
BETONILATTIOIDEN VOC-KORJAUSMENETELMIEN VERTAILU



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakentamisen koulutusohjelma

Hämeenlinna 2.5.2014

Marko Jokipii



Ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Rakentamisen koulutusohjelma

Tekijä	Marko Jokipii	Vuosi 2014
Työn nimi	Betonilattioiden VOC-korjausmenetelmien vertailu	

TIIVISTELMÄ

Toimisto- ja työpaikkaympäristössä eräs tyypillinen sisäilmahaittoja aiheuttava ongelma on betonilattioiden muovipäällysteiden vauriot ja niistä sisäilmaan emittoituvat haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Vaurion jatkuessa osa hajoamistuotteista imeytyy lattiabetoniin. Koska sisäilmakorjaukset ovat toisinaan epäonnistuneet, Suomen Yliopistokiinteistöt Oy käynnisti kaksi tutkimushanketta, joissa selvitettiin kenttätutkimuksin betonilattioiden vaurioituneiden muovipäällysteiden korjaustapoja ja niiden onnistumista. Tutkimusten yksi keskeinen havainto oli, että mallikorjauksissa käytetyt julkisen tilan polyuretaanikalvolla pinnoitetut muovipäällysteet olivat itsessään niin tiiviitä, että ne kapseloivat alusbetoniin jääneet yhdisteet riittävän tehokkaasti. Muovipäällysteistä ei ole kuitenkaan käytettävissä riittävästi tutkimuksiin perustuvaa tietoa, että johtopäätöstä voisi yleistää koskemaan muita kuin mallikorjauksissa käytettyjä tuotteita. Vaurioituneen betonilattian korjauksen onnistumisen varmistamiseksi alusbetoniin imeytyneet yhdisteet on syytä tuulettaa mahdollisimman tehokkaasti ennen uuden päällysteen asentamista. Tutkimuksissa havaittiin betonipinnan jyrsinän ja rakenteen lämmittämisen tehostavan lattiabetoniin imeytyneiden yhdisteiden haihtumista. Yhdistettynä riittävän pitkään tuuletukseen normaalissa huoneenlämmössä, lattiapinnan hionnan havaittiin kuitenkin olevan todennäköisesti riittävä toimenpide. Yhtenä mallikorjauksena käytettiin rakenteen kapselointia ja todettiin kapselointiepoksien estävän tehokkaasti alusbetoniin imeytyneiden yhdisteiden pääsyn sisäilmaan. Joillakin kapselointituotteilla oli kuitenkin suuret materiaaliemissiot.

Avainsanat Sisäilma, betonilattia, korjausmenetelmä, kapselointi, epoksi, tuulettaminen, lämmittäminen, muovimatto, muovipäällyste, polyvinyylikloridi, PVC, pehmitin, ftalaatti, kiinnitysliima, alkalinen hajoamisreaktio, alkalinen hydrolyysi, kontaminaatio, saastuminen, materiaaliemissio, päästö, haihtuva orgaaninen yhdiste, VOC, TVOC, FLEC, 1-butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli, C₉-alkoholi, DEHA, DEHP, DIDP, DINCH, DINP, TXIB

Sivut 84 s.

Master's Degree of Applied Science
Degree programme in Construction and Environmental Engineering

Author	Marko Jokipii	Year 2014
Subject of Master's thesis	Comparison of renovation methods used in VOC-contaminated concrete floors	

ABSTRACT

One typical problem causing degradation of indoor air in office buildings is damage of plastic carpets used on concrete surface. Due to this, volatile organic compounds begin emitting into the indoor air. As the damage continues, a part of products of the decomposition reaction will be absorbed into the concrete floor. Having not always succeeded in renovation of indoor climate problems University properties of Finland Ltd. decided to start two investigation projects, in which the renovation methods of damaged plastic carpets on concrete surface and their results were studied. One important result was that plastic carpets coated with polyurethane layer used in the field tests were tight enough to prevent the emission of the compounds absorbed in concrete into the indoor air. There is not adequate information based on reliable investigations available in order to use this conclusion for other products than used in the field tests. To ensure successful results in the renovation process the compounds absorbed in concrete must be ventilated as efficiently as possible before the installation of a new plastic carpet. In these studies was detected that heating of the structure and rough milling of the concrete surface increased evaporation of the compounds absorbed in concrete. However, adequately long ventilation time in normal room temperature and grinding of the concrete surface together will probably give the same result. One renovation method used in the tests was the encapsulation of structure with an epoxy coating. This method prevented the dissipation of the compounds absorbed in concrete into the indoor air efficiently. However, some products had high primary material emissions.

Keywords Indoor air, concrete floor, renovation, capsulate, epoxy, ventilation, heating, PVC flooring, vinyl floor, polyvinylchloride, plasticizer, phthalate, adhesive, alkaline hydrolysis, contamination, pollutant, material emission, volatile organic compound, VOC, TVOC, FLEC, 1-butanol, 2-ethyl-1-hexanol, C₉-alkane, DEHA, DEHP, DIDP, DINCH, DINP, TXIB

Pages 84 p.

TERMIT JA LYHENTEET

Adsorptio	Fysikaalinen tai kemiallinen prosessi, jossa kaasumainen aine muodostaa ohuen kalvon kiinteän aineen pintaan.
Alkalinen hajoamisreaktio	Betonirakenteiden emäksisissä olosuhteissa rakennekosteu- den vaikutuksesta käynnistyvä lattioiden muovipäällysteiden ja niiden kiinnitysliimojen hajoamisreaktio.
Altistuminen	Ulkoisen tekijän vaikutuksen alaiseksi joutuminen.
1-butanoli	Haihtuva orgaaninen yhdiste (yksiarvoinen haaroittumaton alkoholi), kemiallinen kaava C_4H_9OH . Kohonneena pitoi- suutena rakennuksen sisäilmassa lattian muovipäällysteistä emittoitua indikaattoriyhdiste.
DEHA	Di-2-etyyliheksyyli-adipaatti (käytetään myös lyhennettä DOA), kemiallinen kaava $C_{22}H_{42}O_4$. Käytetään mm. muovi- en pehmitinaineena.
DEHP	Di-etyyliheksyyliiftalaatti, kemiallinen kaava $C_{24}H_{38}O_4$. Käy- tetään mm. muovien pehmitinaineena.
Desorptio	Molekyylien vapautuminen aineen pinnalta. Adsorption vas- takohta. Desorptiota hyödynnetään kaasukromatografiassa.
Diffuusio	Molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen mahdolliset pitoisuuserot (osapaine- erot).
DIDP	Di-isodekyyliiftalaatti, kemiallinen kaava $C_{28}H_{46}O_4$. Käyte- tään mm. muovien pehmitinaineena.
DINCH	Di-isononyylisykloheksaani-1,2-dikarboksylaatti, kemialli- nen kaava $C_{26}H_{48}O_4$. Käytetään mm. muovien pehmitinai- neena.
DINP	Di-isononyliiftalaatti, kemiallinen kaava $C_{26}H_{42}O_4$. Käyte- tään mm. muovien pehmitinaineena.
Eluentti	Tyypillisesti orgaaninen liuotin tai liuottimien seos, jota käy- tetään ajoliuksena yhdisteiden tunnistamiseksi nestekroma- tografiassa (vrt. kaasukromatografia).
Emissio	Päästö, haihtuminen, materiaalin pintatuotto. Kaasumaisessa muodossa materiaalista vapautuvat kemialliset yhdisteet. Emissio ilmoitetaan massayksikkönä pinta-ala- ja aikayksik- köä kohden eli mg/m^2h tai $\mu g/m^2h$.

2-etyyli-1-heksanoli

Haihtuva orgaaninen yhdiste (alkoholi), kemiallinen kaava $C_8H_{18}O$. Kohonneena pitoisuutena rakennuksen sisäilmassa kosteus- ja mikrobivaurioita ilmaiseva indikaattoriyhdiste.

FLEC Field and Laboratory Emission Cell. Materiaalien pintaemission keräyslaite.

Ftalaatti Ftaalihapon esteri. Käytetään laajasti muovien pehmentämiseen.

Indikaattori Yhdiste(et), jo(i)ta käytetään tässä yhteydessä kosteusvaurion ilmaisemiseen.

Kaasukromatografia

Menetelmä, jolla erotellaan hahtuvia orgaanisia yhdisteitä niiden analysoimiseksi.

Kapselointi Korjausmenetelmä, jolla estetään sekä konvektion että diffuusion avulla tapahtuva epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan.

Karbonatisoituminen

Betonin huokosveden pH-arvon alenemista ilman sisältämän hiilidioksidin vaikutuksesta.

Kontaminaatio

Hajoamistuotteiden ja muiden ei toivottujen kemiallisten yhdisteiden imeytyminen alusbetoniin ja muihin materiaaleihin saastuttaen ne.

Konvektio Lämpötilaerojen aiheuttamana virtaus. Hallitsematon ilmavirtaus rakenteen läpi, jonka mukana voi lämmön ja kosteuden lisäksi kulkeutua epäpuhtauksia.

Mallikorjaus

Mallityö, jolla testataan työsuoritusta ja -menetelmiä, käytettyjä tuotteita tms. Onnistumisen arvioimiseksi saavutettua tulosta verrataan asetettuihin tavoitteisiin. Hyväksytyä mallityötä käytetään referenssinä, johon tulevia työsuorituksia verrataan.

Massaspektometri

Laite, jota käytetään molekyylien massojen tutkimiseen, jolloin eri yhdisteet voidaan tunnistaa.

MVOC Mikrobial volatile organic compound. Mikrobin tuottama haihtuva orgaaninen yhdiste.

Pehmitin Muovi saadaan taipuisammaksi lisäämällä siihen pehmitinaineita.

PVC	Polyvinyylidikloridi, kemiallinen kaava $(C_2H_3Cl)_n$. Mm. rakennusteollisuudessa laajalti käytetty muovi.
SVOC	Semi-volatile organic compound. Puolihaihtuva orgaaninen yhdiste, jonka kiehumispiste on 240 – 260...380 – 400 °C.
Tenax TA	Polymeeriadsorbentti, jota käytetään yleisesti VOC-ilmanäytteiden keräämiseen.
Termodesorptio	Menetelmä, jossa analysoitava yhdiste irrotetaan adsorbentista kuumentamalla.
Tiivistäminen	Korjausmenetelmä, jolla estetään konvektion avulla tapahtuva epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan.
TVOC	Total volatile organic compound. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä. Tulos ilmoitetaan yleensä tolueniekvivalenttina, jolloin se voi erota kunkin yhdisteen omalla vasteella ilmoitettujen tulosten summasta.
TXIB	2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidolidi-isobutyraatti, kemiallinen kaava $C_{16}H_{30}O_4$. Käytetään mm. muovien viskositeetin alentajana. Kohonneena pitoisuutena rakennuksen sisäilmassa lattian muovipäällysteistä emittoituva indikaattoriyhdiste.
VOC	Volatile organic compound. Haihtuva orgaaninen yhdiste, jonka kiehumispiste on 50 – 100...240 – 260 °C.
VVOC	Very volatile organic compound. Erittäin haihtuva orgaaninen yhdiste, jonka kiehumispiste on < 0...50 – 100 °C.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Opinnäytetyön tilaaja	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	2
1.3	Opinnäytetyön toteutus	3
2	BETONILATTIOIDEN KEMIALLISET PÄÄSTÖT	4
2.1	Kemiallisten yhdisteiden lähteitä yleensä	4
2.2	Betonilattioiden muovipäällysteet kemiallisten yhdisteiden lähteenä	9
2.3	Kemiallisten yhdisteiden tutkimusmenetelmiä	12
2.4	Mittaustulos sisäilmahaitan ja korjaustarpeen arvioinnissa	16
3	BETONILATTIOIDEN VOC-KORJAUSMENETELMIÄ	19
3.1	Hionta ja jyrshintä	20
3.2	Tuuletus	22
3.3	Lämmitys.....	23
3.4	Kemialliset käsittelyt.....	24
3.5	Kapselointi	25
3.6	Koneellisesti tuuletettu lattiajärjestelmä	26
3.7	Lattianpäällysteen valintaperusteet	27
3.8	Korjausten onnistumisen arviointi	30
4	MALLIKORJAUSTEN KENTTÄTUTKIMUKSET	30
4.1	Koekappaleiden kenttätutkimukset	30
4.2	Koehuoneiden kenttätutkimukset.....	36
5	MALLIKORJAUSTEN TULOKSET	41
5.1	Koekappaleiden mallikorjausten tulokset	41
5.1.1	Lattiabetoniin imeytyneet VOC-yhdisteet.....	41
5.1.2	Emissiomittaukset FLEC-menetelmällä.....	49
5.2	Koehuoneiden mallikorjausten tulokset.....	55
5.2.1	Lattiabetonin kosteusjakauma	55
5.2.2	Muovipäällysteen alapuolinen kosteus.....	56
5.2.3	Sisäilmaston olosuhdeseuranta	58
5.2.4	Lattiabetoniin imeytyneet VOC-yhdisteet.....	61
5.2.5	Emissiomittaukset ja sisäilmanäytteet	62
5.2.6	Kapselointiepoksien vertailu	69
6	TULOSTEN TARKASTELU	73
6.1	Koekappaleiden tulosten tarkastelu.....	73
6.2	Koehuoneiden tulosten tarkastelu	75
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	78
	LÄHTEET	81

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tilaaja

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy (SYK Oy) omistaa Suomessa merkittävän kiinteistöomaisuuden, noin 1,1 miljoonaa huoneistoneliömetriä, joka koostuu pääosin yliopistokäyttöön tarkoitetuista rakennuksista. SYK Oy toimii kymmenessä yliopistokaupungissa, useilla eri kampuksilla ja useissa yksittäisissä kohteissa.

Yhtiön perimmäinen tarkoitus on pääomittaa yliopistoja. Pääomitus turvaa yliopistojen taloudellisen aseman, itsenäisyyden ja vakavaraisuuden. Oppilaitosrakennus on erikoisrakennus, jonka arvo määräytyy pääosin rakennuksesta saatavien vuokratuottojen kautta. Tyhjentyneet opetusrakennukset ovat merkittävä riski kohteen arvon muodostumisessa. Sisäilmariski on tällä hetkellä merkittävin yksittäinen riskitekijä erikoiskiinteistöjä omistaville tahoille.

Rakennusten sisäilmaongelmat aiheuttavat Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n toimitusjohtaja Mauno Sieväsen mukaan nykyään liian paljon toimintahäiriöitä ja selvää haittaa käyttäjille sekä huomattavia kustannuksia kiinteistön omistajille. Hiljattain peruskorjatuissa rakennuksissa on ilmennyt sisäilmaongelmia ja rakennus on joko tyhjennetty kokonaan tai henkilöitä on siirretty väistötiloihin. Rakennusten peruskorjauksen yhteydessä ei ole ollut riittävää osaamista ongelman ratkaisemiseksi tai sitten ongelman luonnetta ei tunneta.

Mikäli nykyisen kaltainen tilanne jatkuu, on vaarana, että rakennuksia peruskorjataan edelleen väärin, jolloin käyttäjien terveysriskit kasvavat ja työn tuottavuus laskee. Sieväsen mukaan rakennusten purkamiset yleistyisivät ja hiemankin ongelmallisia rakennuksia ei halua kukaan ostaa tai omistaa. Kuvatun kaltaisen tulevaisuuden toteutuessa Suomen kansallisuvarallisuudesta katoaisi merkittävä osa, kiinteistörahoitus kallistuisi ja pienille ja keskisuurille toimijoille syntyisi kohtuuttomia omaisuusriskejä. Riskien toteutuminen nostaisi suoraan vuokratasoja ja välillisesti verorasitusta.

Sisäilmaongelmat vaativat Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n toimitusjohtaja Sieväsen mukaan kokonais selvitystä, jossa ongelman syytä tarkastellaan perusteellisesti, ammattitaitoisesti ja riittävän monialaisesti. Ongelman monialaisuus edellyttää eri toimijoiden sitoutumista ja koordinoitua. Syiden selvityksessä tarvitaan sekä tieteellistä, että käytännönläheistä otetta. Tavoitteena on myös kehittää tutkimusmenetelmä näille erityisen haasteellisille sisäilmakohteille.

Teknisiä tavoitteita ovat näitä vaikeita sisäilmaongelmia aiheuttavien vaurioiden korjausmenetelmien ja korjaustyön lopputuloksen laadunvalvontamenetelmien kehittäminen. Teknisenä tavoitteena voidaan pitää

myös mahdollisimman kattavaa tietokantaa syistä, jotka voivat johtaa terveydellisiä ongelmia aiheuttavaan vaurioon.

Pintoihin imeytyneiden mikrobi- ja VOC-yhdisteiden tutkimiseen ja poistamiseen / kapseloimiseen käytettävien menetelmien tehokkuudesta ei ole käytettävissä luotettavaa tutkimustietoa. Nämä korjaukset ovat kuitenkin erittäin tyypillisiä sisäilmakorjausten yhteydessä, ja niissä käytetään hyvin monentyyppisiä ja lähtökohdiltaan hyvin erilaisia korjausmenetelmiä. SYK Oy:n tavoitteena on löytää luotettava korjausmenetelmä erilaisiin tapauksiin ja laatia selkeä ohje pintoihin imeytyneiden yhdisteiden tutkimista, korjaussuunnittelua sekä korjaustöiden laadunvarmistusta varten.

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n tavoitteena on löytää perustellut syyt sisäilmaongelmiin tutkittavana olleista vaativista sisäilmaohteista ja esittää ratkaisut niiden poistamiseen. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää samalla myös näiden vaativien ongelmien tutkimus- ja ratkaisuprosessin kehittämisen ja kuvaamisen. Sisäilmaongelmien hallinnassa tulee olla tavoitteena siirtyä kriisinhallinnasta riskienhallintaan. Tunnistamalla syyt, jotka voivat aiheuttaa vikoja, joista seuraa terveydellisiä haittoja rakennusten käyttäjille, on mahdollista ohjata rakentamisen suunnittelua ja toteutusta kohti terveellisiä ja turvallisia toiminta- ja asuinympäristöjä. (Sievänen 2010.)

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n toimitusjohtaja Mauno Sieväsen kutsu Jyväskylän kiinteistönomistajille asetti laaja-alaisen haasteen sisäilmaongelmien tutkimisen ja korjaamisen parissa työskenteleville asiantuntijoille. Sieväsen esittämä haaste onkin aikaansaanut useiden SYK Oy:n kokonaan tai osittain rahoittaman tutkimus- ja kehityshankkeen käynnistymisen monen eri asiantuntijaorganisaation toimesta.

Huono sisäilman laatu todettiin myös eduskunnan tarkastusvaliokunnan mietinnössä yhdeksi suurimmista ympäristöterveysongelmista. Aiheen tarkastelulla on siis huomattavaa merkitystä kansallisellakin tasolla. Lisäksi tarkastusvaliokunnan mietinnössä todetaan, että kosteus- ja homevaurioiden korjaamiseksi tehdyt toimenpiteet ovat epäonnistuneet liian usein ja ongelmia esiintyy myös uusissa rakennuksissa. (Tarkastusvaliokunta 2013, 1, 22.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään yhteen toimitusjohtaja Sieväsen mainitsemaan ohjeistusta vaativaan osa-alueeseen, betonilattioiden VOC-korjausmenetelmiin, jotka ovat hyvin tyypillisiä sisäilmaongelmakohteissa ja joissa käytetään hyvinkin erilaisia menetelmiä useista erilaisista lähtökohdista. SYK Oy:n tavoitteiden mukaisesti myös tämän opinnäytetyön tavoitteena on löytää luotettavia korjausmenetelmiä muutamiin erilaisiin tapauksiin, joissa korjataan betonilattioiden muovimattopäällysteiden ja niiden kiinnitysliimojen aiheuttamia vaurioita sekä niiden aiheuttamia sisäilmahaittoja.

Luotettavien korjausmenetelmien tulee ensinnäkin poistaa muovimattopäällysteiden vaurioitumisen syyt siten, ettei vaurio uusiudu jonkin ajan kuluttua korjaamisesta.

Toiseksi korjausmenetelmien on oltava riittävän tehokkaita poistamaan tai estämään jo aiemmin syntyneiden vaurioiden vuoksi betonirakenteisiin imeytyneiden hajoamistuotteiden aiheuttama sisäilmahaitta.

Betonilattioita päällystetään hyvinkin monenlaisilla päällysteillä ja pinnoitteilla, joten aihealueen rajaamiseksi tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan julkisen tilan liimattaviin muovimattopäällysteisiin. Linoleumi, korkki, puu ja parketti sekä muut luonnonmateriaalit rajataan tarkastelun ulkopuolelle samoin kuin kiviaineiset päällysteet kuten kuivapuristelaatta ja erilaiset nestemäisenä siveltävät tai levitettävät pinnoitteet kuten maalit ja massalattiat.

1.3 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyössä tarkastellaan teoreettisesti betonilattioiden muovipäällysteiden ja niiden kiinnitysliimojen vaurioitumismekanismia sekä vaurioiden aiheuttamia sisäilmahaittoja viitaten kirjallisuuslähteisiin ja aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Kansallista ja kansainvälistä tutkimusaineistoa rakennusmateriaalien aiheuttamista sisäilmahaitoista on löydettävissä melko runsaasti. Vaurioiden onnistuneesta korjaamisesta on sitä vastoin käytettävissä melko niukasti lähdeaineistoa. Pääosin aiheutta on tarkasteltu opinnäytetyöissä ja tieteellisissä julkaisuissa.

Aiheen teoreettisen tarkastelun lisäksi tässä opinnäytetyössä esitellään kaksi Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n rahoittamaa tutkimushanketta sekä niistä saadut tulokset. SYK Oy:n valitseman tiedotuspolitiikan mukaisesti tässä opinnäytetyössä ei mainita tutkimuskohteita nimeltä.

Ensimmäinen tutkimuskohteista on 1970-luvun lopulla valmistunut kiinteistön osa, jossa oli tehty sisäilmaperusteisia korjauksia jo aiemmin. Esimerkiksi lattioiden muovipäällysteet oli vaihdettu. Tilat olivat kuitenkin jääneet tyhjilleen muutama vuosi tehtyjen korjausten jälkeen, koska käyttäjien kokemat sisäilmaongelmat olivat toistuneet. Oltuaan kolmisen vuotta tyhjiään, tilojen peruskorjauksen suunnittelu aloitettiin. Tässä yhteydessä käynnistettiin tutkimushanke, jossa hyödynnettiin kiinteistöstä purettuja, VOC-kontaminoituneita, maanvaraisen betonilattian kappaleita. Tutkimushankkeesta käytetään myöhemmin nimitystä koekappaleiden mallikorjaukset.

Toinen tutkimuskohteista on 2000-luvulla valmistunut kiinteistö, joka tyhjennettiin käyttäjien kokemien sisäilmaongelmien vuoksi. Kohteessa suoritettujen ensimmäisten sisäilmatutkimusten yksi keskeinen havainto oli muovimattopäällysteiden poikkeavat VOC-emissiot. Tutkimuksissa todettiin, että yhdisteet olivat kontaminoineet välipohjien massiiviset betonirakenteet. Kiinteistöstä valittiin neljä vierekkäistä huonetta mallikorjauksia varten. Tästä tutkimushankkeesta käytetään myöhemmin nimitystä koehuoneiden mallikorjaukset.

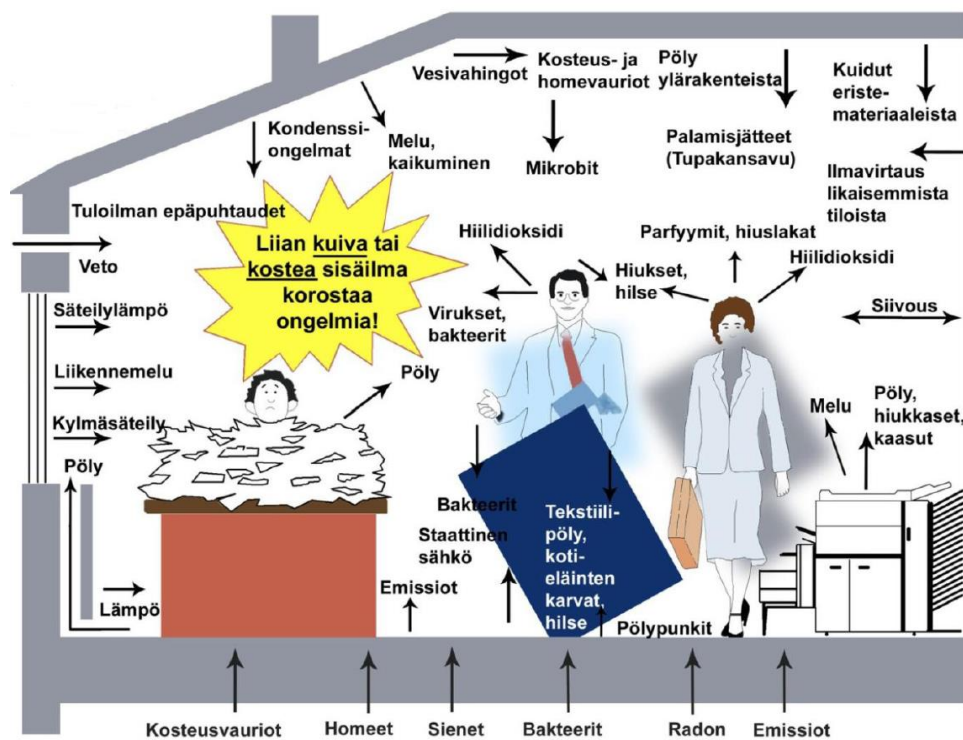
Koekappaleiden ja -huoneiden mallikorjausten tutkimussuunnitelmien ja -hypoteesien laadintaan osallistui SYK Oy:n koolle kutsumana sisäilma-asiantuntijoita ja -tutkijoita useasta eri asiantuntijaorganisaatiosta. Koekappaleiden ja -huoneiden mallikorjausten kenttätutkimukset suoritettiin SYK Oy:n asiantuntijaverkoston sisäilmatutkijoiden johdolla. Molemissa kohteissa tarvittuihin rakennusteknisiin töihin käytettiin urakoitsijoita, joilla oli kokemusta sisäilmakorjauksista.

Kahden lähtökohdiltaan hyvin erilaisen, mutta ongelmiltaan samankaltaisen tutkimuskohteen käyttö rinnakkain oli hyvin mielenkiintoista mutta samalla haastavaa. On lisäksi huomattava, että kummassakin kohteessa koetut sisäilmaongelmat olivat useiden tekijöiden summa. Muovimattopäällysteissä todetut vauriot olivat vain yksi selittävä tekijä monen muun sisäilman laatuun vaikuttaneen ongelman ohella.

2 BETONILATTIOIDEN KEMIAALLISET PÄÄSTÖT

2.1 Kemiallisten yhdisteiden lähteitä yleensä

Sisäilman epäpuhtaudet voivat olla olomuodoltaan kaasumaisia tai hiukasmaisia ja epäpuhtauksia on sekä biologisia että kemiallisia. Kemialliset yhdisteet voidaan vielä jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Kuva 1 esittää tyypillisiä sisäilman epäpuhtauslähteitä. Tässä yhteydessä keskitytään ainoastaan kaasumaisessa muodossa esiintyviin kemiallisiin orgaanisiin yhdisteisiin. (Asumisterveysopas 2009, 128.)



Kuva 1. Tyypillisiä sisäilman epäpuhtauslähteitä. (Kuva: Palomäki 2011.)

Sisäilman epäpuhtauslähteitä on useita. Eräs merkittävä lähde ovat rakennusmateriaalit, joista emittoituu huomattavia määriä kemiallisia yhdisteitä, vaikka materiaalit olisivat täysin vaurioitumattomia. Rakennusmateriaaleissa on liuotain- ja raaka-ainejäämiä. Lisäksi materiaalien sisältämien kemikaalien reaktio- ja hajoamistuotteet voivat kuormittaa sisäilmaa. Tyypillisesti vaurioitumattomien rakennusmateriaalien ominaisemissiot eli primääriemissiot vähenevät ajan kuluessa. Työterveyslaitoksen tutkimusten mukaan rakennusmateriaaleista peräisin olevat VOC-emissiot vakiintuvat yleensä vasta kahden vuoden kuluttua rakennuksen valmistumisen tai peruskorjauksen jälkeen. Käyttämällä jo alun perin matalapäästöisiä tuotteita, kuten M1-luokiteltuja rakennusmateriaaleja, voidaan minimoida rakennusmateriaalien emissioiden aiheuttamaa sisäilmahaittaa. (Asumisterveysopas 2009, 128, 137; Salonen 2011, 23.)

Rakennusmateriaalien kosteusvauriot voivat moninkertaistaa sisäilmaan emittoituvien kemiallisten yhdisteiden määrän. Liiallinen kosteus erityisesti yhdessä betonin alkalisten ominaisuuksien kanssa voi käynnistää materiaaleissa hajoamisreaktion, joka vapauttaa kemiallisia yhdisteitä ja mahdollisesti tuottaa uusia yhdisteitä. Eräitä yhdisteitä kutsutaankin kosteusvaurioiden indikaattoriyhdisteiksi, koska niiden esiintyminen kohonena pitoisuuksina sisäilmassa voidaan yhdistää materiaalien hajoamisreaktioihin. Näitä yhdisteitä tarkastellaan tarkemmin luvussa 2.2 Betonilattioiden muovipäällysteet kemiallisten yhdisteiden lähteenä. (Asumisterveysopas 2009, 137; Järnström 2005, 17.)

Rakennusmateriaalien valmistajat kehittävät jatkuvasti tuotteita ja niiden ominaisuuksia vastaamaan tämän päivän kiristyneitä vaatimuksia mm. rakennustyötä tekevien henkilöiden työturvallisuuden sekä asennettujen tuotteiden materiaaliemissioiden osalta. Tämän vuoksi käytettyjen rakennusmateriaalien ominaisuuksien ja niiden pitkäaikais- ja kosteudenkestävyyden tuntemus on toisinaan heikko. Lattian muovipäällysteiden ja niiden kiinnitysliimojen kehityksessä on myös havaittavissa ilmiö, jossa tuotevalmistajat siirtyvät käyttämään raaka-aineita ja yhdisteitä, joiden ei vielä tiedetä aiheuttavan terveystahaittaa.

Rakennusmateriaalien lisäksi merkittäviä sisäilman epäpuhtauslähteitä ovat kalusteet, koneet ja laitteet. Tyypillisessä toimisto- ja työpaikkaympäristössä irtaimisto ei kuulu rakennuksen omistajan vaan käyttäjän hankittavaksi. Valveutuneet kiinteistön omistajat ovat laatineet yhdessä käyttäjien kanssa toimintaohjeita, joissa pyritään huomioimaan myös käyttäjän hankkimien irtokalusteiden sisäilman laatua heikentävien päästöjen vaikutus muun muassa valitsemalla vähäpäästöisiä kalusteita ja huolehtimalla kalusteiden riittävän pitkistä tuuletusajasta ennen tilojen käyttöön ottoa tilojen valmistumisen tai peruskorjauksen jälkeen. Luonnollisesti riittävä tuuletusaika on huomioitava rakennustyön ja käyttöön-oton aikataulutuksessa. (Salonen 2011, 24.)

