

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö

Kimmo Mattila

JULKISIVUPINNOITEJÄRJESTELMÄT JA NIIDEN TESTAUS

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

DI Tero Markkanen
Kiilto Oy, valvojana DI Mika Ronkainen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

Mattila, Kimmo

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Marraskuu 2008

Hakusanat

Julkisivupinnoitejärjestelmät ja niiden testaus

38 sivua + 1 liite (1 liitesivu)

DI Tero Markkanen

Kiilto Oy, valvojana DI Mika Ronkainen

julkisivupinnoite, rappausjärjestelmä, laasti, eristerappaus,
ohutrappaus

TIIVISTELMÄ

Betonisten julkisivujen korjaustarve kasvaa jatkuvasti. Julkisivujen korjaamisen yhteydessä ulkoseinän lämmöneristävyttä voidaan parantaa eristerappauksen avulla. Eristerappauksessa levymäiset lämmöneristeet kiinnitetään seinäpintaan ja eristelevyjen päälle tehdään rappaus.

Työn tavoitteena oli kehittää ja tutkia eristerappausjärjestelmään kuuluvia osia, joita olivat erityyppiset laastit, verkot sekä eristeet. Työssä perehdyttiin myös standardoituihin testeihin, ja niitä pyrittiin soveltamaan ja yksinkertaistamaan, jotta testejä voitaisiin toistaa helposti.

TAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Construction technology

Building construction

Mattila, Kimmo

Engineering Thesis

Thesis supervisor

Commissioning Company

November 2008

Keywords

Coatings for Facades and Testing

38 pages + 1 appence (1 appendix page)

M.Sc Tero Markkanen

Kiilto Oy, supervisor M.Sc Mika Ronkainen

coatings for facades, rendering system, mortar, heat-insulating rendering, thin coat rendering

ABSTRACT

Repairing need of concrete facades is increasing constantly. While facade is repairing thermal resistance of external walls can be improved with heat-insulating rendering. Heat-insulating rendering is composed of external thermal insulation boards which are fastened to external walls and coated with special mortars.

Target of this thesis was to research and develop parts of rendering system which were: different kinds of mortars, meshes and thermal insulations. Standardized test methods researched and developed simplified test methods of them.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tavoitteet	7
1.2 Tutkimustyön toteutus	7
2 LÄHTÖTIEDOT	7
2.1 Laastien raaka-aineet	8
2.1.1 Sideaineet	8
2.1.2 Runkoaineet	9
2.1.3 Lisäaineet	10
2.2 Rappauslaastityypit	12
2.2.1 Kalkkilaasti	13
2.2.2 Kalkkisementtilaasti	13
2.2.3 Sementtilaasti	13
2.3 Kolmikerrosjärjestelmät	13
2.4 Kaksikerrosjärjestelmät	14
2.5 Eristerappaukset	15
2.6 Standardoidut testausmenetelmät	17
2.6.1 SFS – Laastien spesifikaatiot Osa 1	17
2.6.2 ETAG 004 – External thermal insulation	17
3 TUTKIMUSMENETELMÄT	17
3.1 Seulonta	17
3.2 Levitys- ja käyttöominaisuudet	19

3.3	Lujuusominaisuudet	20
3.3.1	Taivutus- ja puristuslujuus.....	21
3.3.1.1	Taivutuskoe	22
3.3.1.2	Puristuskoe	23
3.3.2	Kutistuma	24
3.3.3	Laastin ja alustan välinen tartunta	25
3.4	Kovettuneen laastin vesihöyryn läpäisevyys.....	27
3.5	Veden hylkivyy.....	31
3.6	Kapillaarinen vedenimu	32
3.7	Iskulujuus	34
3.7.1	Törmäyskestävyys.....	34
3.7.2	Lävistyskestävyys	35
3.8	Ulkotestaus.....	36
4	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	38

LIITE

- 1 Vesihöyryn kyllästymispaineet

1 JOHDANTO

Suomessa betonijulkisivujen korjaustarve on kasvamassa. Julkisivujen korjaustarve johtuu lähinnä betonin pakkasrapautumisesta sekä karbonatisoitumisesta ja siitä johtuvasta raudotteiden korroosiosta.

Maaailman energiavarojen ehtyessä rakennusten energian kulutukseen tullaan lähitulevaisuudessa kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Rakennuksen vaipan lämmöneristävyyttä lisäämällä saadaan huomattavia energiasäästöjä. 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa betonielementtitaloissa ulkoseinän lämmöneristävyteen ei panostettu riittävästi. Kun 30 - 50 vuotta vanhaa julkisivua korjataan, tulisi samalla kiinnittää huomiota ulkoseinän energian kulutukseen. /1/

Betonijulkisivujen korjaamiseen on paljon erilaisia ratkaisuja. Jos raudotteissa korrosio on edennyt pitkälle, raudotteet yleensä piikataan esiin ja suojataan korroosiota vastaan. Sen jälkeen julkisivu paikataan paikkauslaasteilla ja pinnoitetaan uudelleen paikkauskohdan hävittämiseksi. Vaihtohtona paikkauskorjauksille on mm. eristerappaus, joka tehdään suoraan vaurioituneelle pinnalle. Eristerappauksessa julkisivuun kiinnitetään lämmöneriste, jonka päälle tehdään yhtenäinen rappaus. Oikein tehdyn eristerappauksen etuina ovat ensisijaisesti vanhan rakenteen vaurion etenemisen hidastuminen tai pysähtyminen, julkisivurakenteen parempi lämpö- ja kosteustekninen toiminta sekä rakennuksen energian kulutuksen pienentyminen.

Eristerappausta voidaan käyttää myös uudisrakentamisessa, sillä saumaton julkisivu on jälleen suosiossa. Saumattomuus on erityisen tärkeää vanhojen kaupunkien täydennysrakentamisessa, koska yhtenäinen rappauspinta sopii paremmin vanhojen rakennusten viereen kuin perinteinen betonielementtitalo. /1/

1.1 Työn tavoitteet

Työssä pyritään kehittämään julkisivujen pinnoitusjärjestelmä, joka soveltuu myös eristerappaukseen. Eristerappausjärjestelmään kehitetään liimalaasti eristelevyjen kiinnittämiseen, kuitutasoite pohjarappauskerrokseksi ja pintalaasti. Laasteja testataan myös eristeiden ja rappausverkkojen kanssa. Edellä mainittujen osien lisäksi järjestelmään kuuluvat eristeiden mekaaniset kiinnikkeet, kulmavahvikkeet ja sokkelipellit.

Työssä pyritään kehittämään myös standardeista yksinkertaistettuja testausmenetelmiä, jotka ovat helposti toistettavissa. Yksinkertaistettujen testien tulosten tulisi olla vertailukelpoisia keskenään, ja niiden tulisi korreloida standarditesteissä saatuihin tuloksiin.

1.2 Tutkimustyön toteutus

Työ aloitettiin tutustumalla laastien tutkimisen standardimenetelmiin sekä laasti- ja rappausyyppeihin. Standardimenetelmät määrittelevät yhtenäiset tutkimustavat, joiden avulla tutkimustulokset ovat vertailukelpoisia keskenään tutkimuspaikasta riippumatta.

Opinnäytetyön toisessa ja kolmannessa luvussa käsitellään aiheen teoriaa. Teoriaosuus antaa pohjan laastien kehittämiseen. Teoriaosuudessa käsitellään laastien raaka-aineita sekä rappauslaasteja ja niiden ominaisuuksien testausmenetelmiä.

Työ on rajattu eristerappausjärjestelmiin, vaikka järjestelmään kuuluvia laasteja voidaan käyttää myös ilman eristettä eli kaksikerrosrappauksena.

2 LÄHTÖTIEDOT

Tässä luvussa käsitellään mitä eri raaka-aineita laastit voivat sisältää ja mikä on eri raaka-aineiden merkitys laasteissa. Lisäksi käsitellään kolmen eri laastityypin ominaisuuksia ja sitä, minkälaisia rappausjärjestelmiä niistä voidaan saada. Lähtötiedoista saadaan empiiriselle osalle pohja, jonka avulla voidaan kehittää testattavia laasteja. Lähtötietojen tarkoitus on auttaa valitsemaan oikeat ainesosat, kun haetaan tietynlaista ominaisuutta testattavalle laastille.

