

Mikko Koskivuori

Liitosnauhojen käytettävyys ikkunaliittymien tiivistyksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Korjausrakentaminen

Opinnäytetyö

5.9.2016

Tekijä(t) Otsikko	Mikko Koskivuori Liitosnauhojen käytettävyys ikkunaliittymien tiivistyksessä
Sivumäärä Aika	120 sivua + 9 liitettä 5.9.2016
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen
Ohjaajat	Tiimipäällikkö Jarmo Saarinen, DI Yliopettaja Hannu Hakkarainen, TkL
<p>Rakenteiden ja erityisesti rakenneliittymien hyvä ilmatiiviys parantaa rakennusten energiatehokkuutta, ääneneristävyyttä, sisäilman laatua sekä rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Kuitenkaan rakenneliittymien tiivistyksessä sovelletut toteutustavat tai asennuksille laaditut ohjeistukset eivät ole täysin vastanneet määräyksissä edellytettyä ilmatiiviuden tasoa 30–40 vuotta sitten tai useissa tapauksissa vielä nykypäivänäkään.</p> <p>Viime vuosina Suomen rakennustuotemarkkinoille on ilmestynyt erilaisia ratkaisuja ikkunarakenteen ilmatiiviiseen liittämiseen ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen. Eräs näistä tuoteryhmistä ovat liitosnauhatuotteet.</p> <p>Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli ensisijaisesti selvittää, onko ikkunan ja seinän liitoksen tiivistäminen ilmatiiviisti mahdollista käyttäen liitosnauhatuotteita sekä millaiset asennus- ja esikäsitteilytavat parhaiten mahdollistavat riittävän ilmatiiviuden toteutumisen liitosnauhatuotteilla toteutettavissa ikkunaliittymien tiivistystöissä. Lisäksi tutkimuksen yhteydessä arvioitiin sovellettujen koestustapojen soveltuvuutta käytettäväksi ikkunaliitosten laadunvarmistuksessa.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimustulosten perustella voitiin osoittaa, että ikkunaliittymän ilmatiivis toteutus siten, että ikkunan karmirakenne liittyy liitosnauhatuotteella ulko-seinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen, on mahdollista. Riittävää ilmatiiviyttä ei kuitenkaan voida saavuttaa ilman oikeanlaista ja huolellista asennustekniikkaa tai alustan esikäsitteilyn ollessa puutteellinen. Huomiota tulee kiinnittää erityisesti liittymien vaikeiden yksityiskohtien toteutukseen sekä erilaisten liitosnauhatuotteiden ja esikäsitteilytapojen soveltuvuuteen liittyville materiaaleille ja erilaisille liittymätyypeille. Riittävän ilmatiiviuden toteutuminen edellyttää myös asennustyön eri vaiheiden tarkkaa valvontaa ja laadunvarmistusta.</p> <p>Tutkimuksessa sovelletuista koestustavoista parhaiten ikkunaliittymien laadunvarmistuksessa todettiin voitavan hyödyntää merkkiainetekniikkaa sekä liitosnauhojen tartunnan aistinvaraista tarkastelua kolmioviiltokoemenetelmän avulla.</p>	
Avainsanat	ilmatiiviys, ikkunat, ikkunaliittymät, liitosnauhat, asennusohjeet

Author(s) Title	Mikko Koskivuori Usability of PSA -Sealants as Window Joint Sealant
Number of Pages Date	120 pages + 9 appendices 5.9.2016
Degree	Master's degree in Civil Engineering
Degree Programme	Master's degree Programme in Civil Engineering
Specialisation option	Renovation
Instructor(s)	Jarmo Saarinen, M.Sc., Team Manager Hannu Hakkarainen, Lic.Sc., Principal Lecturer
<p>Good air tightness of structural joints improves the energy-efficiency, level of sound proofing, indoor air quality of buildings and the structures' abilities of resisting humidity. However, the instructions or the installation procedures used for sealing structural joints have not entirely corresponded to the regulations given 30-40 years ago or in some cases even to the regulations of today.</p> <p>In recent years many new products have been introduced to the Finnish market to improve the air tightness of buildings. One of these product groups is the PSA (Pressure Sensitive Adhesive) –tapes specified for the use of sealing window joints.</p> <p>The purpose of this study was primarily to determine whether it would be possible to use PSA –tapes as window joint sealant in a way that the outcome of the joint's air tightness is sufficient in relation to the Finnish regulations about the air tightness of buildings, and which installation procedures would best be suited for the use in installments of PSA-sealants in order to gain the maximum level of air tightness in window joints. The second objective of this study was to determine the best methods for the use of quality assurance of the window sealant installations.</p> <p>In this study it could be demonstrated that the window frame structure can be joined air-tightly to the air tight structural layer of the external wall with a PSA-sealant. However, it is not possible without adequate and cautious installation technique or if the pretreatment of the installation surface is insufficient. In installation work attention must be paid to the difficult details of the joints and the suitability of the used PSA-products and pretreatment techniques for the different materials and types of joints. Also, an air tight outcome of the sealing installations requires precise quality control in every phase of the installation.</p> <p>From the quality assurance methods applied in the study it was determined that best suited for quality assurance of the air tightness and quality of PSA-sealant installation of window joints are the tracer gas leak detection system and the manual pulling test of the PSA-installation.</p>	
Keywords	air tightness, window joints, structural joints, pressure sensitive adhesive tapes, installation instructions

Sisällys

Termistö ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Hankkeen tausta	1
1.2	Tutkimusongelma	2
1.3	Tutkimuksen tavoitteet	3
1.4	Tutkimuksen rajaukset	4
2	Rakennuksen ulkovaipan rakennusfysikaalinen toiminta	6
2.1	Kosteus	6
2.2	Lämpö	7
2.3	Ilma	8
2.4	Rakennuksen painesuhteet ja siihen vaikuttavat tekijät	9
2.4.1	Savupiippuvaikutus	11
2.4.2	Tuuli	12
2.4.3	Ilmanvaihto	13
2.5	Tiiviyden merkitys rakennuksen rakennusfysikaaliselle toiminnalle	14
2.5.1	Vesihöyrytiiviyys	15
2.5.2	Ilmatiiviys	16
2.5.3	Tiiviyden vaikutukset	17
2.5.4	Tiiviyden toteuttamisen tavoitteet	18
2.6	Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviys ja sisäilman laatu	19
2.6.1	Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät	19
2.6.2	Ilmavuotojen syntymiseen vaikuttavat tekijät	20
2.6.3	Ilmavuotojen merkitys sisäilman laatuun	21
3	Ikkunaliittymien ilmatiiviys	22
3.1	Ikkunaliittymien ilmatiiviyden merkitys	22
3.2	Nykyiset määräykset ja ohjeet	23
3.2.1	Rakentamismääräykset	24
3.2.2	Ohjeet, julkaisut ja artikkelit	24
3.3	Ikkunaliittymien ilmatiiviyden tavoitteet	27
3.4	Ikkunaliittymien tiivistys, nykykäytännöt	27
3.4.1	Yleisimmät tiivistyskäytännöt ja -materiaalit	27
3.4.2	Kokemuksia tiivistyskäytännöistä	29

3.4.3	Erityiset korjausratkaisut rakenteiden ilmatiivyyden parantamiseksi	34
3.4.4	Toteutuksen laatu ja laadunvarmistus	35
4	Liitosnauhatuotteet	37
4.1	Yleistä	37
4.2	Ohjeet ja julkaisut	37
4.3	Liitosnauhatuotteiden nykykäyttö	38
4.4	Käyttökokemuksia kohteista	39
4.5	Materiaalit ja rakenne	42
4.5.1	Vahvikeosa	43
4.5.2	Tiivistävä kerros	43
4.5.3	Kiinnityслиima	43
4.6	Liitosnauhojen fysikaalisia ominaisuuksia	44
4.6.1	Vahvikeosa	44
4.6.2	Tiivistävä kerros	44
4.6.3	Liimamassat	45
4.7	Tartunta	47
4.7.1	Adheesioteoriat	48
4.7.2	Liitosnauhojen tartuntaan vaikuttavat tekijät asennuksessa	50
4.8	Ikkunaliittymien tiivistyksen toteutus liitosnauhatuotteilla	52
5	Tutkimusmenetelmät	54
5.1	Rakenneliittymien ilmatiiviyys	54
5.1.1	Merkkiainetutkimus	54
5.1.2	Aistinvarainen arviointi	56
5.2	Tartuntalujuus	57
5.2.1	Tartuntavetolujuuskoe vetokoelaitteistolla	57
5.2.2	Kolmioviiltokoe	60
5.3	Betonin suhteellinen kosteuspitoisuus	62
5.3.1	Porareikämittaus	63
5.3.2	Näytepalamittaus	64
6	Laboratoriokokeet	66
6.1	Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna kevyen ulkoseinärakenteen höyrynsulkukalvon pintaan	67
6.1.1	Koestuksen tavoitteet	67
6.1.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	67
6.1.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	71

6.1.4	Havainnot koestuksista	72
6.2	Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna kevyen ulkoseinärakenteen sisäverhouslevyn pintaan	73
6.2.1	Koestuksen tavoitteet	73
6.2.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	74
6.2.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	77
6.2.4	Havainnot koestuksista	78
6.3	Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna ulkoseinärakenteen kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielien pintaan	79
6.3.1	Koestuksen tavoitteet	79
6.3.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	80
6.3.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	83
6.3.4	Havainnot koestuksista	85
6.4	Vetokokeet betonialustoilta	86
6.4.1	Koestuksen tavoitteet	86
6.4.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	86
6.4.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	89
6.4.4	Kosteusmittausten tulokset	91
6.4.5	Koestuksen tulokset	92
6.4.6	Havainnot koestuksista	94
6.5	Vetokokeet vanerialustoilta	95
6.5.1	Koestuksen tavoitteet	95
6.5.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	95
6.5.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	97
6.5.4	Koestusten tulokset	98
6.5.5	Havainnot koestuksista	100
6.6	Kolmioviiltokokeet betonialustoilta	101
6.6.1	Koestuksen tavoitteet	101
6.6.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	101
6.6.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	102
6.6.4	Koestusten tulokset	102
6.6.5	Havainnot koestuksista	102
6.7	Kolmioviiltokokeet vanerialustoilta	103
6.7.1	Koestuksen tavoitteet	103
6.7.2	Koejärjestelyt ja rakenteet	103
6.7.3	Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät	104
6.7.4	Koestusten tulokset	104
6.7.5	Havainnot koestuksista	104

6.8 Tulosten tarkastelu	105
6.8.1 Malliasennusten koestus	105
6.8.2 Tartuntalujuuden arviointi	109
7 Johtopäätökset	114
Lähteet	116

Liitteet

Liite 1. Ikkunaliittymien tiivistys liitosnauhatuotteilla - ohjeistus

Liite 2. Merkkiainekoeraportit koerakennuksen kevytrakenteisen ulkoseinän höyrynsul-
kukalvon pintaan tehdyistä asennuksista

Liite 3. Merkkiainekoeraportit koerakennuksen kevytrakenteisen ulkoseinän sisäver-
houslevyn pintaan tehdyistä asennuksista

Liite 4. Merkkiainekoeraportit koerakennuksen ulkoseinärakenteiden kivrakenteisten
ikkunapielien pintaan tehdyistä asennuksista

Liite 5. Vetokokeiden tulokset betonialustoilta

Liite 6. Vetokokeiden tulokset vanerialustoilta

Liite 7. Betonialustojen kosteusmittaustulokset

Liite 8. Kolmioviiltokokeiden tulokset betonialustoilta

Liite 9. Kolmioviiltokokeiden tulokset vanerialustoilta

Termistö ja käsitteet

Adheesio

Adheesio kuvaa kahden eri aineen välistä vetovoimaa eli aineiden välistä tartuntaa.

Amorfinen aine

Aine jolla ei ole tarkkaa sulamispistettä, vaan aineen viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa.

Diffuusio

Ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan, esimerkiksi vesihöyry.

Höyrynsulku

Rakennekerros tai materiaali, jonka pääasiallinen tarkoitus on estää ulkovaipan läpi tapahtuva vesihöyryn diffuusio.

Ilmansulku

Rakennekerros tai materiaali, jonka pääasiallinen tarkoitus on estää ulkovaipan läpi tapahtuvat haitalliset ilmavirtaukset rakenteen sisään tai rakenteesta huoneilmaan.

Koheesio

Koheesio kuvaa saman aineen keskinäistä vetovoimaa, eli kykyä vastustaa ulkoisia voimia.

Kolmioviiltokoe

Koemenetelmä päällysteen ja alustan välisen tartunnan aistinvaraiseen arviointiin.

Kondenssi

Kondensoitumisella tarkoitetaan kaasumaisen aineen muuttuminen nesteeksi, esimerkiksi vesihöyryn tiivistyminen kylmällä pinnalla.

Liitosnauha

Rakenteen pintaan kiinnittyvä rakenneliitosten tiivistämiseen tarkoitettu teipinkaltainen nauhamainen tuote.

Merkkiainekoe

Koemenetelmä, jossa erityistä merkkikaasua käyttäen selvitetään ilmavirtauksia rakenteissa tai niiden läpi.

Operatiivinen lämpötila

Ihmisen tuntema kokonaislämpötila, johon vaikuttaa muun muassa ilman virtausnopeus ja ilman suhteellinen kosteus.

Sisäilmasto

Kuvaa sisätiloissa vallitsevia olosuhteita. Sisäilmasto koostuu kaikista sisätiloissa vaikuttavista kemiallisista ja fysikaalisista tekijöistä ja näiden yhteisvaikutuksesta.

Vesihöyryn konvektio

Kaasuseoksen, esimerkiksi ilman, sisältämän vesihöyryn siirtymistä kaasuseoksen mukana, sen liikkeessa paine-eron vaikutuksesta.

Vetokoe

Koemenetelmä pinnoitteen tai päällysteen ja alustan välisen tartuntalujuuden mittaamiseksi.

Viskoelastisuus

Sellaisten materiaalien ominaisuus, jotka käyttäytyvät osittain nesteen ja osittain kiinteän aineen tavoin.

1 Johdanto

Rakenteiden ja erityisesti rakenneliittymien hyvä ilmatiiviyys parantaa muun muassa rakennusten energiatehokkuutta, ääneneristävyyttä, sisäilman laatua sekä rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Rakenteiden ilmatiiviyden merkitys on huomioitu ja hyvää ilmatiiviyttä on edellytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman eri osissa jo 1970-luvulta lähtien. Kuitenkaan rakenneliittymien tiivistyksessä sovelletut toteutustavat tai asennuksille laaditut ohjeistukset eivät ole täysin vastanneet määräyksissä edellytettyä ilmatiiviyden tasoa 30–40 vuotta sitten tai useissa tapauksissa vielä viime vuosinakaan. (Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C2, 1975.)

Viimeisen noin vuosikymmenen aikana on kuitenkin tietoisuus rakennuksen ulkovaipan ilmatiiviyden merkityksestä rakennuksen sisäilman laadulle sekä rakennuksen energia- tehokkuudelle lisääntynyt merkittävästi. Epätiivien rakenneliittymien kautta tapahtu- vien ilmavirtausten mukana sisäilmaan kulkeutuvat, esimerkiksi maaperästä tai kosteus- vaurioituneista rakennusmateriaaleista peräisin olevat epäpuhtaudet voivat alentaa merkittävästi sisäilman laatua. Toisaalta myös ilmatiiviin toteutuksen on tarkoitus estää haitallisen vesihöyryn siirtyminen konvektiovirtausten mukana sisäilmasta ulkovaippa- rakenteisiin. (Pessi et al, 1999, RT 81-11099.)

Riittävän ilmatiiviyden saavuttamiseksi on Suomessa ja muualla maailmassa kehitetty useita menetelmiä ja tiivistykseen soveltuvia tuotteita. Jotta erilaisten työmenetelmien, näillä saavutettavissa olevan ilmatiiviyden tai ilmatiiviyden todentamiseen sovellettavi- en laadunvarmistusmenetelmien riittävyttä voidaan arvioida, tulisi kyetä määrittele- mään ne vaatimukset, työtavat ja laadunvarmistuksessa hyödynnettävät menetelmät, joita kulloisessakin rakennuskohteessa tai tapauksessa tulisi soveltaa ilmatiiviyystavoit- teiden saavuttamiseksi.

1.1 Hankkeen tausta

Seinän ja ikkunan liitoskohta on yksi merkittävimmistä rakennuksen ulkovaipan ilmatii- viyteen vaikuttavista rakenneliittymistä. Sen tiivistyksen toteutustapaa ohjeistetaan muun muassa RT-ohjetiedostossa *Puu ja puualumiini-ikkunat ja niiden asennus*. Ohje- tiedosto määrittelee, että ikkunan tulee liittyä ilma- ja höyrytiivisti ympäröivien seinän

sisäpinnan rakenteisiin. Karmin ja seinän välisen aukon tiivistäminen suoritetaan ohjetiedoston mukaan, joko sullomalla karmiväliin tilkettä tai pursottamalla siihen polyuretaanivaahdotus. Kuitenkaan karmin asennustukia tai kiinnitysruuviin kohdalla olevia kiiloja ei saa poistaa tilkitsemisen yhteydessä. (Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen 2008, RT 41-10947, 2009.)

Edellä kuvattu, nykyisessä ohjetiedostossa esitetty ja rakennustyössä yleisesti sovellettu tiivistystapa ei täysin vastaa Rakentamismääräyskokoelman vaatimuksia, joita ikkunaliittymien tiivydeltä edellytetään, eikä siten takaa ilmatiiviiden toteutumista käytännössä. Tiivistämällä esimerkiksi vain karmin ja apukarmin välinen rako, saattaa liittymärakenteeseen jäädä merkittäviäkin ilmatiiviyden puutteita, jos itse karmirakennetta ei liitetä yhtenäisesti ulkoseinärakenteen ilmatiiviiseen kerrokseen.

Rakennusinsinööriliiton julkaisussa RIL 107-2012 *Rakennusten veden- ja kosteuden-eristysohjeet* ikkunaliittymien tiiviyksivaatimuksia on käsitelty laajemmin. Julkaisussa ohjeistetaan, kuten edellä mainitussa RT-ohjetiedostossa, että ikkunakarmin tulee liittyä ilmatiiviisti seinärakenteen ilmatiiviiseen kerrokseen. Tämän lisäksi julkaisussa todetaan, että esimerkiksi pelkkä karmivälin polyuretaanivaahdotus ei yksinään riitä, vaan sauman sisäpuolinen tiivistys tulee toteuttaa pohjanauhalla ja elastisella saumausmassalla tai teipillä. Käytettävän tiivistysratkaisun tulee olla riittävän ilma- ja vesihöyrytiivis ja sen tulee pysyä ehjänä rakenteissa mahdollisesti tapahtuvista liikkeistä huolimatta. (RIL 107-2012, 2012.)

1.2 Tutkimusongelma

Viime vuosina Suomen rakennustuotemarkkinoille on ilmestynyt erilaisia ratkaisuja ikkunarakenteen ilmatiiviiseen liittämiseen ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen. Eräs näistä tuotteista on ikkunaliitosnauha. Ikkunaliitosnauha on teippimäinen, rakenteen pintaan liimattava nauha, jonka tarkoituksena on muodostaa yhtenäinen ilmanpitävä kerros ikkunakarmin ja seinärakenteen ilmanpitävän kerroksen välille. Verrattain uutena ratkaisuna ei yhtenäisiä kriteerejä liitosnauhatuotteilta tai niiden asennukselta vaadittaville ominaisuuksille tai suunnittelu-, asennus- ja laadunvarmistusohjeistusta liitosnauhatuotteiden käytölle ole luotu. Lisäksi laajamittaista tutkimusta erilaisien asennustapojen vaikutuksesta liitosnauhatuotteilla toteutettujen ikkunaliittymien ilmatiivyyteen tai olemassa olevien laadunvarmistusmenetelmien soveltuvuudesta lii-

tosnauhatuotteilla toteutettujen ikkunaliittymien ilmatiivyyden todentamiseen tai asennuksen onnistumiseen ei Suomessa ole vielä toteutettu.

Tutkimuksessa käsiteltävä problematiikka liittyy siis liitosnauhojen asennuksen ohjeistukseen sekä asennus- ja laadunvarmistusmenetelmien soveltuvuuteen liitosnauhatuotteiden asennuksen oikeellisuuden toteutukseksi.

Tutkimus pyrkii selvittämään vastauksen siihen, voidaanko liitosnauhatuotteita luotettavasti hyödyntää ikkunaliittymien tiivistyksen toteutuksessa, mitkä tekijät mahdollistavat ilmatiiviin ja luotettavan asennuksen liitosnauhatuotteilla sekä millaisilla laadunvarmistuskeinoilla liitosnauhatuotteilla toteutetun asennuksen oikeellisuus voidaan todentaa.

Työn tutkimusaineistona hyödynnetään pääasiassa laboratoriotutkimuksissa hankittua tietoa sekä ohjausryhmän jäsenten ja Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n aiempia kokeimuksia liitosnauhatuotteiden käytöstä ikkunaliittymien tiivistämisessä. Pääasiallisena tutkimuskeinona tutkimuksessa on erilaisille koerakenteille tehtävien malliasennusten ja näille suoritettavien koestusten avulla selvittää liitosnauhatuotteiden soveltuvuutta ikkunaliittymien tiivistykseen. Tutkimuksessa selvitetään myös liitosnauhan tartuntalujuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä tuotteille sovellettavien erilaisten asennustapojen vaikutusta asennuksissa saavutetulle ilmatiivyydelle. Asennuksia ja esikäsitteilytapoja arvioidaan aistinvaraisen tarkastelun lisäksi merkkiainetekniikalla sekä vetokoelaitteistolla tehtävien tartuntalujuuskokeiden avulla.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Koejärjestelyistä ja niille suoritettujen koestusten tulosten perusteella tavoitteena on ensisijaisesti selvittää, onko ikkunan ja seinän liitoksen tiivistäminen ilmatiiviisti mahdollista käyttäen liitosnauhatuotteita sekä millaiset asennus- ja esikäsitteilytavat parhaiten mahdollistavat riittävän ilmatiivyyden toteutumisen liitosnauhatuotteilla toteutettavissa ikkunaliittymien tiivistystöissä. Tarkoituksena on myös arvioida tutkimuksissa sovellettujen koestustapojen soveltuvuutta käytettäväksi ikkunaliitosten laadunvarmistuksessa.

Tutkimustuloksia hyödynnetään erikseen julkaistavan liitosnauhatuotteiden suunnittelu- asennus- ja laadunvarmistusohjeistuksen laatimisessa (Liite 1). Ohjeistuksen tarkoituksena on yhtenäistää liitosnauhatuotteiden suunnitteluun ja asennukseen liittyvä käytän-

töjä, edesauttaa tutkimustulosten hyödyntämistä käytännön rakennustyössä sekä osaltaan lisätä tehokkaiden työtapojen käyttöä rakenneliittymien tiivistämisessä.

Hankkeen toimeksiantajana toimii Vahanen Rakennusfysiikka Oy ja hanketta ovat rahoittaneet Ardex Oy, Tremco Illbruck Oy, Redi-Yhtiöt Oy ja Inwido Finland Oy.

1.4 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksessa käsitellään vain ikkunaliittymien ilmatiiviyden toteutusta. Ikkunaliittymillä tarkoitetaan tässä tapauksessa ikkunan karmirakenteen ja ympäröivien rakenteiden liitoksia eikä tutkimuksessa käsitellä itse ikkunarakenteen ilmatiiveyttä. Vaikka rakennusvaipan ilmatiiviyys muodostuu usean osa-alueen yhteisvaikutuksesta, voidaan ikkunoihin yhteydessä olevien rakenneliittymien osuutta ilmavuodoista pitää merkittävänä. Tutkimus rajautuu myös koskettamaan ainoastaan liitosnauhatuotteilla toteutettavia ikkunaliittymien tiivistysratkaisuja sillä muiden, aiemmin sovellettujen ikkunaliittymien tiivistystapojen, kuten polyuretaanivaahdotuksen, vedeneristemassoilla toteutettavien tiivistysten tai tiivistyskittauksen toimivuudesta, löytyy runsaasti tutkittua ja kokemusperäistä tietoa suhteellisen pitkältä ajanjaksolta. (Vinha et al. 2009, Kalamees et al. 2007.)

Tutkimuksen lähtökohta on liitosnauhatuotteiden asennustekniikan oikeellisuus ja asennusten ilmanpitävyys sekä laadunvarmistusmenetelmien hyödyntäminen. Tutkimuksen yhteydessä ei tarkastella ikkunaliittymistä tapahtuvien ilmavuotojen vaikutuksia laskennallisin menetelmien tai mallintamalla. Yksittäisten, pistemäisten tai rakenteiden raosta tapahtuvien ilmavuotojen laskennallisen tarkastelun voidaan katsoa olevan suhteellisen yksinkertaista perustapauksissa, mutta tällaisilla laskelmilla voidaan selvittää vain tietyissä olosuhteissa tapahtuvien ilmavuotojen voimakkuutta tai teoreettisten epäpuhtauslähteiden vaikutusta yksittäisen tilan sisäilman pitoisuuksien keskiarvoon. Kuvatun tyyppisiä laskennallisia tarkasteluja erilaisten rakenteiden ja olosuhteiden vaikutuksesta yksittäisten ilmavuotojen merkittävyyteen on käsitelty laajasti Jarno Revon diplomityössä Betonirakenteiden ilmatiiveyden hallinta sisäilmakorjauksissa. (Repo 2016.)

Jotta voitaisiin totuudenmukaisesti arvioida ikkunaliittymistä tapahtuvien ilmavuotojen vaikutusta rakennuksen sisäilmastolle, tulisi tällaisella tarkastelussa ottaa huomioon

muun muassa muista epäjatkuvuuskohdista tapahtuvien ilmavuotojen merkitys, ilmanvaihdon tehoasetusten vaikutus ilmavuotojen syntymiseen eri vuorokaudenaikoina, huonetilassa tai huoneistossa ilmanvaihdon tai ilmavuotojen vaikutuksesta syntyneet ilmavirtaukset ja tilan muoto sekä koko. Tällainen tarkastelu on mahdollista toteuttaa erilaisilla fysiikkamallinnusohjelmistoilla, mutta näinkin toteutettuna mallinnuksen tulokset koskisivat ainoastaan tiettyntyyppistä tilaa ja vaikka mallinnuksella toteutetulla tarkastelulla voidaan selvittää ilmavuotojen vaikuttavuutta yleisellä tasolla, sen tuloksia ei suoraan voida hyödyntää erityyppisiin tapauksiin, vaan ilmiöiden merkittävyksiä tulee tarkastella tapauskohtaisesti.

2 Rakennuksen ulkovaipan rakennusfysikaalinen toiminta

Rakenteiden rakennusfysikaalisella toiminnalla tarkoitetaan rakennejärjestelmän tai rakenteen ja sen muodostavien materiaalikerrosten kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia tai näiden yhteisvaikutusta rakenteen toiminnalle. Omaisuuksia voidaan tarkastella ja arvioida joko yksittäisen materiaalin osalta erikseen tai kerroksellisen rakenteen materiaalikerrosten toimintaa yhdessä. Rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttaa myös ilman liike rakenteissa, rakenteiden läpi tai rakenneliitosten läpi. Rakennusfysikaalista toimintaa voidaan tarkastella tietyinä ajanhetkenä, yleensä toiminnan kannalta kriittisissä olosuhteissa tai tarkastelu voidaan suorittaa vaihtelevissa olosuhteissa, tietyllä aikavälillä. Yleensä rakenteiden rakennusfysikaalista käyttäytymistä arvioidaan laskennallisen tarkastelun avulla.

2.1 Kosteus

Kosteus muodostuu vedestä, joka on hapen ja vedyn muodostama kemiallinen yhdiste, jonka molekyylikoko on pieni. Se voi esiintyä kolmessa eri olomuodossa; vesi (neste), jää (kiinteä) ja höyry (kaas.). Olomuoto, jossa kosteus esiintyy, riippuu kulloinkin vallitsevista lämpötila- ja paineolosuhteista. Näiden olosuhteiden muutokset joko kuluttavat tai vapauttavat energiaa. Rakenteissa kosteutta voi esiintyä kaikissa sen eri olomuodoissa ja rakenteille aiheutuva kosteusrasitus muodostuu kosteuden erilaisista fysikaalisista siirtymismuotojen vaikutuksesta tai näiden yhdistelmistä. Esimerkiksi konvektiovirtausten, kapillaarisen kosteuden nousun ja diffuusion yhteisvaikutuksesta rakenteelle. Muodostuvaan kosteusrasitukseen vaikuttavat muun muassa sisä- ja ulkoilman kosteuspitoisuus, maaperän kosteus ja sateen tai muun ulkoisen tekijän aiheuttama kosteusrasitus rakenteiden pinnoille. (Hakkarainen 2014, Ympäristöministeriö 1997.)

Kosteus voi siirtyä rakenteisiin tai rakenteen sisällä painovoimaisesti tai pakotettuna, esimerkiksi sateen ja tuulen tai vesivuotojen vaikutuksesta rakenteisiin tunkeutuva vesi; konvektiolla eli vesihöyry tai sumu siirtyy esimerkiksi paine-erojen aiheuttamien ilmavirtausten mukana; diffuusiolla eli ilman vesimolekyyli-pitoisuusero pyrkii tasaantumaan korkeamman ja alemman pitoisuuden välillä. Diffuusio voi tapahtua joko ilmayhteyden kautta tai rakennekerroksen läpi. Edellä mainittujen lisäksi kosteus voi siirtyä rakenteisiin kapillaarisesti eli neste etenee rakenteessa huokospaine-eron seurauksena esimerkiksi maaperästä. (Björkholz 1997, Hakkarainen 2014.)

Vaatimuksia rakenteiden kosteustekniseen toteutukseen on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osalla C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet. Sen mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveysriskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinoille. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C2, 1998.) Suunnittelussa ja toteutuksessa rakenteet tulee suojata kosteusrasituksilta ja toisaalta niiden tulee olla riittävän kuivumiskykyisiä ja vikasietoisia vaurioiden ehkäisemiseksi. (Vinha 2009.)

Rakennusten kosteustekninen suunnittelu voidaan jakaa neljään periaatteeseen, joiden mukaan kosteusteknisellä suunnittelulla tulee pyrkiä:

- Estämään ja rajoittamaan ylimääräisen kosteuden tunkeutumista rakenteisiin
- Varmistamaan rakenteiden riittävä kuivumiskyky
- Ehkäisemään rakenteiden ja materiaalien turmeltumista
- Parantamaan asunnon tai käyttötilan kosteusviihtyvyyttä (Vinha 2009.)

2.2 Lämpö

Lämpö voidaan määritellä tarkoittavan energian siirtymistä korkeamman lämpötilan omaavasta kappaleesta alemman lämpötilan omaavaan kappaleeseen. Se siis pyrkii tasoittumaan ympäristönsä kanssa. Lämpö voi siirtyä paikasta toiseen kolmella tavalla, jotka ovat johtuminen, säteily ja konvektio. Käytännössä kuitenkin lämpö siirtyy ympäristöönsä näiden tapojen yhteisvaikutuksesta. (Björkholz 1997, Hakkarainen 2014.)

Johtumisessa lämmön siirtyminen tapahtuu liike-energian siirtyessä molekyylien välillä ja jossain yhteyksissä tästä puhutaankin lämmön virtauksena. Lämpösäteilyllä taas tarkoitetaan energian siirtymistä sähkömagneettisella aaltoliikkeellä eli kappale emittoi lämpösäteilyä toisen kappaleen absorboidessa sitä. Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektio voi tapahtua pakotetusti ulkopuolisen voiman, esimerkiksi paine-eron aiheuttamana virtauksena tai luonnollisesti, lämpötilaerojen aiheuttaman tiheyseron seurauksena. (Björkholz, 1997.)

Määräyksiä rakennusten ja rakenteiden lämpötekniiseen suunnitteluun on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osissa C3 Rakennusten lämmöneristys 2010 (aiempi, ei enää voimassa 30.6.2012 lähtien) ja D3 Rakennusten energiatehokkuus 2012. Lämpötekniisessä suunnittelussa tulee huomioida muun muassa lämmöneris-

tysmateriaalin soveltuvuus kohteeseen käytettäväksi, kylmäsiltojen ja ilmavuotojen vaikutus rakenteiden energiatehokkuuteen ja rakennusfysikaaliseen toimintaan ja että rakenne täyttää sille asetetut energiatehokkuuteen ja muuhun lämpötekniiseen toimintaan liittyvät vaatimukset koko rakenteen käyttöiän ajan. (Vinha 2009.)

Rakennusten lämpötekniinen suunnittelu voidaan jakaa kolmeen periaatteeseen, joiden mukaan lämpötekniisellä suunnittelulla tulee pyrkiä:

- Pienentämään rakennuksen lämpöenergian kulutusta
- Ehkäisemään rakenteiden ja materiaalien turmeltumista
- Parantamaan asunnon tai käyttötilan lämpöviihtyvyyttä (Vinha 2009.)

2.3 Ilma

Ilma on usean eri kaasun yhdiste. Neljä suurinta ilman muodostavan kaasuseoksen osaa ovat typpi, happi, argon ja hiilidioksidi. Rakenteissa, rakenteiden läpi ja rakenteita ympäröivässä ilmamassassa tapahtuvat ilmanliikkeet ja ilmavirtaukset vaikuttavat kosteuden ja lämpöenergian siirtymiseen rakenteisiin, rakenteista ympäristöön sekä rakenteiden pinnoille ja näin ne vaikuttavat suoraan rakenteiden kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan. Ilman liike voi tapahtua joko lämpötilaeroista johtuvien tiheyserojen aiheuttamina virtauksina, ulkoisen voiman aiheuttaman virtauksen tai paine-eron seurauksena. Edellä mainituista syistä myös ilman liike tulee ottaa huomioon arvioitaessa rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa.

Rakenteissa tapahtuvien ilmavirtausten seurauksena muun muassa kosteuden siirtyminen vaipparakenteisiin, erilaisten epäpuhtauksien virtaus sisäilmaan ja energiankulutus lisääntyy. Näiden lisäksi rakenteiden pintalämpötilat alenevat, vedon tunne voimistuu ja rakennuksen painesuhteiden hallitseminen vaikeutuu merkittäväksi. (Vinha, 2009.)

Määräyksiä rakennusten ja rakenteiden ilmanpitävyydestä on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osissa C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet, C3 Rakennusten lämmöneristys 2010 (aiempi, ei enää voimassa 30.6.2012 lähtien) ja D3 Rakennusten energiatehokkuus 2012, joissa suunnittelun ja toteutuksen lähtökohtana on, että rakennusvaipan että eri tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmatiiviitä, että vuotokohti-

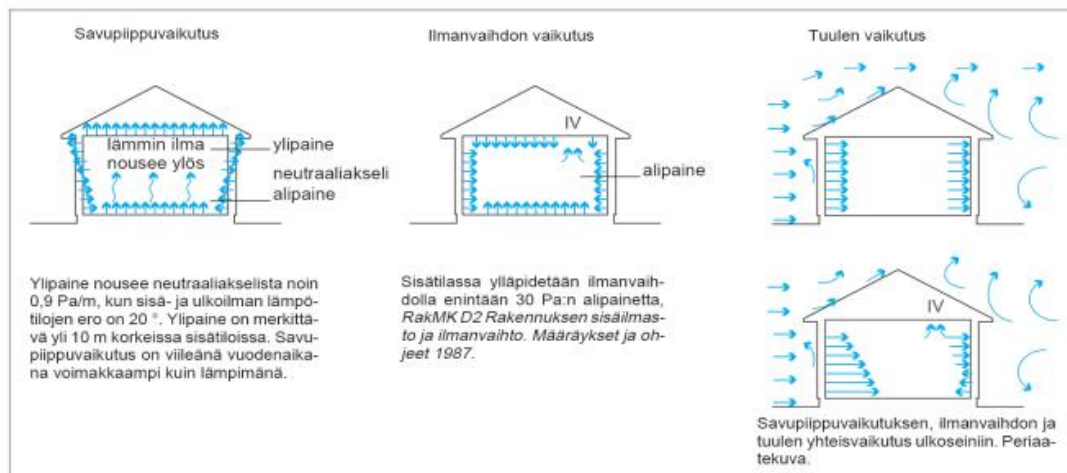
en läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle.

Rakennusten ilman siirtymiseen liittyvä suunnittelu voidaan jakaa kahteen periaatteen. Suunnittelulla tulee pyrkiä:

- Parantamaan rakennusvaipan ilmanpitävyyttä
- Parantamaan sisäilman laatua (Vinha, 2009.)

2.4 Rakennuksen painesuhteet ja siihen vaikuttavat tekijät

Rakennuksen painesuhteilla tarkoitetaan ulkovaipparakenteiden, ulkoilman ja sisäilman tai eri tilojen välisiä paine-eroja. Painesuhteet eri tilojen tai rakenteiden, ulkoilman ja sisäilman välillä vaikuttavat rakenteiden tai tilojen välisten ilmavirtausten syntymiseen ja voimakkuuteen. Rakennuksen kokonaispainesuhteiden muodostumiseen vaikuttavat sekä lämpötilaerojen vaikutuksesta tapahtuva savupiippuvaikutus, tuuli että ilmanvaihtolaitteiston vaikutus (Kuva 1). Ilmavirtausten vaikutuksia rakenteiden toiminnalle on esitetty kohdassa 2.3 ja rakennusten sisäilman laadulle osassa 2.6.3.



Kuva 1. Rakennuksen kokonaispaine-erot syntyvät eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta (kuva: RT 05-10710.)

Vähimmäisvaatimukset rakenteiden painesuhteille on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. Siinä määritellään, että rakennuksen, tilojen ja ilmanvaihtojärjestelmän paineet on suunniteltava siten, että ilman tulee virrata puhtaammista tiloista sellaisiin, jossa esiintyy runsaammin epäpuh-

tauksia, eivätkä rakennukset paineet saa aiheuttaa rakenteille pitkäaikaista kosteusra-
situsta. Lisäksi määräyksen ohjeosassa on tarkennettu, että alipaine ei saa olla yleensä
suurempi kuin 30 Pa. (Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012.)

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 määritellään, että ilmanvaihdon ulkoilmavirran
tulee olla riittävä rakennuksen käyttöön nähden. Lisäksi rakennuksen käyttöajan ulko-
puolella ilmanvaihdon tulee olla sellainen, ettei rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai
muista lähteistä vapautuvien ja kulkeutuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan
aiheuta käyttöaikana tiloissa oleskeleville terveyshaittaa. Edellä mainitun voidaan kat-
soa käsittävän myös rakenteiden epätiiviestä liittymistä tapahtuvien ilmapvirtausten mu-
kana kulkeutuvien epäpuhtauksien aiheuttama sisäilman laadun heikentyminen. Valvi-
ran julkaisemassa Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa tarkennetaan raken-
nuksen ali/ylipaineisuuden vaikuttavan muun muassa vuotoilmavirran suuntaan ja huone-
ilman kosteuden tiivistymisriskiin pinnoilla tai rakenteissa. Soveltamisohjeessa oh-
jeistetaan selvittämään mahdollisen havaitun ylipaineisuuden syy ja tarvittaessa suorit-
tamaan korjaustoimenpiteenä ilmanvaihtojärjestelmän säätö. Jos rakennuksen alipai-
neisuus on yli 15 Pa, tällöin alipaineisuuden syy tulee selvittää ja ilmanvaihtojärjestel-
mä tasapainottaa. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015, Valvira 2016.)

Koneellisella tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmällä varustetuissa rakennuksissa Asu-
misterveysoppaan 2009 mukainen tavoitearvo sisä- ja ulkoilman väliselle paine-erolle
asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa on 0...-2 Pa sisäilman ollessa alipaineinen ul-
koilmaan verrattuna sekä asuntojen ja rappukäytävän välinen paine-ero ± 0 Pa. Toisin-
sanoen tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä tulisi säätää lähelle niin kutsuttua tasapai-
notilaa. On kuitenkin huomioitava, että ilmanvaihtojärjestelmän säätöasetuksista huoli-
matta rakennuksen kokonaispaine-eron muodostumiseen vaikuttavat myös savupiip-
puvaikutuksen ja tuulen aiheuttamat paine-erot. Tämän kokonaisvaikutuksen johdosta
rakennuksen painesuhteet voivat vaihdetta voimakkaastikin eri ajanhetkinä ja sisäilma
on aina, ainakin hetkittäin, alipaineinen ulkoilmaan ja rakenteisiin nähden. (Sosiaali- ja
terveysministeriö 2003, Asumisterveysopas 2009.)

Taulukko 1. Tavoitteelliset paine-erot ilmanvaihtotavasta riippuen (Asumisterveysopas 2009.)

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0... -5 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan.
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5... -20 Pa ulkoilmaan 0... -5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan.
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0... -2 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan.

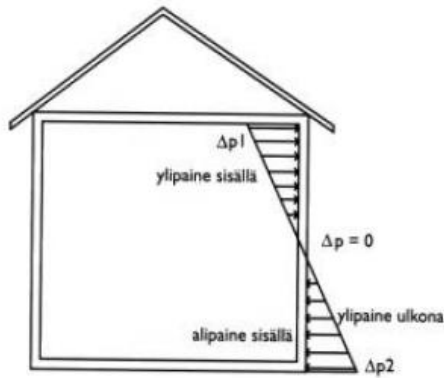
Rakennuksen sisä- ja ulkoilman välinen kokonaispaine-ero voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta P = \Delta P_{wind} + \Delta P_g + \Delta P_{vent} \quad (1)$$

ΔP on rakennuksen kokonaispaine-ero,
 ΔP_{wind} tuulen aiheuttama paine-ero,
 ΔP_g savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero ja
 ΔP_{vent} ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero

2.4.1 Savupiippuvaikutus

Savupiippuvaikutus muodostuu ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamasta ilmassojen tiheyserosta. Paine-ero, ΔP_g syntyy, kun kylmää ilmassaa kevyempi lämmin ilma kohoaa ylös, jolloin ulkoilmaa lämpimämmän rakennuksen alaosiin muodostuu alipaine ulkoilmaan nähden yläosien ollen vastaavasti ylipaineisia. Savupiippuilmiö aiheuttaa rakennukseen kuvan 2 mukaisen painejakauman, jonka neutraaliakselin ΔP kohdalla sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero on 0 Pa. Neutraaliakselin sijaintiin vaikuttavat muun muassa ulkovaipan epätiiviysohjojen korkeusasemat ja niiden virtausvastukset. (Björkholz 1997, Ympäristöministeriö 1997.)

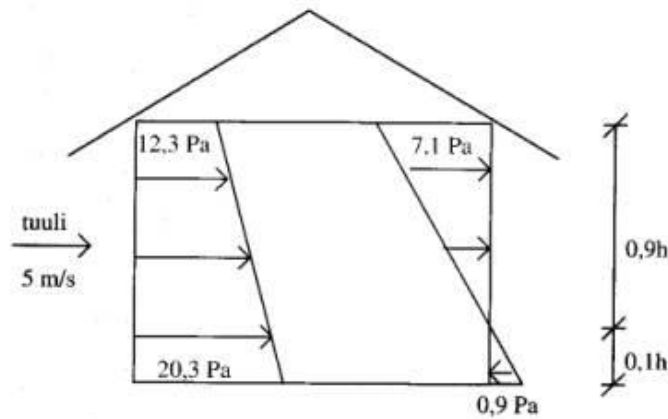


Kuva 2. Lämpötilaeroista aiheutuva tasatiiviin rakennuksen painejakauma (kuva: Ympäristöministeriö 1997.)

Ilmiön merkitys on suurin talvella, jolloin sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on huomattavin. Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron ollessa 20°C savupiippuvaikutuksen aiheuttama sisäilman ylipaine ulkoilmaan nähden kasvaa noin $0,9 \text{ Pa}$ metriä kohden. Korkeat tilat, kuten yli 10 metriä korkeat huonetilat ja yli 20 metriä korkeat rakennukset tulee savupiippuvaikutuksen merkityksen kasvamisen aiheuttaman kohonneen kosteuskonvektorinkin ja lämpövuotojen vuoksi suunnitella kiinnittäen erityistä huomiota rakenteen vesihöyry- ja ilmatiivyyteen. Vaikka rakennuksen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaankin lähtökohtaisesti alipaineiseksi ulkoilmaan nähden, saattaa savupiippuvaikutus kumota ilmanvaihtojärjestelmän muodostaman alipaineen ja rakennusten yläosa muodostuu alipaineiseksi. (Ympäristöministeriö 1997, Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C2 1998.)

2.4.2 Tuuli

Tuuli on rakennuksesta tai rakenteista riippumaton luonnonilmiö, jonka aiheuttama paine vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin hetkellisesti merkittävästikin. Tuulen aiheuttama paine-ero, ΔP_{wind} rakennuksen ulkovaipan yli voi olla jopa noin 100 Pa . Tuulen aikaansaama ilmavirtaus aiheuttaa kohtaamaansa pintaan, tässä tapauksessa rakennuksen seinäpintaan, ylipainetta, jolloin esteen aiheuttamien ilmavirtausten vuoksi suojan puoleisille seinille sekä sivuseinille muodostuu alipaine. Tuulen suunta, rakennuksen muoto ja rakennuksen aukkojen sijainti vaikuttavat paine-erojen muodostumiseen rakennuksen sisä- ja ulkoilman välillä. (Laine 2014, Ympäristöministeriö 1997.)

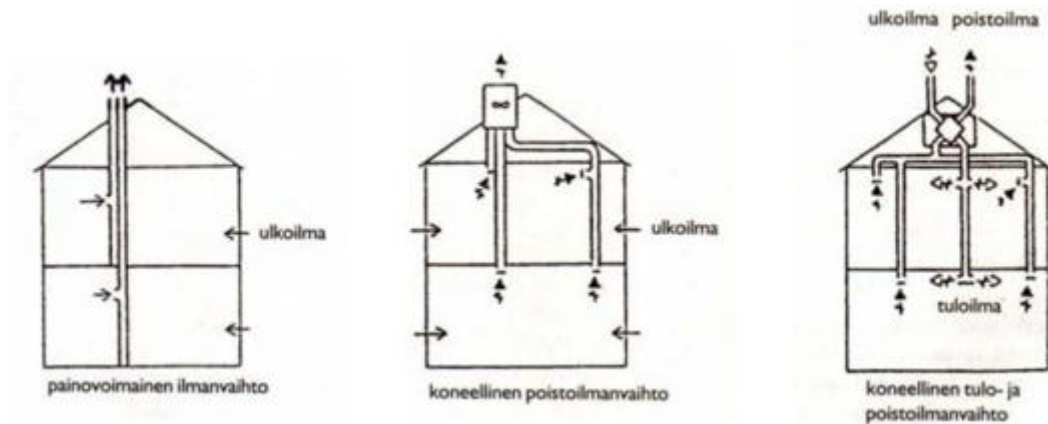


Kuva 3. Rakennuksen ulkovaippaan tuulen ja suojan puolella aiheutuvat painejakaumat tullen, ilmanvaihdon ja savupiippuvaikutuksen yhteisvaikutuksesta. (kuva: Ympäristöministeriö 1997.)

Tuulenpaineen aiheuttamia hetkellisiä, hallitsemattomia ilmavirtauksia rakenteiden yli voidaan ehkäistä parantamalla rakennuksen ilmatiivyyttä. Tuulesta aiheutuneita paineeroja ei voida täysin estää myöskään ilmanvaihtojärjestelmällä tai sen säätämällä tuulen paineen vaihdellessa huomattavasti ja huomattavan nopeasti eri vuorokaudenaikoina. (Laine 2014, Ympäristöministeriö 1997.)

2.4.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon aikaansaama paine-ero, ΔP_{vent} rakennuksen ulkovaipan yli, sisä- ja ulkoilman välille riippuu rakennuksen ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmästä. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi olla joko painovoimainen, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Toissijainen tekijä ilmanvaihdon aiheuttamien paine-erojen syntyymiseen ovat ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuus ja säädöt, ulkovaipan ilmatiiviyys sekä muun muassa korvausilmaventtiilien määrä ja sijainti. Kuvassa 4 on esitetty erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteita. (Ympäristöministeriö 1997, Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, 2012.)



Kuva 4. Erilaisten ilmarvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteita ja ilmarvaihtojärjestelmien toiminnasta aiheutuvien ilmavirtojen suuntia rakennuksessa. (kuva: Ympäristöministeriö 1997.)

Painovoimaisen ilmarvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot muodostuvat yksinomaan ulko- ja sisäilman välisen lämpötilaeron aiheuttamasta savupiippuvaikutuksesta sekä tuulen aiheuttamasta paineesta. Painovoimainen ilmarvaihtojärjestelmä on tästä syystä tehokkaimmillaan talvella. (Ympäristöministeriö 1997.)

Koneellisella poistoilmavaihtojärjestelmällä varustetuissa rakennuksissa sisäilma on käytännössä aina alipaineinen ulkoilmaan verrattuna, jolloin ilmavirran suunta on ulkoilmasta ja rakenteista sisäilmaan päin. Järjestelmän korvausilma kulkeutuu ulkovaipan läpi asennettujen korvausilmakanavien tai ulkovaipan epäjatkuvuuskohtien kautta, ilman poistuessa koneellisesti tuuletettuna poistoilmakanaviston kautta. (Vinha 2012.)

Rakennuksissa, joissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, voidaan ilmarvaihtojärjestelmä periaatteessa säätää lähelle tasapainotilaa (paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä noin 0...2 Pa.). Järjestelmässä sekä korvaus-, että poistoilma johdetaan sisäilmaan koneellisesti tuuletettuna ilmarvaihtokanavistoa pitkin. Korvausilmaa voi kulkeutua rakennukseen myös rakenteiden epätiiviyyskohtien kautta, jos ilmarvaihtojärjestelmän säätöjä ei ole huolellisesti tehty tai järjestelmä on lähtökohtaisesti säädetty alipaineiseksi, ulkovaipan ollessa epätiivis. (Vinha 2012.)

2.5 Tiiviyden merkitys rakennuksen rakennusfysikaaliselle toiminnalle

Jotta rakenteiden oikeanlainen rakennusfysikaalinen toiminta voidaan mahdollistaa, tulee ulkovaipan olla riittävän vesihöyry- ja ilmatiivis. Toisin sanoen luotettavan toimin-

nan takaamiseksi rakenteissa tulee aina olla oikein sijoitettu, riittävän vesihöyry- ja ilmatiivis rakennekerros. Yleensä rakenteen höyryn- ja ilmansulkukerrosena toimii sama ainekerros, kuten höyrinsulkukalvo tai riittävän paksu betoninen sisäkuori. (Vinha 2009.)

2.5.1 Vesihöyrytiivisyys

Rakennukseen käyttäjät ja käyttöön liittyvät toiminnot aiheuttavat sisäilmaan lähes aina läskettä synnyttäen vesihöyrypitoisuuseron sisä- ja ulkoilman välille. Sisäilmassa oleva suurempi vesihöyrypitoisuus pyrkii tasoittumaan ulkoilmaan ulkovaipparakenteiden läpi diffuusiolla ja rakenteen läpäisevä liian suuri kosteusmäärä voi kondensoitua ulompien rakennekerrosten viileämmille pinnoille, aiheuttaen vaurioita ja lisäten mikrobikasvun edellytyksiä rakenteissa. Jotta riittävä vesihöyrytiivisyys voidaan saavuttaa, tulee rakenteessa olla höyrinsulkuna toimiva rakennekerros, joka Suomessa vallitsevissa ilmasto-olosuhteissa sijoitetaan rakenteen lämpimälle puolelle. Sen pääasiallinen tehtävä on estää sisältä ulospäin vaipparakenteiden läpi tapahtuva haitallinen vesihöyryn diffuusio. Periaatteena on, että kerroksellisten rakenteiden sisäpinnan rakennekerrosten tulee olla vesihöyrynvastukseltaan, Z_p ($m^2sPa/kg.$), suurempia kuin ulommaisten rakennekerrosten vesihöyrynvastus siten, että kerroksellisen rakenteen rakennekerrosten vesihöyrynvastus alenee sisältä ulospäin mentäessä. Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä tulee höyrinsulkukerroksen vesihöyrynvastuksen olla vähintään viisi kertaa niin suuri kuin tuulensuojakerroksen vesihöyrynvastus. (RIL 107-2012, Vinha 2009.)

Höyrinsululta vaadittavat vesihöyrynvastuksen suositellut vähimmäisarvot määräytyvät RIL 107-2012 -ohjejulkaisussa määriteltujen kosteusluokkien 1-3 mukaisesti. Kosteusluokka määräytyy rakennuksen sisäilman kosteuslisän mitoitusarvon mukaisesti luokan 1 ollessa erittäin vaativa ja luokka 3 normaali. Tätä ei pidä sekoittaa julkaisun RIL 250-2011 kosteusriskiluokkiin R1-R3, jotka määrittelevät rakennushankkeen kosteudenhallinnan riskiluokkaa. Kosteusriskiluokituksen riskiluokan R1 tarkoittaessa normaalia ja riskiluokan R3 erittäin vaativaa. (RIL 107–2012, RIL 250–2011.)

Höyrinsulkumateriaalin vesihöyrynvastuksen Z_p tulee olla kosteusluokan 2 rakennuksen ylä- ja alapohjarakenteessa ja kosteusluokan 3 rakennuksen yläpohjarakenteessa vähintään $15 \cdot 10^9 m^2sPa/kg.$ Kosteusluokan 1 rakennuksissa koko ulkovaipparakenteiden vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään $100 \cdot 10^9 m^2sPa/kg.$ (RIL 107–2012.)

Kosteusluokkien 2 ja 3 rakennusten ulkoseinärakenteen höyrynsulkuna voidaan käyttää myös materiaaleja, joiden vesihöyrynvastus on pienempi kuin $15 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \text{ sPa/kg}$. Kuitenkin käytettäessä mainittua pienempää arvoa, tulee höyrynsulkumateriaalin täyttää julkaisussa RIL 107-2013 erikseen määritellyt, lasketut höyrynsulun ja tuulensuojan vesihöyrynvastussuhteiden, Z_i/Z_e minimiarvot ja muut höyrynsuluille annetut lisävaatimukset. Käytettäessä tuulensuojana esimerkiksi 9 mm:n kipsilevyä tulee vaaditun vesihöyrynvastussuhteen olla 30 ja 30 mm:n mineraalivillalevyä käytettäessä 15. Kaikissa tapauksissa kuitenkin suositellaan lähtökohtaisesti noudatettavaksi kosteusluokille 2 ja 3 määriteltyä höyrynsulun vesihöyrynvastuksen minimiarvoa $15 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \text{ sPa/kg}$. (RIL 107–2012.)

2.5.2 Ilmatiiviys

Rakennuksen ulkovaipan riittävän ilmatiiviuden edellytyksenä on yhtenäinen, myös rakenneliittymät ylittävä ilmanpitävä kerros. Sen tarkoituksena on ehkäistä ulkovaipan läpi tapahtuvat haitalliset ilmavirtaukset ja näin ehkäistä kosteuskonvektion avulla sisäpuolisiin rakennekerroksiin sisäilmasta kulkeutuvan kosteuden aiheuttamia vaurioita sekä estää kerroksellisesta rakenteesta tai maaperästä ilmavirtausten mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Lisäksi yhtenäisellä ilmansulkukerroksella vähennetään rakennusten energiankulutusta ja muun muassa käyttäjien kokemaa vedontunnetta rajoittamalla ulkoa sisään virtaavan kylmän ilman jäähdyttävää vaikutusta. Hyvä ilmatiiviys mahdollistaa myös ilmanvaihtojärjestelmän oikeanlaisen säätämisen, kun korvausilma kulkeutuu tiloihin hallitusti ja suunnitellulla tavalla. Ulkovaipparakenteen ilmansulun tärkeimmän ominaisuuden katsotaan olevan sen jatkos- ja läpivientikohtien tiivistettävyyden sekä saumattomuus. Jatkoskohtien ilmatiiviuden tulee olla helpposti toteutettavissa. Ilmansulun ilmanläpäisykerroin tulisi enintään olla noin kymmenesosa tuulensuojana toimivan rakennekerroksen ilmanläpäisykertoimesta. Ilmansulkuna pidetään rakennusmateriaalia, jonka ilmanläpäisykerroin, K_a on enintään $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Ilmanläpäisykerroimen suositeltu maksimiarvo $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (RIL 107-2012, Vinha 2009.)

Rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyttä kuvaa ilmavuotoluku q_{50} , jonka sallittu enimmäisarvo on $4,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, elleivät rakennuksen käytön vaatimat rakenneratkaisut merkittävästi huononna saavutettavissa olevaa ilmanpitävyyttä. Suositeltavana ilmanpitävyyden arvona pidetään kuitenkin alhaisempaa $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Rakennusten todellinen ilmanpitävyydenluku todennetaan yleisimmin mittaamalla RT 80-10974 *Teollisesti valmis-*

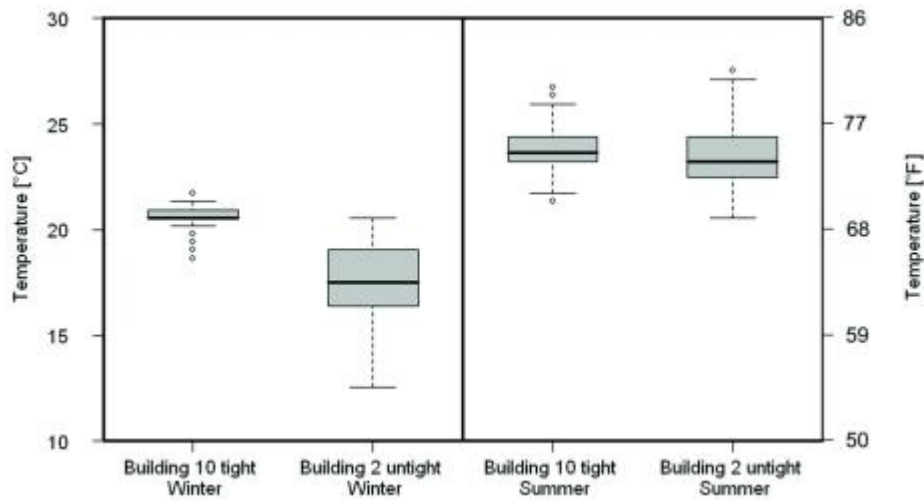
tettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje -ohjetiedoston mukaisella menetelmällä. Pelkkä alhaiseksi todettu ilmavuotoluku ei kuitenkaan vielä varmistata rakennuksen ulkovaipparakenteen luotettavaa toimintaa, koska rakenteissa voi paikallisesti esiintyä merkittäviäkin ilmavuotokohtia, vaikka kokonaisuutena rakennuksen ilmatiiviyys olisi hyvä. Tästä syystä kaikkien liitosten ilmatiiviyden varmistaminen on tärkeää. (Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D3 2012.)

