



HANNA KEINÄNEN

*Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten  
lattioiden muovipäällysteiden  
korjaustarpeen arviointi*



OPINNÄYTETYÖT, RAKENNUSTERVEYS 2013



ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO  
*Koulutus- ja kehittämispalvelu  
Aducate*

HANNA KEINÄNEN

*Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin*

Opinnäytetyö

Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate  
Itä-Suomen yliopisto  
Kuopio  
2013

Aihealue:  
Rakennusterveys

Kopijyvä Oy  
Kuopio 2013

Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate  
<http://www.aducate.fi>  
<http://www.aducate.fi/rakennusterveyskoulutus>

## **TIIVISTELMÄ:**

Rakennusten sisäilmaselvitysten yhteydessä erityisesti uusissa rakennuksissa, törmätään usein tilanteeseen, jossa rakennusvaiheessa betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden asennus epäillään aloitetuksi liian kostealle betonialustalle. Rakennuksen käyttöönoton jälkeen tilojen käyttäjillä on saattanut alkaa esiintyä sisäilmahaittaan viittaavaa oireilua. Riittävän tarkkoja tulkintaohjeita vaurioituneiden lattiapäällysteiden emissioista sekä niiden tutkimus- ja mittausmenetelmistä ei ole annettu ja tästä johtuen on esiintynyt hyvin erilaisia tulkintoja vaurioin arvioinnista ja käytetyissä tutkimustavoissa mikä osaltaan on aiheutunut vilkasta julkista keskustelua, riitaa eri osapuolten keskuudessa, sisäilmahaittoja, tilojen käyttäjien turhaa huolestumista sekä tarpeettomia korjauskustannuksia. On muistettava, että täysin emissiovapaata lattiapäällystettä ei ole olemassa.

Opinnäytetyö sisältää betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden vaurioiden selvittämisen hyvät tutkimustavat kokonaisuuden tarkastelun toimintamalleista, kosteusmittausten ja aistinvaraisten havaintojen käytöstä, VOC-yhdisteiden näytteidenotto- ja analyysimenetelmien yhdenmukaistamisesta, viitearvoista sekä VOC-yhdisteiden kokonaismäärän (TVOC) käytöstä ongelmien arvioinnissa ja yksittäisten yhdisteiden merkityksestä. Opinnäytetyöhön on koottu aineistoa Työterveyslaitoksen Eero Palomäen aloitteesta 10.1.2012, 13.3.2012, 17.4.2012, 31.5.2012 ja 26.9.2012 järjestetyissä työpajoissa, joihin osallistui eri tutkimustahoja ja alan asiantuntijoita.

## **AVAINSANAT:**

betoni, kosteus, kuivumiskyky, emissio, tutkiminen ja korjaustarve

## **ABSTRACT:**

In the indoor air quality surveys can sometimes be found out, that the flooring material has been installed on the top of too moisture concrete. This can be a typical case in the new buildings. Shortly after completion of the building project, the users of the new building may have some irritation symptoms, which correspond to indoor air quality problems.

There are no exact guidelines or instructions how to survey and measure the condition of flooring materials in cases, when damage and harmful emissions are suspected. Therefore the survey methods, analyses and the interpretation of the analyses vary. This has caused vivid public discussions, disagreements, indoor air quality problems, unnecessary concern among the users and purposeless renovations.

This thesis is a guideline for evaluating the damage and emissions of flooring materials installed on concrete. The guideline consist of instructions and interpretation methods like moisture measuring, meaning of sensory impressions, standardizing the sampling and analyzing methods and boundary values for VOC and TVOC. The thesis also gives instructions for evaluating the meaning of the analysis result and the significance of single compounds.

Material for this thesis has been gathered in the workshops on the 10.1.2012, 13.3.2012, 17.4.2012, 31.5.2012 and 26.9.2012 organized by Eero Palomäki from the Finnish Institute of Occupational Health. The workshop participants were experts from research institutions and companies.

## **KEY WORDS:**

concrete, moisture, drying ability, emission, survey, renovation need



## *Esipuhe*

Tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Vahanen Oy:n sekä eri tutkimustahojen ja asiantuntijoiden kesken. Opinnäytetyötä varten koottu eri tutkimustahojen ja alan asiantuntijoiden kokemusperäinen tieto ja yhteinen konsensus hyvästä tutkimustavasta perustuvat Työterveyslaitoksen Eero Palomäen aloitteesta järjestetyn työpajan tuloksiin. Konsensustyöpajaan osallistuvia tahoja olivat:

Vahanen Oy	Hanna Keinänen, Sami Niemi ja Jarno Komulainen
Työterveyslaitos	Eero Palomäki, Tapani Tuomi, Peter Backlund, Hanna Hovi, Sirpa Rautiala ja Tuomo Lapinlampi
VTT Expert Services Oy	Helena Järnström, Kiia Miettunen ja Rain Köiv
Tampereen Teknillinen Yliopisto	Jommi Suonketo
ISS Proko Oy ja myöhemmin Sirate Oy	Mikko Kallinen, Tommi Vehviläinen ja Timo Murtoniemi
Halton Oy	Markku Hyvärinen
Suomen Sisäilmakeskus Oy ja myöhemmin Sisäilmatalo Kärki Oy	Jukka-Pekka Kärki ja Reetta Valkeinen
Rakennustietosäätiö	Tiina Tirkkonen
Valvira	Pertti Metiäinen
Etelä-Suomen Aluehallintovirasto	Helena Mussalo-Rauhamaa ja Vesa Pekkola
YM/Kosteus- ja hometalkoot	Karoliina Viitamäki
Tarmo ja Terveys Oy ja myöhemmin Mikrobioni Oy	Markku Seuri
Suomen Yliopistokiinteistöt Oy	Anne Korpi
Senaatti-kiinteistöt	Timo Keskikuru ja Kirsi Liljenroos

Upofloor Oy

Jouko Siltanen, Kaisa Penttilä ja Tomi Teho-  
maa

Kiilto Oy

Raija Polvinen, Tapani Harjunalainen ja Ari  
Tuominen

Tarkett

Rami Kakko ja Ronald Karlsson

Opinnäytetyötä ovat rahoittaneet Vahanen Oy:n lisäksi Lattian- ja Seinänpäällysteliit-  
to Ry, Talonrakennusteollisuus Ry ja Betoniteollisuus Ry. Haluan kiittää kaikkia tut-  
kimukseen osallistuneita ja erityisesti Eero Palomäkeä ja Sami Niemeä työn ohjauk-  
sesta ja mahdollisuudesta työn toteuttamiselle.

16.4.2013

Hanna Keinänen



# Sisällysluettelo

1 JOHDANTO.....	9
1.1 TUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA TAVOITE .....	12
2 LATTIAPÄÄLLYSTEMATERIAALEJA JA NIIDEN OMINAISUUKSIA .....	14
2.1 YLEISTÄ.....	14
2.2 MUOVIPÄÄLLYSTEIDEN PEHMITTIMET JA NIIDEN HAJOAMISTUOTTEET .....	16
2.3 MATTOLIIMAT .....	18
2.4 TASOITTEET .....	19
2.5 VESIHÖYRYNLÄPÄISEVYYKSIÄ.....	19
3 LATTIAPÄÄLLYSTEIDEN VAURIOITUMINEN JA SIITÄ AIHEUTUVAT SISÄILMAHAITAT.....	21
4 VOC- YHDISTEIDEN TUTKIMUS- JA ANALYYSIMENETELMÄT.....	24
4.1 MITTAUSMENETELMÄT .....	24
4.1.1 Ilmanäytteet .....	24
4.1.2 FLEC-näytteet.....	25
4.1.3 Bulk-materiaalinäytteet .....	26
4.2 ANALYYSIMENETELMÄT .....	26
4.3 ESIMERKKI LABORATORIOVERTAILUSTA .....	28
5 VOC- YHDISTEIDEN NORMAALIPITOISUUDET JA OHJEARVOT .....	32
5.1 ILMANÄYTTEET .....	32
5.2 FLEC-NÄYTTEET .....	34
5.3 BULK-MATERIAALINÄYTTEET .....	36
5.4 ESIMERKKEJÄ ERITYYPPISTEN MUOVIPÄÄLLYSTEIDEN VOC-PÄÄSTÖISTÄ .....	37
6 LASKENNALLINEN ANALYYSI.....	47
6.1 TEORIA JA LASKENTAKAAVAT SEKÄ KÄYTETYT OHJELMISTOT .....	47
6.1.1 Sisäilman laadun mallintaminen.....	47
6.1.2 Betonirakenteen kosteusjakauman mallintaminen .....	50
6.2 LASKENTATULOKSET.....	52
6.2.1 Sisäilman laadun mallinnustulokset .....	52
6.2.2 Betonirakenteen kosteusjakauman mallinnustulokset.....	55
6.3 TULOSEN TARKASTELU .....	57
6.3.1 Sisäilman laadun mallinnustulosten tarkastelu .....	57
6.3.2 Betonirakenteen kosteusjakauman mallinnustulosten tarkastelu .....	59
7 TUTKIMUSTAPAOHJE BETONIRAKENTEISTEN LATTIOIDEN MUOVIPÄÄLLYSTEIDEN KORJAUSTARPEEN ARVIOINTIIN.....	61
7.1 YLEISTÄ .....	61

7.2 TUTKIMUSVAIHE 1: TUTKIMUSHYPOTEESIN MUODOSTAMINEN .....	64
7.2.1 Lähtötiedot .....	64
7.2.2 Katselmuskäynti tutkimuskohteessa .....	64
7.2.3 Tulosten tulkinta ja tutkimussuunnitelman laatiminen .....	64
7.3 TUTKIMUSVAIHE 2: KOHTEEN RAKENNE- JA KOSTEUSTEKNISET TUTKIMUKSET .....	66
7.3.1 Kohdetiedot .....	66
7.3.2 Pintakosteuskartoitus .....	67
7.3.3 Viiltomittaukset .....	69
7.3.4 Porareikämittaukset .....	71
7.3.5 Näytepalamittaukset .....	73
7.3.6 Kosteusjakaumien erikoistapaukset .....	74
7.3.7 Muu havainnointi mittausten yhteydessä .....	77
7.3.8 Tulosten tulkinta .....	80
7.4 TUTKIMUSVAIHE 3: SISÄILMAN JA MATERIAALIEN VOC-ANALYYSIT .....	81
7.4.1 Yleistä VOC-mittauksista .....	81
7.4.2 Ilmanäytteet .....	82
7.4.3 FLEC-näytteet ehjän lattiapäällysteen pinnasta .....	83
7.4.4 Bulk-materiaalinäytteet .....	84
7.4.5 VOC-yhdisteiden määrittäminen vaurioituneen lattiapäällysteen alapuolisesta betonirakenteesta .....	86
7.4.6 Tulosten tulkinta ja ohjeiden soveltaminen .....	87
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	88
LÄHDELUETTELO .....	91

## TAULUKKOLUETTELO

- Taulukko 1 Eri tuoteryhmien vesihöyrynläpäisykertoimet  $W$  [ $\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ ]
- Taulukko 2 Lähtötiedot sisäilmamittauksista
- Taulukko 3 Viitearvoja asuntojen sisäilmapitoisuuksille 6 kk ja 12 kk ikäisille rakennuksille
- Taulukko 4 Viitearvoja yhdisteryhmille toimistorakennusten sisäilmapitoisuuksille
- Taulukko 5 Viitearvoja pintaemissioille 12 kk ikäiselle rakenteelle
- Taulukko 6 Mittaustulokset julkisen tilan ikääntyneen muovimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua
- Taulukko 7 Mittaustulokset noin kaksi vuotta sitten uusitun tiivispintaisen julkisen tilan muovimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua
- Taulukko 8 Mittaustulokset asunnon noin kaksi vuotta vanhan joustovinyylimuovimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua
- Taulukko 9 Mittaustulokset julkisen tilan muovimaton emissiomittauksissa todellisessa tutkimuskohteessa, jossa ensimmäiset mittaukset ovat lähtötilanteessa, kun maton alla on kohonnutta kosteutta, ja seurantamittaukset kymmenen vuoden kuluttua, kun kosteus on kuivanut
- Taulukko 10 Mittaustulokset linoleumimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä ei ole esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua
- Taulukko 11 Mittaustulokset linoleumimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua
- Taulukko 12 Mittaustulokset pehmitinvapaan n. 2 vuotta vanhan päällysteen päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua
- Taulukko 13 Mallinnustapausten 1-4 mallinuksessa käytetyt lähtötiedot

## KUVALUETTELO

- Kuva 1 Suomen lattiapäällystemarkkinat vuodelta 2011
- Kuva 2 Periaatekuva materiaalin VOC-yhdisteiden emissioista ajan funktiona
- Kuva 3 Materiaaliryhmien keskimääräiset TVOC-emissiot ennen päästöluokitusta verrattuna luokiteltuihin tuotteisiin
- Kuva 4 Muovimaton uudempi pehmitin DINCH ja vanhempi pehmitin DINP
- Kuva 5 Muovimaton pehmittimen DEHP:n alkalinen hydrolyysi
- Kuva 6 Adsorbentteja ja niiden avulla mitattavien VOC-yhdisteiden kiehumispistevälit
- Kuva 7 Viiden eri analyysilaboratorion ilmoittamat näytteiden TVOC-pitoisuudet [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] esimerkkikohteessa
- Kuva 8 Viiden eri analyysilaboratorion ilmoittamat näytteiden tolueenipitoisuudet [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] esimerkkikohteessa
- Kuva 9 Viiden eri analyysilaboratorion ilmoittamat näytteiden 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] esimerkkikohteessa
- Kuva 10 Mallinnustapaus 1, josta nähdään ilmanvaihdon tehokkuuden vaikutusta lattiapäällysteen primääriemissioista peräisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen
- Kuva 11 Mallinnustapaus 2, josta nähdään ulkovaipan ilmanpitävyyden ( $n_{50}$ -luvun) vaikutusta lattiapäällysteen primääriemissioista peräisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen
- Kuva 12 Mallinnustapaus 3, josta nähdään paikallisen vaurioalueen pinta-alan laajuuden vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen, kun vaurioalueelta emittoituu sisäilmaan sekundääriemissioita
- Kuva 13 Mallinnustapaus 4, josta nähdään paikallisen vaurioalueen sekundääriemission suuruuden vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen
- Kuva 14 Mallinnustulokset suhteellisesta kosteuspitoisuudesta rakenteen sisäpinnassa ja päällysteen alapuolella 15 vuoden tarkastelujaksolla
- Kuva 15 Mallinnustulokset rakenteen poikkileikkauksen suhteellisen kosteuspitoisuuden jakaumasta lähtötilanteessa ja viiden vuoden kuluttua päällystämisestä
- Kuva 16 Mallinnustulokset rakenteen poikkileikkauksen suhteellisen kosteuspitoisuuden jakaumasta kymmenen vuoden ja 15 vuoden kuluttua päällystämisestä
- Kuva 17 Tutkimuskohteessa mitattuja kosteuspitoisuuksia eri syvyyksillä rakennetta
- Kuva 18 Tutkimuskohteessa mitattuja kosteuspitoisuuksia eri syvyyksillä rakennetta
- Kuva 19 Vuokaavio tutkimustapaohjeesta betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arvioimiseksi
- Kuva 20 Kuvasarjaohje viiltomittauksen tekemistä varten

Kuva 21	Saippuoitunut mattoliima
Kuva 22	Kuvia päällystevaurioista
Kuva 23	Kuvat samasta päällystemateriaalista hyvässä kunnossa olevana ja vauriotuneena
Kuva 24	Kuvat ISO 16000-10 standardin mukaisesta FLEC-mittausmenelmästä ja NT Build 484 standardin mukaisesta FLEC-menetelmästä
Kuva 25	Rakenteesta irrotettu materiaalinäyte
Kuva 26	FLEC-mittaus betonirakenteen pinnasta päällysteen poistamisen jälkeen

#### KESKEISET LYHENTEET JA SYMBOLIT

$C_a$	sisäilman pitoisuus	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
$n$	ilmanvaihtokerroin, IVK	1/h
$SE_{Ra}$	spesifinen emissionopeus	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
$L$	pinta-alan suhde tilavuuteen	$\text{m}^2/\text{m}^3$
$W_v$	vesihöyrynläpäisykerroin	m/s
$W_p$	vesihöyrynläpäisykerroin	$\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$
$Z_v$	vesihöyrynvastus	s/m
$Z_p$	vesihöyrynvastus	$(\text{m}^2\text{sPa})/\text{kg}$
$\delta_v$	vesihöyrynläpäisevyys	$\text{m}^2/\text{s}$
$\delta_p$	vesihöyrynläpäisevyys	$\text{kg}/(\text{msPa})$
$\mu$	vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	-
$g$	kosteusvirran tiheys	$\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$
$R$	yleinen kaasuvakio	8314,3 J/kmolK,
$M_v$	vesihöyryn molekyylipaino	18,02 kg/kmol,
$t$	lämpötila	$^{\circ}\text{C}$
$d$	materiaalin paksuus	m
$\delta_{p,ilma}$	seisovan ilman vesihöyrynläpäisevyys	$\text{kg}/(\text{msPa})$

**SUHTEELLINEN KOSTEUS (%RH)** Ilman suhteellinen kosteuspitoisuus, joka ilmoittaa kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästymiskosteuspitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa.

DIFFUUSIO	Kaasumolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa olevia yksittäisen kaasun pitoisuuseroja (tai osapaine-eroja). Diffuusiossa kaasu siirtyy korkeammasta pitoisuudesta alhaisempaan pitoisuuteen.
VESIHÖYRYNLÄPÄISEVYYS	Kuvaa vesimäärää, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen vesihöyrypitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen. Kosteus voi siirtyä materiaalissa muissakin olosuhteissa kuin vesihöyrynä, jolloin voidaan puhua myös materiaalin kosteudenläpäisevyydestä.
VESIHÖYRYNLÄPÄISYKERROIN	Kuvaa vesimäärää, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun rakenneosan eri puolilla olevien ilmatilojen vesihöyrypitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen.
VESIHÖYRYNVASTUS	Tarkoitetaan vesihöyrynläpäisevyyden käänteisarvoa.
EMISSIO	Haihtuminen, materiaalista vapautuu kaasumaisessa olomuodossa olevia yhdisteitä ympäröivään ilmaan.
FLEC	Field and Laboratory Emission Cell, pintaemissioiden keräyslaite.
PVC	Polyvinyylikloridi.
TVOC	Total Organic Compounds, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä.
VOC	Volatile Organic Compound, haihtuva orgaaninen yhdiste.
MSD	Mass selective detector.

FID	Flame ionization detector
TXIB	2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate
SER	Specific emission rate

#### LIITTEET

Liite 1 Laskennan lähtötietoparametreja (7 sivua)

# 1 Johdanto

Rakennusten sisäilmaselvityksen yhteydessä, erityisesti uudehkoissa rakennuksissa, törmätään usein tilanteeseen, jossa rakennusvaiheessa betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden asennus epäillään tehdyn liian kostealle betonialustalle. Rakennuksen käyttöönoton jälkeen tilojen käyttäjillä on saattanut alkaa esiintyä sisäilmahaittaan viittaavaa oireilua, jonka he itse arvioivat liittyvän materiaalipäästöihin. Viimevuosina on siirrytty aiempaa vähäpäästöisempiin, testattuihin materiaaleihin ja rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan on ruvettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Viimeaikoina on tästä huolimatta päädytty myös väärin johtopäätöksiin ja tarpeettoman suuriin korjauslaajuuksiin kirjavien tutkimusmenetelmien ja analyysivastausten virheellisen tulkinnan perusteella. Myös täysin hyväkuntoisia päällysteitä on uusittu, vaikka ongelman aiheuttaja on ollut aivan toisaalla, esimerkiksi toimimaton ilmanvaihto tai ilmavuodot ryömintätilasta. Riittävän tarkkoja yleisesti hyväksytyjä tulkintaohjeita lattiapäällysteiden vaurion tunnistamiseen emissiomittausten perusteella ja niiden tutkimus- ja mittausten menetelmistä ei ole annettu. Ei tiedä tarkasti, mikä on normaali taso ja mikä viittaa poikkeavaan tilanteeseen. Eri tutkimustahoilla on erilaiset tutkimustavat ja vaurion arvioinnin kriteerit. Tästä on aiheutunut vilkasta julkista keskustelua, riitaa eri osapuolten keskuudessa, sisäilmahaittojen korjaamisen pitkittymistä, tilojen käyttäjien huolestumista ja luottamuksen menettämistä asiaa hoitaviin tahoihin sekä tarpeettomia korjauskustannuksia.

Betonirakenteisen lattian muovipäällyste kiinnitetään alustaan liimaamalla. Nykyisin käytetään vesiliukoisia liimoja. Ennen päällysteen asentamista betonin on oltava riittävän kuivaa arvostelusyvyyksissä. Betonirakenteiden kosteuspitoisuuden raja-arvot on määritetty julkaisussa Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet 2007. Ohjeen mukaan betonin suhteellinen kosteuspitoisuus muovipäällysteen alla tulisi olla päällystyshetkellä arviointisyvyydellä enintään 85 %RH ja betonin ja/tai sen tasoitteen pinnassa sekä 1...3 cm syvyydellä enintään 75 %RH viimeisenkin tasoituksen jälkeen.



Lattiapäällysteen asentamisen jälkeen syvemmillä rakenteessa oleva kosteus tasaantuu kuivempaa pintaa kohden siten, että kosteuspitoisuus betonin pinnassa päällysteen alla kasvaa päällystämisen jälkeen. Nykytietämyksen mukaan useimpien liimojen kriittisenä suhteellisen kosteuden raja-arvona pidetään 85 %RH, mikä tarkoittaa, että suhteellinen kosteus päällysteen alla liimatilassa ei saa nousta yli tämän arvon liian pitkäksi aikaa missään vaiheessa liiman kovettumisen jälkeen. Alustabetonin liian korkea kosteuspitoisuus ja alkalinen ympäristö voivat aiheuttaa sekä liimojen sideaineessa että päällystemateriaalissa kemiallisia hajoamisreaktioita ja/tai mikrobikasvua, jotka voivat aiheuttaa haittaa käyttäjien terveydelle. Kosteuden aiheuttamat hajoamisreaktiot voivat myös värjätä pintamateriaaleja ja heikentää päällysteen tartuntaa alustaan. Lisäksi pintarakenteen sietokykyyn vaikuttaa mm. käytettyjen materiaalien koostumus, alustan pH sekä alustassa mahdollisesti olevat epäpuhtaudet mm. alustaan imeytyneet kemikaalit, liuottimet, pölyt yms.

Massiivisissa betonirakenteissa on vielä joskus hyvinkin pitkän ajan kuluttua runsaasti rakennusaikaista kosteutta syvemmillä betonissa. Tuolloin kosteuspitoisuus heti muovipäällysteen alapuolisessa pintakerroksessa (mattoliimassa/tasoitteessa) on usein alhaisempi. Rakenteen poikkileikkauksen kosteusjakauma ei ole tasainen. Pintarakenteen mahdollisen vaurioitumisen kannalta merkitystä on vain siihen kontaktissa olevan pinnan kosteuspitoisuudella (mattoliimassa/tasoitteessa).

**Emissioiden vaikutusta sisäilman laatuun uusissa rakennuksissa on tutkittu, mutta kattavaa tietoa kosteuden ja alkalisuuden vaikutuksesta erityyppisten ja ikäisten materiaalien normaaliemissioihin ei ole riittävästi.** Materiaaliemissioita on tutkittu paljon laboratorion vakio-olosuhteissa, mutta rakennuksissa olosuhteet poikkeavat huomattavasti laboratorioden vakio-olosuhteista mm. lämpötilan ja kosteuspitoisuuksien osalta. Pääsääntöisesti materiaalien emissiot kasvavat kun lämpötila ja kosteuspitoisuus kasvavat. Useiden Ruotsissa 80-luvulla tehtyjen tutkimusten tulosten ja käytännössä saatujen kokemusten perusteella on päädytty kompromissiin lattioiden päällystämisen kosteuspitoisuuksien raja-arvoista. Kosteuspitoisuuden raja-arvon on kuitenkin oletettu olevan selvästi varmallalla puolella.

Lattiapäällysteiden emissioiden vaikutusta sisäilman laatuun tulee nykytietämykseen perustuvan hyvän tutkimus- ja selvityskäytännön mukaisesti arvioida tutkimuskohteessa tehtävien i) sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (Volatile organic compounds eli VOC) mittausten sekä ii) ehjän lattiapäällysteen pinnalta otettujen emissiomittausten (Field and laboratory emission cell eli FLEC -menetelmä) ohessa aina iii) rakennekosteusmittauksin sekä tiloissa ja iv) lattiapäällysteen alapuolelta tehtävillä aistinvaraisilla havainnoilla. Lisäksi tutkijoiden tulisi, mieluiten yhteistyössä terveydenhuollon ammattilaisen kanssa, pyrkiä kartoittamaan koetun oireilun esiintyvyyttä ja laajuutta, jotta saataisiin käsitys teknisten löydösten vaikutuksesta tilojen käyttäjiin.

Kosteusmittausten tulosten perusteella voidaan yleensä arvioida pintarakenteen vaurioitumisen syytä ja mahdollista vaurioitumisen vaikutusta sisäilman laadun kannalta. Kosteusmittauksilla ja aistinvaraisilla havainnoilla on tärkeä merkitys mahdollisten päällystevaurioiden todentamiseen. Tällä hetkellä ei tiedetä, mikä päällystevaurion yhteydessä syntyvä mekanismi, yhdiste ja/tai yhdistecocktail aiheuttaa ihmisten oireilun, joten ei tiedetä tarkkaan, mitä emissioita tulisi mitata tai tunnistaa. Tällä hetkellä päällystevauriotutkimuksessa tulee keskittyä ensisijaisesti päällysteen vaurioitumisen arviointiin eikä pelkästään sisäilman laatuun vaikuttavien kemiallisten emissioiden mittaamiseen.

Betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden vaurioiden selvittämisen hyväksi yhteiseksi tutkimustavaksi tulee määrittää selkeät ohjeet i) kokonaisuuden tarkastelun toimintamalleista, ii) kosteusmittausten ja aistinvaraisten havaintojen käytöstä, iii) VOC-yhdisteiden näytteenotto- ja analyysimenetelmien yhdenmukaistamisesta, iv) viitearvoista (mikä on normaalia, mikä hieman normaalista poikkeavaa ja mikä selvästi normaalista poikkeavaa) sekä v) VOC-yhdisteiden kokonaismäärän (TVOC) käytöstä ongelmien arvioinnissa ja vi) yksittäisten yhdisteiden merkityksestä.

Kaikkiin edellä esitettyihin asioihin löytyi runsaasti tietoa mukana olleilta tutkimustahoilta. Tieto tulee koota yhteen mahdollisimman laajalta kokemuspohjalta yhteiseksi noudatettavaksi ohjeistoksi muistaen, että jokainen rakennus on yksilö ja tutkit-

tava omana kokonaisuutenaan. Tällä hetkellä yleisesti käytössä olevat tutkimustavat ovat tyypillisesti jakautuneet kahteen eri osa-alueeseen, joita ovat joko rakenne- ja kosteustekniset tarkastelut tai VOC-mittaukset. Vain harva toimija on ottanut molemmat osa-alueet tarkasteltavaksi samanaikaisesti. Lisäksi jotkut toimijat ovat ottaneen käyttöön omia mittausmenetelmiä ja viitearvoja ilman julkaistua tieteellistä näyttöä. Näitä kahta osa-aluetta, eli rakenne- ja kosteustekniset tarkastelut sekä VOC-mittaukset, ei voida kuitenkaan erottaa toisistaan kokonaisvaltaisessa päällystevaurion arvioinnissa vaan ne liittyvät aina oleellisesti toisiinsa. Yksittäisillä VOC-näytteenotoilla ei voida määrittää korjaustarvetta, vaan tarkastelussa tulee aina kiinnittää huomiota rakenne- ja kosteustekniseen tarkasteluun, joilla on oleellista vaikutusta tutkittaviin VOC-emissioihin. Tässä työssä laaditussa tutkimustapaohjeessa keskitytään kokonaisuuden tarkasteluun.

Tähän työhön on koottu aineistoa Työterveyslaitoksen Eero Palomäen aloitteesta 10.1.2012, 13.3.2012, 17.4.2012, 31.5.2012 ja 26.9.2012 järjestetyistä työpajoista, johon osallistui tutkimuslaitoksia, eri toimijoita ja alan asiantuntijoita. Työryhmän tavoitteena oli saada määriteltyä kokemuspohjaisen tiedon perusteella hyvät tutkimustavat lattiapäällystevaurioiden aiheuttamien sisäilmahaittojen selvittämiseksi.

## **1.1 TUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA TAVOITE**

Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin perustuu tieteellisen näytön läpikäyntiin, eri tutkimustahojen ja asiantuntijoiden kokemuseräiseen tietoon, kenttätutkimuksiin sekä myös kirjallisuudesta löytyvien soveltuvien tietojen kokoamiseen sekä laskennallisiin analyysiin. Laskennallisten analyysien tavoitteena on lisäksi selvittää ja kehittää työkaluja sisäilman laadun arvioimiseen.

Eri tutkimustahojen kokemuseräisen tiedon kokoaminen ja yhteisen hyvän tutkimustavan määrittäminen perustuu Työterveyslaitoksen vanhemman asiantuntijan, arkkitehti Eero Palomäen aloitteesta järjestettyjen työpajojen tuloksiin ja siellä yhteisesti sovittuihin asioihin. Työpajoihin osallistui myös tutkimuksia tehneitä lääketie-

teen edustajia, joiden kanssa koottiin tietoa terveydellisen riskin arvioimiseksi muovipäälysteongelmaan liittyen.

Kenttätutkimusosuus toteutettiin kokoamalla yhteen Vahanen Oy:ssä tehtyjen kenttätutkimuksien tuloksia. Käytetty aineisto rajattiin pääsääntöisesti rakennuksiin, joiden rakenteiden kosteuspitoisuus tiedettiin riittävän tarkasti. Kenttätutkimustuloksia käytetään esimerkkeinä tämän tutkimuksen ohjeessa ja tulokset käsitellään ilman tarkempia kohdetietoja.

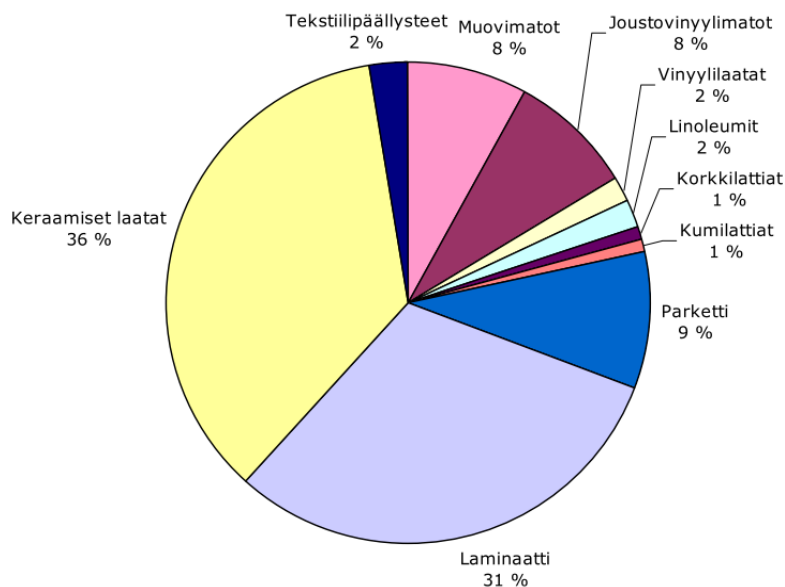
Tämän tutkimuksen laskennallinen analyysi perustui stationääritilan laskennallisen tarkastelun lisäksi sisäilman laadun dynaamiseen mallintamiseen. Laskennallisen analyysin tavoitteena oli tarkastella lattiapäällysteen kemiallisten emissioiden vaikutusta sisäilman laatuun huomioiden tarkasteltavan tilan ilmanvaihdon toiminta ja voimakkaasti VOC-yhdisteitä emittoivan alueen laajuus. Lisäksi lämpö- ja kosteusteknistä mallintamista tehtiin betonirakenteen kuivumiskyvyn arviointia varten lattian muovipäälysteiden eri vesihöyrynläpäisevyyksillä. Laskentatuloksia on käytetty tiettyä tilannetta havainnollistavana esimerkkinä.

Tämän lopputyön tavoitteena oli koota jo olemassa olevat tiedot, jotka sisältävät mm. alan julkaisuja ja työpajan tulokset, betonirakenteisten lattioiden päällystämistä muovipäälysteillä sekä niihin liittyvistä vaurioista ja virhetilanteista. Muovipäälysteiden toiminnan arvioinnin tavoitteena oli saada lisätietoa betonirakenteiden oikea-aikaisesta päällystämisestä, muovipäälysteiden vaurioiden todentamiseen käytettävistä hyvistä tutkimustavoista, tulosten tulkinnoista ja viitearvoista.

