



## RAKENNUSTIETO >

# Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> [rakennustieto.fi/rk/palvelut](https://rakennustieto.fi/rk/palvelut)

### Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

# Puurunkoisten ulkoseinä rakenteiden kosteustekninen toiminta

Juha Vinha, tekniikan lisensiaatti  
Erikoistutkija, TTKK Talonrakennustekniikan laboratorio  
juha.vinha@tut.fi

## 1 Johdanto

Ulkovaipan rakenteiden kosteusteknistä toimintaa on haluttu selvittää siitä lähtien, kun aikaisemmin käytössä olleista massiivirakenteista siirryttiin lämpöeristettyihin kerroksellisiin rakenteisiin ja samalla rakennusten sisällä veden käyttö kasvoi voimakkaasti. Kuluneiden vuosien aikana käsitykset oikeaoppisista rakenteista ovat vaihdelleet ja jatkuvasti on vallalla täysin ristiriitaisia mielipiteitä eri rakennevaihtoehtojen toimivuudesta. Yhtenä syynä tähän on ollut luotettavan tutkimustiedon puute rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta.

Suurin osa rakenteiden kosteusvaurioista syntyy sade- ja pesuvesien tai maaperän kosteuden aiheuttamana. Näissä tapauksissa rakenteiden kostuminen voidaan estää vain kahdella tavalla: suojataan rakenne kosteudelta esimerkiksi tiiviillä kosteussululla tai poistetaan kosteuslähde rakenteesta tai sen läheltä. Tältä osin rakenneratkaisut ovat useimmissa tapauksissa selvät, mutta syystä tai toisesta rakenteita on toteutettu kuitenkin väärrällä tavalla. Viime vuosina näitä epäonnistumisia on tullut runsaasti myös julkisuuteen.

Toisaalta voidaan todeta, että rakenteiden suojaaminen kosteudelta koko rakennuksen elinkaaren ajan on hyvin vaikeaa. Siksi hyvän rakenteen ominaisuuksiin kuuluu myös nopea kuivuminen, jota voidaan edesauttaa rakenteiden suunnittelulla ja materiaalien valinnalla. Kuivumisen osalta myös tutkimustietoa kaivataan lisää.

Vesihöyryn käyttäytymisestä rakenteissa on ollut paljon enemmän epätoivoisuutta. Monet ratkaisut ovat joissakin tapauksissa toimineet hyvin, mutta samoista rakenteista on olemassa myös vastakkaisia kokemuksia. Jokin olosuhdetekijä on ollut siis erilainen ja aiheuttanut toisista tapauksissa rakenteisiin kosteusvaurioita. On selvää, että sisäilman kosteuslisän ollessa pieni ja ulkoilman olosuhteiden edistässä kuivumista (tuuli, lämpötila, auringon säteily), kaikki rakenteet toimivat vesihöyryn siirtymisen kannalta moitteettomasti. Eri asia on, miten rakenteet toimivat kosteusrasituksen kasvaessa. Rakenne-

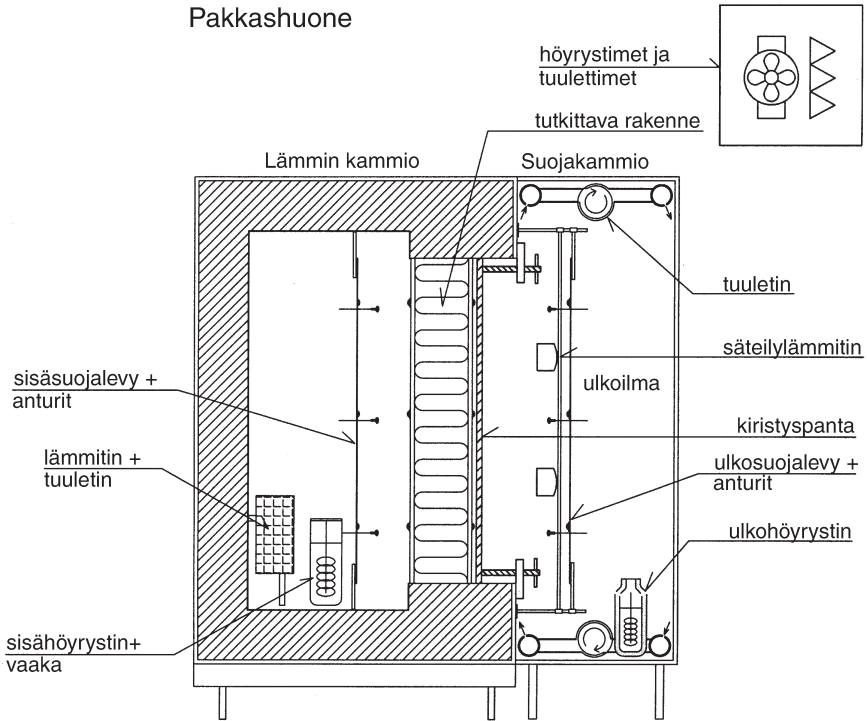
ratkaisuissa on yksilöllisiä eroja ja ne tulee selvittää ennen kuin uusia rakenteita voidaan ottaa käyttöön. Rakenteiden luotettavaan tutkimukseen onkin kaivattu pikaisesti uusia tutkimusmenetelmiä.

Vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan tutkiminen on ollut aikaisemmin ongelmallista, koska eri tutkimusmenetelmät eivät ole antaneet luotettavaa kokonaiskuvaa rakenteen käyttäytymisestä eri tilanteissa. Kenttäkokeilla voidaan selvittää vain yksittäisten rakennusten käyttäytymistä ja tutkimustuloksiin vaikuttavien osatekijöiden keskinäinen merkitys jää usein epäselväksi. Laskennallisessa tarkastelussa on ongelmia valita eri materiaalien ominaisuudet ja olosuhdetekijät oikein sekä mallintaa rakenteet vastaamaan todellista tilannetta. Teoria ja käytäntö saattavat poiketa huomattavasti toisistaan johtuen eri osatekijöiden suuresta määrästä. Laboratoriokokeissa taas ei ole kyetty säätämään kaikkia luonnossa vaikuttavia olosuhdetekijöitä samanaikaisesti ja toisistaan riippumatta. Materiaaliominaisuuksia on testattu etupäässä lämpötilan ollessa yli 0 °C. Kuitenkin rakenteiden ja materiaalien toiminta muuttuu oleellisesti ulkoilman lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle.

## 2 Uusi tutkimuslaitteisto

TTKK:n talonrakennustekniikan laboratorioon on rakennettu uusi rakennusfysikaalinen tutkimuslaitteisto, jonka avulla voidaan selvittää entistä paremmin vaipparakenteiden kosteusteknistä toimintaa eri olosuhteissa. Laitteisto on kehitetty aikaisemmin tehdyn lämmönläpäisyilteiston pohjalta ja sen kehitystyö on kestänyt kokonaisuudessaan noin 4 vuotta.

