

Rakennuseristemateriaalien kosteuskäyttäytyminen ja hyvät rakennustavat

Hannu-Petteri Mattila
Paroc Group Oy

Tiivistelmä

Rakennuseristemateriaalien kosteuskäyttäytymistä arvioitiin kokeellisella laboratoriotutkimuksella. Tutkimuksessa oli mukana kivi- ja lasivilla-, EPS-, PIR-, fenolivaaho- sekä sellueristeitä, ja siinä mitattiin niiden kosteudensitominaisuuksia eri mekanismeilla, sekä alkuperäisten materiaaliominaisuuksien palautumista kuivumisen jälkeen. Kaikki tutkitut eristemateriaalit sitovat itseensä vettä joutuessaan kosteudelle alttiiksi, vaikkakin niiden kostumis- ja kuivumiskyvyssä on huomattavia eroja. Eristeisiin sitoutunut kosteus aiheuttaa aina jonkinasteista haittaa sekä materiaalien lämmöneristyskyvylle että ympäröiville rakenteille. Kuivaketjun katkeamattomuudesta tulee huolehtia rakennusmateriaalien asianmukaisen suojauksen avulla, sekä varmistamalla rakennekosteuden poistuminen suunnittelemalla rakenteet ulospäin kuivuviksi. Esimerkiksi betonirakenteiden kuivumista voidaan nopeuttaa käyttämällä diffuusioavoimia rakennuseristemateriaaleja. Tiiviillä höyrynsululla taas ehkäistään tehokkaasti rakennuksen käytönaikaista vesihöyryn siirtymistä sisäilmasta rakenteisiin diffuusion avulla. Vaurioitilanteissa kastuneet rakennusmateriaalit tulee aina kuivattaa tai vaihtaa materiaalista riippumatta.

1. Johdanto

Viime vuosina on kiinnitetty erityistä huomiota rakentamisaikaiseen kosteudenhallintaan rakennustyömailla sekä myös rakenteiden käytännön kosteusominaisuuksiin pidemmällä aikavälillä. VTT Expert Services Oy:llä teetettiin vuosien 2016–2017 aikana laaja kokeellinen tutkimus eristemateriaalien kosteuskäyttäytymisestä [1]. Vertailututkimuksessa oli mukana kivi- ja lasivilla-, EPS-, PIR-, fenolivaaho- sekä sellueristeitä, ja siinä mitattiin materiaalien hygroskooppisia ominaisuuksia, vedenimeytymistä osittaisupotuksessa, vedenimeytymistä diffuusiolla sekä kapillaarisesti, sekä myös tiettyjä lämmöneristävyteen liittyviä ominaisuuksia. Myös kostuneiden koekappaleiden kuivumista seurattiin. Suoritetut laboratoriomittaukset vastaavat periaatteellisesti materiaalien kostumista ja kuivumista erilaisissa käytännön tilanteissa.

Kosteus voi siirtyä eristemateriaaleihin tai eristetilaan vesihöyrynä, nestemäisenä vetenä, tai kiinteässä olomuodossa lumena. Koska ilma sisältää aina vesihöyryä, ilman liikkeet eristetilassa siirtävät myös vettä. Asianmukaisen höyrynsulun käyttäminen rakenteen sisäpinnassa estää kosteudensiirron sisäilmasta eristetilaan. Ulkopuolelta eristekerrosta suojaavat vesikate ja ulkoverhous. Hygroskooppiset materiaalit sitovat kosteutta myös ulkoilmasta, joka on aina kosketuksissa eristetilaan. Vesihöyryn liikkeiden ymmärtäminen on olennaista höyryn kondensoitumiskäyttäytymisen ymmärtämiseksi ja hallitsemattoman kondensoitumisen estämiseksi [2]. Nestemäisen veden kanssa eristeet voivat joutua kosketuksiin esimerkiksi rakennusaikana sateen ja betonivalun yhteydessä tai myöhemmin erilaisten rakennusvaurioiden tai -virheiden seurauksena. Myös lunta saattaa päätyä tuulen mukana eristetilaan. Kosteuden kertymistä rakenteisiin voidaan estää rakennusmateriaalien asianmukaisella suojaamisella sekä varmistamalla sitoutuneen rakennekosteuden kuivuminen suunnittelemalla rakenteet ulospäin kuivuviksi.

