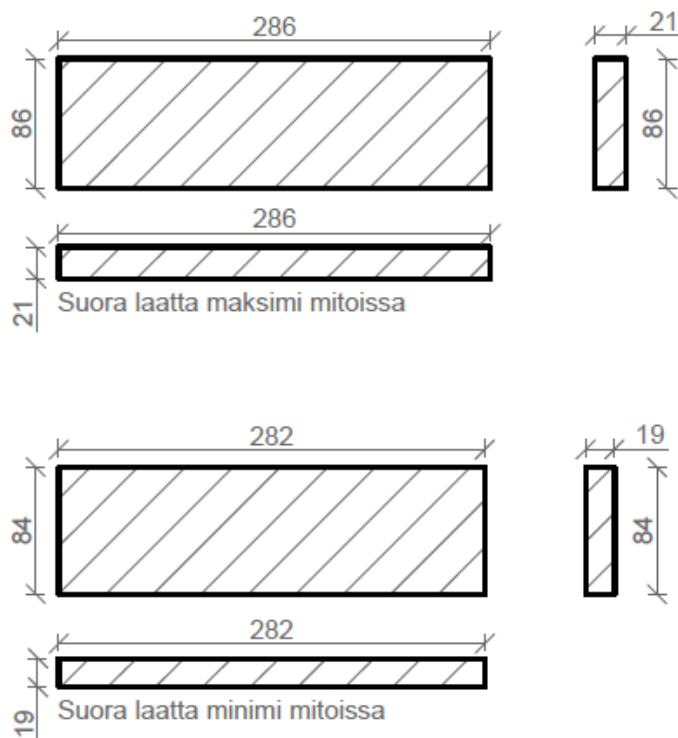


KUVA 12. Kulmatiililaatassa liian suuri kulmapoikkeama ja kuperuus

4.1.3 Mallinnus

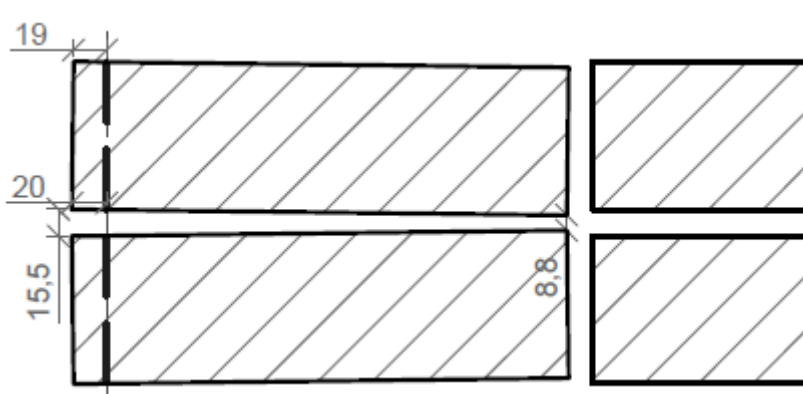
Mallinnuksen lähtötiedot saatiin tutkimalla ja mittaamalla olemassa olevia tiililaattoja aikaisemmin selvitettyillä tavoilla. Mallintamisen tavoitteena oli havainnollistaa erilaisia mittapoikkeaman omaavia tiililaattoja sekä mittapoikkeamien vaikutusta asennukseen ja visuaalisuuteen.

Mallinnus tehtiin Autocad-piirustusohjelmalla. Lähtötietojen avulla ensimmäisenä mallinnettiin sileää tiililaatta, jossa ovat Stofixin määrittelemät jo käytössä olevat sallitut mittapoikkeamat (kuva 13). Mallinnuksessa käytettiin esimerkkinä 285 x 85 x 20 mm sileää tiililaattaa.



KUVA 13. 285 x 85 x 20 mm:n nimellismittallinen tiililaatta sallituissa mittarajoissa

Kuvassa 14 on mallinnettu 285 mm pitkän kulmatiilen yhden millimetrin mitta-
poikkeama paksuudessa tai vinoon leikkauksessa. Mikäli molemmat tiilet aset-
tuvat eri suuntiin vinoon, sauman leveys kapenee 15 mm:stä 8,8 mm:iin.



KUVA 14. 285 mm:n kulmatiilessä 1 mm:n paksuusero

Näiden lisäksi mallinnettiin eri tapauksia mittapoikkeamista. Mallinnuksen kuvat
on esitetty liitteessä 3.

4.1.4 Raja-arvojen määrittely

Raja-arvojen asettaminen mittapoikkeamille oli hyvin haasteellista, koska Stofixin tuotannossa on käytössä monimuotoisia ja hyvinkin karkeapintaisia tiililaattoja. Karkeat pintakuviot voivat aiheuttaa suurenkin mittapoikkeaman testeissä, vaikka tiililaatta olisi soveltuva tuotantoon.

Mallinnuksen, mittausten ja haastatteluiden perusteella selvisi, että tuotantoon tulee liian paljon suuren mittapoikkeaman omaavia tiililaattoja. Tehokkaamman tuotannon ja asennuksen saavuttamiseksi tiililaatoille määriteltiin sallitut mittapoikkeamat sekä mittaukseen käytettävät menetelmät. Mittapoikkeamien raja-arvot kirjattiin liitteen 6 spesifikaatioon.

Keskipaksuuden mittapoikkeama antaa hyvän kuvan sileän tiililaatan paksuudesta, mutta sitä voidaan käyttää vain sileälle laatalle. Lisäksi kyseinen standardi on suomalainen, joten sen saaminen eurooppalaisille valmistajille voi aiheuttaa haasteita. Näiden seikkojen vuoksi keskipaksuudelle ei asetettu erillisiä raja-arvoja spesifikaatioon.

Mittapoikkeamien raja-arvojen määrittelyssä otettiin myös huomioon se, että liian tiukkoja raja-arvoja ei kannata määrittää, koska tiililaattojen valmistusprosessissa tulee väistämättä mittapoikkeamia. Liian tiukat raja-arvot eivät olisi mielekkäitä tiililaattojen kustannus- ja valmistustehokkuuden vuoksi.

4.2 Vedenalkuimunopeus

Vedenalkuimunopeus on tärkeä tekijä laadukkaan ja kestävä sauman saamiseksi tiililaatan ja laastin välille. Tiililaatan vedenalkuimunopeuden täytyy olla oikea suhteessa laastin vedenpidätyskykyyn. (Siikanen 2001.)

Tiililaatan huokoisuuteen vaikuttavat seosaineet ja niiden suhde sekä polttolämpötila. Huokoisuus puolestaan vaikuttaa veden imuunopeuteen. Poltettaessa korkeassa lämpötilassa suurten huokosten suhteellinen osuus on suurempi. Suuret huokokset aiheuttavat suuren imunopeiden, mutta matalan nousukorkeuden, jolloin vesi imeytyy liian nopeasti tiililaattaan. Vastaavasti pienet huokokset

saavat aikaan pienen imunopeuden, mutta suuren nousukorkeuden. Mikäli alkuimunopeus on liian pieni, tiililaatta kelluu laastin päällä ja vesi ei poistu laastista. Tällöin saumasta tulee huokoinen, jolloin lujuus heikkenee ja saumat eivät ole tiiviitä. Veden alkuimunopeudella on siis vaikutus tartuntaan, lujuuteen ja saumojen tiivyyteen. (Siikanen 2001.)

Vedenalkuimunopeus kertoo, kuinka monta kilogrammaa vettä imeytyy tiililaattaan neliometriä kohden minuutissa ($\text{kg/m}^2 \times \text{min}$). Tiililaatan vedenalkuimunopeustestin periaate on, että kuivatun kappaleen pinta upotetaan veteen ja minuutin kuluttua kappale otetaan pois vedestä, pinta kuivataan ja punnitaan. Alkuimunopeus lasketaan kaavalla 1. (SFS-EN 772-11. 2011.)

$$C_{w,i} = \frac{M_{\text{märkä}} - M_{\text{kuiva}}}{A * t} * 10^3, \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{min}} \right] \quad \text{KAAVA 1}$$

M = massa (g)

A = pinta-ala (mm^2)

t = aika (1 min)

Tulosten perusteella tiililaatat jaetaan neljään vedenalkuimunopeusluokkaan taulukon 4 mukaisesti. Tiililaatan vedenalkuimunopeusluokitus löytyy vain kansallisesta standartista SFS 5514. Stofix käyttää muitakin kuin suomalaisia tiililaattoja, joten lopullisessa spesifikaation raja-arvon määrittämisessä ei voida käyttää kansallisen standardin mukaista vedenalkuimunopeusluokitusta, vaan raja-arvoksi tulee määrittellä eurooppalaisen standardin mukainen vedenalkuimunopeus. (SFS 5513. 2009; SFS 5514. 2009.)

TAULUKKO 4. Tiililaattojen vedenalkuimunopeusluokat (SFS 5514. 2009)

| Vedenalkuimunopeusluokka | Vedenalkuimunopeuksien keskiarvo $\text{kg/m}^2 \times \text{min}$ SFS 5513 mukaan määritettynä |
|--------------------------|--|
| 1 | <1,0 |
| 2 | 0,5...2,0 |
| 3 | 1,5...3,0 |
| 4 | >2,5 |

4.2.1 Testausmenettely ja testaus

Vedenalkuimunopeustestin tarkoituksena oli selvittää erilaisten tiililaattojen vedenalkuimunopeus. Tulosten perusteella tutkittiin sen korrelaatiota taivutuslujuuteen sekä Stofixin aikaisempiin lujuustesteihin. Teknisen johtajan mukaan tehtaalle toimitettavien tiililaattojen kosteuspitoisuus ja vesimäärä vaihtelee, joten tiililaatan vedenalkuimunopeuden testaus tehtiin laboratorioissa standardin mukaisesti kuivatuille tiililaatoille. Näin saatiin vertailukelpoisia tuloksia ja testaus voidaan tarvittaessa toistaa tehdasolosuhteissa oleville tiililaatoille ja vertailla tuloksia keskenään.

Teknisen johtajan haastattelun ja tuotannon henkilökunnan aikaisempien kokemusten perusteella valittiin tarkempiin tutkimuksiin neljän eri valmistajan tiililaattoja, kutakin 6 kappaletta. Valinta tehtiin valmistajien vedenalkuimunopeustulosten ja Stofixin tekemien taivutusvetolujuustestien sekä visuaalisten huokoisuustarkastelujen perusteella niin, että testattavat tiililaatat edustivat mahdollisimman laajan otannan tiililaatoista.

Testausmenettelyssä sovellettiin tiililaatan vedenalkuimunopeuden määrittämiseen seuraavia standardeja:

- SFS 5514 Poltetut tiililaatat
- SFS 5513 Tiililaattojen testaus
- SFS-EN 772-11 Alkuimunopeudentestaus
- SFS-EN 771-1 Alkuimunopeuden upotusaika
- SFS-EN 772-16 Upotettavien pintojen mittaus.

Testaus tehtiin keväällä 2015 Oulun ammattikorkeakoulun laboratorioissa. Testausmenettely oli seuraava:

- Tuloksia ja laskelmia varten suunniteltiin ja tehtiin excel-ohjelma laskukaavoineen.
- Otettiin 6 - 10 kpl tiililaattoja testaukseen.
- Tiililaatat punnittiin yksitellen kalibroidulla vaa'alla 0,1 g tarkkuudella (ensimmäinen vertailumassa).

