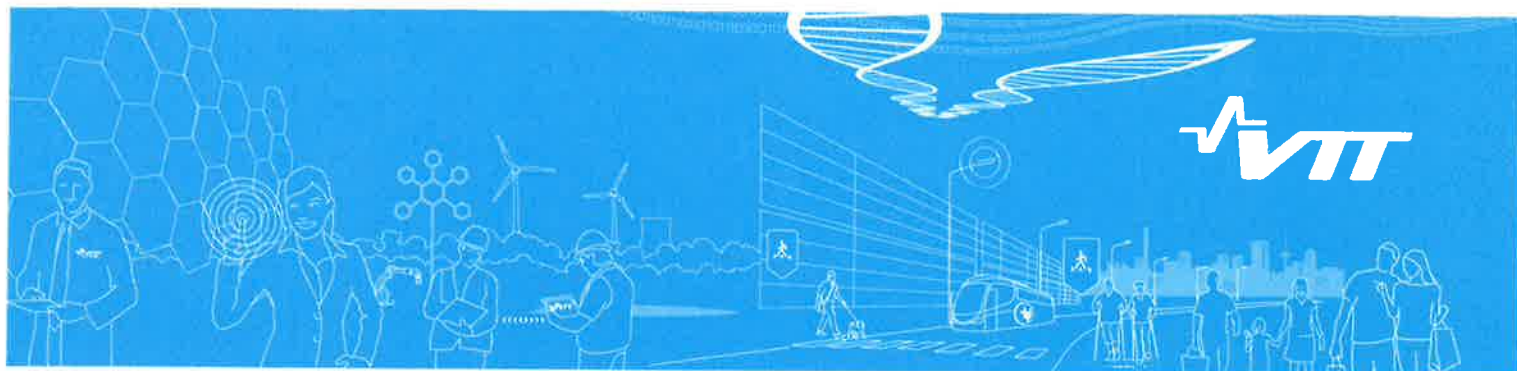




Energiatehokkaiden uudisrakennusten rakenteiden kosteustekninen toimivuus

Kirjoittajat: Tuomo Ojanen, Miimu Airaksinen ja Pekka Tuomaala

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi Energiatehokkaiden uudisrakennusten rakenteiden kosteustekninen toimivuus	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ympäristöministeriö Pekka Kalliomäki Aleksanterinkatu 7, 00023 Valtioneuvosto	Asiakkaan viite Dnro YM34/612/2016
Projektin nimi Energiatehokkaiden uudisrakennusten rakenteiden kosteustekninen toimivuus	Projektin numero/lyhytnimi YM Rakennekosteus
Tiivistelmä Raportin tarkoituksena on antaa kattava kuva energiatehokkaiden rakenneratkaisujen vaikutuksesta rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Erityisesti halutaan antaa vastaus niihin väittämiin, joiden mukaan rakennusten hyvä lämmöneristystaso lisäisi tai jopa aiheuttaisi kosteus- ja homeongelmia rakenteissa. Tehty työ perustui useisiin aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin ja selvityksiin. Selvityksessä käytetyn aineiston perusteella rakenteiden hyvä lämmöneristys ei aiheuta eikä lisää kosteusongelmia uudisrakentamisessa. Mikään teoreettinen tausta-aineisto tai energiatehokkaiden rakenneratkaisujen pitkäaikaiset monitorointitulokset eivät viitanneet kosteusongelmiin ylipäänsä tai niiden lisääntymiseen hyvän lämmöneristystason takia. Rakenteen lämmöneristystason parantuminen lähes 0-energiatasolle vaikuttaa vain marginaalisesti rakenteen ulkopinnan kuivumispotentiaaliin. Kaiken rakentamisen edellytyksenä on hyvä suunnittelu ja toteutus. Käytön aikana asianmukainen ylläpito varmistaa rakennuksen toimivuuden. Riippumatta rakenteiden energiatehokkuudesta tai rakennetyypistä, mikä tahansa rakenne voi vaurioitua liiallisen kosteuden vaikutuksesta. Tämän selvityksen perusteella uudisrakennusten tai niiden rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden ongelmat eivät aiheudu energiatehokkuuden paranemisesta. Energiatehokkuudesta tinkimällä ei päästä nykytasoa parempiin kosteusteknisiin ratkaisuihin missään rakennusosassa. Asetusluonnoksessa rakennusten energiatehokkuudesta (2016) esitetyt U-arvojen vertailutasot edustavat vähäistä muutosta jo toteutettuihin normaalitason rakennuksiin nähden. Tämän tasoisista ja huomattavasti energiatehokkaammista rakenneratkaisuista on lähdejulkaisuissa esitetty lukuisia kosteusteknisesti hyvin toimivia käytännön esimerkkejä.	
ESPOO 16.11.2016 Laatija  Tuomo Ojanen Erikoistutkija	Hyväksyjä  Riikka Holopainen Tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot Tuomo Ojanen p. 0405173773, tuomo.ojanen@vtt.fi	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaja ja VTT	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	2
1. Tausta ja tavoitteet	3
2. Määräysten kehitys ja tarkastelussa käytetyt lämmöneristystasot.....	3
3. Toteutus	4
4. Rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavat tekijät.....	5
4.1 Kuivumiskyky ja rakenteiden tuuletus	5
4.1.1 Kuivumiskykyyn vaikuttavat tekijät.....	5
4.1.2 Rakenteiden tuuletus	6
4.2 Materiaalikerrosten vesihöyryn diffuusioläpäisevyys.....	7
4.3 Kosteuskuormitus ulko- ja sisäilmasta	7
5. Kosteusteknisen toimivuuden kriteerit.....	8
5.1 Kosteusvirtojen tasapaino ja kosteustasot	8
5.2 Homeen kasvun arviointi	8
6. Aiempia tutkimustuloksia	10
6.1 Rakenteellinen energiatehokkuus -opas	10
6.2 Asuinrakennusten korjaustarve	11
6.3 Frame-hanke.....	11
6.4 Energiatehokkaiden rakenteiden ratkaisut yrityksille.....	12
6.5 Seinät.....	13
6.6 Ryömintätilat	13
6.7 Tuulettut yläpohjat ja ullakot	14
7. Seurantakohteiden toimivuus	14
7.1 IEA 5 –koetalo.....	15
7.2 Betonielementtitalo.....	16
7.3 Päiväkodit.....	19
7.4 Puukerrostalo	22
7.5 Tuulettut ryömintätilat	24
8. Asiantuntijanäkemykset ja tilastot	26
8.1 Oulun rakennusvalvonta.....	26
8.2 Isännöitsijät	26
9. Rakennus on kokonaisuus.....	26
10. Johtopäätökset ja yhteenveto	27
Liitteet /Lähdeviitteet	28

1. Tausta ja tavoitteet

Tässä selvityksessä annetaan kattava kuva energiatehokkaiden rakenneratkaisujen vaikutuksesta rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Erityisesti halutaan antaa vastaus niihin väittämiin, joiden mukaan rakennusten hyvä lämmöneristystaso lisäisi tai jopa aiheuttaisi kosteus- ja homeongelmia rakenteissa. Selvitys perustuu useisiin aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin ja selvityksiin.

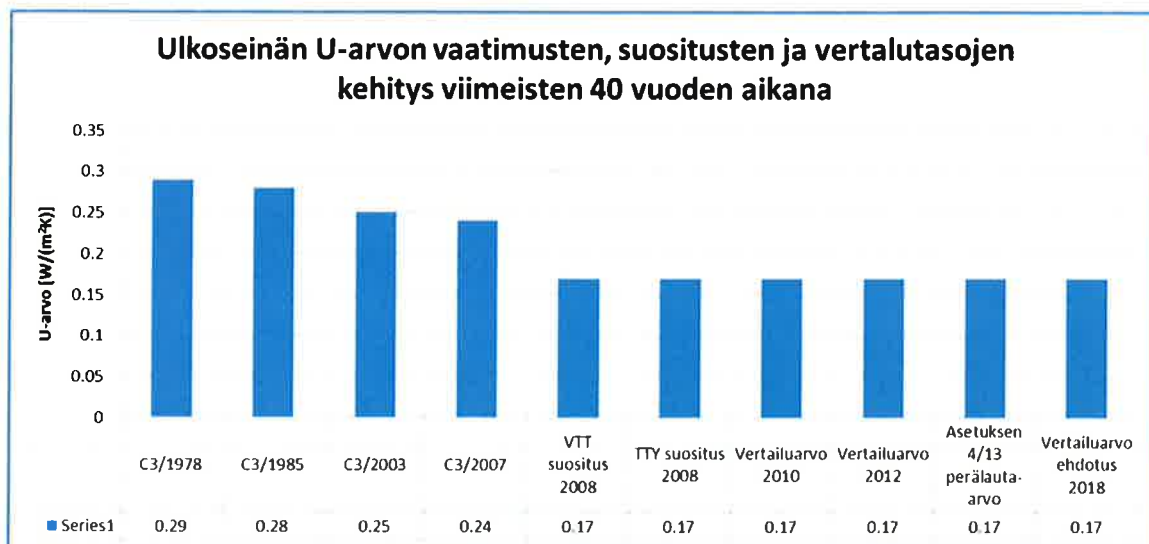
Tämä selvitys koskee asunto- ja toimistorakennuksia, mutta ei erityissuunnittelua edellyttäviä tiloja kuten uima-, jää-, urheiluhallit. Taustana on olemassa oleva Ympäristöministeriön asetusluonnos 2016 /1/ uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.

Tässä ei tarkastella rakentamiseen liittyviä riskitekijöitä. Oletuksena on, että rakentaminen tehdään tarkoituksenmukaisesti noudattamalla kuivaketjun mukaista toimintapaa (varastointi, suojaus, asennus). Samoin oletetaan, että itse rakentamisessa ei tehdä virheitä, vaan rakenteet ovat asennuksen jälkeen suunnitelmien mukaisia ja niiden alkukosteustaso vastaa hyvää käytäntöä. Tavoitteena ei ole selvittää rakentamisprosessin riskitekijöitä vaan antaa näkemys hyvin lämmöneristettyjen rakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta Suomen ilmasto-oloissa.

2. Määräysten kehitys ja tarkastelussa käytetyt lämmöneristystasot

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet (U-arvot) ovat tärkeä osa rakennuksen energiatehokkuutta, sillä hyvä lämmöneristystaso tuo passiivista energiansäästöä koko rakennuksen ulkovaipan käyttöiän ajan.

Viranomaisten ja asiantuntijoiden esittämät rakenteiden lämmönläpäisykertoimien vaatimukset, suositukset ja vertailutasot ovat muuttuneet viimeisten 40 vuoden aikana varsin maltillisesti, ja ne ovat pysyneet vuodesta 2008 jokseenkin samoina. Nyt lausunnolla olevassa Ympäristöministeriön asetusluonnoksessa /1/ uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on esitetty seinän U-arvoksi samaa vertailutasoa kuin VTT ja TTY ovat suositelleet vuonna 2008. Kuva 1 esittää ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen (U-arvon) vaatimusten, suositusten ja vertailutasojen kehityksen.



Kuva 1. Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen (U-arvon) vaatimusten, suositusten ja vertailuarvojen kehitys vuodesta 1978 lähtien.

Tässä selvityksessä tarkastellaan rakenteiden lämmönläpäisykertoimen pienentämisen vaikutusta rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen ja erityisesti aiempaa pienemmän U-arvon aiheuttamiin mahdollisiin kosteusriskeihin. Taulukko 1 esittää U-arvojen vertailutasojen kehityksen eri rakenneosille viime vuosina.

Vertailussa käytetään määräysehdotuksen 2016 vertailuarvoja, ja pääosin näistä paremman energiatehokkuuden U-arvoja, joilla voidaan osoittaa vaatimusten täyttyminen rakenteellisella energiatehokkuudella. Vertailukohtana käytetään pääasiassa 2007 määräysten mukaisia U-arvotasojä lämpimien tilojen rakenteille.

Taulukko 1. U-arvojen vertailuarvot eri vuosien määräyksissä. Vuoden 2016 ehdotuksessa /1/ korkeampi vertailuarvo on tarkoitettu rakennuksen vaipan lämpöhäviöiden laskennan vertailuarvoksi (¹) ja pienempi (²) kun käyttötarkoituksiluokkiin 1 ja 2 kuuluvien rakennusten vaatimustason täyttyminen osoitetaan rakenteellisen energiatehokkuuden avulla.

Rakenne	Vertailuarvo 2007	Vertailuarvo 2010	Vertailuarvo ^{*1} 2016 ehdotus	Vertailuarvo ^{*2} 2016 ehdotus
		Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) W/Km ²		
Seinä	0,24	0,17	0,17	0,12
Yläpohja	0,15	0,09	0,09	0,07
Alapohja (tuulettuva ryömintätila)	0,19	0,17	0,17	0,10
Maata vastaan oleva rakennusosa	0,24	0,16	0,16	0,10
Ikkuna	1,4	1,0	1,0	0,7
Muuta:				
Ilmatiiviysvaatimus, rakennuksen ilmanvuotoluku (q50)			2,0 m ³ /(h m ²)	enintään 0,6 m ³ /(h m ²);

^{*1}) Rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvo laskennassa

^{*2}) Rakennuksen energiatehokkuudelle asetettujen vaatimusten täyttyminen voidaan osoittaa rakenteellisella energiatehokkuudella. Käyttötarkoituksiluokkiin 1 ja 2 kuuluva rakennus täyttää energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset näillä U-arvoilla.

3. Toteutus

Selvitys perustuu julkaistuihin tutkimustuloksiin, asiantuntijahaastatteluihin ja VTT:n lukuisissa tutkimus-, kehitys- ja selvityshankkeissa hankittuun asiantuntemukseen.

4. Rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttavat tekijät

4.1 Kuivumiskyky ja rakenteiden tuuletus

4.1.1 Kuivumiskykyyn vaikuttavat tekijät

Rakenteiden kuivumiskyky perustuu yhtäältä kosteuden siirtymiseen rakenteen sisällä sisäilmasta ja materiaalikerroksista ulospäin ja toisaalta kosteuden siirtymiseen rakenteen ulkopinnasta ulkoilmaan. Suomen ilmastossa ja normaaleissa asuinhuoneiston sisäilmaolosuhteissa kuivuminen ulkoilmaan päin on pääsääntöinen suunta. Joissain tapauksissa alkukosteuden kuivuminen voi olla merkittävää myös sisäilmaan päin.

Rakenteen materiaalikerrosten diffuusionen kosteudenläpäisevyys vaikuttaa kosteusvirtaukseen rakenteessa. Diffuusiotiiviimmät kerrokset ovat yleensä rakenteen sisäpinnan lähellä (höyryn/ilmansulku) ja ulkokerrokset ovat tätä paremmin vesihöyryn diffuusiota läpäiseviä (esimerkiksi tuulensuoja). Kosteusvirran tiheyteen vaikuttaa kerrosten diffuusiovastuksen lisäksi diffuusion käyttövoima, vesihöyryn osapaineen gradientti [Pa/m].

