



**Aalto-yliopisto**  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu

**Kemian tekniikan korkeakoulu**  
**Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma**

**Jyri Lehtoranta**

**Rakennekosteusmittausten laatu ja sen kehittäminen**

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 5.5.2012.**

**Valvoja**

**Professori Jussi Leveinen**

**Ohjaaja**

**Tekniikan lisensiaatti Tero Hokkanen**



Tekijä

**Jyri Lehtoranta**

Diplomityön nimi

**Rakennekosteusmittausten laatu ja sen kehittäminen**

Tiivistelmä

Tässä diplomityössä tutkitaan neljän esimerkkitapauksen avulla rakennekosteusmittausten laatua ja keinoja laadun kehittämiseksi. Työssä esitellään käytännön rakennekosteusmittauksissa nykyisin sovellettavia suhteellisen kosteuden mittaamenetelmiä ja niiden perustana oleva teoriaa.

Esitettyä teoriaa hyväksi käyttäen osoitetaan kolmessa tutkitussa lausunnossa neljästä olevan merkittäviä ongelmakohtia, jotka vaikuttavat lausuntojen käyttökelpoisuuteen suunniteltaessa kosteusteknisesti toimivia rakenneratkaisuja. Havaittuja ongelmia ja niiden alkuperää tarkastellaan myös suhteessa Ympäristöministeriön julkaisemiin ja tällä hetkellä voimassa oleviin kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimusta käsitteleviin ohjeisiin, jolloin havaitaan, että useat ongelmakohdat liittyvät Ympäristöministeriön ohjeiden vastaiseen menettelyyn.

Tutkimuksessa esiin tuotujen ongelmakohtien avulla on laadittavissa tyyppitys, jota voidaan käyttää arvioitaessa tilastollisesti laajaa kosteusarviolausuntojoukkoa. Työssä läpi käydyn aineiston perusteella päätellään, että vuoden 1997 kosteusarviomenettelyä koskevat ohjeet eivät kosteusmittaajan pätevyyden osalta vastaa nykyhetken tilannetta.

Professuurin nimi

**Teknillinen geologia**

Professuurin koodi

**Yhd-33**

Työn valvoja

**Prof. Jussi Leveinen**

Sivumäärä

**67**

Työn ohjaaja

**TkL Tero Hokkanen**

Kieli

**Suomi**

Avainsanat

**Rakennekosteus, diffuusio, kapillaarisuus**

Päiväys

**05.05.12**

**School of Chemical Technology  
Degree Programme of Materials Science  
and Engineering**

Author

**Jyri Lehtoranta**

Title of Thesis

**Improving the Quality of the Constructional Humidity  
Measurements Reports**

Abstract

This paper presents an analysis of four authentic reports on constructional humidity measurements. Based on the analysis, it is shown that the quality of the reports on constructional humidity measurements can be improved by exploiting the existing knowledge of constructional physics, standardising the reports and adjusting the existing competence requirements to better meet the contemporary exigencies.

The presentation involves the theory and the methods that are applied in the detection and analysis of constructional humidity and that are based on the measurements of relative humidity.

By applying the presented theory, it is shown that severe problems are present in the three of the four analysed reports, and the problems are likely to impair the quality of these reports, which makes them hardly usable as a basis for any valid constructional planning. It is shown that the problematic reports are produced in a way that is incompatible with the courses of action endorsed by the Ministry of Environment.

The detected problems can be classified and the classification can be applied for the statistical analysis of the reports on humidity measurements as well as for updating the instructions and norms for the process of measuring constructional humidity.

Chair

**Engineering Geology**

Chair code

**Yhd-33**

Supervisor

**Professor Jussi Leveinen**

Pages

**67**

Instructor

**Lic. Sc. (Tech.) Tero Hokkanen**

Language

**Finnish**

Key words

**humidity, diffusion, capillarity**

Date

**05 05 2012**

## Sisältö

1 Johdanto.....	7
2 Kosteus, sen olomuodot ja kulkeutuminen.....	9
2.1 Ilman kosteuspitoisuus ja kosteusosapaine.....	9
2.2 Kosteuden olomuotojen väliset yhteydet hygroskooppisessa aineessa.....	12
2.3 Kulkeutuvan kosteuden ja suhteellisen kosteuden riippuvuus.....	14
3 Suhteellisen kosteuspitoisuuden määrittäminen ja mittaaminen.....	16
3.1 Suhteellisen kosteuden merkitys mitattavana suurena.....	17
3.2 Suhteellisen kosteuden mittaaminen.....	18
3.3 Suhteellisen kosteuden mittaaminen näytepalamenetelmällä.....	19
3.4 Porareikämittaus.....	20
3.5 Pintamittaus.....	21
4 Tutkimusmenetelmä ja aineisto .....	22
4.1 Menetelmä ja sen perusteet.....	22
4.2 Aineistietojen merkitys.....	23
4.3 Olosuhdetiedot ja niiden muutokset.....	23
4.4 Virherajat ja satunnaisvaihtelu.....	24
4.5 Mittauksia ja raportointia koskevat ohjeet.....	24
4.6 Aineiston edustavuus, sen tausta ja sopivuus.....	25

4.7 Lausunto 1.....	27
4.8 Lausunto 2.....	32
4.9 Lausunto 3.....	36
4.10 Lausunto 4.....	42
4.11 Mittausvirheistä.....	44
5 Laskenta ja sen tulokset.....	44
5.1 Kosteuslaskennan tavoitteet.....	45
5.2 Laskentamenetelmät.....	47
5.3 Laskennan tulokset.....	52
5.4 Laskenta ja Lausunnon 1:n soveltamat arviointiperiaatteet.....	56
5.5 Laskenta ja Lausunto 2:n soveltamat arviointiperiaatteet.....	58
5.6 Laskenta ja Lausunto 3:n soveltamat arviointiperiaatteet.....	58
5.7 Laskenta ja Lausunnon 4 soveltamat arviointiperiaatteet.....	61
6 Loppupäätelmät ja kehityskohteita.....	62
7 Liitteet.....	65
8 Lähteet.....	66

## Merkinät ja lyhenteet

- a lämpötilariippuva vakio (-)
  - b lämpötilariippuva vakio (-)
  - n lämpötilariippuva vakio (-)
  - sk suhteellinen kosteus (%)
  - t lämpötila Celsius-asteina
  - v kosteuspitoisuus ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )
  - vk kriittinen kosteus
- 
- M kaasun moolipaino ( $\text{kg} / \text{kmol}$ ) tai ( $\text{g} / \text{mol}$ )
  - P paine (Pa)
  - R yleinen kaasuvakio ( $8314,3 \text{ J} / (\text{kmol} * \text{K})$ )
  - T lämpötila Kelvin-asteina (K)

## 1 Johdanto

Asuin- ja työtilojen rakenteiden liian suuri kosteus johtaa kemiallisiin ja biologisiin päästöihin, joiden aiheuttamat oireet voivat vaihdella päänsärystä allergiaan ja astmaan (Meklin, ym. 2008). Terveydellisistä haitoista johtuvien kulujen lisäksi liiallinen kosteus rakenteissa aiheuttaa huomattavia toteamis-, tutkimis-, sekä suunnittelu- ja korjauskuluja, joiden merkitys on kansantaloudellisestikin huomattava (Valtion tulo- ja menoarvio 2009).

Rakenteissa ilmenevä kosteus voi kulkeutua monilla eri tavoilla, jotka perustuvat erilaisiin fysikaalisiin ilmiöihin. Erilaiset kosteutta kuljettavat mekanismit voivat siirtää kosteutta eri suuntiin ja toimia rinnakkain. Rakenteissa oleva kosteus voi myös esiintyä eri olomuodoissa, nesteinä eli vetenä, kiinteänä eli jäänä ja kaasuna eli vesihöyryinä. Tyypillisessä rakenteessa vesi- ja vesihöyrypitoisuuden välillä vallitsee riippuvuus, josta on olemassa tutkittuja ja taulukoituja arvoja. Tämän lisäksi mitattava kosteuspitoisuus voi riippua lämpötilasta. Oikeiden lähtötietojen, tarkkojen mittaustulosten ja näiden perusteella tehtyjen laskelmien avulla voidaan laatia arvio kosteudenhallintaa varten. Kosteudenhallinnasta aiheutuvien kustannusten takia on tärkeää, että erilaiset kosteutta kuljettavat mekanismit tunnustetaan oikein ja olemassa oleva tieto hyödynnetään tehokkaasti.

Rakenteiden kosteusolosuhteita kuvaavat kosteusarviot ja -raportit ovat kosteudenhallintaan liittyvän tiedon ja osaamisen keskeisintä aluetta. Tuotettavien kosteusarvioiden ja kosteusraporttien luotettavuus ja selkeys ovat kosteudenhallinnan perusta. Kosteusarviointien ja -raporttien avulla tehdään ratkaisuja, joiden oletetaan vähentävän liiallisesta kosteudesta johtuvia haittoja ja jotka kustannuksiltaan ovat usein varsin merkittäviä.

Raportoinnin luotettavuutta ja selkeyttä eli laatua voidaan kehittää tutkimalla tuotettuja raportteja ja arvioimalla niissä noudatettua esitystapaa, niissä esitettyjä päätelmiä sekä näiden päätelmien perusteluja. Tavoitteena voitaneen pitää, että

raporteissa esitettävät päätelmät ovat sopusoinnussa yleisesti tunnettujen fysikaalisten lainalaisuuksien kanssa ja että raporteissa esitetyt toimenpiteet johtavat suurella todennäköisyydellä kosteuspitoisuuden laskuun raportin kohteena olevassa tilassa.

Tässä työssä käydään yksityiskohtaisesti läpi neljä tutkimusraporttia ja niiden tarjoamien esimerkkien avulla osoitetaan, miten kosteusarviolausuntojen esitystapaa voidaan kehittää arviointia ja raportointia koskevien ohjeiden ja säännösten avulla. Tutkimusaineiston yksityiskohtaisen tarkastelun avulla osoitetaan, että kosteusarviomenettelyn voidaan katsoa koostuvan kahdesta melko erillisestä osa-alueesta: mittauksesta ja tulkinnasta. Käytännön tuloksena esitetään arvio olemassa olevan ohjeistuksen tarkoituksenmukaisuudesta ja sopivuudesta kosteusmittausraporttien laadun varmistajana ja osoitetaan nykyisen tietämyksen kanssa ristiriitaisten lausuntojen syntyneen voimassa olevista ohjeista poikkeavalla menettelyllä. Työssä tuodaan myös esiin näkökulma säännöstasoisten, muodollisten pätevyysvaatimusten käyttökelpoisuudesta raportoinnin laadun takaamisessa.

Koska kosteustekniikka käsittelee monimutkaisia ja toisiinsa kytkeytyviä suureita, esitellään aluksi tarvittavia peruskäsitteitä, nykyisin käytännön mittaustyössä käytettäviä mittausten menetelmiä sekä mittaustietojen pohjalta tehtävien laskelmien perusteita ja niiden tarkkuuteen vaikuttavien tekijöitä. Seuraavaksi esitellään tässä työssä käytettävä tutkimusmenetelmä ja aineisto sekä arvioidaan aineiston soveltuvuus. Tutkimusaineiston perusteella tehdyt laskelmat muodostavat tutkimuksen oleellisen osan. Niiden perusteet ja tulokset esitellään luvussa 4. Luvussa 5 arvioidaan tutkittavien lausuntojen virheellisyyksiä ja niiden syitä. Luvussa 6 Loppupäätelmät ja kehityskohteita esitetään lopuksi keinoja raportoinnin laadun kehittämiseksi ja arvioidaan nykyisin voimassa olevan ohjeistuksen soveltuvuutta raportoinnin laadun varmistuksessa.



## 2 Kosteus, sen olomuodot ja kulkeutuminen

Kosteus tarkoittaa vettä sen kaikissa olomuodoissa. Kosteuspitoisuus on tietyssä ainemäärässä olevan kosteuden määrä suhteessa ainemäärään kuivana (Nevander, Elmarsson 2001). Vertailusuurena voi olla esimerkiksi massa, tilavuus tai paine. Kosteuspitoisuutta mittaamalla saadaan tietoa aineen sisältämästä kosteusmäärästä ja voidaan arvioida kosteuden kulkeutumista.

### 2.1 Ilman kosteuspitoisuus ja kosteusosapaine

Painon ja tilavuuden avulla ilmaistuna kosteuspitoisuus on tietyssä tilavuudessa olevan veden määrä painoyksiköinä, ja sen yksikkö on  $\text{kg} / \text{m}^3$ . Kosteussuhde on painoyksiköissä ilmaistun kosteuden suhde aineen tarkasteltavan ainemäärän kuivapainoon (Nevander, Elmarsson 2001). Kosteusosapaine on vesihöyryn osapaine tarkasteltavassa kaasuseoksessa eli käytännössä ilmassa.

Tässä esityksessä ainemäärässä olevan kosteuden kuvaamiseen käytetään kosteuspitoisuutta  $v$  ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ) tai ( $\text{g} / \text{m}^3$ ), koska niitä käyttäen tarpeelliset laskelmat pysyvät laatusuureiden osalta riittävän yksinkertaisina. Kuitenkin monissa esityksissä on käytetty vesihöyryn osapainetta kosteuspitoisuuden ilmoittamiseen. Kosteusosapaine voidaan muuntaa kosteuspitoisuudeksi tarkasteltavassa ilmamäärässä. Nevanderin ja Elmarssonin (2001) antaman kaavan mukaan ilman kosteuspitoisuus  $v$  on

$$v = (P * M) / (R * T) \quad (1)$$

jossa  $P$  on vesihöyryn osapaine (Pa) tarkasteltavassa tilavuudessa,  $M$  vesihöyryn moolipaino (18,2 g / mol),  $R$  yleinen kaasuvakio (8314, 3 J / (kmol \* K) ) ja  $T$  lämpötila (K).

Kaavan avulla voidaan laskea kosteuspitoisuus, kun tiedetään, että  $R / M$  on 461,4.

Kosteuspitoisuuden ja vesihöyryn osapaineen välillä on siis riippuvuus

$$v = P / (461,4 * T) \quad (2 a)$$

jossa P on osapaine(Pa), T lämpötila (K) ja v kosteuspitoisuus (kg / m<sup>3</sup>).

Kaavasta 2 a saadaan myös lause osapaineelle P

$$P = 461,4 * v * T \quad (2 b)$$

Vesihöyrynä olevan kosteuden enimmäispitoisuus ilmassa on rajallinen, ja se riippuu ilman lämpötilasta. Rajan ylittävä kosteus tiivistyy vedeksi. Ilman lämpötilan ja sen sisältämän suurimman mahdollisen kosteuspitoisuuden välillä vallitsee riippuvuus, jota voidaan arvioida kaavalla

$$v = ( a * ((b + t/100)^n )) / (461.4 * (t + 273.15) ) \quad (3)$$

jossa

$$n = 8,02,$$

$$a = 288,68 \text{ ja}$$

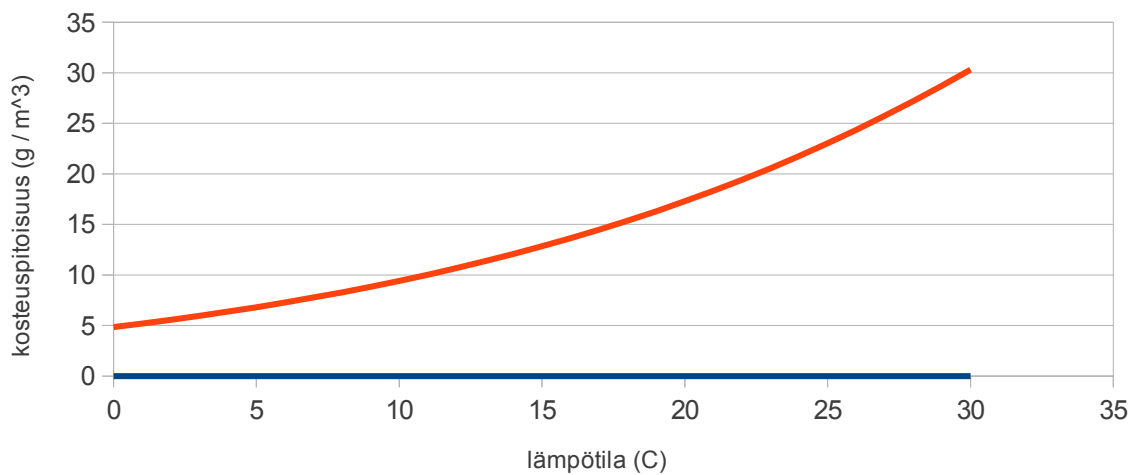
$$b = 1,098,$$

kun ilman lämpötila t on välillä 0 – 30 astetta (Leivo, Rantala, 2006).

Suurimman ilman sisältämän kosteuspitoisuuden riippuvuus lämpötilasta on esitetty kuvassa 1. Kuvan kaavion vaaka-akselina on lämpötila Celsius-asteina ja pystyakseli kuvaa kosteuspitoisuutta. Kosteuspitoisuuden yksikkönä on kuvan käyrässä g / m<sup>3</sup>, mutta kaava 3 ilmoittaa sen kiloina kuutiometrissä, mikä on SI-järjestelmän mukainen esitystapa mutta käytännön työssä hieman epähavainnollinen. Koska käyrä on alaspäin kupera, voidaan havaita, että ilman sisältämä suurin mahdollinen kosteusmäärä kasvaa suhteessa lämpötilan nousua enemmän.

## Ilman kosteuspitoisuus

sk = 100%



Kuva 1. Ilman sisältämän suurimman mahdollisen kosteusmäärän riippuvuus lämpötilasta.

Ilman suhteellinen kosteus on ilman tietyllä mittaushetkellä sisältämän kosteusmäärän suhde kaavan (3) ilmoittamaan kosteuspitoisuuteen. Ilman suhteellinen kosteus riippuu siis ilmassa olevasta kosteusmäärästä ja ilman lämpötilasta. Ilman suhteellinen kosteus ilmoitetaan tavallisesti prosentteina.

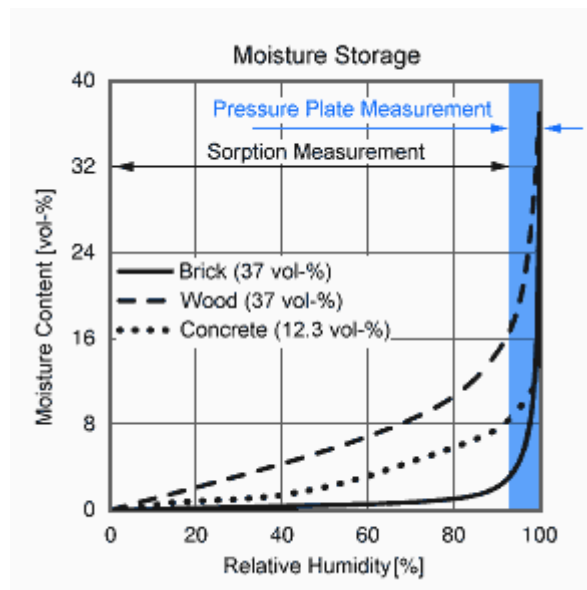
Kun suhteellinen kosteus arvioidaan kaavan (3) avulla ja tarkastellaan vapaassa tilassa olevaa ilmaa, havaitaan helposti, että suhteellinen kosteus  $sk_2$  lämpötilassa  $t_2$  voidaan laskea kaavalla

$$sk2 = \frac{(a * ((b + t1/100)^n)) / (461.4 * (t1 + 273.15)) * sk1}{((a * ((b + t2/100)^n)) / (461.4 * (t2 + 273.15)))} \quad (4)$$

jos tunnetaan tarkasteltavan ilman suhteellinen kosteus sk1 yhdessä lämpötila-alueen  $0 < 30$  Celsius-astetta pisteessä t1.