Uusi tutkimuslaitteisto koostuu lämpimästä ja kylmästä kammiosta, joiden väliin tutkittava rakenne asetetaan. Lämpimässä kammiassa mallinnetaan sisäilman olosuhteita ja kylmässä kammiossa ulkoilman olosuhteita (kuva 1). Laitteistossa on suuri joukko erilaisia mittaus- ja säätölaitteita, joita ohjataan automaattisesti tietokoneen avulla. Tarkka ja nopea olosuhteiden



Kuva 1. Periaatekuva rakennusfysikaalisesta tutkimuslaitteistosta.

säätö edellyttää tehokasta ohjausohjelmaa, joka hakee eri tekijöiden tasapainotilaa koko ajan. Kokeissa säädettävänä suureina ovat sisä- ja ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus (RH) sekä paine-ero tutkittavan rakenteen yli.

Rakennusfysikaalisessa tutkimuslaitteistossa on monia ominaisuuksia, jotka yhdessä tekevät siitä uudentyyppisen ja monipuolisen koelaitteiston. Näitä ominaisuuksia ovat mm.:

- kokeissa hallitaan kaikkia sisä- ja ulkoilman olosuhteita yhtä aikaa
- rakenteita voidaan testata todellista tilannetta vastaavissa sisä- ja ulkoilman olosuhteissa (esimerkiksi ulkoilman RH voidaan säätää todellista vastaavaksi myös pakkasen puolella)
- kaikki säädettävät olosuhdearvot voidaan asettaa vapaasti säätöalueen sisällä
- kaikki mittaukset ja säädöt tapahtuvat automaattisesti ja nopeasti tietokoneen avulla
- kokeessa voidaan mitata rakenteeseen diffuusiolla ja konvektiolla siirtyvät kosteusvirrat erikseen
- rakenteita voidaan mitata vakio-olosuhteissa tai olosuhteita voidaan vaihdella syklisesti

- laitteiston tiiviydän ja elementin asennustekniikan ansiosta ilman virtaus tapahtuu tutkittavan rakenteen läpi hallitusti
- tutkimusaukon koko on suuri (pinta-ala  $1200 \times 1200 \text{ mm}^2$  ja syvyys 400 mm), jolloin koerakenteessa tapahtuu samat ilmiöt kuin todellisissa rakenteissakin (esimerkiksi rakenteen sisäinen konvektio)
- laitteiston säätö- ja mittausjärjestelmiä voidaan lisätä ja vaihtaa tarpeen mukaan
- laitteistoa voidaan tarvittaessa kääntää, jolloin seinä-, ylä- ja alapohjarakenteet voidaan testata oikeassa asennossa
- laitteiston rakentamisen yhteydessä kehitettyjä säätö- ja mittausjärjestelmiä voidaan käyttää muidenkin laboratoriotutkimusten koelaitteistossa.

### 3 Laitteistolla tehdyt kokeet

Uudella koelaitteistolla aloitettiin puurunkoisten seinärakenteiden tutkimukset syksyllä 1997. Kokeissa haluttiin selvittää höyrünsulun tar-

peellisuutta seinärakenteissa ja paine-eron vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Ulkoilman olosuhteiksi valittiin talviolosuhteet, koska tällöin höyrünsulun tarve rakenteissa korostuu. Tutkimuksen yhteydessä keskityttiin lähinnä kahteen seinärakennetyyppiin: höyrünsuluttomaan puukuitueristeiseen seinään ja höyrünsululliseen mineraalivillaeristeiseen seinään. Koelaitteistolla tehtiin noin 1 kk pituinen olosuhdekoekahdeksalle erilaiselle seinärakenteelle.

### 3.1 Koelosuhteet

Kaikissa kokeissa säädettävien olosuhteiden tavoitearvot olivat samat: sisällä lämpötila oli +20 °C ja suhteellinen kosteus 50 % RH, ulkona lämpötila oli -10 °C ja suhteellinen kosteus 90 % RH. Todellisuudessa rakennusten sisäilman kosteus on yleensä alhaisempi kuin RH 50 % talviaikaan. Kokeisiin valittiin kuitenkin RH 50 %, koska rakenteiden on kestettävä myös jonkin verran keskimääräistä suurempi kosteusrasitus.

Seinärakenteita tutkittiin kolmessa erilaisessa paine-erotilanteessa. Ensimmäisessä jaksossa paine-ero rakenteen yli oli -10 Pa (sisällä alipaine), toisessa jaksossa 0 Pa ja kolmannessa jaksossa +10 Pa (sisällä ylipaine). Kunkin paine-erojakson pituus oli noin 9 vrk, jolloin kokonaiskoeaika oli pääsääntöisesti noin 1 kk.

### 3.2 Tutkitut seinärakenteet

Koelaitteistolla tutkittujen kahdeksan seinärakenteen rakenneleikkaukset on esitetty kuvassa 2.

Tutkittavat seinärakenteet koottiin 9 mm filmivanerista valmistettuihin kehyksiin ilma- ja kosteushäviöiden eliminoimiseksi. Kehyksien koko oli 1185 × 1185 mm<sup>2</sup> ja paksuus koeseinässä riippuen 176 – 224 mm. Koe-elementin keskelle asennettiin 31 mm levyinen runkopuu ja reunoille 18 mm levyiset sekavanerit. Runko-

puun kummallekin puolelle jäi eristetilat, joiden leveys oli 550 mm.

Lämmöneristeiden ja tuulensuojalevyjen lähtökosteudet olivat koeseinissä 1, 3, 5 ja 7 RH 35 %, koeseinissä 2 ja 4 RH 85 % ja koeseinissä 6 ja 8 RH 55 %. Sisälevyit olivat koko ajan samassa lähtökosteudessa (RH oli noin 30 – 40 %). Lähtökosteudella tarkoitetaan tässä yhteydessä materiaalin huokosilman suhteellista kosteutta.

Koeseinissä 2, 4 ja 6 tehtiin runkopuun vasemmalle puolelle lisäksi 3 kappaletta Ø 3,5 mm:n reikiä, jotka ulottuivat sekä sisälevyn että ilman-/höyrünsulun läpi. Runkopuun oikealle puolelle tehtiin vastaavat reiät pelkästään ilman-/höyrünsulun läpi. Näissä koeseinissä sisälevyn ja ilman-/höyrünsulkuun tehtiin myös sauma runkopuun kohdalle. Sisälevyn saumaan laitettiin tasote ja ilman-/höyrünsulku limitettiin 200 mm, mutta saumoja ei teipattu. Koeseinässä 8 tehtiin ainoastaan runkopuun vasemmalle puolelle 6 kappaletta Ø 5,0 mm:n reikiä, jotka ulottuivat sekä sisälevyn että ilmansulun läpi. Muut koeseinät olivat ehjiä rakenteita.