- Tiililaatat laitettiin tuulettuvaan lämpökaappiin, jonka lämpötilaksi oli asetettu 105 ± 5 °C.
- Tiililaattoja punnittiin 24 tunnin välein, kunnes vakio- eli kuivamassa saavutettiin (tiililaatan vakiomassa oli saavutettu silloin, kun peräkkäisten punnitusten välinen ero oli korkeintaan 0,1 %).
- Tiililaatat annettiin jäähtyä huoneen lämpöön 2-3 tuntia.
- Tiililaatan pituus ja leveys mitattiin 0,1 mm:n tarkkuudella.
- Tiililaatat upotettiin taustapuoli alaspäin vesiastiaan 5 ± 1 mm:n syvyydelle siten, että vesiastian pohjalla olevat kannakkeet estivät upotuspinnan koskemasta altaan pohjaan.
- Sekuntikello käynnistettiin ja tiililaatta otettiin pois vedestä 60 sekunnin jälkeen.
- Pinta kuivattiin ylimääräisestä vedestä kevyesti ja tiililaatta punnittiin välittömästi (märkämassa).
- Tulokset kirjattiin excel-ohjelmaan, joka laskee vedenalkuimunopeuden kaavalla 1 sekä yksittäiselle tiililaatalle että niiden keskiarvon 0,1 yksikön tarkkuudella.

4.2.2 Raja-arvojen määrittely

Testit tehtiin standardin mukaisesti ja testitulokset olivat verrattain tasaisia kussakin testisarjassa. Tuloksia voidaan pitää näin ollen luotettavina. Testitulosten perusteella eri valmistajien väliltä löytyi eroja. Pienin vedenalkuimunopeus arvo oli $0,1 \text{ kg/m}^2 \times \text{min}$ ja suurin $1,4 \text{ kg/m}^2 \times \text{min}$. Tarkemmat tulokset on koottu liitteeseen 4.

Johtopäätösten tekeminen pelkästään valmistajan antamien arvojen perusteella (liite 2) ei ollut mahdollista, koska osa valmistajista oli antanut suuren välin siitä, mihin vedenalkuimunopeus asettuu. Yhdeltä valmistajalta löytyy kuitenkin varsin kattavat testitulokset, ja niistä nähdään, että vedenalkuimunopeus vaihtelee tiililaatan tyypistä riippuen jopa $0,7 - 3,0 \text{ kg/m}^2 \times \text{min}$ välillä.

Haastatteluiden, omien ja valmistajien testituloksien sekä spesifikaatioiden perusteella voitiin määrittellä raja-arvot tiililaatan vedenalkuimunopeudelle. Raja-arvot määriteltiin liitteeseen 6.

4.3 Vedenimukyky

Vedenimukyky ilmoitetaan painoprosenttina kuivapainosta, ja tuloksesta selviää, kuinka paljon tiililaatta on imenyt vettä. Poltetun tiilen vedenimukyky vaihtelee yleensä välillä 6 - 20 % . Mitä korkeammassa lämpötilassa tiililaatta poltetaan, sitä pienempi vedenimukyky tiililaatalla on. (RT 35-11136. 2013; Siikanen 2001.)

Vedenimukyky kertoo, kuinka paljon tiililaatta kykenee imemään vettä itseensä pidemmällä aikavälillä. Vedenimukyky vaikuttaa mm. tiililaatan kestävyyskykyyn. Tiililaatan vedenimukykyyn tieto tarvitaan silloin, kun tiililaatta on suunniteltu käytettäväksi ulkona säälle alttiissa olosuhteissa. Testauksen periaate on, että tiililaatta kuivataan lämpökaapissa vakiomassaan, minkä jälkeen koekappale upotetaan veteen ja punnitaan märkätulo. Tulokset kirjataan ylös ja lasketaan vedenimukyky laskukaavalla 2. (SFS-EN 771-1. 2011; SFS -EN 772-21. 2012.)

$$W_s = \frac{M_{\text{märkä}} - M_{\text{kuiva}}}{M_{\text{kuiva}}} * 100\%$$

KAAVA 2

M = massa (kg)

W = vedenimukyky (%)

4.3.1 Testausmenettely

Haastatteluiden ja aineistotutkimusten perusteella tultiin siihen tulokseen, että vedenimukykyyn laboratoriotestaus ei tuo lisäarvoa tämän opinnäytteen tavoitteiden saavuttamiseksi. Vedenimukykyille voitiin määrittellä raja-arvot spesifikaatioon (liite 6) tutkimalla tiililaatta valmistajien testaustuloksia ja spesifikaatioita (liite 2).

Vaikka tässä opinnäytetyössä ei vedenimukykyä testattu, työssä käsitellään lyhyesti testausmenettely mahdollisia lisätutkimuksia varten. Tiililaatan vedenimukyvyn määrittämiseen tarvittavat standardit ovat

- SFS 5514 Poltetut tiililaatat
- SFS 5513 Vedenimukyvyn testaus
- SFS-EN 771-1 Muuraukappaleiden spesifikaatiot
- SFS-EN 772-21 Vedenimukyvyn testaus.

Yksityiskohtainen kuvaus vedenimukyvyn testausmenettelystä on seuraava:

- Otetaan 10 kpl tiililaattoja testaukseen.
- Tiililaatat kuivatetaan vakiomassaan 105 ± 5 °C lämpötilassa (tiililaatan vakiomassa on saavutettu silloin, kun 24 tunnin välein tehtyjen peräkkäisten punnitusten välinen ero on korkeintaan 0,2 %).
- Tiililaatta annetaan jäähtyä huoneen lämpötilaan ja punnitaan.
- Tiililaatta upotetaan vuorokaudeksi veteen niin syväälle, että puolet pak-suudesta peittyy veden alle.
- Seuraavaksi kahdeksi vuorokaudeksi tiililaatta upotetaan kokonaan veden alle.
- Tiililaatan pinta kuivataan ja punnitaan välittömästi.
- Tulokset lasketaan kaavalla 2 ja tulokset ilmoitetaan 1 %:n tarkkuudella.

4.3.2 Raja-arvojen määrittely

Tiililaattojen valmistajasta riippuen tuotannossa käytettyjen tiililaattojen vedenimukyky vaihteli valmistajien antamien testitulosten ja spesifikaatioiden perusteella välillä 6 - 25 % (liite 2). Näiden tulosten ja haastatteluiden perusteella määriteltiin raja-arvot tiililaatan spesifikaatioon (liite 6). Koska Stofixin tiililaatta-elementtejä käytetään ulkona säälle alttiissa olosuhteissa, tulee tiilen toimittajan testata vedenimukyky standardin SFS 5513 tai SFS EN 772-21 mukaisesti ja ilmoittaa tulokset Stofixille.

4.4 Bruttokuivatiheys

Kuten jo aikaisemmin todettiin, yhtenä tiililaatan luokitusperusteena on bruttokuivatiheys. Bruttokuivatiheys kertoo, kuinka monta kilogrammaa yhden kuutiometrin kokoinen tiililaatta kappale painaa kuivana, jolloin bruttokuivatiheyden yksiköksi tulee kg/m³. Bruttokuivatiheys lasketaan kaavalla 3, jossa kappaleen punnittu kuivapaino jaetaan ulkomittojen mukaan lasketulla tilavuudella (syvennyksiä ja reikiä ei vähennetä tilavuuden määrittämisessä). (SFS 5514. 2009.)

$$\rho_g = \frac{M_{kuiva}}{V_g} * 10^6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

KAAVA 3

ρ_g = bruttokuivatiheys

M = massa (g)

V_g = tilavuus (mm³)

Tiililaatan valmistusvaiheessa tiheyteen voidaan vaikuttaa polttolämpötilalla. Kun polttolämpötila nousee yli +900 °C, alkaa tiililaatta kutistua, jolloin tilavuus pienenee ja tiheys kasvaa. (Siikanen 2001.)

Ulkokäyttöön tarkoitetut poltetun HD-luokan tiililaatan bruttokuivatiheyden täytyy olla yli 1 000 kg/m³. Kansallisessa SFS 5514 -standardissa bruttokuivatiheydet on jaettu luokkiin taulukon 5 mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että ulkoseinän tiililaattaelementissä bruttokuivatiheysluokan täytyy olla vähintään 1,3. (RakMK-21353. 2007; SFS 5514. 2009.)

TAULUKKO 5. Tiililaattojen bruttokuivatiheysluokat (SFS 5514. 2009)

| Bruttokuivatiheysluokka | Bruttokuivatiheyksien keskiarvo kg/m ³ |
|-------------------------|---|
| 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 |

SFS-EN 771-1 -standardissa ei ole samanlaista luokitusta kuin kansallisessa SFS 5514 -standardissa. Bruttokuivatiheys voidaan ilmoittaa joko absoluuttisena arvona tai kansallisen luokitusjärjestelmän mukaisesti silloin, kun se on tarpeen käyttökohteessa. Aina kun bruttokuivatiheys ilmoitetaan SFS-EN 771-1 -standardin mukaisesti absoluuttisena arvona, valmistajan tulee ilmoittaa, kuuluuko se poikkeamaluokkaan D1 (10 %), D2 (5 %) vai Dm (valmistajan ilmoittama prosenttiosuus). Poikkeamaluokka kertoo, kuinka monta prosenttia tiililaattojen bruttokuivatiheys voi poiketa valmistajan ilmoittamasta arvosta. (SFS-EN 771-1. 2011.)

4.4.1 Testausmenettely ja testaus

Teknisen johtajan haastattelussa kävi ilmi, että bruttokuivatiheydellä on merkitystä kuormien laskemisessa sekä kuljetus- ja nostokapasiteetin määrittelyssä. Bruttokuivatiheyden testauksella oli tarkoitus selvittää neljän eri valmistajan tiililaattojen bruttokuivatiheydet OAMK:n laboratoriossa. Bruttokuivatiheyden määrittämisessä tarvitaan standardit

- SFS 5514 Poltetut tiililaatat
- SFS 5513 Tiililaattojen testaus, bruttokuivatiheys
- SFS-EN 771-1 Poltettu tiilet, bruttokuivatiheys
- SFS-EN 771-13 Bruttokuivatiheyden testaus
- SFS-EN 772-21 Vedenimukyvyn testaus.

Testaus tehtiin samalla kertaa ja samoille tiililaatoille kuin aikaisemmin selvitetty vedenalkuimunopeus. Bruttokuivatiheyden testaus suoritettiin seuraavasti OAMK:n laboratoriossa:

- Tiililaatat kuivatettiin vakiomassaan 105 ± 5 °C:n lämpötilassa.
- Tiililaatan pituus, leveys ja paksuus mitattiin 0,1 mm:n tarkkuudella ja laskettiin bruttotilavuus.
- Laskettiin bruttokuivatiheys kaavalla 3 ja tulokset pyöristettiin lähimpään 10 kg/m^3 :iin.

4.4.2 Raja-arvojen määrittely

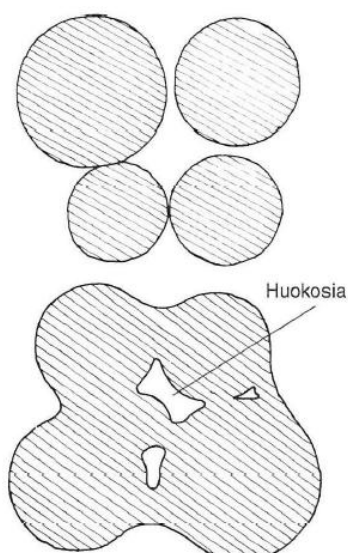
Tiililaattoja testattiin neljältä eri valmistajalta. Bruttokuivatiheyden testitulokset on kerätty liitteeseen 4. Tuloksista selviävät yksittäisten kappaleiden brutto-kuivatiheydet sekä niiden keskiarvot. Testituloksista nähdään, että suurin bruttokuivatiheys on $2\,170\text{ kg/m}^3$ ja pienin $1\,460\text{ kg/m}^3$. Saman valmistajan tiililaattojen välillä ei ollut suurta tulosten vaihtelua.