2.1 Laastien raaka-aineet

Laastit koostuvat sideaineesta, runko-aineesta ja vedestä. Laastien ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös erilaisilla lisäaineilla. Nykyaikaiset kuivalaastit valmistetaan siten, että ”kuivat” raaka-aineet annostellaan tarkasti ja sekoitetaan tehdasolosuhteissa.

Työmaalla käyttövalmis märkälaasti saadaan sekoittamalla kuivalaastiin oikea vesimäärä.

2.1.1 Sideaineet

Sideaine liimaa runkoaineen ja laastin muut ainesosat yhteen ja takaa laastin tartunnan alustaan. Sideaineen määrä laastissa määrittää laastin lujuusominaisuudet. Sideaineet voidaan jakaa kahteen luokkaan niiden kovettumistavan mukaan: hydraulisiin ja ei-hydraulisiin. Hydrauliset sideaineet kovettuvat veden vaikutuksesta ja ei-hydrauliset sideaineet kovettuvat reagoidessaan ilman hiilidioksidin kanssa, eli ne karbonatisoituvat (paitsi polymeerit, jotka kovettuvat muodostaen kalvon laastin ja alustan rajapintaan). /2, 3/

Sementti

Sementti muodostaa hydratoituessaan (eli reagoidessaan veden kanssa) sementtiliimaa, joka toimii sideaineena. Laasteissa eniten käytetty sementtilaji on Portlandsementti. Sementin lujuusluokka (32,5 MPa; 42,5 MPa ja 52,5 MPa) valitaan laastin käyttötarkoituksen mukaan. Pintalaasteissa käytetään yleensä valkosementtiä sen ulkonäön vuoksi. /3/

Kalkki

Kalkkia on sekä hydraulisesti kovettuvaa että ei-hydraulisesti kovettuvaa. Jälkimmäistä kutsutaan ilmakalkiksi, koska se reagoi kovettuessaan kostean ilman hiilidioksidin kanssa. /2/

Ilmakalkkia valmistetaan polttamalla puhdasta kalsiitti-, dolomiittista kalsiitti- tai dolomiittikiveä. Polttamisen jälkeen kalkki sammutetaan lisäämällä siihen vettä. Poltettaessa kalkkikiven kalsiumkarbonaatti hajoaa oksideiksi, jotka reagoivat sammutuksessa veden kanssa muodostaen hydroksideja. Kalkin polttoaste, sammutustapa

ja -nopeus vaikuttavat kalkin partikkeleiden hienouteen. Jos sammuttamisessa käytetään paljon enemmän vettä kuin reaktio teoreettisesti tarvitsee, saadaan märkäsammutettua kalkkia, jota voidaan säilyttää vedellä täytetyssä astiassa. Kuivasammutettua kalkkia saadaan, kun vettä käytetään vain sen verran, että vesi kuluu kalkin sammuttamiseen. Tällöin kalkki sammuu jauheeksi ja sitä voidaan käyttää kuivalaasteissa. /2,3/

Kalkille saadaan hydraulisia ominaisuuksia polttamalla kvartsi-, savi- tai rautaoksidipitoista kalkkikiveä alle sintrautumislämpötilan. Hydrauliset ominaisuudet johtuvat kalkkikiven luonnollisista epäpuhtauksista tai kalkkiin ennen polttoa lisätyistä hydraulisista aineista. Nämä epäpuhtaudet reagoivat kosteissa olosuhteissa maa-alkalihydroksidien kanssa ja muodostavat sementinkaltaisia yhdisteitä. /2,3/

Polymeerit

Polymeerejä käytetään yleensä sementtilaasteissa toisena sideaineena, koska sementtimäiset laastit ovat hauraita ja joustamattomia. Yksittäisistä polymeeripartikkelit sitoutuvat toisiinsa veden haihtuessa ja muodostavat yhtenäisen kalvon. Tämä kalvo toimii orgaanisena sideaineena, joka liimaa filleripartikkelit toisiinsa, vahvistaa laastin rakennetta ja takaa hyvän tartunnan laastin ja rappausalustan yhtymäkohtaan. /3/

Polymeerin määrästä ja tyypistä riippuen se parantaa laastin tartuntaa kaikilla alustoilla, sen taivutuslujuutta, kulutuskestävyyttä, sitkeyttä, sisäistä tartuntaa ja vedenpitävyyttä. Lisäksi polymeeri vaikuttaa laastin vedensitomiskykyyn ja työstettävyyteen. /3/

2.1.2 Runkoaineet

Laastista suurin osa on runkoainesta. Yleisimmin runkoaineena käytetään luonnonhiekkaa tai murskattua kiviainesta. Käytetyimmät kivilajit ovat kvartsi, kalkkikivi, dolomiitti ja luonnonhiekk. /3/

Runkoaineen raekoon jakautuminen vaikuttaa laastin työstöominaisuuksiin ja kutistumaan. Kun runkoaineen raekoko on sopivasti jakautunut, laastiin ei jää niin paljon kalliilla sideaineella täytettäviä tyhjiä tiloja. Hienoaines eli fillerit (raekoko < 0,075 mm) vaikuttaa

työstöominaisuuksiin. Fillerin käyttö lisää veden tarvetta ja siten myös laastin kutistumaa, mutta vähentää sideaineen tarvetta. /3/

Koristeellisiin laasteihin voidaan lisätä kalsiittia, marmoria tai kiillettä. Kevyttäytyteellä laastille saadaan lisää työstettävyyttä ja lämmöneristävyyttä. Kevyttäytytteitä ovat mm. perliitti, vermikuliitti, kevytsora ja hohkakivi. /3/

2.1.3 Lisäaineet

Lisäaineilla on suuri merkitys laastin ominaisuuksiin, vaikka niitä on vain pieni osa laastin kokonaismäärästä (yleensä 0,1 p-% ... 10 p-%). Lisäaineilla voidaan vaikuttaa mm. laastin työstettävyyteen, säänkestävyyteen ja ulkonäköön. /3/

Selluloosaeetterit

Selluloosaeettereiden avulla laastista saadaan paksumpaa ja vettä pidättävämpää. Selluloosaeetterit ovat lisäaineista tärkeimpiä, sillä niillä saadaan aikaan eniten vaikutuksia kuivalaasteihin. Yleisimmät selluloosaeetterit ovat metyylihydroksietyyliselluloosa (MHEC) ja metyylihydroksipropyyliselluloosa (MHPC). Niistä käytetään yhteisnimitystä metyyliiselluloosat (MC). Tyypillisesti selluloosaeetteriä lisätään laastiin 0,02 p-% ... 0,50 p-%. /3/

Kun MC-partikkelit ovat sekoittuneet tasaisesti side- ja runkoaineen kesken, se estää paakkujen syntymistä veden lisäyksen yhteydessä. Selluloosaeetterit vaikuttavat märän laastin viskositeettiin. /3/

MC vaikuttaa laastin tahmeuteen, joka muodostuu levittämistyökalun ja seinän välille. Jos laasti on liian tahmeaa, sen levittäminen on liian raskasta. MC vaikuttaa siis laastin vedentarpeeseen ja kuivalaastin saantiin. Laastin saanti kuvaa valmiin laastin tilavuutta suhteessa kuivalaastin massa (yksikkö: litraa /100 kg). /3/

Veden täytyy pysyä rappauserroksessa, jotta sementtilaasti voisi kovettua. Vesi pyrkii poistumaan rappauksesta auringon, tuulen ja alustan imun vaikutuksesta.