Samalla vesihöyryn paine-erolla rakenteessa on hyvin lämmöneristetyillä, paksuilla eristerakenteilla pienempi vesihöyryn gradientti. Tämä vaikuttaa alkukosteuden kuivuttua rakenteen läpi siirtyvän, pääosin sisäilmasta peräisin olevan kosteuden virrantiheyteen. Pienempi gradientti johtaa pienempään kosteusvirtaan rakenteen ulko-osia kohden, mikä kuormittaa kriittisiä rakennekohtia vähemmän kuin suurempi gradientti. Paksu lämmöneristekerros johtaa siis ohutta vastaavaa eristettä pienempään sisäilmasta peräisin olevaan kosteusvirtaan rakenteen läpi, joten se ei ainakaan heikennä rakenteen kriittisten uloimpien kerrosten toimintaa.

Rakenteen alkukosteuden kuivuminen on varmistettava erikseen. Tähän vaikuttaa alkukosteustaso (kuivaketjun toimivuus ja materiaalit). Tyypillisesti suurimmat kuivattavat kosteusmäärät johtuvat tuoreen betonin kuivumisesta. Kuivumiseen vaikuttaa eniten ympäristön olosuhteet, joihin betoni on kosketuksessa, ei niinkään lämmöneristeen määrä. Muiden materiaalien normaalit alkukosteudet ovat suhteellisen alhaiset ja ne kuivuvat kuten rakenne normaalitilanteessa.

Hyvin lämmöneristetyt rakenteet siis pienentävät sisäilmasta tulevaa kosteuskuormitusta rakenteeseen. Toinen kuivumiseen vaikuttava tekijä, johon rakenteen lämmöneristystasolla on vaikutusta on kosteuden siirtyminen rakenteen ulkopinnan ja ulkoilman välillä. Seuraavassa esimerkissä tarkastellaan millainen vaikutus rakenteen lämmönläpäisykertoimella on ulkopinnan kuivumispotentiaaliin /2/.

Esimerkki kuivumispotentiaalista rakenteen ulkopinnalla

Esimerkissä tarkasteltiin puurunkoisen rakenteen tuulensuojan ulkopinnan ja ulkoilman välistä kuivumispotentiaalia rakenteen eri U-arvoilla. Tarkasteluvuoden ulkoilman keskilämpötila oli +2,76 °C. Puurunkoisen seinärakenteen keskikohdalla, jossa lämmöneristyskyky on paras, on laskennallinen ulkopinnan lämpötila em. oloissa 175 mm mineraalivillaaeristeen paksuudella +2,90 °C ja eristepaksuudella 345 mm vastaavasti +2,84 °C. Merkittävä lämmöneristystason lisäys tuo vain pienen eron ulkopinnan lämpötiloihin.

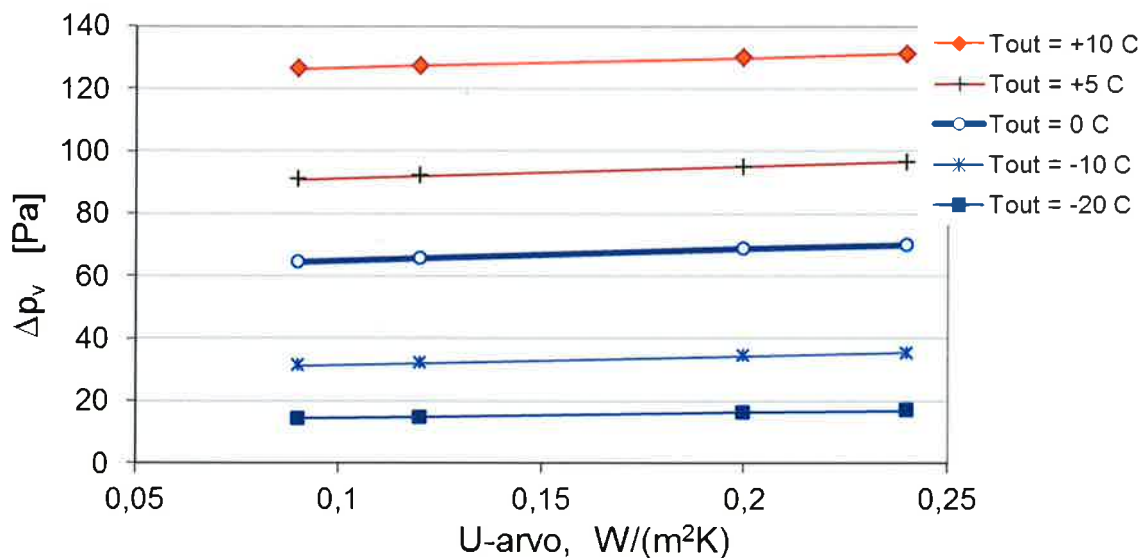
Lisäksi selvitettiin muutoksen vaikutus vesihöyryn osapaine-eroon rakenteen pinnasta ulkoilmaan (Kuva 2). Rakenteen pinta oletettiin kyllästystilaan (kuivumistilanne) ja ulkoilma 90 % RH suhteelliseen kosteuteen.

Tuloksen mukaan U-arvon parantaminen tasolta 0,24 W/m²K tasolle 0,17 W/m²K merkitsee esimerkiksi 0 °C ulkoilman lämpötilassa ulkopinnan ja ulkoilman välisen kosteudensiirtopotentiaalin (vesihöyryn osapaine-eron) muutosta tasolta 69,9 Pa tasolle 67,5 Pa, ts. suhteellinen ero kuivumispotentiaalissa on noin 3,5 %. Vastaavasti U-arvon

puolittuessa 0,24 W/m²K:stä 0,12 W/m²K tasolle (rakenteen lämmönsiirtovastus kaksinkertaistuu) pienenee ulkopinnan kosteudensiirtopotentiaali noin 6 %:lla.

Rakenteen lämmöneristystason parantuminen lähes 0-energiatasolle vaikuttaa vain marginaalisesti rakenteen ulkopinnan kuivumispotentiaaliin. Kun lisäksi otetaan huomioon todelliseen rakenteeseen vaikuttava auringon säteily ja sen kuivumista edistävä rakenteen ulkopinnan lämpeneminen, on U-arvon vaikutus kuivumispotentiaaliin todellisuudessa hyvin pieni.

Kun vielä otetaan huomioon sisäilmasta rakenteeseen pienentynyt kosteusvirtaus voidaan todeta että rakenteen hyvä lämmönläpäisykerroin ei käytännössä heikennä rakenteen kosteusteknistä toimintaa tai sen kuivumiskykyä.



Kuva 2. Rakenteen ulkopinnan kuivumispotentiaali rakenteen U-arvon funktiona ulkolämpötilan ollessa parametrina, kun ulkopinta on kyllästystilassa ja ulkoilma (T_{out}) oletettiin 90 % RH kosteuteen.

4.1.2 Rakenteiden tuuletus

Rakenteiden tuuletuksella on monia etuja. Oikein toteutettu ja rakenteen otsapinta-alan riittävän kattavasti peittävä tuuletus poistaa tehokkaasti kosteutta rakenteesta. Tuuletusvälissä ilma lämpenee hieman ja rakenteen kosteus voi poistua tuuletusilmaan. Julkisivuverhous ja tuuletusväli toimivat sääsuojana viistosadetta vastaan, viistosade ei näissä rakenteissa pääse kapillaarisesti imeytymään runkorakenteisiin. Lisäksi oikein toteutettu tuuletusrako estää sateen ja lumen tunkeutumisen rakenteeseen tuuletusilman mukana. Mahdollisen veden tunkeutumisen varalta tuulettuvan osan rakenteet on tehtävä niin, etteivät ne padota vettä tai johda sitä rakenteen runkoon päin. Ylimääräisen veden tulisi valua tuulensuojan pintaa (sääsuojakerros) pitkin alas ja ulos rakenteesta, lopun ylimääräisestä kosteudesta tuulettuessa pois.

Yhtenäinen lämmöneristävä tuulensuoja (tuulensuojavilla, huokoinen puukuitulevytuulensuoja, tmv.) runkorakenteen ulkopuolella parantaa rakenteen lämpötekniistä toimintaa vähentämällä kylmäsiltoja rakenteen läpi. Lisäksi tällainen tuulensuoja parantaa rakenteen kuivumiskykyä, mikä on osoitettu useissa VTT:n tutkimuksissa /mm. 3 - 5/ ja myöhemmin asia on vielä todettu Frame-hankkeessa /6/.

4.2 Materiaalikerrosten vesihöyryn diffuusioläpäisevyys

Suomen ilmastossa, jossa suurimman osan vuotta kosteusvirran suunta on lämmitetystä sisäilmasta ulospäin, tulee rakenteen sisäpuolen kerrosten diffuusiovastuksen olla suurempi kuin ulkopinnan puoleisten kerrosten. Tällä pyritään varmistamaan kosteuden turvallinen siirtyminen rakenteessa ulospäin. Yksi yleisesti käytetty suositusarvo on, että sisäpuolella tulisi olla viisinkertainen vesihöyrynvastus ulkopuoleen verrattuna. Tämä suositus on suuntaa-antava, ja käytännön vaatimukset riippuvat paljon mm. rakennusmateriaaleista. Tyypillisessä höyrynsulullisessa rakenteessa sisäpuolen vastus on merkittävästi suositusarvon turvallisella puolella, ja toisaalta höyrynsuluttomissa rakenteissa ilmansulun ja sisäverhouksen vastukset voivat alittaa em. suhdeluvun suosituksen. Molemmat rakenneratkaisut ovat oikein suunniteltuina toimivia niille tarkoitetuissa käyttöoloissa.

Käytännössä rakenteessa voi olla ulkopinnan lähellä kerroksia, joiden vesihöyrynvastus on olennaisesti lämmöneristekerrosta suurempi. Tällaisia ovat esimerkiksi tuulensuoja tai sandwich-rakenteen ulkokuori. Tällöin kosteus voi siirtyä lämmöneristeen läpi ja sen ulkopintaan muodostuu kriittinen rajapinta. Rakenteen kuivuminen riippuu sisäilmasta tulevasta kosteuskuormasta, rakenteen alkukosteudesta, ilmasto-oloista ja ulkopinnan materiaalikerroksista. Oikein suunniteltuna rakenteen kriittisten pintojen kosteustaso pysyy pääsääntöisesti riittävän matalana, niin ettei biologisen (homeen) kasvun käynnistyminen siinä ole mahdollista. Homeen kasvun käynnistyminen riippuu kosteus- ja lämpötilatasoista sekä niiden vaikutusajasta. Esimerkiksi tilapäiset korkeat kosteustasot kylmän jakson aikana ovat mahdollisia, eikä niistä aiheudu riskiä. Homeenkasvun laskennallista käyttöä toimivuuskriteerinä tarkastellaan enemmän luvussa 5.2.

4.3 Kosteuskuormitus ulko- ja sisäilmasta

Rakenteiden kosteuskuormitus aiheutuu sitä ympäröivien ilmatilojen lämpötila- ja kosteusolojen aiheuttamasta diffuusista kosteudensiirrosta, rakentamisen jälkeisestä alkukosteudesta ja sen uudelleenjakautumisesta kuivumisen aikana, ilmavirtausten kuljettamasta kosteudesta ja nestemäisen veden kapillaarisesta imeytymisestä materiaaleihin tai veden pääsystä rakenteeseen.

Sisäilmasta kosteus siirtyy rakenteeseen pääosin vesihöyryn diffuusiona. Ilmansulkukerroksen, rakenteiden ilmatiiviysvaatimusten ja ainakin toistaiseksi suositellun, pääsääntöisen sisäilman alipaineen takia kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin ilmavuotojen mukana on voitu minimoida uusissa rakennuksissa. Sisäpuolelta rakenteeseen voi päästä vapaata, nestemäistä vettä vain putkivuodon, puutteellisesti toteutetun läpiviennin tai muun vastaavan virheen aiheuttaman vahingon seurauksena.

Nykymääräysten mukaan toteutetun rakennuksen sisäilman suhteellisen kosteuden tasot ovat varsin matalat. Laskennassa tyypillisesti käytetty kuivia asuintiloja kuvaava sisäilman kosteuskuormituksen aiheuttama suhteellinen kosteus vaihtelee vuoden aikana välillä noin 30 – 70 % RH, kuivimpien olosuhteiden esiintyessä talvikaudella. Oikein suunnitellussa ja toteutetussa rakenteessa asuintilojen sisäilman kosteus ei käytännössä aiheuta merkittäviä riskejä rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen.

Ulkoilmasta tulevaan kosteuskuormitukseen tulee mukaan sade ja tuulen painevaikutus, ja joissain tapauksissa taivaan vastasäteily voi jäähdyttää pintoja. Lisäksi dynaamisesti vaihteleva lämpötila ja rakenteiden termisen massan viiveet voivat aiheuttaa ajoittaisten ja hetkellisten kondenssiolojen esiintymistä ulkopinnalla tai tuuletusväleissä.

Suurin riskitekijä on viistosade ja sen tunkeutuminen rakenteeseen. Jos vettä pääsee nestemäisenä tunkeutumaan rakenteen eristekerroksen sisään, on kyseessä virhetilanne. Tuuletetuissa rakenteissa tuuletusväli ja sen rakenteet on tehtävä siten, ettei tuuletusväliin päässyt vesi voi kulkeutua sisälle päin. Tuulensuojauksen sääsuojaus, rakenteelliset ratkaisut ja tuuletus ohjaavat ja kuivaavat hetkelliset kosteuskuormat rakenteesta.

Tuulettamattomissa rakenteissa ulkopinnan tulee olla riittävän hyvin vettä pidättävä ja estää merkittävä kapillaarinen kosteudensiirto sisempiin kerroksiin.

Alkukosteuden kuivuminen on monilla rakenteilla suhteellisen matala, eikä edellytä erityistä huomioitavaa. Merkittäviä kosteuspitoisuuksia on kuitenkin esimerkiksi betoni- ja kevytbetonirakenteissa, joiden kuivuminen lopulliseen kosteustasoon voi viedä jopa useamman vuoden. Tämän takia on varmistettava rakenteellisesti siten, että kosteus pääsee kuivumaan rakenteesta haittaa aiheuttamatta koko tarvittavan kuivumisajan.

5. Kosteusteknisen toimivuuden kriteerit

Lähtökohtana kosteustekniselle toimivuudelle on se, että liika kosteus ei aiheuta ongelmia rakenteille tai tilojen käyttäjille. Vaikka kosteus pysyisi tasolla, jolla eri materiaalikerrosten toiminnalliset ominaisuudet eivät vielä muutu, voivat pitkään jatkuvat liian korkeat kosteustasot johtaa esimerkiksi biologiseen kasvuun. Tämä voi aiheuttaa ongelmia sisäilmaan ja tilojen käyttäjille. Siksi rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kriteereinä on syytä käyttää homeen kasvuriskiä arvioivia menetelmiä.

5.1 Kosteusvirtojen tasapaino ja kosteustasot

Rakenteeseen tulevien ja siitä lähtevien kosteusvirtojen tulisi olla vuositasolla tasapainossa niin, ettei rakenteeseen keräännä kosteutta. Kuivumissuuntaisten kosteusvirtojen potentiaalin on oltava suurempia kuin kostumissuuntaisten. Tähän pyritään sillä, että rakenteen eri kerrosten vesihöyrynvastus pienentyy sisäkerroksista ulospäin, jolloin sisäilmasta rakenteeseen siirtyvä kosteus voi turvallisesti kuivua ulkoilmaan.