## 2.2 Kosteuden olomuotojen väliset yhteydet hygroskooppisessa aineessa

Huokoisten, ilmaa läpäisevien ja hygroskooppisten aineiden kosteuspitoisuus riippuu ympäröivän ilman kosteudesta ja lämpötilasta. Alunperin täysin kuiva hygroskooppinen aine absorboi ympäröivästä ilmasta kosteutta niin kauan, kunnes sen sisältämän kosteuden ja ympäristön kosteuden välillä vallitsee tasapaino ([http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi\\_frame\\_e.html](http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi_frame_e.html), 13. 4. 2011). Absorptio on puolestaan määritelty ilmiöksi, jossa aine kerääntyy toisen aineen pinnalle ilman, että kerääntyvä aine tunkeutuu pinnan läpi (Seppälä, Lampinen 2004). Absorptio ja desorptio kuvaavat aineen ja toisen aineen pinnalla tapahtuvaa ilmiötä vastakkaisista suunnista. Desorptiossa ainetta poistuu toisen aineen pinnalta. Yhteisnimitys ilmiöille on sorptio. Hygroskooppisen aineen kosteuspitoisuuden ja ympäröivään ilman kosteuspitoisuuden välistä riippuvuutta kuvataan sorptiokäyrillä, jotka riippuvat tarkasteltavan aineen ominaisuuksista (kuva 2).



Kuva 2. Aineen huokosrakteeseen keräytyvän kosteuden riippuvuus ilman suhteellisesta kosteudesta vakio­lämpötilassa.

(lähde: [http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi\\_frame\\_e.html](http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi_frame_e.html), 13. 4. 2011)

Kuvasta 2 käy ilmi, että esimerkiksi tiilen (Brick), puun (Wood) ja betonin (Concrete) sisältämät kosteus­määrät (Moisture Content) riippuvat ilman suhteellisesta kosteudesta (Relative Humidity) tasapainotilassa. Kun aineen sorptiokäyrä tunnetaan, voidaan kosteus­pitoisuus määrittää ilman suhteellisen kosteuden avulla. Useille yleisesti käytetyille rakennusaineille on määritelty ja taulukoitu tasapainokosteuskäyrä­stöjä.

Käytännön kosteus­määrittä­stehtävissä koko tarkasteltavan kappaleen ympärillä vallitseva samansuuruinen ja tasapainotilassa oleva ilman kosteus­pitoisuus ei ole tavanomainen tilanne. Esimerkiksi seinärakenteet on usein suunniteltu erottamaan ja eristämään kahta eri lämpötilassa ja eri kosteus­pitoisuudessa olevaa tilaa toisistaan. Sama koskee alapohjarakenteita. Tällaisissa tilanteissa erottimena toimivien rakenteiden kosteusolosuhteet määräytyvät kum­mankin erotettavan puolen kosteus- ja lämpötilasta sekä kosteuden kulkeutumisesta ja leviämistä tarkasteltavan rakenteen sisällä. Erilaiset fysikaaliset mekanismit kuljettavat

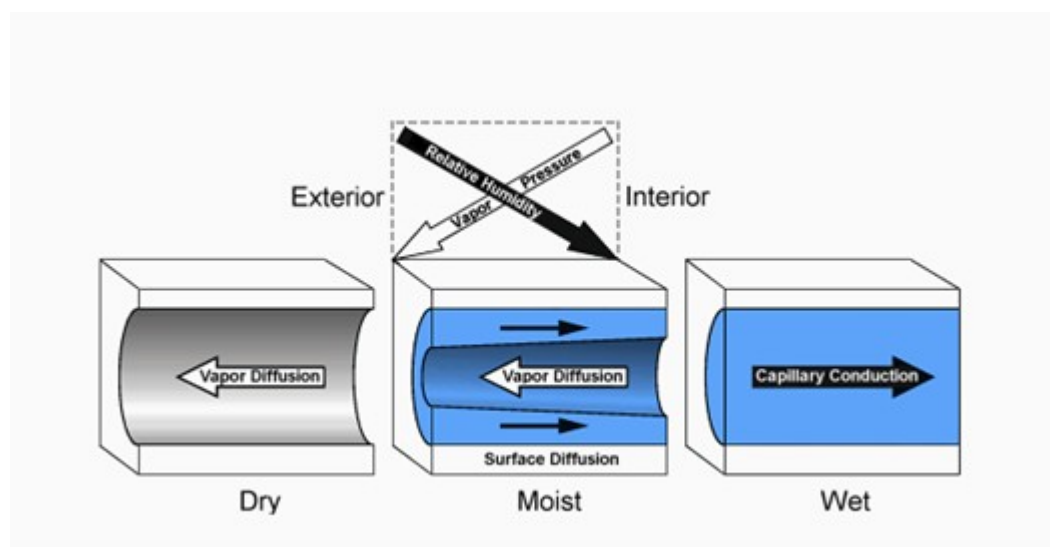
kosteutta eri olomuodoissa ja erilaisia määriä, ja osa kosteudesta voi olla rakentamisen aikana rakenteeseen kertynyttä kosteutta eli rakennekosteutta. Havaitussa kosteusongelmassa joudutaankin aina arvioimaan kosteuden kulkeutumista ja sen mekanismeja riippumatta siitä, onko kyse rakennekosteudesta vai rakenteisiin kulkeutuneesta kosteudesta. Rakennekosteuden on päästävä kulkeutumaan pois, ja rakenteisiin kulkeutuvan ja siltä poistuvan kosteuden on oltava sellaisessa tasapainotilassa, jossa kosteudesta ei aiheudu haittaa.

### 2.3 Kulkeutuvan kosteuden ja suhteellisen kosteuden riippuvuus

Kosteus voi kulkeutua neljällä eri päätavalla: painovoiman vaikutuksesta tihkumalla tai virtaamalla, konvektiona eli kaasuvirtauksena esimerkiksi ilman mukana, kaasun osapaine-erosta johtuvalla diffuusiolla sekä kapillaarisesti riittävän pienissä huokosissa vaikuttavien kapillaarivoimien vaikutuksesta (Leivo, Rantala 2000). Painovoiman vaikutuksesta kulkeutuva vesi pyrkii liikkumaan alaspäin. Konvektion vaikutuksesta kulkeutuvan veden kulkusuunta riippuu kaasuvirtauksista. Diffuusio kuljettaa vettä kaasumaisessa muodossa suuremmasta osapaineesta pienemmän osapaineen suuntaan. Kapillaariset voimat vaikuttavat materiaalissa kaikkiin suuntiin, myös vaakasuuntiin (Leivo, Rantala 2006). Kapillaarinen virtaus voi siten kulkea mihin suuntaan tahansa suuremman kosteuspitoisuuden alueesta pienemmän kosteuspitoisuuden alueeseen. Ratkaisevaa on ainekerroksessa olevien kapillaaritiehyiden ominaisuudet. Painovoimaisesti ja kapillaarisesti kulkeutuva kosteus on nestemuodossa eli vetenä. Diffuusio ja konvektio siirtävät kaasumaisessa olomuodossa olevaa kosteutta eli vesihöyryä.

Tavanomaisessa rakentamisessa pyritään rakenneratkaisuilla sellaiseen tilanteeseen, jossa pysyvä vedenpaine rakenteen ulkopuolella ei aiheuta kosteuden kulkeutumista rakenteeseen ja jolloin pystytään ehkäisemään painovoimainen kulkeutuminen. Konvektio kosteuden kuljettajana aiheuttaa ongelmia yleensä vain

rajatuilla alueilla, joiden kohdalla ilmavirtaus pääsee kylmentämään rakennetta tai joissa lämpimästä tilasta viileämpään suuntautuva ilmavirta kuljettaa kosteutta niin, että se voi tiivistyä lähtötilaansa viileämpään kohtaan. Kapillaarisuus ja diffuusio voivat vaikuttaa koko rakenteen alalla ja aineen sisällä kaikkiin suuntiin riippuen aineessa vallitsevista kosteuspitoisuuseroista. Kuvassa 3 on esitetty eri kosteutta kuljettavien mekanismien aiheuttamien kosteusvirtojen suunnat seinärakenteessa talvitilanteessa, jolloin ulkolämpötila on sisälämpötilaa matalampi.



Kuva 3. Eri mekanismien kuljettaman kosteuden suunnat talvitilanteessa, jolloin ulkoilman lämpötila on sisälämpötilaa alhaisempi, mutta ilman suhteellinen kosteus voi ulkona olla sisäilmaa suurempi. Pääasiallinen kosteutta kuljettava mekanismi riippuu rakenteen kosteuspitoisuudesta. Kun kappaleen kosteuspitoisuus on tarpeeksi suuri (Wet), merkittävin osa kosteudesta kulkeutuu kapillaarisesti (Capillary Conduction), jos kapillaarinen lähde on olemassa. Kuivassa kappaleessa (Dry) kosteus kulkeutuu diffuusion (Vapor Diffusion) vaikutuksesta.

(lähde: [http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi\\_frame\\_e.html](http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi_frame_e.html), 15. 4. 2011)

Kapillaarisesti kulkeutuva kosteus määrä on tyypillisesti satoja kertoja suurempi

kuin diffuusion kuljettama (Leivo, Rantala 2006).

Myös Nevander ja Elmarsson (2001) jaottelevat kappaleen kosteuspitoisuuden eri osa-alueisiin, jotka määräävät kosteudenkulkumekanismien. Alunperin kuivan kappaleen huokostilasta mitattava suhteellinen kosteus voi saavuttaa arvon 100%, jos se sijaitsee riittävän kauan ympäristössä, jonka suhteellinen kosteus on 100%. Kun kappaleen kosteus nousee, se saavuttaa jossain vaiheessa kriittisen rajan  $v_k$ , jonka jälkeen kapillaarinen kulkeutuminen tulee mahdolliseksi. Useimmilla aineilla  $v_k$  on huomattavasti suurempi kuin suhteellisen kosteuden arvoa 100% vastaava kosteuspitoisuus, mutta tavallisella betonilla nämä arvot ovat hyvin lähekkäin (Nevander, Elmarsson 2001). Voidaankin sanoa, että kapillaarinen kulkeutuminen on mahdollista silloin, kun betonin suhteellinen kosteus on 97% tai sen yli (Merikallio, puhelinkeskustelu 2011).

Eri kosteudenkulkumekanismien ominaisilla, numeroarvoisilla taustatiedoilla on tärkeä merkitys, kun rakenteen kosteustoimivuutta ja siihen vaikuttavia kosteutta kuljettavia mekanismeja halutaan arvioida ja määrittää rakenteesta kosteusmittauksilla saatujen tulosten avulla. Käyttökelpoiset lähtötiedot luonnollisesti edellyttävät luotettavia ja yksiselitteisiä mittauksia.

### **3 Suhteellisen kosteuspitoisuuden määrittäminen ja mittaaminen**

Kosteuspitoisuuden numeerinen määrittäminen on kosteusarviomenettelyn perusta. Laskennallinen vertailu ja arviointi on mahdollista vain numeroarvoisia suureita käyttäen. Koska kosteusarviomittauksissa käytetään kosteuspitoisuuden ilmaisemiseen suhteellista kosteutta, mittauksilla on tarkoituksenmukaista pyrkiä juuri sen määrittämiseen. Määrittämiseen voidaan käyttää pintamittauksia, porareikämittauksia tai näytepalamenetelmää. Näytepalamenetelmä suhteellisen



kosteuden mittaamiseksi muistuttaa eräiltä osin kosteuspitoisuuden mittaamista kuivatus ja punnitus -menetelmällä. Kummassakin menetelmässä tutkittavasta aineksesta otetaan näytepaloja, joiden avulla pyritään mittauksin määrittämään suhteellinen kosteus tai vastaavasti kosteuspitoisuus. Kyse ei kuitenkaan ole samasta menetelmästä, eivätkä kosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus ole keskenään suoraan vertailukelpoisia suureita.

### 3.1 Suhteellisen kosteuden merkitys mitattavana suureena

Kosteus- ja homeongelmien torjunnan kannalta aineen sisältämällä kosteusmäärällä ei sinänsä ole kovin suurta merkitystä, kuten Merikallio (2009) esittää. Ratkaisevaa on tarkasteltavan aineen huokosilman suhteellinen kosteus, ja haitallisen kasvuston syntymisen todennäköisyyttä kuvaavat laskelmat perustuvatkin juuri suhteellisen kosteuden ja lämpötilan perusteella tehtäviin päätelmiin.

Merikallio (2009) perustelee yksityiskohtaisesti, miksi ”suhteellinen kosteus kertoo painoprosenttikosteutta paremmin, miten haitallista betonissa oleva kosteus voi olla betoniin kontaktissa olevalle toiselle materiaalille”. Merikallio havainnollistaa ilmiötä esittämällä esimerkin yleisestä rakenneratkaisusta, jossa betonin pintaan asennetaan puupäällyste. Tällöin betoni pyrkii tasapainokosteuteen puun kanssa eli luovuttaa kosteutta niin kauan, kunnes suhteellinen kosteus betonin huokosrakenteessa on sama kuin puun huokosrakenteessa (Merikallio 2009). Koska kosteuden kapillaarinen kulkeutuminen on mahdollista vasta, kun kosteuspitoisuus ylittää tietyn kriittisen rajan ja tämä raja edellyttää esim. betonissa lähellä sataa prosenttia olevia suhteellisen kosteuden arvoja, kosteus kulkeutuu tätä rajaa alemmilla arvoilla pääosin diffuusiivisesti. Jos tämä kosteus ei edelleen pysty poistumaan puusta, kosteuden lisääntyessä puu voi alkaa esimerkiksi turvota ja siihen voi syntyä mikrobikasvustoa” (Merikallio 2009). Kun otetaan huomioon Merikallion (2009) mainitsema tieto, että ”eri betonilaatujen huokosrakenteissa ja siten niiden

kosteudensitomisoimaisuuksissa on merkittäviä eroja”, voidaan päätellä, että mikrobikasvu voi seurata liian suuresta suhteellisen kosteuden pitoisuudesta, ei niinkään aineen itsensä sisältämän kosteuden määrästä. Merikallio (2009) esittää esimerkkinä tilanteen, jossa parketti ja betoni ovat saavuttaneet hygroskooppisen tasapainokosteuden 95 %:n suhteellisessa kosteudessa. Tällöin parketissa voi olla yli 20 painoprosenttia kosteutta, kun vastaavasti jossakin betonissa voi olla noin 4 painoprosenttia.

Koska kosteusvaurioiden syntymisen todennäköisyyttä arvioitaessa tärkein arviointiperuste on aineksen suhteellinen kosteus, sen mittaukseen on kehitetty mittalaitteita, jotka mittaavat suhteellista kosteutta suoraan siinä mielessä, että ne ilmoittavat tuloksen suhteellisena kosteutena. Mittalaitteissa on lisäksi otettu huomioon kosteuden vuorovaikutus itse mittalaitteiden kanssa ja mittapäiden kulumien tai likaantumisen jo laitteita valmistettaessa, ja tarkkuuden ylläpitämiseksi on annettu tarvittavat kalibrintiohjeet. Mittaajan tehtäväksi jää noudattaa mittauksista annettuja ohjeita ja valita mittausmenetelmä niin, että se vastaa mittaustoimeksiantoa. Jos valittu menetelmä on väärä, eivät tarkatkaan mittausravot sovellu mittausten tarkoituksena olevien arviointien ja mahdollisten korjausehdotusten tekemiseen.

### 3.2 Suhteellisen kosteuden mittaaminen

Vapaassa tilassa olevan ilman suhteellinen kosteus riippuu lämpötilasta siten, että ilman lämpötilan noustessa sen suhteellinen kosteus alenee, kun ilman sisältämä kosteusmäärä pysyy vakiona. Betonin huokosissa olevan ilman suhteellisen kosteuden riippuvuus lämpötilasta on olennaisesti erilainen: Huokosilman kosteus nousee, kun betonin lämpötila nousee (Merikallio 2009). Ilmiö on niin hyvin tunnettu, että useissa betonirakenteiden kosteudenhallintaa koskevilla artikkeleilla tyydytään vain toteamaan se. Esimerkiksi Laukkanen (2009) kirjoittaa: ”Ilmiön havainnollistamiseksi voidaan esittää useita tutkimustuloksia”.

Kun betonin suhteellisen kosteuden käyttäytymistä tarkastellaan laskentakaavojen avulla, voidaan lyhyesti todeta, että kappaleessa 2.1 esitetty suhteellisen kosteuden lauseke lähtötilanteesta poikkeavassa lämpötilassa ei ole sovellettavissa sellaisenaan betonin suhteellisen kosteuden arvioimiseksi. Ei myöskään ole olemassa muuntokaavaa, jolla korjaamalla laskenta voitaisiin palauttaa kaavaa (4) vastaavaan tilanteeseen. Laskentakaavan puuttuminen perustellaan lähemmin hieman myöhemmin. On vielä huomattava, että kaavan (4) tilanteessa lämpötilan nousu laskee suhteellista kosteutta, kun taas betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee sitä lämmitettäessä, ja ilmiöt ovat tältä kannalta vastakkaisia kuten Merikallio (2009) on todennut. Kuitenkin rakennekosteusmittauksissa betonin suhteellinen kosteus on ehkä tärkeimpiä määritettävistä suureista.

Vaikka tiedetään, että betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee lämpötilan noustessa, nousun suuruus riippuu niin monista eri tekijöistä, että sen käytännön määrittäminen on osoittautunut hankalaksi. Esimerkiksi betonilaatuja on Suomessa käytössä tuhansia, ja niiden ominaisuudet, mineraaliaineksen koostumus, raekokojakauma, lisäainepitoisuudet, muuttuvat koko ajan. Tämä on johtanut käytännön mittauksissa noudatettavaan sääntöön, jonka mukaan betonin suhteellinen kosteus on aina mitattava käyttölämpötilassa, kun mitataan porareikämittauksin eli suoraan tutkittavasta betonirakenteesta. Jos mittaushetken lämpötila poikkeaa yli 5 astetta käyttölämpötilasta, on käytettävä näytepalamittausmenetelmää (Merikallio ym. 2007).

### 3.3 Suhteellisen kosteuden mittaaminen näytepalamenetelmällä

Näytepalamittausmenetelmän perusajatuksena on mitata tutkittavasta betonirakenteesta määrättyltä kohdalta otettuja näytepaloja niin, että ne on lämmitetty (tai viilennetty) siihen rakenteen todelliseen käyttölämpötilaan, jonka betonissa ilmenevää suhteellista kosteutta halutaan tutkia. Erityisesti päällystettävyyssmittauksissa näytepalamenetelmän avulla pyritään poistamaan

mittauspaikan äkillisten ja satunnaisten olosuhdemuutoksien vaikutus mittaustuloksiin.