## 2 Lattiapäällystemateriaaleja ja niiden ominaisuuksia

### 2.1 YLEISTÄ

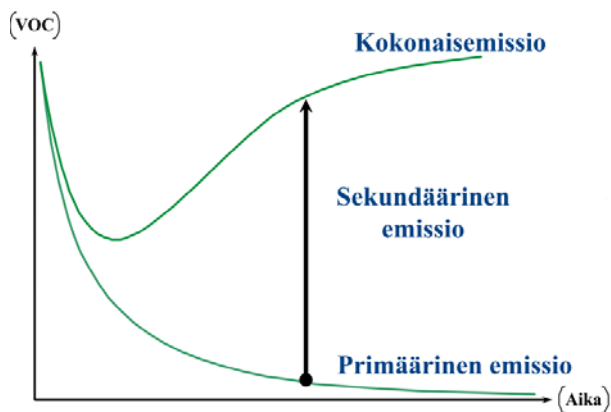
Lattiapäällystemateriaaleja on monenlaisia ja niiden ominaisuudet eroavat toisistaan niiden ominaisuuksien ja materiaalikoostumusten osalta. Tässä työssä keskitytään alustaan liimattaviin mattoihin ja vastaaviin materiaaleihin liimattavina laattoina. Näihin kuuluvat muun muassa vinyylipäällysteet, kuten julkisten tilojen ja asuntojen muovimatot ja -laatat. Lisäksi markkinoilla on linoleumipäällysteitä, ftalaatti vapauta tuotteita sekä kasviöljypehmitinpohjaisia tuotteita. Kasviöljypehmitinpohjaisia tuotteita ei ole vielä tarkemmin tutkittu vauriotutkimuksissa. Kuvassa 1 on esitetty kooste Suomen lattiapäällystemarkkinoista vuodelta 2011, jolloin asennettiin yhteensä 16 miljoonaa m<sup>2</sup> lattiapäällysteitä.



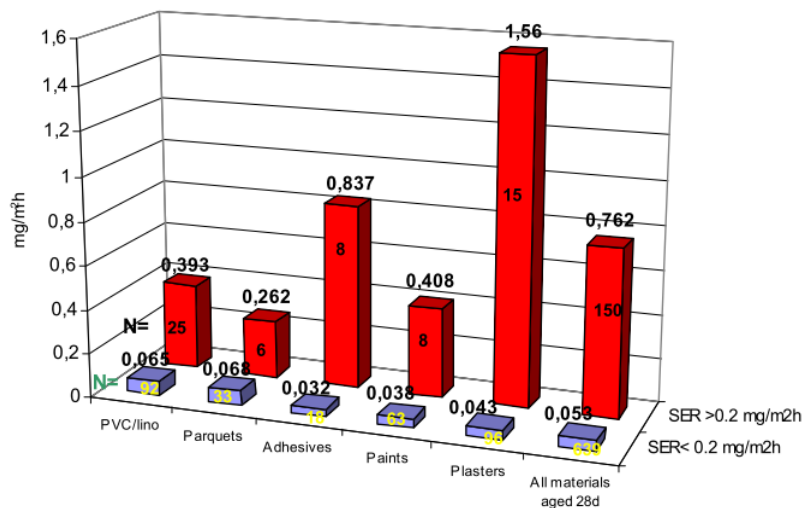
*Kuva 1. Suomen lattiapäällystemarkkinat vuodelta 2011. Päällysteiden yhteenlaskettu määrä on 16 miljoonaa m<sup>2</sup>. (Penttilä K., 2012). Keraamisten laattojen osuutta kasvattaa se, että mukana ovat myös seinälaatoitukset. Tässä työssä käsiteltävien lattiapäällysteiden osuus on tämän aineiston perusteella 22 % kaikista lattiapäällystemateriaaleista.*

Rakennus- ja pintamateriaalien emissiot ovat yksi monista erilaisista sisäilman laatuun vaikuttavista tekijöistä. Materiaaliemissioita tulee muistakin pinnoista kun latioista. Vaurioitumattomien materiaalien ominaispäästöjä kutsutaan primääriemissi-

oiksi ja ne voivat olla joskus suuriakin. Käytön aikana materiaalit saattavat myös ha-  
jota kemiallisesti, jolloin niistä vapautuvia emissioita kutsutaan sekundääriemissi-  
oiksi, ks. kuva 2. Suomalaisten materiaalien päästöluokitus eli M1-luokitus on oleelli-  
sesti vähentänyt uusien materiaalien päästöjä jo vuodesta 1995 lähtien ja siten myös  
edistänyt vähäpäästöisten rakennusmateriaalien kehitystyötä ja käyttöä. Luokkaan  
M1 kuuluvat emissiotestatut materiaalit, joiden TVOC-kokonaisemissiot ovat alle 200  
 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , formaldehydiemissio alle 50  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ammoniakkiemissio alle 30  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja  
IARC:n (International Agency for Research on Cancer) luokittelun mukaisten luok-  
kaan 1 kuuluvien karsinogeenisten aineiden emissio on alle 5  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Lisäksi M1-  
luokitellut tuotteet eivät saa haista. Materiaalien ominaispäästöt pienenevät materi-  
aalin vanhentuessa. Täysin emissiovapaita lattioiden muovipäällysteitä ei ole ole-  
massa. Kuvassa 3 on esimerkki materiaaliryhmien keskimääräisistä päästöistä ennen  
päästöluokitusta verrattuna luokiteltuihin tuotteisiin. (Järnström H., 2012)



*Kuva 2. Periaatekuva materiaalin VOC-yhdisteiden emissioista ajan funktiona. Toinen ku-  
vaaja esittää materiaalin primääriemissiota, joka vähenee materiaalin vanhentuessa. Toinen  
kuvaaja esittää kokonaisemissiota, joka on seurauksena liiallisen kosteuden aiheuttamasta  
sekundääriemissiosta. (Laurén G., 2012). Nykytietämyksen perusteella ei kuitenkaan tiedetä  
miten suurena, haitallisena ja kuinka pitkään emissiot jatkuvat päällystevaurion tapauksessa.*



Kuva 3. Materiaaliryhmien keskimääräiset TVOC-emissiot ennen päästöluokitusta verrattuna luokiteltuihin tuotteisiin (Järnström H., 2012). Punaisilla pylväillä on kuvattu materiaalin keskimääräiset emissiokertoimet SER [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ] ennen päästöluokitusta ja sinisillä pylväillä materiaalien keskimääräiset emissiokertoimet SER [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ] päästöluokitelluista materiaaleista.

## 2.2 MUOVIPÄÄLLYSTEIDEN PEHMITTIMET JA NIIDEN HAJOAMIS-TUOTTEET

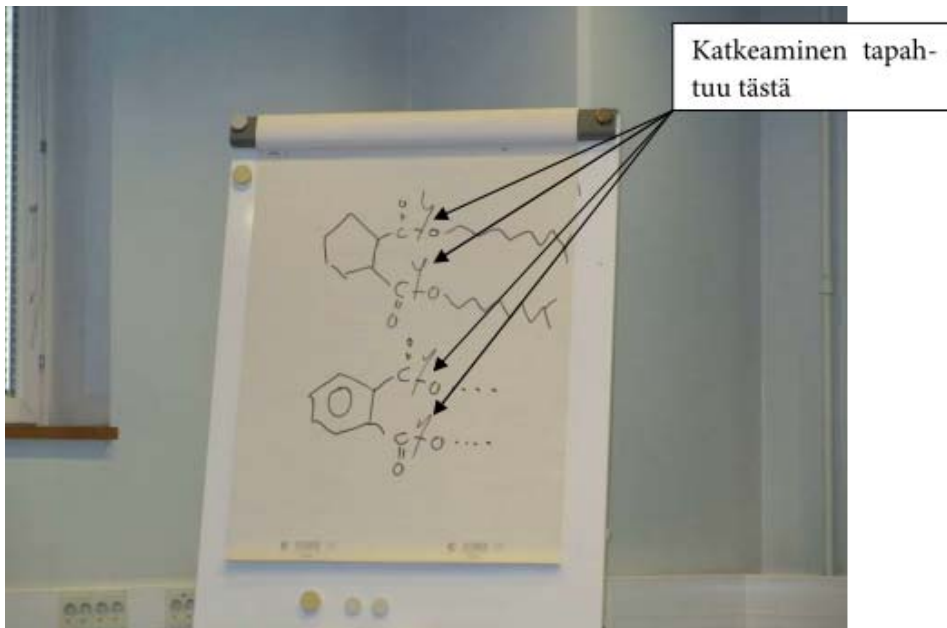
Muovipäällysteet sisältävät tyypillisesti PVC-muovia ja pehmitinaineita, jotka tekevät materiaalista taipuisan. Taipuisa koostumus helpottaa mm. päällysteen asentamista. Pehmitinaineet eivät ole kemiallisesti sitoutuneet PVC-muoviin, minkä vuoksi materiaaleista haihtuu materiaalien ominaispäästöjen lisäksi myös pehmittimistä peräisin olevia päästöjä. Linoleumipäällysteet eroavat merkittävästi ominaispäästöiltään vinyylipäällysteistä. Niiden tyypillisimmät päästöt ovat orgaanisia happoja ja pitkäketjuisia aldehydejä, jotka ovat peräisin orgaanisista valmistusaineista, kuten juuttikangas, puujauho, pellavansiemenöljy, pihka, kalkkikivi sekä väri- ja lisäaineet. Tarkasteltaessa päällystevaurioita tulee huomioida muovipäällysteen lisäksi myös mattoliiman, tasoitteen ja pohjustusaineen (primerin) ominaispäästöt. Monet matto-liimat sisältävät jo valmiiksi 2-etyyli-1-heksanolia.

Tyypillisesti asuinrakennuksissa käytetyt joustovinyylimuovimatot sisältävät noin 30 paino-% pehmittimiä. Julkisten tilojen vinyylipäällysteet sisältävät 13-20 paino-% pehmittimiä. Kvartsivinyylilaatoissa pehmittimiä on noin 6 paino-%. Markkinoilla on myös pehmitinvapaita lattiapäällysteitä. (Penttilä K., 2012)

Vuoteen 2007 asti muovimatoissa yleisimmin käytetty pehmitin oli di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti eli DEHP. DEHP ei ole kemiallisesti sitoutunut päällysteen PVC-muoviin ja sen hajoamistuotteena syntyy 2-etyyli-1-heksanolia. Myös muiden kahdeksanhiilisen esteriosan sisältävien (DEHP-tyyppisten) ftalaattien hajoamistuotteena syntyy muita C<sub>8</sub>-alkoholeja. Nykyaikaisissa muovimatoissa eli vuodesta 2007 eteenpäin DEHP on korvattu muilla pehmittimillä, joita ovat pääasiassa diisononyyliftalaatti eli DINP ja di-isodekyyliftalaatti eli DIDP. DINP:n hajoamistuotteena syntyy 2-metyyli-1-oktanolia ja muiden yhdeksänhiilisen esteriosan sisältävien (DINP tyyppisten) ftalaattien ominaispäästönä syntyy muita C<sub>9</sub>-alkoholeja (esim. 2-metyyli-1-oktanoni). DIDP:n hajoamistuotteena syntyy 2-metyyli-1-nonanolia ja muiden kymmenhiilisen esteriosan sisältävien (DIDP tyyppisten) ftalaattien ominaispäästönä syntyy muita C<sub>10</sub>-alkoholeja. Ftalaatittomien tuotteiden pehmittimenä käytetään ainakin sykloheksaanin 1,2-dikarboksyylihapon di-isononyyliesteriä eli DINCH:ia. Myös DINCH:n hajoamistuotteena syntyy C<sub>9</sub>-alkoholeja. (Keinänen H., 4.9.2012)

Kuvassa 4 on esitetty tyypillisten muovipäällysteiden pehmittimien kemiallinen koostumus ja periaate pehmittimen kemiallisesta hajoamisesta, joista materiaalien ominaispäästöt muodostuvat. Perinteisten ftalaattipohjaisten ja ftalaatittomien pehmittimien hajoamisreaktio tapahtuu samalla periaatteella, joten pehmittimen vaihtamisesta ftalaatittomaan ei poista muovipäällysteiden hajoamisongelmaa. Uusien pehmitinaineiden stabiilius, kosteuden aiheuttamien reaktioiden nopeus sekä niiden terveysvaikutukset ovat vielä epäselviä. (Keinänen H., 13.3.2012)





Kuva 4. Muovimaton uudempi pehmitin DINCH (ylempi) ja vanhempi pehmitin DINP (alempi). Kuvasta nähdään, että katkeaminen tapahtuu samasta kohtaa, eikä näiden pehmittimien välillä ole suurta eroa hajoamisreaktion kannalta. Ominaispäästöt ovat molemmissa C<sub>9</sub>-alkoholeja. Alustan kosteus ja pH vaikuttavat molempiin pehmittimiin samalla tavalla, joten pehmittimen vaihtamisesta ftalaatittomaan ei poista ongelmaa. (Keinänen H., 13.3.2012)

## 2.3 MATTOLIIMAT

Mattoliimoina käytettiin 80-luvulle asti tyypillisesti liuotinohteisia liimoja, jotka kestivät nykyliimoja korkeampia kosteuspitoisuuksia. Käytännön kokemusten perusteella ei havaittu korjaustarvetta kun muovipäällysteen alapuolinen kosteuspitoisuus oli alle 90 %RH. Vesipohjaisten mattoliimojen käyttöön siirryttiin 90-luvulla maton asentajien liuotinaltistumisen vähentämiseksi. Vuoteen 1995 asti myös mattoliimoissa käytettiin pehmittiminä ftalaatteja. Vuonna 1997 mattoliimoille alettiin myöntää myös M1-luokitusta. 2000-luvulla alettiin vähitellen luopua helposti haihtuvista orgaanisista liuotinlisistä. Mattoliimoilla on vaatimuksia teknisen toimivuuden ja kestävyuden suhteen. Liimalla tulee olla hyvä tartunta liimattaviin materiaaleihin ja riittävä tartuntalujuus. Sen täytyy olla hyvin levitettävissä ja työstössä tulee olla riittävä avo-aika. Laadukkaita, kestäviä ja vähäpäästöisiä mattoliimoja on mark-

kinoilla, mutta niiden käytön yleistymistä on hidastanut hieman hankalampi työstettävyys (avoajan lyheneminen) ja korkeampi hinta. (Polvinen R., 2012)

## **2.4 TASOITTEET**

Matala-alkalisten tasoitteiden käyttö pienentää riskiä lattiapäällysteen ja liiman hajoamiselle alkalisen kosteuden vaikutuksesta ja sen aiheuttamien sekundääripäästöjen syntymiselle. Betonirakenteen pH on tyypillisesti noin 13. Matala-alkalisten tasoitteiden pH on tyypillisesti alle 11. Päällystettyjen betonilattioiden emissiotutkimuksessa selvitettiin, että jo pelkkä alkalinen ympäristö riittää hajoamisprosessin alkamiseen tutkimuksessa testatuissa tapauksissa (Eronen J. 1998). Mattoliiman akrylaattikopolymeerien hajoamiselle kriittinen pH-alue on 11-13 (Sjöberg 2001, 2007).

## **2.5 VESIHÖYRYNLÄPÄISEVYYKSIÄ**

Tyypillisesti kulutuskestävyys vaikuttaa muovipäällysteen vesihöyrynläpäisevyyteen. Vesihöyrynläpäisevämmällä asuntojen muovipäällysteellä on yleensä heikompi kulutuskestävyys, koska siinä on enemmän täyteaineita. Julkisten tilojen muovipäällysteillä on tiiviistä rakenteestaan johtuen erityisen hyvä kulutuskesto ja alhaiset emissiot, jotka ovat tyypillisesti reilusti alle M1-luokan vaatimusten, ja pintakäsittelystä johtuen hyvä siivottavuus alhaisilla kemikaalimäärillä. Linoleumimatot ovat pääsääntöisesti vesihöyrynläpäisevämpiä kuin muovimatot. Linoleumimattoja on korvattu puhdistettavuusongelmien vuoksi tyypillisesti PUR-pintaisilla päällysteillä. Uusien, 2010-luvulla valmistettujen linoleumimattojen pintaan on usein lisätty myös PUR- tai akrylaattikäsittely parantamaan pinnan kestävyyttä, puhdistettavuutta ja samalla myös pienentämään pintaemissioita. (Penttilä K., 2012). Osalla linoleumimatoista on nykyisin myös M1-luokitus. Nykyisin valmistetaan edelleen myös perinteisiä linoleumimattoja ilman pintakäsittelyä. Vesihöyrynläpäisevyydet vaihtelevat tuotekohtaisesti ja esimerkiksi PUR-pinnoitteella linoleumimaton päällä on vai-

kutusta vesihöyrynläpäisevyysominaisuuksiin. Tuotteiden vesihöyrynläpäisevydet ja testiselostukset ovat yleensä pyydettyä saatavilla materiaalitoimittajilla.

Taulukkoon 1 on koottu eri lähteistä eri lattiapäällysteiden ja muiden materiaalien vesihöyrynläpäisevyyksiä. Vesihöyrynläpäisevyyksissä on toki tuotekohtaisia eroja eli esitetyt arvot ovat tyypillistä suuruusluokkaa ko. tuoteryhmille. Suuruusluokkatiedot perustuvat Tampereen Teknillisen Korkeakoulun kosteusvirta-tutkimukseen (Lindberg R, ym. 2002), tuotevalmistajilta saatuihin tietoihin sekä Vahanen Oy:n laboratoriossa tehtyihin vesihöyrynläpäisevyyskokeisiin.

*Taulukko 1. Eri tuoteryhmien vesihöyrynläpäisykerroimet  $W$  [ $\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ ].*

<b>Tuote</b>	<b>kerrospaksuus [mm]</b>	<b>vesihöyrynläpäisykerroin <math>W</math> [<math>\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})</math>]</b>
linoleumimatto	2	$35 \cdot 10^{-12}$
joustovinyylimatto	2	$25 \cdot 10^{-12}$
julkisten tilojen muovimatot	2	$10 \cdot 10^{-12}$
tiivispinnoitteiset muovimatot	2	$5 \cdot 10^{-12}$
mattoliima	0,2	$90 \cdot 10^{-12}$
pohjusteaine (primeri)	0,05	$500 \cdot 10^{-12}$
sementtipohjaiset tasoitteet	10	$280 \dots 700 \cdot 10^{-12}$
sementtilaastit	10	$205 \dots 1035 \cdot 10^{-12}$
betoni yleensä	100	$8 \dots 255 \cdot 10^{-12}$
betoni (K30)	100	$20 \cdot 10^{-12}$
PE höyrynsulkumuovi	0,2	$2 \cdot 10^{-12}$

Esimerkkinä alustastaan irrotetusta pehmitinvapaasta muovimattinäytteestä määritetty vesihöyrynläpäisykerroin oli  $13 \cdot 10^{-12}$   $\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ . Näytteestä oli poistettu siihen jääneet tasoite- ja liimakerrokset näytteen alapinnasta ennen vesihöyrynläpäisevyyden määrittämistä. Asentamattoman saman muovimattomateriaalin mitattu vesihöyrynläpäisykerroin oli  $1,5 \cdot 10^{-12}$   $\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ . Vesihöyrynläpäisevyyden erojen syitä asennetun ja asentamattoman tuotteen tapauksessa vertailtiin mikroskooppitarkastelun avulla. Mikroskooppitarkastelulla havaittiin molemmissa näytteissä ohut tiivis pintakerros, jonka paksuus lattiasta irrotetussa näytteessä oli keskimäärin  $154 \mu\text{m}$  ja asentamattomalla näytteellä  $190 \mu\text{m}$ . Lisäksi lattiasta irrotetun näytteen alapinnassa oli tummempi kerros, joka arvioitiin asentamatonta maton alapintaa huokoisemmak-

si. Tummemman kerroksen arvioitiin aiheutuneen mattoliiman tekemistä muutoksista muovimattoon. Tämä käytännön testi osoittaa, että lattiapäällysteen vesihöyrynläpäisevyyteen ja materiaalin koostumukseen tulee vaihtelua aina, kun tuote on irrotettu todellisesta kohteesta verrattuna asentamattomaan tuotteeseen.

### *3 Lattiapäällysteiden vaurioituminen ja siitä aiheutuvat sisäilmahaitat*

Tämän hetkisen tutkimustiedon perusteella terveysperusteisia ohjearvoja on pystytty asettamaan vain muutamille VOC-yhdisteille. Muiden yhdisteiden osalta tavoitellaan normaalipitoisuutta. (Asumisterveysohje, 2003)

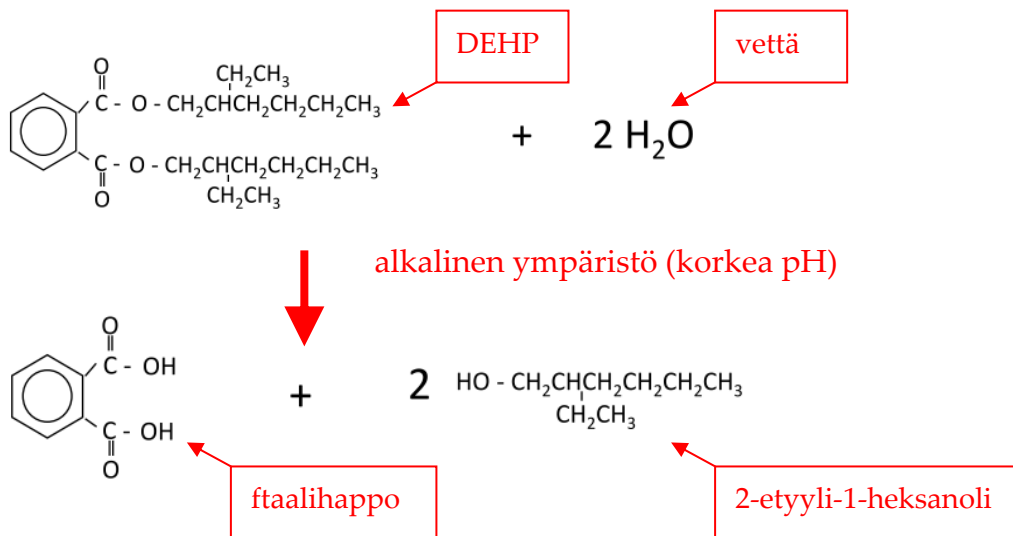
Tutkimuksin on todettu, että lattiapäällysteiden vauriot korreloivat tiloissa olevien ihmisten oireilun kanssa (Metiäinen P., 2009 ja Villberg K. ym., 2004). Päällystevaurioiden yhteydessä mitattuja VOC-yhdisteitä, jotka viittaavat pintarakenteen kemialliseen hajoamiseen (mm. 2-etyyli-1-heksanoli ja 1-butanoli) pidetään tällä hetkellä vain indikaattoriyhdisteinä, eivätkä sisäilmasta tyypillisesti mitattuina pieninä pitoisuuksina tämän hetkisen tiedon mukaan ole koetun oireilun varsinaisia aiheuttajia. Esimerkiksi erään tutkimuksen mukaan yksinään, puhtaana kemikaalina esiintyessään 2-etyyli-1-heksanoli aiheuttaa ärsytysoireita kun sen pitoisuus sisäilmassa on 175  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tasolla (Lapinlampi T. ym., 2011). Kuitenkin ongelmakohteiden tutkimuksen yhteydessä on havaittu, että vaikka sisäilmasta mitatut VOC-yhdisteiden pitoisuudet ovat pieniä ja lattiapäällysteessä on selkeä vaurio, niin oireilua voi esiintyä. Siksi työryhmämme päätyi lopputulokseen, jonka perusteella oireiden aiheuttajan on todennäköisesti joku muu tekijä kuin muovimattopäällysteiden vaurioindikaattoreina mitatut VOC-yhdisteet (mm. 2-etyyli-1-heksanoli ja 1-butanoli). Mitattu suuri normaalisti poikkeava indikaattoriyhdisteiden pitoisuus antaa viitteitä mahdollisesta päällystevauriosta, mutta ei sellaisenaan kuvaa suoraan terveyshaittaa.

Päälystevauriosta indikoivia VOC-yhdisteitä mitataan tyypillisesti myös lattiapäällystyksen toteuttamisen eri vaiheissa käytettyjen tuotteiden ominaispäästöinä (primerit, tasoitteet, liimat). Näitä yhdisteitä vapautuu sekä tuotteiden primääriemissioina että sekundääriemissioina. Näin olleen indikaattoriyhdisteitä havaitaan pieninä pitoisuuksia lähes aina VOC-mittausten yhteydessä. Pienet pitoisuudet indikaattoriyhdisteitä eivät näin ollen pelkästään viittaa päälystevaurioon, vaan lähinnä kuvaavat käytettyjen tuotteiden ominaispäästöjä. Ominaispäästöt ovat tyypillisesti suurempia kohteeseen asennetussa tuotteessa kuin tuotteen M1-luokituksessa mitatut emissiot. Erot johtuvat todellisen kohteen muuttuvista olosuhteista verrattuna laboratorion vakioituihin olosuhteisiin sekä eri materiaalien yhdistelmistä. Päästöt kasvavat tyypillisesti, kun suhteellinen kosteuspitoisuus ja lämpötila kasvavat. Päälystevaurion tapauksessa VOC-yhdisteiden päästöt kasvavat oleellisesti, jolloin ne normaalista poikkeavana pitoisuutena antavat viitteitä mahdollisesta vauriosta. Tyypillisiä ongelmakohteiden tilan käyttäjien kokemia, VOC-päästöihin liittyviä oireita ovat erilaiset ärsytysoireet, joita ovat muun muassa silmä-, nenä-, kurkku- ja iho-oireet (Valvira, 2011).

Sisäilman laadun hallintaan liittyvässä tutkimuksessa (Villberg K. ym., 2004) on raportoitu sisäilmaongelmakohteiden dominoivia VOC-yhdisteiden ryhmiä ja niiden korrelaatiota ihmisten kokemiin sisäilmaoireisiin. Tutkimuksen perusteella havaittiin, että

- alkoholeihin korreloivat nenäoireet, silmäoireet ja limakalvo-oireet
- terpeeneihin ei havaittu korrelaatiota
- aromaattisiin hiilivetyihin korreloivat hengenahdistus ja limakalvo-oireet
- ammoniakkiin ei havaittu korrelaatiota
- estereihin ja glykoleihin korreloivat nenäoireet, hengenahdistus, silmäoireet ja limakalvo-oireet
- happoihin korreloivat nenäoireet
- aldehydeihin korreloivat limakalvo-oireet.

Syyt päällystevaurioiden esiintymiseen ovat vesi ja kosteus sekä alustan korkea pH, joista seuraa kemiallisten yhdisteiden hajoamista ja/tai mikrobikasvu. Korkea pH vaikuttaa veden kemialliseen reaktioon eli hydrolyysiin. Tätä reaktiota kutsutaan alkaliseksi hydrolyysiksi (esterihydrolyysi). Sementtituotteiden sisältämällä vedellä on tyypillisesti korkea pH. Kuvassa 5 on esitetty tyypillisen ftalaatin eli DEHP:n alkalisen hydrolyysin periaate. (Kristensson J., 2012)



Kuva 5. Muovimaton pehmittimen DEHP:n alkalinen hydrolyysi. (Kristensson J., 2012)

Nykytietämyksen mukaan teoriassa alkalinen hydrolyysi jatkuu loppuun asti sen käynnistyttyä, vaikka rakenne kuivuisikin normaaliolosuhteeseen. Kuitenkaan täsmällistä tutkittua tietoa ei ole siitä, miten voimakkaana reaktio jatkuu.

Rakennuksien vauriotutkimuksia tehneiltä tahoilta kenttätutkimuksien yhteydessä saadun käytännön kokemuspohjaisen tiedon perusteella on joitakin vuosia sitten tutkittu enemmän lattioiden muovipäällysteiden mikrobivaurioitumista materiaalinäytteiden viljelymenetelmällä. Käytännön mittausten perusteella vain harvoissa tapauksissa muovimaton mikrobivaurioitumisen on voitu osoittaa sisäilmahaitan aiheuttajaksi. Tiivis muovimatto ja emäksinen betonirakenne muodostavat käytännössä epäsuotuisat olosuhteet mikrobikasvulle. Tyypillisesti mikrobikasvua on havaittu tapahtuvan muovimaton alapinnassa vasta, kun suhteellinen kosteus on ollut pitkiä aikoja yli 90 %RH, ellei betonin ja muovimaton väliin ole jäänyt herkästi mik-

robivaurioituvaa orgaanista materiaalia. Linoleumimatto on koostumuksensa vuoksi helpommin mikrobivaurioituva kuin muovimatto, mutta sekin tarvitsee vaurion kehittymiseksi riittävästi kosteutta ja aikaa. Täsmällistä ja systemaattista tutkimustietoa muovimattojen mikrobivaurioitumisesta ei ole tiedossa.

## *4 VOC- yhdisteiden tutkimus- ja analyysimenetelmät*

### **4.1 MITTAUSMENETELMÄT**

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan tutkia mm. ilmasta, materiaaleista, materiaaliemissioina ja materiaalien läpi diffuntoituvina. Ennen tutkimusten ja selvitysten aloittamista on erityisen tärkeä miettiä, mitä on tarkoitus tutkia, jotta voidaan valita oikeat mittaus- ja analyysimenetelmät. Mittausmenetelmää ei ole perusteltua valita halvan hinnan ja/tai menetelmän helpon suorittamisen perusteella, vaan valinnassa on aina tärkeintä se, että saadaan käyttökelpoista tietoa ja tulkittavissa olevia mittauks tuloksia. Tarkemmat mittausmenetelmäkohtaiset näytteenotto-ohjeet tulee pyytää analysoivasta laboratoriosta ennen näytteiden ottamista.

#### ***4.1.1 Ilmanäytteet***

Sisäilmanäytteet kerätään ilmasta pumpun avulla adsorbenttiin. Ennen mittauks tilojen tehotuuletusta tulee välttää 12 tuntia. Ilmanvaihdon tulee olla normaalisti toiminnassa ja korvausilmaventtiilit auki. Näytteenottopiste ei saa sijaita ilmanvaihdon tulo- tai poistoilmavirran kohdalla. Pintarakennetta ei saa purkaa ennen mittauks ta tai mittauksen aikana. Suositeltavaa on ottaa rinnakkaiset näytteet ja ns. kenttänol la tulosten luotettavuuden parantamiseksi. Kaikki mahdolliset poikkeamat mittausjärjestelyssä pitää huomioida tulosten tulkinnassa. (Järnström H., 2012). Mittaustulos ilmoitetaan yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . On tärkeää, että tulos on ilmoitettu yleisesti käytössä olevassa muodossa, eikä esimerkiksi  $\text{ng}/\text{m}^3$ , koska tuloksen tulkinnassa saattaa muu toin tapahtua 1000-kertainen virhe. Asiasta tietämättömämmät eivät helposti huo-

maa tällaista ja laboratorioilta sen käyttö osoittaa tarkoituksellisuutta pienten mittauksien painottamisesta.

#### **4.1.2 FLEC-näytteet**

Rakenteen pintaemissiot mitataan kenttäkohteessa ehjän päällysteen päältä FLEC-laitteistolla (Field and Laboratory Emission Cell) ISO 16 000-10 standardin mukaisesti ja se on tarkoitettu lähinnä laboratorio-olosuhteissa käytettäväksi. Standardi määrittelee, että näytteenotossa kammioon johdettavan synteettisen ilman lämpötila tulee olla 23 °C ja suhteellinen kosteus 50 %RH. Synteettinen kaasu johdetaan ilmanohjauksyksikköön, jossa se kostutetaan 50 %RH:iin ennen sen johtamista FLEC-laitteeseen. Kenttämittauksen aikana mittauslämpötila on mitattavassa tilassa vallitseva lämpötila ja sitä säädetään tarpeen ja mahdollisuuden mukaan standardin mukaiseksi. Näytteenotossa tulee huomioida näiden lisäksi muun muassa mistä pisteestä näyte otetaan, laitteen tiiveys (95 %), ilmavirtaus ja näytteenotonvirtaus sekä tasapainotusaika ennen näytteenottoa. (Järnström H., 2012). Mittaustulos ilmoitetaan yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ .

Pintaemissiomittaukset FLEC-laitteella kenttäolosuhteissa on määritetty ISO standardista poikkeava kevennetty mittausmenetelmä NT BUILD 484 ohjeessa. Tämän ohjeen mukaan adsorbenttiputken läpi suodatettua huoneilmaa johdetaan puhaltavalla pumpulla suoraan FLEC-laitteeseen siinä lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa, kuin kohteessa mitaushetkellä vallitsee. Kevennetyssä mittauksessa ilmaa ei kostuteta vakioituihin olosuhteisiin. Näytteenoton aikainen lämpötila on sama kuin tutkittavan tilan sisäilman ja rakenteen pinnan lämpötila. Mittaustulos ilmoitetaan yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ .

Tulosten vertailtavuuden kannalta on tärkeä ilmoittaa, kumman standardin mukaan näytteet on otettu. Olisi hyvä, että kaikki toimijat siirtyisivät käyttämään samaa standardia näytteenotossa. Työryhmän enemmistö piti kevennetty mittausmenetelmää (NT BUILD 484 -ohje) suositeltavampana ja asiakasystävällisempänä alhaisempien syntyvien näytteenotokustannusten ja helpomman käytettävyyden takia. Kevennet-



ty mittaussuunnitelman (NT BUILD 484 –ohje) mukaisessa mittauksessa tulosten tulkintaan tuo haasteita sisäilman suhteellisen kosteuspitoisuuden vaihtelut.