Kolmikerrosrappauksissa rappauserrokset ovat paksumpia, ja siksi vesi pysyy pidempään

rappauksessa. Ohutrappauksessa rappauskerros voi kuivua liian nopeasti, jolloin sementin hydrataatio ei ehdi tapahtumaan täydellisesti. Kun sementti ei ole vielä hydratoitunut täydellisesti, laastin vetolujuus ei ole kehittynyt riittävästi ottamaan vastaan kutistumasta aiheutuvia pakkovoimia ja rappaukseen saattaa syntyä halkeamia. MC lisää laastin vedenpidätyskykyä, jolloin laasti ei pääse kuivumaan liian nopeasti. MC:lla voidaan myös vaikuttaa laastin avoimeen aikaan ja tartuntavetolujuuteen. /3/

Tärkkelysetterit

Tärkkelysetterillä voidaan kasvattaa sellaisen laastin viskositeettia, jossa on käytetty metyyliiselluloosaa. Tärkkelysetteri vähentää laastin valumista seinällä ja parantaa siten laastin työstettävyyttä. Tärkkelysetteriä lisätään sementtilaastiin tavallisesti 0,01 p-% ... 0,04 p-%. /3/

Huokostimet

Huokostin muodostaa laastiin mikrohuokosia, jotka vaikuttavat laastin pakkasenkestoon, työstettävyyteen ja lämmöneristävyyteen. Huokostimen käyttö vähentää laastin lujuutta, sillä huokoinen laasti on lujuudeltaan heikompi. Huokostimina käytetään yleensä rasvahappojen natriumsuoloja, ja niitä lisätään laastiin normaalisti 0,01 p-% ... 0,06 p-%. /3/

Pakkasenkestävyys paranee, kun kuivuneeseen laastiin päässyt vesi jäätyessään ei riko rappauskerrosta vaan purkautuu suojahuokosiin. Mikrohuokokset toimivat laastia levitettäessä ikään kuin laakerikerroksena, jolloin laastin levitettävyys paranee. Ilmahuokokset lisäävät hieman rappauskerroksen lämmöneristävyyttä, millä ei tosin ole käytännön merkitystä rakennuksen vaipan lämmöneristävyyteen, koska rappauskerros on usein hyvin ohut. /3/

Kiihdyttimet

Kiihdyttimien avulla laastin kovettumisaika voidaan säätää halutun kaltaiseksi. Kiihdyttimiä ovat kalsiumformiaatti ja litiumkarbonaatti. Kalsiumformiaattia lisätään n. 0,7 p-% ja litiumkarbonaattia n. 0,2 p-%. /3/

Hydrofobiset aineet

Hydrofobiset aineet estävät vapaan veden pääsemisen rappaukseen mutta päästävät silti vesihöyryn rappauskerroksen läpi. Veden hylkivyyttä lisääviä aineita on kahta laatua: rasvahappojen metallisuolat (esim. sinkkistearaatti ja natriumoleaatti) ja uudelleen dispersioitavat polymeerit, joilla on hydrofobisia ominaisuuksia. Metallisuolat huuhtoutuvat sateiden mukana vuosien myötä pois rappauksesta. Polymeerit eivät huuhtoudu rappauksesta pois. Lisäksi polymeerit eivät vaikeuta laastin sekoittamista veteen, ja ne parantavat laastin tartuntaa alustaan. /3/

Kuidut

Kuidut vähentävät plastisesta kutistumasta johtuvaa halkeilua ja parantavat kovettuneen laastin vetolujuutta. Kuidut ovat muovia tai alkalinkestävää lasikuitua ja niitä lisätään laastiin n. 0,2 p-%. /3/

Vaahdonestoaineet

Vaahdonestoaineilla voidaan vähentää laastin liiallista huokoisuutta. Vaahdonestoaineina käytetään hiilivetyjä, polyglykoleita ja polysiloksaaneja. /3/

Pigmentit

Lisäämällä laastiin pigmenttiä saadaan aikaan värillistä laastia. Pigmentteinä käytetään erittäin hienojakoisia metallioksiedeja, jotka lisäävät laastin vedentarvetta ja kutistumaa. /3/

2.2 Rappauslaastityypit

Rappauslaastit luokitellaan yleensä niiden sisältämän sideaineen perusteella. Laastityypit ovat kalkki-, kalkkisementti- ja sementtilaastit. Perinteiset kolmikerroslaastit merkitään yleisesti kirjain- ja numeroyhdistelmällä, joka ilmoittaa käytetyn sideaineen sekä sideaineen ja runkoaineen suhteen paino-osina. Esimerkkinä KS 65/35/500, jossa 65 paino-osaa kalkkia, 35 paino-osaa sementtiä ja 500 paino-osaa runkoainetta. /2/

2.2.1 Kalkkilaasti

Kalkkilaasti on yksinkertainen laasti, jossa sideaineena on sammutettu kalkki. Laastissa voidaan käyttää ilmakalkkia tai hydraulista kalkkia. Kalkkilaasteja käytetään yleisimmin kolmikerrosrappauksissa pintarappauksena ja vanhojen rappausten korjauksissa. /2/

2.2.2 Kalkkisementtilaasti

Kalkkisementtilaastissa sideaineina ovat ilmakalkki ja sementti. Sideaineiden suhteita muuttamalla voidaan vaikuttaa laastin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, säänkestävyyteen, kutistumaan ja työstettävyyteen. Sementin lisäys kasvattaa laastin varhais- ja loppulujuutta sekä parantaa säänkestävyyttä. Samalla se lisää laastin vedentarvetta, mikä aiheuttaa suuremman kutistuman. Kun sementin määrä laastissa on suuri laastin työstettävyyssominaisuudet heikentyvät huomattavasti ja niitä on parannettava lisäaineiden avulla. Sementin lisäys kalkkisementtilaastissa lisää laastin loppulujuutta, jos sementtiä on laastissa yli 35 p-% sideaineesta. /2/

2.2.3 Sementtilaasti

Nykyisissä sementtilaasteissa sementin ohella sideaineena käytetään polymeerejä eli laastit ovat polymeerimodifioituja. Sementtilaasteihin lisätään myös monia lisäaineita, joilla saadaan laastiin haluttuja ominaisuuksia. Sementtilaastin kovettuessa täytyy huolehtia siitä että laastikerros pysyy kosteana riittävän pitkään, jotta sementin hydrataatio voisi tapahtua häiriintymättä ja laastin vetolujuus voisi kehittyä tarpeeksi korkeaksi kutistumasta johtuvan halkeilun vähentämiseksi. /2/

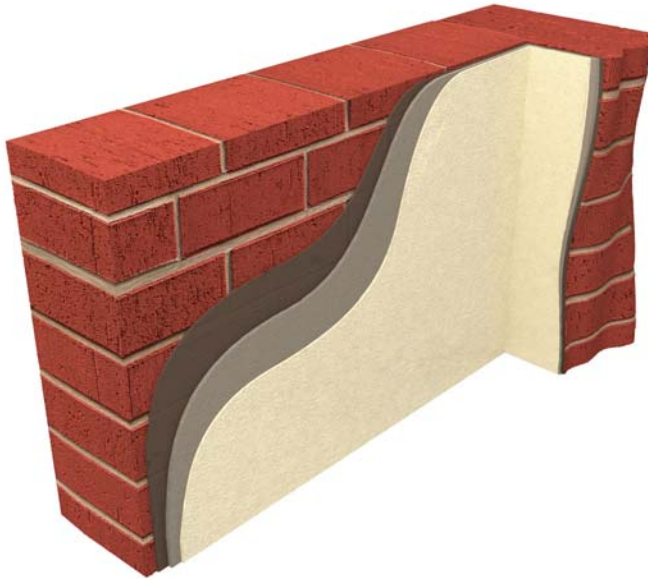
2.3 Kolmikerrosjärjestelmät

Kolmikerrosrappaus on perinteinen kalkki- ja kalkkisementtilaasteilla tehtävä pinnoitussysteemi. Kolmikerrosrappaus tehdään nimensä mukaisesti kolmessa kerroksessa. Kerrokset ovat tartuntarappaus, täyttörappaus ja pintarappaus. Pääperiaatteena on että rappauskerros heikkenee pintaa kohden. Käytännössä sementin määrää laasteissa vähenee pintaa kohden. /2/