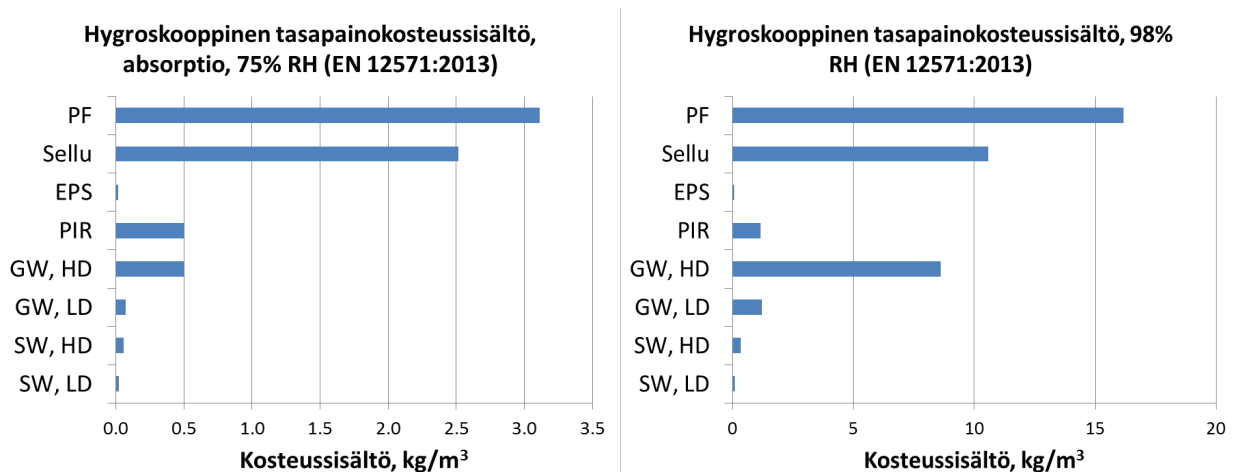
2. Tutkitut materiaalit

Taulukko 1. Materiaaliominaisuuksia [1].

Materiaali	Lyhenne	Tiheys, mitattu (kg/m ³)	Lämmönjohtavuus, 10 °C, mitattu (mW/(m*K))
Kivivilla, kevyt	SW, LD	30	36
Kivivilla, tiheä	SW, HD	94	35
Lasivilla, kevyt	GW, LD	14	36
Lasivilla, tiheä	GW, HD	71	35
PIR	PIR	31	21
EPS	EPS	15	31
Selluloosaeristelevy	Sellu	38	40
Fenolivaaho	PF	37	19

VTT:n tutkimuksessa käytettyjen materiaalien yleisominaisuuksia on listattu Taulukossa 1. Kaikki tässä artikkelissa esitetyt tulokset ovat sellaisenaan päteviä ainoastaan testatuille materiaaleille, ja tuloksia analysoitaessa on otettava huomioon, että materiaalityyppien sisälläkin ominaisuuksissa voi olla eroavaisuuksia.

3. Eristeisiin ilmasta sitoutuva kokonaiskosteus ja sen vaikutukset



Kuva 1. Materiaalien tasapainokosteussisältöjä, laskettu raportin [1] mittaustulosten pohjalta.