Mittaamista käyttölämpötilassa koskeva sääntö on yksinkertainen mutta samalla kattava: Se soveltuu sekä kulkeutuvan rakennekosteuden että rakennusaikaisen kosteuden poistumisen arvioimiseksi tehtävien mittausten lähtökohdaksi. On vain muistettava tarkasti, kummasta mittaustehtävästä kulloinkin on kyse. Rakennusaikaisen kosteuden poistumista seuraavissa mittauksissa voidaan näytepalat lämmitää (viilentää) suunniteltuun käyttölämpötilaan. Käytössä olevasta eli tietyssä käyttölämpötilassa olevasta rakenteesta otettuja näytepaloja ei taas missään tapauksessa saa lämmitää (viilentää). Itse asiassa käytössä olevan tilan mittaukset tulisikin tehdä porareikämittauksina, jos se tilan käytön kannalta suinkin vain on mahdollista.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaamisesta on olemassa ohjeet esimerkiksi (Merikallio ym. 2007), RT-kortti numero 14-10675, (Laukkanen 2009). Ohjeet keskittyvät kosteuden mittaamiseen betonirakenteen sisältä.

### 3.4 Porareikämittaus

Näytepalamittauksen ohella toinen tapa mitata suhteellista kosteutta aineskerroksen sisällä on porareikämittaus. Porareikämittauksessa tutkittavaan rakennekerrokseen porataan reikä, jonka pohjan syvyydellä vallitseva suhteellinen kosteus mitataan reikään asennettavalla mitta-anturilla.

Betonin mittauksessa porareikämenetelmän ongelmana on betonin suhteellisen kosteuden häiriintyminen porauksessa. Porauksen aiheuttaman häiriön takia porattujen reikien on annettava tasaantua ulkoilmalta suljettuina alkuperäiseen suhteelliseen kosteuteensa riittävän pitkän ajan, esimerkiksi yhden vuorokauden tai jopa enemmänkin. Toinen tasaantumisaikavaatimus aiheutuu siitä, että tasaantuneeseen reikään asetetaan mitta-anturi. Mitta-anturia asetettaessa reikään

pääsee ulkoilmaa, joka vaikuttaisi mitattavaan tulokseen, jos sen vaikutusta ei kumottaisi antamalla reiän antureineen tasaantua uudelleen reiän pohjan kohdalla vallitsevaan suhteelliseen kosteuteen. Mitta-anturin tasaantumisaika on yleensä reiän tasaantumisaikaa lyhyempi, esimerkiksi noin tunti.

Tasaantumisaikojen lisäksi porareikämittaukseen liittyy vielä yksi ongelma kohteissa, joissa mittauskohdan ympäristön olosuhteet muuttuvat reiän ja anturin tasaantumisaikoina. Muuttuva ympäristön kosteus ja lämpötila aiheuttavat kosteustasapainon muuttumisen myös mittareidän sisällä, eikä voida varmasti tietää, mitä olosuhteita anturin välittämä tulos tosiasiaassa kuvaa.

Tilanteissa, joissa mittauskohdan ympäristön olosuhteiden muutokset ovat pieniä ja reikä sekä anturi voivat tasaantua riittävän ajan, porareikämenetelmän antama tulos edustaa tarkasti ja suoraan mittaussyvyydellä vallitsevaa suhteellista kosteutta.

### 3.5 Pintamittaus

Pintamittauksessa mitataan pinnoitteen alla sijaitsevan betonin pinnassa vallitsevaa suhteellista kosteutta. Tyypillisesti mittauspisteet sijaitsevat muovimaton alla ja mittaukset toteutetaan viiltämällä pieni reikä päällysteeseen. Reikään asetetaan kosteusanturi, ja reikä tiivistetään. Menetelmästä käytetään myös nimitystä viiltomittaus.

Vaikka suhteellista kosteutta mitataan betonikerroksen pinnasta, laskennan kannalta kyse on normaalista rakenteen sisäisestä suhteellisen kosteuden mittaamisesta. Betonin päällä sijaitseva päällystekerros otetaan huomioon tavanomaisena rakennekerroksena, ja sen kosteudenläpäisevyys ja lämmönjohtavuus esitetään tavalliseen tapaan laskennassa.

Pintakosteusmittaus mittaa ensisijaisesti pintakerroksen ja päällysteen välisen rajapinnan suhteellista kosteutta. Kosteuden kulkeutumisen selvittämiseksi olisi

usein kuitenkin tärkeää tietää myös aineessa vallitseva kosteusjakauma.

#### **4 Tutkimusmenetelmä ja aineisto**

Tässä tutkimuksessa selvitetään, millä tavoin kosteusarviomenettelyä koskevaa ohjeistusta voidaan kehittää niin, että saadut tulokset vastaavat mahdollisimman hyvin yleisesti tunnettuja fysiikan lainalaisuuksia. Mitä paremmin kosteusarviomenettelyssä tuotettavat raportit ja niissä esitetyt päätelmät ovat sopusoinnussa fysiikan yleisesti tunnettujen lainalaisuuksien kanssa, sitä parempana voidaan tehtyjen tutkimusten tasoa pitää.

Koska toisena tärkeänä tutkimustavoitteena on arvioida jo vuonna 1997 valmistuneiden kuntotutkimusohjeiden tarkoituksenmukaisuutta ja soveltuvuutta kosteusarviomenettelyn lähtökohdaksi, tarkasteltavat tapaukset käsitellään teknisiltä osiltaan yksityiskohtaisesti. Tämä luonnollisesti osaltaan rajoittaa tarkasteltavien kosteusarviolausuntojen lukumäärää.

##### **4.1 Menetelmä ja sen perusteet**

Tutkimusmenetelmä on periaatteeltaan yksinkertainen: Tutkimusaineistona käytettävät aidot ja suhteellisen tuoret kosteusarviomenettelyssä tuotetut raportit ja lausunnot käydään läpi yksityiskohtaisesti ja verrataan niissä esitettyjä tietoja, päätelmiä ja päätelmien perustelemiseksi esitettyjä tarkasteluja olemassa oleviin ohjeisiin. Sikäli kuin aineistona olevissa raporteissa ovat mittaus- ja lähtötiedot sallivat, verrataan tuloksia saatavien tietojen perusteella tehtäviin laskelmiin.

Laskentamallina käytetään mm. Siikasen jo 1996 esittämiin periaatteisiin pohjautuvia ja Tampereen teknillisen yliopiston tutkijoiden Alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen -hankkeessa esitettyä laskentamenetelmiä (Siikasen 1996), (Leivo, Rantala 2006).

Kosteustutkimuksessa tehtävien mittausten tarkoituksena on lukuarvoisen pohjatiedon tuottamien rakenteessa olevan ja siellä kulkeutuvan kosteuden määrän ja kulkeutumisen nopeuden arvioimiseksi. Pelkkien suhteellista kosteutta kuvaavien mittausarvojen antama hyöty on kuitenkin melko rajallinen, jos mitattavaa rakennetta ja vallitsevia olosuhteita sekä käyttöhistoriaa koskevat tiedot ovat puutteelliset. Mittaustulosten ohella tarvittavat tiedot voidaan jaotella esimerkiksi ainestietoihin, olosuhdetietoihin ja niiden mahdollisia muutoksia kuvaaviin tietoihin sekä kolmanneksi tilan käyttöä nykyhetkellä ja aikaisemmin kuvaaviin käyttötietoihin.

#### 4.2 Ainestietojen merkitys

Mittausarvoista voidaan laskea rakenteen lämpö- ja kosteusjakauma sekä siinä kulkevat lämpö- ja kosteusvuot tunnettujen ainestietojen avulla. Ainestietoja varten on tiedettävä tutkittavan rakennekerroksen kerrosrakenne ja siihen käytetyt rakennusaineet. Kun rakennusaineet tunnetaan, niiden laskennassa tarvittavat lukuarvot ovat usein saatavissa valmiista, julkaistuista taulukoista. Tarvittavia ominaisuuksien arvoja ovat muun muassa kosteuden- ja lämmönjohtavuudet sekä kerrospaksuudet.

#### 4.3 Olosuhdetiedot ja niiden muutokset

Olosuhdetiedot antavat mittausten perusteella tehtävälle laskennalle tarpeellisia lähtöarvoja. Esimerkiksi mitattavan tilan (huone)kosteus on hyödyllinen lähtötieto, jonka avulla voidaan laskea kosteusarvoja aina pinnan päällimmäistä kerrosta myöten. Se kertoo myös kokeneelle asiantuntijalle tilassa vallitsevia olosuhteita helppossa ja havainnollisessa muodossa. Olosuhdetietojen kirjaamisesta tutkimusraporttiin annetaan seikkaperäisiä ohjeita arviomenettelyä koskevissa ohjeissa (Ympäristöministeriö, 1997).

#### 4.4 Virherajat ja satunnaisvaihtelu

Kaikkeen käytännön mittaamiseen sisältyy virhettä. Virhe voi olla satunnaisvirhettä, laitevirhettä tai menetelmävirhettä. Virheiden ja niiden vaikutuksen huomioon ottamista kosteusmittauksissa koskevat ohjeet ovat melko niukkoja, mutta esimerkiksi RT-kortti numero 14-10675 ohjeistaa, että ”Mittaus tehdään vähintään kahdesta rinnakkaisesta reiästä eri antureilla. Jos saatujen tulosten ero on suurempi kuin  $\pm 3 \%$  on mittaus uusittava. ” Virheitä pyritään välttämään mittausaikaa ja anturien kalibrointia koskevilla ohjeilla.

#### 4.5 Mittauksia ja raportointia koskevat ohjeet

Mittausten ja kosteusarvion avulla on voitava päätellä, toteuttaako rakenne sille asetetut vaatimukset ja mitkä ovat tilanteen korjaamiseksi mahdollisesti tarvittavat toimenpiteet. Ympäristöministeriön (1997) mukaan johtopäätösten tulee perustua saatuihin tietoihin, riskiarvioon, rakenneselvitykseen ja mittaustuloksiin. ”Johtopäätökset on perusteltava rakennusfysikaalisin laskelmin... Jos johtopäätöksiä ei voida perustella luotettavasti, se tulee mainita tutkimuselostuksessa” (Ympäristöministeriö, 1997). On ilmeistä, että kosteustutkimuksia koskevan ohjeen kantavana ajatuksena on ollut taata mahdollisimman luotettavien ja yksikäsitteisten päätelmien tekeminen. Tämän takia mitattujen lukuarvojen ja niiden perusteella tehtävien laskelmien merkitystä on painotettu. Melko yksityiskohtaisesti kuvattujen muiden vaadittavien lähtötietojen tarkoituksena on mahdollistaa tarvittavien laskelmien tekemisen edellyttämien tietojen kirjaaminen muistiin.

Koska Ympäristöministeriön ohjeet ovat olleet saatavilla jo vuodesta 1997 ja Ympäristöministeriö on ylin kosteusarviomenettelyä säätelevä viranomainen Suomessa, voidaan Ympäristöministeriön ohjeiden katsoa muodostavan kosteusmittausten raportointia koskevan standardin. Asianmukaisesti tehdyssä kosteusarvioraportissa voidaan siis olettaa olevan esitettyinä ainakin Ympäristöministeriön ohjeessa mainitut seikat, ja sen esitystavan vastaavan



annettuja ohjeita. Esitystapaa koskevat ohjeet liittyvät suurelta osin tietojen ryhmittelyyn, mutta ohjeissa on myös erikseen mainittu, että raportissa tulee esittää vain mahdollisen vaurion syyn selvittämisen kannalta oleelliset tiedot. Tärkeää on, että tutkimusselostuksen perusteella pystyy arvioimaan tehtyjä päätelmiä.

#### 4.6 Aineiston edustavuus, sen tausta ja sopivuus

Tutkimuksessa tarkasteltava aineisto koostuu neljästä eri kosteustilaa arvioivasta asiantuntijalausunnosta ja niiden perusteiksi esitetyistä mittauksista ja muista taustatiedoista. Lausuntojen antajat edustavat kolmea erisuuruista ja erityyppistä toimijaa, joista pienin on yhden hengen yritys, joka ilmoittaa tehtäväkentäkseen rakennusten elinkaarihallinnan. Toinen tässä tutkimuksessa käytettävien lausuntojen antajista on suuri rakennusalalla toimiva insinööritoimisto. Kolmas lausunnonantaja on valtakunnallinen ja suuri tutkimuslaitos. Kaksi lausunnoista koskee omakotitalon kellarissa tehtyjä kosteustutkimuksia ja kolmas erään rivitaloyhtiön lattiarakenteessa havaittuja ongelmia. Neljäs lausunto arvioi asuintilan maanvaraisen betonilattian kosteutta. Neljännen lausunnon antajan taustaa ei käytettävissä olevan kirjallisen aineiston eikä muunkaan tutkimuksen tekijän käytettävissä olevan tiedon avulla voi selvittää.

Lausunnonantajien osalta aineisto on mahdollisimman kattava käsittäen ainakin kolme hyvin erityyppistä kosteusarvioalalla palveluja tarjoavaa toimijaa. Tutkimuskohteiden osalta aineisto käsittää keskeisimmät ja taloudellisesti merkittävimmät kosteusarviokohteet eli maanpinnan alapuoliset kellaritilat ja maanvaraiset lattiarakenteet. Aineistosta puuttuu kerrostalohuoneistoa koskeva esimerkkitapaus, mutta tällaisenaikin aineisto tarjoaa runsaasti materiaalia raportoinnin kehittämiseen liittyvään tutkimukseen. Aineisto on myös melko tuoretta ilmentäen alan käytäntöjä vuodesta 2006 vuoteen 2010.

Esiteltävien kolmen eri lausunnon laatijoiden koulutustaso on kussakin käsiteltävässä tapauksessa erilainen ulottuen keskitason koulutuksesta ammattikorkeakoulutasoiseen koulutukseen ja edelleen tiedekorkeakoulutasoiseen koulutukseen. Neljännen lausunnon antajan koulutustaso ei ole tiedossa. Ainakin Lausunnon 1 laatija on suorittanut Kiinteistöliiton sertifiointin, joka oikeuttaa käyttämään nimikettä ”pätevöitynyt kosteudenmittaaja”. Lausunnon 3 taustalla on kaksi tiedekorkeakoulutasoista asiantuntijaa, joista toinen on laatinut lausunnon ja toinen tarkastanut ja hyväksynyt sen. Lausunnon 2 laatijalla on ammattikorkeakoulututkinto.

Esiteltävien lausuntojen sisältämä aineistomäärä on suhteellisen suuri lukuun ottamatta neljättä lausuntoa. Mittauksia on tehty runsaasti ja numeroarvoiset mittaustulokset ovat käytettävissä. Tämä mahdollistaa osittain tausta-aineistona olevissa lausunnoissa esitettyjen päätelmien laskennallisen arvioinnin.

Yleisesti käytettävät rakenteiden sisäpuolisen kosteuden mittausten menetelmät ovat melko suuritöisiä ja siksi kalliita. Jos kaikki mittauksilla ja mittaushetkellä saatava tieto kerätään huolellisesti talteen, voidaan mittausten tarkkuutta ja luotettavuutta parantaa. Asiaa havainnollistetaan tausta-aineistoissa olevan kahden eri toimijan tuottamien kosteusmittausraporttien vertailulla. Tarkoitukseen sopimattomien mittausten menetelmien käyttö ei anna luotettavaa kuvaa tutkittavasta kohteesta ja saattaa johtaa ylimääräisiin kustannuksiin. Kaksi tausta-aineistossa olevista lausunnoista kuvaa menettelytapaa, jotka johtavat noin kaksinkertaisiin mittauskustannuksiin verrattuna tarkoituksenmukaisimpaan mittausten menettelyyn.

Seuraavassa aineistona käytetyt lausunnot esitellään pääpiirteittäin kiinnittäen huomiota tämän tutkimuksen kannalta tärkeisiin kohtiin. Lausunnoista käytetään nimikkeitä Lausunto 1, Lausunto 2, Lausunto 3 ja Lausunto 4. Varsinaiseen laskentaan liittyvät lausuntojen kohdat käsitellään erikseen luvussa 5.

#### 4.7 Lausunto 1

Lausunto 1 kuvaa kohteensa vuosina 1999-2000 rakennetuksi, kolmikerroksiseksi omakotitaloksi, josta Lausunnon 1:n mukaan tarkoituksena oli ”selvittää rakennuksen alapohjan mahdolliset kosteusvauriot ja syyt niihin”. Sen tekijä on pienessä ”rakennusten elinkaarihallintaa” tarjoavassa yrityksessä omistajana työskentelävä rakennusmestarikoulutuksen käynyt, Kiinteistöliiton pätevöittäjä arvioija. Lausunto sisältää huomattavan määrän eri mittausmenetelmillä saatuja kosteusmittaustuloksia, jotka on esitetty taulukoituina.

Lausunnossa kuvataan suhteellisen kosteuden mittausta seuraavasti: ”Mittareivät porattiin 9. 11. 2006, reiät puhdistettiin imurilla ja puhalluspumpulla, niihin asennettiin mittaputket, jotka tiivistettiin. Betonin huokosilman suhteellisen kosteuden (RH) mittausta ja lämpötilan mittausta suoritettiin 13. 11. 2006. Mittapisteiden E1-E3 vierestä otettiin näytepalat kahdesta eri syvyydestä, näytepalat suljettiin tiiviisti näyteputkiin ja näistä putkista mitattiin suhteelliset kosteudet ja lämpötilat 14. 11. 2006”.

Tämän lisäksi uudesta näytteenottotapahtumasta 5. 12. 2006 on kuvaus: ”Mittapisteiden kohdalle porattiin 10-15cm ympyrään reikiä, reikien keskeltä otettiin piikkaamalla näytepalat kahdesta eri syvyydestä, näytepalat suljettiin tiiviisti näyteputkiin ja näistä putkista mitattiin suhteelliset kosteudet ja lämpötilat 6. 12. 2006”.

Jossain vaiheessa on ilmeisesti mitattu eristekerrosten kosteutta, mistä on kuvaus: ”Mittareivät porattiin lastulevyrakenteen läpi eps levyyn, reiät tiivistettiin ja niistä mitattiin suhteellinen kosteus ja kosteus noin 30 minuutin anturoiden tasaantumisaikojen jälkeen” (sanatarkka lainaus).

Erilaisia mittalaitteita on lueteltu otsikolla ”Käytetty kalusto” seuraavasti: ”Tramex leak seeker, vuodonetsintälaitte, puun kosteusmittari Trotec TS60 handeletrone, Trotec Ts 200 SDI suhteellisen kosteuden mittari, Trotec TP 4

pintalämpötilamittari, Trotec TS 300 SDI pintakosteusosoitin, Rotronic Hygropalm 2 lukulaite, SC04 ja SP04 mittapää sekä Vaisala 44 lukulaite ja HMP 44 mittapää.”

Seuraavana raportissa on kuvattu kellarin rakennetta: ”Kohteen rakennepiirustuksien mukaan rakennus on perustettu soralle. Alapohjan kantavana rakenteena on reunavahvistettu teräsbetonilaatta. Alimman kerroksen kantavat seinät ovat harkkorakenteisia ja ulkoseinät yläosistaan sisäpuolelta lisäeristettyjä. Kantavat väliseinät ovat harkkorakenteisia noin metrin korkeuteen ja tästä ylöspäin puurakenteisia (kuva 4).