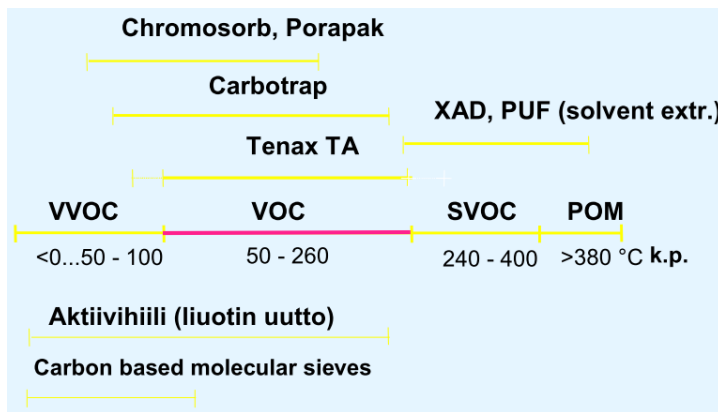
### **4.1.3 Bulk-materiaalinäytteet**

Tutkittavan rakenteen emissiota voidaan mitata kohteesta otetusta materiaalinäytteestä. Yksittäisen materiaalin emissio voidaan määrittää ISO 16 000-9 emissiokammion menetelmän avulla laboratoriossa (tai soveltaen FLEC-menetelmää). Tässä työssä keskitytään irrotettujen materiaalinäytteiden emissiomittauksissa käytettävään ns.  $\mu$ -chamber-menetelmään. Tätä näytteenotto- ja analyysimenetelmää kutsutaan bulk-materiaalinäytteeksi. Kohteesta irrotettuun materiaalinäytteeseen voi olla päällysteen lisäksi kiinnittynyt muun muassa liimaa, tasoitetta, pohjustusainetta ja betonia. Mittauksessa mitään näytepalan pintaa ei peitetä, minkä vuoksi kyseinen analyysi kuvaa kaikilta näytteen pinnoilta vapautuvia yhdisteitä. Materiaalinäyte ei siis kuvaa kohteen lattiapäällysteen todellista pintaemissiota vaan otetun näytepalan eri pintojen kokonaisemissiota. Rakenteesta irrotettujen materiaalinäytteiden emissiotulokset voidaan ilmoittaa joko pitoisuuksina tutkittua näytemäärää ( $\mu\text{g}/\text{gh}$ ) tai pinta-alaa ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) kohden. (Backlund P. ym., 2010)

Jotkut analyysit tekevät laboratoriot ilmoittavat materiaalipalanäyteanalyysit tehdyiksi FLEC-menetelmällä (vtr. kohta 4.1.2), vaikka kyseessä on ISO 16 000-9 emissiokammion menetelmän sovellutus. On tärkeä tuloksen tulkinnan kannalta tietää, onko kyse pintaemissiosta vai materiaalinäytteen emissiokammioanalyysistä, jossa materiaalinäytteen molemmat puolet vaikuttavat kokonaisemission määrään. Työryhmän yksimielinen kannanotto koskee sitä, että FLEC-menetelmänimitystä saa käyttää vain kuvaamaan pintaemission mittausta.

## **4.2 ANALYYSIMENETELMÄT**

VOC-yhdisteet kerätään ilmasta pumpun avulla adsorbenttiin. Kuvassa 6 on esitetty eri adsorbentteja ja niiden avulla mitattavien VOC-yhdisteiden kiehumispistevälit. Yleisimmin käytetty adsorbentti VOC-yhdisteiden määrittämisessä on Tenax TA.



Kuva 6. Adsorbentteja ja niiden avulla mitattavien VOC-yhdisteiden kiehumispistevälit. (Järnström H., 2012)

VOC-yhdisteiden laboratorioanalyysit on standardoitu sisäilmastostandardi ISO 16000-6:ssa. Standardin mukaan käytetään adsorbenttina Tenax TA:ta ja analysointi tehdään kaasukromatografisti käyttäen näytteensyöttöön termodesorptiota. Yksittäisten VOC-yhdisteiden tunnistukseen käytetään nykyisin massaselektiivistä detektoria (MSD). Kvantitointi tehdään joko liekki-ionisaatiodetektorilta eli FID:ltä tai MSD:ltä. Standardin mukaan tulee pyrkiä tunnistamaan mahdollisimman suuri osa yksittäisistä yhdisteistä, vähintään kymmenen määrältään suurinta yksittäistä VOC-yhdistettä ja/tai kaikki VOC-yhdisteet, joiden pitoisuus on yli 2 µg/m<sup>3</sup>. Tyydyttävä tunnistusaste on saavutettu kun 75 % yhdisteistä on tunnistettu. TVOC on standardissa määritelty kokonaisdetektorivasteeksi välillä C<sub>6</sub>-C<sub>16</sub> (heksaani-heksadekaani). Standardi määrittelee myös, että C<sub>6</sub>-C<sub>16</sub> alueen ulkopuolella havaitut yhdisteet, joiden pitoisuus on yli 2 µg/m<sup>3</sup>, raportoidaan, mutta ne eivät kuulu TVOC-yhdisteiden määritelmän piiriin. Tulosten tarkastelussa on tärkeä huomata, että jotkut analyysilaboratoriot ilmoittavat TVOC-yhdisteiden ulkopuolisia yhdisteitä mukaan TVOC-arvoon. Tämä on harhaanjohtavaa tulosten tarkastelun kannalta ja näin ollen epäeettistä toimintaa analysoivalta laboratoriolta.

Ennen TVOC-aluetta esiintyviä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kutsutaan herkästi haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi (Very volatile organic compounds eli VVOC) ja TVOC-alueen jälkeen esiintyviä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kutsutaan puolihaihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi (Semi volatile organic compounds eli SVOC). Particu-

late Organic Matter eli POM-yhdisteet ovat hiukkasiin sitoutuneita orgaanisia yhdisteitä.

Useat sisäilma-analyysit tekevät laboratoriot ilmoittavat useiden yksittäisten tunnistettujen yhdisteiden pitoisuudet laskettuina niiden omalla vasteella eli yhdisteiden kokonaispitoisuuksina. Tulos voidaan ilmoittaa myös tolueeniekvivalentteina (puolikvantitatiivinen tulos), mutta se tulee ottaa huomioon tulosten tarkastelussa. Omilla vasteilla lasketut pitoisuudet vastaavat paremmin sisäilmassa esiintyvien yhdisteiden pitoisuuksia, mutta niitä ei käytetä TVOC-pitoisuuksien laskentaan. TVOC-pitoisuus lasketaan summaamalla kaikkien TVOC-alueella esiintyneiden haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tolueenivasteella lasketut yksittäiset pitoisuudet yhteen. Sisäilmamittauksissa TVOC-pitoisuus ilmoitetaan yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Materiaaliemissioiden tutkimisessa mikrokammion menetelmällä sovelletaan standardin ISO 16000-6 ja lisäksi Työterveyslaitos on laatinut siihen omat, standardeihin perustuvat ohjeet ”Turun VOC-laboratorion Markes  $\mu$ -CTE Micro-Chamber//Thermal Extractor käyttöohje” ja ”Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) määrittäminen ilmasta termodesorptio-kaasukromatografisella menetelmällä”. (Härkönen K., 2012)

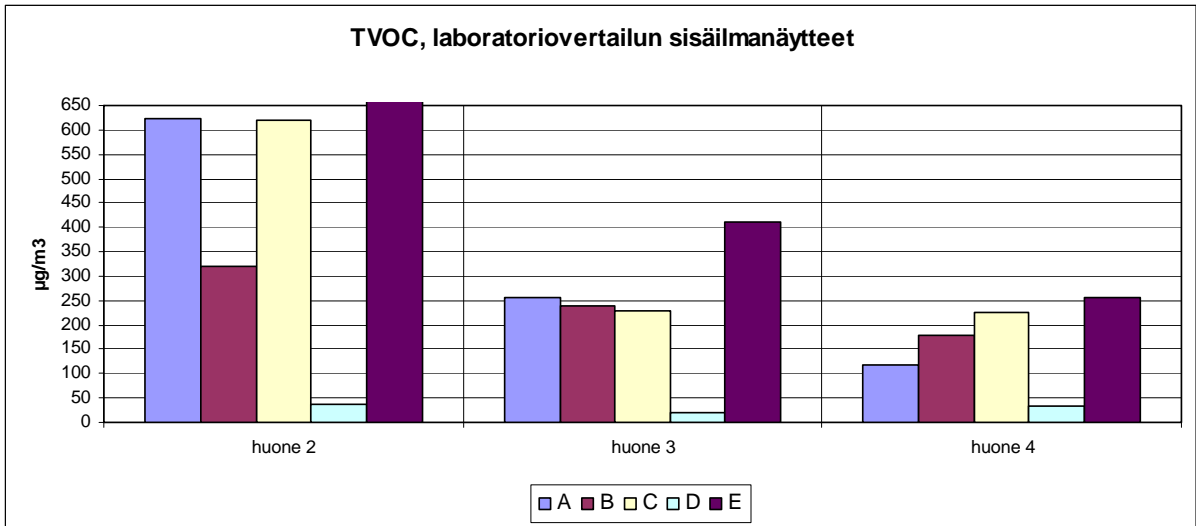
### **4.3 ESIMERKKI LABORATORIOVERTAILUSTA**

Todellisessa tutkimuskohteessa tehtiin sisäilman VOC-yhdisteiden analytiikasta laboratoriovertailu. Kolmesta eri huoneesta kerättiin viisi rinnakkaista sisäilmanäytettä eri laboratorioden omalla mittauskalustolla ja kunkin laboratorion toimittamien ohjeiden mukaan samanaikaisesti lukuun ottamatta huonetta 3, jossa mittaukset tehtiin samaan aikaan samantyyppisillä pumpuilla sekä kerättiin lähes samansuuruinen näytemäärä. Lähtötietoja mittauksesta on koottu tiedot taulukkoon 2. VOC-näytteet analysoitiin viidessä eri analyysilaboratoriossa, joita kuvataan tässä tutkimuksessa laboratorio A-E. Kolme (A-C) analyysilaboratorioista oli akkreditoituja. Sisäilmanäytteet kerättiin samanaikaisesti ja kaikille analyysilaboratorioille toimitettiin ns. kentänollat. Tutkitut tilat olivat tyhjiä. Mittausta edeltävinä päivinä sekä mittauksen aikana mitattavien huonetilojen ilmanvaihto oli suljettu ja oviaukot muovitettu um-

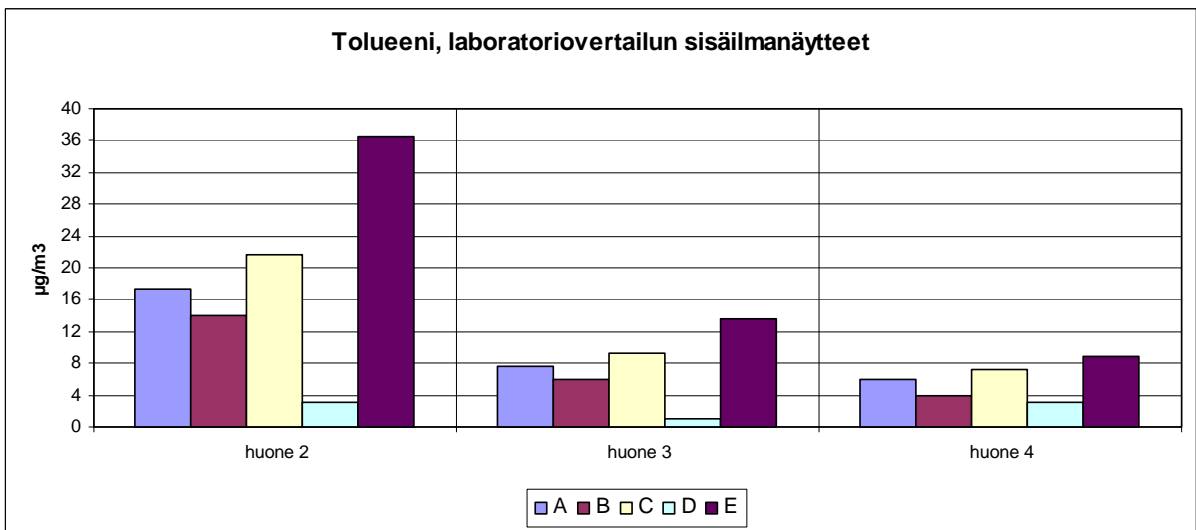
peen, jotta tätä vertailua varten saatiin mahdollisimman suuret pitoisuudet sekä eliminoitua mittaukseen vaikuttavia tekijöitä, kuten ilmanvaihdon aiheuttamat ilmavirtaukset. Mittauksen aikana sisäilman lämpötila oli 16 °C ja ilman suhteellinen kosteus 24 %RH. Mittaustuloksia on koottu kuviin 7-9.

*Taulukko 2. Lähtötiedot sisäilmamittauksista.*

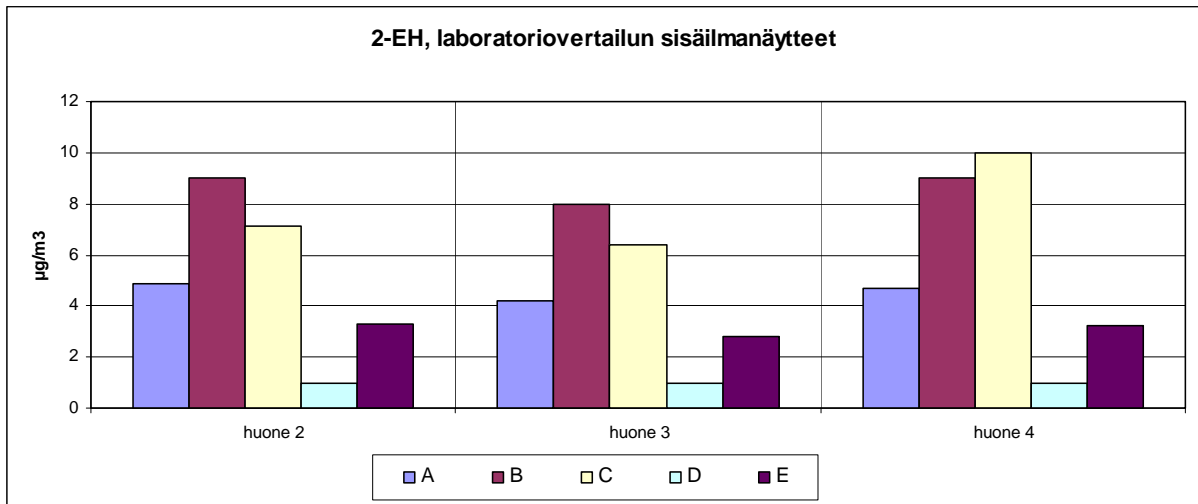
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Oliko näytteen keruu ohjeistettu	ei	oli	oli	oli	oli
Käytetty adsorbentti	Tenax TA	Tenax TA	Tenax TA	Tenax TA	Tenax GR
Pumpun virtausnopeus /keräysaika ohjeessa	ei ohjeistettu	100 ml/min / 1,5 h	100 ml/min / 50 min	200 ml/min / 15-25 min	ei ilmoitettu / 50 min
Huone2 pumpun virtausnopeus	103 ml/min	101 ml/min	100 ml/min	200 ml/min	sykeluemat
Huone3 pumpun virtausnopeus	101 ml/min	102 ml/min	100 ml/min	103 ml/min	101 ml/min
Huone4 pumpun virtausnopeus	103 ml/min	101 ml/min	100 ml/min	200 ml/min	sykeluemat
Huone2 kerätty ilmatilavuus	9439 ml	9164 ml	4900 ml	6600 ml	ei tiedossa
Huone3 kerätty ilmatilavuus	9227 ml	9393 ml	9300 ml	9570 ml	9301 ml
Huone4 kerätty ilmatilavuus	9850 ml	9567 ml	5800 ml	6522 ml	ei tiedossa
Miten toimitettiin laboratorioon	viettiin	viettiin	viettiin	postissa pikana	postissa pikana
Oliko kenttänotat mukana automaattisesti	oli	pyydettyessä	oli	oli	oli



Kuva 7. Kuvaan on koottu viiden eri analyysilaboratorion ilmoittamat näytteiden TVOC-pitoisuudet [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] esimerkkitilojen huoneista 2-4. Mittauksen aikana ilmanvaihto oli pois päältä.



Kuva 8. Kuvaan on koottu viiden eri analyysilaboratorion ilmoittamat näytteiden tolueenipitoisuuden [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] huoneista 2-4. Mittauksen aikana ilmanvaihto oli pois päältä.



*Kuva 9. Kuvaan on koottu viiden eri analyysilaboratorion ilmoittamat näytteiden 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuuden [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] huoneista 2-4. Mittauksen aikana ilmanvaihto oli pois päältä. Laboratoriot A ja E ovat laskeneet 2-etyyli-1-heksanolin tolueenivasteella ja laboratoriot B, C ja D ovat laskeneet sen yhdisteen omalla vasteella. Tolueenivasteella lasketut tulokset ovat pienempiä kuin yhdisteen omalla vasteella lasketut tulokset.*

Tuloksia vertaamalla nähdään, että pitoisuudet vaihtelevat osin suurestikin laboratorioden analyysien välillä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että eri laboratorioden tuloksia ei voida suoraan vertailla keskenään, vaikka analyysit on pyritty tekemään samaa standardia noudattaen.

Käytännön toimintaa ajatellen hyvän tutkimuskäytännön mukaista on käyttää vain akkreditoituja analyysilaboratorioita. Analyysitulokset tulisi laskea pääsääntöisesti yhdisteiden omalla vasteella standardin mukaisesti. Samassa kohteessa tulee käyttää eri näytteiden analysoinnissa aina samaa laboratorioita tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.

## 5 VOC- yhdisteiden normaalipitoisuudet ja ohjearvot

### 5.1 ILMANÄYTTEET

Suomalaisessa tutkimuksessa on todettu lääkärin toteamana uuden astman riskin olevan kolminkertainen, jos sisäilman 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli diisobutyraattin (TXIB) pitoisuus on yli  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tolueenivasteella laskettu tulos). (Villberg K. ym., 2008)

Asumisterveysohjeesta löytyy viitteellinen ohjearvo haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärälle (TVOC). Ohjeen mukaan, jos TVOC-pitoisuus ylittää  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ovat lisäselvitykset yksittäisten yhdisteiden osalta tarpeen. Asumisterveysohjeessa on annettu ohjearvoiksi yksittäisten yhdisteiden osalta formaldehydille  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja styreenille  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . WHO:n sisäilmaohjeessa on annettu terveysperusteiset ohjearvot bentseenin, formaldehydin, naftaleenin, trikloorietyleenin ja tetrakloorietyleenin pitoisuuksille sisäilmassa. (Valvira 2011)

Valvira on esittänyt PVC-muovimattokohteisiin asunnoille viitteelliseksi ohjearvoksi TXIB-pitoisuudelle sisäilmassa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tolueenin vasteella laskettu tulos) tai  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (yhdisteen omalla vasteella laskettu tulos). Vastaavasti 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudelle sisäilmassa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tolueenin vasteella laskettu tulos) tai  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (yhdisteen omalla vasteella laskettu tulos). Muiden yhdisteiden osalta voidaan menetellä siten, että verrataan asunnoissa mitattuja VOC-tuloksia VTT:n tutkimuksissa esitettyihin yhdisteryhmien kohonneiden pitoisuuksien viite-arvoihin ja toimistorakennuksissa Työterveyslaitoksen tutkimuksissa esitettyihin tuloksiin. (Valvira, 2011). Kyseisten tutkimusten tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 3. Viitearvoja asuntojen sisäilmapitoisuuksille 6 kk ja 12 kk ikäisille rakennuksille.  
(Järnström H., 2007)

Compound or compound group	Normal value ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Limit for abnormal concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	6 months	one year	6 months	one year
Aromatic hydrocarbons	50	30	80	40
Aliphatic hydrocarbons	25	25	35	35
Cycloalkane	5	10	10	15
Alcohol	25	35	35	50
Aldehyde	35	35	50	50
Ketone	5	10	10	15
Ester	15	15	20	20
Glycol/ glycolether	25	25	45	35
Terpene	70	70	110	110
Acid	5	10	10	20
TVOC	270	270	400	400
Formaldehyde	25	30	30	40
Ammonia	45	45	60	60

Taulukko 4. Viitearvoja yhdisteryhmille toimistorakennusten sisäilmapitoisuuksille. Jos P90-viitearvo ylittyy, se viittaa epätavanomaiseen sisäilmalähteeseen ja lisäselvitystarpeeseen.  
(Salonen H. ym, 2011)

Yhdiste/Yhdisteryhmä	P90 viitearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Aromaattiset hiilivedyt	5
Alkoholit	5
Alifaattiset hiilivedyt	5
Aldehydit	5
Glykolit, glykolieetterit	10
Terpeenit	5
Pii-yhdisteet	10
Orgaaniset hapot	10
Esterit	5
Ketonit	5
TVOC	250
Formaldehydi	15



VTT:n tutkimusaineiston perusteella uusissa toimistorakennuksissa tyypillisesti mitatut sisäilman TVOC-pitoisuudet ovat alle  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tutkimuskohteissa mitattujen 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuudet ovat tyypillisesti uusissa asuinrakennuksissa alle  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (yhdisteen omalla vasteella laskettu tulos) ja vanhoissa asuinrakennuksissa alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (yhdisteen omalla vasteella laskettu tulos). Pitoisuusero uusien ja vanhojen rakennusten välillä johtuu siitä, että uusissa asunnoissa on käytetty vähäpäästöisiä materiaaleja ja lisäksi ilmanvaihto on tehokkaampi. Työterveyslaitoksen tekemien toimistorakennusten tutkimuksien yhteenvedossa on 90 % 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksista ollut alle  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Salonen H. ym., 2008). Toimistorakennuksissa sisäilman pitoisuudet ovat tyypillisesti alhaisemmat kuin asunnoissa johtuen tehokkaammasta ilmanvaihdosta.

## 5.2 FLEC-NÄYTTEET

Esitetyt ohjeelliset arvot FLEC-mittaukselle ovat VTT mittausaineistosta FLEC-mittausmenetelmälle, jossa ilman kosteus on vakioitu 50 %RH:n (ISO 16 000-10 mukaisesti) ja mittaus on tehty oikeasta rakenteesta. Esitettyjä viitearvoja ei siis voi käyttää rakenteesta irrotetun lattiapäällysteen emissioiden arviointiin vaikkakin näyte olisi mitattu ISO 16 000-10 menetelmällä. Tyypillisesti 12 kuukauden ikäisestä PVC-päällysteisestä lattiarakenteesta asuinrakennuksista mitattu TVOC-emissio on normaalisti alle  $150 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja normaalista poikkeavissa tilanteissa mitattu TVOC-emissio on yli  $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  (Jänström H., 2007). Rakennuksissa tyypillisesti päällysteen päältä mitatut 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet ovat asuinrakennuksissa alle  $20 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  (tolueenin vasteella laskettuna) tai alle  $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  (yhdisteen omalla vasteella laskettuna).

Taulukko 5. Viitearvoja pintaemissioille 12 kk ikäiselle rakenteelle. (Jänström H., 2007)

	Specific emission rate $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$							
	PVC		Parquet		Levelled ceiling		Painted wall	
	(n=6)		(n=4)		(n=10)		(n=9)	
	normal value	abnormal value	normal value	abnormal value	normal value	abnormal value	normal value	abnormal value
Acid	10	15	5	10	10	15	5	10
Alcohol	15	25	5	10	25	35	5	10
Aldehyde	15	25	5	10	25	35	5	10
Aliphatic hydrocarbon	20	40	<5	5	20	35	10	15
Aromatic hydrocarbon	25	65	<5	5	10	15	<5	5
Cycloalkane	<5	5	<5	5	<5	5	<5	5
Ester	15	30	5	10	10	15	5	10
Glycol/ glycolether	25	50	5	<10	20	30	10	15
Ketone	10	20	5	10	5	10	<5	5
Terpene	<5	5	<5	5	30	45	<5	5
TVOC	120	170	30	45	180	230	40	50
Ammonia	15	25	<5	5	50	70	10	15
Formaldehyde	5	10	5	10	30	40	10	15

Paljaan betonipinnan päältä kolmen vuorokauden kuluttua päällysteen poiston jälkeen mitatut TVOC-emissiot ovat tiiviiden muovimattopäällysteiden tapauksessa normaalisti välillä 500-1000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Betonipinnalta kolmen vuorokauden kuluttua päällysteen poistosta mitatut 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet ovat tyypillisesti alle 50  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  (yhdisteen omalla vasteella laskettuna).

Viitearvojen tulkinnassa tulee huomioida aina rakennekerrokset ja rakenteessa vallinneet kosteusolosuhteet. Lisäksi huomioitavaa on, että kevennetyn NT BUILD 484 ohjeen mukaisen FLEC-mittausmenetelmän tuloksia voidaan arvioida edellä esitettyjen viitearvojen perusteella, mutta tulosten tulkinnassa tulee huomioida sisäilman lämpötilan ja kosteuden vaikutus mittaustulokseen. Esimerkiksi talviaikaan huoneilman suhteellinen kosteus on merkittävästi alhaisempi kuin standardin mukainen 50 %RH, jonka johdosta emissiot ovat alhaisemmat.

### 5.3 BULK-MATERIAALINÄYTTEET

Työterveyslaitos on esittänyt tutkimuskohteesta irrotetulle bulk-materiaalinäytteelle kokemusperäiseksi viitearvoksi TVOC-pitoisuutta  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ . Tämä viitearvo perustuu sekalaisiin asiakasnäytteistä tehtyihin analyysihin. Todellisessa kohteessa pitoisuudet voivat poiketa tästä, koska mattotyyppi ja kosteusolosuhteet vaikuttavat tulokseen. Tulosten tulkintaan tarvitaan aina verrokkinäytteet, jotka tulisi ottaa samasta kohteesta ns. oletetusta vaurioitumattomasta kohdasta. Työterveyslaitoksen tutkimuksissa on todettu, että tämä viitearvo ei koske linoleumimattoja, joiden ominaispäästöt ovat huomattavasti tätä suuremmat.

Lisäksi Työterveyslaitos on tutkinut hyväkuntoisten uusien lattiapäällysteiden sekä laasti-/liimayhdistelmien bulk-emissioita neljän viikon vanhennuksen jälkeen. Tutkimus tehtiin vakioituissa olosuhteissa, joissa suhteellinen kosteus ilmassa ja alustan betonilaatassa olivat 50 % RH. Mitatut muovipäällysteiden ja liimojen TVOC-pitoisuudet olivat korkeita, reilusti yli edellä esitetyn viitearvon, kun taas tutkitut tasoitelaastit olivat hyvin vähäpäästöisiä (Härkönen K., 2012). Seuranta on jatkettu ja Työterveyslaitoksen tietojen mukaan (Peter Backlund) pitoisuustasot ovat kuuden kuukauden vanhennuksen jälkeen selvästi laskeneet kun rakenteen ja ilman suhteellinen kosteus oli 50 %RH koko vanhennuksen ajan.

Laboratoriotutkimuksen tuloksen perusteella nähdään, että jo yksittäisistä uusista materiaaleista emittoituu runsaasti eri yhdisteitä ja osa yhdisteistä on samoja kuin vaurioille tyypillisiä indikaattoriyhdisteitä, mm. 2-etyyli-1-heksanolia. Lisäksi tutkimuksessa havaittujen vaurioitumattomista materiaaleista mitatut pitoisuudet neljän viikon vanhennuksen jälkeen olivat suuret verrattuna Työterveyslaitoksen antamaan bulk-materiaalinäytteiden TVOC-pitoisuuden viitearvoon verrattuna.

Pitoisuudet siis vaihtelevat merkittävästi muun muassa sen mukaan, että tutkitaanko uutta pintarakennetta vai vanhaa sekä lisäksi onko materiaali esimerkiksi tiivispintainen muovimatto vai linoleumimatto. Bulk-materiaalinäytteellä siis mitataan irrotetusta materiaalinäytteestä sen kaikilta pinnoilta haihtuvia yhdisteitä ja näin ollen se

kuvaa täysin eri asiaa kun kohteessa FLEC-menetelmällä mitattu pintaemissio. Tulosten tulkinnassa ja viitearvojen soveltamisessa on lisäksi huomioitava, että erityisesti uudemmissa rakennuksissa ja maanvastaisissa rakenteissa on tyypillisesti selvästi korkeampi suhteellinen kosteuspitoisuus (< 85 %RH) päällysteen alla kuin mitä toteutetussa laboratoriotestissä. Päällysteiden normaaliemissiot tyypillisesti kasvavat, kun suhteellinen kosteuspitoisuus kasvaa ja näin olleen korkeammasta kosteudesta otetut bulk-materiaalinäytteet eivät ole täysin vertailukelpoisia näihin laboratoriotesteihin. Tältä osin lähitulevaisuudessa on saatavissa lisää tietoa aiheesta, koska tutkimusta jatketaan korkeammassa alustan kosteusolosuhteessa.

#### **5.4 ESIMERKKEJÄ ERITYYPPISTEN MUOVIPÄÄLLYSTEIDEN VOC-PÄÄSTÖISTÄ**

Taulukkoihin 6-12 on koottu todellisista tutkimuskohteista mitattuja VOC-yhdisteiden päästöjä erityyppisistä lattiapäällystemateriaaleista, kun alusta on ollut päällysteen asennushetkellä riittävän kuiva ja kun alusta on ollut liian kostea. Esimerkit ovat yksittäisistä mittauspisteistä. Eri menetelmillä mitattuja VOC-yhdisteiden pitoisuuksia ovat kyseisten tuotteiden ominaispäästöjen ja mahdollisesti alkalisen kosteuden vaikutuksesta todellisessa kohteessa syntyneiden sekundääriemissioiden summia. Taulukkoihin on merkitty vihreällä värillä materiaalit, jotka ovat arvioitu kokonaisvaltaisen tarkastelun perusteella vaurioitumattomiksi ja punaisella värillä vastaavasti arvioidut vaurioituneet materiaalit. Taulukkoihin on koottu vain päällystevauriotutkimusten kannalta mielenkiintoiset yhdisteet. Taulukoissa esitetyt FLEC- ja bulk-analyysien tulokset ovat samoista mittauspisteistä siten, että FLEC-mittaus on tehty ensin ehjän päällysteen päältä ja materiaalinäyte on irrotettu vasta FLEC-mittauksen jälkeen. Tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että tulokset ovat vain yksittäisiä mittaustuloksia päällystevaurion tarkastelussa, eli tähän on koottu vain päällystevaurioon liittyviä tekijöitä sekä eri mittausmenetelmiä. Taulukkojen tarkoituksena on kuvata sitä, että tulosten tulkinta vaurion arvioinnissa eri menetelmin ei ole aina täysin yksiselitteistä.

On muistettava, että rakennuksen kokonaisvaltaisen tutkimuksen pääperiaatteena on, että ensin poissuljetaan terveyden kannalta todennäköisimmät ongelmat, kuten esimerkiksi kosteusvauriot, hallitsemattomat ilmavuotoreitit ja ilmanvaihdon toiminnan puutteet. Jos huolellisen selvityksen jälkeen jää epäily lattiapäällysteen toiminnasta epäpuhtauslähteenä ja oireilun aiheuttajana, erilaisten mittausten tarkoitus on tarkastella epäiltyä ongelman lähdettä useilla eri tarkastelutavoilla. On huomioitavaa, että terveydellisen riskin tarkastelu edellyttää myös koetun ja todetun terveydellisen tilanteen selvittämistä painottuen erityisesti ryhmätason ilmiöihin yksittäisten oireiden sijaan. Tämä edellyttää moniammatillista tutkimusryhmän kokoamista, koska terveyden tilaan liittyvät kysymykset kuuluvat jo tietosuojalainkin takia terveydenhoitohenkilöstön vastuulle (työpaikoilla terveydenhuolto), eivätkö näin ollen ole rakennusteknisiä tai sisäilmatutkimuksia tekevien asiantuntijoiden vastuulla. Työn tilaajalle tulee tämä lähtökohta selventää vastuukysymysten takia. Varsinaiset käyttäjien terveystarkastukset tekee aina terveydenalan ammattilainen.