Rakennussuunnittelun ja ilmanvaihdon suunnitteluratkaisuilla voidaan taas vaikuttaa merkittävästi tulostimien ja kopiokoneiden aiheuttamalle sisäilmahaitalle, joista merkittävin on otsoni. Riittävä ilmanvaihto laimentaa

tehokkaasti haihtuvien yhdisteiden pitoisuutta sisäilmassa ja erillistiloihin sijoitetut laitteet eivät levitä yhdisteitä koko työpaikan sisäilmaan. Käyttäjien oleskelu kopiokoneiden ja tulostimien läheisyydessä on taas yleensä lyhytaikaista. (Järnström 2005, 19.)

Rakennusteknisen näkökulman lisäksi sisäilmaongelmia tarkasteltaessa on aina arvioitava kokonaisuuksia, jolloin on myös arvioitava ilmanvaihdon ja muiden tekijöiden, kuten käyttäjän, vaikutusta sisäilman laatuun.

Käyttäjän omalla toiminnalla voi olla hyvin suuri vaikutus sisäilman laatuun. Mikäli tiloissa käsitellään kemikaaleja, on aina tehtävä toiminnan riskinarvio pelkästään jo työsuojelun lähtökohdista. Samalla tulee huomioida käyttäjän toiminnan vaikutus sisäilman laatuun. Riskinarvio olisi tehtävä jo hyvissä ajoin tilojen suunnitteluvaiheessa, jolloin käytön aiheuttama sisäilmahaitta kyetään minimoimaan tehtävillä suunnitteluratkaisuilla. Ilmanvaihtojärjestelmään jälkeensä tehtävät muutokset voivat olla toteutukseltaan erittäin haastavia ja kalliita. (Salonen 2011, 24.)

Tilojen siivouksessa käytettävät puhdistus- ja pesuaineet kuormittavat päästöillään tilojen sisäilmaa. Haihtuvat yhdisteet voivat olla tuotteen tehoaineita tai tuotteessa käytettyjä apuaineita, kuten tuoksujia. Samoin tilojen käyttäjien käyttämät kosmeettiset aineet, kuten hiuslakat ja tuokset, lisäävät sisäilman sisältämien yhdisteiden pitoisuutta. (Salonen 2011, 24.)

Osaltaan sisäilmaa kuormittaa myös ulkoilma, vaikkakin ulkoilman sisältämien yhdisteiden pitoisuus on tyypillisesti alhaisempi kuin sisäilman sisältämät pitoisuudet. Erityisesti kaupunkiympäristön liikenteen aiheuttamat päästöt voivat kuitenkin olla merkitykseltään huomattavia. Liikenteen aiheuttamia päästöjä ovat tyypillisesti hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit sekä pienhiukkaset. Näistä hiilivedyt kuuluvat haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin. (Valvira 2011, 2.)

Sisäilman sisältämät useista päästölähteistä peräisin olevat yhdisteet saattavat reagoida keskenään ja tuottaa uusia yhdisteitä. Kemiallisten reaktioiden lopputuotteena taas syntyy hapetustuotteita, joista tunnetuin lienee formaldehydi. (Salonen 2011, 24.)

Myös sisäilmasto-olosuhteilla on vaikutusta materiaaleista sisäilmaan emittoituvien yhdisteiden määrään. Tutkimusten mukaan korkea lämpötila lisää materiaaliemissioita. Sisäilman sisältämällä kosteudellakin on vaikutusta, sillä alhaisen ilman kosteuden on todettu pienentävän materiaaliemissioita. Voidaan siis todeta, että oikein toimiva ilmanvaihto laimentaa tehokkaasti sisäilman sisältämien yhdisteiden määrää kun taas puutteellisesti toimiva ilmanvaihto voi olla osaltaan lisäämässä käyttäjien kokemia sisäilmasto-oireita. (Järnström 2005, 19.)

Ohessa on Taulukko 1, johon on koottu yhteenveto tyypillisistä sisäilman sisältämisistä haihtuvista orgaanisista yhdisteistä ja niiden päästölähteistä. Taulukossa on eritelty yhdisteryhmät sekä tärkeimmät yksittäiset yhdisteet.

Taulukko 1. Tyypillisiä yleisimpien sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästölähteitä (Salonen 2011, 106-108).

YHDISTERYHMÄ	ESIMERKKEJÄ MAHDOLLISISTA PÄÄSTÖLÄHTEISTÄ
AROMAATTISET HIILIVEDYT	
Tolueeni, ksyleenit, trimetyylibentseenit	Maalit, lakat, liimat, pakokaasut, bensiini, liuottimet, seinäpinnoitteet, polyuretaanit, puhdistusaineet, tietokoneet, tulostimet, kopiokoneet
Bentseeni	Maalit, lakat, liimat, pakokaasut, bensiini, liuottimet, seinäpinnoitteet, polyuretaanit, puhdistusaineet, tietokoneet, tulostimet, kopiokoneet, tupakointi, synteettiset kuidut
Etyylibentseeni	Pakokaasut, bensiini, tupakointi, eristeet, tulostimet, tietokoneet, kopiokoneet, linoleumi
ALKOHOLIT	
1-butanoli	Liuottimet, puhdistusaineet, maalit, liimat, tasoitteet, laastit, kosmetiikkatuotteet, kuitulevyt
2-etyyli-1-heksanoli	Muovimatot, liimat, tulostimet, kopiokoneet
2-metyyli-1-propanoli	Puun uuteaineet, liuottimet, puhdistusaineet, maalit, liimat, tasoitteet, laastit, pehmitinaineet
Fenoli	Liuottimet, puhdistusaineet, maalit, liimat, tasoitteet, laastit, tietokoneet, tupakointi, PVC-pohjaiset pinnoitteet
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	
Dodekaani, nonaani, pentadekaani, tetradekaani, undekaani	Maalit, liimat, bensiini, palamislähteet, tiivisteet, kopiokoneet, tietokoneet, linoleumi, kosmetiikkatuotteet
Heksadekaani, tridekaani	Maalit, liimat, bensiini, palamislähteet, tiivisteet, kopiokoneet, tietokoneet, linoleumi, kosmetiikkatuotteet, puun uuteaineet
Dekaani	Maalit, liimat, bensiini, palamislähteet, tiivisteet, kopiokoneet, tietokoneet, linoleumi, kosmetiikkatuotteet, puun uuteaineet, tekstiilit
Heptaani	Liimat, bensiini, pakokaasut, liuottimet, polyuretaani, seinä- ja lattianpäällysteet, kopiokoneet, linoleumi
Oktaani	Liimat, bensiini, pakokaasut, liuottimet, polyuretaani, painetut puutuotteet, puhdistusaineet, kopiokoneet, linoleumi

YHDISTERYHMÄ	ESIMERKKEJÄ MAHDOLLISISTA PÄÄSTÖLÄHTEISTÄ
Heksaani	Liimat, bensiini, pakokaasut, liuottimet, polyuretaani
ALDEHYDIT	
Nonanaali, oktanaali, pentanaali	Puutuotteet, lastulevy, tapetit, lattiavahat, hajusteet, linoleumi, kostea mineraalivilla, tietokoneet
Bentsaldehydi	Pakokaasut, lastu- ja kuitulevyt, värit, hajusteet, tietokoneet, kopiokoneet, linoleumi
Dekanaali	Tasoiteaineet, betonit, maalituotteet, lattianpäällysteet (linoleumi, PVC-matot), liimat, puupohjaiset rakennusmateriaalit, kuitulevyt, tietokoneet
Heksanaali	Puutuotteet, lastulevy, kuitulevy, tapetit, lattiavahat, hajusteet, linoleumi, kostea mineraalivilla, kopiokoneet, hartsit, veden eristeet
2-Furfuraali	Tasoiteaineet, betonit, maalituotteet, lattianpäällysteet (linoleumi, PVC-matot), liimat, kuitulevyt, mineraalivilla
Formaldehydi	Puutuotteet, eristemateriaalit, kulutustuotteet, pintakäsittelyaineet, kankaat, tupakointi, toimistolaitteet, otsonin ja terpeenien reaktiot
GLYKOLIT / GLYKOLIEETTERIT	
1,2-Propaanidioli	Vesiohenteiset maalit, lakat, PVC-päällysteiset lattiamateriaalit, liimat, korkkimatto, tasoitteet, vedeneristemassat, laastit, vahat, vahanpoistoaineet, pesuaineet
2-Fenoksietanoli	Liuotinpesuaineet, hajuvedet, liimat, pehmitinaineet, kittausaineet
2-(2-Butoksietoksi)etanoli	Puhdistusaineet, pesuaineet, maalit, värit, musteet, kittausaineet
1-Metoksi-2-propanoli	Mattoliimat, vesiohenteiset maalit ja lakat, pehmitinaineet
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	Mattoliimat, pehmitinaineet, vesiohenteiset maalit, lattiavahat, vahanpoistoaineet, kittausaineet
TERPEENIT ELI ISOPRENOIDIT	
3-Kareeni	Puu- ja puupohjaiset materiaalit, hajusteet, maalit, liuottimet, siivousaineet
Alfa-pineeni, limoneeni	Puu- ja puupohjaiset materiaalit, hajusteet, maalit, liuottimet, siivousaineet, kosmetiikkatuotteet, tietokoneet, ilmanraikastimet

YHDISTERYHMÄ	ESIMERKKEJÄ MAHDOLLISISTA PÄÄSTÖLÄHTEISTÄ
PII-YHDISTEET	
Dekametyylisyklopenta-siloksaani	Kosmetiikkatuotteet, saumausaineet, vedeneristeet, tekstiilien lianhyljintä-pinnoitteet, laastit
Orgaaniset pii-yhdisteet	Rakennusmateriaalit, tiivistemassat, siivousaineet, pintakäsittelyaineet, hiuslakat
ORGAANISET HAPOT	
Heksaanihappo	Linoleumi, hartsit, liuotinhenteiset maalit (alkydimaali), mäntylauta (puun uuteaineet), lastulevy
Etikkahappo	Tiivistemassat, kittausaineet, linoleumi, liimat
Pentaanihappo	Linoleumi, puun uuteaineet, hartsit
Propaanihappo	Linoleumi
ESTERIT	
n-Butyyliasettaatti, 2-(2-butoksietoksi)etyyli-asettaatti	Muovit, kuidut, maalit, lakat, liimat (liuottimina), kosmetiikkatuotteet, kittausaineet
Etyyliasettaatti	Liimat, korjauskynät, siivousaineet, kosmetiikkatuotteet, homeet, tiivisteaineet, kittausaineet
2,2,4-Trimetyyli-1,3-pentaali-diolidi-isobutyraatti (TXIB)	Muovimatot, mattoliimat, pehmitinaineet, apuaineet, tapetit, maalit, keinonahkatuotteet
KETONIT	
2-Butanoni	Liuottimet, puun uuteaineet, hartsit, liimat, kuitulevyt
6-Metyyli-5-hepteeni-2-oni	Liuottimet, puun uuteaineet, hartsit, liimat, kuitulevyt, kittausaineet, mineraalivilla

2.2 Betonilattioiden muovipäällysteet kemiallisten yhdisteiden lähteenä

Lattioiden muovipäällysteet voidaan jakaa ominaisuuksiensa ja koostumuksensa mukaisesti kahteen pääryhmään. Yksiaineiset eli homogeeniset muovimatot, joita käytetään tyypillisesti kovan kulutuksen omaavissa julkisissa tiloissa, ovat läpeensä samaa materiaalia, jolloin myös maton mahdollinen kuviointi ulottuu läpi maton. Eräät valmistajat käyttävät tuotteissaan maton pohjaosien raaka-aineena valmistusprosessissa ja asennuksessa syntynyttä kierrätysmateriaalia, jolloin maton poikkileikkauspinnassa voidaan havaita sävyiltään erilaisia kerroksia. Tuotteen materiaali ja rakenne

ovat kuitenkin samat läpi koko maton, jolloin sitä voidaan pitää homogeenisena. (Tarkett 2014a; Upofloor 2014a.)

Toiseen pääryhmään kuuluvia kerroksellisia eli heterogeenisiä muovimattoja on kahta päätyyppiä. Kovan tai keskikovan kulutuksen julkisissa tiloissa käytetään hyvin samantyyppistä rakennetta kuin homogeenisissa matoissa, mutta tuotteen pintaan on lisätty kulutuskestävyyttä lisäävä ja maton hoitoa helpottava kirkas pintakäsittely, joka nykyisin on yleisesti polyuretaania. PUR-kalvon paksuus on tyypillisesti tuotteesta ja valmistajasta riippuen 0,5...0,8 millimetrin paksuinen. Eräät valmistajat luokittelevat tämän tyyppiset tuotteensa rakenteeltaan homogeeniseksi, joten rajanveto ei ole välttämättä aivan yksiselitteinen. (Tarkett 2014b; Upofloor 2014a.)

Rakenteeltaan selkeästi heterogeenisiä muovimattoja käytetään erityisesti asuintiloissa sekä kevyen käytön julkisissa tiloissa. Tuotteissa on tyypillisesti kolme erilaista rakennekerrosta. Hyvä kulutuskestävyys saavutetaan kirkaalla pintakerroksella, joka nykyisin on yleisesti polyuretaania mutta edelleen eräissä tuotteissa käytetään polyvinyylidikloridia. Kulutuskalvon paksuus näissä tuotteissa on tyypillisesti 0,2...0,5 millimetrin luokkaa. Maton kuviointi on painettu värittömän kulutuspinnan ja maton joustavan pohjakerroksen väliin. Joustava pohjakerros on tyypillisesti joustovinyyliä, jolla pyritään parantamaan askeläänen eristävyyttä sekä lisäämään mukavuutta. (Upofloor 2014b.)

Opinnäytetyön rajauksen mukaisesti tässä yhteydessä tarkastellaan lähemmin ainoastaan julkisiin tiloihin tarkoitettuja betonialustalle liimattavia muovipäällysteitä sekä niiden kiinnitysliimoja.

Lattian muovipäällysteiden perusraaka-aine on polyvinyylidikloridi eli PVC. Halutun koostumuksen ja ominaisuuksien aikaansaamiseksi, muovipäällysteiden valmistusvaiheessa niihin joudutaan lisäämään erilaisia lisä- ja apuaineita, kuten pehmittimiä, väriaineita, viskositeetin säätäjiä yms. (Asumisterveysopas 2009, 137; Lappi 2013, 26.)

Viskositeetin alentajana muovimattojen valmistuksessa on käytetty 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidiolidi-isobutyraattia, lyhenteeltään TXIB, jota vapautuu sisäilmaan erityisesti betonirakenteen alkalisen kosteuden vaikutuksesta. Sisäilmassa kohonneena pitoisuutena esiintyessään TXIB onkin eräs muovipäällysteiden kosteusvaurioita indikoiva yhdiste. (Asumisterveysopas 2009, 137.)

Muovimaton pehmitinaineena käytettiin aiemmin yleisesti di-etyyliheksyyliiftalaattia, lyhenteeltään DEHP. Alkalisen kosteuden vaikutuksesta käynnistyvän hajoamisreaktion seurauksena muovipäällysteestä emittoituu kohonneita pitoisuuksia C₈-alkoholeja, erityisesti 2-etyyli-1-heksanolia, jota pidetään yleisesti yhtenä merkittävimpanä vanhempien muovipäällysteiden kosteusvaurion indikaattoriyhdisteenä. Lisäksi hajoamisreaktiossa voi vapautua myös 1-butanolia. On kuitenkin huomattava, että 2-etyyli-1-heksanoli on myös yksi muovimattojen ja niiden kiinnitysliimojen valmistusprosessissa aiemmin yleisesti käytetty raaka-aine, joten sitä vapautuu

pieniä määriä sisäilmaan myös vaurioitumattomista muovimatoista. Samoin 1-butanolia on käytetty kiinnityслиimojen valmistuksessa liuottimena. (Asumisterveysopas 2009, 137; Työterveyslaitos 2011a, 1.)

Koska DEHP:n on todettu olevan lisääntymiselle vaarallista, sen käyttö on vähentynyt ja mattovalmistajat ovat etsineet korvaavia pehmitinaineita. Eräs tällainen on di-isononyyliftalaatti, eli DINP, jota käytetään tällä hetkellä yleisesti PVC:n pehmitinaineena. Pehmitinaineen vaihtaminen ei ole poistanut alkalisen kosteuden aiheuttamaa hajoamisreaktiota. Vanhempien muovipäällysteiden indikaattoriyhdisteen 2-etyyli-1-heksanolin sijaan DINP vapauttaa hajoamisreaktiossa pitkäketjuisia C₉-alkoholeja, muun muassa 2-metyyli-1-oktanolia. (Työterveyslaitos 2011a, 1; Työterveyslaitos 2013; Lappi 2013, 29; Keinänen 2013, 17.)

Muita DEHP:n korvaavia pehmitinaineita ovat di-isodekyyliftalaatti eli DIDP ja di-2-etyyliheksyyli-adipaatti eli DEHA, josta käytetään myös lyhennettä DOA. Molemmat ovat mahdollisesti karsinogeenisia ja haitallisia ihmiselle. Niiden käyttöä ei ole lainsäädännöllä rajoitettu, mutta näitä pehmitinaineita ei käytetä yhtä yleisesti kuin DINP:tä. Hajoamistuotteena DIDP vapauttaa C₁₀-alkoholeja, esimerkiksi 2-metyyli-1-nonanolia. (Työterveyslaitos 2013; Lappi 2013, 31, 32; Keinänen 2013, 17.)

Ftalaattien terveysvaikutuksista käytävä julkinen keskustelu on ohjannut muovipäällysteiden valmistajia etsimään vaihtoehtoisia ympäristöystävällisempiä pehmitinaineita (Tarkett 2013). Eräs tällainen on di-isononyylisykloheksaani-1,2-dikarboksylaatti eli DINCH. Pehmitin on hyväksytty käytettäväksi elintarvikepakkausissa ja sitä käytetään myös leluissa, lastenhoitotuotteissa ja sairaalatarvikkeissa. Ominaisuuksiltaan DINCH on samankaltainen kuin DINP, joten se soveltuu hyvin muovien pehmittimeksi. Alkalisen kosteuden vaikutuksesta DINCH:n hajoamistuotteena syntyy C₉-alkoholeja. Uusimpien, vielä julkaisemattomien tutkimusten mukaan pehmitin voi olla vielä herkempi betonin alkalisen kosteuden vaikutukselle kuin aiemmin käytetyt pehmittimet. (Työterveyslaitos 2013; Lappi 2013, 33; Keinänen 2013, 17; Backlund 2014, 154.)

Oheiseen taulukkoon (Taulukko 2) on koottu esimerkkejä PVC-pohjaisten muovien pehmittimistä alkalisen kosteuden aiheuttaman hajoamisreaktion seurauksena vapautuvista yhdisteistä. Kuten edellä on sanottu, on kuitenkin huomattava, että yhdisteitä vapautuu pieniä määriä sisäilmaan myös täysin vaurioitumattomasta materiaalista. Yhdisteiden pitoisuuksia sisäilmassa on käsitelty tarkemmin luvussa 2.4 Mittaustulos sisäilmahaitan ja korjaustarpeen arvioinnissa.

Mikäli lattian muovipäällysteen vaurio on pitkälle edennyt, voi hajoamistuotteina muodostuvien yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa ylittää hajukynnyksen. Tällöin haju vaurioituneen maton alla voi olla hyvinkin voimakas ja liimakerros voi olla saippuoitunut, jolloin maton kiinnitys alustaan on hyvin heikko. (Eronen 1998; Palomäki 2011.)

Taulukko 2. Esimerkkejä muovien pehmittimien alkalisen hajoamisen vapauttamista yhdisteistä. (Työterveyslaitos 2013.)

PEHMITIN	ESIMERKKEJÄ HAJOAMISTUOTTEISTA
Di-etyyliheksyyliiftalaatti (DEHP)	C ₈ -alkoholit, 2-etyyli-1-heksanoli, 1-butanoli
Di-isononyyliiftalaatti (DINP)	C ₈ ... C ₁₀ -alkoholit, 2-metyyli-1-oktanoli
Di-isodekyyliiftalaatti (DIDP)	C ₉ ... C ₁₁ -alkoholit, 2-metyyli-1-nonanoli
di-isononyylisykloheksaani-1,2-dikarboksylaatti (DINCH)	C ₈ ... C ₁₀ -alkoholit

Alkalisen kosteuden vaikutuksesta lattian muovipäällysteistä emittoituvat hajoamistuotteen imeytyvät myös alusbetoniin. Vaikka lattianpäällyste korvattaisiin vaurioitumattomalla tuotteella, voivat nämä alustaan imeytyneet yhdisteet läpäistä uuden pintarakenteen ja aiheuttaa edelleen sisäilmahaittaa, ellei huolehdita alustan riittävästä tuuletuksesta tai kapseloinnista. Samoin yhdisteet voivat korjaustyön aikana, jolloin sisäilman sisältämät pitoisuudet voivat olla hyvinkin korkeita, imeytyä korjattavien tilojen muihin huokosiin pintoihin, joista ne vapautuvat edelleen sisäilmaan. (Metiäinen 2007, 67; Karvinen 2008, 33.)

2.3 Kemiallisten yhdisteiden tutkimusmenetelmiä

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuutta sisäilmassa tutkitaan yleensä ilmanäytteiden avulla, jotka kerätään ilmapumpun avulla keräimeen. Kerätty sisäilmanäyte analysoidaan laboratoriossa. Yhdisteiden määrittely tulisi tehdä ISO 16000-6:2011 standardia käyttäen. Markkinoilla on myös suoraan luettavia analysointilaitteita, mutta niiden mittaustarkkuus ei ole toistaiseksi riittävä varsinaisiin sisäilmatutkimuksiin. Mittarit eivät myöskään kykene erottelamaan pieninä pitoisuuksina esiintyviä yksittäisiä yhdisteitä, vaan kertovat tuloksen yhdisteiden kokonaismääränä (TVOC). Yhdisteiden lähteen määrittelyssä herkimmät kenttämittarit voivat olla sisäilmatutkijan apuna vähän samaan tapaan kuin pintakosteuden osoitin kosteusvaurion mahdollisuutta ja laajuutta arvioitaessa. (Asumisterveysopas 2009, 137-139.)

Sisäilmatutkimuksissa käytetään keräimenä tyypillisesti Tenax TA polymeeriadsorbenttia, johon ilmanäyte kerätään aktiivisesti ilmapumpulla. Tenax TA soveltuu hyvin C₅-C₆...C₁₈-alkoholien analysointiin, jolloin yksittäiset yhdisteet määritellään C₆-C₁₆, eli n-heksaanin ja n-heksadekaanin väliseltä alueelta sisällyttäen mainitut yhdisteen analyysiin. Sen sijaan Tenax TA adsorbentti ja termodesorptio soveltuvat huonosti tai ei laisinkaan VVOC- ja SVOC-alueen yhdisteiden tutkimiseen. (Asumisterveysopas 2009, 138, 139; Salonen 2011, 86-88.)

Ilmanäyte analysoidaan laboratoriossa tyypillisesti kaasukromatografisesti käyttäen termodesorptiota ja massaselektiivista ilmaisinta. Yksittäisten

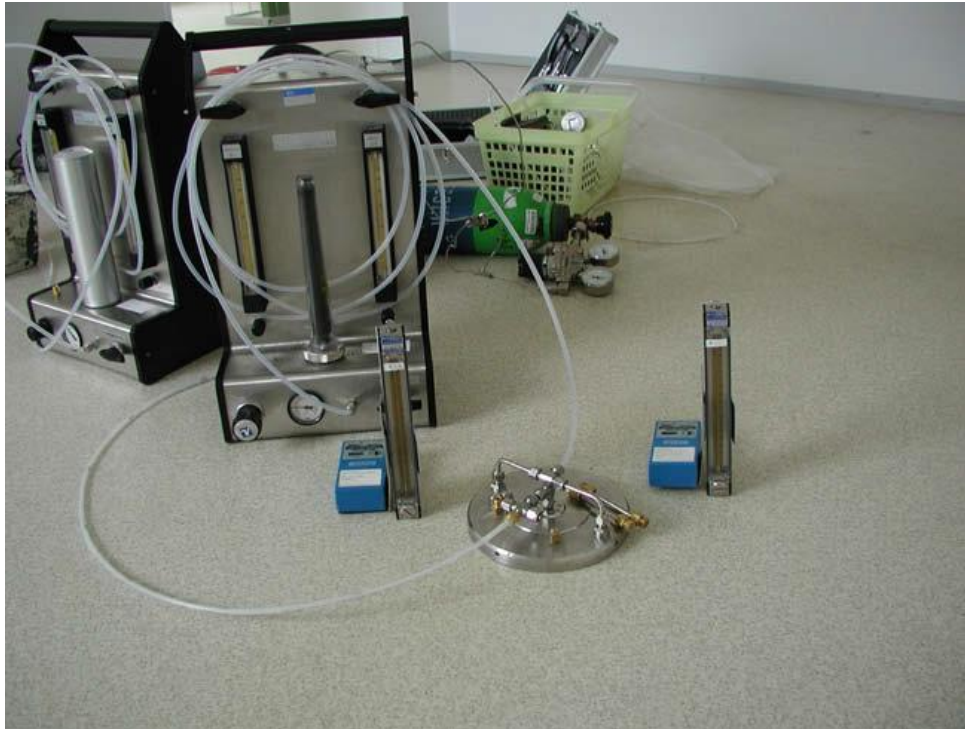
yhdisteiden pitoisuus ilmoitetaan joko yhdisteen omalla vasteella tai tolueneiekvivalenttina. Yhdisteiden kokonaismäärä (TVOC) ilmoitetaan tolueneiekvivalenttina. Tulos ilmoitetaan yksikkönä $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tutkimuslaboratorioiden välillä on jonkin verran eroja niin analytiikassa kuin analyysivastauksissa, joten tulosten vertailu voi olla hankalaa. Sisäilmanäytteen tulosta arvioitaessa on lattioiden muovipäällysteiden lisäksi otettava aina huomioon myös muut mahdolliset sisäilman päästölähteet. (Salonen 2011, 86-88.)

Koska sisäilmanäytteestä ei yleensä kiistatta voida päätellä sisäilman sisältämien haihtuvien yhdisteiden lähdettä ja siten osoittaa varmuudella lattian muovipäällyste vaurioituneeksi tai vaurioitumattomaksi, on käytettävä myös tutkimusmenetelmiä, jotka kohdentuvat suoraan lattiarakenteeseen ja materiaaleihin. Nämä tutkimusmenetelmät voidaan karkeasti jaotella ainetta rikkomattomiin lattian muovipäällysteen pintatuoton eli emissio mittaamiseen perustuviin menetelmiin sekä ainetta rikkoviin menetelmiin, jossa otetaan materiaalista näytepalaa, joka analysoidaan laboratoriossa. Lisäksi materiaalin vaurioitumisesta voidaan tehdä aistinvaraisia havaintoja esimerkiksi viiltomittausten yhteydessä.

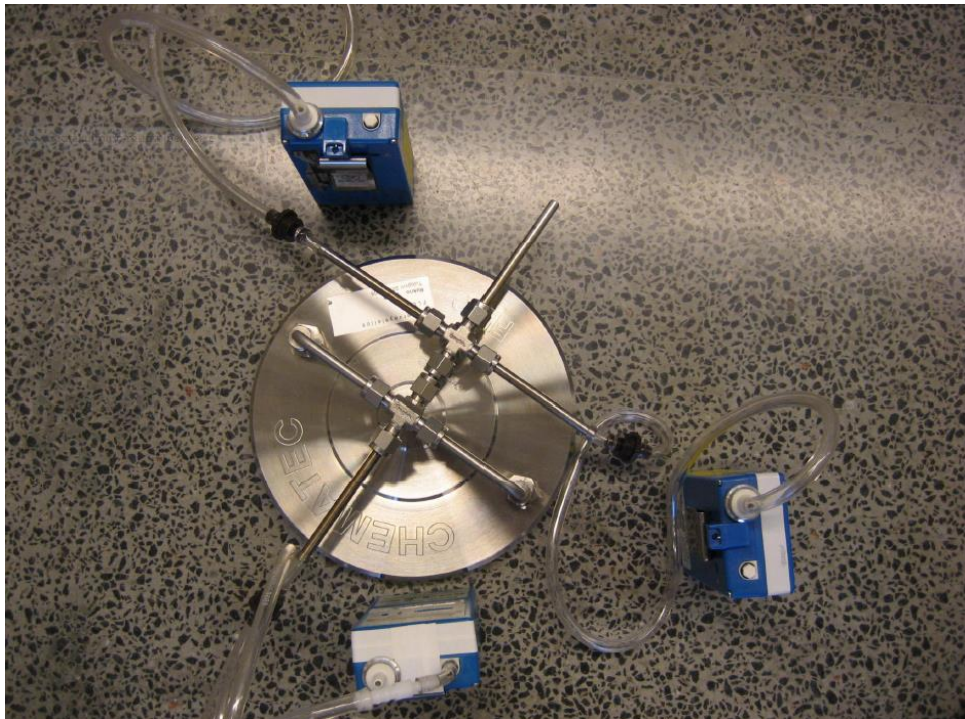
Ainetta rikkomattomista tutkimusmenetelmistä voidaan erotella kaksi pääasiallista menetelmää. Näistä on ollut aiemmin yleisesti käytössä niin sanottu kupumenetelmä, jossa lattiapinnalle asetetaan lasikupu näytekammiksi. Kuvusta imetään ilmaa näyteputken ilmapumpulla. Korvausilma kupuun imetään hiiliputken läpi. Kupua ei tiivistetä lattiapintaan, jolloin se alipaineisena imee osan korvausilmasta lattian ja kuvun välisestä raosta. Näin kupuun pääsee myös jonkin verran suodattamatonta sisäilmaa. Kuvun alipaineisuus yhdessä edellä mainitun vuotoilman kanssa voivat jonkin verran vaikuttaa näytteenoton tuloksiin antaen suurempia pitoisuuksia kuin jäljempänä käsiteltävä FLEC-menetelmä, joka onkin syrjäyttämässä lasikupumenetelmää. Kupumenetelmän etuina ovat näytteenoton helppous ja yhden näyteputken käyttö sekä näistä johtuen edullisemmat näytteenotokustannukset. Laboratorioanalyysin tulos ilmoitetaan yksikkönä $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Menetelmälle ei ole käytettävissä viite- tai ohjearvoja. (Lappi 2013, 44, 55.)