Teknisen johtajan haastattelun, omien testitulosten, valmistajien antamien arvojen sekä standardien perusteella tultiin siihen tulokseen, että bruttokuivatiheydelle ei tarvitse määrittellä raja-arvoa. Valmistajan tulee kuitenkin ilmoittaa bruttokuivatiheys joko standardin SFS-EN 771-1 mukaan absoluuttisena arvona tai SFS 5514 bruttokuivatiheysluokituksen mukaisesti niille tiililaatoille, jotka toimitetaan Stofixille (liite 6).

4.5 Lujuus

Tiililaatan lujuuteen vaikuttavat raaka-aineet sekä polttolämpötila ja -aika. Mitä korkeampi polttolämpötila on, sitä enemmän tiililaatan huokoisuus vähenee ja lujuus kasvaa. Lämpötilan ollessa riittävän korkea muuttuu tiili tiivisaineeksi. Lujuuslaadun aikaan saamiseksi on tärkeää, että tiilen kuivuminen ja poltto tapahtuvat tasaisesti kaikille polttouunissa oleville tiilille. Vain varmistamalla tasainen lämpötila jokaiselle tiilille saavutetaan tasalaatuisia tiilieriä. (Siikanen 2001.)

Polton aikana raaka-ainemassan rakeet laajenevat yhteen eli sintraantuvat ja tiili saa huokoisen rakenteen (kuva 15). Korkeammassa polttolämpötilassa suurten huokosten suhteellinen määrä on suurempi. Tiilien saavuttama suuri lujuuskestävyys perustuu korkeaan polttolämpötilaan. (Siikanen 2001.)



KUVA 15. Tiilen sintraantuminen (Siikanen 2001)

Tiilen lujuusluokat voidaan määrittellä puristuslujuuden perusteella. Taulukkoon 6 on kerätty esimerkkejä kansallisen lujuusluokan ja ominaislujuuden vastaavuuksista. Poltetun tiilen lujuusluokka sijoittuu yleensä korkeimpiin luokkiin. Tiilen taivutuslujuus on yleensä 20 - 25 % puristuslujuudesta. (Siikanen 2001.)

TAULUKKO 6. Esimerkki poltetun HD-tiilen lujuusluokista (RT RakMK-21353. 2007)

| Muurauskappaleen lujuusluokka | Ominaislujuus [N/mm ²] |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 5 | 5...10 |
| 10 | 10....15 |
| 40 | 40...45 |
| 55 | Yli 55 |

Tiililaatan taivutusvetolujuudelle ei ole olemassa omaa luokitusta tai standardia, joten opinnäytetyössä sovellettiin taivutusvetolujuuteen muurauslaastien testausmenetelmästandardia SFS-EN 1015-11 +A1.

4.5.1 Lähtötiedot

Lähtötiedot lujouden selvittämiseen saatiin teknisen johtajan haastattelun sekä saatavilla olevien testiaineistojen tutkimisen perustella. Saatujen tietojen perusteella tultiin siihen tulokseen, että tiililaattaelementissä puristuslujuuden lisäksi tärkeä ominaisuus on myös taivutusvetolujuus. Puristuslujuudelle on olemassa kansallinen luokitus, mutta luokitusta ei voida käyttää koko Euroopan kattavaan tiililaatta spesifikaatioon.

Standardin SFS-EN 771-1 mukaan tiilen valmistajan täytyy ilmoittaa puristuslujuuden keskiarvo silloin, kun tiililaattoja käytetään rakenteissa, joissa on rakenteellisia vaatimuksia. Stofixin tiililaattaelementit eivät ole kantavia rakenteita, mutta valmistusprosessin vuoksi tiililaattojen puristuslujuuden täytyy olla riittävä, jotta tiililaatat kestävät siihen kohdistuvat rasitukset. (SFS-EN 771-1. 2011; Juola 2015.)

Puristus- ja taivutusvetolujuus ovat tärkeitä, koska tiililaatan täytyy kestää Stofixin tuotannossa leikkauksen, tuotannon, tiililaattaelementin pakkauksen, kuljetuksen ja asennuksen. Lisäksi tiililaattaelementin täytyy kestää ulkoeristyksessä useita kymmeniä vuosia. (Juola 2015.)

4.5.2 Testausmenettely ja testaus

Haastatteluiden perusteella tultiin siihen tulokseen, että puristuslujuuden testausta ei tarvitse tehdä tässä opinnäytetyössä. Mikäli halutaan lisätutkimuksia, puristuslujuuden yksityiskohtainen testausmenettely suoritetaan standardin SFS EN 772-1 mukaisesti. Tiililaatan puristuslujuuden testausperiaate on seuraava:

- Tasoitetaan pinnat.
- Asetetaan tiililaatta testauskoneen kuormituslevylle.
- Lisätään kuormaa, kunnes tiililaatta murtuu. (SFS EN-772-1. 2012.)

Taivutusvetolujuuden testauksen tarkoitus oli selvittää, miten yksittäisen tiililaatan taivutusvetolujuus voidaan testata. Lisäksi selvitettiin, kuinka suuri on taivutusvetolujuus tiilillä, joita käytetään Stofixin tuotannossa. Tuloksia vertailtiin ja

samalla etsittiin korrelaatiota muihin tiililaatan ominaisuuksiin, kuten vedenal-
kuimunopeuteen ja bruttokuivatiheyteen.

Yksittäisen tiililaatan taivutuslujuuden testaukseen ei ole olemassa standardia,
joten tutkimuksessa sovellettiin laastin taivutusvetolujuuden testausmenetel-
mää. Testauksen periaate nähdään kuvasta 16, jossa tiililaatta asetetaan tukien
päälle ja sitä kuormitetaan niin kauan, kunnes tiililaatta murtuu. Taivutusvetolu-
juus lasketaan kaavalla 4 (SFS-EN 1015-11 +A1. 2007).

$$f = 1,5 * \frac{F * l}{b * d^2} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

KAAVA 4

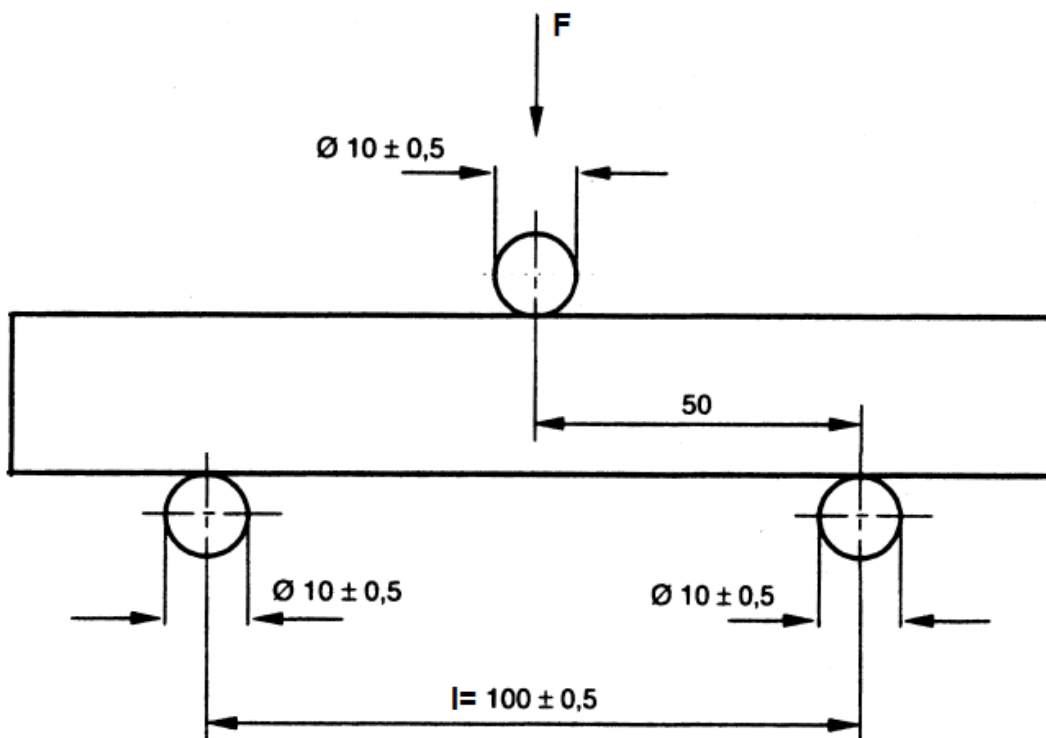
f = taivutusvetoluus

F = voima

l = tukien välinen etäisyys

b = leveys

d = paksuus



KUVA 16. Periaatekuva taivutuslujuuden testauksesta (SFS-EN 1015-11 +A1. 2007)

Taivutusvetolujuustesteihin valittiin Stofixin aikaisempien kokemusten ja testaustulosten perusteella neljän eri valmistajan tiililaattoja siten, että ne kattavat lujuuden ääripäät. Tiililaattojen taivutusvetolujuustestaus suoritettiin OAMK:n laboratoriossa. Testauksessa sovellettiin standardia SFS-EN 1015-11 + A1, (muurauslaastien testausmenetelmiä, kovettuneen laastin taivutus- ja puristuslujuuden määrittäminen). Testaus suoritettiin Easy-M-vetolaitteella (kuva 17) ja yksityiskohtainen testauksen kulku oli seuraava:

- Valittiin 6 kappaletta tiililaattoja neljältä eri valmistajalta.
- Sahattiin pitkät tiililaatat 40 mm lyhemmäksi, jotta ne sopivat testilaitteeseen.
- Tiililaatta asetettiin julkisivupuoli ylöspäin tukien päälle, joiden välinen etäisyys oli 100 mm.
- Vetolaitteen kuormitusnopeudeksi asetettiin 20 N/s.
- Vetolaite veti tiililaattaa tukea vasten, kunnes tiililaatta murtui (tuen ja tiililaatan välissä oli 4 mm:n paksuinen kumisuikale tasoittamassa tiililaatan pinnan epätasaisuuksia).
- Tulokset kirjattiin ja taivutuslujuus laskettiin kaavalla 4.



KUVA 17. Taivutusvetolujuuden testausjärjestelmä

4.5.3 Raja-arvojen määrittely

Puristuslujuuden raja-arvon määrittäminen tehtiin tiililaattavalmistajien spesifikaatioiden ja Stofixin aikaisempien kokemusten perusteella. Raja-arvo on määritetty liitteeseen 6.

Haasteita taivutusvetolujuuden laskentaan toivat karkeiden tiilien poikkipinta-alojen määritykset, koska tiilen paksuus vaihteli mittauskohdasta riippuen. Taivutusvetolujuuden arvot on esitetty liitteessä 5. Tuloksista nähdään, että kolmen valmistajan keskiarvon tulokset ovat välillä 5,8 - 8,5 N/mm². Yhden valmistajan taivutuslujuus poikkeaa huomattavasti, sillä keskiarvo on 15,6 N/mm². Saman

valmistajan vedenalkuimunopeus (luku 4.2.2) oli huomattavasti pienempi ja bruttokuivatiheys suurempi kuin muilla tiililaatoilla (luku 4.4.2).