Taulukko 6. Mittaustulokset julkisen tilan ikääntyneen muovimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua. Kuivalta alueelta, jossa päällysteen alapuolinen suhteellinen kosteuspitoisuus oli 71 %RH, otetut näytteet ovat verrokinäytteet ja kostealta alueelta otetuissa näytteissä päällysteen alapuolella suhteellinen kosteus oli 93 %RH heti VOC-mittausten jälkeen. FLEC-näyte on otettu NT BUILD 484 mukaisesti. Sisäilman olosuhteet mittauksen aikana olivat 24 °C ja 43 %RH. Kostealla alueella muovimatossa oli kupruilua, matto irtosi helposti alustastaan, liima oli tahmeaa ja maton alla oli voimakas päällystevaurioon viittaava hajua. **Päällystevauriosta selkeimmän viitteen antoi aistinvarainen havainnointi ja kosteusmittausmitaukset. VOC-mittauksessa päästöt kasvavat kostealla alueella verrattuna kivaan.**

Yhdiste	FLEC/ kuiva [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK/ kuiva [µg/m <sup>3</sup> g]	FLEC/ kosteaa [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK/ kosteaa [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA [µg/m <sup>3</sup> ]
Yksiarvoiset alkoholit					
1-butanoli	0,9	5	6	70	1
2-etyyli-1-heksanoli	-	13	12	65	0,8
bentsyylialkoholi	6	1	25	51	4
C <sub>9</sub> -alkoholit	-	7	-	21	-
Alkoholi- ja fenolieetterit					
2-(2-butoksietoksi)etanoli	3	-	2	2	1
2-fenoksietanoli	19	6	16	10	3
Aldehydit					
n-heksanaali	2	1	2	3	0,9
n-nonanaali	7	2	5	-	3
bentsaldehydi	2	-	-	11	2
<b>TVOC</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>240</b>	<b>50</b>

Taulukko 7. Mittaustulokset on noin kaksi vuotta sitten uusitun tiivispintaisen julkisen tilan muovimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua. Kuivalta alueelta, jossa päällysteen alla suhteellinen kosteuspitoisuus oli 38 %RH, otetut näytteet ovat verrokinäytteet ja kostealta alueelta otetuissa näytteissä päällysteen alapuolella suhteellinen kosteus oli 76 %RH heti VOC-mittausten jälkeen. FLEC-näyte on otettu NT BUILD 484 mukaisesti. Sisäilman olosuhteet mittauksen aikana olivat 21 °C ja 31 %RH. Kostealla alueella muovimatossa oli voimakkaat hajut ja liima oli tahmeaa ja värjäätynyt kellertäväksi. **Päällystevauriosta selkeimmän viitteen antoi aistinvarainen havainnointi ja kosteusmittausmittaukset. FLEC-mittaustulos antaa myös selkeän viitteen vauriosta.**

Yhdiste	FLEC/ kuiva [µg/m <sup>2</sup> h]	ILMA/ kuiva [µg/m <sup>3</sup> ]	FLEC/ kosteaa [µg/m <sup>2</sup> h]	ILMA/ kosteaa [µg/m <sup>3</sup> ]
Yksiarvoiset alkoholit				
1-propanoli	-	-	18	-
2-propanoli	3	1	1	-
1-butanoli	0,6	3	0,7	0,9
2-etyyli-1-heksanoli	-	4	120	5
C <sub>9</sub> -C <sub>10</sub> -alkoholit	-	-	250	-
Eetterit				
2-(2-etoksietoksi) etanoli	11	4	50	-
Aldehydit ja ketonit				
n-heksanaali	3	3	3	-
n-heptanaali	0,7	-	1	-
n-oktanaali	0,5	0,6	-	-
n-nonanaali	11	5	-	4
<b>TVOC</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>350</b>	<b>20</b>

Taulukko 8. Mittaustulokset asunnon noin kaksi vuotta vanhan joustovinyylimuovimatton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua. Mittapisteessä 1 päällysteen alla suhteellinen kosteuspitoisuus oli 78 %RH ja mittapisteestä 2 otetuissa näytteissä päällysteen alapuolella suhteellinen kosteuspitoisuus oli 79 %RH heti VOC-mittausten jälkeen. FLEC-näyte on otettu NT BUILD 484 mukaisesti. Sisäilman olosuhteet mittauksen aikana olivat 23 °C ja 34 %RH. Aistinvaraisesti päällyste oli kunnossa eikä normaalista poikkeavia hajuja havaittu. **Päällystevauriosta selkeimmän viitteen antoi sisäilman ja pintaemission VOC-mittaukset.**

Yhdiste	FLEC 1 [µg/m <sup>2</sup> h]	ILMA 1 [µg/m <sup>3</sup> ]	FLEC 2 [µg/m <sup>2</sup> h]	ILMA 2 [µg/m <sup>3</sup> ]
Terpeenit ja niiden johdannaiset				
α-pineeni	-	7	2	26
3-kareeni	-	4	2	13
Yksiarvoiset alkoholit				
1-butanoli	2	2	3	3
2-metyyli-1-propa- noli	0,8	-	2	0,8
2-etyyli-1-heksanoli	76	30	92	21
1-nonanoli	6	3	8	3
C <sub>9</sub> -alkoholit	83	35	110	40
Alkoholi- ja fenolieetterit				
2-(2-butoksietoksi) etanoli	8	13	58	11
Aldehydit				
n-heksanaali	3	7	3	11
n-nonanaali	8	10	10	12
<b>TVOC</b>	<b>180</b>	<b>130</b>	<b>280</b>	<b>200</b>



Taulukko 9. Mittaustulokset julkisen tilan muovimaton emissiomittauksissa todellisessa tutkimuskohteessa, jossa ensimmäiset mittaukset ovat lähtötilanteessa, kun päällysteen alla on kohonnutta kosteuspitoisuus (päällysteen alapuoliset olosuhteet heti mittauksen jälkeen 23 °C ja 89 %RH), ja seurantamittaukset kymmenen vuoden kuluttua, kun kosteus on kuivunut (päällysteen alapuoliset olosuhteet heti mittauksen jälkeen 23 °C ja 65 %RH). FLEC-näyte on otettu ISO 16000-10 menetelmällä oikeasta rakenteesta. Aistinvaraisesti päällyste oli kunnossa eikä normaalista poikkeavia hajuja havaittu. **Päällystevauriota ei havaittu vaikka lähtötilanteessa suhteellinen kosteus ylitti kriittisen raja-arvon eli 85 %RH.**

Yhdiste	FLEC/ lähtötilanne [µg/m <sup>2</sup> h]	ILMA/ lähtötilanne [µg/m <sup>3</sup> ]	FLEC/ 10v. seuranta [µg/m <sup>2</sup> h]	ILMA/10v. seuranta [µg/m <sup>3</sup> ]
Orgaaniset hapot				
n-etikkahappo	3	-	< 1	< 1
n-pentaanihappo	6	-		-
2-etyyliheksaanihappo	2	-		-
Alkoholit				
etanoli	-	-	< 1	< 1
1-butanoli	-	-	< 1	< 1
2-metyyli-1-propanoli	-	-	-	< 1
2-etyyli-1-heksanoli	7	1	13	1
furfuryylialkoholi	5	-		
Aldehydit				
n-dekanaali	1	2	-	< 1
n-heksanaali	-	1	-	< 1
n-nonanaali	1	2	-	< 1
furfuraali	3	-	-	-
bentsaldehydi	3	1	-	-
vanilliini	2	-	-	-
Esterit				
2-(2-butoksyetoksi)etanoliasetaatti	9	1	< 1	< 1
dietyyliftalaatti	2	-	-	-
TXIB	-	-	< 1	< 1
Glykoli/glykolieetteri				
2-(2-butoksietoksi)etanoli	15	-	< 1	-
<b>TVOC</b>	<b>78</b>	<b>52</b>	<b>18</b>	<b>13</b>

Taulukko 10. Mittaustulokset linoleumimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä ei ole esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua. Mittauspisteessä 1 linoleumimaton alapinnan suhteellinen kosteus oli päälylystämisen jälkeen 85 %RH ja mittaushetkellä (n. 1,5 vuotta päälylystämisestä) 79 %RH. Mittauspisteessä 2 linoleumimaton alapinnan suhteellinen kosteus oli päälylystämisen jälkeen 87 %RH ja mittaushetkellä (n. 1,5 vuotta päälylystämisestä) 77 %RH. FLEC-näyte on otettu NT BUILD 484 mukaisesti. Sisäilman olosuhteet mittauksen aikana olivat 22 °C ja 40 %RH. Aistinvaraisesti päälylyste oli kunnossa. Päälylystevauriota ei havaittu vaikka lähtötilanteessa suhteellinen kosteus ylitti kriittisen raja-arvon eli 85 %RH.

Yhdiste	FLEC 1 [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK 1 [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA 1 [µg/m <sup>3</sup> ]	FLEC 2 [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK 2 [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA 2 [µg/m <sup>3</sup> ]
Terpeenit ja niiden johdannaiset						
α-pineeni	-	15	4	-	5	2
Yksiarvoiset alkoholit						
2-propanoli	-	10	-	-	7	-
1-butanoli	2	55	1	-	54	2
1-pentanol	-	25	-	-	25	-
1-heksanol	-	6	-	-	6	-
1-heptanol	-	13	-	-	13	-
1-oktanol	2	7	-	-	8	-
1-penten-3-oli	-	19	-	-	19	-
2-etyyli-1-heksanol	-	17	1	-	18	1
1-okten-3-oli	-	4	-	-	5	-
Eetterit						
2-pentyyliifuraani	-	14	-	-	14	-
Alkoholi- ja fenolieetterit						
2-butoksietanoli	-	15	0,4	-	17	0,5
2-(2-butoksietoksi)etanoli	3	35	-	-	39	0,6
Aldehydit						
n-butanaali	-	14	-	-	13	-
n-pentanaali	3	51	0,8	1	48	1
n-heksanaali	6	120	1	2	110	3
n-heptanaali	2	25	0,6	-	22	0,9

n-oktanaali	5	32	1	2	28	2
n-nonanaali	-	24	6	4	20	8
bentsaldehydi	1	4	1	-	5	1
Orgaaniset hapot						
etikkahappo	-	22	-	-	30	-
propaanihappo	28	42	5	13	58	6
butaanihappo	-	17	-	-	26	-
pentaanihappo	-	16	-	-	24	-
heksaanihappo	-	36	4	-	47	5
Esterit ja laktonit						
2-(2-butoksietyyli)asetatti	15	14	3	3	15	4
<b>TVOC</b>	<b>50</b>	<b>560</b>	<b>55</b>	<b>&lt; 40</b>	<b>600</b>	<b>50</b>

Taulukko 11. Mittaustulokset linoleumimaton päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua. Kuivalta alueelta, jossa päällysteen alapuolinen suhteellinen kosteuspitoisuus oli 39 %RH, otetut näytteet ovat verrokinäytteet ja kostealta alueelta otetussa näytteessä päällysteen alapuolella suhteellinen kosteus oli 90 %RH mittaushetkellä. FLEC-näyte on otettu NT BUILD 484 mukaisesti. Sisäilman olosuhteet mittauksen aikana olivat 21 °C ja 36 %RH. Aistinvaraisesti tilojen, sisäilmassa oli voimakas linoleumille tyypillinen hajua. Tutkittu linoleumimatto on n. 7 vuotta vanha. Päällystevauriosta selkeimmän viitteen antoi aistinvarainen havainnointi ja kosteusmittausmittaukset. VOC-mittausten perusteella emissiot ovat pienemmät kosteammalla alueella lukuun ottamatta 2-etyyli-1-heksanolipitoisuutta.

Yhdiste	FLEC/ kuiva [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK/ kuiva [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA/ kuiva [µg/m <sup>3</sup> ]	FLEC/ kosteaa [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK/ kosteaa [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA/ kosteaa [µg/m <sup>3</sup> ]
Terpeenit ja niiden johdannaiset						
α-pineeni	-	-	0,6	-	1	-
Yksiarvoiset alkoholit						
1-butanoli	-	13	0,6	-	2	0,7
2-etyyli-1-heksanoli	-	83	2	1	120	1
Moniarvoiset alkoholit						
propyleeni-glykoli	-	-	-	-	-	-
Aldehydit ja ketonit						
n-pentanaali	-	42	-	-	8	0,6
n-heksanaali	-	77	-	-	19	-
n-oktanaali	-	46	-	-	13	-
n-nonanaali	3	28	1	6	12	2
n-dekanaali	0,7	3	0,7	2	1	-
bentsaldehydi	-	3	0,8	-	-	0,7
Hapot						
butaanihappo	-	36	-	-	4	-
etikkahappo	-	75	-	-	-	-
heksaanihappo	5	56	-	-	12	-
pentaanihappo	-	36	-	-	6	-
propanihappo	-	110	-	-	7	-
<b>TVOC</b>	<b>&lt;10</b>	<b>510</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>250</b>	<b>10</b>

Taulukko 12. Mittaustulokset ftalaatittoman n. 2 vuotta vanhan päällysteen päästöistä todellisessa tutkimuskohteessa, jossa käyttäjillä on esiintynyt sisäilman huonoon laatuun viittaavaa oireilua. Kuivalta alueelta, jossa suhteellinen kosteuspitoisuus päällysteen alla oli 82 %RH mittapisteestä otetut näytteen ovat verrokinäytteet ja kostealta alueelta otetuissa näytteissä maton alapuolella suhteellinen kosteus oli 91 %RH heti VOC-mittausten jälkeen. FLEC-näyte on otettu NT BUILD 484 mukaisesti. Sisäilman olosuhteet mittauksen aikana olivat 22 °C ja 45 %RH. Aistinvaraisesti päällysteen alapinnassa oli kosteammalla alueella hieman liimamainen haju ja kuivemmalla alueella miellyttävä hieman makea tuoksu. Kuivalta alueelta otetussa näytteessä tilan ilmanvaihto oli pois päältä (ei kuvaa tilan sisäilman VOC-pitoisuutta normaalin käytön aikana, jolloin ilmanvaihto on toiminnassa) mittauksen aikana ja tilan sisäilmassa oli voimakas muovimainen haju. **Päällystevauriosta selkeimmän viitteen antoi aistinvarainen havainnointi ja kosteusmittausmittaukset. Rakenteesta irrotetussa bulk-materiaalinäytteessä pitoisuudet pienenevät kosteammalla alueella verrattuna kuivempaan alueeseen ja materiaalinäytteen tulos viittaisi vaurioon myös kuivemmalla alueella. Kuivalla alueella ei kuitenkaan muuten havaittu mitään viitettä vauriosta, joten päällyste todettiin olevat kuivalla alueella kunnossa.**

Yhdiste	FLEC/ kuiva [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK/ kuiva [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA/ kuiva [µg/m <sup>3</sup> ]	FLEC/ kosteaa [µg/m <sup>2</sup> h]	BULK/ kosteaa [µg/m <sup>3</sup> g]	ILMA/ kosteaa [µg/m <sup>3</sup> ]
Terpeenit ja niiden johdannaiset						
α-pineeni	-	7	9	-	5	9
limoneeni	-	-	1	-	1	0,7
junipeeni	-	-	-	-	2	-
Yksiarvoiset alkoholit						
1-butanoli	-	4	6	2	8	5
2-metyyli-1-propanoli	5	3	23	2	4	18
2-etyyli-1-heksanoli	-	-	2	0,7	55	1
Alkoholi- ja fenolieetterit						
1-metoksi-2-propanoli	4	-	68	-	-	-
<b>TVOC</b>	<b>&lt; 30</b>	<b>580</b>	<b>320</b>	<b>&lt; 30</b>	<b>240</b>	<b>170</b>

Näiden esimerkinomaisesti kohteissa tehtyjen mittaustulosten perusteella nähdään, että osassa tapauksissa pelkkien VOC-mittausten tulosten perusteella olisi päädytty väärin johtopäätöksiin päällystevaurion arvioinnissa. Toisaalta osasta mittaustuloksista nähdään, että tuloksen tulkinnan tekeminen on yksiselitteistä ja selkeää riippuen lähinnä päällystemateriaalin tyypistä ja iästä. Johtopäätöksenä tästä voidaan havaita, että VOC-mittauksista on osassa tapauksista hyötyä vaurion arvioinnissa, mutta pelkästään niiden perusteella ei voida tehdä tulkintaa korjaustarpeesta vaan se edellyttää aina myös muuta havainnointia ja tarvittavassa määrin kosteusmittauksia.

## *6 Laskennallinen analyysi*

### **6.1 TEORIA JA LASKENTAKAAVAT SEKÄ KÄYTETYT OHJELMISTOT**

#### *6.1.1 Sisäilman laadun mallintaminen*

Laskennalliset tarkastelut on tehty laskentakaavalla 1 stationääristilassa sekä dynaaminen mallinnus tehtiin IDA Ice ohjelmiston avulla. IDA Ice on tarkoitettu lähinnä energialaskentaan, mutta sillä pystytään mallintamaan myös sisäolosuhteita. IDA Ice huomioi lämpötilan lisäksi myös ilman kosteuspitoisuuden ja hiilidioksidipitoisuuden. Tässä tutkimuksessa testattiin IDA Ice simulointiohjelman soveltuvuutta sisäilman TVOC-pitoisuuksien mallinnuksessa. Sisäilman laadun dynaamisessa mallinnuksessa huomioitiin muun muassa päällystemateriaalien emissioiden suuruudet ja emittoivan alueen pinta-ala lattiarakenteesta, rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyys ja ilmanvaihdon käyntiajat. Laskennan lähtötietona käytettiin materiaalien TVOC-emissiokertoimia. Mallinnustulosta verrattiin yksinkertaisella stationääritilan tarkastelulla saatuun tulokseen.

IDA Ice ohjelmistolla voidaan tutkia tilan hiilidioksidipitoisuutta, joka huomioi taustan (ulkoilman) hiilidioksidipitoisuuden, tilan ilmanvaihdon ja tilassa kuormista (esim. ihmisistä) vapautuvan hiilidioksidin. Mallinnusohjelma huomioi ilman siirtymisen vyöhykkeeltä toiselle paine-erojen avulla. Tässä tarkastelussa TVOC-

pitoisuuksia mallinnetaan hyödyntämällä hiilidioksidipitoisuuden laskentakaavoja. Taustan pitoisuus asetettiin nollassi, jolloin se ei vaikuttanut mallinnustulokseen. Tätä periaatetta soveltamalla pyrittiin jäljittelemään sisäilmamittaustilannetta, jossa huonetilan lattiapinnalla on TVOC –emissiolähde (esim. FLEC-mittauksena mitattu pintatuotto) ja ilmanvaihto toimii aikaohjatusti määrättyllä aikataululla. Näiden perusteella selvitettiin, mikä on tilan sisäilman epäpuhtauspitoisuus tietyssä ajanjaksona työskentelyalueella, kun ilmanvaihto käy normaalin aikataulunsa mukaisesti ol- len välillä päällä ja välillä pois päältä.

Tarkasteltava tila jaettiin mallinnuksessa kahteen vyöhykkeeseen. Ulkoseinän puolel- la olevaan vyöhykkeeseen asetettiin lattiaan päästölähde, ilmanvaihdon tuloilma- venttiili sekä työpiste. Toiselle vyöhykkeelle asetettiin lattiaan päästölähde ja ilman- vaihdon poistoilmaventtiili.

Mallinnuksessa tarkasteltavan tilan pinta-ala on 13 m<sup>2</sup> ja tilavuus 42 m<sup>3</sup>. Tarkastelta- vasta tilasta yksi seinä on ulkoseinä ja muut ovat väliseiniä. Tila on jaettu puoliksi kahteen eri vyöhykkeeseen, jossa ulkoseinän puoleisen vyöhykkeen lattian TVOC- pintatuotto on 30 µg/m<sup>2</sup>h ja toisen vyöhykkeen pintatuotto on 40 µg/m<sup>2</sup>h. Mallinnuk- sessa tarkasteltiin yhteensä neljää eri mallinnustapausta. Mallinnustapauksessa 1 arvioitiin ilmanvaihdon tehokkuuden vaikutusta päällysteen primääriemissiosta pe- räisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Mallinnustapauksessa 2 arvioitiin ul- kovaipan ilmanpitävyyden eli n<sub>50</sub>-luvun vaikutusta sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Mallinnustapauksessa 3 arvioitiin paikallisen vaurioalueen pinta-alan suuruuden vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Kyseisessä tarkastelussa oletet- tiin primääriemissioiden lisäksi vaurio-alueelta emittoituvan sekundääriemissioita. Mallinnustapauksessa 4 arvioitiin paikallisen päällystevaurion sekundääriemissioi- den suuruuden vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Kunkin mallin- nustapauksen lähtötiedot on koottu taulukkoon 13.

Taulukko 13. Mallinnustapausten 1-4 mallinnuksessa käytetyt lähtötiedot.

	<b>Ilmanvaihtokerroin [1/h]</b>	<b>Ilmanvuo- toluku n<sub>50</sub></b>	<b>Vaurioalueen pinta- ala [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Vaurioalueen pintatuotto [µg/m<sup>2</sup>h]</b>
Mallinnus 1				
a)	0,25	2	-	-
b)	0,5	2	-	-
c)	1,0	2	-	-
d)	1,5	2	-	-
Mallinnus 2				
a)	1	1	-	-
b)	1	2	-	-
c)	1	3	-	-
d)	1	4	-	-
Mallinnus 3				
a)	1,5	2	0,1	1000
b)	1,5	2	0,2	1000
c)	1,5	2	0,3	1000
d)	1,5	2	1,0	1000
Mallinnus 4				
a)	1,5	2	1,0	200
b)	1,5	2	1,0	600
c)	1,5	2	1,0	1000

Vertailulaskelmat on tehty stationääritilan tarkastelulla laskemalla pintojen emissioi-  
den osuudet seuraavan yhtälön avulla:

$$(1) \quad C_a = (L \cdot \text{SER}_a) / n$$

missä  $C_a$  on sisäilman pitoisuus [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ],  $n$  on ilmanvaihtokerroin, IVK [1/h],  $\text{SER}_a$  on  
spesifinen emissionopeus [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ] ja  $L$  on pinta-alan suhde tilavuuteen [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ].

Stationääritilan laskelmassa ei huomioida ulkovaipan ilmanpitävyyttä eikä ilman-  
vaihdon ajasta riippuvaa käyntiohjausta. Laskelmassa ilmanvaihtuvuus oletetaan  
vakioiksi ja huoneilman sekoittuvan täydellisesti.



### ***6.1.2 Betonirakenteen kosteusjakauman mallintaminen***

Betonirakenteen kosteusjakauman mallinnuksen tarkoituksena on arvioida massiivisen betonirakenteen kuivumiskykyä lattioiden muovipäällysteiden vesihöyrynläpäisevyyksien vaikutuksesta. Tarkastelu tehtiin kahdella eri päällystemateriaalilla, jotka olivat muovimatto ja linoleumimatto.

Mallinnus tehtiin WUFI Pro -ohjelman versiolla 4.1. Käytetty ohjelma on tarkoitettu yksiulotteisen lämmön- ja kosteudensiirtymisen mallintamiseen ja sillä voidaan tarkastella sekä diffuusiolla että kapillaarisesti tapahtuvaa kosteudensiirtymistä jatkuvuustilan lisäksi myös ajasta riippuvissa tapauksissa.

Laskennassa on käytetty sisäilman lämpötilalle keskiarvoa +21 °C (amplitudi 1 °C) ja suhteelliselle kosteudelle keskiarvoa 50 % (amplitudi 10 %). Olosuhteet vaihtelivat vuodenaikojen mukaan. Nämä olosuhteet valittiin, koska haluttiin tarkastella betonirakenteen kuivumista normaalitilannetta hieman epäedullisemmissä olosuhteissa, jotta laskentatulokset on varmallalla puolella. Todellisuudessa normaalitilanteessa sisäilman suhteellinen kosteuspitoisuus on alhaisempi kuin laskentatapauksessa. Laskentatapaus kuvaa tilannetta, jossa sisätiloissa on toimintaa, joka aiheuttaa tilaan kosteuslisän.

Tarkastelu toteutettiin siten, että kunkin rakenteen osalta laskenta suoritettiin 15 testivuoden ajan. Lopputuloksena saatiin rakenteeseen sijoitettujen monitorointipisteiden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muuttuminen laskennan aikana. Monitorointipisteinä tarkasteltiin päällysteen sisäpintaa eli lattian yläpintaa sekä päällysteen alapintaa eli liimakerrosta. Lisäksi tarkasteltiin koko rakenteen poikkileikkauksen kosteusprofiilia viiden vuoden välein yhteensä 15 testivuoden ajan.

Lähtötilanteessa rakenteen jokaisen rakennekerroksen kosteus- ja lämpötilajakaumat oletettiin vakioiksi. Lähtötilanteen lämpötilaksi oletettiin 20 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 90 %. Lähtötilanteen kosteusjakauma oletettiin tasaiseksi, koska haluttiin tarkastella miten rakennepoikkileikkauksen kosteusprofiili muuttuu testivuosien aikana.

Tarkasteltava rakennetyyppi ylhäältä alaspäin lueteltuna on muovipäällyste, matto-liima, tasoite 2 mm, pohjustusaine (primeri) ja välipohjan runkobetoni 300 mm. Tarkempia mallinnuksessa käytettyjä lähtötietoja on esitetty liitteessä 1. Tarkasteltavaksi on valittu todellisessa kohteessa oleva rakenne, jonka kosteuspitoisuudesta tiedettiin riittävän tarkasti. Nykyisin tulisi pyrkiä 5 mm paksuiseen tasoitekerrokseen, jotta saadaan pienennettyä riskiä päällystevauriosta alkalisuojan takia.

Vesihöyrynläpäisykertoimen avulla laskettiin muita materiaalien vesihöyrynläpäisevyyden kuvaamiseen käytettyjä yksiköitä. Kaavoissa 2-8 on esitetty niiden laskentakaavat.

- |     |  |  |
|-----|--|--|
| (2) | vesihöyrynläpäisykerroin [m/s]                     | $W_v(\Delta v) = \partial g / \partial \Delta v$ |
| (3) | vesihöyrynläpäisykerroin [kg/(m <sup>2</sup> sPa)] | $W_p = W_v / (R / M_v) \cdot (273,15 + t)$       |
| (4) | vesihöyrynvastus [s/m]                             | $Z_v = 1 / W_v$                                  |
| (5) | vesihöyrynvastus [(m <sup>2</sup> sPa)/kg]         | $Z_p = 1 / W_p$                                  |
| (6) | vesihöyrynläpäisevyys [m <sup>2</sup> /s]          | $\delta_v = W_v \cdot d$                         |
| (7) | vesihöyrynläpäisevyys [kg/(msPa)]                  | $\delta_p = W_p \cdot d$                         |
| (8) | vesihöyrynläpäisevyys [-]                          | $\mu = \delta_{p,ilma} / \delta_p$               |

missä g on kosteusvirran tiheys [kg/(m<sup>2</sup>s)], R on yleinen kaasuvakio 8314,3 J/(kmolK), M<sub>v</sub> on vesihöyrynläpäisevyyden molekyylipaino 18,02 kg/kmol, t on lämpötila [°C], d on materiaalin paksuus [m] ja  $\delta_{p,ilma}$  on seisovan ilman vesihöyrynläpäisevyys [kg/(msPa)]. (Vinha J., 2005). Tässä työssä tehdyssä mallinnuksen lähtötietoparametrien muutoksissa on käytetty seisovalle ilmalle vesihöyrynläpäisevyyttä  $188 \cdot 10^{-12}$  kg/(msPa).

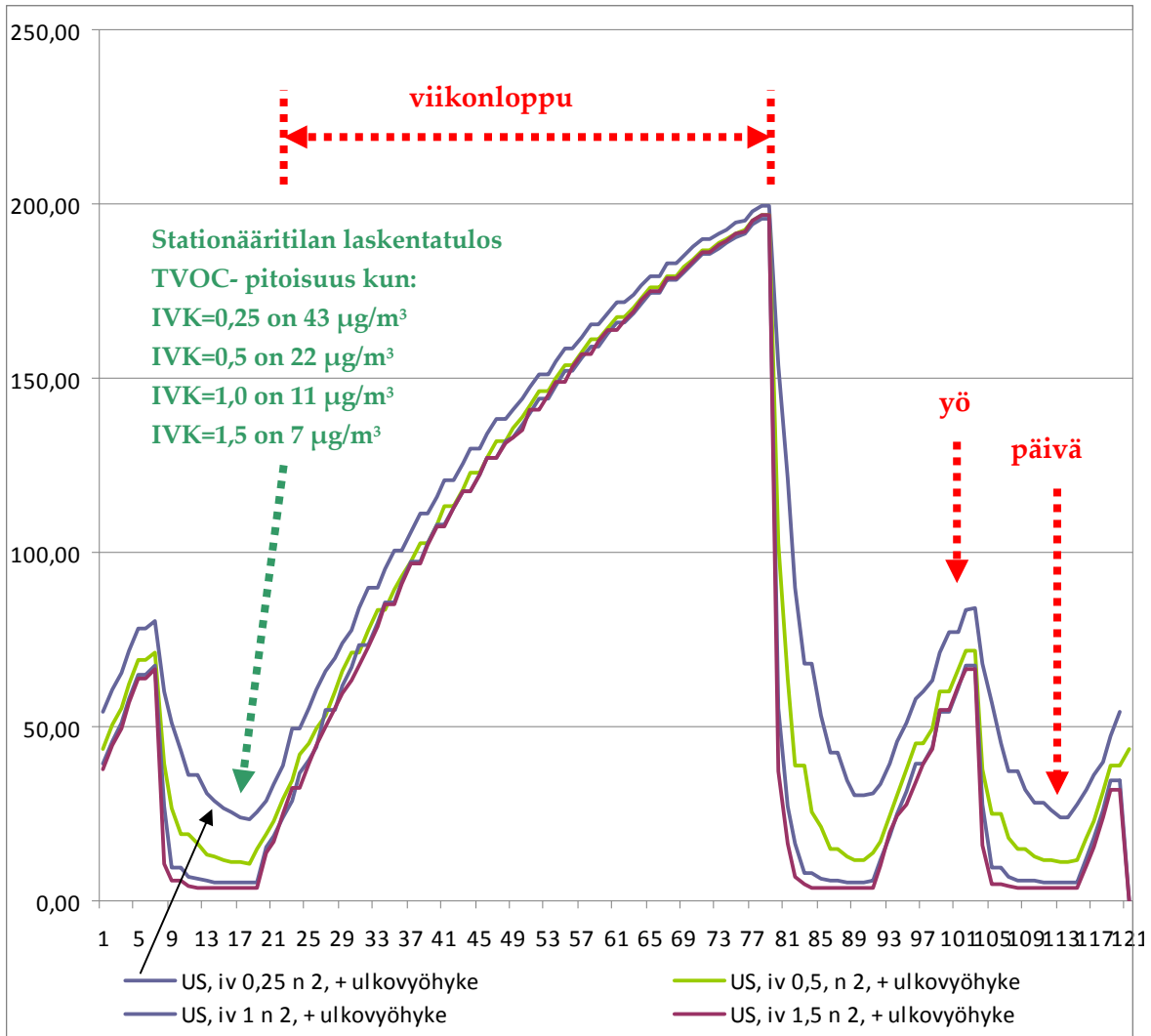
Muunnoksien laskennassa on käytetty Fichin lain kaavoja 9-11:

- |      |  |   |
|------|--|---|
| (9)  | vesihöyrynläpäisevyys [m <sup>2</sup> /s]  | $\delta_v = d / Z_v$  |
| (10) | vesihöyrynläpäisevyys [kg/(msPa)]          | $\delta_p = \delta_v / (1,306 \cdot 10^5 \text{ m}^2 / \text{s}^2)$ |
| (11) | vesihöyrynvastus [(m <sup>2</sup> sPa)/kg] | $Z_p = d / \delta_p$  |

## 6.2 LASKENTATULOKSET

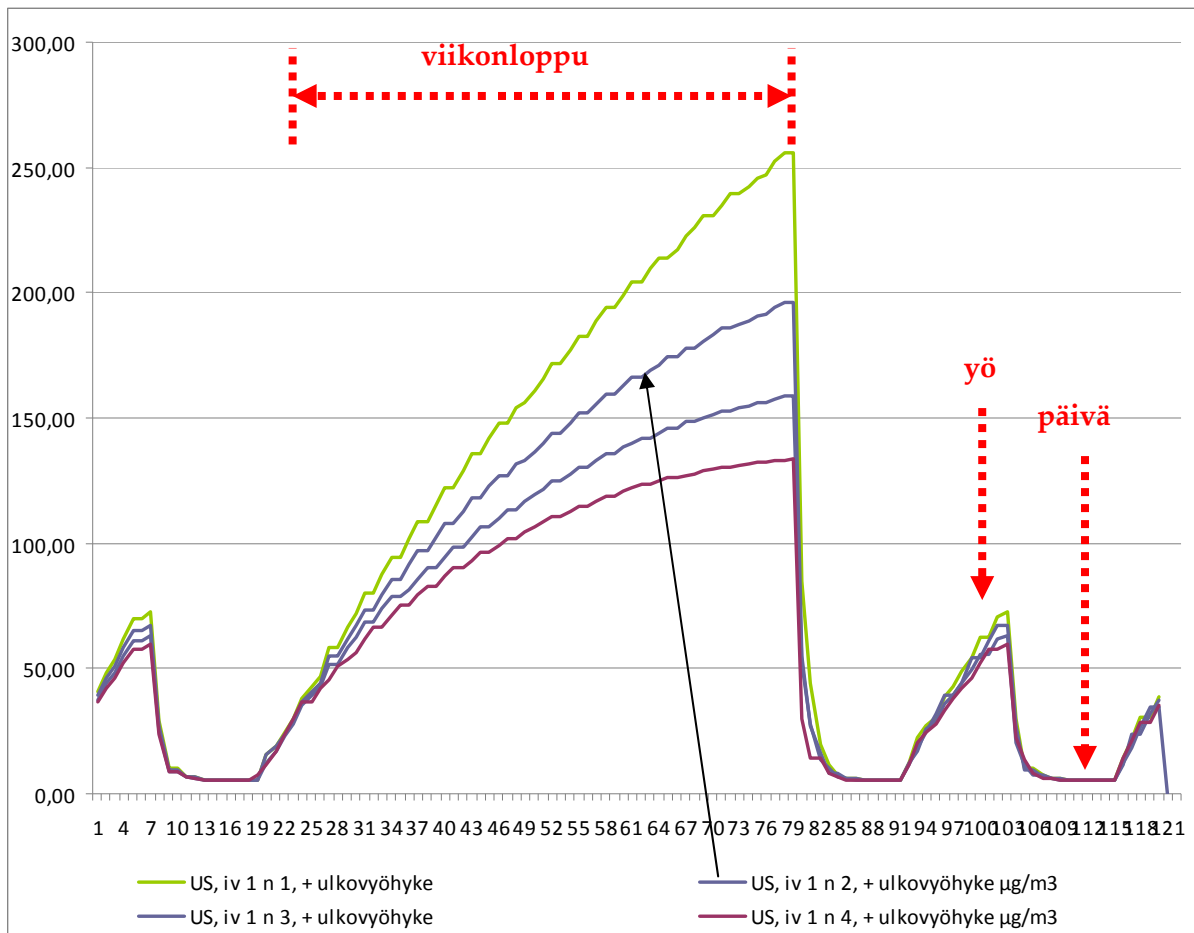
### 6.2.1 Sisäilman laadun mallinnustulokset

IDA Ice ohjelmalla lasketun dynaamisen mallinnuksen tulokset jokaisessa mallinnustapauksessa 1-4 on esitetty kuvissa 10-13. Vertailulaskelmia varten tehdyt stationääritilan laskentatulokset on lisätty dynaamisen mallinnuksen tuloskuviin.