Toinen ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä on FLEC-menetelmä (Field and Laboratory Emission Cell), joka on kehitetty ensisijaisesti laboratoriokäyttöön, jolloin näytteenotto tehdään ISO 16000-10 -standardin mukaisesti, mutta menetelmä soveltuu hyvin myös kenttäkäyttöön yksinkertaisempaa NT Build 484 -standardia käytettäessä. Työterveyslaitos on ohjeistanut FLEC-näytteenoton erityisesti kenttäkäyttöön standardia NT Build 484 soveltaen. Kuva 2 esittää ISO 16000-10 mukaista FLEC-näytteenottoa tarvittavine oheislaitteineen ja Kuva 3 esittää kevennetyssä FLEC-menetelmässä tarvittavaa laitteistoa. Oleellisin ero tutkimusmenetelmien välillä on näytteenotokammion olosuhteissa. ISO-standardin mukaisessa menetelmässä ilman suhteellinen kosteus on vakioitu 50 % ja ilman lämpötila 23 °C. Kevennetyssä menetelmässä olosuhteita ei vakioida vaan mittaus tehdään vallitsevissa olosuhteissa. Tämä aiheuttaa luonnollisesti hajontaa tutkimustuloksiin varsinkin kun tiedetään, että lämpötila ja kosteus voivat vaikuttaa tutkittavan materiaalin emissiopeuteen.

Analyysivastauksesta tulisi aina ilmetä kummalla menetelmällä näyte on kerätty. (ISO 16000-10:2011; NT Build 484:1998; Työterveyslaitos 2011b; Keinänen 2013, 25.)



Kuva 2. VOC-näytteenotto materiaalin pintaemission määrittämiseksi FLEC-menetelmällä ISO 16000-10 -standardin mukaan. (Kuva: Järnström 2005.)



Kuva 3. VOC-näytteenotto materiaalin pintaemission määrittämiseksi FLEC-menetelmällä standardin NT Build 484 -mukaan. (Kuva: Työterveyslaitos 2011.)

FLEC-menetelmässä tutkittavan materiaalin pinnalle asennetaan tiiviisti ruostumattomasta teräksestä valmistettu näytteenottokammio, johon sekä johdetaan, että imetään ilmaa pumpuilla keräimien (Tenax TA) läpi. Näytteenottokammion läpi johdetaan tasainen ilmavirta, johon ei sekoitu suodattamatonta sisäilmaa. Kammio on tuuletettava jokaisen näytteenoton välillä ja ilmavirta on tasapainotettava. Menetelmä on kupumenetelmää työläämpi ja kalliimpi yhdessä näytteenotossa tarvittavien useamman keräimen käytön vuoksi. Erityisesti kenttäkäyttöön soveltuva, standardiin NT Build 484 perustuva, menetelmä on kuitenkin syrjäyttänyt kupumenetelmää luotettavampana tutkimusmenetelmänä ja tällä hetkellä se vaikuttaa sisäilma-asiantuntijoiden keskuudessa olevan suositeltava tutkimusmenetelmä. Laboratorioanalyysin tulos ilmoitetaan yksikkönä $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$, jolloin se ilmoittaa materiaalin emissionopeuden. Tästä syystä FLEC- ja kupumenetelmän tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia. FLEC-menetelmälle ei ole olemassa virallisia ohje- tai viitearvoja, mutta aiheesta on tehty useampia tutkimuksia, joilla on pyritty määrittelemään mikä on vaurioitumattoman materiaalin pintatuotto ja milloin on syytä epäillä lattianpäällysteen vauriota. (ISO 16000-10:2011; NT Build 484:1998; Järnström 2007, 49; Työterveyslaitos 2011b; Lappi 2013, 43, 55; Keinänen 2013, 25.)

Molemmissa edellä kuvatuissa menetelmissä näyte otetaan tutkittavan materiaalin pinnalta. Näyte edustaa materiaalin läpi sisäilmaan emittoituvien yhdisteiden määrää, jolla on luonnollisesti suurin merkitys mahdollisen sisäilmahaitan arvioinnin kannalta. Mittaustulos ei kuitenkaan kerro lattianpäällysteen alapuolisen vaurion vakavuudesta, koska emissionopeuteen vaikuttaa merkittävästi tutkittavan materiaalin diffuusiovastus kyseisille yhdisteille. (Keinänen 2013, 83.)

FLEC- ja kupumenetelmät ovat myös käyttökelpoisia selvitetessä vaurioituneesta lattianpäällysteestä alusbetoniin imeytyneiden yhdisteiden määrää lattianpäällysteiden irrottamisen jälkeen. Tällä voi olla suuri merkitys päätettäessä lopullista korjaustapaa ja mahdollista alusbetonin kapselointitarvetta tai arvioitaessa avoimen lattiapinnan tuuletusajan riittävyttä ennen uusien lattianpäällysteiden asentamista. Mittaus tuli suorittaa aikaisintaan kolmen vuorokauden kuluttua lattianpäällysteen irrottamisen jälkeen, jolloin alusbetonista emittoituvat haihtuvien yhdisteiden pitoisuus on ehtinyt tasaantua. (Järnström & Saarela 2005, 80; Järnström 2005, 67; Keinänen 2013, 86.)

Ennen FLEC-menetelmän yleistymistä kenttätutkimuksiin, käytettiin lattioiden muovipäällysteiden vaurioitumisen arviointiin yleisesti näytepalamenetelmää. Menetelmässä lattian muovipäällysteestä, kiinnitysliimasta ja tasoitteesta otetaan näytepala, joka toimitetaan yhdisteiden haihtumisen estämiseksi alumiinifolioon käärittynä ja muovipussiin pakattuna tutkimuslaboratorioon. Laboratorioissa näyte analysoidaan tyypillisesti kammion menetelmää käyttäen ISO 16000-9 -standardin mukaisesti. Eräät laboratoriot käyttävät myös ISO 16000-10 -standardin mukaista FLEC-menetelmää. Näytepalatutkimuksen mittaustulos poikkeaa kuitenkin oleellisesti lattianpäällysteen pintaemissiosta, koska näytepalasta emittoituu yhdisteitä tutkimuskammioon myös maton alapinnalta sekä liimasta ja tasoitteesta sekä tasoitteeseen mahdollisesti tarttuneista betonimurusista.

Mittaustulos ei ole myöskään täysin toistettavissa, sillä näyte on irrotettu alustastaan ja vierekkäisissäkin näytteissä on poikkeamaa erityisesti tasoitteen määrässä. Menetelmää ei nykyisin pidetä suositeltavana sen epätarkkuuden vuoksi. Tutkimusmenetelmällä ei myöskään voida osoittaa vaurion vaikutusta sisäilman laatuun, koska menetelmä ei huomioi lattianpäällysteen diffuusiovastusta. Tästä syystä näytepalamenetelmää käytettäessä on syytä ottaa rinnakkaisnäyte myös sisäilmasta. Näytepalamenetelmän etuina ovat nopea näytteenotto ja edulliset tutkimuskustannukset vaikkakin lattianpäällyste on paikattava näytteenoton jälkeen. (Järnström & Saarela 2005, 80; Keinänen 2013, 84-86; Lappi 2013, 55, 56.)

Näytepalamenetelmää voidaan käyttää myös sen arvioimiseen, miten syvälle alusbetoniin yhdisteet ovat imeytyneet ja kuinka suurina pitoisuuksina. Näytteet kerätään betonirakenteesta piikkaamalla ja betonimuruset pakataan alumiinifolioon käärittynä tiiviiseen muovipussiin tai tiiviisiin näyteputkiin, joissa on tutkimuslaboratorion toimittama uute. Näyte analysoidaan tutkimuslaboratoriossa joko kammiomenetelmää tai uuttamista käyttäen. Menetelmä on hyvin työläs ja yhdestä tutkimuskohdasta on otettava useita näytteitä, joten se on myös kallis. Näytteiden analytiikassa on todettu joissakin tapauksissa ongelmia, mikäli yhdisteiden pitoisuus on hyvin korkea. Analyysivastaus ei sinällään kerro sisäilmaan haihtuvien yhdisteiden määrästä, sillä menetelmä ei ota huomioon pintarakenteen diffuusiovastusta. Menetelmälle ei ole julkaistu vertailuarvoja, mutta sitä voidaan joissakin tapauksissa käyttää korjaustarpeen ja -menetelmän arvioimiseen esimerkiksi vakavasti vaurioituneiden maanvastaisten betonirakenteiden tutkimisessa. (Karvinen 2008, 37-40; Keinänen 2013, 86.)

Kenttätutkimuksissa muiden tutkimusmenetelmien ohella hyvin edullinen, nopea ja helppokäyttöinen lattianpäällysteiden ja niiden kiinnitysliimojen vaurioitumisen arviointimenetelmä on sisäilmatutkijan suorittama aistinvarainen arviointi. Tämä voidaan tehdä yhdessä päällysteen alapuolisen kosteudenmittauksen kanssa käytettäessä niin sanottua viiltomittausta. Menetelmässä muovipäällysteeseen tehdään viilto ja päällystettä raotetaan hiukan mittausanturin työntämiseksi päällysteen alle. Tässä yhteydessä vaurioituneista materiaaleista on havaittavissa voimakas haju. Myös maton kiinnitys alustaan ja liiman koostumus antavat viitteitä mahdollisesta vauriosta ja sen vakavuudesta. Kosteuden mittaamiseksi anturi ja viilto on tiivistettävä huolellisesti ja mittapään on annettava tasaantua 10...15 minuuttia. Viiltomittaus ja sisäilmatutkijan subjektiivinen arvio mahdollisesta päällystevauriosta voidaan 'kalibroida' FLEC-mittauksen kanssa tekemällä rinnakkaiset tutkimukset. Menetelmää voidaan käyttää hyvin myös korjauslaajuuden nopeaan arviointiin. (Keinänen 2013, 77-79; Asikainen 2008, 21.)

2.4 Mittaustulos sisäilmahaitan ja korjaustarpeen arvioinnissa

Sisäilmaongelmien ja niistä aiheutuvien terveyshaittojen arviointi on usein osoittautunut erittäin haasteelliseksi. Eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta yksiselitteisiä terveysperusteisia raja-arvoja sisäilmassa esiintyville epäpuhtauksille ja kemiallisille yhdistelle, kuten haihtuville orgaanisille yh-

disteille, ei ole kyetty antamaan. Tämä johtuu muun muassa siitä, että ihmiset reagoivat yksilötasolla hyvin eri tavoin ja erilaisiin pitoisuuksiin. Koska haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on satoja, ellei peräti tuhansia, monien yhdisteiden terveysvaikutuksia ei tunneta vielä juuri lainkaan ja erityisesti useiden samanaikaisesti vaikuttavien yhdisteiden pienten pitoisuuksien yhteisvaikutukset tunnetaan erittäin huonosti, jolloin joudutaan tekemään tieteellistä perustutkimusta, jonka tuloksia voimme joutua odottelemaan vielä hyvinkin pitkään. (Asumisterveysopas 2009, 137.)

Sisäilmassa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärälle sekä yksittäisille yhdisteille tai yhdisteryhmille on kuitenkin määritelty sekä velvoittavia, että ohjeellisia viitearvoja viranomaisten ja alan asiantuntijaorganisaatioiden toimesta.

Maailman terveysjärjestö on julkaissut vuonna 2010 erälle yhdisteille monikansallisen tutkijaryhmän julkaisemaan tieteelliseen tutkimusaineistoon perustuvia terveysperusteisia viitearvoja. Julkaisussa todetaan, että bentseenin pitoisuudelle sisäilmassa ei ole suositeltavaa turvallista pitoisuutta. Yhdisteellä on todettu leukemiariski jo pitoisuudella $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Formaldehydin lyhytaikaisen altistumisen (30 minuuttia) suositeltavana sisäilman viitearvona pidetään $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$. Naftaleenin keskimääräisen vuotuisen pitoisuuden viitearvona sisäilmassa pidetään $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$. (WHO 2010, 39, 142, 186.)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetusluonnoksessa säädetään asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista. Asetus astunee voimaan syksyllä 2014. Asetus ei kuitenkaan koske muiden kuin oleskelutilojen, kuten työpaikan, terveydellisiä olosuhteita. Asetuksen 10 § käsitellään haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja todetaan, että mikäli niiden kokonaispitoisuus ylittää $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on ylittymisen syy ja mahdollinen haitallisuus terveydelle selvitettävä. Lisäksi yksittäisille yhdisteille on määritelty vastaavaksi raja-arvoksi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jonka ylittyessä on selvitettävä yhdisteen alkuperä ja mahdollinen haitallisuus. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2013, 4.)

Erälle yhdisteille, joita pidetään mattopäällysteiden vaurioiden indikaattoreina, on asetusluonnoksessa säädetty raja-arvoksi $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tällaisia yhdisteitä asetus mainitsee olevan 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidiolidi-isobutyraatin eli TXIB tai 2-etyyli-1-heksanolin. Pitoisuus määritellään toluenin vasteella, ei yhdisteen omalla vasteella. Mikäli pitoisuus ylittyy, on lattiarakenteen kunto selvitettävä. Valvira on esittänyt samansuuruisia viitearvoja Etelä-Suomen aluehallintovirastolle antamassaan lausunnossa. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2013, 4; Valvira 2011, 4.)

Asumisterveysopasta, joka on Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas, on käytetty vuodesta 2005 lähtien sisäilmatutkimusten mittaustulosten arviointiin. Tällä hetkellä käytössä on vuonna 2009 julkaistu kolmas tarkistettu painos. Asumisterveysoppaan mukaan TVOC-mittaustulos on niin epätarkka, ettei sitä voida käyttää sellaisenaan terveyshaitan arvioinnissa. Oppaan mukaan sisäilman TVOC-pitoisuutta yli $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voidaan kuitenkin pitää epätavallisen suurena ja lisäselvi-

tykset yksittäisten aineiden tutkimiseksi ovat tarpeen. Pitoisuutta 200 - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voidaan pitää tavanomaisena. Yksittäisestä yhdisteestä todetaan, että niiden pitoisuus harvoin ylittää 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Asumisterveysopas 2009, 136.)

Työterveyslaitos on julkaissut oppaan Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Edellä mainituista poiketen tässä julkaisussa keskitytään nimenomaan toimistoympäristön sisäilmatutkimuksiin ja siinä on julkaistu viitearvoja, joita Työterveyslaitos käyttää omien sisäilmatutkimustensa tulosten arviointiin. TVOC-pitoisuuden ylittäessä 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tulee pitoisuutta pitää kohonneena, jolloin se viittaa sisäilman epätavanomaiseen lähteeseen. (Salonen 2011, 109, 110.)

Yksittäiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet käsitellään Työterveyslaitoksen oppaassa yhdisteryhminä. Yhdisteryhmistä terpeeneille, orgaanisille hapoille ja estereille on määritelty kohonneena pidettävän pitoisuuden rajaksi 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TXIB kuuluu estereihin. Muille yhdisteryhmille viitearvo on alempi ollen 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Näihin kuuluvat myös alkoholit, johon yhdisteryhmään kuuluu esimerkiksi 2-etyyli-1-heksanoli. Työterveyslaitoksen viitearvot on koottu oheen, Taulukko 3. Yhdisteryhmien lisäksi taulukossa on esitetty eräitä indikaattoriyhdisteinä pidettäviä yksittäisiä yhdisteitä. Viitearvon ylittävä pitoisuus viittaa sisäilman epätavanomaisiin lähteisiin. (Salonen 2011, 109, 110.)

Taulukko 3. Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa toimistoympäristössä. (Salonen 2011, 110.)

MITATTU ALTISTE	VIITEARVO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Aromaattiset hiilivedyt	Kohonnut > 5
Alkoholit (1-butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli)	Kohonnut > 5
Alifaattiset hiilivedyt	Kohonnut > 5
Aldehydit	Kohonnut > 5
Glykolit / glykolieetterit	Kohonnut > 5
Terpeenit eli isoprenoidit	Kohonnut > 10
Pii-yhdisteet	Kohonnut > 5
Orgaaniset hapot	Kohonnut > 10
Esterit (TXIB)	Kohonnut > 10
Ketonit	Kohonnut > 5
TVOC	Kohonnut > 250
Naftaleeni	Kohonnut > 5
Ammoniakki	Kohonnut > 25
Formaldehydi	Kohonnut > 15

Työterveyslaitos on asettanut sisäilman sisältämille pitoisuuksille viranomaista tiukemmat ohjearvot. On kuitenkin huomattava, että niitä sovelletaan toimistoympäristössä tehtävien sisäilmatutkimusten tulosten arviointiin. Toimistoympäristössä on yleensä merkittävästi asuntoja tehokkaampi ilmanvaihto, joka laimentaa sisäilmassa esiintyvien yhdisteiden pitoisuuksia.

Kaikki edellä esitetyt viitearvot koskevat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuutta sisäilmassa. Arvioitaessa lattianpäällysteen vaurioitumista ja siitä aiheutuvaa sisäilmahaittaa, on sisäilman sisältämän pitoisuuden lisäksi selvitettävä lattianpäällysteestä emittoituvat yhdisteet. Edellisessä luvussa on käsitelty tarkemmin eri tutkimusmenetelmiä, joten tässä yhteydessä tarkastellaan vain lattian muovipäällysteiden todellisessa kohteessa otettuja FLEC-näytteiden vertailuarvoja vuoden vanhoista vaurioitumattomista lattianpäällysteistä sekä vaurioituneeksi todetuista lattianpäällysteistä. Taulukko 4 esittää Järnströmin ehdottamat vertailuarvot eri yhdisteryhmille. Hän on käyttänyt tutkimuksissaan ISO 16000-10 -standardin mukaista kenttätutkimusmenetelmää. (Järnström 2007, 49.)

Taulukko 4. Lattian muovipäällysteiden FLEC-näytteiden vertailuarvoja 12 kuukautta vanhassa rakennuksessa. (Järnström 2007, 49.)

MITATTU YHDISTE	VIITEARVO [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]	
	Normaali tulos	Poikkeava tulos
Aromaattiset hiilivedyt	25	65
Alkoholit	15	25
Alifaattiset hiilivedyt	20	40
Aldehydit	15	25
Glykolit / glykolieetterit	25	50
Terpeenit eli isoprenoidit	<5	5
Pii-yhdisteet	<5	5
Orgaaniset hapot	10	15
Esterit	15	30
Ketonit	10	20
TVOC	120	170
Ammoniakki	15	25
Formaldehydi	5	10

3 BETONILATTIOIDEN VOC-KORJAUSMENETELMIÄ

Lattian muovipäällysteiden vaurioituessa alkalisen kosteuden vaikutuksesta, imeytyy haihtuvia yhdisteitä myös alusbetoniin. Korjaustavan valintaan vaikuttavat useat seikat, joita on huolellisesti harkittava tapauskohtaisesti. Tarvittaessa on tehtävä riskinarvio kustakin vaihtoehtoisesta menetelmästä hyötyjen ja riskien arvioimiseksi objektiivisesti. Riskinarvioon voi asiakirjatarkastelun ja tutkimustulosten analysoinnin lisäksi sisältyä myös laskennallisia analyysejä. Erityisesti maanvaraisissa betonilattioissa on otettava huomioon rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta mahdollisena vaurion aiheuttajana mutta myös korjauksen jälkeen. Myös massiivisissa välipohjarakenteissa on huolehdittava siitä, että rakenne on riittävän kuiva ja rakennusfysikaalisesti toimiva ennen uusien päällysteiden asentamista. Lopullinen korjaustapa onkin yleensä yhdistelmä seuraavissa alaluvuissa esitetyistä toimenpiteistä. (Keinänen 2013, 57-60.)

Korjaustavat voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään sen perusteella miten alusbetoniin imeytyneiden haihtuvien yhdisteiden aiheuttama sisäil-

mahaitta pyritään ratkaisemaan. Molemmissa ratkaisumalleissa alustavat toimenpiteet ovat samankaltaisia; vaurioituneet materiaalit on poistettava. Sen jälkeen täytyy valita pyritäänkö betoniin imeytyneet yhdisteet poistamaan alusrakenteesta vai kapseloidaanko ne rakenteeseen diffuusiotiiviisti. Jälkimmäisen vaihtoehdon variaatio on tuuletettu lattia, jossa käytetään diffuusiotiivistä rakennetta, mutta haihtuvat yhdisteet tuuletetaan erillisilmanvaihtojärjestelmällä suoraan ulkoilmaan.

Rakenteen purkaminen ja korvaaminen uudella on luonnollisesti yksi vaihtoehto. Onko silloin kyse korjaamisesta, onkin jo filosofinen kysymys. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan tässä yhteydessä tarkemmin käsitellä. Purkamispäätökseen vaikuttaa tyypillisesti moni muukin rakennustekninen ongelma, joten edellä mainittu riskinarvio on silloin hyvin tarpeen.

3.1 Hionta ja jysintä

Lattian vaurioituneen muovipäällysteen poistamisen jälkeen on poistettava myös kiinnitysliima ja tarvittaessa tasoite. Toimenpiteellä pyritään poistamaan vaurioitunut materiaali sekä aikaansaamaan riittävä tartunta uusille rakennekerroksille. Tuuletuksen yhteydessä on merkitystä myös pinnan tiiveydellä ja haihduttavalla pinta-alalla. Jysinnällä saadaan aikaiseksi epätasainen pinta, jossa haihduttavan pinta-alan summa on suurempi kuin tilan lattiapinta-ala. Tällöin myös betonipinnan huokosrakenne on hyvin avoin. Timanttihionta on taas nopea ja edullisempi menetelmä. Tällöin lattia on myös tasaisempi ja uutta tasoitetta tarvitaan vähemmän ennen uusien päällysteiden asentamista. Olemassa olevan tasoitteen poistaminen on suositeltavaa tuuletuksen tehostamiseksi. Mikäli tasoite on alustassaan luotettavasti kiinni, se ei ole kuitenkaan välttämätöntä. Vanhat kaseiniipitoiset tasoitteet on poistettava kokonaan. Vanhojen rakenteiden kodalla on myös varmistettava, ettei lattiarakenteessa ole jäämiä vanhoista asbestipitoisista tasoite- tai liimakerroksista, jotka on voitu jättää purkamatta aiemmin tehdyissä korjaustöissä. Toisinaan tasoitetta voi olla myös useita kymmeniä millimetrejä, mikäli vanhoja betonilattioita on korjattu ja oikaistu jossain vaiheessa pumpattavalla tasoitteella. Tällöin ei ole mielekasta ryhtyä poistamaan koko tasoitekerrosta. (Järnström 2005, 67, 68; Palomäki 2008; Karvinen 2008, 50, 51; SYK 2011.)

Hionnalla tarkoitetaan jysintää kevyempää menetelmää muovipäällysteiden kiinnitysliimojen ja tasoitteiden poistamisesta betonin pinnasta. Suurilla pinta-aloilla käytetään yleensä vaakatasossa pyöriviä timanttihiomakiviä ja pienemmillä pinta-aloilla sekä reuna-alueilla käsityökaluihin kiinnitettäviä timanttikuppilaikkoja. Kuva 4 esittää suurille pinta-aloille soveltuvaa timanttihiontakonetta pölynpoistolaitteistoineen. Kuva 5 esittää taas matalakierroskulmahiomakoneeseen kiinnitettyä timanttikuppilaikkaa. Kone on lisäksi varustettu pölynpoistolla. Hionta jaetaan käsitteisiin kevyt-, pinta-, ja syvähionta. Valittava hiontatapa riippuu käsiteltävän betonipinnan tiiveydestä ja tartunnasta alustaan. Huokoinen, pölyävä ja hauras betonilattia hilseilevin tasoitekerroksin on syytä syvähioa, jolloin karkea runkoaine tulee näkyviin. Hiontaa joudutaan monasti käyttämään myös jysinnän jälkeen seinän vierustojen karhentamiseksi, koska jysimellä ei päästä aivan seinän viereen, sekä jysinnän jälkeen hyvin epätasaisen pin-

nan oikaisemiseksi ennen uusien tasoitteiden ja lattianpäällysteiden asentamista. (Jokipii 2014, 9.)



Kuva 4. Suurien lattiapinta-alojen hiontaan soveltuva timanttihiomakone.



Kuva 5. Pienien pinta-alojen ja reuna-alueiden hiontaan soveltuva käsityökaluun kiinnitetty timanttikuppilaikka.

Hiontaa huomattavasti syvemmälle rakenteeseen ulottuva menetelmä on jyrsintä. Jyrsimiä on pienistä käsikoneista aina suuriin asfalttijyrsimiin as-

ti. Käsiteltävän pinta-alan sekä jyrshintäsyvyyden mukaan tulee tapauskohtaisesti valita sopivin kone. Jyrsimen terät ovat pystysuorassa asennossa rummun kehällä (rumpujyrsin) ja rummun pyörivä liike aiheuttaa terien betonilattiaa rikkovan vaikutuksen. Jyrshintä tehdään yleensä kahteen kertaan ristikkäisiin suuntiin. Tehokkaimmilla jyrsimillä työstösyvyys on noin 10...20 mm. Jyrshintä on tehokas keino epäpuhtauksien poistamisessa, joten menetelmä soveltuu hyvin muun muassa tasoitteiden, öljyjen tai muiden haitta-aineiden poistoon. Jyrsimien jäljiltä epätasaisessa pinnassa on mahdollisimman paljon haihduttavaa pinta-alaa ja betonipinnan huokosrakenne on rikottu. Lattiatasoitteet vaativat yleensä jyrsimien jälkeen timanttihionnan ennen tasoitetojen tekoa, jolloin myös tasoitemäärää saadaan vähennettyä. (Jokipii 2014, 10.)

Hionta- ja jyrshintäsyvytydessä voi olla tarpeen huomioida uuden tasoitteen vaatima tila, koska vanha tasoitekerros voi olla hyvin ohut, niin sanotusti liipalla nuoltu. Uusille betonirakenteille suositellaan vähintään 5 mm matala-alkalista tasoitetta. Mikäli kohteessa on vanha jo karbonatisoitunut sekä kuiva betonilattia, voidaan tasoitekerroksen paksumpaa eräiden tutkimusten mukaan pienentää, sillä rakenteessa ei ole silloin edellytyksiä alkalisin hajoamisreaktion käynnistymiselle uudelleen. Toisaalta voidaan perustellusti kysyä, mikä on aiheuttanut aiemmin asennetun muovipäällysteen hajoamisreaktion, erityisesti mikäli lattianpäällyste on jo vaihdettu. Tasoitekerroksen vaatima tila on joka tapauksessa huomioitava mielellään jo suunnitteluvaiheessa, jotta se voidaan tarvittaessa huomioida myös hionta- ja jyrshintäsyvytydessä. (Eronen 2008; Merikallio 2008, 42-44; Karvonen 2008, 54; Lappi 2013, 40, 41.)

Toisinaan vaurioituneiden lattianpäällysteiden korjaamisen ja vaihtamisen yhteydessä halutaan käyttää erityyppistä uutta lattianpäällystettä, kuten keeraamista laattaa, parkettia tai laminaattia. Tällöin korjaustyössä on syytä huomioida myös uuden lattianpäällysteen vaatima tila. Uuden lattianpäällysteen ollessa merkittävästi alkuperäistä paksumpi, voidaan betonilaattaa joutua jyrsimään useita millimetrejä syvemmältä, kuin pelkkä vaurion korjaaminen vaatisi. Uuden pintarakenteen vaatima kerrospaksuus voidaan huomioida myös muulla tavoin. Erityisesti laajemmassa peruskorjaustyypissä hankkeessa puretaan ja rakennetaan uusia väliseiniä sekä ovet voidaan vaihtaa, jolloin muuttunut lattiakorko huomioidaan näiden asennuksissa.

3.2 Tuuletus

Korjattaessa vaurioitunutta lattiarakennetta, jonka betonirakenteeseen on imeytynyt haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, on tilaan järjestettävä tehokas ilmanvaihto riittävän pitkäksi ajaksi. Eräiden tutkimusten mukaan riittävänä voidaan pitää 2...3 viikon aikaa, mikäli tilan lämpötilaan nostetaan samaan aikaan 30...35 asteeseen. Mikäli lämpötilan nostoa ei voida toteuttaa, tuuletusajan pituus lienee pidempi. Tuuletusajan riittävyys voidaan myös varmistaa lattian betonipinnalta otettavilla FLEC-näytteillä lattian emissionopeuden selvittämiseksi. Tuuletuksen tavoitteena on laimentaa sisäilman sisältämää pitoisuutta lattiabetonista tapahtuvan diffuusion tehostamiseksi sekä tilan muiden huokoisten pintojen kontaminaation estämi-

seksi parantaen samalla tilassa korjaustyön aikana työskentelevien henkilöiden työolosuhteita. (Järnström 2005, 67, 68; Metiäinen 2009, 24, 39.)

Tieteellisissä tutkimuksissa ei ole otettu kantaa siihen mikä pitää olla tilan ilmanvaihtokerroin lattianpäällysteen purkutyön ja liimojen sekä tasoitteen hionnan tai jyrsinnän aikana sekä sen jälkeisen tuuletusjakson aikana. Eräissä kohteissa on sovellettu Ratu-kortissa Kosteus ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku annettuja ohjeita. Tilan ilmanvaihtokertoimeksi on määritelty ≥ 6 purkutyön ajaksi sekä vähintään kolme vuorokautta purkutyön päättymisen jälkeen, eli ajaksi, jona lattiapinnan päästöjen on tieteellisessä aineistossa todettu tasaantuvan. Kolmen vuorokauden jälkeen tilan ilmanvaihtokertoimeksi on määritelty ≥ 3 , jota ylläpidetään useiden viikkojen ajan. Tuuletusjakson pituuteen vaikuttaa luonnollisesti tilan lämpötila sekä lattiabetoniin imeytyneiden yhdisteiden kokonaismäärä. (Ratu 82-0383, 6; Järnström 2005, 67.)

Työnaikaisen ilmanvaihdon järjestämiseen ei yleensä voida käyttää kiinteistön omaa ilmanvaihtojärjestelmää sisäilman sisältämän pölyn ja muiden epäpuhtauksien vuoksi. Laajemmassa peruskorjauksessa korjaustöimenpiteet koskevat todennäköisesti myös ilmanvaihtojärjestelmää, jolloin kanavisto ja koneet on mahdollisesti purettu kokonaan tai osittain pois.

Eräissä tapauksissa on kuitenkin käytetty kiinteistön omaa tuloilmakonetta korvausilman järjestämiseksi. Tällä voi olla suuri merkitys korjausalueen sisäilman lämpötilan ylläpitämiseksi ja siitä aiheutuvien kustannusten minimoimiseksi erityisesti ulkoilman lämpötilan ollessa alhainen. Koska kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmän lämmön talteenotto ei ole toiminnassa käytettäessä ainoastaan tuloilmanvaihtoa, voi ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin teho yksinään olla riittämätön tuuletuksessa tarvittavien suurten ilmamäärien lämmittämiseen. Tällöin tarvitaan erillinen työnaikainen tuloilmanvaihto kiinteistön oman tuloilmajärjestelmän rinnalle.