Rakennustuotteiden ilmasta sitomaa kosteutta voidaan arvioida standardin EN ISO 12571 mukaisesti määritetyissä tasapainotiloissa (suhteellinen kosteus, lämpötila). Tällöin mitataan ns. sorptiokäyrästä, joka kuvaa kosteuspitoisuuksia sekä absorptio- että desorptiotilanteissa, toisin sanoen tasapainotilan muuttuessa kuivasta kosteampaan sekä päinvastoin. Kuva 1 esittää eri materiaalien tasapainokosteuksia 75 % (absorptio) ja 98 % suhteellisessa kosteudessa 23 °C lämpötilassa mitattuna [1]. Mittaustulokset vastaavat tilanteita, joissa eristemateriaalit ovat alltiina ilmankosteudelle, mutta eivät kosketuksissa nestemäiseen veteen. Suomen olosuhteissa ulkoilman suhteellinen kosteus vaihtelee kesäajan 60–70 prosentista talvikuukausien noin 90 prosenttiin. Kuvasta 1 on siis luettavissa eristemateriaaleihin sitoutuvan kosteuden määrä kostumisen alkuvaiheessa, sekä erittäin korkeassa suhteellisessa kosteudessa.

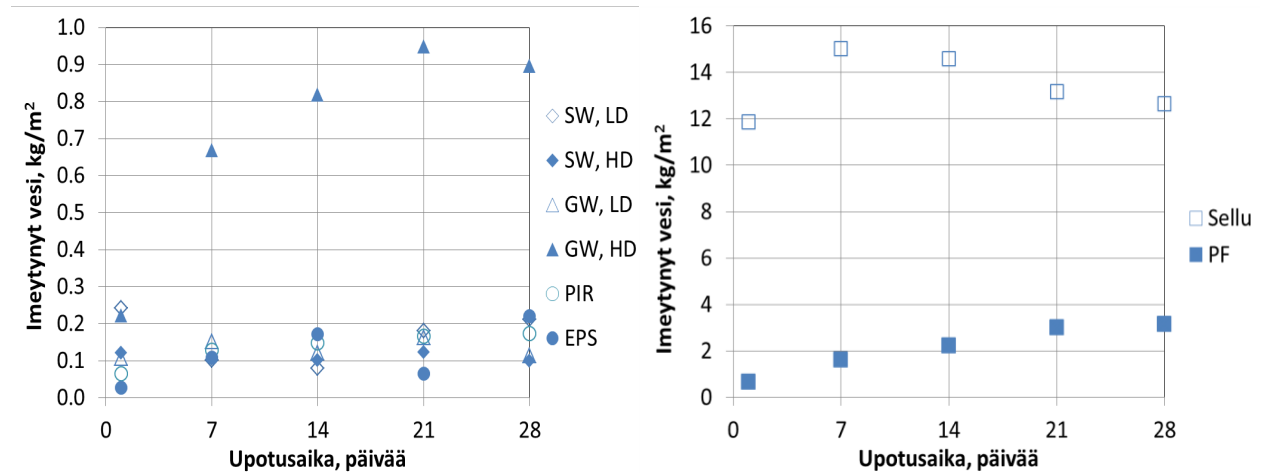
Tutkittujen materiaalien välillä on suuria eroja. Erojen merkitystä analysoitaessa tulee muistaa, että lämmöneristeen perustehtävä rakenteessa on rakenteen lämmönjohtavuuden pienentäminen. Suuret määrät sitoutunutta kosteutta heikentävät eristeiden lämmöneristyskykyä. Esimerkiksi

sellueristeiden osalta kirjallisuudessa [3, 4] mainitaan mitatun noin 1.5 % nousu lämmönjohtavuudessa jokaista kosteusprosenttia kohden. Myös biologinen aktiivisuus sekä rakenteiden korroosioriski lisääntyvät materiaalien kosteussisällön kasvaessa.