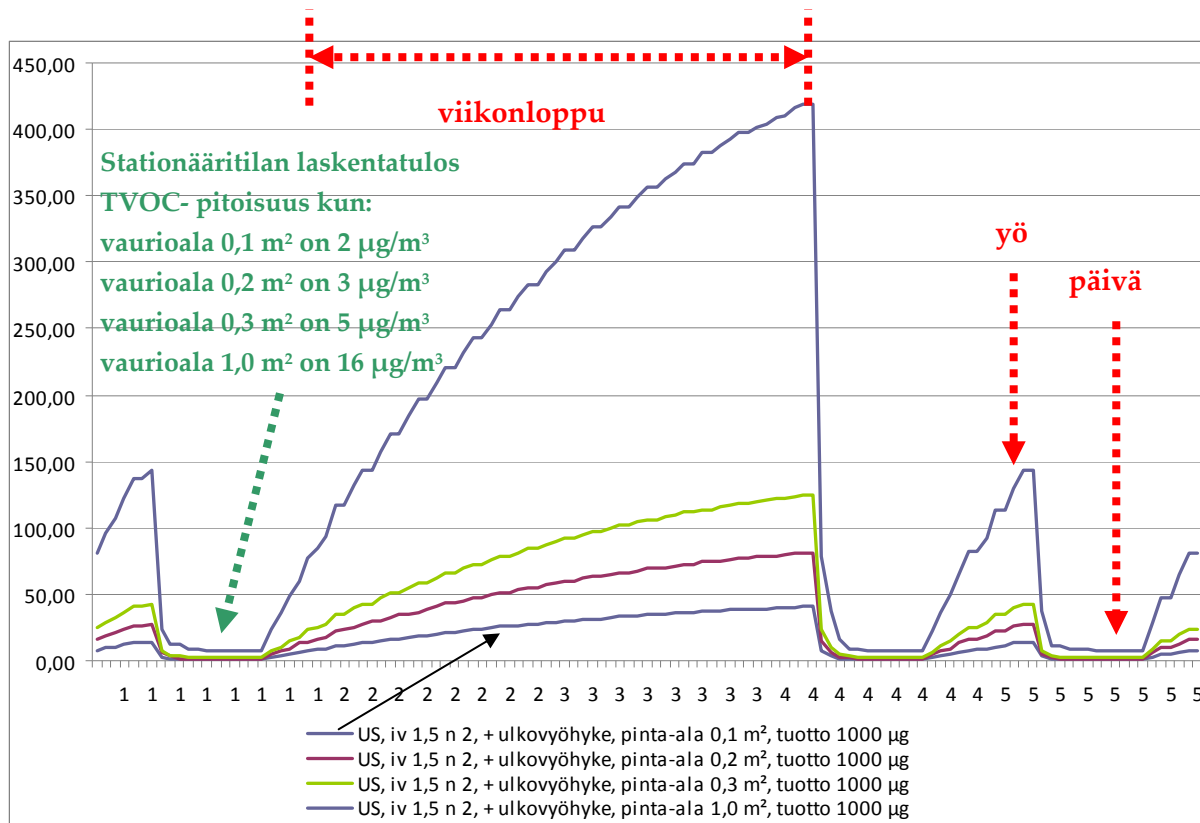


Kuva 10. Mallinnustapaus 1, josta nähdään ilmanvaihdon tehokkuuden vaikutusta lattiapäällysteen primääriemissioista peräisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Laskelmassa TVOC-pitoisuuden tuotto on peräisin ainoastaan lattiapäällysteestä sisäilmaan eli muita lähteitä ei ole huomioitu tarkastelussa. Tarkasteltava ajanjakso on viisi vuorokautta ja ilmanvaihto on pois päältä yön ja viikonlopun aikana. Tuloksena saadut sisäilman TVOC-pitoisuudet ovat yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ilmanvaihtokertoimesta on käytetty lyhennettä IVK. Tu-

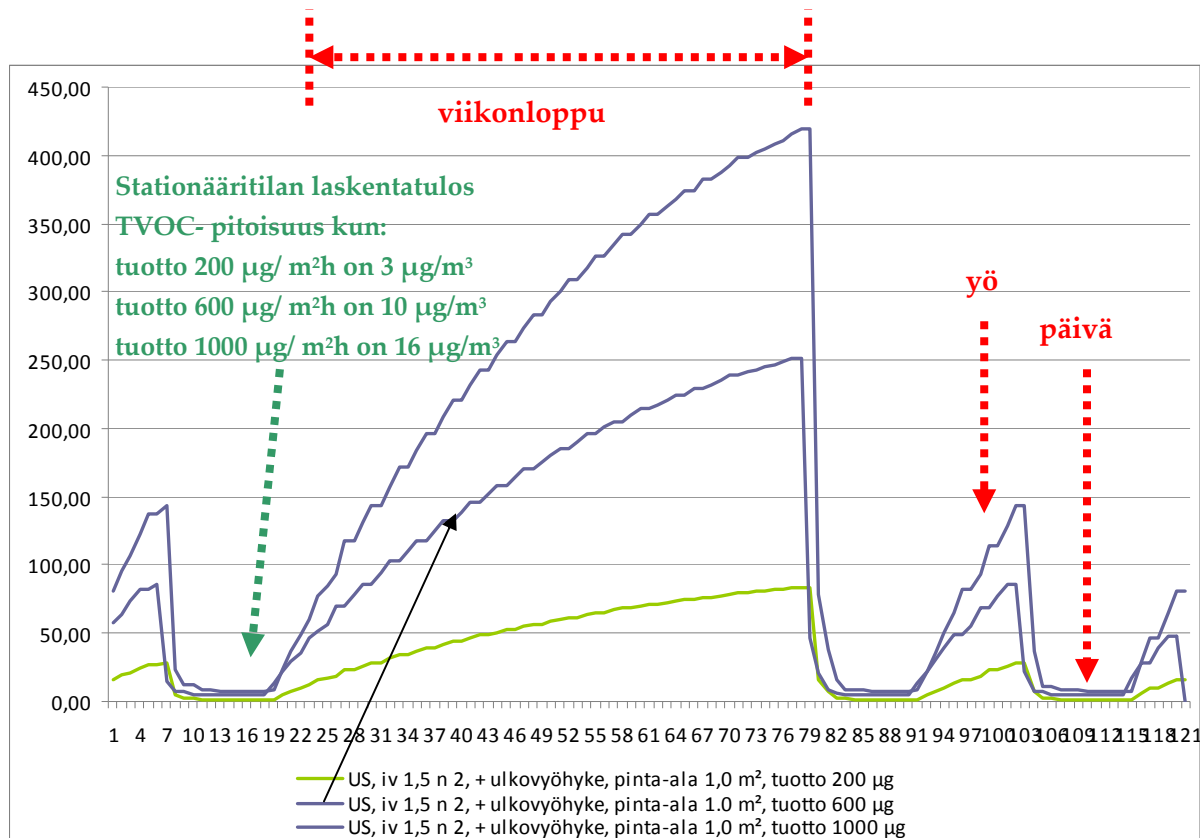
loksesta nähdään, että esimerkkitilanteen huoneen ilmanvaihdon tehostaminen vaikuttaa merkittävästi päällysteestä peräisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen kun ilmanvaihtokerroin on pienempi eli 0,25 1/h tai 0,5 1/h. Suuremmilla ilmanvaihtokerroilla 1 1/h ja 1,5 1/h ei saada enää suurta vaikutusta sisäilman TVOC-pitoisuuteen.



Kuva 11. Mallinnustapaus 2, josta nähdään ulkovaipan ilmanpitoisuuden ( $n_{50}$ -luvun) vaikutusta lattiapäällysteen primääriemissioista peräisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Laskelmassa TVOC-pitoisuuden tuotto on peräisin ainoastaan lattiapäällysteestä sisäilmaan eli muita lähteitä ei ole huomioitu tarkastelussa. Tarkasteltava ajanjakso on viisi vuorokautta ja ilmanvaihto on pois päältä yön ja viikonloppun aikana. Tuloksena saadut sisäilman TVOC-pitoisuudet ovat yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tuloksesta nähdään, että ulkovaipan ilmatiiveys vaikuttaa sisäilman lattiapäällysteestä peräisin olevaan sisäilman TVOC-pitoisuuteen erityisesti silloin kun ilmanvaihto on pois päältä.



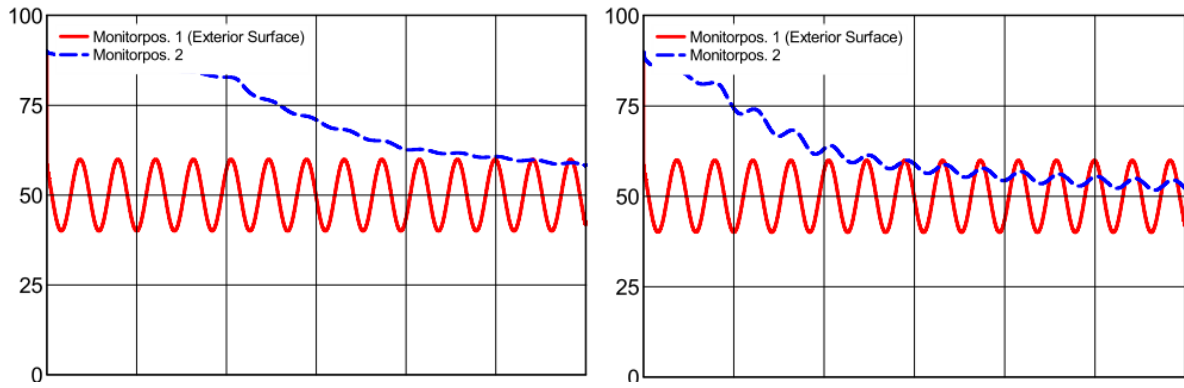
Kuva 12. Mallinnustapaus 3, josta nähdään paikallisen vaurioalueen pinta-alan laajuuden vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen, kun vaurioalueelta emittoituu sisäilmaan sekundääriemissioita. Laskelmassa TVOC-pitoisuuden tuotto on peräisin ainoastaan oletetun vaurioalueen kohdan lattiapäällysteestä sisäilmaan eli muita lähteitä ei ole huomioitu tarkastelussa. Tarkasteltava ajanjakso on viisi vuorokautta ja ilmanvaihto on pois päältä yön ja viikonloppun aikana. Tuloksena saadut sisäilman TVOC-pitoisuudet ovat yksikössä µg/m<sup>3</sup>. Tuloksesta nähdään, että pienellä vaurioalueella ei ole merkittävää vaikutusta tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen.



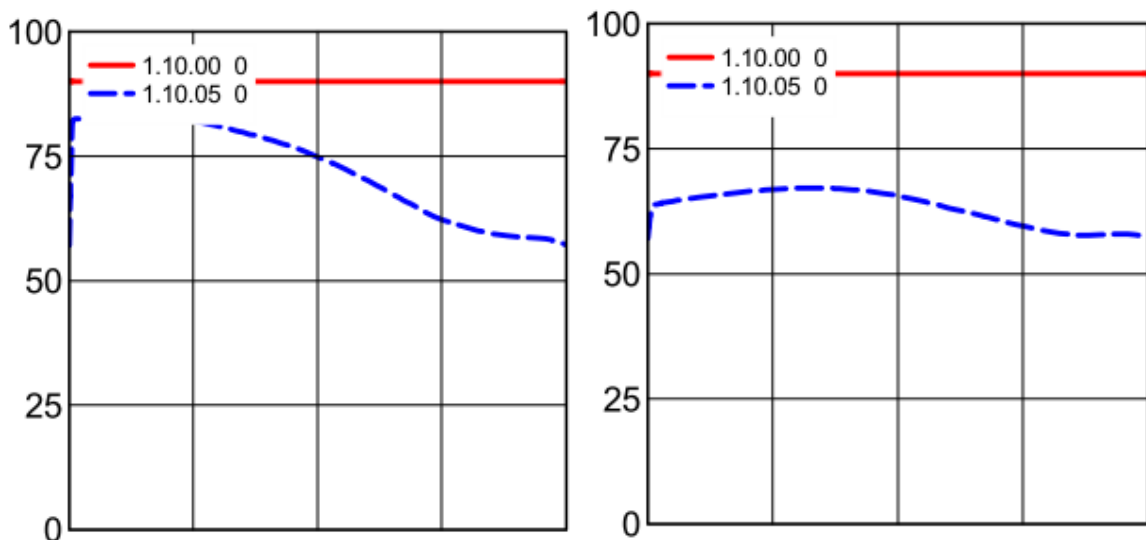
Kuva 13. Mallinnustapaus 4, josta nähdään paikallisen vaurioalueen sekundääriemission suuruuden vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Laskelmassa TVOC-pitoisuuden tuotto on peräisin ainoastaan oletetun vaurioalueen kohdalta lattiapäällysteestä sisäilmaan eli muita lähteitä ei ole huomioitu tarkastelussa. Tarkasteltava ajanjakso on viisi vuorokautta ja ilmanvaihto on pois päältä yön ja viikonloppun aikana. Tuloksena saadut sisäilman TVOC-pitoisuudet ovat yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tuloksesta nähdään, että vaurion suuruudella on merkittävä vaikutus tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen.

### 6.2.2 Betonirakenteen kosteusjakauman mallinnustulokset

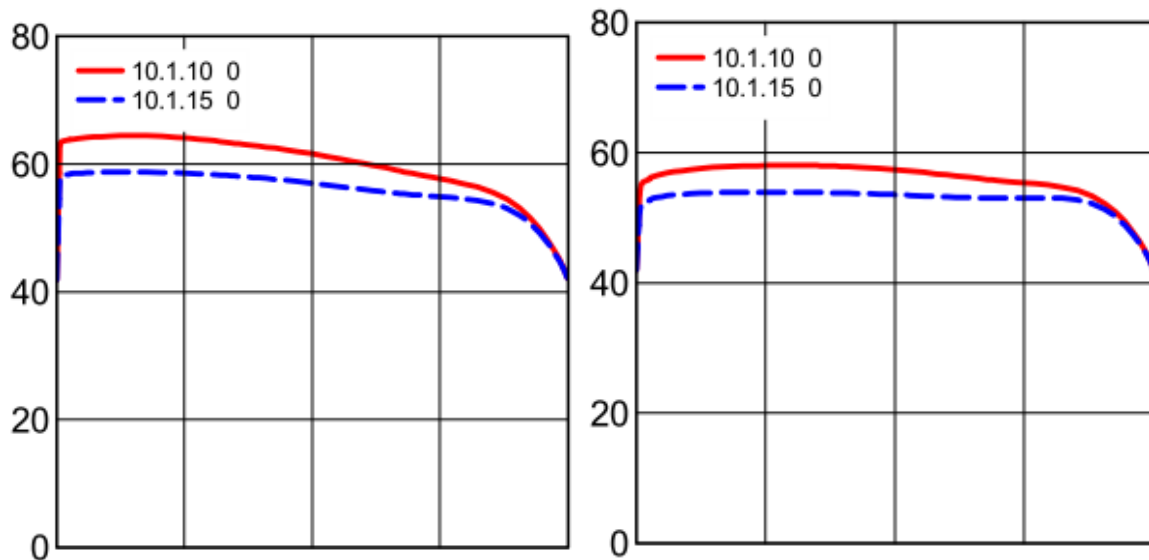
Mallinnuksen tulokset muovimaton ja linoleumimaton tapauksissa on esitetty kuvissa 14-16. Tuloksissa on esitetty 15 vuoden laskentatulokset päällysteen alapinnassa sekä koko rakenteen poikkileikkauksen kosteusprofiili lähtötilanteessa, viiden vuoden kuluttua, kymmenen vuoden kuluttua sekä 15 vuoden kuluttua.



Kuvat 14 a ja b. Mallinnustulokset suhteellisesta kosteuspitoisuudesta rakenteen sisäpinnassa (pun.) ja päällysteen alapuolella (sin.) 15 vuoden tarkastelujaksolla. Vasemmassa kuvassa lattiapäällysteenä on muovimatto ja oikeassa kuvassa lattiapäällysteenä on linoleumimatto. X-akselilla on aika vuosissa (ks. punaisen viivan vuosisyklit) ja y-akselilla on suhteellisen kosteuden lukema [%RH].



Kuvat 15 a ja b. Mallinnustulokset rakenteen poikkileikkauksen suhteellisen kosteuspitoisuuden jakaumasta lähtötilanteessa (pun.) ja viiden vuoden kuluttua päällystämisestä (sin.). Vasemmassa kuvassa lattiapäällysteenä on muovimatto ja oikeassa kuvassa lattiapäällysteenä on linoleumimatto. X-akselilla on rakennekerroksen paksuus siten, että 0-kohdassa on rakenteen pinta ja oikealle rakenteen poikkileikkaus rakennepaksuuksien suhteessa (muovimatto/linoleumimatto, mattoliima, tasoite 2 mm, primeri ja betonia 300 mm). Y-akselilla on suhteellisen kosteuden lukema [%RH].



Kuvat 16 a ja b. Mallinnustulokset rakenteen poikkileikkauksen suhteellisen kosteuspitoisuuden jakaumasta kymmenen vuoden kuluttua (pun.) ja 15 vuoden kuluttua (sin.) päällystämisestä. Vasemmassa kuvassa lattiapäällysteenä on muovimatto ja oikeassa kuvassa lattiapäällysteenä on linoleumimatto. X-akselilla on rakennekerroksen paksuus siten, että 0-kohdassa on rakenteen pinta ja oikealle rakenteen poikkileikkaus rakennepaksuuksien suhteessa (muovimatto/linoleumimatto, mattoliima, tasoite 2 mm, primeri ja betonia 300 mm). Y-akselilla on suhteellisen kosteuden lukema [%RH].

## 6.3 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.3.1 Sisäilman laadun mallinnustulosten tarkastelu

Tulosten perusteella voidaan todeta, että mikäli TVOC-tuotto tilassa tunnetaan, voidaan pitoisuudet eri aikoina, tilan eri osissa laskea huomioiden tilan ilmanvaihto ja ilmanvuotoluku. Tarkempia tuloksia saadaan, jos tila jaetaan useampiin vyöhykkeisiin, koska vyöhykkeen sisällä pitoisuus on vakio. Ohjelma olettaa siis, että ilma sekoittuu täydellisesti kyseisellä vyöhykkeellä. Useampiin vyöhykkeisiin jakaminen on kannattavaa varsinkin silloin, kun tila on suuri tai geometrialtaan muuten monimutkainen tai, kun ilmaa tuodaan ja poistetaan tilasta useammasta kuin yhdestä kohdasta tai, jos tilassa on useampia työskentelyalueita.



Tehtyjä dynaamisia, eli ajasta riippuvia, laskentatuloksia ei voida suoraan verrata mitattuun sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Tämä johtuu siitä, että laskennassa on huomioitu ainoastaan tilan lattiapinnan pintatuoton vaikutus koko huoneen ilmatilavuuteen huomioiden ilmavaihdon ja ulkovaipan ilmanpitävyyden laimentava vaikutus. Laskennassa ei huomioitu muiden pintojen ja päästölähteiden TVOC-tuottoa sisäilmaan eikä myöskään yhdisteiden adsorboitumista muihin pintoihin. Kuitenkin näiden laskentatulosten perusteella voidaan arvioida mitatun lattian pintatuoton vaikutusta ja osuutta sisäilman TVOC-pitoisuuteen, arvioida ilmanvaihdon tehokkuuden ja käyntiaikojen vaikutusta sekä ulkovaipan ilmanpitävyyden vaikutusta laskentatulokseen.

Stationääritilan tarkastelussa ei huomioida ulkovaipan ilmanpitävyyttä eli siinä huomioidaan vain pintatuotto lattiasta, tilan ilmanvaihtokerroin sekä tilan pinta-ala ja tilavuus. Stationääritilan ja dynaamisen mallinnuksen tuloksia vertaamalla nähdään, että laskenta antaa samansuuruisia tuloksia. Stationääritilan laskentatulos on hieman suurempi johtuen siitä, että dynaamisessa mallissa on lisäksi huomioitu ulkovaipan vuotoilman laimentava vaikutus.

Dynaamisen mallinnuksen tuloksista nähdään, että ilmanvaihdolla on oleellinen vaikutus sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Pitoisuus alkaa kohota kun ilmanvaihto on pois päältä ja pitoisuus kasvaa kunnes ilmanvaihto käynnistyy. Ilmanvaihdon avulla saadaan pidettyä sisäilman TVOC-pitoisuus alhaisena. Mitä tehokkaampi ilmanvaihto on, sitä alhaisempi sisäilman TVOC-pitoisuus saavutetaan. Lisäksi tuloksista nähdään, että ulkovaipan ilmanvuotoluvulla on oleellisesti vaikutusta sisäilman TVOC-pitoisuuteen erityisesti silloin kun ilmanvaihto on pois päältä. Tämä johtuu siitä, että rakenteiden läpi tuleva vuotoilmavirta laimentaa sisäilman TVOC-pitoisuutta. Tuloksista nähdään myös, että vain pienien vaurioalueiden sekundäriemissioilla ei ole merkittävää vaikutusta koko tilan sisäilman TVOC-pitoisuuteen. Mitä laajempi vaurioalue on ja mitä korkeampi pitoisuus haihtuu, niin sitä enemmän sillä on negatiivista vaikutusta koko tilan sisäilman laatuun.

### ***6.3.2 Betonirakenteen kosteusjakauman mallinnustulosten tarkastelu***

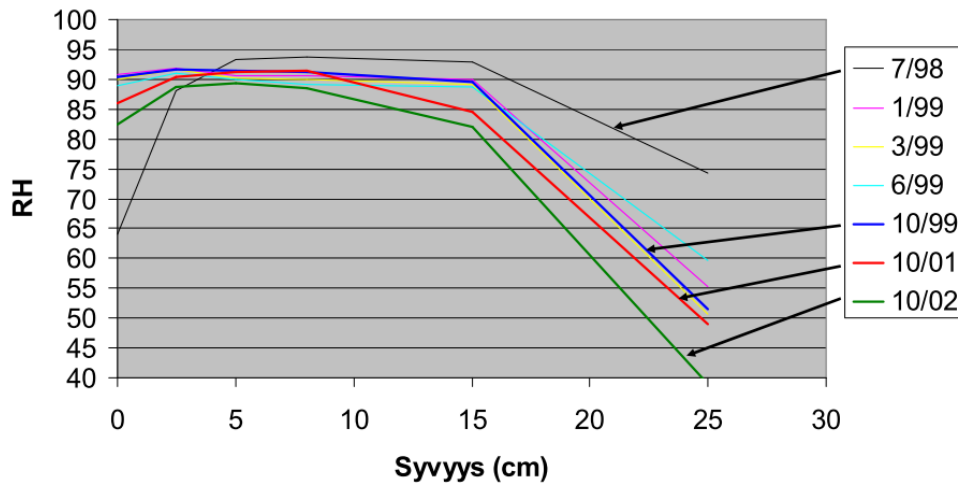
Laskentatuloksien perusteella nähdään selvä ero muovimaton (vesihöyrytiivimpi pintarakenne) ja linoleumimaton (vesihöyryä läpäisevämpi pintarakenne) välillä. Tarkasteluun on valittu tiivispintaisen muovimaton ja tavanomaisen linoleumimaton vesihöyrynläpäisevyudet (ks. taulukko 1). Vesihöyrynläpäisyominaisuudet vaihtelevat tuotekohtaisesti eivätkä tulokset ole siten sovellettavissa kaikkien päällysteiden tarkasteluihin. Laskennassa oletettiin, että tarkastellun välipohjarakenteen alapinta on paljas betonipinta, joka mahdollistaa rakenteen kuivumisen tehokkaammin alapinnasta kuin tilanteessa, jossa pinta on esimerkiksi maalattu. Käytännössä välipohjarakenteen alapinnassa oleva pinnoite on tyypillisesti huomattavasti vesihöyryä läpäisevämpi materiaali kuin lattian muovipäällyste. Laskennallinen tarkastelu kuvaa teoreettista tilannetta tarkastellusta rakennetyypistä ja valituista materiaaliominaisuuksista. Laskentatuloksen perusteella pystytään arvioimaan aikariippuvasti vuosien tarkastelujaksolla suhteellisen hyvin rakenteen kuivumista eri päällystemateriaalien tapauksissa, kun materiaaliominaisuudet tiedetään riittävällä tarkkuudella.

Mallinnustuloksen perusteella muovimaton tapauksessa, kun massiivisen betonirakenteen (paksuus 300 mm + pintarakenteet) suhteellinen kosteus lähtötilanteessa on koko rakenteessa 90 %RH, kuivuminen viiden ensimmäisen vuoden aikana on hidasta eli vain noin 1 %RH-yksikköä vuodessa. Kuivuminen nopeutuu tästä viiden vuoden jälkeen noin 2 %RH-yksikköön vuodessa johtuen siitä, että betonirakenteesta kosteus pääsee kuivumaan nopeammin rakenteen alapinnasta.

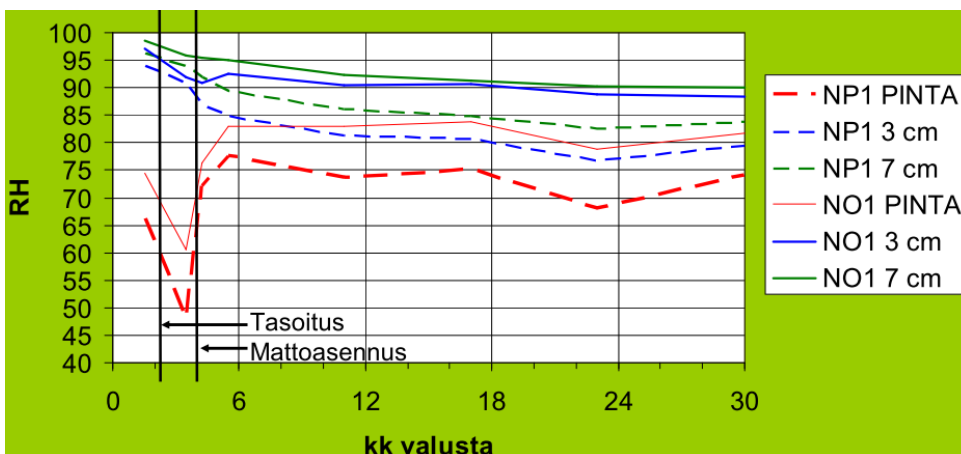
Linoleumimaton tapauksessa, kun saman massiivisen betonirakenteen (paksuus 300 mm + pintarakenteet) ja suhteellinen kosteuspitoisuus lähtötilanteessa on koko rakenteessa 90 %RH, kuivuminen ensimmäisen viiden vuoden kuluessa on noin 4-5 %RH-yksikköä vuodessa.

Käytännön kohteissa pistokoeluontoisesti tehtyjen mittausten perusteella on päädytty samoihin suuruusluokkiin kuivumiskykyarvioissa ja tehdyissä mittauksissa vastaavien rakenteiden tapauksessa kuin mitä tässä mallinnuksessa. Kuvissa 17 ja 18 on esitetty kaksi todellisen kohteen mittaustulosta, joista toinen on kahden ja puolen

vuoden tarkastelujaksolla ja toinen on viiden vuoden tarkastelujaksolla. Nämä ja monet muut vastaavat käytännön pitkäaikaisseurannat ovat olleet vahvasti mukana 2007 päällystysohjeen sisällössä.



Kuva 17. Tutkimuskohteessa mitattuja kosteuspitoisuuksia eri syvyyksillä rakennetta. Tarkastelujakso on viisi vuotta. Tarkasteltavassa rakenteessa on 280 mm paksu paikallavalettu betonivälipohja, jonka pinnassa on tiivis muovimatto. (Niemi S., 2012). Kuva esittää kosteusprofiilit eri ajan hetkillä: 7/98 juuri ennen mattoasennusta ja 1/99 muutama kuukausi mattoasennuksen jälkeen, jne.



Kuva 18. Tutkimuskohteessa mitattuja kosteuspitoisuuksia eri syvyyksillä rakennetta. Tarkastelujakso on kaksi ja puolivuotta. Tarkasteltavassa rakenteessa kuorilaatta ja 170 mm betonivalu, jonka pinnassa on joustovinyylimatto. (Niemi S., 2012) NO = normaalibetoni ja NP = ns. nopeammin päällystettävää/ kuivuva. Kuvassa ei kosteusprofileja vaan eri syvyyden (pinta = 10 mm. tasoitteen alla, 3 cm on 3 cm betonissa ja 7 cm on 7 cm betonissa) kosteuspitoisuuden kehittyminen ajan funktiona eri betonilaaduilla.

## *7 Tutkimustapaohje betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin*

### **7.1 YLEISTÄ**

Tutkimustapaohje on jaettu eteneväksi vaiheittain 1, 2 ja 3 siten, että mattovaurioiden tutkimukset alkavat aina vaiheesta 1: ”Tutkimushypoteesin muodostaminen ja tutkimussuunnitelman laatiminen”. Vaiheen 2 kohteen rakenne- ja kosteustekniset tutkimukset ja terveystilanteen kartoitus toteutetaan, jos tutkimushypoteesi (vaihe 1) antaa siihen riittävät perusteet ja vasta vaiheessa 3 toteutetaan sisäilman ja materiaalien VOC-analyysit, jos kohteen rakenne- ja kosteustekniset sekä terveystilanteen kartoitus (vaihe 2) antaa siihen riittävät perusteet. Kappaleissa 2-6 on esitetty perusteluja ja pohjatietoa tutkimustapaohjeen vaiheisiin. Ne toimivat samalla myös pohjatietona, jotka tutkimuksen tekijän tulisi hallita ennen tutkimuksiin ryhtymistä ja erityisesti ennen korjaustarpeen arviointia.

Alustaan liimatun päällysteen kunnon tarkastelun tulee edetä vähitellen tarkentuen, taustatietoja hyödyntäen siten, että kalleimpia, epätarkimpia ja vaikeimmin tulkittavia VOC-mittauksia sisäilmasta ja lattiamateriaalista tehdään vasta sitten, kun asia ei muilla tutkimusmenetelmillä selviä riittävällä tarkkuudella.

Rakenteen kosteuden arviointi pintakosteusilmaisimella ja rakennekosteusmittauksin, rakenteen ikä, rakenneratkaisut ja tarkat pintarakennetiedot huomioiden antaa yleensä varsin hyvän kuvan pintarakenteeseen liittyvistä riskeistä, kun tarkasteluun liitetään aistinvarainen arviointi tiloista ja päällysteen alta. Kosteusmittauksilla ja aistinvaraisilla havainnoilla on erittäin tärkeä merkitys mahdollisten päällystevaurioiden todentamiseen. Tällä hetkellä ei tiedetä mitkä päällystevauriossa aiheuttavat ihmisten kokemaa oireilua. Tästä syystä päällystevauriotutkimuksessa tulee keskittyä ensisijaisesti päällysteen vaurioitumisen ja olosuhteiden arviointiin, eikä pelkästään sisäilman laatuun vaikuttavien kemiallisten emissioiden mittaamiseen ja arviointiin.