## 2.0 RAKENTEET

### 2.1 Rakenteet

Kohteen rakennepiirustuksien mukaan rakennus on perustettu soralle. Alapohjan kantavana rakenteena on reunavahvistettu teräsbetonilaatta. Alimman kerroksen kantavat seinät ovat harkkorakenteisia ja ulkoseinät yläosistaan sisäpuolelta lisäeristettyjä. Kantavat väliseinät ovat harkkorakenteisia noin metrin korkeuteen ja tästä ylöspäin puurakenteisia.

Alapohjan rakenne huoneet A, B ja C:

- muovimatto
- lastulevy 22mm
- eps-lämmöneristyslevy (Styrox) 50mm
- teräsbetonilaatta 120mm (reunavahvike n. 200mm)
- eps-lämmöneristylevy 50mm
- sorastus (~200mm)

Alapohjan rakenne huoneet D ja E:

- muovimatto
- tasoite
- teräsbetonilaatta 120mm (reunavahvike n. 200mm)
- eps-lämmöneristylevy 50mm
- sorastus (~200mm)

Alapohjan rakenne huone F:

- teräsbetonilaatta 120mm (reunavahvike n. 200mm)
- eps-lämmöneristylevy 50mm
- sorastus (~200mm)

Alapohjan rakenne huone G (kylpyhuone):

- laatoitus
- kosteussulku (mahdollisesti)
- tasoite
- teräsbetonilaatta 120mm (reunavahvike n. 200mm)
- eps-lämmöneristylevy 50mm
- sorastus (~200mm)

Kuva 4. Lausunnon 1 rakennekerrosselvitys.

Verrattaessa raportissa esitettyjä tietoja talon rakennusluvan aikaisiin tunnetun geoteknisen insinööritoimiston laatimiin maaperäselvityksiin huomataan, että pohjamaa on muuttunut kosteusarvioijan lausunnossa savesta soraksi. On tavanomaista, että perustusten alle sijoitetaan riittävän paksu sorastuskerros toimimaan kapillaarikatkona, mutta tämän ei voine katsoa kuvaavan rakennuspaikan maalajeja. Olemassa olevassa pohjaselvityksessä myös kerrotaan pohjaveden pinnan olevan korkean veden aikana noin kaksi metriä rakennuksen perustustasoa alempana.

Toinen huomionarvoinen seikka paljastuu raportissa annetusta rakenneselvityksestä vertaamalla sitä raportin mukana olevaan pohjapiirustukseen, johon on ympyröin merkitty mittauspisteitä (liite 2). Perustusta kiertävän reunavahvistuksen olemassaolo on mainittu samoin kuin sen paksuuskin, mutta sen muista ulottuvuuksista ei ole mainintaa. Kun kerrotaan mittauspisteiden sijaitsevan esimerkiksi tilassa A, syntyy kuva, että kyseessä on yllä olevassa rakennetietokuvauksessa esitetty rakenne. Kuitenkin mittapisteiden sijoittelua kuvaavassa piirustuksessa mittapisteet on merkitty melko lähelle tilan reunoja (numeroarvoisia sijaintikuvauksia ei ole annettu missään), mistä voi olettaa mitattavien pisteiden sijaitsevanakin reunan vahvikealueella. Reunavahvikealueiden ja sisempien alueiden kerrosrakenne on kosteusvirtatutkimuksen kannalta huomattavan erilainen.

Lausunnon 1 päätelmät on esitetty osassa ”Havainnot sekä johtopäätökset”. Päätelmiä sisältävä osuus alkaa toteamuksella: ”Kantavan betonilaatan reuna-alueilta mitattiin 13. 11. 2006 selkeästi normaalia korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja.” Merkille pantavaa on, että raportissa ei esitetä minkäänlaisia perusteluja päätelmän tueksi. Raportin tekstimuotoisesta esityksestä ei käy selville, millainen on mitattujen pisteiden kerrosrakenne (vrt. yllä). Toisaalta ei myöskään ole määritelty, mitä ”normaali” raportin esityksessä tarkoittaa. Ilmeistä on, että raportin kirjoittajan käsitys ”normaalista” poikkeaa Tampereen teknillisen yliopiston, rakennusteollisuuden ja huomattavien rakennuttajien noudattaman

arviointimenettelyn antamasta tuloksesta. Tämä esitetään yksityiskohdiltaan luvussa 5, joka käsittelee kosteusvuotutkimuksessa tarpeellisia laskentamenetelmiä.

Toinen ”Havainnot sekä johtopäätökset” -osaan liittyvä ongelma on se, että reuna-alueiden mittaus käsittääkin kahdella eri mittausmenetelmällä mitattuja pisteitä. Osa on mitattu porareikämenetelmällä ja osa näytepalamenetelmällä. Näiden eri mittausmenetelmien antamien tulosten keskiarvot poikkeavat toisistaan yli 10 prosenttiyksikköä. Prosenttiarvot vaihtelevat välillä 59,6 % – 94,2%. Kun alin ilmoitettu huonetilan kosteuspitoisuus on 38,9, jää mahdolliseksi vaihteluväliksi suurimmillaankin 55,3%. Siten prosentuaalisesti mittausmenetelmien antamat tulokset poikkeavat toisistaan noin 20%, joka on havaintona huomiota herättävän suuri missä tahansa eri menetelmiä soveltavassa mittauksessa.

Selitys havaitulle poikkeavuudelle eri menetelmien tuloksissa on yleisesti alan asiantuntijoiden tiedossa. Merikallio (2009) ilmaisee asian selkeästi: ”Lämpötila vaikuttaa merkittävästi betonin huokosrakenteessa olevan kosteuden sitoutumiseen. Yleensä lämpötilan noustessa mutta betonin kosteussisällön pysyessä vakiona betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee.” Vastaavasti lämpötilan laskiessa huokosilman kosteussisältö ja samalla suhteellinen kosteus laskee. Ilmiö on päinvastainen luvussa 2 kuvassa 1 esitettyyn tilanteeseen nähden.

Raportissa olevasta mittaustulostaulukosta selviää, että näytepalojen kosteudet onkin mitattu 21 – 22 asteen lämpötilassa, jolloin saadut prosentteina ilmoitettavat suhteellisen kosteuden arvot eivät ilmeisestikään mitenkään voi kuvata tilannetta, joka on vallinnut mittaustilassa näytteenottohetkellä. Koska lämmitettäessä nousevan kosteuden määrä on täysin tapauskohtainen riippuen hyvin monista nousuväliin, betonin seossuhteeseen, raekokojakaumaan ja mineraalikoostumukseen liittyvästä seikasta, ei ole olemassa muuntokaavaa, jolla suhteellinen kosteus korkeammassa lämpötilassa voitaisiin muuntaa suhteelliseksi kosteudeksi alkuperäisissä olosuhteissa. Suhteellisen kosteuden perusteella ei myöskään voi päätellä betonin kosteuspitoisuutta, kuten Merikallio (2009)

yksikäsitteisesti ilmaisee: ”Betonin suhteellinen kosteus ei kerro, mikä betonin todellinen kosteuspitoisuus (kg/m<sup>3</sup>) on”.

Kosteusarvioraportteja koskevissa ohjeissa (Ympäristöministeriö, 1997) on ohjeistettu, että mittausraporttiin on sisällytettävä kaikki tuloksiin ja tulkintaan vaikuttavat tiedot. Tietojen selvittäminen jälkeenpäin voi olla hankalaa. Puutteelliset tai virheelliset taustatiedot voivat vaikuttaa tehtäviin tulkintoihin.

Lausunnossa 1 on useita havainnollisia esimerkkejä siitä, miten tunnettujen taustatietojen pois jättämien ohjaa tulkintaa varsinkin siinä tapauksessa, että tulkinta ei perustu todennettaviin laskelmiin, mikä sekin on vastoin olemassa olevia ohjeita (Ympäristöministeriö, 1997).

Lausunnon 1 raportissa mitatusta kohteesta oli saatavissa ammattitaitoisen geoteknisen toimiston tekemä pohjatutkimus, jossa todettiin pohjaveden pinnan olevan noin kaksi metriä rakennuksen perustustason alapuolella. Raportissa kerrottiin kuitenkin reunavahvikkeiden alapinnan olevan ”piirustusten mukaan lähes samassa tasossa kuin pohjaveden pinta”. Koska rakennus on melko uusi ja se on rakennettu tarkastettujen ja hyväksytyjen piirustusten mukaan, olisi todella huomiota herättävää, jos se olisi perustettu pohjaveden tasoon. Tällaisissa tapauksissa rakennuslupa olisi myönnetty virheellisin perustein tai olosuhdetiedoissa olisi tapahtunut huomattavia muutoksia, joista Ympäristöministeriön ohjeiden mukaan olisi raportissa mainittava. Edelleen Ympäristöministeriön (1997, 36) esille ottama seikka tutkimuselostusten laatimisessa on se, että vain oleelliset tiedot ja tulokset esitetään. Lausunnossa 1 on kerrottu salaojituksesta seuraavasti: ”Salaojitusjärjestelmien toimivuudelle on ominaista että rankkasateilla saattaa vedenpinta täyttemaassa hetkittäin kohota selkeästi salaojan alapinnan tasoa ylemmäs riippuen rakennuksen vierustojen ja täyttöjen vedenläpäisevyydestä. Maa-aineksen vedenläpäisevyyden tuleekin olla suurempi salaojituskerroksessa (salaojaputkien ja seinän ympärillä) kuin pintamaalla.” Tällaisen asiantuntijalle selvän tosiasian tuominen esiin tutkimusraportissa kaipaisikin asiallisia perusteluja. Muuten lukijalle saattaa

syntyä kuva, että juuri mainittu seikka on jollain tavalla ollut ongelmana tutkimuksen kohteessa.

Vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ei raportissa ole esitetty, joten myös niiden välinen kustannusvertailu puuttuu.

Yhteenvedonomaaisesti voidaan havaita Lausunnon 1 poikkeavan Ympäristöministeriön (1997) kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimusta koskevista ohjeista seuraavilla tavoilla: Lausunnon 1 lähtötiedoista puuttuu selvitys tutkittavan tilan käyttöhistoriasta. Puolilämpimän kellaritilan alkuperäisen piirustuksen varastotilamerkinnyt on lausuntoon liitetyssä pohjakuvassa korvattu tilamerkinnoilla ”huone”. Olosuhdemuutoksia ei myöskään ole otettu huomioon kellarin ympäristöolosuhteiden muutoksen osalta. Rakennuslupa-aikaisen pohjatutkimuksen mukainen noin 2 metriä kellarin alapinnan alla sijaitsevan pohjaveden korkeuden kerrotaan olevan lähes kellarin perustusten tasossa. Mittaukset, joihin lausunnon päätelmien kerrotaan perustuvan on tehty väärällä, muuhun tarkoitukseen kehitetyllä menetelmällä. Saadut mittaustulokset on tulkittu ilmoittamatta tulkinnan lähtökohtana käytettyä mallia. Tulkinnan yhteys ainesominaisuuksien ja olosuhdetietojen perusteella tehtävään laskentaan ei lausunnosta selviä.

Lausunnon 1 ansioina voidaan pitää sitä, että siinä esitetyistä mittaustuloksista puolet on mitattu tarkoitukseen sopivalla menetelmällä, ja menetelmällä saadut arvot sopivat melko hyvin yhteen rakenteesta laskelmien avulla saatavien tulosten kanssa (luku 5). Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että näidenkään mittausten perusteella lausunnossa tehdyt päätelmät olisivat oikein, vaan tilanne on arvioitavissa juuri päinvastaiseksi.

#### 4.8 Lausunto 2

Lausunto 2 on annettu kahdeksan paritaloa käsittävän taloyhtiön rakennuksissa esiintyneistä kosteuteen liittyvistä ongelmista, ja se käsittää kaksiosaisen raportin.



Ensimmäinen osa on kirjoitettu ennen toista osaa. Ensimmäisen osan otsikkona on ”Lähtötilanneselvitys”, ja siinä käydään läpi tutkittava kohde ja havainnoidaan siellä esiintyviä ongelmia sekä huoneistojen käyttötapaa mainiten jopa lemmikkieläinten lajit ja määrät. Sen lähtötietoina on käytetty kolmea eri aikoina tehtyä kosteusmittausraporttia, yhtä muistiota, kahta kiinteistöissä tehtyä tarkastuskäyntiä, tarkastusraporttia, salaojalinjaston painehuuhteluraporttia, kiinteistöjen kuntoarviota sekä erilaisia sijainti- ja rakennepiirustuksia. Lausunto 2:n lähtötietoesittelyssä kiinnitetään huomiota siihen, että käytetyistä kosteusmittausraporteista ei käy selvästi ilmi, kuinka syvälle kosteusmittaukset ovat ulottuneet.

Kustannus-hyöty -arviointi on otettu huomioon jo Lausunnon 2:n ensimmäisessä osassa: ”Mikäli olemassa olevan salaojalinjaston korkeustaso on perustuksiin nähden liian korkealla, voidaan erikseen miettiä salaojaputkien korkeustason muuttamisen kustannuksilla saatavan hyödyn merkitystä seinien kastumiseen. Sen sijaan olemassa olevan putkiston säännöllisellä huollolla ja aukipitämisellä on merkitystä maaperästä ulkoseiniin siirtyvään kosteuden määrään.” (Lausunto 2, 9).

Lausunto 2:ssa on punnittu erilaisia korjausvaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä: ”On todennäköistä, että rakennusten ulkopuolisen kosteuden siirtymistä rakenteisiin ei saada muutettua ulkopuolisilla korjaustoilla. Tällöin on ratkaisevaa sisäpuolisten rakenteiden kosteustekninen toiminta. Seinätaoiteiden ja maalien on oltava hyvin vesihöyryä läpäiseviä ja jalkalistojen ns. tuulettuvaa mallia, jotta rakenteisiin päässyt kosteus pääsee kuivumaan vapaasti sisäilmaan aiheuttamaa kosteusvaurioita.” (sanatarkka lainaus) (Lausunto 2, Lähtötilanneselvitys, 9). ... ”Mikäli korvausilmaventtiileitä ei ole tarpeeksi, otetaan korvausilmaa myös hallitsemattomasti rakenteiden läpi, jolloin rakenteissa olevat epäpuhtaudet kulkevat ilmavirtauksien mukana sisäilmaan. Jottei maaperän epäpuhtaudet kulkeutuisi sisäilmaan, on suositeltavaa tiivistää alapohjalaatan ja seinien liittymät M1-luokan elastisella massalla. Näiden lisäksi on huoneistojen ilmanvaihtoa tehostettava ja ilmamäärät mitoitettava siten, että huoneistot ovat vain lievästi

alipaineisia ulkoilmaan nähden. ” (Lausunto 2, Lähtötilanneselvitys, 9).

Lausunnon 2:n Lähtötilanneselvityksen pohjalta tehtiin varsinainen kosteusarviointilausunto. Eri kohdilta ja eri syvyyksistä mitattiin suhteellisen kosteuden arvoja. Mittaustulokset ja mittausten lähtötietoja on taulukoitu lausunnon mukana olevissa taulukoissa niin, että rakennetiedot ovat omana osanaan ja mittapisteistä mitatut mittausravot omana osanaan erillisessä taulukossa. Tässä kohdin Lausunto 2 vastaa Lausunto 1:tä, jonka rakennetietojen esitystapa on kuvattu jo aikaisemmin. Myös mittaustulosten esitystapa muistuttaa jossain määrin toisiaan Lausunnon 1 ja Lausunnon 2 esityksissä. Poikkeamana on, että Lausunnon 2 on kunkin tuloksen kohdalla esitetty myös mittapään yksilöivä numero, vrt. kuva 5.

Mittapiste	Syvyys [mm] ja materiaali	Mittapää [nro]	T [°C]	RH [%]	Abs [g/m <sup>3</sup> ]
<b>MP1</b> KK/OH, ulkoseinän vierestä	Sisäilma lattiantasolta	172	17,3	38,9	5,7
	40, betoni	177	16,0	<b>84,6</b>	11,6
	70, betoni	178	16,0	<b>85,5</b>	11,7
	120, polystyreeni	246	15,6	83,7	11,2
	230, hiekka	253	12,7	98,0	11,0
<b>MP2</b> KK/OH, ulkosei- näästä ~ 80 cm	35, betoni	177	18,3	59,5	9,3
	45, betoni	169	18,4	65,6	10,3
	70, betoni	178	18,4	62,4	9,8
	140, polystyreenin alapinta	167	17,9	97,1	14,8
<b>MP3</b> KK/OH, ulkosei- näästä ~ 160 cm	Sisäilma lattiantasolta	154	18,7	34,4	5,5
	25, betoni	170	18,2	54,6	8,5
	50, betoni	158	18,2	59,4	9,2
	140, polystyreenin alapinta	179	15,5	90,7	12,0
<b>MP4</b> OH, ulkoseinän vierestä	30, betoni	155	15,1	<b>80,9</b>	10,5
	50, betoni	175	14,5	<b>86,9</b>	10,8
	140, polystyreenin alapinta	301	12,2	99,0	10,7
<b>MP5</b> ET/OH	Sisäilma lattiantasolta	147	18,8	35,0	5,6
	35, betoni	153	18,6	54,4	8,7
	55, betoni	164	18,6	60,1	9,6
	140, polystyreenin alapinta	173	14,5	98,9	12,3
<b>MP6</b> ET, huoneistojen väliseinän vierestä	Sisäilma lattiantasolta	163	18,1	41,6	6,4
	20, betoni	151	17,3	76,1	11,2
	40, betoni	175	17,2	<b>90,7</b>	13,3
	70, betoni	156	17,4	<b>86,4</b>	12,8
	140, polystyreenin alapinta	168	17,1	91,0	13,3
	145, polystyreenin alapinta	165	16,1	97,5	13,4
	210, hiekka	163	15,5	98,5	13,1
<b>MP7</b> MH, ulkoseinän vierestä	Sisäilma lattiantasolta	153	16,1	43,5	6,0
	25, betoni	154	14,9	71,9	9,2
	55, betoni	158	14,5	<b>86,5</b>	10,8
	100, polystyreeni	150	13,1	95,9	11,0
	220, hiekka	301	11,5	100	10,4

Kuva 5. Mittaustulosten esitystapa Lausunto 2:ssa

Yhteenvedon Lausunnosta 2 voidaan todeta, että sen esitystapa vastaa suurelta osin Ympäristöministeriön ohjeen mukaista menettelyä. Alkutilanne on kartoitettu huolellisesti. Vaihtoehtoisia ratkaisumalleja on arvioitu ja niiden kustannus-hyöty-arviointi on esitetty. Lausunnossa on kiinnitetty huomiota virhelähteiden karsimiseen, ja esimerkiksi taulukoiduissa mittausarvoissa esitetään myös sen mittapään tunnistenumero, jolla tulos on mitattu. Lausunnossa 2 esitetyt päätelmät voivat olla laskennan tuloksia, mutta laskentaa ei ole kuitenkaan esitetty lausunnossa. Toisaalta verrattuna Lausunnon 1 esittämiin muutostyövaatimuksiin

Lausunnon 2 korjaussuositukset ovat hyvin pienitöisiä, ja niiden tulokset ovat helposti arvioitavissa tilannetta seuraamalla.