Tartuntarappauksen tarkoituksena on saada riittävä tartunta rappausalustaan, lisätä täyttörappauksen tartuntapintaa ja tasata alustan vedenimua. Tartuntarappauksen kerrospaksuus on tyypillisesti 0 - 3 mm. /2/

Täyttörappaus tasaa alustan epätasaisuudet ja muodostaa rappaukselle halutun kuvion. Täyttörappauksen kerrospaksuus on normaalisti 10 - 30 mm. Koska täyttörappaus on kolmikerrosrappauksen paksuin osa, se määrittelee koko rappauksen kosteustekniset ominaisuudet. /2/

Pintarappaus muodostaa julkisivuun halutun tekstuurin ja värin. Pintarappauslaastin karkeutta muuttamalla julkisivun ulkonäkö muuttuu merkittävästi. Pintarappauksen paksuus on sen karkeudesta riippuen 3 - 5 mm. /2/



Kuva 2.1 Havainnekuva kolmikerrosrappauksesta

2.4 Kaksikerrosjärjestelmät

Kalkkisementtilaasteilla tehty kaksikerrosrappaus on periaatteessa sama kuin kolmikerrosrappaus ilman täyttörappauskerrosta. Siten kaksikerroksisen kalkkisementtirappauksen kokonaispaksuudeksi tulee tavallisesti 10 - 15 mm. /2/

Sementtilaasteilla tehtyä kaksikerrosrappausta kutsutaan yleisesti ohutrappaukseksi, ja se eroaa ominaisuuksiltaan ja materiaaleiltaan huomattavasti kalkkisementtilaasteilla tehdyistä rappauksista. Nimensä mukaisesti ohutrappauksessa rappauserrokset ovat huomattavasti ohuempia. /2/



Kuva 2.2 Havainnekuva ohutrappauksesta

2.5 Eristerappaukset

Eristerappaus tehdään siten, että lämmöneristekerroksen päälle tehdään kolmikerros- tai ohutrappaus. Korjausrakentamisessa eristerappauksella voidaan parantaa rakennuksen energiataloutta sekä julkisivun lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Uudisrakentamisessa eristepaksuudet ovat suurempia kuin korjausrakentamisessa, koska eristerappauksessa käytettävä eriste muodostaa usein koko ulkoseinärakenteen lämmöneristyksen. Julkisivussa lämmöneriste ei saa levittää tulipaloa rakennuksen ulkopinnalla. /2/

Kolmikerrosrappaus

Kolmikerrosrappaus muodostaa eristeen päälle 20...25 mm paksun jäykän levyn, joka on kiinnitetty mekaanisin kiinnikkein eristeen läpi seinärunkoon. Kuumasinkityllä rappausverkolla lujitettu rappaus pääsee liikkumaan eristeen päällä vapaasti, joten rappaus määrää julkisivun liikkeet. Kolmikerrosrappauksen alustoina käytetään yleisimmin kevyitä ja pehmeitä mineraalivillalatuja, sillä eristeen ei tarvitse siirtää rappausten omasta painosta aiheutuvaa kuormaa seinärakenteille. Koska rappaus kiinnittyy rappausverkon ja mekaanisten kiinnikkeiden välityksellä runkoon, rappausten ei tarvitse tarttua eristeeseen täydellisesti. Eristeen on kuitenkin oltava sen verran imevä, että rappaus pysyy seinässä laastin kovettumisen aikana. /2/

Ohutrappaus

Ohutrappaus muodostaa eristelevyn ja seinärungon kanssa yhtenäisen rakenteen, koska eriste liimataan kauttaaltaan alustaansa (voidaan käyttää lisäksi myös mekaanisia kiinnikkeitä) ja ohutrappaus liimautuu eristeeseen muodostaen ohuen ja taipuisan levyn. Alustan liikkuessa myös kauttaaltaan eristeeseen liimautunut rappaus liikkuu, joten julkisivun liikkeet määräytyvät alustan liikkeiden perusteella. Ohutrappauksen alustoina käytetään yleensä kovempia eristelaatuja kuin kolmikerrosrappauksissa (tyypillisesti polystyreeni, lamellivilla ja raskaammat levyvillat) /2/

Lämmöneristeet

Eristerappauksissa voidaan käyttää levymäistä mineraalivillaa, lamellivillaa tai eristerappauksiin tarkoitettua polystyreenilevyä (EPS). Levymäiset mineraalivillat soveltuvat sekä kolmikerros- että ohutrappauksiin, ja ne kiinnitetään pääasiassa mekaanisin kiinnikkein seinärunkoon. Lamellivilla poikkeaa mekaanisilta ominaisuuksiltaan levymäisistä villatuotteista. Lamellivillassa villakuidut ovat kohtisuorassa julkisivun pintaan nähden. Lamellivilla liimataan kauttaaltaan alustaansa ja sitä käytetään pääasiassa ohutrappauksen yhteydessä. Eristerappauksessa käytettävän polystyreenieristeen tulee olla itsestään sammuvaa sekä kutistumatonta. EPS kiinnitetään alustaansa kauttaaltaan liimaamalla sekä mekaanisia kiinnikkeitä käyttäen. Polystyreeniä käytetään pääasiassa ohutrappauksen kanssa /2/

2.6 Standardoidut testausmenetelmät

Laastien tutkimus perustuu vahvasti standardoituihin testausmenetelmiin. Standarditestien avulla eri valmistajien tuotteiden ominaisuuksia voidaan verrata keskenään, sillä tutkimusmenetelmät on tarkoin määrätty. Standardeissa on asetettu myös vaatimuksia tuotteille CE-merkin saamiseksi. /2/

2.6.1 SFS – Laastien spesifikaatiot Osa 1

Standardissa SFS-EN 998-1 Laastien spesifikaatiot. Osa 1:ssä on määritetty vaatimukset rappaus- ja tasoitelaasteille CE-merkinnän saamiseksi. SFS-EN 998-1:ssä on viitattu niihin standarditesteihin, joilla vaatimukset CE-merkinnän saamiseksi voidaan todeta täytetyiksi. /4/

2.6.2 ETAG 004 – External thermal insulation

ETAG 004 -ohjeessa on esitetty vaatimuksia ohutrappausjärjestelmille. Jos eristerappausjärjestelmä täyttää kyseiset vaatimukset, koko järjestelmälle voidaan hakea EOTA:n hyväksynnän kautta CE-merkintää. /2/

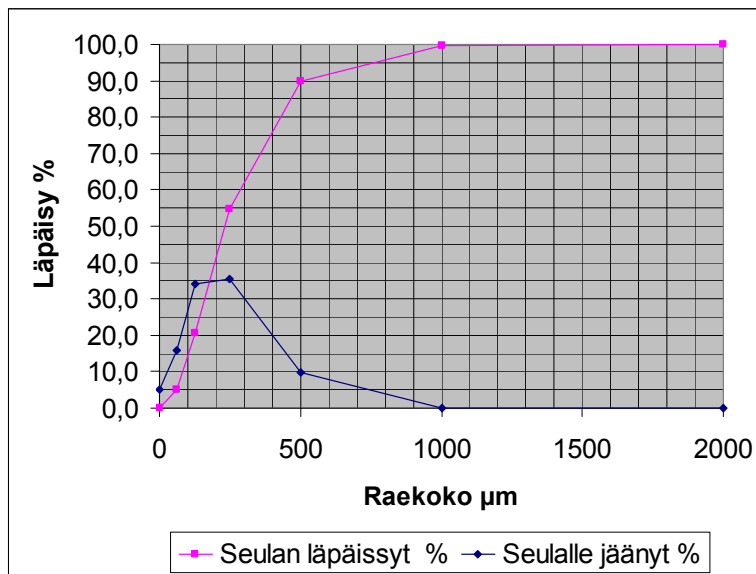
3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Laastien kehityksessä on lukuisia erilaisia tutkimistapoja. Osa niistä on standardeissa tarkoin määriteltyjä ja osa on silmämääräiseen arviointiin sekä tuntumaan perustuvaa tutkimista.