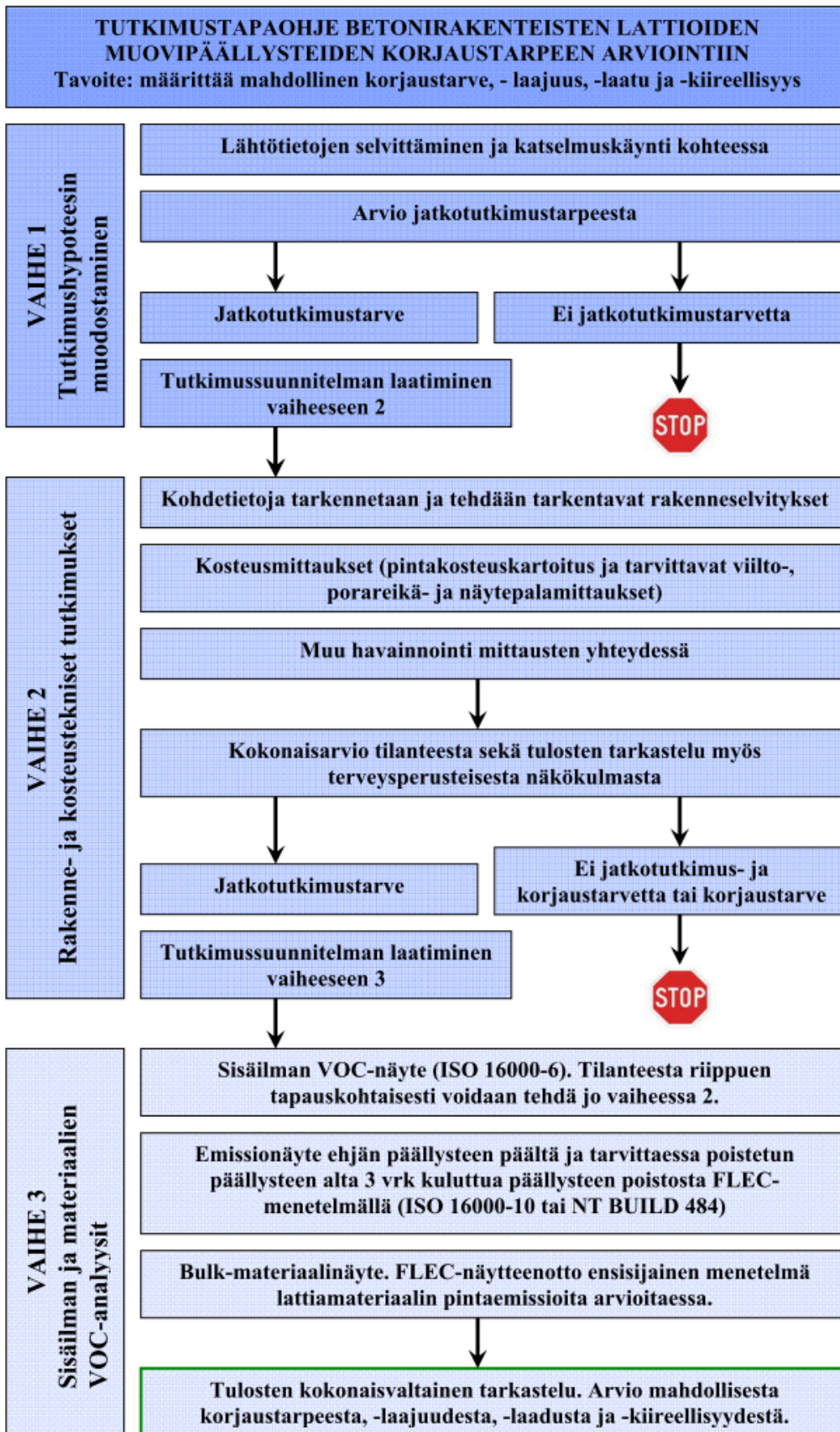
Nuorten rakennusten tapauksessa arvioidaan, onko alusrakenne ollut riittävän kuiva päällystyshetkellä. Vanhemmassa rakennuksessa rakenne on yleensä kuivunut lähes kokonaan, jolloin mahdolliset rakennuksen valmistumisen jälkeen tapahtuneet kastumiset tai vanhojen vaurioiden alueet saattavat erottua hyvinkin selkeästi, mutta rakennekosteuden alkuperäisen määrän arviointi saattaa olla jopa mahdotonta. Toisaalta esimerkiksi vesivahingon vaikutus nuoressa rakenteessa saattaa olla varsin vähäinen, koska rakennekosteuden vuoksi rakenteiden lähtökosteus on saattanut olla jo lähellä riskirajaa tai se on ylittynyt.

Kosteusmittausten mittausepätaarkkuus tulee aina huomioida mittaustavan valinnassa ja tulosten tarkastelussa. Kosteusmittaustulosten tulkinta edellyttää hyvää rakennetekniikan ja rakennusfysiikan tuntemusta.

Päällystevaurioiden tutkimuksen taustalla on aina rakennuksen käyttäjien oireilun aiheuttama epäily tai huolestuneisuus huonosta sisäilman laadusta, normaalista poikkeavat hajut ja/tai rakennuksen ikääntyminen. Rakennus on aina lähtökohtaisesti tutkittava kokonaisuutena, eli sisäilma- ja vauriotutkimuksissa ei saa koskaan keskittyä pelkästään mattovaurioihin ilman tarkempia perusteita.

Tässä tutkimuksessa esitetyssä ohjeessa tarkennetaan betonirakenteiden päällystämisen ohjeiden 2007 kappaleita betonirakenteen kosteusmittaus päällystämisen jälkeen sekä betonirakenteiden kosteusvauriotutkimukset, betonin suhteellisen kosteuden mittauksen RT-kortin 14-10984 (2010) mukaisesti. Tämän opinnäytetyön sisältämän ohjeen laadintaan kosteusmittausten osalta on osallistunut Vahanen Oy:stä Sami Niemi.

Kuvassa 19 on esitetty vuokaavio tutkimustapaohjeen vaiheista betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arvioimiseksi. Tutkimustapaohjeen tutkimusten tavoitteena on määrittää korjaustarve, -laajuus, -laatu ja -kiireellisyys, sekä välttää ylikorjaamista ja toisaalta turvata hyvä sisäilman laatu oikein kohdistetuilla kustannustehokkailla korjaustoimenpiteillä.



Kuva 19. Vuokaavio tutkimustapaohjeesta betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arvioimiseksi.

## **7.2 TUTKIMUSVAIHE 1: TUTKIMUSHYPOTEE SIN MUODOSTAMINEN**

### ***7.2.1 Lähtötiedot***

Ennen varsinaisten tutkimusten aloittamista selvitetään lähtötiedot tarvittaessa tarkemman tutkimussuunnitelman laatimista varten. Lähtötietona selvitetään mahdollisimman kattavasti mm.

- rakennuksen ikä ja yleiskunto
- käyttäjien kokemukset tutkimuskohteen sisäilmanlaadusta, tilakohtaisista vaihteluista ja taustalla olevista terveyshaittaepäilyistä liittyen rakennuksessa oleskeluun (yhteistyössä terveydenhuoltohenkilöstön kanssa)
- toteutetut korjaukset ja niiden laajuus
- mahdollisesti aikaisemmin tehtyjen tutkimusten tulokset.

### ***7.2.2 Katselmuskäynti tutkimuskohteessa***

Lähtötietojen määrittämiseksi mahdollisuuksien mukaan tehdään katselmuskäynti kohteessa. Katselmuskäynnin yhteydessä tehdään havaintoja mm. seuraavista asioista:

- päällystemateriaalien näkyvät vauriot, värjäytymät tai maton irtoaminen alustastaan
- kosteusvauriojäljet
- kohteen ilmanvaihtoratkaisut ja sen toimivuus
- arvioidaan aistinvaraisesti sisäilman laatua mm. tunkkaisuus, hajut
- haastatellaan tilan käyttäjiä, siivouksesta vastaavia ja kiinteistön huoltohenkilökuntaa mahdollisuuksien mukaan.

### ***7.2.3 Tulosten tulkinta ja tutkimussuunnitelman laatiminen***

Saatujen lähtötietojen ja katselmuskäynnin avulla arvioidaan, onko tarkempi päällysteiden tutkimus kohteessa tarpeen. Tutkimustapaohje on rajattu päällystevaurion arviointiin, mutta on erittäin oleellista, että tässä vaiheessa

tarkastellaan myös muita sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ja pystytään tunnistamaan myös muut mahdolliset sisäilman laatuun vaikuttavat puutteet kuin mahdolliset päällystevauriot. Muut sisäilman laatua heikentävät tekijät tulisi pääsääntöisesti pyrkiä poistamaan ennen kuin päällysteongelma korjataan.

Arvio tarvittavista jatkotoimenpiteistä ja tutkimussuunnitelman laatiminen:

- jos pinnoitemateriaaleissa näkyviä vaurioita, värjäntymiä tai se on selvästi käyttöikänsä päässä → päällyste tulisi uusia ilman tarkempia tutkimuksia. On kuitenkin huomioitava jatkotutkimustarve korjauksen näkökulmasta, eli tarvitseeko tutkia lisää, jotta korjaukset osataan tehdä oikein.
- jos kohteessa esiintyy kosteusvaurioepäily → tarvitaan tarkemmat kosteustekniset tutkimukset
- jos ilmanvaihdossa havaitaan puutteita → ilmanvaihdon toiminnan varmistaminen ja painesuhteiden tasapainottaminen
- jos sisäilmassa havaitaan normaalista poikkeavia hajuja → tarkemmat tutkimukset lähteiden tunnistamiseksi, esim. vuotoilmareittien paikallistaminen merkkiainekokein (tai pienhiukkaslaskuria hyväksikäyttäen)
- jos käyttäjien kokemat terveyshaitat terveydenhoitoalan ammattilaisen tulkitsemana viittaavat lattiapäällystevaurioihin ilman näkyviä kosteusvauriomerkkejä → tarvitaan kokonaisvaltainen arvio tilanteesta ja sitä varten tarvitaan tarkemmat ja kattavat tutkimukset.

Saatujen lähtötietojen ja katselmuskäynnin avulla tehdään tutkimussuunnitelma kohteen jatkotoimenpiteistä, mikäli jatkotutkimustarvetta ilmenee. Jos kosteusvaurio on ilmeinen, lattianpäällysteen pinta on vaurioitunut esim. väärin hoitomenetelmien käytön takia tai lattianpäällyste on muutoin elinkaarensa päässä, tulisi jatkotutkimusten sijaan korjata ongelman aiheuttajat ja uusia päällyste osana korjausta. Jos epäilyksen alainen tila vain yhden huoneen laajuinen tai muutoin rajattu alue, tutkimuksista aiheutuvien kustannusten hinnalla lattianpäällyste on edullisempaa uusia, jolloin ongelma saadaan nopeammin poistettua. Jos kuitenkin tarvitaan jatkotutkimuksia, tutkimussuunnitelma laaditaan rakenne- ja kosteusteknisten tutkimusten



toteuttamiseksi vaiheessa 2 (kappale 7.3) esitettyjen toimenpiteiden osalta. Siinä yhteydessä arvioidaan myös tarvittavien tutkimusten laajuus siten, että tutkimukset tehdään riittävän kattavasti korjaustarpeen arvioimiseksi, jotta vältytään tarpeettomilta tutkimuksilta ja niistä aiheutuvista kustannuksista. Tutkimusten tarkoituksena on määrittää mahdollisesti tarvittavan korjauksen laajuus, laatu ja kiireellisyys tai toisaalta päinvastaisen tilanteen todentaminen, jos pintarakenne on riittävän hyvässä kunnossa teknisesti ja sisäilman laadun kannalta.

## **7.3 TUTKIMUSVAIHE 2: KOHTEEN RAKENNE- JA KOSTEUSTEKNISET TUTKIMUKSET**

### ***7.3.1 Kohdetiedot***

Rakenteen kuivuminen riippuu hyvin lähtökosteuspitoisuuden lisäksi rakennerratkaisusta, pintarakennejärjestelmästä ja rakennuksen ko. rakennetta ympäröivistä olosuhteista. Kohdetiedot tulee aina selvittää mahdollisimman kattavasti:

- rakenneratkaisu, rakennevahvuudet ja rakennuksen sekä rakenteiden rakennus- ja korjaushistoria
- Päällystemateriaalit (matto, liima, tasoite, tartuntapohjuste ja mahdolliset muut kerrokset kuten esimerkiksi kapselointikerrokset). Materiaaleista selvitetään kaikki olemassaoleva tieto (koostumus, valmistajien ohjeet, vesihöyrynläpäisyominaisuudet, kosteudensietokyky ja mahdolliset päästöluokitukset, kuten M1-luokitus ja vapautuuko liimasta tyypillisesti esim. 2-etyyli-1-heksanolia).
- rakenteen ja päällysteen ikä.

Mikäli ollaan tutkimassa uudehkon rakennuksen rakennekosteuden vaikutusta päällysteen VOC-yhdisteiden emissioihin, selvitetään lisäksi aina mahdollisimman kattavasti:

- rakentamisen aikaiset tapahtumat, työjärjestys, olosuhteet (lämpötila ja kosteus) ja aikataulut

- rakentamisaikaisen kosteusriskialttiuden arviointi
- kosteusmittausraportit
- asianosaisten havainnot.

Erityisesti on muistettava, että uudisrakentamisessa saavutetaan betonirakenteissa vain juuri riittävän alhainen kosteuspitoisuus lattioiden päällystettävyyden kannalta. Näin ollen kunnossa olevan rakenteen kosteuden ja haittaa aiheuttavan kosteuden ero on hyvin pieni ja tilanteeseen vaikuttavat useat kriittiset tekijät. Koska kosteusteknisesti ongelmatilanteita on vaikea erottaa toisistaan, on tärkeä selvittää tilan käyttäjien kokemat oireet ja haitat yhteistyössä terveydenhoitohenkilöstön kanssa.

### ***7.3.2 Pintakosteuskartoitus***

Tarkasteltavien tilojen lattiapintojen kosteusvaihtelua tarkastellaan ensin suunta-antavasti, jotta saadaan tieto pintakosteusilmaisimen käytettävyydestä kohteessa. Suuntaa antavan pintakosteusmittauksen perusteella arvioidaan, johtuvatko pintakosteusilmaisimen lukemat kosteus- vai materiaalivaihtelusta vai molemmista. Tilanteesta riippuen vaihtelee, minkä tyyppinen pintakosteusilmaisimien toimii parhaiten; yleisesti kannattaa käyttää heikkotehoisia ilmaisimia, joiden tunkeutumissyvyys betoniin on melko pieni, koska kosteuspitoisuuseroja pyritään arvioimaan nimenomaan rakenteen pintaosissa.

Tilat kartoitetaan kulloinkin tarkoituksenmukaisella otantatiheydellä. Pintakosteusilmaisimen lukemien merkitsevyys tulee aina varmistaa vähintäänkin muutamalla päällystysohjeen 2007 mukaisella maton alapuolisella viiltomittauksella tai muulla tarkalla rakennekosteusmittauksella. Samalla tulee tehdä ensimmäiset aistinvaraiset tarkastelua päällysteen alta mm. liiman tartunnasta ja koostumuksesta, väreistä ja hajuista. Näin saadaan ikään kuin kalibroituja pintailmaisimen näyttämät kohteessa käytetyille materiaaleille ja rakenteissa esiintyville kosteuspitoisuuksille. Lisäksi varmistutaan, korreloiko pintakosteusilmaisimen lukemat riittävällä tarkkuudella viiltomittausten tulosten kanssa. Näin arvioidaan pintakosteusilmaisimen antamien

lukemien luotettavuus. Käytännön mittauksissa on havaittu, että osassa rakennuksissa pintakosteuskartoituksella saadaan hyvä korrelaatio viiltomittaustulosten kanssa, mutta osassa kohteita korrelaatiota ei esiinny juuri lainkaan. Tästä syystä pintakosteusilmaisimen lukemien tarkkuus on aina varmistettava tarkemmilla kosteusmittauksilla.

Mekaaninen kartoittaminen esimerkiksi yhden neliön ruudukkoon ei yleensä ole tarpeen, vaan ilmaisimella tarkastellaan oletettavasti eri kosteuspitoisuudessa olevien/päällystettyjen alueiden välisiä eroja ja tehdään muun muassa seuraavanlaisia havaintoja:

- Onko ulkoseinustoilla korkeampia arvoja kuin rungon keskellä?
- Onko kantavien väliseinien ja pilarien ympäristössä korkeampia arvoja kuin lattioiden keskialueella ja ulkoseinien vierustoilla?
- Onko vesikatolle johtavien hormien edustoilla poikkeavia arvoja?
- Onko putkitunneleiden ja -kanaalien lähistöllä poikkeavia arvoja?
- Onko väistönsuojan kohdalla poikkeavia arvoja?
- Onko eri rakenteiden tai päällysteiden välillä poikkeavia arvoja?
- Vaikuttaako lattian korkeusasema maanpintaan nähden maanvaraisen lattian kosteusarvoihin?
- Vuotaako jokin? jne.
- Jos rakentamisaikainen työjärjestys saadaan selville, näkyykö eri aikaan asennettujen pintarakenteiden välillä kosteuspitoisuuksien eroavaisuuksia?
- Esiintyykö työmaa-aikaista laasti- tai tasoiteaseman kohdalla poikkeavaa rakennusaikaista kosteutta?




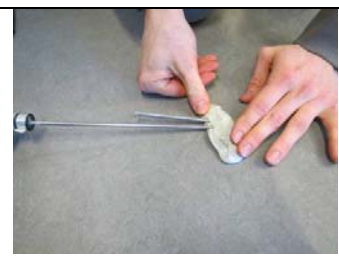

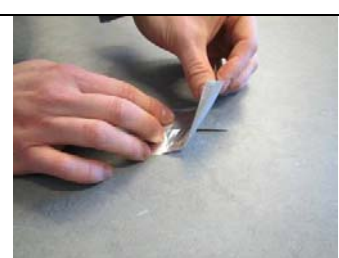
Pintakosteuskartoitus tehdään kattavasti kaikille tutkittaville alueille. Kartoituksen lopputuloksena määräytyvät ne alueet, joilla kosteuspitoisuus on oletettavasti normaali, kohollaan tai selvästi kohollaan (= erittäin todennäköinen ongelma-alue).

### ***7.3.3 Viiltomittaukset***

Viiltomittaus kertoo kosteuserhän rakennekerroksen todellisen kosteusrasituksen. Viiltomittaus on tarkimmillaan +20 °C lämpötilassa. Liimojen ja mattojen kriittisenä kosteuspitoisuutena pidetään yleensä 85 %RH päällystämisen jälkeen ellei materiaaliselvityksistä muuta tietoa löydy. Vanhoissa rakennuksissa mitattuja kosteuspitoisuuksia tulee arvioida huomioiden kosteusrasituksen kesto, esim. kestäkö käytetty päällyste 75-80 %RH kosteuspitoisuutta pitkällä aikavälillä. Vanhoissa lattiarakenteissa (yli 20 vuotta valmistumisesta) saattaa olla tasoitteita, jotka eivät kestä yli 75 %RH:n kosteuspitoisuutta, koska ne sisältävät orgaanisia ainesosia, kuten kaseiinia. Vastaavasti vanhat päällysteet ja liimat saattavat kestää hyvinkin korkeita kosteuspitoisuuksia, esimerkiksi bitumipohjaiset liimat.

Viiltomittausten kohdistus tehdään pintakosteuskartoituksen tuloksia ja rakennetyyppitietoja hyödyntäen. Oletetulle kuiville ja hyväkuntoiselle alueelle tehdään vähintään referenssimittaus ja oletetusti kosteammille alueille niin monta mittausta, että pystytään riittävän luotettavasti päättelemään lattiapäällysteen alapuolisen rakenteen kosteuspitoisuus. Tarkempia mittauksia vaativat alueet ovat oletetut riskittömät ja kuivat alueet sekä alueet, joissa oletetaan olevan hieman kohollaan oleva kosteus ja alueet, jossa on selvästi normaalista poikkeava kosteus ja/tai lämpötila. Tehtävien viiltomittausten lukumäärä määräytyy siis aina kohdekohtaisesti. Viiltomittauksia tehdään siinä laajuudessa, että saadaan riittävän kattavasti määriteltyä alueet, joilla kosteuspitoisuus on kohollaan.

Arvioitaessa rakennekosteuden vaikutusta tilanteissa, joissa rakenne on kuivunut jo pitkään, tulee ottaa huomioon alhaisemmassa kosteuspitoisuudessa myös vähäisemmätkin kosteuspitoisuuserot. Alun perin kosteimmaksi jääneet kohdat ovat myöhemminkin yleensä hieman kosteampia. Kuvassa 20 on esitetty kuvasrajaohje viiltomittauksen tekemistä.

	<p>1. Tee viilto lattiapäällysteeseen mattoveitsellä.</p>
	<p>2. Irroita päällyste alustasta viillon kautta puukolla. Tee samalla havaintoja päällysteen tartunnasta alustaan, liiman koostumuksesta ja väristä sekä päällysteen alapuolisista hajuista. Vältä alustan eli tasoitteen (tai betonipinnan) naarmuttamista.</p>
	<p>3. Asenna kosteusmittapää naulaa apuna käyttäen viillon kautta päällysteen alle. Naula on mekaanisena tukena vastaanottamassa maton puristusta ettei mitta-anturi rikkoudu.</p>
	<p>4. Tiivistä viiltokohta huolellisesti kittaamalla. Asenna kittiä myös huolellisesti naulan ja mittapään alle. Tiivistyksen ja tiivistykseen käytetyn kitin tulee olla vesihöyryntiivis.</p>
	<p>5. Anna mittapään tasaantua viillossa 15-20 minuuttia ja kirjaa lukemat.</p>
	<p>6. Poista mittapää ja naula viillosta ja vähintään teippaa viiltokohta umpeen alumiiniteipillä ennen viiltokohdan lopullista korjaamista.</p>

Kuva 20. Kuvasarjaohje viiltomittauksen tekemistä varten.

### 7.3.4 Porareikämittaukset

Rakennepoikkileikkauksen kosteusjakauman mittauskohtia porareikämittauksin tarvitaan yleensä huomattavasti vähemmän kuin viiltomittauksissa. Yleensä on suositeltava tehdä vähintään yksi porareikämittaus (koostuu useasta eri syvyyksille tehtävistä porareikämittapisteistä) kosteusjakauman selvittämiseksi viiltomittauskohtaan kutakin päällyste- ja rakennetyyppiä sekä kosteuslähdettä kohden. Porareikämittauksia tarvitaan tyypillisesti tilanteissa, joissa on epäselvää mistä kosteus lattiapäällysteen alla aiheutuu ja mikä on koko rakenteen sisältämän kosteuden määrä. Rakenteen kosteusprofiilin tarkastelu toimii myös korjaussuunnittelun lähtötietona arvioitaessa rakenteen kuivatustarvetta ja uusien kiinnitys- ja päällystemateriaalien soveltuvuutta kyseiseen rakenneratkaisuun ja siinä olevaan kosteusrasitustasoon.

Kosteuspitoisuus rakenteen eri syvyyksillä kertoo yleensä mahdollisen liiallisen kosteuspitoisuuden lähteen. Eri syvyyksiltä lasketun vesihöyrysisällön perusteella voidaan määrittää kosteuden siirtymissuunta, sillä kosteus pyrkii korkeammasta vesihöyrypitoisuudesta matalampaan.

Mittaussyvyys valitaan tapauskohtaisesti riippuen mittauksen tavoitteesta. Mittauksen tavoite voi olla muun muassa (RT 14-10984, 2010):

- päällystemateriaalien kosteusrasitustason selvittäminen → kosteus mitataan mahdollisimman läheltä pintaa.
- kosteuden alkuperän selvittäminen → kosteus mitataan riittävän monelta eri syvyydeltä ja eri rakennekerroksista, jotta voidaan vesihöyrypitoisuuden perusteella arvioidaan kosteuden siirtymissuuntaa ja -suuruutta.
- vesivahingossa kastuneen alueen laajuuden selvittäminen → käytetään ensisijaisesti mittaussyvyyttä, johon vuotovesi todennäköisimmin imeytyy tai muuten kulkeutuu.

Maanvaraisissa lattioissa maakosteuden vaikutusta arvioidaan tekemällä mittaus rakennekerrosten lisäksi myös alustäytöstä. Maanvaraisessa laatussa kosteus siirtyy lähes aina maapohjasta rakenteeseen päin. Vesihöyrysisällön tarkastelu toimii,

kunhan mitatut suhteelliset kosteuspitoisuudet eivät ole kapillaarisen kosteuden alueella (kapillaarisen kosteuden alue on  $> 98 \%RH$ ). Kapillaarisen kosteuden alueella rakenteessa on vesihöyryn lisäksi nestemäistä vettä, mikä ei näy mittaustuloksessa. Lisäksi tuloksissa pitää huomioida rakenteen yli vaikuttavien lämpötilojen vaikutus mittaustuloksiin. Lämpötilalukema saattaa vääristyä mittapään ja mittausputken aiheuttaman lämmönjohtumisen vuoksi, mikä vaikuttaa suhteellisen kosteuden mittaustulokseen. Normaalitylanteessa betonirakenteessa lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus nousee ja lämpötilan laskiessa suhteellinen kosteus laskee. Porareikämittaus on tarkimmillaan  $+15...+25\text{ °C}$  lämpötilassa (RT 14-10984, 2010). Mikäli lämpötilasta poiketaan, tehdään betonirakenteen kosteusmittaukset näytepalamittausmenetelmällä (ks. kappale 7.3.5). Normaaliämpötilana käytetään vauriotutkimuksessa olosuhdetta, joka vastaa rakennuksen todellista käyttötilannetta eli se voi joskus poiketa normaalista huonelämpötilasta.

Eri syvyyksien (viiltomittausulos eli liimakerroksen kosteus, betonin pintaosa ja syvemmällä betonissa) kosteuspitoisuuksista saadaan viitteitä lattiapäällysteen tiiveydestä. Mikäli lattianpäällyste läpäisee merkittävästi vesihöyryä, pysyy viiltomittausulos aina selvästi betonista mitattuja kosteuspitoisuuksia alhaisempana. Tiiviin lattiapäällysteen alla kosteuspitoisuus on melko pian päällystämisen jälkeen ja usein suhteellisen pitkään betonin pintaosissa likimain sama mattoliimakerroksessa ja betonissa. Hyvin vesihöyryä läpäisevien päällysteiden alta (vesihöyrynläpäisevyys yli  $10 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ ) rakennekosteus poistuu nopeammin kuin tiiviiden päällysteiden alta. Tiiviidenkin päällysteiden melko pienillä vesihöyrynläpäisevyyseroilla ( $0,5...5 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$ ) voi olla ratkaiseva merkitys sille säilyykö pintarakenne vaurioitumattomana vai vaurioituuko mattoliima ja/tai lattiapäällyste. Kuivumiskykytarkastelusta on esitetty laskentaesimerkki kappaleessa 6 betonirakenteen kosteusjakauman mallintaminen. Tarkastelun perusteella voidaan tapauskohtaisesti arvioida myös jälkikäteen, missä kosteuspitoisuudessa betonirakenne on ollut päällystyshetkellä.

Vesihöyrynläpäisy- ja rakenneratkaisutietoa hyödynnetään arvioitaessa, miten korkea kosteus liimakerroksessa on ollut päällystämishetkellä. Mikäli päällystyshetkellä rakenteen pintaosat ovat olleet 2007 päällystysohjeen raja-arvojen mukaisesti kuivempia kuin betoni päällystettävyyden mukaisella arvostelumittaussyvyydellä (A), ei liiman kosteus hyvin vesihöyryä läpäisevän päällysteen alla ole milloinkaan saavuttanut arvostelussyvyyden (A) syvyyden kosteuspitoisuutta. Päällystyshetken kosteuspitoisuus arvostelussyvyydellä on voinut olla yli 85 %RH ja, jos pintarakenne läpäistä riittävästi vesihöyryä, niin kosteuspitoisuus päällysteen alla mattoliimassa ei välttämättä nouse yli kriittisen kosteuspitoisuuden, kunhan liimauksen yhteydessä ei ole tuotu liikaa kosteutta rakenteeseen.

Tarkempia porareikämittauksen toteutusohjeita on esitetty betonin suhteellisen kosteuden mittauksen RT-kortissa (RT 14-10984, 2010).

### ***7.3.5 Näytepalamittaukset***

Näytepalamittausmenetelmää voidaan käyttää yhtenä pintakosteuskartoitusta tarkentavana kosteusmittausmenetelmänä. Sen käyttäminen on tarpeellista porareikä- ja viiltomittauksen sijaan, kun tutkittavan rakennuksen olosuhteet tutkimusten aikana poikkeavat normaaleista käyttöolosuhteista. Näytepalamittaus ei ole lämpötilasta riippuva, toisin kuin viilto- ja porareikämittaukset. Liimakerroksessa oleva kosteus voidaan mitata näytepalamittausmenetelmällä jäykän tai kovan lattiapäällysteen alta heti päällysteen paikallisen poistamisen jälkeen, jos viiltomittauksen teko ei onnistu. Tarkempia näytepalamittauksen teko-ohjeita on esitetty betonin suhteellisen kosteuden mittauksen RT-kortissa (RT 14-10984, 2010).



### **7.3.6 Kosteusjakaumien erikoistapaukset**

#### **Tasoitteen liian korkeaksi jääneen kosteuspitoisuuden vaikutus päällysteen vaurioitumiseen**

Ennen päällysteen asentamista myös tasoitekerroksen on annettava kuivua riittävästi. Päällysteen vaurioituminen on erittäin todennäköistä, jos tasoite on liian kostea (> 90 %RH tavanomaisilla tasoitteilla) päällystämishetkellä ja rakenteen pintaosa on tai on ollut alkuvaiheessa heti päällystämisen jälkeen kosteampi kuin betoni syvemmillä. Kosteusmittauksen lisäksi tasoitteen kosteuspitoisuuden merkityksen arviointi edellyttää tasoitepaksuuden toteamista. Normaalisti kuivuvia tasoitteita käytettäessä yli 2 mm:n kerroksilla ja normaaleilla työaikatauluilla on riskinä, että betonin pintaosat eivät ole olleet tasoitushetkellä riittävän kuivia (< 75 %RH), jolloin mattoliima ei pääse kuivumaan nopeasti (yleensä 2 viikkoa) alle 85 %RH:n kosteuspitoisuuteen. Toisaalta matala-alkalinen 5 mm tasoite suojaa mattoliimaa alkali-hydrolyysireaktioilta (Eronen J., 1998). Tasoitepaksuuden vaihtelu ja tasoitteen kuivumisaikavaihtelu saattavat olla suurin tekijä materiaalien VOC-yhdisteiden normaalista poikkeavien emissioiden eroihin. Tilannetta arvioitaessa tulee huomioida, että lattiapäällyste- ja niiden kiinnitysmateriaaleissa on aina normaaleja primääriemissioita, joiden määrä ja laatu vaihtelee materiaaleittain ja tuotteittain.

#### **Ajoittaisen suuren lämpötilojen muutosten vaikutus lattiapäällysteen vaurioitumiseen**

Ajoittaisen suuren sisäilman viilenemisten tai rakenteen lämpenemisen vuoksi, esimerkiksi lattialämmityksen takia, hieman kostean rakenteen kosteus saattaa ajoittain tiivistyä liimakerrokseen nostamalla sen kosteuspitoisuutta. Vaurioituminen edellyttää, että kosteus ei tasaannu lämpötilaerojen poistuttua riittävän nopeasti alusrakenteeseen. Riittävän nopeaan tasaantumiseen vaikuttaa muun muassa päällysteen ja alusrakenteen ominaisuudet sekä kosteus ja ympäröivät olosuhteet.

### **Betonipinnan tiiviin kerroksen vaikutus lattiapäällysteen vaurioitumiseen**

Betonin pinnassa saattaa olla tiivis kerros, esimerkiksi kapselointiepoksi tai betoni voi olla hyvin tiivistä, kuten esimerkiksi normaalia korkeamman lujuuden omaavat betonilaadut. Tällöin tasoitteen kosteus ei pääse tasaantumaan lainkaan tai vain hyvin vähän alusbetoniin. Tiiviin betonipinnan tapauksessa tasoitteen kuivuminen ennen tiiviin lattiapäällysteen asennusta on erittäin kriittistä. Sen sijaan normaalien tasoitteiden vesiohenteiset tartuntapohjusteet (primerit) läpäisevät erittäin hyvin vesihöyryä, joten tätä ongelmaa ei tyypillisesti ole. Tasoitteen ja betonin välissä olevan ainekerroksen vesihöyrynläpäisevyyden voi tarkistaa yleensä viiltomittauksella ja betonipinnan kosteuspitoisuuden määrittämisen näytepalamenetelmällä. Mikäli viiltomittaus ja näytepalamittaus ovat likimäärin samat, primerin vesihöyrynläpäisevyys on suuri, eikä sillä siten ole oleellista vaikutusta pintarakennejärjestelmän kosteustekniseen toimivuuteen. Mittauksen tekeminen vaatii kuitenkin erityistä huolellisuutta tarkan tuloksen saamiseksi, ettei esimerkiksi viiltomittauksen yhteydessä rikota ohutta tasoitetta tai primeria.

### **Vesivahingon vaikutus lattiapäällysteen vaurioitumiseen**

Vesivahingotapauksessa, jossa vettä pääsee lattiapinnoille ehjän mattopäällysteen (mattotyypin, kosteusrasitustaso ja kosteusrasituksen kesto huomioiden) läpi ei yleensä imeydy kosteutta käytännössä lainkaan alustaan maton tai ehjien saumojen läpi, vaikka kastumisaika olisi jopa vuorokausia. Vesi imeytyy yleensä vain joitakin kymmeniä senttimetrejä reunoilta ja seinän vieriltä, liittymien, läpivientien ja avonaisten ja heikkokuntoisten saumojen kohdilta lattiapäällysteen alle. Veden tunkeutumismatka päällysteen alle havaitaan yleensä hyvin pintakosteusilmaisimella. Viiltomittauksilla kannattaa tarkistaa, onko kosteus noussut kapillaarialueelle vai onko kosteus vain hieman yli 90 %RH. Porareikämittauksella määritellään muutamasta kohdasta, miten syvälle betoniin vesi on imeytynyt. Mikäli kastuminen on lyhytaikaista (vain joitakin tunteja) ja

liimakerros on ollut yhtenäinen (ei ole juurikaan liimakamman jälkiä jäljellä päällysteen alustaan painamisen jälkeen), kosteus ei etene juurikaan maton alle sivu- eikä pystysuunnassa. Tällöin vähäiset päällystevauriot ovat hyvin paikallisia, rakenne kuivuu nopeasti reunan alta eikä päällystemateriaalilla ole välttämättä lainkaan korjaustarvetta. Tapauskohtaisesti arvioidaan, voiko kastunut alue kuivua pinta puhdistettuna ilman erillistä kuivausta vai tarvitaanko kyseiselle alueelle erillinen kuivain. Yleisesti muovimatolla päällystetyille lattioille vesivahingon jälkeen kosteus- ja sisäilmateknisesti tarvittavat korjaustarpeet kohdistuvat yleensä vain paikallisille alueille. Useissa tapauksissa lattiapäällysteiden uusimiseen koko tilan osalta päädytään tässä tapauksessa lähinnä esteettisistä syistä.