Nestemäisenä vetenä rakenteeseen tuleva kosteus on aina vikatilanne. Tällöin kosteusmäärä voi ylittää minkä tahansa rakenteen kuivumiskyvyn. Tällaiseen vikatilanteeseen ei saada varmuutta edes heikosti lämmöneristetyissä rakenteissa, koska mikään lämpöhäviö ei varmuudella riitä kuivaamaan suuruudeltaan satunnaisen vesivuodon kosteusmäärää riittävän nopeasti. Rakenteiden lämmöneristystä ei siten voi mitoittaa tällaisten tilanteiden epämääräisen varmuusvaatimuksen mukaan.

Pelkkä rakenteen ja siihen rajoittuvien tilatilojen kosteusvirtojen tasapaino ei yksinään riitä varmistamaan, että kosteustekninen toimivuus on turvallinen. Rakenteessa voi olla rakentamisen jälkeen alkukosteutta, jonka uudelleenjakautuminen rakenteen sisällä voi johtaa paikallisesti korkeisiin kosteuksiin. Rakentamisessa eri materiaalikerrosten alkukosteus tulisi rajoittaa 80 % RH tasapainotilan tasolle, jota voidaan pitää turvallisen kosteustason ylärajana. Poikkeuksena on betoni- ja kevytbetonikerrokset, joissa on valun jälkeistä kosteutta, jonka määrä usein ylittää em. raja-arvon. Erityisesti monikerroksellisen rakenteen kuivumisessa tulee ottaa huomioon kuivuvien kerrosten aiheuttama rakenteen sisäinen kosteuskuormitus.

Pelkkä kosteusvirtojen tasapaino ei kuvaa rakenteen toimivuutta ja sen riskejä eri tilanteissa. Rakenteiden rajapintojen toimivuutta voidaan arvioida esimerkiksi VTT:n kehittämän homemalli /8-14/ avulla, josta seuraavassa enemmän.

5.2 Homeen kasvun arviointi

VTT:llä kehitetty homekasvun malli /7 - 13/ perustuu biologisen kasvun visuaalisiin havaintoihin materiaali-pinnoilla. Kasvuhavainnot jaotellaan niiden runsauden mukaan erilaisiin homeen kasvuasteisiin, jotka esitetään homeindeksinä. Homeindeksi voi saada arvoja välillä [0 – 6] riippuen pinnan homeutumismäärästä (Taulukko 2).

Taulukko 2. Homeindeksit ja niitä vastaavat homehavainnot materiaalapinnalla.

Indeksi	Pinnan homekasvun kuvaus
0	Ei kasvua
1	Pieniä määriä mikroskooppisesti havaittavaa kasvua pinnalla, homeen kasvun alkutilanne
2	Useita (mikroskoopilla näkyviä) paikallisia homepesäkkeitä pinnalla, ei paljain silmin näkyvää kasvua
3	Paljain silmin näkyvää kasvua (< 10 % peitto) tai mikroskooppihavainnot (< 50 % peitto)
4	Paljain silmin näkyvää kasvua (10 - 50 % peitto) tai mikroskooppihavainnot (> 50 % peitto)
5	Runsaasti kasvua pinnalla, > 50 % peitto (paljain silmin)
6	Runsas ja kattava kasvu, peitto lähes 100 %

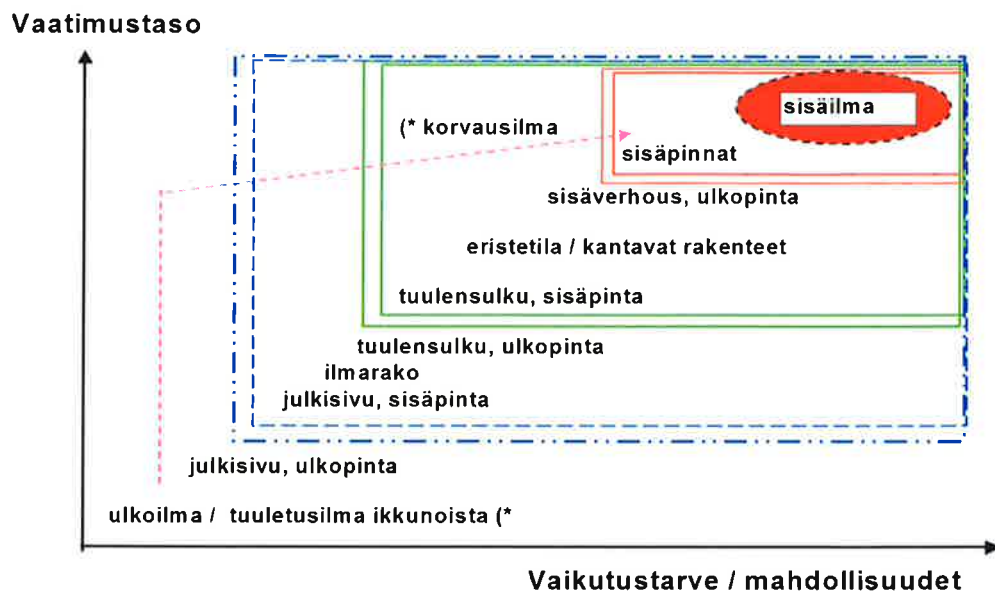
Homemalli perustuu Hannu Viitasen työhön /mm. 7 - 13/, jossa puumateriaalille on kehitetty sen pinnan homehtumista kuvaava malli laboratoriokokeiden tulosten perusteella. Samaa mallia on sovellettu myös muille rakennusmateriaaleille, jotka on jaoteltu homehtumisherkkyuden mukaisiin luokkiin /mm. 14 -20/. Muilla materiaaleilla sovelletaan samaa VTT:n homemallia, mutta materiaalienkohtaisin kasvukertoimin. Kasvukriteerien alarajakosteus on materiaaliluokasta riippuen 80 % RH tai 85 % RH homeelle otollisissa lämpötiloissa.

VTT:n homemalli yhdistää mitatun tai usein lasketun olosuhdetiedon (lämpötila ja suhteellinen kosteus) sekä vaikutusajan. Pelkkä hetkellinen kriittisen kosteuden ylitys ei riitä aloittamaan homekasvua. Esimerkiksi männyn pintapuulla (homekasvulle herkin rakennusmateriaali) kuluu yhtäjaksoisessa 85 % RH kosteudessa ja +10 °C lämpötilassa runsaat 15 viikkoa siihen, että homeen kasvu voi alkaa. Kasvun käynnistyminen hidastuu huomattavasti jos olosuhteet käyvät ajoittain homeen kasvurajan alapuolella. Siten dynaamisesti vaihtelevat ja vain ajoittain korkeat kosteudet rakennepinnoilla eivät välttämättä merkitse homeen kasvuriskiä.

Laskennallisesti saadun homeindeksin avulla voidaan arvioida esimerkiksi kosteustalustulosten perusteella homehtumisriskiä rakenteen kriittisissä kohdissa. Käytännön homehtumishavaintojen tulkinnessa on syytä olla mikrobiologista osaamista, koska homeindeksin tason määrittäminen perustuu visuaalisten kasvuhavaintojen esitykseen lukuarvona.

Olennaista homelaskennassa ja homeindeksin käytössä on ymmärtää oikeiden kriteerien käyttö eri kohdissa rakenteita. Sisäilmaan kosketuksessa olevilla pinnoilla ja yleensä ilman/höyrynsulun sisäpuolisissa kerroksissa käytetään kriteerinä indeksin maksimitasoa 1. Koska rakenteiden ulkopinta rajoittuu ulkoilmaan, ei ulkopinnan tai tuuletusvälin rakenneosilta voida edellyttää samaa täydellistä homeettomuustasoa, kuten ei ulkoilmaltakaan. Suositeltu homeindeksin kriittinen taso näille kohdille on taso 3, ts. taso, jolla useissa tapauksissa ensimmäiset paljain silmin näkyvät homehavainnot tehdään /21, 22/.

Kuva 3 havainnollistaa rakenteiden eri osien toimivuuskriteereitä. Kuvassa vaatimustaso on käänteinen homeindeksin arvoon verrattuna. Korkea vaatimustaso vastaa pientä sallittua homeindeksin arvoa. Sisäilmaan kosketuksessa olevat kerrokset ovat homekriteerien kannalta tiukimmat, mitään homekasvua ei saa alkaa näillä pinnoilla (homeindeksi arvo < 1). Lähellä ulkoilmaa rakenne on aina lähes ulkoilman tilassa, eikä siltä voida edellyttää samaa kosteustasoa, kuin sisäpinnan lähellä olevilta kerroksilta (indeksin arvo < 3).



Kuva 3. Toimivuuskriteerien vaatimustaso ulkoilmasta ja sisäilmaan.

6. Aiempia tutkimustuloksia

Tässä luvussa esitetään koosteena aiheesta viime aikoina julkaistujen tutkimusten sisältöä ja niiden yhteenvetoja sekä tulosten perusteella tehtäviä johtopäätöksiä.

6.1 Rakenteellinen energiatehokkuus -opas

Viimeisimpiä laskennallisia selvityksiä on esitetty Rakenteellinen energiatehokkuus -oppaassa /23/. Opas esittää parhaita käytäntöjä energiatehokkaiden uudisrakennusten rakenteiden toteutukseen. Siinä esitetään havainnollisesti rakennelikkaukset 27 erilaisesta rakenteesta, jotka on osoitettu kosteusteknisesti hyvin toimiviksi. Toimivuuden kriteerinä on käytetty VTT:n kehittämää homeindeksitarkastelua (luku 5.2), jossa otetaan huomioon rakenteen kriittisten kohtien lämpötila, kosteus ja olosuhteiden vaikutusajan sekä materiaalin homehtumisherkkyys.

Oppaassa esitettyjen rakenteiden lämmönläpäisykertoimet (U-arvot) ovat paremmat kuin asetusluonnoksen 2016 vertailuarvot. Oppaassa esitettyjen yläpohjien U-arvot ovat 0,07 W/(m² K) (vertailuarvo 0,09 W/(m² K)), ulkoseiniin 0,12 – 0,14 W/(m² K) (vertailuarvo 0,17 W/(m² K)) ja alapohjan 0,10 W/(m² K) (vertailuarvo 0,17 W/(m² K)). Vertailuarvoja paremmat U-arvot eivät kuitenkaan vastaa energiatehokkaimpia käytännön ratkaisuja.

Oppaassa on laskennallisten analyysien lisäksi esitetty tietoja toteutettujen energiatehokkaiden rakennusten lasketuista ominaisuuksista ja mitatuista tiedoista. Näissä käytännön kohteissa rakenteiden lämmönläpäisykertoimet saattoivat olla huomattavasti paremmat kuin oppaassa esitettyjen laskennallisen tarkastelun tapauksissa. Esimerkiksi ulkoseinien U-arvot olivat kohteissa 0,07 – 0,14 W/(m² K) ja yläpohjan välillä 0,057 – 0,09 W/(m² K).

Yhteenvetona oppaassa on todettu, ettei rakenteiden toimivuuden selvityksessä tullut esille mitään sellaista ongelmakohtaa, joka ei ratkeaisi rakenteiden asianmukaisella suunnittelulla ja huolellisella toteutuksella. Kosteudenhallinnan käytäntöjen ja siihen liittyvän osaamisen kehittäminen suunnittelussa ja toteutuksessa on välttämätöntä rakenteiden lämmöneristystasoista riippumatta.

Selvitys vahvistaa käsitystä siitä, että hyvä lämmöneristystaso ei edistä kosteusongelmien syntymistä rakenteissa. Kaikkien rakenteiden toimivuuden perusedellytys on hyvä suunnittelu ja huolellinen toteutus. Lisäksi on syytä muistaa, että rakennus on kokonaisuus, jonka toimivuus ei riipu vain sen rakenteista. Talotekniset järjestelmät ja niiden käyttö sekä rakennuksen ylläpito ovat keskeinen osa toimivuutta ja sen varmistamista koko rakennuksen elinkaaren ajan.

6.2 Asuinrakennusten korjaustarve

Nippala ja Vainio /24/ ovat selvittäneet asuinrakennusten korjaustarvetta ja vaurioiden syitä. Tarkastelun otokseen oli kerätty tiedot 431 kosteusvauriosta, joista omakotitaloja oli 293, rivitaloja 42 ja asuinkerrostaloja 96. Selvityksen mukaan lukumääräisesti eniten kosteusvaurioita aiheuttivat putkirikot sekä laitteiden tai kalusteiden ja putkien väliset vuotavat liitokset. Toiseksi eniten vaurioita aiheuttivat nykytietämyksen mukaan virheelliset rakenteet, kuten puuttuva vedeneristys, aluskate, salaojitus tai alapohjan kapillaarisen veden nousun estävä maa-aines.

On huomattava, että tarkasteluaineistosta ei löytynyt yhtään tapausta, jossa rakennuksen hyvä lämmöneristystaso olisi ollut aiheuttamassa kosteusvauriota.

6.3 Frame-hanke

Frame hankkeen yhteenvedossa todetaan, että uudet betonirakenteet ovat kosteusteknisesti toimivia, jos ne tehdään nykyisten ohjeiden mukaisesti. Lisäksi yhteenvedossa todetaan, että puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa merkittävästi laittamalla kantavien rakenteiden ulkopuolelle lämmöneristystä (sama on todettu VTT:n 1990-luvun tutkimuksissa /mm. 3 - 5/. Frame yhteenvedossa korostetaan myös hyvää rakentamistapaa ja rakentamisaikaista sääsuojauksia sekä rakentamisaikaisen kuivumisen merkitystä /6/.

Hankkeen loppujulkaisussa ja seminaariesityksissä on esitetty myös hyvään lämmöneristystasoon liittyen seuraavien riskitekijöiden lisääntymistä kosteusteknisen toimivuuden kannalta:

- 1) Rakenteen kuivuminen hidastuu ja ulkopinnan olosuhteet viilenevät ja homeen kasvulle suotuisat olosuhteet lisääntyvät, mikä heikentää rakenteiden vikaistoisuutta, koska sisältä tuleva lämpö ei pysty kuivattamaan rakenteita samalla tavoin
- 2) Rakenteiden kosteusriskit lisääntyvät myös rakenneratkaisujen, lämmöneristetyyppien ja toteutustapojen muutosten seurauksena.

Tämän lisäksi raportissa on käsitelty mm. tuuletetun ylä- ja alapohjan kosteusriskejä ja joitain ratkaisuehdotuksia niihin.

Kohdan 1 väitteen perusteet puuttuvat, ja tätä on selvitetty tarkemmin kohdassa 4.1. Lämmöneristystason parantaminen ei käytännössä vaikuta juuri lainkaan verrattaessa nykyisen tasoisia ja erittäin hyvin lämmöneristettyjä rakenteita toisiinsa. Vakio-oloissa laskettavissa oleva pieni ero kuivumispotentiaaleissa peittyy todellisissa olosuhteissa vaihtelevien ilmastotekijöiden kuten auringon säteilyn ja tuulen vaikutusten alla. Lisäksi kohdan 1 väittäjä on osittain kumottu jo itse raportissa, jossa todetaan, ettei ole olemassa selvää U-arvon raja-arvoa, jossa ongelmia alkaisi muodostua tai mikä olisi toimivuuden kannalta kriittistä.