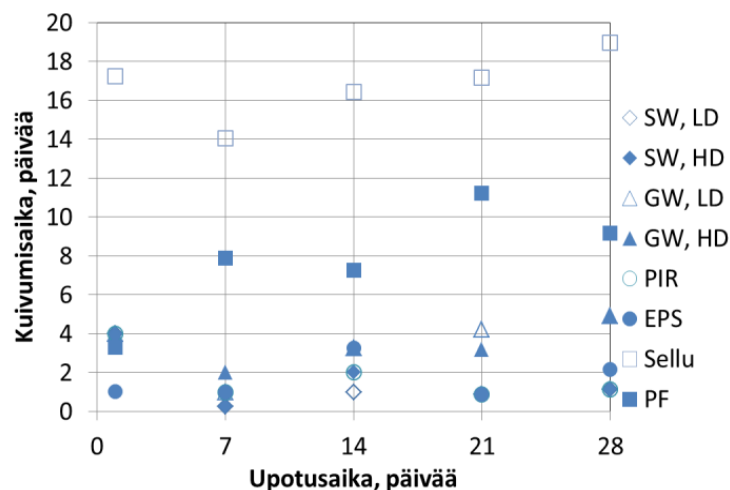
4. Eristeiden kastuminen ja kuivuminen ajan funktiona

4.1 Osittaisupotus (EN 12087)

Vedenimeytyminen eristeisiin osittaisupotuksella kuvantaa tilannetta, jossa esimerkiksi eristepaketti tai tasakatolle asennettu eriste kastuu sateessa.



Kuva 2. Vedenimeytyminen eristemateriaaleihin osittaisupotuksessa (EN 12087, metodi 1) ajan funktiona [1].



Kuva 3. Näytekkappaleiden kuivumisaika osittaisupotustestin jälkeen ajan funktiona [1].

Tutkittujen eristemateriaalien välillä on merkittäviä eroja sekä imeytyvässä vesimäärässä (Kuva 2) että kuivumisajassa takaisin alkukosteuteen (Kuva 3). Rakenteeltaan täysin avohuokoisissa kivi- ja lasivillassa vesi täyttää kuiturakenteen nopeasti, eli imeytyneen veden määrä ei tiheää lasivillaa lukuun ottamatta lisääny enää seitsemän päivän jälkeen. Muovieristeistä PIR ja EPS käyttäytyvät käytännössä samalla tavalla mineraalivillieristeiden kanssa; ne imevät kosteutta jonkin verran hitaammin, mutta kuitenkin suunnilleen vastaavia määriä (kivivilla, kevyt lasivilla, PIR ja EPS <math><0,3 \text{ kg/m}^2</math>, tiheä lasivilla <math><1 \text{ kg/m}^2</math>). Fenolivaaho- ja sellueristeet keräävät kosteutta

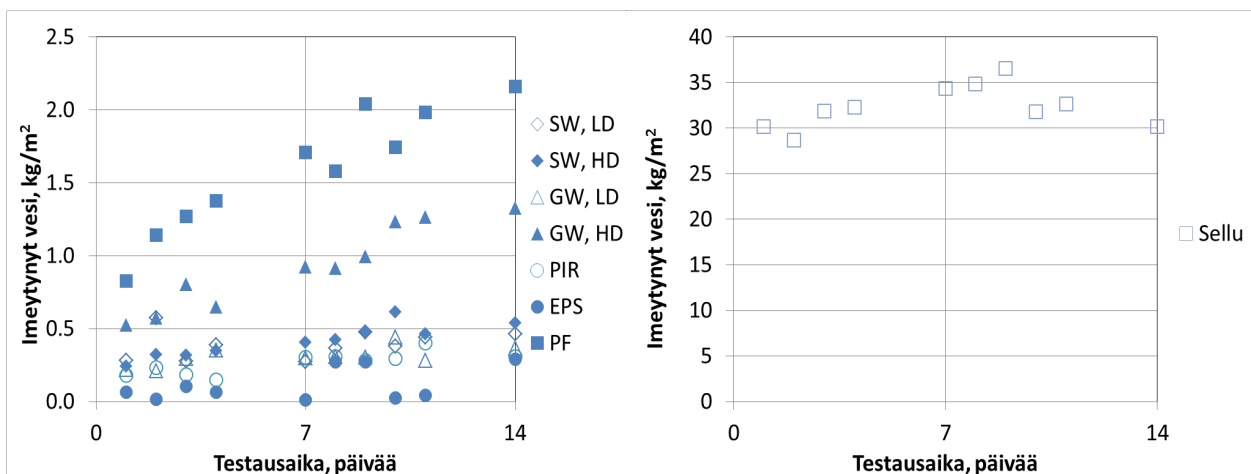
huomattavasti muita enemmän (fenolivaahdo jopa 3 kg/m² ja sellueriste jopa 15 kg/m²). Fenolivaahdon tapauksessa mittaustulokset viittaavat siihen, ettei 28 päivän testausaika ollut riittävä, vaan vedenimeytyminen saattaa edelleen jatkua. Testi tulisikin fenolivaahdon osalta uusia pidemmällä testausajalla.