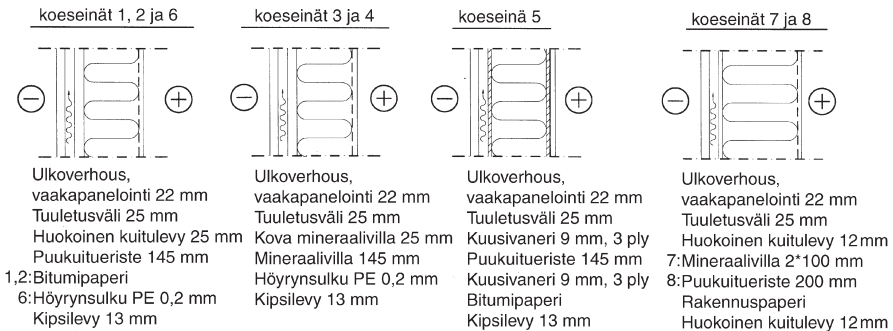
## 4 Koetulokset ja johtopäätökset

Tässä yhteydessä on käsitelty tärkeimpiä koetuoksia, jotka kuvaavat höyrünsululla ja höyrünsuluttoman seinärakenteen eroja. Seinäkoekoiden tarkempi analysointi on esitetty tutkimuksesta tehdyssä julkaisussa [2].

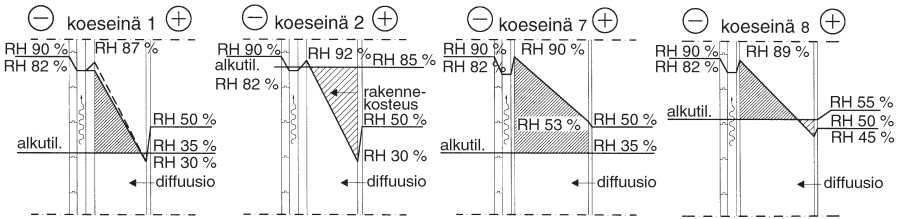
### 4.1 Diffuusion ja rakennekosteuden vaikutukset

#### Höyrünsuluttomat seinät

Tarkastellaan aluksi koeseinien 1, 2 ja 8 kosteusteknistä toimintaa (kuva 3). Näissä seinissä sisäpinnan ilmansulkuna käytettiin bitumipape-



Kuva 2. Tutkittujen seinärakenteiden rakenneleikkaukset.



Kuva 3. Höyrynsuluttomien koeseinien 1, 2, 7 ja 8 huokosilman suhteelliset kosteudet kokeen lopussa (RH %).

ria ja lämmöneristeenä puukuitueristettä. Kaikkiin seinärakenteisiin siirtyi sisältä vesihöyryä diffuusiolla, koska sisäilman suurempi vesihöyrypitoisuus pyrki tasoittumaan rakenteen läpi ulkoilmaan.

Koeseinässä 1 materiaalit olivat kokeen alussa kuivia (RH 35 %), joten rakenteessa ei ollut ylimääräistä rakennekosteutta. Diffuusion ansiosta huokosilman suhteelliset kosteudet nousivat rakenteen ulkopinnan lähellä koko kokeen ajan. Alhaisesta alkukosteudesta johtuen rakenteen kosteuspitoisuudet eivät kuitenkaan saavuttaneet kokeen aikana stationääritilaa (= tasapainotilaa). Toisin sanoen puukuitueristeen kosteudensitomiskapasiteetti kykeni sitomaan kaikesta sisästä tulleesta kosteudesta eikä kondenssitilaa syntynyt tuulensuojalevyn pintaan.

Koeseinässä 8 rakenteiden alkukosteus oli kokeeseen 1 verrattuna korkeampi (RH 55 %), jolloin puukuitueristeellä oli vähemmän kosteudensitomiskapasiteettia jäljellä. Toisaalta koeseinä 8 oli leveämpi kuin koeseinä 1, jolloin eristeen tilavuus oli suurempi. Tässä kokeessa rakenne saavutti stationääritilan 21 vrk kuluttua kokeen alusta, jonka jälkeen kondensoituminen alkoi tuulensuojalevyn sisäpintaan. Kondensoituminen alkoi varsin nopeasti, koska seinän sisäpinta oli vielä läpäisevämpi kuin kokeessa 1.

Koeseinässä 2 materiaalit olivat kokeen alussa kosteita (RH 85 %). Rakenteessa oli näin ollen myös ylimääräistä rakennekosteutta, joka pyrki siirtymään sekä sisään että ulospäin kokeen alettua. Kosteuden siirtyminen ulospäin oli kuitenkin voimakkaampaa, koska potentiaaliero oli ulospäin suurempi. Ylimääräisestä rakennekosteudesta johtuen koeseinässä 2 kondensoituminen alkoi jo noin 3 vrk kuluttua kokeen alusta. Näin tapahtui, vaikka rakenne kuivui myös sisälle päin alipaineen aiheuttaman konvektion ja diffuusion vaikutuksesta. Stationääritilanteen saavuttamisen jälkeen suurin osa diffuusiolla sisältä siirtyneestä kosteudesta kondensoitui tuulensuojalevyn sisäpintaan, koska puukuitueristeellä ei ollut enää kosteudensitomiskapasiteettia jäljellä.

Verrataan samaan asiaan liittyen vielä koeseiniä 7 ja 8, jotka olivat rakenteeltaan muuten samanlaiset, mutta niissä käytettiin erityyppisiä eristeitä. Kokeessa 7 kondenssi alkoi tuulensuojalevyn sisäpinnassa 7 vrk kuluttua kokeen alusta elementin alkukosteuden vastatessa 35 % RH:ta. Kuten edellä todettiin kokeessa 8 kondenssi alkoi 21 vrk kuluttua elementin alkukosteuden vastatessa 55 % RH:ta. Vaikka puukuitueristeen alkukosteus olikin hieman korkeampi kokeen alussa, voidaan todeta, että puukuitueristeen tuoma kosteudensitomiskapasiteetti ei merkittävästi siirtänyt kondensoitumisen alkamisaikaa. Tämä johtuu siitä, että seinän sisäpinta oli hyvin läpäisevä. Toisin sanoen puukuitueristeen kosteudensitomiskapasiteetti on rajallinen.

Yhteenvetona näistä kokeista voidaan todeta, että puukuitueristeen kosteudensitomiskapasiteetti siirtää kondensoitumisen alkamista, mutta ei kykene kaikissa tapauksissa estämään sitä. Se, kuinka kauan kondensoitumisen alkamiseen kuluu aikaa, riippuu eristeen ja tuulensuojalevyn alkukosteuksista, seinämateriaalien vesihöyryn-/kosteudenläpäisevyyksistä sekä kosteusrasituksesta, joka seinään kohdistuu.

Kokeissa olleissa läpäisevissä seinärakenteissa kondensoitumisen alkamiseen kuluvaa aikaa vaihteli muutamasta päivästä kolmeen viikkoon. Koska Suomessa koeolosuhteita vastaavan pakkaskauden pituus vaihtelee tyypillisesti 2–5 kk välillä, voidaan todeta, että läpäisevissä seinissä kondenssiriski on ilmeinen. Samalla se lisää rakenteiden homehtumisriskiä syksyllä ja keväällä.