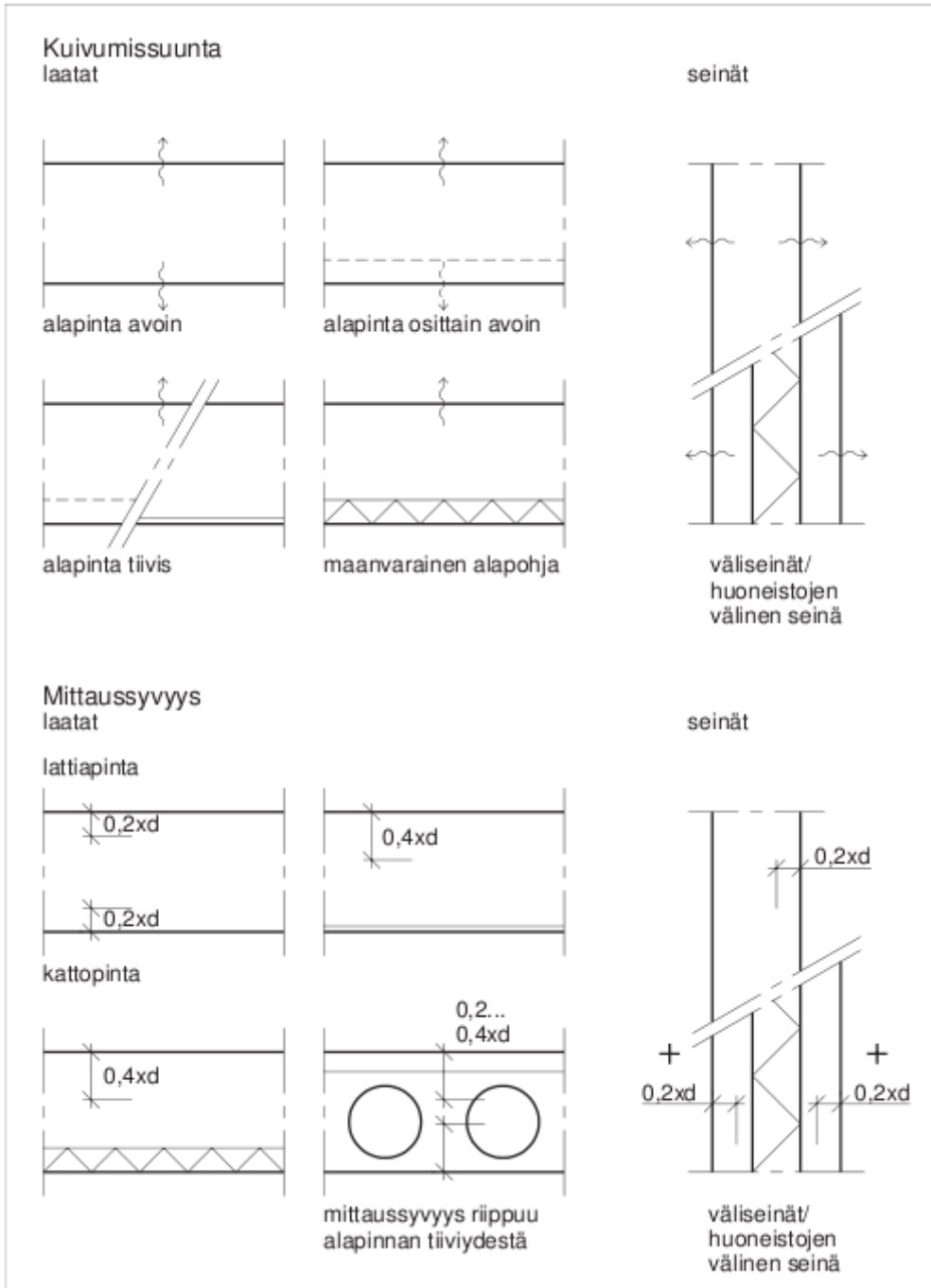
#### 4.9 Lausunto 3

Lausunto 3 on mittausmenettelyä, sen asianmukaisuutta ja tulosten tulkintaa koskeva arviointi. Se poikkeaa lähtökohdiltaan Lausunnosta 1 ja Lausunnosta 2 siinä, että sen laatija edustaa uutta asiantuntemusta tilanteessa, jossa arvion kohteena ei ole pelkästään tutkittava rakenne vaan jo suoritettu tutkimus ja sen mahdolliset puutteet ja ansiot.

Lausunto 3 määrittelee tehtävänannon seuraavasti: ”... pyydettiin lausuntoa lattiarakenteen kosteudenmittauksista ja tulosten tulkinnasta . Mikrobimäärittystä ja sen tuloksia ei tarkastella. ” Kohde on omakotitalo, jota kuvataan Lausunto 3:ssa seuraavasti: ”Talossa on puolitoista kerrosta ja kellaritila. Rakennuksen alapohjana on kantava, reunavahvistettu teräsbetoni-laatta. Kellarin ulkoseinät ovat harkkorakenteisia. Ensimmäisestä kerroksesta ylöspäin rakennus on puurunkoinen. Ulkovaippana on vaakalaudoitus. Talossa on harjakatto. ”

Lausunto 3:n laatijan tarkasteluiden lähtökohtana on ollut vuoden 1998 RT-kortti 14-10675 (RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus), jonka mukaan ”kosteuspitoisuus nousee tiiviin päällysteen alapuolella korkeintaan niin korkeaksi kuin arviointisyvyydellä 0,4 kertaa rakenteen nimellispaksuus. ” (Lausunto 3, 5). Rakennustietokortti 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus kertoo kuvaamastaan mittausmenetelmästä sen olevan tarkoitettu ”lattia-, sisäkatto ja sisäseinärakenteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen sähköisellä suhteellisen kosteuden mittalaitteella” (RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus). Lisäksi ohjekortissa on erityinen maininta, jonka mukaan esitetty menetelmä on kirjattu SisäRYL2000 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, talonrakennuksen sisätyöt -kirjan laadinnan yhteydessä (RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus).

Ohjekortin sovellettavuus on ilmaistu tavalla, joka mahdollistaa erilaiset tulkinnat. Se että ohjekortissa esitetty menetelmä on kirjattu SisäRYL2000 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, talonrakennuksen sisätyöt -kirjan laadinnan yhteydessä, kertoo painopisteen olevan sisäpuolisissa rakenteissa, mutta toisaalta määritelmä, jonka mukaan ”... ohjekortissa on kuvattu mittausmenetelmä, joka on tarkoitettu ”lattia-, sisäkatto ja sisäseinärakenteiden betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen sähköisellä suhteellisen kosteuden mittalaitteella”, ei suorastaan sulje pois ulkotilaan rajoittuvan lattian kosteuspitoisuuden mittaamista menetelmää käyttäen.



Kuva 6. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus

Lähde: RT-1410674, lokakuu 1998

Ohjekortti sisältää täsmentäviä kuvia (vrt. kuva 6), joissa on esitetty laattarakenteiden kuivumissuuntia neljässä tapauksessa. Avointa alapintaa on kuvattu paksunnetulla viivalla, osittain avointa paksunnetun viivan päälle piirretyllä ohuella katkoviivalla ja tiivistä alapintaa kuvalla, jossa vasen puoli vastaa osittain avoimen alapinnan tilannetta ja oikealla puolella on kuva, jossa tiiviin alapinnan esitykseen on lisätty ohut yhtenäinen viiva tiiviin alapinnan päälle. Maanvarainen alapohjarakenne on esitetty kuvalla, joka eroaa osittain avoimen alapohjan esityksestä siten, että ohut katkoviiva on korvattu ohuella yhtenäisellä viivalla ja sen alle on lisätty paksuun pohjaviivaan rajoittuva, ilmeisesti lämpöeristettä kuvaava sahalaitakuvion muodostava ohut viiva.

Lausunnossa 3 on ilmoitettu, että käytettävän mittaussyvyyden tulee olla 0,4 kertaa rakenteen paksuus, joka vastaa rakennustietokortin lattiapinnan mittausta esittävää kuvaa tapauksessa, jossa alapinta on tiivis tai jossa lattialaatan alla on lämpöeristekerros. Lausunnon 3 laatija on siis tässä yhteydessä tulkinnut suoraan pohjamaata vasten olevan betonirakenteen alapinnan olosuhteiden mittaussyvyyden osalta vastaavaan tiiviin pohjakerroksen tilannetta. Ohjekortin kuvasta voidaan päätellä eristekerroksen päällä sijaitsevan ja tiiviin alapinnan rajoittaman betonilattojen mittaussyvyksien olevan kummankin samat. Tulkinnan perusteiden yksityiskohtaisempi tarkastelu esitetään luvussa 6, jossa esitellään kosteusjakauman kuvaamiseen käytettävää laskentamenetelmää. Lausunnon 3 tarjoamassa asiayhteydessä eristämättömän betonipinnan luokitteluun vastaavaksi tiiviistä kerrosta ilman perusteluja jättää useita kysymyksiä avoimmiksi. Yksi tällainen kysymys on muun muassa, miten alapohjarakenteen alapuoliseen maakerroksen kosteusolosuhteisiin vaikuttamalla voisi saada aikaan muutoksia alapohjarakenteen kosteusolosuhteissa, jos alapohjan ja pohjamaan välissä on niitä erottava täysin tiivis kerros.

Kaikissa esitetyissä kuvissa katto- ja/tai pohjalaatan yläpinta on kuvattu paksulla, avointa pintaa esittävällä viivalla. Tämä onkin ymmärrettävää, koska ”betonirakenteesta pyritään mittausten avulla saamaan selville betonin suurin kosteus, joka voi kertyä päällystämisen jälkeen tiiviin päällysteen alle” (RT 14-

10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, 2). Lausunnon 3 taustatiedoista kuitenkin selviää, että valtaosa mitatuista pisteistä on sijainnut kohdissa, joissa betonilattian päällä on jo ollut muovimatto tai muovimatto ja vielä lisäksi eristekerros. Nämä pisteet ovat siis olleet erittäin selvästi päällystettyjä. Päällystämättömistä kohdista mitatut kosteudet olivat huomattavasti alhaisempia.

Lausunnossa 3 omaksuttu tulkinta ”RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus” kuvaamasta ohjeesta ansaitsee yksityiskohtaisen tarkastelun. Tulkinnan mukaan voidaan päätellä ohjeen kuvaaman mittauksen suoritusajankohta mielivaltaiseksi ja mittauksen voivan tapahtua epämääräisen ajan pinnoittamisen jälkeen, jolloin laatta on saavuttanut tasapainotilan eikä sen kosteusjakauma muutu. Mutta tällöin joudutaan vastaamaan kysymykseen, miksi välittömästi pinnoitteen alle kertyvä kosteus olisikin mitattava noin rakenteen puolivälistä eikä välittömästi pinnoitteen alta. Voitaneekin sanoa, että Lausunnossa 3 sovelletaan rakennustietokortin ohjetta lattia- ja sisärakenteiden pinnoitteiden alle pinnoittamisen jälkeen kertyvän kosteuden mittaamisesta hyvin omintakeisella tavalla, joka kaipaasi perusteluikseen tutkimus- tai kirjallisuusviitteitä.

Merikallio (2009) on kiinnittänyt huomiota juuri Lausunnossa 3 esitettyyn tulkintatapaan ja toteaaakin: ”RT 14-10675 ohjekortissa olevat mittaussyvyyydet on lähtökohtaisesti tarkoitettu betonilattian päällystämishetken kosteustilan määrittämiseen. Pyrkimyksenä on arvioida, mihin arvoon kosteus voi enimmillään nousta päällystämisen jälkeen, kun rakenne päällystetään tiiviillä päällysteellä (Nilsson 1980, s. 97). Kyseisiltä mittaussyvyyksiltä myöhemmin rakennuksen käytön aikana saatu kosteuslukema ei välttämättä kerro juuri mitään siitä, onko rakenne toimintaansa nähden liian kostea.” On siis tarpeellista, että kosteuslukemien lisäksi kiinnitetään huomiota rakenteen toimintaan.

Rakenteen toiminnan huomioon ottamisen merkitys päätelmien perusteena havainnollistuu tarkasteltaessa Lausuntoa 3. Lausunnon 3 mukaan on pääteltävissä, että siinä kuvatun ”kellarikerroksen lattia ja osin myös seinärakenteet ovat melko tai hyvin kosteita”. Päätelmä ja sen perusteena olevat



mittaustulokset voivat olla täysin oikein, mutta mitkä ovat kosteusjakaumaan vaikuttavat tekijät ja kuinka suurin osuukin ne vaikuttavat havaittuihin suhteellisen kosteuden arvoihin tarkasteltavassa tilanteessa, ei ole lausunnosta pääteltävissä. Lausunnon 3 tekninen arviointiperuste on sovellettavissa (tosin olemassa olevien lähteiden mukaan ainoastaan betonin kuivumisen arviointiin) vain niihin tapauksiin, joissa betonikerros on välittömästi ”tiivin” kerroksen alapuolella. Kuitenkin suuri osa mittauksista on alueilta, joissa betonilattian päällä on ollut eristekerros, lastulevy ja muovimatto. Tällöin avoimeksi jääviä kysymyksiä ovat muun muassa, mikä kerroksista on ”tiivis” ja miten olisi arvioitava tilannetta, jos ”tiivis” kerros lattian betonirakenteen päällä olisi vähemmän tiivis tai jos se mahdollisesti poistettaisiin kokonaan. Sama koskee tilan käyttöolosuhteita, ja epäselväksi jää, olisiko mahdollista säädellä sisäpuolista kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa niin, että rakenteen voisi olettaa toimivan. Lausunnon 3 käyttämä laskentamalli ei kuitenkaan edes ota huomioon käyttöolosuhteiden vaikutusta.

Lausunnon 3 ansiona on se, että siinä esitetään selkeä laskennallinen peruste tehdyille päätelmille. Arvioinnin pohjana käytettävä betonin kuivumisen seurantaan pinnoittamisen jälkeen tarkoitettu menetelmä ei kuitenkaan sovellu kosteusolosuhteiden arvioimiseen tarkasteltavassa tilanteessa. Siten sen avulla tehtävät päätelmät ovat jo lähtökohtaisesti väärin. Lausunnossa 3 ei millään tavalla oteta kantaa tutkittavan tilan käyttöhistoriaan eikä muihin olosuhdetietoihin. Tämä on seurausta sovellettavasta teoriasta, joka koskee aivan muunlaista tilannetta. Tarkasteltavan tilan käyttölämpötilan nostamista koskevaa arviota voi Lausunnossa 3 pitää vaihtoehtoisen ratkaisumallin tarkasteluna, mutta tässäkin kohtaa lausunnossa sovelletaan betonin kosteuskäyttäytymistä koskevaa tietoutta hyvin omaperäisellä tavalla, ja esitetyn päättelyn tulos onkin päinvastainen tavanomaisen fysiikan tietämyksen perusteella saatavaan tulokseen verrattuna.

#### 4.10 Lausunto 4

Lausunto 4 nojautuu huonetiloissa mitattuihin pintakosteustuloksiin ja 350 mm – 400 mm syvyydeltä lattiapinnasta mitattuihin suhteellisen kosteuden arvoihin. Raportista voidaan päätellä, että mitatussa syvyydessä on ainakin osittain lattian alustäyttöhiekkaa. Lattian rakennetta ei Lausunnossa 4 ole kuvattu. Lausunnon taustatietoina on ilmoitettu ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mittaushetkellä. Lisäksi on ilmoitettu ”sisäilman” suhteellinen kosteus. Kolme koereikää on porattu kolmeen eri huoneeseen, joiden sijaintia kuvataan sanallisesti vaatehuoneeksi, eteisen lattiaksi makuuhuoneen kynnyksen kohdalla ja olohuoneeksi tulisijan edustalla. Mittaustuloksista on ilmoitettu mittareiden tunnistetunniste, mitattu lämpötila ja suhteellinen kosteus:

KOEREIKÄ	RH%	Tast
1	93.7	16.0
2	95.5	15.4
3	93.2	17.5

(sanatarkka lainaus)

Lausunnon 4 päätelmät perustuvat alustäyttöhiekan suhteellisen kosteuden mittauksiin: ”Kartoituksessa havaittuja lattian alustäyttöhiekan huokosilman kosteusarvoja voidaan pitää vuodenaika ja olosuhteet huomioiden korkeina.” Lausunnossa todetaan, että ”havaituissa olosuhteissa alustäytön sisällä mahdollisesti olevassa eloperäisessä aineksessa käynnistyy mikrobikasvu, jonka aineenvaihduntatuotteet voivat aiheuttaa sisäilmaongelman ja sen kautta terveysoireita asukkaille.”

Verrattaessa Lausunnon 4 tulosten esitystapaa Lausunnon 1 ja Lausunnon 2 esitystapaan havaitaan, että porareistä tehtyjen mittauksien tarkkaa syvyyttä ei ole ilmoitettu. Ei myöskään ole tiedossa, ovatko mittauspisteet sijainneet välittömästi alapohjarakenteen ja täyttökerroksen rajapinnassa vai ovatko

mittaukset ulottuneet täyttömaakerroksen sisälle. Toisaalta koska Lausunnossa 4 ei esitetä minkäänlaisia laskelmia, ei tarkoilla mittapisteiden sijaintitiedoilla ole tältä kannalta merkitystään.

Lausunnossa 4 esitetty arvio poikkeaa Leivo-Rantalan (2007) ja <http://www.wufi.de/index.html> (15. 11. 2009 ) esittämistä käsityksistä. Näiden lähdeostien mukaan laskelmissa voidaan aina olettaa maanvaraisen alapohjan alusmaan suhteelliseksi kosteudeksi sata prosenttia. Oletus koskee kaikkia maakerroksia rakennuksen alla. Voidaan siis päätellä, että Lausunnossa 4 sovellettavat arviointiperiaatteet poikkeavat mainituissa lähteissä esitetyistä ja alan tavanomaisista arviointiperusteista.

Yleisesti sovellettavat arviointimenetelmät perustuvat suhteellisen kosteuspitoisuuden arvoihin ja sen muutoksiin rakennekerroksissa (Siikanen 1996, Leivo-Rantala 2007), mutta Lausunnossa 4 esitetty arviointimenetelmä tarkastelee pieneliöstön kasvuedellytyksiä varsinaisten rakennekerrosten alapuolisessa pohjamaassa. Teoreettisesti Lausunnossa 4 käytetty arviointiperuste sisältää mielenkiintoisen ongelman: Olisiko mahdollista saada aikaan rakennuksen pohjamaahan sellaiset olosuhteet, joissa pieneliöstön kasvu ei ole mahdollista. Erityisesti Lausunnon 4 perusteella olosuhteet olisi saatava aikaan käyttämällä puhdistettua kiviainesta, joka ei sisällä eloperäistä ainesta. Toiseksi ongelmaksi muodostuisi tämän alusmaan kosteuspitoisuuden laskeminen alle Lausunnossa 4 esitettyjen arvojen. Kun maanvaraisen lattian vesihöyrynläpäisevyys on ainakin diffuusion osalta pienempi kuin alusmaan, teknisten ratkaisujen löytäminen vaatimuksen toteuttamiseksi saattaisi olla hankalaa. Toteutusta vaikeuttaa vielä se, että suhteellinen kosteus riippuu lämpötilasta ja suhteellisen kosteuden laskemiseksi olisi alusmaa ehkä lämmitettävä. Toisaalta Leivo-Rantalan (2007) esittämän laskentamallin mukaan lämmin alusmaa on yksi maanvaraisten lattiarakenteiden kosteusongelmien vaaratekijöistä, ja alusmaa olisikin eristettävä mahdollisimman hyvin varsinaisesta rakenteesta, jotta se pysyisi mahdollisimman viileänä.