Neljän viikon upotustestin jälkeen kivivilla, PIR ja EPS olivat +23 °C lämpötilassa ja 50 % suhteellisessa kosteudessa kuivatettuina kuivia 1-2 vuorokaudessa ja lasivilla 5 vuorokaudessa. Fenolivaahdon kuivumisaika oli noin 9 päivää, kun taas sellueristeellä kuivuminen kesti 19 päivää. Umpinaisissa rakenteissa mitattujen aikaerojen merkitys todennäköisesti kasvaa.

Materiaalien lämmönjohtavuus mitattiin sekä ennen että jälkeen osittaisupotustestien. Mittaustarkkuuden rajoissa saatiin kaikilla materiaaleilla alkuperäistä vastaava tulos myös upotustestien jälkeen. Eristeiden lämmönieristyskyky siis palautuu alkuperäiselle tasolle, mikäli materiaalit pääsevät kuivumaan vapaasti ja riittävän pitkään. Materiaalien mittapysyvyyttä arvioitiin vertaamalla testikappaleiden pituuden, leveyden ja paksuuden prosentuaalisia muutoksia 28 päivän osittaisupotustestin jälkeen. Mitatut leveys- ja pituusmuutokset olivat $\leq \pm 1.0$ % ($\leq \pm 4.0$ mm). Paksuuden osalta muutokset olivat alle ± 2.4 % ($\leq \pm 2.1$ mm). Ainoastaan sellueriste (-1.6 %) ja PIR (-0.7 %) kutistuivat upotustestissä paksuussuuntaan. Eristemateriaalin kutistuminen voi heikentää rakenteiden lämmönieristystä luomalla ilmarakojen eristetilaan.

4.2 Kapillaarinen vedenimeytyminen (EN 480-5)

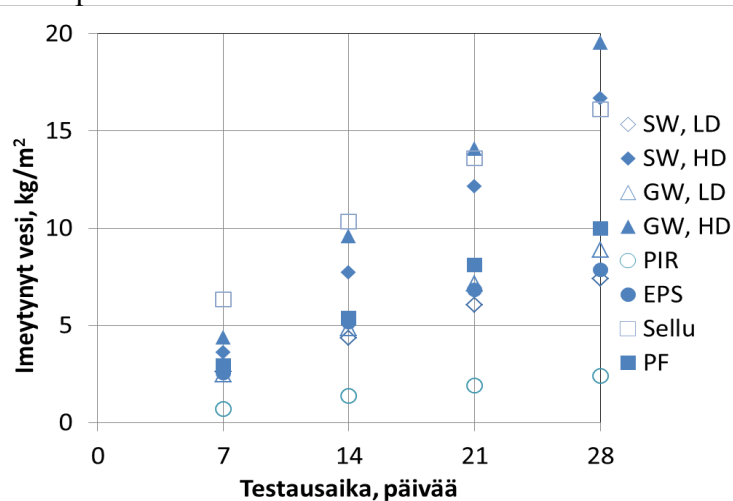
Vedenimeytyminen eristeisiin kapillaarisesti saattaa olla merkittävä kostumismekanismi lähinnä maanvastaisissa rakenteissa, joissa kaikkia testattuja materiaaleja ei käytetä. Kuvassa 4 esitetään kuitenkin mittaustulokset kaikille materiaaleille. Ominaisuutta tutkittiin erityisesti kapillaarisen vedenimeytymisen mittaamiseen kehitetyllä mittaamenetelmällä, vaikka edellisessä luvussa esitetty osittaisupotusmenetelmä mittaa osin vastaavia ominaisuuksia. Eristemateriaalien keskinäinen järjestys imeytyneen veden määrällä verrattuna onkin näissä testeissä pääosin sama (Kuvat 2 ja 4). EPS-eriste imee vähiten vettä, mutta tiheää lasivillaa, fenolivaahdo sekä sellueristettä lukuun ottamatta muut materiaalit ovat EPS-eristeen kanssa samalla tasolla. Tuloksissa huomionarvoista on, että fenolivaahdoeristeitä markkinoidaan myös lattiarakenteisiin, vaikka niihin tämänkin mittauksen perusteella imeytyy merkittäviä määriä kosteutta. Tulosten pohjalta EPS, tiheä kivivilla sekä PIR soveltuvat tällä kriteerillä arvioituna parhaiten sovelluksiin, joissa kapillaarista vedenimeytymistä saattaa tapahtua.