### Höyrynsululliset seinät

Tarkastellaan seuraavaksi rakenteita 3 ja 4, jotka olivat mineraalivillaaeristeisiä höyrynsulullisia seinä (kuva 4). Koeseinä 3 oli kokeen alussa samassa alkukosteudessa kuin koeseinä 1 ja vastaavasti koeseinä 4 samassa alkukosteudessa kuin koeseinä 2. Rakennepaksuudet ja koeolosuhteet olivat kaikissa seinissä samat, joten koe-

tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Koeseinässä 3 suhteelliset kosteudet jäivät hyvin alhaisiksi ja kosteuspitoisuudet saavuttivat stationääritilan jo 2 vrk kuluttua kokeen alusta. Kosteutta ei siirtynyt rakenteeseen diffuusiolla eikä konvektiolla, joten rakenteeseen ei myöskään kondensoitunut vettä. Seinärakenne toimi kokeessa erittäin hyvin.

Koeseinässä 4 stationääritilan saavuttamiseen kului enemmän aikaa (16 vrk), koska eristeen ja tuulensuojalevyn kosteuspitoisuudet vastasivat kokeen alussa 85 % RH:ta. Tästä huolimatta rakenteeseen ei syntynyt kondenssia, koska mineraalivillaan sitoutuva kosteusmäärä on pieni riippumatta huokosilman RH:sta. Mineraalivillan sisällä oli ylimääräistä kosteutta alkutilanteessa noin 40 g/m<sup>2</sup>, kun vastaavassa puukuitueristeissä seinässä sitä oli noin 400 g/m<sup>2</sup>. Tämä selittää miksi kondensoituminen alkoi varsin nopeasti koeseinässä 2.

Koeseinän 4 kosteusprosentit alenivat stationääritilanteessa samalle tasolle kuin koeseinässä 3, joten myös koeseinä 4 toimi kokeessa hyvin. Rakenteen hyvä toiminta perustui osaltaan vesihöyryä hyvin läpäisevään tuulensuojalevyyn, joka päästi ylimääräisen kosteuden poistumaan rakenteesta.

Koeseinä 6 vastasi rakenteeltaan koeseiniä 1 ja 2 sillä erotuksella, että bitumipaperin tilalla oli seinän sisäpinnassa muovinen höyrynsulku. Kuvasta 4 havaitaan, että tässä seinässä ulkopinnan suhteellinen kosteus jäi oleellisesti alhaisemmaksi, koska rakenteeseen ei siirtynyt sisältä kosteutta diffuusiolla. Tässä kokeessa puukuitueriste toimi moitteettomasti. Toisin sanoen seinän sisäpinnan tiiviys on paljon merkittävämpi asia seinän kosteusteknisen toiminnan kannalta kuin seinässä käytettävä eriste.

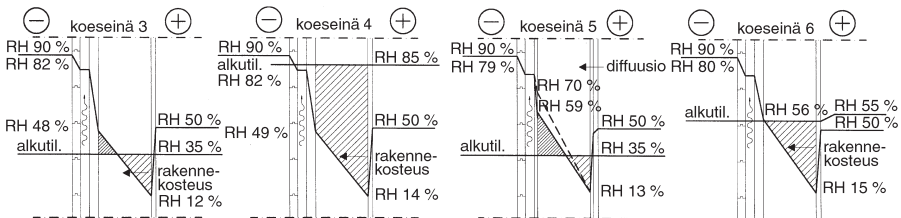
Yhteenvetona kokeista 3 ja 4 ja 6 voidaan todeta, että seinät, joissa on muovikalvo höyrynsulkuna, toimivat moitteettomasti sisäilman diffuusion kannalta.

Kokeista 2 ja 4 saatujen tuloksien perusteella voidaan todeta, että jos kosteutta sitovan eristeen huokosilman RH on suuri, se lisää raken-

teen kondensoitumisriskiä merkittävästi. Näin ollen esimerkiksi kostean kesän ja syksyn jälkeen puukuitueristeessä olevalla ylimääräisellä rakennekosteudella on haitallinen vaikutus. Sama tilanne on silloin, jos puukuitueriste ruiskutetaan seinään märkänä syksyllä tai talvella. Tällöin seinän ulkopintaan syntyy kondenssitiä, jossa ylimääräinen kosteus tiivistyy tai jäätyy tuulensuojalevyn ja kuivuu vasta seuraavana keväänä.

Tarkastellaan lopuksi koeseinän 5 kosteusteknistä toimintaa. Tässä seinässä sisäpinnan vesihöyrynvastusta oli lisätty kuusivanerin avulla ja ilmansulkuna käytettiin bitumipaperia. Eristeen käytettiin puukuitueristettä. Koeseinässä 5 koelolosuhteet ja materiaalien kosteuspitoisuudet ennen kokeen alkua olivat samat kuin kokeessa 1. Koetuloksista nähdään, että huokosilman RH -prosentit nousivat rakenteessa huomattavasti hitaammin kuin koeseinässä 1 joutuessaan tiiviimmistä sisäpinnasta. Tässä kokeessa puukuitueristeen kosteudensitomiskapasiteettia oli vielä runsaasti jäljellä kuukauden kokeen jälkeen. RH -prosenttien muutosnopeudesta kokeen lopussa voidaan lisäksi päätellä, että rakenteen kosteuspitoisuudet eivät olisi aiheuttaneet tasapainotilanteessakaan kondensoitumisriskiä.

Johtopäätöksenä kokeesta 5 voidaan todeta, että seinän sisäpinnassa oleva vaneri ja bitumipaperi ovat yhdessä yleensä riittävän tiiviitä vesihöyry diffuusiota vastaan. Levyjen saumakohdista diffuusiolla siirtyvän kosteuden osuus on niin pieni, ettei sillä ole käytännön merkitystä. Saumat ovat riskialttiita lähinnä konvektiolla siirtyvän kosteuden osalta, mutta bitumipaperin ollessa ehjä se estää konvektion rakenteeseen. Koe osoittaa, että seinän sisäpintaan saadaan riittävä tiiviys muullakin tavalla kuin höyrynsulkumuovia käyttämällä. Koeseinä 5 on kuitenkin riskialtis rakenne siksi, että tuulensuojalevynä käytetyn vanerin vesihöyrynvastus on suuri (varsinkin lämpötilan ollessa alle 0 °C). Tällöin rakenteeseen sisään päässyt ylimääräinen kosteus poistuu hitaasti ja voi aiheuttaa ongelmia.



Kuva 4. Höyrynsullustien koeseinien 3, 4, 5 ja 6 huokosilman suhteelliset kosteudet kokeen lopussa (RH %).