### **Saumojen vaikutus lattiapäällysteen vaurioitumiseen**

Kvartsivinyyli-, muovi- ja kumilaattojen alta (korkeintaan 600 mm sivumitat) rakennekosteus poistuu tehokkaammin laattojen saumojen kautta kuin yhtenäisesti hitsatuista muovimatoista. Saumojen kautta poistuvan kosteuden määrän on todettu poistuvan niin tehokkaasti, että päällystyksen jälkeen suhteellinen kosteuspitoisuus on laskenut ainakin 5 %RH-yksikköä arvostelusyvytydessä (A), kun pintaosat on annettua kuivua riittävästi (75 %RH) ennen päällystystä. Siksi 2007 päällystysohjeen raja-arvo on voitu asettaa turvallisesti 90 %RH:iin. Saumojen kautta tapahtuvan kuivumisen suuruutta voidaan arvioida pintakosteusilmmaisimella ja viiltomittauksilla saumojen läheltä ja laattojen keskikohdilta. Kosteuden poistumisnopeuteen vaikuttavat laattojen saumaleveys ja liimakerroksen yhtenäisyys. Mitä leveämmät saumat ja epäyhtenäinen liimakerros, sitä nopeammin kosteus poistuu. Kastumistapauksessa leveät saumat ja epäyhtenäisempi liimakerros edesauttavat laattojen alapinnan kastumista. Lyhyen kosteusrasituksen aikana muun muassa muovi- tai kumilaatoilla päällystetty lattia ei päällysteen alapuolelta välttämättä kastu haitallisesti. Siksi laattojen alle päässeeseen kosteuden määrä tulee tarkoin selvittää pintakosteus- ja rakennekosteusmittauksin, ettei tehdä tarpeettomia korjaustoimenpiteitä.

## Maanvastaisen rakenteen kosteusrasitustason vaikutus lattiapäällysteen vaurioitumiseen

Maanvaraisessa betonilattiassa maapohjasta lattiapäällysteeseen siirtyvän kosteuden määrä suhteessa päällysteen vesihöyrynläpäisevyyteen tulee tarkastaa vähintään viiltomittauksin. Vaikka suhteellisen tiivistä päällystettä pidetään riskialttiina, saattaa mattopäällyste toimia riippuen hyvin pienistä eroista betonin tai päällysteen ominaisuuksissa, rakenneratkaisusta tai todellisesta maaperän kosteustuotosta. Maapohjasta siirtyvän kosteuden tasaantumiseen alapohjarakenteeseen ja lattiapäällysteen alapintaan voi mennä aikaa useita vuosia alapohjan rakennetyypistä ja materiaaliominaisuuksista riippuen erityisesti silloin, kun maakosteus tasaantuu rakenteeseen diffuusion vaikutuksesta. Diffuusiolla siirtyvän kosteuden määrä on pienempi kun kapillaarisesti siirtyvän kosteuden määrä, mutta voi riittää kostuttamaan haitallisesti alapohjan betonilaatan ja sen päällä olevan lattiapäällysteen alapinnan ja liiman. Alapohjan betonirakenne kestää hyvin kosteutta, kun lämpötila pysyy jatkuvasti jäätymisrajan yläpuolella. Tällöin oleellista merkitystä mahdollisen päällystevaurion kannalta on lähinnä alapohjan betonirakenteen päällysteenä käytettävien materiaalien kosteudensietokyvyllä ja vesihöyrynläpäisevyydellä. Tarkastusajankohta ja rakennuksen valmistumisajankohta huomioiden voidaan arvioida kosteudensiirtymismuotojen vaikutusta lattiapäällysteen kestävyYTEEN.

### ***7.3.7 Muu havainnointi mittauksen yhteydessä***

Muovimaton alla on aina enemmän kaasumaisia epäpuhtauksia kuin mitä maton pinnalta siirtyy sisäilmaan. Liian korkeassa kosteuspitoisuudessa olevassa liimassa ja päällysteen alapinnassa on lähes aina selvästi voimakkaampi haju kuin riittävän kuivana pysyneessä rakenteessa.

Mitä tuoreemmasta liimasta on kysymys, sitä joustavampi ja tahmeampi on sen normaali koostumus. Hajun ja liiman koostumuksen tarkastelun lisäksi tulee aina arvioida päällysteen tartuntalujuutta alustaan. Mikäli vauriota ei havaita ja tasoite

hyvin kiinni alustassaan, hyväkuntoisen uuden pintarakennejärjestelmän murtuminen tapahtuu tyypillisesti liimakerroksesta eli liimaa jää sekä mattoon että sen alapuoliseen tasoitteeseen. Riittävän kuivalle alustalle asennetut joustovinyylimatot irtuvat vetokokeessa tyypillisimmin siten, että matto repeää tai halkeaa keskeltä eli maton joustava kerros (jos sellainen on) jää lattiaan. Mikäli murtuminen tapahtuu tasoitteessa, ei se aina viittaa liialliseen kosteuteen, vaan kysymyksessä voi olla esimerkiksi maton asentamisen liian pölyiselle tai heikkolujuuksisen tasoitteen pinnalle. Hyvin korkeaan kosteuspitoisuuteen joutuessaan, esimerkiksi vesivahinkotapauksessa, liima saattaa liueta nestemäiseksi, jolloin sillä ei ole juuri lainkaan tartuntalujuutta. Liima on tällöin liisterimäistä eli saippuoitunut, ks. kuva 21. Liima on tyypillisesti saippuoitunutta tilanteissa, jossa asennus on tehty kauan sitten liian kostealle alustalle ja rakenne on pysynyt kosteana. Tällöin liima ei välttämättä ole ikinä kovettunut eikä kuivunut kunnolla. Vaikka liiman tartunta olisi lujaa, kertoo maton, liiman ja tasoitteen väri vaihtelu tyypillisesti poikkeavasta kosteudesta.



*Kuva 21. Saippuoitunut mattoliima.*

Mikäli tutkimuksilla päädytään lattioiden korjaamiseen, niin ennen liiman tarkempaa poistoa on usein kannattavaa jatkaa aistinvaraista arviointia ja siten mahdollisuuksien mukaan rajata tarkemmin korjaustapaa eri alueilla.

Lattioiden päällystevauriokartoituksen yhteydessä tulee tehdä havaintoja myös lattiapäällysteen värjäytymisestä, kupruilusta ja tartunnasta, ks. kuva 22. Päällysteen tartunnasta alustaan voidaan tehdä havaintoja esimerkiksi liu'uttamalla

pintakosteusilmaisimen tai ruuvimeisselin vartta lattiapäällysteen päällä ja kuuntelemalla poikkeamia hyvän tartunnan alueella verrattuna alueisiin, jossa päällyste on irronnut alustastaan.



*Kuvat 22 a, b ja c. Kuvia päällystevaurioista.*

Avatun/raotetun maton alta haihtuu aina jonkin verran liiman ja tasoitteen hajua erityisesti nuoremmissa rakennuksissa. Mikäli haju on poikkeuksellisen voimakas ja tavanomaisesta poikkeava, on maton alla ainakin jonkin verran kohonnut sekundääriemissiopitoisuus. Aistinvarainen arviointi tulee tehdä maton alta ensisijaisesti arvioidulla silmämääräisesti maton tartuntaa alustaan ja liiman koostumusta. Jos tilanne ei ole huolestuttava, tehdään arvio hajuista esimerkiksi vertailemalla oletetulta vaurioalueelta ja vaurioitumattomasta alueelta haihtuvia hajuja keskenään. **Aistinvaraisessa havainnoinnissa tutkijan tulee olla varovainen oman terveydentilan kannalta.** Tutkijan tulee pystyä arvioimaan ensin silmämääräisesti maton alustan liimakerroksesta, onko hajuhavainnointia järkevää tehdä kyseessä olevaan lattiapäällysteen mahdollisen vaurion arvioimisessa välttääkseen mahdollista omaa altistumistaan vauriotapauksissa.



*Kuva 23 a ja b. Sama päällystemateriaali samassa kohteessa hyvässä kunnossa olevana ja vauriotuneena.*

### 7.3.8 Tulosten tulkinta

Mitattujen kosteuspitoisuuksien ja astinvaraisen tarkastelun avulla arvioidaan, onko kosteuspitoisuus pintarakenteessa elinkaaren jossakin vaiheessa voinut olla yli kriittisen kosteuden, vaikka kosteuspitoisuus mittaushetkellä olisikin alle kriittisen kosteuden. Jos on ollut, niin tällöin tulee arvioida korjaustarve, -tapa, korjausten laajuus ja kiireellisyys.

Arviointi korjaustarpeesta ja korjauslaajuudesta sekä tarvittavista jatkotoimenpiteistä:

- jos tutkittavassa rakenteessa esiintyy selvästi normaalista poikkeavat kosteusrasitukset ja haju → korjaustarve ilmeinen, mutta tarvitaan korjauksen kiireellisyyden arviointi
- jos lattiapäällyste on selkeästi käyttöikänsä päässä ja/tai se on soveltumaton kyseiseen rakennetyyppiin, käyttötarkoitukseen sekä sen aiheuttamasta sisäilmahaitasta on riittävän vahva epäily → nopeasti toteutettava korjaustarve on ilmeinen
- jos kosteuspitoisuuden epäillään olevan tai olleen aikaisemmin koholla ja/tai materiaaliominaisuuksia ei tunneta ja/tai aistinvaraisesti havaitaan normaalitilanteesta poikkeavuutta (mm. vanhojen materiaalien ominaispäästöistä ei yleensä ole olemassa tarkkaa tietoa) → tehdään tarkentavia VOC-mittauksia korjaustarpeen määrittämiseksi
- jos tarkastelualueelta ei löydetä alueita, joilla kosteuspitoisuus on tai on hyvän päättelyn perusteella ollut reilusti yli kriittisen kosteuden → lisätutkimuksia tai korjauksia ei välttämättä tarvita
- jos kosteuspitoisuuden todetaan pysyneen koko pintarakennejärjestelmän elinkaaren ajan hyvällä varmuudella kriittisen kosteuspitoisuuden alapuolella, aistinvaraisesti ei havaita poikkeavuuksia normaalitilanteesta ja materiaalit ovat laadukkaita hyväkuntoisia (mahdollisesti M1-luokiteltuja) → tarkempia lisätutkimuksia tai korjauksia ei tarvita.

Kokonaisvaltaisen tarkastelun perusteella pyritään löytämään päällystevaurion riskialueet ja niistä aiheutuvien emissioiden laajuus. Alueiden suuruutta suhteessa tilan kokoon arvioitaessa on otettava huomioon muun muassa ilmanvaihdon tehokkuus ja sisäilman lämpötila. Tällä perusteella päätetään suositellaanko korjauksia, seuranta tai esimerkiksi ilmanvaihdon tehostamista tai lämpötilan laskemista. Turhia korjauskustannuksia välttämällä mattojen uusimiseen ei tule lähteä kuin varmoin perustein hyvin ja osaavasti toteutettujen sekä kokonaisvaltaisten tutkimusten perusteella, varsinkin korjattavan pinta-alan ollessa suuri tai korjauksista aiheutuisi suuria kustannuksia. Epäselvissä tapauksissa voidaan tehdä koekorjaus ja seurantamittaukset yhden tilan osalta ja sen perusteella arvioida laajempien korjausten tarvetta. Mikäli epäillyt mahdolliset vaurioalueet ovat rajalliset, eikä niiden korjaaminen edellytä suuria investointeja suhteessa jatkotutkimusten kustannuksiin, kannattaa harkita korjauseen ryhtymistä ilman sen kummempia lisäselvityksiä. Tällöinkin olisi hyvä saada kokeneen sisäilmatutkijan arvio tilanteesta, että voitaisiin varmistua myös mahdollisesti muiden sisäilman laatua huonontavien tekijöiden poissulkeminen ennen korjauksiin ryhtymistä.

## **7.4 TUTKIMUSVAIHE 3: SISÄILMAN JA MATERIAALIEN VOC-ANALYYSIT**

### ***7.4.1 Yleistä VOC-mittauksista***

VOC-mittausten tarpeellisuuteen vaikuttavat mahdolliset ongelmaepäilyt, tilan käyttäjien kokemat oireet, kosteusmittaustulokset sekä aistinvaraiset havainnot. Jos kosteuspitoisuuksissa ei todeta käytännössä mitään vaihtelua, tulee VOC-mittauskohdat valita kosteusvaihteluun parhaan tiedon mukaan vaikuttavien tekijöiden (esim. rakennusaikaiset olosuhteet ja mahdolliset vesivuodot), tiloissa aistittavien hajujen tai oirekuvausten perusteella. Summittaisesti toteutettujen VOC-mittausten perusteella ei yleensä voida tehdä mitään todellista tilanteen arviointia. Mittausten määrä on rajallinen ja laaditun tutkimussuunnitelman avulla pitää aina



pystyä perustelemaan mitä aluetta tulos edustaa ja miksi näytteet otetaan. Vain erittäin harvoin koko tarkastelualue tai rakennuksen kaikki lattiat ovat VOC-päästöjen vuoksi korjattavassa kunnossa.

Näytteiden edustavuus on mietittävä ennen niiden ottamista ottaen huomioon muun muassa lattiapäällysteen epähomogeenisuus. Esimerkiksi linoleumimatto on epähomogeeninen materiaali ja se tulee huomioida myös tulosten tulkinnassa. Jokaisesta tehdystä mittauksesta ja otetusta näytteestä on pystyttävä tekemään tulkinta, jotta vältetään turhaa mittaamista. Mittauksen tekijällä on oltava riittävät tiedot muun muassa tutkimuskohteesta, käytetyistä materiaaleista, rakenteista ja rakennusfyysikasta tulosten tulkintaan. Näytteet analysoinut laboratorio ei yksin pysty tekemään tulosten tulkintaa tai toimenpidesuosituksia näytteenottajan puolesta. Analyysilaboratorioilla on kuitenkin runsaasti vertailuaineistoa, joten tulosten tulkinta voidaan tehdä yhteistyössä näytteenottajan ja analyysilaboratorion kesken.

Näytteenotossa on noudatettava menetelmäkohtaisia näytteidenotto-ohjeita, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. Analyysitulokseen vaikuttavat suuresti näytteen säilytystapa laboratorioon kuljetuksen aikana, säilytysaika, näytteenottotapa ja näytteenottopaikan olosuhteet. Esimerkiksi korkeat lämpötilat ja kosteus suurentavat VOC-emissioiden määrää. Mittausten yhteydessä on suositeltava ottaa aina vertailunäyte oletetulta vaurioitumattomalta pinnalta tulosten tulkintaa varten. Samasta kohteesta ja samasta vaurioitumattomasta pintarakenteesta otetut vertailunäytteet ovat yleensä oleellisemmat apuvälineet tulosten tulkintaan kuin käytettävissä olevat viitearvot.

#### ***7.4.2 Ilmanäytteet***

VOC-ilmanäytteidenotossa on huomioitava, että yhdisteiden pitoisuudet sisäilmassa vaihtelevat vuodenaikojen mukaan, kun sisäilman suhteellinen kosteus ja/tai lämpötila muuttuvat ja tämä voi vaikuttaa huomattavasti TVOC-pitoisuuteen tai yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin. Lisäksi ilmanvaihto on oleellinen tekijä sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien kannalta. Ilmanvaihdon kaksinkertaistuessa

sisäilman TVOC-pitoisuus voi pienentyä jopa 60 % neljässä viikossa. (Järnström H., 2005)

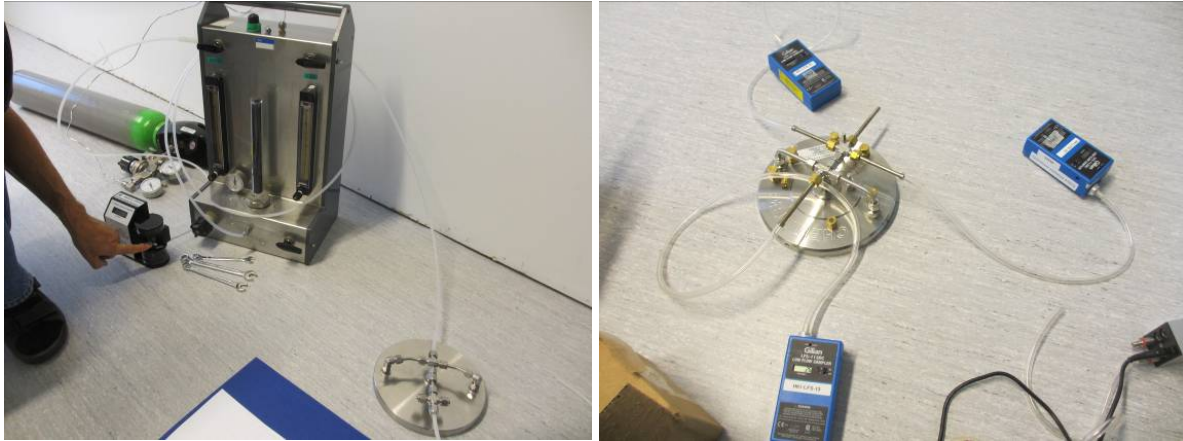
Sisäilman VOC-näytteenotto tehdään pääsääntöisesti ISO 16000-6 standardin mukaisella mittausmenetelmällä. Tarkemmat ohjeet antaa analyysilaboratorio. Jos saman tutkimuskäynnin yhteydessä rakennuksen sisäilmasta kerätään monia näytteitä, mm. mikrobinäytteitä ja/tai lattiapäällystettä avataan mitattavassa tilassa, tulee kontaminaatioiden pienentämiseksi mitata aina ensin sisäilman VOC-yhdisteet.

VOC-näytteenotto sisäilmasta ei yleensä ole riittävä sisäilmaongelman todentamiseen, menetelmä on rajallinen. Sisäilmanäytteeseen vaikuttaa sisäilman hetkelliset vaihtelut, muun muassa tilan käyttäjät, ilmanvaihto, ilman liikkeet tilassa sekä sisä- ja ulkoilman väliset paine-erovaihtelut.

#### ***7.4.3 FLEC-näytteet ehjän lattiapäällysteen pinnasta***

VOC-näytteenotto ehjän lattiapäällysteen päältä tehtävällä FLEC-mittauksella tutkimuskohteessa tehdään pääsääntöisesti NT Build 484 ohjeen mukaisella menetelmällä. Tilanteesta riippuen (esim. korjauslaajuus, riitatilanteet, olosuhteet) voidaan käyttää myös tarkempaa ISO 16000-10 standardin mukaista FLEC-mittausmenetelmää. On kuitenkin huomioitavaa, että kenttämittauksissa standardia ei pystytä tarkasti noudattamaan, johtuen muun muassa sisäilman ja pinnan lämpötilaeroista. Tästä johtuen usein joudutaan soveltamaan standardia, mutta soveltaminen tulee olla yhdenmukaista eri mittaajien keskuudessa.

Standardista sovelletulla NT Build 484 ohjeen FLEC-menetelmällä ei saada vastaavia mittaustuloksia kuin ISO 16000-10 standardin mukaan tehtynä johtuen siitä, että näytteenottoa ei tehdä puhtaalla kaasulla ja tuloilmaa ei kostuteta vakioolosuhteeseen. Menetelmä sopii kuitenkin hyvin käytettäväksi esimerkiksi tilanteisiin, jossa tarkastellaan kohteessa tehtävin mittauksin eri alueiden emissioiden eroja ja rakenteen kosteuspitoisuudet on tutkittu hyvin. Tärkeintä on selvittää tarkasti valitun edustavan kohdan pintaemissio  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .



*Kuvat 24 a ja b. Vasemman puoleinen kuva on ISO standardin mukaisesta FLEC-mittausmenelmästä ja oikean puoleinen kuva on NT Build 484 ohjeen mukaisesta FLEC-menetelmästä kenttäolosuhteissa.*

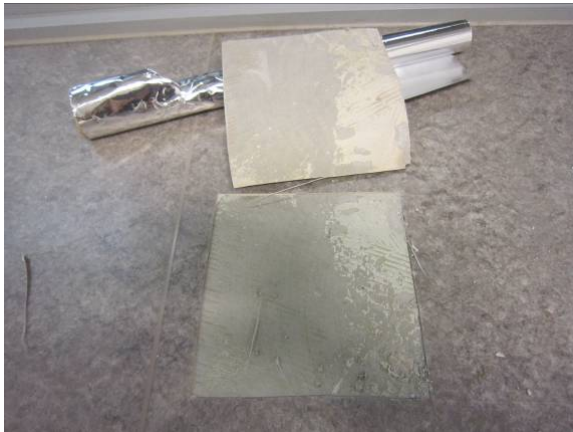
Ennen näytteenottoa tulee tehdä aistinvarainen arviointi sisäilmasta. Emissiomittaus aloitetaan tyypillisesti tilasta missä epäillään olevan pienimmät päästöt ja viimeisenä otetaan näytteet oletusta suurimmasta päästöstä. FLEC-näytteenoton aikana mitataan sisäilman olosuhteet ja näytteenoton jälkeen päällysteen alapuolinen lämpötila ja suhteellinen kosteuspitoisuus kaikissa mittapisteissä. Lisäksi heti näytteenoton jälkeen tulee tehdä aistinvarainen arviointi lattiapäällysteen ylä- sekä alapinnasta.

#### **7.4.4 Bulk-materiaalinäytteet**

Tutkittavan rakenteen emissiopotentiaalia voidaan mitata kohteesta otetusta materiaalinäytteestä. Näytteenotossa on huomioitava, että kohteesta irrotettuun materiaalinäytteeseen voi olla päällysteen lisäksi kiinnittynyt liimaa, tasoitetta, pohjustusainetta ja betonia. Mittauksessa mitään näytepalan pintaa ei peitetä, minkä vuoksi kyseisen analyysi kuvaa kaikilta näytteen pinnoilta vapautuvia yhdisteitä. Materiaalinäyte ei siis kuvaa kohteen lattiapäällysteen todellista pintaemissiota (mitä FLEC-mittaus ehjän päällysteen päältä kuvaa) vaan otetun näytepalan eri pintojen kokonaisuemissiota.

Näytteenotto toteutetaan leikkaamalla puhdistetuilla tutkimusvälineillä n. 100x100 mm<sup>2</sup> kokoinen materiaalinäyte, ks. kuva 25. Välittömästi näytteenoton jälkeen raken-

teesta irrotettu materiaali tulee kääriä tiiviisti folioon, sulkea minigrip-pussiin ja toimittaa näyte analyysilaboratorioon. Tarkemmat ohjeet antaa analyysilaboratorio.



*Kuva 25. Rakenteesta irrotettu materiaalinäyte.*

Pääsääntöisesti sisäilmaongelmatapauksissa lattiamateriaalia pintaemissioita tulisi tutkia ensisijaisesti ehjän päällysteen päältä paikan päällä tutkimuskohteessa tehtävällä FLEC-mittauksella.

Kohteesta irrotetulla materiaalinäytteellä voidaan saada **viitteitä mahdollisesta lattiapäällysteen vaurioitumisesta, mutta pelkästään näiden mittausmenetelmien perusteella ei voida määrittää korjaustarvetta**. Irrotettu materiaalinäyte ei ole toistettava mittausmenetelmä, koska näytteessä on aina eri määrä liimaa, tasoitetta, pohjustusainetta ja betonia. Irrotettu materiaalinäyte sisältää uusia leikkauspintoja, jonka johdosta tuloksia ei voida verrata suoraan M1-materiaaliluokan testituloksiin eikä vertailualueelta (oletettu vaurioitumaton alue) otettuun näytteeseen. Rakenteesta irrotetun materiaalinäytteen mittausmenetelmää voidaan käyttää muiden mittaustulosten varmistamiseen sekä kartoittavana menetelmänä erityisesti silloin kun emissioiden erot ovat selkeät vaurio- ja vertailualueilla. Lisäksi materiaalinäytteestä saadaan esiin päällysteen alapinnassa ja materiaalin sisällä olevia hitaasti poistuvia yhdisteitä, mitkä eivät aina näy sisäilma- tai pintaemissiomittauksissa.

Mittaustapaa valittaessa on huomioitava, että eri analyysilaboratoriot ovat kehittäneet materiaalinäytteiden analytiikkaan toisistaan poikkeavat analyysimenetelmät (mm. FLEC, bulk), joten eri laboratorioissa tehdyt analyysit voivat poiketa toisistaan

erittäin paljon. Tässä ohjeessa esitetyt ohjearvot ovat sovellettavissa vain Työterveyslaitoksen käyttämälle bulk-materiaalinäyteanalyysille.

#### ***7.4.5 VOC-yhdisteiden määrittäminen vaurioituneen lattiapäällysteen alapuolisesta betonirakenteesta***

FLEC-mittaus betonin pinnasta tehdään aikaisintaan kolmen vuorokauden kuluttua lattiapäällysteen poistosta, kun epäillään mittavaa vauriota ja halutaan selvyyttä rakenteeseen adsorboituneista VOC-yhdisteistä ja/tai halutaan varmistua korjausten yhteydessä tehtävästä normaalin tuuletusajan riittävydestä (Järnström H., 2005).



*Kuva 26. FLEC-mittaus betonirakenteen pinnasta päällysteen poistamisen jälkeen. (Järnström H., 2012)*

Alustabetoniin imeytyneitä VOC-yhdisteitä voidaan lisäksi mitata esimerkiksi erisyvyksiltä betonista otetuista materiaalinäytteistä. Betoniin imeytyneiden VOC-yhdisteiden määrittäminen tulee tarpeelliseksi tyypillisesti pahojen päällystevaurioiden tauksissa korjaussuunnittelun lähtötiedoksi. Emissioiden mittaaminen alustabetonista ei kuvaa todellista tilannetta sillä todellisuudessa emissiotuotto laskee pintamateriaalin diffuusiovastuksesta johtuen.

## 7.4.6 Tulosten tulkinta ja ohjearvojen soveltaminen

### Arvio korjaustarpeesta ja korjauslaajuudesta:

VOC-mittausten tuloksia verrataan kappaleessa 5 esitettyihin viitearvoihin sekä kohteessa tehtyihin vertailumittaustuloksiin.

- jos viitearvot ja vertailunäytteiden tulokset ylittyvät selvästi → korjaustarve on ilmeinen ja tarvitaan korjauksen kiireellisyyden ja terveydellisen riskin arviointi
- jos raja-arvot ja vertailunäytteiden tulokset eivät ylitä selvästi → korjaukset eivät ole kiireellisiä, tällöin arvioidaan jatkotutkimusten tai ilmanvaihdon tehostamisen tarve tai voidaan tapauskohtaisesti harkita korjauksia kustannusten perusteella esim. tilanteissa, joissa korjattava alue on pieni
  - jos VOC-mittauksissa pitoisuudet ovat normaalitasoa → ei korjaustarvetta.

Lattioiden VOC-yhdisteiden emissioiden tulosten tulkinnassa huomioidaan materiaalien primääriemissiot sekä olosuhdevaihtelut mittaushetkellä. Tulosten tulkitsijalla tulee olla hyvät tiedot materiaalien ominaispäästöistä (primääriemissiot), jotta ei tehdä ylimitoitettuja tai vääriä tulkintoja päällysteen vauriosta. Tulosten tulkintaa helpottaa vertailunäytteidenotto vaurioitumattomalta alueelta erityisesti silloin, kun materiaalien primääriemissiot eivät ole tiedossa.

Rakenteen emissioihin vaikuttavat kaikki sen eri komponentit eli runkorakenne, taasoite, liima, lattiapäällyste ja olosuhdevaihtelut. Kenttäolosuhteissa mitataan usein merkittävästi korkeampia VOC-emissioita kuin yksittäisistä materiaaleista laboratorio-olosuhteissa. Lattiapäällysteen asennuksessa käytetyn liiman vaikutus on selvästi nähtävissä niillä PVC-lattiapäällysteillä, jotka ovat VOC-yhdisteitä läpäiseviä. (Järnström H., 2007). Lisäksi tutkittavassa rakenteessa saattaa olla myös muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, kuten öljyhiilivetyjä tai PAH-yhdisteitä esimerkiksi vanhoista rakennusmateriaaleista, vanhasta toiminnasta peräisin tai öljyvahingoista.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että noin puolet asuntojen sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuuksista aiheutuu rakennusmateriaaleista ja puolet emittoituu

muun muassa huonekaluista, tekstiileistä, puhdistusaineista, kosmetiikasta sekä asukkaista ja kotieläimistä. (Metiäinen P., 2012).

Jos kaikki muut asiat ovat kunnossa ja korjattu, mutta ryhmätasolla oireilut jatkuvat edelleen, voidaan harkita mallikorjauksen tekemistä. Mallikorjauksessa uusitaan lattiapäällyste pienemmässä osassa rakennusta ennen laajoja korjauksia ja arvioidaan uusimisen jälkeen, onko mahdollinen sisäilmahaitta poistunut. Yksittäisen henkilön kokemaan oireiluun voi olla monia syitä ja näiden arviointi kuuluu terveydenhoitohenkilöiden vastuulle.

Emissionäytteiden tulosten tulkinta vauriotutkimuksissa edellyttää tarkkoja tietoja rakenteesta, materiaalityypistä, kosteuspitoisuudesta ja iästä. Mittausepä tarkkuus tulee aina huomioida mittaustavan valinnassa ja tulosten tarkastelussa. VOC-mittausten näytteenoton ja analyysin virherajat ovat noin  $\pm 30\%$  ja kenttämittauksissa mittausrvirhe kasvaa vielä tästäkin.

Mikäli lattiapäällysteiden uusimiseen päädytään, tulee vaurioalue rajata tarkkaan ja korjausmenetelmät valita oikein. Korjaukset on suositeltavaa aloittaa tekemällä korjaukset koehuoneessa, jonka toteutuksen hyväksynnän jälkeen muut alueet korjataan vastaavalla tavalla. Lisäksi korjaustoimenpiteitä mietittäessä tulee huomioida muun muassa vaurion vakavuus (eli onko vain hieman normaalia suuremmat kemialliset päästöt tai materiaalin ikääntymistä vai todella poikkeava tilanne, mm. märkä alusta ja mikrobivaurio tai erittäin suuret emissiot yhdistettynä tilassa oleskelevien ihmisten oireiluun) ja laajuus, alustaan mahdollisesti imeytyneiden VOC-yhdisteiden vaikutus tilanteeseen ja kosteuden kuivatustarve.

## *8 Johtopäätökset*

Tutkimustapa-ohje perustuu yhteiseen hyvän tutkimustavan malliin, jonka perusteella saadaan pääsääntöisesti arvioitua korjaustarve, korjauksen laatu, laajuus ja kiireellisyys. Rajatapauksia kuitenkin esiintyy, jossa vaurion arviointi ei ole selkeää,

jolloin yhteistyön merkitys eri tahojen, kuten sisäilmatuntijoiden, rakennusalan asiantuntijoiden ja terveydenalan ammattilaisten välillä korostuu. Hyvästä ohjeistuksesta huolimatta päällystevaurioiden tutkimukset tulee aina suunnitella huolellisesti ja yksityiskohtaisesti tapauskohtaisesti. On muistettava, että jokainen rakennus on yksilö ja tutkittava aina omana kokonaisuutenaan. Sisäilmatutkimuksissa ei kiinnitetä huomiota milloinkaan pelkästään päällystevaurion arviointiin, vaan selvitetään aina myös muut rakennuksen sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät.

Työryhmä päätyi yksimielisesti johtopäätökseen, että päällystevaurio ei ole sellainen sisäilmaongelma, jonka takia rakennus täytyisi tyhjentää ennen perusteellisten tutkimusten toteuttamista ja huolellisten johtopäätösten tekemistä. Siitä huolimatta työterveyshuollon tulee tapauskohtaisesti arvioida oireilevien yksilöiden mahdollinen uudelleensijoittamistarve, vaikka yleiseen rakennuksen sulkemiseen ei nähdäkään tarvetta. On muistettava, että terveysperusteinen käyttäjäkysely tai terveyshaitan määrittäminen eivät ole sisäilma- tai kuntotutkijan tehtäviä, vaan sen tekee aina siihen asiaan erikoistunut terveydenalan ammattilainen tai terveysviranomainen.

Päällysteen aiheuttaman mahdollisen sisäilmahaitan arvioinnista oleellista merkitystä on vaurion todentamisessa eikä niinkään mitatuissa yhdisteissä, elleivät yhdisteiden pitoisuudet ole poikkeavan suuria.

Tutkimuksen tekijällä on oltava riittävä tieto kaikista päällystevaurioiden arvioinnin osa-alueista, joita tässä opinnäytetyössä on esitelty. Lisäksi on huomioitava, että näytteiden ottaminen vaatii aina ammattitaitoa ja erityistä huolellisuutta täsmällisestä ohjeistuksesta huolimatta.