Kuva 4. Kapillaarinen vedenimeytyminen eristemateriaaleihin (EN 480-5) ajan funktiona [1].

4.3 Vesihöyryn diffuusio (EN 12088)

Sisäilman vesihöyryn osapaine on yleensä suurempi kuin ulkoilman vesihöyryn osapaine, joten diffuusio siirtää sisäilman kosteutta paineen vaikutuksesta sisätiloista ulos rakenteiden läpi. Tiivis höyrinsulku rakenteen sisäpinnassa estää tehokkaasti vesihöyryn siirtymisen diffuusiolla rakenteeseen. Standardin EN 12088 mukaisessa testissä osapaine-erojen aiheuttamaa vesihöyryn kulkeutumista eristemateriaaleihin simuloidaan testikappaleen ylitse lämmitetyn vesialtaan avulla ylläpidettävällä 50 °C lämpötilaerolla.



Kuva 5. Vedenimeytyminen eristemateriaaleihin diffuusiolla (EN 12088) ajan funktiona [1].

Diffuusion vaikutuksesta vesihöyryä kulkeutuu vähiten suljetun huokosrakenteen PIR-eristeeseen. EPS-eriste, kevyet lasi- ja kivivilla, sekä fenolivahtoeriste ovat keskenään suunnilleen samalla tasolla. Tiheisiin lasi- ja kivivilloihin sekä sellueristeeseen kosteutta siirtyy diffuusiolla eniten. 28 päivän mittausjakson aikana sitoutuneen veden määrä kasvoi lineaarisesti ajan funktiona kaikilla materiaaleilla. Vaikka tutkimuksessa ei mitattu materiaalien diffuusiovastuskertoimia (μ), tulokset ovat loogisessa järjestyksessä verrattaessa materiaalien taulukkoarvoihin [5]. Diffuusioavoimet materiaalit, kuten mineraalivillat ($\mu \approx 1$) ovat selvästi eri tasolla kuin PIR ($\mu = 160\text{--}2000$), ja muut tutkitut materiaalit sijoittuvat näiden välille.

5. Mittaustulosten käytännön merkityksestä

5.1 Rakennusaikaiset käytännöt

Yllä esitetyt mittaustulokset korostavat rakennusaikaisen kosteudenhallinnan merkitystä. Kaikki testatut eristemateriaalit imevät itseensä kosteutta useilla eri mekanismeilla. Esimerkiksi, mikäli eristepakkauksia ei rakennustyömaalla suojata sateelta, tai mikäli jo asennettujen eristeiden annetaan olla sateelle alttiina pitkiä aikoja, voi rakennekosteus nousta tarpeettomasti verrattuna kunnollisen sääsuojauksen käyttöön. Eristemateriaalien tehdaspakkauksia ei lähtökohtaisesti ole suunniteltu kestäämään pitkäaikaista kosteusrasitusta, vaan ne toimivat lähinnä mekaanisena suojana kuljetusten aikana.