2.5.3 Tiiviiden vaikutukset

Aiemmin Suomessa on vallinnut laajalle levinnyt virheellinen käsitys siitä, että ilmatiiviin rakennuksen sisäilman laatu olisi muita rakennuksia huonompi tai rakenteiden ilma- ja vesihöyrytiiviyys edesauttaisi kosteusvaurioiden muodostumista. Eräs syy tämän uskomuksen muodostumiseen on 1970-luvulla rakennuskantaan ilmestyneissä, niin kutsutuissa ”pullo-taloissa”, jotka olivat rakennusajankohdan muuhun rakennuskantaan verrattuna ilmatiiviitä, mutta riittävän ilmanvaihdon puuttumisen vuoksi, niissä esiintyviä useita rakenteellisia vikoja ja näistä aiheutuneita vaurioita. (Aho et al. 2008.)

Rakennuksen ulkovaipan hyvällä ilmanpitävyydellä on lähes pelkästään positiivisia vaikutuksia. Hyvä ilma- ja vesihöyrytiiviyys vähentää muun muassa rakenteiden kosteusrasitusta, vaipparakenteiden sisäpinnan jäähtymistä ilmavirtausten seurauksena, epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan, rakennusten energiankulutusta, koettua vedon tunnetta. Saavutettu hyvä tiiviyys myös mahdollistaa ilmanvaihtojärjestelmän täsmällisen säätämisen ja parantaa rakenteiden ääneneristävyyttä sekä estää paremmin palon leviämisen. Tiiviiden merkitystä ulkovaipparakenteiden rakennusfysikaaliselle toiminnalle on käsitelty myös osissa 2.5.1 ja 2.5.2. (Vinha 2012.)

Rakennuksen ilmatiiviydellä on merkittäviä vaikutuksia energiankulutukseen. On esitetty, että Helsingin olosuhteissa sijaitsevan pientalon kokonaisenergiankulutus nousee noin 4 % ilmavuotoluvun n_{50} noustessa yhdellä yksiköllä. Ilmatiiviyden suhde energiankulutukseen onkin tunnustettu useissa ulkomaisissa tutkimuksissa ja eri maiden kansallisissa rakentamismääräyksissä. (Jokisalo et al 2007, Antretter et al, Leardini et al.)



Kuva 5. Mitattujen sisälämpötilojen erot kesä- ja talviaikana ilmatiiviydeltään eritasoisissa rakennuksissa (kuva: Antretter et al.)

2.5.4 Tiiviyden toteuttamisen tavoitteet

Tiiviyden voidaan katsoa olevan lähinnä rakennuksen, eikä yksittäisen rakenteen ominaisuus. Pääperiaatteena tiiviyden toteuttamiselle on, että rakenteen ilma- ja vesihöyrytiivis kerros pysyy yhtenäisenä myös rakenteiden välisissä liittymissä. Rakenneliittymien tiivistyksen tulisi olla huolellisesti suunniteltu ja toteutettu siten, että rakenteeseen ei aiheudu kosteudesta rakenteellisia, toiminnallisia tai esteettisiä vikoja tai vaurioita rakenteen käyttöiän aikana ja että rakennuksen energiankulutuksen sekä sisäilman laadun kannalta haitalliset ilmavirtaukset rakenteiden läpi estyvät. Täsmällisempiä periaatteita rakenteiden ilma- ja vesihöyrytiiviyden toteuttamiselle ja suunnittelulle on esitetty osissa *Kosteus 2.1*, *Lämpö 2.2* ja *Ilma 2.3*. (Aho et al. 2008, Vinha 2009.)

Ilma- ja vesihöyrytiivin rakennekerroksen toiminnalliset tavoitteet:

- Energiankulutuksen minimoiminen
- Kosteuskonvektion estäminen
- Diffuusiolla, rakenteiden läpi tapahtuvan kosteuden siirtymisen estäminen
- Epäpuhtauksien siirtymisen estäminen
- Terveystaitan tai sitä aiheuttavan olosuhteen poistaminen (Laine 2014.)

2.6 Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyys ja sisäilman laatu

Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviydellä tai sen puutteella on merkittäviä vaikutuksia rakennusten fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin olosuhteisiin, joista muodostuu rakennuksissa kokonaisuutena koetun sisäilmaston laatu. Sisäilmaston laatu kertoo rakennuksen käyttäjien kokemasta ja mittauksin todetusta yksittäisen tilan tai rakennuksen soveltuvuudesta oleskeluun tai asuinkäyttöön.

2.6.1 Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät

Rakennuksen tai yksittäisen tilan sisäilman laatuun vaikuttavat useat erilaiset rakennuksen sisäilmastoon vaikuttavat tekijät. Nämä tekijät voivat olla fysikaalisia, kuten lämpötila, sisäilman kosteuspitoisuus, melu, ilmanvaihto, säteily ja valaistus; kemiallisia epäpuhtauksia, jotka voivat olla peräisin muun muassa rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteusvaurioituneista materiaaleista, ihmisen aiheuttamasta toiminnasta ja oleskelutilan ulkopuolelta peräisin olevista lähteistä, kuten teollisuuden ja liikenteen päästöistä ja maaperästä; tai biologisia, kuten mikrobikasvustoista peräisin olevat epäpuhtaudet. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Sisäilmastoa kuormittavat kemialliset epäpuhtaudet ovat hiukkasmaisia tai kaasumaisia aineita ja ne voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Sisäilman hiukkasmaisia epäpuhtauksia ovat kuidut, kuten asbesti ja mineraalivillakuidut sekä ulkoilmasta peräisin olevat liikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat sekä katupölystä tai muista sisätiloista peräisin olevat hiukkaset. Sisäilman kaasumaiset orgaaniset yhdisteet ovat todennäköisesti yhteydessä rakennuksissa koettuihin terveys- ja hajuhaittoihin sekä asumisviihtyvyyden vähenemiseen. Ilmassa samanaikaisesti esiintyvillä useilla yhdisteillä saattaa olla vaikutukseltaan myös toisiaan vahvistava ominaisuus. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Mikrobikasvustosta peräisin olevat mikrobit, itiöt, rihmaston osat tai mikrobien aineenvaihduntatuotteet heikentävät sisäilman laatua. Kasvustosta voi kulkeutua sisäilmaan ilmavirtausten mukana mikrobeja tai mikrobien hajoamis- ja aineenvaihduntatuotteita, joille sisätiloissa oleskelevat ihmiset altistuvat. Ulkoilmaan tai maaperään yhteydessä olevissa kerroksellisissa rakenteissa esiintyy aina jonkin verran mikrobeja ja mikrobikasvustoja. Vaurioksi tällainen mikrobikasvu voidaan luokitella, jos siitä on haittaa ra-

kennuksen käyttäjille, rakenteiden kunnolle tai rakenteiden toiminnalle. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia altistustekijöitä koskevia raja-arvoja ja toimenpiderajoja on esitetty Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, vuodelta 2015. Asumisterveysasetuksessa 545/2015 määrittellään, että ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla riittävä rakennuksen käyttöön nähden. Lisäksi rakennuksen käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihdon tulee olla sellainen, ettei rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai muista lähteistä vapautuvien ja kulkeutuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan aiheuta käyttöaikana tiloissa oleskeleville terveyshaittaa. Kuten kohdassa 2.4 on todettu, tämän voidaan katsoa käsittävän myös rakenteiden epätiiviyttä liittymistä tapahtuvien ilmavirtausten mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien aiheuttama sisäilman laadun heikentyminen. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.)

2.6.2 Ilmavuotojen syntyyn vaikuttavat tekijät

Vaipparakenteiden läpi sisäilmaan tapahtuvien ilmavuotojen syntyminen aiheuttaa kaksi tekijää. Ilmavirtaukset rakenteista tai ulkoilmasta sisäilmaan, tai päinvastoin, mahdollistuvat, jos rakenteiden ilmanpitävässä kerroksessa tai rakenneliittymissä on ilmayhteyksiä epäjatkuvuuskohtien kautta rakenteiden yli. Ilmavirtauksen taas syntyvät vaipparakenteen ja sisäilman välillä vallitsevan paine-eron vaikutuksesta.

Rakennuksessa vaikuttavat painesuhteet syntyvät tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän yhteisvaikutuksesta. Painesuhteet voivat vaihdella ja muuttua nopeasti näiden tekijöiden muutosten vaikutuksesta. Painesuhteiden vaikutuksesta aiheutuneiden paine-erojen seurauksena rakenteiden epäjatkuvuuskohtissa tapahtuu virtauksia, jolloin ilma virtaa ulkovaipparakenteiden lävitse. Epäjatkuvuuskohtien syntyyn vaikuttavat pääasiassa suunnitellut rakenneratkaisut, puutteellinen suunnittelu, asennustyön laatu, mekaanisen vauriot sekä rakenteiden ikääntyminen.

2.6.3 Ilmavuotojen merkitys sisäilman laatuun

Hallitsemattomat ilmavirtaukset voivat vaikuttaa sisäilman laatuun joko välillisesti siten, että sisäilmasta rakenteisiin tapahtuvat ilmavirtaukset voivat paikallisesti aiheuttaa merkittävää kosteuden tiivistymistä rakenteisiin ja aiheuttaa vaurioita ja mikrobikasvua rakenteiden orgaanisissa materiaaleissa tai suoraan siten, että rakenteista sisäilmaan tapahtuvien ilmavirtausten mukana käyttötiloihin kulkeutuu esimerkiksi kaasumaisia, hiukkasmaisia tai mikrobiperäisiä epäpuhtauksia, joilla tilojen käyttäjät altistuvat. Altistuminen ilmavirtausten mukana sisäilmaan kulkeutuneille epäpuhtauksille voi aiheuttaa oireita tiloja käyttäville henkilöille. (Aho, Vinha, Korpi, 2009; Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2003; Ympäristöministeriö 1997.)

Korrelaatiota ulkoseinärakenteiden mikrobipitoisuuden ja sisäilmassa havaittujen mikrobipitoisuuksien välillä havaittiin tutkimuksessa, jossa betonisandwich-elementtirakenteisten rakennusten ulkoseinärakenteen mikrobipitoisuutta ja lajistoa vertailtiin saman rakennuksen sisäilmasta tehtyihin mikrobimittauksiin (Pessi et al 1999.)

Vuonna 2016 valmistuneessa tutkimuksessa, jossa laskentamallien avulla selvitettiin betonin rakenneliittymien kautta tapahtuvien ilmavirtausten vaikutusta sisäilman mikrobipitoisuuteen ilmavirtauslähteiden tietyillä oletuspitoisuuksilla ja arvioitiin betonirakenteiden ilmatiivyyden parantamisen vaikutuksia sisäilman laatuun, osoitettiin, että rakenneliittymistä tapahtuvilla ilmavuodoilla voi olla merkittäviä vaikutuksia sisäilman mikrobipitoisuuteen. Mikrobiologisten epäpuhtauksien kulkeutuminen betonirakenteista sisäilmaan ja tämän vaikutus sisäilman laatuun ovat riippuvaisia useasta osatekijästä, kuten epäpuhtauksien sijainnista, ilmavuotolähteen mikrobipitoisuudesta ja laadusta sekä ilmavirtausten voimakkuudesta. (Repo 2016.)

Ilmavuotojen merkitys epäpuhtauksien kulkeutumisessa rakenteista sisäilmaan ja tämän vaikutukset sisäilman laatuun on myös huomioitu muun muassa julkaisuissa RIL 107-2012, RIL 250-2011, Asumisterveysohje 2003 ja Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen, 2008.

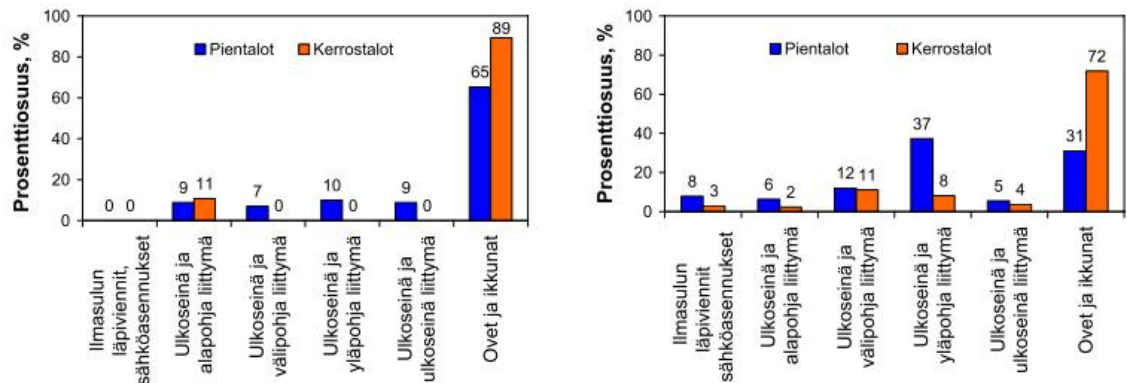
3 Ikkunaliittymien ilmatiiviys

3.1 Ikkunaliittymien ilmatiiviyden merkitys

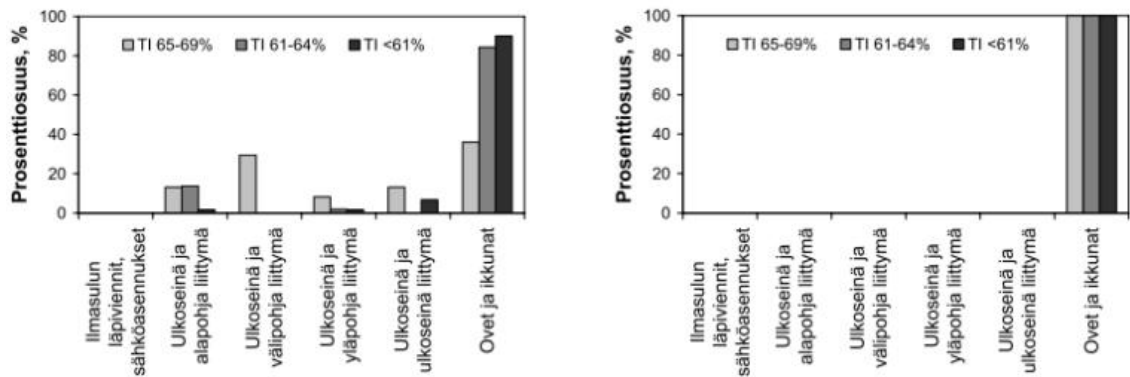
Ikkunaliittymät ovat yksi tyypillisimmistä ja merkittävimmistä ilmapuotojen sijainneista suomalaisissa rakennuksissa. Kylmäsiltojen ja ilmapuotojen jakaumaa suomalaisissa pientaloissa ja kerrostaloasunnoissa tutkineen Kalamees et. al mukaan tyypilliset kylmäsiltojen tutkimuksissa kohteissa sijaittivat ovien ja ikkunoiden liitoksissa tai itse ovissa ja ikkunoissa. Tutkimuksessa havaitut pääasialliset ilmapuotokohdat sijaittivat ulkoseinän ja välipohjan liitoksissa, ovien ja ikkunoiden liitoksissa sekä ovissa ja ikkunoissa itsessään. Vaikka kylmäsiltojen ja ilmapuotokohdienten jakaumaan vaikuttaakin erilaisten liitoskohtien esiintyminen kussakin mitattavassa kohteessa, esimerkiksi kerrostalon välipohja-ulkoseinäliittymien esiintymiseen tai rakennuksen keskivaiheilla sijaitsevien kerrostaloasuntojen ulkoseinä-yläpohjaliittymien puute, voidaan ikkuna- ja oviliittymissä havaittuja kylmäsiltoja sekä ilmapuotoja pitää yhtenä suurimmista puutteista suomalaisissa pien- ja kerrostaloissa. Julkaisussa RIL 249-2009 mainitaan kerrostalojen energiansäästökomponenteista ilmatiiviyden olevan kolmanneksi tärkein osatekijä ja ulkovaipan ilmatiiviyden kannalta kriittisimmäksi kohdaksi arvioitiin ennen kaikkea ikkunaliittymät. (Kalamees et al 2007, Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen 2008, RIL 249-2009, Vinha et al 2009.)

Sijaintinsa vuoksi ikkunaliittymien ilmatiiviydellä on myös suuri merkitys käyttäjien kokemaan vedon tunteeseen ja tästä muodostuvaan sisäilman operatiiviseen lämpötilaan tietyissä osissa huonetilaa. Suorat ilmapuodot ulkoilmasta ovat myös todennäköisimpiä kohdissa, joissa sisä- ja ulkoilman erottava rakenne koostuu vain yhdestä rakennekerroksesta, esimerkiksi polyuretaanivaahdotuksesta, jolloin asennusvirheet tai rakenteesta itsestään johtuvat (esimerkiksi epäjatkuuskohdat polyuretaanivaahdotuksessa tai vaahdotuksen kutistumisesta ja rakenteiden muodonmuutoksista aiheutuva halkeilu käytettäessä muodonmuutoskyvyttömiä polyuretaanivaahdotustyyppisiä) epäjatkuuskohdat kyseisessä rakennekerroksessa aiheuttavat suurempia epävarmuustekijöitä rakenneliittymän ilmatiiviydelle. Ikkunaliittymissä sijaitsevat ilmayhteydet huokoiseen lämmöneristekerrokseen taas voivat aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumisen näistä epäjatkuuskohdista sisäilmaan verrattain suurienkin matkojen päästä ilman liikkeessä lähes esteettä ilmanläpäisevyydeltään suuressa lämmöneristemateriaalissa. Ikkunaliittymien sijaitessa lähellä ihmisten toiminta-aluetta sisätilassa (esimerkiksi työpisteet),

voivat tällaiset ilmavuotojen mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet aiheuttaa herkemmin koetun sisäilman laadun heikkenemistä.



Kuva 6. Kylmäsiltojen ja normaalitilanteen ilmavuotojen vaikutuksen paikkajakauma (vasen) ja alipaineen aikana havaittujen ilmavuotoipaikkojen jakauma (oikea) pientaloissa ja kerrostaloissa. (Kalamees et al 2007.)



Kuva 7. Vakavien kylmäsiltojen ja normaalitilanteen ilmavuotojen vaikutuksen paikkajakauma eri lämpötilaindeksien välillä pientaloissa (vasen) ja kerrostaloissa (oikea). (Kalamees et al 2007.)

3.2 Nykyiset määräykset ja ohjeet

Rakennusvaipan ilmatiivyyttä yleensä on käsitelty rakentamismääräyskokoelman useassa eri osassa. Näitä määräyksiä on käsitelty täsmällisemmin tämän tutkimuksen kohdassa 2.5.2 *Ilmatiiviyys*. Ikkunaliittymien ilmatiivyyteen suoraan liittyviä, nykyisin voimassa olevia, rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjä määräyksiä ja ohjeita on käsitelty kohdassa 3.2.1.

Ikkunaliittymien tiivistyksen toteutusta on käsitelty useissa eri RT-ohjetiedoissa ja ohjejulkaisuissa. Käytännössä nykyrakentamisessa sovelletut tiivistystavat ja -tekniikat pohjautuvat pitkälti näihin ohjeisiin ja niihin verrataan myös rakennustyössä saavutettua lopputulosta.

3.2.1 Rakentamismääräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 ulkoseinärakenteita koskevassa osassa on määritetty, että ilmansulun ja ilmansulkuna toimivan höyrynsulun saumat, reunat ja läpivientikohdat on tiivistettävä huolellisesti. Ohjeosassa on tarkennettu, että ilmansulun ja myös tuulensuojan tulee olla tiiviitä ikkunoiden, ovien ja karmien kohdalla. Käytännössä tämä siis tarkoittaa, että ulkoseinärakenteen ilmanpitävän kerroksen tulee olla yhtenäinen myös ikkunaliittymän yli, karmirakenteeseen asti ilman, että ilmansulkukerroksen yhtenäisyys tai ominaisuudet muuttuvat karmirakenteen ja rakenerroksen välillä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa C2, 1998.)

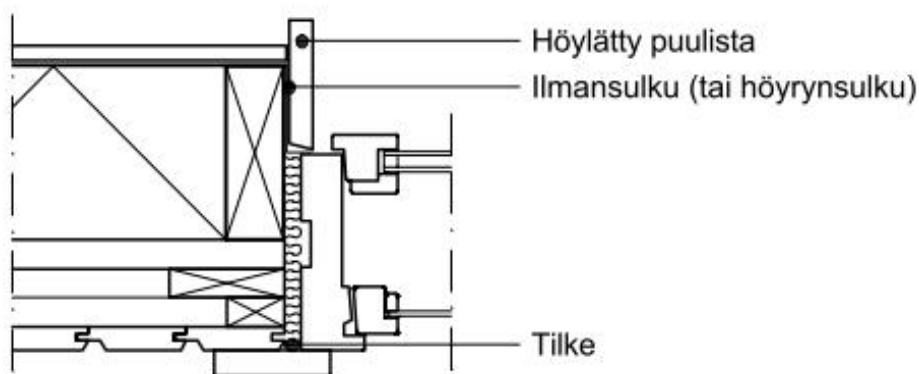
Rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräysosassa on painotettu erityisen huomion kiinnittämistä rakenteiden liitoksiin ja läpivienteihin rakennusvaipan ilmatiiviiden toteuttamisessa, ja että rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. Esiteityn pohjalta voidaan johtaa ajatus, että ikkunaliittymän karmivälin toteutus on toteutettava erillisellä ilmanpitävällä kerroksella, jos riittävää ilmatiiviyttä ei voida muuten saavuttaa. Tarkennuksena osan D3 selostusosassa on myös esitetty, että rakennuksen todetusta, alhaisesta ilmapuotoluvusta huolimatta ei vaipparakenteiden moitteetonta toimintaa voida taata ja tästä syystä kaikkien liitosten ja reikien huolellinen tiivistäminen on tärkeää. Toisin sanoen pelkällä ilmapuotomittauksella ei voida riittävällä varmuudella osoittaa rakennuksen ulkovaipan riittävää ilmatiiviyttä. Tästä syystä myös ikkunaliittymien ilmatiiviyys tulisi osoittaa tai varmistaa ilmapuotomittauksen lisäksi myös muilla, tarkoitukseen soveltuvilla menetelmillä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D3, 2012.)

3.2.2 Ohjeet, julkaisut ja artikkelit

Ohjetiedostossa RT 41–10947 *Puu- ja puualumiini-ikkunat ja niiden asennus* on esitetty rakentamismääräyskokoelmassa määriteltyä mukailleen, että ikkunan tulee liittyä ilma- ja höyrytiivisti ympäröivän seinän sisäpinnan rakenteisiin. Huomioitavaa on, että

ohjekortti ei määrittele liittymistä seinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen, joka voidaan tulkita siis lievennykseksi rakentamismääräyskokoelmassa edellytettyyn nähden. Tämän lisäksi ohjekortissa mainitaan liittymän voitavan toteuttaa tilkkeellä tai polyuretaanivaahdotuksella siten, että tilke tai vaahdotus asennetaan ikkunakarmin ja seinän väliseen rakoon ja näin toteutettuna ohjekortissa mainitaan saavutettavan tiivis ja kestävä sauma. Toisin sanoen ohjekortin mukainen tiivistystapa ei liitä ikkunan karmirakennetta yhtenäisesti ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen ja näin ollen toteutustapa ei vastaa rakentamismääräyskokoelmassa edellytettyä ilmatiiviuden tasoa. Näiltä osin ohjetiedostoa tulisi päivittää, jotta riittävä ikkunaliittymien ilmatiiviyys voitaisiin saavuttaa. (RT 41-10947 Puu- ja puualumiini-ikkunat ja niiden asennus, 2009.)

Ohjetiedostossa RT 82-10605 *Puutalon ikkuna- ja ulko-oviliittymät* ohjeistetaan ikkunaliittymien tiivistyksen toteutus rakennusmääräyskokoelman mukaisesti siten, että ikkunoiden ja ovien tilkeraon sisäpuolisen tiiviyden tulee vastata ympäröivän seinärakenteen ilma- ja vesihöyrytiiviyttä. Lisäksi ilman- ja höyrynsulku tulee ulottaa aukkojen yli hieman karmin päälle. Toisin kuin RT 41-10947 *Puu- ja puualumiini-ikkunat ja niiden asennus* -ohjekortissa määritelty tiivistys, vastaa RT 82-10605 -ohjekortissa määritelty tiivistystapa pääpiirteissään rakentamismääräyskokoelmassa esitettyä tasoa. (RT 82-10605, 1996.)



Kuva 8. Ilman- ja höyrynsulun liittymien ikkunakarmin ja tilkeraon sisäpuolinen tiivistys. Kuvassa höyrynsulkuna toimiva kalvo on asennettu tilkeraon yli karmipintaan. (RT 82-10605, 1996.)

Rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa, RunkoRYL 2010 *Talonrakennuksen runkotyöt* on ikkunoiden ilmatiiviyttä määritelty kohdissa 631 *Metalli-ikkunat ja -ovityöt* (63 *Metallivalmisosarakentaminen*) ja 731 *Ikkuna- ja ovityöt* (73 *Puuvalmisosarakentaminen*). RunkoRYL 2010 mukaan metalli-ikkunoiden ja -ulko-ovien tiiviyys sekä lämmön- ja

ääneneristävyys ja palonkestävyys tulee olla voimassa olevien Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten ja ohjeiden sekä voimassa olevien standardien mukaisia. Puuikkunoita ja -ulko-ovia koskevassa osassa ei vastaavaa viittausta Rakentamismääräyskokoelman mukaiseen tiiviyteen ole, vaan osassa on määritelty, että ikkunoiden toiminnallisten ominaisuuksien tulee vastata vähintään ohjekortin RT 41-10947 vaatimuksia. Edellä kuvatun perusteella voidaan siis tulkita ikkunoilta vaadittavien ominaisuuksien eroavan toisistaan sen perusteella, mistä materiaalista ikkunarunko on valmistettu. (RT 14-11016, RunkoRYL, 2010.)

Julkaisun RIL 107-2012 *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet* mukaan ikkunan ja seinärakenteen välisen liitoksen tulee olla sadevesi- ja ilmatiivis ja karmi tulee liittää ilmatiiviisti seinärakenteen ilmatiiviiseen kerrokseen, kuten höyrynsulkuun. Ikkunan karmin ja seinärakenteen väli tulee tiivistää siten, että sauman ilma- ja vesihöyrytiivin kerros on lähellä sisäpintaa. Käytettäessä polyuretaanivaahdotusta sauman sisäpinta tulisi lisäksi tiivistää joustavalla pohjanauhalla ja elastisella saumausmassalla tai teipillä eli pelkkä polyuretaanivaahdotus ei julkaisun tekstin mukaan yksin riitä, vaan liittymän riittävän ilmatiiviyden saavuttamiseksi tulee käyttää myös muita rakennekerroksia. (RIL 107-2012.)

Myös muissa Rakennusinsinöörien Liitto ry:n ohjejulkaisuissa rakennusvaipan ilmatiiviyden osalla korostetaan ikkunaliittymien ilmatiiviyden tärkeyttä ja toteutuksen huolellisuutta rakennuksen mahdollisimman ilmatiiviin toteutuksen mahdollistamiseksi. Julkaisussa RIL 249-2009 *Matalaenergiarakennukset, asuinrakennukset* tarkennetaan ikkunaliittymien ilmatiiviyden toteutuksesta, että sisäpuolen ilma- ja vesihöyrytiivit rakenteet liitetään ehdottoman tiiviisti karmirakenteisiin. Ilmansulkukalvon puristettu saumaus ei julkaisun mukaan riitä, vaan liitos täytyy tämän lisäksi tiivistää myös muilla menetelmillä. (RIL 249-2009, RIL 250-2011.)

Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen -julkaisu esittää, että useissa tapauksissa seinän ja ikkunan liitoskohtaa ei voi luotettavasti tiivistää elastisella massalla. Vaihtoehtoiseksi korjaustavaksi esitetään liitoskohdan tiivistämistä liitoskohtaan lisätyllä vedeneristysmassakaistalla. Levyrakenteisten seinien osalla suositellaan ikkunaliittymissä höyrynsulun reunan ulotettavan vähintään 10 mm karmin päälle. (Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen, 2008.)

3.3 Ikkunaliittymien ilmatiiviiden tavoitteet

Ikkunaliittymien ilmatiiviydelle asetetut tavoitteet eivät eroa yleisistä ulkovaipparakenteille asetetuista ilmatiiviiden tavoitteista. Rakentamisen ilmatiiviyttä koskevia yleisiä periaatteita on määritelty Suomen Rakentamismääräyskokoelman eri osissa. Tavoitteita ja rakentamismääräyskokoelman määräyksiä on käsitelty myös kohdissa 2.5.2 ja 2.5.4. Pääperiaatteena siis on, että ulkovaipan tulisi olla niin tiivis, että tapahtuvista ilmapuodoista ei ole merkittävää haittaa rakenteille, energiatehokkuudelle tai rakennuksen käyttäjille.

Täsmällisemmin ikkunaliittymien osalta voidaan määritellä, että liittymien tiivistyksen tulee olla mahdollisimman tiivis sekä huolellisesti toteutettu ja karmirakenteen tulee liittyä kaikilta osin yhtenäisesti ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen.

3.4 Ikkunaliittymien tiivistys, nykykäytännöt

Vaikka viime vuosina on liitosnauhojen käyttö rakentamisessa lisääntynyt, höyrynsulkukalvojen limitysten, kuin ikkunaliittymienkin tiivistyksessä, nykyisin käytössä olevat ikkunaliittymien tiivistysratkaisut noudattavat pääasiassa ohjekortissa RT 41-10947 *Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus* ja sen kohdassa 9.3 *Tilkitseminen* annettua ohjeistusta. Ohjetiedosto RT 41-10947 korvasi tammikuussa 2009 edellisen ohjekortin RT 41-10644 *Puuikkunat* vuodelta 1997, jossa ei yleisiä periaatteita lukuun ottamatta erityistä ohjeistusta ikkunaliittymien tiivistyksessä käytettävistä materiaaleista tai tiivistystavoista ollut annettu. (RT 41-10644, 1997.)

3.4.1 Yleisimmät tiivistyskäytännöt ja -materiaalit

Nykyisin käytettävistä ikkunaliittymien tiivistystavoista yleisimmin sovellettu menetelmä sekä kivi- että puurakenteisissa ulkoseinärakenteissa on ikkunakarmin ja ulkoseinärakenteen välisen raon täyttäminen polyuretaanivaahdotuksella. Menetelmää on käytetty 1980-luvulta lähtien polyuretaanivaahdotuksen yleistyttyä rakentamisessa ja työtapana on säilynyt lähes muuttumattomana nykypäiviin asti. Polyuretaanivaahdotus pursotetaan huonetilan puolelta karmin ja ulkoseinän tai karmin ja apukarmin väliseen rakoön vähintään kahdessa kerroksessa, vähintään 2/3 leveydelle karmirakenteesta (100 mm tai

sitä kapeammissa karmirakenteissa vaahdotus pursotetaan koko karmin leveydelle) ja leikataan muun seinäpinnan tasaan. (RT 41-10947, Leppänen 2013, Ratu 0432.)

Polyuretaanivaahdotusmenetelmän voidaan katsoa olevan ilmatiiviuden toteutumisen kannalta puutteellinen, sillä vaahdotus ei muodosta karmirakenteen ja ilmanpitävän kerroksen toisiinsa liittävää yhtenäistä rakennekerrosta varsinkaan, jos vaahdotustyötä ei ole toteutettu huolellisesti, vaan lähinnä täyttää karmin ja apukarmin välisen aukon. Ilmavuotoja rakenteen yli pääsee tapahtumaan vaahdotukseen jäävistä poimuista sekä vaahdotukseen muodostuvista rakenteiden muodonmuutoksista johtuvista halkeamista. Polyuretaanivaahdotuksella täytetty aukko peitetään erillisellä peitelistalla. (RT 41-10947, Leppänen 2013, Ratu 0432.)

Toinen nykyisin yleisesti, lähinnä tapauksissa, joissa ikkunaliittymää ei voida peittää erillisellä peitelistalla, sovellettu menetelmä ikkunaliittymien tiivistämiseen on joustavan saumausmassan käyttö ikkunakarmin ja ympäröivän rakenteen välisen liittymän tiivistyksessä. Menetelmää sovelletaan pääasiassa kivrakenteisten ulkoseinärakenteisen ikkunaliittymissä. Menetelmässä karmin ja ulkoseinärakenteen välisen raon pohja täytetään polyuretaanivaahdolla tai mineraalivillalla, jäljelle jääneen täyttämättömän raon pohjalle asennetaan pohjanauha ja raon sisäpinta täytetään joustavalla saumausmassalla sisäpinnan tasaan. (Leppänen 2013, Ratu 0432.)

Saumausmassamenetelmällä voidaan kokemusten mukaan saavuttaa hyvä ikkunaliittymien ilmatiiviyys edellyttäen, että saumaus voidaan toteuttaa ulkoseinärakenteen ilmanpitävää kerrosta, esimerkiksi betonista sisäkuorta vasten ja vastepinta betoniin on riittävän tasainen ja puhdas. Saumauksen liitospintojen tulee olla riittävän leveitä ja liitospinnat tulisi aina puhdistaa ja tarvittaessa käsitellä pohjusteaineelle ennen saumauksen asentamista. Käytettävän saumausmassan tulisi lisäksi olla riittävän joustavaa, jotta liittyttävien rakenteiden mahdolliset muodonmuutokset eivät aiheuttaisi saumausmassan halkeilua, jotka heikentävät liittymän ilmatiiviyttä. (Leppänen 2013, Ratu 0432.)

Mineraalivillatilkkeen käyttö ikkunaliittymien tiivistyksessä väheni merkittävästi 1970-luvun jälkeen polyuretaanivaahdotuksen yleistyessä. Nykyisin mineraalivillalla toteutettavia tiivistyksiä hyödynnetään lähinnä hirsirakennuksissa, joissa ikkunaliittymien tiivistyksen tulee kestää rakenteiden painumisesta aiheutuvia huomattaviakin muodonmuutoksia. Ilman erillistä liittymän sisäpintaan asennettavaa ilmatiivistä kerrosta mineraali-

villalla toteutettuja ikkunaliittymiä ei voida pitää ilmatiiviinä materiaalin ollessa hyvin ilmaa läpäisevää ja huokoista. (RT 41-10947, Leppänen 2013.)

3.4.2 Kokemuksia tiivistyskäytännöistä

Kuvissa 9...16 on esitetty muutamien 1970–2000-luvuilla rakennettujen esimerkkikohteiden ikkunaliittymien tiivistystapoja sekä havaintoja ikkunaliittymien ilmatiiviydestä. Esimerkkikohteet ovat Vahanen Oy:n ja Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n tutkimuskohteita viimeisen 5 vuoden ajalta ja ne on valittu edustamaan erilaisia, kohdassa 3.4.1 esitettyjä ikkunaliittymien tiivistyksen toteutustapoja ja näistä saatuja tyypillisiä havaintoja.

Kohteiden ikkunaliittymien ilmatiiviyttä on tutkimusten yhteydessä tarkasteltu merkkiainekokeilla ja aistinvaraisesti. Merkkiainekokeet on toteutettu RT-ohjetiedoston RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* mukaisin menetelmin siten, että merkkikaasu on syötetty ulkoseinärakenteen lämmöneristekerrokseen ja sen kulkeutumista epäjatkuvuuskohtien kautta sisäilmaan on tarkasteltu rakennuksen normaaleissa käyttöolosuhteissa, ilman alipaineistusta. (RT 14-11197.)

Kuvissa 9...11 on esitetty 1970-luvulle saakka tyypillinen ikkunaliittymän tiivistystapa, jossa ikkunakarmin ja apukarmin tai ikkunakarmin ja ympäröivän rakenteen välinen aukko on täytetty mineraalivillaeristeellä ja aukko on peitetty peitelistalla. Suurimmassa osassa tapauksista peitelistojen poistamisen jälkeen vanhojen mineraalivillaeristeiden pinnoilla havaitaan runsaasti ilmapuodoista indikoivia tummentumia, joissa ulkoilman epäpuhtaudet, muun muassa noki, ovat suodattuneet mineraalivillaan ilmavirtauksen tapahtuessa eristeen läpi.



Kuva 9. Ikkunaliittymä 1960-luvulla rakennetussa ja vuonna 1997 peruskorjatussa kohteessa. Ikkunan ja ympäröivien rakenteiden väliset liittymät on täytetty mineraalivillalla. Peitelistan irrotuksen jälkeen mineraalivillan pinnassa havaittiin runsaasti merkkejä ilmapuodoista rakenteen läpi. (Kuva: Miia Pitkäranta, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)



Kuva 10. Ikkunaliittymä 1970-luvulla rakennetussa kohteessa. Ikkunan ja ympäröivien rakenteiden väliset liittymät on täytetty mineraalivillalla. Peitelistan irrotuksen jälkeen mineraalivillan pinnassa havaittiin merkkejä ilmapuodoista rakenteen läpi. Ikkunapenkin pinta on epätasainen ja epätiviissä liittymässä on ilmayhteyksiä rakenteen lämmöneristekerrokseen. (Kuva: Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)



Kuva 11. Merkkiainekoe kuvassa 10 esitettyyn ulkoseinärakenteeseen. Merkkiainekokeessa havaittiin ilmapuotoja lämmöneristekerroksesta huonetilaan kaikissa tutkituissa ikkunaliittymissä. Merkkiainekoe toteutettiin rakennuksen normaalissa käyttötilassa, ilman huonetilan alipaineistusta. (Kuva: Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)

Kuvissa 12...13 on esitetty 1980-luvulta lähtien sovellettu ikkunaliittymän tiivistystapa, jossa ikkunakarmin ja apukarmin tai ikkunakarmin ja ympäröivän rakenteen välinen aukko on täytetty polyuretaanivaahdotuksella ja aukko on peitetty peitelistalla. Tällaisella tekniikalla toteutetuissa ikkunaliittymissä havaitaan yleisimmin ilmapuotoja kohdissa, joissa: pursotus ei ole täysin täyttänyt rakenteiden välistä aukkoa, vaahdotukseen on jäänyt poimuja, vaahdotus on irronnut alustastaan tai halkeillut ympäröivien rakenteiden muodonmuutosten johdosta, vaahdotus on haurastunut tai vaahdotus on vahingoittunut leikattaessa sitä muun seinäpinnan tasaan tai lista-asennuksen yhteydessä. Toisin sanoen asennustapaan liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka liittymän johtavat ilmatiiviyspuutteisiin.



Kuva 12. 1980-luvulla rakennetun kohteen ikkunaliittymien tiivistys. Ikkunarakenne on asennettu samaan tasoon sisäpuolisen betonipinnan kanssa ja karmin ja ulkoseinärakenteen välinen liittymä on täytetty polyuretaanivaahdolla. Vaahdotus on leikattu ulkoseinän sisäpuolelle tasaan. Ikkunan asennuskiilat on jätetty rakenteeseen ja liittymän peitelistä on naulattu niihin kiinni. Asennuskiiloissa on havaittavissa kastumisesta johtuvaa tummentumaa. (Kuva: Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)



Kuva 13. Merkkiainekoe kuvassa 12 esitettyyn ulkoseinärakenteeseen. Merkkiainekokeessa havaittiin ilmapuotoja lämmöneristekerroksesta huonetilaan kaikissa tutkituissa ikkunaliittymissä. Merkkiainekoe toteutettiin rakennuksen normaalissa käyttötilassa, ilman huonetilan alipaineistusta. (Kuva: Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)

Kuvassa 14 on esitetty ikkunaliittymän tiivistystapa, jossa ikkunakarmin ja apukarmin tai ikkunakarmin ja ympäröivän rakenteen välinen aukko on täytetty polyuretaanivaah-

dotuksella ja tämän lisäksi liittymän sisäpinta on tiivistetty joustavalla saumausmassalla. Oikein toteutettuna ja tietynkaltaisissa rakenneliittymissä tällaisella tiivistystavalla on mahdollista saavuttaa hyvä ilmatiiviyys. Yleisimmin ilmatiiviyyspuutteita havaitaan kohdissa, joissa saumaus on irronnut vastepinnoiltaan puutteellisen puhdistamisen tai esikäsittelyn vuoksi tai jos käytetty joustamatonta saumausmassaa on halkeillut rakenteiden muodonmuutosten johdosta. Esimerkiksi rakenteiden kuivuminen asennusten jälkeen voi aiheuttaa verrattain suuriakin muodonmuutoksia, jos rakenteisiin on jäänyt merkittäviä määriä kosteutta.



Kuva 14. Ikkunaliittymiä 1990-luvulla valmistuneessa kohteessa. Ikkunan ulkoseinärakenteen väliset rakenneliittymät on tiivistetty joustavalla saumausmassalla pohjanauhaa käyttäen. Rakenneavauksessa havaittiin, että joustavan tiivistysmassan takana on pohjanauha sekä polyuretaanivaahdotus. (Kuva: Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfyysikka Oy.)

Merkittävä ilmatiiviyyspuutteita aiheuttava tekijä ovat myös varsinaiset työvirheet tai muutoin puutteelliset työsuoritukset. Kuvissa 15...16 on esitetty tapaus, jossa kohteen ikkunaliittymien tiivistys on jäänyt puutteelliseksi. Osa ikkunan ja ympäröivien rakenteiden välisistä liittymistä on tiivistetty käyttäen polyuretaanivaahdotusta ja joustavaa saumausmassaa. Joustava saumausmassa on asennettu tiiviisti näkyviin rakenneliittymiin, mutta listoilla peitetyiltä osilta sisäpuolista saumausta ei ole suoritettu vaikka polyuretaanivaahdotukseen on jätetty vara saumausmassan ja pohjanauhan asennukselle. Tämä on johtanut merkittäviin ilmavuotoihin rakenteen läpi, liittymien epäjatkuvuuskohdista sisäilmaan.



Kuva 15. Ikkunaliittymiä 2000-luvulla valmistuneessa kohteessa. Ikkunan yläreunan ja välipohjarakenteen välinen liittymä on tiivistetty joustavalla saumausmassalla pohjanauhaa käyttäen. Ikkunavälin peitelistan irrottamisen jälkeen havaittiin, että polyuretaanivaahdotus on asennettu vain noin 1/3 syvyydelle karmin paksuuteen nähden ja liittymästä on runsaasti ilmayhteyksiä ulkoseinärakenteen lämmöneristekerrokseen. (Kuva: Marja Laitinen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)



Kuva 16. Merkkiainekoe kuvassa 15 esitettyyn ulkoseinärakenteeseen. Merkkiainekokeessa havaittiin ilmapuotoja lämmöneristekerroksesta huonetilaan kaikissa tutkituissa ikkunaliittymissä, joissa tiivistystä ei ole toteutettu joustavalla saumausmassalla. Merkkiainekoe toteutettiin rakennuksen normaalissa käyttötilassa, ilman huonetilan alipaineistusta. (Kuva: Marja Laitinen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)

3.4.3 Erityiset korjausratkaisut rakenteiden ilmatiiviyden parantamiseksi

Tietyissä korjauskohteissa, erityisesti sellaisissa, joissa on ulkoseinärakenteen epäjätkuuskohdient kautta tapahtuvien ilmavirtausten mukana todettu kulkeutuvan rakennuksen sisäilmaan epäpuhtauksia aiheuttaen merkittävää sisäilman laadun heikkene mistä, on Suomessa jo pitkään käytetty tarkoitukseen soveltuvia, siveltäviä tiivistyspin-

noitteita tai vedeneristystuotteita, joiden pitkäaikaiskestävyydestä on näyttöä useissa valmistuneissa kohteissa.

Vedeneriste tai pinnoite asennetaan puhdistetuille alustapinnoille järjestelmään mahdollisesti kuuluvia vahvikenauhoja tai butyyliin nauhoja käyttäen. Ikkunaliittymien tiivistyksessä käytetään butyyliin nauhaa, joka kestää rakenteissa tapahtuvia muodonmuutoksia.



Kuva 17. Ikkunaliittymien tiivistys tarkoitukseen soveltuvalla vedeneristystuotteella vahvikenauhaa käyttäen. (Kuva: Petri Sallinen, Vahnen Rakennusfysiikka Oy.)

3.4.4 Toteutuksen laatu ja laadunvarmistus

Ohjetiedostossa RT 41-10947 on kuvattu ikkunoiden asennuksen nykyisiä suositeltuja laadunvarmistuskäytäntöjä. Ohjekortissa edellytetään työn suorittavan tekijän työhönopastusta ja työn aloituskatselmusta sekä mallityötä, jonka pohjalta määritellään työn hyväksyttävä suoritus. Työn laatuun vaikuttavia tekijöitä tulisi valvoa työn aikana ja kirjata havainnot työmaapäiväkirjaan. Ohjetiedoston mukainen laadunvarmistus suoritetaan pääasiassa aistinvaraisesti, mutta ohjetiedostossa on mainittu laadunvarmistuksessa voitavan hyödyntää myös esimerkiksi lämpökuvausta ja merkkisavukokeita. (RT 41-10947.)

Kohteissa, joissa on asetettu erityisiä vaatimuksia ikkunaliittymien ilmatiiviydelle, laadunvarmistuksessa hyödynnetään yleensä ohjetiedoston RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekokein* mukaista laadunvarmistustyössä sovellettavaa merkkiainekoemenetelmää, jossa merkkikaasua syötetään ulkoseinärakenteen

lämmöneristetilaan ja sen mahdollista kulkeutumista sisäilmaan havainnoidaan analysointilaitteella. Laadunvarmistuskokeiden aikana huonetila on alipaineinen 10...15 Pa tutkittavaan rakenteeseen nähden. (RT 14-11197.)

4 Liitosnauhatuotteet

4.1 Yleistä

Liitosnauhoilla tarkoitetaan tuotteita, joiden tarkoituksena on liittää yhteen kahden eri rakenteen ilmanpitävät kerrokset eli tiivistää rakenteiden välisiä epäjatkuvuuskohtia, jotka heikentävät ulkovaipan ilma- tai vesihöyrytiiviyttä. Tutkimuksen tapauksessa rakenteilla tarkoitetaan ikkunan karmirakennetta sekä ulkoseinärakenteen ilmanpitävää kerrosta.

Liitosnauhat ovat teippien kaltaisia rakenteiden pintaan liimattavia, ilmativiitä nauhoja. Erona tavanomaisiin teippeihin liitosnauhatuotteet on tarkoitettu pitkäaikaiseen käyttöön ja niiden tartunta-, ilmanpitävyys- tai vesihöyrytiiviyssominaisuudet eivät näin ollen saa heikentyä esimerkiksi ikkunarakenteen oletetun käyttöiän aikana. Muuhun kuin rakenneliittymien tiivistykseen suunniteltujen teippien ollessa tarkoitettu vain väliaikaiseen kiinnittämiseen tai tiivistämiseen, niitä ei voi käyttää varsinaisina pysyvinä rakennustuotteina tai toimivana osana rakennetta.

Liitosnauhatuotteita ovat varsinaisten tiivistävien liitosnauhojen lisäksi erilaiset liitosnauhojen asennuksessa hyödynnettävät, järjestelmiin kuuluvat tiivistysmassat, pohjusteaineet ja erityiset muotokappaleet, kuten nurkkiin muotoillut kulmakappaleet. Liitosnauhojen sijasta voidaankin puhua erityisistä rakenneliittymien tiivistykseen tarkoitettuista asennusjärjestelmistä, jotka muodostuvat niissä käytettyjen tuoteosien yhteisasennuksesta tai yhteisvaikutuksesta samankaltaisesti kuin vedeneristysjärjestelmienkin osalla, jotka koostuvat samankaltaisista, saman tuoteperheen eri komponenteista, muodostaen yhden toimivan järjestelmän.

4.2 Ohjeet ja julkaisut

Nykyisin voimassa olevia ohjeistuksia ikkunaliittymien tiivistysten toteutukseen on käsitelty kohdassa 3.2.2. Useimmissa ohjeistuksissa tai julkaisuissa ei kuvata sellaisenaan liitosnauhojen käyttöä ikkunaliittymän tiivistyksissä, vaan liitosnauhatuotteilla toteutettavaan tiivistykseen on viitattu joko ylimalkaisesti tiivistyksen toteuttamisena tai ikkunaliittymien tiivistyksistä puhuttaessa ohjeistetaan noudattamaan RT-ohjekortin RT 41-10947 *Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus* mukaisia tiivistystapoja. Alla on

esitetty muutamia esimerkkejä ohjeistuksista ja julkaisuista, joissa liitosnauhatuotteet on mainittu osana ikkunaliittymien tiivistyksen toteutusta.

Liitosnauhat on mainittu ikkunaliittymien tiivistysmenetelmänä julkaisussa RIL 107-2012 *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet*, jossa ikkunoiden ja ovien tai vastaavien rakenneosien liittymät ilmansulkuna toimivaan rakennekerrokseen on ohjeistettu toteutettavaksi joustavalla pohjanauhalla ja elastisella tiivistysmassalla, polyuretaanivaahdolla, erikoisliimanauhalla tai teippauksella. Ikkuna- ja oviliitoksissa tulee käyttää tarkoitukseen soveltuvia tiivistys- ja saumausrakenteita ja rakenteiden liikkuminen tulee ottaa huomioon tiivistystapaa valittaessa. Lisäksi mainitaan, että tiivistettävän sauman ilma- ja vesihöyrytiivein kerros tulee olla lähellä sisäpintaa. (RIL 107-2012.)

Julkaisussa RIL 249-2009 *Matalaenergiarakentaminen* on sivuttu liitosnauhojen käyttöä ikkunaliittymien tiivistämiseen. Karmien veden- ja ilmanpitävyyden varmistamiseen neuvotaan käyttämään varmatoimisia materiaaleja, kuten paisuvia tiivistenauvoja, elastisia vaahtoja, foileja jne., joilla saadaan aikaan pysyvä ilmatiiviys. Julkaisussa mainituilla foileilla on tietyissä yhteyksissä viitattu liitosnauhatuotteisiin. (RIL 249-2009.)

Talo-Ratu -ohje Ratu 0432, *Sauma* ohjeistaa ovi- ja ikkunaliittymien saumauksen toteutusta. Ovien ja ikkunoiden saumauksesta on todettu, että yleensä saumaus toteutetaan joko saumausvaahdolla tai saumausmassan ja teippauksen yhdistelmällä, mineraalivillatilkinnällä tai mainittujen saumaustapojen yhdistelmällä. Esitettyssä kuvallisessa työohjeistuksessa ei ole viittausta liitosnauhatuotteiden käyttöön, mutta kohdassa Materiaalit, koneet ja kalusto on mainittu ovien ja ikkunoiden saumaukseen käytettävänä materiaalina myös ilma- ja vesihöyrytiivis saumausteippi (Ratu 0432.)

4.3 Liitosnauhatuotteiden nykykäyttö

Liitosnauhatuotteita käytetään nykyisin rakentamisessa jonkin verran ja markkinoilla on useita tuotetoimittajia, jotka tarjoavat erilaisia liitosnauharatkaisuja käytettäväksi rakenneliittymien ilmatiiviiseen asennukseen. Kuitenkaan liitosnauhatuotteilla sovellettavia ikkunaliittymien tiivistysmenetelmiä ei ainakaan vielä sovelleta rakentamisessa samassa laajuudessa kuin perinteisiä, RT-ohjekortin RT 41-10947 *Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus* mukaisia tiivistystapoja, kuten polyuretaanivaahdotus tai tiivistys-

massoilla toteutettavat tiivistysratkaisut. Liitosnauhojen materiaalitoimittajilta saatujen tietojen mukaan suurimpana yksittäisenä liitosnauhoja hyödyntävänä käyttäjäkuntana on pientaloteollisuus.

Liitosnauhoja on sovellettu jonkin verran myös korjauskohteissa, joissa korjaukset ovat liittyneet rakenteiden ilmatiiviiden parantamiseen esimerkiksi todetun sisäilmahaitan perusteella, jolloin ikkunaliittymien tiivistämisellä pyritään estämään epäpuhtauksien pääsy huoneilmaan epätiiviiden rakenneliittymien läpi tapahtuvien ilmapuhtausten mukana tai ehkäisemään liittymistä sisäilmaan tapahtuvia ilmapuhtauksia, jotka havaitaan vedon tunteena. Tällaisissa korjauksissa liitosnauhoja on käytetty myös yhdessä vedeneristemassojen kanssa. Tällainen tiivistystapa on kuvattu kohdassa 3.4.3.

4.4 Käyttökokemuksia kohteista

Yleiset käyttökokemukset liitosnauhoilla toteutetuista ikkunaliittymien tiivistyksistä ovat olleet hyviä. Liitosnauhajärjestelmillä voidaan saavuttaa hyvä liittymien ilmatiiviyden siten, että merkkiainekokeilla toteutetuissa laadunvarmistusmittauksissa liittymät todetaan täysin ilmanpitäviksi. Tämän saavuttaminen kuitenkin edellyttää tarkoitukseen soveltuvien tuotteiden käyttöä tiivistysten toteuttamiseen, riittävän yksityiskohtaisia toteutus-suunnitelmia ja asentajien hyvää perehdyttämistä käytettäviin liitosnauhajärjestelmiin.

Kokemusten mukaan yksistään liitosnauhoilla tehtyihin tiivistyksiin jää jonkin verran ilmapuotoja ja nauhojen liittymät, limitykset ja nurkkakohdat tulee tiivistää tarkoitukseen soveltuvalla tiivistysmassalla. Hyvää ilmatiiviyttä ei myöskään voida saavuttaa ilman liitospintojen huolellista puhdistusta ja esikäsitteilyä. Yleensä asennusten laadunvarmistuksessa sovelletaan malliasennusmenettelyä, jossa jokaisesta merkittävästä työvaiheesta suoritetaan malliasennus. Malliasennuksen katselmuksessa tarkastellaan työtapojen oikeellisuutta ja tarvittaessa määritellään tarkennuksia suunniteltuun työtapaan.

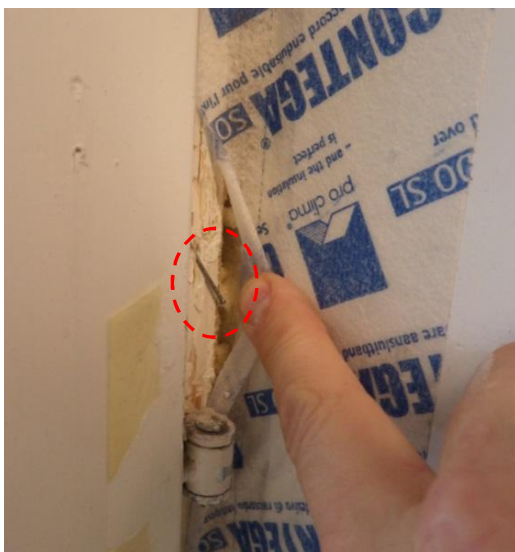


Kuva 18. Kuvan asennus on tehty siististi ja ikkunaliittymien ilmatiiviys on todennettu merkkiainetekniikalla. Liitosnauhojen limitys- ja taitoskohdat on tiivistetty huolellisesti nauhojen pintaan siveltävällä tiivistysmassalla. Liitosnauhat ovat hyvin kiinni alustassaan. Liitospinnat on puhdistettu ja ikkunapenkin betonipintaan on asennettu pohjusteaine ennen liitosnauhan asennusta. (kuvat: Sei Wha Vou, Vahanen Oy.)

Yleisimmin havaitut puutteet liitosnauhojen asennuksessa liittyvät virheelliseen asennustapaan, jolloin liittymän läpi jää asennuksen jälkeen ilmayhteyksiä rakenteen ja sisäilman välille tai puutteelliseen alustan esikäsittelyyn, jolloin liitosnauhan tartunta liitospinnoille estyy ja nauha irtoaa alustastaan. Tällaiset virheet ovat usein havaittavissa jo aistinvaraisessa tarkastelussa ja liittyvät yleensä joko puutteellisiin toteutussuunnitelmiin, asentajien puutteelliseen työhönopastukseen tai muutoin huolimattomaan työsuoritukseen. Työvirheitä havaitaan useimmiten ensimmäisen ikkunaliittymien tiivistyasennusten mallikatselmuksen yhteydessä, jonka jälkeen työtapaa muutetaan tarvittaessa ja asennustöiden jatkuessa laadunvarmistusta jatketaan esimerkiksi merkkiainetutkimuksilla. Kuvissa 19 ja 20 on esitetty esimerkkitapauksia joistakin havaituista liitosnauhojen asennusvirheistä.



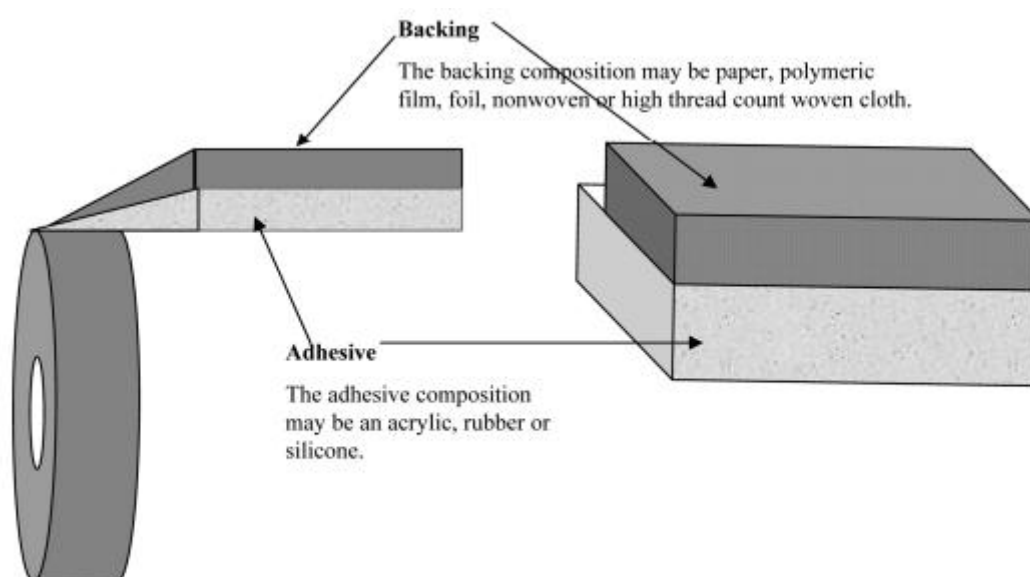
Kuva 19. Kuvan asennuksessa liitosnauha on asennettu siten, että nauha on pingottunut ikkuna-aukon pielen sisänurkan yli aiheuttaen nauhan irtoamisen alustastaan ja liittymän läpi on muodostunut ilmayhteys rakenteen ja sisäilman välille. Liitosnauhan nurkakohtaan on asennettu tiivistysmassaa, mutta massaa on sivelty vain liitosnauhan päälle, eikä liitosnauhan ja ikkunapielen rajapintojen ilmatiiviyttä ei ole varmistettu asentamalla tiivistysmassaa rajapinnan yli. Liitosnauhan alustastaan irronnut alue ja tästä muodostunut reikä liitoksen läpi on merkitty kuvaan punaisella katkoviivalla. (kuva: Tommi Syrjäläinen, Vahanen Oy.)