3.1 Seulonta

Seulonnan avulla voidaan selvittää rakeisuuskäyrät markkinoilla olevista tuotteista. Saatujen rakeisuuskäyrien avulla voidaan karkealla tasolla jalostaa oma resepti haluttuun muotoon. Rakeisuuskäyrä on kullekin laastityypille ominainen.

Seulonnassa käytetty seulasarja on 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm ja 0,063 mm (kuva 3.2). Näyte kaadetaan seulasarjaan ja ravistetaan hetken aikaa. Jokaiselle seulalle jäänyt aines punnitaan. Pienemmillä seuloilla on syytä huolehtia, että kaikki seulan silmäkokoa hienompi aines on läpäissyt seulan. Jokaiselle seulalle jääneestä aineksesta voidaan laskea läpäisyprosentti, josta piirretään rakeisuuskäyrä. Kuvassa 3.1 on esimerkki rakeisuuskäyrästä.



Kuva 3.1 Rakeisuuskäyrä

Seulontatuloksista voidaan päätellä runkoaineen raekoon jakautuminen. Seulasarjan pohjalle päätyneestä aineksesta voidaan päätellä sementin, kalkin ja kalkkikiven määrä. Nämä aineet ovat niin hienojakoisia, että ne läpäisevät kaikki em. seulat.



Kuva 3.2 Seulasarja

3.2 Levitys- ja käyttöominaisuudet

Laastin levitettävyyden ja käyttöominaisuuksia ovat sekoitettavuus, herkkyys vedelle, laastin olomuoto, tarttuvuus alustaan, levittämisen tuntuma (raskas/kevyt), ruiskutettavuus ja rappauksen ulkonäkö.

Levitys- ja käyttöominaisuudet testataan heti kehitysvaiheen alussa ja aina kun kehitettävän laastin reseptiä on muutettu, sillä vaikeasti käytettävää laastia on turha kehittää eteenpäin. Laastin helppokäyttöisyys on yksi tuotteen perusvaatimuksista. Laastin levittäminen tapahtuu käsin terässokan avulla (kuva 3.3) tai rappausruiskulla.



Kuva 3.3 Pohjalaastin levitystä polystyreenialustalle.

Vesimäärän selvitys

Levitysominaisuuksien tutkimisen yhteydessä selvitetään myös oikea vesimäärä, joka sekoitetaan kuivalaastiin. Kuivalaastiin lisätään ensin selvästi liian pieni vesimäärä, laasti sekoitetaan ja tutkitaan, onko vettä lisättävä. Vettä lisätään prosenttiyksiköittäin kunnes laastilla on haluttu olomuoto. Se on laastin käyttötarkoituksesta riippuen aina hieman erilainen.

3.3 Lujuusominaisuudet

Lujuusominaisuuksien testaamista varten laastinäytettä valmistetaan 2 kg. Sillä määrällä saadaan tehtyä laastiprismat taivutus- ja puristuslujuustestiä varten sekä tartuntalujuuden testaus. Laastiprismat ovat koekappaleita taivutus- ja puristuslujuustestiä varten, joiden koko on normaalisti 40 mm x 40 mm x 160 mm (kuva 3.4). Laastiprismojen päihin voidaan halutessa valaa terästäpit, joiden avulla voidaan mitata kovettuvan laastin kutistuma.



Kuva 3.4 Laastiprisma, johon on valettu terästapit kutistumamittausta varten.

3.3.1 Taivutus- ja puristuslujuus

Testi tehdään standardin SFS-EN 1015-11 mukaan. Laastiprismat valetaan teräsmuotteihin (kuva 3.5), ja niitä säilytetään kaksi vuorokautta (95 ± 5 %) :n suhteellisessa kosteudessa. (95 ± 5 %) :n suhteellinen kosteus saadaan aikaan esimerkiksi sulkemalla näytteet polyeteenipusseihin. Kahden vuorokauden jälkeen muotit puretaan ja prismoja säilytetään edelleen viisi vuorokautta polyeteenipusseissa. Yhdestä teräsmuotista saadaan kolme koekappaletta kooltaan 40 mm x 40 mm x 160 mm. Seitsemän vuorokauden kuluttua näytteet siirretään (65 ± 5 %) :n suhteelliseen kosteuteen. 28:n vuorokauden iässä laastiprismoista testataan taivutus- ja puristuslujuudet. /5/



Kuva 3.5 Laastiprismat valetaan teräsmuotteihin.

3.3.1.1 Taivutuskoe

Koekappale taivutetaan kuvan 3.6 vasemman puoleisen mukaisella koelaitteistolla poikki.

Kappale asetetaan laitteeseen siten, että sen muottipinnat osoittavat ylös- ja alaspäin.

Tukien väli on 100 mm, ja taivuttava voima kohdistetaan keskelle jänneväliä.

Taivutusmurtovoima kirjataan ylös, ja taivutuslujuus lasketaan kaavasta 1 /5/:

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

jossa

- f = taivutuslujuus [N/mm²]
- F = murtovoima [N]
- l = tukien väli [mm]
- b = koekappaleen leveys [mm]
- d = koekappaleen korkeus [mm]



Kuva 3.6 Taivutus- ja puristusmurtolaite

3.3.1.2 Puristuskoe

Taivutuskokeesta saadut kaksi prisman puolikasta puristetaan kuvan 3.6 oikean puoleisella laitteella. Puristavan pinnan pinta-ala on 40 mm x 40 mm, joten prisma asetetaan tarkasti reunojaan myöden puristusalustalle muottipinnat osoittamaan ylös- ja alaspäin.

Puristumurtovoima kirjataan ylös ja puristuslujuus lasketaan kaavasta 2 /5/:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (2)$$

jossa f_c = puristuslujuus [N/mm²]

F = murtovoima [N]

A = Puristuspinta-ala [mm²]

Standardissa SFS-EN 998-1 puristuslujuus on jaettu luokkiin CS I - CS IV (taulukko 1).

Taulukko 1 Puristuslujuus 28 d

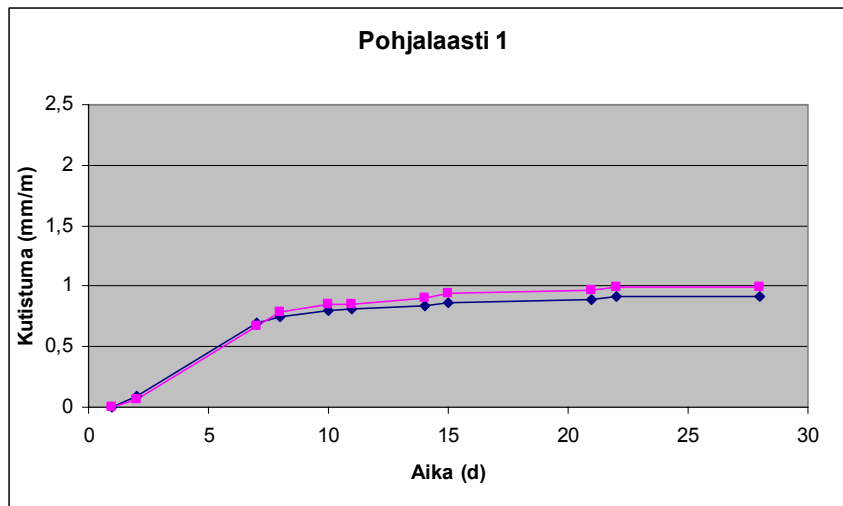
Luokka	Vaatus (N/mm ²)
I	0,4..2,5
II	1,5..5,0
III	3,5..7,5
IV	> 6

3.3.2 Kutistuma

Kutistumaa seurataan 28:n vuorokauden ajan, jolloin kutistuma on jo tasaantunut. Mittaus suoritetaan 23 °C:ssa ja 50 %:n suhteellisessa kosteudessa. Mittakellolla mitataan laastiprismojen päihin valettujen terästappien välinen etäisyys (kuva 3.7). Saatua arvoa verrataan 1 vrk:n iässä mitattuun arvoon, josta saadaan prisman sen hetkinen kutistuma. Kun prisman kutistuma jaetaan prisman pituudella, saadaan laastin kutistuma metriä kohden [mm/m]. 28 vuorokauden aikana mitatuista arvoista piirretään kuvaaja (kuva 3.8), jossa kutistuman arvo on ajan funktiona. Kuvaajasta voidaan tulkita kuivuvan laastin kutistumiskäyttäytymistä.