Kohdan 2 väittämän lähtökohtana on ilmeisesti ajatus, että hyvin lämmöneristetyt rakenteet tehdään toisin ja erityisesti huonommin kuin tavanomaisen eristetason rakenteet, mikä aiheuttaisi lisäriskejä. On vaikea nähdä, että hyvin eristetyissä rakenteissa olisi joitain erityisratkaisuja, jotka eivät sovi tavanomaiseen rakentamiseen ja olisivat erityisosaamista vaativia. Samoin uusien lämmöneristeiden tulee olla tarkoitukseen soveltuvia, joten niiden

soveltaminen tuskin lisää ongelmia jos rakenteet suunnitellaan asianmukaisella ammattitaidolla.

Rakennevirheet voivat aiheuttaa minkä tahansa rakenteen kosteusvaurion riippumatta lämpöhäviöiden määrästä rakenteen läpi. Rakenteiden kosteustekninen toimivuus ei voi perustua ylimitoitettuihin johtumislämpöhäviöihin. Käytännössä mikään lämpöhäviötaso ei esimerkiksi riitä virheen seurauksena rakenteeseen tunkeutuvan nestemäisen veden kuivaamisen varmistamiseen kaikissa vauriotapauksissa. Esimerkiksi nykyisen ja erittäin hyvän lämmöneristetason välinen ero johtumislämpövirroissa ei käytännössä vaikuta kuivumiskykyyn juuri lainkaan, eikä tämä ero merkitse käytännössä muutosta rakenteiden toimintavarmuudessa.

Kohdan 2 osalta voidaan todeta kuten Frame- tulosten seminaariesityksessä /25/:
"Tavanomaiset vaipparakenteet saadaan toimiviksi pelkillä rakenteellisilla muutoksilla seuraavan 100 vuoden aikana tapahtuvan ilmastomuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen aiheuttamia kosteusrasituksia vastaan".

Yläpohjan katteen eristämiseen ja sen ilmanvaihdon optimointiin liittyviä väittämiä on käsitelty luvussa 6.7 Yläpohjat. Hyvin lämmöneristetty ja sisäpuolen kosteuskuormilta oikein suojattu rakenne lähestyy ulkoilmassa olevaa lämmittämätöntä katosrakennetta. Rakenteen kautta tulevat lämpöhäviöt ovat joka tapauksessa merkityksettömät verrattuna tuuletuksen aiheuttamaan lämpövirtaan, joten lämpöhäviöillä ei kattorakenteita lämmitetä. Riittävä tuuletus ja oikein toteutettu kate- ja aluskateratkaisu pitää huolen siitä, ettei ajoittainen sääolojen vaihtelusta johtuva kosteuden tiivistyminen katteeseen johda rakenteiden kannalta ongelmiin.

Tuulettuvia alapohjarakenteita on käsitelty tarkemmin luvussa 6.6 Ryömintätilat.

6.4 Energiatehokkaiden rakenteiden ratkaisut yrityksille

VTT on ollut mukana kehittämässä erilaisia hyvinkin energiatehokkaita rakenneratkaisuja selvittänyt niiden toimivuutta. Seuraavassa muutamia esimerkkejä, joiden tulokset työn tilaaja on asettanut julkisiksi.

Puukuitueristeinen puurunkoseinä

Esimerkkinä tuuletetun, puurunkoisen rakenteen toimivuudesta on Termex Zero - seinärakenne, jonka U-arvo on $0,11 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ /26/. Puukuitulämmöneristeisessä (eristekerroksen paksuus 350 mm) rakenteessa on I-palkki, jonka sisäpuolen ilman/höyrynsulkuna on ilmasulkupaperi ja 12 mm havuvaner, tämän sisäpuolella lämmöneristetty 48 mm asennusvälitila ja sisäverhous. Tuuletusrakoon päin on 25 mm huokoinen puukuituinen tuulensuojalevy rungon ulkopuolella.

Rakenne on todettu laskennallisesti kosteusteknisesti hyvin toimivaksi ja sitä on käytetty energiatehokkaiden pientalojen rakenteena.

Passiivitasen rakenteet umpisoluisesta lämmöneristeestä

PUR/PIR –lämmöneristeiden rakenneratkaisujen kosteusteknistä toimivuutta on selvitetty useissa tutkimuksissa, joita on tehty VTT:llä /27/. Tarkastelutuloksiin on viitattu asiakasyhtiön sivuilla /<http://www.spu.fi/suunnittelu/tutkimukset-ja-raportit/>.

Tarkasteluissa seinärakenteet olivat betoni- tai puurunkoisia ja ne olivat joko tuulettuvia, betonisandwich-tyyppisiä tai niissä oli rappaus eristeen ulkopinnassa. Rakenteille ilmoitetut U-arvot olivat $0,09 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ /28 - 32/.

Tarkastellut PU-eristeiset yläpohjarakenteet olivat puurakenteisia ja niiden U-arvot olivat $0,07 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ /33 ja 34/.

Tarkastelussa oli yksi alapohjarakenne, joka oli maanvarainen teräsbetonilaatta. Tälle ilmoitettu U-arvo oli $0,09 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ /35/.

Kaikissa tapauksissa rakenteet todettiin kosteusteknisesti turvallisesti toimiviksi Suomen ilmastossa asuinrakennusten ulkoseinärakenteina.

6.5 Seinät

Tuuletusta ja sen merkitystä kuivumiskyvyn kannalta on tarkasteltu luvussa 4.1.2 Rakenteiden tuuletus. Käytännön esimerkit luvuissa 6.1 ja 6.4 antavat tietoa kosteusteknisesti turvallisesta toimivista ja hyvin lämmöneristetyistä seinärakenteiden ratkaisuista.

6.6 Ryömintätilat

Ryömintätilainen perustus on varsin yleinen kylmän ilmaston maissa, ja se onkin ollut toimiva rakenneratkaisu monissa rakennuksissa. Ryömintätila on usein myös hyvä ratkaisu radonin kannalta; ryömintätilan ilmanvaihto laimentaa maaperästä tulevan radonin pitoisuutta, jolloin sisäilmanpitoisuus ei nouse niin korkeaksi /36 ja 37/. Radontarkastelu on kuitenkin aina tehtävä erikseen, pelkkä hyvin tuuletettu ryömintätila ei aina takaa radonturvallista ratkaisua /38/.

Rakennusten energiatehokkuus on parantunut viime vuosikymmenien aikana. Tämän vuoksi uudemmissa rakennuksissa lämpöhäviöt alapohjan läpi ovat pienemmät kuin vanhemmissa rakennuksissa ja näin ollen myös ryömintätilat usein hieman kylmempiä, jolloin suhteellinen kosteus nousee.

Tyypillisesti ryömintätiloja tuuletetaan ulkoilmalla. Vanhemmissa rakennuksissa tuuletus on usein painovoimainen, mutta uudemmissa koneellinen poistoilmanvaihto on varsin yleinen tapa. Tuuletusta suunniteltaessa on huolehdittava riittävästä korvausilmaventtiileistä sekä siitä, että ilma riittävästi kaikissa ryömintätilan lohkoissa /37/.

Ryömintätiloissa kosteusongelmia voivat aiheuttaa monet asiat. Osa ongelmien aiheuttajista on varsin helppoja korjata kuten useimmissa tapauksissa sadevesien kulkeutumisen estäminen ryömintätilaan kunnollisella sadevesiviemärillä. Suomen ilmastossa ulkoilmalla tuuletetun ryömintätilan kosteus saattaa tulla ongelmalliseksi kesällä, jolloin päivällä ulkoilma on useimmiten lämpimämpää ja siten myös sen absoluuttinen kosteus on korkeampi kuin ryömintätilan. Kun ilma tulee viileämpään ryömintätilaan suhteellinen kosteus nousee ja joskus osa pinnoista kondensoi. Tämä voidaan estää pienentämällä ryömintätilan aikavakiot, jolloin ryömintätilan lämpötila tulee lähelle/samaksi kuin ulkoilman. Suuri aikavakio johtuu maaperän ja perustusten suuresta lämpökapasiteetista. Helpointa aikavakion pienentäminen on maaperän ja perustusten lämmöneristämällä /37/. Lisäksi ryömintätilan ilmanvaihtoa on suositeltava suurentaa kesällä, jolloin ryömintätila lämpenee ja pienentää talvella.

Tutkimusten perusteella /37 ja 39/ ryömintätila saadaan toimivaksi seuraavilla tavoilla:

- lämmöneristämällä ryömintätilan kylmä ja massiivinen maaperä erittäin hyvin (esim. 300 mm kevytsoraa tai 50...100 mm styroksia), ja perusilmanvaihto $0,5 \text{ l/h}$. Tässäkin suositeltavaa varautua kesäaikana suurennettuun ilmanvaihtoon ($1-1,5 \text{ l/h}$)
- suurentamalla ilmanvaihtoa selvästi kesällä (ilmanvaihtuvuus vähintään 2 l/h), tällöinkin ryömintätilan pohjalla pohjakerros (esim. 200 mm sepeli tai 150-250 mm kevytsora).
- kuivattamalla ryömintätilan ilmaa kuivauskoneella, tässäkin vaihtoehdossa ryömintätilan pohja on peitettävä joko sepelillä, kevytsoralla tms.

Koska ulkoilmalla tuuletetun ryömintätilan olosuhteet riippuvat aina ulkoilman muutoksista, on epätavallisen kosteana kesänä vaikea kontrolloida ryömintätilan kosteutta. Näyttääkin siltä, että silloin on hyväksyttävä vähäisiä korkean suhteellisen kosteuden jaksoja. On kuitenkin tärkeää että ryömintätila pääsee kuivumaan välillä, niin että kosteusjaksot eivät ole liian pitkiä.

Tuuletetuista ryömintätiloista esitetään seurantatietoa kahden energiatehokkaan rakennuksen tapauksessa luvussa 7.5

6.7 Tuuletetut yläpohjat ja ullakot

Kun rakenne on riittävän ilmatiivis, sisäilmasta ei pääse vuotamaan kosteaa ilmaa yläpohjaan. Kun lisäksi rakenteen vesihöyryvastus on rakenteen toimivuudelle tarkoituksenmukainen, on yläpohjaan kohdistuva kosteuskuormitus sisäilmasta hyvin pieni verrattuna tuuletusilman olosuhteiden vaihtelun aiheuttamaan kosteuskuormituksen ja tuuletuksen muutoksiin. Riittävä tuuletus riittää pitämään kosteustaseen sellaisena, ettei rakenteeseen kerry kosteutta.

Erittäin hyvin lämmöneristetty ja kosteusteknisesti oikein toimiva yläpohjarakenne lähestyy yläpohjan tuuletuksen osalta avoimen katosrakenteen tilannetta. Tällöin rakenteeseen kohdistuu pääasiassa tuuletusilman mukana tuleva ympäristön kosteusrasitus. Uusimpien tutkimusten mukaan /esim. 40/ yläpohjien riittävä tuulettavuus on varmistettava. Saman tutkimuksen mukaan vesikatteen eristäminen voi pienentää kondensoitumista pintoihin, mutta sen ei havaittu vaikuttavan homeenkasvun riskiin.

Tuulettuvissa yläpohjissa on oikein suunnitellut ja toteutetut vesikaton ja aluskatteen rakenteet sekä riittävä tuuletus varmistavat rakenteen toimivuuden myös asuinrakennuksissa.

On huomattava, että yläpohjan tuuletuksella on käytännössä ulkoilman tilassa, joten sen olosuhteille ei voi asettaa samoja vaatimuksia kuin asuintilojen olosuhteille. Rakenteiden ilmatiiviyden avulla varmistetaan, ettei sinne tule ylimääräisiä kosteuskuormia ja ettei sieltä pääse vuotoilmavirtoja sisäilmaan.

7. Seurantakohteiden toimivuus

Seuraavassa esitetään muutamien energiatehokkaiden rakennusten seurantamittausten tuloksia.

IEA5 –talo (Kuva 4) rakennettiin Pietarsaaren asuntomessuille vuosina 1993-1994, ja sitä voidaan pitää yhtenä energiatehokkaan pientalorakentamisen edelläkävijänä. Alkuperäisenä tavoitteena oli rakentaa matalaenergiapientalo, jonka energiankulutus olisi mahdollisimman vähäinen. Rakentamisessa käytettiin parhaita vuonna 1993 saatavilla olleita tekniikoita. Rakennuksen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat aurinko- ja maalämpö sekä aurinkosähkö yhdessä paksun lämmöneristuksen ja matalaenergiakunoiden kanssa. Suunnitteluun ja toteutukseen kiinnitettiin erityistä huomiota.

7.1 IEA 5 –koetalo



Kuva 4. Pietarsaaren energiatehokas IEA5 –talo.

VTT on tutkinut ja seurannut IEA5-talon toimintaa 20 vuoden ajan. Saatujen tulosten mukaan yli 300 mm:n paksuiset eristeet eivät aiheuta riskejä kosteustekniselle toimivuudelle tai sisäilman laadulle, kun rakenne- ja talotekniikkaratkaisut suunnitellaan ammattitaitoisesti eikä toteutusvaiheessa tehdä rakennusvirheitä.

Rakennuksen energiankulutus on erittäin alhainen jopa nykyisiin uusiin rakennuksiin verrattuna, sillä sen energiatehokkuus on parempi kuin 2016 lausuntokierroksella olevan asetuksen vaatimustaso uudelle rakennukselle. IEA5:n energiankulutus (ostetun lämmitysenergian kulutus 13 kWh/m² vuodessa ja ostetun kokonaisenergian kulutus 48 kWh/m² vuodessa) on vain neljännes tavanomaisen talon kulutukseen verrattuna, ja se on edelleen Suomen energiatehokkaimpia rakennuksia.

Rakennus vastaa nykyiselläänkin lähes nollaenergian rakennusta niin kuin se määritellään EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä. Mikäli alkuperäiset yli 20 vuotta vanhat maalämpö- ja aurinkoenergiaratkaisut korvattaisiin nykyään vapaasti markkinoilta saatavilla paremmilla tuotteilla, IEA5-talo vastaisi nettonolla tai plus-energiataloa.

Taulukko 3. Pietarsaaren IEA5 –talon ulkovaipan lämmöneristysominaisuudet.