Mikäli joudutaan käyttämään kahta tuloilmajärjestelmää rinnan, voisi laitteistojen ilmamäärien hallinnan kannalta olla edullista, että erillisellä tuloilmalaitteella palvellaan aktiivista purkutyöaluetta, jossa tarvittava ilmamäärä on huomattavasti suurempi mihin normaali ilmanvaihto on mitoitettu. Koska aktiivinen purkutyöalue etenee tiloittain, on erillinen tuloilmalaitteisto todennäköisesti myös helpommin siirrettävissä uuteen kohtaan. Kiinteistön omalla tuloilmanvaihtojärjestelmällä huolehditaan sitten VOC-tuuletuksen aikaisesta perusilmanvaihdosta.

Työmaa-aikaisen ilmanvaihdon toteutuksesta sekä työmaan pölyn- ja puhautaudenhallinnasta on julkaistu runsaasti aineistoa, joten sitä ei tässä yhteydessä tarkemmin käsitellä. (Ratu S-1225)

3.3 Lämmitys

Lämpötilan nostamista voidaan käyttää yhdessä tuuletuksen kanssa tehostamaan lattiabetonista tapahtuvaa diffuusiota. Eräissä tutkimuksissa tuulettavan tilan lämpötila on nostettu 30...35 °C koko 2...3 viikon tuuletusjakson ajaksi, jolloin myös rakenteen lämpötila nousee jonkin verran. Eri-

tyisesti kosteusvauriotapauksissa, joissa on tarpeen myös kuivattaa betoni-rakennetta, on käytetty lämpötilan nostamista jopa 55...70 °C. Tällöin nostetaan nimenomaan rakenteen lämpötilaa esimerkiksi säteilylämmittimillä, mutta luonnollisesti silloin lämpenee koko muukin tila. (Järnström 2005, 68; Karvinen 2008, 52; Metiäinen 2009, 24.)

Lindström on tutkinut diplomityössään rakennusmateriaalien sorptio- ja desorptioilmiötä. Kokeiden mukaan lämpötilalla ja kosteudella on vaikutusta ilmiöiden nopeuteen siten, että korkeampi lämpötila ja kosteus lisäävät materiaalista tapahtuvaa desorptiota eli nopeuttavat yhdisteiden poistumista materiaalista. Havainto on yhtenevä tutkimusten kanssa, joissa on selvitetty sisäilmasto-olosuhteiden vaikutusta lattian muovipäällysteiden emissionopeuteen. (Lindström 2006; Järnström 2007, 28.)

Tutkimusaineistossa lämpötilan nostamista on käytetty pääasiassa yksittäisten tilojen, kuten asuntojen, VOC- korjausten yhteydessä. Samoin vesivahinkotapausten kosteusvauriokorjauksissa on kyse yleensä rajatusta alueesta ja yksittäisistä tiloista. Tällöin huonetilan lämpötilan nostaminen 10...15 °C on vielä teknisesti ja taloudellisesti järkevästi toteutettavissa yksinkertaisilla sähkötoimisilla lisälämmittimillä. Samoin yksittäisen kuivatettavan tilan tai muun rajatun alueen lattiapinnan lämpötilan nostaminen tarkoitukseen suunnitelluilla sähkökäyttöisillä säteilylämmittimillä voidaan toteuttaa kohtuullisin kustannuksin, kunhan huomioidaan, ettei lämmittämisellä vaurioiteta rakenteessa olevia muovisia viemäri-, vesijoh-to- ja lämmitysputkia tai muita taloteknisiä järjestelmiä. Kaasutoimisia lämmittimiä käytettäessä on huomioitava, että kaasun palamistuotteena muodostuu runsaasti vesihöyryä.

Mikäli lattioiden muovipäällysteiden VOC-korjausta tehdään kokonaiseen rakennukseen, voi lämmitettävä pinta-ala nousta satoihin tai jopa tuhansiin neliömetreihin. Tällöin ongelmaksi voi muodostua suuren tilan lämmittämiseen tarvittava energian tuotto sekä siitä syntyvät kustannukset sekä mahdolliset viivästyksset aikatauluun. Eräissä kohteissa on havaittu huomattavia ongelmia jo normaalin huonelämpötilan ylläpitämisessä suurilla ilmanvaihtokertoimilla. Tällöin on jouduttu käyttämään erillisjärjestelmiä lisälämmöntuottoon. Luonnollisesti ulkolämpötilalla on tähän suuri vaikutus.

3.4 Kemialliset käsittelyt

Työterveyslaitoksen 8.4.2008 päivätyssä muovimaton uusimisen työohjeessa todetaan kohdassa, hajunpoisto betonirakenteesta, että betonin il-mahuokosiin imeytyneiden orgaanisten yhdisteiden poistamiseksi jyrstetty betonipinta käsiteltäisiin Penetrox-S -peroksidiliuoksella. Vaikutusajaksi suositellaan kaksi vuorokautta, jonka jälkeen rakennetta kuivatellaan vähintään kolme vuorokautta. Ohjetta ovat olleet laatimassa Palomäen lisäksi tuotevalmistajien edustajat. (Palomäki 2008.)

Ohjeen taustalla lienee ajatus siitä, että kosteusvaurioituneen muovipäällysteen reaktiotuotteina syntyneet ja betonin il-mahuokosiin imeytyneet haihtuvat orgaaniset yhdisteet liuotettaisiin 'kantoaineena' toimivaan pro-

pyleeniglykolin ja peroksidien liuokseen, joka rakenteesta diffuusion vaikutuksella haihtuessaan veisi mennessään myös sinne aiemmin imeytyneet haihtuvat yhdisteet.

Eräissä sisäilmakorjauskohteissa on kuitenkin todettu, että kohteen korjaustöiden valmistumisen jälkeen tehdyissä seurantatutkimuksissa sisäilmas- ta on löydetty glykoleja. Penetrox-S -peroksidiliuoksen sisältämä propy- leeniglykoli, jota tuotteessa käyttöturvallisuustiedotteen mukaan on 10–15 %, ei ole ilmeisesti poistunut rakenteesta riittävästi tuuletuksen aikana. Li- säksi on riskinä, että lisäämällä VOC-yhdisteitä sisältävään rakenteeseen uusia VOC-yhdisteitä, aikaansaadaan hallitsematon cocktail. Menetelmää ei voi siis varauksetta suositella. (SYK 2011; Karvinen 2008, 53, 54.)

3.5 Kapselointi

Kapseloinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä hyvin suuren diffuusiovastuk- sen omaavan rakennekerroksen asentamista lattiabetonin päälle. Tarkoi- tuksena on estää tai hidastaa merkittävästi lattiabetoniin imeytyneiden yh- disteiden emittoitumista sisäilmaan. Kapselointiin käytetään yleisesti tar- koitukseen suunniteltuja höyrynsulku- ja kapselointiepokseja.

Kapseloinnissa on useita merkittäviä riskejä, jotka on tunnistettava ja ym- märrettävä ennen rakenteen kapselointia. Hyvin suuren diffuusiovastuksen omaava rakennekerros todennäköisesti muuttaa merkittävästi rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa ja katkaisee haitta-aineiden ohella myös kosteuden kulun. Vanhoissa jo kuivuneissa välipohjarakenteissa tämä ei muodosta niinkään ongelmaa, mutta maanvaraisten betonilattioiden kapse- lointi estää maaperästä diffuusion vaikutuksesta sisäilmaan suuntautuvan kosteuden luonnollisen kulun. Sama ilmiö tapahtuu hyvin tiiviillä muovi- matolla päällystetyssä maanvaraisessa lattiassa, minkä vuoksi rakennetta pidetään riskialttiina ja vaurioherkkänä. Tällöin tosin ensisijaisesti vaurioi- tuu itse lattian muovipäällyste sekä kiinnitysliimat. Vaurion aiheuttava il- miö on kuitenkin molemmissa tapauksissa samanlainen, betonirakenteen huokosilman suhteellinen kosteus tasaantuu maaperän kosteuspitoisuuteen ja kasvaa lähelle 100 prosenttia. Kapselointiepoksilla päällystetyssä raken- teessa kosteus pyrkii tasaantumaan sisäilmaan kapselointiin jääneistä epä- jatkuvuuskohdista, kuten rakenteeseen syntyneistä halkeamista voiden ai- heuttaa uusiin päällystemateriaaleihin paikallisen vaurion. Merkittävimmät riskit ovat kuitenkin liittyvien rakenneseosien kohdat kuten väliseinät, erityi- sesti levyrakenteiset väliseinät, joiden alaosiin kohdistuu huomattava kos- teusrasitus. Myös betoni- tai tiilirakenteisten väli- tai ulkoseinien alaosiin kohdistuva kasvanut kosteusrasitus voi aiheuttaa vaurioita tasoite- ja maa- likeroksissa erityisesti mikäli kyseessä on vanha rakennus, jossa on alun perin käytetty kaseiinipitoisia tasoitteita. Kapselointia käytettäessä on syy- tä muistaa, että kapseloitavaan rakenteeseen jätetään sen sisältämät haitta- aineet, jotka eivät poistu sieltä tai poistuvat erittäin hitaasti. (Miettinen 2010, 22, 23.)

Kapseloinnissa on myös riskejä itse työn suorituksessa. Epoksit ovat kak- sikomponenttisia materiaaleja, jotka muodostuvat hartsiosasta ja kovetta- jasta. Materiaalitoimittajat ovat pyrkineet minimoimaan riskit käyttäen vir-

heellisiä seossuhteita tai kovettajia. Mikäli epoksin seossuhteet ovat virheelliset tai sekoitus on tehty puutteellisesti, kovettumisreaktio ei käynnisty ollenkaan tai se jää vajaaksi. Tällöin bentsyylialkoholit imeytyvät betonirakenteeseen ja ne on poistettava joko jyrsimällä tai piikkaamalla tai pahimmassa tapauksessa purkamalla rakenne. Työntekijät altistuvat myös haitallisille aineille työn suorituksen aikana, joten työturvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. (SYK 2011; Työterveyslaitos 2010.)

Menetelmän käytössä on myös joitakin etuja. Mikäli VOC-yhdisteiden kyllästämää betonirakennetta ei tarvitse purkaa, säästetään merkittävästi rakentamiskustannuksissa. Samoin rakenteiden tuulettamistarpeen välttämällä tai ainakin tuuletusajan lyhentämällä voidaan säästää rakentamisajassa ja siten kustannuksissa. Kapselointi antaa myös varmuutta korjaustyön onnistumisesta käytettäessä hyvin heikon diffuusiovastuksen omaavia lattian uusia pintamateriaaleja. (Miettinen 2010, 23.)

Kapseloitaessa VOC-yhdisteitä sisältävää lattiabetonia diffuusiotiiviisti, on huomioitava kahden tiiviin pinnan, epoksin ja lattian muovipäällysteen, väliin tulevan liiman kuivuminen siinä määrin, ettei uusia vaurioita pääse syntymään heti lattianpäällysteen asentamisen jälkeen. Liiman sisältämän kosteuden tasaantumisen mahdollistaa esimerkiksi riittävän paksu ja kuiva tasoitekerros epoksin päällä. Siitä mikä on riittävän paksu tasoitekerros epoksilla käsitellyllä alustalla, on ristiriitaisia tietoja. Alan järjestöt eivät ole julkaisseet aiheesta ohjeita esimerkiksi lattianpäällysteitä käsittelevissä julkaisuissa. Kokemusten mukaan voidaan kuitenkin vähintään 5 mm matala-alkalista tasoitekerrosta pitää täysin riittävänä, mikäli sen annetaan kuivua alle 75 % suhteelliseen kosteuteen. Toisaalta tasoitevalmistajien suositusten mukaan riittävän tasoitekerroksen paksuus olisi 1,5 mm ja päällystäminen voitaisiin tehdä vuorokauden kuluttua tasoitteen levittämisestä. Aiheesta lienee syytä saada lisää puolueetonta tutkimustietoa. (Merikallio 2008, 50.)

3.6 Koneellisesti tuuletettu lattiajärjestelmä

Eräänlainen variaatio kapseloinnista on tuuletettu rakenne, jossa lattiapinnalle asennetaan hyvin suuren diffuusiovastuksen omaava uritettu tai nystyröity kumi- tai muovilevy, jonka alapuolelle johdetaan suodatettua ilmaa. Ilma otetaan yleensä tuuletettavasta tilasta korvausilmaventtiilien kautta ja johdetaan poistoputkilla koneellisesti ulkoilmaan. Järjestelmän toiminta-ajatuksena on tuulettaa lattiabetonissa olevat epäpuhtaudet hallitusti ulkoilmaan. Menetelmä soveltuu myös maanvaraisille lattioille, jolloin maaperästä nouseva diffuusio- ja jopa kapillaarikosteus saadaan samalla hallintaan. Tuuletusjärjestelmän käyttö antaa myös vapauden käyttää erilaisia pintamateriaaleja. Maanvaraisilla alapohjilla voidaan käyttää hyvin tiiviitä pintamateriaaleja ja taas haitta-aineita sisältävillä alustoilla voidaan käyttää diffuusioavoimia materiaaleja. (Peltola 2008, 117; Karvonen 2008, 56,57.)

Järjestelmän rajoituksena ja ongelmana ovat hyvin pienet ilmamäärät ja tasaisen ilmavirran aikaan saaminen tuuletusraossa, joka edellyttää huolellista suunnittelua sekä järjestelmän toiminnan testaamista asentamisen jäl-

keen. Pienet ilmamäärät ja virtausnopeus rajoittavat tilan enimmäisleveyden tyypillisesti 10...15 metriin, jolloin järjestämä on toteutettava tilakohdaisesti. Korvausilmaventtiilien suodattimet vaativat myös huoltoa. Tämä voi olla ongelmallista kiinteistössä, jossa tilan käyttäjä ei välttämättä edes tiedä järjestelmän olemassaolosta. Mikäli järjestelmän toteutus epäonnistuu tai sen huolto laiminlyödään, johtuu korvausilman mukana epäpuhtauksia tuuletusväliin tai ilmapirta heikkenee lakaten lopulta kokonaan. Tällöin ongelmana voi olla epäpuhtauksien kulkeutuminen tilan sisäilmaan tai tuuletusrakoon kulkeutuneen pölyn ja kohonneen kosteuden aiheuttama mikrobikasvusto. Koska järjestelmien pitkäaikaistoiminnasta ei ole vielä tutkimusaineistoa, tulee ratkaisua pitää ensisijaisesti tilapäisenä, joka vaatii jatkuvaa huoltoa ja seuranta. (Peltola 2008, 117-119; Karvinen 2008, 56,57.)

3.7 Lattianpäällysteen valintaperusteet

Kiinteistöjen omistajat edellyttävät yleisesti käytettäviltä rakennustuotteilta todistusta siitä, että ne kuuluvat Rakennusmateriaalien M1-päästöluokkaan. Kriteerit tuotteelta edellytettävistä ominaisuuksista on julkaistu Sisäilmayhdistys ry:n julkaisussa Sisäilmastoluokitus 2008. Keskeisimmät vaatimukset on koottu oheen, Taulukko 5. Vaatimuksia on asetettu lähinnä materiaalipäästölle sisäilmaan, joka täytyy testauttaa 28 vuorokauden iässä riippumattomassa laboratoriossa standardien ISO 16000-6 ja 16000-9 mukaisesti. Testikammio jäljittelee 2,5 metriä korkeaa 30 m² huonetilaa. Mittausolosuhteet vakioidaan 23 °C lämpötilaan ilman suhteellisen kosteuden ollessa 50 %. Kammion ilmanvaihtokerroin on 2,0 1/h. Lisäksi luokitukseen kuuluu standardin ISO 16000-28 mukainen hajupaneelin suorittama aistinvarainen arviointi. (Sisäilmayhdistys 2008, 17; FiSIAQ 2014.) Yksittäisen tuotteen kohdalla voi Rakennustietosäätiön internet-sivuilta (www.rakennustieto.fi) löytyvästä M1-luokiteltujen tuotteiden luettelosta tarkistaa kuuluuko kyseinen tuote Rakennusmateriaalien M1-päästöluokkaan. Tällä hetkellä luettelossa on tuotteita noin 2300 kappaletta.

Taulukko 5. Rakennusmateriaalien M1-päästöluokan vaatimukset. (Sisäilmayhdistys 2008, 17.)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)*	< 0,2 mg/m ² h
Formaldehydi (H ₂ CO)	< 0,05 mg/m ² h
Ammoniakki (NH ₃)	< 0,03 mg/m ² h
Karsinogeeniset aineet (IARC)**	< 0,005 mg/m ² h
Materiaali ei haise	hajutestin tulos vähintään +0,1
Lisäksi laastit, tasoitteet ja silotteet eivät saa sisältää kaseiinia.	
*vähintään 70 % yhdisteistä tulee tunnistaa	
** karsinogeeniset aineet, jotka kuuluvat luokkaa 1 (IARC 2004, ei koske H ₂ CO)	

M1-luokituksen, kuten muidenkin laboratorio-olosuhteisiin kehitettyjen menetelmien, puutteena voidaan pitää sitä, että standardin mukainen testaustapa ei kuvaa todellisia käyttöolosuhteita, jossa muun muassa sisäympäristön lämpötila ja kosteus voivat poiketa oleellisesti standardin vakioiduista olosuhteista. Materiaalipäästöt ovat kuitenkin riippuvaisia sekä si-

säympäristön, että kiinnitysalustan lämpötilasta ja kosteudesta. Tutkimuksissa on havaittu, että todellisesta rakenteesta mitatut päästöt ovat jopa merkittävästi suurempia kuin laboratorioissa mitatut, vaikka rakennustuote olisi täysin vaurioitumaton ja M1-luokiteltu. Materiaaliemissiot alkavat tasaantua vasta vuoden tai jopa kahden vuoden jälkeen. Tämä on tiedostettava ja huomioitava sisäilmaongelmakohteiden seurantatutkimusten tutkimussuunnitelmaa laadittaessa sekä tutkimusten tuloksia analysoitaessa. (Järnström & Saarela 2005, 79; Järnström 2007, 28; Keinänen 2013, 10.)

Useat eurooppalaiset rakennustuotteiden valmistajat ja maahantuojat eivät ole hakeneet tuotteilleen suomalaista M1-luokitusta. Sen sijaan näillä tuotteilla voi olla saksalaisen Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegetwerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V. (Association for the Control of Emissions in Products for Flooring Installation, Adhesives and Building Materials) (GEV) ylläpitämä ja myöntämä GEV-EMICODE EC1 (low emission) tai GEV-EMICODE EC1^{PLUS} (very low emission) tuoteluokitus, joiden keskeisimmät vaatimukset on koottu oheen, Taulukko 6. Lisämääräällä R (regulated) halutaan korostaa rakennusmateriaalin asentamisessa huomioitavia työturvallisuusasioita, kuten suojavaatetusta tai silmäsuojaimia. (GEV Classification Criteria 2013, 4, 5.)

Taulukko 6. GEV-EMICODE EC1 and EC1^{PLUS} Maximum allowed values. (GEV Classification Criteria 2013, 4, 5.)

Parameter [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EMICODE EC1 ^{PLUS}	EMICODE EC1
Continuous monitoring / market control	Yes	Yes
TVOC after 3 days	750	1000
TVOC after 28 days	60	100
R value after 28 days	1	-
TSVOC after 28 days	40	50
VOC without LCI value after 28 days	40	-
Carcinogenic compounds (C1A, C1B) after 3 days	10 (sum)	10 (sum)
Carcinogenic compounds (C1A, C1B) after 28 days	1 (each VOC)	1 (each VOC)
Formaldehyde after 3 days	50	50
Acetaldehyde after 3 days	50	50

Testikammion tilavuus on vähintään 100 litraa ja testattavan lattianpäällysteen pinta-ala on 0,4 m² kutakin kammion ilmakeuutiometriä kohden. Kammion lämpötila on 23 °C ja ilman suhteellinen kosteus 50 %. Kammiin järjestetään ilmanvaihto kertoimella 2,0 1/h. Testausmenetelmä perustuu standardiin ISO 16000-9 ja sillä pyritään saamaan materiaaliemission korrelaatio 2,5 metriä korkean huoneen sisäilman pitoisuuteen. (GEV Testing Method 2013, 7.)

M1- ja EC1-luokitusten tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. M1-luokituksessa tulos ilmoitetaan emissionopeutena, jolloin siinä on mukana ajan yksikkö. Lisäksi M1-testauksessa käytetään hajuraatia arvioimaan aistinvaraisesti tuotteesta lähtevän hajun voimakkuutta.

Ruotsissa rakennustuotteiden luokittelusta vastaa Byggsvarubedömningen (BVB), joka on julkaissut myös vaatimuksia sisäympäristöön haihtuvien yhdisteiden enimmäismääristä. Raja-arvot on annettu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärälle (TVOC) sekä formaldehydille. Rakennustuotteet testataan 26 viikon ikäisenä standardin ISO 16000-6 mukaisesti. Testauksessa voidaan kammion lisäksi käyttää myös FLEC-menetelmää. 'Rekommenderas' -luokan pitoisuuksien raja-arvot ovat yhtenevät Suomalaisen M1-luokan kanssa. (Byggsvarubedömningen 2013, 16, 17.)

Maahantuoduilla rakennustuotteilla voi olla myös muiden tarkastuslaitosten myöntämiä sertifikaatteja. Tällaisia tarkastuslaitoksia tai niiden myöntämiä sertifikaatteja ovat esimerkiksi Blue Angel RAL UZ 113, AgBB (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten) ja CDPH Section 01350 (California Department of Public Health). Näiden tarkastuslaitusten myöntämät sertifikaatit eivät ole vaatimuksiltaan yhtä tiukkoja kuin EC1^{PLUS}.

Viranomaismääräykset sekä julkinen paine ohjaavat tuotevalmistajia käyttämään tuotteissaan ftalaattittomia pehmittimiä, jota voidaankin hyvin pitää yhtenä lattianpäällysteiden valintaperusteena. Korvaavina pehmittiminä käytetään nykyisin jonkin verran kasviöljypohjaisia raaka-aineita. Tuotteita markkinoidaan hyvin ympäristöystävällisinä ja joidenkin kasviöljypohjaisten pehmittimien käyttö on hyväksytty esimerkiksi elintarvikepakkauksissa. Kasviöljypohjaisista pehmittimien käytöstä lattioiden muovipäällysteissä ei ole kuitenkaan vielä pitkäaikaiskokemuksia, joten niiden käyttöön on suhtauduttava varauksella. (Lappi 2013, 34.)

Eräät rakennusmateriaalien tuotevalmistajat ja maahantuojat ovat panostaneet voimakkaasti valmistamiensa tai edustamiensa tuotteiden yhteensopivuuden varmistamiseksi. Tällainen tuoteperheajattelu helpottaa merkittävästi kiinteistön omistajien ja suunnittelijoiden materiaalivalintaa kun he voivat käyttää luotettavasti yhteensopiviksi todettuja tuotteita. Kattavan tuoteperheen tulee sisältää suosituksen yhteensopivasta primerista, tasoitteesta, liimasta sekä luonnollisesti muovipäällysteestä. Tällaisia tuoteperheitä voidaan koota myös eri valmistajien tuotteista, jolloin oleellista on se, että tuotteet toimivat testatusti ja luotettavasti yhdessä.

Lattianpäällysteiden valmistajilla on tuotevalikoimassaan yleensä runsaasti erilaisia päällystevaihtoehtoja, joiden tekniset ominaisuudet tai niiden valmistamisessa käytetyt raaka-aineet voivat poiketa toisistaan merkittävästikin. Tällöin tuotteen valmistajalla tai maahantuojalla voi olla esimerkiksi kokemuseräiseen tietoon perustuva oma suositus kuhunkin käyttötarkoitukseen soveltuvasta lattianpäällysteestä. Tällaiset suositukset tai rajaukset eivät yleensä ilmene samalla tavoin julkaistuista tuote-esitteistä, jotka ovat enemmänkin markkinoinnin apuvälineitä.

Toisinaan lattianpäällysteiden materiaalivalmistaja tai -toimittaja voi ohjeistaa tuotteidensa käytössä jonkin tietyn tuotteen valintaan suositellen sitä, vaikka heidän tuotevalikoimassaan vaikuttaisi olevan ilmoitettujen tuoteominaisuuksien puolesta muitakin kelvollisia vaihtoehtoja. Oletettavasti

kyse on valmistajan ja toimittajan kokemusperäisestä tiedosta esimerkiksi reklamaatioiden muodossa.

Suurille kiinteistön omistajille ja heidän käyttämilleen asiantuntijoille on myös kertynyt omakohtaisia kokemuksia erilaisista lattianpäällysteistä, esimerkiksi niiden pitkäaikaiskestävyydestä ja siivottavuudesta sekä mahdollisista yhteyksistä havaittuihin sisäilmahaittoihin. Tällöin lattianpäällysteen valintaan vaikuttaa luonnollisesti myös subjektiiviset käyttökokemukset.

3.8 Korjausten onnistumisen arviointi

Vaurioituneiden lattianpäällysteiden vaihtamisen jälkeen on tarpeen tehdä seuranta tutkimuksia ja -mittauksia korjausten onnistumisen arvioimiseksi. Suoritettavista toimenpiteistä ja alustavasta aikataulusta sovitaan yleensä jo etukäteen kiinteistön omistajan ja käyttäjän kesken. Lisäksi voidaan tehdä käyttäjäkyselyjä esimerkiksi työterveyshuollon toimesta, joiden perusteella kyetään arvioimaan käyttäjien mahdollisesti kokemaa oireilua, joka on edelleen tärkeimpiä sisäilmaongelmien indikaattoreita.

Seurantamittauksia sisäilmasta tai materiaaliemissioista ei yleensä kannata tehdä ennen kuin tilojen käyttöönotosta on kulunut vähintään puoli vuotta. Silloinkin rakennusmateriaalien ja uusien kalusteiden materiaaliemissiot voivat olla vielä tavanomaista korkeampia. Mikäli ensimmäiset seurantamittaukset suoritetaan puolen vuoden kuluttua, voisi uudet mittaukset tehdä 1...2 vuoden kuluttua tilojen käyttöönotosta. Tällöin materiaaliemissiot ovat jo vakiintuneet. (Järnström & Saarela 2005, 80; Järnström 2005, 37, 40; Järnström 2007, 56.)

Materiaaliemissioita on käsitelty yksityiskohtaisemmin luvussa 2.4 Mittaustulos sisäilmahaitan ja korjaustarpeen arvioinnissa. Taulukko 4 esittää tutkimuksiin perustuvia vaurioitumattomien lattian muovipäällysteiden FLEC-näytteiden vertailuarvoja 12 kuukautta vanhassa rakennuksessa. Näitä todellisissa olosuhteissa mitattuja arvoja voidaan osaltaan käyttää korjaamisen onnistumisen arviointiin. (Järnström 2007, 49.)

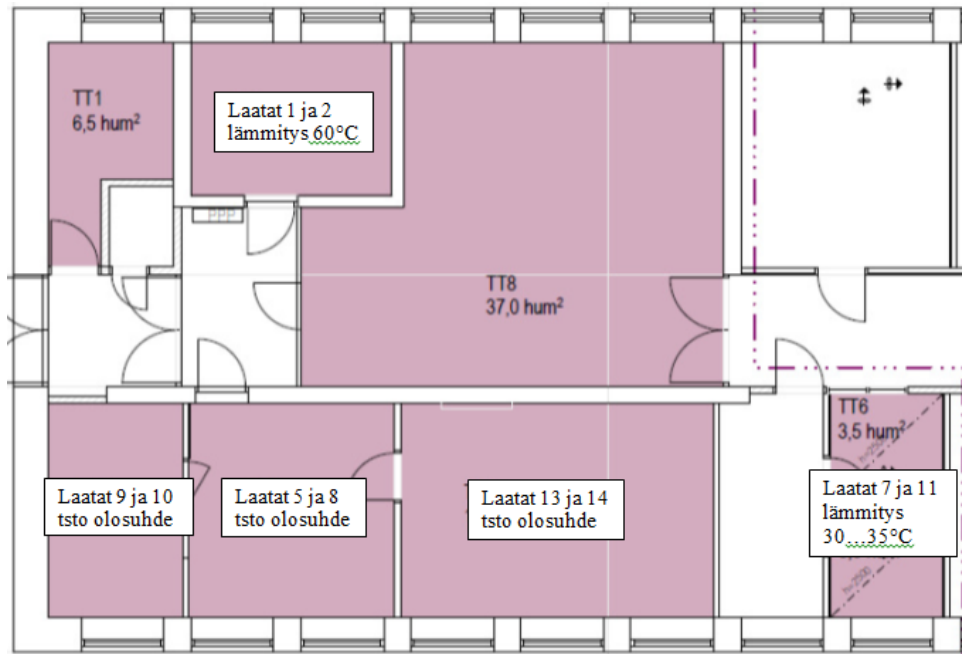
Työterveyslaitos käyttää korjausten jälkeisenä yksittäisen yhdisteen enimmäispitoisuuden ohjearvona $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuutta sisäilmassa, joka suojaaa myös hajun aiheuttamalta kuormitukselta. Pitoisuus on hyvin pieni, lähes laboratorioanalyysien määrittysrajalla. (Salonen 2011, 110.)

4 MALLIKORJAUSTEN KENTTÄTUTKIMUKSET

4.1 Koekappaleiden kenttätutkimukset

Ensimmäinen tarkasteltavista Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n rahoittamista tutkimushankkeista tehtiin erään 1970-luvun lopulla valmistuneen kiinteistön peruskorjaushankkeen yhteydessä. Kiinteistössä oli todettu jo aiemmin vaurioita maanvaraisen betonilattian muovipäällysteissä ja pääl-

lysteet oli vaihdettu. Käyttäjien kokemat sisäilmaoireet olivat kuitenkin jatkuneet ja peruskorjattavat tilat olivat olleet tyhjillään muutaman vuoden ajan. Kiinteistössä tehtiin kattavia tutkimuksia ja selvityksiä sisäilmaongelmien syiden selvittämiseksi ja niiden ratkaisemiseksi. Yhtenä korjaustoimenpiteenä päätettiin purkaa maanvarainen betonilattia alusrakenteineen ja korvata se uudella rakenteella. Tutkimushankkeessa hyödynnettiin peruskorjauksessa purettuja VOC-yhdisteiden saastuttamia maanvaraisen betonilaatan kappaleita, jotka sijoitettiin tutkimusta varten varattuun erilliseen tilaan, jossa oli useita tarkoitukseen soveltuvia huoneita eri käsittelyyhdistelmiä varten. Jyrsintää ja muita pölyviä työvaiheita varten rakennettiin osastoitu ja alipaineistettu tila. SYK Oy:n koolle kutsumat sisäilma-asiantuntijat laativat tutkimussuunnitelman, jossa pyrittiin huomioimaan erilaisia mahdollisia korjausvaihtoehtoja ja käsittely-yhdistelmiä. Tästä tutkimushankkeesta käytetään nimitystä koekappaleiden mallikorjaukset. Yksittäisistä betonilaatan kappaleista käytetään myös nimitystä laatta. Kaikki laatat numeroitiin lähtötilanteessa niiden tunnistamiseksi. Koejärjestelyt on esitetty oheisessa paikannuskaaviossa, Kuva 6.



Kuva 6. Koekappaleiden sijoittelu VOC-mallikorjausten aikana.