#### 4.11 Mittausvirheistä

Vertaamalla edellä esitettyjä Lausuntoa 1 ja Lausuntoa 3 tulee havainnollisella tavalla esille, miten suhteellisen yksinkertaisilla menetelmillä voidaan vähentää mahdollisten mittaus- ja laitevirheiden vaikutuksia tuloksia tulkittaessa. Lausunnossa 1 on ohjeiden mukaisesti esitelty kosteusmittauksessa käytettävää laitteistoa, mutta pelkkien laitemerkkien ja -tyyppien luetteleminen ei kerro muuta kuin, että käytössä on ollut kosteusmittauksiin suunniteltua välineistöä. Vasta silloin kun jokainen mittaus voidaan yhdistää tiettyyn laitteeseen tai anturiin, on mahdollista tarkkailla mahdollisia poikkeavuuksia. Lausunnossa 3 on jokainen mittaustulos yhdistettävissä mittauksessa käytettyyn mittapäähän. Poikkeavuuksia mittapäiden antamissa lukemissa on siten helpompi havaita ja arvioida kuin Lausunnon 1 noudattamassa menettelyssä.

### 5 Laskenta ja sen tulokset

Kosteusongelmien laajuuden käydessä selville yli kymmenen vuotta sitten asian tutkimiseksi käynnistettiin Tampereen teknillisessä korkeakoulussa laaja tutkimushanke, jossa selvitettiin alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytymistä. Hankkeen rahoittajina ovat olleet muun muassa TEKES, Lohja Rudus, NCC Finland oy, Helsingin kaupungin geotekninen osasto ja HKR-Rakennuttajat ([www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimusraportit/Raportti106.pdf](http://www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimusraportit/Raportti106.pdf)). Tutkimuksessa selvitettiin maanvaraisiin alapohjarakenteisiin pohjamaasta aiheutuvia lämpötila- ja kosteusrasituksia, joita säätelevät sekä maamateriaaliin liittyvät ominaisuudet (raekoko ja –muoto sekä tiiviys) että lämpötilan, veden- ja höyrynsapaineiden muutokset.

Tutkimushankkeen yhteydessä on esitetty käytännön kosteusarviointiin soveltuva laskentamenetelmä, jolla voidaan arvioida maanvaraisen alapohjarakenteen kosteuskäyttäytymistä (Leivo, Rantala 2006). Vaikka esitetty menetelmä on ensimmäinen laajaan julkisuuteen noussut ja erittäin käyttökelpoinen keino

maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytymisen arvioimiseksi, ovat menetelmän perusteet olleet tunnettuja jo kauan. Siikanen (1996) kertoo diffuusion olleen tunnettu jo vuodesta 1802, jolloin englantilainen fyysikko John Dalton esitteli kaasujen osapainelain. Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan yleensä kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi (Siikanen 1996). Jos seoksessa vallitsee eri kohdissa erilainen pitoisuus, ainetta siirtyy diffuusion vaikutuksesta (Incropera, ym. 1990). Käytännön laskennan kannalta on tärkeä Siikasen (1996) esittämä huomio, että lähes kaikki aineet läpäisevät tietyn määrän vesihöyryä, joten samat laskentamenetelmät ovat käyttökelpoisia käytetystä rakennusaineksesta riippumatta.

Laskelmissa on otettava huomioon aineiden vesihöyrynläpäisevyys. Tämän lisäksi on tiedettävä kaasujen osapainelain mukainen ilman kosteuspitoisuus. Sen enimmäisarvo puolestaan riippuu ilman lämpötilasta, kuten kappaleessa 2.1 Ilman kosteuspitoisuus ja kosteuspaine on esitetty.

## 5.1 Kosteuslaskennan tavoitteet

Rakenteiden kosteuspitoisuuteen vaikuttavat olosuhteet muuttuvat jatkuvasti. Ilman ja maaperän lämpötila muuttuvat, ulkoilman suhteellinen kosteus muuttuu, sisätiloissa erilaiset toiminnot aiheuttavat vaihtelevaa kosteusrasitusta ja rakenteisiin mahdollisesti jäänyt rakennusaikainen kosteus pyrkii tasaantumaan ympäristönsä kanssa. Jos pelkän lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksen avulla pyrittäisiin saamaan varmuus rakenteen toimivuudesta, olisi mittaus tehtävä sellaisissa olosuhteissa, joissa kaikki kosteusongelmien syntyyn vaikuttavat tekijät olisivat ääriarvoissaan. Käytännössä tämä on kuitenkin mahdotonta, ja siksi rakenteen kosteustilaa ja sen muutoksia pyritään arvioimaan mittausarvojen perusteella tehtävien laskelmien avulla.

Toimivuuden arvioimisessa on keskeistä selvittää, vastaavatko rakenteesta mittauksin havaittavat kosteuspitoisuudet yhtäältä suunniteltuja ja toisaalta laskennallisia arvoja. Siltä osin kuin rakenteet on suunniteltu ilman tarpeellisia

tietoja kosteudenhallinnasta, suunnitteluajaiset oletukset ja nykyisen tutkimustiedon mukaisen laskennan antamat tulokset voivat poiketa toisistaan. Mittauksin havaittavat kosteuspitoisuudet voivat olla liian suuria joko liikkakosteuden aiheuttamien rakenne- tai terveysongelmien takia, tai ne voivat olla liian korkeita suhteessa suunniteltuun rakenteen toimintatapaan.

Alapohjarakenteiden eri kohdissa vallitsee huomattavan erisuuruisia kosteuspitoisuuksia, ja kosteuspitoisuuden muutokset rakenteen läpi siirryttäessä vaihtelevat riippuen olosuhteista, rakennekerroksista ja niiden keskinäisestä suhteesta sekä rakennekerrosten ainesominaisuuksista. Laskennan yhtenä tavoitteena voidaan pitää ensisijaisen rakenteen kosteusjakaumaan vaikuttavan kosteutta kuljettavan mekanismin selvittämistä.

Rakennekerrosten ainesominaisuuksien ja mitattujen arvojen avulla voidaan päätellä, mikä on rakenteessa vallitseva kosteutta kuljettava mekanismi. Kuten Nevander ja Elmarsson (2001) kosteudenkulkeutumismekanismia käsitellessään ja [http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi\\_frame\\_e.html](http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufi_frame_e.html) (15. 4. 2011) esittävät, eri kosteutta kuljettavat mekanismit ovat vallitsevia erilaisissa kosteuspitoisuuksissa. Eri kosteutta kuljettavien mekanismien keskinäistä suhdetta on myös havainnollistettu kuvassa 3, josta näkyy, että pääasiallinen kosteutta kuljettava mekanismi riippuu kosteuspitoisuudesta. Tämän lisäksi tiedetään eri mekanismien kuljettamien kosteusmäärien poikkeavan toisistaan. Esimerkiksi kapillaarisesti kulkeutuva kosteusmäärä on tyypillisesti satoja kertoja suurempi kuin diffuusion kuljettama (Leivo, Rantala 2006). Tästä voidaan päätellä, että jos tutkittavan rakenteen kosteuspitoisuus on selitettävissä kosteuden diffuusion avulla, ei ole perusteita olettaa esimerkiksi havaitun kosteuden aiheutuvan kapillaarisesta kulkeutumisesta, koska tiedetään niin ikään kapillaarisen kulkeutumisen mahdollistuvan vasta suhteellisen suuren kosteuden kynnsarvon jälkeen (Nevander, Elmarsson 2001).

Pääasiallisen kosteudenkulkumekanismien selvittämisen ohella toinen laskennan tarjoama etu on tarpeellisen tiedon tuottamien kosteusteknisesti toimivien

rakenteiden suunnittelua varten. Jos mittaustulosten perusteella tehdyt laskelmat osoittavat, että rakenteisiin kertyy liikaa kosteutta, on usein mahdollista ratkaista ongelma sopivilla ainesvalinnoilla. Ainesvalintojen, ja yleisemminkin, korjaussuunnitelmien perusteena onkin oltava tarpeelliset laskelmat (Ympäristöministeriö, 1997). Suora seuraus oikein tehdystä laskelmista on turhien kulujen ja väärin korjausten välttäminen. Koska tiedetään, että kosteutta kuljettavat mekanismit toimivat eri olomuodoissa, on ymmärrettävää, että jonkun tietyn mekanismin aiheuttaman kulkeutumisen torjumiseksi valitut rakenneratkaisut eivät välttämättä vaikuta jonkun toisen mekanismin kuljettamaan kosteusmäärään.

Kun tarkasteltavan rakenteen kosteusjakauma esitetään laskelmin, tulee tilan käytön vaikutus rakenteissa havaittaviin kosteusarvoihin mukaan tarkasteluihin automaattisesti. Leivon ja Rantalan (2006) esittämässä laskentamenetelmässä rakennuksen sisällä vallitsevat olosuhteet ovat laskennan tavallisia muuttujia. Niitä kuvaavia arvoja vaihtelemalla voidaan laskennassa saada käsitys siitä, miten rakenteen sisällä havaittavat kosteusarvot riippuvat tilan käyttöolosuhteista ja olisiko mahdollinen ongelma ratkaistavissa esimerkiksi käyttötottumuksia muuttamalla.

## 5.2 Laskentamenetelmät

Siikasen (1996) esittämien periaatteiden mukaisesti kaikki rakenteissa käytettävät ainekset johtavat vesihöyryä. Aineiden vesihöyrynjohtavuuksille on saatavissa valmiiksi taulukoituja arvoja tai niitä voidaan tiedustella rakennusmateriaalien tuottajilta. Kun eri rakennekerrosten vesihöyrynjohtavuudet tunnetaan, voidaan kerrosten läpi kulkeutuva kosteus laskea mittauksissa havaittujen tietojen avulla. Näitä ovat muun muassa lämpötila tutkittavassa tilassa ja tutkittavassa rakenteessa sekä niitä vastaavat suhteellisen kosteuden arvot.

Leivon ja Rantalan (2006) esittämän mallin mukaan kutakin rakennekerrosta kuvaavat tiedot esitetään taulukoituina riveittäin (kuva 7).

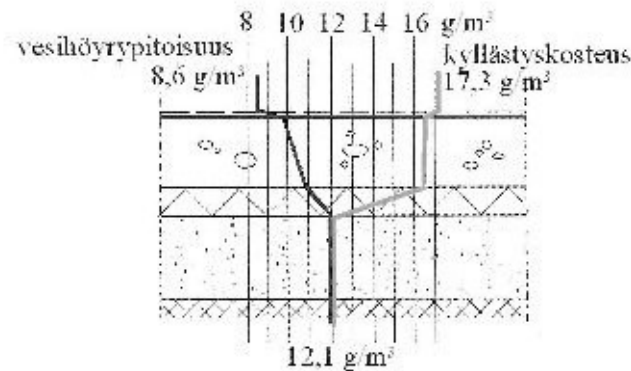
Tila c	c1-c3						
Ainekerros	d(m)	$\lambda$ (W/°C)	t(°C)	$v$ (g/m <sup>3</sup> )	$\delta v$ (m <sup>3</sup> /s)	$v$ (g/m <sup>3</sup> )	$v\%$
Sisäilma			14,8	12,68		7,4	58,6
sisäpinta	0		14,8	12,68		7,4	58,6
Muovimatto	0,001	0,006	14,5	12,48	2,94e-09	8,5	67,7
Lastulevy	0,022	0,14	14,3	12,30	2,43e-07	8,7	71,0
EPS	0,05	0,037	12,3	10,84	1,6e-07	9,7	89,3
Betoni	0,2	1,5	12,0	10,70	3e-07	10,7	100,0
ulkopinta	0		12,0	10,70		10,7	100,0
Ulkotila/pohja			12,0	10,70		10,7	100,0

Kuva 7. Laskentataulukossa esitetään laskennan tarvitsemat lähtötiedot sekä lasketut lämpötilat, kosteuspitoisuudet ja suhteelliset kosteudet rakennekerroksien alapinnoilla.

Taulukko sisältää tiedot tutkittavista rakennekerroksista, niiden aineksista ja paksuuksista. Näiden ohella on esitetty laskentaan vaikuttavat ainesominaisuudet. Kahdessa viimeisessä sarakkeessa on esitetty kunkin rakennekerroksen alapinnan sisältämä kosteusmäärä grammoina kuutiometrissä ilmaa sekä kerrosten alapintojen suhteelliset kosteudet. Näiden tietojen avulla voidaan arvioida vastaavia suureita myös kerrosten sisällä.

Numeroarvoisten tietojen ohella rakenteiden kosteusjakaumaa voidaan kuvata piirroskaavioilla. Leivo, Rantala (2006) esittää kuvaustavan, jossa rakennekerrokset on kuvattu päällekkäin. Kerrosten alapuolella on pohjamaa ja niiden yläpuolella sisätilan ilma.





Kuva 8. Kerroksellisen rakenteen vesihöyrypitoisuus ja kyllästymiskosteus  
Lähde: Leivo, Rantala 2006

Kuvassa 8 on esitetty kosteusjakauma rakenteessa, joka koostuu kolmesta rakennekerroksesta. Sahalaitaviivoitus kuvaa eristeenä käytettävää eps-levyä, sen päällä on betonikerros. Ylimpänä on lattiapäällysteenä käytetty ohut muovimatto. Näiden lisäksi kuvassa on esitetty eps-kerroksen alla oleva sorakerros ja rakennuspaikan pohjamaa sen alapuolella. Kuvassa 8 kosteuspitoisuutta esitetään kahdella käyrällä.

Oikeanpuoleinen käyrä kuvassa 8 kuvaa kyllästymiskosteutta eli suurinta mahdollista ilman sisältämää kosteusmäärää kussakin rakennekerroksen pisteessä. Käyrä viettää ylöspäin oikealle. Tämä johtuu siitä, että ylöspäin mentäessä rakennekerrosten lämpötila nousee ja samalla kyllästymiskosteus kasvaa kaavan (3) mukaisesti. Kyllästymiskosteuden kasvua kerroksen kussakin pisteessä vallitsevasta lämpötilasta riippuen havainnollistaa käyrien erilainen kulmakerroin eriaineisten kerrosten kohdalla. Eps-kerroksessa oikeanpuoleinen käyrä viettää voimakkaasti oikealle, kun taas betonin kohdalla sen kulmakerroin on lähes pystysuora.

Vasemmanpuoleinen käyrä kuvaa rakenteessa vallitsevaa todellista kosteutta. Käyrä viettää ylöspäin vasemmalle kuvaten sitä, että rakenteessa olevan ilman sisältämä kosteusmäärä pienenee ylöspäin mentäessä. Sen lisäksi, että käyrän

kuvaama ilman sisältämä kosteusmäärä pienenee, sitäkin voimakkaammin pienenee käyrää vastaava suhteellinen kosteus, koska se on riippuvainen kerrosten lämpötilasta vrt. edellä käsitelty oikeanpuoleinen käyrä. Suhteellista kosteutta ei kuvassa 8 kuitenkaan ole esitetty, vaan kummatkin käyrät kuvaavat rakennekerrosten ilmatilan yksikkötilavuudessa olevan kosteuden määrä painoyksikköinä ( $\text{g} / \text{m}^3$ ).

Kuvan 8 ja sen perustana olevien laskelmien avulla voidaan lausua mitoitusehto tietylle rakennusainekselle. Leivo, Rantala (2006) esittää mitoitusehdon muodossa

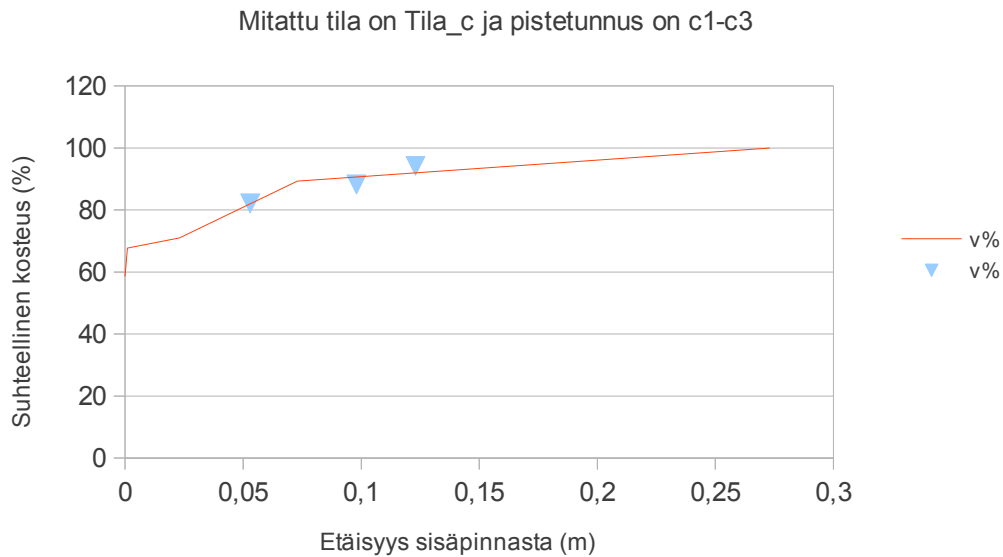
$$v < v_k \text{ ja } v < (\text{RH}_{\text{krit}} / 100) v_k$$

jossa  $v$  on kosteuspitoisuus ( $\text{g} / \text{m}^3$ ),  $v_k$ , tunnettu ilman suurin mahdollinen kosteuspitoisuus tutkittavassa lämpötilassa ja  $\text{RH}_{\text{krit}}$  aineksen tunnettu kriittinen kosteus.

Vaikka kuva 8 esittääkin havainnollisella tavalla maanvaraisen alapohjarakenteen kosteusjakaumaa, ei se ole sellaisenaan kovin käyttökelpoinen arvioitaessa rakennusainesten soveltuvuuksia eri kerroksiin. Tavallisesti eri rakennusainesten käyttöolosuhteita koskevat rajoitukset ilmaistaan suhteellisena kosteutena, joka on riippuvainen lämpötilasta. Piirroskaavion esitys voitaisiinkin melko helposti muuntaa niin, että kosteuspitoisuuksien sijasta annettaisiinkin suhteellisen kosteuden arvot. Oletusarvonahan on yleensä 20 Celsius-astetta. Toinen kuvassa 8 käytettävää esitystapaa koskeva ongelma on sen soveltuvuus pystysuorien seinärakenteiden kuvaamiseen. Tällaisessa tilanteessa jouduttaisiin joko kuvaamaan pystysuorat seinät vaakasuoriksi tai muuttamaan esitettävien kosteuskäyrien kulkusuuntaa, mikä hankaloittaisi erisuuntaisten rakenteiden käsittelyä.