## 4.2 Konvektion vaikutus

Paine-erotilanteessa vesihöyry siirtyi konvektiolla eli ilmavirtauksen mukana niihin rakenteisiin, joiden sisäpintaan oli tehty reikiä

Verrataan aluksi koeseiniä 2 ja 4 toimintaa konvektion vaikuttaessa (kuva 5). Koeseinässä 2 huokosilman RH -prosentit nousivat ulkopinnan lähellä korkeiksi jo pelkästään diffuusion vaikutuksesta eikä konvektiolla ollut suurta vaikutusta RH -prosentteihin reikien lähellä. Koeseinässä 4 RH -prosentit pysyivät yleensä alhaisina, mutta ylipainetilanteessa ne nousivat korkeiksi siinä osassa rakennetta, jossa reiät ulottuivat koko sisäpinnan läpi. Tässä tapauksessa RH -prosentit nousivat samalle tasolle kuin läpäisevässä seinärakenteessa (koeseinä 2).

Kokeessa 6 haluttiin selvittää, miten höyrynsulullisen rakenteen käyttäytyminen muuttuu konvektiutilanteessa, jos mineraalivillaeristeen tilalle laitetaan puukuuteriste. Lopputulos tässäkin kokeessa oli samanlainen kuin koeseinällä 4: huokosilman RH -prosentit nousivat ylipaineella korkeiksi sisäpinnan läpi ulottuvien reikien lähellä. Ainoa ero koetuloksissa oli se, että koeseinässä 6 RH -prosentit nousivat jonkin verran hitaammin (tasoittumisaika noin 14 vrk), kuin koeseinässä 4 (tasoittumisaika 1 vrk).

Johtopäätöksenä kokeista 2, 4 ja 6 voidaan todeta, että läpäisevissä seinärakenteissa kondenssiriski on olemassa jo pelkästään diffuusion ansiosta ja sisällä oleva ylipaine lisää tätä riskiä entisestään. Sen sijaan höyrynsulullisessa rakenteessa kondenssiriski on ainoastaan silloin, jos ylipainetilanteessa rakenteessa on reikiä, jotka ulottuvat koko sisäpinnan läpi.

Paine-erokokeissa haluttiin selvittää myös sitä, kuinka paljon alipaine kykenee alentamaan seinärakenteen kosteuspitouksia paine-erottomaan tilanteeseen verrattuna. Koeseinissä 2, 4 ja 6 rakenteiden RH -prosentteissa ei ollut merkittävää eroa alipaineen ja paine-erottoman tilanteen välillä. Koeseinässä 8 RH -prosentit muuttuivat jonkin verran alipaineen ja paine-erottoman tilanteen välillä, koska seinässä olleet

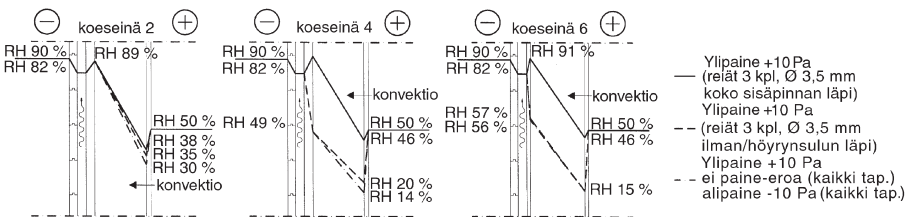
reiät olivat suurempia. Paine-erottomaan tilanteeseen verrattuna alipaineen kosteuspitouksia alentava vaikutus on kuitenkin käytännössä varsin vähäinen. Alipaine varmistaa kuitenkin sen, ettei rakennukseen synny ylipainetta.

## 5 Yhteenveto tutkimustuloksista

Uudella rakennusfysikaalisella tutkimuslaitteistolla selvitettiin vesihöyryn siirtymistä puurunkoisissa ulkoseinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta talviolosuhteissa. Tehtyjen kokeiden perusteella saatiin seuraavat koetulokset:

### Diffuusion vaikutus

1. Kaikkii seinärakenteet toimivat diffuusion kannalta turvallisesti, jos
  - sisäilman kosteuslisä on pieni ja
  - rakenteeseen ei pääse vettä kosteusvuotojen seurauksena
2. Kosteutta läpäisevä rakenne on selvästi riskialttiimpi kondensoitumisen kannalta kuin höyrynsulullinen rakenne.
  - ⇒ Seinän sisäpinnassa on oltava riittävä vesihöyrynvastus (5:1 -säntö).
3. Jos seinän sisäpinnassa on riittävä ilman- ja höyrynsulku, eristeenä voidaan käyttää sekä puukuuteristettä että mineraalivillaa.
4. Puupohjaisten materiaalien kosteudensitomiskapasiteetti siirtää kondensoitumisen alkamista, mutta ei aina riitä estämään kondenssin syntymistä.
5. Materiaaleihin sitoutunut ylimääräinen kosteus lisää kondensoitumisriskiä. Puupohjaisilla materiaaleilla riski on suuri, koska niihin voi sitoutua paljon kosteutta.
6. Seinän ulkopinnassa on oltava riittävän hyvin vesihöyryä läpäisevä tuulensuojalevy ja sen ulkopuolella toimiva tuuletusrako, jotta seinässä oleva ylimääräinen kosteus voi poistua.



Kuva 5. Huokosilman suhteellisten kosteuksien muutokset konvektion vaikutuksesta koeseinissä 2, 4 ja 6.

## Konvektion vaikutus

1. Kaikki seinärakenteet toimivat konvektion kannalta turvallisesti, jos
  - rakennuksessa on alipaine **tai**
  - rakenteessa on ehjä ilmansulkuerros
2. Sisällä oleva alipaine ei alenna reällisen seinän kosteuspitoisuuksia merkittävästi paine-erottomaan tilanteeseen verrattuna. Alipaine varmistaa kuitenkin sen, että rakennukseen ei synny ylipainetta.
3. Sisällä oleva ylipaine nostaa reällisen seinärakenteen tasapainokosteuksia ja lisää rakenteen kondensoitumis- ja homehtumisriskiä.
4. Kosteutta läpäisevässä seinärakenteessa kondensoituminen on mahdollista paine-erosta riippumatta (diffuusio).
5. Höyrynsulullisessa seinärakenteessa kondenssiriski on ainoastaan silloin, jos ylipainetilanteessa rakenteessa on reikiä, jotka ulottuvat koko sisäpinnan läpi.
6. Puukuitueristeen käyttö hidastaa RH -prosenttien nousua ylipainetilanteessa reikien kohdalla, mutta lopulta rakenteen kosteusprosentit vastaavat mineraalivillaseinän arvoja.
7. Reikien ollessa pelkästään ilman-/höyrynsulun läpi rakenteen RH -prosentit eivät muutu paine-eron vaikutuksesta. Tämä koskee myös sisälevyn kiinnitystä runkopuuhun ilman-/höyrynsulun läpi.
8. Sisälevyssä ja ilman-/höyrynsulussa olevat saumat runkopuuhun kohdalla eivät vaikuta seinärakenteen RH -prosentteihin ylijä alipainetilanteissa. Ilman-/höyrynsulun saumaan riittää 200 mm limitys. Saumakohdan teippaus on aina suositeltavaa, mutta runkopuuhun kohdalla se ei ole välttämätöntä.