Koekappaleet olivat 80 millimetrin paksuisia ja noin 0,8 x 0,8 neliömetrin kokoisia teräsbetonilaattoja. Alkuperäisessä rakenteessa betonilaatan alapuolella oli 0,09 millimetrin muovikalvo, 50 millimetrin EPS-eriste ja hienojakoinen täyttömaa. Lattianpäällysteenä oli erittäin tiivis laboratoriotilaan soveltuva muovimatto hitsatuin saumoin. Päällysteen ja betonirakenteen välissä oli 2...10 millimetrin tasoitekerros tai kerroksia. Rakenne ja käytetyt materiaalit edustavat hyvin tyyppillistä ja tavanomaista rakenneratkaisua.

Lattianpäällyste oli irrotettu rakenteesta noin kuukausi ennen koekappaleiden sahaamista. Koekappaleet irrotettiin rakenteesta timanttisahalla vetä käyttäen, jolloin rakenne kastui selvästi. Koekappaleita irrotettiin yhteensä kymmenen kappaletta, jolloin saatiin viisi laattaparia käsittely-

yhdistelmiä varten. Koekappaleet säilytettiin ja niitä käsiteltiin normaalissa toimistotilan huoneenlämmössä. Kaikista koekappaleista hiottiin lähtötilanteessa liima ja tasoite puhtaalle betonipinnalle. Tämän jälkeen koekappaleiden annettiin vapaasti tuulettua 1...2 vuorokautta, minkä jälkeen tehtiin ensimmäisen vaiheen tutkimukset laattojen suhteellisesta kosteudesta sekä VOC-emissioista ja betonirakenteeseen eri syvyyksille imeytyneiden VOC-yhdisteiden pitoisuuksista.

Koska betonilaatat olivat kastuneet epätasaisesti niiden irrottamisen yhteydessä, saatuja kosteudenmittauksien tuloksia ei tässä yhteydessä tarkastella. Emissiot mitattiin ensimmäisessä tutkimusvaiheessa niin sanotulla kupumenetelmällä ja myöhemmin varsinaisten koejärjestelyjen yhteydessä FLEC-menetelmällä. Koska tutkimusmenetelmät eivät ole keskenään suoraan vertailukelpoisia, kupumenetelmällä tehtyjen tutkimusten tuloksia ei tässä yhteydessä käsitellä tarkemmin. Kupumenetelmän mittaustuloksille ei ole käytettävissä myöskään viitearvoja. Saatuja tutkimustuloksia käytettiin myöhemmin laatoille tehtävien mallikorjausten päättämiseksi.

Betonirakenteeseen eri syvyyksille imeytyneiden VOC-yhdisteiden tutkiminen suoritettiin näytepalamenetelmällä piikkaamalla kolmesta eri syvyydestä, 5...10, 25...30 ja 45...50 millimetristä. Näytteenotossa sovellettiin betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa käytetyn näytepalamenetelmän ohjeistusta julkaisussa RT 10-10984. Näytteet irrotettiin 70 % etanolilla puhdistetuilla näytteenottovälineillä poravasaraa apuna käyttäen. Betonimuruset pakattiin tiiviisti alumiinifolioon käärittynä tiiviisiin muovipusseihin ja toimitettiin analyysilaboratorioon. Laboratorioanalyysi tehtiin standardin ISO 16000-6 mukaisella testikammion menetelmällä.

Ensimmäisen tutkimusvaiheen jälkeen kaikki koekappaleet käsiteltiin alaja sivupinnoiltaan kapselointiepoksilla ja sijoitettiin PU-levyjen päälle. Koekappaleiden yläpinnat peitettiin alumiinifoliolla ja niiden päälle asetettiin paino, jotta alumiinifolio asettui tiiviisti betonipintaa vasten. Koekappaleita säilytettiin normaalissa toimistotilan huoneenlämmössä ja ilmanvaihdossa odottamassa tutkimussuunnitelman tarkentamista ja sen mukaisia jatkotoimenpiteitä. Kolmeen tilaan asennettiin tallentavat mittalaitteet seuraamaan sisäilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Lisäksi tutkimustiloissa käytiin vähintään kahdesti viikossa tarkastamassa sisäilmaston ja koekappaleiden olosuhteet.

Koekappaleiden mallikorjauksiin valittiin ensimmäisen tutkimusvaiheen tulosten perusteella kaksi betonilaattaa kutakin korjausmenetelmää varten. Laattaparit valittiin siten, että niiden ensimmäisen tutkimusvaiheen mittaustulokset olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Tässä vaiheessa hylättiin laatat 3 ja 6. Laatta numero 4 jouduttiin hylkäämään jo aiemmin sen katkettua keskeltä poikki. Hylättyjä laattoja korvaamaan otettiin kohteesta kaksi uutta laattaa, joissa oli edelleen lattian muovipäällysteet paikoillaan.

Tutkimussuunnitelman laatimisen ja tarkentamisen jälkeen valituille laattapareille tehtiin lähtötilannemittaukset FLEC-menetelmällä hiotulta betonipinnalta emissionopeuden määrittämiseksi sekä materiaalinäytteenotto kolmelta eri syvyydeltä betonirakenteen sisältämien VOC-yhdisteiden

määrittämiseksi. Tutkimusten jälkeen tehtiin suunnitellut korjaustoimenpiteet. Laattaparia 1 ja 2 lämmitettiin tasolämmittimellä 60 °C ja jäähdytettiin syklisesti kuuden tunnin jaksoissa kolmen viikon tuuletusjakson ajan. Laattaparia 7 ja 11 lämmitettiin 30...35 °C nostamalla huonetilan lämpötilaa ja tuuletettiin kolmen viikon ajan. Laattaparille 13 ja 14 tehtiin niin sanottu pikakorjaus, jolloin tuuletusajan pituus oli vain kolme vuorokautta ja laattoja säilytettiin normaalissa toimistohuoneen lämpötilassa. Kyseisessä laattaparissa oli lähtötilanteessa muista poiketen vielä alkuperäinen lattian muovipäällyste paikoillaan, joten ne soveltuivat erittäin hyvin pikakorjausta varten. Laattaparille 5 ja 8 tehtiin kolmen viikon huoneenlämmössä suoritettua tuuletusjakson jälkeen kapselointi höyrinsulkuepoksilla. Kapseloinnissa käytettiin samaa tuotetta kuin koehuoneessa 3 epoksi A. Laattaparia 9 ja 10 säilytettiin koko kolmen viikon tuuletusjakson ajan normaalissa toimistotilan lämpötilassa. Lisäksi päätettiin tehdä kaksi pinnoitteen asentamista lasilevyn päälle vertailunäytteiden saamiseksi. Kaikki koekappaleet pohjustettiin, tasoitettiin ja päällystettiin korjaustoimenpiteiden jälkeen samalla tavalla yhteensopivilla ja M1-luokitelluilla tuotteilla. Käytetty muovipäällyste oli hyvin tiivis julkisen tilan muovimatto, jossa oli PU-kalvo. Tuuletusjakson jälkeen kaikki koekappaleet sijoitettiin vuoden pituisen seurantajakson ajaksi samaan tilaan, jossa ylläpidettiin normaalia toimistotilan lämpötilaa ja ilmanvaihtoa.

Vuoden kuluttua tehdyistä mallikorjauksista suoritettiin seurantatutkimukset kaikille muille paitsi lämpökäsitellyille laattapareille. Lämmityksen tuuletusta tehostavasta vaikutuksesta oli jo käytettävissä aikaisempaa tutkimusaineistoa ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen suoritetuissa mittauksissa oli todettu lämmityksen alentaneen VOC-emissioita merkittävästi. Seurantatutkimuksessa mitattiin koekappaleiden pintatuotto FLEC-menetelmällä uuden muovipäällysteen päältä. Vertailunäytteet otettiin myös lasilevyille tehdyistä koekappaleista. Tarkemmat tutkimussuunnitelmat on esitetty ohessa (Taulukko 7 ... Taulukko 12).

Taulukko 7. Koekappaleiden 1 ja 2 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

KOEKAPPALEET 1 JA 2		
Lämmitys 60 °C, 3 viikon tuuletus, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Liiman ja tasoitteen hionta. Lämmitys 60 °C ja jäähdytys 20 °C 6 h syklissä.
3 vko	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
13 kk	Uuden lattianpäällysteen FLEC-näytteet.	Normaali tsto lämpötila ja ilmanvaihto.

Taulukko 8. Koekappaleiden 7 ja 11 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

KOEKAPPALEET 7 JA 11		
Lämmitys 30 °C, 3 viikon tuuletus, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Liiman ja tasoitteen hionta. Lämmitys 30...35 °C.
3 vko	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
13 kk	Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet.	Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.

Taulukko 9. Koekappaleiden 13 ja 14 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

KOEKAPPALEET 13 JA 14		
3 vuorokauden tuuletus, uusi muovipäällyste (ns. pikakorjaus)		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Liiman ja tasoitteen hionta. Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.
3 vrk	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
13 kk	Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet.	Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.

Taulukko 10. Koekappaleiden 5 ja 8 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

KOEKAPPALEET 5 JA 8		
3 viikon tuuletus, kapselointiepoksi, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Liiman ja tasoitteen hionta. Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.
Taulukko jatkuu seuraavalle sivulle.		

KOEKAPPALEET 5 JA 8		
3 viikon tuuletus, kapselointiepoksi, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
3 vko	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Kapselointiepoksin asentaminen Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
13 kk	Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet.	Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.

Taulukko 11. Koekappaleiden 9 ja 10 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

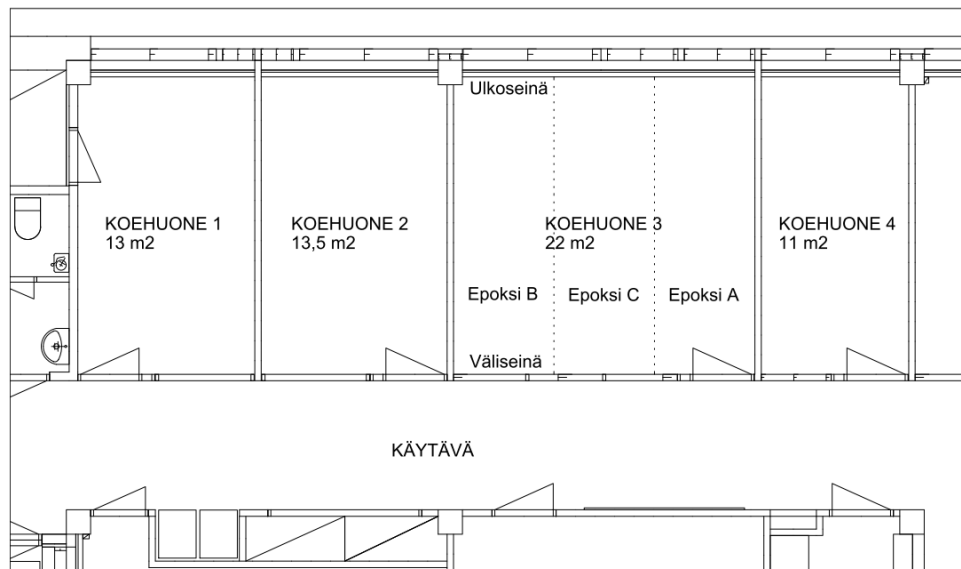
KOEKAPPALEET 9 JA 10		
3 viikon tuuletus, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Liiman ja tasoitteen hionta. Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.
3 vko	Betonipinnan FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
13 kk	Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet.	Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.

Taulukko 12. Lasilevyjen 1 ja 2 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät toimenpiteet.

LASILEVYT 1 JA 2		
Uusi muovipäällyste (vertailunäytteet)		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	---	---
3 vko	---	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.
13 kk	Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet.	Normaali toimistolämpötila ja ilmanvaihto.

4.2 Koehuoneiden kenttätutkimukset

Toinen Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n käynnistämä ja rahoittama tutkimushanke tehtiin 2000-luvulla valmistuneessa kiinteistössä, jossa oli aiemmissa tutkimuksissa todettu lattioiden muovipäällysteissä poikkeavia VOC-emissioita. Kiinteistöstä valittiin neljä vierekkäistä huonetta ja kullekin koehuoneelle päätettiin mallikorjaustapa ja laadittiin tutkimusohjelma SYK Oy:n koolle kutsumien sisäilma-asiantuntijoiden toimesta. Kaikissa mallihuoneissa tehtiin tutkimussuunnitelman mukaiset korjaustoimenpiteet sekä mittauksia sisäilman sisältämistä ja lattian muovipäällysteestä tai lattiabetonista emittoituvista VOC-yhdisteistä. Myös lattiabetonin sisältämiä VOC-yhdisteitä tutkittiin rakenteen eri syvyyksiltä. Tarkemmat tutkimussuunnitelmat on esitetty jäljempänä. Tästä tutkimushankkeesta käytetään nimitystä koehuoneiden mallikorjaukset. Yksittäisestä huoneesta käytetään myös nimitystä mallihuone. Koehuoneiden sijainti on esitetty oheisessa paikannuskaaviossa, Kuva 7.



Kuva 7. Koehuoneiden paikannuskaavio VOC-mallikorjauksen aikana.

Koehuoneiden lattiarakenne on paikalla valettu massiivinen teräsbetoninen välipohja. Kantavan runkolaatan paksuus on rakennesuunnitelmien mukaan 300 millimetriä ja jälkeensä valetun pintalaatan paksuus on 60 millimetriä. Lattian alkuperäinen muovipäällyste oli hyvin suuren diffuusiovastuksen omaava PU-kalvolla vahvistettu julkisen tilan muovimatto. Kiinnitysliima, tasoite ja pohjuste olivat saman valmistajan tuotteita, joten niiden voi olettaa olevan yhteensopivia. Tasoitekerroksen paksuus oli 1...2 millimetriä. Alkuperäinen rakenne ja käytetyt tuotteet edustavat tavanomaista ja yleisesti käytettyä rakennustapaa ja -tuotteita.

Lähtötilanteessa ennen purkutöiden aloittamista mitattiin VOC-yhdisteet kunkin tilan sisäilmasta noin 200 millimetrin korkeudelta lattiapinnasta. Ilmanäytteet kerättiin pumpulla Tenax TA -adsorbenttiin. Lattian alkuperäisen muovipäällysteen pintatuotto mitattiin FLEC-menetelmällä standardin ISO 16000-10 mukaan johtaen tutkimuskammioon synteettistä kaasua, jonka suhteellinen kosteus vakioitiin 50 %. Tutkimus tehtiin huonetilan

lämpötilassa. Jokaisessa koehuoneessa FLEC-mittaus tehtiin kahdesta rinnakkaisesta tutkimuspisteestä, toinen läheltä ulkoseinää ja toinen läheltä käytävän puoleista väliseinää.

Tilojen lämpötila pyrittiin pitämään normaalissa toimistotilan huoneenlämmössä. Lämpötilan nostoa tuuletusjakson aikana ei haluttu käyttää vaikka aikaisemmin tehtyjen tutkimusten mukaan sen on todettu tehostavan VOC-yhdisteiden haihtumista betonirakenteesta, koska tavoitteena oli selvittää korjausmenetelmien soveltuvuus suurille pinta-aloille, jolloin tilojen lämmittäminen voi olla hyvin haasteellista niin teknisesti kuin taloudellisesti.

Sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus suoritettiin kaikkien VOC-mittausten yhteydessä. Lähtötilannemittausten yhteydessä betonirakenteen suhteellinen kosteus ja lämpötila mitattiin niin sanottuna viilto-mittauksena lattianpäällysteen alta sekä porareikämittauksena 30, 60, 90 ja 120 millimetrin syvyyksiltä rakenteen kosteusjakauman selvittämiseksi RT 14-10984 -ohjekorttia soveltaen. Puolen vuoden tasaantumisaajan jälkeen tehdyssä seurantamittauksessa mitattiin kosteus ja lämpötila viilto-mittauksena uuden muovipäällysteen alta. Koko tutkimusjakson ajan kuskakin mallihuoneessa suoritettiin lisäksi sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus tallentavana.

Lähtötilanteen sisäilma- ja FLEC-mittausten jälkeen otettiin koehuoneiden 1...3 lattiabetonista materiaalinäytteitä viideltä eri syvyydeltä; pintabetonista 30 ja 55...60 millimetrin syvyydeltä sekä runkobetonista 60...70, 90 ja 120 millimetrin syvyydeltä läheltä kunkin tilan käytävän puoleista väliseinää. Betonimuruset irrotettiin rakenteesta poravasaraa käyttäen. Piikkausterä puhdistettiin 70 % etanolilla ennen näytteenottoa. Betonimuruset uutettiin välittömästi irrottamisen jälkeen laboratorion toimittamiin koeputkiin, joissa eluenttina oli metanolia. Näytteistä analysoitiin vain tiettyjä yhdisteitä, joita pidetään lattioiden muovipäällysteiden alkalisen hajoamisen indikaattorina, kuten 1-butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli ja C₉-alkoholit. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten syvälle betonirakenteeseen muovipäällysteiden hajoamistuotteet olivat imeytyneet.

Lähtötilannemittausten jälkeen kaikissa koehuoneissa suoritettiin tutkimussuunnitelman mukaiset lattianpäällysteiden purkutoimenpiteet sisältäen liiman ja tasoitekerroksen hionnan tai jyrynnän yhteen tai kahteen kertaan ristikkäisiin suuntiin. Betonipinnan erilaisten purkutoimenpiteiden ja niillä aikaansaadun betonipinnan erilaisen karheuden tarkoituksena oli selvittää käytetyn menetelmän vaikutusta VOC-yhdisteiden haihtumiseen. Tiloissa oli purkutöiden ja niiden jälkeisen tuuletusjakson aikana tehostettu ilmanvaihto. Kiinteistön omat ilmanvaihdon pääte-elimet suljettiin tiiviisti muovikalvolla ja teippaamalla. Ilma johdettiin rakennuskäyttöön tarkoitetuilla alipaineistajilla huonekohtaisesti suoraan ulos ikkuna-aukoista ja korvausilma otettiin käytävältä.

Kolmen vuorokauden tuuletusajan jälkeen suoritettiin seuraavat VOC-mittaukset sisäilmasta ja hiotun tai jyrityn betonirakenteen pinnasta FLEC-menetelmällä. Tarkoituksena oli selvittää tehostetun ilmanvaihdon

merkitystä ja riittävyttä lattiabetonista sisäilmaan emittoituvien yhdisteiden laimentamiseksi sekä määrittää lattiabetonin emissio kussakin mallihuoneessa. Tehostettua ilmanvaihtoa ja lattiabetonin VOC-tuuletusta jatkettiin mallihuoneissa 1 ja 2.

Mallihuoneen 3 lattian betonipinta jaettiin vyöhykkeisiin ja kapseloitiin kolmen eri valmistajan höyrynsulkuepoksilla. Tavoitteena oli selvittää eri valmistajien tuotteiden ominaisuuksia ja työstettävyyttä sekä kapselointivaikutusta. Jotta kapselointiepoksien eroja ja kapselointivaikutusta yleensä voitiin arvioida, lattiaa ei muista mallihuoneista poiketen päällystetty uudella muovimatolla.

Mallihuoneessa 4 toteutettiin niin sanottu pikakorjaus, jolloin lattian betonipinta käsiteltiin kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen pohjustimella ja tasoitettiin sekä päällystettiin tasoitteen kuivumisajan jälkeen tiiviillä PU-pinnoitetulla julkisen tilan muovimatolla. Tasoitteen riittävä kuivumisaika ja päällystettävyyden varmistettiin kosteudenmittauksella, joka suoritettiin näytepalamenetelmällä. Pikakorjaus valittiin yhdeksi korjausmenetelmäksi, koska eräissä kohteissa on todettu sisäilmaongelman uusiutuneen vaurioituneen lattianpäällysteen uusimisen jälkeen. Mallikorjauksella pyrittiin selvittämään onko lyhyt tuuletusaika yhdessä hyvin tiiviin muovipäällysteen kanssa riittävän tehokas menetelmä estämään alusbetoniin imeytyneiden VOC-yhdisteiden aiheuttaman sisäilmahaitan.

Uuden muovipäällysteen ja kapselointiepoksien asentamisen jälkeen mallihuoneissa 3 ja 4 palautettiin toimistotilan normaali ilmanvaihto. Mallihuoneiden 1 ja 2 VOC-tuuletusta ja tehostettua ilmanvaihtoa jatkettiin kolmen ja kuuden viikon seurantajaksojen ajan, jolloin tiloista mitattiin sisäilman VOC-pitoisuudet sekä lattiabetonin pintatuotto FLEC-menetelmällä. Kuuden viikon tuuletusjakson päättymisen jälkeen mallihuoneiden 1 ja 2 lattiabetoni pohjustettiin, tasoitettiin ja päällystettiin kuten mallihuone 4.

Puolen vuoden tasaantumisjakson jälkeen uusien rakennusmateriaalien primääriemissioiden arveltiin vakiintuneen, jolloin kussakin mallihuoneessa suoritettiin seurantamittaukset. VOC-yhdisteet mitattiin sisäilmasta sekä materiaaliemissiot FLEC-menetelmällä. Mallihuoneista 1, 2 ja 4 otettiin rinnakkaiset FLEC-näytteet samoista kohdista kuin lähtötilanne- ja tuuletusjakson mittauksissa. Mallihuoneessa 3 mittaukset tehtiin kaikkien kolmen kapselointiepoksin päältä. Lisäksi mallihuoneissa 1, 2 ja 4 tehtiin kosteudenmittaus niin sanottuna viiltomittauksena lattian muovipäällysteen alta.

Mallihuoneiden 1...4 tutkimussuunnitelmat sekä niissä rakennusurakoitsijan toimesta tehtävät toimenpiteet on koottu oheen myös taulukkomuotoon (Taulukko 13 ... Taulukko 16).

Taulukko 13. Mallihuoneen 1 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

MALLIHUONE 1		
Jyrsintä yhteen kertaan, 6 viikon tuuletus, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Alkuperäisen muovipäällysteen FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet. Betonin kosteusjakauma viilto- ja porareikämittauksena.	Tilan osastointi ja tehostettu ilmanvaihto. Muovipäällysteen poisto. Liiman ja tasoitteen jyrsintä yhteen kertaan ~ 2 mm.
3 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet.	Tehostettu ilmanvaihto.
3 vko	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet.	Tehostettu ilmanvaihto.
6 vko	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet. Päällystettävyyssmittaukset näytepalamenetelmällä.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
8 kk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet. Kosteus maton alta viiltomittauksena.	Normaali tsto ilmanvaihto.

Taulukko 14. Mallihuoneen 2 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

MALLIHUONE 2		
Jyrsintä kahteen kertaan ristikkäin, 6 viikon tuuletus, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Alkuperäisen muovipäällysteen FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet. Betonin kosteusjakauma viilto- ja porareikämittauksena.	Tilan osastointi ja tehostettu ilmanvaihto. Muovipäällysteen poisto. Liiman ja tasoitteen jyrsintä ristikkäin kahteen kertaan ~ 5 mm.
3 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet.	Tehostettu ilmanvaihto.
Taulukko jatkuu seuraavalle sivulle.		

MALLIHUONE 2		
Jyrsintä kahteen kertaan ristikkäin, 6 viikon tuuletus, uusi muovipäällyste		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
3 vko	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet.	Tehostettu ilmanvaihto.
6 vko	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet. Päällystettävyyssmittaukset näytepalamenetelmällä.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
8 kk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet. Kosteus maton alta viiltomittauksena.	Normaali tsto ilmanvaihto.

Taulukko 15. Mallihuoneen 3 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

MALLIHUONE 3		
Jyrsintä yhteen kertaan, 3 vuorokauden tuuletus, kapselointiepoksi		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Alkuperäisen muovipäällysteen FLEC-näytteet. Betonin VOC-näytteet. Betonin kosteusjakauma viilto- ja porareikämittauksena.	Tilan osastointi ja tehostettu ilmanvaihto. Muovipäällysteen poisto. Liiman ja tasoitteen jyrsintä yhteen kertaan ~ 2 mm.
3 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet.	Epoksien asentaminen. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
8 kk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Kapselointiepoksien FLEC-näytteet.	Normaali tsto ilmanvaihto.

Taulukko 16. Mallihuoneen 4 tutkimussuunnitelma sekä tehtävät korjaustoimenpiteet.

MALLIHUONE 4		
Hionta, 3 vuorokauden tuuletus, uusi muovipäällyste (ns. pikakorjaus)		
AIKA	TUTKIMUKSET	TOIMENPITEET
0 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Alkuperäisen muovipäällysteen FLEC-näytteet.	Tilan osastointi ja tehostettu ilmanvaihto. Muovipäällysteen poisto. Liiman ja tasoitteen hionta.
3 vrk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Betonipinnan FLEC-näytteet. Päällystettävyyssmittaukset näytepalamenetelmällä.	Pohjuste ja tasoite. Uuden muovipäällysteen asentaminen tasoitteen kuivuttua. Osastoinnin purkaminen ja normaali tsto ilmanvaihto.
8 kk	Sisäilman lämpötila ja kosteus. VOC-sisäilmanäytteet. Uuden muovipäällysteen FLEC-näytteet. Kosteus maton alta viiltomittauksena.	Normaali tsto ilmanvaihto.

5 MALLIKORJAUSTEN TULOKSET

5.1 Koekappaleiden mallikorjausten tulokset

5.1.1 Lattiabetoniin imeytyneet VOC-yhdisteet

Lattiabetoniin imeytyneitä VOC-yhdisteitä tutkittiin lähtötilanteessa kolmelta eri syvyydeltä sen selvittämiseksi miten syväälle yhdisteet olivat betoniin imeytyneet ja kuinka suurina pitoisuuksina. Mittaukset toistettiin kunkin laattaparin käsittely-yhdistelmien jälkeen sen selvittämiseksi miten tehokkaasti VOC-yhdisteet olivat haihtuneet tuuletusjakson aikana. Betoninäytteet otettiin syvyyksiltä 5...10, 25...30 ja 45...50 mm. Tulosten esittämisen yhteydessä taulukoissa käytetään lukuarvoja 10, 30 ja 50 mm.

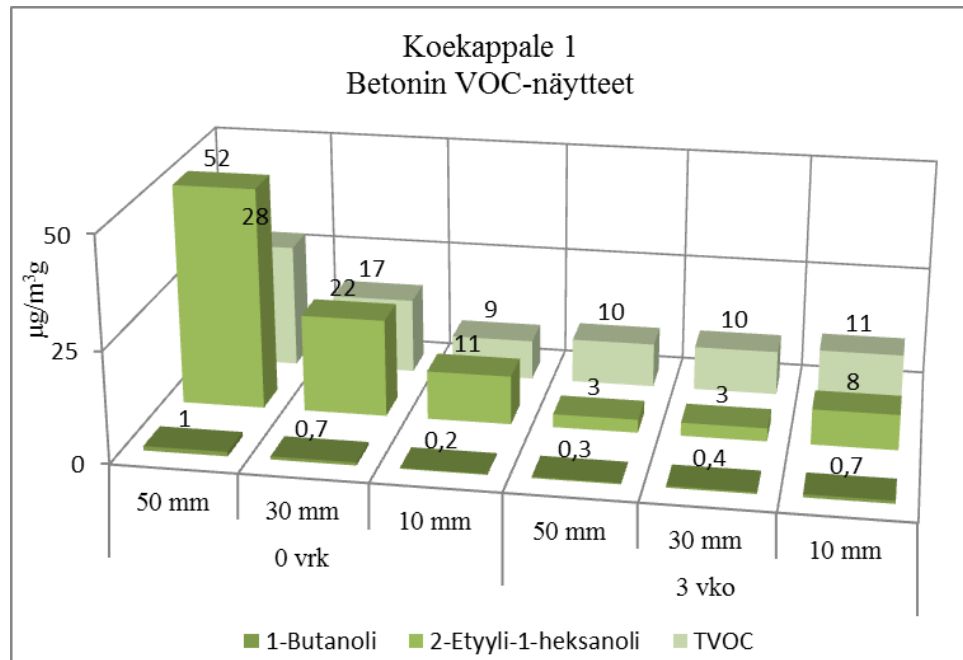
Koska VOC-näytteet analysoitiin betonirakenteesta irrotetuista murusista kammiomenetelmällä, tulokset on esitetty yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, joka kuvaa näytteistä emittoituvaa pitoisuutta tutkimuskammioon, ei VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuutta tietyllä syvyydellä. Tutkimusmenetelmälle ei ole käytettävissä viitearvoja, eivätkä tulokset ole vertailukelpoisia jäljempänä käsitellyn toisen tutkimushankkeen tulosten kanssa. Tarkasteltavat yhdisteet ovat lattioiden muovipäällysteiden ja niiden kiinnitysliimojen alkalisen hajoamisreaktion indikaattoriyhdisteinä pidetyt 1-butanoli ja 2-etyyli-1-heksanoli sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus. Yhdisteiden pitoisuus on esitetty niiden omalla vasteella.

Taulukoissa on esitetty myös betonilaattojen huokosilman suhteellinen kosteus. Kosteuden mittaamisessa käytettiin näytepalamenetelmää, jossa

kosteus mitattiin 30 millimetrin syvyydeltä VOC-materiaalinäytteenoton yhteydessä otetuista betonimurusista. Näytteet säilytettiin vuorokauden tasaantumisaikaan +20 °C lämpötilassa ennen mittaustulosten lukemista. Betonilaattojen huokosilman suhteelliset kosteudet vaihtelivat lähtötilanteessa välillä 48,9...87,5 % ja tuuletuksen jälkeen ennen päällysteen asentamista välillä 34,7...55,1 %. Hajonta eri koekappaleidan mittaustulosten välillä oli hyvin suuri. Kaikkien koekappaleiden suhteelliset kosteuden alenivat tuuletusjaksolla 12,9...43,2 %-yksikköä.

Kuvio 1 ja Kuvio 2 esittävät laattaparin 1 ja 2 materiaalinäytteiden mittaustulokset lähtötilanteessa sekä kolmen viikon tuuletusjakson jälkeen. Laattaparin korjauskäsittelynä oli syklinen lämmittäminen tasolämmittimellä 60 °C ja jäädyttäminen toimitustilan normaaliin lämpötilaan kuuden tunnin lämmitys- ja jäädytysjaksoissa.