Kuva 20. Kuvan asennuksessa karmipintaa ei ole huolellisesti puhdistettu ja tartuntaa heikentäviä aineita poistettu, vaan nauha on asennettu epätasaiselle, pölyiselle ja alustastaan irti hilseilevälle maalipinnalle. Tämän lisäksi vanhoja peitelistöjen kiinnitysnauloja ei ole poistettu asennuspinnalta. (kuva: Tommi Syrjäläinen, Vahanen Oy.)

4.5 Materiaalit ja rakenne

Liitosnauhat muodostuvat kahdesta tai useammasta päällekkäin kiinnitetystä rakennekerroksesta. Erilaisilla liitosnauhan rakennekerroksissa on oma tarkoituksensa liitosnauhan toiminnassa, esimerkiksi ilmatiivyyden, nauhan koossapysymisen tai tartunnan muodostumisessa. Yksittäisellä liitosnauhan rakenneosalla voi myös olla useita erilaisia liitosnauhan kokonaistoimintaan liittyviä tehtäviä. Liitosnauhan rakenne koostuu yleensä nauhan vahvikeosasta, ilma- ja vesihöyrytiiviistä kerroksesta sekä kiinnitysliimasta. (Schneberger 1983.)



Kuva 21. Yksinkertaistettu liitosnauhan rakenne, jossa myös tiivistyskerroksena toimiva vahvikeosa on asennettu nauhan kiinnitysliimakerrokseen (kuva: Pressure Sensitive Tape Council. 2008.)

Yllä olevassa kuvassa on esitetty yksinkertaistettu malli liitosnauhan rakenteesta. Esimerkkikuvan kaksikerroksisessa rakenteessa nauhan kiinnitysliima on asennettu liitosnauhan vahvikeosan alapintaan ja vahvikeosa toimii myös tiivistävänä kerroksena. Liitosnauhan rakenne voi koostua myös tätä useammista rakennekerroksista, esimerkiksi tiivistävä kerros voidaan laminoida kahden vahvikekerroksen väliin tai tiivistävä kerros voi sijaita vahvikeosan ja kiinnitysliiman välissä. Riippuen nauhan tyypistä ja käyttötarkoituksesta kiinnitysliima voidaan asentaa myös vahvikeosan molemmille puolille. Usein nauhoihin on liitetty myös yksi- tai kaksiosaisia, yleensä silikonipäällystettyjä irrokepapereita, jotka estävät nauhan tarttumisen itseensä säilytyksen aikana ja helpottavat nauhan asennusta.

4.5.1 Vahvikeosa

Vahvikeosan tehtävänä on toimia liitosnauhan koossapitävänä runkona ja suojata liitosnauhan tiivistyskerrosta mekaanisilta vaurioilta ja venymiseltä. Liitosnauhalta haluttuista ominaisuuksista riippuen vahvikekerros voi olla venyvä tai venymätön. Se voi myös toimia samanaikaisesti liitosnauhan tiivistävänä kerroksena tai tiivistävästä kerroksesta erillisenä liitosnauhan koossapitävänä rakenteena. Vahvikekerros voi koostua esimerkiksi alumiinikalvosta, polypropeenikankaasta (PP) tai polyeteenikalvosta (PE) ja se voi olla myös edellä mainittujen materiaalien yhdistelmä, esimerkiksi polyeteenikalvo voidaan laminoida kahden kuitukangasvahvikkeen väliin, jolloin vahvikeosa muodostuu kolmesta kerroksesta toimien samalla nauhan tiivistävänä kerroksena. (Pressure Sensitive Tape Council 2008.)

4.5.2 Tiivistävä kerros

Liitosnauhan ilma- ja vesihöyrytiiviysominaisuudet muodostuvat pääasiassa nauhan tiivistävän kerroksen ominaisuuksista. Tiivistävänä kerroksena käytetään yleensä polymeerisistä raaka-aineista koostuvia kalvoja kuten ohuita polyeteenikalvoja (PE) tai ohuita alumiinikalvoja. Tiivistäväkerros voi olla oma materiaalikerroksensa tai se voi toimia myös liitosnauhan vahvikeosana. Tiivistävän kerroksen materiaali ja sen paksuus tulee valita siten, että liitosnauhan ominaisuudet ovat riittäviä rakenneliittymän hyvin kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi. (Pressure Sensitive Tape Council 2008.)

4.5.3 Kiinnitysliima

Kiinnitysliima mahdollistaa liitosnauhan kiinnittämisen alustamateriaalin pintaan. Kiinnitysliimana käytetään useimmiten polymeerisiä elastomeerejä kuten synteettinen kumi, akryylit tai silikoni. Riippuen kiinnitysliimana toimivan aineen ominaisuuksista ja paksuudesta, kiinnitysliimalla voi olla myös liitoksia tiivistäviä ominaisuuksia, kuten paksu, höyrytiivis butyylikumi. Valitun kiinnitysliiman materiaalilla, paksuudella ja viskositeetilla voidaan vaikuttaa merkittävästi liitosnauhan ominaisuuksiin. (Pressure Sensitive Tape Council 2008, Schneberger 1983.)

4.6 Liitosnauhojen fysikaalisia ominaisuuksia

Liitosnauhojen fysikaaliset ominaisuudet muodostuvat sen eri komponenttien fysikaalisten ominaisuuksien yhteisvaikutuksesta. Haluttaessa erilaisiin sovelluksiin käytettäviltä liitosnauhasta tietyt ominaisuuksia (esimerkiksi hyvä muodonmuutoskyky, kyky tiivistää pieniä epätasaisuuksia, kyky mukautua rakenteiden liikkeisiin tai hyvä vetolujuus), valitaan liitosnauhan komponenteiksi sellaisia materiaaleja, joiden ominaisuudet soveltuvat valittuun käyttötarkoitukseen.

4.6.1 Vahvikeosa

Nauhan vahvikeosa tai runko koostuu useimmiten polypropeenikankaasta, mutta liitosnauhojen vahvikemateriaaleina käytetään myös alumiinikalvoja sekä polyeteenikalvoja riippuen liitosnauhasta halutuista ominaisuuksista. Useimmiten vahvikenauha on verrattain venymätön, muodonmuutoksia vastustava materiaalikerros, jolla on muita materiaalikerroksia korkeampi vetolujuus, kuten esimerkiksi polypropeenikudoksesta tehty kangas tai alumiinikalvo. (Maier et al. 1998.)

Vaikka venymätön vahvikeosa suojaa liitosnauhan tiivistävää kerrosta vaurioitumiselta, saattaa tämä aiheuttaa ongelmia liitosnauhojen nurkkakohdissa myöhemmin, kohdassa 4.6.3 esitetyn kaltaisissa tapauksissa, joissa nauhojen kulmataitokset saattavat irrota alustastaan. Tästä syystä nurkkakohtien tiiviyden toteutumiseen ja liitosnauhojen taitoksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Yhtenä merkittävänä ominaisuutena kudokankaisissa vahvikkeissa on niiden epätasainen pinta, joka tarjoaa hyvän tartuntapinnan esimerkiksi tiivistysmassojen asentamiselle nauhan pintaan nurkkakohdissa. Tiivistysmassan hyvä tartunta liitosnauhaan ja alustaan on edellytys tiivistysmassalla toteutettavan tiivistyksen hyvälle ilmatiiviydelle.

4.6.2 Tiivistävä kerros

Kuten kohdassa 4.5.2 on esitetty, liitosnauhan tiivistävä kerros voi olla erillinen rakenekerroksensa tai nauhan vahvikeosalla voi olla myös tiivistäviä ominaisuuksia, kuten alumiinikalvolla. Osana liitosnauhan tiiviyden muodostumista voi toimia myös nauhan liimamassa, kuten paksu butyylikumikerros.

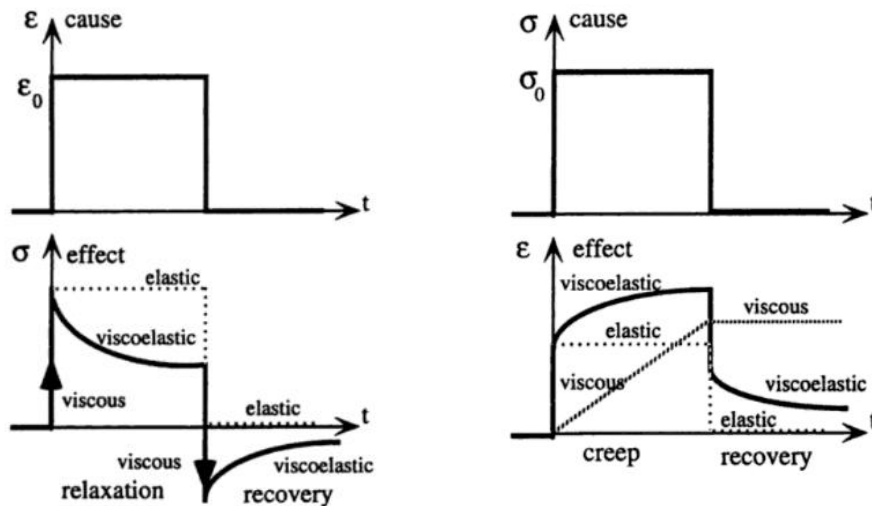
Liitosnauhojen tiivistävät kerrokset ovat yleisimmin ohuita muovikalvoja, kuten polyeteenikalvot. Polyeteenikalvo on ilmatiivis materiaali, jonka vesihöyrynläpäisevyys on suhteellisen pieni, vesihöyrynvastuksen ollessa verrannollinen kalvon paksuuteen. Muiden polymeerien tavoin polyeteenillä on viskoelastisia ja amorfisia ominaisuuksia, joten sen fysikaaliset ominaisuudet, kuten muodonmuutoskyky ja vetolujuus, vaihtelevat lämpötilan mukaan jonkin verran, kuitenkin säilyttäen elastisia ominaisuuksia hyvin alhaisissakin lämpötiloissa ja ollen kiinteässä olomuodossa normaaleissa käyttölämpötiloissa. Polyeteenin sulamispiste vaihtelee riippuen sen laadusta noin 100-130 °C välillä. Materiaalien amorfisuudesta ja viskoelastisista ominaisuuksista on kerrottu täsmällisemmin kohdassa 4.6.3. (Building Research Institute 1955, Peacock 2000.)

4.6.3 Liimamassat

Liitosnauhojen kiinnitysliimana käytetään yleensä pysyvästi joustavia polymeerisiä elastomeerejä, kuten luonnonkumi tai synteettinen kumi tai akryylit, joiden ominaisuuksien yhteisiä nimittäjiä ovat viskoelastisuus ja amorfisuus. Viskoelastiset materiaalit yksinkertaistettuna käyttäytyvät sekä kiinteän aineen että nesteen tavoin. Tällaisilla materiaaleilla muodonmuutoksen suhde kuormitukseen on riippuvainen ajasta. Synteettiset polymeerit osoittavat korkeissa (elastomeerit jo huoneenlämmössä) lämpötiloissa huomattavia viskoelastisia ominaisuuksia, amorfisten aineiden viskositeetin muuttuessa vallitsevan lämpötilan mukaan. (Lakes 1999, Thorpe et al. 2000.)

Eräitä viskoelastisuuteen liittyviä ilmiöitä ovat:

- Kun materiaaliin kohdistuva jännitys (σ) on pysyvä, materiaalin muodonmuutos (ϵ) kasvaa ajan kuluessa (viruma)
- Jos materiaalin muodonmuutos on pysyvä, jännitys laskee ajan kuluessa (relaksaatio)
- Materiaalin efektiivinen jäykkyys on riippuvainen materiaalin kuormitusnopeudesta
- Syklisessä kuormituksessa materiaalissa ilmenee hystereesiä eli kuormituksen muutoksiin reagoiminen hidastuu (Lakes 1999.)

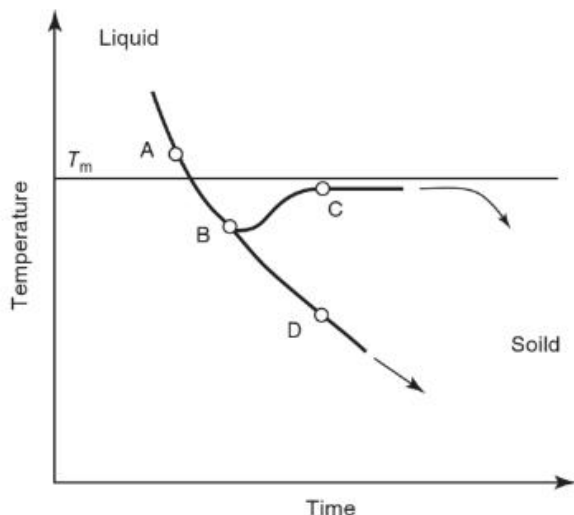


Kuva 22. Viskoelastisten materiaalien käyttäytyminen jännityksen tai muodonmuutoksen muuttuessa (kuva: Lakes, 1999.)

Materiaalin viskoelastisuus ilmenee siis virumassa tai jatkuvassa muodonmuutoksessa pysyvän kuormituksen alaisena ja jännitysrelaksaationa tai asteittaisena materiaaliin kohdistuvan jännityksen vähenemisenä, jos muodonmuutos on jatkuvaa. Jos taas materiaalin muodonmuutos on hyvin nopea, eivät polymeeriketjut ehti reagoida aiheutu-neeseen jännitykseen ja asettua uudelleen. Tällöin materiaalin muodonmuutoskyky on heikompi ja saattaa johtaa materiaalin koheesiomurtumaan. (Lakes 1999.)

Käytännön esimerkkinä liitosnauhojen liimamassan viskoelastisista ominaisuuksista voidaan mainita liitosnauhojen kulmataitosten irtoaminen alustastaan tilanteissa, joissa liitosnauha on taitettu kulman yli ja taitoksesta on aiheutunut jännityksiä nauhojen vahvikekankaaseen. Verrattain jäykkä, venymätön vahvikekangas pyrkii vastustamaan taitoksesta aiheutunutta muodonmuutosta muodostaen liimamassaan pysyvän jännityksen, jolloin liimamassa venyy ja lopulta saattaa irrota alustastaan venymän kasvaessa niin suureksi, että liimamassassa tapahtuu koheesiomurtuma.

Materiaalin amorfisuudella tarkoitetaan sitä, että aineen viskositeetti muuttuu lämpötilan funktiona. Niin kutsutussa materiaalikohtaisessa lasimuutoslämpötilassa, jossa esimerkiksi polymeerien kiteisyys kasvaa (tai aine muuttuu kiinteäksi amorfiseksi aineeksi, riippuen lämpötilamuutoksen voimakkuudesta), tai sitä alhaisemmissa lämpötiloissa materiaalin jäykkyys kasvaa huomattavasti. Lasimuutoslämpötilaa korkeammissa lämpötiloissa materiaali on juoksevaa viskositeetin ollessa alhainen. (Thorpe et al. 2000, Stachurski 2015.)



Kuva 23. Esimerkkikuva materiaalin jäähtymisestä ja kiinteytymisestä tai kiteytymisestä riippuen lämpötilamuutoksen voimakkuudesta. Aine kiteytyy: A-B-C. Aine kiinteytyy lasittumispisteeseen: A-B-D. (kuva: Stachurski 2015.)

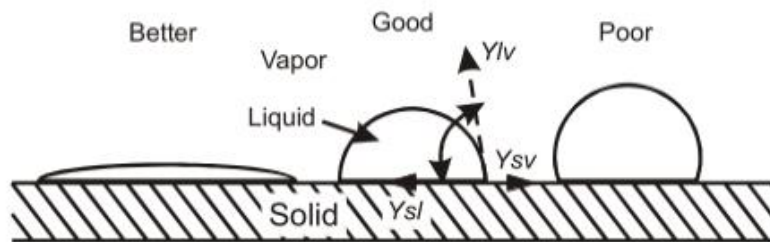
Lämpötilan merkitys liitosnauhan asennuksessa on edellä kuvatun perusteella huomattava. Liimamassan viskositeetin tulisi olla riittävän alhainen, jotta se voi täyttää alustan epätasaisuudet mahdollistaen hyvän adheesion syntymiseen. Liian alhaisessa lämpötilassa tapahtuva asennus voi taas johtaa siihen, että tartunta liitosnauhan ja alustan välillä ei tapahdu tai tartunta on heikko. Tästä syystä materiaalille soveltuvien asennusolosuhteiden toteutuminen on ensiarvoisen tärkeää.

4.7 Tartunta

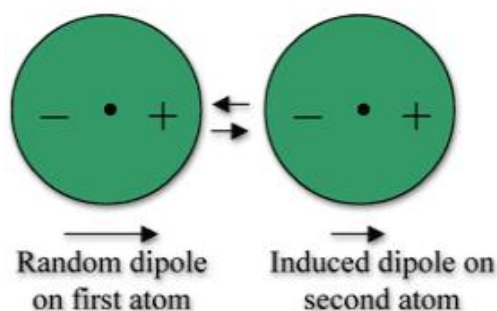
Tartunnalla eli adheesiolla tarkoitetaan esimerkiksi liiman ja liimattavan materiaalin välistä, aineet toisiinsa sitovaa voimaa. Toisin sanoen tartunta tai tartuntalujuus tarkoittaa sitä voimaa, joka vähintään tarvitaan kahden toisiinsa liimatun kappaleen irrottamiseksi toisistaan. Tartunnan muodostumiseen on kehitetty useita tätä selittäviä teorioita eli niin kutsuttuja adheesioiteorioita, joita ovat muun muassa: sekundääriset voimat (Van der Waalsin voimat), kemiallinen sitoutuminen, diffuusioiteoria, elektrostaattinen teoria ja eri aineiden välinen mekaaninen sidos. Mikään edellä esitetyistä ilmiöistä ei kuitenkaan yksinään selitä adheesion muodostumista, vaan adheesion muodostumiseen vaikuttanevat useat eri teorioiden mukaiset ilmiöt yhdessä. (Brockmann W. et al. 2005, Butt M. et al. 2007.)

4.7.1 Adheesioteoriat

Sekundäärisillä voimilla tarkoitetaan niin kutsuttuja Van der Waalsin voimia. Nämä voimat kuvaavat molekyylikokonaisuuksien välisiä vetovoimia, jotka aiheutuvat kahden eri molekyylin hyvin läheisestä kontaktista aiheutuvista pintavoimista. Van der Waalsin voimat koostuvat molekyylien polarisaatiosta dipoleiksi elektronitiheyden vaihtelun seurauksena, jossa esimerkiksi positiivisesti varautuneen molekyylin dipolit vetävät puoleensa negatiivisesti varautunutta molekyyliä tai päinvastoin. Jotta molekyylien välisiä vetovoimia voi syntyä on oleellista, että liimamassa pääsee mahdollisimman lähelle liimattavaa materiaalia eli liima saa liimattavan pinnan niin sanotusti vettymään, jolloin liiman ja alustan välisestä kosketuspinnasta muodostuu mahdollisimman suuri. Tällöin liimamassan pintajännityksen tulee olla riittävän alhainen. Yksittäiset Van der Waalsin voimista aiheutuvat molekyylien väliset vetovoimat ovat hyvin pieniä, mutta voimien merkitys kasvaa liiman ja alustan välisen kosketuspinnan kasvaessa. Van der Waalsin voimia pidetään yhtenä merkittävimmistä adheesion mahdollistavista ilmiöistä. (Butt M. et al. 2007, Compendium of Chemical Terminology 2014, Allen 1993.)



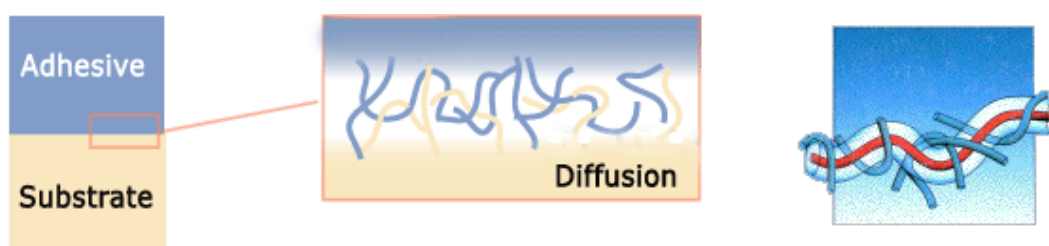
Kuva 24. Periaatepiirros hyvästä ja heikosta alustan vettymisestä (kuva: Butt M. et al. 2007.)



Kuva 25. Periaatepiirros Van der Waalsin voimista ja molekyylien välisen vetovoiman muodostumisesta (kuva: <http://www.materials.unsw.edu.au/tutorials/online-tutorials/1-van-der-waals-bonding.>)

Kemiallinen sitoutuminen on jatkoa sekundäärisille voimille ja tällaisella sidoksella tarkoitetaan sellaista sidosta, jonka johdosta atomeista koostuvan ryhmän tai atomiparin voidaan katsoa muodostavan oma itsenäinen molekyylinensä. Niitä voi syntyä liimamassan ja alustan väliseen rajapintaan. Sidokset voivat olla kovalenttisia eli atomien välille syntyy molemminpuolisia sähkömagneettisia vetovoimia tai vetysidoksia, jotka ovat vetyatomien ja esimerkiksi tähän liittyneen happiatomin ja toisen happi-vetyparin välinen vetovoima. Tällaisten molekyyliparien vetovoima on vahvempi kuin Van der Waalsin voimien välinen vuorovaikutus. Edellä esitetyt sidokset mahdollistavat suuremman lujuuden muodostumisen sekä ne kestävät paremmin esimerkiksi kosteuden liitokseen aiheuttamia rasituksia ollen näin kestävämpiä. (Brockmann W. et al. 2005, Allen 1993, Pauling 1960.)

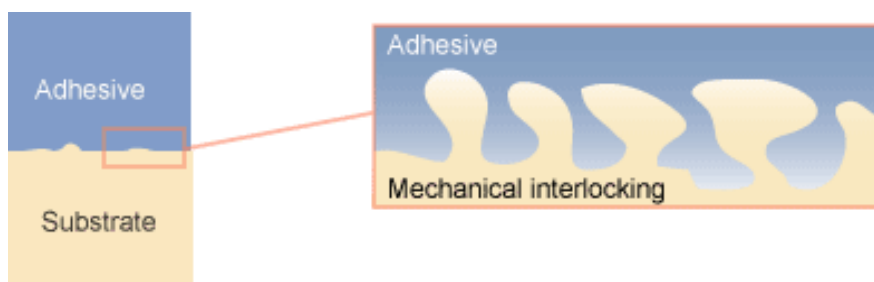
Diffuusioteorian mukaan kahden eri aineen polymeeriketjut voivat, aineiden ollessa läheisessä vuorovaikutuksessa keskenään, limittyä toisiinsa muodostaen sidoksia aineiden välille. Polymeeriketjujen liikkuvuus ja kyky tunkeutua materiaaleihin on suoraan verrannollinen molekyylikokoon, lyhyiden polymeeriketjujen muodostaessa sidoksia pidempiä ketjuja helpommin. Kahden toisiinsa liitetyn polymeerin väliset sidokset muodostuvat verrattain pitkän ajan kuluessa, johtaen aineiden välisen tartunnan kasvamiseen ajan myötä. (Brockmann W. et al. 2005.)



Kuva 26. Periaatepiirros liimamassan ja alustapinnan välisestä diffuusiosta (kuva: <http://www.adhesiveandglue.com/adhesion-theories.html>.)

Elektrostaattisessa teorian mukaan erimerkkiset elektrostaattiset varaukset aiheuttavat sidoksen kahden aineen välille. Elektronien siirtyminen aineiden rajapinnalla aiheuttaa positiivisia ja negatiivisia varauksia, jotka vetävät toisiaan puoleensa. Tuotaessa esimerkiksi epämetalli kiinni metalliin, elektroneja siirtyy metallista epämetalliin aiheuttaen näin vetovoiman aineiden välille. (Pauling 1960.)

Mekaaninen sidos eri aineiden välillä tapahtuu, kun liimamassa tunkeutuu alustapinnan huokosiin ja kovettuttuaan kiinnitysliima muodostaa lujia sidoksia materiaalien välille. Ilmiö on merkittävämpi karkeilla suhteellisen huokoisilla materiaaleilla sekä liimamassan ollessa kovettuvaa ja sen viskositeetin ollessa asennuksen aikana riittävän pienen, että se täyttää alustamateriaalin pienet huokokset. (Allen K. 1993, Butt M. et al 2007.)



Kuva 27. Periaatepiirros liimamassan ja alustapinnan välisen mekaanisen sidoksen syntymisestä (kuva: <http://formulation.vinensia.com/2011/11/granulation-mechanisms-particle-bonding.html>.)

4.7.2 Liitosnauhojen tartuntaan vaikuttavat tekijät asennuksessa

Kohdissa 4.6 ja 4.7 esitettyjen fysikaalisten ominaisuuksien ja tartunnan syntymiseen vaikuttaviin ilmiöihin liittyvän teoriatiedon pohjalta voidaan liitosnauhojen asennukseen ja alustan esikäsitteilyn toteuttamiseen johtaa periaatteita, joita noudattamalla luodaan edellytykset liitosnauhan ja alustan väliselle mahdollisimman hyvälle tartunnalle.

Hyvän adheesion muodostuminen edellyttää mahdollisimman laajaa liiman ja alustan välistä kosketuspintaa, jotta liiman ja alustan välillä tapahtuvien ilmiöiden (muun muassa Van der Waalsin voima, kemiallinen sitoutuminen ja mekaaninen sitoutuminen) vaikutus on mahdollisimman suuri. Tämän perusteella alustan ja liimamassan välinen tartunta on suurinta silloin, kun liimamassa on täysin kiinni alustassaan ja niiden välissä ei ole tartuntaa häiritseviä tai sitä estäviä tekijöitä.

Toisena liitosnauhan tartunnan muodostumiseen vaikuttavana tekijänä liiman ja alustan välisen adheesion lisäksi on alustan lujuus, vaikka adheesio tapahtuisi täydellisesti alustan ja liimamassan välillä, mutta alustan lujuus olisi heikko, irtoaa nauha alustastaan alustan heikosti kiinnittyneen pintakerroksen vuoksi pintakerroksen irrotessa alustastaan.

Huomiota tulee kiinnittää myös itse liimamassaan. Vaikka kiinnitysalusta olisi riittävän luja ja adheesio muodostunut hyvin, liitosnauhan ja alustan välinen tartunta on tällöin yhtä vahva kuin liimamassan koheesiomurtumaan tarvittava voima. Liimamassan viskositeetin tulisi kuitenkin olla riittävän alhainen, jotta se voi täyttää alustan epätasaisuudet hyvän adheesio syntymiseksi. Toisin sanoen liimamassan ominaisuudet tulee sovittaa myös viskositeetin osalta sellaisiksi, että adheesio voi tapahtua, mutta toisaalta massan vetolujuus olisi samalla riittävän suuri.

Adheesioteorioiden perusteella johdetut asennuseriaatteet mahdollisimman hyvän tartunnan toteutumiselle:

- Alustan huokoisuuden tulee olla hyvä, jotta saavutetaan mahdollisimman iso tartuntapinta-ala liiman ja alustan välille. Tämä ei kuitenkaan tarkoita epätasaisen alustan sallimista, koska jo hyvin pienet huokokset ja raot alustan pinnassa parantavat tartunnan muodostumista huomattavasti.
- Alustan tulee olla riittävän luja ja alustanlujuuden tulee olla suurempi kuin liimamassan vetolujuuden. Tarkoittaen muun muassa sementtiliiman ja heikosti alustassaan kiinni olevien tasoite- ja maalikerrosten poistamista alustan pinnasta ennen liitosnauhan asentamista.
- Liimamassan ja alustan pinnan välissä ei saa olla kappaleita tai aineita, jotka estävät tartunnan muodostumisen liiman ja lujan alustan välille. Tarkoittaen sitä, että alusta on puhdistettava pölystä ja liasta, jotka estävä liiman ja alustan välisen kosketuspinnan muodostumista.
- Tartunta ei tapahdu, jos liimamassa ja alusta eivät pääse kosketuksiin toistensa kanssa. Kaikki pinnan suuret epätasaisuudet estävät tartunnan muodostumista ja tästä syystä alusta tulee tarvittaessa hioa tai tasoittaa, jotta tartunnan syntymiseen vaikuttavat epätasaisuudet saadaan poistettua. Asennettaessa liitosnauha tulee myös painaa huolellisesti alustaansa, jotta tartunnan syntymisestä voidaan varmistua mahdollisimman hyvin.
- Pohjusteaineen pääasiallinen tehtävä on parantaa tartunta-alustan lujuutta ja sitoa likaa, joten valittavan pohjusteen tulisi olla sellainen, että se tunkeutuu hyvin alustaan eli omaa matalan pintajännitteen. Jos pohjusteaine ei sitoudu alustaan tai muodostaa alustan pinnalle kalvon, voi se heikentää liitosnauhan tartuntalujuutta, jos pohjusteen sisäinen koheesio eli ulkoista vetorasitusta vastustava voima on pienempi kuin nauhan liimamassalla.

- Nauhojen pingottuessa niihin jäävät jännitykset aiheuttavat liimamassoihin kohdistuvaa vetorasitusta. Liitosnauhat tulisi asentaa siten, että esimerkiksi nurkkaitoksissa nauhojen vahvikeosiin ei jää jännityksiä, jotka saattavat aiheuttaa liimamassan irtoamisen alustastaan.
- Koska lämpötila vaikuttaa liimamassan ominaisuuksiin, muun muassa viskositeettiin ja näin massan tunkeutuvuuteen sekä alustan vettymiseen, tulee asennus suorittaa sellaisissa olosuhteissa, jotka mahdollistavat liimamassan oikeanlaisen toiminnan. Liian kylmät alustapinnat estävä tartunnan muodostumista ja mahdollinen rakenteiden pinnalle jäänyt kosteus heikentää tartuntaa. Olosuhteiden tulee olla riittäviä myös asennuksen jälkeen, jotta liiman ja alustan välinen tartunta kehittyisi mahdollisimman hyvin.

4.8 Ikkunaliittymien tiivistyksen toteutus liitosnauhatuotteilla

Lisäksi aiemmin luvussa 4 käsiteltyjen liitosnauhojen materiaaliominaisuuksien, asennukseen liittyvien seikkojen sekä kohdassa 3.2 käsiteltyjen ikkunaliittymien ilmatiiviyyteen liittyvien määräysten pohjalta voidaan johtaa yleisiä periaatteita sovellettavaksi liitosnauhatuotteilla tehtävien ikkunaliittymien tiivistysasennusten toteutuksessa.

Hyviä asennusperiaatteita ikkunaliittymien tiivistyksen toteutukseen liitosnauhatuotteilla on esitetty yksityiskohtaisemmin tämän työn liitteessä 1. Liitteen ohjeistukseen on koottu periaatteita ja toimintatapoja, jotka ovat edellytyksenä liitosnauha-asennusten oikeanlaiselle toiminnalle ja pitkäaikaiselle toimintavarmuudelle.

Toteutuksen pääperiaatteet ovat seuraavat:

- Liitosnauhatuotteilla toteutetun asennuksen tulee täyttää Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa esitetyt vaatimukset rakenteiden ilmatiiviydelle.
- Työtapojen ja materiaalien tulee soveltua käytettäviksi rakennustöille asetetun tavoitetaso mukaisissa tiivistystöissä. Niiden tulee myös täyttää tiivistystavan suunnitellulle käyttöiälle sekä kohteen mahdollisille erityispiirteille asetetut vaatimukset.
- Ikkunaliittymien rakenteet tulee aina suunnitella tarkoituksenmukaisesti siten, että ilmatiiviyyden toteutumisen lisäksi rakenne toimii lämpö- ja kosteusteknisesti oikein.

- Käytettävien liitosnauhatuotteiden tulee mahdollistaa ikkunaliittymän ilmatiivis toteutus.
- Suunnitelmissa esitettyjen ohjeistusten tulee olla selkeitä ja riittävän yksityiskohtaisia ja sovellettavat työtavat tulee esittää jokaiselle rakennedetaljille erikseen.
- Asennukset tulee suorittaa materiaalitoimittajan ohjeistuksen mukaisesti sekä suunnitelma-asiakirjojen edellyttämässä asennusolosuhteissa.
- Liitospintojen tulee olla puhtaita, lujasti kiinni alustassaan ja vapaita tartuntaa heikentävistä aineista sekä riittävän tasaisia, ehjiä ja halkeilemattomia liitosnauha-asennuksen ilmatiiviin toteutuksen mahdollistamiseksi.
- Kaikkien liitosnauha-asennusten oikeellisuus sekä liittymien ilmatiiviyys tulee todentaa riittävällä laadunvarmistusmenettelyllä.

5 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa esitetyt tutkimusmenetelmät edustavat niitä tutkimuksen keinoja, joita hyödynnettiin tutkimuksen kokeellisessa osassa. Tutkimusmenetelmät valittiin tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti siten, että niiden avulla voitiin selvittää mahdollisimman luotettavasti kunkin laboratoriokoeosuuden mukaisia erillisiä tavoitteita, kuten liitosnauha-asennusten ilmatiiviyys ja tartunnan muodostuminen erilaisilla esikäsitteilytekniikoilla.

Tutkimuksen laboratoriokokeissa sovellettavaksi valittavia tutkimusmenetelmiä arvioitiin myös niiden mahdollisen soveltuvuuden kannalta käytettäväksi liitosnauha-asennusten laadunvarmistuksessa. Tämän vuoksi tutkimusmenetelmiä pyrittiin soveltamaan siten, kuten niitä jo yleisesti muunlaisten asennusten ja materiaalien laadunvarmistuksessa käytetään.

5.1 Rakenneliittymien ilmatiiviyys

Rakenteiden ilmatiiviyttä voidaan selvittää joko aistinvaraisen tarkastelun avulla, merkisivä apuna käyttäen tai erilaisilla tarkoitukseen soveltuvilla mittalaitteistoilla. Mittalaitteistolla suoritettavassa ilmatiiviyden arvioinnissa voidaan hyödyntää muun muassa rakennusten ilmavuotomittauksia, merkkiainetutkimuksia tai lämpökuvauksia. Näistä merkkiainetutkimuksella ja lämpökuvauksella voidaan selvittää yksittäisten rakenteiden ilmavuotokohtia ja rakenteiden läpi tapahtuvia ilmavirtauksia, ilmavuotomittausten ilmaistessa rakennuksen kokonaisilmavuodon määrää, eli ilmavuotolukua eikä sitä näin ollen voi hyödyntää yksittäisten rakenteiden tai rakenteiden yksityiskohtien tarkastelussa.

Merkkiainetutkimusta voidaan pitää mittauksilla tehtävistä tutkimuksista tarkimpana selvitettäessä yksittäisten rakenneosien ilmatiiviyttä tai rakenteista sisäilmaan tapahtuvien ilmavirtausten voimakkuutta. Sillä voidaan myös selvittää ilman kulkeutumista sekä kulkeutumisen voimakkuutta rakenteiden sisällä.

5.1.1 Merkkiainetutkimus

Merkkiainetutkimus tarkoittaa menetelmää, jossa merkkiaineena toimivaa, ilmassa normaalisti esiintymätöntä merkkikaasua ja tämän erityisen kaasun havaitsemiseen

tarkoitettua analysaattorilaitetta käyttäen selvitetään rakenteen läpi epäjatkuvuuskohdista sisäilmaan tapahtuvia sekä rakenteen sisäisiä ilmavirtauksia. Tutkimusmenetelmällä voidaan havaita hyvinkin pieniä yksittäisiä ilmavuotoja. Merkkiainekoetta voidaan hyödyntää sekä rakenteiden ilmatiiviyden toteutuksen laadunvarmistuksessa sekä osana kuntotutkimuksia, selvittäessä rakenteiden ilmatiiviyttä korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. (RT 14-11197.)

Tutkimusmenetelmällä saatujen tulosten luotettava tulkinta, mittausten toistettavuus sekä eri mittauksista saatujen tulosten vertailtavuus keskenään edellyttää vakioituja ja yhdenmukaisia mittausolosuhteita jokaisessa tehdyssä yksittäisessä mittauksessa. Mittausolosuhteilla tarkoitetaan tässä tapauksessa tutkittavan rakenteen ja sisäilman välistä paine-eroa, vallitsevia sääolosuhteita, merkkiaineen syöttämistapaa rakenteeseen sekä syötetyn merkkiaineen määrää ja kaasun riittävän kattavaa leviämistä tutkittavan rakenteen sisällä. Merkkiainekokeen suorittamisessa vaadittavat olosuhteet on esitetty RT-ohjekortissa RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekokein*. (RT 14-11197.)

Laadunvarmistusmenetelmässä tulee paine-eron rakenteen ja sisäilman välillä olla 10...15 Pa huoneilman ollessa alipaineinen tutkittavaan rakenteeseen nähden. Rakenteen ja huoneilman välisen paine-eron tulee pysyä määritellyn vaihteluvälin sisällä koko mittauksen ajan. Kaasun riittävä leviäminen rakenteessa varmistettiin tarvittaessa tekemällä pieniä reikiä rakenteen ilmanpitävään kerrokseen, joista kaasun leviämistä havainnoitiin merkkiaineanalysointilaitteen avulla. (RT 14-11197.)

Merkkiainekokeista saatuja tuloksia verrataan RT-ohjetiedoston RT 14-11197 mukaisiin tavoitetasomääritelmiin. Tavoitetaso tulee määritellä erikseen jokaisen kohteen erityispiirteet, rakennusfysikaaliset olosuhteet ja mahdolliset riskit huomioiden. Tavoitetasoina käytetään:

- 1. täysin tiivis, vuotoja ei asennuksessa sallita
- 2. Merkittävä tiiviyden parantaminen, sallitaan vähäisiä vuotoja asennuksessa alipaineistettuna -10 Pa
- 3. Tiiviyden parantaminen, ei saa olla merkittäviä vuotoja alipaineistettuna, -10 Pa ja enintään vähäisiä vuotoja käyttötilanteessa, kun ilmanvaihto on tasapainotettuna alle -5 Pa. (RT 14-11197.)



Kuva 28. Merkkiaineanalysaattori Sensistor 9012 WRS ja mitta-anturi H21 sekä merkkiaineekaasupullo, jossa virtaussäädin kaasun syötön voimakkuuden kontrollointiin (Kuvat: Tommi Syrjäläinen Vahanen Rakennusfysiikka Oy ja RT 14-11197.)

Merkkikaasun leviämistä rakennuksen sisäilmaan, rakenteista sisäilmaan tapahtuvien ilmavirtauksen mukana, selvitetään asettamalla analysaattorilaitteen mitta-anturi lähelle esimerkiksi ikkunaliittymiin toteutettuja tiivistysasennuksia ja ilmavirtausten voimakkuutta arvioidaan analysaattorilaitteen ilmoittaman, vetypitoisuuden voimakkuutta ilmaisevan mittauskäyrän avulla. Ilmavuotokohtien sijaintia havainnoidaan liikuttamalla mitta-anturia pitkin rakenteen pintaa.

Yksittäisten tässä tutkimuksessa toteutettujen koejärjestelyjen koestusmenettelyt on esitetty kohdissa 6.1.2, 6.2.2 ja 6.3.2.

5.1.2 Aistinvarainen arviointi

Aistinvaraisessa arvioinnissa rakenneliittymien ilmatiivyyttä tutkittiin asennusten päältä, purkamatta tehtyjä tiivistyksiä. Silmämääräisessä tarkastelussa havainnoitiin liitosnauhojen pinnoilta ja liitosnauhojen nurkkaliittymistä mahdollisia puutteita tartunnassa tai silmin havaittavia reikiä tai muita epäjatkuvuuskohtia rakenneliittymän läpi.

Ilmavirtausten liikkeitä tiivistysasennusten läheisyydessä ja liittymän läpi havainnoitiin merkkisavun avulla. Merkkisavu liikkuu hyvin pientenkin ilmavirtausten mukana näin visualisoiden mahdolliset ilmavuodot liittymien läheisyydessä. Tarkastelun aikana tilojen tulee olla alipaineisia ulkoilmaan tai ympäröiviin tiloihin nähden, jolloin ilmavirran suunta on ulkoilmasta tai ympäröivistä tiloista huoneilmaan päin.

Tutkimuksen yhteydessä tehdyissä aistinvaraisissa tarkasteluissa käytettiin Regin FRA-10 – merkkisavupulloa, jossa savunmuodostuksessa käytettävänä aineena toimii titaanitetrakloridi (TiCl_4). Joutuessaan kosketuksiin ilmankosteuden kanssa, titaanitetraakloridi muodostaa valkoista savua, jonka tiheys vastaa ympäröivän ilman tiheyttä. Merkkisavuainetta sisältävällä pullolla osoitetaan tarkasteltavaan kohteeseen ja painettaessa pulloa kevyesti, savua leviää pullon suuttimesta ympäristöön pieniä määriä, jolloin ilmavirtojen havaitseminen aistinvaraisesti on mahdollista. (Pietiko Oy.)

5.2 Tartuntalujuus

Rakenteen pintakerroksen, rakenteen pintaan asennetun tasoitekerroksen, pinnoitteen tai rakenteen pintaan kiinnitetyn päällysteen tartunnan lujuutta alustaansa voidaan tutkia tarkoitukseen soveltuvalla mittalaitteistolla, niin kutsulla vetokokeella tai aistinvaraisesti vetämällä käsivoimin pintaan kiinnitetystä kappaleesta viillettyä koepalaa.

Tutkimuksessa toteutettujen liitosnauhojen koeasennusten tartuntalujuutta alustaansa tutkittiin sekä vetokoelaitteella tehdyllä tutkimuksella, jonka tuloksena saadaan tartuntalujuuden numeerinen arvo, että aistinvaraisesti arvioimalla niin kutsuttua kolmioviilto-menetelmää hyödyntäen. Aistinvaraisen arvioinnin avulla arvioitiin koelaitteistolla saadun numeerisen tuloksen luotettavuutta.

5.2.1 Tartuntavetolujuuskoe vetokoelaitteistolla

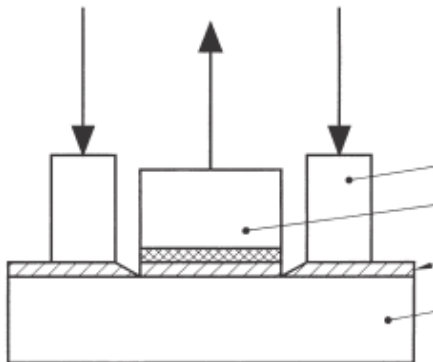
Vetokoelaitteistolla tehtävässä tartuntavetolujuuden arvioinnissa selvitetään tarkoitukseen suunniteltua vetolaitetta käyttäen pinnoitteen tai rakenteen pintaan kiinnitetyn rakennekerroksen tartuntaa alustaansa. Tartuntavetolujuuden koestuksessa sovellettava koemenetelmä on esitetty esimerkiksi standardissa SFS 5446 *Betoni. Tartuntalujuus* ja standardissa SFS-EN 1542 *Betonirakenteiden suojaus-, ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Tartuntalujuuden mittaus vetokokeella*. Maali-, lakka ja muovikerrosten vetokoemenetelmä on esitetty standardissa EN ISO 4624 *Paints, varnishes and plastics*.

Koestus suoritetaan siten, että koestettavan rakennekerroksen pintaan kiinnitetään niin kutsuttu vetonappi, joka on tähän tarkoitukseen tehty, yleensä teräksinen, lieriön tai

kuution muotoinen vetokappale. Kappale kiinnitetään rakenteen puhdistettuun pintaan liimaamalla. (SFS 5446, SFS-EN 1542.)

Liimatun vetonapin alle jäävä tarkasteltava rakennekerros irrotetaan ympäröivästä muusta pintakerroksesta esimerkiksi viiltämällä kappaleen asennuksen jälkeen tai po-raamalla ennen kappaleen asennusta siten, että laitteella synnytetty veto kohdistuu vain haluttuun rakennekerrokseen ja vain vetonapin peittämälle alalle. Viilto tehdään alustamateriaaliin saakka siten, että vetokappaleen alla jäävään materiaaliin kiinnittyneet ympäröivät pintakerrokset eivät vaikuta vetokoestuksen tuloksiin. (EN ISO 4624, SFS-EN 1542.)

Tarkasteltaessa esimerkiksi betonirakenteen päälle asennetun pinnoitekerroksen tartuntaa alustaansa pinnoitteen päälle liimataan vetokappale, vetokappaleen alapuoliset pintakerrokset irrotetaan ympäröivästä pinnoitteesta betonipintaan saakka, jolloin vetokokeella tehty koestus kohdistuu betonirakenteen ja vetokappaleen väliin jääviin rakennekerrokseen, kuvatussa tapauksessa siis betonipinnan ja pinnoitteen sekä pinnoitteen ja vetokappaleen välisiin tartuntoihin.



Kuva 29. Vetokappale kiinnitetään rakenteen pinnoitteen pintaan liimaamalla ja tutkittava rakennekerros irrotetaan ympäröivästä pinnoitteesta alustan pintaan saakka. Vetokoe laite tukeutuu vedettävän kappaleen ympärille ja vetolaitte kuormittaa kappaletta ylöspäin suuntautuvalla voimalla, tietyllä tarkasteltavan pinnoitteen mukaan valitulla voimakkuudella. (kuva: EN ISO 4624.)

Tarkasteltaessa jäykän rakenteen pintaan asennetun pinnoitekerroksen tartuntalujuutta vetokappale kiinnitetään vetolaitteeseen ja laite tuetaan ympäröivää pintaa vasten siten, että vedettävään kappaleeseen kohdistuu ylöspäin suuntautuva aksiaalinen voima. Kuormitusta lisätään yhtäjaksoisesti ja tasaisella nopeudella. Täsmällisimmin tarvittava kuormitusvoima saadaan aikaiseksi automatisoidulla vetolaitteella, johon syötetään

halutun kuormitusvoiman numeerinen arvo ja laite vetää vetokappaletta valitun arvon mukaisesti. Tartuntalujuuden arviointiin voidaan käyttää myös käsikäyttöistä vetolaitetta, mutta tällöin ei voida täysin varmistua kuormitusnopeuden oikeellisuudesta. Kappaleeseen kohdistettu kuormitusvoima valitaan tutkittavalle materiaalille soveltuvaksi. (SFS 5446, SFS-EN 1542, EN ISO 4624.)

Pinnoitteen tartuntalujuus alustaansa, σ (N/mm²) lasketaan yhtälöstä:

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

σ on kappaleen tartuntalujuus, N/mm²

F on murtolujuus, N

A on vetokappaleen mitattu pinta-ala, mm² (EN ISO 4624)

Murtuman jälkeen vetokappale tarkastetaan aistinvaraisesti ja murtumatyyppi määritellään tarkastelun perusteella käyttäen tähän standardeissa ES ISO 4624 ja SFS-EN 1542 määriteltyjä kirjainyhdistelmiä seuraavasti:

A	alustan koheesiomurtuma
A/B	alustan ja ensimmäisen rakennekerroksen adheesiomurtuma
B	ensimmäinen rakennekerroksen koheesiomurtuma
B/C	ensimmäisen ja toisen rakennekerroksen välinen adheesiomurtuma
n	n :nen rakennekerroksen koheesiomurtuma
n/m	n :nen ja m :nen rakennekerroksen välinen adheesiomurtuma
-/Y	viimeisen rakennekerroksen ja vetokappaleen liiman välinen adheesiomurtuma
Y	vetokappaleen kiinnitysliiman koheesiomurtuma
Y/Z	kiinnitysliiman ja vetokappaleen välinen adheesiomurtuma

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen malliasennusten tartuntalujuuden arviointi suoritettiin vetolaitteilla F 20-D-Easy M ja F 15-D-Easy M. Laitteet ovat keskenään samankaltaisia, automaattisia vetolaitteita, jotka kuormittavat vetokappaletta tasaisesti esiasennetun vetovoiman kasvunopeuden mukaisesti. Käytettyjä vetolaitteita kalibroitiin.

daan säännöllisesti. Kalibroinnissa määritelty mittausepäätarkkuus laitteistolle on noin ± 2 % pienimmällä kalibrointi-arvolla 1 kN.

Vetokoetutkimukset suoritettiin kaikissa tutkimuksen koestustapauksissa edellä kuvattuna kaltaisesti soveltaen standardeja SFS 5446, SFS-EN 1542 ja EN ISO 4624. Vetokappaleina kaikissa koestuksissa käytettiin 50x50 mm:n kokoista teräksistä, neliön muotoista kappaletta. Vetokappaleet liimattiin koestettavien liitosnauhojen pintaan syanoakrylaatti –pikaliimalla tai 2-komponenttisella epoksiliimalla. Pikaliiman kovettumisreaktiota nopeutettiin käyttämällä tähän tarkoitettua kiihdytinainetta. Vetokappaleen alle jäävä liitosnauha irrotettiin ympäröivästä liitosnauhapinnasta viiltämällä noin 3...5 mm leveä rako vetokappaleen ja muun pinnan välille kiinnitysalustaan (betoni- tai vaneerialustaan) saakka.

Tutkimuksessa sovellettiin koestusotantaa, jossa suoritettiin kolme (3) rinnakkaista vetotarkastelua kultakin erilaiselta käsittely-yhdistelmältä, kaikkina eri ajanjaksoina suoritetuissa koestuksissa. Näistä kolmesta rinnakkaisesta vetokoetuloksesta laskettiin keskiarvo, jota käytettiin tartuntalujuuden arvona. Standardi EN ISO 4624 määrittää otettavaksi 6 rinnakkaista vetokoetuloa ja standardi SFS-EN 1542 viisi, vähintään kolme rinnakkaista tartuntalujuuden vetokoetta yhdeltä käsittely-yhdistelmältä.

Vetovoiman kasvunopeutena tutkimuksen kaikissa koestuksissa käytettiin standardeja EN ISO 4624 ja ZTV SIB-90 soveltaen arvoa 375 N/s. Standardin EN ISO 4624 mukaan vetojännitys ei saa koestuksissa olla suurempi kuin 1 MPa/s ja standardi ZTV SIB-90 määrittelee vetovoiman kasvunopeudeksi elastisia vedeneristysmateriaaleja koestettaessa 375 N/s, jota tutkimuksen liitosnauhoille tehdyissä koestuksissa sovellettiin.

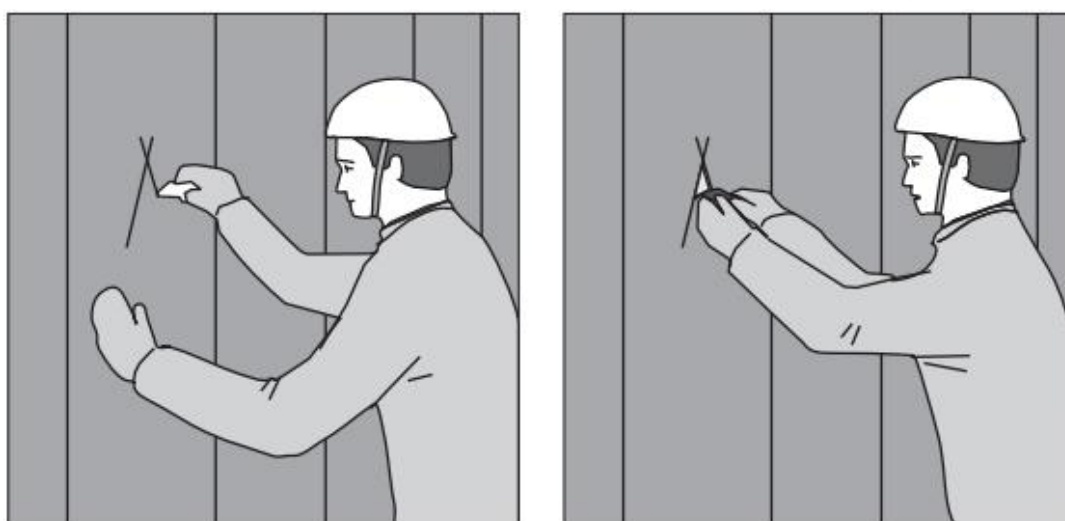
5.2.2 Kolmioviiltokoe

Kolmioviiltokoetta hyödynnetään yleisimmin vedenpaine-eristykseen käytettyjen bitumikermien alustatartunnan aistinvaraiseen arviointiin. Kokeella saadaan suuntaa antava tieto kermien tartunnasta alustaan ja toisiinsa. Aistinvaraiseen arvioon perustuvaa kolmioviiltokoetta käytetään vetolaitteella tehdystä laadunvarmistuksesta saatujen numeeristen arvojen ohella. (RT 83-11032.)

Koe suoritetaan siten, että kermin läpi alustaan tehdään noin 100 mm pitkät viillot. Näin syntyneen kielekkeen päätä irrotetaan siten, että kielekkeeseen voidaan tarttua. Kermin kielekettä vedetään molemmin käsin alustasta kohtisuorasti poispäin. Viiltokoe suoritetaan noin +5...+25 °C lämpötilassa. (RT 83-11032.)

Tartunnan voidaan katsoa olevan riittävä, jos:

- Kermin kielekettä käsin tasaisesti vedettäessä todetaan selvä vastus
- Kermin kieleke irtoaa siten, että yli 50 %:lla irrotuskohdan pinta-alasta jää bitumia kiinni betoniin



Kuva 30. Kolmioviiltokokeessa viillettävä kieleke kermin pintaan ja kielekkeen arviointi vetämällä kohtisuoraan alustasta poispäin (kuva: RT 83-11032.)

Liitosnauhojen tartuntaa arvioitaessa ohjekortissa RT 83-11032 esitettyä koetapaa sovelletaan siten, että kolmioviiltokokeessa liitosnauhan läpi alustaan tehdään kaksi noin 50 mm pitkää viiltoa. Viillot tehdään noin 40° kulmassa toisiinsa nähden. Näin syntyneen kielekkeen päätä irrotetaan alustastaan siten, että siihen voidaan tarttua. Kielekettä vedetään käsin alustasta kohtisuoraan alustasta poispäin.

Viiltokoe tulee suorittaa alustan noin 20 °C, ±2 °C lämpötilassa ja asennuksen tulee olla vähintään 3 vuorokauden ikäinen.

Liitosnauhan tartunnan voidaan katsoa olevan riittävä, kun:

- Kielekettä vedettäessä tasaisesti tunnetaan selvä vastus

- Kieleke irtoaa siten, että irtoaminen tapahtuu liimakerroksen koheesiomurtumana (limaa jää sekä alustaan, että liitosnauhan pintaan)
- Vedettäessä nauha menee poikki tai yli 50 % nauhasta jää kiinni alustaan

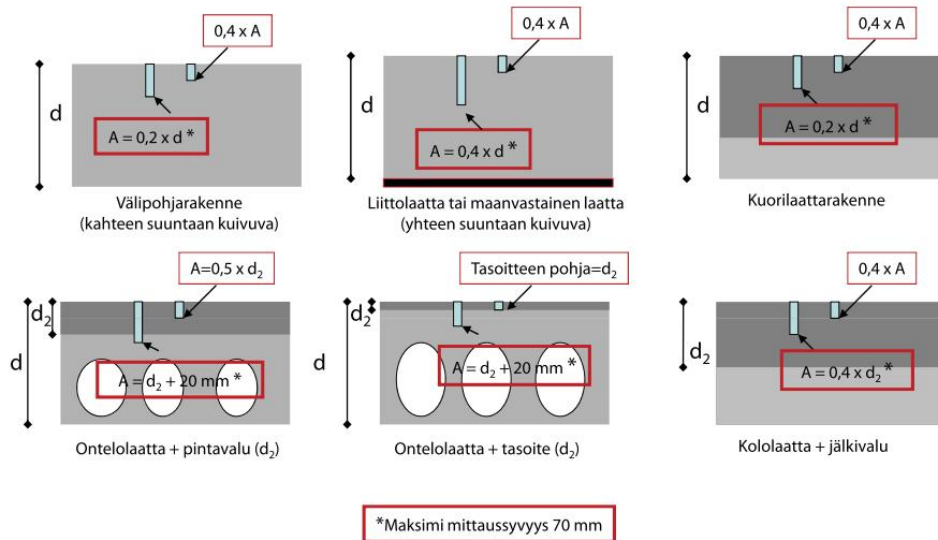


Kuva 31. Liitosnauha ennen kolmioviiltokoetta ja kolmioviiltokokeessa vedettynä kohtisuoraan alustasta poispäin (kuva: Mikko Koskivuori, Vahanen Rakennusfysiikka Oy.)

5.3 Betonin suhteellinen kosteuspitoisuus

Alustan riittävän alhainen kosteuspitoisuus ja sen todentaminen ennen asennusta on oleellinen kaikissa tehdyissä asennuksissa ja kaikilla materiaaleilla. Liian kostealle alustalle tehty asennus saattaa estää rakenteen kuivumisen, estää tartunnan muodostumisen sekä aiheuttaa materiaalin myöhemmän irtoamisen alustastaan kuivumiskutistumisen tapahtuessa.

Betonin suhteellisen kosteuspitoisuuden tarkkaan määrittämiseen voidaan käyttää mittauksia toteutettuna ohjekortin RT 14-10984 *Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen* mukaisia menetelmiä joko niin, että suhteellinen kosteus määritetään betonirakenteeseen porattavasta reiästä niin kutsutulla porareikämittauksella tai betonirakenteesta irroteutuista näytepaloista niin kutsutulla näytepalamenetelmällä. Kulloinkin käytettävä mittausvyvyys riippuu mitattavan rakenteen rakenneratkaisusta ja rakenteen kokonaispaksuudesta. Mittausvyvyys lasketaan alla olevan kuvan mukaisesti. (RT 14-10984.)

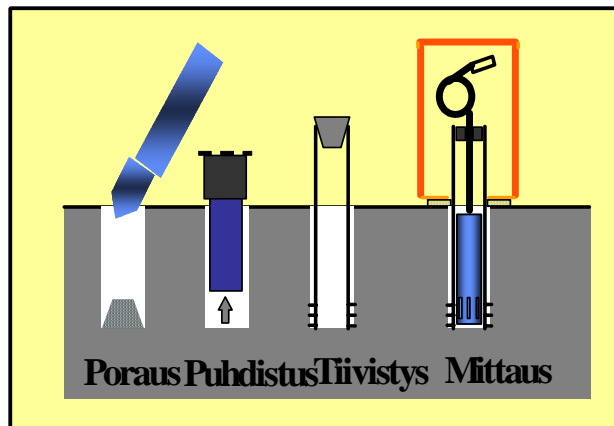


Kuva 32. Mittaussyvydet eri rakenneratkaisuilla rakennepaksuuksista riippuen. (kuva: RT 14-10984.)