## Muut koetulokset

1. Laskennallinen diffuusiotarkastelu eroaa todellisesta tilanteesta siten enemmän mitä läpäisevämpi seinärakenne on.  
⇒ Kosteutta läpäisevän rakenteen kosteustekninen mitoitus on vaikeaa.
2. Läpäisevä seinärakenne ei kykene kustutamaan sisäilmaa talvella.
3. Ylipaine nostaa lämpötiloja huomattavasti tuulensuojalevyn sisäpinnassa niissä rakenteissa, joissa reiät ulottuvat koko sisäpinnan läpi.
4. Ulkoverhous nostaa tuuletusvälin lämpötilaa ulkoilmaan verrattuna, jolloin rakenteen RH -prosentit alenevat tuulensuojalevyn sisäpinnassa tiiviillä rakenteilla.
5. Talviolosuhteissa seinärakenteissa ei yleensä esiinny homeen kasvulle otollisia lämpötila- ja RH -olosuhteita.

## 6 Puurunkoisten vaipparakenteiden suunnitteluohjeita

### 6.1 Yleistä

Rakenteiden kosteusteknisellä suunnittelulla on kaksi keskeistä tavoitetta. Toisaalta tavoitteena on estää liiallisen kosteuden siirtyminen rakenteisiin ja toisaalta suunnitella rakenteet niin, että niihin jostain syystä päässeet pienet kosteusmäärät voivat kuivua aiheuttamatta rakenteiden turmeltumista.

Rakenteen on pyrittävä suunnittelemaan siten, että niihin ei aiheudu kosteudesta rakenteellisia, toiminnallisia tai esteettisiä vikoja rakenteen käyttöajan aikana. Rakenteissa oleva kosteus ei saa myöskään aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveydellisiä haittoja. Suomen ilmasto-olosuhteissa on kuitenkin välillä sellaisia ajanjaksoja, jolloin mm. hometta voi muodostua rakenteiden ulkopinnoille. Tyypillisesti tällainen rakenne on esimerkiksi tuulettuva alapohjarakenne. Rakenteiden oikeaoppisella suunnittelulla ja materiaalien valinnalla homeen syntymistä voidaan kuitenkin vähentää huomattavasti ja samalla varmistaa se, että homeet eivät pääse kulkeutumaan rakennuksen sisälle.

Kosteustekninen suunnittelu tapahtuu käytännössä siten, että rakenteisiin laitetaan erilliset kerrokset suojaamaan niitä kosteusrasituksilta ja toisaalta rakenne suunnitellaan niin, että se pääsee tarvittaessa kuivumaan. Laskennalliset tarkastelut rajoittuvat nykyisin lähinnä rakenteeseen, jolloin samalla tarkistetaan ettei rakenteessa tapahdu haitallista kondensoitumista.

Rakenteen on luonnollisesti tärkeintä suojata painovoimaisesti tai kapillaarisesti siirtyvältä vedeltä, koska se aiheuttaa rakenteisiin nopeasti pahoja kosteusvaurioita (katto- ja seinävuodot, kosteiden tilojen vauriot, pintavesien ja maaperän aiheuttamat kosteusvauriot, putkivuodot). Konvektiolla ja diffuusiolla siirtyvän vesihöyryn aiheuttamien kosteusvaurioiden osuus on pienempi, mutta niidenkään merkitystä ei sivi vähätellä.

Käytettävät rakennusmateriaalit tulee valita käyttötarkoitukseen soveltuviksi. Mitä kosteampiin olosuhteisiin materiaali laitetaan, sitä kosteutta kestävämpi, elämättömämpi ja kuivumiskykyisempi sen tulee olla (esimerkiksi pesutiloissa betoni-, harkko- tai tiilipinnat). Myös materiaalien ominaisuuksien muuttuminen olosuhteiden vaihdella tulee tuntea riittävän tarkasti. Materiaalit on lisäksi muistettava suojata kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana.

Rakennuksen käyttöikä ja rakenteiden kunto on aina oleellisesti riippuvainen myös asukkaiden käyttötottumuksista ja rakennuksen huol-



lostaa (mm. kosteuden tuottaminen sisäilmaan ja kuivatuksen tehostaminen sekä rakennuksen kunnan seuranta ja vuotokohtien havainnointi).

## 6.2 Höyrynsulun, ilmansulun ja tuulensuojan valinta

Puurunkoisten vaipparakenteiden sisäpintaan tulee aina laittaa tiivis ilmansulku ja riittävä höyrynsulku. Ilmansulun tehtävänä on estää sisäilmasta konvektiolla rakenteeseen siirtyvä kosteus ja höyrynsulun tehtävänä on estää sisäilmasta diffuusiolla rakenteeseen siirtyvä kosteus. Rakenteiden ulkopintaan tulee puolestaan laittaa tuulensuoja, jonka tehtävänä on estää tuulen aiheuttama konvektio lämmöneristekerroksesta. Tuulensuojan ulkopuolelle jätetään aina riittävä tuuletusrako ja ulommaiseksi kerrokseksi tulee sadesuojana toimiva vesikate tai ulkoverho.

Ilmansulun luotettava toiminta edellyttää, että siinä ei ole reikiä tai rakoja. Rakenteiden liittymä- ja kulmakohdat ovat tässä suhteessa kriittisiä paikkoja. Läpivientien ja saumojen kohdat tulee myös teipata huolellisesti. Konvektion avulla rakenteisiin voi siirtyä paljon enemmän kosteutta kuin diffuusion avulla, jos rakennuksessa on ylipaine ja rakenteissa on reikiä. Tästä syystä rakennukseen pyritään aina saamaan pieni alipaine kaikissa tilanteissa. Ilmansuluksi kelpaavat mm. muovikalvo, alumiinipaperi, muovitetut paperit ja suuri osa bitumipapereista. Sen sijaan pelkällä rakennuspaperilla on usein liian suuri ilmanläpäisykerroin. Paperien käyttö ilmansulkuna edellyttää huolellisempaa asennusta, koska paperit ovat muovikalvoa herkempiä repeämään.

Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä (mineraalivillat, luonnonkuitueristeet) höyrynsulun vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen tuulensuojakerroksen vastukseen verrattuna kaikissa olosuhteissa. Mikäli kosteuden tuotto rakennuksessa on normaalia suurempaa (kosteuslisä  $> 4,0 \text{ g/m}^3$ ) tarvitaan seinän sisäpinnassa vielä suurempi vesihöyrynvastus. Tämän säännön lisäksi ulkopinnassa olevan tuulensuojalevyn vesihöyrynvastuksen tulee aina olla mahdollisimman pieni. Hyviä tuulensuojamateriaaleja tässä mielessä ovat mm. kipsilevy, huokoinen kuitulevy, mineraalivillalevy, erityyppiset tuulensuojakalvot sekä bitumipaperit.

Rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastusta voidaan huolelta lisätä, kunhan varmistetaan siitä, että rakenne pääsee kuivumaan ulospäin. Liian höyrytiivii tuulensuojalevyt ja valesokkelit aiheuttavat rakenteeseen kosteusvaurioita, koska rakenteeseen päässyt ylimääräinen kosteus ei pääse kuivumaan. Vesihöyrynvastustal lisäämällä rakenteeseen saadaan lisävarmuut-

ta kohonneita sisäilman kosteuspitoisuuksia varten.

Sisäpinnan vesihöyrynvastus on myös käytännössä suositeltavaa nostaa minimiarvoa suuremmaksi, koska tuulensuojien vesihöyrynvastusarvoja ei tunneta kaikissa ulkoilman olosuhteissa. Tuotteille tehty läpäisevyys- / vastusarvojen määritykset on tehty etupäässä noin  $+20^\circ\text{C}$  lämpötilassa, mutta todellisuudessa monien materiaalien vesihöyrynvastukset kasvavat lämpötilan laskiessa  $0^\circ\text{C}$  alapuolelle. Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen tulee kuitenkin täyttää 5:1-sääntö myös talvitilanteissa. Höyrynsuluksi kelpaavat mm. muovikalvo, alumiinipaperi ja jotkut muovitetut paperit. Bitumipapereilla ei sen sijaan saavuteta yleensä riittävää vesihöyrynvastusta rakenteen sisäpintaan.

Muovikalvon käyttö estää myös veden tunkeutumista rakenteisiin, jos sisätiloissa tapahtuu paikallinen kosteusvuoto (esimerkiksi astianpesukone tai jääkaappi vuotaa). Vastaavasti se estää lämmöneristeestä tai ulkoilmasta tulevien hiukkasten ja epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmaan. Muovikalvoa käytettäessä on tärkeä muistaa, että kaikki muovilaadut eivät sovellu höyrynsuluksi huonon pitkäaikaiskestävyytensä vuoksi. Höyrynsuluksi tulee valita rakennusmuoviksi tarkoitettu polyeteenikalvo.

Yleensä höyry- ja ilmansulkuna käytetään samaa ainekerrosta (esimerkiksi muovikalvoa tai alumiinipaperia). Rakenne voidaan kuitenkin toteuttaa myös niin, että kerrokset ovat erikseen (esimerkiksi höyrynsulkuna käytetään riittävän tiivistä vanerilevyä ja ilmansulkuna bitumipaperia).

Yhdistetty ilman- ja höyrynsulku voidaan asettaa myös 50 mm syvyydelle sisäpinnasta, jos rakenteen lämmöneristyksestä enemmän kuin kaksi kolmasosaa sijaitsee höyrynsulun ulkopuolella. Tällöin höyrynsulkua ei tarvitse rikkoa sähköasennuksien takia. On muistettava, että tässä ratkaisussa voi esiintyä kondenssia höyrynsulun pinnassa, jos kosteusrasitus sisällä on suuri (erityisesti ensimmäisen talven aikana). Siksi on huolehdittava, että rakennuksen ilmanvaihto on riittävä tehokas ylimääräisen kosteuden poistamiseksi.

Sisäverhoukseen käytettävät maalit ja tapetit ym. lisäävät jonkin verran rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastusta, mutta nämä materiaalit eivät korvaa erillisen höyrynsulkukerroksen tarvetta. Maalien ja tapettien vesihöyrynvastusta ei tule myöskään ottaa laskelmissa huomioon, vaan ne ovat rakenteessa lisävarmuutena.

Vanhoja taloja korjattaessa oikeiden rakennatarkaisujen valinta on usein hankalaa, koska taloissa esiintyy käytöstä poistuneita rakennustyyppisiä ja materiaaleja. Lisäksi rakenteiden korjaus halutaan tehdä mahdollisimman pienin kustannuksin. Sauna- ja pesutilojen tekeminen taloon, jossa niitä ei ole aikaisemmin ollut, edel-

lyttää kuitenkin talon rakenneratkaisujen tunte- mista ja asiantuntijan laatimaa korjaussuunni- telmaa. On muistettava, että vanhojen talojen vaipparakenteet ovat toimineet usein juuri siitä syystä, että rakennuksessa ei ole käytetty vettä.

### 6.3 Lämmöneristeen valinta

Puurunkoisissa rakenteissa käytettävät läm- möneristeet voidaan jakaa kosteustekniseltä toi- minnaltaan karkeasti kolmeen ryhmään:

- kosteutta sitomattomiin, mineraalipohjaisiin eristeisiin (lasivilla, kivivilla)
- kosteutta sitoviin, hygroskooppisiin luonnon- kuitueristeisiin (puukuitueriste, pellava, hamp- pu, puru ja kutterinlastu)
- suuremman vesihöyrynvastuksen omaaviin, polymeeripohjaisiin eristeisiin (polyuretaani, polystyreeni).

Kun seinän sisäpinnassa on riittävä höyryn- ja ilmansulku, kaikki lämmöneristeet toimivat sis- ältä tulevan kosteuden suhteen moitteettomasti.

Kuten edellä jo todettiin, kosteuden sitoutu- misesta eristeeseen voi olla sekä haittaa että hyötyä. Haittapuolena on se, että ilman kosteu- den ollessa kesällä ja syksyllä pitkään korkeana, eristeeseen kertyy ylimääräistä kosteutta, joka pyrkii lämpötilan laskiessa tiivistymään raken- teen ulkopintaan. Hyötynä on se, että eriste ky- kee sitomaan pienen rakojen kautta konvek- tiolla siirtyvää kosteutta, jolloin sisäpinnan rei- kien haitallinen vaikutus ajoittaisessa ylipaine- tilanteessa vähenee. Hygroskooppisenaan eris- teen kosteudensitomiskapasiteetti ei kuitenkaan riitä estämään kosteuden tiivistymistä rakenteeseen, jos kosteusvuoto on suuri tai se jatkuu pit- kään.

Kosteutta sitovan lämmöneristeen käyttö ei korvaa rakenteen sisäpintaan laitettavaa riittä- vää höyrynsulkua. Liian läpäisevä sisäpinta aiheuttaa rakenteeseen kondenssi- ja homeriskin ja kuivattaa sisäilmaa talvella entisestään. Höy- rynsuluttomat rakenteet, joissa on kosteutta si- tova eriste, eivät voi kostuttaa sisäilmaa talvella pitkää aikaa, koska eristeessä oleva ylimääräi- nen kosteus pyrkii siirtymään voimakkaammin rakenteen ulkopintaan päin suuremman poten- tiaalieron vaikutuksesta.