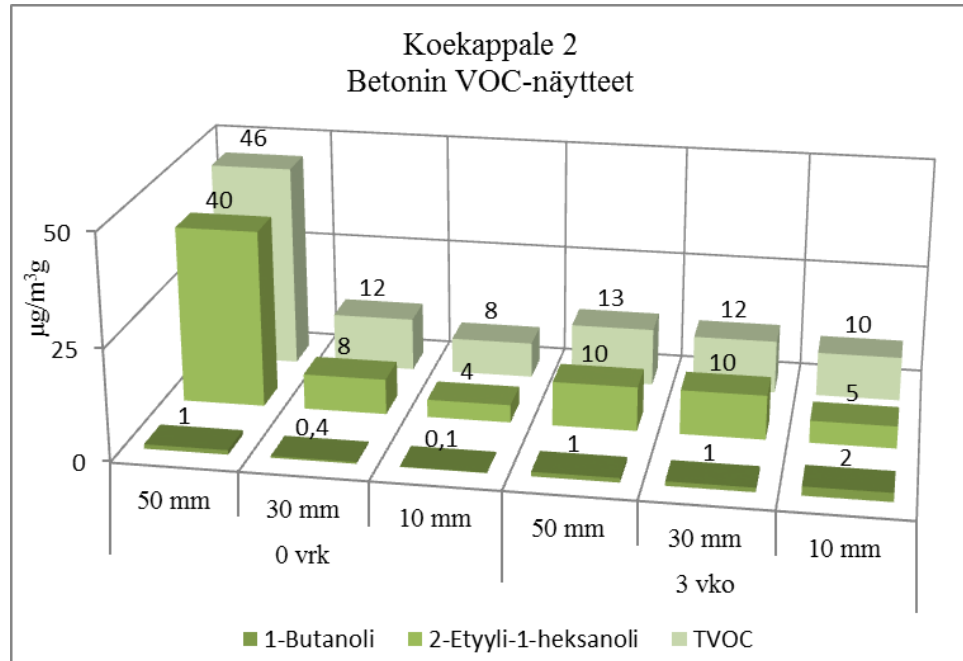
Molempien koekappaleiden mittaustulokset korreloivat hyvin keskenään. Lähtötilanteessa voitiin havaita, että 2-etyyli-1-heksanolin emissio oli suurin 50 mm syvyydessä pitoisuuksien ollessa 52 ja 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Pitoisuudet pienenevät nopeasti rakenteen pintaosissa, mikä selittyy ainakin osin sillä, että koekappaleiden muovipäällyste oli poistettu noin kuukautta aikaisemmin. 2-Etyyli-1-heksanolin emissio 10 mm syvyydessä oli rinnakkaisissa näytteissä 11 ja 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Emissioiden TVOC-pitoisuudet olivat 50 mm syvyydessä 28 ja 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 30 mm syvyydessä 9 ja 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 1-Butanolin emissiot olivat kaikissa lähtötilanteen näytteissä erittäin alhaisia, 1,0...0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.



Kuvio 1. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 1 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

Kolmen viikon tuuletusjakson jälkeen VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat tasaantuneet hyvin koko rakenteessa. 2-Etyyli-1-heksanolin emissiot olivat eri syvyyksiltä otetuissa näytteissä enintään 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 1-butanolin pitoisuudet olivat tuuletusjakson jälkeen 0,3...2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Tulosten pieni nou-

su voi selittyä hyvin pienten pitoisuuksien näytteenoton- ja analyysimenetelmän epätarkkuuksilla. TVOC-emissiot olivat kaikissa näytteissä välillä 10...13 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.

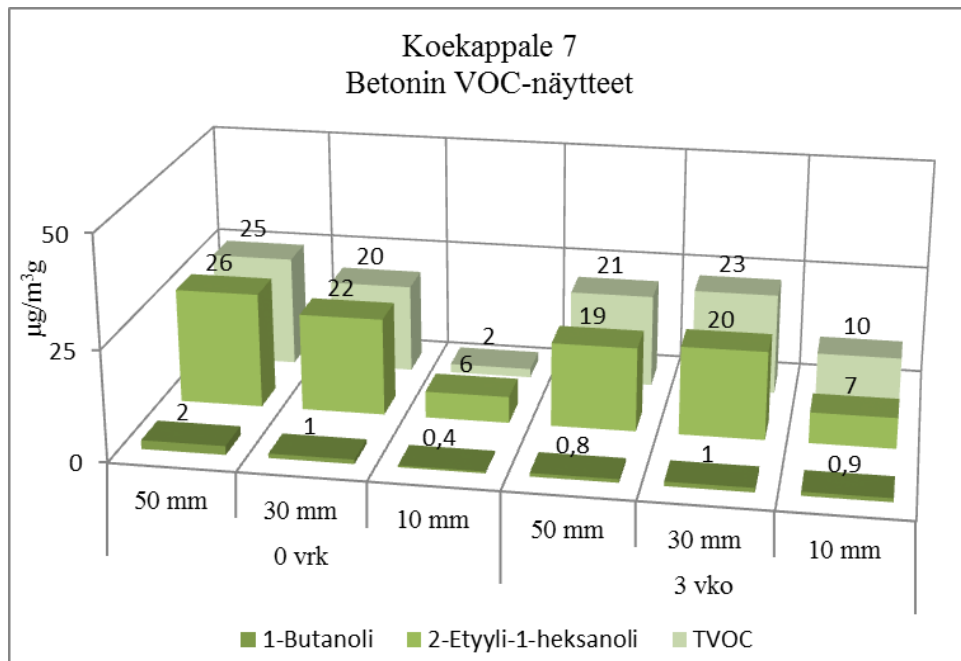


Kuvio 2. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 2 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

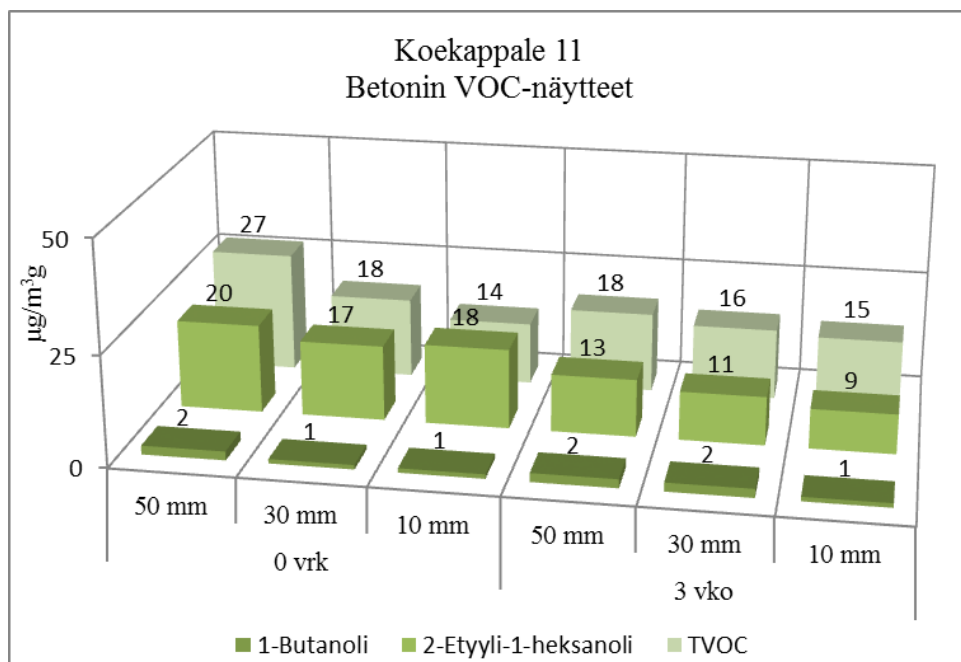
Laattaparin 7 ja 11 materiaalinäytteiden mittaustulokset eri syvyyksiltä lähtötilanteessa ja kolmen viikon kuluttua on esitetty ohessa, Kuvio 3 ja Kuvio 4. Käsittely-yhdistelmänä oli lämmitys 30 °C huonelämpötilaa nostamalla ja tuulettaminen kolmen viikon ajan.

Valitun laattaparin VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat lähtötilanteessa hyvin yhtenevät ja korrelaatio oli selvästi havaittavissa. 1-Butanolin emissiot olivat kaikissa näytteissä hyvin alhaiset, joten niiden tuloksia ei käsitellä tarkemmin. Sekä TVOC- että 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuus oli lähtötilannemittauksissa 50 mm syvyydessä suurempi kuin lähempänä rakenteen pintaosaa. TVOC-emissiot olivat 50 mm syvyydessä 25 ja 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin emissio 26 ja 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 10 mm syvyydessä TVOC-emissiot olivat ainoastaan 2 ja 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin emissio 6 ja 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.

Koekappaleen 7 TVOC-emissio tuulettamisajan jälkeen oli 50 ja 30 mm syvyydessä 21 ja 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ sekä 10 mm syvyydessä 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuudet olivat 19 ja 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ sekä 10 mm syvyydessä 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Rinnakkaisen koekappaleen 11 TVOC-emissiot mittaustulokset olivat hyvin tasaiset alentuen 18...15 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ rakenteen pintaosaa kohden ja 2-etyyli-1-heksanolin 13...9 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ alentuen samoin rakenteen pintaosaa kohden.

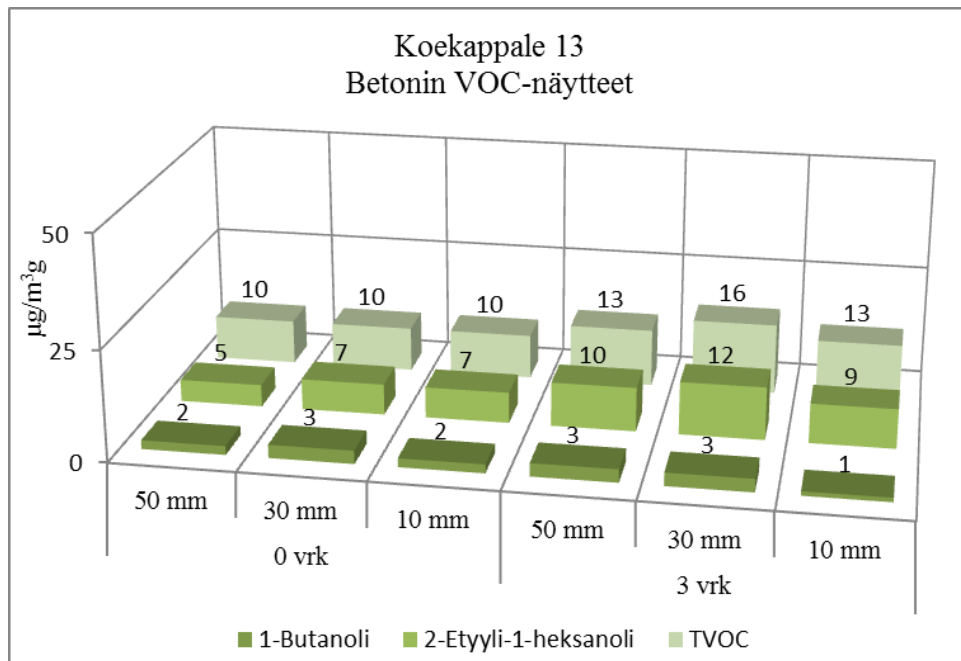


Kuvio 3. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 7 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

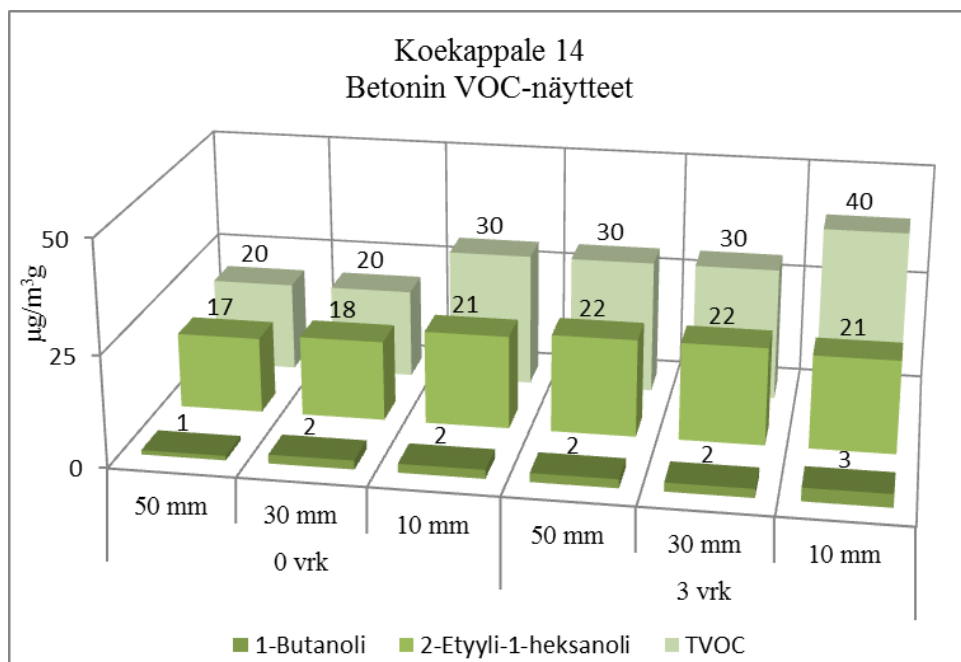


Kuvio 4. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 11 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

Koekappaleille 13 ja 14 tehtiin niin sanottu kolmen vuorokauden pikakorjaus. Tuuletusjakson aikana laattapareja säilytettiin normaalissa toimistotilan lämpötilassa, jonka jälkeen ne päällystettiin uudella julkisen tilan muovimatolla. Muista koekappaleista poiketen muovipäällyste poistettiin vasta mallikorjausten yhteydessä. Laattaparin betoninäytteet otettiin lähtötilanteessa ja kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen. Kuvio 5 ja Kuvio 6 esittävät koekappaleiden betoniin imeytyneiden VOC-yhdisteiden mittaukselliset tulokset.



Kuvio 5. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 13 ennen tuuletusta ja kolmen vuorokauden jälkeen.



Kuvio 6. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 14 ennen tuuletusta ja kolmen vuorokauden jälkeen.

Lähtötilanteessa koekappaleen 13 VOC-yhdisteiden emissiot olivat hyvin tasaisia eri syvyyksillä. Yhdisteiden kokonaisemissio oli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ kaikilla tutkituilla syvyyksillä. 2-Etyyli-1-heksanolin pitoisuus oli alhaisin 50 mm syvyydellä emission ollessa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja syvyyksillä 30 ja 10 mm emissiot olivat $7 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 1-Butanolin emissiot olivat kaikilla tutkituilla syvyyksillä $2...3 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen yhdisteiden pitoisuuksissa oli havaittavissa nousua. Yhdisteiden kokonaispitoisuus oli suurin 30 mm syvyydessä emission ollessa $16 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Syvyyksil-

lä 50 ja 10 mm kokonaisemissio oli $13 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 2-Etyyli-1-heksanolin pitoisuus oli samoin suurin 30 mm syvyydessä emissioon ollessa $12 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Syvyyksillä 50 ja 10 mm emissiot olivat 10 ja $9 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 1-Butanolin pitoisuuksissa ei mittausepätaarkkuus huomioiden ollut havaittavissa merkittävää muutosta emissioiden ollessa välillä $1 \dots 3 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.

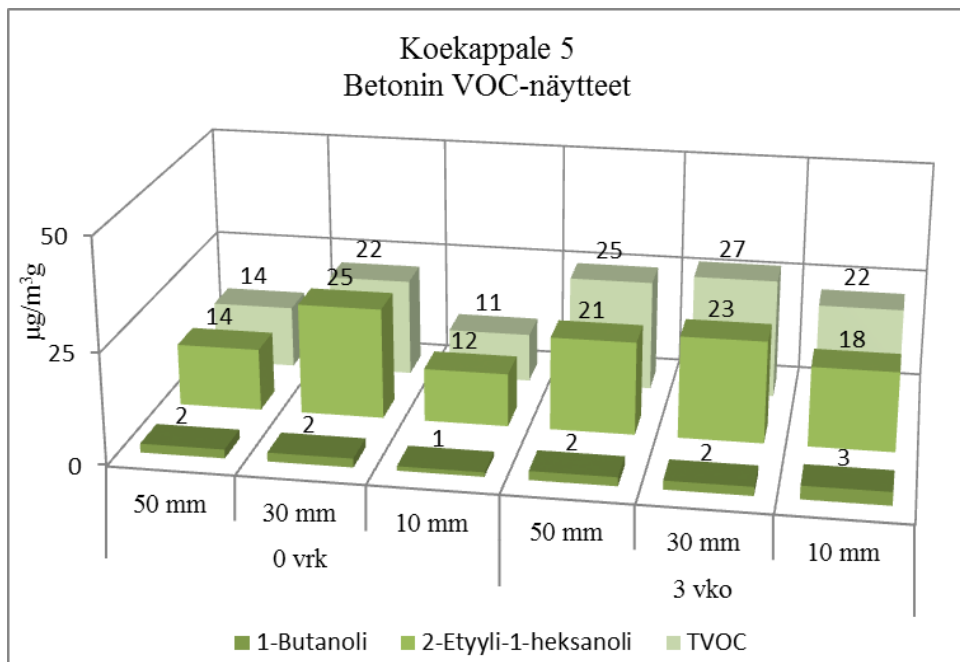
Koekappaleen 14 mittaustulokset olivat hyvin samankaltaiset toisen tutkitun laatan kanssa. Lähtötilanteessa yhdisteiden kokonaispitoisuus oli syvyyksillä 50 ja 30 mm $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ pitoisuuden kasvaessa pintaa kohden, jolloin 10 mm syvyydessä emissio oli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen yhdisteiden kokonaispitoisuudessa oli kasvua siten, että 50 ja 30 mm syvyydellä emissio oli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydellä $40 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, jolloin pintaosan yhdistepitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin syvemmällä rakenteessa. Yksittäisistä yhdisteistä 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuudet olivat lähtötilanteessa $17 \dots 21 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen $21 \dots 22 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 1-Butanolin emissiot olivat lähtötilanteessa $1 \dots 2 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ eri syvyyksillä ja kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen $2 \dots 3 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, joten merkittävää muutosta ei ollut havaittavissa.

Laattaparille 5 ja 8 suoritettiin korjaustoimenpiteenä kolmen viikon tuuletus normaalilämmössä, jonka jälkeen laattaparit kapseloitiin höyrinsulkupeksilla ja päällystettiin julkisen tilan muovimatolla. Betonirakenteeseen imeytyneiden VOC-yhdisteiden mittaustulokset on esitetty ohessa, Kuvio 7 ja Kuvio 8.

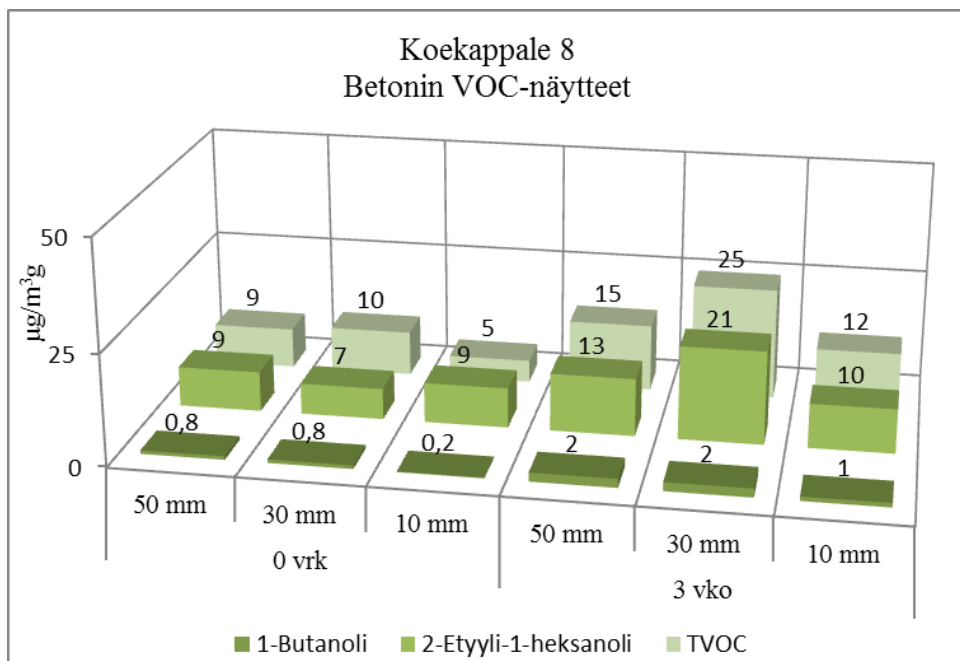
Koekappaleen 5 yhdisteiden emissioiden kokonaispitoisuudet lähtötilanteessa olivat 50 mm syvyydessä $14 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydessä $22 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydessä $11 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Kolmen viikon tuuletuksen jälkeen mittaustulokset olivat kasvaneet kaksinkertaisiksi syvyyksillä 50 ja 10 mm, 30 mm syvyydellä oli havaittavissa pientä pitoisuuden kasvua. Mittaustulokset olivat 50 mm syvyydellä $25 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydellä $27 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydellä $22 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Materiaalinäytteiden 2-Etyyli-1-heksanolin emissiossa oli havaittavissa samankaltainen jakauma eri syvyyksillä sekä pitoisuuden kasvua tuuletusjakson aikana. Lähtötilanteessa emissiot olivat 50 mm syvyydessä $14 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydessä $25 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydessä $12 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Tuuletuksen jälkeen emissiot olivat 50 mm syvyydessä $21 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydessä $23 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydessä $18 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Materiaalinäytteiden 1-Butanolin emissiot olivat hyvin alhaiset kaikissa näytteissä. Lähtötilanteessa ne olivat eri syvyyksillä $1 \dots 2 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen $2 \dots 3 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.

Laattaparin koekappaleen 8 mittaustuloksissa oli havaittavissa samankaltaisuutta, sillä yhdisteiden kokonaispitoisuuksissa oli kolmen viikon tuuletusjakson jälkeen kasvua jopa $2 \dots 3$ -kertaisesti lähtötilanteeseen verrattuna. TVOC-emissiot olivat lähtötilanteessa 50 mm syvyydessä $9 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydessä $10 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja rakenteen pintaosassa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Tuuletusjakson jälkeen emissiot olivat 50 mm syvyydessä $15 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydessä $25 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydessä $12 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Materiaalinäytteiden 2-Etyyli-1-heksanolin emissiot olivat lähtötilanteessa 50 mm syvyydessä $9 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ kasvaen tuuletusjaksolla pitoisuuteen $13 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 30

mm syvyydessä mittaustulokset olivat kasvaneet kolminkertaisiksi, sillä lähtötilanteessa emissiot olivat $7 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja tuuletuksen jälkeen $21 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Rakenteen pintaosasta otetuissa näytteissä pitoisuus pysyi lähes ennallaan kasvaen arvosta $9 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ arvoon $10 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.



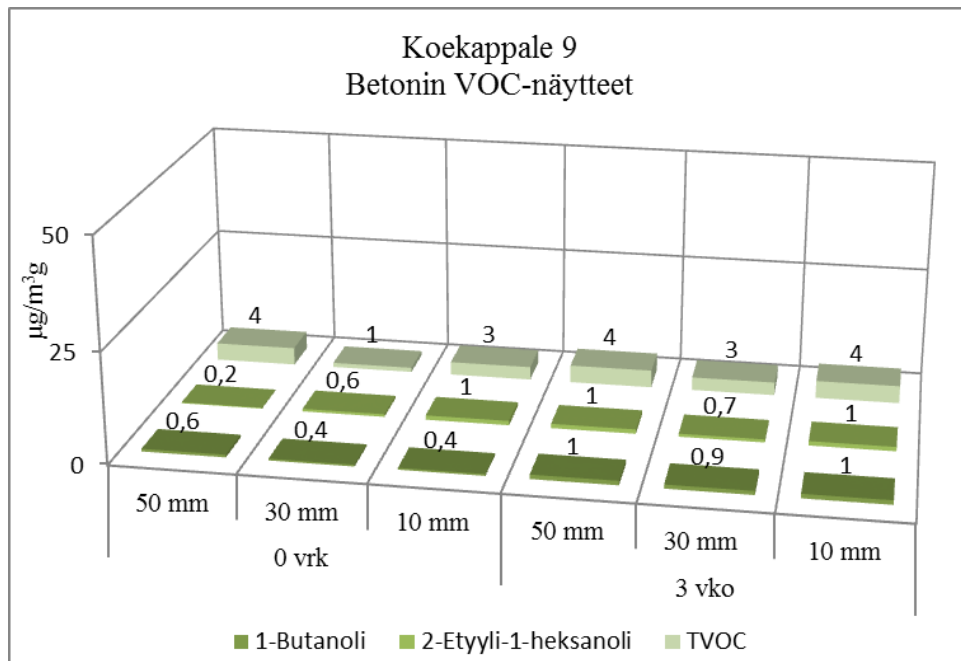
Kuvio 7. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 5 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.



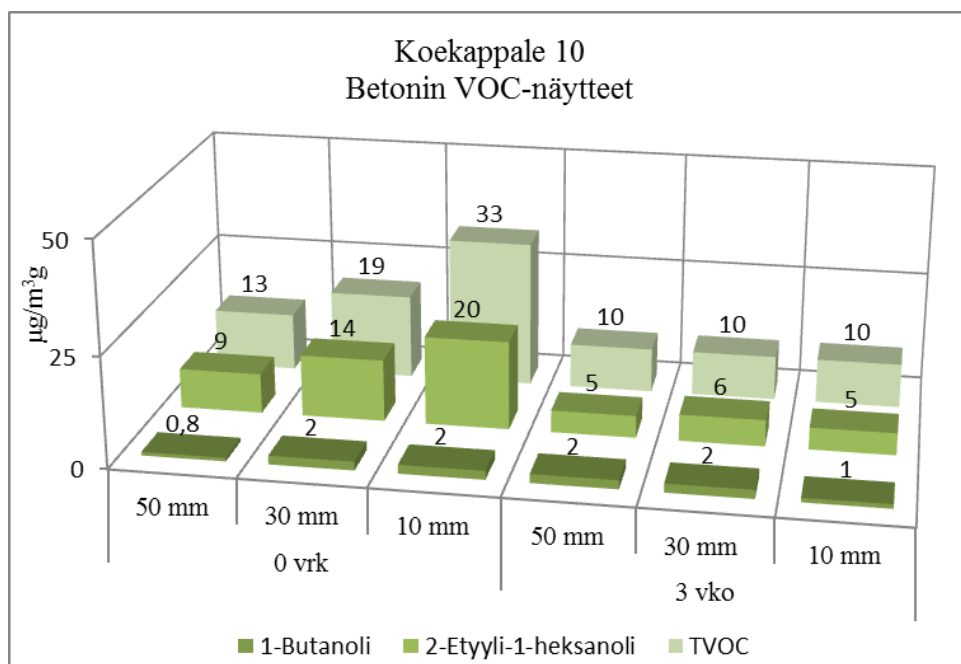
Kuvio 8. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 8 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

Koekappaleiden 9 ja 10 betonirakenteeseen imeytyneiden VOC-yhdisteiden pitoisuudet on esitetty ohessa, Kuvio 9 ja Kuvio 10. Koekappaleiden

käsittely-yhdistelmä oli kolmen viikon tuuletus normaalilämmössä ja päällystäminen julkisen tilan muovimatolla.



Kuvio 9. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 9 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.



Kuvio 10. VOC- materiaalinäytteiden tulokset eri syvyyksiltä koekappaleesta 10 ennen tuuletusta ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

Koekappaleen 9 materiaalinäytteiden yhdistepitoisuudet olivat erittäin alhaisia yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksien ollessa aivan laboratorioanalyysien määrittämissä rajoilla. Mittaustuloksista ei siten voitu tehdä mitään merkittäviä johtopäätöksiä. Mittaustulokset ovat täysin muista koekappaleista poikkeavia yhdisteiden vähäisen määrän vuoksi. TVOC-emissiot olivat

lähtötilanteessa välillä 1...4 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen 3...4 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.

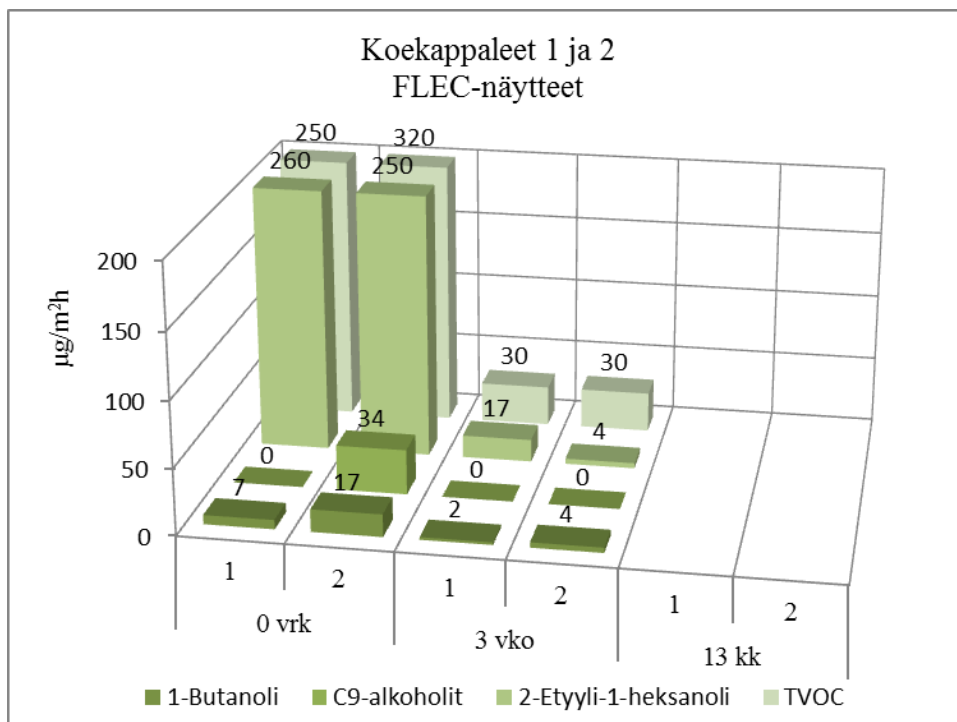
Koekappaleen 10 materiaaliemissioiden mittaustulokset poikkeavat laattaparista 5 ja 8, joille tehtiin samoin kolmen viikon tuuletus huoneenlämmössä. Yhdisteiden pitoisuudet olivat kolmen viikon tuuletusjaksolla laskeneet selvästi sekä tasaantuneet läpi koko rakenteen. Lähtötilanteessa yhdisteitä esiintyi eniten rakenteen pintaosassa. Materiaalinäytteiden TVOC-emissiot olivat 50 mm syvyydessä 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydessä 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydessä 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Tuuletuksen jälkeen yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat kaikilla tutkituilla syvyyksillä 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Yksittäisistä yhdisteistä 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuus oli lähtötilanteessa 50 mm syvyydellä 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$, 30 mm syvyydellä 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ ja 10 mm syvyydellä 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Tuuletuksen jälkeen pitoisuus oli tasaantunut 5...6 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. 1-Butanolin pitoisuudet olivat hyvin pieniä kaikissa näytteissä mittaustulosten ollessa 1...2 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$.