Kuva 3.7 Mittakello



Kuva 3.8 Esimerkki kutistumakuvaajasta

3.3.3 Laastin ja alustan välinen tartunta

Testi tehdään standardin SFS-EN 1015-12 mukaan. Laasti levitetään kostutetulle betonilaatalle (10 ± 1) mm:n kerrokseksi sapluunan avulla. Kun laasti on hieman nahoittunut, painetaan 50 mm halkaisijaltaan olevalla renkaalla kuusi betonialustaan asti ulottuvaa jälkeä laastiin (kuva 3.9). Laastinäytteitä säilytetään seitsemän vuorokautta polyeteenipusseissa (20 ± 2) °C:n lämpötilassa. Sen jälkeen näytteet siirretään polyeteenipusseista (65 ± 5) %:n suhteelliseen kosteuteen ja annetaan kuivua 21 vuorokautta lisää. 27 vuorokauden iässä laastilieriöihin liimataan vetokappaleet (kuva 3.10). /6/



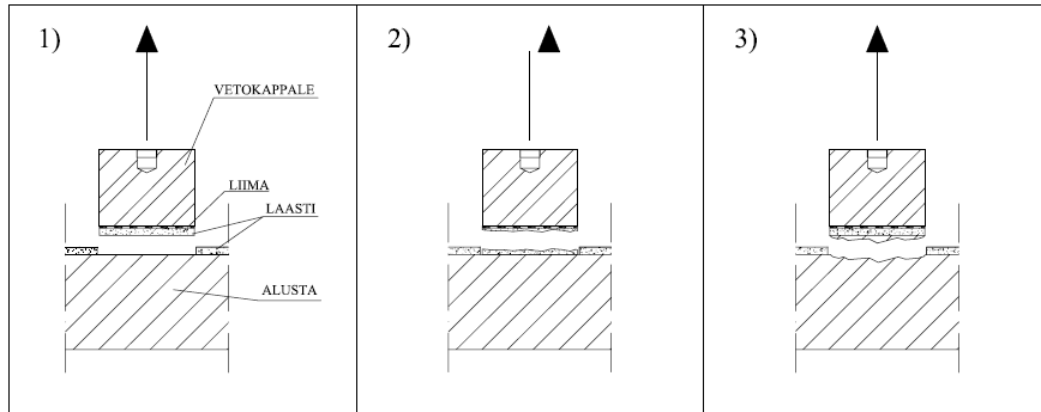
Kuva 3.9 Laastiin painetaan jäljet, jotka ulottuvat rappausalustaan asti.

Vetokappaleet vedetään irti kuvan 3.10 mukaisella laitteistolla. Murtoon tarvittava voima kirjataan ylös. Tartuntalujuus lasketaan jakamalla murtovoima laastilieriön poikkileikkauspinta-alalla. /6/



Kuva 3.10 Tartuntalujuuden testaamiseen käytettävä laitteisto.

Myös murtokuvio tutkitaan ja kirjataan. Laastin vetomurto voi tapahtua kolmella eri tavalla (kuva 3.11): adheesiomurto, koheesiomurto laastissa tai alustassa. Adheesiomurrossa laastin ja alustan välinen tartunta pettää, jolloin testissä saatu vetolujuus vastaa tartuntalujuutta. Koheesiomurrossa testitulos vastaa alustan lujuutta tai laastin sisäistä tartuntalujuutta, jolloin laastin tartuntalujuus alustaan on suurempi kuin saatu testitulos. /6/



Kuva 3.11 1) Adheesiomurto, 2) Koheesiomurto laastissa ja 3) Koheesiomurto alustassa.

3.4 Kovettuneen laastin vesihöyryn läpäisevyys

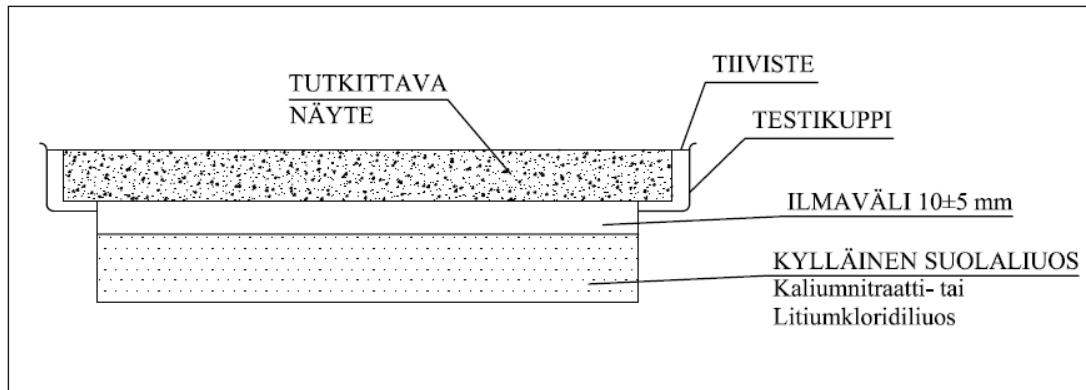
Testi tehdään Standardin SFS-EN 1015-19 mukaan. Testi perustuu vesihöyryn diffundoitumiseen laastinäytteen lävitse, jolloin näytepurkin massa kasvaa tai pienenee vesihöyryvirran suunnasta riippuen. Koestettavasta laastista valmistetaan kymmenen lieriötä, jotka ovat korkeudeltaan 10 - 30 mm ja halkaisijaltaan vähintään 170 mm. Laastilieriöt valetaan betonilaatalle, jonka päälle on asetettu kaksi kerrosta puuvillaharsoa. Lieriöitä säilytetään (20 ± 2) °C:ssa ja (95 ± 5) %:n suhteellisessa kosteudessa kahden vuorokauden ajan (kuva 3.12). /7/



Kuva 3.12 Laastilieriöitä säilytetään lähes 100 %:n suhteellisessa kosteudessa 2vrk:n ajan.

Kahden vuorokauden kuluttua laastilieriöt irroitetaan alustastaan ja puuvillaharsosta. Sen jälkeen näytteitä säilytetään (20 ± 2) °C:ssa ja (50 ± 5) %:n suhteellisessa kosteudessa 26 vuorokautta. /7/

Viisi lieriöstä tiivistetään ilmatiiviisti ruostumattoman teräskupin (kuva 3.13) päälle, jossa on kylläistä kaliumnitraatti-liuosta. KNO_3 -liuos aiheuttaa kupin sisälle 93,2 %:n suhteellisen kosteuden. Loput viisi lieriötä tiivistetään kupin päälle, jossa on kylläistä litiumkloridi-liuosta. LiCl -liuos aiheuttaa kuppiin 12,4 %:n suhteellisen kosteuden. Kuppien suuaukon pinta-ala on noin $0,02 \text{ m}^2$. Liuosten ja näytteiden väliin jätetään 10 ± 5 mm kokoinen ilmaväli. /7/