Kuvassa 18 alhaalla on suurimman taivutusvetolujuuden omaava tiili ja ylhäällä pienimmän. Silmämääräisesti tarkasteltuna taivutusvetolujuus on suurempi tiilillä, missä rakenne on tiheämpää ja tasaisempaa. Alhaisimman vetolujuuden omaavan tiililaatta oli huokoisempaa ja sisällä oli mm. raekooltaan suurempi kivi, kuten kuvan ylemmässä tiilessä nähdään.



KUVA 18. Tiilen rakenteet taivutusvetolujuus testin jälkeen

Keskihajonta vaihteli tiililaatta erästä riippuen 0,5 - 1,0 N/mm²:n välillä. Tiililaattojen poikkipinta-ala on pieni, joten pinta-alan määrittämisessä tapahtuva pienikin heitto aiheuttaa hajontaa. Tästä huolimatta oli nähtävissä, että kahdella pienimmillä bruttokuivatiheyden omaavilla tiililaatoilla taivutuslujuuden vaihtelu oli suurempaa kuin korkeammilla bruttokuivatiheyden tiililaatoilla. Näistä epätarkkuustekijöistä huolimatta tiililaatan taivutusvetolujuudelle voitiin määrittellä alaraja

(liite 6). Tutkimusten pohjalta myös suositeltiin, että tiililaattojen taivutusvetolu-juutta seurataan ja mittaukset suorittaa joko Stofix tai tiililaattavalmistaja.

4.6 Pitkäaikaiskestävyys

Pitkäaikaiskestävyydellä tarkoitetaan yleensä pakkasen- eli jäädytys-sulatuskes-tävyyttä. Pakkaskestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä suojahuokosia. Suojahuokosten lisääminen tapahtuu sekoittamalla massaan sahanpurua, jotka palavat polton aikana pois ja jättävät tilalle suojahuokosia. Jäätyessään vesi laajenee, jolloin tiililaatassa olevat huokokset ottavat veden laajentumisen vas-taan ja tiililaatta ei halkea. (Siikanen 2001.)

Pitkäaikaiskestävyydelle ei ole olemassa vielä yhtenäistä eurooppalaista tes-tausmenetelmää, vaan kestävyys ja sen vaatimukset täytyy arvioida ja ilmoittaa tiililaattojen käyttöpaikalla olevien säädösten mukaisesti. Kansallisen standardin SFS 5513 testausperiaate on, että tiililaatta jäädytetään ja sulatetaan 25 kertaa peräkkäin ja arvioidaan silmämääräisesti, kestäkö tiililaatta kokeen. (SFS-EN 771-1. 2011; SFS 5513. 2009.)

Tiilen jäädytys-sulatuskestävyysluokka kertoo tiilen soveltuvuuden erilaisiin ym-päristöolosuhteisiin. Taulukoon 7 on kerätty ympäristön vaativuutta vastaava luokitus. Esimerkiksi kohdemaan säädösten mukaisessa vaativassa ympäris-tössä tulee käyttää F2-luokan tiililaatta. (SFS-EN 771-1. 2011.)

TAULUKKO 7. HD-tiilen jäädytys-sulatuskestävyysluokat ja ympäristöolosuhteet (SFS-EN 771-1. 2011)

| | |
|----|-----------------------|
| F0 | Passiivinen ympäristö |
| F1 | Normaali ympäristö |
| F2 | Vaativa ympäristö |

4.6.1 Testausmenettely

Haastatteluiden ja standardien sekä valmistajien antamien tietojen (liite 2) perusteella tultiin siihen tulokseen, että jäädytys-sulatuskestävyydestä ei ollut tarpeellista tehdä laboratoriossa tässä opinnäytetyössä. Mikäli jatkossa halutaan tutkia tai testata enemmän pitkäaikaiskestävyyttä, testit tulee aina suorittaa kohdemaan mukaisella standardilla. Yksityiskohtaiset ohjeet testausmenettelyyn löytyvät standardeista

- SFS 5513 Tiililaattojen testaus, pitkäaikaiskestävyys suomalaisiin olosuhteisiin
- SFS-EN 771-1 Poltetut tiilet, pitkäaikaiskestävyys.

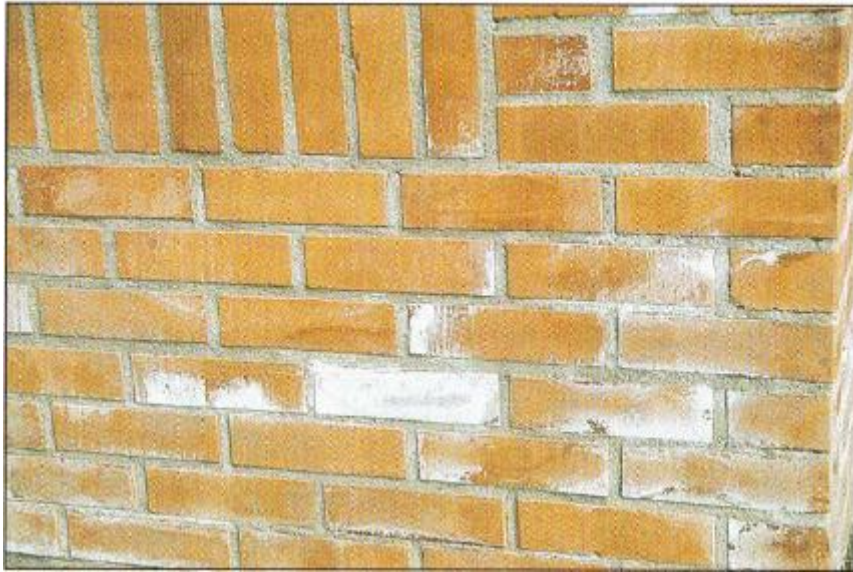
Tiililaattavalmistajien spesifikaatiota tutkiessa huomattiin, että osa tiililaattavalmistajista tekee pitkäaikaiskestävyydestä SFS-EN 771 mukaisesti ja luokittelee ne luokkiin F0, F1 tai F2. Osa puolestaan käyttää kansallista SFS 5513:n menetelmää 1 tai 2, jolloin tiililaatan spesifikaatiossa ilmoitetaan, läpäisikö tiililaatta testin vai ei, mutta F-luokitusta ei silloin välttämättä ilmoiteta.

4.6.2 Raja-arvojen määrittely

Raja-arvojen määrittely voitiin tehdä standardien ja valmistajien tiililaattaspesifikaatioiden avulla (liite 2). Haasteita pitkäaikaiskestävyyden luokitukseen toi se, että Euroopan laajuista testausstandardia ei vielä ole olemassa ja kohdemaissa ovat erilaiset olosuhteet ja testausmenetelmät. Tutkimusten perusteella tultiin siihen tulokseen, että ulkoverhoukset ovat sääälle alttiita ja tiililaattaelementissä käytettävien tiililaattojen tulee täyttää kunkin kohdemaan vaativimmat F2-ympäristön vaatimukset (liite 6).

4.7 Liukoinen suola

Liukoisella suolalla tarkoitetaan suoloja, jotka liukenevat tiililaatasta rakenteen sisältämään kosteuteen. Kuvassa 19 nähdään tilanne, jossa suoloja on kulkeutunut kosteuden mukana tiililaatan pintaan ja kosteuden haihduttua pinnalle jää valkoisia suoloja eli härmettä. (Siikanen 2001.)



KUVA 19. Tiilen pinnassa näkyvää suolojen erottumista (Siikanen 2001)

Liiallisella liukoisen suolojen määrällä on ennen kaikkea vaikutusta ulkonäköön ja muuraukspaleen sekä laastin kestävyys. Tämän vuoksi liukoisten suolojen määrälle on standardoitu ylärajat (taulukko 8). Testattavia liukoisia suoloja ovat natrium, kalium ja magnesium. Näistä käytetään myös nimitystä vesiliukoiset sulfaatit ja niiden pitoisuuksien ylärajat on luokiteltu kolmeen luokkaan S0, S1 ja S2. Luokalla S0 ei ole vaatimusta suolojen suhteen ja S2 on vaativin ja vähiten suoloja sisältävä luokka. (RT 35-11136. 2013; SFS-EN 771-1. 2011.)

TAULUKKO 8. Liukoisten suolojen ylärajat ja luokat (SFS-EN 771-1. 2011)

| Luokka | Kokonaismäärän yläraja painoprosenteina | |
|--------|---|------------------|
| | Na ⁺ + K ⁺ | Mg ²⁺ |
| S0 | Ei vaatimusta | Ei vaatimusta |
| S1 | 0,17 | 0,08 |
| S2 | 0,06 | 0,03 |

Tiililaatan käyttökohde ja käytetty laasti vaikuttavat liukoisten suolojen vaatimuksiin. Mikäli tiililaatta tulee kohteeseen, joka on säälle altis, ja käytössä on

tavallista portlandsementtiä, tulee tiililaatan kuulua S2-luokkaan. Sulfaatin kestäväällä sementillä ja rakenteen suojauksella voidaan luokkaa pienentää. Aina kun tiililaatta tulee säälle alttiiseen kohteeseen, valmistajan tulee ilmoittaa maksimi suolamäärä taulukon 8 luokituksen mukaisesti. (SFS-EN 771-1. 2011.)

4.7.1 Testausmenettely

Haastatteluiden ja standardien tutkimisen perusteella tultiin siihen tulokseen, että liukoisten suolojen laboratoriotestausta ei tarvitse tehdä tässä opinnäytetyössä. Liukoista suoloista oli saatavilla tarpeeksi kattavaa tietoa valmistajien spesifikaatioissa ja standardeissa, jotta raja-arvot voitiin määrittellä ilman omaa testausta.

Liukoisten suolojen testaus määritellään standardissa SFS-EN 772-5. Testin periaate on, että poltetusta tiililaatasta murskataan näyte, joka uutetaan. Näyteestä määritetään vapautuvien magnesium-, natrium- ja kaliumioninen määrä. Lisäksi on olemassa instrumenttitekniikka liukoisten suolojen testaukseen sekä vaihtoehtoinen reagenssimenetelmä magnesiumpitoisuuden määrittämiseen. (SFS-EN 772-5. 2001.)

4.7.2 Raja-arvojen määrittely

Tutkimalla tiililaatan valmistajien spesifikaatioita ja testituloksia huomattiin, että suurin osa valmistajista ilmoittaa liukoisten suolojen luokan. Kaikki, jotka ovat ilmoittaneet suolojen luokan, täyttivät S2-luokan vaatimukset (liite 2). Liukoisten suolojen luokkavaatimus määriteltiin käyttökohteen ja käytettävien laastien perusteella (liite 6).

4.8 Palokäyttäytyminen

Poltetun tiililaatan lämmönkestävyys on noin +1 000 °C, joten se kestävä palotilanteessa hyvin. Tämän lisäksi tiili säilyttää lujutensa melkein sulamispisteeseen asti. Tiililaataelementissä on kuitenkin saumoja, joten sauman tiiveydellä on myös vaikutus rakenteen paloteknisiin ominaisuuksiin. (RT 35-11136. 2013.)

Mikäli tiililaatat tulevat kohteisiin, joissa on paloteknisiä vaatimuksia, valmistajan tulee ilmoittaa tiililaatalle palotekninen luokka. Muurauskappaleet, jotka eivät

sisällä homogeenisesti orgaanisia aineita yli 1,0 paino- tai tilavuusprosenttia, voidaan merkitä paloluokkaan A1 ilman testausta. (SFS-EN 771-1. 2011.)