Tutkimustapa-ohje perustuu tämän hetkiseen työryhmällä olevaan parhaimpaan mahdolliseen tietoon päällystevaurioiden tutkimuksesta ja vaurioiden aiheuttamista sisäilmahaitoista. Lisätutkimuksia kuitenkin tarvitaan muun muassa seuraavista asioista:

- vertailuaineistoa eri analyysimenetelmistä erityyppisillä materiaaleilla ja erilaisissa olosuhteissa



- mittaustuloksia ehjän lattiapäällysteen päältä FLEC-laitteella mitatun pintaemission ja rakenteesta irrotetun bulk-materiaalinäytteen välillä
- rakenteesta irrotetusta materiaalinäytteestä haihtuvien yhdisteiden merkitys tilanteissa, joissa pintaemissiomittauksissa ei kyseisiä yhdisteitä havaita
- alkalisen kosteuden ja/tai pitkäaikaisen liiallisen kosteusrasituksen vaikutuksesta eri materiaaleihin ja siihen, miten ne vaurioituvat ja millä menetelmillä tämä vaurioituminen voidaan parhaiten todentaa
- eri paksuisten matala-alkalisten tasoitekerrosten vaikutusten selvittäminen kiinnitysaineiden ja lattiapäällysteiden emissioihin eri kosteusolosuhteissa
- nykyisten korjausmenetelmien toimivuuden osalta, kapselointikorjauksista sekä korjausten pitkäaikaiskestävyydestä
- vaurion vakavuuden perusteella myös kevyempien korjausratkaisujen toimivuutta, muun muassa voiko pinnoittaa vanhan pintarakenteen päälle tilanteessa, jossa on lievä vaurio ja alusta on kuiva tai riittääkö joissain tapauksissa vain päällysteen reunojen ja saumojen tiivistäminen tilanteen parantamiseksi.

VOC-emissioihin liittyvissä lisätutkimuksissa ja selvityksissä on jatkossa kiinnitettävä nykyistä enemmän huomiota lähtökosteuspitoisuuteen, kosteushistoriatietoihin sekä lämpöolosuhteisiin.

Opinnäytetyössä esitetystä tutkimustapaohjeesta tullaan laatimaan yksinkertaistettu kenttätutkimukseen tarkoitettu ohjeistus ja tietoa tullaan jakamaan useissa koulutustilaisuuksissa. Ohjeessa tullaan esittämään myös hyvä raportointimalli päällystevauriotutkimuksesta. Raportoinnin osalta on oleellista, että kaikki tiedot ovat kuvattu niin tarkasti raportissa, että lukija (myös asiasta tietämättömämpi) pystyy sen perusteella arvioimaan tilannetta.

## LÄHDELUETTELO

Backlund, P., Lappalainen, K., Mahmoodi, K. 2010. Bulk-emissiotestausmenetelmien vertailua. Teoksessa Säteri, J., Backman, H. (toim) Sisäilmastoseminaari 2010. sisäilmayhdistyksen raportti 28. Espoo: sisäilmayhdistys, 213-218

Eronen J. Päälystettyjen betonilattioiden emissiot, Teknillinen korkeakoulu 1998, ISBN 9512242826, 9789512242825.

Härkönen K. Vaurioitumattomien lattiapintamateriaalien referenssitiedon kartuttaminen bulk-emissiotutkimuksilla. Tampereen ammattikorkeakoulu 2012. Luettu internet 22.12.2012.

ISO 16000-6. Indoor air – part 6. Determination of volatile organic compounds in indoor and chamber air by active sampling on Tenax TA, thermal desorption and gas-chromatography MSD/FID. 2004.

ISO 16000-9. Indoor air – part 9. Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing -- Emission test chamber method. 2006.

ISO 16000-10. Indoor air – part 10. Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing -- Emission test cell method. 2006.

Järnström H. Muovimattopinnoitteiden lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT Publications 571/2005. ISBN 951-38-6652 (pdf).

Jänström H. (2007) Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings, VTT Publications 672.

Jänström H. Muovimattojen kemialliset päästöt ja niiden tutkiminen. VTT Expert Services Oy. Luento työpajassa nro.1, 10.1.2012.

Keinänen H. Muistio nro. 2. Konsensustyöpajan toinen tapaaminen Helsingin Työterveyslaitoksen tiloissa 13.3.2012.

Keinänen H.; Osallistujat Tuomi T., Backlund P., Hovi H., Miettunen K., Jänström H., Komulainen J., Tirkkonen T., Mussalo-Rauhamaa H., Metiäinen P. ja Korpi A. Muistio ja esitelmäkalvot. VOC-viitearvojen pohjalta järjestetty tapaaminen 4.9.2012.

Kristensson J. Näytteenotto lattiarakenteesta. Chemik Lab AB. Vaasan sisäilmapajan luento 2012.

Lapinlampi T, Tuomi T, Reijula K. Työterveyslaitos, Työympäristön kehittämisspalvelut, 2-etyyli-1-heksanoli sisäilmaongelmien aiheuttajana, Työympäristöuutiset asiakastiedote 1/2011

Laurén G. Tasoitteiden alkaliselta kosteudelta suojaavat ominaisuudet, Weber opisto luentomateriaali, Saint-Gobain Weber Oy Ab, Oulu 3.4.2012

Lindberg R, Wahlman J, Suonketo J, Paukku E. Kosteusvirta-tutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu 2002.

Metiäinen P. Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijoina. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 9/2009. ISBN (PDF) 978-952-223-489-6.

Metiäinen P. VOC-yhdisteiden tulkinta asumisterveystutkimuksissa. Ympäristö ja terveys -lehti nro 5-6/2012

Merikallio T, Niemi S, Komonen J. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy 2007.

Miettunen K. FLEC-mittaus kenttäolosuhteissa. VTT Expert Services Oy. Luento työpajassa nro.5, 26.9.2012.

Niemi S. Alustan kosteuden tutkiminen ja siihen liittyvät haasteet. Vahanen Oy. Luento työpajassa nro.1, 10.1.2012.

NT Build 484. Building materials: Emission of volatile compounds - On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC). 1998.

Penttilä K. Lattiapäällysteet, Sisäilma, Rakennusaikaisen kosteuden hallinta. Upofloor Oy. Luento työpajassa nro.3, 17.4.2012.

Polvinen R. Mattoliimat. Kiilto Oy. Luento työpajassa nro.3, 17.4.2012.

Rakennustietosäätiö. RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, 2010

Salonen, H. et al (2008) Common VOCx and formaldehyde in indoor air of Finnish office buildings, Indoor Air 2008 17-22 August 2008, Copenhagen, Denmark –Paper ID:17

Salonen H. et al. Toimiston sisäilmaston tutkiminen, Työterveyslaitos 2011

Sjöberg A. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials. Effects of alkaline hydrolysis and stored decomposition products. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology, Department of Building Materials, 2001. (Publication P-01:2)

Sjöberg A, Ramnäs O. An experimental parametric study of VOC from flooring systems exposed to alkaline solutions. *Indoor Air* 2007;17:450-7

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003.

Suomen betonitieto Oy, Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Betonikeskus ry 2007. ISBN 978-952-5075-89-2.

Tuomi T. Materiaaliemissioiden määrittämisestä. Työterveyslaitos. Luento työpajassa nro.4, 31.5.2012.

Valvira. Lausunto VOC-mittaustulosten tulkinnasta asuntojen terveyshaitta-asioissa (30.8.2011). [http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC\\_lausunto\\_ESAVI.pdf](http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC_lausunto_ESAVI.pdf) (luettu 1.4.2013).

Villberg Kirsi et al. Sisäilman laadun hallinta, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Publications 540, Espoo 2004

Villberg K., Mussalo-Rauhamaa H., Haahtela T., Saarela K., Prevalence of plastic additives in indoor air related to newly diagnosed asthma, *Indoor and Build Environment*. Vol 17 (2008)

Vinha J, Valovirta I, Korpi M, Mikkilä A, Käkelä P. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Rakennustekniikan osasta, Talonrakennustekniikan laboratorio, Tutkimusraportti 129. Tampere 2005.

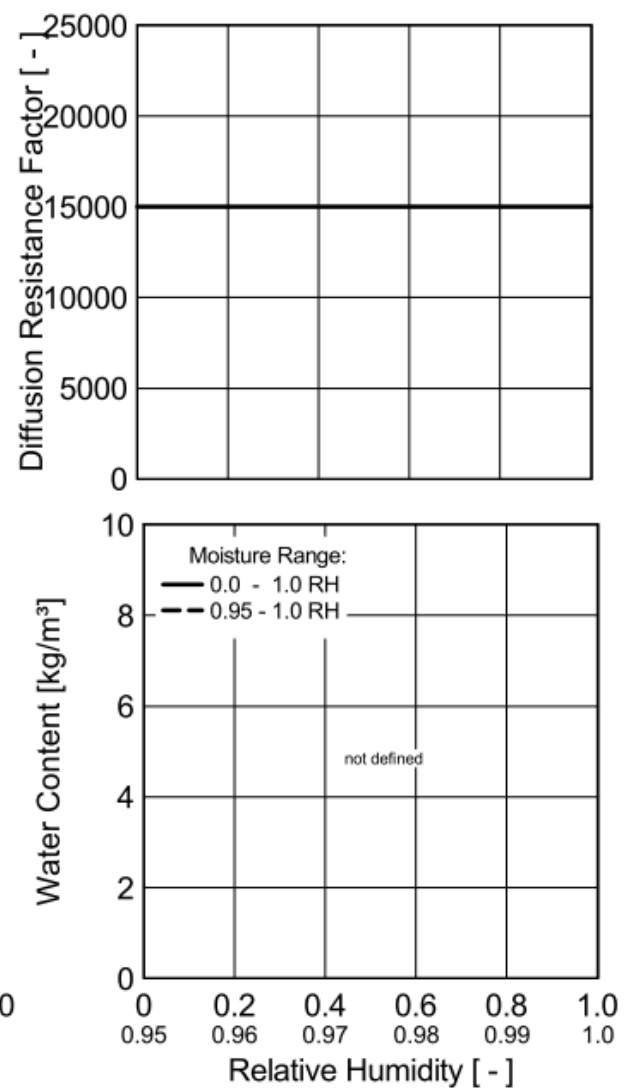
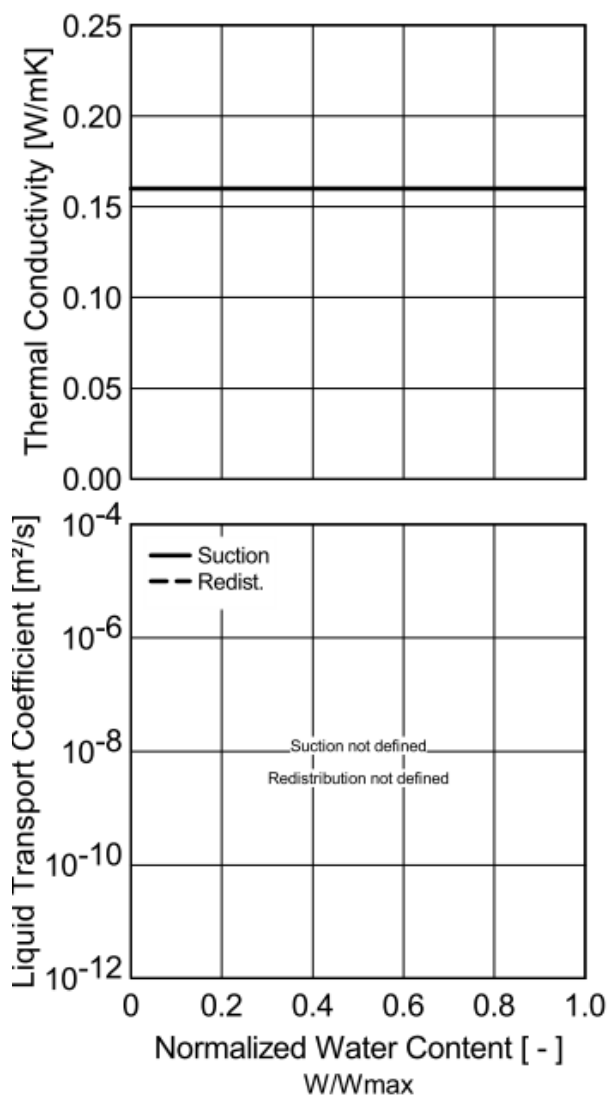
WHO (World Health Organization) guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010

## LASKENNAN LÄHTÖTIETOPARAMETREJA

Material : muovimatto

## Checking Input Data

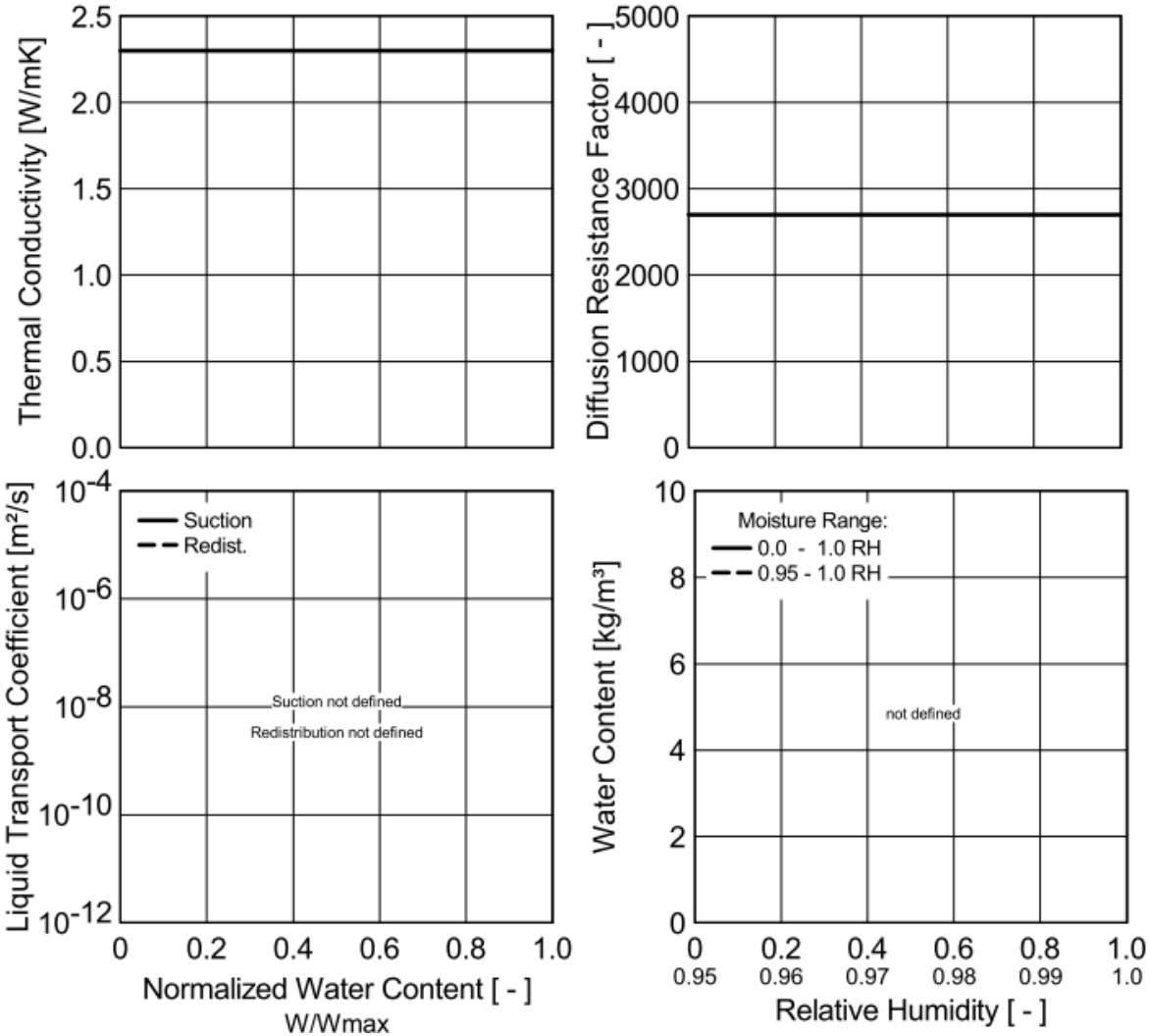
Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	1000,0
Porosity	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,0002
Specific Heat Capacity, Dry	[J/kgK]	1500,0
Thermal Conductivity, Dry	[W/mK]	0,16
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	15000,0



Material : linoleum

Checking Input Data

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	130,0
Porosity	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,001
Specific Heat Capacity, Dry	[J/kgK]	2300,0
Thermal Conductivity, Dry	[W/mK]	2,3
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	2700,0

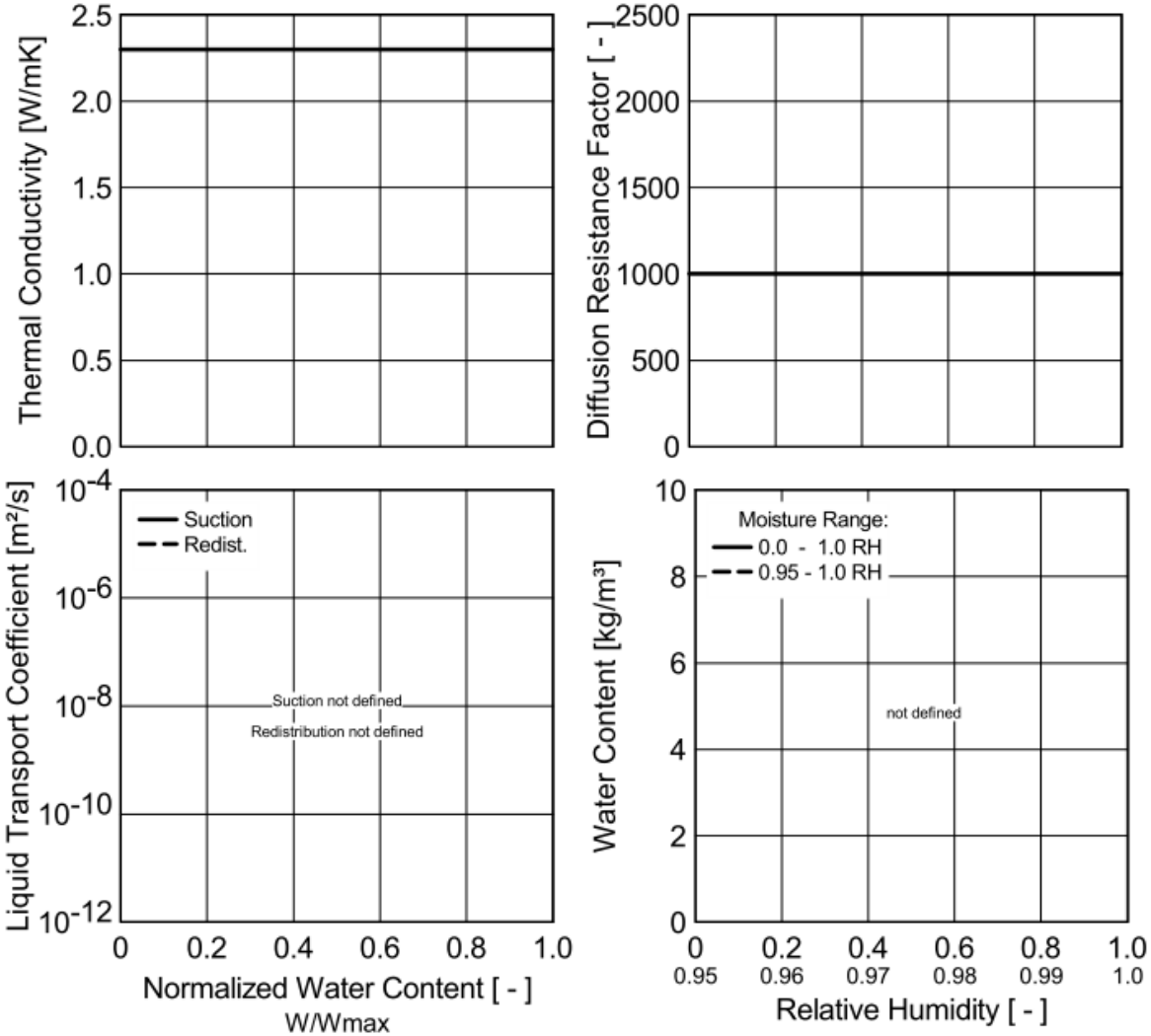




Material : mattoliima

Checking Input Data

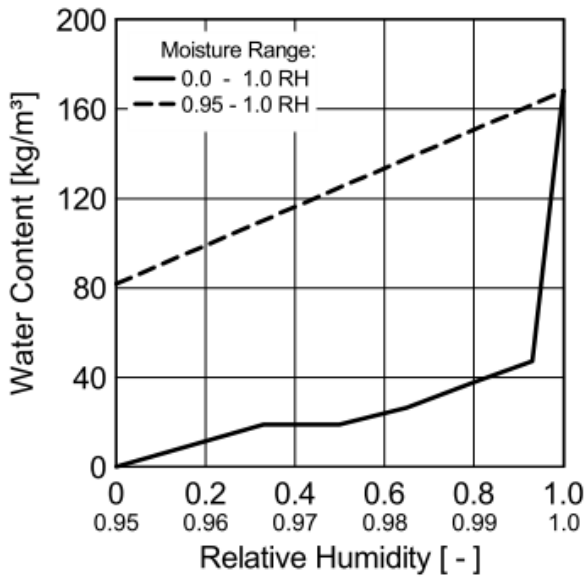
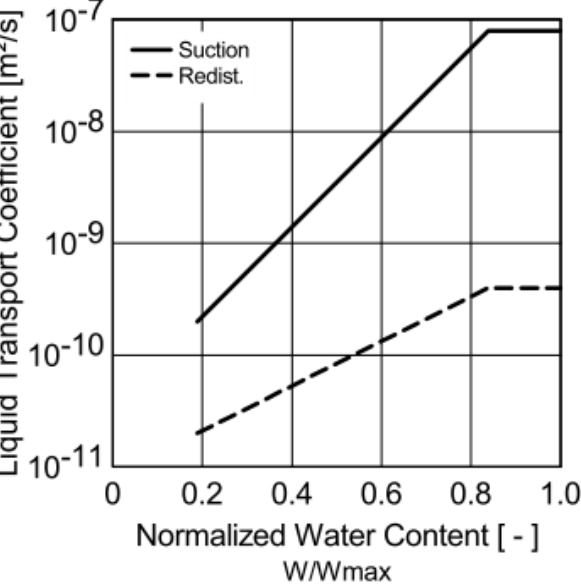
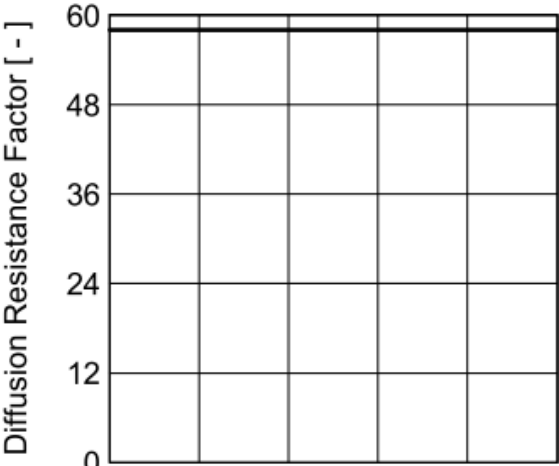
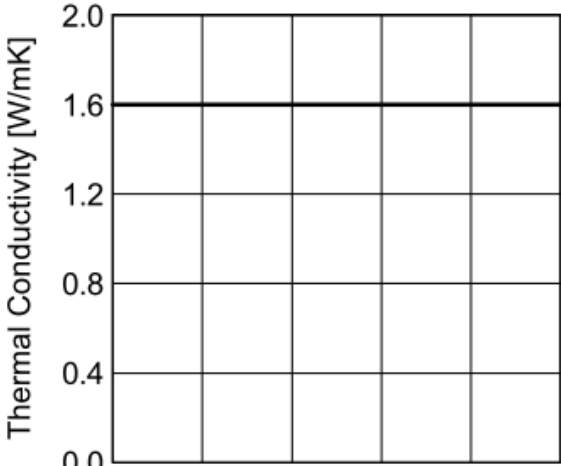
Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	130,0
Porosity	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,001
Specific Heat Capacity, Dry	[J/kgK]	2300,0
Thermal Conductivity, Dry	[W/mK]	2,3
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[ - ]	1000,0



Material : tasoite

Checking Input Data

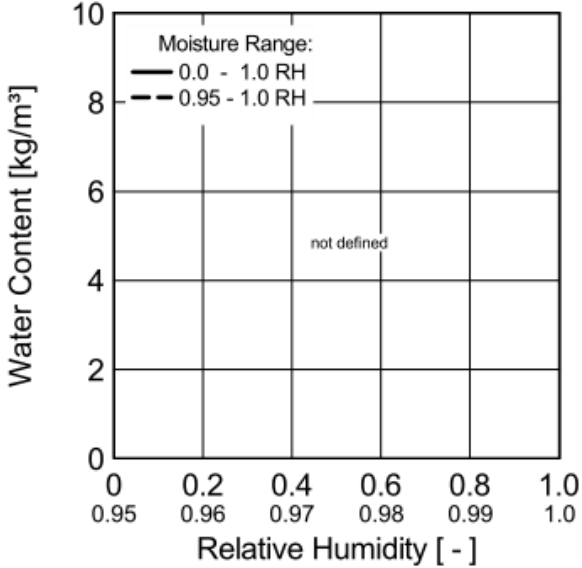
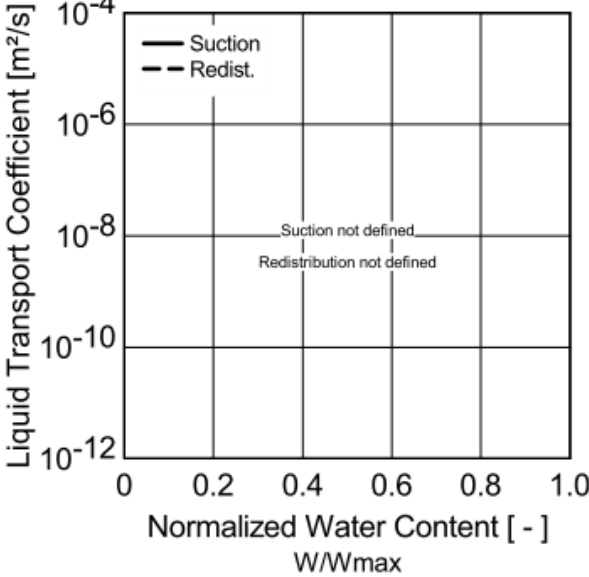
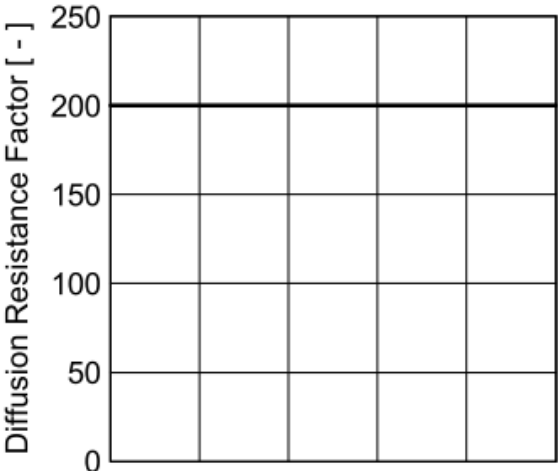
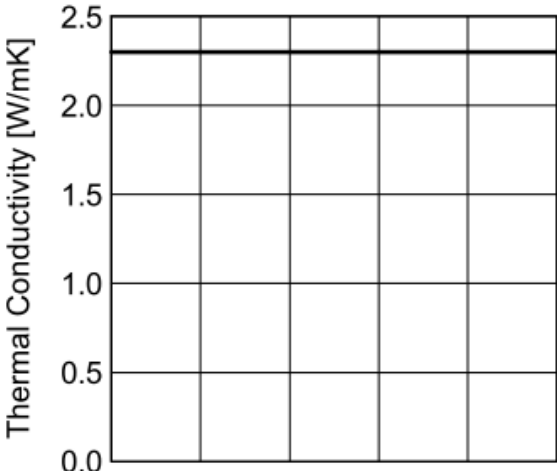
Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	1890,0
Porosity	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,2
Specific Heat Capacity, Dry	[J/kgK]	850,0
Thermal Conductivity, Dry	[W/mK]	1,6
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[ - ]	58,0



Material : pohjuste

Checking Input Data

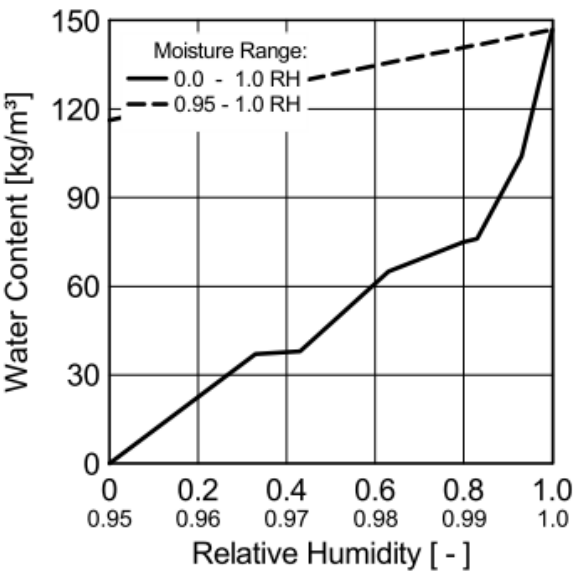
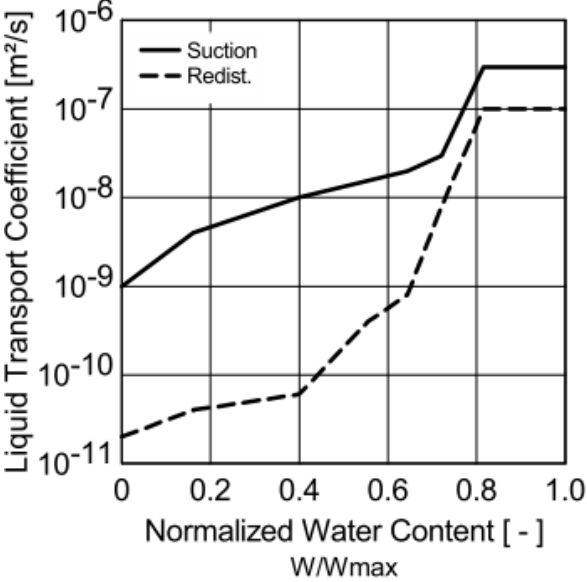
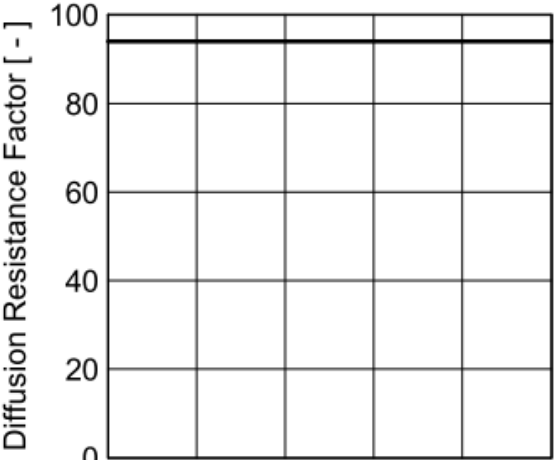
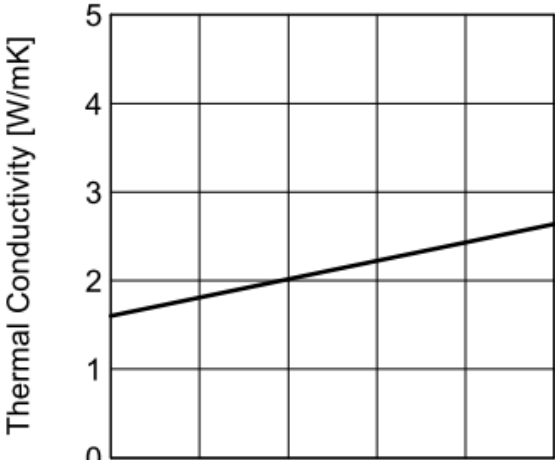
Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	130,0
Porosity	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,001
Specific Heat Capacity, Dry	[J/kgK]	2300,0
Thermal Conductivity, Dry	[W/mK]	2,3
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	200,0



Material : Concrete, C35/45

Checking Input Data

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	2220,0
Porosity	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,18
Specific Heat Capacity, Dry	[J/kgK]	850,0
Thermal Conductivity, Dry	[W/mK]	1,6
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[ - ]	94,0
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	8,0



## Boundary Conditions

### Exterior (Left Side)

Indoor Climate: WTA Guideline 6-2-01/E  
Indoor Condition, Medium Moisture Load

### Interior (Right Side)

Indoor Climate: WTA Guideline 6-2-01/E  
Indoor Condition, Medium Moisture Load

## Surface Transfer Coefficients

### Exterior (Left Side)

Name	Unit	Value	Description
Heat Resistance	[m <sup>2</sup> K/W]	0,125	Partition wall (inner)
Sd-Value	[m]	----	No coating
Short-Wave Radiation Absorptivity	[ - ]	----	No absorption/emission
Long-Wave Radiation Emissivity	[ - ]	----	No absorption/emission
Rain Water Absorption Factor	[ - ]	----	According to inclination and constru

### Interior (Right Side)

Name	Unit	Value	Description
Heat Resistance	[m <sup>2</sup> K/W]	0,125	Partition wall (inner)
Sd-Value	[m]	----	No coating