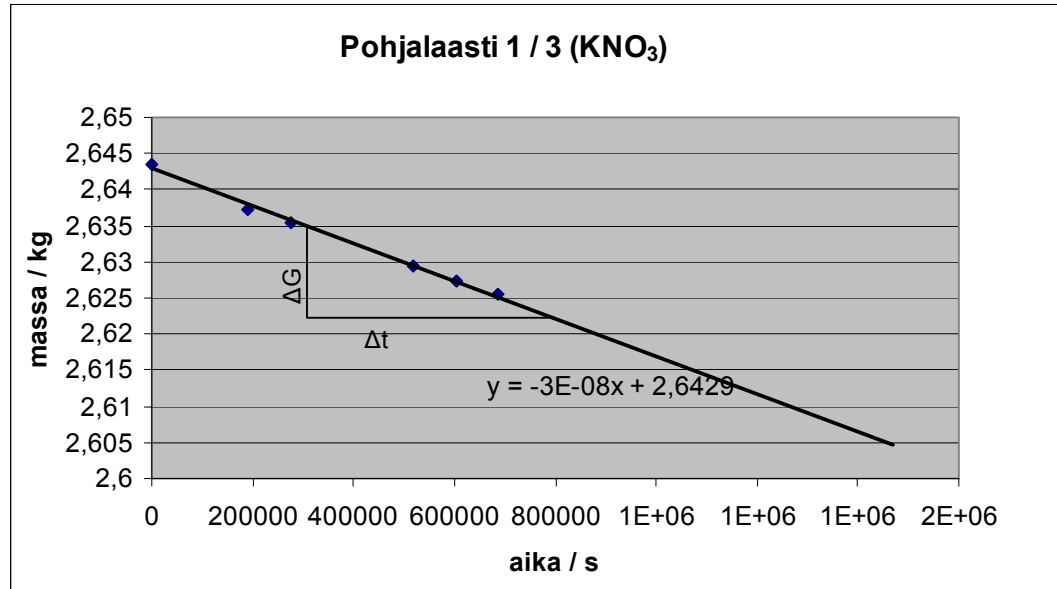
Kuva 3.13 Periaatekuva vesihöyrynläpäisevyyden mittausjärjestelyistä

Jokainen näyte punnitaan kuppeineen ja tulokset kirjataan muistiin. Näytekuppien massaa seurataan, kunnes massan muutoksen suhde ajan muutokseen (vesihöyryvirta) tasaantuu. Seurannan ajan näytteitä säilytetään (20 ± 2) °C:ssa ja (50 ± 5) %:n suhteellisessa kosteudessa. Kuppien massasta piirretään kuvaaja ajan funktiona (kuva 3.14). Kun mittauspisteet asettuvat lineaarisesti, vesihöyryvirta on tasaantunut. Vesihöyryvirta saadaan laskemalla kuvaajasta lineaarisen regressiosuoran kulmakerroin kaavan 3 avulla:

/7,8/

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta G}{\Delta t} \quad (3)$$

jossa k = suoran kulmakerroin = vesihöyryvirta [kg/s]
 ΔG = vesihöyryyn massan muutos [kg]
 Δt = ajan muutos [s]



Kuva 3.14 Vesihöyryvirran kuvaaja

Vesihöyryn läpäisevyys lasketaan kaavasta 4 /7/:

$$\Lambda = \frac{1}{A \frac{\Delta_p}{(\Delta G / \Delta t)} - R_A} \quad (4)$$

jossa

Λ = vesihöyryn läpäisevyys [$\text{kg}/\text{m}^2\text{sPa}$]

A = Testauspurkin avoimen osan pinta-ala [m^2]

Δ_p = ympäröivän ilman ja suolaliuksen vesihöyrynpaineiden erotus [Pa], joka saadaan taulukosta (Liite 1).

$(\Delta G / \Delta t)$ = vesihöyryvirta [kg/s]

R_A = purkissa olevan ilman vesihöyryn vastus, $0,048 \times 10^9 \text{ Pa m}^2/\text{kg}$ 10 mm:n ilmaväliä kohden.

Standardin SFS-EN 998-1 mukainen vesihöyryn läpäisykerroin μ saadaan kaavasta 5 /7/:

$$\mu = \frac{1,94 \cdot 10^{-10}}{\Lambda} \quad (5)$$

jossa

$1,94 \cdot 10^{-10}$ = ilman vesihöyryn läpäisykerroin $20 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa ja 101325 Pa :n paineessa

Λ = vesihöyryn läpäisevyys [$\text{kg}/\text{m}^2\text{sPa}$]

3.5 Veden hylkivyyys

Testissä verrataan eri reseptien veden hylkivyyttä. Kaikkiin tutkittaviin näytteisiin lisätään värillistä pigmenttiä, jonka avulla voidaan havaita härmeen muodostuminen. Näytteet levitetään kipsilevyalustalle samanpaksuisiksi kerroksiksi 2 mm:n laastisapluunan avulla ja annetaan kuivua muutaman vuorokauden ajan. Näytteiden päälle tiivistetään lasiputket, joissa on mitta-asteikko (kuva 3.15). Putket täytetään vedellä ja aloitetaan mittaus. Veden imeytymistä tarkkaillaan sopivin väliajoin ja kirjataan tulokset muistiin. Tuloksista piirretään kuvaaja veden imusta ajan funktiona.



Kuva 3.15 Vedenhylkivyyksmittauksen testausjärjestely

Jokaisen näytteen pinnalle tiputetaan samankokoinen pisara vettä (esim. 1 ml), ja annetaan sen kuivua. Kuivumisen jälkeen näytteen pinnalle voi muodostua kalkkihärmettä (kuva 3.16). Verrataan härmejätkien suuruuksia keskenään.



Kuva 3.16 Veden kuivuttua näytteeseen muodostuu kalkkihärmettä

3.6 Kapillaarinen vedenimu

Testi suoritetaan standardin SFS-EN 1015-18 mukaan. Koestettavasta laastista valmistetaan kolme laastiprismaa (koko 40 mm x 40 mm x 160 mm) teräsmuotissa, joka on vuorattu absorboivalla suodatinpaperilla. Suodatinpaperin neliömassa tulisi olla (200 ± 20) g/m² ja vedenimukyky (160 ± 20) g/m². Valamisen jälkeen myös laastin pinta peitetään suodatinpaperilla. /9/

Sementtilaastipohjaisia prismoja säilytetään muotissa kaksi vuorokautta (20 ± 2) °C:ssa ja (95 ± 5) %:n suhteellisessa kosteudessa. Muotista purkamisen jälkeen prismat pidetään vielä viisi vuorokautta (20 ± 2) °C:ssa ja (95 ± 5) %:n suhteellisessa kosteudessa.

Seitsemän vuorokauden jälkeen prismat siirretään 21 vuorokaudeksi (20 ± 2) °C:een ja (65 ± 5) %:n suhteelliseen kosteuteen. /9/

Em. hoitoaikojen jälkeen prismojen pitkät sivut tiivistetään huolellisesti parafiiniemulsiolla tai vastaavalla aineella, jonka sulamispiste on yli 60 °C. Prismat katkaistaan keskeltä kahteen osaan siten, että niistä muodostuu kuusi n. 40 mm x 40 mm x 80 mm:n kokoista koekappaletta. /9/

Koekappaleita kuivataan tuuletettavassa uunissa (60 ± 5) °C:ssa kunnes kaksi 24 tunnin sisällä tehtyä punnitustulosta eroavat toisistaan korkeintaan 0,2 % kappaleen kokonaismassasta. /9/

Laakeaan astiaan laitetaan tislattua vettä, johon koepalat asetetaan katkaistu pinta alaspäin 5 - 10 mm:n syvyyteen ja ajanotto käynnistetään. Kymmenen minuutin jälkeen koepala otetaan vedestä, pyyhitään rievulla koepalan upoksissa olleet pinnat ja punnitaan koepala. Koepala asetetaan takaisin vesiupotukseen mahdollisimman nopeasti. Punnitus toistetaan uudelleen 90 minuutin kuluttua kokeen aloittamisesta. /9/

Kapillaarinen vedenimukerroin lasketaan kaavasta 6 /9/:

$$C = 0,1(M_2 - M_1) \frac{1}{m^2 \sqrt{\text{min}}} \quad (6)$$

jossa C = kapillaarinen vedenimukerroin [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{min}^{0,5}$]
 M_2 = koekappaleen massa 90 minuutin kuluttua testin aloittamisesta [kg]
 M_1 = koekappaleen massa 10 minuutin kuluttua testin aloittamisesta [kg]

Lasketaan kuuden koekappaleen kapillaaristen vedenimukertoimien keskiarvo.

Standardissa SFS-EN 998-1 kapillaarinen vedenimukyky on jaettu luokkiin W0 - W2 (taulukko 2) /1/.