Tutkimuksissa tultiin siihen tulokseen, että tiililaatat eivät yleensä sisällä orgaanisia aineita. Tällöin ne ovat palamattomia ja kuuluvat palotekniseen luokkaan A1. Stofixin tiililaattaelementtien käyttökohteilla on yleensä paloteknisiä vaatimuksia, joten palotekninen vaatimusluokkaan voitiin määritellä (liite 6). Tiililaattavalmistajien tulee ilmoittaa palotekninen luokka, jotka toimitetaan Stofixille. Kuten liitteestä 2 nähdään, lähes kaikkien valmistajien spesifikaatiosta löytyy teknisen paloluokan merkintä ja ne kuuluvat A1-luokkaan.

5 YHTEENVETO

Tiililaattoja käytetään julkisivuverhouksen tiililaattaelementissä. Stofix on yritys, joka valmistaa ja asentaa tiililaattaelementtejä. Stofixin toiminta on kansainvälistä, joten tiililaattoja tulee eri puolilta maailmaa ja tiililaattojen laatuaso vaihtelee. Tiililaattaelementissä käytettävien tiililaattojen laatuvaatimukset poikkeavat normaalitiilistä ja tiililaatoista, joten olemassa olevia standardeja ei ole voitu käyttää sellaisenaan. Kyseisille tiililaatoille ei ollut olemassa yhtenäistä ja selkeää spesifikaatiota.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tiililaatalle tärkeät ominaisuudet, jotka vaikuttavat Stofixin tiililaattaelementin tuotantoon, kuljetukseen, asennukseen ja loppukäyttäjälle. Lopputavoitteena oli laatia suomen- ja englanninkielinen spesifikaatio, jota Stofix voi käyttää toimiessaan eri valmistajien ja asiakkaiden kanssa. Spesifikaation tuli sisältää tiililaatan ominaisuuksien raja-arvot ja mittaustavat.

Lähtökohta opinnäytetyöhön oli haastava, koska selkeää tietoa vaikuttavista ominaisuuksista ei ollut saatavilla ja tästä johtuen tutkimuksen todellista laajuuttakaan ei tiedetty. Toisaalta tämä toi vapauksia tutkimusten suorittamiseen, mikä teki tutkimuksen tekemisen mielenkiintoiseksi. Ominaisuudet ja niiden raja-arvot selvitettiin haastattelemalla, mallintamalla, testaamalla sekä tutkimalla standardeja, olemassa olevia testituloksia ja spesifikaatioita. Lopputuloksena saatiin spesifikaatio, joka sisältää raja-arvot ja mittaustavat seuraaville ominaisuuksille:

- mitat ja mittapoikkeamat
- vedenalkuimunopeus
- vedenimukyky
- bruttokuivatiheys
- tiililaatan lujuus
- pitkäaikaiskestävyys
- suolapitoisuus
- paloluokitus.

Ominaisuuksia, joita täytyi määritellä, oli kuitenkin sen verran monta, että kaikkia ominaisuuksia ei katsottu tarpeelliseksi testata laboratorioissa. Osa raja-arvoista voitiin määritellä standardien jo olemassa olevien tulosten analysointien perusteella. Tarkoituksena ei ollut tehdä syvällistä tutkintaa kustakin ominaisuudesta vaan tavoitteena oli määritellä raja-arvot tiililaatoille, jotta niitä voidaan käyttää tuotannossa ilman ongelmia. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajattiin niiden syiden analysointi, miksi joidenkin tiililaattojen ominaisuudet vaihtelevat niin paljon, että kaikkia tiililaattoja ei voida käyttää tiililaattaelementissä. Tämä vaatisi perehtymistä kyseisten tiililaattojen valmistusprosessiin ja tutkimuksia tiilitehtaan tuotekehityksessä.

Täysin uusia testimenetelmiä tiililaatoille määriteltiin taivutuslujuudesta sekä mittapoikkeamien lisätestejä. Taivutusvetolujuuden testauksessa olleet tiililaatat olisivat olleet tarpeeksi kestäviä tiililaattaelementtiin. Tulosten perusteella suositellaan, että jatkotutkimuksia tekee tiililaatan valmistaja, koska tuotantoon on tullut niin heikkoja tiililaattoja, että ne eivät kestä normaalia tuotantoprosessia. Tästä johtuen spesifikaatioon lisättiin tiililaatan taivutuslujuudelle testi. Kyseinen testi on standardisoitu laastin taivutuslujuudelle, joten sitä soveltamalla voidaan testata myös tiililaattoja. Mittapoikkeamat erityisesti kulmatiililaatoissa aiheuttavat haasteita tuotantoon ja asennukseen. Tämän vuoksi myös mittapoikkeamille määriteltiin uusia testejä jo olemassa olevien standardisoitujen testien lisäksi.

Työssä tutkittiin korrelaatiota eri ominaisuuksien välillä. Tutkimuksessa tultiin siihen tulokseen, että jokaiselle yllämainitulle ominaisuudelle täytyy antaa oma raja-arvo, koska niiden välillä ei ollut tarpeeksi selvää korrelaatiota.

Raja-arvojen määrittämisessä täytyi myös huomioida kustannustehokkuus ja tiililaattavalmistajan näkökulma. Raja-arvot täytyi asettaa sellaisiksi, että tiililaattavalmistaja pystyy edelleen tuottamaan niitä järkevällä tavalla, mutta tiililaattojen täytyy olla kuitenkin niin tasalaatuisia, etteivät ne tuota ongelmia Stofixillä. Spesifikaation avulla Stofix pystyy selkeästi kertomaan, millaisia tiililaattoja halutaan tuotantoon, ja tämän avulla myös tiililaattavalmistaja voi seurata omaa tuotantoa sekä varmistaa, että toimittaa tuotetta, joka täyttää sille asetetut laatuvaatimukset.

Spesifikaatio suositellaan otettavaksi käyttöön välittömästi, mutta sen sisältämistä raja-arvoista olisi hyvä keskustella kunkin tiililaattavalmistajan kanssa. Tämän lisäksi Stofixin tuotantoon tuleville tiililaatoille suositellaan tehtäväksi spesifikaation mukaisia testejä ja vertaamaan tuloksia raja-arvoihin. Tällä tavalla raja-arvoja voidaan tarvittaessa tarkistaa, jotta laadukasta tiililaattaelementti-tuotantoa voidaan jatkaa.

LÄHTEET

Juola, Antti 2015. Tekninen johtaja, Stofix Oy. Haastattelu 27.3.2015.

RT 35-11136. 2013. Poltetut tiilet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 38096. 2011. Tiileri tarviketieto. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT RakMK-21353. 2007. Tiilirakenteet. Ohjeet 2007. B8 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.

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

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

SFS-EN 771-1. 2011. Muurauskappaleiden spesifikaatiot. Osa 1: Poltetut tiilet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 772-1. 2012. Muurauskappaleiden testimenetelmiä. Osa 1: Puristuslujuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 772-5. 2001. Muurauskappaleiden testimenetelmiä. Osa 5: Poltettujen tiilien liukoisen suolamäärän määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

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

SFS-EN 772-13. 2000. Muurauskappaleiden testimenetelmiä. Osa 13: Muurauskappaleiden netto- ja bruttokuivatiheyden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 772-16. 2011. Muurauskappaleiden testimenetelmiä. Osa 16: Mittojen määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 772-20. 2000. Muurauskappaleiden testimenetelmiä. Osa 20: Betoni-harkkojen sekä keinokivi- ja luonnonkivikappaleiden pinnan tasaisuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 772-21. 2012. Methods of test for masonry units. Part 21: Determination of water absorption of clay and calcium silicate masonry units by cold water absorption. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1015-11 +A1. 2006. Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 11: Kovetuneen laastin taivutus- ja puristuslujuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

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

Stofix. Saatavissa: <http://www.stonel.fi/fi/>. Hakupäivä 18.5.2015.

Tiilen valmistus. 2007. Rakentaja.fi. Saatavissa: http://www.rakentaja.fi/artikkelit/1663/tiilen_valmistus.htm. Hakupäivä 24.4.2015.

LIITTEET

Liite 1 Yhteistyösopimus

Liite 2 Yhteenveto valmistajan teknisistä arvoista

Liite 3 Mallinnukset mittapoikkeamista (3 kpl)

Liite 4 Tiililaattojen testaustulokset (4 kpl)

Liite 5 Tiililaattojen taivutusvetolujuustulokset (4 kpl)

Liite 6 Tiililaatan spesifikaatio (ei julkinen)