Kuvassa 7 esitetyn taulukon avulla voidaan laatia myös perinteinen x- ja y-akselin virittämä diagrammi, jossa etäisyyttä kuvataan x-akselilla ja suhteellista kosteutta y-akselilla. Tällainen kaavio on esitetty kuvassa 9.

Suhteellisen kosteuden lasketut (yhtenäinen viiva) ja mitatut (kolmio) arvot



Kuva 9. Rakennekerrosten suhteellisen kosteuden jakaumaa ja mitattujen pisteiden kosteusarvoja havainnollistava kaavio.

Kuvasta 9 voidaan havaita suhteellisen kosteuden kasvavan sisäpinnalta ulos päin siirryttäessä. Rakenteen ulkopinnan kohdalla pohjamaassa se on sata prosenttia laskennan lähtöoletusten mukaisesti (Leivo, Rantala 2006). Edelleen laskentamallin mukaisesti kussakin kerroksessa suhteellisen kosteuden lasku on verrannollinen kerroksen vesihöyrynläpäisevyyteen ja sen lämmönjohtavuuteen.

Kerrosten kosteusjakaumaa kuvaavan käyrän lisäksi kuvassa 9 on esitetty rakenteesta eri syvyyksiltä porareikämenetelmällä mitatut suhteellisen kosteuden arvot vaaleansinisillä kolmiopisteillä. Kuvan 9 esittämässä tapauksessa rakenteesta on mitattu suhteellista kosteutta kahdelta eri syvyydeltä, noin 5 ja 13 sentin syvyydeltä sisäpinnasta laskien. Mittauskohta on piste c1-c3. Mittaus on

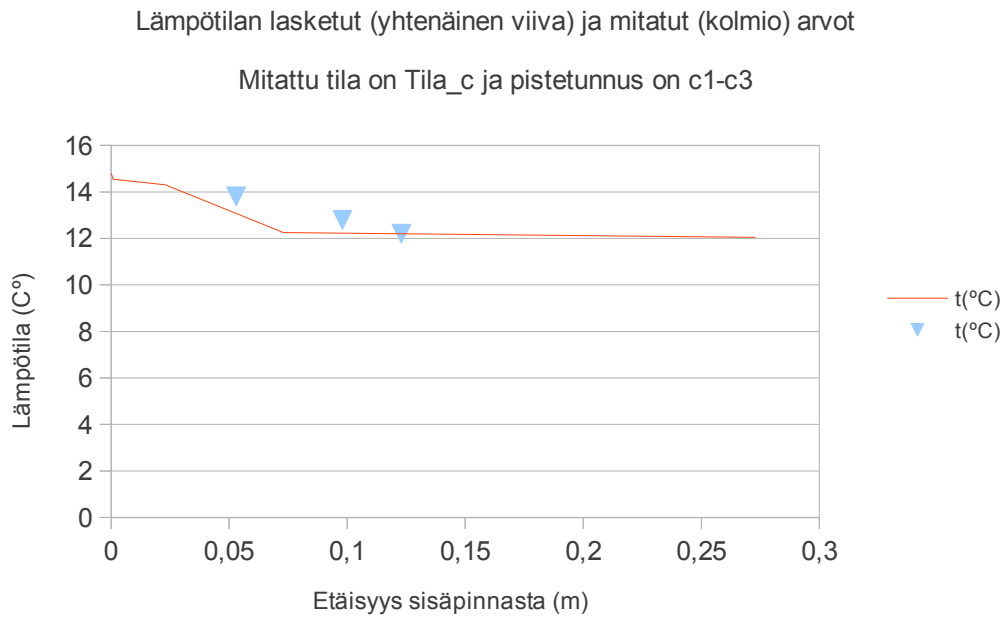
tehty tilassa, jonka tunnus on Tila\_c (Kuva 7 ja 9).

### 5.3 Laskennan tulokset

Tässä tutkimuksessa laskettiin kaikki Lausunnossa 1 esitettyjä porareikämittausten mittapisteitä vastaavat rakennekosteudet. Laskelmat on esitetty liitteessä 1, ja ne sisältävät kunkin mitatun tilan rakennetta kuvaavat kosteusjakaumakäyrät mittapisteineen sekä näitä tuloksia kuvaavat numeromuotoiset taulukot. Laskennan lähtöarvoina on käytetty Lausunnossa 1 esitettyjä tietoja sekä Tampereen teknillisen yliopiston tutkimushankkeessa (Vinha ym. 2005) sovellettuja ja Leivon ja Rantalan (2006) esittämiä ainesominaisuuksien arvoja.

Kuvat 10 - 12 esittävät muut laskennan perusteella laadittavat kaaviot. Ensimmäisenä on rakenteen lämpötilajakauma, kuva 10. Seuraavana on kuvattu rakenteen huokosilman kosteuspitoisuus (grammaa kuutiometrissä) syvyyden funktiona rakenteen sisäpinnasta, kuva 11. Kolmas eli viimeinen kaavio esittää rakenteen kosteussisällön, kuva 12. Yksiköinä on grammaa kuutiometrissä samoin kuin ensimmäisessäkin kaaviossa, mutta nyt kuvaussuunta on käännetty niin, että sijainti vaaka-akselilla ilmoittaa kosteuspitoisuuden ja pystyakselilla on etäisyys rakenteen yläpinnasta. Kuvan 12 kaavio on luvussa 5 kohdassa 5.2 kuvassa 8 näkyvää esitysmuotoa vastaava esitys kosteuspitoisuuden muutoksista rakennekerroksissa, jossa kaksi erimuotoista käyrää kohtaavat pisteessä, jossa rakenteen kosteuspitoisuus on yhtä suuri kuin suhteellisen kosteuden perusteella laskettava kosteuspitoisuus kohtauspisteessä vallitsevassa lämpötilassa. Vasemmanpuoleinen käyrä kuvaa tilan vallitsevaa kosteuspitoisuutta grammoina kuutiometrissä ilmaa ja oikeanpuoleinen käyrä kosteuspitoisuutta samoin grammoina kuutiometrissä ilmaa tilanteessa, joka vallitsisi rakennekerroksissa, jos suhteellinen kosteus olisi kaikkialla sata prosenttia. Rakenteen alapinnalla vasemmanpuoleinen ja oikeanpuoleinen käyrä siis kohtaavat kastepisteessä, joka

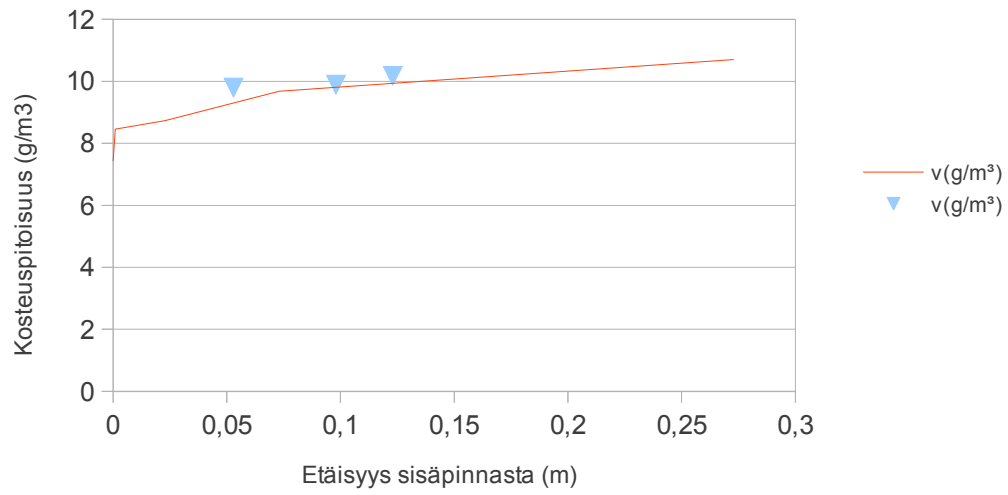
kuvassa 12 on käyrien alin piste. Kuvassa näkyvät mitatut pisteet kuvaavat pisteitä c1 – c3, jotka on esitetty Lausunnon 1. Kuvan rakennekerrokset ovat Lausunnon 1 esittämät kerrokset tilassa C, ja ne on esitetty myös kuvan 7 taulukossa.



Kuva 10. Piirroskaavioesitys rakennekerrosten lämpötilajakaumasta Lausunnon 1 tilassa Tila\_c pistessä c1-c3.

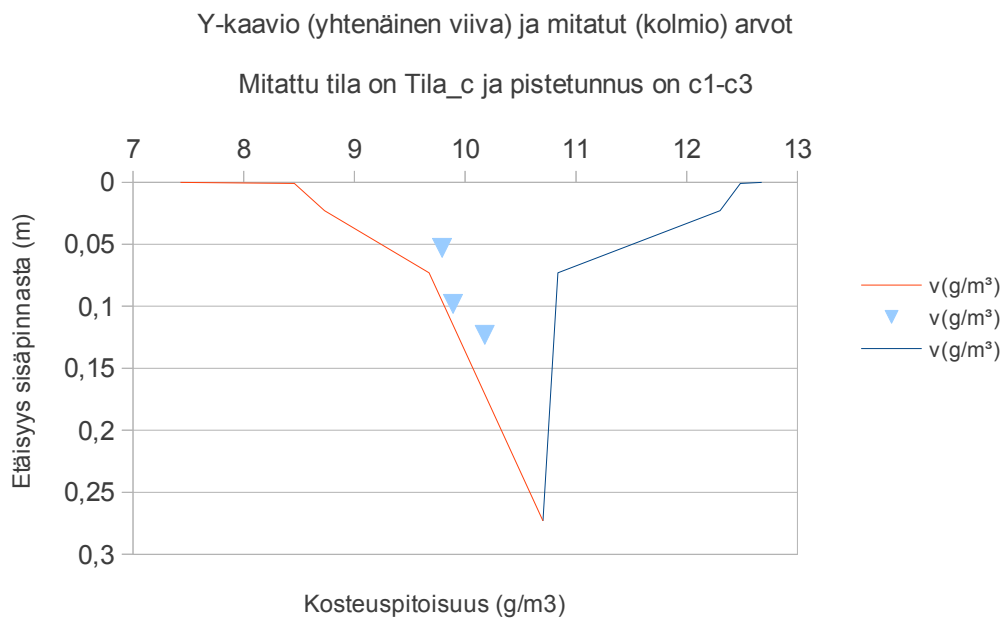
Kosteuspitoisuuden lasketut (yhtenäinen viiva) ja mitatut (kolmio) arvot

Mitattu tila on Tila\_c ja pistetunnus on c1-c3



Kuva 11. Lasketut lämpötilajakaumat sekä mitatut lämpötila-arvot

Lausunnon 1 kuvaamassa tilass Tila\_c pisteessä c1-c3



Kuva 12. Y-kaaviomuotoinen esitys Lausunnon 1 tilassa C vallitsevasta kosteuspitoisuusjakaumasta ja Lausunnon 1 mitatun pisteen c1-c3 eri syvyyksiltä olevat mittaustulokset.

Leivo, Rantalan (2006) esittämä laskentamalli on laadittu ensisijaisesti maanvaraisten rakenteiden suunnitteluohjeksi. Se ilmaisee, miten suureksi kosteuspitoisuus nousee mallin avulla kuvattavissa maanvaraisissa alapohjarakenteissa. Koska malli ilmaisee rakenteen ”suunnitellun” eli laskennallisen kosteuden, se soveltuu käytettäväksi hyvin myös tapauksissa, joissa epäillään kosteusvauriota: Jos havaitut kosteusarvot poikkeavat suunnitelluista eli lasketuista, rakenne ei toimi hallitulla tavalla tai kosteuspitoisuus vaikuttaa ylimääräinen, laskelmissa huomiotta jätetty tekijä.

Tarkasteltaessa liitteessä 1 esitettyjä laskennallisia suhteellisen kosteuden käyriä, ja kosteuspitoisuuskäyriä sekä mittaamalla saatuja pistekohtaisia tuloksia havaitaan, että mitatut arvot noudattelevat kaikkialla noin mittaustarkkuuden rajoissa laskettuja arvoja eli rakenne toimii niin, kuin sen voidaan laskemalla ennakoitakin toimivan.

Siitä huolimatta, että rakenne toimii ennakoitavalla tavalla, liiallisen kosteuden aiheuttamien ongelmien mahdollisuus ei vielä ole suljettu pois. Vaikka rakenne itsessään toimii lasketulla tavalla, voivat vallitsevat olosuhteet olla sellaiset, että kosteutta pääsee kertymään haitallisia määriä. Tällaisesta tilanteesta voi nähdä esimerkin tarkastelemalla liitteen 1 laskettuja ja mitattuja kosteusarvoja niissä kohdissa, joissa maanvaraisen betonin päällä on ollut eps-eristelevy, lastulevy ja muovimatto. Tarkasteltavassa tapauksessa eps-eristeen ja betonin rajapinta on aluetta, joka on kaikkein altteinta kerääntyvälle kosteudelle. Se sijaitsee lämmöneristeen viileämmällä puolella ja samalla kaukana haihduttavasta pintakerroksesta.

Kun tutkittava rakenne kuvataan laskettavan mallin avulla, voidaan havaittujen ongelmakohtien kosteudenhallintaan kiinnittää huomiota. Edellä kuvatussa tilanteessa eps-eristelevyn alapinnan kosteuteen on mahdollista vaikuttaa kahdella tavalla. Rakenteen yläpinnan kosteutta voidaan pienentää ja rakennekerroksia voidaan mahdollisesti muuttaa. Kummankin vaihtoehdon vaikutukset ovat suoraan nähtävissä rakenteen kosteuskäyttäytymistä kuvaavasta käyrästä, kun valitaan eri vaihtoehtoja tarkasteltavien kerrosten määräksi ja aineksiksi tai kun muutellaan sisäilman kosteuspitoisuuden ja lämpötilan arvoja laskentamallissa.

#### 5.4 Laskenta ja Lausunnon 1:n soveltamat arviointiperiaatteet

Lausunnossa 1 päätellään raportoinnin kohteena olleen maanvaraisen lattianrakenteen olevan epänormaalin kostea ja kosteuden johtuvan pohjamaasta kapillaarisesti kulkeutuvasta kosteudesta. Tilanteen korjaamiseksi esitetään salaojituksen tason laskemista 20 cm. Esitetty päätelmä on täysin vastakkainen Leivo, Rantalan (2006) esittämän laskentamallin antaman tuloksen kanssa, vrt. liite 1. Lausunto 1 ei myöskään perustele, miksi niissä kohdissa, joissa lattian betoni on ollut ilman pinnoitusta, mitään poikkeukselliseen kosteuteen viittaavaa ei ole havaittu. Niinikään Lausunnon 1 ei käy selville, miksi eps-kerroksen ja



muovimaton alapuolisessa betonissa mitatut suhteellisen kosteuden lukemat ovat tavanomaisella diffuusiivisella alueella, jos kosteus on Lausunnon 1 päätelmän mukaan kulkeutunut kapillaarisesti, varsinkin kun yleisesti tiedetään, että kapillaarisesti kulkeutuvan kosteuden määrä on tyypillisesti satoja kertoja diffuusion kuljettamaa määrää suurempi.

Tarkastelemalla kuvien 9, 10 ja 11 rakenteen kosteusolosuhteisiin liittyviä käyriä nousee esille vielä yksi Lausunnon 1 päättelyyn sisältyvä ongelma. Kuvista 9, 10 ja 11 voidaan nimittäin havaita, että kosteuspitoisuuden, suhteellisen kosteuden ja lämpötilan välillä vallitsee selvä riippuvuus. Lämpötilan lasku voimistaa kosteuspitoisuuden kasvua suhteellista kosteutta kuvaavassa kuviossa: Kun lämpötila laskee, kasvaa suhteellinen kosteus vielä kosteuspitoisuuttakin voimakkaammin, eli suhteellisen kosteuden käyrän kulmakerroin on suurempi kuin kosteuspitoisuuden käyrän kulmakerroin, kun lämpötila laskee. Lämpötila siis vaikuttaa mitattavaan suhteellisen kosteuden arvoon, mutta ei ole olemassa yleisesti sovellettavaa kaavaa, jolla mittauslämpötilan poikkeamisesta alkuperäislämpötilasta aiheutunut virhe voitaisiin korjata betonin suhteellista kosteutta mitattaessa. Huomion arvoista on, että vaikka tällainen kaava olisikin olemassa, Lausunnon 1 noudatettu mittausmenettely tekisi sen hyödyntämisen mahdottomaksi. Lausunnon 1 lähtötiedoissa on näytepalamittauksien osalta ilmoitettu vain se lämpötila, jossa suhteelliset kosteudet lämmittämisen jälkeen mitattiin. Ei siis mitenkään voida tietää tarkasti, mikä on ollut niiden pisteiden alkuperäinen lämpötila, joista näytepalat on alunperin irrotettu. Mutta kuten kuvien 9, 10 ja 11 käyristä on nähtävissä, juuri alkuperäinen, pisteessä vallitseva lämpötila on ratkaisevan tärkeä pyrittäessä käyttökelpoiseen suhteellisen kosteuden mittaustulokseen.

Esitetty laskentamallin avulla tehty tarkastelu perustelee laskennallisesti myös aiemmin esillä olleen Merikallion (2009) esittämän havainnon, jonka mukaan rakennekerroksesta käytön aikana lämmittämisen avulla mitatut suhteellisen kosteuden pitoisuudet eivät kerro juuri mitään rakenteen kosteudesta suhteessa sen toimivuuteen.

## 5.5 Laskenta ja Lausunto 2:n soveltamat arviointiperiaatteet

Poiketen Lausunnosta 1 ja Lausunnosta 3 Lausunto 2 sisällyttää tarkasteluihinsa tilojen käyttöolosuhteet kuten Ympäristöministeriön ohjeissa (1997) on edellytetty. Lausunnossa 2 viitataan myös vaihtoehtoisin korjaustapoihin ja arvioidaan niiden vaikutusta. Samoin kuin Lausunnossa 1 Lausunnossa 2:kin on esitetty tutkittavasta kohteesta olevat suhteellisen kosteuden mittaustulokset kerrostietoiheen.

Lausunto 2 poikkeaa Lausunnosta 1, Lausunnosta 3 ja Lausunnosta 4 myös siinä suhteessa, että tutkittavan maanvaraisen lattian pintarakenteen vaikutus lattian betonissa vallitseviin kosteusolosuhteisiin on otettu mukaan tarkasteluihin, mikä toisaalta onkin aivan välttämätöntä, jos mittaustuloksia halutaan perustella laskennallisesti.

Samoin kuin Lausunon 1 esitetyt mittaustulokset Lausunnon 2 mittaustulokset noudattelevat samankaltaista jakaumaa, kuin Leivo, Rantalan (2006) esittämä laskentamenetelmä tuottaa. Tämän takia Lausunnossa 2 onkin tuotu esille mahdollisuus, että havaitut liialliseen kosteuteen viittaavat ongelmat saattavat johtua muista syistä, kuin mitä pelkästään lattian kosteusjakaumatarkastelulla voidaan havaita. Kosteuden syyksi esitetäänkin lattian kerrosrakenteesta riippumaton lattian ja seinän väliin betonin kutistumisen takia syntynyt rako, josta pohjamaan kosteus pääsee kulkeutumaan suoraan päällysteen alle. Ratkaisuna on raon tiivistäminen. Myös lattian pintarakenteeseen ja sen vaikutukseen pinnoitteen alapuoliseen kosteusjakaumaan kiinnitetään huomiota ja asetetaan rajoituksia muun muassa laminaattien osalta.