5.3.1 Porareikämittaus

Porareikämenetelmällä toteutetussa mittauksessa betonirakenteeseen porataan läpimitaltaan 16 mm:n reikä rakenteen mukaan laskettuun mittaussyvyyteen asti. Porauspöly imuroidaan huolellisesti pois tehdystä reiästä ja reikään asennetaan tiivis putki, esimerkiksi sähköputki. Putken pää sekä putken ja betonin välinen rajapinta tiivistetään tarkoitukseen soveltuvalla tiivistyskitillä ja mittausreiän annetaan tasaantua tiivistettynä vähintään 3 vuorokautta. (RT 14-10984.)

Tasaantumisaikan jälkeen rakenteen suhteellisen kosteuden mittaus suoritetaan kosteusmittauslaitteistolla. Laitteiston mittapää asennetaan tiivistettyyn putkeen avaamalla putken päähän tehty tiivistys ja mittapään asettamisen jälkeen putki tiivistetään uudelleen tarkoitukseen soveltuvalla tiivistyskitillä. Asennetun mittapään tulee antaa tasaantua putkessa vähintään 1 tunnin ennen lukemien ottamista. Mittapää voidaan asentaa putkeen myös porauksen yhteydessä, jolloin mittapään annetaan tasaantua putkitetussa reiässä vähintään 3 vuorokautta ennen lukemien ottamista. (RT 14-10984.)



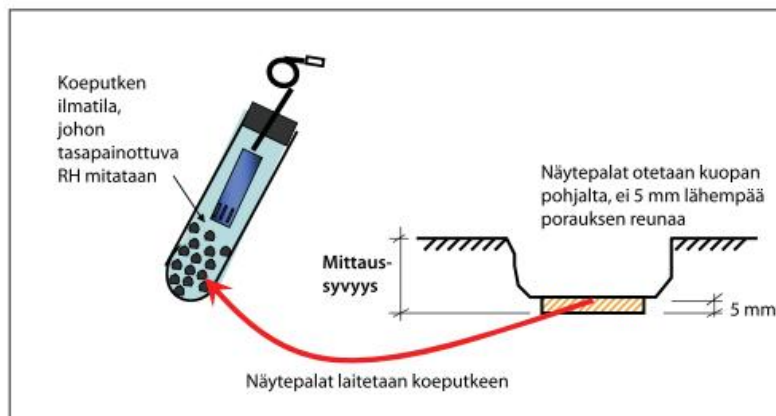
Kuva 33. Porareikämittauksen vaiheet (kuva: Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet 2007.)

Tasaantumisaajan jälkeen, mittaustuloksista kirjataan mittalaitteen osoittama suhteellinen kosteus (RH) ja lämpötila (T). Saadut lukemat tulee korjata mittapään mukaisella korjauskertoimella, joka on mittapääkohtainen ja annetaan kalibroinnin yhteydessä. Mittaukset tulee suorittaa vain laitevalmistajan suositusten mukaisesti kalibroiduilla mittapäillä. Porareikämittauksella suoritettavassa suhteellisen kosteuden mittauksessa tulisi rakenteen lämpötilan olla +15...+25 °C välillä, jotta lämpötilasta johtuva mittausvirhe olisi mahdollisimman pieni ja mittausvirheen vaikutus saatuun mittaustulokseen mahdollisimman vähäinen. (RT 14-10984.)

Porareikämittausmenetelmä soveltuu parhaiten käytettäväksi silloin, kun betonirakenteen suhteellinen kosteus halutaan selvittää verrattain syvältä ja mitattavan rakenteen lämpötila noudattelee edellä esitettyä vaihteluväliä.

5.3.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittausmenetelmässä betonirakenteesta irrotetaan piikkaamalla betonimursia määritellyltä syvyydeltä koeputkeen. Betonimuruset piikataan alla olevan kuvan periaatteen mukaisesti siten, että koeputkeen asetettavat muruset sijaitsevat 5 mm määriteltyä mittaussyvyyttä ylempänä, siten betonimuruset, joista mittaus suoritetaan, koostuvat betonikerroksesta, joka on mittaussyvyydestä 5 mm ylöspäin. Tuloksena saadaan mittaustulos, joka koskee esimerkiksi betonia 0...5 mm betonirakenteen yläpinnasta koeputkessa olevan ilman ilmankosteuden tasaantuessa murusten kosteuspiitoisuuden mukaiseksi. (RT 14-10984.)



Kuva 34. Näytepalamittauksen betoninäytteiden irrottamisen ja kosteusmittauksen periaate (kuva: RT 14-10984.)

Laitteiston mittapää asennetaan koeputkeen ja mittapään asettamisen jälkeen putki tiivistetään täysin vesihöyrytiivisti tarkoitukseen soveltuvalla tiivistyskitillä. Koeputket siirretään noin +20 °C vakio-olosuhteiseen tilaan esimerkiksi lämpölaukussa lämpötilavaihteluiden minimoimiseksi. Koeputken ja siihen asennetun mittapään tulee antaa tasaantua putkessa vähintään 10 tuntia ennen lukemien ottamista. (RT 14-10984.)

Tasaantumisaajan jälkeen mittaustuloksista kirjataan mittalaitteen osoittama suhteellinen kosteus (RH) ja lämpötila (T). Saadut lukemat tulee korjata mittapään mukaisella korjauskertoimella, joka on mittapääkohtainen ja annetaan kalibroinnin yhteydessä. Mittaukset tulee suorittaa vain laitevalmistajan suositusten mukaisesti kalibroiduilla mittapäillä. (RT 14-10984.)

Näytepalamittausmenetelmä soveltuu parhaiten käytettäviksi silloin, kun betonirakenteen suhteellinen kosteus halutaan selvittää rakenteen pinnalta. Menetelmän mittaus-tarkkuus on verrattain hyvä, koska mittaus voidaan suorittaa vakioituissa olosuhteissa. Lisäksi menetelmällä saadaan mittaustulos varsin nopeasti verrattuna porareikämenetelmän 3 vuorokauden vaadittavaan tasaantumisaikaan.

6 Laboriokokeet

Tutkimuksessa tehtyjen laboratoriokokeiden tarkoituksena oli pyrkiä selvittämään tutkimukselle asetettujen tavoitteiden mukaisesti vastaus siihen:

- Voidaanko liitosnauhatuotteita luotettavasti hyödyntää ikkunaliittymien tiivistyksen toteutuksessa?
- Mitkä tekijät mahdollistavat ilmatiiviin ja luotettavan asennuksen liitosnauhatuotteilla?
- Millaisilla laadunvarmistuskeinoilla liitosnauhatuotteilla toteutetun asennuksen oikeellisuus voidaan todentaa?

Koejärjestelyjen ja suoritettujen koestusten tulosten perusteella arvioitiin erilaisten asennustapojen soveltuvuutta sekä vaikutusta ikkunaliittymien ilmatiiviyteen. Lisäksi pyrittiin selvittämään millaiset asennus- ja esikäsitteilytavat parhaiten mahdollistavat riittävän liitosnauhan ja alustan välisen tartunnan sekä miten tartunta kehittyy lyhyellä aikavälillä asennuksen suorittamisesta.

Laboriokokeita tehtiin kahdenlaisella pääasiallisella koejärjestelyllä: testirakennuksiin toteutettavilla ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennuksilla sekä alustoilta suoritettavilla tartuntalujuuden arvioinneilla. Koestuksia suoritettiin koejärjestelyjen eri variaatioilla ja erilaisilta alustamateriaaleilta. Koejärjestelyt ja tutkimusmenetelmät valittiin siten, että ne kuvaavat mahdollisimman hyvin asennuksen eri osa-alueita, tyypillisiä rakenteita ja materiaaleja. Niitä tulee myös voida koestaa samoilla menetelmillä, kuin on mahdollista myös tavanomaisessa rakennustyössä koestaa.

Tässä luvussa on esitetty kunkin koejärjestelyn pääpiirteet, koejärjestelyjen tavoitteet, koestusten toteutus sekä suoritetuista laboratoriokokeista saadut havainnot ja koestusten tulokset.

Tarkemmat, tuote- ja asennuskohtaiset kuvaukset suoritetuista kokeista ja tutkimuksen asennuskohtaiset, täsmälliset havainnot ja yksittäisten koestusten johtopäätökset on esitetty liitteissä 2-9.

6.1 Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna kevyen ulkoseinärakenteen höyrynsulkukalvon pintaan

Tehdyllä koestuksella selvitettiin eri valmistajien ja erityyppisten liitosnauhojen sekä tutkimuksessa sovellettujen erilaisten asennustapojen soveltuvuutta kevytrakenteisen ulkoseinän höyrynsulkukalvon sisäpintaan toteutettavaan asennukseen. Kokeiden pääasiallisena tarkoituksena oli selvittää merkkiainemenetelmää hyödyntäen koerakennuksen ikkunaliittymiin pelkällä liitosnauhalla tehtyjen asennusten ilmatiiviyttä käyttämättä asennuksissa esimerkiksi tiivistysmassaa tai muotoiltuja nurkkakappaleita.

6.1.1 Koestuksen tavoitteet

Tutkimuksista saatujen tulosten pohjalta pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen asennustapa soveltuu parhaiten käytettäväksi liitosnauha-asennuksissa kun liitosnauha liitetään ikkunakarmilta kevytrakenteiden ulkoseinän höyrynsulkukalvon pintaan sekä havainnoimaan tehdyistä asennuksista sellaisia seikkoja, jotka ovat asennusten ilmatiiviyden toteutumisen kannalta kriittisiä eli todennäköisimpiä ilmavuotokohtia. Tarkastelutulosten perusteella arvioitiin myös merkkiainekoemenetelmän ja aistinvaraisen arvioinnin soveltuvuutta ikkunaliittymien liitosnauha-asennusten laadunvarmistukseen.

6.1.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt suoritettiin 23.–25.9.2015 välisenä aikana koulutuskeskus Amiedun rakennushallissa Helsingissä, jonne rakennettiin koestuksia varten testirakennus. Ikkunaliittymien tiivistysasennukset suoritettiin 23.–24.9.2015 ja varsinaiset tehtyjen asennusten koestukset 25.9.2015.

Koestuksia varten rakennettu testirakennus oli noin 6 m² kokoinen ja 2500 mm korkea rakennus, jonka seinärakenteet toteutettiin vastaamaan kevytrakenteisiä ulkoseinärakenteita. Testirakennuksen ulkoseiniin oli asennettu useita pienehköjä ikkunoita, joille liitosnauhojen malliasennuksia suoritettiin (Kuva 35). Ikkunat olivat 2-lehtisiä puualumiini-ikkunoita



Kuva 35. Yleiskuva testirakennuksen sisältä. Kuvassa on ikkunaliittymille tehdyt asennukset ja seinäpintojen puolittainen sisäverhouslevytyt vasemmalla.

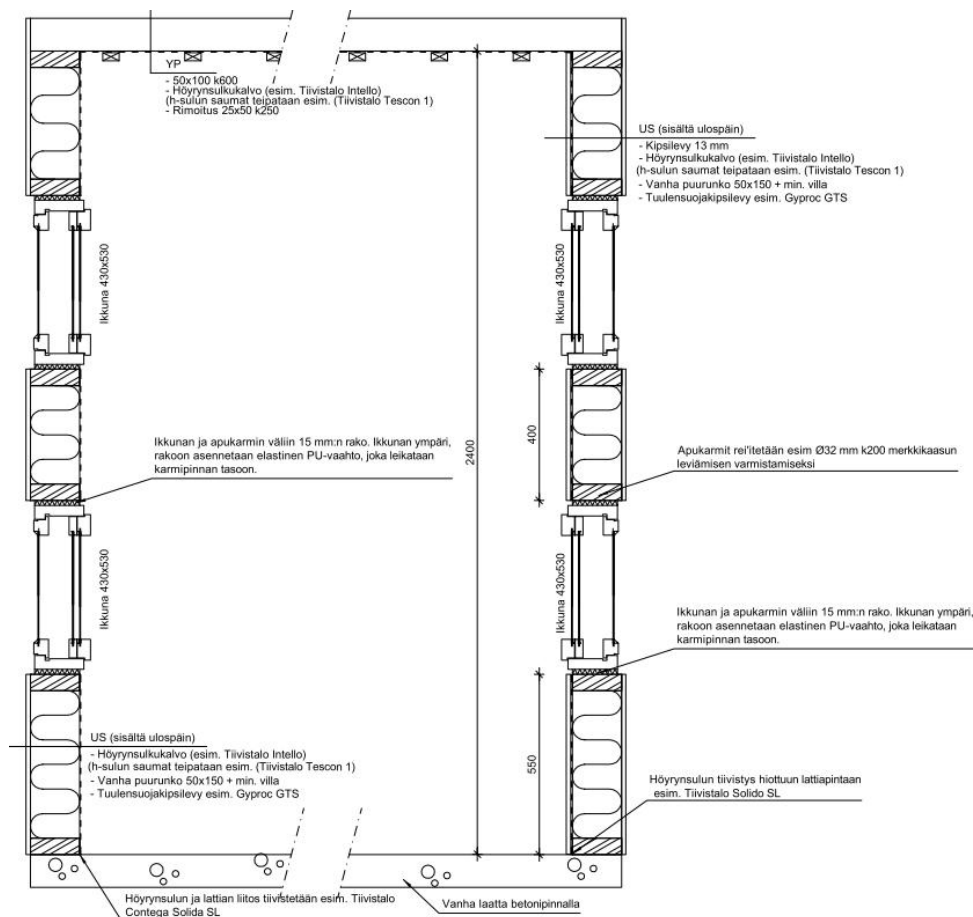
Ulkoseinärakenne toteutettiin puurunkoisena, mineraalivillaeristeisenä siten, että runkoon ja ikkuna-aukkojen apukarmeihin porattiin läpimitaltaan 32 mm:n reikiä merkki-kaasun tasaisen leviämisen mahdollistamiseksi. Seinärakenteen ulkopuolelle asennettiin tuulensuojakipsilevy, jotta seinärakenteen eristetilaan syötetty kaasu pysyisi rakenteen sisällä.

Ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo liittäen se ympäröiviin rakenteisiin täysin ilmatiiviisti. Tämän lisäksi puoleen rakennuksen seinäalasta asennettiin höyrynsulkukalvon päälle kipsilevy kohdassa 6.2 kuvatun koestuksen toteuttamiseksi. Ikkunaukkojen ympäriltä höyrynsulkua ei tiivistetty, vaan höyrynsulkukalvo leikattiin apukarmien tasaan.

Apukarmien ja ikkunakarmien välinen rako oli noin 15 mm leveä ja ikkunat asennettiin siten, että ikkunakarmin sisäpinta oli noin 13 mm seinärakenteen sisäpintaa sisemmällä. Karmin ja apukarmin välinen rako täytettiin polyuretaanivaahdotuksella, joka leikattiin seinän sisäpinnan tasaan (Kuva 36).



Kuva 36. Ikkunakarmin ja ulkoseinärakenteen välinen liittäminen ennen puhdistusta ja liitosnauha-asennuksia.



Kuva 37. Testirakennuksen rakenneleikkaus. Toinen puoli rakennuksen ulkoseinän sisäpinnasta on jätetty höyrynsulkupinnalle (vasen) ja toisen puolen sisäpintaan on asennettu kipsinen sisäverhouslevy.

Koestuksen asennusten ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

- Höyrinsulkukalvo, saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
- 150 mm puurunko + mineraalivilla
- 13 mm tuulensuojakipsilevy

Merkkiainekokeiden suorittamiseen tarvittavan paine-eron aikaansaamiseksi asennettiin rakennuksen ulkoseinään tyristorisäätimellä varustettu alipaineistuspuhallin (Kuva 38). Alipaineistusta varten ulkoseinärakenteen läpi asennettiin putki, jonka liittymät höyrinsulkuun tiivistettiin ilmatiiviisti. Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512-paine-eromittarilla. Testirakennus oli koko mittauksen ajan noin 10...13 alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.



Kuva 38. Testirakennuksen alipaineistuspuhallin

Asennusten ilmatiiviyttä tarkasteltiin ensin silmämääräisesti, millä pyrittiin havaitsemaan mahdollisia tiivistysasennukseen jääneitä tai ilmaantuneita reikiä tai epäjatkuuskohtia, jotka muodostaisivat ilmayhteyden rakenneliittymän läpi. Tarkastelussa arvioitiin myös asennuksen yleistä siisteyttä.

Aistinvaraisen tarkastelun jälkeen malliasennusten ilmatiiviyttä tarkasteltiin RT – ohjekortissa RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* kuvattuna laadunvarmistusmenetelmän mukaisesti. Merkkiainekokeen täsmällinen suoritus-tapa on kuvattu kohdassa 5.1.1.

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettyä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaine-kaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma normaalisti maanpinnan tasolla ei sisällä lainkaan. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Käytetyn merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10 ja mahdollisten ilmavuotojen tarkkaan paikantamiseen käytettiin herkkyyttä 5.

Merkkikaasuseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen testirakennuksen ulkopuolelta useasta pisteestä siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua seinärakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32 mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi. Merkkiaine-kaasua syötettiin seinärakenteeseen voimakkuudella 4...5 l/s.

Merkkikaasun leviämistä testirakennuksen sisäilmaan selvitettiin asettamalla analyysointilaitteen mitta-anturi lähelle ikkunaliittymiin toteutettuja tiivistysasennuksia ja ilmavirtausten voimakkuutta arvioitiin analyysointilaitteen ilmoittaman, vetypitoisuuden voimakkuutta ilmaisevan mittauskäyrän avulla. Ilmavuotokohtien sijaintia havainnoitiin liikuttamalla mitta-anturia pitkin rakenteen pintaa.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös Regin -merkkisavun avulla. Merkkisavun käyttö ilmatiiviyden tarkastelussa on selostettu täsmällisesti kohdassa 5.1.2. Merkkisavulla tehty tarkastelu suoritettiin testirakennuksen ollessa ensin noin 10...13 Pa alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden ja tämän jälkeen paine-eroa muutettiin siten, että testirakennus oli noin 55 Pa alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden ja merkkisavukoe toistettiin.

6.1.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Asennukset suoritettiin yhtä poikkeusta lukuun ottamatta käyttämällä ainoastaan liitosnauhoja, ilman tiivistysmassaa tai muotoiltuja nurkkakappaleita. Taulukossa 2 on esitetty höyrynsulkukalvon pintaan toteutettujen malliasennuksissa käytetyt tuotteet ja käsittely-yhdistelmät.

Kaikki liitosnauha-asennukset suoritettiin joko materiaalitoimittajien edustajien toimesta tai tutkimuksen suorittajien toimesta, materiaalitoimittajien antamalla ohjeistuksella ja tutkimukseen pyrittiin valitsemaan ominaisuuksiltaan, muun muassa rakenteeltaan ja paksuudeltaan erilaisia nauhoja, joiden soveltuvuutta ja käytettävyyttä koejärjestelyn rakenneliittymän kaltaisessa ikkunaliittymän tiivistyksessä pyrittiin arvioimaan koestusten havaintojen pohjalta.

Taulukko 2. Malliasennuksissa käytetyt liitosnauhat ja käsittely-yhdistelmät

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha ja mahdollinen käsittely-yhdistelmä
Ardex Oy	STB 75-15 / 8+9 -vedeneristemassa
Ardex Oy	STB 75-15
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega SL
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Tescon Vana
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME500

6.1.4 Havainnot koestuksista

Aistinvaraisessa tarkastelussa kaikkien liitosnauha-asennusten havaittiin olevan pääosin siistejä, eikä merkittävää poimuuntumista tai nauhan irtoamista alustastaan havaittu. Joidenkin tehtyjen asennusten nurkkakohdissa kuitenkin havaittiin liitosnauhan nurkan yli taitetun liepeen irronneen paikallisesti alustastaan noin vuorokausi asennusten suorittamisen jälkeen, nauhaan nurkan yli taitettaessa aiheutuneen jännityksen vuoksi.

Tehdyissä merkkiainekokeissa havaittiin ilmavuotoja suurella osalla toteutetuista liitosnauha-asennuksista. Suurin osa havaituista vuodoista oli voimakkuudeltaan vähäisiä ja ne sijaitsivat pääosin ikkunaliitosten nurkkaliitoksissa, jossa liitosnauhoja oli jouduttu leikkaamaan ja limittämään päällekkäin taitoksen toteuttamiseksi, sekä kohdissa, joissa havaittiin liitosnauhan irronneen alustastaan. Vähäisiä ilmavuotoja havaittiin myös yhden asennuksen osalla, jossa liitosnauha ei todennäköisesti ollut täysin

kiinnittynyt höyrynsulkukalvon pintaan saumakohdassa, jossa kaksi nauhaa limittyi päällekkäin.

Voimakkuudeltaan merkittäviä vuotoja havaittiin ainoastaan niiden liitosnauhasennusten osalla, joissa käytetyn liitosnauhan liimapinta ei ole koko liitosnauhan taustapinnan levyinen, vaan nauhan limityksiin ja nurkkataitoksiin jää tästä johtuen asennusalustaan kiinnittymättömiä osia ja selkeitä ilmayhteyksiä liitoksen läpi. Merkittäviä ilmapuotoja havaittiin myös yhden asennuksen osalta, jossa ikkunanurkan yli taitettu liitosnauha oli irronnut alustastaan.

Asennuskohtaisten koestusten havainnot ja koetulosten perusteella tehdyt johtopäätökset on esitetty liitteen 2 merkkiainekoeraporteissa.

Merkkiainekokeilla tehdyllä tarkastelulla todettiin voitavan tarkasti arvioida vuotokohtia, näiden sijaintia sekä vuotojen voimakkuutta. Merkkiainekoestuksilla tehtyjen havaintojen todettiin korreloivan hyvin aistinvaraisessa tarkastelussa liitosten ilmatiiviydestä ja potentiaalisista vuotokohdista tehtyjen arvioiden ja merkkisavuhavaintojen kanssa. Merkkiainekokeilla kyettiin havaitsemaan myös sellaisia ilmapuotokohtia, joita ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu havaita.

6.2 Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna kevyen ulkoseinärakenteen sisäverhouslevyn pintaan

Tehdyllä koestuksella selvitettiin tutkimuksia varten saatujen eri valmistajien ja erityyppisten liitosnauhojen sekä sovellettujen erilaisten asennustapojen soveltuvuutta kevytrakenteisen ulkoseinän kipsisen sisäverhouslevyn sisäpintaan toteutettavaan asennukseen. Kokeiden pääasiallisena tarkoituksena oli selvittää merkkiainemenetelmää hyödyntäen koerakennuksen ikkunaliittymiin pelkällä liitosnauhalla toteutetun asennuksen ilmatiivyyttä käyttämättä asennuksissa esimerkiksi tiivistysmassaa tai muotoiltuja nurkkakappaleita.

6.2.1 Koestuksen tavoitteet

Liitosnauha-asennus voidaan toteuttaa sisäverhouslevyn pintaan esimerkiksi sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työ-

määrällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yhteydessä.

Tutkimuksista saatujen tulosten pohjalta pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen asennuspa soveltuu parhaiten käytettäväksi liitosnauha-asennuksissa kun liitosnauha liitetään ikkunakarmilta kevytrakenteiden ulkoseinän sisäverhouslevyn pintaan sekä havainnoimaan tehdyistä asennuksista sellaisia seikkoja, jotka ovat asennusten ilmatii-
viyden toteutumisen kannalta kriittisiä eli todennäköisimpiä ilmavuotokohtia. Tarkaste-
lutulosten perusteella arvioitiin myös merkkiainekoemenetelmän ja aistinvaraisen arvi-
oinnin soveltuvuutta ikkunaliittymien liitosnauha-asennusten laadunvarmistukseen.

6.2.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt suoritettiin 23.–25.9.2015 välisenä aikana koulutuskeskus Amiedun ra-
kennushallissa Helsingissä, jonne rakennettiin koestuksia varten testirakennus. Ikkuna-
liittymien tiivistysasennukset suoritettiin 23.–24.9.2015 ja varsinaiset tehtyjen asennus-
ten koestukset 25.9.2015.

Koestuksia varten rakennettu testirakennus oli noin 6 m² kokoinen ja 2500 mm korkea
rakennus, jonka seinärakenteet toteutettiin vastaamaan kevytrakenteisia ulkoseinära-
kenteita. Testirakennuksen ulkoseiniin oli asennettu useita pienehköjä ikkunoita, joille
liitosnauhojen malliasennuksia suoritettiin (Kuva 39). Ikkunat olivat 2-lehtisiä puualu-
miini-ikkunoita



Kuva 39. Yleiskuva testirakennuksen sisältä. Kuvassa on ikkunaliittymille tehdyt asennukset ja seinäpintojen puolittainen sisäverhouslevytyt vasemmalla.

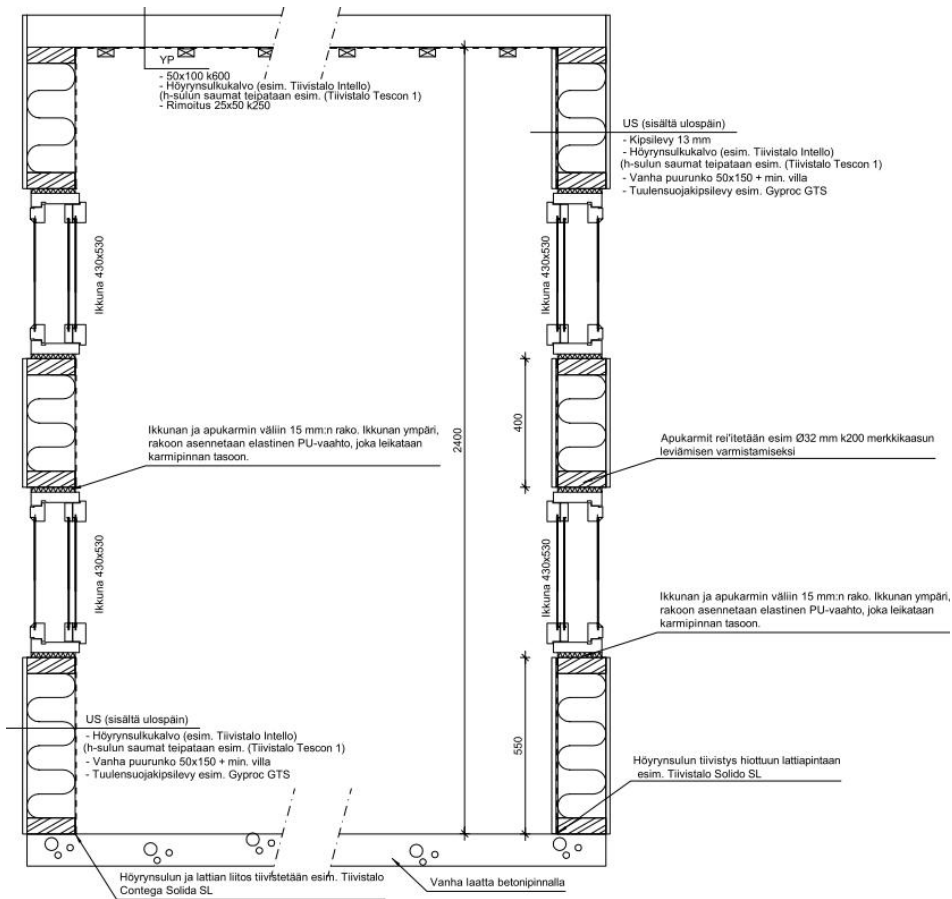
Ulkoseinärakenne toteutettiin puurunkoisena, mineraalivillaeristeisenä siten, että runkoon ja ikkuna-aukkojen apukarmeihin porattiin läpimitaltaan 32 mm:n reikiä merkki-kaasun tasaisen leviämisen mahdollistamiseksi. Seinärakenteen ulkopuolelle asennettiin tuulensuojakipsilevy, jotta seinärakenteen eristetilaan syötetty kaasu pysyisi rakenteen sisällä.

Ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo liittäen se ympäröiviin rakenteisiin täysin ilmatiiviisti. Höyrynsulkukalvon päälle asennettiin kipsinen sisäverhouslevy, jonka saumat ja liittymät teipattiin ilmatiiviisti. Tämän lisäksi puolet rakennuksen seinäalasta jätettiin höyrynsulkupinnalle kohdassa 6.1 kuvatun koestuksen toteuttamiseksi. Ikkuna-aukkojen ympäriltä höyrynsulkua tai kipsilevyä ei tiivistetty, vaan molemmat leikattiin apukarmien tasaan.

Apukarmien ja ikkunakarmien välinen rako oli noin 15 mm leveä ja ikkunat asennettiin siten, että ikkunakarmin sisäpinta oli samassa tasossa sisäverhouslevyn sisäpinnan kanssa. Karmin ja apukarmin välinen rako täytettiin polyuretaanivaahdotuksella, joka leikattiin seinän sisäpinnan tasaan (Kuva 40).



Kuva 40. Ikkunakarmin ja ulkoseinärakenteen välinen liittymä ennen puhdistusta ja liitosnauha-asennuksia.



Kuva 41. Testirakennuksen rakenneleikkaus. Toinen puoli rakennuksen ulkoseinän sisäpinnasta on jätetty höyrynsulkupinnalle (vasen) ja toisen puolen sisäpintaan on asennettu kipsinen sisäverhouslevy.

Koestuksen asennusten ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

- 13 mm kipsilevy, saumat ja liitokset teipattu ilmatiiviisti
- Höyrinsulkukalvo, saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
- 150 mm puurunko + mineraalivilla
- 13 mm tuulensuojakipsilevy

Merkkiainekokeiden suorittamiseen tarvittavan paine-eron aikaansaamiseksi asennettiin rakennuksen ulkoseinään tyristorisäätimellä varustettu alipaineistuspuhallin (Kuva 42). Alipaineistusta varten ulkoseinärakenteen läpi asennettiin putki, jonka liittymät höyrinsulkuun tiivistettiin ilmatiiviisti. Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512-paine-eromittarilla. Testirakennus oli koko mittauksen ajan noin 10...13 alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.



Kuva 42. Testirakennuksen alipaineistuspuhallin.

Merkkiaine- ja merkkisavukoestusten toteutus vastasi kohdan 6.1 *Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna kevyen ulkoseinärakenteen höyrinsulkukalvon pintaan* – koejärjestelyjä. Koestusten toteutus on kuvattu kohdassa 6.1.2.

6.2.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Asennukset suoritettiin yhtä poikkeusta lukuun ottamatta käyttämällä ainoastaan liitosnauhoja, ilman tiivistysmassaa tai muotoiltuja nurkkakappaleita. Taulukossa 3 on esi-

tetty sisäverhouslevyn pintaan toteutettujen malliasennuksissa käytetyt tuotteet ja käsittely-yhdistelmät.

Kaikki liitosnauha-asennukset suoritettiin joko materiaalitoimittajien edustajien toimesta tai tutkimuksen suorittajien toimesta, materiaalitoimittajien antamalla ohjeistuksella ja tutkimukseen pyrittiin valitsemaan ominaisuuksiltaan, muun muassa rakenteeltaan ja paksuudeltaan erilaisia nauhoja, joiden soveltuvuutta ja käytettävyyttä koejärjestelyn rakenneliittymän kaltaisessa ikkunaliittymän tiivistyksessä pyrittiin arvioimaan koestusten havaintojen pohjalta.

Asennuksia suoritettiin myös erilaisilla karmipinnalle toteutuneilla vastepinnan leveyksillä. Erilaisten sovellettujen leveyksien tarkoituksena oli arvioida vastepinnan riittävää vähimmäisleveyttä.

Taulukko 3. Malliasennuksissa käytetyt liitosnauhat

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha ja mahdollinen käsittely-yhdistelmä
Ardex Oy	STB 75-15
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega SL
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Extoseal Encors
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Tescon Vana
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402

6.2.4 Havainnot koestuksista

Aistinvaraisessa tarkastelussa kaikkien liitosnauha-asennusten havaittiin olevan pääosin siistejä, eikä merkittävää poimuuntumista tai nauhan irtoamista alustastaan havaittu. Joidenkin paksuilla liitosnauhoilla toteutettujen asennusten nurkkakohdissa havaittiin limityskohdissa liitosnauhan irronneen saumakohdassa paikallisesti alustastaan muodostaen mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi.

Tehdyissä merkkiainekokeissa havaittiin ilmapuotoja pääasiassa paksujen liitosnauhojen limityskohdissa, joissa jo aistinvaraisissa tarkasteluissa havaittiin mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi. Nauhat limittyvät päällekkäin, jolloin saumakohdan tasoeros-

ta johtuen limityskohtaan jää ilmayhteys liitoksen läpi. Ilmavuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä.

Vastepinnan leveyden muutoksen asennuksissa sovelletulla välillä 5...20 mm ei todettu vaikuttavan asennusten ilmatiiviyteen.

Asennuskohtaisten koestusten havainnot ja koetulosten perusteella tehdyt johtopäätökset on esitetty liitteen 3 merkkiainekoeraporteissa.

Merkkiainekokeilla tehdyllä tarkastelulla todettiin voitavan tarkasti arvioida vuotokohtia, näiden sijaintia sekä vuotojen voimakkuutta. Merkkiainekoestuksilla tehtyjen havaintojen todettiin korreloivan hyvin aistinvaraisessa tarkastelussa liitosten ilmatiiviydestä ja potentiaalisista vuotokohdista tehtyjen arvioiden ja merkkisavuhavaintojen kanssa. Merkkiainekokeilla kyettiin havaitsemaan myös sellaisia ilmavuotokohtia, joita ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu havaita.

6.3 Ikkunaliittymien tiivistyksen malliasennukset laboratoriossa toteutettuna ulkoseinärakenteen kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielien pintaan

Tehdyllä koestuksella selvitettiin tutkimuksia varten saatujen eri valmistajien ja erityyppisten liitosnauhojen sekä sovellettujen erilaisten asennustapojen soveltuvuutta kivirakenteisen ulkoseinän sisäkuoren ikkunapielien pintaan toteutettavaan asennukseen. Pääasiallisena tarkoituksena oli selvittää merkkiainemenetelmää hyödyntäen koerakennuksen ikkunaliittymiin liitosnauhatuotteilla saavutettavaa ilmatiiviyttä hyödyntäen asennuksissa tiivistysmassoja sekä muotoiltuja nurkkakappaleita.

6.3.1 Koestuksen tavoitteet

Tutkimuksista saatujen tulosten pohjalta pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen asennustapa soveltuu parhaiten käytettäväksi liitosnauha-asennuksissa kun liitosnauha liitetään ikkunakarmilta kivirakenteisen ikkunapielen pintaan sekä havainnoimaan tehdyistä asennuksista sellaisia seikkoja, jotka ovat asennusten ilmatiiviyden toteutumisen kannalta kriittisiä eli todennäköisimpiä ilmavuotokohtia. Tarkastelutulosten perusteella arvioitiin myös merkkiainekoemenetelmän ja aistinvaraisen arvioinnin soveltuvuutta ikkunaliittymien liitosnauha-asennusten laadunvarmistukseen.

6.3.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt suoritettiin 14.–16.10.2015 välisenä aikana koulutuskeskus Amiedun rakennushallissa Helsingissä, jonne rakennettiin koestuksia varten testirakennus. Ikkunaliittymien tiivistysasennukset suoritettiin 14.–15.10.2015 ja varsinaiset tehtyjen asennusten koestukset 16.10.2015.

Koestuksia varten rakennettu testirakennus oli noin 4 m² kokoinen ja 2500 mm korkea rakennus, jonka seinärakenteet toteutettiin vastaamaan sisäpuolisilta rakenteiltaan kivirakenteisia ulkoseinärakenteita. Testirakennuksen ulkoseiniin oli asennettu useita pienehköjä ikkunoita, joille liitosnauhojen malliasennuksia suoritettiin (Kuva 43). Ikkunat olivat 2-lehtisiä puualumiini-ikkunoita



Kuva 43. Yleiskuva testirakennuksen sisältä. Kuvassa on ikkunaliittymille tehdyt asennukset.

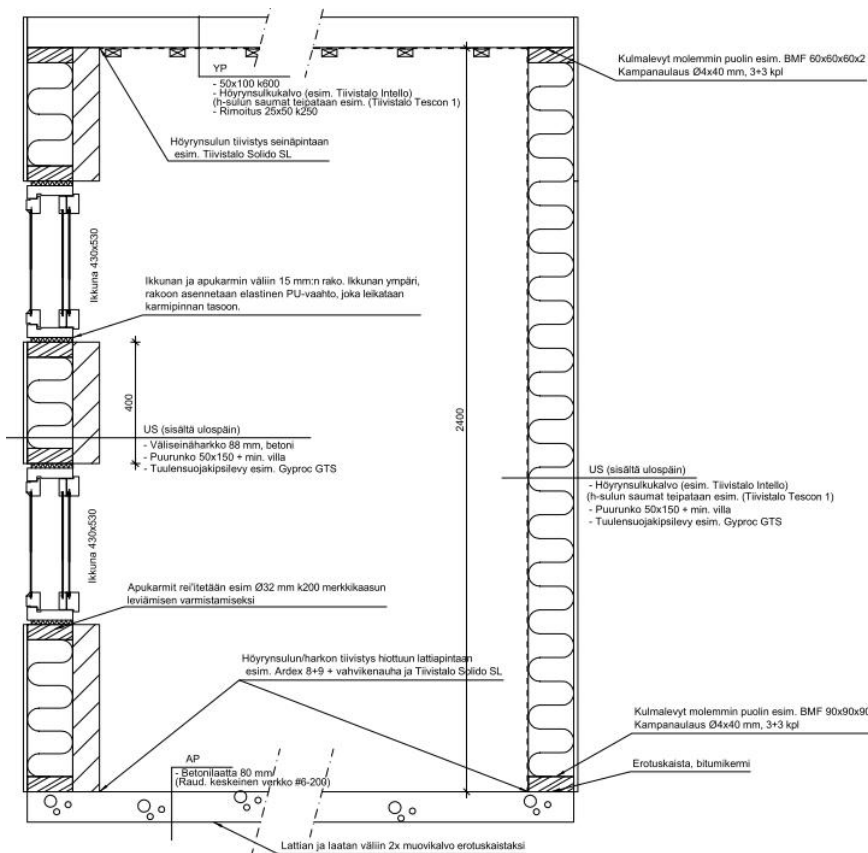
Ulkoseinärakenne toteutettiin puurunkoisena, mineraalivillaeristeisenä siten, että runkoon ja ikkuna-aukkojen apukarmeihin porattiin läpimitaltaan 32 mm:n reikiä merkki-kaasun tasaisen leviämisen mahdollistamiseksi. Seinärakenteen ulkopuolelle asennettiin tuulensuojakipsilevy, jotta seinärakenteen eristetilaan syötetty kaasu pysyisi rakenteen sisällä.

Ulkovaipan sisäpintaan asennettiin seinillä kevytsoraharkoilla toteutettu kivirakenteinen sisäkuori, jonka sisäpinnan tasoitettiin ja osa maalattiin. Kolmeen tehtyyn asennukseen ikkunapielet jätettiin karkeatasoitetulle pinnalle. Muuraus liitettiin ympäröiviin rakenteisiin ilmatiiviisti. Ikkuna-aukkojen ympäriltä muuraus jätettiin apukarmien tasaaan. Katon sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo liittäen se ilmatiiviisti sisäkuorimuurausten pintaan.

Apukarmien ja ikkunakarmien välinen rako oli noin 15 mm leveä ja ikkunat asennettiin siten, että ikkunakarmin sisäpinta oli samassa tasossa sisäpinnan muurauksen kanssa. Karmin ja apukarmin välinen rako täytettiin polyuretaanivaahdotuksella, joka leikattiin tarvittaessa karmin sisäpinnan tasaan (Kuva 44).



Kuva 44. Ikkunakarmin ja ulkoseinärakenteen välinen liittymä ennen liitosnauha-asennuksia.



Kuva 45. Testirakennuksen rakenneleikkaus. Kuvasta poiketen toteutetussa testirakennuksessa sisäkuorimuuraus oli asennettu kaikille seinäpintoilla.

Koestuksen asennusten ulkoseinärakenne ikkuna-asennusten kohdalla sisältä ulospäin oli seuraava:

- Tasoitekerros
- 88 mm väliseinäharkko
- 150 mm puurunko + mineraalivilla
- 13 mm tuulensuojakipsilevy

Merkkiainekokeiden suorittamiseen tarvittavan paine-eron aikaansaamiseksi asennettiin rakennuksen ulkoseinään tyristorisäätimellä varustettu alipaineistuspuhallin (Kuva 46). Alipaineistusta varten ulkoseinärakenteen läpi asennettiin putki, jonka liittymät höyrinsulkuun tiivistettiin ilmatiiviisti. Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512-paine-eromittarilla. Testirakennus oli koko mittauksen ajan noin 10...12 alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.



Kuva 46. Testirakennuksen alipaineistuspuhallin.

Asennusten ilmatiivyyttä tarkasteltiin ensin silmämääräisesti, millä pyrittiin havaitsemaan mahdollisia tiivistysasennukseen jääneitä tai ilmaantuneita reikiä tai epäjatkua-

vuuskohtia, jotka muodostaisivat ilmayhteyden rakenneliittymän läpi. Tarkastelussa arvioitiin myös asennuksen yleistä siisteyttä.

Aistinvaraisen tarkastelun jälkeen malliasennusten ilmatiivyyttä tarkasteltiin RT – ohjekortissa RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* kuvatus laadunvarmistusmenetelmän mukaisesti. Merkkiainekokeen täsmällinen suoritustapa on kuvattu kohdassa 5.1.1.

Ilmatiivyyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitetyllä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiainekaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma normaalisti maanpinnan tasolla ei sisällä lainkaan. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Käytetyn merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiivyyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10 ja mahdollisten ilma- vuotojen tarkkaan paikantamiseen käytettiin herkkyyttä 5.

Merkkikaasuseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen testirakennuksen ulkopuolelta useasta pisteestä siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittauksia kaasuseoksen annettiin tasaantua seinärakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32 mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi. Merkkiainekaasua syötettiin seinärakenteeseen voimakkuudella 4...5 l/s.

Merkkikaasun leviämistä testirakennuksen sisäilmaan selvitettiin asettamalla analyysointilaitteen mitta-anturi lähelle ikkunaliittymiin toteutettuja tiivistysasennuksia ja ilmavirtausten voimakkuutta arvioitiin analyysointilaitteen ilmoittaman, vetypitoisuuden voimakkuutta ilmaisevan mittauskäyrän avulla. Ilmavuotojen sijaintia havainnoitiin liikuttamalla mitta-anturia pitkin rakenteen pintaa.

6.3.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Asennukset suoritettiin käyttämällä liitosnauhojen lisäksi saman materiaalitörmittäjän tiivistysmassoja sekä muotoiltuja nurkkakappaleita. Taulukossa 4 on esitetty kiviraken-

teisten ikkunapielten pintaan toteutettujen malliasennuksissa käytetyt tuotteet ja käsittely-yhdistelmät.

Kaikki liitosnauha-asennukset suoritettiin joko materiaalitoimittajien edustajien toimesta tai tutkimuksen suorittajien toimesta, materiaalitoimittajien antamalla ohjeistuksella ja tutkimukseen pyrittiin valitsemaan ominaisuuksiltaan, muun muassa rakenteeltaan ja paksuudeltaan erilaisia nauhoja, joiden soveltuvuutta ja käytettävyyttä koejärjestelyn rakenneliittymän kaltaisessa ikkunaliittymän tiivistyksessä pyrittiin arvioimaan koestusten havaintojen pohjalta. Nauha-asennuksista sovellettiin myös erilaisia variaatioita, joille toteutettujen koestusten perusteella saman liitosnauhan erilaisia asennustapoja vertailtiin keskenään.

Asennuksia suoritettiin myös erilaisilla karmipinnalle toteutuneilla vastepinnan leveyksillä. Erilaisten sovellettujen leveyksien tarkoituksena oli arvioida vastepinnan riittävää vähimmäisleveyttä.

Taulukko 4. Malliasennuksissa käytetyt liitosnauhat ja käsittely-yhdistelmät

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä
Ardex Oy	STB 75-15 / 8+9 -vedeneristemassa / P51 -pohjuste
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Tescon Incav / Wyflexa
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Tescon Incav
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Wyflexa / Tescon Primer RP -pohjuste (tiivistysmassa siveltiin liitosnauhan päälle nurkissa)
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Wyflexa / Tescon Primer RP -pohjuste (tiivistysmassa siveltiin liitosnauhan alle nurkissa)
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME500 / SP525 –tiivistysmassa (tiivistysmassa pursotettiin liitosnauhan alle nurkissa)
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME500 / SP525 –tiivistysmassa

	(tiivistysmassa pursotettiin liitosnauhan päälle nurkissa)
--	--

6.3.4 Havainnot koestuksista

Aistinvaraisessa tarkastelussa kaikkien liitosnauha-asennusten havaittiin olevan pääosin siistejä, eikä merkittävää poimuuntumista havaittu. Lähes kaikkien niiden asennusten nurkkakohdissa, joissa ei ollut käytetty tiivistysmassaa tai tiivistysmassa oli asennettu liitosnauhan alle, havaittiin aistinvaraisessa tarkastelussa liitosnauhan ja ikkunapielen sisänurkassa mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi. Näissä tapauksissa joko liitosnauhaa tai nurkkakappaletta ei asennuksen yhteydessä ollut saatu täysin painettua sisänurkan pohjaan tai nurkkakohdassa liitosnauhaan aiheutuneet jännitykset olivat irrottaneet nauhan nurkan pohjasta. Epäjatkuvuuskohtia havaittiin myös niiden liitosnauhojen osalla, nauhojen limityskohdissa, joissa liimapinta ei peitä koko nauhan pohjaa, vaan nauha-asennukseen jää ilmayhteyksiä niille osin, joissa nauha ei täysin kiinnity alustaansa.

Tehdyissä merkkiainekokeissa havaittiin ilmavuotoja pääasiassa jo aistinvaraisessa tarkastelussa havaituista nurkkakohdista, joissa ei ollut käytetty tiivistysmassaa tai tiivistysmassa oli asennettu liitosnauhan alle. Ilmavuotoja havaittiin myös nurkkakappaleiden takanurkissa, joiden päälle ei ollut sivelty tiivistysmassaa. Vuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä tai kohtalaisia. Vähäistä vuotoa havaittiin myös yhden liitosnauha-asennuksen nurkkakohdassa, jossa liitosnauha oli ilmeisesti mekaanisesti vaurioitunut ikkuna-asennuksen yhteydessä.

Voimakkaita ilmavuotoja havaittiin niiden liitosnauhojen osalla, nauhojen limityskohdissa, joissa liimapinta ei peitä koko nauhan pohjaa, vaan nauha-asennukseen jää ilmayhteyksiä niille osin, joissa nauha ei täysin kiinnity alustaansa.

Vastepinnan leveyden muutoksen asennuksissa sovelletulla välillä 5...20 mm ei todettu vaikuttavan asennusten ilmatiiviyteen.

Asennuskohtaisten koestusten havainnot ja koetulosten perusteella tehdyt johtopäätökset on esitetty liitteen 4 merkkiainekoeraporteissa.

Merkkiainekokeilla tehdyllä tarkastelulla todettiin voitavan tarkasti arvioida vuotokohtia, näiden sijaintia sekä vuotojen voimakkuutta. Merkkiainekoestuksilla tehtyjen havaintojen todettiin korreloivan hyvin aistinvaraisessa tarkastelussa liitosten ilmatiiviyydestä ja potentiaalisista vuotokohdista tehtyjen arvioiden ja merkkisavuhavaintojen kanssa. Merkkiainekokeilla kyettiin havaitsemaan myös sellaisia ilmavuotokohtia, joita ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu havaita.

6.4 Vetokokeet betonialustoilta

Tehdyillä betonialustoille suoritettujen asennusten vetokokeilla selvitettiin betonialustan erilaisten pintakäsittelyjen soveltuvuutta liitosnauha-asennuksiin ja pintakäsittelyjen vaikutusta liitosnauhan ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Vetokokeet suoritettiin kolmessa vaiheessa 4 kuukauden aikana: 3 vuorokauden, 1 kuukauden ja 4 kuukauden kuluttua asennusten suorittamisesta.

6.4.1 Koestuksen tavoitteet

Koestusten tavoitteena oli selvittää erilaisten betonin pintakäsittelyjen ja käsittelyyhdistelmien vaikutusta liitosnauhojen ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Tulosten perusteella pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen pintakäsittely soveltuu parhaiten liitosnauhojen asennukseen ja antaa parhaat edellytykset tartunnan muodostumiselle. Koestusten yhteydessä arvioitiin myös vetokokeen mahdollista soveltumista hyödynnettäväksi asennusten laadunvarmistuksessa.

6.4.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt suoritettiin 10.11.2015 – 9.3.2016 välisenä aikana koulutuskeskus Amiedun rakennushallissa Helsingissä. Betonialustat valmistettiin Amiedun toimesta ja säilytettiin koulutuskeskuksen rakennushallissa koestusten ajan. Asennukset betonialustoille suoritettiin 10.11.2015.

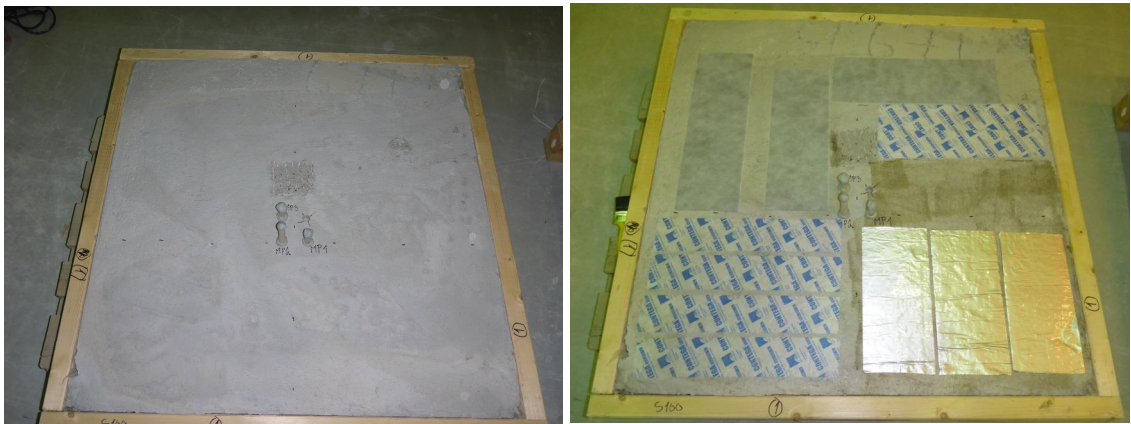
Betonilaatat valettiin 13.8.2015 – 17.9.2015 välisenä aikana Amiedun opiskelijoiden toimesta. Valu suoritettiin muovilla vuorattuun muottiin ja betonilaattoja on jälkihoidettu kastelemalla. Laattoja säilytettiin muovilla peitettynä. Valettujen betonilaattojen pak-

suus oli noin 100 mm, lukuun ottamatta laattaa 1, jonka paksuus oli 125 mm. Betoniva-luissa käytetty betonilaatu oli S100 (Kuvat 47-50).

Vetokokeita suoritettiin liitosnauha-asennuksille kolmessa vaiheessa: 3 vuorokauden, 1 kuukauden ja 4 kuukauden kuluttua asennuksista, 13.11.2015, 9.12.2015 ja 9.3.2016.

Ennen liitosnauha-asennuksia betonilaatoille suoritettiin kosteusmittauksia porareikä, ja näytepalamenetelmällä. Näytepalakokeet otettiin ja porareikämittapäät tiivistettiin pora-reikiin liitosnauha-asennusten yhteydessä 10.11.2015. Näytepalamittausten lukemat mitattiin 11.11.2015 ja porareikämittausten lukemat otettiin ja mittapäät poistettiin 13.11.2015.

Olosuhteet rakennushallissa vaihtelivat koestusaikana noin 14...22 °C välillä suhteelli-sen kosteuden noudattaessa pääosin ulkoilman vallitsevia olosuhteita. Betonialustoja säilytettiin koestusten välisenä aikana hyllyissä siten, että ne eivät olleet alttiina me-kaanisille vaurioille. Alustoja ei erikseen peitetty tai suojattu pölyyntymiseltä tai säilytys-tilassa vallitsevilta olosuhteilta.



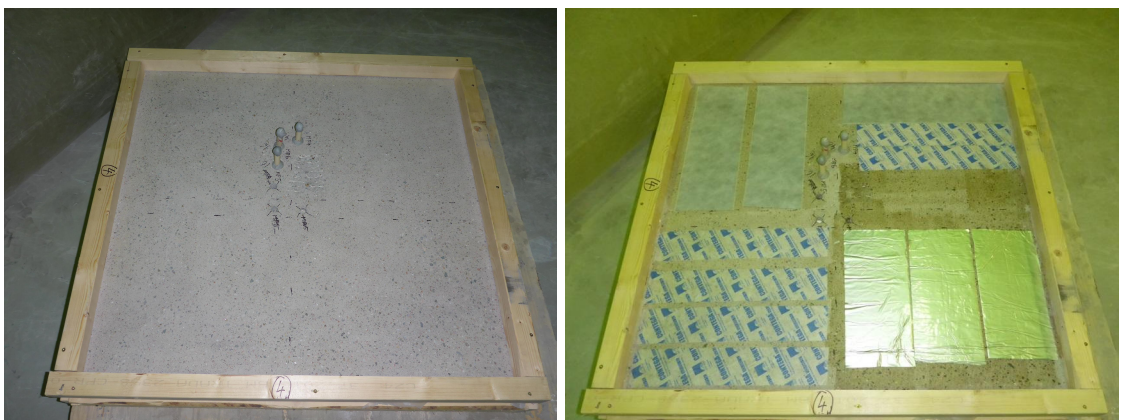
Kuva 47. Betonialusta nro. 1 ennen liitosnauha-asennuksia ja asennusten jälkeen, hiomaton pohjustekäsitelty betonipinta.



Kuva 48. Betonialusta nro. 2 ennen liitosnauha-asennuksia ja asennusten jälkeen, hiomaton betonipinta ilman pohjustekäsittelyä.



Kuva 49. Betonialusta nro. 3 ennen liitosnauha-asennuksia ja asennusten jälkeen, hiottu betonipinta ilman pohjustekäsittelyä.



Kuva 50. Betonialusta nro. 4 ennen liitosnauha-asennuksia ja asennusten jälkeen, hiottu pohjustekäsittely betonipinta.

Vetokokeiden suoritus on kuvattu täsmällisesti kohdassa 5.2.1.

Vetokappaleina kaikissa koestuksissa käytettiin 50x50 mm:n kokoista teräksistä, neliön muotoista kappaletta. Kappaleet liimattiin koestettavien liitosnauhojen pintaan syanoakrylaatti –pikaliimalla (STB ja Contega Solido SL) tai 2-komponenttisella epoksiliimalla (Illbruck ME402) ja vetokappaleen alle jäävä liitosnauha irrotettiin ympäröivästä liitosnauhapinnasta poistamalla noin 3...5 mm leveä kaista vetokappaleen ja muun pinnan väliltä.

Tutkimuksessa sovellettiin koestusotantaa, jossa suoritettiin kolme (3) rinnakkaista vetotarkastelua kultakin erilaiselta käsittely-yhdistelmältä, kaikkina eri ajanjaksoina suoritetuissa koestuksissa. Näistä kolmesta rinnakkaisesta vetokoetuloksesta laskettiin keskiarvo, jota käytettiin tartuntalujuuden arvona.

Vetovoiman kasvunopeutena tutkimuksen kaikissa koestuksissa käytettiin arvoa 375 N/s.

Asennusten yhteydessä betonilaatoille suoritettiin suhteellisen kosteuden mittauksia porareikä- ja näytepalamenetelmillä. Mittausten suoritustapa on kuvattu kohdassa 5.3 ja mittaustuloksia on käsitelty kohdassa 6.4.4.

6.4.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Asennukset suoritettiin käyttämällä liitosnauhojen lisäksi saman materiaalitoimittajan pohjusteaineita. Taulukoissa 5-8 on esitetty betonialustojen pintaan toteutettujen malliasennuksissa käytetyt tuotteet ja käsittely-yhdistelmät. Kaikki liitosnauha-asennukset suoritettiin tutkimuksen suorittajien toimesta, materiaalitoimittajien antamalla ohjeistuksilla.

Ardex STB -karminauha on noin 1 mm paksu, höyrytiivis nauha, joka on päällystetty polypropeenipintakankaalla. Liimana nauhassa on käytetty synteettistä kumia ja liimapinta on koko nauhan levyinen.

Ardex P51 –pohjuste on vesiohenteinen muoviseos, joka on tarkoitettu pölynsidontaan, tartunnan parantamiseen ja huokosten tukkimiseen ennen tasoitteita, kiinnityslaasteja tai betonimassoja.

Contega Solido SL –liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropeenikudosvahvisteinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen.

Tescon Primer RP on siveltyvä, yksikomponenttinen akryyli-kopolymeeripohjuste, joka on tarkoitettu liitosnauhojen vastepintojen pohjustamiseen.

Illbruck ME 402 –liitosnauha on 1,2 mm paksu, venymätön tiivistenauha, joka on päällystetty muovialumiini -yhdistelmäfoliolla. Liimana nauhassa on käytetty plasto-elastista butyylikumimassaa, ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.

Illbruck ME902 on rakenteen pintaan ruiskutettava polymeeriliuos, joka on tarkoitettu käytettäväksi alustan pohjustukseen butyyliasennusten esikäsitteilyä.

Taulukko 5. Betonialustalle nro. 1 asennetut liitosnauhat ja käsittely-yhdistelmät

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä
Ardex Oy	STB / P51 -pohjuste
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Tescon Primer RP -pohjuste
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste

Taulukko 6. Betonialustalle nro. 2 asennetut liitosnauhat

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha
Ardex Oy	STB
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402

Taulukko 7. Betonialustalle nro. 3 asennetut liitosnauhat

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha
Ardex Oy	STB
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402

Taulukko 8. Betonialustalle nro. 4 asennetut liitosnauhat ja käsittely-yhdistelmät

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä
Ardex Oy	STB / P51 -pohjuste
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Tescon Primer RP -pohjuste
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste

6.4.4 Kosteusmittausten tulokset

Porareikämittauspisteet asennettiin ja näytepalamittaukset otettiin 10.11.2015. Näytepalamittausten annettiin tasaantua huonelämpötilassa vuorokausi ennen lukemien ottamista 11.11.2015. Porareikämittausten lukemat otettiin 13.11.2015, noin 3 vuorokautta mittapisteiden asentamisen jälkeen.