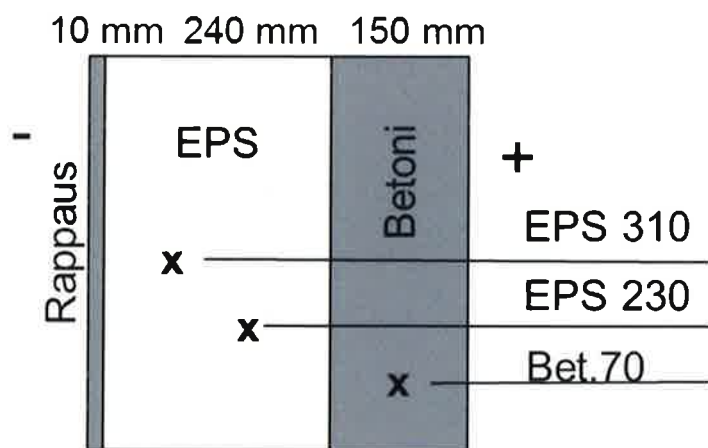
Rakenneos	U-arvo [W/m ² K]
Ulkoseinä	0,12
Katto	0,09
Lattia	0,1
Ovi	0,4
Ikkuna	0,7

7.2 Betonielementtitalo

Seuranta tehtiin Etelä-Suomeen rakennetulle betonielementtirakenteiselle kerrostalolle. Kohteen mittaus aloitettiin 2001 syksyllä kun rakennukset olivat vielä viimeistelyvaiheessa ja seuranta lopetettiin tammikuussa 2015 /41/. Taulukko 4 ja Kuva 5 esittää tutkimuksessa olleen rakenteen.

Taulukko 4. Tutkimuksessa olevien rakennusten rakennusteknisiä tietoja mittauspaikoista.

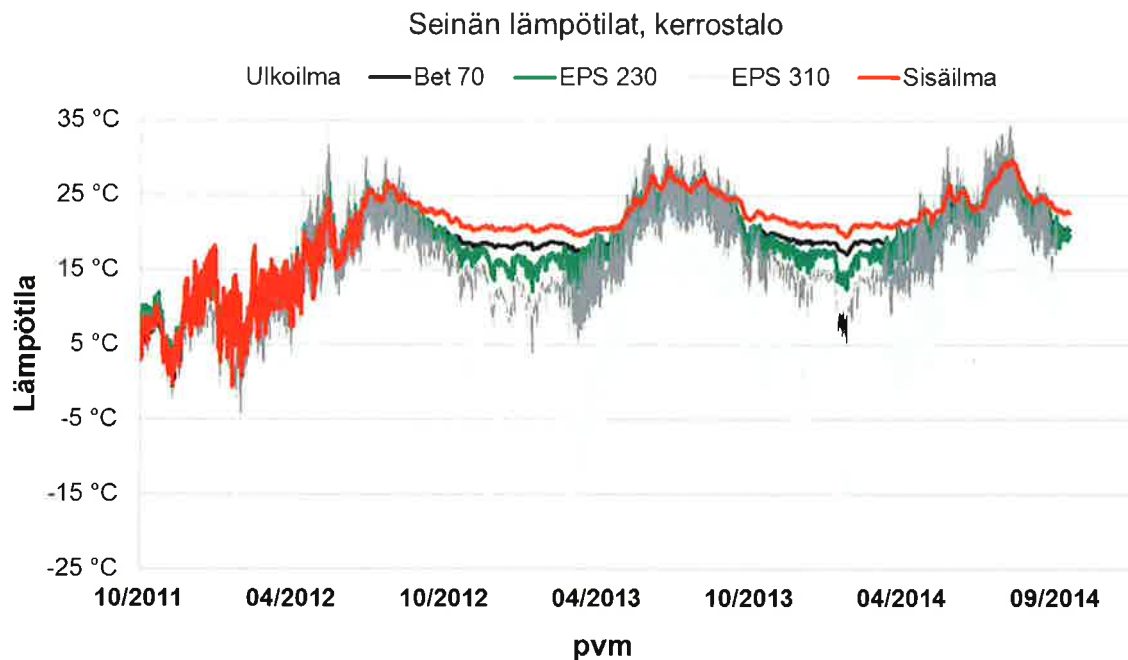
Rakennus	U-arvot (W/m ² K)	Mittauspisteet/Seinä	Mittausvyvyys sisäpinnasta/ Seinä
Kerrostalo, Etelä-Suomi	Seinä 0,14	1krs: betoniseinä eristeenä EPS seinäpaksuus yht. 400 mm	7 cm 23 cm 31 cm



Kuva 5. Kerrostalon mitatun seinän leikkaus ja rakennekerrokset

Tutkimus koostui lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaamisesta käyttäen loggaavia antureita. Mittaus toimi jatkuvatoimisesti ja lukemia tallennettiin 1 h välein.

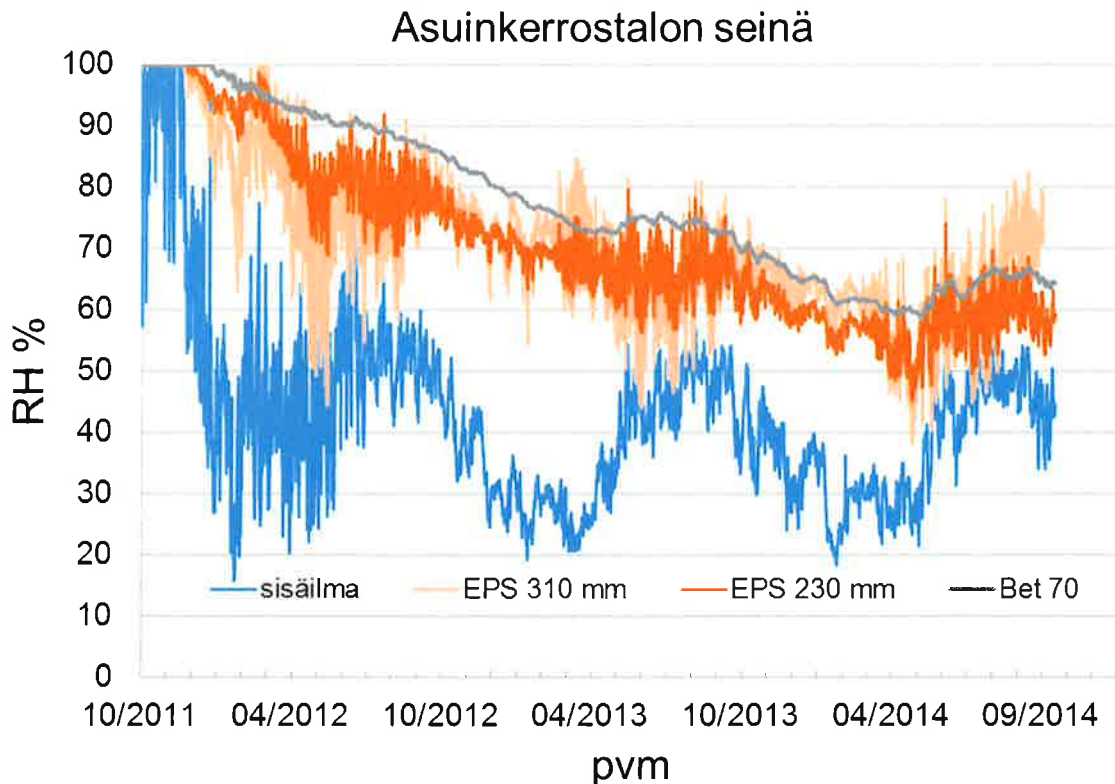
Kohteen mittaus aloitettiin syyskuun 2011 loppupuolella ja se valmistui 30.6.2012. Kohteessa laitettiin lämmöt päälle vasta joulukuussa 2011. Näin ollen mittauksen alussa seinärakenne seurasi ulkoilman lämpötiloja (Kuva 6). Lämmityksen jälkeen rakenteen lämpötilat nousevat selvästi. Kevään 2012 jälkeen eristetilan lämpötilavaihtelu seuraa ulkoilman lämpötilan vuotuista syklistä.



Kuva 6. Mitatun kerrostalon lämpötilat seinärakenteessa

Mittausjakson alussa (Kuva 7) suhteellinen kosteus betoniseinässä on 100%, samoin muiden rakennekerrosten suhteelliset kosteudet ovat korkeita rakennuksen ollessa kylmänä, seuraten näin ulkoilmankosteutta. Rakenteen kuivuminen alkoi joulukuussa 2011, kun rakennusta alettiin lämmitellä. Sekä betoni että eriste alkoivat selvästi kuivua tästä alkaen.

Kesällä eristekerros seuraa ulkoilman kosteutta, samalla myös betonikerroksen kuivuminen hidastuu, johtuen lämpötilaerosta ulko- ja sisätilan välillä. Betonin kuivuminen kuitenkin jatkuu ja se on mittausjakson lopussa noin 60%. Pieni kesäaikaisen jakson syklinen suhteellisen kosteuden nousu on alkanut mittausjakson lopussa ja talvella 2015 se on taas tasoittunut. Suhteellinen kosteus noudattaa mittausjakson lopulla vuotuista syklistä vaihtelua. Näyttäisi myös siltä, että betoniseinän mittauspiste on saavuttanut vuotuisen tasapainoalueensa, ja muutokset suhteellisessa kosteudessa ovat vuotuista syklistä vaihtelua.

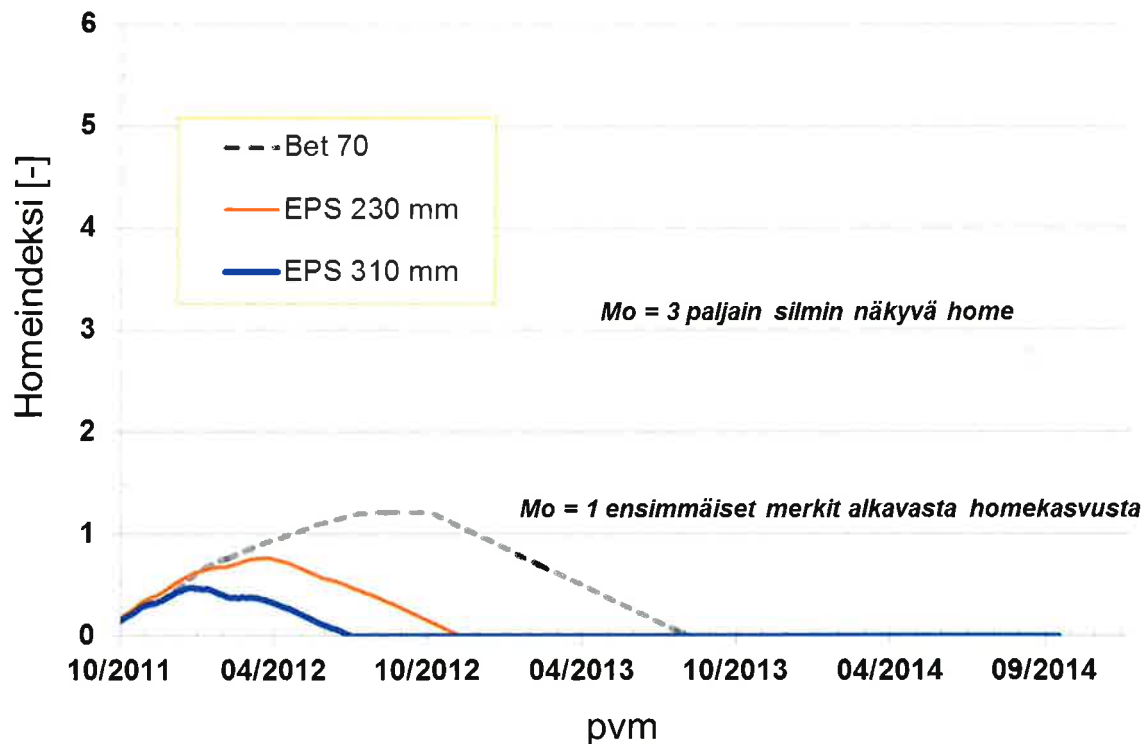


Kuva 7. Mitatun kerrostalon seinärakenteen suhteellinen kosteus seurannassa. Mittausjakson alussa (n. 2 kk ajan) rakennuksessa ei vielä ollut lämmitystä, jolloin rakenne seurasi ulkoilman lämpötilaa ja kosteutta. Kun lämmöt saatiin päälle, rakenne alkoi kuivua normaalisti.

Mitattujen rakenteiden toiminta oli tyypillistä eikä mittausjakson aikana havaittu poikkeavaa rakennusfysikaalista toimintaa.

Kerrostalon seinärakenteen betonikerros kuivui koko mittausjakson ajan, mutta mittausjakson viimeisenä vuotena näyttäisi siltä, että seinärakenne noudattaisi vuotuista syklistä vaihtelua, ja on saavuttanut vuotuisen tasapainotilansa. Rakennuksen lähtötilanteen kosteus oli suurehko ja kuivuminen oli aluksi hidasta. Eriste kuivui myös koko mittausjakson ajan saavuttaen viimeisenä mittausvuotena vuotuisen syklisen vaihtelun tasapainon.

Kuva 8 esittää eri mittauspisteille VTT:n kehittämällä homemallilla lasketut homeindeksin arvot. Lämmöneristeiden homeindeksi pysyi alkukosteuden kuivumisenkin ajan homeen alimman kasvukriteerin (1) alapuolella. Betonin suuri alkukosteus antaisi hetkellisesti tason 1 ylittävän indeksin, mutta käytännössä homeen kasvu ei ole mahdollista tuoreessa betonissa sen kuivuessa. Lisäksi rakenteen ulkokerroksille kriittinen homeindeksin taso on 3. Kuivuminen käynnistyi heti kun rakennukseen saatiin lämmöt päälle, eikä rakenteessa ollut riskiä homekasvusta.



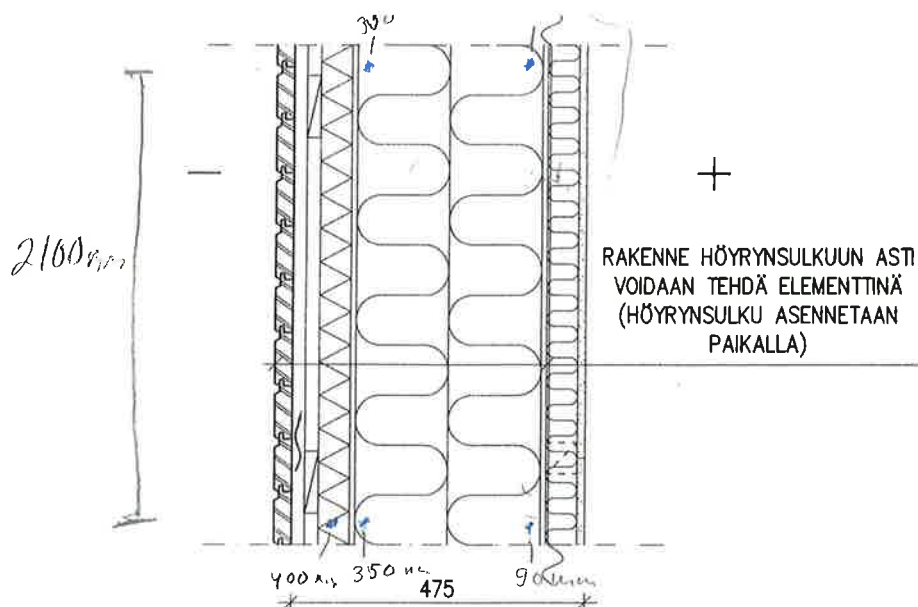
Kuva 8. Mittauspisteiden olosuhteiden perusteella laskettu homeindeksin kehitys. Betonissa homeen kasvu ei ole alkuvaiheessa mahdollista sen pH-tason takia vaikka alkukosteuden kuivumisen aikaan sen kosteus on jonkin aikaa korkea. Rakenteen ulkokerroksille kriittinen homeindeksin taso on 3, joten rakenne toimii kosteusteknisesti hyvin.