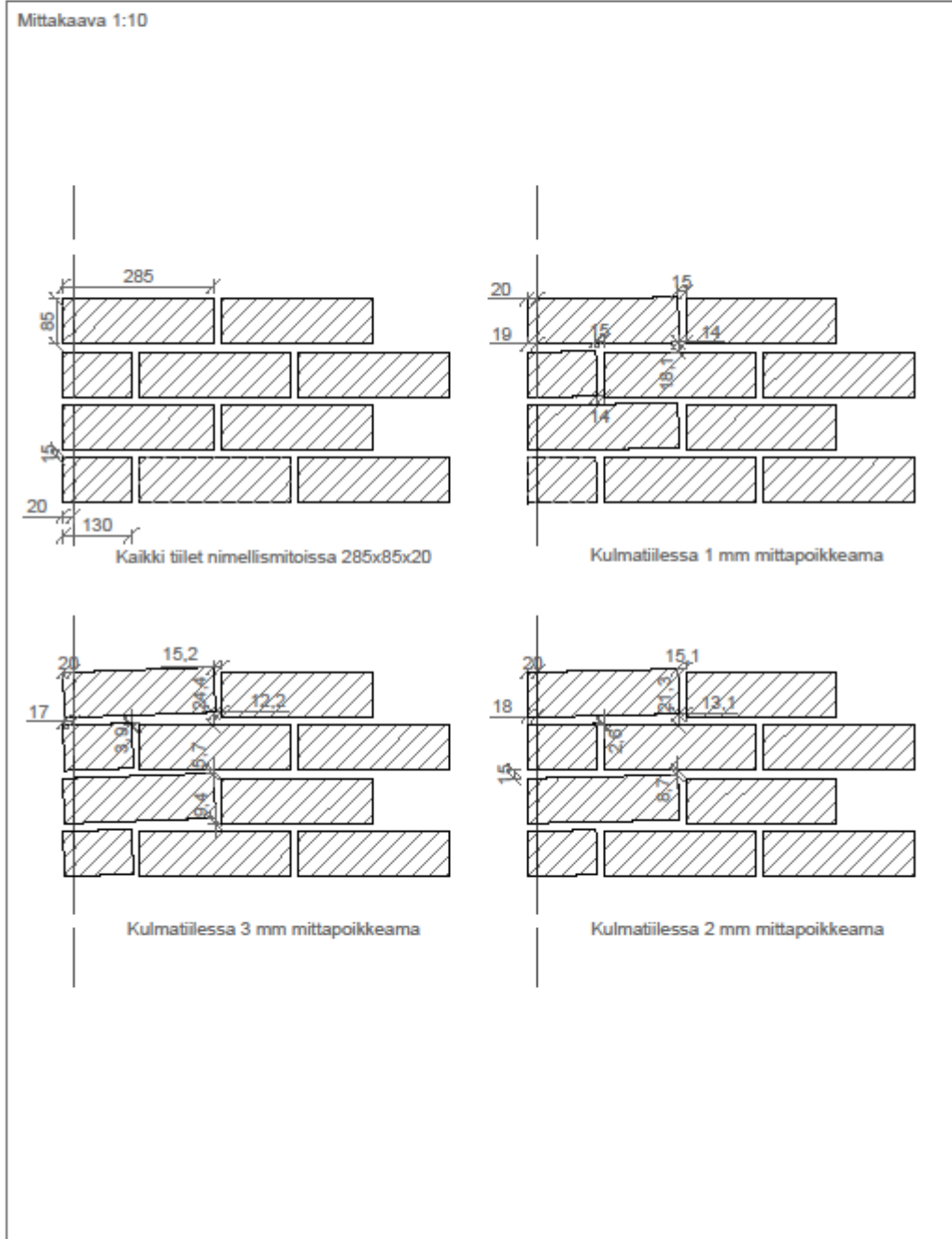


OPINNÄYTETYÖN YHTEISTYÖSOPIMUS

| I Toimijat | | |
|---|--|---|
| Tekijä (Opiskelija) | Etu nimi | Sukunimi |
| | Eerik | Junnikkala |
| | Osoite | Sähköpostiosoite |
| | Puhelinnumero | Koulutusohjelma |
| | | Rakennustekniikan Insinööri |
| Toimeksi- antaja | Organisaation nimi | |
| | Stonel OY | |
| | Työn ohjaaja/yhteyshenkilö | Osoite |
| | Antti Juola | Ratamestarintie 2 FIN - 86300 Oulainen |
| | Puhelin | Sähköposti |
| Oulun amat- tikorkeakoulu | Yksikön nimi | |
| | Tekniikan yksikkö | |
| | Ohjaava opettaja | Osoite |
| | Pekka Nykyri | Kotkantie 1, 90250 OULU |
| | Puhelin | Sähköposti |
| Opinnäytetyön ohjaus ja vastuu | Vastuu opinnäytetyön tekemisestä ja tuloksista on Tekijällä. Ammattikorkeakoulun vastuu rajoittuu opinnäytetyön tavanomaiseen ohjaukseen. | |
| | Toimeksiantaja sitoutuu antamaan Tekijän käyttöön kaikki opinnäytetyön tekemisessä tarvittavat julkiset tiedot ja aineistot sekä ohjaamaan opinnäytetyötä toimeksiantajajärjestelmän näkökulmasta. Jos opinnäytetyön tekeminen edellyttää salassa pidettävien tietojen tarkastelemista, laaditaan siitä tarvittaessa erillinen salassapitosopimus. | |
| Tulosten julkistaminen ja luottamuk- sellisuus | Opinnäytetyö on kokonaisuudessaan julkinen. Mikäli opinnäytetyö sisältää liikesalaisuuksia tai muita julkisuustalassa salassa pidettäviksi määrättyjä tietoja, on opinnäytetyön raportti laadittava niin, että tietojen luottamuksellisuus säilyy. Tarvittaessa salassa pidettävät tiedot on jätettävä työn tausta-aineistoon. Opinnäytetyön raportoidaan ammattikorkeakoulujen julkaisuarkisto Theseukseen (http://www.theseus.fi) tai Oulun ammattikorkeakoulun Intraan. Opinnäytetyötoimijat päättävät raportointitavan opinnäytetyön valmistuttua. | |
| | Tekijä, Toimeksiantaja ja Ohjaava opettaja sitoutuvat pitämään salassa kaikki opinnäytetyön tekemisessä ja sitä edeltävissä tai sen jälkeisissä neuvotteluissa esiin tulevat luottamukselliset tiedot ja asiakirjat sekä pidättäytymään käyttämästä hyväkseen toisen osapuolen ilmaisemia luottamuksellisia tietoja ilman erillistä lupaa. | |
| II Suunnitelma | | |
| Opinnäytetyö | Aihe/työnimi | |
| | Tiilen laatutason määrittely | |
| | Kehittämis-/tutkimustehtävän tavoite ja tulos | |
| | Muodostetaan hyväksyttävän tiilen spesifikaatio ja asetetaan ominaisuuksille hyväksyttävät raja-arvot. Tavoitteena selkeä tiilispekssi. | |
| | Keskeiset menetelmät | |
| | Haastattelu (myynti, tuotanto, asennus), alkuaineistoa tutkimalla, mallikappaleita tarkastelemalla | |

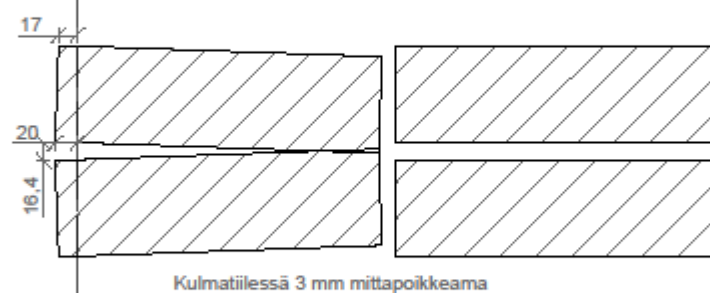
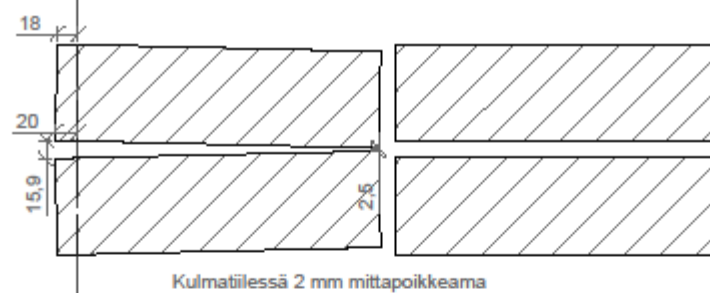
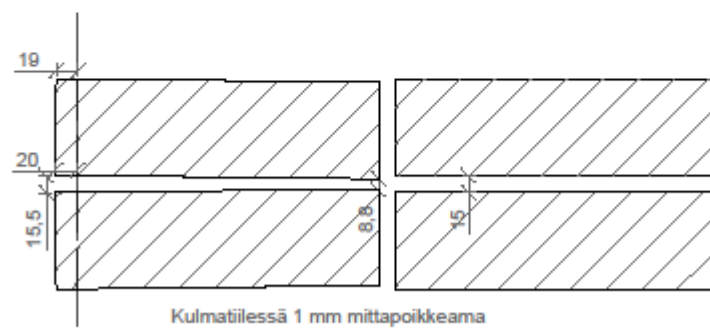
| VALMISTAJA | Vedenimukyky max [%] | Vedealkuimunopeus [kg/(m ² ·xmin)] | Bruttokuiva-tiheys [kg / m ³] | Liukoisten suojojen luokka | Pakkasen kestävyysluokka | Palo-luokka | |
|------------|----------------------|---|---|----------------------------|--------------------------|-------------|----|
| 1 | 14 | 1.5 – 4.0 | 1780 | D1 | S2 | F2 | A1 |
| 2 | 14 | 1.5 – 4.0 | 1780 | D1 | S2 | F2 | A1 |
| 3 | 6 | | 2000 | | S2 | F2 | A1 |
| 4 | 6 | | 2150 | | S2 | | A1 |
| 5 | 9 | < 1,4 | 1556 | D1 | | F2 | A1 |
| 6 | 5,7 | 1,0 | 2110 | | | SFS 5513 ok | |
| 7 | 8 | 1,9 | 1561 | D1 | | F2 | A1 |
| 8 | 17 | | 1530 | D1 | S2 | F2 | A1 |
| 9 | 10 | | 1730 | D1 | S2 | F2 | A1 |
| 10 | 15 | | | | S2 | F2 | |
| 11 | 9,4 | 1,2 | 1970 | | | SFS 5513 ok | |
| 12 | 7,5 | 0,7 | 1920 | | | SFS 5513 ok | |
| 13 | 11,9 | 0,9 | 1710 | | | SFS 5513 ok | |
| 14 | 11,9 | 2,0 | 1810 | | | SFS 5513 ok | |
| 15 | 9,5 | 1,6 | 1900 | | | SFS 5513 ok | |
| 16 | 18,5 | 2,5 | 1510 | | | SFS 5513 ok | |
| 17 | 19,1 | 2,9 | 1660 | | | SFS 5513 ok | |
| 18 | 19 | 0-3,3 | 1600 | | S2 | F2 | A1 |
| 19 | 25 | 4,5 | 1750 | D1 | | F2 | |
| 20 | 10 | 1,5 | 2150 | D1 | | F2 | |
| maksimi | 25 | 4,5 | 2150 | | | | |
| minimi | 5,7 | 0,7 | 1510 | | | | |
| keskiarvo | 12,3 | 1,9 | 1799 | | | | |

| | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| Rakennuskohde | STOFIX | Tiililaatan mittapoikkeamat |
| Suunnittelija | Eerik Junnikkala OAMK | 2.4.2015 Oulu |

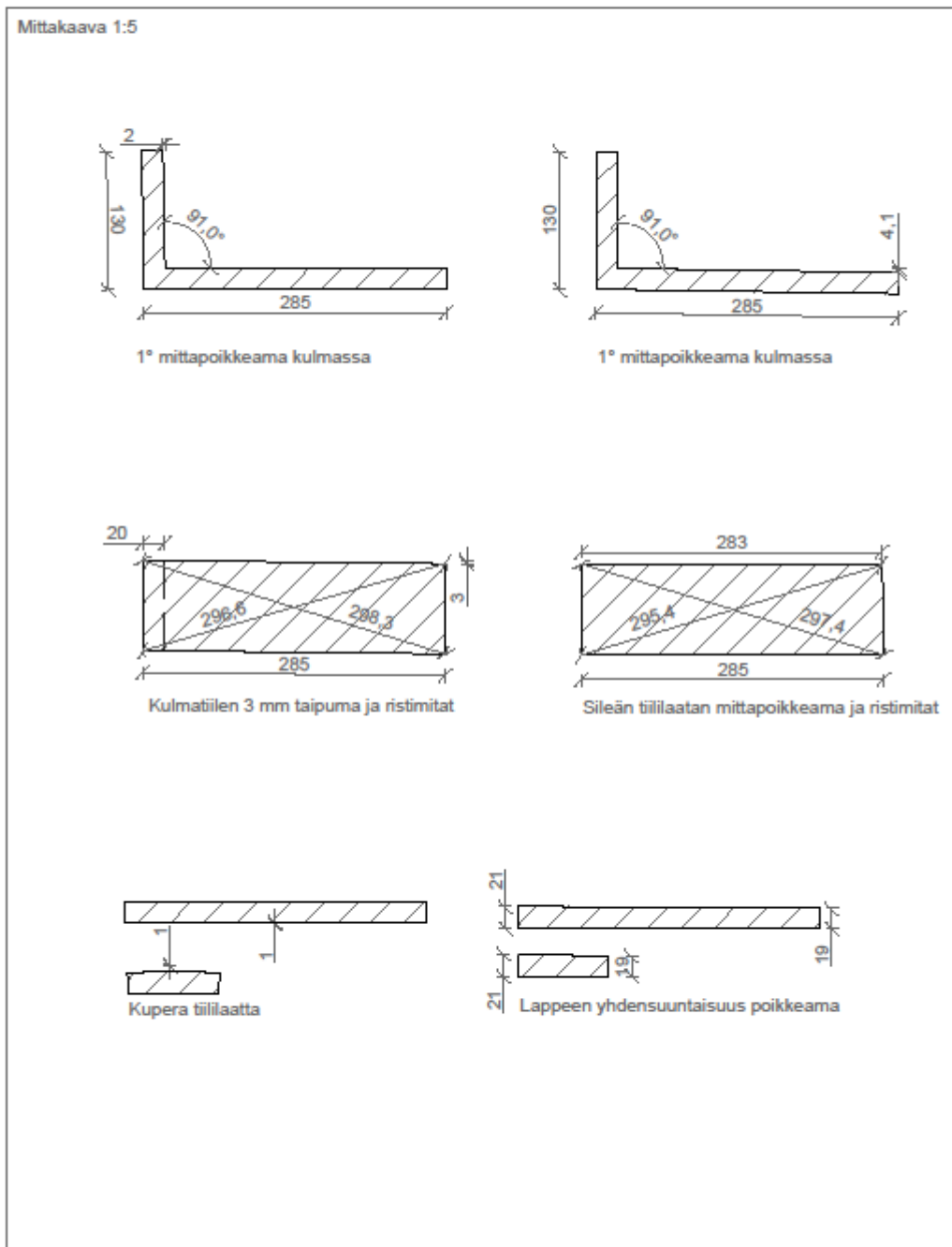


| | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| Rakennuskohde | STOFIX | Tiililaatan mittapoikkeamat |
| Suunnittelija | Eerik Junnikkala OAMK | 2.4.2015 |