Mittaustulokset on esitetty liitteessä 7. Taulukoissa esitetyt lukemat ovat kalibroitikerroinilla korjattuja suhteellisen kosteuden arvoja, jossa jokaiselle mitta-anturille on yksilöllisesti mitattu kalibroitikerroin. Absoluuttisen kosteuden arvot on laskettu mitatun lämpötilan ja kalibroitiohjelmalla lasketun suhteellisen kosteuden arvon mukaisesti. Huomioiden mittaustulokset ja saatujen tulosten yhdenmukaisuuden, saatuja mittaustuloksia voidaan pitää riittävän luotettavina.

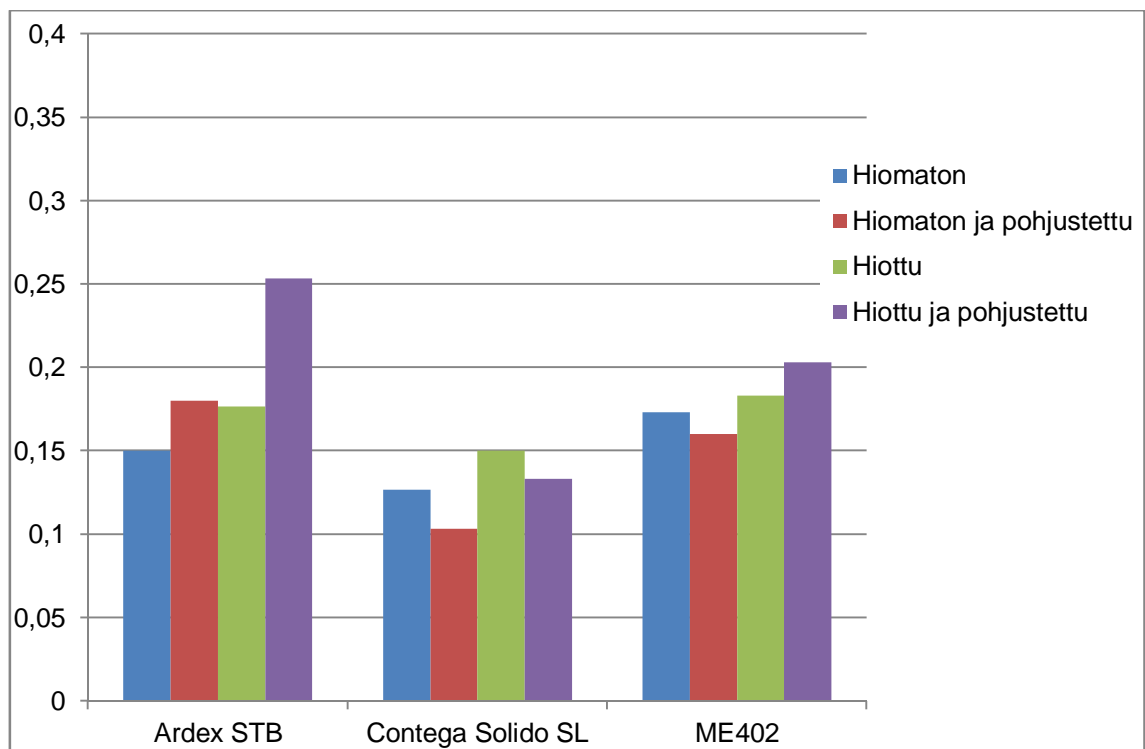
Saadut mittaustulokset ovat tavanomaisia yhteen suuntaan kuivuville betonilaatoille, huomioiden betonilaattojen jälkihoito ja säilytystapa. Laatat 3 ja 4 on todennäköisesti kasteltu hionnan yhteydessä, joka selittää laattojen pinnasta mitattua suurempaa kosteuspitoisuutta.

Mitatut pintabetonin suhteellisen kosteuden lukemat alittivat Contega Solido SL – nauhalle (95 %) ja Ardex STB –nauhalle (85 %) asetetut suhteellisen kosteuden enimmäisarvot. Illbruck ME402 –nauhalle ei vastaavaa raja-arvoa oltu määritelty.

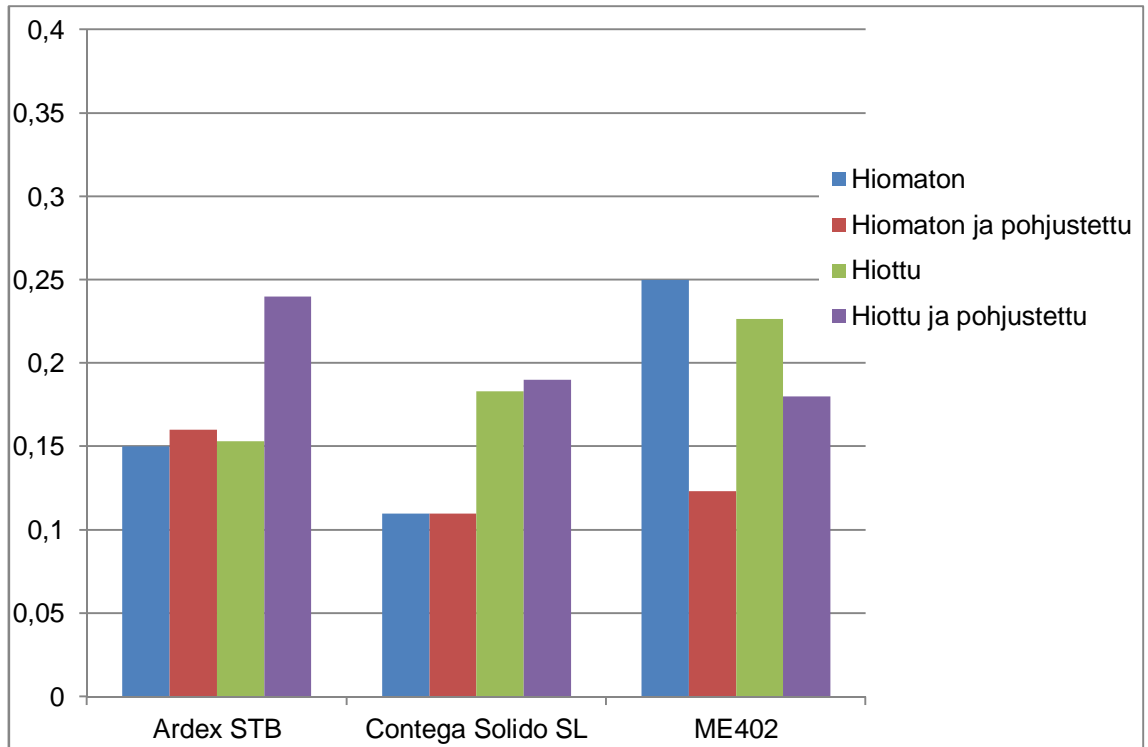
6.4.5 Koestuksen tulokset

Kaikkien tehtyjen tartuntavetokokeiden tulokset on esitetty liitteessä 5. Kuvissa 51–53 on esitetty vetokokeiden tulokset kunkin materiaalin ja käsittely-yhdistelmän osalta koestusajankohtien mukaisesti.

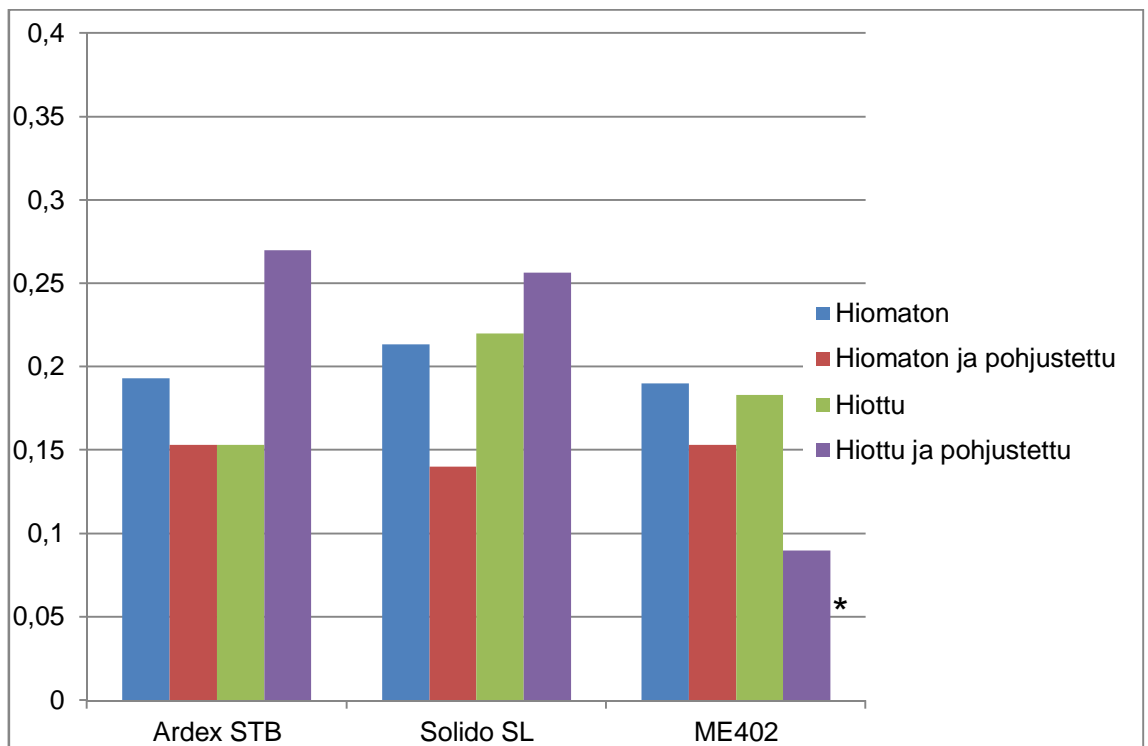
Kuvassa 53 on esitetty vetokoetulokset betonialustoilta 4 kuukauden kuluttua asennuksista. Hiottulle ja pohjustetulle betonialustalle (betonialusta 4) tehdyissä vetokokeissa havaittiin, että Illbruck ME402 –liitosnauhan pohjaan, irrotepaperin poistamisen jälkeen, oli jäänyt noin 30 mm leveä, ohut, läpinäkyvä kalvo. Tämä kalvo esti osittain nauhan tarttumisen alustaansa ja vaikutti vetokokeiden tuloksiin. Epäonnistuneen vetokokeen tuloksia ei huomioida tarkastelussa.



Kuva 51. Vetokoetulokset betonialustoilta 3 vuorokautta asennuksista



Kuva 52. Vetokoetulokset betonialustoilta 1 kuukausi asennuksista



Kuva 53. Vetokoetulokset betonialustoilta 4 kuukautta asennuksista. *ME402-liitosnauhan vetokoe alustalta 4 epäonnistui ja tuloksia ei huomioida tarkastelussa.

6.4.6 Havainnot koestuksista

Suoritetuissa vetokokeissa saadut tulokset vaihtelivat välillä 0,10...0,27 N/mm² liitosnauhasta ja käsittely-yhdistelmästä riippuen, kaikkien vetokoetulosten keskiarvon ollessa noin 0,18 N/mm² ja keskimääräinen poikkeama keskiarvosta 0,044 N/mm².

Saman liitosnauhan ja samalta käsittely-yhdistelmästä saadut vetokoetulokset eri koestusajankohtina vaihtelivat toisiinsa nähden keskimäärin noin 0,05 N/mm². Tätä suurempi vaihteluväli havaittiin neljässä tapauksessa kahdestatoista. Kymmenessä tapauksessa saadut vetokoetulokset laskivat edelliseen koestukseen verrattuna, mutta näiden tapausten osalla tulokset pysyttelivät keskimääräisen vaihteluvälin sisällä.

Eri liitosnauhojen välillä samalla käsittely-yhdistelmällä ja samoina koestushetkinä saaduista vetokoetuloksista tarkasteltuna, tulosten keskimääräinen vaihteluväli oli noin 0,06 N/mm², joka ei merkittävästi poikkea saman liitosnauhan ja saman käsittely-yhdistelmän eri ajankohtina tehtyjen vetokoetulosten keskimääräisestä vaihteluvälistä. Tätä suurempaa vaihtelua havaittiin viidessä tapauksessa kahdestatoista.

Tarkasteltaessa vetokoetuloja ja saatujen tulosten muuttumista eri ajanjaksoina tehdyissä koestuksissa, ei vetokoetuloista voitu juuri havaita selkeästi tulkittavissa olevia johdonmukaisuuksia.

Tarkasteltaessa eri käsittely-yhdistelmien vaikutusta liitosnauhojen vetokoetuloosiin, voidaan havaita, että saman liitosnauhan välisistä tuloksista, eri ajankohtina, suurin vetokoetulos saavutettiin kuudessa tapauksessa yhdeksästä hiotulla ja pohjustetulla betonialustalla. Näistä yhden hiotun ja pohjustekäsitellyn betonialustan vetokoe epäonnistui. Erot tulosten välillä ovat kuitenkin hyvin pieniä ja tulokset vaihtelevat suuresti eri ajankohtina tehdyissä mittauksissa.

Ainoana selkeästi erottavana havaintona voitiin todeta Ardex STB – nauhan vetokoetulosten hiotulta ja pohjustetulta alustalta olevan johdonmukaisesti muiden STB – nauhan käsittely-yhdistelmien tuloksia korkeampia jokaisena koestusajankohtana.

Murtumistapaa ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu määrittellä vetokappaleille, sillä vetolaitteella saatu tulos on se vetolujuuden maksimiarvo, jossa liitosnauhan liimamassa tai siveltävän pohjusteaineen muodostama kalvo alkaa venyä siihen aiheutuneen

vetorasituksen voimasta. Tästä syystä liitosnauha ei irronnut vetokokeessa alustastaan, eikä varsinaista vetokappaleen murtoa tapahtunut.

Vetolaitteen kalibroinnissa määritelty ± 2 %:n mittausepävarmuus kalibroitaessa 1 kN:n koestusvoimalle tarkoittaisi 50x50 mm:n vetokappaleella 0,008 N/mm²:n mittausvirhettä kuormituksen ollessa 0,4 N/mm².

Ilmoitetut vetokoetulokset ovat kolmen rinnakkaisen vetokokeen keskiarvoja. Näiden rinnakkaisten tulosten keskimääräinen keskiahajonta on 0,032 N/mm². Rinnakkaisten vetokokeiden välistä keskimääräistä hajontaa voidaan pitää merkittävänä sen ollessa noin 12 % suurimmasta saadusta mittaustuloksesta.

6.5 Vetokokeet vanerialustoilta

Tehdyillä vanerialustoille suoritettujen asennusten vetokokeilla selvitettiin betonialustan erilaisten pintakäsittelyjen soveltuvuutta liitosnauha-asennuksiin ja pintakäsittelyjen vaikutusta liitosnauhan ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Vetokokeet suoritettiin kahdessa vaiheessa yhden kuukauden aikana: 6 vuorokauden ja noin 1 kuukauden kuluttua asennusten suorittamisesta.

6.5.1 Koestuksen tavoitteet

Koestusten tavoitteena oli selvittää erilaisten puupinnan pintakäsittelyjen ja käsittely-yhdistelmien vaikutuksesta liitosnauhojen ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Tulosten perusteella pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen pintakäsittely soveltuu parhaiten liitosnauhojen asennukseen ja antaa parhaat edellytykset tartunnan muodostumiselle. Koestusten yhteydessä arvioitiin myös vetokokeen soveltumista hyödynnettäväksi asennusten laadunvarmistuksessa.

6.5.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt suoritettiin 26.2.–31.3.2016 välisinä aikana Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n laboratoriossa Espoossa. Alustat valmistettiin tutkimuksen tekijän toimesta ja säilytettiin Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n laboratoriossa koestusten ajan. Asennukset

vanerialustoille suoritettiin 26.2.2016. Alustoina käytettiin 15 mm paksua havuvaneria (Kuva 54).

Vetokokeita suoritettiin liitosnauha asennuksille kahdessa vaiheessa: 6 vuorokauden ja noin 1 kuukauden kuluttua asennuksista, 3.3.2016 ja 31.3.2016.

Olosuhteet laboratoriossa vaihtelivat koestusaikana noin 21...22 °C välillä suhteellisen kosteuden noudattaessa pääosin ulkoilman vallitsevia olosuhteita. Vanerialustoja säilytettiin koestusten välisenä aikana hyllyissä siten, että ne eivät olleet alttiina mekaanisille vaurioille.



Kuva 54. Vanerialustat ennen liitosnauha-asennuksia.

Vetokokeiden suoritus on kuvattu täsmällisesti kohdassa 5.2.1.

Vetokappaleina kaikissa koestuksissa käytettiin 50x50 mm:n kokoista teräksistä, neliön muotoista kappaletta. Kappaleet liimattiin koestettavien liitosnauhojen pintaan syanoakrylaatti –pikaliimalla (STB ja Contega Solido SL) tai 2-komponenttisella epoksiliimalla (Illbruck ME402) ja vetokappaleen alle jäävä liitosnauha irrotettiin ympäröivästä liitosnauhapinnasta poistamalla noin 3...5 mm leveä kaista vetokappaleen ja muun pinnan väliltä.

Tutkimuksessa sovellettiin koestusotantaa, jossa suoritettiin kolme (3) rinnakkaista vetotarkastelua kultakin erilaiselta käsittely-yhdistelmältä, kaikkina eri ajanjaksoina suoritetuissa koestuksissa. Näistä kolmesta rinnakkaisesta vetokoetuloksesta laskettiin keskiarvo, jota käytettiin tartuntalujuuden arvona.

Vetovoiman kasvunopeutena tutkimuksen kaikissa koestuksissa käytettiin arvoa 375 N/s.

6.5.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Asennukset suoritettiin käyttämällä liitosnauhojen lisäksi saman materiaalitoimittajan pohjusteaineita. Taulukoissa 10-12 on esitetty vanerialustojen pintaan toteutettujen malliasennuksissa käytetyt tuotteet ja käsittely-yhdistelmät. Kaikki liitosnauhasennukset suoritettiin tutkimuksen suorittajien toimesta, materiaalitoimittajien antamalla ohjeistuksilla.

Ardex STB -karminauha on noin 1 mm paksu, höyrytiivis nauha, joka on päällystetty polypropeenipintakankaalla. Liimana nauhassa on käytetty synteettistä kumia ja liimapinta on koko nauhan levyinen.

Ardex P51 –pohjuste on vesiohenteinen muoviseos, joka on tarkoitettu pölynsidontaan, tartunnan parantamiseen ja huokosten tukkimiseen ennen tasoitteita, kiinnityslaasteja tai betonimassoja.

Contega Solido SL –liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropeenikudosvahvisteinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen.

Tescon Primer RP on siveltävä, yksikomponenttinen akryyli-kopolymeeripohjuste, joka on tarkoitettu liitosnauhojen vastepintojen pohjustamiseen.

Illbruck ME 402 –liitosnauha on 1,2 mm paksu, venymätön tiivistenuuha, joka on päällystetty muovialumiini -yhdistelmäfoliolla. Liimana nauhassa on käytetty plasto-elastista butyylikumimassaa, ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.

Illbruck ME902 on rakenteen pintaan ruiskutettava polymeeriliuos, joka on tarkoitettu käytettäväksi alustan pohjustukseen butyyliasennusten esikäsitteilyä.

Taulukko 9. Puhdistetulle vanerialustalle asennetut liitosnauhat

Materiaalitoimittaja	Liitosnauha
Ardex Oy	STB
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402

Taulukko 10. Pohjustekäsitellylle vanerialustalle asennetut liitosnauhat ja käsittely-yhdistelmät

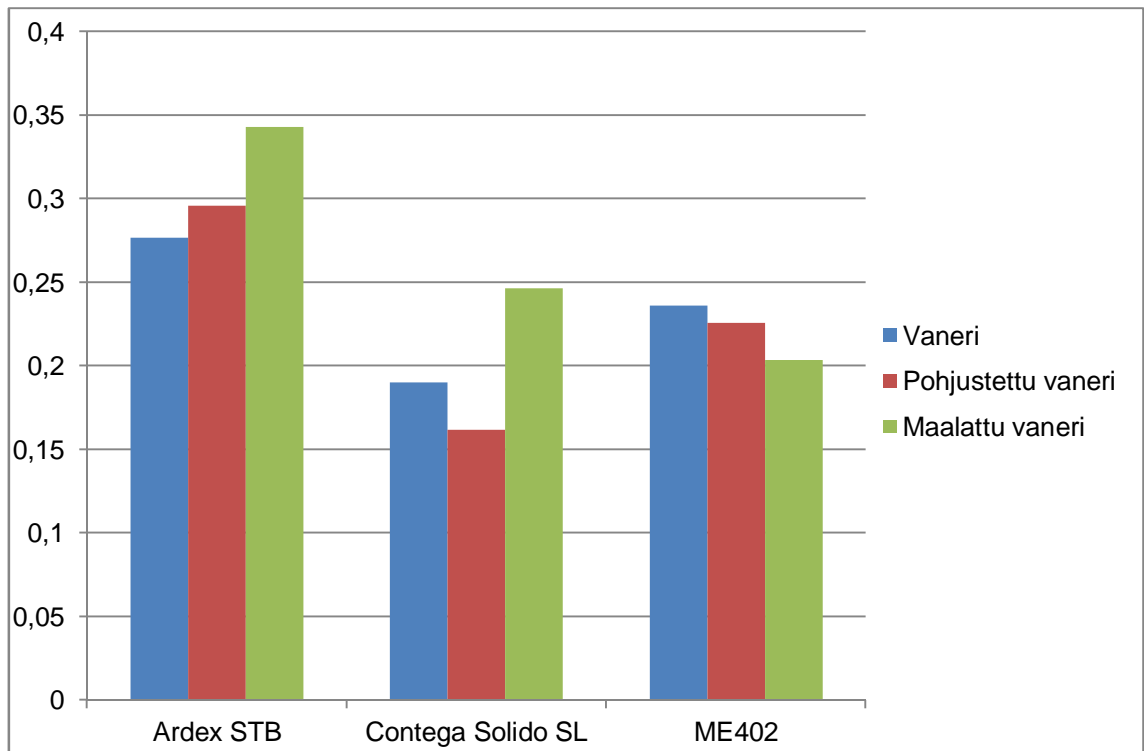
Materiaalitoimittaja	Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä
Ardex Oy	STB / P51 -pohjuste
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL / Tescon Primer RP -pohjuste
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste

Taulukko 11. Maalatulle vanerialustalle asennetut liitosnauhat

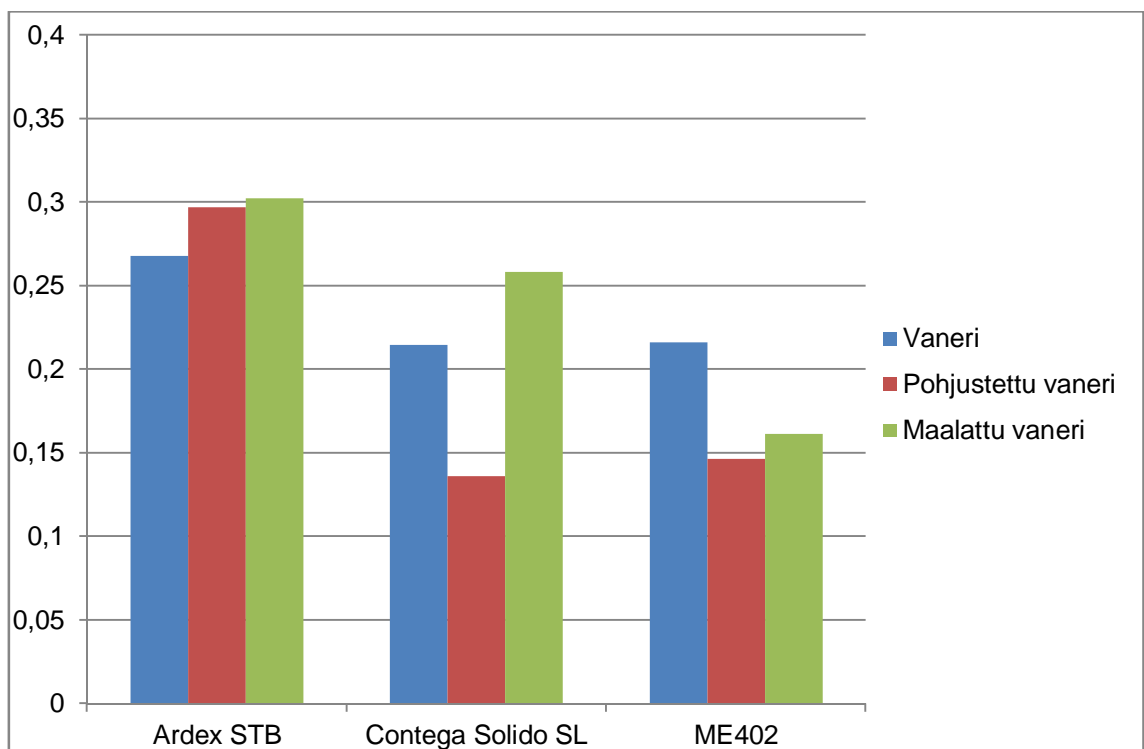
Materiaalitoimittaja	Liitosnauha
Ardex Oy	STB
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy	Contega Solido SL
Tremco Illbruck Oy	Illbruck ME402

6.5.4 Koestusten tulokset

Kaikkien tehtyjen tartuntavetokokeiden tulokset on esitetty liitteessä 6. Kuvissa 55 ja 56 on esitetty vetokokeiden tulokset kunkin materiaalin ja käsittely-yhdistelmän osalta koestusajankohtien mukaisesti.



Kuva 55. Vetokoetulokset vanerialustoilta 6 vuorokautta asennuksista



Kuva 56. Vetokoetulokset vanerialustoilta 1 kuukausi asennuksista

6.5.5 Havainnot koestuksista

Suoritetuissa vetokokeissa saadut tulokset vaihtelivat välillä 0,14...0,36 N/mm² liitosnauhasta ja käsittely-yhdistelmästä riippuen, kaikkien vetokoetulosten keskiarvon ollessa noin 0,23 N/mm² ja keskimääräinen poikkeama keskiarvosta 0,066 N/mm².

Saman liitosnauhan ja samalta käsittely-yhdistelmästä saadut vetokoetulokset eri koestusajankohtina vaihtelivat toisiinsa nähden keskimäärin noin 0,04 N/mm². Tätä suurempi vaihteluväli havaittiin neljässä tapauksessa yhdeksästä. Seitsemässä tapauksessa yhdeksästä saadut vetokoetulokset laskivat edelliseen koestukseen verrattuna.

Eri liitosnauhojen välillä samalla käsittely-yhdistelmällä ja samoina koestushetkinä saaduista vetokoetuloksista tarkasteltuna, tulosten keskimääräinen vaihteluväli oli noin 0,13 N/mm².

Tarkasteltaessa vetokoetuloksia ja saatujen tulosten muuttumista eri ajanjaksoina tehdyissä koestuksissa, ei vetokoetuloksista voitu juuri havaita selkeästi tulkittavissa olevia johdonmukaisuuksia.

Tarkasteltaessa eri käsittely-yhdistelmien vaikutusta liitosnauhojen vetokoetuloosiin, voidaan havaita, että saman liitosnauhan välisistä tuloksista, eri ajankohtina, suurin vetokoetulos saavutettiin neljässä tapauksessa kuudesta maalatulla vanerialustalla (STB ja Contega Solido SL). Tuloksissa on kuitenkin jonkin verran vaihtelua, alustojen välisten erojen ollessa hyvin pieniä.

Ainoana selkeästi erottuvana havaintona voitiin todeta Ardex STB – nauhan vetokoetulosten olevan keskimäärin muiden nauhojen vetokoetuloksia hieman korkeampia jokaisena koestusajankohtana.

Murtumistapaa ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu määrittellä vetokappaleille, sillä vetolaitteella saatu tulos on se vetolujuuden maksimiarvo, jossa liitosnauhan liimamassa tai siveltävän pohjusteaineen muodostama kalvo alkaa venyä siihen aiheutuneen vectorituksen voimasta. Tästä syystä liitosnauha ei irronnut vetokokeessa alustastaan, eikä varsinaista vetokappaleen murtoa tapahtunut.

Vetolaitteen kalibroinnissa määritelty ± 2 %:n mittausepävarmuus kalibroitaessa 1 kN:n koestusvoimalle tarkoittaisi 50x50 mm:n vetokappaleella 0,008 N/mm²:n mittausvirhettä kuormituksen ollessa 0,4 N/mm².

Ilmoitetut vetokoetulokset ovat kolmen rinnakkaisen vetokokeen keskiarvoja. Näiden rinnakkaisten tulosten keskimääräinen keskiahajonta on 0,035 N/mm². Rinnakkaisten vetokokeiden välistä keskimääräistä hajontaa voidaan pitää merkittävänä sen ollessa 12 % suurimmasta saadusta mittaustuloksesta.

Kosteusolosuhteet säilytystilassa ja materiaalissa pysyivät samankaltaisina koko koejärjestelyn ajan.

6.6 Kolmioviiltokokeet betonialustoilta

Betonialustoille suoritettujen asennusten kolmioviiltokokeilla selvitettiin betonialustan erilaisten pintakäsittelyjen soveltuvuutta liitosnauha-asennuksiin ja pintakäsittelyjen vaikutusta liitosnauhan ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Kokeet suoritettiin kolmessa vaiheessa 4 kuukauden aikana: 3 vuorokauden, 1 kuukauden ja 4 kuukauden kuluttua asennusten suorittamisesta.

6.6.1 Koestuksen tavoitteet

Koestusten tavoitteena oli selvittää erilaisten betonin pintakäsittelyjen ja käsittely-yhdistelmien vaikutuksesta liitosnauhojen ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Tulosten perusteella pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen pintakäsittely soveltuu parhaiten liitosnauhojen asennukseen ja antaa parhaat edellytykset tartunnan muodostumiselle sekä arvioida vetokokeiden tulosten luotettavuutta aistinvaraisiin havaintoihin verrattuna. Koestusten yhteydessä arvioitiin myös kolmioviiltokokeen soveltumista hyödynnettäväksi asennusten laadunvarmistuksessa.

6.6.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt ja kokeissa käytetyt rakenteet vastasivat betonialustoilta suoritettujen vetokokeiden järjestelyjä ja rakenteita. Koejärjestelyt on kuvattu kohdassa 6.4.2.

Kolmioviiltokokeita suoritettiin liitosnauha asennuksille kolmessa vaiheessa: 3 vuorokauden, 1 kuukauden ja 4 kuukauden kuluttua asennuksista, 13.11.2015, 9.12.2015 ja 9.3.2016.

Kolmioviiltokokeiden suoritus on kuvattu täsmällisesti kohdassa 5.2.2.

Jokaisesta erilaisesta käsittely-yhdistelmästä tehtiin kolme (3) rinnakkaista kolmioviiltokoe ja kokeiden arvioinnissa käytettiin neljää eri määritelmää tulosten kirjaamiseksi: ei vastusta, heikko vastus, vastus ja voimakas vastus. Näistä vastus ja voimakas vastus kuvaavat kohdassa 5.2.2 määriteltyä riittävää arvioitua tartuntaa. Kaikki koestukset suoritettiin saman henkilön toimesta.

6.6.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät vastasivat betonialustoilta suoritettujen vetokokeiden materiaaleja ja asennuksia. Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät on kuvattu kohdassa 6.4.3.

6.6.4 Koestusten tulokset

Kolmioviiltokokeiden alusta- ja materiaalikohtaiset tulokset on esitetty liitteessä 8.

6.6.5 Havainnot koestuksista

Kolmioviiltokokeilla tehtyjen havaintojen ei havaittu täysin korreloivan tehtyjen betonialustan vetokoetulosten kanssa. Osassa tapauksista, jossa samanaikaisesti saadut vetokoetulokset olivat otannan keskiarvoon ja muihin liitosnauhoihin nähden korkeita, todettiin tästä huolimatta kolmioviiltokokeilla liitosnauhan olevan heikosti tai ei lainkaan kiinni alustassaan.

Alustoilla 1 ja 2 eli hiomattomalla sekä hiomattomalla ja pohjustekäsitellyllä betonialustalla havaittiin joissain tapauksissa vastuksen olevan heikko tai olematon vielä 4 kuukauden jälkeen asennuksista suoritettussa koestuksessa. Aistinvaraisesti arvioituilla tartunnalla havaittiin olevan myös vaihtelua saman liitosnauhan ja käsittely-yhdistelmän osalla saman liitosnauhan rinnakkaisissa viilloissa.

Kaikkien kolmioviiltokokeiden tulosten havaittiin paranevan ajan kuluessa huomattavasti alustoilla 3 ja 4, eli hiotulla sekä hiotulla ja pohjustekäsitellyllä alustalla. Näillä alustoilla vetovastus oli voimakas kaikilla liitosnauhoilla sekä 1, että 4 kuukautta asennusten jälkeen, vaikka aistinvaraisesti kolmioviiltokokeilla arvioitu vastus olisi ollut heikko 3 vuorokauden kuluttua asennuksista tehdyissä koestuksissa.

6.7 Kolmioviiltokokeet vanerialustoilta

Tehdyillä vanerialustoille suoritettujen asennusten kolmioviiltokokeilla selvitettiin puualustan erilaisten pintakäsittelyjen soveltuvuutta liitosnauha-asennuksiin ja pintakäsittelyjen vaikutusta liitosnauhan ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Kokeet suoritettiin kahdessa vaiheessa 4 kuukauden aikana: 6 vuorokauden ja 1 kuukauden kuluttua asennusten suorittamisesta.

6.7.1 Koestuksen tavoitteet

Koestusten tavoitteena oli selvittää erilaisten puupinnan pintakäsittelyjen ja käsittelyyhdistelmien vaikutuksesta liitosnauhojen ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen. Tulosten perusteella pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, millainen pintakäsittely soveltuu parhaiten liitosnauhojen asennukseen ja antaa parhaat edellytykset tartunnan muodostumiselle sekä arvioida vetokokeiden tulosten luotettavuutta aistinvaraisiin havaintoihin verrattuna. Koestusten yhteydessä arvioitiin myös kolmioviiltokokeen soveltumista hyödynnettäväksi asennusten laadunvarmistuksessa.

6.7.2 Koejärjestelyt ja rakenteet

Koejärjestelyt ja kokeissa käytetyt rakenteet vastasivat betonialustoilta suoritettujen vetokokeiden järjestelyjä ja rakenteita. Koejärjestelyt on kuvattu kohdassa 6.5.2.

Kolmioviiltokokeita suoritettiin liitosnauha asennuksille kahdessa vaiheessa: 6 vuorokauden ja 1 kuukauden kuluttua asennuksista, 3.3.2016 ja 31.3.2016.

Kolmioviiltokokeiden suoritus on kuvattu täsmällisesti kohdassa 5.2.2.

Jokaisesta erilaisesta käsittely-yhdistelmästä tehtiin kolme (3) rinnakkaista kolmioviilto-koetta ja kokeiden arvioinnissa käytettiin neljää eri määritelmää tulosten kirjaamiseksi: ei vastusta, heikko vastus, vastus ja voimakas vastus. Näistä vastus ja voimakas vastus kuvaavat kohdassa 5.2.2 määriteltyä riittävää arvioitua tartuntaa. Kaikki koestukset suoritettiin saman henkilön toimesta.

6.7.3 Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät

Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät vastasivat vanerialustoilta suoritettujen vetokokeiden materiaaleja ja asennuksia. Tutkittavat materiaalit ja käsittely-yhdistelmät on kuvattu kohdassa 6.5.3.

6.7.4 Koestusten tulokset

Kolmioviiltokokeiden alusta- ja materiaalikohtaiset tulokset on esitetty liitteessä 9.

6.7.5 Havainnot koestuksista

Kolmioviiltokokeilla tehtyjen havaintojen ei havaittu täysin korreloivan tehtyjen vanerialustan vetokoetulosten kanssa. Osassa tapauksista, jossa samanaikaisesti saadut vetokoetulokset olivat otannan keskiarvoon ja muhin liitosnauhoihin nähden korkeita, todettiin kolmioviiltokokeilla liitosnauhan olevan heikosti kiinni alustassaan.

6 vuorokautta asennusten jälkeen suoritetuissa kolmioviiltokokeissa aistinvaraisesti arvioidun tartunnan havaittiin olevan heikko maalatulla vanerialustalla, STB -liitosnauha-asennuksella.

Kaikkien kolmioviiltokokeiden tulosten havaittiin paranevan ajan kuluessa kaikilla käsittely-yhdistelmillä. Kolmioviiltokokeilla aistinvaraisesti arvioitu vetovastus kuukauden jälkeen asennuksesta oli voimakas kaikilla liitosnauhoilla, vaikka aistinvaraisesti vastus olisikin ollut heikko 6 vuorokautta asennusten jälkeen. Kosteusolosuhteet säilytystilassa pysyivät samankaltaisina koko koejärjestelyn ajan.

Kosteusolosuhteet säilytystilassa ja materiaalissa pysyivät samankaltaisina koko koejärjestelyn ajan

6.8 Tulosten tarkastelu

Kohdissa 6.8.1 ja 6.8.2 laboratoriotutkimusten tuloksia ja tulosten luotettavuutta on tarkasteltu koejärjestelykohtaisesti. Koestustuloksista tehtyjä johtopäätöksiä tarkasteltiin suhteessa koestuksille asetettuihin tavoitteisiin, käytännön kokemuksiin aiemmista liitosnauhoilla toteutetuista kohteista sekä teorian pohjalta muodostettuihin periaatteisiin. Näiden pohjalta pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, onko yksittäisten koestustulosten ja eri koestuksista saatujen tulosten keskinäisen vertailun perusteella johdettavissa sellaisia johtopäätöksiä, joilla voidaan luotettavasti vastata koestusten tavoitteissa asetettuihin tutkimuskysymyksiin ja ovatko johtopäätökset ja niiden pohjalta muodostettavat ohjeistukset yleistettävissä koejärjestelyjen ulkopuolelle ja sovellettavissa myös käytäntöön.

6.8.1 Malliasennusten koestus

Malliasennuksille suoritetuilla koestuksilla ja niistä saatujen tulosten avulla pyrittiin selvittämään liitosnauhatuotteilla toteutetuilla asennuksilla saavutettavaa ikkunaliittymien ilmatiivyyden tasoa ja sitä, millainen asennustapa soveltuu parhaiten käytettäväksi ikkunaliittymien tiivistyksessä. Suoritetuilla malliasennuksilla ei tavoiteltu kaikilta osin täydellistä ilmatiivyyttä, vaan asennuksilla oli tarkoituksena myös selvittää ikkunaliittymien tiivistyksen asennuksen kannalta kriittisimpiä kohtia eli asennusten todennäköisimpiä ilmapuotokehtia sekä erilaisten asennustapojen vaikutusta liittymän ilmatiivyyteen. Koestusten yhteydessä arvioitiin myös asennusten koestusmenetelmien soveltuvuutta käytettäväksi työmaan laadunvarmistuksessa. Malliasennusten koejärjestelyt ja koestusten havainnot on esitetty kohdissa, 6.1, 6.2 ja 6.3. Koestusten tulokset on esitetty liitteissä 2, 3 ja 4.

Malliasennusten koejärjestelyjen todettiin soveltuvan hyvin tutkimusten suorittamiseen, vastaten lähes täysin olosuhteiltaan ja rakenteiltaan tavallisella rakennustyömaalla vallitsevia sisäolosuhteita. Poikkeuksena tähän olivat rakennusta ympäröineet lämpötilaolosuhteet, testirakennusten sijaitessa lämmitetyssä hallissa. Olosuhteiden vaikutus asennuksiin on suurin talvella, jolloin ikkunaliittymien viereisten pintojen lämpötila saattaa olla koejärjestelyjen lämpötiloja alhaisempi. Alhaisemmat liitospintojen pintalämpötilat vaikuttavat liitosnauhojen tartunnan kehittymiseen, heikentäen sitä ainakin jonkin verran. Tutkimusmenetelmien osalta koejärjestelyjen aikana vallinneet olosuhteet eivät myöskään huomioineet tuulen vaikutusta merkkiainekokeiden suorittamiseen, jolla voi

olla hyvinkin suuri merkitys yksittäisen koestuksen tuloksiin. Kuitenkin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisella menetelyllä toteutetussa laadunvarmistusmittauksessa tuulen vaikutus kokeen aikana tulee huomioida eikä koestusta pidä suorittaa sellaisissa olosuhteissa, jotka vaikuttavat merkittävästi kokeen tulosten luotettavaan tulkintaan. Siksi tällä seikalla ei katsottu olevan vaikutusta tulosten vertailtavuuteen työmaaolosuhteisiin nähden.

Koestuksista saatujen tulosten perusteella liitosnauhatuotteilla toteutetuilla tiivistysasennuksilla voidaan saavuttaa erittäin hyvä ikkunaliittymien ilmatiiviyys tai asennusten täysi ilmatiiviyys kaikilla koestuksissa sovelletuilla rakenneliittymätyypeillä, tulosten vertautuessa yleisimmin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin ilmatiiviyden tavoitetasoihin 1 *täysin tiivis* ja 2 *merkittävä tiiviyden parantaminen*. Suurin osa havaituista ilmapuodoista oli voimakkuudeltaan vähäisiä sijoittuen pääosin liitosten nurkkakohtiin, jossa liitosnauhat risteävät tai taittuvat päällekkäin.

Hyvän ilmatiiviyden tai täysin ilmatiiviin asennuksen saavuttaminen ei kuitenkaan useimmissa tapauksissa voida katsoa olevan käytännössä mahdollista pelkällä liitosnauhalla, vaan liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyys tulee tämän lisäksi varmistaa tarkoitukseen soveltuvalla tiivistysmassalla tai tietyissä tapauksissa muotoilluilla kulmakappaleilla. Myös nurkkakappaleita käytettäessä tulee sen saumakohtat ja rajapinnat varmistaa nauhan päälle asennettavalla tiivistysmassalla.

Tutkimusten perusteella ikkunaliittymän liitosnauha-asennusten kriittisimpänä kohtana voidaan pitää liitosten kulmia ja nurkkakohtia, joissa liitosnauhojen risteämisen ja varsinkin monimuotoisten liitosten vuoksi havaittiin runsaasti ilmapuotoja ja liitosnauhojen havaittiin myös joissakin tapauksissa paikallisesti irtoavan alustastaan ikkunaliitosten kulmakohdissa. Asennuksen ilmatiiviyden toteutumisen kannalta onkin tärkeää, etenkin ikkunaliitosten nurkkakohdissa, varmistaa asennuksen ilmatiiviyys käyttäen edellä mainittuja nurkan muotoon soveltuvia nurkkakappaleita. Tämän lisäksi liitosnauhan taitoksen tai nurkkakappaleen päälle, sekä liitosnauhan ja alustan rajakohtiin tulisi aina asentaa liitoksen päälle siveltävä tiivistysmassaus täydentämään tiivistystä. Huomiota tulee myös kiinnittää alustan tasaisuuteen etenkin liitosten nurkkakohdissa.

Tutkimuksissa tehtyjen havaintojen perusteella voitiin todeta, että ilmatiivis liitos saavutetaan parhaiten asennettaessa tiivistysmassa ristiin asennetuilla liitosnauhoilla tai

nurkkakappaleella toteutetun liitoksen päälle. Tällöin myös aistinvaraisessa arvioinnissa voidaan luotettavimmin arvioida liitosten ilmatiiviyttä. Asennettaessa tiivistysmassa vain toteutettavan liitoksen alle tai väliin, voi liitokseen massauksesta huolimatta jäädä ilmayhteyksiä rakenteen ja sisäilman välille aiheuttaen ilmavuotoja liittymien läpi.

Liitosnauhat tulisi myös pyrkiä asentamaan siten, että nauhat eivät etenkin nurkkakohdissa pingotu ja nauhoihin tästä aiheutu jännityksiä, jonka johdosta joidenkin nauha-asennusten havaittiin paikallisesti taitoskohdissa irtoavan alustastaan. Nauhojen pingottumista asennustyön yhteydessä ei voida aina, esimerkiksi liitoksen muodosta johtuen, estää, mutta nauhojen irtoamista alustastaan ja siitä aiheutuvat ilmavuodot voidaan kuitenkin tehokkaasti ehkäistä huolellisella nurkkien asennustyöllä ja käyttämällä asennuksissa nurkkaliitoksiin muotoiltuja nurkkakappaleita ja liitoksen päälle asennettavaa tiivistysmassaa.

Liitosnauhan asennuksissa ikkunaliittymän suorille osille ei koestuksissa havaittu merkittäviä ilmavuotoja. Huomiota tulee kuitenkin kiinnittää siihen, että liitosnauha asennetaan siten, että nauha ei rypyty tai poimuunnu ja liitosnauhan vastepinnat ovat puhtaita ja esimerkiksi liityttävällä höyrynsulkupinnalla ei ole repeämiä tai ryppyjä, jotka saattavat vaikuttaa asennuksen ilmatiivyyteen. Itse liitosnauhoista johtuvia ilmavuotoja havaittiin koestuksissa siten, että paksujen liitosnauhojen limityksissä, etenkin joustamattomille alustoille asennettaessa, saattaa nauhojen saumakohtaan syntyä ilmayhteyksiä liitoksen läpi, kun teräväkulmaiseen liitokseen jää jännityksiä nauhan paikallisen venymisen johdosta. Ilmavuotoja havaittiin myös sellaisten liitosnauhojen limityskohdista, joissa liimapinta ei ole koko nauhan levyinen ja tämän vuoksi nauhan alustaan kiinnitymättömiin osiin jää ilmayhteyksiä liitoksen läpi, jos nauhan päitä ei tiivistetä huolellisesti.

Koestuksissa vastepinnan leveydellä, sovellettuna asennuksissa leveyksillä noin 5...20 mm ei havaittu olevan vaikutusta ikkunaliittymien ilmatiiviydelle tiiviyttä heikentävästi millään sovelletulla asennusleveydellä. Kuitenkin voidaan todeta, että leveämpi vastepinta sallii suuremman toleranssin ja siten helpottaa asennustyötä. Vastepinnan asennusleveys tulee kuitenkin valita siten, että liitosnauha ei irtoa alustastaan mahdollisten rakenteissa tapahtuvien liikkeiden vuoksi ja tästä syystä ei suositella alle 5 mm:n asennusleveyttä käytettäväksi karmipinnalla. Samasta syystä tulisi välttää, liitosnauhaan aiheutuvien jännitysten ohella, nauhojen pingottumista asennusten yhteydessä. Käytännössä vastepinnan leveyden rajoittavia tekijöitä asennuksissa ovat muun muassa

saranatappien sijainti karmilla ja peitelistöjen asennusmahdollisuudet. Liitosnauhat voidaan asentaa joko karmen sisä- tai sivupintaan. Tällä ei koestusten perusteella ole vaikutusta liitosten saavutettavaan ilmatiiviyteen huomioiden, että liitosnauhan tulee ominaisuuksiltaan soveltua kyseiseen asennustapaan. Vähimmäisasennusleveydellä 5 mm tulee erityistä huomiota kiinnittää liitosnauhan tartuntaan vastepinnalle esimerkiksi huolellisella telaamisella. Asennus tulee lisäksi suorittaa siten, että vaadittu 5 mm asennusleveys toteutuu karmen suoralle, karmipuun mahdollisen pyöristyneen jälkeen.

Ikkunaliittymien hyvä ilmatiiviyys saavutetaan luotettavimmin liittämällä karmirakenne ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen. Koestuksissa kuitenkin suoritettiin asennuksia myös karmilta suoraan sisäverhouslevyn pintaan. Tällainen asennustapa voisi tulla kysymykseen sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yhteydessä. Huomioitavaa kuitenkin on, että vaikka ikkunaliittymän ilmatiivis asennus rakennuslevyn pintaan onnistuisi, rakentamiseen voi siltä jäädä epäjatkuvuuskohtia esimerkiksi läpivienteihin ja muihin rakennuslevyn liittyimiin, joista ilmavuotoja tapahtuu.

Liitosnauhalla toteutettujen ikkunaliittymien tiivistysten ilmatiiviyttä ei koestuksissa vertailtu RT 41-10947 *Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus* –ohjekortin mukaisesti pelkällä polyuretaanivaahdotuksella tai polyuretaanivaahdotuksella ja joustavalla tiivistysmassalla toteutettujen tiivistysten ilmatiiviyteen. Vahnen Rakennusfysiikka Oy:n useista tutkimus- ja laadunvarmistuskohteista saatujen kokemusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että liitosnauhatuotteilla toteutetulla asennuksella saavutetaan pelkkää polyuretaanivaahdotusta parempi ilmatiiviyys ja liitosnauhatuotteet ovat sovellettavissa useamman tyyppiseen rakenneliitokseen tiivistysmassoilla toteutetun asennuksen soveltuessa käytettäväksi lähinnä ikkunakarmin ja betonirakenteisen sisäkuoren välisen liittymän tiivistyksessä.

Merkkiainekokeilla tehtyjä havaintoja ilmavuotojen voimakkuudesta ja sijainnista voidaan pitää luotettavina. Tiivistysasennukset voidaan myös koestaa noin vuorokausi asennusten suorittamisesta. Merkkiaineanalysointilla saadut havainnot vuodoista olivat johdonmukaisia ja asennuksista saadut tulokset vertautuivat hyvin samankaltaisista asennuksista sekä aistinvaraisessa arvioinnissa samoista asennuksista tehtyihin havaintoihin. Kaikki tutkimuksen merkkiainekokeet tehtiin vakioituissa, samankaltaisissa olosuhteissa kaikille asennuksille ja tämä tulee ottaa huomioon sovellettaessa

merkkiainetekniikkaa liitosnauha-asennusten laadunvarmistuksessa, jotta mahdollisilta virhetulkinnoilta voidaan välttyä ja tuloksia voidaan luotettavasti vertailla muihin samankaltaisiin koestuksiin sekä näistä tehtyihin johtopäätöksiin. Käytännössä tämä tarkoittaa merkkiainekokeen suorittamista RT 14-11197 –ohjekortin mukaisella menetelmällä ja olosuhteissa, jota myös kaikissa tutkimuksen koestuksissa noudatettiin.

Tavanomaisista apukarmirakenteista poiketen koestuksissa porattiin reikiä apukarmin läpi merkkikaasun riittävän leviämisen varmistamiseksi ja koestuksen nopeuttamiseksi. Kuitenkin Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n useista tutkimus- ja laadunvarmistuskohteista saatujen kokemusten mukaan merkkikaasu leviää hyvin myös tavanomaisessa rakenteessa, jossa apukarmia ei ole erikseen reiitetty. Tietyissä, hyvin harvinaisissa tapauksissa voivat liitoksen läpi tapahtuvat ilmavirtaukset tapahtua vain ulkoilman ja sisäilman, eikä rakenteen ja sisäilman välillä, jolloin merkkiainekokeella, jossa merkkikaasu syötetään ulkoseinärakenteen lämmöneristekerrokseen, ei voida täysin selvittää ikkunaliittymän ilmatiivyyttä. Tästä huolimatta merkkiainekokeen voidaan katsoa soveltuvan hyvin käytettäväksi asennusten laadunvarmistamisessa. Merkkiainekokeen hyödynnettävyyttä ja tulosten luotettavuutta tulee kuitenkin aina tarkastella tapauskohtaisesti ja liitosnauha-asennusten ilmatiivyyttä ja toteutuksen laatua tulee arvioida myös aistinvaraisesti.

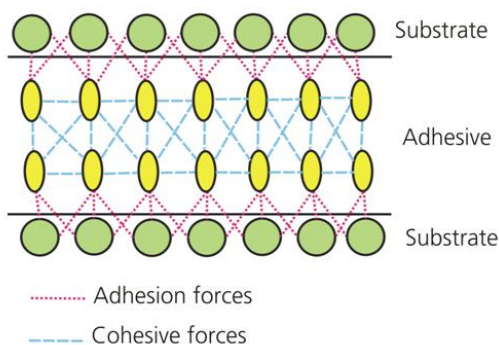
6.8.2 Tartuntalujuuden arviointi

Betoni- ja vanerialustoille toteutetuille asennuksille suoritetuilla koestuksilla ja niistä saatujen tulosten avulla pyrittiin selvittämään erilaisten pintakäsittelyjen ja käsittelyyhdistelmien vaikutusta liitosnauhan ja alustan välisen tartunnan muodostumiseen sekä muodostamaan käsitys siitä, millainen esikäsittelytapa soveltuu parhaiten liitosnauhojen asennukseen kullakin alustalla ja antaa parhaat edellytykset tartunnan toteutumiseksi. Koestusten yhteydessä arvioitiin myös asennusten koestusmenetelmien eli veto-kokeen ja kolmioviiltokokeen soveltuvuutta käytettäväksi työmaan laadunvarmistuksessa. Tartuntalujuuden arvioinnin koejärjestelyt ja koestusten havainnot on esitetty kohdissa, 6.4, 6.5, 6.6 ja 6.7. Koestusten tulokset on esitetty liitteissä 5-9.

Malliasennusten koejärjestelyjen todettiin soveltuvan hyvin kokeiden suorittamiseen, vastaten hyvin olosuhteiltaan ja rakenteiltaan tavallisella rakennustyömaalla vallitsevia sisäolosuhteita. Koejärjestelyssä ei kuitenkaan kyetty simuloimaan ikkunaliittymien ilmavuotojen ja mahdollisten lämpövuotojen vaikutusta rakenteiden pintalämpötiloihin

koerakennusten sijaitessa kokonaan lämmitetyssä hallissa tai laboratorioissa. Olosuhteiden vaikutus asennuksiin on suurin talvella, jolloin ikkunaliittymien viereisten pintojen lämpötila saattaa olla koejärjestelyjen lämpötiloja alhaisempi. Alhaisemmat liitospintojen pintalämpötilat vaikuttavat liitosnauhojen tartunnan kehittymiseen, heikentäen sitä ainakin hetkellisesti. Rakenteet pyrittiin toteuttamaan noudattaen samoja tekniikoita, kuin rakennustyömaalla vastaaville rakenteille. Betonialustojen osalta toteutustekniikka ja alustan pinta vastasi tavallista betonivalua. Vanerialustat eivät kaikilta osin vastanneet esimerkiksi maalipinnan tasaisuudelta tehdasmaalattua karmipintaa. Myöskään vaneripinnan struktuuri ei ole täysin samanlainen esimerkiksi höylätyn puupinnan kanssa.

Tehtyjen vetokokeiden tulokset miltään alustalta eivät täysin korreloineet vetokokeiden rinnalla suoritettujen kolmioviiltokokeiden aistinvaraisten arvioiden kanssa. Vaikka saadut tulokset joiltakin käsittely-yhdistelmiltä olivat muihin tuloksiin verrattuna suuria, todettiin kolmioviiltokokeilla tartunnan olevan näiden samojen käsittely-yhdistelmien osalta silti heikko ja nauhaa vedettäessä vastusta ei aistinvaraisesti havaittu lainkaan tai päinvastoin vetokokeen tuloksen ollessa verrattain alhainen, havaittiin kolmioviiltokokeessa liitosnauhan olevan lujasti kiinni alustassaan. Havainto viittaa siihen, että liitosnauhan ja alustan välinen tartunta on todellisuudessa suurempi, kuin vetokokeella määritelty arvo. Todennäköisimmin vetokokeiden tulokset ovat pääasiassa riippuvaisia liimamassan tai pohjusteaineen ominaisuuksista ja laitteen ilmoittama tulos vertautuu lähinnä koestettavan liitosnauhan liimamassan kykyyn vastustaa siihen kohdistuvaa vetoa eli liiman sisäiseen koheesioon. Tähän viittaa myös se, että vetokokeiden yhteydessä ei mikään koestetuista liitosnauhoista irronnut alustastaan eli varsinaista murtoa ei tapahtunut. Kuvassa 57 on havainnollistettu liimamassan sisäisen koheesion sekä liimamassan ja alustan välisen tai liimamassan ja runkonauhan välisen tartunnan veto-
rasitusta vastustavia voimia.



Kuva 57. Tartunnan ja liimamassan sisäisen koheesion aiheuttamat vetorasitusta vastustavat voimat kappaleessa. (kuva: www.adhesives.org.)

Vetokoetulosten perusteella voidaan arvioida, että alustan esikäsitteilyllä voi olla jonkin verran vaikutusta vetokokeella saatuun tartuntalujuuden arvoon, mutta tulosten ollessa hyvin pieniä verrattuna koestuksen arvioituihin epävarmuustekijöihin ja kolmioviiltokokeiden tuloksiin, sekä vetokoetulosten keskinäisen epäjohdonmukaisuuden vuoksi ei vetokokeella suoritettujen koestusten perusteella voida luotettavasti arvioida liitosnauhan tartunnan riittävyttä. Vetokoetulosten perusteella voidaan havaita joitakin heikkoja viitteitä alustan epätasaisuuden ja pohjusteaineen ominaisuuksien vaikutuksesta liitosnauhan tartuntaan, mutta kaikki epävarmuustekijät huomioiden, ei havaintoja voida pitää riittävän luotettavina, jotta näiden pohjalta voisi johtaa konkreettisia johtopäätöksiä.

Kolmioviiltokokeiden perusteella tehtyjen aistinvaraisten arvioiden voidaan katsoa vertautuvan kohtuullisen hyvin kohdassa 4.7.2 esitettyihin teorian pohjalta johdettuihin periaatteisiin. Tartunnan havaittiin olevan parempi huokoisilla, tasaisilla alustoilla, esimerkiksi hiotuilla betonialustoilla ja tartunnan havaittiin paranevan ajan kuluessa. Betonialustoilla, joiden pinnasta ei ollut sementtiliimaa hiottu pois, kolmioviiltokokeiden tuloksissa havaittiin rinnakkaisissa kolmioviiltokokeissa jonkin verran vaihtelua (tartunta vaihteli olemattomasta lujaan) vielä 4 kuukauden jälkeen asennusten suorittamisesta. Kun taas hiotuilta betonialustoilta tehtyjen kolmioviiltokokeiden tulosten ollessa johdonmukaisia ja kaikkien nauhojen arvioitiin alustoilla olevan lujasti kiinni alustassaan 1 ja 4 kuukauden jälkeen asennuksista. Vanerialustalta tehdyissä kolmioviiltokokeissa tartunnan havaittiin muodostuvan voimakkaaksi kaikilla käsitteily-yhdistelmillä viimeistään 1 kuukauden jälkeen asennuksista.

Sekä hiotuilla betonialustoilla ja maalatulla vanerialustalla 3 ja 6 vuorokauden ikäisille asennuksille tehdyissä kolmioviiltokokeissa havaittiin, että osalla liitosnauhoista tartunta ei ollut vielä muodostunut riittäväksi, aistinvaraisesti arvioidun tartunnan ollessa heikko tai vastusta ei kolmioviiltokokeissa havaittu. Tämä vaikuttaisi korreloivan vetokoetosten perusteella tehtyyn arvioon liitosnauhan liimamassan jäykkyydestä eli viskositeettiltaan muita suurempien liimamassojen tartunta ei vielä 3 tai 6 vuorokauden jälkeen ollut kehittynyt siinä määrin, että tartunnan voidaan katsoa olevan riittävä, mutta jo kuukauden jälkeen tartunnan havaittiin olevan samojen liitosnauhojen ja käsittelyyhdistelmien osalta sellainen, että aistinvaraisessa arvioinnissa alustan ja liitosnauhan välisen tartunnan katsottiin olevan luja.