5.2 Rakenteiden kuivuminen ja kosteustasapaino

On tärkeää, että rakennusmateriaalien sisältämä rakennusaikainen kosteus pääsee kuivumaan mahdollisimman hyvin ja nopeasti. Rakennusaikaista kosteutta on väistämättä aina mm.

betonirakenteissa, joiden kuivumista voidaan edesauttaa mm. käyttämällä diffuusioavoimia eristemateriaaleja [6,7]. Nopeammalla betonin kuivumisella voidaan myös periaatteessa lyhentää rakennusaikaa, sillä rakenteet voidaan pinnoittaa aikaisemmin lisäämättä kosteusvaurioiden riskiä.

Rakenteiden kosteusturvallisuuden kannalta on olennaista tarkastella yleensä suuremman absoluuttisen kosteusmäärän sisältävää sisäilmaa. Sisäilman vesihöyryn osapaine on useimmiten suurempi kuin ulkoilman vesihöyryn osapaine, joten diffuusio siirtää sisäilman kosteutta rakenteessa sisältä ulos. Suurin vaikutus diffuusiossa on sisäseinälevyn materiaalilla, joka voi periaatteessa tasoittaa huonetilan kosteusvaihteluita. Tiiviillä höyrysululla estetään kosteuden haitallinen siirtyminen eristeisiin ja muihin vaipparakenteisiin. Rakennuseristeiden tehtävä ei ole tasapainottaa rakennusten kosteusolosuhteita. Ensinnäkin, merkittävän vaikutuksen saamiseksi eristemateriaalien tulisi käytännössä olla suorassa yhteydessä sisäilmaan [8], mutta lisäkosteus aiheuttaa lisäksi aina jonkinasteista haittaa lämmöneristeen suorituskyvylle ja ympäröiville rakenteille.

6. Yhteenveto

Vettä sitoutuu eri mekanismeilla kaikkiin eristemateriaaleihin, mikäli ne joutuvat kosteudelle alttiiksi. Eri eristeiden kosteudensitomis- sekä kuivumiskyvyssä on huomattavia eroja. Rakennusten kosteusturvallisuuden takaamiseksi on tärkeää taata kuivaketjun katkeamattomuus rakennusaikana materiaalista riippumatta. Rakennuksen vesikaton ja ulkoseinien uloimpien kerrosten tulee muodostaa riittävä sääsuoja eristeille ja kantaville rakenteille. Avohuokoisten eristeiden käyttö edesauttaa rakennusaikaisen kosteuden poistumista lisäten rakenteiden turvallisuutta ja lyhentäen rakennusaikoja. Vauriutilanteissa kastuneet rakenteet vaativat pitkäaikaisvaikutusten ehkäisemiseksi eristemateriaalista riippumatta laajempia korjauksia.

Lähdeluettelo

- [1] Hyttinen, H. ja Seppälä, T. 2017. Test report VTT-S-01758-17 (12.4.2017): Moisture in building insulations. Determination of effect of moisture to the technical properties of building insulations. Espoo, VTT Expert Services Ltd.
- [2] University of Kentucky. 2010. Insulation fact sheet: Moisture.
- [3] Lopez Hurtado, P. et al. 2016. A review on the properties of cellulose fiber insulation. Building and Environment 96, pp.170-177. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.09.031.
- [4] Vejelis, S. et al. 2006. Performance of Loose-Fill Cellulose Insulation. Materials Science 12 (4), pp. 338-340.
- [5] Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014. RIL-255-1-2014 Rakennusfysiikka 1: Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Taulukot L4.8, L4.9 ja L4.10. Tampere.
- [6] Ojanen, T. 2017. Moisture performance of mineral wool insulation products in highly insulated structures. 11th Nordic Symposium on Building Physics (NSB2017), 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.
- [7] Hakala, K. 2015. Maanvarainen villaeristeinen kuitubetonilattia. Insinööriyö. Helsinki, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- [8] Ojanen, T. ja Laaksonen, J. 2016. Hygrothermal performance benefits of the cellulose fibre thermal insulation structures. 41st IAHS World Congress. Sustainability and Innovation for the Future. 13-16 September 2016, Albufeira, Portugal.