5.1.2 Emissionmittaukset FLEC-menetelmällä

Kaikille betonilaatoille määritettiin VOC-yhdisteiden emissiot hiotulta betonipinnalta FLEC-menetelmällä sekä lähtötilanteessa että kolmen vuorokauden tai kolmen viikon tuuletusajan jälkeen. Muille kuin lämpökäsittelyille laattapareille tehtiin seurantatutkimus vuoden kuluttua päällysteen asentamisen jälkeen. Tässä yhteydessä tehtiin mittaukset myös lasilevyn päälle tehdyille verrokinäytteille. Tarkasteltavat yhdisteet TVOC-emissioiden lisäksi olivat 1-butanoli, C_9 -alkoholit ja 2-etyyli-1-heksanoli.

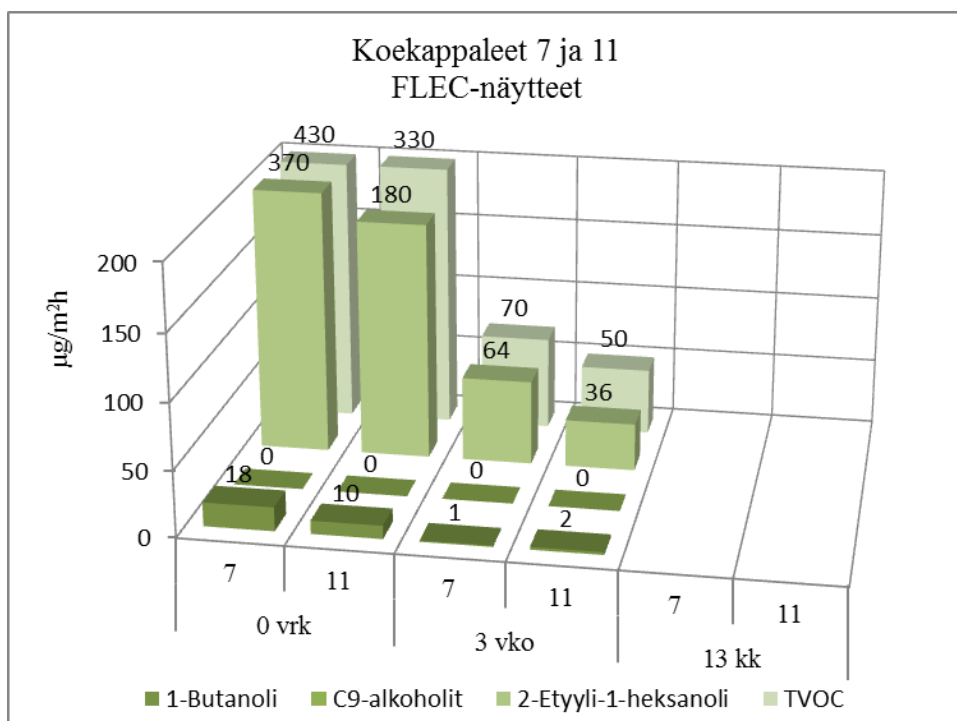
Koekappaleiden 1 ja 2 hiotulta betonipinnalta tehtyjen FLEC-mittausten tulokset on esitetty ohessa, Kuvio 11. Käsittely-yhdistelmänä oli syklinen lämmittäminen 60 °C ja jäädyttäminen huoneenlämpöön kolmen viikon ajan. Mittaustuloksista voidaan havaita laattaparin tulosten hyvin selvä korrelaatio. Lähtötilanteessa TVOC-emissiot olivat 250 ja 320 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin 260 ja 250 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. C_9 -alkoholeja emittoitui lähtötilanteessa vain koekappaleesta 2 pitoisuudella 34 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 1-Butanolin emissionopeus oli laattaparilla 7 ja 17 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Kolmen viikon lämpökäsittelyn ja tuuletuksen jälkeen TVOC-emissiot olivat vähentyneet molemmilla koekappaleilla arvoon 30 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ mikä on alle kymmenesosa alkutilanteen emissioista ja 2-etyyli-1-heksanolin emissionopeudet olivat alentuneet arvoihin 17 ja 4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, joten emissiot olivat alimmillaan vain puolitoista prosenttia lähtötilanteesta. C_9 -alkoholeja ei emittoitunut kummastakaan koekappaleesta ja 1-butanolin emissiot olivat pienentyneet arvoihin 2 ja 4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.



Kuvio 11. Mittaustulokset rinnakkaisten koekappaleiden 1 ja 2 FLEC-näytteistä ennen ja jälkeen VOC-tuuletusta.

Koekappaleiden 7 ja 11 käsittely-yhdistelmänä oli kolmen viikon tuuletus ja huonelämpötilan nostaminen noin 30 asteeseen. Hiotulta betonipinnalta otettujen FLEC-mittausten tulokset on esitetty oheassa, Kuvio 12.

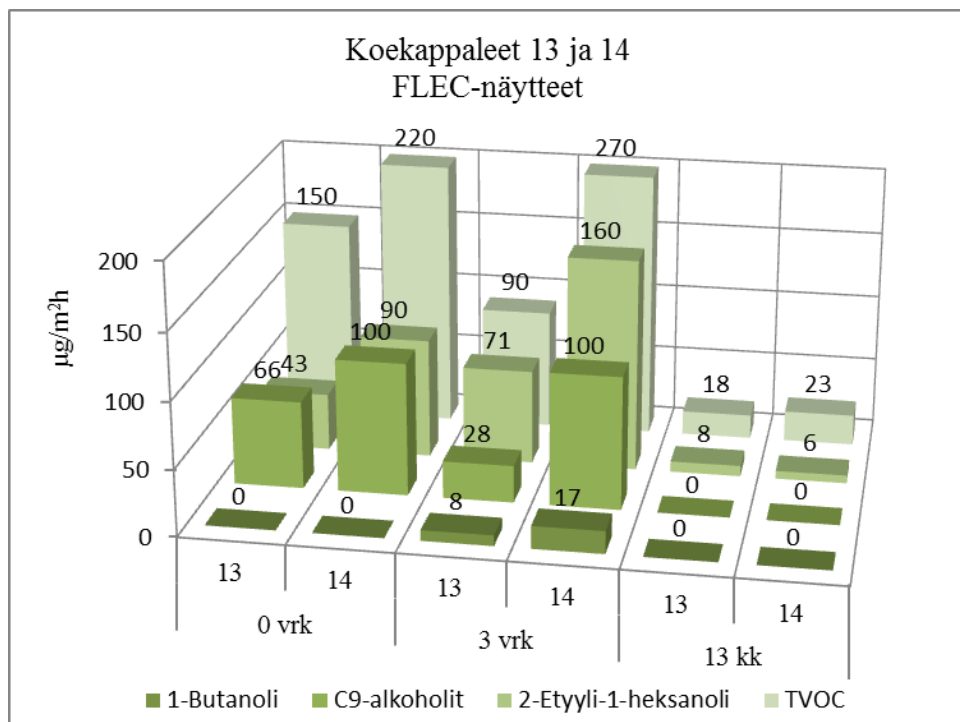


Kuvio 12. Mittaustulokset rinnakkaisten koekappaleiden 7 ja 11 FLEC-näytteistä ennen ja jälkeen VOC-tuuletusta.

Lähtötilanteen TVOC-emissionopeudet olivat laattaparilla 7 ja 11 430 ja 330 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen viikon lämpökäsittelyn ja tuuletuksen jälkeen 70 ja 50 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 2-Etyyli-1-heksanolin emissiot olivat lähtötilanteessa 370 ja 180 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen viikon jälkeen 64 ja 36 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. C₉-alkoholeja ei havaittu yhdessäkään mittaustuloksessa. 1-Butanolin emissiot olivat lähtötilanteessa 18 ja 10 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ alentuena kolmen viikon tuuletuksen jälkeen arvoihin 1 ja 2 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Mittaustuloksissa voidaan havaita selvä korrelaatio. Molempien koekappaleiden TVOC-emissio oli pienentynyt korjauskäsittelyn jälkeen noin kuudesosaan lähtötilanteesta ja 2-etyyli-1-heksanolin emissionopeus viides- tai kuudesosaan lähtötilanteesta.

Koekappaleille 13 ja 14 tehtiin niin sanottu pikakorjaus, jolloin hiotun betonipinnan tuuletusaika oli vain kolme vuorokautta normaalissa huoneenlämmössä. Lähtötilanteessa ja tuuletusajan jälkeen FLEC-näytteet otettiin hiotulta betonipinnalta. Koekappaleille tehtiin myös seurantatutkimus noin vuoden kuluttua korjaustoimenpiteistä. Tällöin FLEC-näytteet otettiin uuden muovipäällysteen päältä. Tulokset on esitetty ohessa, Kuvio 13.



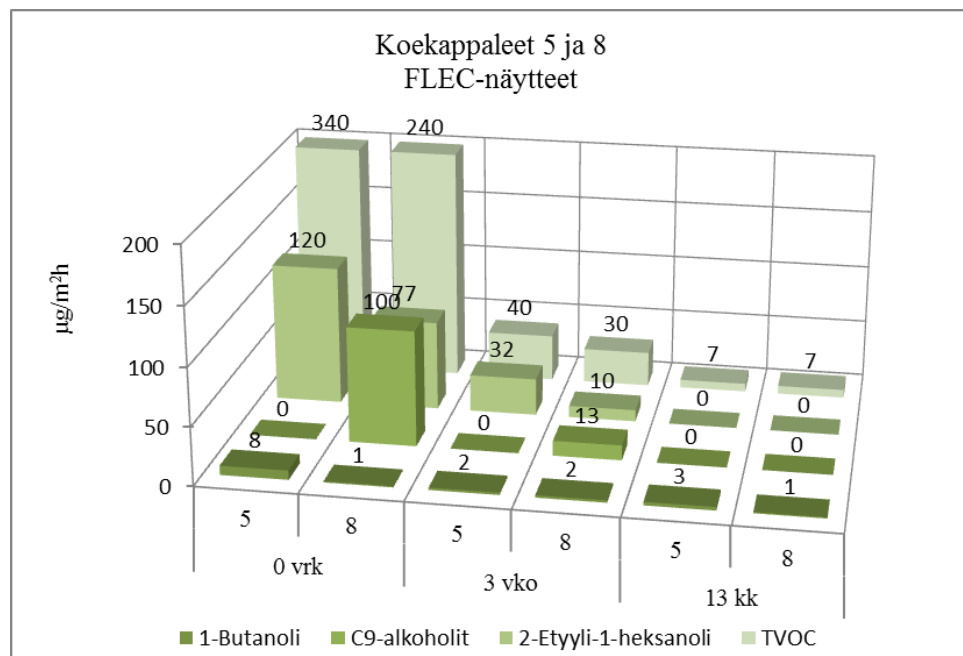
Kuvio 13. Mittaustulokset rinnakkaisten koekappaleiden 13 ja 14 FLEC-näytteistä ennen ja jälkeen VOC-tuuletusta sekä vuoden kuluttua tehdyssä seurantatutkimuksessa.

Lähtötilannemittauksissa koekappaleiden 13 ja 14 TVOC-emissiot olivat 150 ja 220 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen vuorokauden jälkeen rinnakkaisten näytteiden tuloksista toinen oli laskenut arvoon 90 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ kun taas toinen oli noussut arvoon 270 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 2-etyyli-1-heksanolin emissiot olivat lähtötilanteessa 43 ja 90 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen vuorokauden jälkeen molempien näytteiden emissiot olivat nousseet arvoihin 71 ja 160 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, joten emissiot lisääntyivät noin kuusikymmentä prosenttia. C₉-alkoholeja emittoitui lähtötilanteessa 66 ja 100 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Kolmen vuorokauden tuuletuksen jäl-

keen koekappaleen 13 emissiot olivat alle kaksi viidesosaa lähtötilanteesta mittaustuloksen ollessa $28 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ kun taas koekappaleen 14 emissioissa ei ollut tapahtunut muutosta. 1-Butanolin emissioita ei lähtötilannemittauksissa todettu mutta kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen sitä emittoitui 8 ja $17 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Vuoden tasaantumisaajan jälkeen tehdyissä seurantamittauksissa TVOC-emissiot uuden muovipäällysteen päältä mitattuna olivat 18 ja $23 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin emissiot olivat 8 ja $6 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. C₉-alkoholeja ja 1-butanolia ei emissiomittauksissa todettu.

Koekappaleita 5 ja 8 tuuletettiin kolme viikkoa normaalissa huoneenlämmössä, jonka jälkeen betonipinta kapseloitiin höyrynsulkupeksilla ja asennettiin uusi lattian muovipäällyste. Hiottun betonipinnan VOC-emissiot mitattiin lähtötilanteessa sekä kolmen viikon tuuletuksen jälkeen. Seurantatutkimukset tehtiin uuden muovipäällysteen päältä. Mittaustulokset on esitetty oheassa, Kuvio 14.

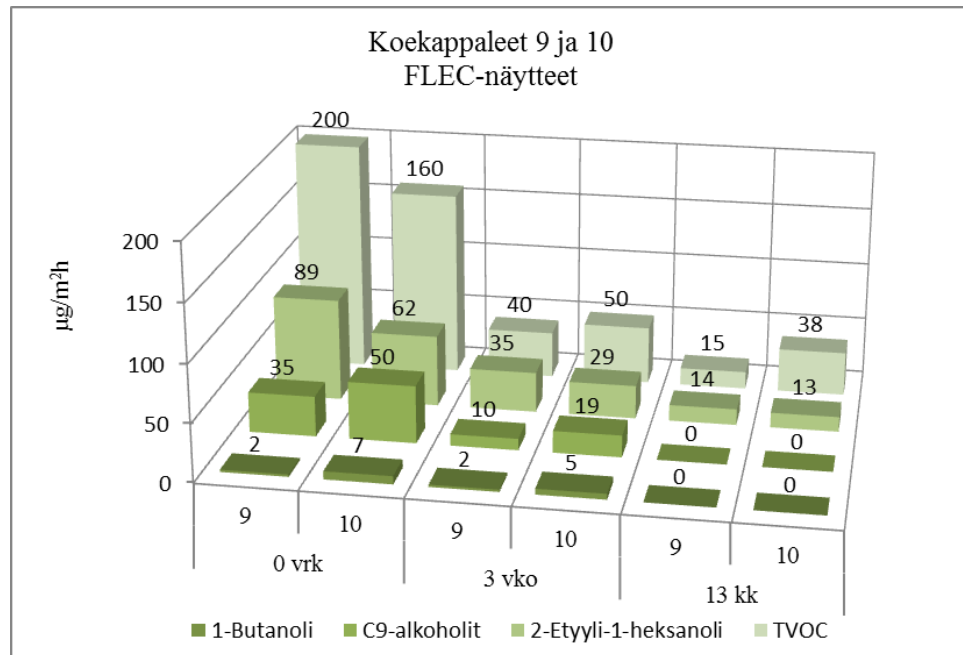


Kuvio 14. Mittaustulokset rinnakkaisten koekappaleiden 5 ja 8 FLEC-näytteistä ennen ja jälkeen VOC-tuuletusta sekä vuoden kuluttua tehdyssä seurantatutkimuksessa.

Lähtötilannemittauksissa koekappaleiden TVOC-emissiot olivat 340 ja $240 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Molempien koekappaleiden emissioiden mittaustulokset alentuivat kolmen viikon tuuletuksen jälkeen noin kahdeksasosaan ollessa 40 ja $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 2-etyyli-1-heksanolin emissionopeudet olivat lähtötilanteessa 120 ja $77 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Koekappaleen 5 emissio väheni kolmen viikon aikana neljännekseen mittaustuloksen ollessa $32 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja koekappaleen 8 emissio oli $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ alentuessa kahdeksasosaan. C₉-alkoholeja emittoitui ainoastaan koekappaleesta 8. Lähtötilanteessa emissionopeus oli $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen noin kahdeksasosa eli $13 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Seurantatutkimuksissa vuoden tasaantumisaajan jälkeen muovipäällysteen päältä mitattu TVOC-emissio oli molemmissa rinnakkaisissa näytteissä 7 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Indikaattoriyhdisteistä emittoitui ainoastaan 1-butanolia emissionopeuksilla 3 ja 1 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Koekappaleiden 9 ja 10 korjaustoimenpiteiden käsittely-yhdistelmä oli muutoin sama kuin edellä olevien koekappaleiden 5 ja 8, mutta laattaparia ei kapseloitu epoksilla. Emissiot mitattiin hiotulta betonipinnalta lähtötilanteessa ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen. Seurantamittaukset tehtiin uuden muovipäällysteen päältä. FLEC-mittausten tulokset on esitetty ohessa, Kuvio 15.



Kuvio 15. Mittaustulokset rinnakkaisten koekappaleiden 9 ja 10 FLEC-näytteistä ennen ja jälkeen VOC-tuuletusta sekä vuoden kuluttua tehdyssä seurantalutkimuksessa.

Koekappaleen 9 betonirakenteen eri syvyyksiltä otettujen materiaalinäytteiden mittaustulokset olivat täysin ristiriitaisia hiotulta betonipinnalta FLEC-menetelmällä otettujen emissionäytteiden kanssa. Materiaalinäytteissä ei ollut havaittavissa VOC-yhdisteitä juuri lainkaan, mutta TVOC-emissio oli lähtötilanteessa 200 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ alentuen kolmen viikon tuuletuksen jälkeen viidesosaan emissio ollessa 40 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 2-etyyli-1-heksanolin emissio lähtötilanteessa oli 89 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja tuuletuksen jälkeen 35 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. C₉-alkoholien emissionopeus oli myös laskenut kolmen viikon jälkeen pitoisuuteen 10 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ lähtötilanteen emissioiden ollessa 35 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 1-Butanolin emissioissa ei ollut havaittavissa muutosta, sillä molempien mittausten tulokset olivat 2 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

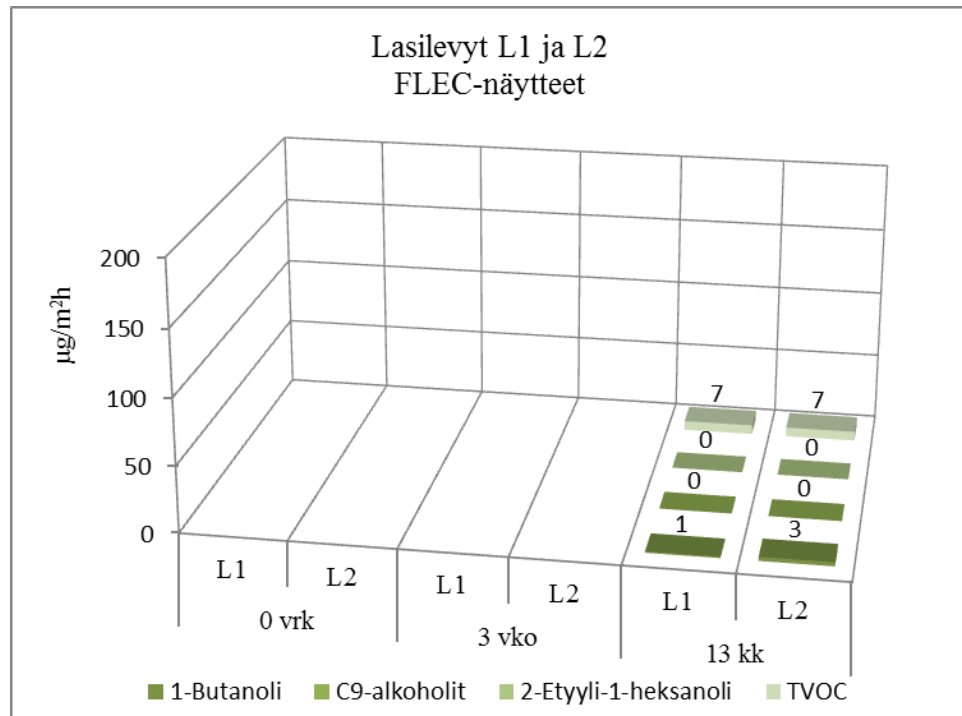
Koekappaleen 10 TVOC-emissiot hiotulta betonipinnalta olivat lähtötilanteessa 160 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen viikon tuuletuksen jälkeen 50 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Alentumaa oli siis tapahtunut noin kolmannekseen lähtötilanteesta. 2-Etyyli-1-heksanolin emissionopeus oli noin puoliintunut tuuletuksen jälkeen pitoisuuden oltua lähtötilanteessa 62 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kolmen viikon jälkeen 29

$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Samoin C_9 -alkoholien emissioissa oli huomattavaa alenemaa lähtötilanteen emissioiden ollessa $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ kolmen viikon tuuletuksen jälkeisten emissioiden ollessa $19 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 1-Butanolin lähtötilanteen emissio oli $7 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja kahden viikon tuuletuksen jälkeen $5 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Vuoden tasaantumisaajan jälkeen tehdyissä seurantatutkimuksissa koekappaleen 9 TVOC-emissiot olivat $15 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja koekappaleen 10 emissio oli $38 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, joka oli suurin tasaantumisaajan jälkeen mitattu TVOC-emissio. 2-Etyyli-1-heksanolin emissionopeudet olivat 14 ja $13 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, jotka olivat suurimmat yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet seurantatutkimuksessa. Muita indikaattoriyhdisteitä ei mittaustuloksissa ollut havaittavissa.

Lasilevyt 1 ja 2 valmistettiin verrokkinäytteiden saamiseksi ja korjauskäsitelyiden vertaamiseksi. Lasilevyt päällystettiin samalla tavoin kuin betonilaatat, eli lasilevyille tehtiin pohjustus, tasoitus ja uuden muovipäällysteen asentaminen. Lasilevyjen päälle asennettujen muovipäällysteiden emissiot mitattiin FLEC-menetelmällä ainoastaan vuoden kuluttua päällystämistä tehdyissä seurantatutkimuksissa. Kuvio 16 esittää saadut mittaustulokset, jotka edustavat muovipäällysteen primääriemissioita.

Seurantatutkimuksessa noin vuoden vanhan muovipäällysteen päältä otetuissa FLEC-näytteissä emittoituvien VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli molemmissa rinnakkaisissa näytteissä $7 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Indikaattoriyhdisteistä havaittiin ainoastaan 1-butanolia, jonka emissionopeudet rinnakkaisissa näytteissä olivat 1 ja $3 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

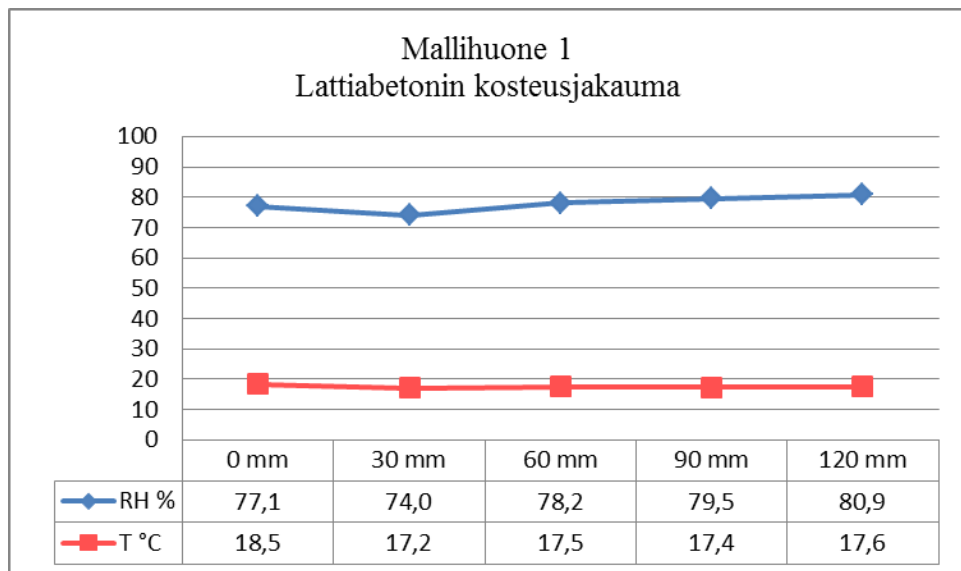


Kuvio 16. Mittaustulokset lasilevyn päälle tehtyjen rinnakkaisten koekappaleiden L1 ja L2 FLEC-näytteistä vuoden kuluttua tehdyssä seurantatutkimuksessa.

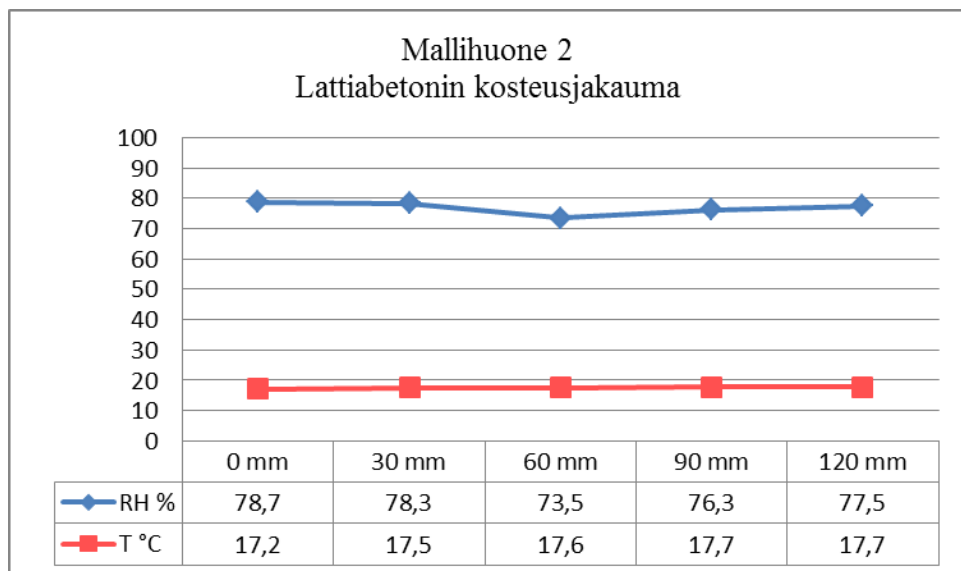
5.2 Koehuoneiden mallikorjausten tulokset

5.2.1 Lattiabetonin kosteusjakauma

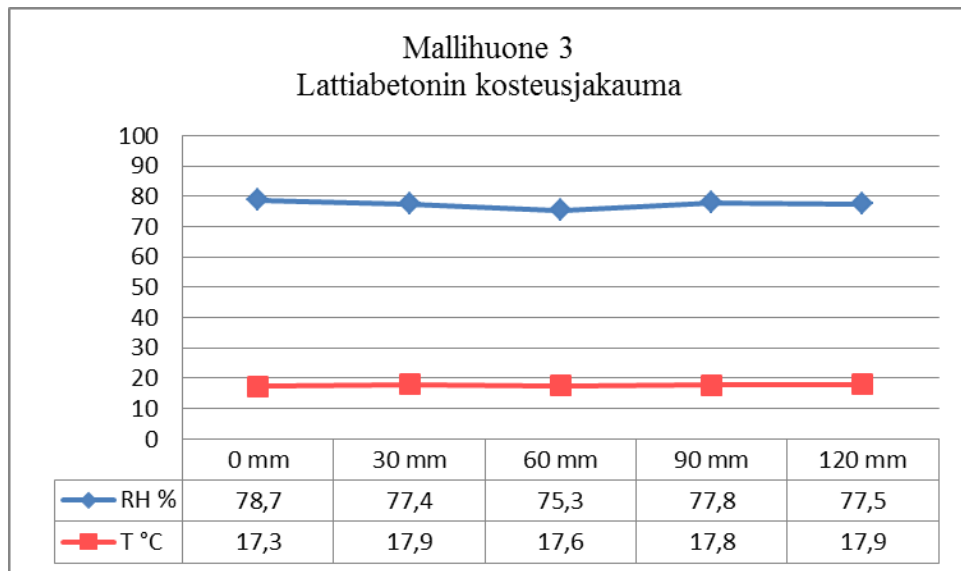
Koehuoneissa 1...3 tehtiin lähtötilanteessa kosteudenmittaus alkuperäisen muovipäällysteen alta viiltomittauksena sekä betonirakenteen eri syvyyksiltä rakenteen kosteusjakauman selvittämiseksi. Tulokset on esitetty oikeissa taulukoissa (Kuvio 17 ... Kuvio 19).



Kuvio 17. Mallihuoneen 1 lattiabetonin kosteus- ja lämpötilajakauma eri syvyyksissä.



Kuvio 18. Mallihuoneen 2 lattiabetonin kosteus- ja lämpötilajakauma eri syvyyksissä.



Kuvio 19. Mallihuoneen 3 lattiabetonin kosteus- ja lämpötilajakauma eri syvyyksissä.

Mittaustulosten mukaan massiivisen betonirakenteen ilmahuokosten suhteellinen kosteuspitoisuus oli melko tasainen vaihdellen eri mittauspisteissä ja -syvyyksissä välillä 73,5...80,9 %. Korkeimmat kosteuspitoisuudet mitattiin viiltomittauksella heti päällysteen alapuolelta mallihuoneissa 2 ja 3. Mallihuoneessa 1 kosteuspitoisuudet kasvoivat kahdesta muusta tutkimuskohdasta poiketen syvemmillä runkobetonissa. Alhainen lämpötila aiheuttaa muutaman prosenttiyksikön virheen mittaustuloksiin, jolloin lämpötilakorjaus hiukan nostaisi mittaustuloksia.

Rakenteen lämpöjakauma oli myös tasainen lämpötilan vaihdellessa välillä 17,2...18,5 °C. Lämpötila oli muutaman asteen tavanomaista huonelämpötilaa alempi, koska kiinteistön peruslämpöä oli alennettu ennen tutkimusten aloittamista.

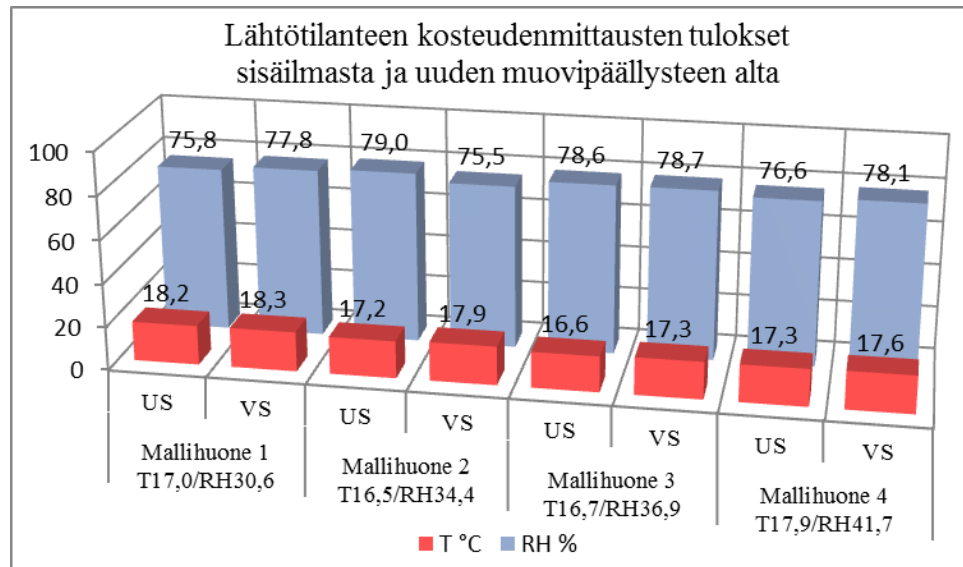
5.2.2 Muovipäällysteen alapuolinen kosteus

Lähtötilannetutkimuksissa mitattiin kaikkien mallihuoneiden alkuperäisen muovipäällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus ja lämpötila niin sanotuna viiltomittauksena samoista kohdista mistä tehtiin emissiomittaukset FLEC-menetelmällä. Toinen mittauspiste oli lähellä ulkoseinää ja toinen lähellä käytävän puoleista väliseinää. Myös sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila mitattiin. Kuvio 20 esittää lähtötilanteen kosteudenmittausten tulokset.