Koestusten perusteella tartunta muodostuu parhaiten ja luotettavimmin puhtailla, lujilla ja tasaisilla alustoilla, joissa ei siis ole liitosnauhan tartuntaa haitallisesti vaikuttavia tekijöitä tai näiden tekijöiden mahdollisuus on minimoitu riittävällä alustan esikäsittelyllä. Joskin tartunta kaikilla liimamassoilla ei muodostu heti, luotettavimmin voidaan tartunnan kehityksestä varmistua, kun asennukset suoritetaan tasaisille, puhtaille ja lujille alustoille. Vaikka tartunta voi muodostua ainakin osittain riittäväksi myös epätasaisilla ja puhdistamattomilla alustoilla, liittyy tähän selkeitä epävarmuustekijöitä, jotka muodostavat riskin sille, että tartunta ei kaikilta osin kehity riittäväksi nauhan ja alustan välisen liitospinnan saattaessa jäädä osittain pieneksi alustamateriaalin epätasaisuuden vuoksi. Samaan loppupäätelmään on tultu Hakamäen diplomityössä *Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototiivistysten pysyvyyteen*, jossa todettiin, että paras tiivistysmateriaalin tartunta ja todennäköisesti paras pitkäaikaiskestävyys saavutetaan alustan huolellisella esikäsittelyllä, noudattaen materiaalivalmistajien ohjeistusta. (Hakamäki 2015.)

Tutkimusten perusteella suositellaan, että liitosnauha-asennukset suoritetaan aina tasaisille, puhtaille ja lujille alustoille, joissa ei ole tartuntaa heikentäviä tekijöitä, tarkoittaen betonialustoilla esimerkiksi hiontaa ja huolellista puhdistusta sekä tarvittaessa pohjustekäsittelyä. Puualustat tulee puhdistaa huolellisesti ja tarvittaessa suorittaa maalauskorjauksia. Alustan kaikkien rakennekerrosten tulee olla hyvin kiinni alustasaan.

Vaikka viiltokoemenettelyllä toteutettu tartuntalujuuden arviointi osoittautui koemenettelyn perusteella parhaaksi sovelletuista tartuntalujuuden arviointimenetelmistä, menetelmän hyödynnettävyys pian asennuksen jälkeen on kuitenkin hankalaa. Kuten aiem-

min todettiin, liitosnauhojen ja alustan välinen, lopullinen tartuntalujuus saattaa muodostua, vallitsevista lämpöolosuhteista riippuen, vasta muutamien viikkojen kuluessa asennuksista. Tämän vuoksi tartunnan koestaminen heti asennuksen jälkeen voi johtaa väärään johtopäätökseen tartunnan toteutumisesta. Lisäksi luotettava tartuntalujuuden arviointi edellyttää useiden rinnakkaisten kolmioviiltokokeiden suorittamista. Huomioiden myös asennusleveyksien olevan yleensä kolmioviiltokokeeseen määriteltyä 50 mm kapeampi, voi kolmioviiltokokeiden soveltaminen olla useissa tapauksissa hankalaa. Kolmioviiltokoemenettelyä ei myöskään voida suoraa sellaisenaan soveltaa joustaville alustoilla, kuten höyrynsulkukalvolle. Kolmioviiltokoetta voidaan pitää myös jossain määrin subjektiivisena, kokeen suorittajasta riippuvana arviona, liitosnauhan tartunnasta alustaansa. Tästä syystä suositellaan, että kohteessa suoritettavat kolmioviiltokokeet toteutetaan saman henkilön toimesta. Suorittajalla tulisi olla myös riittävästi kokemusta vastaavien asennusten laadunvarmistuksesta voidakseen arvioida tehtyjen asennusten tartunnan riittävyttä.

Viiltokoemenetelmää voidaan tietyin reunaehdoin hyödyntää liitosnauhojen tartunnan arvioinnissa osana laadunvarmistusta, mutta menetelmän soveltuvuus tulee aina harkita tapauskohtaisesti. Esimerkiksi liitosnauhatiivistyksen malliasennus voidaan suorittaa esikäsitellylle mallipinnalle ja koestaa asennusta useassa vaiheessa. Tämä ei kuitenkaan välttämättä ole aina aikataulullisesti tai muutoin mahdollista. Luotettavimmin voidaan riittävästä liitosnauhojen tartunnasta varmistua huolellisella asennustyöllä sekä vastepintojen riittäväällä esikäsitelyllä ja laadunvarmistuksen pääpaino tulisi laittaa näiden seikkojen toteutumiseen varmistamiseen. Viiltokoemenetelmän hyödyntämistä suositellaan kuitenkin asennusten tartunnan todentamiseksi ja se tulisi suorittaa vähintään malliasennuksen laadunvarmistuksen yhteydessä.

7 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tutkimustulosten perustella voitiin osoittaa, että ikkunaliittymän ilmatiivis toteutus siten, että ikkunan karmirakenne liittyy liitosnauhatuotteella ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen, on mahdollista. Riittävää ilmatiiviyttä ei kuitenkaan voida saavuttaa ilman oikeanlaista ja huolellista asennustekniikkaa tai alustan esikäsittelyn ollessa puutteellinen. Huomiota tulee kiinnittää erityisesti liittymien vaikeiden yksityiskohtien toteutukseen sekä erilaisten liitosnauhatuotteiden ja esikäsittelytapojen soveltavuuteen kulloisillekin liityttäville materiaaleille ja erilaisille liittymätyypeille. Riittävän ilmatiiviyden toteutuminen edellyttää myös asennustyön eri vaiheiden tarkkaa valvontaa ja laadunvarmistusta.

Tutkimusten perusteella kyettiin myös selvittämään asennus- ja esikäsittelytapoja, jotka parhaiten mahdollistavat riittävän ilmatiiviyden toteutumisen liitosnauhatuotteilla toteutettavissa ikkunaliittymien tiivistystöissä. Liitosnauha-asennuksen lisäksi ilmatiiviin asennuksen saavuttamiseksi monimuotoisten yksityiskohtien toteuttamiseen on käytettävä myös tarkoitukseen soveltuvaa tiivistysmassaa ja esimerkiksi muotoiltuja nurkkakappaleita. Jotta voidaan luotettavimmin varmistua riittävän tartunnan toteutumisesta, tulee liitosnauha-asennukset suorittaa aina tasaisille, puhtaille ja lujille alustoille, joissa ei ole tartuntaa heikentäviä tekijöitä.

Sovelletuista koestustavoista parhaiten ikkunaliittymien laadunvarmistuksessa todettiin voitavan hyödyntää merkkiainetekniikkaa sekä liitosnauhojen tartunnan aistinvaraista tarkastelua kolmioviiltokoemenetelmän avulla. Kumpaankin menetelmään kuitenkin liittyy epävarmuustekijöitä, jotka tulee huomioida menetelmiä hyödynnettäessä osana laadunvarmistusta ja tulkittaessa koestusten avulla saatuja tuloksia. Laadunvarmistusta ei myöskään pidä mieltää pelkästään valmiin asennuksen arviointina, vaan asennuksen laatua tulisi tarkkailla kaikissa asennuksen eri työvaiheissa, jotta työsuoritusta ja asennusten pitkäaikaiskestävyyttä kyettäisiin arvioimaan kokonaisuutena luotettavasti. Laadunvarmistusmittausten suoritus ja havainnot tulee myös dokumentoida riittävän yksityiskohtaisesti siten, että tuloksista tehtyjen johtopäätösten luotettavuutta voidaan arvioida tarkasti ja koestus kyetään tarvittaessa toistamaan alkuperäistä tilannetta vastaavissa olosuhteissa.

Edellä mainittujen seikkojen perusteella ikkunaliittymän tiivistyksen onnistumisen ja riittävän ilmatiiviyden toteutumisen ei voida siis katsoa liittyvän pelkästään tiettyyn lii-

tosnauhatuotteelta edellytettävään ominaisuuteen tai tietyn asennustyön osa-alueen kriittisyyteen lopputuloksen kannalta, vaan asennuksen lopullinen laatu määräytyy kaikkien tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Suunnitelma-asiakirjoissa tulee kuvata riittävän tarkasti kaikki liitosnauhalla edellytettävät ominaisuudet sekä sovellettavat asennus- ja esikäsittelytavat tulee määrittää jokaiselle erilaiselle liittymätyypille, liitettävälle materiaaleille ja vallitseviin olosuhteisiin soveltuviksi ja asennustyön suoritus.

Jotta tutkimustuloksia voitaisiin parhaiten hyödyntää käytännön rakentamisessa, opinäytetyön tulosten pohjalta on koottu erillinen ohjeistus ikkunaliittymien tiivistyksen toteutuksesta liitosnauhatuotteilla. Ohjeistuksessa on esitetty niitä liitosnauhatuotteiden suunnittelussa ja asennuksessa huomioitavia tekijöitä ja toimintatapoja, jotka parhaiten mahdollistavat ikkunaliittymien ilmatiiviin toteutuksen. Ohjeistus käsittää muun muassa suunnitteluun, materiaalien säilytykseen, asennusolosuhteisiin, alustan esikäsittelyyn, liitosnauhan asentamiseen ja laadunvarmistukseen liittyviä seikkoja, joita noudattamalla voidaan luotettavimmin varmistua asennuksen ilmanpitävyydestä. Ohjeistus on esitetty liitteessä 1.

Vaikka tutkimuksen koestuksia suoritettiin eri-ikäisille asennuksille, ei tutkimusten tarkoituksena ollut selvittää asennusten pitkäaikaiskestävyyttä. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa tulisivat selvittää ikkunaliittymien liitosnauhatuotteilla toteutettujen tiivistysasennusten pitkäaikaiskestävyyttä. Pitkäaikaiskestävyyteen liittyviä tutkimuksia tulisi suorittaa pidemmällä, vähintään usean vuoden aikavälillä samoissa asennuskohteissa, jolloin asennusten iän ja muiden mahdollisten tekijöiden vaikutusta liitosnauhasennusten ilmatiiviyteen voitaisiin arvioida mahdollisimman tarkasti verrattuna ilmatiiviyteen lähtötilanteessa. Tutkimuksissa huomiota tulisi kiinnittää etenkin vastepinnan asennuslevyden ja mahdollisten rakenteissa tapahtuvien liikkeiden vaikutusta ilmatiiviyteen sekä erilaisten liitosnauhatuotteiden materiaaliominaisuuksien mahdollisiin muutoksiin tarkasteluvälillä. Liitosnauhatuotteiden ilmatiiviyden pitkäaikaisseurannan tuloksia tulisi verrata myös muihin käytettyihin tiivistysmenetelmiin.

Lähteet

Aho, Hanna & Vinha, Juha & Korpi, Minna. 2008. Implementation of airtight constructions and joints in residential buildings. Department of Civil Engineering, Tampere University of Technology.

Allen K. W.. 1993. Current theories of adhesion and their relevance to adhesive technology. *Journal de Physique IV*, 1993

Antretter, Florian & Karagiozis, Achilles & TenWolde, Anton & Holm, Andreas. Effects of Air Leakage of Residential Buildings in Mixed and Cold Climates. ASHRAE

Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja terveys -lehti.

Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. 2. painos. Suomen Betonitieto Oy & Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry. 2007.

Björkholz, Dick. 1997. (alkuperäinen painos 1987) Lämpö ja kosteus Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy, Helsinki.

Brockmann W., Geiß P.L., Klingen J., Schröder B. 2005. Adhesive Bonding. Materials, Applications and Technology. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Building Research Institute. 1955. Plastic Study Group. Report of Meeting. University of Michigan, Michigan

Butt M. A., Chughtai A., Ahmad j., Ahmad R., Majeed u., Khan I.H. 2007. Theory of Adhesion and its Practical Implications, A Critical Review. *Journal of Faculty of Engineering & Technology*, 2007-2008. Faculty of Engineering & Technology, University of the Punjab, Quaid-e-Azam Campus, Lahore

Compendium of Chemical terminology. 2014. Gold Book. Version 2.3.3. International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC

EN ISO 4624. 2002. Paints, varnishes and plastics, Pull-off test for adhesion. European Committee for Standardization.

Hakamäki, Heli. 2015. Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilma- vuototiivistysten pysyvyyteen. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikka

Hakkarainen, Hannu. 2014. Rakennusfysiikan erikoisopintojakso. Rakennustekniikan YAMK-koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu.

Jokisalo J., Kurnitski J., Vinha J. 2007. Building leakage, infiltration and energy performance analysis for Finnish detached houses. Proceedings CLIMA 2007 – Wellbeing Indoors.

Kalamees, Targo & Korpi, Minna & Kurnitski, Jarek & Vinha, Juha. 2007. Kylmäsiltojen ja Ilmavuotokohtien jakauma suomalaisissa pientaloissa ja kerrostaloasunnoissa. Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos.

Laine, Katariina. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. 2014. Opinnäytetyöt, Rakennusterveys. Itä-Suomen Yliopisto, Kuopio

Lakes Robert S. 1999. Viscoelastic Solids. University of Wisconsin. Wisconsin

Leardini, Paola & Van Raamsdonk. Design for airtightness and moisture control in New Zealand housing. School of Architecture and Planning, University of Auckland. Auckland

Leppänen, Antti. 2013. Ikkuna-aukkojen tiivistyksen suunnittelu ja tutkiminen. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka.

Maier, Clive & Calafut, Teresa. 1998. Polypropylene. the Definitive User's Guide and Databook. Plastic Design Library, Norwich, New York

Pauling, Linus. 1960. The Nature of The Chemical Bond. An Introduction to Modern Structural Chemistry. Cornell university Press. Ithaca, New York

Peacock, Andrew J. 2000. handbook of Polyethylene, Structures, Properties and Applications. Exxon Chemical Company. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel

Pessi, Anna-Liisa & Suonketo, Jommi & Pentti, Matti & Raunio-Lehtimäki, Auli. 1999. Betonielementtjulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Julkaisu 101, Talonrakennustekniikka, Rakennustekniikan osasto TTKK, Tampere

Pietiko Oy. Regin FRA-10 –tuoteseloste. PDF –dokumentti. linkki: http://www.pietiko.fi/merkkisavut/esitteet/RFA-10_savupullo_esite_pietiko_fin.pdf (luettu: 1.4.2016)

Pressure Sensitive Tape Council. 2008. Pressure Sensitive Adhesive Tape. PDF –dokumentti. linkki: https://www.pstc.org/files/public/PSTC_TapeDescriptions.pdf (luettu 3.4.2016)

Ratu 0432. Rakennustietosäätiö RTS. 2015. TALO-RATU-OHJE - Saumaus, menekit ja menetelmät.

Repo, Jarno. 2016. Betonirakenteiden ilmatiiveyden hallinta sisäilmakorjauksissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

RIL 107-2012. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012, Saarijärvi.

RIL 249-2009. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009. Matalaenergiarakentaminen, asuinrakennukset. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009, Saarijärvi.

RIL 250-2011. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011, Saarijärvi.

RT 05-10710. Rakennustietosäätiö RTS. 1999. Kosteus rakennuksissa.

RT 14-10984. Rakennustietosäätiö RTS. 2010. Ohjeet - Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.

RT 14-11016. Rakennustietosäätiö RTS. 2010. RunkoRYL 2010 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen runkotyöt.

RT 14-11197. Rakennustietosäätiö RTS. 2015. Rakennusten ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein.

RT 41-10644. Rakennustietosäätiö RTS. 1997. Ohjetiedosto - Puuikkunat (korvattu ohjekortilla RT 41-10947)

RT 41-10947. Rakennustietosäätiö RTS. 2009. Ohjetiedosto - Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus.

RT 80-10974. Rakennustietosäätiö RTS. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.

RT 81-11099, Rakennustietosäätiö RTS. 2012. Ohjetiedosto – Radonin torjunta.

RT 82-10605, Rakennustietosäätiö RTS. 1996. Ohjetiedosto – Puutalon ikkuna- ja ulko-oviliittymät.

RT 83-11032, Rakennustietosäätiö RTS. 2011. Ohjeet – Vedenpaineeneristys.

Schneberger, Gerald L. 1983. Adhesives in Manufacturing. manufacturing Engineering and Materials Processing/11. GMI Engineering and Management Institute. Flint, Michigan

SFS 5446. 1988. Betoni, tartuntalujuus. Suomen Betoniyhdistys ry. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1542. 1999. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Tartuntalujuuden mittaaminen vetokokeella. Rakennustuoteteollisuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. 2008. Opetushallitus, Vammala.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Asetus 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki

Stachurski Zbigniew H. 2015. Fundamentals of Amorphous Solids. Structure and Properties. Higher Education press. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C2 Veden ja kosteudeneristys, määräykset 1975. Sisäasiainministeriö, Helsinki

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet. 1998. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C3 Rakennusten lämmöneristys, määräykset. 2010. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki

Thorpe M. F., Tichý L. 2000. Properties and Applications of Amorphous Materials. II. Mathematics, Physics and Chemistry – Vol. 9. NATO Science Series. Springer Science+Business Media, B.V.

Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa 1, 8/2016. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira, Helsinki

Vinha, Juha & Korpi, Minna & Kalamees, Targo & Jokisalo, Juha & Eskola, Lauri & Palonen, Jari & Kurnitski, Jarek & Aho, Hanna & Salminen, Mikko & Salminen, Kati & Keto, Matias. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tampere

Vinha, Juha. 2009. Rakentajain kalenteri 2009. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Rakennustieto Oy, Helsinki

Vinha, Juha. 2012. Luentomateriaali. Rakentamisen teemapäivä, Lahti 14.3.2012.

PDF-dokumentti. linkki:

[http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/C835A9B30A33C18BC22579CA004A4A2F/\\$file/Lahti%20Ilmanpit%C3%A4vyys%20Juha%20Vinha_140312.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/C835A9B30A33C18BC22579CA004A4A2F/$file/Lahti%20Ilmanpit%C3%A4vyys%20Juha%20Vinha_140312.pdf) (luettu 6.2.2016)

Ympäristöministeriö ja Rakennustieto Oy. Ympäristöopas 28. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö, Tampere

ZTV-SIB 90. 1990. Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften. Berlin, 1992

IKKUNALIITTYMIEN TIIVISTYS LIITOSNAUHA TUOTTEILLA

19.4.2016

19.4.2016

Sisällys

1	Ikkunaliittymien tiivistys liitosnauhalla	3
2	Liitosnauhalla toteutettavien ikkunaliitosten suunnittelu.....	3
2.1	Liitosnauhan valintaan vaikuttavat tekijät	3
2.2	Suunnitelma-asiakirjojen sisältö	4
3	Materiaalien säilytys ja suojaus	4
3.1	Varastointi työmaalla	4
3.2	Säilyvyys.....	4
3.3	Esiaseennettujen liitosnauhojen suojaus.....	4
3.4	Valmiiden asennusten suojaus	5
4	Asennusolosuhteet	5
5	Alustan kunto, liitospintojen puhdistus ja esikäsittele	5
5.1	Karmipinnat (puu, teräs, alumiini).....	5
5.2	Betonipinnat.....	5
5.3	Harkko- ja tiilipinnat	6
5.4	Höyrynsulku.....	6
5.5	Ikkunaliittymän rakojen lämmöneristäminen ja tilkitseminen.....	6
6	Liitosnauhan asentaminen.....	6
6.1	Liitosnauhan kiinnitys liitospinnoille	7
6.2	Vastepinnan leveys liityttävillä pinnoilla	7
6.3	Limitykset ja liitokset.....	7
6.4	Nurkkaliitosten toteutus	8
7	Korjausrakentaminen.....	8
8	Peittävien rakenteiden ja rakennekerrosten asennus	9
9	Laadunvarmistus	9
9.1	Asennuksista suoritettavat mallityöt.....	9
9.2	Liitosnauhan riittävä tartunta alustaan liitospinnoilla.....	10
9.3	Liitosnauha-asennusten ilmatiiviyyden toteutuminen	10
10	Asennusta suorittavien henkilöiden pätevyys	11
11	Tarkastus- ja huoltoväli.....	11



19.4.2016

1 Ikkunaliittymien tiivistys liitosnauhalla

Liitosnauhat tulee asentaa siten, että nauha-asennus liittää ikkunan karmirakenteen ilmatiiviisti ulkoseinärakenteen sisäkuoren ilmanpitävään rakennekerrokseen. Liitosnauhatuotteilla toteutettujen ikkunaliittymien tiivistysten tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Lisäksi liitosten vesihöyrynvastuksen ja ilmatiiviyyden on oltava sellainen, ettei seinän kosteuspitoisuus sisäilman vesihöyryn konvektion tai diffuusion vuoksi muodostu haitalliseksi.

Asennuksessa tai materiaaleissa ei saa olla sellaisia puutteita tai epäjatkuvuuskoh-
tia, jotka heikentävät liittymän ilmatiiviyyttä siten, että edellä mainitut vaatimukset ikkunaliittymien ilmatiiviydelle eivät täyty.

2 Liitosnauhalla toteutettavien ikkunaliitosten suunnittelu

Suunnitelmissa esitettyjen työtapojen ja materiaalien tulee soveltua käytettäviksi rakennustöille asetetun tavoitetaso mukaisissa tiivistystöissä. Niiden tulee myös täyttää tiivistystavan suunnitellulle käyttöiälle sekä kohteen mahdollisille erityispiirteille asetetut vaatimukset.

Ikkunaliittymien rakenteet tulee aina suunnitella kokonaisuutena siten, että ilmatiivi-
yden toteutumisen lisäksi rakenne toimii lämpö- ja kosteusteknisesti oikein.

2.1 Liitosnauhan valintaan vaikuttavat tekijät

Olenaisena vaatimuksena valittavalle tuotteelle on, että käytettävien liitosnauhatuotteiden tulee mahdollistaa ikkunaliittymän ilmatiivis toteutus. Liitosnauhan on myös mahdollistettava tarvittaessa monimuotoisten liitosten toteutettavuus (mm. nurkat, kulmat ja kohdat, joissa alustamateriaalit vaihtuvat). Määritellyn liitosnauhan tulee kaikilta osin soveltua suunniteltuun käyttötarkoitukseensa huomioiden muun muassa asennustapa, alustamateriaalit, työvirheiden korjattavuus sekä kohteen mahdolliset erityiset kemialliset tai fysikaaliset rasitustekijät.

Liitosnauhalla vaadittavat rakennusfysikaaliset ominaisuudet kuten vesihöyrynläpäisevyys sekä muut ominaisuudet kuten muodonmuutoskyky ja nauhan paksuus tulee määrittää tapauskohtaisesti.

Asennustöissä tulee pyrkiä käyttämään saman materiaalitoimittajan tuotteita. Muussa tapauksessa tuotteiden yhteensopivuus keskenään tulee varmistaa kunkin materiaalin osalta erikseen.

Materiaalien ominaisuudet eivät saa heikentyä rakenteiden suunnitellun käyttöiän aikana siten, että rakenteille suunnitellussa asetetut vaatimukset eivät enää täyty.

Ikkunaliittymien sisäpuolisessa tiivistyksessä käytettävien materiaalien tulee olla vähäpäästöisiä, (esimerkiksi M1, EC1-materiaalipäästöluokituksen vaatimukset täyttäviä) tuotteita.



19.4.2016

2.2 Suunnitelma-asiakirjojen sisältö

Suunnitelmissa esitettyjen ohjeistusten tulee olla selkeitä sekä riittävän yksityiskohtaisia ja sovellettavat työtavat tulee esittää jokaiselle rakenneratkaisulle erikseen.

Kohteen suunnitelma-asiakirjoista tulee käydä ilmi vähintään seuraavat asiat:

- Vaadittavat asennusolosuhteet
- Rakenteiden ja valmiiden asennusten suojaus
- Käytettävät materiaalit
- Materiaalin varastointi ja suojaus
- Alustan esikäsittelytavat ja alustan vaatimukset
- Riittävän yksityiskohtainen kirjallinen ohjeistus ikkunaliittymien tiivistyksen toteutuksesta
- Riittävän yksityiskohtaiset detaljipiirrokset ikkunaliittymien toteutuksesta
- Sovellettavat laadunvarmistusmenetelmät ja eri työvaiheista toteutettavat työmallit
- Vaadittu ilmatiiviuden tavoitetaso

3 Materiaalien säilytys ja suojaus

Kaikki asennuksissa käytettävät materiaalit tulee säilyttää ja suojata mekaaniselta rasitukselta siten, että ne eivät vaurioitu kuljetuksen tai varastoinnin aikana. Asennuksissa tulee käyttää vain ehjiä tuotteita.

3.1 Varastointi työmaalla

Materiaalin varastoinnissa tulee noudattaa materiaalitoimittajan ohjeita sekä kohteen suunnitelma-asiakirjoissa määriteltyjä tapoja kunkin käytettävän tuotteen säilytysolosuhteille ja suojaukselle. Tuotteet tulee varastoida työmaalla siten, että ne ovat suojassa suoralta auringonpaisteelta, kastumiselta, jäätymiseltä, likaantumiselta sekä mekaanisilta vaurioilta.

Ennen asennusta materiaalien kunto tulee tarkastaa ja vaurioituneet tai puutteellisissa olosuhteissa säilytetyt materiaalit on vaihdettava uusiin ennen asennusten suorittamista.

3.2 Säilyvyys

Tuotteiden käytössä tulee noudattaa materiaalitoimittajan määrittelemiä, tuotekohtaisia säilyvyysaikoja. Ennen asennusta materiaalien viimeinen käyttöaika tulee tarkastaa ja vanhentuneet materiaalit on vaihdettava uusiin ennen asennusten suorittamista.

3.3 Esiasennettujen liitosnauhojen suojaus

Ikkunakarmeihin tehtaalla esiasennetut liitosnauhat tulee suojata siten, että ne eivät vaurioitu kuljetuksen tai varastoinnin aikana. Suojaukset saa poistaa vasta ennen ikkunan asentamista paikoilleen.

Ennen asennusta materiaalien kunto tulee tarkastaa ja vaurioituneet liitosnauhat on irrotettava karmipinnalta ja vaihdettava uusiin ennen asennusten suorittamista.



19.4.2016

3.4 Valmiiden asennusten suojaus

Valmiit liitosnauha-asennukset tulee tarvittaessa suojata ennen peittävien rakennekerrosten asennusta. Liitosnauha-asennusten kunto ja ilmatiiviys tulee tarkastaa ennen rakenteiden peittämistä.

4 Asennusolosuhteet

Asennukset tulee suorittaa materiaalitoimittajan ohjeistusten ja suunnitelma-asiakirjojen edellyttämässä asennusolosuhteissa. Määriteltyjen olosuhteiden toteutuminen tulee varmistaa asennustöiden alusta loppuun saakka ja tarvittaessa järjestää kohteeseen esimerkiksi väliaikainen lämmitys.

Olosuhteiden toteutumista asennustöiden aikana, kuten lämpötilaolosuhteita ja ilman suhteellista kosteutta, voidaan todentaa esimerkiksi seurantamittauksien avulla. Oikeanlaisten lämpö- ja kosteusolosuhteiden lisäksi liitosnauha-asennusten aikana tilojen tulee olla pölyttömät ja siistit. Pölyviä työvaiheita ei tule suorittaa liitosnauha-asennusten aikana.

5 Alustan kunto, liitospintojen puhdistus ja esikäsitteily

Liitospintojen tulee olla puhtaita, lujasti kiinni alustassaan ja vapaita tartuntaa heikentävistä aineista sekä riittävän tasaisia, ehjiä ja halkeilemattomia liitosnauha-asennuksen ilmatiiviin toteutuksen mahdollistamiseksi. Pintojen tulee lisäksi olla kuivia ja pölyttömiä ennen asennustöiden aloittamista.

Pohjusteaineiden kuivumisajoissa tulee noudattaa materiaalitoimittajan ohjeita ja pohjusteiden soveltuvuus käytettävän liitosnauhan kanssa tulee varmistaa materiaaliakohtaisesti.

Rakenteiden pintalämpötilojen ja alustan kosteuden tulee vastata materiaalitoimittajien määrittämiä vähimmäisvaatimuksia asennusolosuhteille.

5.1 Karmipinnat (puu, teräs, alumiini)

Karmipinnat tulee puhdistaa liasta ja roskista nihkeäpyyhinnän sekä tarvittaessa esimerkiksi teräslastan avulla. Maalipinnan tulee olla yhtenäinen ja hyvin kiinni alustassaan. Tarvittaessa hilseillyt maali- tai lakkapinta poistetaan, karmipinnat hiotaan ja pintakäsittelään uudelleen.

Jotkin pintakäsittelyt, kuten tietyt lakat saattavat vaikuttaa liitosnauhan tai tiivistysmassan ja karmipinnan väliseen tartuntaan. Materiaalin soveltuvuus asennettavaksi tietylle alustalla tulee tarkastaa materiaaliakohtaisesti ja karmipinnan esikäsitteilyssä tulee noudattaa materiaalitoimittajan ohjeistusta.

5.2 Betonipinnat

Betoniset pinnat tulee puhdistaa tartuntaa heikentävistä aineista (esimerkiksi alustastaan irti olevat kerrokset, sementtiliima ja muottiöljy) lujaan betonipintaan saakka. Betonipinta on yleensä riittävän luja, kun hiontapinnassa on näkyvässä betonin leikkaantunut kiviaines. Betonipinnan epätasaisuudet tasoitetaan alustan ja pintamateriaalin kanssa yhteensopivalla tasoitteella. Pohjustusaineen käyttö ennen tasoitusta



19.4.2016

varmistetaan tasoitteen teknisistä tiedoista. Tasoitetyössä kiinnitetään erityisesti huomiota nurkkien toteutukseen.

Tarvittaessa tasoitettu pinta hiotaan ja puhdistetaan pölystä huolellisella imuroinnilla. Betoni- ja tasoitepinnat pohjustetaan liitosnauha valmistajan ohjeen mukaisesti ennen liitosnauhan asentamista.

5.3 Harkko- ja tiilipinnat

Huokoiset ja epäyhtenäiset harkko- ja tiilipinnat tulee tasoittaa ennen liitosnauhan asennusta. Tasoitepinnan tulee olla tasainen, ehjä, yhtenäinen, kauttaaltaan kiinni alustassaan sekä ilmatiivis. Pinnat tulee puhdistaa tartuntaa heikentävistä aineista esimerkiksi hiomalla.

Harkko- ja tiilipintojen epätasaisuudet tasoitetaan alustan ja pintamateriaalin kanssa yhteensopivalla tasoitteella. Pohjustusaineen käyttö ennen tasoitusta varmistetaan tasoitteen teknisistä tiedoista. Tasoitetyössä kiinnitetään erityisesti huomiota nurkkien toteutukseen. Tasoitustyössä tulee huomiota kiinnittää erityisesti sisänurkkien toteutukseen. Tasoitteen pinnat tulee puhdistaa liasta ja pölystä imuroinnin avulla.

Tasoite- ja harkkopinnat pohjustetaan liitosnauha valmistajan ohjeen mukaisesti ennen liitosnauhan asentamista.

5.4 Höyrynsulku

Höyrynsulkupinnat tulee puhdistaa liasta, roskista ja pölystä nihkeäpyyhinnän avulla. Ikkuna-aukkoa ympäröivän höyrynsulkukalvon pinnassa ei saa olla ryppyjä, repeämiä tai epäjatkuvuuskohtia, jotka heikentävät liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyttä. Käytettävän liitosnauhan soveltuvuus höyrynsulkumateriaalin kanssa tulee varmistaa materiaalikohtaisesti.

5.5 Ikkunaliittymän rakojen lämmöneristäminen ja tilkitseminen

Ennen liitosnauhan asentamista ikkunaliittymät sekä ikkunakarmin ja rakenteen väliset raot tulee lämmöneristää suunnitelmassa määritellyllä tavalla. Lämmöneristys voidaan toteuttaa esimerkiksi paisuvalla saumanauhalla tai pursottamalla rakoihin polyuretaanivaahtoa.

Leikattaessa esimerkiksi polyuretaanivaahdotuksen pullistumia ja roiskeita samaan tasoon muiden pintojen kanssa tulee esiasennettujen liitosnauhojen vaurioittamista välttää. Vaurioituneet nauhat tulee uusia.

6 Liitosnauhan asentaminen

Asennustyön kaikissa vaiheissa tulee noudattaa kuinkin materiaalitoimittajan asennusohjeistusta sekä suunnitelma-asiakirjoissa esitettyjä työtapoja.

Asennustyössä ei saa käyttää teräviä työkaluja sekä nauhan venyttämistä tulee välttää mekaanisten vaurioiden tai nauhan myöhemmän irtoamisen ehkäisemiseksi. Ennen liitosnauhan asennusta tulee varmistaa käytettävien tuotteiden eheys.



19.4.2016

6.1 Liitosnauhan kiinnitys liitospinnoille

Liitosnauha asennetaan alustaansa painamalla siten, että asennuksessa nauhaan ei synny ryppyjä tai poimuja, jotka vähentävät valmiin liitoksen ilmatiiviyttä. Liitosnauha kiinnitetään ensin ikkunakarmin pintaan koko pituudeltaan, jonka jälkeen nauha kiinnitetään ulkoseinärakenteen liitospintaan.

Asennuksen jälkeen nauhan tartunta kauttaaltaan, koko liitospinnalle varmistetaan painamalla nauhaa alustaan tarkoitukseen soveltuvalla telalla tai lastalla. Nauhan ja liitospinnan väliin ei saa jäädä ilmakuplia tai alueita, joissa nauha ei ole täysin tarttunut alustaansa.

Nauhat tulee asentaa siten, että ne eivät pingotu. Nauhoihin ei saa asennuksen jälkeen jäädä jännityksiä, jotka saattavat ajan kuluessa irrottaa nauhaa liitospinnoilta. Pingottuneet nauhat saattavat myös vaurioitua peittävien rakennekerrosten asennuksen yhteydessä.

Rakenteissa tapahtuvien, esimerkiksi puurakenteiden kuivumisesta johtuvien liikkeiden varalta liitosnauha tulee asentaa riittävän löysästi siten, että nauhaan ei synny jännityksiä rakenteiden liikkumisen johdosta.

Asennuksen yhteydessä vaurioitunut tai poimuuntunut nauha tulee uusida tai vaurion ollessa hyvin paikallinen, nauha paikataan materiaalitoimittajan ohjeistuksen mukaisella menetelmällä.

Asennuksen yhteydessä kaikkien liimapintojen suoja-paperit tulee poistaa kokonaan liitosnauhojen liimapinnoilta.

6.2 Vastepinnan leveys liiyyttävillä pinnoilla

Vastepinnan leveyden eli liitosnauhan asennusleveyden liitospinnalle tulee vastata materiaalitoimittajan ilmoittamaa vähimmäisleveyttä. Kuitenkin niin, että:

- Vastepinnan toteutunut vähimmäisleveys ikkunakarmin sisäpinnalla on 5 mm koko nauha-asennuksen pituudelta.
- Liitosnauhan ollessa asennettuna karmin sivupinnalle vastepinnan toteutuneen vähimmäisleveyden tulee saavuttaa vähintään 13 mm koko nauha-asennuksen pituudelta.
- Vastepinnan toteutunut leveys ulkoseinärakenteen ilmatiiviiseen kerrokseen tulee olla vähintään 30 mm ehjälle pinnalle koko nauha-asennuksen pituudelta.

Erityistapauksissa, esimerkiksi saranatappien sijaitessa hyvin lähellä karmin reunaan, tulee toimenpiteet riittävän ilmatiiviyden saavuttamiseksi määrittää tapauskohtaisesti. Vastepinnan tartunta-alan ollessa pieni, tulee erityistä huomiota kiinnittää liitosnauhan rypyttömään asennukseen ja nauhan tartunta liitospinnalle on varmistettava huolellisesti.

6.3 Limitykset ja liitokset

Liitosnauhojen asennuksessa tulee välttää tarpeettomia jatkoskohtia, joissa nauhat asennetaan limittäen toistensa päälle. Nauhat pyritään leikkaamaan ja asentamaan



19.4.2016

siten, että ikkunaliittymän sivu voidaan toteuttaa yhdellä, sivun pituuteen sopivalla nauhalla.

Tapauksissa, joissa limitystä ei voida välttää, tulee limityksen liitoskohdan ilmatiiviys varmistaa huolellisesti, etenkin käytettäessä paksuja liitosnauhoja.

Limitys- ja liitoskohtien ilmatiiviys tulee myös aina varmistaa käytettäessä nauhoja, joissa liimapintaa ei ole asennettu koko nauhan leveydelle.

Liitosten ilmatiiviys voidaan varmistaa esimerkiksi tiivistysmassalla tai teippaamalla materiaalitöimittajan ohjeistuksen mukaisesti. Liittyvät nauhat asennetaan toistensa päälle siten, että limityksen toteutunut vähimmäisleveys on 50 mm.

6.4 Nurkkaliitosten toteutus

Liitosnauha-asennusten ilmatiiviiseen toteutukseen ikkunaliittymien nurkkakohdissa tulee kiinnittää erityistä huomiota. Ikkunaliittymien nurkkakohdissa suositellaan käytettäväksi nurkka-asennukseen tarkoitettua nurkkakappaletta tai nurkkakohdat tulee muutoin varmistaa, esimerkiksi erillisellä liitosnauhapalalla.

Nurkka-asennusten yhteydessä on vältettävä nauhan pingottumista nurkkakohtaan siten, että asennettuun nauhaan jää jännityksiä. Asennus tulee suorittaa siten, että liittymän nauha-asennukseen ei jää poimuja, koloja tai muunlaisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi, jotka heikentävät asennuksen ilmatiiviyttä.

Nurkkakohdan ilmatiiviys tulee aina varmistaa nauhan päälle asennettavalla tiivistysmassalla. Tiivistysmassa tulee asentaa koko nurkan leveydelle siten, että tiivistys ulottuu nauhan ulkopinnan yli vähintään 30 mm ja nurkkaliitosten pohjaan saakka peittäen sisä- ja ulkonurkan.

7 Korjausrakentaminen

Korjauskohteiden liitosnauha-asennuksissa tulee lähtökohtaisesti pyrkiä samanlaiseen ilmatiiviyteen kuin uudiskohteissakin, mikäli tämä on alkuperäisen rakenteen vuoksi mahdollista ja toteutuksesta ei aiheudu korjauslaajuuteen nähden kohtuuttomia kustannuksia. Periaatteena kuitenkin on, että liittymän ilmatiiviys ei saa olla heikompi kuin alkuperäisen toteutuksen ilmatiiviys.

Liitosnauha tulisi ensisijaisesti asentaa rakenteen ilmanpitävään kerrokseen, mutta vähintään rakennuslevyn pintaan sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, esimerkiksi ikkunoiden uusimisen yhteydessä.

Liitosnauha-asennus voidaan toteuttaa myös maalattuun betoniseen tai muurattuun pintaan sellaisissa tapauksissa, joissa betonirakenteen pintakerrokset ovat hyvin kiinni alustassaan. Alustan riittävä lujuus ja soveltuvuus tulee arvioida kokonaisuutena.

Vanhan alustan tartunta ja ilmatiiviys tulee aina varmistaa ennen nauha-asennusta ja tarvittaessa suorittaa alustan tarvittavat korjaukset. Irtonaiset tasoite- ja maalikerrokset tulee poistaa sekä mahdolliset betonipinnan tai rakennuslevyjen halkeamat paikata.



19.4.2016

8 Peittävien rakenteiden ja rakennekerrosten asennus

Peittävät rakenteet kuten peitelistat ja tasoitekerrokset tulee asentaa siten, ettei tehtyyn tiivistykseen synny ilmapuotokehtia. Työtavan sekä tasoitemateriaalien ja kiinnitysliimojen yhteensopivuus tulee tarkastaa käytetyille tuotteille aina materiaalikohdaisesti. Peittävien rakenteiden asennus suositellaan toteutettavaksi siten, että rakenteet ovat uusittavissa ilman, että liittymän ilmatiiviys heikentyy.

9 Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen tarkoituksena on todentaa tehtyjen liitosnauha-asennusten onnistuminen ja vastaavuus asetettuun tavoitetasoon ja asennuksilta edellytettyyn laatutasoon nähden.

Laadunvarmistustoimenpiteitä suoritetaan suunnitelma-asiakirjoissa esitetyssä laajuudessa ja määritellyillä menetelmillä sekä kohteelle asetetun tavoitetason mukaisesti. Kaikkien liitosnauha-asennusten oikeellisuus tulee todeta vähintään aistinvaraisesti. Alla on esitetty laadunvarmistuksessa huomioitavia seikkoja.

Laadunvarmistustoimenpiteillä tulee selvittää seuraavia asioita:

- Alustan riittävä puhtaus, lujuus, eheys ja tasaisuus
- Asennusolosuhteiden toteutuminen asennustöiden ajan
- Työtapojen ja materiaalien soveltuvuus liittymän rakenteille
- Esikäsittelyn onnistuminen ja käsittelyn riittävä laajuus
- Toteutuksen vastaavuus suunnitelmiin
- Asennuksessa käytettyjen materiaalien vastaavuus suunnitelmissa esitettyihin tuotteisiin
- Vastepintojen leveyden riittävyys
- Liitosnauhojen riittävä tartunta ja kiinnipysyvyys liitospinnoille
- Ikkunaliittymän liitosnauha-asennuksen ilmatiiviys

9.1 Asennuksista suoritettavat mallityöt

Työtapojen soveltuvuus ja asennustyön hyväksyttävä laatu suositellaan määriteltäväksi Mallityön avulla. Mallityö voi sisältää useita eri työvaiheita. Mallityöt tulee määrittellä kohteen suunnitelma-asiakirjoissa. Malleja käytetään vertailukohtana arvioitaessa myöhempien työsuoritusten laatua.

Mallityöt ja varsinainen työ tehdään vastaavissa olosuhteissa ja vastaavilla työmenetelmillä kuin varsinaisen työn toteutus. Työmallit hyväksytään tilaajan edustajan ja suunnittelijan toimesta ennen työn jatkumista.

Malleja voidaan suorittaa esimerkiksi seuraavista työvaiheista:

- Ikkunaliittymän rakojen tilkitseminen/polyuretaanivaahdotus
- Alustan esikäsittely
- Alustan puhdistus, tasoitus ja hionta
- Liitosnauhan asennus
- Nurkkaliitosten tiivistys ja muut hankalat yksityiskohdat
- Peittävien rakenteiden ja rakennekerrosten asennus



19.4.2016

9.2 Liitosnauhan riittävä tartunta alustaan liitospinnoilla

Nauhan riittävää tartuntaa liitospinnoille voidaan arvioida aistinvaraisen tarkastelun avulla, kolmioviiltomenetelmällä. Tarkastelussa arvioidaan muun muassa liitosnauha-asennusten kiinnityksen riittävää leveyttä liitospinnoilla sekä liitosnauhan kiinnitystä kauttaaltaan alustaansa.

Kolmioviiltokokeessa liitosnauhan läpi alustaan tehdään kaksi noin 50 mm pitkää viiltoa. Viillot tehdään noin 40° kulmassa toisiinsa nähden. Näin syntyneen kielekkeen päätä irrotetaan alustastaan siten, että siihen voidaan tarttua. Kielekettä vedetään käsin alustasta kohtisuoraan. Viiltokoe tulee suorittaa noin 20 °C, ±2 °C lämpötilassa ja asennuksen tulee olla vähintään 7 vuorokauden ikäinen.

Huomioitavaa on, että riippuen liitosnauhan liimamassan ominaisuuksista, kiinnitysalustasta (etenkin maalattu puu) ja vallitsevista lämpöolosuhteista, tartunnan muodostuminen voi kestää pidempään kuin 7 vuorokautta ja tästä syystä kolmioviiltomenettelyn hyödynnettävyys ja tulosten luotettavuus tulee aina arvioida tapauskohtaisesti. Luotettavimmin riittävä tartunta saavutetaan huolellisella kiinnityspintojen esikäsitteilyllä ja esikäsitteilyn onnistuminen tulee todentaa aistinvaraisesti.

Tartunta on riittävä, kun:

- Kielekettä vedettäessä tasaisesti tunnetaan selvä vastus
- Kieleke irtoaa siten, että irtoaminen tapahtuu koheesiomurtumana (limaa jää sekä alustaan, että liitosnauhan pintaan)
- Vedettäessä nauha menee poikki tai yli 50 % nauhasta jää kiinni alustaan

Viilletty kohta paikataan tiiviisti kolmioviiltokokeen jälkeen. Paikkauksessa käytetään samaa nauhaa ja tiivistysmassaa kuin varsinaisessa tiivistyksessä.

Tartuntavetokoeilaitteistolla tehtävä tartuntalujuuden arviointi soveltuu parhaiten joustamattomille materiaaleille, eikä sitä näin ollen voida täysin hyödyntää liitosnauhojen tartuntavetolujuuden arvioinnissa.

9.3 Liitosnauha-asennusten ilmatiivyyden toteutuminen

Liitosnauha-asennusten ilmatiivyyden todentamiseksi käytetyt menetelmät tulee olla esitettyinä kohteen suunnitelma-asiakirjoissa. Menetelminä voidaan käyttää esimerkiksi merkkiainekokeita, lämpökuvausta ja aistinvaraista tarkastelua. Asennuksen ilmatiiviyys tulee todentaa ennen peittävien rakenteiden asentamista ja tarvittaessa myös asennusten jälkeen.

Liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyys tulee aina todentaa vähintään aistinvaraisen tarkastelun avulla. Aistinvaraisen tarkastelun havaintoja suositellaan varmennettavaksi esimerkiksi merkkisavun avulla. Merkkisavulla tarkasteltaessa tulee huoneilman olla alipaineinen ulkoilmaan ja ulkoseinärakenteeseen nähden.

Merkkiainekokeet tulee suorittaa RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin laadunvarmistusohjeistuksen mukaisella menetelmällä ja ohjekortissa määritellyissä olosuhteissa.

Lämpökuvaukset tulee suorittaa RT 14-10850 *Rakennuksen lämpökuvaus* –ohjekortin mukaisella menetelmällä ja ohjekortissa määritellyissä olosuhteissa.



19.4.2016

10 Asennusta suorittavien henkilöiden pätevyys

Ikkunaliittymien tiivistystöitä suorittavilta henkilöiltä suositellaan edellytettäväksi esimerkiksi VTT:n myöntämää rakenteiden tiivistäjän henkilösertifikaattia tai vähintään materiaalivalmistajan antamaa käyttökoulutusta tai perehdytystä käytettäville tuotteille.

11 Tarkastus- ja huoltoväli

Jos ikkunaliittymien tiivistyksen tarkastus- ja huoltoväliä ei ole erikseen suunnitelmassa määritelty, noudatetaan RT 18-10922 *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin sekä ikkunaliittymien tiivistykselle määritellyn tavoitetason mukaisia ohjeita.

Ikkunaliittymien tiivistyksen kunto tulee tarkastaa vähintään aistinvaraisesti sisäpuolelta sekä tarvittaessa rakenneavausten, lämpökuvauksen, merkkiainekokeiden tai merkkisavutarkastelun avulla.

Kun tekninen käyttöikä on saavutettu, tulee ikkunaliittymien tiiviyttä ja tiivistysten kuntoa tarkastella, tavoitetasosta ja rasitustekijöistä riippuen 1...5 vuoden välein.



Heikki Immonen
Ardex Oy
Kalkkipellontie 4
02650 Espoo

Ardex STB 75-15 -karminauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiivyyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Ardex STB 75-15 -karminauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrynsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrynsulkukalvon pintaan toteutettuna Ardex STB 75-15 -karminauhalla.

1.2 Materiaali

Ardex STB 75-15 -karminauha on tarkoitettu ikkunan ja seinän rajakohdan ilma-
vuototiivistyksiin. Karminauha on noin 1 mm paksu, höyrytiivis nauha, joka on pääl-



lystetty polypropyleenipintakankaalla. Liimana nauhassa on käytetty synteettistä kumia ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on kaksiosainen.

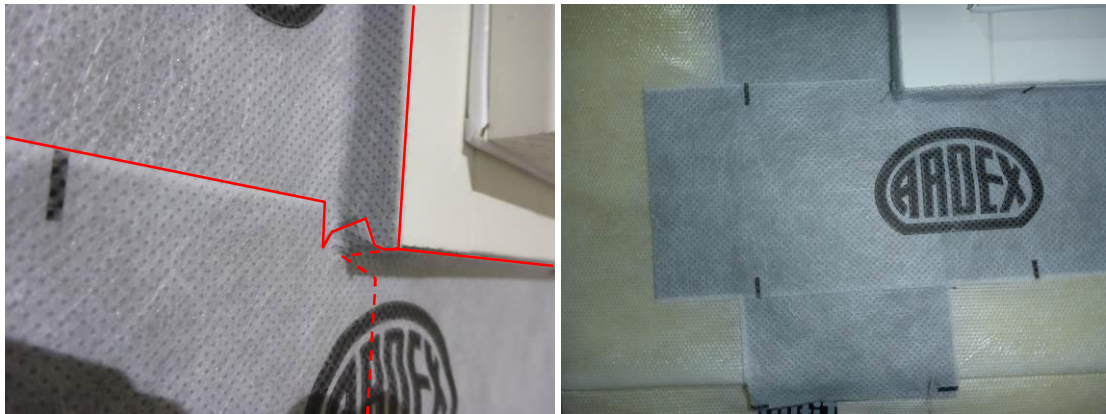
1.3 Asennustapa

Karminauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sivupintaan ja höyrynsulkukalvon pintaan siten, että rakenteen höyrynsulkukalvo liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 13-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 75 mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä karminauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja höyrynsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen nauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, tahtaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta (kuvat 2 ja 3).

Asennukset suoritettiin materiaalityöntekijän toimesta.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, tahtaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineakaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimmällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleni höyrinsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





Kuva 6. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai karminauhan irtoamista alustastaan ei havaittu.

Merkkiainelaitteella havaittiin hyvin paikallisesti vähäistä vuotoa nauhan ja karmin sivupinnan liitoksesta. Aistinvaraisessa tarkastelussa vuotokohdassa ei havaittu poikkeavuuksia. Havaittu vuoto johtuu todennäköisimmin karmipinnan pienestä epätasaisuudesta (kuva 7). Nauhaa painettiin alustaansa vuotokohdasta, jonka jälkeen vuotoa ei enää havaittu.



Kuvat 7. Merkkiainelaitteella havaittiin hyvin paikallisesti vähäistä vuotoa nauhan ja karmin sivupinnan liitoksesta. Aistinvaraisessa tarkastelussa vuotokohdassa ei havaittu poikkeavuuksia.



Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merk-kisavun avulla. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merk-kiainekokeiden tuloksien kanssa.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella Ardex STB 75-15 -karminauhalla tehdyllä asennuksella voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen tutkimuksessa sovellettua asennustapaa noudattaen.

Huomiota tulee kuitenkin kiinnittää nauha-asennuksen tartuntaan ja varmistua nauhan kiinnittymisestä alustaan kaikilta osin. Nauha ei myöskään saa pingottua asennuksen yhteydessä. Nauhan kuitukangas pyrkii vastustamaan muodonmuutosta aiheuttaen jännitystä nauhan kiinnitysliimaan. Kiinnitysliiman ollessa ominaisuuksiltaan viskoelastinen, pysyvä jännitys vähentää liiman sisäistä koheesiota aiheuttaen liimamateriaaliin venymää ja saattaa johtaa liitosnauhan irtoamiseen alustastaan.

Tuotteen asennuksessa alustaan sekä alustan esikäsitellyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalitoimittajan työohjeita.

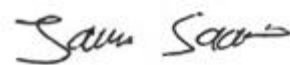
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanan Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Heikki Immonen
Ardex Oy
Kalkkipellontie 4
02650 Espoo

Ardex 8+9 –vedeneristeen ja STB 75-15-karminauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Ardex STB 75-15 -karminauhalla ja Ardex 8+9 –vedeneristeellä tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrynsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrynsulkukalvon pintaan toteutettuna Ardex STB 75-15 –karminauhalla ja 8+9 -vedeneristeellä.

1.2 Materiaali

Ardex STB 75-15 -karminauha on tarkoitettu ikkunan ja seinän rajakohdan ilma-
vuototiivistykseen. Karminauha on noin 1 mm paksu, höyrytiivis nauha, joka on päällystetty polypropyleenipintakankaalla. Liimana nauhassa on käytetty synteettistä kumia ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on kaksiosainen.



Ardex 8+9 -vedeneriste on tarkoitettu lattioiden ja seinien vedeneristykseen sekä rakenneliittymien ilmatiivystykseen. Ardex 8+9 on 2-komponenttinen, sementtipohjainen vedeneristysmassa.

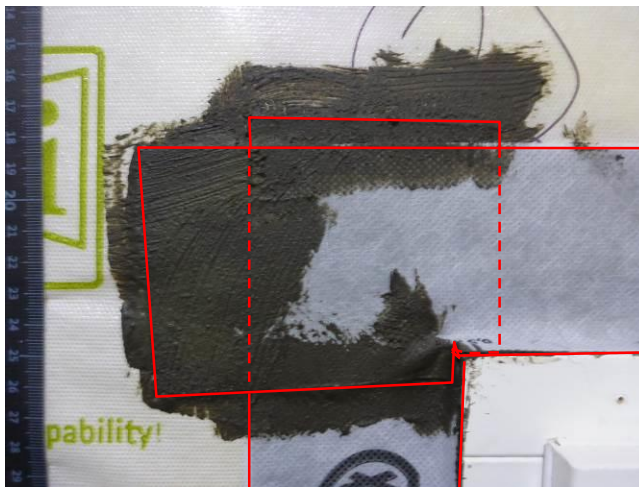
1.3 Asennustapa

Karminauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sivupintaan ja höyrynsulkukalvon pintaan siten, että rakenteen höyrynsulkukalvo liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 13-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 75 mm.

Asennukset toteutettiin siten, että ikkunakarmin sivupintaan siveltiin Ardex 8+9 -vedeneristettä ja karminauha painettiin kiinni märkään sivelyyn. Ikkunakarmin ja höyrynsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen nauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, tahtaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta. Päällekkäin asettuvien nauhojen limityksen päälle siveltiin Ardex 8+9 -vedeneristettä. (kuva 2).

Asennukset suoritettiin materiaalitoimittajan toimesta.



Kuva 2. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, tahtaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta. Päällekkäin asettuvien nauhojen limityksen päälle siveltiin Ardex 8+9 -vedeneristettä.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiivyyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiivyyttä mitattiin laitteen herkimmällä herkkyystasolla 10.



Asennuksen ilmatiivyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 5).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 3). Paine-eroa mitattiin koko testuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiivyyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 3 ja 4. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





Kuva 5. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu pääosin siististi. Nauhan poimuuntumista havaittiin yhden nurkkaliitoksen kohdalla, vedeneristetyllä alueella. (kuva 6).



Kuva 6. Nauhan poimuuntumista havaittiin yhden nurkkaliitoksen kohdalla, vedeneristetyllä alueella.

Merkkiainelaitteella havaittiin paikallisia vähäisiä vuotoja kahdesta kohtaa saumoista, joissa nauhat limittyvät toistensa päälle. Havaitut vuodot johtuvat todennäköisimmin siitä, että nauha ei ollut kauttaaltaan kiinni alustassaan (kuvat 7 ja 8).





*Kuvat 7 ja 8. Merkkiainelaitteella havaittiin paikallisia vähäisiä vuotoja kahdesta koh-
taa saumoista, joissa nauhat limittyvät toistensa päälle.*

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merk-
kisavun avulla. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merk-
kiainekokeiden tuloksien kanssa.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella tutkimuksessa sovellettu
Ardex STB 75-15 -karminauhalla ja Ardex 8+9 –vedeneristeellä tehty asennus ei täysin
sovellu käytettäväksi ikkunan karmirakenteen liitoksessa ilmanpitävästi ulkoseinän
höyrynsulkukalvon pintaan.

Nauhan tartunta höyrynsulkukalvon pintaan epäonnistui todennäköisesti karmipin-
nan vedeneristesivelyn seurauksena. Asennettaessa nauha vedeneristepintaan karmilla,
ei nauhaa voida huolellisesti painaa höyrynsulkukalvon pintaan sillä karmipintaan,
märän vedeneristeen päälle asennettu nauha saattaisi tällöin irrota alustastaan.

Limittäessä verrattain paksuja liitosnauhoja päällekkäin, saumakohdan tasoeron koh-
dalla saattaa nauhan tartunta jäädä puutteelliseksi, jos nauhaa ei voimakkaasti paineta
kiinni alustansa. Huomiota tulee kiinnittää nauha-asennuksen tartuntaan ja varmis-
tua nauhan kiinnittymisestä alustaan kaikilta osin

Tuotteen asennuksessa alustaan sekä alustan esikäsitellyssä ja puhdistuksessa tulee
noudattaa materiaalitoimittajan työohjeita.

Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatii-
viyden pitkäaikais-
kestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy

Mikko Koskivuori, Ins. AMK

Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega SL –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrynsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 23.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrynsulkukalvon pintaan toteutettuna Contega SL –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Contega SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega SL –liitosnauha on 0,3mm paksu, polypropyleenikudosvahvisteinen raken-



teen pintaan ja ikkunakarmin ulkoreunaan liimattava nauha. Vahvikenauhan alapintaan on asennettu ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on asennettu 20mm:n levyisenä kaistana nauhan molemmille puolille, vastakkaisille sivuille (kuvat 2 ja 3).



Kuvat 2 ja 3. Liimapinta on asennettu 20mm:n levyisenä kaistana nauhan molemmille puolille, vastakkaisille sivuille.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ensin ikkunan karmin sivupintaan, koko karmin ympäri ennen ikkunan asennusta. Ikkunan kulmiin tehtiin nauhalla noin 30-40mm:n taitos liitosnauhan liepeen nurkka-asennusta varten (kuvat 4 ja 5).

Ikkuna-asennuksen jälkeen liitosnauha asennettiin höyrnsulkukalvon pintaan kääntäen nauha höyrnsulkukalvon pintaa vasten ja poistamalla höyrnsulun pintaan asennettavan liimapinnan suojapaperi koko nauhan matkalta. Ikkunan alanurkkien nurkkaliitokset toteutettiin taittamalla nauhaa siten, että taitos mahdollisti liitosnauhan kääntymisen laskostettuna nurkan ympäri (kuvat 6 ja 7). Ikkunan ylänurkkien nurkkaliitokset toteutettiin venyttämällä nauhaa siten, että liimapinnan tartunta höyrnsulun pintaan toteutui koko matkalta. (kuva 8).

Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli 20mm ja höyrnsulun pinnassa 20mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 65mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja höyrnsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoriskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Materiaalitoimittajan edustaja suoritti liitosnauhan asennuksen ikkunakarmin pintaan ja Vahanen Oy:n edustajat suorittivat liitosnauhan kiinnityksen höyrnsulun pintaan.





Kuvat 4 ja 5. Liitosnauhan asennus toteutettiin ensin ikkunan karmin sivupintaan, koko karmin ympäri ennen ikkunan asennusta. Ikkunan kulmiin tehtiin nauhalla noin 30-40mm:n taitos liitosnauhan liepeen nurkka-asennusta varten.



Kuvat 6 ja 7. Ikkunan alanurkkien nurkkaliitokset toteutettiin taittamalla nauhaa siten, että taitos mahdollisti liitosnauhan kääntymisen laskostettuna nurkan ympäri.



Kuvat 8. Ikkunan ylänurkkien nurkkaliitokset toteutettiin venyttämällä nauhaa siten, että liimapinnan tartunta höyrynsulun pintaan toteutui koko matkalta.



2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimmällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 11).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 9). Paine-eroa mitattiin koko testirakennuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

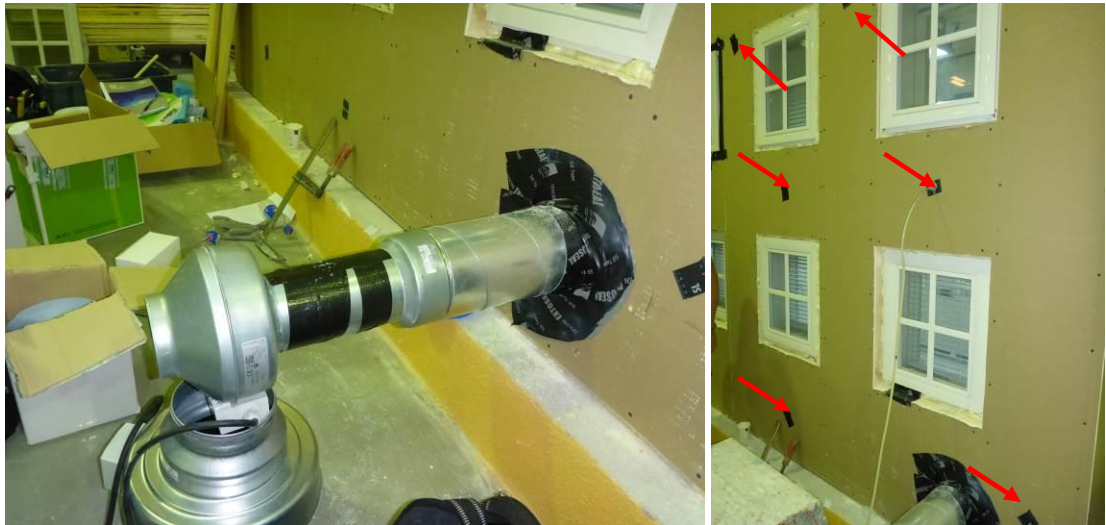
Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy





Kuvat 9 ja 10. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 11. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli tehty siististi. Poimuuntumista ei asennetussa liitosnauhassa havaittu. Ilmayhteyksiä liitoksen läpi havaittiin alanurkissa, joissa liitosnauha oli laskostettu taittaen nurkan muotoon sekä liitosnauhan limityskohdassa, jossa nauhan päät oli yhdistetty (kuvat 12 ja 13).

Liitosnauhan liimapinta vaikutti irronneen paikallisesti alustastaan noin 1-2 mm leveydeltä. Tarkasteltaessa asennusta havainnon todettiin johtuvan kuitenkin liitosnauhan hieman vinoon toteutuneesta asennuksesta karmipintaan. Nauhan liimapinta ylitti karmin reunan paikallisesti (kuva 14).

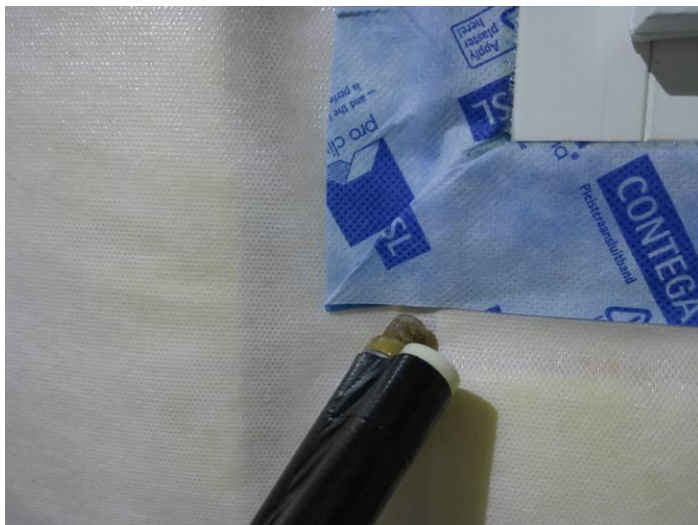


Kuvat 12 ja 13. Ilmayhteyksiä liitoksen läpi havaittiin nurkissa, joissa liitosnauha oli laskostettu taittaen nurkan muotoon sekä liitosnauhan limityskohdassa, jossa nauhan päät oli yhdistetty.



Kuva 14. Liitosnauhan liimapinta vaikutti irronneen paikallisesti alustastaan noin 1-2 mm leveydeltä. Tarkasteltaessa asennusta havainnon todettiin johtuvan kuitenkin liitosnauhan hieman vinoon toteutuneesta asennuksesta karmipintaan. Nauhan liimapinta ylitti karmin reunan paikallisesti.

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmapuotoja nurkissa, joissa liitosnauha oli laskostettu taittaen nurkan muotoon, sekä liitosnauhan limityskohdassa, jossa leikatut nauhan päät oli yhdistetty. Havaitut ilmapuodot olivat merkittäviä (kuvat 15-18).



Kuvat 15, 16 ja 17. Merkittäviä vuotoja havaittiin nurkkaliitoksissa, joissa liitosnauhat oli laskostettu taittamalla nurkan muotoon.





Kuva 18. Merkittävää vuotoa havaittiin liitosnauhan limityskohdassa, jossa leikatut nauhan päät oli yhdistetty.

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkkinavun avulla. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merkkiainekokeesta saatujen tulosten kanssa (kuvat 19 ja 20).



Kuvat 19 ja 20. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merkkiainekokeesta saatujen tulosten.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Contega SL –liitosnauhalla tehdyllä asennuksella ei voida ikkunan karmirakennetta liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen pelkällä liitosnauha-asennuksella, jossa nauha laskostetaan nurkan muotoon, jolloin liittymään jää ilmayhteyksiä. Ilmatiivis liittyminen saavutettiin nurkkaliitoksessa, jossa nauha venytettiin nurkan yli siten, että liimapinta tarttui höyrynsulkukalvon pintaan koko matkalta. Liitosnauha-asennuksen nurkka- ja limityskohdissa suositellaan ilmatiiviys varmistettavaksi lisäksi erillisellä liitosnauhakappaleella tai järjestelmään kuuluvalla tiivistysmassalla. Jatkokseen materiaalitoimittaja suosittelee tiivistysteipin asennusta

Liitosnauha-asennuksen havaitut ilmavuodot johtuvat liitosnauhaan taitettaessa ja liittymässä jäävistä ilmayhteyksistä liitoksen läpi. Koska liimapinta nauhassa ei ole ko-



ko nauhan levyinen, jää taitoksiin sekä nauhan limityskohtiin ilmayhteyksiä liitoksen läpi niissä kohdissa, joissa nauha ei kiinnity kauttaaltaan liitospinnoille. Toisaalta nauhan liimapinnan ollessa vain osittainen, nauhan asennus siten, että liitosnauhaan ei jää jännityksiä, jotka saattavat irrottaa nauhaa alustastaan, helpottuu huomattavasti.

Contega SL –liitosnauhaa käytettäessä tulee nurkkataitokset ja limityskohdat varmistaa aina järjestelmän liitosnauhalla, esimerkiksi Contega Solido SL –liitosnauhalla, tai järjestelmän tiivistysmassalla siten, että ilmavuotoja nurkkataitoksissa tai limityskohdissa ei tapahdu.



Kuva 21. Liitosnauhaa taitettaessa jää ilmayhteyksiä liitoksen läpi niille alueille, joissa nauha ei liimaudu liitospinnoille.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 8.8.2016

Vahanen Oy

Mikko Koskivuori, Ins. AMK

Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega Solido SL –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega Solido SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrynsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 23.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrynsulkukalvon pintaan toteutettuna Contega Solido SL –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Contega Solido SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega Solido SL -liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropyleenikudosisvahvistettu rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilma-



tiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on jaettu kahteen osaan.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sivupintaan ja höyrynsulkukalvon pintaan siten, että rakenteen höyrynsulkukalvo liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 13-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 80mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja höyrynsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, taittaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta (kuvat 2 ja 3). Ikkunan yläreunan nurkkaliitoksien päälle asennettiin tämän lisäksi nurkkakohdan kokonaan peittävä liitosnauhakaista (kuva 4).

Asennukset toteutettiin materiaalitoimittajan antamilla työohjeilla. Materiaalitoimittajan edustaja oli läsnä asennustöiden aikana.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, taittaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan taitos punaisella katkovivalla.





Kuvat 4. Ikkunan yläreunan nurkkaliitoksien päälle asennettiin lisäksi nurkkakohdan kokonaan peittävä liitosnauhakaista. Asennetun liitosnauhan ääriviivat on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan taitos punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 7).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 5). Paine-eroa mitattiin koko testirakennuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittauksia kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

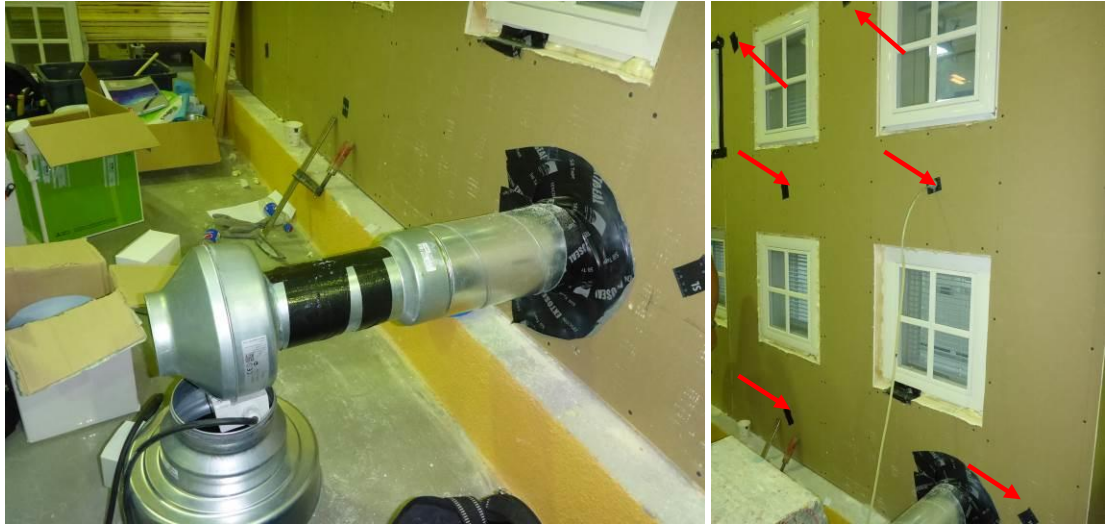
Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleeni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti



2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 5 ja 6. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 7. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.



3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista ei liitosnauhan pinnoilla havaittu. Ikkunan alareunojen nurkkaliitoksissa havaittiin liitosnauhan auenneen nurkan yli taitetuista kohdista (kuva 8) noin 1 vuorokausi asennuksen jälkeen. Muilta osin ei liitosnauhojen irtoamista alustastaan ja limityskohdista havaittu.



Kuva 8. Ikkunan alareunojen nurkkaliitoksissa havaittiin liitosnauhan auenneen nurkan yli taitetuista kohdista.

Merkkiainelaitteella havaittiin vuotoja ikkunan alareunojen nurkkaliitoksissa, joissa liitosnauhojen nurkan yli taitettujen liepeiden havaittiin myös aistinvaraisesti irronneen alustastaan (kuvat 9 ja 10).



Kuvat 9 ja 10. Vähäistä vuotoa havaittiin ikkunan alareunojen nurkkaliitoksissa, joissa liitosnauhojen nurkan yli taitettujen liepeiden havaittiin myös aistinvaraisesti irronneen alustastaan

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkkinäytteen avulla. Merkkinäytteen avulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merkkiainekokeiden tuloksien kanssa (kuva 11).





Kuva 11. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merkkiainekokeesta saatujen tulosten kanssa.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella Contega Solido SL –liitosnauhalla tehdyllä asennuksella voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen. Kuitenkaan kokeessa sovellettu asennustapa ei täysin sovellu käytettäväksi sellaisenaan ilman nurkkaliitosten tiiviiden varmistamista esimerkiksi tiivistysmassalla.

Ikkunaliittymän alanurkissa havaittu liitosnauhan taitosten aukeaminen todennäköisimmin johtuu nauhan taittamisesta ja venymisestä aiheutuneesta jännityksestä taitettuun liepeeseen. Venymätön liitosnauhan kuitukangas pyrkii vastustamaan muodonmuutosta aiheuttaen jännitystä nauhan kiinnitysliimaan. Kiinnitysliiman ollessa ominaisuuksiltaan viskoelastinen, pysyvä jännitys vähentää liiman sisäistä koheesiota aiheuttaen liimamateriaaliin venymää ja liitosnauhan irtoamisen alustastaan. Ilmiö on tavanomainen synteettisillä polymeereillä. Tästä syystä erityistä huomiota tulee kiinnittää nurkkaliitosten toteutukseen ja varmistaa nurkkaliitosten ilmatiiviys esimerkiksi tiivistysmassalla. Asennukset tulee myös pyrkiä toteuttamaan siten, että nauhaan ei kohdistu pingottumisesta aiheutuvia jännityksiä.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalitoimittajan työohjeita.

Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy

Mikko Koskivuori, Ins. AMK

Jarmo Saarinen, DI



Kalle Kautto
Tremco Illbruck International GmbH
Vanha Porvoontie 238
01380 Vantaa

Illbruck ME402 –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Illbruck ME402 -liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrinsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrinsulkukalvon pintaan toteutettuna Illbruck ME 402 –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Illbruck ME 402 –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten yleiseen ilmatiiviiseen tiivistämiseen sekä sisä-, että ulkoasennuksissa. Illbruck ME 402 –liitosnauha on 1,2 mm



paksu, venymätön, tiivistenauha, joka on päällystetty muovialumiiniyhdistelmäfoliolla. Liimana nauhassa on käytetty plasto-elastista butyylikumimassaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin etu- ja sivupintaan sekä höyrönsulun pintaan siten, että rakenteen höyrönsulkukalvo liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli etupinnalla noin 5-10 mm ja koko sivupinnan leveydeltä, noin 13-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50 mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja höyrönsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat päällekkäin, ristiin (kuvat 2 ja 3).

Asennukset suoritettiin materiaalityöntekijän toimesta.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat päällekkäin, ristiin.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrönsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

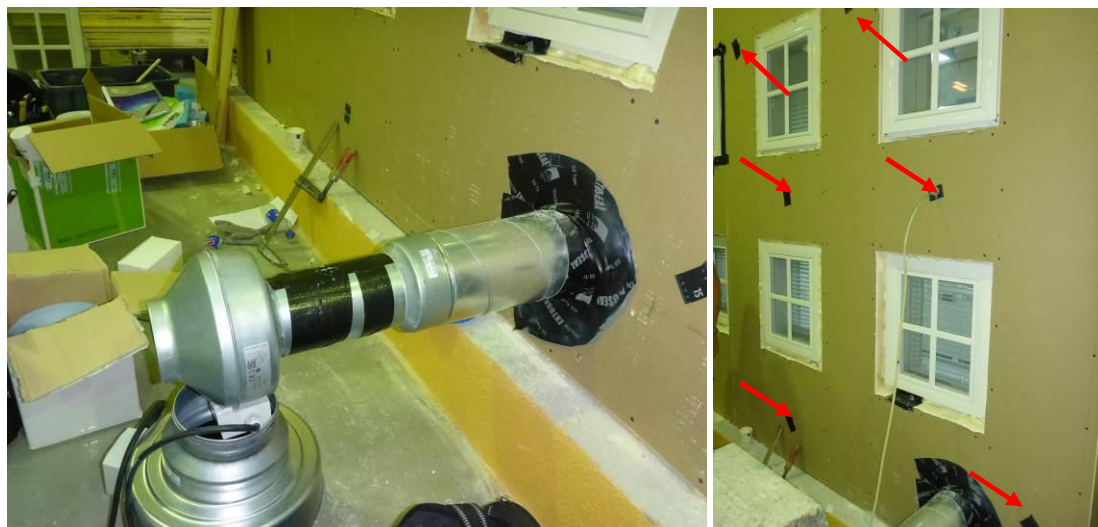
Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleni höyrnsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy



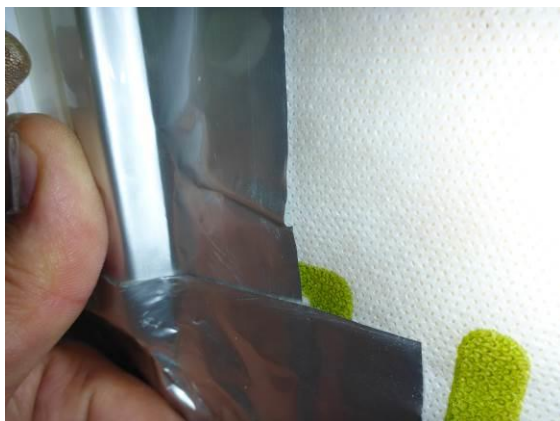
Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 6. Testirakennuksen sisäpuoli ja liitosnauha-asennukset.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennustyö oli toteutettu siististi. Liitosnauhan havaittiin paikallisesti poimuuntuneen asennuksen yhteydessä (kuva 7). Liitosnauhan ei kuitenkaan havaittu irronneen alustastaan miltään osin noin vuorokausi asennuksen jälkeen.



Kuva 7. Liitosnauhan havaittiin paikallisesti poimuuntuneen asennuksen yhteydessä.

Merkkiainelaitteella ei havaittu ilmavuotoja ikkunaliittymän liitosnauhatiivistyksestä.

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiivyyttä tarkasteltiin merk-
kisavun avulla. Myöskään merk kisavun avulla ei ilmavuotoja havaittu.



4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Illbruck ME 402 -liitosnauhalla tehdyllä, kokeessa sovelletulla asennustavalla voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrnsulkukerrokseen.

Nauhan voimakkaan tartunnan vuoksi asennuksessa tulee noudattaa huolellisuutta poimuuntumisen ja nauhan pingottumisen ehkäisemiseksi.

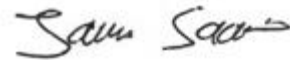
Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016
Vahana Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Kalle Kautto
Tremco Illbruck International GmbH
Vanha Porvoontie 238
01380 Vantaa

Illbruck ME500 –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Illbruck ME500 -liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrynsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrynsulkukalvon pintaan toteutettuna Illbruck ME 500 –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Illbruck ME 500 –liitosnauha on tarkoitettu ikkunarakenteiden tiivistämiseen sekä sisä-, että ulkoasennuksissa. Illbruck ME 500 –liitosnauha on venymätön, kuitukangasvahvisteinen tiivistysnauha. Nauhan vahvikekankaan alapinnassa on ilmatiivis muovikalvo.



Nauha koostuu kahdesta osasta: kuitukangas, jonka alapintaan on asennettu butyyliiimamassa ja jäykkä muovinauha, jonka molemmille puolille on asennettu ohut liimakerros. Liimapinta ei ole yhtenäinen koko liitosnauhan leveydeltä, vaan liimakerrosten välissä on noin 6 mm:n levyinen alue, johon liimamassaa ei ole asennettu.



Kuva 2. Illbruck ME 500 –liitosnauha on venymätön, kuitukangasvahvisteinen tiivistysnauha. Nauhan vahvikekankaan alapinnassa on ilmatiivis muovikalvo. Nauha koostuu kahdesta osasta: kuitukangas, jonka alapintaan on asennettu butyyliiimamassa ja jäykkä muovinauha.

1.3 Asennustapa

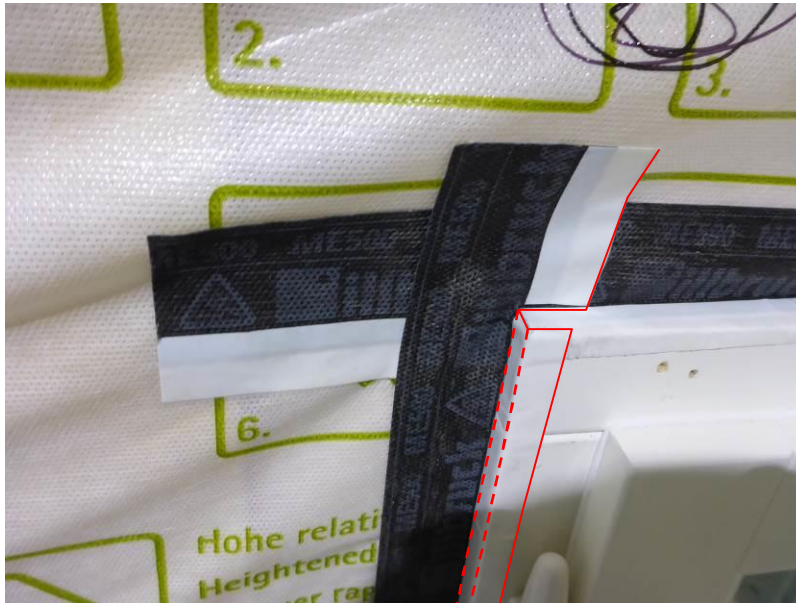
Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmien etu- ja sivupintaan sekä höyrinsulun pintaan siten, että rakenteen höyrinsulkukalvo pyrittiin liittämään yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli etupinnalla noin 10 mm ja koko sivupinnan leveydeltä, noin 13 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50 mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja höyrinsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, taittaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta (kuva 3).

Asennukset suoritettiin Vahanen Oy:n toimesta.





Kuva 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, taittaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiivyyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineakaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiivyyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiivyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testausajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetyypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittauskaasuseoksen annettua tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

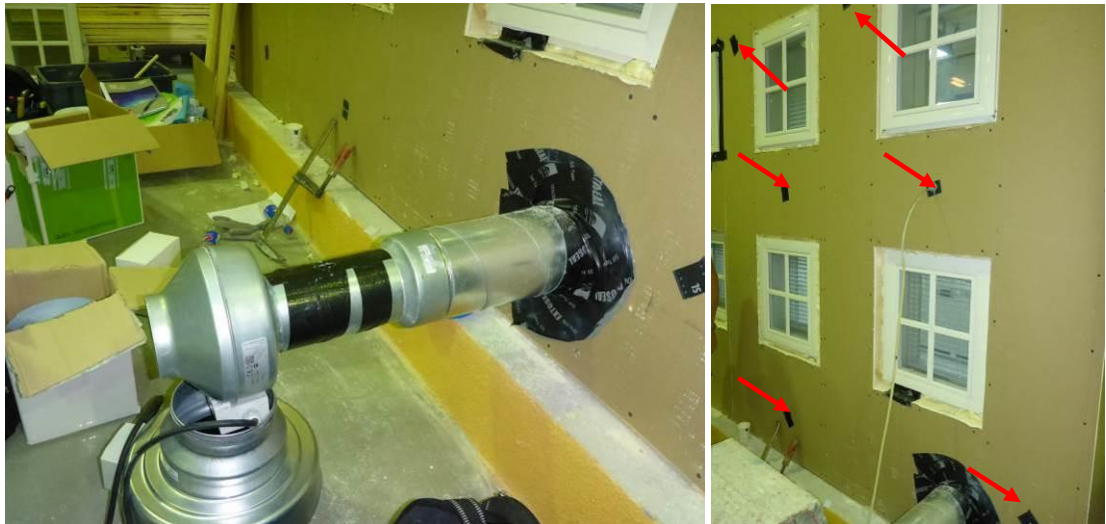
Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* -ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiivyyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.



Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 6. Testirakennuksen sisäpuoli ja liitosnauha-asennukset.

3 Havainnot

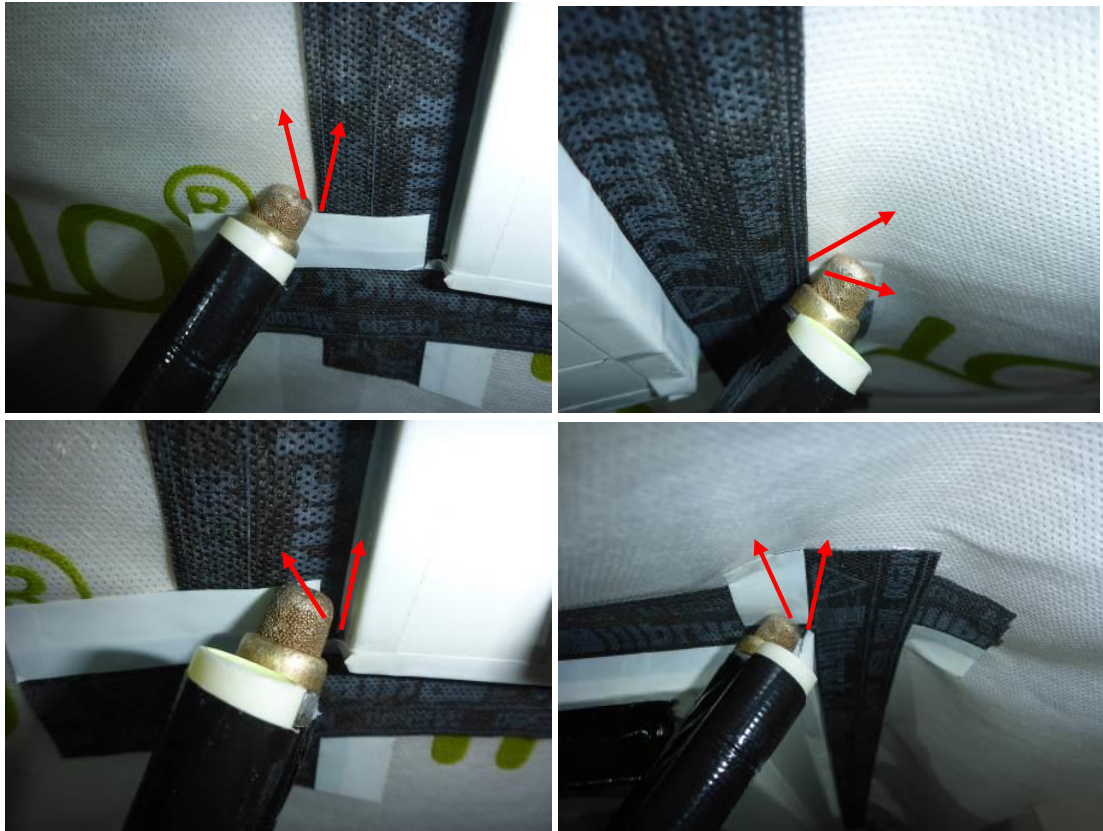
Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli siisti. Aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin useita ilmayhteyksiä liitosnauhojen taitoksissa, kohdissa, joissa liitosnauha taittuu höyrynsulkukalvon tasalta karmipinnalle. Taitoskohdat sijoittuvat siihen osaan nauhaa, jossa ei ole yhtenäistä liimapintaa (kuvat 7 ja 8).



Kuvat 7 ja 8. Aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin useita ilmayhteyksiä liitosnauhojen taitoksissa, kohdissa, joissa liitosnauha taittuu höyrynsulkukalvon tasalta karmipinnalle.

Merkkiainelaitteella havaittiin merkittäviä ilmavuotoja useista liitosnauhan taitos- ja limityskohdista kaikissa nurkkakohdissa, nauhojen liepeiden alta. Vuotoja havaittiin liittymän nurkkakohdissa sekä kohdista, joissa liitosnauhat risteävät. Merkkiainekokeet havainnot olivat yhteneväisiä aistinvaraisessa tarkastelussa tehtyihin havaintoihin nähden. Merkkiainekokeen havaintoja on esitetty kuvissa 9...12.





Kuvat 9...12. Merkkiainelaitteella havaittiin merkittäviä ilmavuotoja useista liitosnauhan taitos ja limityskohdista. Vuotoja havaittiin liittymän nurkkakohdissa sekä kohdista, joissa liitosnauhat risteävät.

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkkinäytteen avulla. Merkkinäytteen avulla tehdyt havainnot olivat yhteneväisiä merkkiainekokeissa saatuihin tuloksiin. Vuotoja havaittiin liittymän nurkkakohdissa sekä kohdista, joissa liitosnauhat risteävät.



Kuvat 13 ja 14. Merkkinäytteen avulla tehdyt havainnot olivat yhteneväisiä merkkiainekokeissa saatuihin tuloksiin.



4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Illbruck ME 500 -liitosnauhalla toteutetulla asennuksella ei voida ikkunan karmirakennetta liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen pelkällä liitosnauhasennuksella, vaan liitosnauha-asennuksen nurkka- ja limityskohdissa tulee ilmatiiviyys varmistaa lisäksi erillisellä kauttaaltaan alustan pintaan liimautuvalla liitosnauhakappaleella tai tiivistysmassalla.

Liitosnauha-asennuksen havaitut ilmavuodot johtuvat liitosnauhaan taitettaessa ja limityksessä jäävistä ilmayhteyksistä liitoksen läpi. Koska liimapinta nauhassa ei ole koko nauhan levyinen, jää taitoksiin, nauhan päivin sekä nauhan limityskohtiin ilmayhteyksiä liitoksen läpi niissä kohdissa, joissa nauha ei kiinnity kauttaaltaan liitospinnoille.

Illbruck ME 500 -liitosnauhaa käytettäessä tulee nurkkataitokset, liitosnauhan päät ja limityskohdat varmistaa aina erillisellä kauttaaltaan alustan pintaan liimautuvalla liitosnauhakappaleella tai tiivistysmassalla siten, että ilmavuotoja nurkkataitoksissa tai limityskohdissa ei tapahdu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

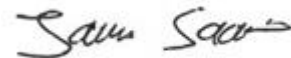
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Tescon Vana –yleisteipin asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Tescon Vana –yleisteipillä tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiveyttä. Asennus suoritettiin rakenteen höyrynsulkukalvon pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 23.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys höyrynsulkukalvon pintaan toteutettuna Tescon Vana –yleisteipillä.

1.2 Materiaali

Tescon Vana –yleisteippi on tarkoitettu rakennusten yleiseen ilmatiiviiseen tiivistämiseen sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Tescon Vana -yleisteippi on ohut, venymätön, polypropyleenikudosvahvisteinen, rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman



ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sivupintaan ja höyrnsulkukalvon pintaan siten, että rakenteen höyrnsulkukalvo liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 13-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 75mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja höyrnsulkukalvon pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin taittaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta (kuvat 2 ja 3).

Asennukset toteutettiin materiaalitoimittajan antamilla työohjeilla. Materiaalitoimittajan edustaja oli läsnä asennustöiden aikana.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin taittaen nauhan liepeet päällekkäin leikkauskohdasta. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan taitos punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.



Asennuksen ilmatiivyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrnsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiivyyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. polyetyleni höyrnsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
2. 150 mm puurunko + mineraalivilla
3. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 6. Testirakennuksen sisäpuoli ja liitosnauha-asennukset.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden työ oli siistin näköistä ja reikiä tai poimuuntumista ei teipin pinnoilla havaittu. Ikkunan nurkkaliitoksissa havaittiin liitosnauhan auenneen nurkan yli taitetuista kohdista (kuva 7) n. vrk asennuksen jälkeen. Muilta osin ei teipin irtoamista alustastaan havaittu.



Kuva 7. Ikkunan nurkkaliitoksissa havaittiin liitosnauhan auenneen nurkan yli taitetuista kohdista.

Merkkiainelaitteella havaittiin vuotoja ikkunan nurkkaliitoksissa, joissa liitosnauhojen nurkan yli taitettujen liepeiden havaittiin myös aistinvaraisessa tarkastelussa irronneen alustastaan (kuvat 8 ja 9).



Kuvat 8 ja 9. Voimakasta vuotoa havaittiin ikkunan nurkkaliitoksissa, joissa teipin nurkan yli taitettujen liepeiden havaittiin myös aistinvaraisessa tarkastelussa irronneen alustastaan

Merkkiaiinekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merk-kisavun avulla. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merk-kiaiinekoekoiden tuloksien kanssa (kuva 10).



Kuvat 10. Merkkisavulla tehdyt havainnot ilmavuodoista olivat yhteneviä merk-kiaiinekoekoiden tulosten kanssa.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Tescon Vana -yleisteipillä tehdyllä asennuksella voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen. Tuotetta ei kuitenkaan ole suunniteltu juuri tähän käyttötarkoitukseen. Myöskään kokeessa sovellettu asennustapa ei täysin sovellu käytettäväksi sellaisenaan ilman nurkkaliitosten tiiviiden varmistamista esimerkiksi tiivistysmassalla.

Alanurkissa havaittu liitosnauhan taitosten aukeaminen todennäköisimmin johtuu nauhan pingottumisesta aiheutuneesta jännityksestä taitettuun liepeeseen. Venymätön teipin kuitukangas pyrkii vastustamaan muodonmuutosta aiheuttaen jännityksiä teipin kiinnitysliimaan. Kiinnitysliiman ollessa ominaisuuksiltaan viskoelastinen pysyvä

jännitys vähentää liiman sisäistä koheesiota aiheuttaen liimamateriaaliin venymää ja liitosnauhan irtoamisen alustastaan. Ilmiö on tavanomainen synteettisillä polymeereillä. Tästä syystä erityistä huomiota tulee kiinnittää nurkkaliitosten toteutukseen ja varmistaa nurkkaliitosten ilmatiiviyys esimerkiksi erillisellä joustavalla tiivistysmassalla. Asennukset tulee myös pyrkiä toteuttamaan siten, että nauhaan ei kohdistu pingottumisesta aiheutuvia jännityksiä.

Tuotteen käytössä tulee noudattaa materiaalitoimittajan työohjeita, jotta työvirheiden mahdollisuus saadaan minimoitua.

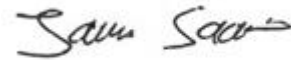
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Heikki Immonen
Ardex Oy
Kalkkipellontie 4
02650 Espoo

Ardex STB 75-15 -karminauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiivyyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Ardex STB 75-15 -karminauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiivyyttä. Asennus suoritettiin kipsilevyn pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys kipsilevyn pintaan toteutettuna Ardex STB 75-15 -karminauhalla

1.2 Materiaali

Ardex STB 75-15 -karminauha on tarkoitettu ikkunan ja seinän rajakohdan ilma-
vuototiivistykseen. Karminauha on noin 1 mm paksu, höyrytiivis nauha, joka on päällystetty polypropyleenipintakankaalla. Liimana nauhassa on käytetty synteettistä ku-



mia ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on kaksiosainen.

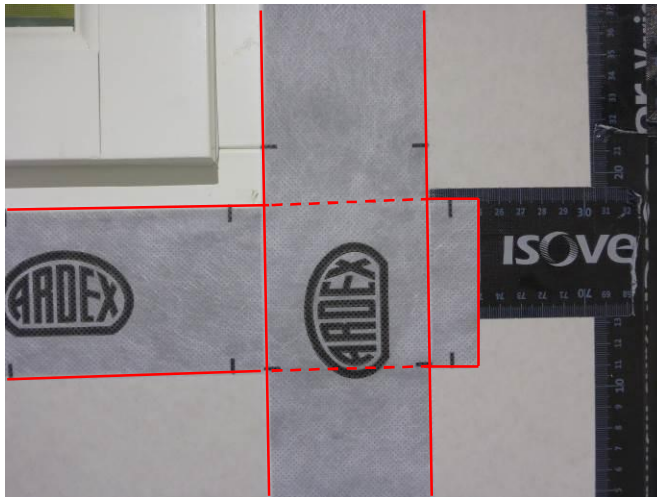
1.3 Asennustapa

Karminauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sisäpintaan ja kipsilevyn pintaan siten, että karmirakenne liitettiin yhtenäisesti rakennuslevyn pintaan. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 75 mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä karminauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja kipsilevyn pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen nauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa (kuva 2).

Asennukset suoritettiin materiaalitoimittajan toimesta.



Kuva 2. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja karminauhan limitys punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineakaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.



Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrnsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 5).

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* -ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. 13 mm kipsilevy, saumat ja liittymät teipattiin ilmatiiviisti
2. polyetyleni höyrnsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 3 ja 4. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





Kuva 5. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista nauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu.

Merkkiainelaitteella ei havaittu ilmavuotoja ikkunaliittymän nauhatiivystyksestä. Kaasun leviämistä rakenteessa varmistettiin tekemällä reikä karminauhan pintaan. Tehdyistä reiästä havaittiin kaasun levinneen hyvin mallirakennuksen ulkoseinärakenteessa (kuva 6).



Kuva 6. Kaasun leviämistä rakenteessa varmistettiin tekemällä reikä nauhan pintaan. Tehdyistä reiästä havaittiin kaasun levinneen hyvin mallirakennuksen ulkoseinärakenteessa.



Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkisavun avulla. Myöskään merkkisavun avulla ei ilmavuotoja havaittu.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella Ardex STB 75-15 -karminauhalla tehdyllä asennuksella voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän sisäverhouslevyn pintaan kokeessa sovellettua asennustapaa noudattaen.

Kuitenkin on huomioitava, että limittäessä verrattain paksuja liitosnauhoja päällekkäin aiheutuu saumakohtaan tasoerosta nauhan kiinnitysliimaan jännityksiä. Venymätön liitosnauhan vahvikeosa pyrkii vastustamaan muodonmuutosta. Kiinnitysliiman ollessa ominaisuuksiltaan viskoelastinen, pysyvä jännitys vähentää liiman sisäistä koheesiota aiheuttaen liimamateriaaliin venymää ja saattaa johtaa liitosnauhan irtoamiseen alustastaan paikallisesti. Ilmiö on tavanomainen vastaavanlaisilla liitosnauhoilla. Tästä syystä paksut nauhat eivät täysin sovellu käytettäväksi joustamattomilla alustoilla, joissa on limityksistä tai alusta muodoista johtuvia epätasaisuuksia, vaan tutkitunkaltaisessa tapauksessa suositellaan käytettäväksi ohuempaa liitosnauhaa tai erillistä tiivistysmassaa liitosten ilmatiiviyyden varmistamiseksi. Asennukset tulee myös pyrkiä toteuttamaan siten, että nauhaan ei kohdistu pingottumisesta aiheutuvia jännityksiä.

Sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, voidaan liitosnauha-asennus toteuttaa sisäverhouslevyn pintaan, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yhteydessä. Huomioitavaa myös on, että vaikka ikkunaliittymän ilmatiivis asennus rakennuslevyn pintaan onnistuisi, rakenteeseen voi siltä jäädä epäjatkuvuuskohtia, joista ilmavuotoja tapahtuu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöohjeita.

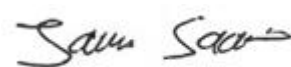
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega Solido SL –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega Solido SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin kipsilevyn pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 23.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys kipsilevyn pintaan toteutettuna Contega Solido SL –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Contega Solido SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega Solido SL -liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropyleenikudosisvahvisteinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on jaettu kahteen osaan.



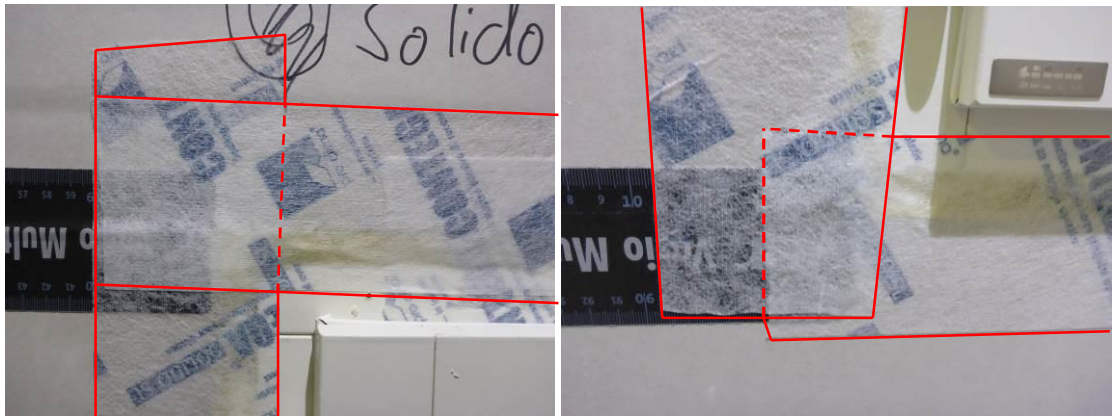
1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmen sisäpintaan ja kipsilevyn pintaan siten, että karmirakenne liitettiin yhtenäisesti rakennuslevyn pintaan. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 80mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja kipsilevyn pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa (kuvat 2 ja 3).

Asennukset toteutettiin materiaalitoimittajan antamilla työohjeilla. Materiaalitoimittajan edustaja oli läsnä asennustöiden aikana.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan limitys punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineikaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiivyyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiivyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.



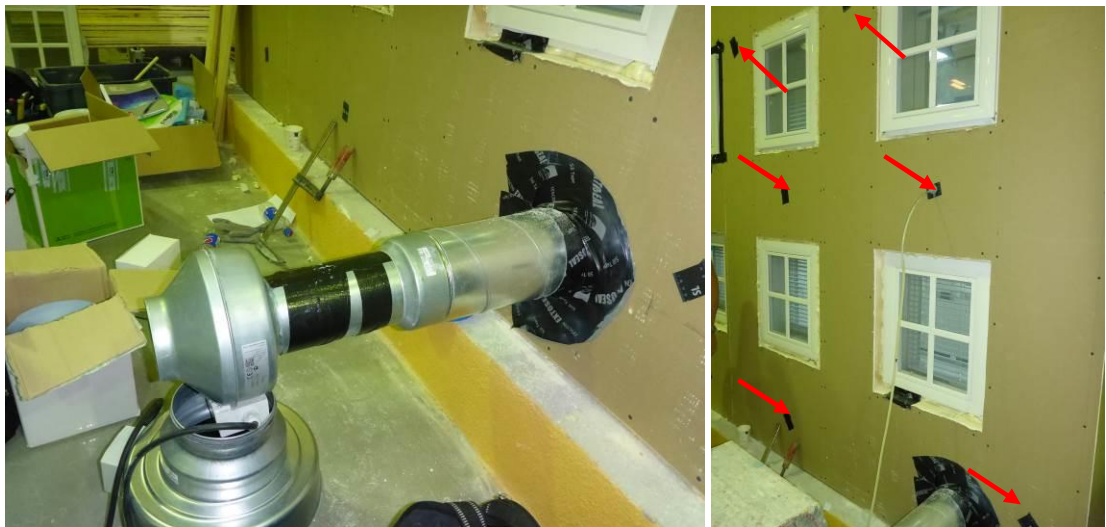
Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. 13 mm kipsilevy, saumat ja liittymät teipattiin ilmatiiviisti
2. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





Kuva 6. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu.

Merkkiainelaitteella ei havaittu ilmavuotoja ikkunaliittymän liitosnauhatiivistyksestä. Kaasun leviämistä rakenteessa varmistettiin tekemällä reikä liitosnauhan pintaan. Tehdystä reiästä havaittiin kaasun levinneen hyvin mallirakennuksen ulkoseinärakenteessa (kuvat 7 ja 8).



Kuvat 7 ja 8. Kaasun leviämistä rakenteessa varmistettiin tekemällä reikä liitosnauhan pintaan. Tehdystä reiästä havaittiin kaasun levinneen hyvin mallirakennuksen ulkoseinärakenteessa.



Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkisavun avulla. Myöskään merkkisavun avulla ei ilmavuotoja havaittu.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella Contega Solido SL –liitosnauhalla tehdyllä, tutkimuksessa sovelletulla asennustavalla voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän sisäverhouslevyn pintaan.

Vaikka nyt tehdyssä koestuksessa vuotoja ei havaittu, suositellaan karmirakenteen liittämistä sisäverhouslevyn sisäpinnan sijasta ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen. Sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, voidaan liitosnauha-asennus toteuttaa sisäverhouslevyn pintaan, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yhteydessä. Huomioitavaa myös on, että vaikka ikkunaliittymän ilmatiivis asennus rakennuslevyn pintaan onnistuisi, rakenteeseen voi siltä jäädä epäjatkuvuuskohtia, joista ilmavuotoja tapahtuu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitellyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

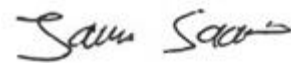
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiivyyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi -yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Extoseal Encors -butyyliinauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Extoseal Encors -butyyliinauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiveyttä. Asennus suoritettiin kipsilevyn pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys kipsilevyn pintaan toteutettuna Extoseal Encors butyyliinauhalla.

1.2 Materiaali

Extoseal Encors -butyyliinauha on tarkoitettu ikkuna- ja oviaukkojen suojaamiseen valumavedeltä. Extoseal Encors -butyyliinauha on noin 1 mm paksu, erittäin venyvä, butyyliinauha, joka on päällystetty venyvällä polyeteenikalvolla. Liimana nauhassa on käytetty butyylikumimassaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tar-



rapinnan suoja on yksiosainen, koska nauha halkaistiin koetta varten 50 mm:ksi 100 mm:n levyisestä nauhasta.

1.3 Asennustapa

Butyylinauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sisäpintaan ja kipsilevyn pintaan siten, että karmirakenne liitettiin yhtenäisesti rakennuslevyn pintaan. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50 mm (nauha halkaistiin 100 mm leveästä nauhasta).

Asennukset toteutettiin pelkällä butyylinauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja kipsilevyn pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen butyylinauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa (kuva 2).

Asennukset toteutettiin Vahanen Oy:n toimesta.



Kuva 2. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan limitys punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 5).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 3). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. 13 mm kipsilevy, saumat ja liittymät teipattiin ilmatiiviisti
2. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 3 ja 4. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





Kuva 5. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli pääosin siisti. Butyylinauhan havaittiin olevan irti alustastaan saumakohdissa, joissa eri sivujen nauhat limittyvät päällekkäin (kuva 6).



Kuva 6. Butyylinauhan havaittiin olevan irti alustastaan saumakohdissa, joissa eri sivujen nauhat limittyvät päällekkäin



Merkkiainelaitteella havaittiin ilmapuotoja tapahtuvan kohdista, joissa nauhat limittyvät päällekkäin. Nurkassa päällekkäin limittyvien liitosnauhojen saumakohtaan jää ilmayhteys liittymän läpi, josta voitiin havaita vähäistä vuotoa. (kuvat 7 ja 8).



Kuvat 7 ja 8. Nurkassa limittyvien liitosnauhojen saumakohtaan jää ilmayhteys liittymän läpi, josta voitiin havaita vähäistä vuotoa.

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiivyyttä tarkasteltiin merkisavun avulla. Merkkisavun avulla tehdyt havainnot olivat yhteneväisiä merkkiainekokeen tulosten kanssa.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tutkimuksessa tehtyjen kokeiden perusteella pelkkä Extoseal Encors -butyyliinauha ei tutkimuksessa sovellettua asennustapaa noudattaen täysin sovellu käytettäväksi ikkunaliittymien tiivistykseen joustamattomille alustoille.

Limittäessä verrattain paksuja liitosnauhoja päällekkäin aiheutuu saumakohdan ta-
soerosta nauhan kiinnitysliimaan jännityksiä. Vaikka liitosnauha on venyvä, jyrkän taitoksen kohdalla vahvikeosa pyrkii vastustamaan muodonmuutosta paikallisesti ja palautumaan alkuperäiseen muotoonsa. Kiinnitysliiman ollessa ominaisuuksiltaan viskoelastinen, pysyvä jännitys vähentää liiman sisäistä koheesiota aiheuttaen liimamateriaaliin venymää ja saattaa johtaa liitosnauhan irtoamiseen alustastaan paikallisesti. Ilmiö on tavanomainen vastaavanlaisilla liitosnauhoilla. Tästä syystä paksut nauhat eivät täysin sovellu käytettäväksi joustamattomilla alustoilla, joissa on limityksistä tai alusta muodoista johtuvia epätasaisuuksia, vaan tutkitunkaltaisessa tapauksessa suositellaan käytettäväksi ohuempaa liitosnauhaa tai joustavaa tiivistysmassaa liitosten ilmatiiviyyden varmistamiseksi. Asennukset tulee myös pyrkiä toteuttamaan siten, että nauhaan ei kohdistu pingottumisesta aiheutuvia jännityksiä.

Sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, voidaan liitosnauha-asennus toteuttaa sisäverhouslevyn pintaan, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yhteydessä. Huomioitavaa myös on, että vaikka ikkunaliittymän ilmatiivis asennus ra-



kennuslevyn pintaan onnistuisi, rakenteeseen voi siltä jäädä epäjatkuvuuskohtia, joista ilmavuotoja tapahtuu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitellyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöohjeita.

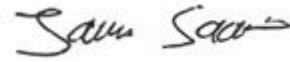
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 29.7.2016

Vahana Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Kalle Kautto
Tremco Illbruck International GmbH
Vanha Porvoontie 238
01380 Vantaa

Illbruck ME402 –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Illbruck ME402 -liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiveyttä. Asennus suoritettiin kipsilevyn pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 24.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys kipsilevyn pintaan toteutettuna Illbruck ME 402 –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Illbruck ME 402 –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten yleiseen ilmatiiviiseen tiivistämiseen sekä sisä-, että ulkoasennuksissa. Illbruck ME 402 –liitosnauha on 1,2 mm



paksu, venymätön, tiivistenauha, joka on päällystetty muovialumiini - yhdistelmäfoliolla. Liimana nauhassa on käytetty plasto-elastista butyylikumimassaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.

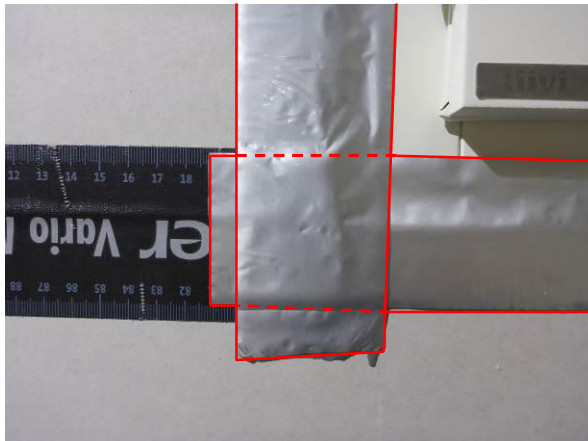
1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sisäpintaan ja kipsilevyn pintaan siten, että karmirakenne liitettiin yhtenäisesti rakennuslevyn pintaan. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50 mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja kipsilevyn pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa (kuva 2).

Asennukset suoritettiin materiaalitoimittajan toimesta.



Kuva 2. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan limitys punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 5).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 3). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinä-rakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinä-rakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinä-rakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. 13 mm kipsilevy, saumat ja liittymät teipattiin ilmatiiviisti
2. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 3 ja 4. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinä-rakenteessa.





Kuva 5. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

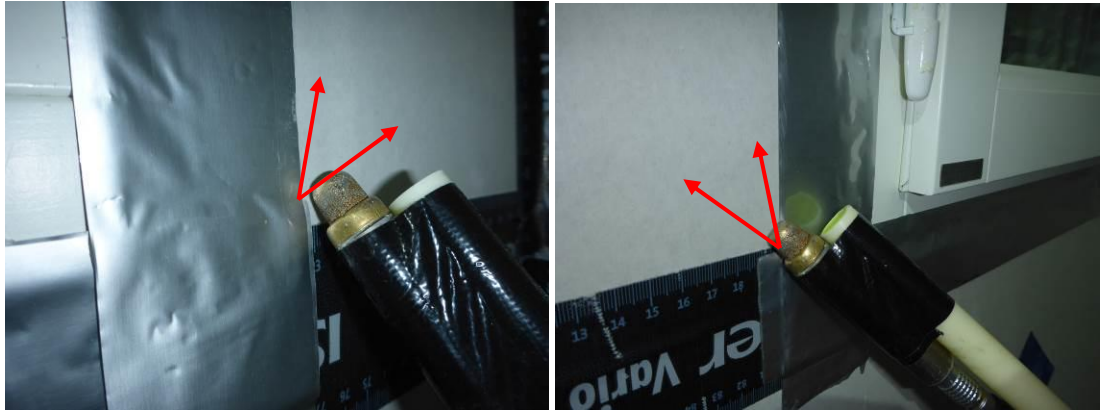
Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli pääosin siisti. Reikiä tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu. Yhden nurkan osalla liitosnauha oli hieman poimuuntunut (kuva 6).



Kuva 6. Yhden nurkan osalla liitosnauha oli hieman poimuuntunut

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja tapahtuvan kohdista, joissa nauhat limittyvät päällekkäin. Nurkassa limittyvien liitosnauhojen saumakohtaan jää ilmayhteys liittymän läpi, josta voitiin havaita vähäistä vuotoa. (kuvat 7 ja 8).





Kuvat 7 ja 8. Nurkassa limittyvien liitosnauhojen saumakohtaan jää ilmayhteys liittymän läpi, josta voitiin havaita vähäistä vuotoa.

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkkinäköavun avulla. Merkinäköavun avulla tehdyt havainnot olivat yhteneväisiä merkkiainekokeen tulosten kanssa.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella tutkimuksessa sovellettu asennustapa pelkällä Illbruck ME 402 -liitosnauhalla ei täysin sovellu käytettäväksi ikkunaliittymien tiivistykseen joustamattomille alustoille.

Limittäessä verrattain paksuja liitosnauhoja päällekkäin aiheutuu saumakohdan ta-
soerosta nauhan kiinnitysliimaan jännityksiä. Venymätön liitosnauhan vahvikeosa
pyrkii vastustamaan muodonmuutosta. Kiinnitysliiman ollessa ominaisuuksiltaan vis-
koelastinen, pysyvä jännitys vähentää liiman sisäistä koheesiota aiheuttaen liimamate-
riaaliin venymää ja saattaa johtaa liitosnauhan irtoamiseen alustastaan paikallisesti.
Ilmiö on tavanomainen vastaavanlaisilla liitosnauhoilla. Tästä syystä paksut nauhat ei-
vät täysin sovellu käytettäväksi joustamattomilla alustoilla, joissa on limityksistä tai
alusta muodoista johtuvia epätasaisuuksia, vaan tutkitunkaltaisessa tapauksessa suosi-
tellaan käytettäväksi ohuempaa liitosnauhaa tai joustavaa tiivistysmassaa liitosten il-
matiiviuden varmistamiseksi. Asennukset tulee myös pyrkiä toteuttamaan siten, että
nauhaan ei kohdistu pingottumisesta aiheutuvia jännityksiä.

Sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuulli-
sella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, voidaan liitosnauha-asennus
toteuttaa sisäverhouslevyn pintaan, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yh-
teydessä. Huomioitavaa myös on, että vaikka ikkunaliittymän ilmatiivis asennus ra-
kennuslevyn pintaan onnistuisi, rakenteeseen voi siltä jäädä epäjatkuvuuskohtia, joista
ilmavuotoja tapahtuu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitellyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa
materiaalitoimittajan työohjeita.

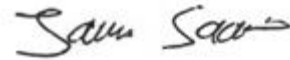


Koetuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016
Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Tescon Vana –yleisteipin asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella.

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Tescon Vana –yleisteipillä tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiivyyttä. Asennus suoritettiin kipsilevyn pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 23.9.2015 ja merkkiainekokeet 25.9.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys kipsilevyn pintaan toteutettuna Tescon Vana –yleisteipillä

1.2 Materiaali

Tescon Vana –yleisteippi on tarkoitettu rakennusten yleiseen ilmatiiviiseen tiivistämiseen sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Tescon Vana -yleisteippi on ohut, venymätön, polypropyleenikudosvahvisteinen, rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Ak-



rylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.

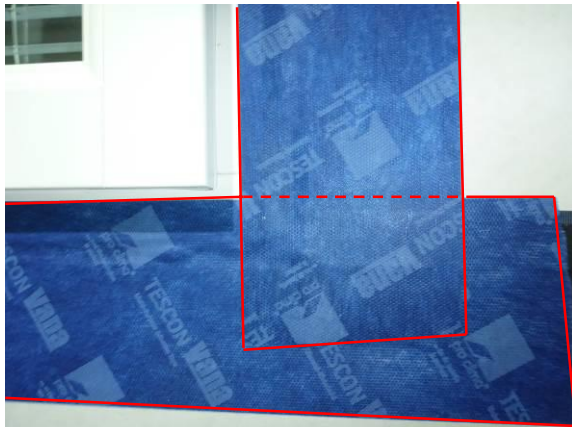
1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sisäpintaan ja kipsilevyn pintaan siten, että karmirakenne liitettiin yhtenäisesti rakennuslevyn pintaan. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-15mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 75mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja kipsilevyn pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa (kuva 2).

Asennukset toteutettiin materiaalitoimittajan antamilla työohjeilla Vahanan Oy:n edustajien toimesta. Materiaalitoimittajan edustaja oli läsnä asennustöiden aikana.



Kuva 2. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen nauhat ristiin, päällekkäin nurkkakohdissa. Asennetun liitosnauhan reuna on merkitty kuvaan punaisella viivalla ja liitosnauhan limitys punaisella katkoviivalla.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiivyyttä mitattiin laitteen herkimmällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiivyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan asennettiin höyrynsulkukalvo täysin ilmatiiviisti. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 5).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-13 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 3). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Asennuksien ilmatiiviyttä tarkasteltiin myös aistinvaraisesti ja Regin -merkkisavun avulla.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. 13 mm kipsilevy, saumat ja liittymät teipattiin ilmatiiviisti
2. polyetyleni höyrynsulkukalvo (Intello), saumat limitetty 100 mm ja teipattu ilmatiiviisti
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 3 ja 4. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





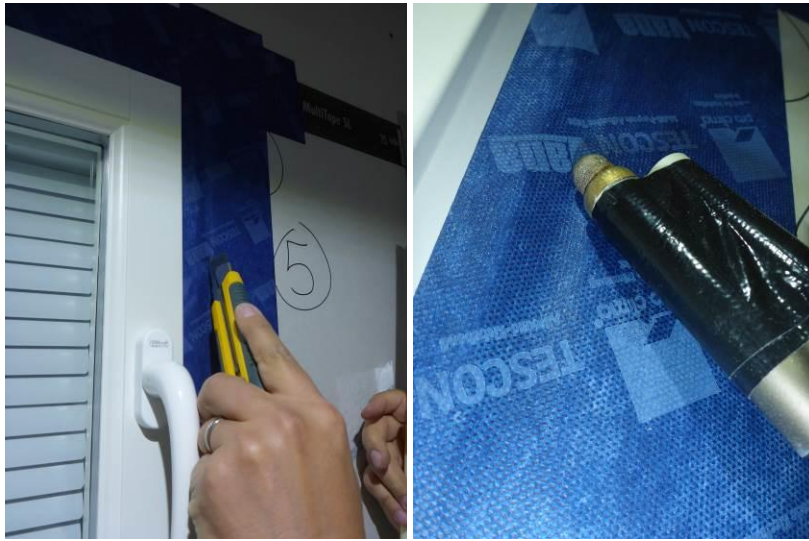
Kuva 5. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu.