Taulukko 2 Kapillaarinen vedenimukyky

Luokka	Vaatimus $\text{kg}/\text{m}^2 \text{min}^{0,5}$
W0	Ei määritelty
W1	$C < 0,40$
W2	$C < 0,20$

3.7 Iskulujuus

Kaksikerroseristerappaus on hyvin herkkä iskuille johtuen ohuesta rappauskerroksesta ja pehmeästä rappausalustasta. ETAG 004 -ohjeessa iskulujuustestaus tehdään valmiille eristerappaukselle mukailien standardia ISO 7892: 1988.

3.7.1 Törmäyskestävyys

Lämmöneristeestä leikataan riittävän suuri pala, vähintään 500 mm x 500 mm. Lämmöneriste kiinnitetään liimalaastilla erilliselle alustalle kuten kipsilevyille, joka on mahdollista asettaa myöhemmin vaakatasoon. Lämmöneristeen päälle tehdään pohjarappaus ja siihen asennetaan rappausverkko. Rappausverkko asennetaan peittämään vain puolet koepalasta, jotta testistä ilmenisi rappausverkon vaikutus törmäyskestävyyteen. Pohjarappauksen kuivuttua, sen päälle tehdään pintarappaus. Rappauskerrosten kuivuttua hyvin, koekappale asetetaan vaakatasoon. /10/

Törmäyskestävyys testataan pudottamalla rappauksen päälle teräskuula sellaiselta korkeudelta, joka aiheuttaa rappaukseen energialtaan 10 joulun ja 3 joulun törmäyksen. ETAG 004 ohjeessa em. törmäysenergiat saadaan pudottamalla 1 kg:n painoinen teräskuula 1,02 m:n korkeudelta ja 0,5 kg:n painoinen kuula 0,61 m:n korkeudelta rappauksen päälle. Standardissa ISO 7892: 1988 teräskuula pudotetaan langan varassa pystysuoralle rappauspinnalle. Putoavan kappaleen liike-energia lasketaan kaavasta 6 /8/:

$$E = mgh \quad (6)$$

jossa E = kappaleen potentiaalienergia [J]
 m = kappaleen massa [kg]
 g = putoamiskiihtyvyys [m/s^2]
 h = putoamiskorkeus [m]

Pallon muotoisen esineen tilavuus voidaan laskea kaavan 7 avulla /8/:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (7)$$

jossa V = kappaleen tilavuus [m^3]
 r = pallon säde [m]

Kun tunnetaan homogeenisen esineen tilavuus ja tiheys, voidaan laskea sen massa kaavan 8 avulla /8/:

$$m = \rho V \quad (8)$$

jossa m = kappaleen massa [kg]
 ρ = aineen tiheys [kg/m³]
 V = kappaleen tilavuus [m³]

Teräskuulaa pudotetaan eri korkeuksilta ja rappausten eri kohdille (esim. verkottomalle ja verkotetulle alueelle). Rappaukseen törmäyksen yhteydessä syntyneen jäljen halkaisija mitataan ja ilmoitetaan. /10/

3.7.2 Lävistyskestävyys

Lävistyskestävyys tulee koestaa, kun rappausten kokonaispaksuus on hyvin ohut. Testaus suoritetaan erityisellä laitteistolla (kuva 3.17). 0,500 kg:n paino pudotetaan 0,765 m korkeudelta sylinterin päälle. Laitteen alapäähän rappauspintaa vasten asennetaan erikokoisia sylintereitä taulukon 3 mukaisesti. Mitä pienemmän sylinterin iskun rappaus kestää, sen parempi on lävistyskestävyys. /10/



Kuva 3.17 Lävistyskestävyyden testauslaitteisto /11/

Taulukko 3 Sylintereiden mitat /10/

Sylinterin no	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D [mm]	4	6	8	10	12	15	20	25	30
A [mm]	10	10	15	15	15	15	15	15	15
B [mm]	20	20	15	15	15	15	15	15	15

3.8 Ulkotestaus

Rappauksen pakkasenkestävyyttä ja soveltuvuutta ulko-oloihin voidaan arvioida ulkotestauksen avulla. Testi ei ole kuitenkaan toistettavissa samanlaisena säiden vaihtelevuuden takia, joten eri aikaan testattuja näytteitä ei voi verrata keskenään.

Ulkotestaus perustuu rappaukseen syntyneiden vaurioiden silmämääräiseen tulkintaan. Pakkasrasituksen suhteen parhaat testiolosuhteet ovat keväisin ja syksyisin kun ilman suhteellinen kosteus on korkea ja lämpötila vaihtelee 0 °C:n molemmin puolin.

Testattava laasti levitetään betonilaatalle ja annetaan kuivua riittävästi. Kuivumisajan jälkeen betonilaatat siirretään ulos sateelle alttiiseen paikkaan (kuva 3.18). Rappausten vaurioita seurataan viikoittain.



Kuva 3.18 Laastinäytteet ovat säiden armoilla ulkotestauksessa.

4 YHTEENVETO

Käytännön tutkimustyö perustui edellisissä kappaleissa esitettyihin teorioihin ja tutkimusmenetelmiin. Näiden tutkimusmenetelmien avulla kehitettiin erityyppisiä rappauslaasteja. Laastien tutkimus- ja kehitystyö onnistui hyvin.

Standardin mukaisia testimenetelmiä käytettiin hyväksi, ja niitä sovellettiin hieman omaan käyttöön sopiviksi, jolloin testit olivat helpommin toistettavissa. Kaikkia CE-merkin saamiseksi vaadittavia standardin SFS-EN 998-1 Laastien spesifikaatiot. Osa 1:n testejä ei tämän työn puitteissa ehditty toteuttaa, mutta suurimpaan osaan niistä saatiin hyviä kokemuksia.

LÄHTEET

- 1 Julkisivut-liite, Rakennuslehti 9/2008. S. 9-23.
- 2 Suomen betoniyhdistys, Rappauskirja 2005, Suomen betonitieto Oy 2005.
- 3 Bayer, Roland - Lutz, Hermann, Dry mortars from Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry.
- 4 Suomen standardoimisliitto SFS, SFS-EN 998-1 Laastien spesifikaatiot. Osa 1: Rappaus- ja tasoitelaastit, 2003
- 5 Suomen standardoimisliitto SFS, SFS-EN 1015-11 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 11: Kovettuneen laastin taivutus- ja puristuslujuuden määrittäminen, 1999
- 6 Suomen standardoimisliitto SFS, SFS-EN 1015-12 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 12: Kovettuneen rappaus- ja tasoitelaastin ja alustan välisen tartuntalujuuden määrittäminen, 1999
- 7 Suomen standardoimisliitto SFS, SFS-EN 1015-19 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 19: Kovettuneen rappaus- ja tasoitelaastin vesihöyryn läpäisevyyden määrittäminen, 1998
- 8 Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto, MAOL taulukot, Kustannusosakeyhtiö Otava 1999
- 9 Suomen standardoimisliitto SFS, SFS-EN 1015-18 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 18: Kovettuneen laastin kapillaarisen vedenimukertoimen määrittäminen, 1998
- 10 European Organisation for Technical Approvals, ETAG 004 External thermal insulation composite systems with rendering, 2000
- 11 TZUS. [www-sivu]. [viitattu 24.1.2008] Saatavissa:
<http://www.tzus.cz/en/index.php?ID=546fa7d95d93b50a14baa7b8c94b19b8&MTL1=5&MTL2=5&MLL1=-1&MLL2=-1&INC=0&LNG=0>

Rakennustekniikka, Talonrakennustekniikka

Kimmo Mattila

VESIHÖYRYN KYLLÄSTYMISPAINEET JA -TIHEYDET

Lämpötila t / °C	Tiheys v _k / [g/m ³]	Paine p _k / [Pa]	Lämpötila t / °C	Tiheys v _k / [g/m ³]	Paine p _k / [Pa]	Lämpötila t / °C	Tiheys v _k / [g/m ³]	Paine p _k / [Pa]
-20	0,87	102	14	12,1	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,1	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,3	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,4	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,2	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,4	292	25	23	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,7	3999	63	148	22943
-4	3,6	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,6	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,4	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,8	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,4	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			