7.3 Päiväkodit

Mittaus aloitettiin vuoden 2011 syksyllä kun rakennus oli viimeistelyvaiheessa. Taulukko 5 on esitetty tutkimuksessa olleet seinärakenteet ja **Error! Reference source not found.** rakenneleikkaus. Rakennus oli erittäin energiatehokas, nk. Passiivitalo.

Taulukko 5. Tutkimuksessa olevien rakennusten rakennusteknisiä tietoja mittauspaikoista.

Rakennus	U-arvot (W/m ² K)	Mittauspisteet/Seinä	Mittaussyvyys sisäpinnasta/ Seinä
Päiväkoti, keski-Suomi	Seinä 0,09	1krs: puuseinä eristeenä mineraalivilla seinäpaksuus yht. 475 mm	9 cm 34 cm 40 cm



28 mm	ULKOVERHOUS ARKK. SUUNNITELMIEN MUKAAN
44 mm	RISTIINKOOLAUS 22x100 k600, TUULETUSRAKO
50 mm	TUULENSUOJA JA LÄMMÖNERISTE, ISOVER RKL-31 Fasade, SAUMAT TEIPATAAN ($\lambda_d=0,031$)
9 mm	TUULENSUOJAKIPSILEVY GYPROC GTS9
300 mm	LÄMMÖNERISTE ISOVER KL-33 JA KANTAVA RUNKO k600 (KERTOPUU) ($\lambda_d=0,033$)
9 mm	VANERI (WISA-PLATFORM TAI VASTAAVA)
0,2 mm	HÖYRYNSULKUMUOVI (LIITTYMIEN, SAUMOJEN JA LÄPIMENOJEN TIIVSITYS)
50 mm	LÄMMÖNERISTE ISOVER KL-33 JA KOOLAUS 48x48 k600 ($\lambda_d=0,033$)
13 mm	KIPSILEVY GYPROC GEK-13

Kuva 9. Päiväkodin puurakenteisen seinän leikkaus ja rakennekerrokset

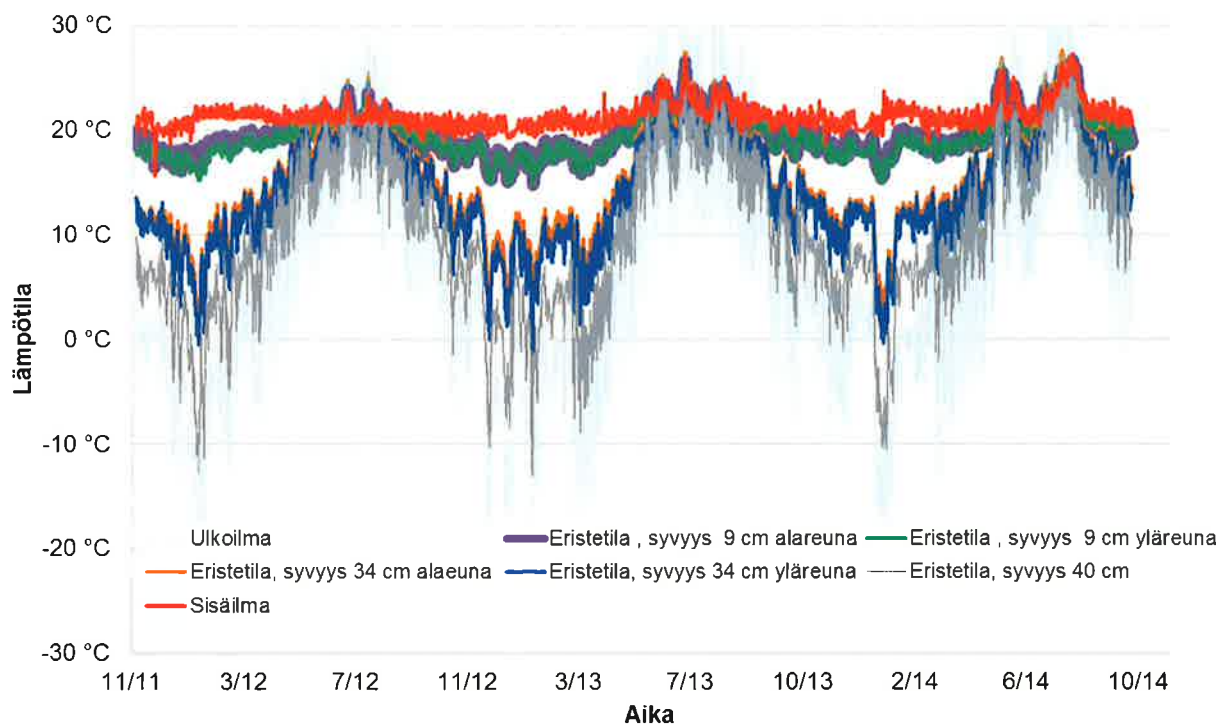
Tutkimus koostui lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaamisesta käyttäen loggaavia antureita. Mittaus toimi jatkuvatoimisesti ja lukemia tallennettiin 1 h välein.

Mitattu päiväkotitoimi valmistui alkuvuodesta 2012. Mittausjakson alussa päiväkodissa tehtiin vielä asennustöitä, mutta sisälämpötiloiltaan kohde vastasi valmista kohdetta.

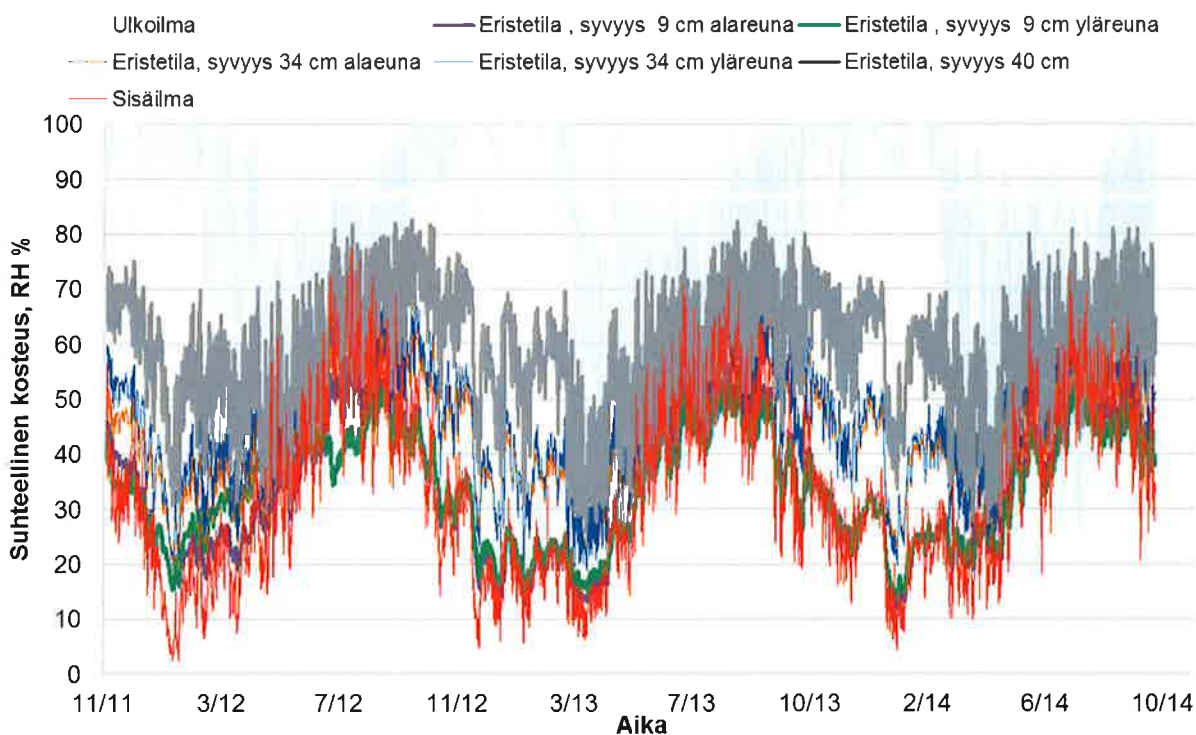
Päiväkodin mitattu puurakenteinen seinä ensimmäisessä kerroksessa. Sisäpintaa lähimmät mittauspisteet olivat lähellä sisälämpötilaa, mutta eristekerroksen uloimmat, lähinnä ulkoilmaa olevat mittauspisteet seurasivat selvästi ulkolämpötilaa (Kuva 10). Mittauspisteistä kaksi oli samalla syvyydellä mutta eri korkeudella. Lämpötiloissa näiden samalla syvyydellä mutta eri korkeudella olevien mittauspisteiden ero oli varsin pieni.

Puurakenteisen seinän suhteellinen kosteus on lähellä sisäpintaa olevissa antureissa lähempänä sisäolosuhteiden suhteellista kosteutta (Kuva 11). Mittauspisteet seuraavat ulkoilman suhteellista kosteutta. Samalla syvyydellä olevien mittauspisteiden kosteudet vaihtelevat hieman johtuen pienestä lämpötilan vaihtelusta ja pienestä konvektiosta rakenteen sisällä. Konvektion suunta vaihtuu välillä lämpötilaeroista johtuen, joka näkyy ylä-

ja alamittauspisteen pienistä eroista. Puurakenteisessa seinässä näkyy mittausjakson aikana selvä vuodenajoista riippuva syklinen suhteellisen kosteuden vaihtelu. Suhteellinen kosteus ylitti hetkellisesti 80 % RH rajan talvikaudella ja vain tuulensuojassa. Tämä vastaa luonnollista kosteusvaihtelua rakenteen ulkoilmaa lähellä olevissa osissa. Seurantamittausten perusteella rakenteiden toiminta on kosteusteknisesti turvallista.



Kuva 10. Mitatun päiväkodin lämpötilat, 1. krs seinä.



Kuva 11. Mitatun päiväkodin suhteellinen kosteus, 1. krs seinä.

7.4 Puukerrostalo

Etelä-Suomeen vuonna 2015 valmistuneen puukerrostalon rakenteita on monitoroitu rakennuksen valmistumisesta lähtien jo runsaan vuoden ajan. Tarkoituksena on ollut seurata rakenteiden kriittisten kohtien lämpötilaa ja suhteellista kosteutta, jotta niiden kosteustekninen toimivuus voidaan varmistaa. Tyypillisesti rakentamisen jälkeinen tilanne on kuivumisen kannalta kriittisin, koska materiaalikerroksissa on usein ylimääräistä alkukosteutta, ns. rakennuskosteutta.

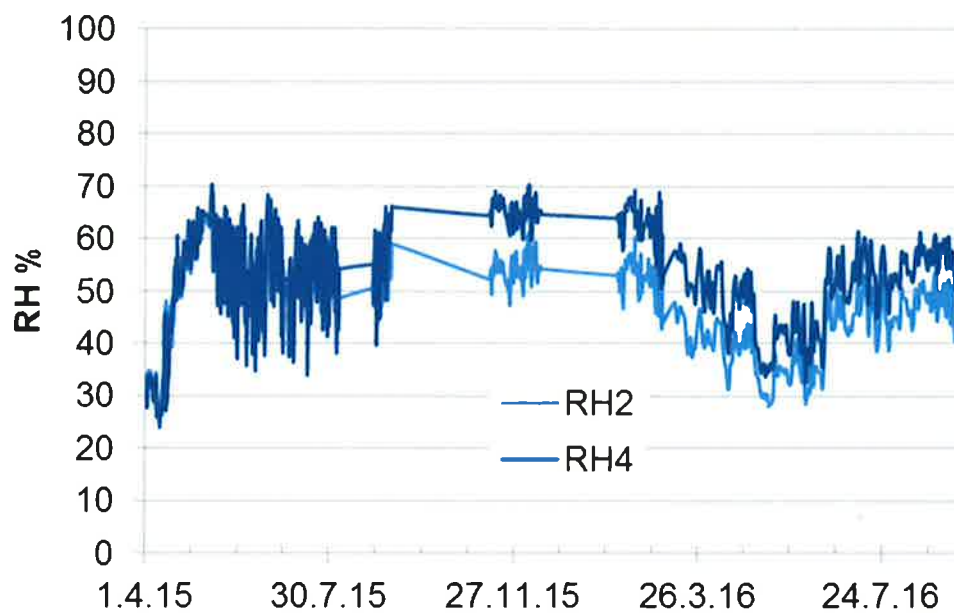
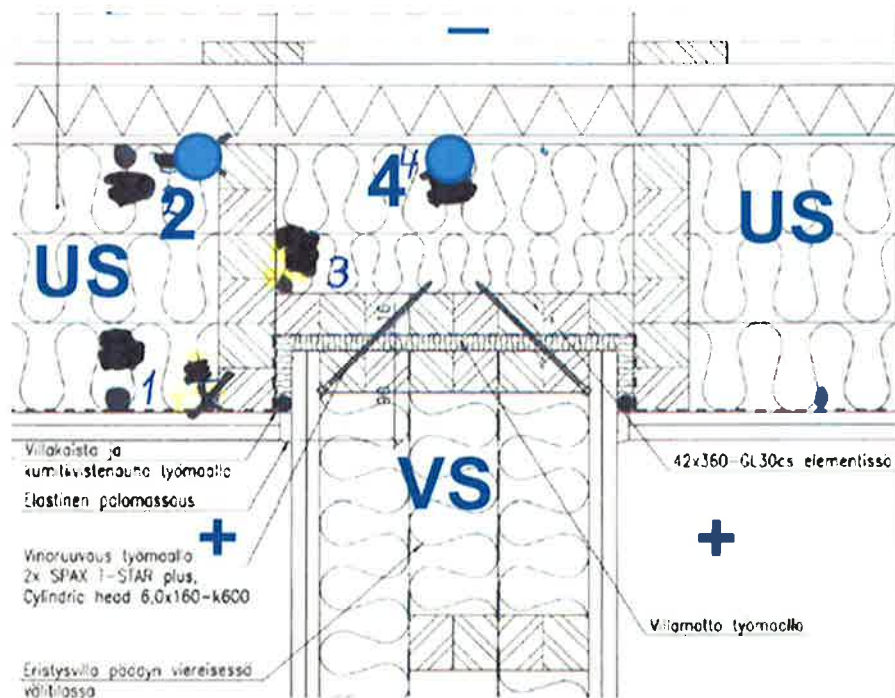
Monitorointiin valittiin rakenteiden kosteusteknisesti haastavimpia kohtia, joissa mittauspisteet asennettiin eri materiaalikerrosten rajapinnoille. Kuva 12 ja Kuva 13 esittävät muutamia monitorointiin valittuja kriittisiä rakenneleikkauksia, mittauspisteiden paikat rakenteissa sekä suhteellisen kosteuden arvot rakenteiden kriittisissä pisteissä.