Merkkiainelaitteella ei havaittu ilmavuotoja ikkunaliittymän liitosnauhatiivistyksestä. Kaasun leviämistä rakenteessa varmistettiin tekemällä reikä liitosnauhan pintaan. Tehdystä reiästä havaittiin kaasun levinneen hyvin mallirakennuksen ulkoseinärakenteessa (kuvat 6 ja 7).





Kuvat 6 ja 7. Kaasun leviämistä rakenteessa varmistettiin tekemällä reikä liitosnauhan pintaan. Tehdyistä reiästä havaittiin kaasun levinneen hyvin mallirakennuksen ulkoseinärakenteessa.

Merkkiainekokeen jälkeen testirakennus alipaineistettiin noin 55 Pa alipaineiseksi ympäröivään tilaan nähden ja liitosnauha-asennusten tiiviyyttä tarkasteltiin merkkipavun avulla. Myöskään merkkipavun avulla ei ilmavuotoja havaittu.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella Tescon Vana -yleisteipillä tehdyllä asennuksella voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän sisäverhouslevyn pintaan kokeessa sovellettua asennustapaa noudattaen.

Vaikka nyt tehdyssä koetuksessa vuotoja ei havaittu, suositellaan karmirakenteen liittämistä sisäverhouslevyn sisäpinnan sijasta ulkoseinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen. Sellaisissa tapauksissa, joissa asennusta ilmanpitävään kerrokseen ei voida kohtuullisella työmäärällä tai kohtuullisin kustannuksin toteuttaa, voidaan liitosnauha-asennus toteuttaa sisäverhouslevyn pintaan, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden uusimisen yhteydessä. Huomioitavaa myös on, että vaikka ikkunaliittymän ilmatiivis asennus rakennuslevyn pintaan onnistuisi, rakenteeseen voi siltä jäädä epäjatkuvuuskohtia, joista ilmavuotoja tapahtuu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

Koetuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiivyyden pitkäaikaiskestävyyteen.

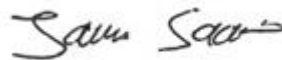


Espoossa 8.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Heikki Immonen
Ardex Oy
Kalkkipellontie 4
02650 Espoo

Ardex 8+9 –vedeneristeen ja STB 75-15 -karminauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Ardex 8+9 –vedeneristeellä ja STB 75-15 -karminauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiveyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Ardex 8+9 –vedeneristeellä ja STB 75-15 –karminauhalla.

1.2 Materiaali

Ardex 8+9 -vedeneriste on tarkoitettu lattioiden ja seinien vedeneristykseen sekä rakenneliittymien ilmatiivistykseen. Ardex 8+9 on 2-komponenttinen, sementtipohjainen vedeneristysmassa.

Ardex STB 75-15 -karminauha on tarkoitettu ikkunan ja seinän rajakohdan ilma-
vuototiivistykseen. Karminauha on noin 1 mm paksu, höyrytiivis nauha, joka on pääl-



lystetty polypropyleenipintakankaalla. Liimana nauhassa on käytetty synteettistä kumia ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on kaksiosainen.

Ardex P51 –pohjuste on vesiohenteinen muoviseos, joka on tarkoitettu pölynsidontaan, tartunnan parantamiseen ja huokosten tukkimiseen ennen tasoitteita, kiinnityslaasteja tai betonimassoja. Se soveltuu käytettäväksi ennen Ardex 8+9 –vedeneristeen levittämistä alustaan.

1.3 Asennustapa

Karminauhan asennus toteutettiin ikkunakarmin sisäpintaan ja ikkunapielen karkeatasoitettuun, pohjustekäsiteltyyn pintaan siten, että rakenteen ilmatiivis kerros liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 10 mm. Asennuksessa käytetyn karminauhan kokonaisleveys oli 75 mm. Tasoitettua pinnan pohjusteaineena käytettiin Ardex P51 -pohjustetta.

Asennukset toteutettiin sivelemällä Ardex 8+9 vedeneristettä karmin ja ikkunapielten liitospinnoille ja STB 75-15 -karminauha painettiin märkään vedeneristeeseen kiinni. Vedeneristettä siveltiin karminauhan päälle vain 50 % ikkunaliittymästä. Ikkunakarmin ja ikkunapielten pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoriskeista ja muusta liasta ennen nauhan asentamista (kuva 3).

Ikkunaliittymien nurkkakohdat toteutettiin limittämättä eri sivujen karminauhat noin 20 mm toistensa päälle ja nauhojen liittymäkohdat tiivistettiin Ardex 8+9 –vedeneristemassalla (kuva 2).

Asennukset toteutettiin materiaalitoimittajan edustajan toimesta.



Kuva 2. Ikkunaliittymien nurkkakohdat toteutettiin limittämättä eri sivujen karminauhat noin 20 mm toistensa päälle ja nauhojen liittymäkohdat tiivistettiin Ardex 8+9 –vedeneristemassalla



Kuva 3. Vedeneristettä siveltiin vahvistusnauhan päälle vain 50 % ikkunaliittymästä.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineakaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testirakennuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittauksia kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy





Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 6. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista nauhan pinnoilla tai nauhan irtoamista alustastaan ei havaittu.

Suoritetussa merkkiainekokeessa ei ilmavuotoja tiivistetyistä liittymistä havaittu.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen ja tehtyjen kokeiden perusteella Ardex 8+9 – vedeneristeellä ja STB 75-15 -karminauhalla tehdyllä asennuksella voidaan ikkunan



karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän kivirakenteisen rakennekerroksen pintaan tutkimuksessa sovellettua asennustapaa noudattaen

Tiivistettäessä ikkunaliittymiä Ardex STB 75-15 –karminauhalla, tulee kaikkien liimityskohtien tiiviys varmistaa järjestelmän Ardex 8+9 -vedeneristemassalla.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

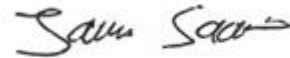
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanan Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega Solido SL –liitosnauhan, Tescon Incav –nurkkakappaleen ja Wyflexa –tiivistysmassan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega Solido SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivrakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Contega Solido SL –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Contega Solido SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega Solido SL -liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropyleenikudosvahvis-



teinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on jaettu kahteen osaan.

Tescon Incav –nurkkakappale on tarkoitettu ikkunaliittymien nurkkakohtien tiivistämiseen. Nurkkakappale perustuu ohueen Tescon Profil kangaspintaiseen yleisteippiin ja se on taitettu sisäkulman muotoon. Liimana nurkkakappaleessa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko kappaleen levyinen.

Wyflexa on siveltävä, liitosten ja läpivientien tiivistämiseen tarkoitettu akryylihapokopolymeridispersio -tiivistysmassa.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunakarmin sisäpintaan ja ikkunapielen tasoitettuun ja maalattuun pintaan siten, että rakenteen ilmatiivis kerros liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 80mm. Asennukset toteutettiin liitosnauhalla ja Tescon Incav -nurkkakappaleilla tiivistäen nurkkakappaleiden ja ikkunapielen nurkkien rajapinnat Wyflexa -tiivistysmassalla. Ikkunakarmin ja ikkunapielen pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoriskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin erilliset, muotoillut Tescon Incav –nurkkakappaleet. Nurkkakappaleiden asentamisen jälkeen ikkunan sivuille asennettiin liitosnauhat limittäen ne noin 20-50 mm nurkkakappaleiden päälle. (kuvat 2-4).

Nurkkakappaleiden ja ikkunapielen nurkkien rajapinnat tiivistettiin siveltävällä Wyflexa –tiivistysmassalla (kuva 5).

Asennukset toteutettiin Vahanen Oy:n toimesta.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin erilliset, muotoillut Tescon Incav –nurkkakappaleet.



Kuva 4. Nurkkakappaleiden asentamisen jälkeen ikkunan sivuille asennettiin liitosnauhat limittäen ne noin 20-50 mm nurkkakappaleiden päälle.



Kuva 5. Nurkkakappaleiden ja ikkunapielien nurkkien rajapinnat tiivistettiin siveltävällä Wyf-lexa –tiivistysmassalla

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineakaasia (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimmällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviuden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 8).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 6). Paine-eroa mitattiin koko testuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinä-rakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinä-rakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinä-rakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinä-harkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 6 ja 7. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kavanapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinä-rakenteessa.



Kuva 8. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu.

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kaikista nurkissa nurkkakappaleen takakulmista, joille asti ei ollut ulotettu Wyflexa-tiivistysmassaa. Vuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä. (kuvat 9 ja 10).



Kuvat 9 ja 10. Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kaikista nurkissa nurkkakappaleen takakulmista. Vuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Contega Solido SL –liitosnauhalla ja Tescon Incav –nurkkakappaleella tehdyllä asennuksella, käyttäen Wyflexa –tiivistysmassaa, voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen. Kuitenkaan tutkimuksessa sovellettu asennustapa ei täysin sovellu käytettäväksi ikkunaliittymien tiivistyksessä, vaan lii-



tosnauha-asennuksen nurkkakohdissa tulee täyden ilmatiiviyden saavuttamiseksi nurkkakohdat varmistaa nurkkaliittymän pohjalle saakka lisäksi erillisellä järjestelmään kuuluvalla Wyflexa-tiivistysmassalla valmistajan ohjeen mukaisesti.

Liitosnauha-asennuksen havaitut vähäiset ilmavuodot johtuvat nurkkakappaleessa valmistusvaiheessa syntyneen taitoksen nurkkaan jäävistä pienistä ilmayhteyksistä liitoksen läpi. Täysin ilmatiivis toteutus on mahdollista ulottamalla Wyflexa – tiivistysmassa nurkan pohjaan saakka siten, että se kauttaaltaan peittää nurkkakappaleen pohjan.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsittelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöohjeita.

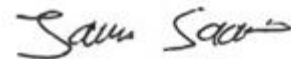
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 9.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega Solido SL –liitosnauha ja Tescon Incav - nurkkakappaleasennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiaineko- keella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega Solido SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Contega Solido SL –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Contega Solido SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega Solido SL -liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropyleenikudosisvahvisteinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on jaettu kahteen osaan.

Tescon Incav –nurkkakappale on tarkoitettu ikkunaliittymien nurkkakohtien tiivistämiseen. Nurkkakappale perustuu ohueen Tescon Profil kangaspintaiseen yleisteippiin ja se on taitettu sisäkulman muotoon. Liimana nurkkakappaleessa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko kappaleen levyinen.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunakarmin sisäpintaan ja ikkunapielen tasoitettuun ja maalattuun pintaan siten, että rakenteen ilmatiivis kerros liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 5-10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 80mm.

Asennukset toteutettiin pelkällä liitosnauhalla ja Tescon Incav -nurkkakappaleilla ilman tiivistysmassaa. Ikkunakarmin ja ikkunapielen pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin erilliset, muotoillut Tescon Incav –nurkkakappaleet. Nurkkakappaleiden asentamisen jälkeen ikkunan sivuille asennettiin liitosnauhat limittäen ne noin 20-50 mm nurkkakappaleiden päälle. (kuvat 2-4).

Asennukset toteutettiin Vahanen Oy:n toimesta.



Kuvat 2 ja 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin erilliset, muotoillut Tescon Incav –nurkkakappaleet.



Kuva 4. Nurkkakappaleiden asentamisen jälkeen ikkunan sivuille asennettiin liitosnauhat limittäen ne noin 20-50 mm nurkkakappaleiden päälle.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineikaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimmällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 7).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 5). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 5 ja 6. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 7. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu. Nurkkakappaleiden taitteen havaittiin olevan irti ikkunapielien nurkan pohjasta kaikkien nurkkien kohdalla muodostaen mahdollisen reiän liitoksen läpi.





Kuva 8. Nurkkakappaleiden taitteen havaittiin olevan irti ikkunapielien nurkan pohjasta kaikkien nurkkien kohdalla.

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kaikista nurkissa nurkkakappaleen takakulmista sekä nurkkakappaleen reunan ja ikkunapielien nurkkakohdan havaituista raoista. Vuodot olivat vähäisiä nurkkakappaleen takakulmissa ja voimakkaampia kohdissa, joissa nurkkakappaleen ja ikkunapielen sisäkulmassa oli rako. (kuvat 9-11).



Kuvat 9 ja 10. Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kaikista nurkissa nurkkakappaleen taka-kulmista. Vuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä.





Kuva 11. Merkkiainelaitteella havaittiin ilmapuotoja kaikista nurkkakappaleen reunan ja ikkunapielien nurkkakohdan havaituista raoista. Vuodot olivat voimakkuudeltaan kohtalaisia.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Contega Solido SL –liitosnauhalla ja Tescon Incav –nurkkakappaleella tehdyllä asennuksella ei voida ikkunan karmirakennetta liittää täysin ilmanpitävästi ulkoseinän kivirakenteiseen ilmanpitävään kerrokseen pelkällä liitosnauha-asennuksella, vaan liitosnauha-asennuksen nurkkakohdissa tulee täyden ilmatiiviuden saavuttamiseksi nurkkakohdat varmistaa nurkkaliittymän pohjalle saakka lisäksi erillisellä järjestelmään kuuluvalla Wyflexa-tiivistysmassalla valmistajan ohjeen mukaisesti.

Liitosnauha-asennuksesta havaitut ilmapuodot johtuvat nurkkakappaleessa valmistusvaiheessa syntyneen taitoksen nurkkaan jäävistä pienistä ilmayhteyksistä liitoksen läpi, sekä ikkunapielien nurkkien pienistä epätasaisuuksista johtuvista ilmayhteyksistä. Käytännössä nurkkakappaleen asennus siten, että se kauttaaltaan asettuu nurkan pohjaan ilmatiiviisti, on mahdotonta. Lisäksi nurkkakohtaan todennäköisesti jää asennuksen yhteydessä jännityksiä, jotka saattavat irrottaa nauhaa alustastaan.

Ilmatiiviuden mahdollistamiseksi Contega Solido SL –liitosnauhaa ja Tescon Incav –nurkkakappaletta käytettäessä tulee nurkkataitokset ja ikkunapielien nurkan ja nurkkakappaleen välinen rako varmistaa aina järjestelmän tiivistysmassalla siten, että ilmapuotoja nurkkataitoksissa ei tapahdu.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviuden pitkäaikaiskestävyyteen.

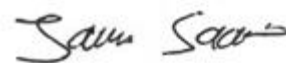


Espoossa 9.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega Solido SL –liitosnauhan ja Wyflexa –tiivistysmassan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega Solido SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Contega Solido SL –liitosnauhalla ja Wyflexa –tiivistysmassalla.

1.2 Materiaali

Contega Solido SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega Solido SL -liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropyleenikudosvahvis-



teinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on jaettu kahteen osaan.

Tescon Primer RP on siveltävä, yksikomponenttinen akryyli-kopolymeeripohjuste, joka on tarkoitettu liitosnauhojen vastepintojen pohjustamiseen.

Wyflexa on siveltävä, liitosten ja läpivientien tiivistämiseen tarkoitettu akryylihapokopolymeeridispersio -tiivistysmassa.

1.3 Asennustapa

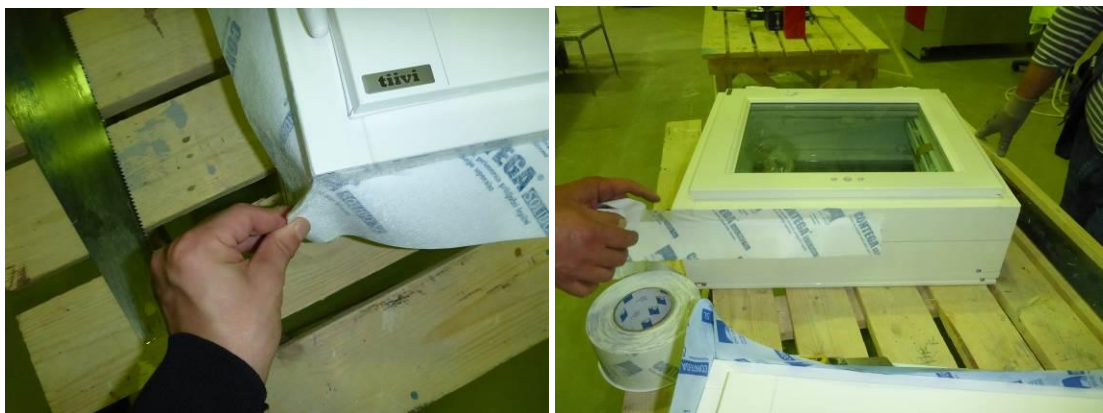
Liitosnauhan asennus toteutettiin ensin ikkunan karmin sivupintaan, koko karmin ympäri ennen ikkunan asennusta. Ikkunan kulmiin tehtiin nauhalla noin 30-40mm:n taitos liitosnauhan liepeen nurkka-asennusta varten (kuvat 2 ja 3).

Ikkuna-asennuksen jälkeen liitosnauha asennettiin ikkunapielten hienotasoitettuun ja Tescon Primer RP -pohjusteella käsiteltyyn pintaan poistamalla ikkunapielen pintaan asennettavan liimapinnan suojapaperi koko nauhan matkalta ja painamalla nauha kiinni alustaan. Asennuksen jälkeen ikkunapielten nurkkiin siveltiin, liitosnauhan päälle pielen ja nauhan rajakohtaan siveltiin Wyflexa –tiivistysmassaa (kuvat 4 ja 5).

Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 20 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 80 mm. Ikkunakarmin ja ikkunapielten pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Asennuksen yhteydessä havaittiin nauhan pinnan poimuuntuvan paikallisesti. Syntyneet poimut tasoittuivat painettaessa liitosnauhaa ikkunapielen pintaan (kuva 6).

Materiaalitoimittajan edustaja suoritti liitosnauhan asennuksen ikkunakarmin pintaan ja Vahanen Oy:n edustajat suorittivat liitosnauhan kiinnityksen ikkunapielen pintaan.



Kuvat 2 ja 3. Liitosnauhan asennus toteutettiin ensin ikkunan karmin sivupintaan, koko karmin ympäri ennen ikkunan asennusta. Ikkunan kulmiin tehtiin nauhalla noin 30-40mm:n taitos liitosnauhan liepeen nurkka-asennusta varten.



Kuvat 4 ja 5. Ikkunapielten nurkkiin siveltiin, liitosnauhan päälle pielen ja nauhan rajakohtaan siveltiin Wyflexa –tiivistysmassaa



Kuva 6. Asennuksen yhteydessä havaittiin nauhan pinnan poimuuntuvan paikallisesti. Syntyneet poimut tasoittuivat painettaessa liitosnauhaa ikkunapielen pintaan

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineakaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 9).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 7). Paine-eroa mitattiin koko testuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen



mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 7 ja 8. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 9. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisessa tarkastelussa liitosnauhan pinnoilla havaittiin jonkin verran poimuuntumista. Poimut oli kuitenkin tasoitettu niin, että aistinvaraisesti ei mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi voitu havaita. (kuva 10).



Kuva 10. Aistinvaraisessa tarkastelussa liitosnauhan pinnoilla havaittiin jonkin verran poimuuntumista. Poimut oli kuitenkin tasoitettu niin, että aistinvaraisesti ei mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi voitu havaita.

Suoritetussa merkkiainekokeessa havaittiin vähäistä ilmapuotoa kahdessa nurkkakohdassa, liitosnauhan ja karmin nurkkataitosten läheisyydessä. Aistinvaraisessa tarkastelussa havaituista vuotokohdista ei havaittu poikkeavuuksia tai epäjatkuvuuskohtia (kuvat 11 ja 12). Vuotoja ei havaittu liitosnauhan liitoksissa ikkunapieliin.



Kuvat 11 ja 12. Suoritetussa merkkiainekokeessa havaittiin vähäistä ilmapuotoa kahdessa nurkkakohdassa, liitosnauhan nurkkataitosten läheisyydessä.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Contega Solido SL –liitosnauhalla ja Wyflexa –tiivistymassalla toteutetulla asennuk-



sella, voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkerrokseen tutkimuksessa sovellettua asennustapaa noudattaen.

Havaitut vähäiset ilmapuodot johtuvat todennäköisesti ikkuna-asennuksen yhteydessä tapahtuneista mekaanisista vaurioista liitosnauhaan. Tästä syystä sovellettaessa liitosnauhojen esiasennusta ikkunakarmiin, tulee liitosnauhat suojata huolellisesti ennen ikkuna-asennusta ja asennuksen yhteydessä siten ettei mekaanisia vaurioita pääse tapahtumaan. Vuotoja havaittaessa tulee vuotokohdat paikata tiivistysmassalla tai liitosnauhakappaleella.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöohjeita.

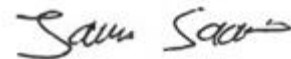
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 9.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Janne Puronlahti
Redi –yhtiöt Oy
Yrittäjätie 23
01800 Klaukkala

Contega Solido SL –liitosnauhan ja Wyflexa –tiivistysmassan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Contega Solido SL –liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivrakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Contega Solido SL –liitosnauhalla ja Wyflexa –tiivistysmassalla.

1.2 Materiaali

Contega Solido SL –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten ikkunaliittymien tiivistämiseen. Contega Solido SL -liitosnauha on 0,2 mm paksu, polypropyleenikudosvahvisteinen rakenteen pintaan liimattava nauha. Liiman ja vahvikenauhan välissä on ilmatiivis muovikalvo. Liimana nauhassa on käytetty Akrylat Solid –liimaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on jaettu kahteen osaan.



Tescon Primer RP on siveltävä, yksikomponenttinen akryyli-kopolymeeripohjuse, joka on tarkoitettu liitosnauhojen vastepintojen pohjustamiseen.

Wyflexa on siveltävä, liitosten ja läpivientien tiivistämiseen tarkoitettu akryylihapo-kopolymeeridispersio -tiivistysmassa.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ensin ikkunan karmin sivupintaan, koko karmin ympäri ennen ikkunan asennusta. Ikkunan kulmiin tehtiin nauhalla noin 30-40mm:n taitos liitosnauhan liepeen nurkka-asennusta varten (kuvat 2 ja 3).

Ikkuna-asennuksen jälkeen ikkunapielten nurkkiin siveltiin Wyflexa –tiivistysmassaa ja tiivistysmassan kuivuttua liitosnauha asennettiin ikkunapielten hienotasoitettuun ja Tescon Primer RP -pohjuseella käsiteltyyn pintaan poistamalla ikkunapielen pintaan asennettavan liimapinnan suojapaperi koko nauhan matkalta ja painamalla nauha kiinni alustaan (kuvat 4 ja 5).

Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 20 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 80 mm. Ikkunakarmin ja ikkunapielten pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Asennuksen yhteydessä, etenkin liitosnauhan nurkkataitoksissa havaittiin nauhan pinnan poimuuntuvan. Syntyneet poimut tasoittuivat painettaessa liitosnauhaa ikkunapielen pintaan (kuvat 6 ja 7).

Materiaalitoimittajan edustaja suoritti liitosnauhan asennuksen ikkunakarmin pintaan ja Vahanen Oy:n edustajat suorittivat liitosnauhan kiinnityksen ikkunapielen pintaan.



Kuvat 2 ja 3. Liitosnauhan asennus toteutettiin ensin ikkunan karmin sivupintaan, koko karmin ympäri ennen ikkunan asennusta. Ikkunan kulmiin tehtiin nauhalla noin 30-40mm:n taitos liitosnauhan liepeen nurkka-asennusta varten.



Kuvat 4 ja 5. Ikkuna-asennuksen jälkeen ikkunapielteen nurkkiin siveltiin Wyflexa – tiivistysmassaa ja tiivistysmassan kuivuttua liitosnauha asennettiin ikkunapielteen hienotasoitettuun ja Tescon Primer RP -pohjusteella käsitellyyn pintaan poistamalla ikkunapielen pintaan asennettavan liimapinnan suojapaperi koko nauhan matkalta



Kuvat 6 ja 7. Asennuksen yhteydessä, etenkin liitosnauhan nurkkataitoksissa havaittiin nauhan pinnan poimuuntuvan. Syntyneet poimut tasoittuivat painettaessa liitosnauhaa ikkunapielen pintaan

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiainekeasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 9).



Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 7). Paine-eroa mitattiin koko testuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 7 ja 8. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kavanapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 9. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisessa tarkastelussa liitosnauhan pinnoilla havaittiin jonkin verran poimuuntumista etenkin nurkkien läheisyydessä, joissa nauha oli käännetty karmilta nurkan yli. Poimut oli kuitenkin tasoitettu niin, että aistinvaraisesti ei mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi voitu havaita. Yhdessä asennuksen nurkkaliitoksessa havaittiin liitosnauhan alla, ikkunapielen nurkassa mahdollinen reikä, liitoksen läpi (kuvat 10-12).



Kuvat 10 ja 11. Aistinvaraisessa tarkastelussa liitosnauhan pinnoilla havaittiin jonkin verran poimuuntumista etenkin nurkkien läheisyydessä, joissa nauha oli käännetty karmilta nurkan yli. Poimut oli kuitenkin tasoitettu niin, että aistinvaraisesti ei mahdollisia ilmayhteyksiä liitoksen läpi voitu havaita



Kuvat 9 ja 10. Yhdessä asennuksen nurkkaliitoksessa havaittiin liitosnauhan alla, ikkunapielen nurkassa reikä, josta on mahdollinen ilmayhteys rakenteen läpi

Suoritetussa merkkiainekokeessa ei havaittu ilmavuotoja ikkunaliittymien liitosnauhatiivistyksestä.

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Contega Solido SL –liitosnauhalla ja Wyflexa –tiivistysmassalla toteutetulla asennuksella, voidaan ikkunan karmirakenne liittää ilmanpitävästi ulkoseinän kivirakenteeseen ilmanpitävään kerrokseen tutkimuksessa sovellettua asennustapaa noudattaen.

Asennustavasta johtuen liitosnauhan pintaan aiheutuu poimuja, joiden huolelliseen tiivistämiseen tulee kiinnittää huomiota. Myös nurkkakohtien osalta saattaa ikkunapielen epätasaisuuksista johtuen jäädä ilmayhteyksiä liitoksen läpi. Tästä syystä Wyflexa –tiivistysmassan asentamista suositellaan tehtäväksi liitoksen päälle, jolloin tiiviin asennuksen aistinvarainen todentaminen on mahdollista.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsittelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöohjeita.

Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy

Mikko Koskivuori, Ins. AMK

Jarmo Saarinen, DI

Kalle Kautto
Tremco Illbruck International GmbH
Vanha Porvoontie 238
01380 Vantaa

Illbruck ME500 –liitosnauhan ja SP 525 –tiivistysmassan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Illbruck ME500 -liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Illbruck ME500 –liitosnauhalla ja SP 525 -tiivistysmassalla.

1.2 Materiaali

Illbruck ME 500 –liitosnauha on tarkoitettu ikkunarakenteiden tiivistämiseen sekä sisä-, että ulkoasennuksissa. Illbruck ME 500 –liitosnauha on venymätön, kuitukangasvahvisteinen tiivistysnauha. Nauhan vahvikekankaan alapinnassa on ilmatiivis muovikalvo.

Nauha koostuu kahdesta osasta: kuitukangas, jonka alapintaan on asennettu butyylliimamassa ja jäykkä muovinauha, jonka molemmille puolille on asennettu ohut liimakerros. Liimapinta ei ole yhtenäinen koko liitosnauhan leveydeltä, vaan liimakerrosten välissä on noin 6 mm:n levyinen alue, johon liimamassaa ei ole asennettu.

Illbruck SP525 on yksikomponenttinen, joustava hybridipolymeeri -tiivistysmassa, joka soveltuu julkisivusaumoihin sekä liikunta- ja rakennesaumojen tiivistämiseen.



Kuva 2. Illbruck ME 500 –liitosnauha on venymätön, kuitukangasvahvisteinen tiivistysnauha. Nauhan vahvikekankaan alapinnassa on ilmatiivis muovikalvo. Nauha koostuu kahdesta osasta: kuitukangas, jonka alapintaan on asennettu butyylliimamassa ja jäykkä muovinauha.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunakarmin sisäpintaan ja ikkunapielen tasoitettuun ja maalattuun pintaan siten, että rakenteen ilmatiivis kerros liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50mm.

Asennukset toteutettiin Illbruck Me500 -liitosnauhalla ja liitosnauhasta taitetuilla nurkkakappaleilla tiivistäen ikkunapielen nurkat ja liitosnauhat saumat ja liimitykset SP 525 -tiivistysmassalla. Ikkunakarmin ja ikkunapielien pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.



Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin ME500 – liitosnauhasta nurkan muotoon taitetut nurkkakappaleet. Nurkkakappaleiden asentamisen jälkeen ikkunan sivuille asennettiin liitosnauhat limittäen ne noin 50 mm nurkkakappaleiden päälle. (kuvat 3-6).

Asennukset toteutettiin Vahanen Oy:n toimesta.



Kuva 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin ME500 – liitosnauhasta taitetut nurkkakappaleet.



Kuvat 4 ja 5. Nurkkakappaleiden alle, ikkunapielen nurkkaan asennettiin SP 525 – tiivistysmassa ennen nurkkakappaleen kiinnittämistä ikkunapielen pintaan.





Kuva 6. Liitosnauhojen liimapintojen väliset raot ja liitosnauhojen limityksen saumat tiivistettiin SP 525 –tiivistysmassalla ennen liitosnauhojen kiinnittämistä ikkunapielen pintoihin ja nurkkakappaleiden päälle.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 9).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 7). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittauksia kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmapuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy





Kuvat 7 ja 8. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 9. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu. Yhdessä ikkunapielen nurkassa havaittiin nurkkakappaleen alle asennetussa saumaussmassauksessa mahdollinen reikä liittymän läpi.





Kuva 8. Yhdessä ikkunapielen nurkassa havaittiin nurkkakappaleen alle asennetussa saumaussmassauksessa reikä.

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kahdesta nurkasta, kohdista, joissa liitosnauhan liimapintojen välinen alue oli tiivistetty SP 525 -tiivistysmassalla. Tiivistysmassa ei todennäköisesti ollut täyttänyt liimapintojen välistä aluetta kauttaaltaan ilmatiiviisti. Vuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä (kuvat 9 ja 10).

Vuotoja havaittiin myös yhdessä nurkassa, jossa aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin reikä nurkkakappaleen ja ikkunapielen nurkkaan asennetussa massauksessa. Vuoto oli voimakkuudeltaan vähäinen (kuva 11).



Kuvat 9 ja 10. Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kahdesta nurkasta, kohdista, joissa liitosnauhan liimapintojen välinen alue oli tiivistetty SP 525 -tiivistysmassalla. Tiivistysmassa ei todennäköisesti ollut täyttänyt liimapintojen välistä aluetta kauttaaltaan. Vuodot olivat voimakkuudeltaan vähäisiä.



Kuva 11. Vuotoja havaittiin myös yhdessä nurkassa, jossa aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin reikä nurkkakappaleen ja ikkunapielen nurkkaan asennetussa massauksessa. Vuoto oli voimakkuudeltaan vähäinen

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Illbruck ME 500 -liitosnauhalla ja liitosnauhasta taitetuilla nurkkakappaleilla toteutettu asennus, jossa tiivistysmassa asennetaan vain liitosnauhojen alle, ei täysin soveltu ikkunan karmirakenteen liittämiseen ilmanpitävästi ulkoseinän kivirakenteiseen ilmanpitävään kerrokseen. Liitosnauha-asennuksen nurkka- ja limityskohdissa tulee ilmatiiviys varmistaa liitosnauhan pintaan asennettavalla tiivistysmassauksella tai liitospappaleella, jossa on yhtenäinen liimapinta kauttaaltaan koko nauhan alueella.

Liitosnauha-asennuksen havaitut ilmavuodot johtuvat siitä, että nurkkaliitoksiin ja liitosnauhojen limitys- ja liitospappaleeseen asennettu saumaussmassa ei kauttaaltaan täyttänyt liitosten epäjatkuvuuskohtia jättäen ilmayhteyksiä liitoksen läpi. Liitosten väliin asennettun tiivistysmassan leviämistä ei myöskään voida aistinvaraisesti todentaa. Tästä syystä liitosten ja limitysten tiiviys tulee varmistaa aina järjestelmän tiivistysmassalla myös liitosten päälle asennettuna tai erillisellä kauttaaltaan alustan pintaan liimautuvalla liitosnauhakappaleella.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalitoimittajan työohjeita.

Koetuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy

Mikko Koskivuori, Ins. AMK

Jarmo Saarinen, DI

Kalle Kautto
Tremco Illbruck International GmbH
Vanha Porvoontie 238
01380 Vantaa

Illbruck ME500 –liitosnauhan ja SP 525 –tiivistysmassan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Illbruck ME500 -liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivrakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielen pintaan toteutettuna Illbruck ME500 –liitosnauhalla ja SP 525 -tiivistysmassalla.

1.2 Materiaali

Illbruck ME 500 –liitosnauha on tarkoitettu ikkunarakenteiden tiivistämiseen sekä siä-, että ulkoasennuksissa. Illbruck ME 500 –liitosnauha on venymätön, kuitukangas-



vahvisteinen tiivistysnauha. Nauhan vahvikekankaan alapinnassa on ilmatiivis muovikalvo.

Nauha koostuu kahdesta osasta: kuitukangas, jonka alapintaan on asennettu butyyliiimamassa ja jäykkä muovinauha, jonka molemmille puolille on asennettu ohut liimakerros. Liimapinta ei ole yhtenäinen koko liitosnauhan leveydeltä, vaan liimakerrosten välissä on noin 6 mm:n levyinen alue, johon liimamassaa ei ole asennettu.

Illbruck SP525 on yksikomponenttinen, joustava hybridipolymeeri -tiivistysmassa, joka soveltuu julkisivusaumoihin sekä liikunta- ja rakennesaumojen tiivistämiseen.



Kuva 2. Illbruck ME 500 -liitosnauha on venymätön, kuitukangasvahvisteinen tiivistysnauha. Nauhan vahvikekankaan alapinnassa on ilmatiivis muovikalvo. Nauha koostuu kahdesta osasta: kuitukangas, jonka alapintaan on asennettu butyyliiimamassa ja jäykkä muovinauha.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunan karmin sisäpintaan ja ikkunapielen tasoitettuun ja maalattuun pintaan siten, että rakenteen ilmatiivis kerros liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 10 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50mm.

Asennukset toteutettiin Illbruck Me500 -liitosnauhalla ja liitosnauhasta taitetuilla nurkkakappaleilla tiivistäen ikkunapielen ja nurkkakappaleen rajapinta SP525 -tiivistysmassalla. Ikkunakarmin ja ikkunapielten pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoroiskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin ME500 -liitosnauhasta nurkan muotoon taitetut nurkkakappaleet. Nurkkakappaleiden asenta-



misen jälkeen ikkunan sivuille asennettiin liitosnauhat limittäen ne noin 50 mm nurkkakappaleiden päälle. (kuvat 3-5).

Asennukset toteutettiin Vahanen Oy:n toimesta.



Kuva 3. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla nurkkakohtiin ME500 -liitosnauhasta taitetut nurkkakappaleet.



Kuvat 4 ja 5. Nurkkakappaleiden päälle, ikkunapielen nurkkaan, pielen ja nurkkakappaleen rajapintaan asennettiin SP 525 -tiivistysmassa.

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalysaattorilla sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiainekaasua (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analysaattorin herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalysaattorin herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiiviyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiiviyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 8).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 6). Paine-eroa mitattiin koko testauksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy



Kuvat 6 ja 7. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kavanapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.





Kuva 8. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu siististi. Reikiä tai poimuuntumista liitosnauhan pinnoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu. Aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin useita ilmayhteyksiä liitosnauhan limityksissä nurkkakappaleen pintaan, joissa ei ole yhtenäistä liimapintaa

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmapuotoja kaikista nurkkakohdista. Vuotokohdissa oli ilmayhteyksiä liitoksen läpi nauhojen limityskohdissa, nauhan osasta, joissa ei ole yhtenäistä liimapintaa (kuvat 9 ja 10).



Kuvat 9 ja 10. Merkkiainelaitteella havaittiin ilmapuotoja kaikista nurkkakohdista. Vuotokohdissa oli ilmayhteyksiä liitoksen läpi nauhojen päissä, joissa ei ole yhtenäistä liimapintaa

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Illbruck ME 500 -liitosnauhalla ja liitosnauhasta taitetuilla nurkkakappaleilla toteutettu asennus, jossa liitosnauhan avoimia päitä ei tiivistetä, ei täysin sovellu ikkunan karmirakenteen liittämiseen ilmanpitävästi ulkoseinän kivirakenteiseen ilmanpitävään kerrokseen. Liitosnauha-asennuksen limityskohdissa tulee ilmatiiviys varmistaa liitosnauhan pintaan asennettavalla tiivistysmassauksella tai liitoskappaleella, jossa on yhtenäinen liimapinta kauttaaltaan koko nauhan alueella.

Liitosnauha-asennuksen havaitut ilmavuodot johtuvat siitä, että liitosnauhojen limityskohtiin jää ilmayhteyksiä liitoksen läpi liitosnauhan epäyhtenäisen liimapinnan vuoksi. Tästä syystä liitosten ja limitysten tiiviys tulee varmistaa aina järjestelmän tiivistysmassalla liitosten päälle asennettuna tai erillisellä kauttaaltaan alustan pintaan liimautuvalla liitosnauhakappaleella. Vuotoja ei havaittu pielen nurkissa, joissa nurkan ja liitosnauhan rajapinta oli tiivistetty nauhan päälle asennetulla tiivistysmassalla.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsitelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

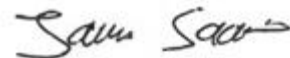
Koestuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviiden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahanen Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Kalle Kautto
Tremco Illbruck International GmbH
Vanha Porvoontie 238
01380 Vantaa

Illbruck ME402 –liitosnauhan asennuksen ilmatiiviystutkimus merkkiainekokeella

1. Johdanto

1.1 Tehtävä

Malliasennusten ja niille suoritettujen merkkiainetutkimusten tarkoituksena oli selvittää asennustekniikan vaikutusta liitosnauha-asennuksen ilmatiiviyteen.

Tämän merkkiainetutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Illbruck ME402 -liitosnauhalla tutkimuksia varten rakennetun testirakennuksen ulkoseinärakenteen ikkunaliittymiin toteutetun asennuksen ilmatiiviyttä. Asennus suoritettiin ulkoseinän kivirakenteisen sisäkuoren ikkunapielten pintaan.

Liitosnauha-asennukset toteutettiin 15.10.2015 ja merkkiainekokeet 16.10.2015.



Kuva 1. Ikkunaliittymän tiivistys harkkorakenteisen seinän ikkuna-aukon pielten pintaan toteutettuna Illbruck ME402 –liitosnauhalla.

1.2 Materiaali

Illbruck ME 402 –liitosnauha on tarkoitettu rakennusten yleiseen ilmatiiviiseen tiivistämiseen sekä sisä-, että ulkoasennuksissa. Illbruck ME 402 –liitosnauha on 1,2 mm paksu, venymätön, tiivistenauha, joka on päällystetty muovialumiini - yhdistelmäfoliolla. Liimana nauhassa on käytetty plasto-elastista butyylikumimassaa ja liimapinta on koko nauhan levyinen. Liitosnauhan tarrapinnan suoja on yksiosainen.



Illbruck ME902 on rakenteen pintaan ruiskutettava polymeeriliuos, joka on tarkoitettu käytettäväksi alustan pohjustukseen butyyliasennusten esikäsitteilyä.

1.3 Asennustapa

Liitosnauhan asennus toteutettiin ikkunakarmin sisäpintaan ja ikkunapielen karkeatasoitettuun ja pohjustettuun, epätasaiseen pintaan siten, että rakenteen ilmatiivis kerros liitettiin yhtenäisesti ikkunan karmirakenteeseen. Vastepinnan leveys nauhan kiinnitykselle ikkunakarmissa oli noin 10-20 mm. Asennuksessa käytetyn nauhan kokonaisleveys oli 50mm.

Asennukset toteutettiin Illbruck Me402 -liitosnauhalla kiinnittämällä liitosnauha karmien sisäpintaan, josta nauha taitettiin ja kiinnitettiin ikkunapielen pintaan peittäen ikkunakarmin ja ulkoseinärakenteen välisen raon. Ikkunakarmin ja ikkunapielen pinnat puhdistettiin polyuretaanivaahtoriskeista ja muusta liasta ennen liitosnauhan asentamista. Lisäksi ikkunapielten pintaan ruiskutettiin Illbruck ME902 -pohjuste ennen nauhan asentamista.

Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen liitosnauhat ristiin limittäen nauhat päällekkäin noin 20-40 mm. Osaan nurkkakohdista, joissa ikkunapielen nurkka oli epätasaisempi asennettiin limityksen päälle koko limityksen peittävä liitosnauhakappale. (kuvat 2 ja 3).

Asennukset toteutettiin materiaalivalmistajan edustajan toimesta.



Kuva 2. Ikkunan nurkkaliitokset toteutettiin asentamalla eri sivujen liitosnauhat ristiin limittäen nauhat päällekkäin noin 20-40 mm.





Kuva 3. Osaan nurkkakohdista, joissa ikkunapielen nurkka oli epätasaisempi asennettiin limityksen päälle koko limityksen peittävä liitosnauhakappale

2 Tutkimusmenetelmä

Ilmatiiviyttä tutkittiin Sensistor 9012 WRS merkkiaineanalyysointilaitteella sekä siihen liitettävällä anturilla H21. Laitteella havaitaan merkkiaineita (5 % H₂ + 95 % N₂). Merkkiainelaite reagoi vetyyn (H₂), jota ilma ei normaalisti maanpinnan tasolla sisällä. Analyysointilaitteen herkkyys merkkiaineelle on 0,7 ppm.

Merkkiainelaiteanalyysointilaitteen herkkyyttä voidaan säätää tasoille 1-10. Asennusten tiivyyttä mitattiin laitteen herkimällä herkkyystasolla 10.

Asennuksen ilmatiivyyden testaamista varten rakennettiin testirakennus, jonka ulkovaipan sisäpintaan toteutettiin harkkomuuraus. Rakennuksen ulkoseinään oli asennettu ikkunoita, joihin malliasennukset suoritettiin (kuva 6).

Mittaus suoritettiin alipaineistamalla testirakennus kavanapuhaltimella n. 10-12 Pa alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin nähden (kuva 4). Paine-eroa mitattiin koko testirakennuksen ajan Testo 512 – paine-eromittarilla.

Vetyseoksen vetyypitoisuus on 50 000 ppm. Seosta laskettiin testirakennuksen ulkoseinärakenteeseen siten, että rakenteen sisällä vallitsi n. 500 ppm pitoisuus vetyä. Ennen mittausta kaasuseoksen annettiin tasaantua rakenteessa n. 5-10 min. Ulkoseinärakenteen puurunkoon ja apukarmeihin oli porattu halkaisijaltaan 32mm:n reikiä kaasun tasaisen leviämisen varmistamiseksi.

Merkkiainekoe suoritettiin RT 14-11197 *Rakenteiden ilmavuotojen tarkastelu merkkiainekokein* –ohjekortin mukaisesti.

Testirakennukset ulkoseinärakenne sisältä ulospäin oli seuraava:

1. Tasoite
2. 88 mm väliseinäharkko
3. 150 mm puurunko + mineraalivilla
4. 13 mm tuulensuojakipsilevy





Kuvat 4 ja 5. Testijärjestely vasemmalla alipaineistukseen käytetty kanavapuhallin, oikealla merkkikaasun syöttöpisteitä ulkoseinärakenteessa.



Kuva 6. Yleiskuva testirakennuksen sisäpuolelta ja liitosnauha-asennuksia.

3 Havainnot

Aistinvaraisesti arvioiden asennus oli toteutettu alustan epätasaisuus huomioiden siististi, ikkunapielten epätasainen pinta aiheutti liitosnauhaan poimuuntumista. Reikiä liitosnauhan pinoilla tai liitosnauhan irtoamista alustastaan ei havaittu. Kahdessa ikkunapielen nurkassa havaittiin reikä liitosnauhan ja nurkan välissä, kohdissa, joissa ikkunapielen pinta oli epätasainen.





Kuvat 7 ja 8. Kahdessa ikkunapielen nurkassa havaittiin reikä liitosnauhan ja nurkan välissä, kohdissa, joissa ikkunapielenpinta oli epätasainen.

Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kahdesta nurkasta, kohdista, joissa jo aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin mahdollisia ilmayhteyksiä nurkkaliitoksen läpi. Liitosnauhan butyyliliima ei täysin ollut kyennyt täyttämään nurkan epätasaista pintaa ilmatiiviisti (kuvat 9 ja 10).



Kuvat 9 ja 10. Merkkiainelaitteella havaittiin ilmavuotoja kahdesta nurkasta, kohdista, joissa jo aistinvaraisessa tarkastelussa havaittiin mahdollisia ilmayhteyksiä nurkkaliitoksen läpi

4 Johtopäätökset

Aistinvaraisten havaintojen, tehtyjen kokeiden ja kokeista saatujen tulosten perusteella Illbruck ME 402 -liitosnauhalla toteutettu asennus soveltuu käytettäväksi ikkunan karmirakenteen liittämiseen ilmanpitävästi ulkoseinän höyrynsulkukerrokseen myös melko karkeille pinnoille. Kuitenkaan liitosnauhan butyyliliima ei pysty täyttämään erityisesti nurkkakohtien tasoituksen syviä uurteita tai halkeamia. Liitosnauhasennuksen nurkkakohdissa tulee ilmatiiviys varmistaa tasoittamalla suuret epätasaisuudet tai nurkkaan asennettavalla tiivistysmassauksella siten, että nauhan ja ikkunapielen pinnan väliin ei jää ilmayhteyksiä. Vastepintojen tulisi aina olla riittävän tasaisia ilmatiiviin liitoksen mahdollistamiseksi.

Tuotteen asennuksessa sekä alustan esikäsittelyssä ja puhdistuksessa tulee noudattaa materiaalityöntekijän työohjeita.

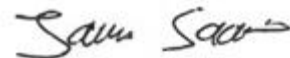
Koetuksessa ei tutkittu asennustavan vaikutusta liittymien ilmatiiviyyden pitkäaikaiskestävyyteen.

Espoossa 2.8.2016

Vahana Oy



Mikko Koskivuori, Ins. AMK



Jarmo Saarinen, DI



Vetokokeiden tulokset betonialustoilta

Liitteessä 5 on esitetty tehtyjen vetokoetutkimusten tulokset alustakohtaisesti. Vetokokeen suoritustapa on esitetty täsmällisesti kohdassa 5.2.1.

Tutkimuksessa sovellettiin koestusotantaa, jossa suoritettiin kolme (3) rinnakkaista vetotarkastelua kultakin erilaiselta käsittely-yhdistelmältä, kaikkina eri ajanjaksoina suoritetuissa koestuksissa. Näistä kolmesta rinnakkaisesta vetokoetuloksesta laskettiin keskiarvo, jota käytettiin tartuntalujuuden arvona standardin SFS-EN 1542 mukaisesti.

Vetovoiman kasvunopeutena tutkimuksen kaikissa koestuksissa käytettiin, standardeja EN ISO 4624 ja ZTV SIB-90 soveltaen, arvoa 375 N/s.

Tartuntalujuuden mittaus suoritettiin vetolaitteilla F 20-D-Easy M ja F 15-D-Easy M. Laitteet ovat keskenään samankaltaisia, automaattisia vetolaitteita, jotka kuormittavat vetokappaletta tasaisesti esiasennetun vetovoiman kasvunopeuden mukaisesti. Käytetyt vetolaitteita kalibroidaan säännöllisesti.

Murtumistapaa ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu vetokappaleille määrittellä, sillä vetolaitteella saatu tulos on se vetolujuuden maksimiarvo, jossa liitosnauhan liimamassa tai siveltävän pohjusteaineen muodostama kalvo alkaa venyä siihen aiheutuneen vetorasituksen voimasta. Tästä syystä varsinaista vetokappaleen murtoa ei tapahtunut.

Taulukko 1. Vetokoetulokset betonialustalta nro. 1. Hiomaton ja pohjustekäsitelty betonipinta.

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)		
	3 vrk	1 kk	4kk
STB / P51 -pohjuste	0,18	0,16	0,15
Contega Solido SL / Tescon Primer RP -pohjuste	0,10	0,11	0,14
Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste	0,16	0,12	0,15

Taulukko 2. Vetokoetulokset betonialustalta nro. 2. Hiomaton betonipinta

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)		
	3 vrk	1 kk	4kk
STB	0,15	0,15	0,19
Contega Solido SL	0,13	0,11	0,21
Illbruck ME402	0,17	0,25	0,19

Taulukko 3. Vetokoetulokset betonialustalta nro. 3. Hiottu betonipinta

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)		
	3 vrk	1 kk	4kk
STB	0,18	0,15	0,15
Contega Solido SL	0,15	0,18	0,22
Illbruck ME402	0,18	0,23	0,18

Taulukko 4. Vetokoetulokset betonialustalta nro. 4. Hiottu ja pohjustekäsitelty betonipinta

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)		
	3 vrk	1 kk	4kk
STB / P51 -pohjuste	0,25	0,24	0,27
Contega Solido SL / Tescon Primer RP -pohjuste	0,13	0,19	0,25
Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste	0,20	0,18	0,09*

*koestus epäonnistui ja ilmoitettua tulosta ei voida ottaa huomioon tarkastelussa

Vetokokeiden tulokset vanerialustoilta

Liitteessä 6 on esitetty tehtyjen vetokoetutkimusten tulokset alustakohtaisesti. Vetokokeen suoritustapa on esitetty täsmällisesti kohdassa 5.2.1.

Tutkimuksessa sovellettiin koestusotantaa, jossa suoritettiin kolme (3) rinnakkaista vetotarkastelua kultakin erilaiselta käsittely-yhdistelmältä, kaikkina eri ajanjaksoina suoritetuissa koestuksissa. Näistä kolmesta rinnakkaisesta vetokoetuloksesta laskettiin keskiarvo, jota käytettiin tartuntalujuuden arvona standardin SFS-EN 1542 mukaisesti.

Vetovoiman kasvunopeutena tutkimuksen kaikissa koestuksissa käytettiin, standardeja EN ISO 4624 ja ZTV SIB-90 soveltaen, arvoa 375 N/s.

Tartuntalujuuden mittaus suoritettiin vetolaitteella F 20-D-Easy M. Laite on automaattinen vetolaite, joka kuormittaa vetokappaletta tasaisesti esiasennetun vetovoiman kasvunopeuden mukaisesti. Käytettyä vetolaitetta kalibroidaan säännöllisesti.

Murtumistapaa ei aistinvaraisessa tarkastelussa voitu vetokappaleille määritellä, sillä vetolaitteella saatu tulos on se vetolujuuden maksimiarvo, jossa liitosnauhan liimamassa tai siveltävän pohjusteaineen muodostama kalvo alkaa venyä siihen aiheutuneen vectorituksen voimasta. Tästä syystä varsinaista vetokappaleen murtoa ei tapahtunut.

Taulukko 1. Vetokoetulokset vanerialustalta nro. 1. Puhdistettu vaneripinta.

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)	
	6 vrk	1 kk
STB	0,28	0,27
Contega Solido SL	0,19	0,22
Illbruck ME402	0,24	0,22

Taulukko 2. Vetokoetulokset vanerialustalta nro. 2. Pohjustettu vaneripinta

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)	
	6 vrk	1 kk
STB / P51 -pohjuste	0,34	0,30
Contega Solido SL / Tescon Primer RP -pohjuste	0,17	0,14
Illbruck ME402 / ME 902 -pohjuste	0,21	0,15

Taulukko 3. Vetokoetulokset vanerialustalta nro. 3. Maalattu vaneripinta

Liitosnauha ja käsittely-yhdistelmä	Koestusikä ja tulos (N/mm ²)	
	6 vrk	1 kk
STB	0,36	0,30
Contega Solido SL	0,17	0,26
Illbruck ME402	0,21	0,16

Betonialustojen kosteusmittaustulokset

Liitteessä 7 on esitetty tehtyjen betonialustojen suhteellisen kosteuden mittaustulokset alustakohtaisesti. Rakennekosteusmittausten suoritustapa on esitetty täsmällisesti kohdassa 5.3. Asennus- ja mittaussajakohdat on esitetty kohdassa 6.4.5

Taulukoissa esitetyt lukemat ovat kalibroititaulukolla laskettuja suhteellisen kosteuden arvoja, jossa jokaiselle mitta-anturille on yksilöllisesti mitattu kalibroitikerroin. Absoluuttisen kosteuden arvot on laskettu mitatun lämpötilan ja kalibroitiohjelmalla lasketun suhteellisen kosteuden arvon mukaisesti.

Taulukko 1. Kosteusmittausten tulokset betonialustalta nro. 1. Hiomaton betonipinta

Mittapiste	Mittaussyvyys	Mitta-anturi (nro.)	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)
Sisäilma	-	8	13,8	55,5	6,6
NÄPA 1*	0...5 mm	29 ja 37	21,6	59,9	11,4
MP1	20 mm	39	17,0	83,3	12,0
MP2	20 mm	256	17,0	84,0	12,1
MP3	50 mm	13	17,6	89,8	13,49

*kahden rinnakkaisen näytepalamittauksen keskiarvo

Taulukko 2. Kosteusmittausten tulokset betonialustalta nro. 2. Hiomaton betonipinta

Mittapiste	Mittaussyvyys	Mitta-anturi (nro.)	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)
Sisäilma	-	8	13,8	55,5	6,6
NÄPA 2*	0...5 mm	177 ja 36	21,4	52,3	9,84
MP10	16 mm	19	16,8	76,9	11,0
MP12	40 mm	22	17,1	86,7	12,6

*kahden rinnakkaisen näytepalamittauksen keskiarvo, **MP11 mitta-anturissa häiriö

Taulukko 3. Kosteusmittausten tulokset betonialustalta nro. 3. Hiottu betonipinta

Mittapiste	Mittaus-syvyys	Mitta-anturi (nro.)	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)
Sisäilma	-	8	13,8	55,5	6,6
NÄPA 3*	0...5 mm	174 ja 176	21,5	60,4	11,4
MP7	16 mm	35	15,9	75,0	10,2
MP8	16 mm	8	15,8	74,0	10,0
MP9	40 mm	33	16,5	94,3	13,3

*kahden rinnakkaisen näytepalamittauksen keskiarvo

Taulukko 4. Kosteusmittausten tulokset betonialustalta nro. 4. Hiottu betonipinta

Mittapiste	Mittaus-syvyys	Mitta-anturi (nro.)	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)
Sisäilma	-	8	13,8	55,5	6,6
NÄPA 3*	0...5 mm	30 ja 32	21,5	62,3	11,8
MP4	16 mm	38	16,1	78,7	10,8
MP5	16 mm	31	16,1	79,1	10,9
MP6	40 mm	46	16,6	92,0	13,02

*kahden rinnakkaisen näytepalamittauksen keskiarvo

Kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustoilta

Liitteessä 8 on esitetty betonialustoille asennettujen liitosnauhojen kolmioviiltokokeiden tulokset alustakohtaisesti. Kolmioviiltokokeen suoritustapa on esitetty täsmällisesti kohdassa 5.2.2.

Kolmioviiltokokeiden arvioinnissa käytettiin neljää eri määritelmää tulosten kirjaamiseksi: ei vastusta, heikko vastus, vastus ja voimakas vastus.

Taulukko 1. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 1. Hiomaton, primeroitu betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	vastus	ei vastusta	vastus
2. viilto	ei vastusta	heikko vastus	vastus
3. viilto	ei vastusta	ei vastusta	vastus

Taulukko 2. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 2. Hiomaton betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	ei vastusta	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	ei vastusta	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	ei vastusta	ei vastusta	ei vastusta

Taulukko 3. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 3. Hiottu betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	heikko vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	heikko vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 4. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 4. Hiottu ja pohjustekäsitelty betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	heikko vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	heikko vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	heikko vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 5. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 1. Hiomaton ja pohjustekäsitelty betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 6. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 2. Hioma-
ton betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	heikko vastus	ei vastusta	ei vastusta
2. viilto	heikko vastus	ei vastusta	ei vastusta
3. viilto	ei vastusta	ei vastusta	ei vastusta

Taulukko 7. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 3. Hiottu
betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 8. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 4. Hiottu ja
pohjustekäsitelty betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 9. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 1. Hiomaton ja pohjustekäsitelty betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 10. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 2. Hiomaton betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	ei vastusta
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	vastus

Taulukko 11. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 3. Hiottu betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 12. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot betonialustalta nro. 4. Hiottu ja pohjustuskäsitelty betonipinta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto		
	3 vrk	1 kk	4kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus	voimakas vastus

Kolmioviiltokokeiden havainnot vanerialustoilta

Liitteessä 8 on esitetty vanerialustoille asennettujen liitosnauhojen kolmioviiltokokeiden tulokset alustakohtaisesti. Kolmioviiltokokeen suoritustapa on esitetty täsmällisesti kohdassa 5.2.2.

Kolmioviiltokokeiden arvioinnissa käytettiin neljää eri määritelmää tulosten kirjaamiseksi: ei vastusta, heikko vastus, vastus ja voimakas vastus.

Taulukko 1. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot puhdistetulta vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 2. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot pohjustekäsitellyltä vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	vastus	voimakas vastus
2. viilto	vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 3. Ardex STB kolmioviiltokokeiden havainnot maalatulalta vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	heikko vastus	voimakas vastus
2. viilto	heikko vastus	voimakas vastus
3. viilto	heikko vastus	voimakas vastus

Taulukko 4. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot puhdistetulta vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 5. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot pohjustekäsitellyltä vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 6. Contega Solido SL kolmioviiltokokeiden havainnot maalatulalta vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 7. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot puhdistetulta vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 8. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot pohjustekäsitellyltä vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
2. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus
3. viilto	voimakas vastus	voimakas vastus

Taulukko 9. Illbruck ME402 kolmioviiltokokeiden havainnot maalatulalta vanerialustalta

Kolmioviiltokokeet	Koestusikä ja havainto	
	6 vrk	1 kk
1. viilto	vastus	voimakas vastus
2. viilto	vastus	voimakas vastus
3. viilto	vastus	voimakas vastus