Lämmöneristeissä on syytä välttää turhaa rak- kennusaikaista kosteutta, sillä se voi aiheuttaa rakenteessa kondenssi- tai homeriskin. Tässä mielessä merkänä ruiskutettavien puukuitueris- teiden käyttö ei ole kovin suositeltavaa. Joka ta- pauksessa märkäruiskutettua eristettä tulee kui- vata ennen sisäpinnan asentamista ja ruiskutus tulee ajoittaa kevät- tai kesäaikaan. Puukuitu- eristettä on tosin nykyisin saatavana myös kui- vapuhallettuna sekä kuivana levymäisenä tuot- teena.

Puukuitueristeisiin lisätään booriyhdisteitä, joiden on todettu estävän homeen kasvua ja sa- malla lisäävän eristeiden palonkestoa. Näin ol- len puupohjaisten eristeiden käyttö on nykytie- don valossa turvallista. Korkeat kosteuspitoi- suudet eristeessä aiheuttavat kuitenkin saman kosteusrasituksen myös runkorakenteille, jol- loin hometta saattaa syntyä niihin.

Puhallettavilla irtoeristeillä on seinäasennuk- sissa aina riskinä eristeen painuminen asennus- tavasta riippumatta. Tästä syystä seinärakentei- den yläosiin (ja mahdollisuuksien mukaan myös ikkunoiden kohdalle) tulee jättää aukot myö- hemmin suoritettavaa lisätäyttöä varten.

### 6.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla on keskeinen merkitys puurun- koisten vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja sisäilman laadun parantamisessa. Sen avulla poistetaan niin ylimääräinen kosteus huoneesta kuin erilaiset sisäilman epäpuhtau- detkin (hiilidioksidi, tupakansavu, hajut ja pö- lyt).

Ilmanvaihto tulee suunnitella siten, että ra- kennuksen sisälle syntyy lievä alipaine. Jos ra- kennuksessa on ylipaine, sisäilmassa oleva yli- määräinen kosteus pyrkii raketeisiin myös kon- vektio- vaikutuksesta, lisäten rakenteen koste- usvaurioriskiä. Ylipaine vältetään tekemällä koneellinen poisto rakennuksen yläosaan tai ko- neellinen tulo ja poisto siten, että poistoilmavir- ta mitoitetaan suuremmaksi.

Kaasuja läpäisevämmät seinärakenteet voi- vat alentaa sisäilman epäpuhtauksien määrää ja hiilidioksidipitoisuutta, mutta rakennuksen il- manvaihdon tarve ei tästä huolimatta vähene. Hyvällä ilmanvaihdolla varustetussa talossa lä- päisevillä seinillä ei ole enää suurta merkitystä sisäilman laatua parantavana tekijänä. Läpäise- villä rakenteilla voidaan tosin pienentää tilapäi- sesti korkeiksi kohonneiden hiilidioksidipitoi- suuksien aiheuttamaa haittaa. Toisaalta vähen- nettäessä seinärakenteen vastusta muille ka- suille seinään siirtyä enemmän myös vesihöy- ryä, joka on rakenteen toiminnan kannalta hai- tallista. [1]

### 6.5 Rakenteiden laskennallinen mitoitus

Nykyisin vaipparakenteet mitoitetaan lasken- nallisesti lähinnä sisältä tulevaa vesihöyryn dif- fuusiota vastaan. Tätäkään laskentatarkastelua ei tarvitse tehdä, jos sisäpinnan vesihöyrynvastus on suuri (höyrynsulkuuna käytetään esimer- kiksi muovikalvoa tai alumiinipaperia). Mitoi- tuksessa tarkistetaan, ettei ilman vesihöyrypi- toisuus saavuta missään kohtaa rakennetta kyl- lästyskosteutta eli rakenteeseen ei kondensoidu

vetä. Mitoitus tehdään talvitilanteessa, koska kondenssivaara on tällöin suurimmillaan. Tarkastelu voidaan tehdä myös syystilanteessa, jolloin katsotaan, syntyykö rakenteessa homeen kasvulle otollisia olosuhteita lämpötilan ollessa  $> 0^{\circ}\text{C}$ . Diffuusiotarkastelu ei ota huomioon materiaalien kosteuskapasiteettia eikä kosteuden muita kulkeutumismuotoja.

Rakenne voidaan mitoitaa myös niin, että rakenteeseen sallitaan kosteuden tiivistyminen, mutta laskennallisesti osoitetaan, että tiivistyvä kosteus voi kuivua kesäkauden aikana rakenteesta. Tämä laskentamenettely on kuitenkin epävarma, koska tiivistyvä kosteus voi aiheuttaa rakenteessa pitkällä aikavälillä homeriskin. Rakenteen kuivumiskapasiteetti olisikin suositeltavampaa ottaa huomioon lisävarmuutena, joka parantaa rakenteen toimintaa silloin, kun ylimääräistä kosteutta pääsee muusta syystä rakenteeseen.

Diffuusiotarkastelun ongelmana on se, että laskennassa käytettävien materiaalien vesihöyrynläpäisevyysarvot on määritetty yleensä vain yhdessä kosteus- ja lämpötilaolosuhteessa. Todellisuudessa vesihöyrynläpäisevyys muuttuu kuitenkin kosteuden ja lämpötilan funktiona. Tästä johtuen diffuusiotarkastelusta saadaan helposti vääriä tuloksia. Laskennallinen tarkastelu eroaakin todellisesta tilanteesta yleensä siten enemmän mitä läpäisevämpi seinärakenne on.

Tulevaisuudessa on tarkoitus kehittää myös tarkempia laskennallisia mitoitusohjeita kos-

teustekniseen suunnitteluun. Laskennallisen tarkastelun edellytyksenä on, että sovitaan toisaalta niistä kosteusteknisistä rasituksista (kuormista) mitä rakenteille kohdistuu ja toisaalta selvitetään eri materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet riittävän tarkasti. Tämä työ on vielä monilta osin hyvin keskeneräinen.

Rakenteiden hyvä kosteustekninen suunnittelu ei kuitenkaan välttämättä edellytä tarkempia laskelmia, mikäli suunnittelijoilla on hyvät perustiedot rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta ja käytettävien materiaalien ominaisuudet tunnetaan eri olosuhteissa. Suunnittelu voidaan edelleen toteuttaa suurimmassa osassa tapauksia vanhoja periaatteita noudattaen: suojataan rakenne kosteudelta erilaisten materiaalikerrosten avulla ja huolehditaan siitä, että rakenne pääsee kuivumaan.

#### KIRJALLISUUTTA

- [1] Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Puukuitueristeisen seinärakenteen hengittävyys. TTKK, Talonrakennustekniikka, julkaisu 67, Tampere, 1996.
- [2] Vinha, J., Käkelä, P., Vesihöyryyn siirtymisen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK, Talonrakennustekniikka, julkaisu 96. Tampere 1999.

## Rakenteiden kosteusmittalaitteet

- betonin päällystysajankohdan määrittämiseen
- kuntoarvioihin ja-tutkimuksiin

Puh. (09) 894 9350, faksi (09) 894 9485, myynti@vaisala.com, www.vaisala.com