Mittauksissa oli keskeytyksiä 8.9.-11.11.2015 sekä 14.12.2015 - 2.2.2016 välisinä aikoina. Tällöin kuvaajissa on katkoa edeltävän viimeisen ja sen jälkeisen ensimmäisen mittausarvon välillä suora. Suurimmat kosteudet rakenteissa esiintyvät tyypillisesti kuivumisen alkuvaiheessa ja talvikauden lopulla ennen kevään kuivumisjaksoa. Mittaustulosten perusteella voidaan tehdä päätelmiä rakenteiden toimivuudesta, vaikka mittaustuloksia ei ole kattavasti koko jaksolle.

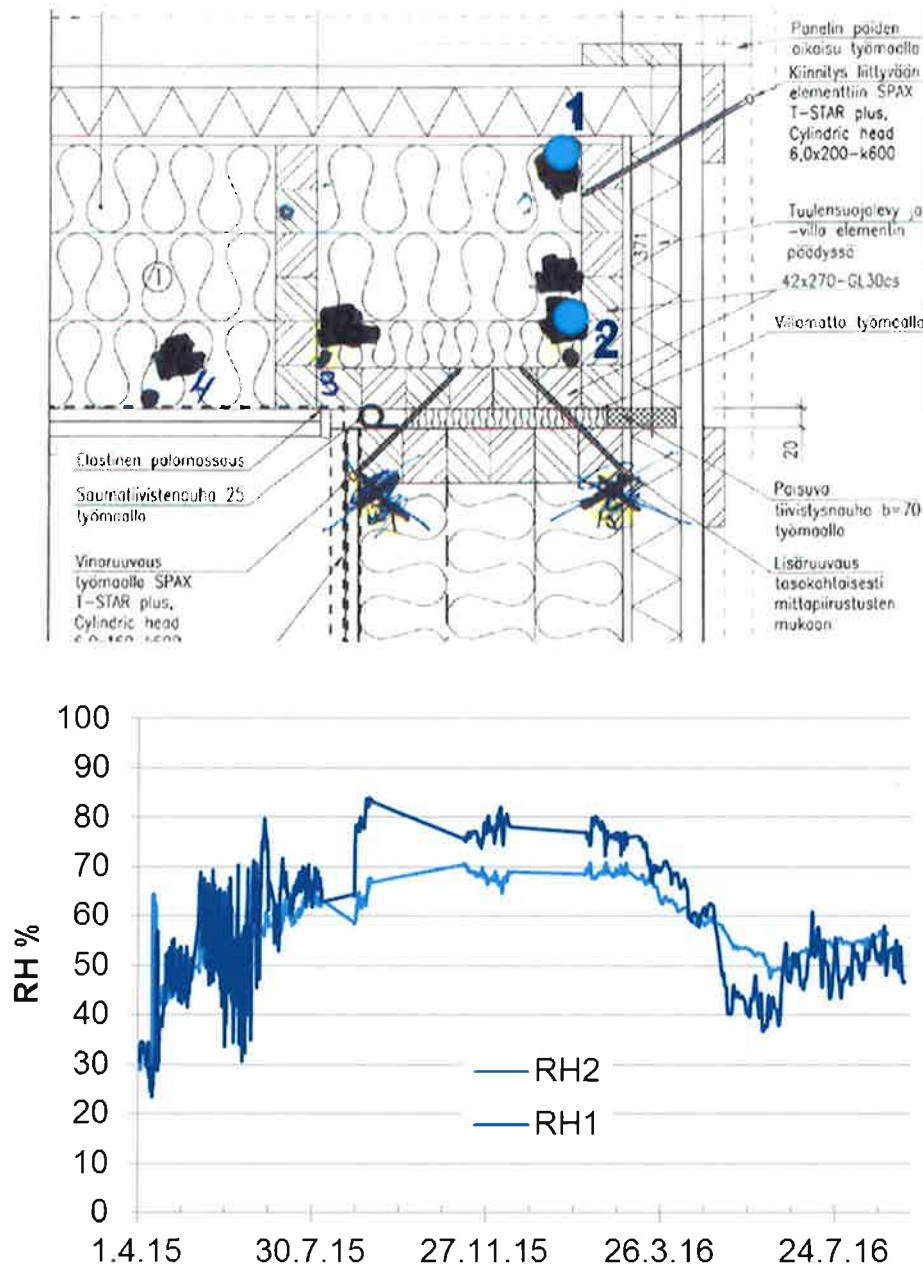
Väliseinän ja ulkoseinän leikkauksen kriittisissä kohdissa suhteellisen kosteuden tasot pysyivät alle 70 % RH tason koko lämmityskauden ajan. Suurimpien kosteuksien tulisi esiintyä loppukeväästä, ja tällöinkin tasot olivat matalat. Kevät- ja kesäkaudella kosteudet olivat selvästi lämmityskautta kuivemmalla tasolla (Kuva 12).

Toisessa rakenneleikkauksessa suurin mitattu kosteus oli 84 % RH syyskuussa 2015 (Kuva 13). Tällöin alkukosteuden kuivumisen aiheutama kosteuden uudelleenjakautuminen on nostanut kosteuden rakenteen nurkassa tuulensuojan sisäpinnalla. Tammi-helmikuussa kosteudet pysyivät pääsääntöisesti alle 80 % RH tason kaikissa mittauspisteissä. Hetkellinen korkea kosteus edes lähellä 100 % RH tasoa ei vielä merkitisi ongelmia, jos kesto aika on lyhyt. Kylmän kauden aikana ulkoilmaa lähellä olevien kerrosten matala lämpötila ei mahdollista biologista kasvua tai se on hyvin hidasta riippuen ollanko 0 °C ala- vai yläpuolella. Nyt mitatut kosteudet eivät viittaa minkäänlaiseen homeen kasvuriskiin. Mitatut kosteustasot olivat odotuksia alemmat. On luultavaa, että vuotuiset kosteustasot vaihtelevat vuodenaikojen mukaisissa sykleissä ja niiden maksimitaost vakiintuvat vielä nyt mitattujen maksimitasojen alapuolelle, kun alkukosteuden kuivuminen ei enää vaikuta kosteusjakaumiin.

Rakenteiden monitorointi jatkuu. Nyt saadut tulokset edustavat kosteusteknisesti hyvin toimivien ja kuivumiskykyisten rakenteiden kosteustasoja.



Kuva 12. Väliseinän liittymä ulkoseinään. Mittauspisteet yllä ja suhteelliset kosteudet alla.



Kuva 13. Ulkoseinien ulkonurkkaliittymä. Mittauspisteet yllä ja suhteelliset kosteudet alla.

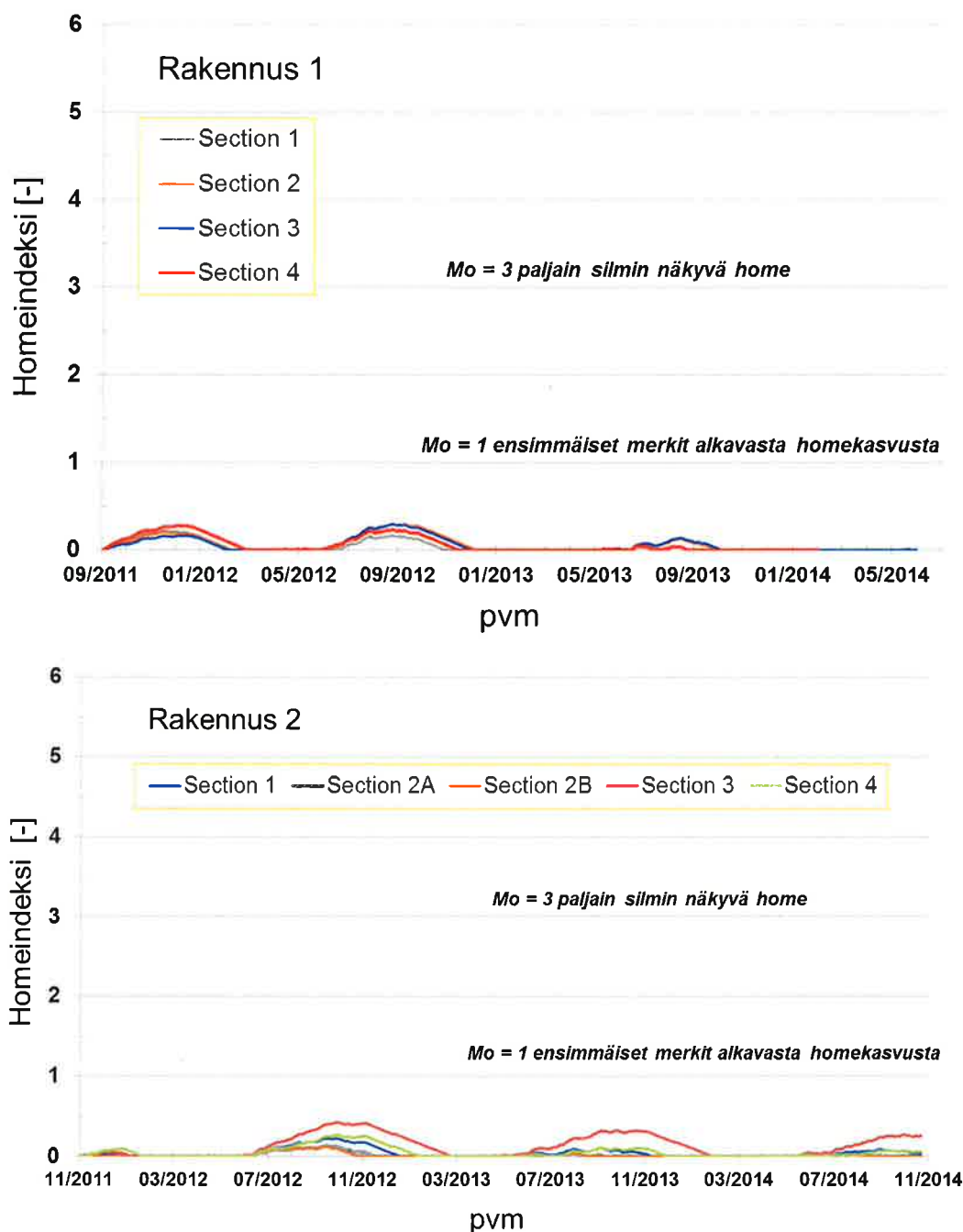
7.5 Tuuletetut ryömintätilat

Tässä esitetään kahden energiatehokkaan rakennuksen tuuletettujen ryömintätilojen olosuhteiden seurantamittauksen tulokset kolmen vuoden ajalta. Ryömintätilat oli toteutettu siten, että niissä oli määräysten mukainen aukko-osuus tuuletukselle, kosteuden kapillaarinen nousu oli estetty riittävällä kapillaarisen nousun katkaisevalla kerroksella, perustuksen pystyosat oli lämmöneristetty, eikä tuuletustilassa ollut puupohjaista tai muuta herkästi homehtuvaa materiaalia.

Rakennus 1:ssä ryömintätila oli jaettu viiteen osastoon (kuviissa section) ja rakennus 2:ssa neljään osastoon, joissa jokaisessa oli lämpötilan ja kosteuden seuranta. Näiden tunneittain mitattujen olosuhteiden perusteella voitiin homeen laskentamallin avulla määrittää homeindeksin arvo ryömintätilan olosuhteisaolevalle materiaalille. Materiaalin

hohtumisherkkyys oli tasolla 'homehtumista jonkin verran vastustava (moderate)', mikä vastaa epäorgaanisten rakennusmateriaalien homehtumisherkkyttä.

Kuva 14 esittää näiden kahden rakennuksen ryömintätilojen eri osissa mitattujen olosuhteiden perusteella lasketut homeindeksin arvot. Tuloksen perusteella missään ryömintätilan osissa ei ollut riskiä homeen kasvusta.



Kuva 14. Kahden rakennuksen ryömintätilojen eri osissa mitattujen olosuhteiden perusteella lasketut homeindeksin arvot. Missään osissa ei ollut riskiä homeen kasvusta.

Vaikka rakennuksen lämpöhäviöt ryömintätilaan olivat hyvän lämmöneristystason takia pienet, ei seurannan perusteella ollut mitään viitteitä mahdollisesta homeen kasvusta näissä tiloissa. Energiatohokkaa rakennuksen tuuletettu ryömintätila on täysin mahdollista toteuttaa kosteusteknisesti turvallisena. Ryömintätilan kosteustekninen toimivuus ei riipu rakennuksen lämpöhäviöistä alapohjaan vaan ryömintätilan toteutuksesta hyvien, nykyaikaisten periaatteiden mukaisesti.

8. Asiantuntijanäkemykset ja tilastot

8.1 Oulun rakennusvalvonta

Oulussa on rakennusvalvonnan voimin pyritty aktiivisesti edistämään rakentamista, jonka lopputuloksena on energiatehokas ja kosteusteknisesti toimiva, laadukas rakennuskanta. Erityisesti pientalorakentajille on tiedotettu energiatehokkaiden rakennusten eduista ja laadukkaasta rakentamisesta. Ennakoivalla laadunohjauksella rakennusvalvonta on ohjannut rakennuttajat valitsemaan määräysten vähimmäistasoa energiatehokkaampia ratkaisuja, ja suosituksena oli riskitön 50 % lämmitysenergian säästötavoite.

Oulun rakennusvalvonnan toimesta rakennusten toimivuudesta ja rakentamisesta on tehty selvitys omakotirakentajien keskuudessa vuonna 2011. Selvitys koski vuosina 2009 – 2010 valmistuneita rakennuksia, ja sen mukaan 31 % rakennuttajista valitsi Oulun rakennusvalvonnan suositteleman vähimmäistason (35 % säästö), ja 69 % valitsi suositustason (50 % säästö). Lisäksi rakennuttajat olivat hyvin tyytyväisiä rakennushankkeen pääsuunnittelijan mukana oloon laadunohjauksessa, lupavaiheen ohjeistukseen sekä aloituskokouksiin ja työmaakatselmuksiin.

Rakennuttajille suunnatun kyselyn avulla kartoitettiin myös sisäympäristön potentiaalisia laatupoikkeamia, mutta ainakaan tässä selvityksessä mitään systemaattisia poikkeamia ei havaittu. Päinvastoin kyselytulosten mukaan esimerkiksi 88 %:ssa kohteita ei koettu lainkaan vetoa (12 % lievää vetoa), ja 99 %:ssa rakennuksia sisäilma koettiin raikkaaksi ja riittävän lämpömäksi.

8.2 Isännöitsijät

Saadun tiedon mukaan isännöintipuolella ei ole systemaattista tiedonkeruuta rakennusten kosteusongelmista ja niiden syistä.