Mittakaava 1:5



| | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| Rakennuskohde | STOFIX | Tiililaatan mittapoikkeamat |
| Suunnittelija | Eerik Junnikkala OAMK | 2.4.2015 |





| | | | |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|
| POLTETUT TIILILAATAT | SFS 5514 | 30.3.2009 | Vahvistettu |
| TIILILAATTOJEN TESTAUS | SFS 5513 | 30.3.2009 | Vahvistettu |
| VEDENALKUIMUNOPEUS | SFS-EN 772-11 | 23.1.2012 | Vahvistettu |
| MITTOJEN MÄÄRITTÄMINEN | SFS-EN 772-16 | 23.1.2012 | Vahvistettu |
| BRUTTOKUIVATIHEYS | SFS-EN 772-13 | 27.11.2000 | Vahvistettu |
| Eerik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 21.4. & 22.4.2015 | |
| POLTETTU TIILILAATTA | | Nimellismitat | 285x85x20 |

| Testi kpl | Pituus [mm] | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | Tilavuus [mm ³] | Punnitus m _{dry} [g] | Punnitus m _{u0} [g] | Upotusaika [s] | Bruttokuiva- tiheys [kg / m ³] | Vedealkuimu- nopeus [kg/(m ² xmin)] |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|
| T1 | 283,0 | 84,5 | 19,4 | 23914 | 463922 | 910,1 | 933,6 | 60 | 1960 | 1,0 |
| T2 | 282,7 | 84,4 | 19,4 | 23860 | 462882 | 910,7 | 934,5 | 60 | 1970 | 1,0 |
| T3 | 282,6 | 84,2 | 19,3 | 23795 | 459242 | 906,3 | 934,4 | 60 | 1970 | 1,2 |
| T4 | 282,7 | 84,1 | 18,9 | 23775 | 449349 | 889,6 | 912,7 | 60 | 1980 | 1,0 |
| T5 | 282,7 | 84,2 | 19,0 | 23803 | 452263 | 890,6 | 914,1 | 60 | 1970 | 1,0 |
| T6 | 282,4 | 84,2 | 19,3 | 23778 | 458917 | 903,2 | 927,6 | 60 | 1970 | 1,0 |
| T7 | 283,3 | 84,6 | 19,0 | 23967 | 455376 | 890,3 | 914,7 | 60 | 1960 | 1,0 |
| T8 | 283,0 | 84,5 | 19,0 | 23914 | 454357 | 891,0 | 918,3 | 60 | 1960 | 1,1 |
| T9 | 282,9 | 84,3 | 19,0 | 23848 | 453121 | 891,6 | 917,3 | 60 | 1970 | 1,1 |
| T10 | 282,8 | 84,3 | 19,3 | 23840 | 460113 | 906,8 | 932,2 | 60 | 1970 | 1,1 |
| Ka | 283 | 84 | 19 | | | | | KESKIARVO | 1970 | 1,0 |
| min | 282 | 84 | 19 | | | | | | | |
| max | 283 | 85 | 19 | | | | | | | |

VEDENALKUIMUNOPEUS

Vedenalkuimunopeus lasketaan seuraavan yhtälön avulla jokaisesta poltetusta tiilestä pyöristettynä lähimpään 0,1 kg/(m² × min):aan:

$$c_{w,i} = \frac{m_{su,s} - m_{dry,s}}{A_s \cdot t} \times 10^3 \left[\text{kg} / (\text{m}^2 \times \text{min}) \right]$$

BRUTTOKUIVATIHEYS

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Jokaisen kokonaisen muurauskappaleen bruttokuivatiheys ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 5 kg/m³:iin, kun tiheys on korkeintaan 1000 kg/m³, ja lähimpään 10 kg/m³:iin, kun tiheys on suurempi kuin 1000 kg/m³.



| | | | |
|-------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|
| POLTETUT TIILILAATAT | SFS 5514 | 30.3.2009 | Vahvistettu |
| TIILILAATTOJEN TESTAUS | SFS 5513 | 30.3.2009 | Vahvistettu |
| VEDENALKUIMUNOPEUS | SFS-EN 772-11 | 23.1.2012 | Vahvistettu |
| MITTOJEN MÄÄRITTÄMINEN | SFS-EN 772-16 | 23.1.2012 | Vahvistettu |
| BRUTTOKUIVATIHEYS | SFS-EN 772-13 | 27.11.2000 | Vahvistettu |
| Erik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 21.4. & 22.4.2015 | |
| POLTETTU TIILILAATTA | | Nimellimitat | 290x52x19 |

| Testi kpl | Pituus [mm] | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | Tilavuus [mm ³] | Punnitus m _{dry} [g] | Punnitus m ₀ [g] | Upotusaika [s] | Bruttokuiva- tiheys [kg / m ³] | Vedealkuimu- nopeus [kg/(m ² xmin)] | |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|--|--|------|
| R1 | 288,9 | 50,5 | 18,3 | 14589 | 266987 | 581,4 | 582,3 | 60 | 2180 | 0,06 | |
| R2 | 289,1 | 50,9 | 18,0 | 14715 | 264873 | 578,7 | 579,6 | 60 | 2180 | 0,06 | |
| R3 | 288,5 | 50,4 | 18,3 | 14540 | 266089 | 578,9 | 579,7 | 60 | 2180 | 0,06 | |
| R4 | 288,3 | 50,8 | 18,3 | 14646 | 268015 | 579,8 | 580,6 | 60 | 2160 | 0,05 | |
| R5 | 288,4 | 50,9 | 18,3 | 14680 | 268636 | 580,8 | 581,6 | 60 | 2160 | 0,05 | |
| R6 | 288,0 | 50,6 | 18,4 | 14573 | 268140 | 579,2 | 580,2 | 60 | 2160 | 0,07 | |
| R7 | | | | 0 | 0 | | | | | | |
| R8 | | | | 0 | 0 | | | | | | |
| R9 | | | | 0 | 0 | | | | | | |
| R10 | | | | 0 | 0 | | | | | | |
| Ka | 289 | 51 | 18 | | | | | | KESKIARVO | 2170 | 0,06 |
| min | 288 | 50 | 18 | | | | | | | | |
| max | 289 | 51 | 18 | | | | | | | | |

VEDENALKUIMUNOPEUS

Vedenalkuimunopeus lasketaan seuraavan yhtälön avulla jokaisesta poltetusta tiilestä pyöristettynä lähimpään 0,1 kg/(m² × min):aan:

$$c_{w,i} = \frac{m_{0,i} - m_{dry,i}}{A_i \cdot t} \times 10^3 \text{ kg / (m}^2 \times \text{min)}$$

BRUTTOKUIVATIHEYS

$$\rho_{li,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Jokaisen kokonaisen muurauskappaleen bruttokuivatiheys ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 5 kg/m³:iin, kun tiheys on korkeintaan 1000 kg/m³, ja lähimpään 10 kg/m³:iin, kun tiheys on suurempi kuin 1000 kg/m³.



| | | | |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|-------------|
| POLTETUT TIILILAATAT | SFS 5514 | 30.3.2009 | Vahvistettu |
| TIILILAATTOJEN TESTAUS | SFS 5513 | 30.3.2009 | Vahvistettu |
| VEDENALKUIMUNOPEUS | SFS-EN 772-11 | 23.1.2012 | Vahvistettu |
| MITTOJEN MÄÄRITTÄMINEN | SFS-EN 772-16 | 23.1.2012 | Vahvistettu |
| BRUTTOKUIVATIHEYS | SFS-EN 772-13 | 27.11.2000 | Vahvistettu |
| Eerik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 21.4. & 23.4.2015 | |
| POLTETTU TIILILAATTA | | | |

| Testi kpl | Pituus [mm] | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | Tilavuus [mm ³] | Punnitus m _{dry} [g] | Punnitus m ₀ [g] | Upotus aika [s] | Bruttokuiva- tiheys [kg / m ³] | Vedealkuimu- nopeus [kg/(m ² xmin)] | |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--|--|-----|
| 1 | 213,0 | 64,9 | 21,8 | 13824 | 301357 | 493,4 | 507,2 | 60 | 1640 | 1,0 | |
| 2 | 211,7 | 63,6 | 20,7 | 13464 | 278707 | 469,3 | 481,5 | 60 | 1680 | 0,9 | |
| 3 | 212,3 | 63,5 | 19,7 | 13481 | 265577 | 467,4 | 479,7 | 60 | 1760 | 0,9 | |
| 4 | 212,4 | 62,6 | 20,7 | 13296 | 275232 | 462,0 | 474,8 | 60 | 1680 | 1,0 | |
| 5 | 213,3 | 64,2 | 21,0 | 13694 | 287571 | 492,3 | 505,1 | 60 | 1710 | 0,9 | |
| 6 | 212,2 | 65,0 | 21,5 | 13793 | 296550 | 507,7 | 520,8 | 60 | 1710 | 0,9 | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |
| Ka | 212 | 64 | 21 | | | | | | KESKIJARVO | 1700 | 0,9 |
| min | 212 | 63 | 20 | | | | | | | | |
| max | 213 | 65 | 22 | | | | | | | | |

VEDENALKUIMUNOPEUS

Vedenalkuimunopeus lasketaan seuraavan yhtälön avulla jokaisesta poltetusta tiilestä pyöristettynä lähimpään 0,1 kg/(m² × min):aan:

$$c_{w,i} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \cdot t} \times 10^3 \text{ [kg / (m}^2 \times \text{min)]}$$

BRUTTOKUIVATIHEYS

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Jokaisen kokonaisen muurauskappaleen bruttokuivatiheys ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 5 kg/m³:iin, kun tiheys on korkeintaan 1000 kg/m³, ja lähimpään 10 kg/m³:iin, kun tiheys on suurempi kuin 1000 kg/m³.



| | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------------------|
| POLTETUT TIILILAATAT | SFS 5514 | 30.3.2009 Vahvistettu |
| TIILILAATTOJEN TESTAUS | SFS 5513 | 30.3.2009 Vahvistettu |
| VEDENALKUIMUNOPEUS | SFS-EN 772-11 | 23.1.2012 Vahvistettu |
| MITTOJEN MÄÄRITTÄMINEN | SFS-EN 772-16 | 23.1.2012 Vahvistettu |
| BRUTTOKUIVATIHEYS | SFS-EN 772-13 | 27.11.2000 Vahvistettu |
| Erik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 21.4. & 23.4.2015 |
| POLTETTU TIILILAATTA | | Nimellismitat 270x60x20 |

| Testi kpl | Pituus [mm] | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | Tilavuus [mm ³] | Punnitus m _{dry} [g] | Punnitus m _{u0} [g] | Upotus aika [s] | Bruttokuiva-tiheys [kg / m ³] | Vedealkuimu-nopeus [kg/(m ² xmin)] |
|-----------|-------------|-------------|--------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|---|---|
| L1 | 270,0 | 63,5 | 20,6 | 17145 | 353187 | 499,9 | 524,1 | 60 | 1420 | 1,4 |
| L2 | 268,5 | 62,5 | 21,4 | 16781 | 359119 | 507,7 | 528,8 | 60 | 1410 | 1,3 |
| L3 | 268,5 | 63,0 | 22,0 | 16916 | 372141 | 554,8 | 577,9 | 60 | 1490 | 1,4 |
| L4 | 269,0 | 63,0 | 21,5 | 16947 | 364361 | 522,1 | 549,0 | 60 | 1430 | 1,6 |
| L5 | 268,4 | 60,2 | 21,6 | 16158 | 349006 | 527,4 | 551,4 | 60 | 1510 | 1,5 |
| L6 | 268,4 | 62,6 | 22,0 | 16802 | 369640 | 549,6 | 572,4 | 60 | 1490 | 1,4 |
| L7 | | | | 0 | 0 | | | | | |
| L8 | | | | 0 | 0 | | | | | |
| L9 | | | | 0 | 0 | | | | | |
| L10 | | | | 0 | 0 | | | | | |
| Ka | 269 | 62 | 22 | | | | KESKIARVO | | 1460 | 1,4 |
| min | 268 | 60 | 21 | | | | | | | |
| max | 270 | 64 | 22 | | | | | | | |

VEDENALKUIMUNOPEUS

Vedenalkuimunopeus lasketaan seuraavan yhtälön avulla jokaisesta poltetusta tiilestä pyöristettynä lähimpään 0,1 kg/(m²)

$$c_{w,i} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \cdot t} \times 10^3 \left[\text{kg} / (\text{m}^2 \times \text{min}) \right]$$

BRUTTOKUIVATIHEYS

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{li,u}} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Jokaisen kokonaisen muurauskappaleen bruttokuivatiheys ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 5 kg/m³:iin, kun tiheys on korkeintaan 1000 kg/m³, ja lähimpään 10 kg/m³:iin, kun tiheys on suurempi kuin 1000 kg/m³.



| | | |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------------|
| TAIVUTUSLUJUUS | SFS-EN 10115-11 +A1 | 5.3.2007 |
| Kuorimitusnopeus | 20 N/s | |
| Testilaite | Easy-M | |
| Eerik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 28.4.2015 |
| POLTETTU TIILILAATTA | | Nimellismitat 285x85x20 |

| Testi-kappale | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | taivutus-voima [N] | tukien etäisyys [mm] | Taivutus-lujuus [N/mm ²] |
|---------------|-------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|
| T1 | 84,5 | 19,2 | 1622 | 1876 | 100 | 9,05 |
| T2 | 84,5 | 19,7 | 1665 | 1811 | 100 | 8,30 |
| T3 | 84,6 | 19,6 | 1658 | 1771 | 100 | 8,15 |
| Tv4 | 84,0 | 19,7 | 1655 | 1709 | 100 | 7,85 |
| Tv5 | 83,7 | 19,2 | 1607 | 1816 | 100 | 8,85 |
| Tv6 | 84,5 | 18,9 | 1597 | 1772 | 100 | 8,80 |

| | |
|--------------|------|
| Keskiarvo | 8,5 |
| Minimi | 7,85 |
| Maksimi | 9,05 |
| Keskihajonta | 0,47 |

Tulosten laskentan kaava:

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

f=taivutuslujuus

l= tukien välinen etäisyys

b=leveys

d=paksuus

F=voima

Jokaisen koekappaleen taivutuslujuus kirjataan pyöristettynä lähimpään 0,05 N/mm²:iin. Taivutuslujuuden keskiarvo lasketaan



| | | |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------------|
| TAIVUTUSLUJUUS | SFS-EN 10115-11 +A1 | 5.3.2007 |
| Kuorimitusnopeus | 20 N/s | |
| Testilaitte | Easy-M | |
| Eerik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 28.4.2015 |
| POLTETTU TIILILAATTA | | Nimellismitat 290x52x19 |

| Testi-kappale | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | taivutus-voima [N] | tukien etäisyys [mm] | Taivutus-lujuus [N/mm ²] |
|---------------|-------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|
| R1 | 50,5 | 18,0 | 909 | 1731 | 100 | 15,85 |
| R2 | 51,2 | 17,9 | 916 | 1705 | 100 | 15,60 |
| R3 | 50,5 | 18,2 | 919 | 1686 | 100 | 15,10 |
| Rv4 | 50,3 | 18,2 | 915 | 1790 | 100 | 16,10 |
| Rv5 | 50,5 | 18,5 | 934 | 1698 | 100 | 14,75 |
| Rv6 | 50,5 | 18,5 | 934 | 1883 | 100 | 16,35 |

| | |
|--------------|-------|
| Keskiarvo | 15,6 |
| Minimi | 14,75 |
| Maksimi | 16,35 |
| Keskihajonta | 0,61 |

Tulosten laskenta-kaava:

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

f=taivutuslujuus


l= tukien välinen etäisyys

b=leveys

d=paksuus

F=voima

Jokaisen koekappaleen taivutuslujuus kirjataan pyöristettynä lähimpään 0,05 N/mm²:iin. Taivutuslujuuden keskiarvo lasketaan

|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|---------------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|---|------|------|------|------|-----|------|---|------|------|------|------|-----|------|---|------|------|------|-----|-----|------|----|------|------|------|-----|-----|------|----|------|------|------|------|-----|------|----|------|------|------|------|-----|------|-----------|--|--|--|--|--|-----|--------|--|--|--|--|--|------|---------|--|--|--|--|--|------|--------------|--|--|--|--|--|------|
| TAIVUTUSLUJUUS | | SFS-EN 10115-11 +A1 | | 5.3.2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kuorimitusnopeus | | 20 N/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Testilaitte | | Easy-M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eerik Junnikkala OAMK Laboratorio | | Testaus pvm | | 28.4.2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLTETTU TIILILAATTA | | Nimellismitat | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Testi-kappale</th> <th>Leveys [mm]</th> <th>Paksuus [mm]</th> <th>Pinta-ala [mm²]</th> <th>taivutus-voima [N]</th> <th>tukien etäisyys [mm]</th> <th>Taivutus-lujuus [N/mm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>64,7</td> <td>19,8</td> <td>1281</td> <td>1041</td> <td>100</td> <td>6,15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>63,9</td> <td>20,0</td> <td>1278</td> <td>1261</td> <td>100</td> <td>7,40</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>64,0</td> <td>19,5</td> <td>1248</td> <td>932</td> <td>100</td> <td>5,75</td> </tr> <tr> <td>4t</td> <td>65,6</td> <td>21,4</td> <td>1404</td> <td>866</td> <td>100</td> <td>4,30</td> </tr> <tr> <td>5t</td> <td>65,7</td> <td>22,0</td> <td>1445</td> <td>1244</td> <td>100</td> <td>5,85</td> </tr> <tr> <td>6t</td> <td>63,9</td> <td>21,2</td> <td>1355</td> <td>1030</td> <td>100</td> <td>5,40</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Keskiarvo</td> <td>5,8</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Minimi</td> <td>4,30</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Maksimi</td> <td>7,40</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Keskihajonta</td> <td>1,01</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | Testi-kappale | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | taivutus-voima [N] | tukien etäisyys [mm] | Taivutus-lujuus [N/mm ²] | 1 | 64,7 | 19,8 | 1281 | 1041 | 100 | 6,15 | 2 | 63,9 | 20,0 | 1278 | 1261 | 100 | 7,40 | 3 | 64,0 | 19,5 | 1248 | 932 | 100 | 5,75 | 4t | 65,6 | 21,4 | 1404 | 866 | 100 | 4,30 | 5t | 65,7 | 22,0 | 1445 | 1244 | 100 | 5,85 | 6t | 63,9 | 21,2 | 1355 | 1030 | 100 | 5,40 | Keskiarvo | | | | | | 5,8 | Minimi | | | | | | 4,30 | Maksimi | | | | | | 7,40 | Keskihajonta | | | | | | 1,01 |
| Testi-kappale | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | taivutus-voima [N] | tukien etäisyys [mm] | Taivutus-lujuus [N/mm ²] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 64,7 | 19,8 | 1281 | 1041 | 100 | 6,15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 63,9 | 20,0 | 1278 | 1261 | 100 | 7,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 64,0 | 19,5 | 1248 | 932 | 100 | 5,75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4t | 65,6 | 21,4 | 1404 | 866 | 100 | 4,30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5t | 65,7 | 22,0 | 1445 | 1244 | 100 | 5,85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6t | 63,9 | 21,2 | 1355 | 1030 | 100 | 5,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Keskiarvo | | | | | | 5,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Minimi | | | | | | 4,30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maksimi | | | | | | 7,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Keskihajonta | | | | | | 1,01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tulosten laskentan kaava: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f=taivutuslujuus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| l= tukien välinen etäisyys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b=leveys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d=paksuus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F=voima | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jokaisen koekappaleen taivutuslujuus kirjataan pyöristettynä lähimpään 0,05 N/mm ² :iin. Taivutuslujuuden keskiarvo lasketaan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | |
|--------------------------------------|---------------------|---------------|
| TAIVUTUSLUJUUS | SFS-EN 10115-11 +A1 | 5.3.2007 |
| Kuorimitusnopeus | 20 N/s | |
| Testilaite | Easy-M | |
| Eerik Junnikkala OAMK Laboratorio | Testaus pvm | 28.4.2015 |
| | | Nimellismitat |
| POLTETTU TIILILAATTA | | |

| Testi-kappale | Leveys [mm] | Paksuus [mm] | Pinta-ala [mm ²] | taivutus-voima [N] | tukien etäisyys [mm] | Taivutus-lujuus [N/mm ²] |
|---------------|-------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|
| L1 | 62,8 | 19,8 | 1243 | 1310 | 100 | 8,00 |
| L2 | 62,7 | 20,6 | 1292 | 1253 | 100 | 7,05 |
| L3 | 62,8 | 22,0 | 1382 | 1601 | 100 | 7,90 |
| Lt4 | 60,9 | 20,1 | 1224 | 1448 | 100 | 8,85 |
| Lt5 | 60,7 | 22,9 | 1390 | 1411 | 100 | 6,65 |
| Lt6 | 60,1 | 20,2 | 1214 | 1245 | 100 | 7,60 |

| | |
|--------------|------|
| Keskiarvo | 7,7 |
| Minimi | 6,65 |
| Maksimi | 8,85 |
| Keskihajonta | 0,77 |

Tulosten laskenta-kaava:

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

f=taivutuslujuus

l= tukien välinen etäisyys

b=leveys

d=paksuus

F=voima

Jokaisen koekappaleen taivutuslujuus kirjataan pyöristettynä lähimpään 0,05 N/mm²:iin. Taivutuslujuuden keskiarvo lasketaan