## 5.6 Laskenta ja Lausunto 3:n soveltamat arviointiperiaatteet

Lausunto 3 käyttää kosteuden arvioinnissa RT 14-10675 ”Betonin suhteellisen

kosteuden mittaus” ohjetiedostossa esitettyä menetelmää, jossa betoniin tiiviin pintakerroksen alle keräytyvän kosteuden arvioidaan nousevan arvoon, joka vallitsee syvyydellä 0,4 kertaa betonikerroksen paksuus. Näin Lausunnossa 3 sovellettu arviointitapa poikkeaa lähtökohdiltaan Leivo, Rantalan (2006) esittämästä tarkastelutavasta, joka ottaa huomioon betonin kosteusjohtavuuden koko betonikerroksen paksuudelta. Kuvan 9 esittämästä kaaviosta rakennekerrosten ja betonin kosteusjakaumasta ei myöskään löydy tukea Lausunnossa 3 esitettävälle tulkintamallille. Kohdassa 0,4 \* betonikerroksen paksuus vallitsevalla suhteellisen kosteuden pitoisuudella ei näytä olevan suoraa yhteyttä välittömästi betonin pinnassa vallitsevaan kosteuteen.

Lausunto 3:n esittämään tulkintaan liittyy toinenkin ongelma. Kun lausunnossa esitetyn tulkinnan mukaan arviointiperiaatteet koskevat tapausta, jossa betoni sijaitsee tiiviin pintakerroksen alla, joudutaan ratkaisemaan, mikä betonin päällä sijaitsevista kerroksista on ”tiivis”. Jos noudatetaan Lausunnossa 3 omaksuttua tulkintaa, olisi ilmeisesti pidettävä betonin päällä olevaa eps-eristekerrosta ”tiivinä”. Kuitenkin esimerkiksi kuvan 9 kaaviosta on havaittavissa, että myös tässä kerroksessa kosteusarvot muuttuvat kuten varsinaisessa betonissakin. Kuvan 9 mukaan tiivein kerros onkin päällimmäisenä sijaitseva muovimatto. Tällöin kosteusjakaumaan vaikuttavat Daltonin jo vuonna 1802 esittämien periaatteiden mukaisesti myös tiiviin kerroksen ja betonikerroksen välissä olevien kerrosten kosteudensiirto-ominaisuudet, kuten kuvassa 9 on esitetty.

Lausunto 3 soveltaa tulkintaan ohjetiedoston kuvausta tilanteesta, jossa betonin alapinta on tiivis. Tutkittavassa tapauksessa, kuten Lausunnossa 3 todetaan, betonin alapinta sijaitsee suoraan pohjasorastuksen päällä, ja pohjamaasta pääsee siirtymään vapaasti diffuusion kuljettamaa kosteutta betoniin, joten ilmeisesti diffuusion aiheuttamaa kosteuden kulkeutumista tarkasteltaessa betonin alapinnan luokitteleminen tiiviiksi olisi perusteltava tutkimustuloksilla tai kirjallisuusviitteillä. Toisaalta jos alapinta on kirjaimellisesti ”tiivis”, Lausunosta 3 jää epäselväksi, miten salaojituksen muutoksella voidaan vaikuttaa betonin kosteusjakaumaan, koska betonin alapinnan ja pohjamaan välissä olisikin jo

lähtökohtaisesti ”tiivis” kerros.

Kun tarkoituksena on tutkia rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta ja käytettävissä on tarpeelliset rakenne- ja mittaustiedot, korjaustoimenpiteiden perusteleminen rakennusmääräyksillä on ongelmallista. Pirinen (1999) on osoittanut rakennusmääräysten vaihdelleen huomattavasti eri vuosikymmeninä juuri kosteudenhallintaan liittyviltä osin. Jos yleisesti sovelletaan Lausunnossa 3 esitettyä tapaa päätellä muutostyöt tarpeelliseksi, koska tutkittava rakenne ei vastaa voimassa olevia rakennusmääräyksiä, jouduttaneen monissa tapauksissa kalliisiin muutostöihin, joiden tarpeellisuus ei välttämättä ole perusteltavissa.

Se että Lausunnossa 3 esitetään ”Koska salaojat ovat liian korkealla ja sorastuskerroksen alla on savikerros, on mahdollista, että kosteina vuodenaikoina salaojituskerroksen vesimäärä nousee niin suureksi, että kosteus nousee kapillaarisesti alapohjan teräsbetoniseen laattaan reunavahvistuksen kohdalta”, on olettaus, jonka paikkansapitävyys mittauksilla ja niihin perustuvilla laskelmilla olisi pitänyt selvittää. Tämän sijaan Lausunto 3 siirtyykin loppuyhteenvedossaan tarkastelemaan salaojien määräystenmukaisuutta: ”Mikäli rakennuksen salaojat ja alapohjarakenne on toteutettu tämän lausunnon tekemiseen käytettävissä olleiden piirustusten mukaisesti, salaojajärjestelmä ei vastaa Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimuksia. Päätelmää määräysten vastaisuudesta tukevat XX:n kosteusmittausraportissa esitetyt havainnot vedenpinnan tasosta alapohjan alapuolella sekä suhteellisen kosteuden mittaustulokset.”

Lausunnossa 3 esitetään salaojien korjaamista lausunnonantohetken rakentamismääräyksiä vastaaviksi. Salaojat on kuitenkin suunniteltu ja hyväksytty niiden suunnitteluaikeisten määräysten mukaisesti, ja Lausunnossa 3 ilmoitettu tehtävä oli ”antaa lausunto tarkasteltavista kosteudenmittauksista ja niiden tulkinnasta”, ei salaojien määräystenmukaisuudesta. Varsinainen kosteuspitoisuuksiin, rakenne- ja aineistietoihin perustuva laskentamenetelmä ei ota kantaa eri aikoina annettuihin rakentamismääräyksiin, vaan kertoo kosteuspitoisuuden rakenteessa ja sitä kautta auttaa päättelemään kosteutta

kuljettavan mekanismin. Myöskään Lausunnon 3 ei käy selville, miten sen käyttämä laskentamenetelmä täsmällisesti ottaen mahdollistaa salaojituksen määräystenmukaisuuden arvioinnin. Tämän perusteella voitaneen päätellä, että Lausunnon 3 esittämä näkemys salaojituksen muutostyön tarpeellisuudesta ei perustu tunnettuihin fysiikan lainalaisuuksiin ja niitä kuvaavien kaavojen avulla tehtyihin laskelmiin.

#### 5.7 Laskenta ja Lausunnon 4 soveltamat arviointiperiaatteet

Lausunnon 4 soveltama arviointimenettely poikkeaa muista tässä tutkimuksessa esitellyistä lausunnoista siten, että siinä ei mitatakaan varsinaisen rakennekerroksen suhteellista kosteutta, vaan sen sijaan mitataan rakenteen alapuolisen alusmaan suhteellista kosteutta. Tämä kosteus oletetaan Leivo Rantalan (2006) esittämässä mallissa aina vakioksi, ja sen oletusarvo on sata prosenttia eli sen teoreettisesti suurin mahdollinen arvo.

Laskennallisesti on täysin mahdollista tarkastella kerroksittaisen alapohjarakenteen kosteusjakaumaa tässä tutkimuksessa käytetyllä Leivo Rantalan (2006) esittämällä mallilla, vaikka alapuolisen pohjamaan suhteellinen kosteus poikkeaisikin mallin lähtötietoina käytettävästä sadasta prosentista. Tällöin kysymykseksi muodostuu se, miten todennäköistä on olettaa alapuolisen pohjamaan suhteellisen kosteuspitoisuuden olevan alle tämän arvon ja ennen kaikkea se, kuinka paljon alapuolisella suhteellisella kosteudella on merkitystä rakenteen toimivuuden kannalta. Leivo, Rantalan esittämä laskentamalli antaa suoran vastauksen myös tähän kysymykseen. Jos laskettava rakenne toimii pohjakosteuden ollessa sata prosenttia, se toimii myös muilla suhteellisen kosteuden arvoilla.

Lausunnon 4 ei ole laskennallisesti osoitettu, että siinä tarkasteltava rakenne ei toimi kosteusjakaumaa kuvaavan vakiomallin olosuhteissa, ja lausunnon esitetty vaatimus koko pohjarakenteen uusimisesta perustuu arvioon olosuhteista maanvaraisen lattian alapuolisessa maakerroksessa niin itse arvioperusteiden kuin

tehtyjen mittaustenkin osalta. Lattiarakennetta ei ilmeisestikään ole mitattu.

## 6 Loppupäätelmät ja kehityskohteita

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin neljän erityyppisen toimijan tuottamia kosteusarviolausuntoja. Teknisesti yksityiskohtaisen tarkastelun avulla oli mahdollista paikallistaa perustavanlaatuisia ongelmakohtia lausunnoissa, jotka tietomäärältään, esitystavaltaan ja taustaltaan vaikuttivat ensi silmäyksellä osaavasti ja ammattitaitoisesti laadituilta.

Tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä pystyttiin havaitsemaan ja yksilöimään lausunnoissa esiintyneet menettelytapapoikkeavuudet, jotka ovat omiaan johtamaan perinteisestä fysiikan tietämyksestä poikkeaviin tulkintoihin. Havaittuja ongelmakohtia verrattiin Ympäristöministeriön julkaisemiin ja tällä hetkellä voimassa oleviin menettelytapaohjeisiin, ja näin voitiin osoittaa tutkittujen lausuntojen perustuvan huomattavilta osiltaan ohjeista poikkeavaan menettelyyn ja sisältävän suuren määrän ohjeista poikkeavaa päättelyä.

Ohjeiden vastainen päättely on ongelmallista tuotettujen raporttien laadun kannalta mutta myös jo 1997 julkaistujen ohjeiden osalta. Voidaan nimittäin esittää kysymys, ovatko nykymuotoiset ohjeet riittävän selkeät ja yksityiskohtaiset ja toisaalta pidetäänkö niiden noudattamista yleensä ammattitaitoisesti tehdyn kosteusarviolausunnon edellytyksenä.

Tässä tutkimuksessa esiin nousut tietämys erityyppisen menetelmäpoikkeavuuksien vaikutuksesta tuotettujen kosteusarviolausuntojen laatuun antaa hyvän pohjan myös laajemmalle tilastolliselle tutkimukselle, mikäli halutaan selvittää, kuinka suuri osa tuotetuista kosteusarviolausunnoista on laadittu menetelmillä, jotka ovat omiaan johtamaan virheelliseen lopputulokseen. Toisaalta laajan tilastollisen tutkimuksen tekeminen ei saadun tietämyksen ansiosta ehkä olekaan tarpeellista. Jo nyt voidaan kiinnittää huomio tutkimuksessa esille nousseisiin ongelmakohtiin ja, mikäli tarvetta sen jälkeen yhä ilmenee,

soveltaa mahdollisesti tilastollista menetelmää joskus myöhemmin.

Toinen tutkimuksessa esiin noussut ja ohjeisiin liittyvä kysymys on, olisiko käytettävät arviointimenetelmät yhtenäistettävä. Tutkituista lausunnoista vain yhdessä oli kerrottu sovellettu arviointimenetelmä, mutta se oli tarkoitukseen sopimaton eikä tuota luotettavaa tulosta arvioissa esitetystä tilanteesta sovellettuna. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa luvussa 5 esitelty Tampereen teknillisen yliopiston tutkijoiden käyttämä laskentamalli tuottanee riittävän tarkkoja tuloksia kosteusarviolausuntojen tarpeisiin, ja tarkempia laskelmiahan voi aina tehdä, mikäli tutkittava tilanne sitä edellyttää. Tämän perusteella saattaisi olla syytä arvioida, voisiko esitetty laskentamalli olla perustana tehtäville laskelmille ainakin niissä tapauksissa, joissa tarkasteltavan rakennuksen osan olosuhdetiedot muuttuvat suhteellisen hitaasti. Tyypillinen tällainen kohde ovat maanvaraiset alapohjarakenteet. Eri vuodenaikojen aiheuttamat olosuhdemuutokset ja niiden vaikutus tulisi kuitenkin ottaa huomioon.

Kolmas tutkimuksessa esiin noussut seikka on lausuntakäytäntöön sovellettavat riippumattomuusvaatimukset. Lausunnon 3 antanut toimija ei tyypillisesti osallistu muutostöiden urakointiin. Myös Lausunnon 2 antanut yritys toimii pääosin suunnittelu- ja asiantuntijatehtävissä. Ainoastaan Lausunnon 1 antaja on työllistynyt itse mittaamansa, arvioimansa ja suunnittelemansa muutostyön parissa. Lausunnon 4 antajan toiminta-alue ei ole tiedossa. Esimerkinomaisesti voitaneen tarkastella tässä tutkimuksessa esitettyä lausuntoa Lausunto 1.

Kun kosteusarvion tekijä on tutustunut tutkittavaan kohteeseen jo melko aikaisessa vaiheessa, hänelle on kertynyt kohteeseen liittyvää tietoa, jonka hyödyntämien voi olla kannattavaa, jos tutkimuksen tulokset osoittavat muutostöiden tarpeellisuuden. Kosteusarvion tekijä voi osallistua hankkeeseen suunnittelijana, valvojana tai urakoitsijana. Mutta tällöin saatetaan joutua tilanteeseen, jossa mahdolliset hankkeen jatkonäkymät ja niihin liittyvät tuotto-odotukset voivat olla osana vaikuttamassa tehtävään kosteusarvioon, sen painotuksiin tai tulkintoihin. Mahdollisuus varsinaisen kosteustieteiden

ulkopuolisten seikkojen painoarvon kasvamiselle on ilmeisesti suurempi niissä tapauksissa, joissa annettava lausunto ei perustu minkäänlaisiin laskelmiin vaan ainoastaan pelkkään ”asiantuntijuuteen”. Lausunto 1 on annettu tällaisessa tilanteessa.

Kosteusarviolausunnon antajan riippumattomuus on asia, jota saattanee olla mahdollista käsitellä myös kosteusarviomenettelyä koskevissa ohjeissa.

Neljäs tärkeä kosteusarviolausuntojen laatuun vaikuttava seikka on lausunnonantajien koulutustavaatimukset. Ympäristöministeriön ohjeessa vuodelta 1997 on kohta, jossa todetaan, että ”kuntotutkijan tulee tehdä vain sellaisia mittauksia, joiden tuloksia hän osaa analysoida”. Vaatimus perustuu ohjeen laatimisen aikaiseen tilanteeseen. Tutkimuksessa käytetyn aineiston valossa ei voida osoittaa tuotettujen kosteusarviolausuntojen laadun ja muodollisen koulutustason välistä suoraa riippuvuutta, eikä tässä tutkimuksessa tarkastellun aineiston perusteella Ympäristöministeriön ohjeen vaatimus kosteusarvoja mittaavan henkilön pätevyydestä näytä tarkoituksenmukaiselta. Esimerkiksi Lausunossa 1 sama henkilö on mitannut ja tulkinnut tulokset. Mitatut tulokset vastaavat melko hyvin suhteellisen kosteuden osalta laskemalla saatavia arvoja. Sen sijaan Lausunossa 1 tehtävät päätelmät poikkeavat useissa ratkaisevissa kohdissa olemassa olevasta fysiikan tietämyksestä, joten voitaneen päätellä, että tulkinnan tekijän osaaminen ja asiantuntemus soveltuisikin paremmin juuri mittausten tekemiseen. Koska Ympäristöministeriön ohje on jo vuodelta 1997, on luultavaa, että se kuvastaa tilannetta, joka on nyt jo muuttunut. Kosteusmittauksia tehdään nykyisin runsaasti, eivätkä kaikki mittaajat välttämättä ole kouluttautuneet tulkitsijoiksi, mikä onkin suhteellisen vaativa ja hyvää fysikaalista peruskoulutusta vaativa tehtävä. Jos mittaustehtävä on huolellisesti suunniteltu ja selkeästi kuvattu, siitä suoriutuminen ei välttämättä edellyttäne perusteellista asiantuntemusta tulosten tulkinnasta ja siihen liittyvästä laskennasta. Oleellista on, että sekä mittaus että tulkinta tehdään ammattitaitoisesti. Tekijöinä voinevat olla myös eri henkilöt.



**7 Liitteet**

Liite 1 Lasketut ja mitatut suhteelliset kosteudet Lausunnon 1 perusteella

Liite 2 Tausta-aineistona käytetyt kosteusarviolausunnot

## 8 Lähteet

Freeze, Cherry 1979: Groundwater, New Jersey, Prentice Hall Inc.

Incropera, de Witt 1990: Fundamentals of heat and mass transfer, Singapore, John Wiley & sons

Karvonen 2009: Vesitalouden verkkokirja. TKK. Espoo

Seppälä, Lampinen 2004: Aineensiirto-oppi, Helsinki, Ylioppilaskustannus/Otatieto

Laukkanen, 2009: Tutkimusselostus Nro VTT-S-08802-09 4.12 2009 , Vtt, Helsinki

Leivo, Rantala 2006: Maanvaraisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Rakennusteollisuuden kustannus oy. Jyväskylä

Lindberg, Wahlman, Suonketo, Paukku 2002: Kosteusvirtatutkimus, Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto

Meklin, ym. 2008: Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot C 2/2008, Helsinki, Kansanterveyslaitos

Merikallio 2002: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi, Suomen Betonitieto ry.

Merikallio, Niemi, Komonen 2007: Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen, Suomen betonitieto oy, Helsinki

Merikallio 2009: Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa , TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen väitöskirjoja , TKK-R-VK4 , Espoo 2009

Merikallio 2011: Puhelinkeskustelu 21. 11. 2011

Nevander, Elmersson 2001: Fukthandbok. AB Svensk Byggtjänst. Tukholma

Nilsson, L-O, Sjöberg, A., Togerö, Å. 2005. Fuktmätning i byggnader. En informations-skrift. Lund Tekniska Högskola. TVBM-7188, 64 s.

Pirinen, J. 1999: Hyvän rakennustavan mukainen pientalojen kosteuden hallinta eri vuosikymmeninä, lisensiaattityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere

RT-kortti numero 14-10675

Siikanen 1996: Rakennusfysiikka perusteet ja sovellukset, Rakennustieto oy, Helsinki

Vinha, Valovirta, Korpi, Mikkilä, Käkelä 2005: Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona , Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan osasto. Talonrakennustekniikan laboratorio , Tampere

Ympäristöministeriö 1997: Kosteus – ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö, Tampere

[http://budjetti.vm.fi/indox/tae/2009/aky\\_2009.html](http://budjetti.vm.fi/indox/tae/2009/aky_2009.html), Valtion talousarvioesitys 2009

<http://www.wufi.de/index.html> (15. 11. 2009 )

<http://www.wufi-pro.com/> (12. 5. 2011) kappale 5.2

[www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimusraportit/Raportti106.pdf](http://www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimusraportit/Raportti106.pdf)