9. Rakennus on kokonaisuus

Rakennusten loppukäyttäjien terveyden ja hyvinvoinnin kannalta katsottuna rakenteiden kosteustekninen toimivuus on yksi olennainen osa rakennuksen fysikaalista kokonaistoimivuutta. Tämän takia kokonaistoimivuuden tarkasteluissa on tarpeen huomioida rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen lisäksi myös kaikki muut olennaiset osaprosessit sekä näiden vaikutukset kosteuden ja mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumiseen rakenteissa ja rakennuksen sisätiloissa. Erityisesti rakennuksen sisä- ja ulkoilman painetasot vaikuttavat merkittävästi rakenteiden kosteustekniseen käyttäytymiseen ja näin myös sisäympäristön laatuun erilaisissa käyttötilanteissa (tuuli- ja muut sääolosuhteet sekä sisäiset ja ulkoiset kosteuskuormitustilanteet). Tämän takia rakenne- että talotekniset ratkaisut tulee toteuttaa yhtenä toiminnallisena kokonaisuutena rakennusten kokonaistoimivuuden varmistamiseksi.

Rakenteiden hallittu kosteustekninen toimivuus edellyttää tämän näkökulman huomioimista ja ymmärtämistä rakennuksen elinkaaren kaikissa vaiheissa: suunnittelussa, rakentamisessa sekä käytössä ja ylläpidossa. Huolellinen ja ammattitaitoinen suunnittelu luo pohjan sille, että rakennus ylipäättään pystyy toimimaan sille asetetun käyttötarkoituksen mukaisesti. Erityistä huomiota tulee kiinnittää myös eritasoisien detalioiden (ennen muuta aukotukset, rakenteiden liitoskohdat ja läpiviennit) suunnitteluun. Rakennusvaiheen huolellinen toteutus (rakennusmateriaaleille ja -tuotteille annettujen ohjeiden mukainen varastointi, kuljetus ja asentaminen) sekä systemaattinen laadunvarmistus ja rakennusprosessin etenemisen dokumentointi ovat omalta osaltaan edellytyksiä sille, että myös rakenteiden kosteustekninen toimivuus voidaan toteuttaa suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. Lisäksi rakennuksen käyttö- ja ylläpitovaiheen suunnitelmallinen ja hallittu toteutus varmistaa omalta osaltaan sen, että

rakenteet toimivat moitteettomasti kaikissa tilanteissa ja olosuhteissa. Mahdolliset laiminlyönnit missä tahansa rakennuksen eri elinkaaren vaiheessa saattavat johtaa rakenteiden toimivuuden heikentymiseen ja mahdollisesti merkittäviin kosteusteknisien toiminnan ongelmiin. Tämän takia rakennuksen käyttöön ja ylläpitoon on syytä varata riittävästi resursseja rakenteiden mahdollisten kosteusteknisien ongelmien havaitsemiseksi ja korjaamiseksi.

Rakennuksen kosteusteknisessä toimivuudessa rakenteiden lämmöneristystason merkitys on hyvin pieni. Hyvä lämmöneristys ei heikennä kokonaistoimivuutta, mutta mikä tahansa rakenne voidaan pilata huonolla toteutuksella tai erilaisilla laiminlyönneillä käyttö- ja ylläpitovaiheessa.

10. Johtopäätökset ja yhteenveto

Selvityksessä käytetyn aineiston perusteella rakenteiden hyvä lämmöneristys ei aiheuta eikä lisää kosteusongelmia uudisrakentamisessa. Mikään teoreettinen tausta-aineisto tai energiatehokkaiden rakenneratkaisujen pitkäaikaiset monitorointitulokset eivät viitanneet kosteusongelmiin ylipäänsä tai niiden lisääntymiseen hyvän lämmöneristystason takia. Myös käyttäjäkokemukset Oulun rakennusvalvonnan tekemän selvityksen mukaan ovat hyvät. Näissä kohteissa 99 %:ssa rakennuksia sisäilma koettiin raikkaaksi ja riittävän lämpimäksi. Haastatelluista 69 % oli toteuttanut 50 % energiansäästötasoon rakennuksen (vv. 2009 – 2010).

Kaiken rakentamisen edellytyksenä on hyvä suunnittelu ja toteutus. Käytön aikana asianmukainen ylläpito varmistaa rakennuksen toimivuuden. Riippumatta rakenteiden energiatehokkuudesta tai rakennetyypistä, mikä tahansa rakenne voi vaurioitua liiallisen kosteuden vaikutuksesta. Mikään lämpöhäviö ei ole riittävä varmistamaan rakenteen kuivumisen esimerkiksi satunnaisen veden tunkeutumisen jälkeen.

Rakennus on rakenteiden, taloteknisien järjestelmien, sen käyttäjien ja ympäristöstä tulevan kuormituksen muodostama kokonaisuus. Hyvin lämmöneristetty rakennusvaippa mahdollistaa rakennuksen turvallisen ja energiatehokkaan toimivuuden nykyisten ja tulevien taloteknisien järjestelmien kanssa.

Asetusluonnoksessa rakennusten energiatehokkuudesta (2106) esitetyt U-arvojen vertailutasot edustavat vähäistä muutosta jo toteutettuihin normaalitason rakennuksiin nähden. Rakenteiden U-arvojen vertailutasot vaatimustason täyttymisen osoittamiseen rakenteellisen energiatehokkuuden avulla ovat näitä alemmat. Näidenkin U-arvojen rakenteet voidaan toteuttaa nykytekniikalla kosteusteknisesti turvallisina samoilla perusratkaisuilla kuin tyypilliset nykytason rakenteet. Tämän tasoisista ja vielä energiatehokkaammista rakenneratkaisuista on lukuisia käytännön esimerkkejä lähdejulkaisuissa.

Tämän selvityksen perusteella uudisrakennusten tai niiden rakenteiden kosteusteknisien toimivuuden ongelmat eivät aiheudu energiatehokkuuden parantamisesta. Tämän sijaan kosteustekniset ongelmat ja puutteet johtuvat tyypillisesti puutteellisesta suunnittelusta, toteutuksesta ja detaljeista sekä kunnossapidon laiminlyönneistä ja suoranaisista kosteusvahingoista. Energiatehokkuudesta tinkimällä ei päästä parempiin kosteusteknisiin ratkaisuihin missään rakennusosassa. Rakennusten ja rakenteiden kosteustekninen toimivuus riippuu rakentamisen ja rakennuksen ylläpidon kokonaisuuden hallinnasta.

Liitteet /Lähdeviitteet

1. Ympäristöministeriön asetus. Uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Luonnos 7.10.2016. 18 s.
2. Lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. VTT Tutkimusselostus VTT- S-10816-08. VTT 2008. 21 s. + liitt. 1 s. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B648A4BF3-D2F6-4FEB-9DD4-8B90C1A49D2D%7D/31293>
3. Ojanen, T., Kokko, E.. Kuivumiskykyinen rakenne tuulensuojan ulkopuolisella lämmöneristekerroksella (Improvement of drying capability of a structure with external thermal insulation on windbarrier). Rakennuslehti, No. 3 - 2000, pp. 9
4. Ojanen, T., Kokko, E., Salonvaara, M., Viitanen, H.. Havuvanerirakenteiden kosteusteknisen toiminnan perusteet (Moisture performance of plywood wall structures). VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes: 1870. Espoo, VTT, 1997. ISBN 951-38-5169-9. 90 s.+ liitt. 2 s.
5. Ojanen, T.; Kokko, E.; Pallari, M.-L. Tuulensuojan toimintaperusteet. Espoo, VTT. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes; N:o 1478. ISBN 951-38-4372-6. 1993. 125 s. + liitt. 24 s.
6. Vinha, J., Laukkanen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A. & Palolahti, T. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristysten lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. TTY Tutkimusraportti 159, 2013. 354 s. + 43 liites.
7. Viitanen, Hannu; Ritschkoff, Anne-Christine. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Rapport / Institutionen för virkeslära : 221. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), 1991. Uppsala. 40 p. + app. 9 p.
8. Viitanen, Hannu; Bjurman, Jonny. Mould growth on wood under fluctuating humidity conditions. Material und Organismen (1995) No: 29, 27 – 46
9. Viitanen, Hannu. Models of the critical time of humidity and temperature conditions for the development of mould fuel in pine and spruce sapwood. IRG/WP 95-20066. 26th Annual Meeting of IRGWP. Helsingör, Denmark, 11 - 16 June 1995. International Research Group on Wood Preservation. Stockholm (1995), 12 p.
10. Viitanen, H. 1997a. Modelling the time factor in the development of brown rot decay in pine and spruce sapwood - the effect of critical humidity and temperature conditions. Holzforschung, vol. 51, 1, pp. 6 - 14
11. Viitanen, H. 1997b. Critical time of different humidity and temperature conditions for the development of brown rot decay in pine and spruce. Holzforschung, vol. 51, 2, pp. 99 – 106
12. Viitanen, Hannu; Hukka, Antti; Ojanen, Tuomo; Salonvaara, Mikael; Kokko, Erkki. Puurakenteiden homehtumisriskien mallintaminen. SIY raportti 8. Sisäilmastoseminaari '97. Espoo, 19.3.1997. Sisäilmayhdistys SIY. Espoo (1997), 135 – 138

13. Hukka, Antti; Viitanen, Hannu. A mathematical model of mould growth on wooden material. Wood Science and Technology. Vol. 33 (1999) No: 6, 475 – 485
14. Viitanen, Hannu. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet - betonin homeenkesto. VTT Working Papers : 6. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W6.pdf>. 2004. VTT, Espoo. 25 s.
15. Viitanen, Hannu; Ojanen, Tuomo. Improved model to predict mould growth in building materials. Proceedings. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X. Clearwater Beach, USA, 2 - 7 Dec. 2007. CD. ASHRAE, DOE, ORNL. Atlanta, USA (2007), 8 p
16. Peuhkuri, Ruut; Viitanen, Hannu; Ojanen, Tuomo. Modelling of mould growth in building envelopes. Proceedings of the IEA ECBCS Annex 41 Closing seminar, Copenhagen, June 19, 2008
17. Peuhkuri, Ruut; Viitanen, Hannu; Ojanen, Tuomo; Vinha, Juha; Lähdesmäki, Kimmo. Rakennusmateriaalien homeenkestävyys ja sen mallintaminen pysyvissä kosteusrasitusoloissa. Rakennusfysiikka 2009, Tampere, 27.-29.10.2009
18. Viitanen, H; Vinha, J.; Salminen, K.; Ojanen, T.; Peuhkuri, R; Paajanen, L.; Lähdesmäki, K.. 2010. Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. Journal of Building Physics, vol. 33, 3, ss. 201-224.
19. Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, J., Salminen, K. Mould growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials. Proceedings (in CD) of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference, Dec 5.-9.2010. Clearwater Beach, Florida. 10 p.
20. Ojanen, T., Peuhkuri, R., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Vinha, J. and Salminen, K. 2011. Classification of material sensitivity – New approach for mould growth modeling. NSB 2011. 9th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, 2011.
21. Viitanen, Hannu; Ojanen, Tuomo; Airaksinen, Miimu. Kosteus-, home- ja laho- ongelmien ja -vaurioiden detektointi ja korjaus. Rakennusfysiikka 2013, 22 - 24 lokakuuta 2013, Tampere Rakennusfysiikka 2013, 22. - 24.10.2013. Tampereen teknillinen yliopisto; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry (2013), 145- 152
22. Airaksinen, M., Viitanen, H. & Ojanen, T. Rakennusfysiikka, ratkaisuja ongelmiin. Tekniikanpäivät 16.1.2014. Esitys. 21 s.
23. Lylykangas, K., Andersson, A., Kiuru, J., Nieminen, J., & Päätaalo, J. Rakenteellinen energiatehokkuus –opas. RTT eristeteollisuus ja ympäristöministeriö 2016. 144 s. + liitteet 79 s.
24. Nippala, E. & Vainio, T. Asuinrakennusten korjaustarve 2006-2035. VTT Technology; 274. Espoo, VTT 2016. 17 s. + liitt. 15 s. ISBN 978-951-38-8460-4 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T274.pdf>
25. Vinha, J. Matalaenergiarakentamisen haasteet rakenteiden toimintaan. Energiaosaaminen rakennustyömaalla –työpaja. Motiva, Tampere 24.5.2012. 48 s.
26. Uuden Termex Zero -seinärakenteen lämmönläpäisykerroin ja kosteustekninen toimivuus. VTT Tutkimusselostus Nro VTT- S-04065-09. http://www.termex.fi/files/2_%40_9457_%40_TermexZero_tutkimusseloste.pdf

27. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-01985-09. Kooste SPU-Systems Oy:n passiivenergiatason rakenteiden kosteusteknisen toimivuustarkastelun tuloksista. VTT 2009. 11 s. <http://www.spu.fi/suunnittelu/tutkimukset-ja-raportit/>
28. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-07325-10. SPU-Systems Oy:n betonikuorisen BSW-elementin kosteustekninen toimivuus ulkoseinänä. VTT 2010. 11 s.
29. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-10928-08. SPU-Systems Oy:n betonikuorisen passiivenergia-seinän kosteustekninen toimivuus. VTT 2008. 8 s.
30. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-00397-09. SPU-Systems Oy:n betonikuorisen rapatun passii-vienergiaseinän kosteustekninen toimivuus. VTT 2009. 7 s.
31. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-00428-09. SPU-eristeisen puurunkoseinän kosteustekninen toimivuus. VTT 2009. 6 s.
32. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-00396-09. SPU-Systems Oy:n SPU-eristeellä ja mineraalivillalla eristetyin seinärakenteen kosteustekninen toimivuus. VTT 2009. 5 s.
33. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-00433-09. SPU-eristeisen puurankaisen yläpohjan kosteustekninen toimivuus. VTT 2009. 6 s.
34. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-00430-09. SPU-eristeisen yläpohjan kosteustekninen toimivuus. VTT 2009. 4 s.
35. VTT:n tutkimusselostus VTT-S-00434-09. SPU-eristeisen passiivenergiatason alapohjarakenteen kosteustekninen toimivuus. VTT 2009. 2 s.
36. Airaksinen M., Arvela H., Ilmanvaihto- ja radontutkimukset Tuusulan asuatomessualueella, Helsinki University of Technology, HVAC-laboratory, Report B 73, 2002.
37. Airaksinen, M., Moisture and fungal spore transport in outdoor air-ventilated crawl spaces in a cold climate. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, LVI-laboratorio, Raportti A7. Espoo, 2003.
38. Arvela, H., Residential Radon in Finland: Sources, Variation, Modelling and Dose Comparisons. Väitöskirja. Suomen Säteilyturvakeskus, STUK-A124. Helsinki, 1995.
39. Kurnitski, J., Humidity control in outdoor-air-ventilated crawl spaces in cold climate by means of ventilation, ground covers and dehumidification. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, LVI-laboratorio, Raportti A3. Espoo, 2000.
40. Vahid M.N, Kalagasidis A.S., Kjellström E., 2012, Assessment of hygrothermal performance and mould growth risk in ventilated attics in respect to possible climate changes in Sweden, Building and Environment 55 (2012) pp. 96-109
41. Ojanen, T. & Airaksinen, M. Moisture performance of energy efficient building envelopes. 7PHN Sustainable Cities and Buildings, 20 - 21 August 2015, Copenhagen, Denmark. Proceedings. BYG Rapport: R-334, Passivhus.dk, ISBN 9788778774231. http://passivhus.dk/wp-content/uploads/7PHN_proceedings/073.pdf 8 s.