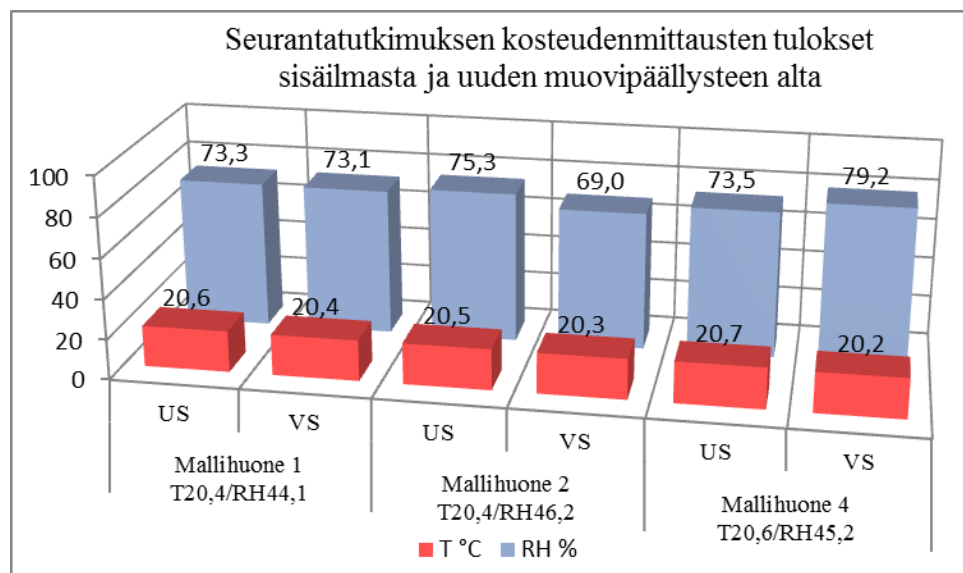
Puolen vuoden tasaantumisjakson jälkeen tehtyjen seurantamittausten yhteydessä mitattiin mallihuoneiden 1, 2 ja 4 uuden muovipäällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus ja lämpötila samoista kohdista missä lähtötilanteen kosteudenmittaukset oli tehty. Samassa yhteydessä mitattiin myös sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Mittaustulokset on koottu oheen, Kuvio 21.

Lähtötilannetutkimusten tulosten mukaan sisäilman lämpötila oli eri tilojen välillä 16,5...17,9 °C ja lattiabetonin lämpötila 16,6...18,3 °C. Sisäil-

man suhteellinen kosteus vaihteli välillä 30,6...41,7 %. Lämpötila oli seurantatutkimusten mukaan hyvin tasainen niin tutkittujen tilojen kuin sisäilman ja lattian muovipäällysteen alapuolella. Sisäilman lämpötila vaihteli välillä 20,4...20,6 °C ja muovipäällysteen alapuolinen lämpötila välillä 20,2...20,7 °C. Sisäilman suhteellinen kosteus oli seurantatutkimuksissa myös hyvin tasainen eri tiloissa vaihdellen välillä 44,1...46,2 %.



Kuvio 20. Lähtötilannetutkimusten kosteudenmittausten tulokset sisäilmasta ja uuden muovipäällysten alta viiltomittauksena.



Kuvio 21. Seurantatutkimusten kosteudenmittausten tulokset sisäilmasta ja uuden muovipäällysten alta viiltomittauksena mallihuoneissa 1, 2 ja 4.

Mallihuoneen 1 muovipäällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus oli ulkoseinän läheltä tehdyssä lähtötilannemittauksessa 75,8 % ja seurantamittauksessa 73,3 %. Kosteuden alenemaa voitiin havaita tapahtuneen 2,5 prosenttiyksikköä. Väliseinän lähellä suhteellisen kosteuden mittaustulokset olivat lähtötilanteessa 77,8 % ja seurantamittauksissa 73,1 %, joten kosteuden alenemaa oli 4,7 prosenttiyksikköä. Hajontaa eri mittauskohtien

välillä oli lähtötilanteessa 2,0 ja seurantamittauksissa 0,2 prosenttiyksikköä.

Mallihuoneessa 2 viiltomittauksella todettu muovipäällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus oli lähtötilanteessa ulkoseinän läheisyydessä olevassa tutkimuspisteessä 79,0 % väliseinän läheisyydessä 75,5 %. Seurantatutkimuksessa vastaavista kohdista saadut suhteellisen kosteuden mittaustulokset olivat 75,3 % ja 69,0 %. Muovipäällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus oli alentunut ulkoseinän läheisyydessä 3,7 prosenttiyksikköä ja väliseinän läheisyydessä 6,5 prosenttiyksikköä. Mallihuoneen kahden eri tutkimuskohdan mittaustuloksissa oli havaittavissa hajontaa lähtötilanteessa 3,5 ja seurantatutkimuksissa 6,3 prosenttiyksikköä, joka on otettava huomioon tuloksia tulkitessa.

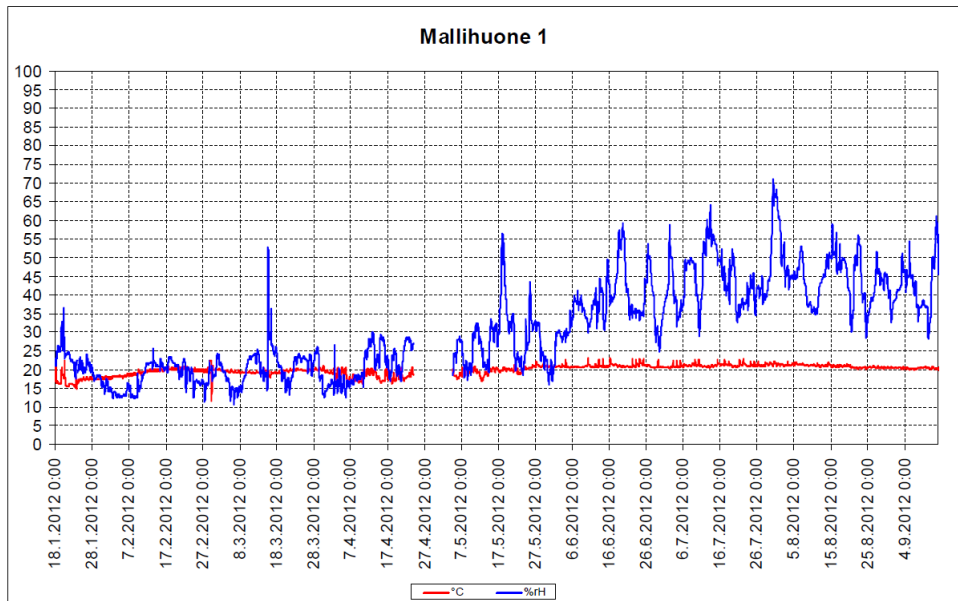
Mallihuoneessa 3 ei tehty vastaavaa seurantatutkimusta, koska tilan lattiaa ei päällystetty uudella muovimatolla. Lähtötilanteen suhteellisen kosteudenmittausten tulokset alkuperäisen muovipäällysteen alta olivat ulkoseinän läheisyydessä tehdyn mittauksen mukaan 78,6 % ja väliseinän läheltä 78,7 % hajonnan ollessa ainoastaan 0,1 prosenttiyksikköä.

Mallihuoneen 4 korjaustapaan sisältyi uuden muovipäällysteen asentaminen, joten tilassa tehtiin sekä päällysteen alapuolisen suhteellisen kosteuden lähtötilanne että seurantatutkimus. Ulkoseinän lähellä olevan tutkimuspisteen suhteellinen kosteus oli 76,6 % lähtötilanteessa ja seurantatutkimuksessa 73,5 %, joten kosteuden alenemaa oli 3,1 prosenttiyksikköä. Kaikista muista mittaustuloksista poiketen väliseinän lähellä olevan mittauspisteen tulosten mukaan päällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus oli lisääntynyt 1,1 prosenttiyksikköä. Lähtötilanteessa mittaustulos oli 78,1 % ja seurantatutkimuksessa 79,2 %. Korjaustapa poikkesi siten, että tuuletusjakso oli ainoastaan kolme vuorokautta ennen uuden lattianpäällysteen asentamista, joten lattiabetoni ei tuuletusjaksolla ehtinyt juurikaan kuivua mutta uusi lattiatasoite ja muovipäällysteen kiinnitysliima toivat siihen kosteuslisää.

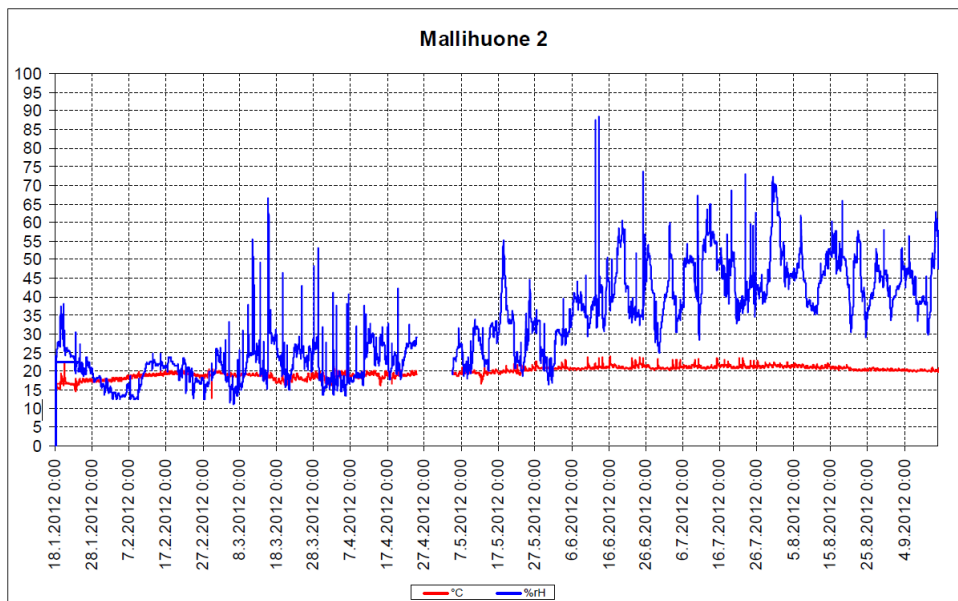
5.2.3 Sisäilmaston olosuhdeseuranta

Kaikissa mallihuoneissa suoritettiin sisäilmaston olosuhdeseuranta tallentavilla mittalaitteilla koko tutkimuksen ajan. Sisäilmasta mitattiin ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Mittaustulokset on esitetty ohessa graafisesti, Kuvio 22 ... Kuvio 25.

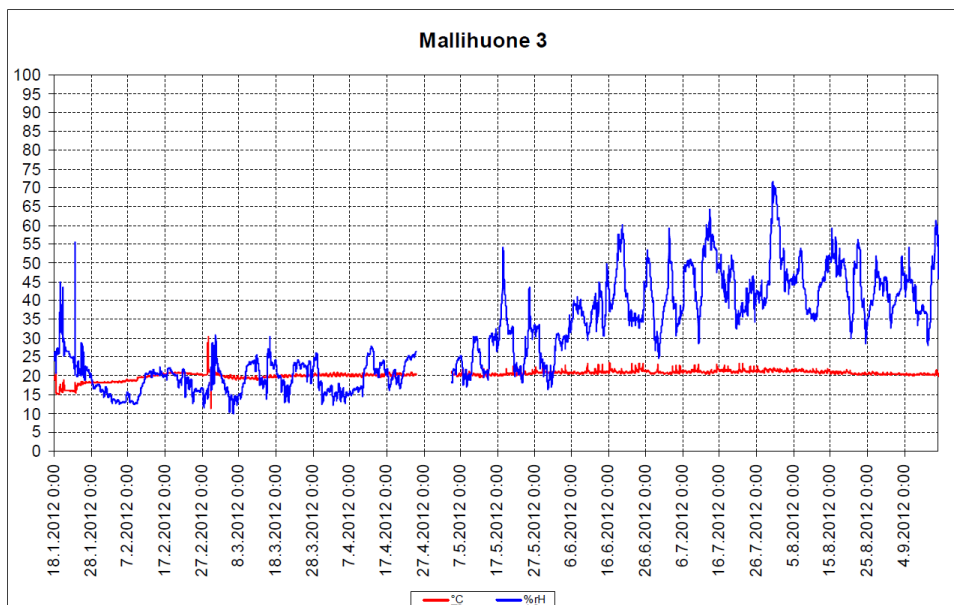
Sisäilman suhteellinen kosteus seuraa hyvin vuodenaikojen mukaista vaihtelua ollen alimmillaan talven pakkasjaksoilla noin 10...20 prosenttia. Loppukesästä sisäilman suhteellinen kosteus oli noin 50 prosenttia vuorokautisten vaihtelujen ollessa melko suuria, jolloin kussakin mallihuoneessa toistuva yksittäinen suurin mitattu sisäilman suhteellinen kosteus oli hiukan yli 70 prosenttia. Sisäilmassa ei ollut kosteuslähteitä, jotka olisivat tuoneet sisäilmaan kosteuslisää, lukuun ottamatta lyhyitä ajanjaksoja taasoitteen levittämisen yhteydessä mallihuoneissa 1, 2 ja 4.



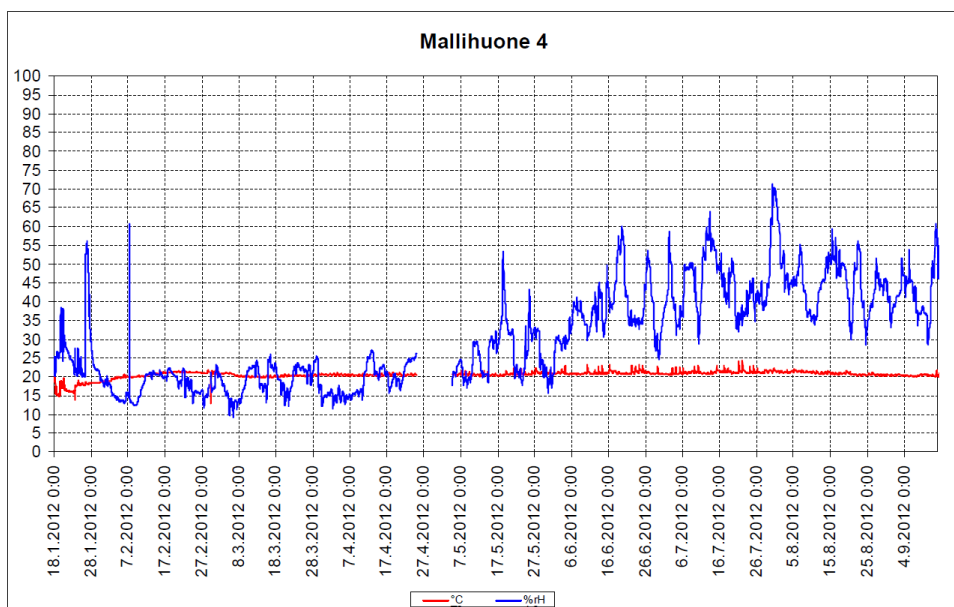
Kuvio 22. Mallihuoneen 1 sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seurantamittauksien tulokset.



Kuvio 23. Mallihuoneen 2 sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seurantamittauksien tulokset.



Kuvio 24. Mallihuoneen 3 sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seuranta-
taustulokset.

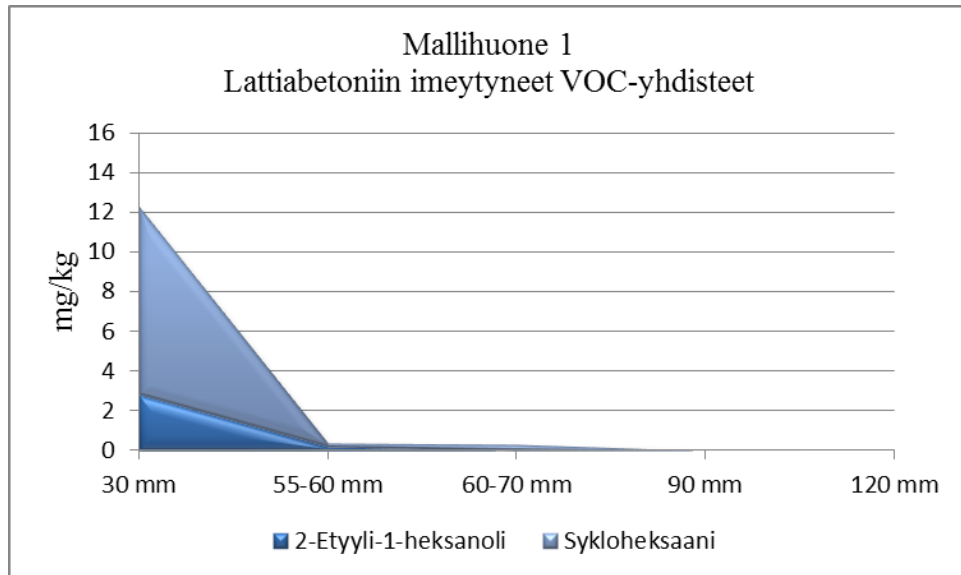


Kuvio 25. Mallihuoneen 4 sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seuranta-
taustulokset.

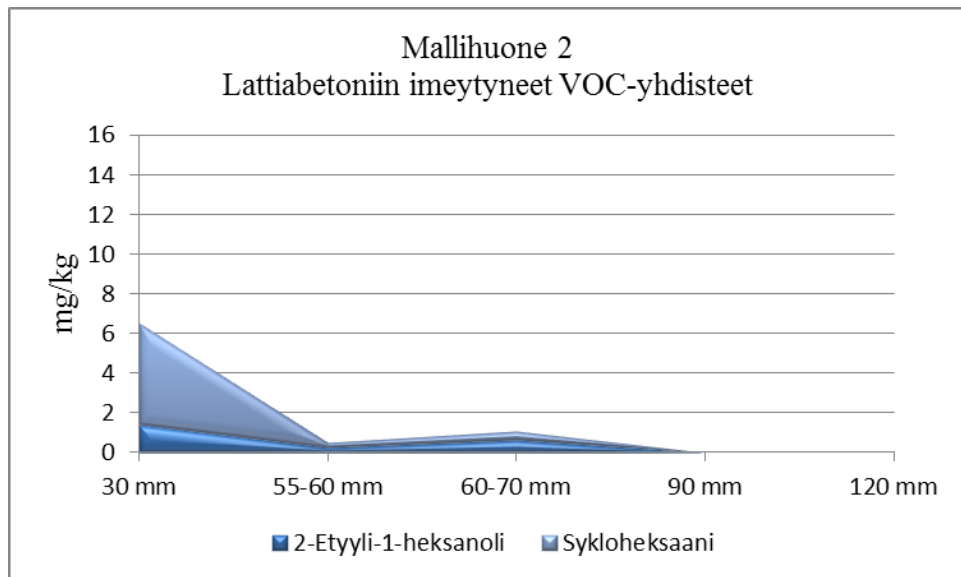
Kiinteistön peruslämpöä oli laskettu muutamilla asteilla ennen mallikorjausten aloittamista. Tämä on selvästi havaittavissa sisäilman lämpötilakuvajista. Lähtötilannemittausten aikaan sisäilman lämpötila oli kaikissa mallihuoneissa 15...18 °C. Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen kaikkien tilojen lämpötila oli 18...19 °C. Kolmen viikon tuuletuksen jälkeen mallihuoneen 1 sisäilman lämpötila oli 19 °C ja mallihuoneen 2 sisäilman lämpötila oli 17 °C. Kuuden viikon tuuletusjakson jälkeen mallihuoneessa 1 sisäilman lämpötila oli 21 °C ja mallihuoneen 2 lämpötila oli 19 °C. Kesäaikaan lämpötilat olivat noin asteen verran korkeampia ja vuorokautinen lämpötilan vaihtelu oli noin kahden asteen verran auringon vaikutuksesta johtuen.

5.2.4 Lattiabetoniin imeytyneet VOC-yhdisteet

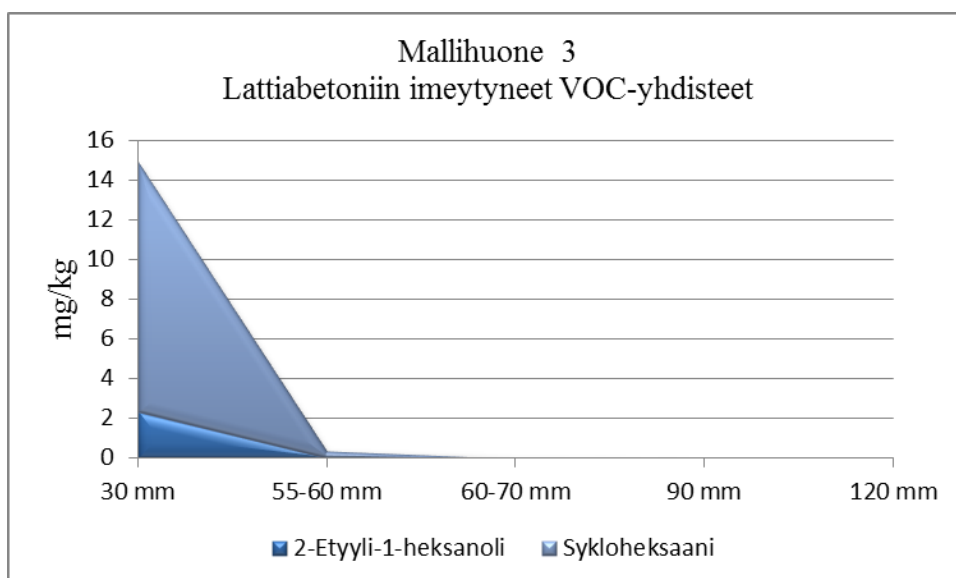
VOC-yhdisteiden imeytymistä lattiabetoniin tutkittiin mallihuoneiden 1...3 lattiabetonista, joista otettiin näytepalat syvyyksiltä 30, 55...60, 60...70, 90 ja 120 millimetriä. Saadut mittaustulokset on esitetty oheisissa taulukoissa (Kuvio 26 ... Kuvio 28).



Kuvio 26. Mittaustulokset mallihuoneen 1 VOC-yhdisteiden pitoisuuksista eri syvyyksillä lattiabetonissa.



Kuvio 27. Mittaustulokset mallihuoneen 2 VOC-yhdisteiden pitoisuuksista eri syvyyksillä lattiabetonissa.



Kuvio 28. Mittaustulokset mallihuoneen 3 VOC-yhdisteiden pitoisuuksista eri syvyyksillä lattiabetonissa.

Lattiabetoniin imeytyneiden yhdisteiden pitoisuuksien mittaustulokset on esitetty yksikössä mg/kg. VOC-pitoisuudet analysoitiin uuttamalla yhdisteet eluenttiin, jolloin analyysivastaus kertoo yhdisteiden kokonaispitoisuuden tutkitussa näytteessä. Mittaustuloksille ei ole olemassa viitearvoja, eivätkä tulokset ole vertailukelpoisia edellä käsitellyn tutkimushankkeen tulosten kanssa. Laboratoriota ei pyydetty tunnistamaan kaikkia yhdisteitä tai yhdisteryhmiä. Laboratorio ei myöskään määritellyt näytteiden TVOC-pitoisuutta. Tuloksista voidaan havaita, että lattioiden muovipäällysteiden alkalisen hajoamisen indikaattoryhdisteenä pidettyä 2-etyyli-1-heksanolia esiintyy kaikissa näytteenotokohdissa pitoisuuksien ollessa yhdessä näytteessä enimmillään 1,4...2,8 mg/kg. Suurin yhdisteryhmä oli kuitenkin sykloheksaani yksittäisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksien ollessa enimmillään 12,6...5,2 mg/kg. Yksittäisiä yhdisteitä ei pystytty tarkemmin tunnistamaan. Yhdisteiden hajoamistuotteena syntyy C₉- ja C₁₀-alkoholeja, joita pidetään lattioiden uudempien muovipäällysteiden hajoamistuotteina.

5.2.5 Emissiomittaukset ja sisäilmanäytteet

Kaikissa mallihuoneissa tehtiin VOC-yhdisteiden lähtötilannemittaus sekä sisäilmasta, että alkuperäisen muovipäällysteen emissioiden määrittämiseksi FLEC-menetelmällä. Kolmen vuorokauden kuluttua lattianpäällysteiden purkamisesta tehtiin seuraava mittaus sisäilmasta sekä eri tavoin käsitellyltä betonipinnalta.

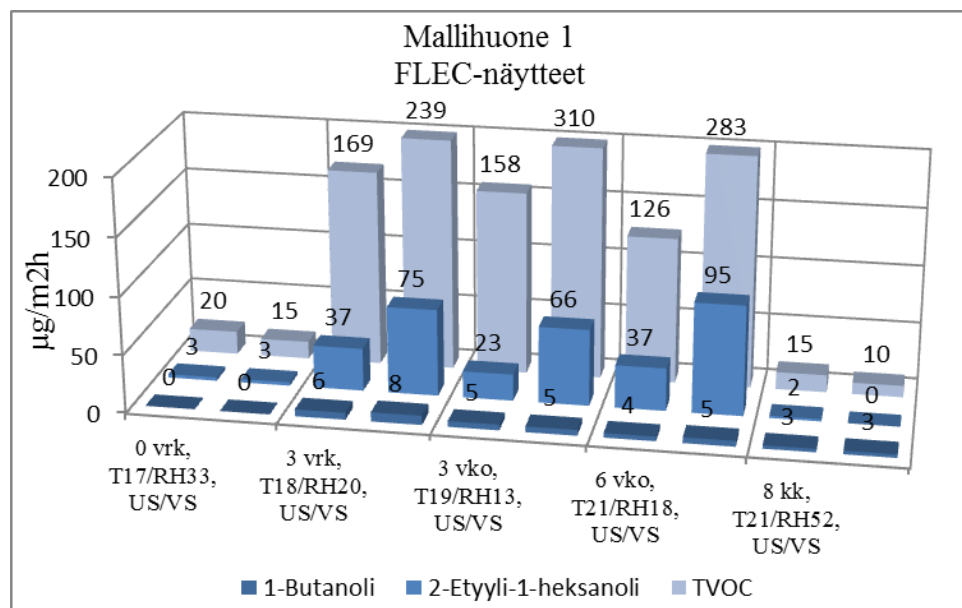
Mallihuoneissa 1 ja 2 tuuletusjakson pituus oli kuusi viikkoa, jolloin mittauksia tehtiin myös kolmen ja kuuden viikon kuluttua lattianpäällysteiden purkamisesta. Kuuden viikon jälkeen mallihuoneisiin asennettiin uudet lattianpäällysteet.

Kaikissa mallihuoneissa tehtiin seurantamittaukset sisäilmasta sekä lattian muovipäällysteiden tai kapselointiepoksien pinnalta kuuden kuukauden taasaantumisasjan jälkeen, jolloin aikaa lähtötilanteesta oli ehtinyt kulua noin

kahdeksan kuukautta. Seuraavilla sivuilla on esitetty kunkin mallihuoneen mittaustulokset niin sisäilmasta kuin lattiapinnan emissioista. Kuvioissa mittaustulokset on esitetty graafisesti sekä numeerisesti. Kuvioiden mittaasteikko päättyy emissionäytteiden osalla $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja sisäilmanäytteissä $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pienempien pitoisuuksien esittämiseksi havainnollisemmin. Tarkasteltavat yhdisteet ovat TVOC-pitoisuuden lisäksi 1-butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli sekä sisäilmanäytteissä myös C_9 -alkoholit. FLEC-näytteiden tulokset on esitetty tolueeniekvivalenttina ja sisäilmanäytteet kunkin yhdisteen omalla vasteella. Lisäksi kunkin mittauskerran selitteissä on mainittu mittaushetkellä vallinneet sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

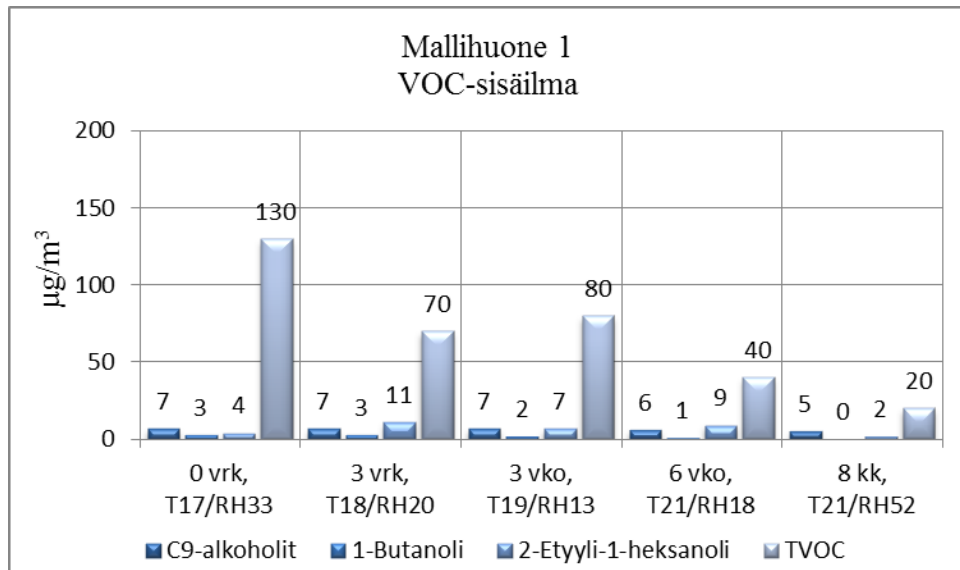
Kuvio 29 esittää Mallihuoneen 1 lattiapinnan emissiomittausten rinnakkaisten FLEC-näytteiden tulokset. Lähtötilannemittauksen tulokset olivat hyvin alhaiset emission TVOC-pitoisuuden ollessa 20 ja $15 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin emission ollessa $3 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Yhdisteitä emittoitui vielä kuuden viikon tuuletuksen jälkeen siten, että emission TVOC-pitoisuudet olivat rinnakkaisissa näytteissä 126 ja $283 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuudet olivat 37 ja $95 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja 1-butanolin emissio oli 4 ja $5 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Puolen vuoden kuluttua uuden päällysteen asentamisesta tehdyn seuranta-tutkimuksen tulokset ovat hyvin alhaisia rinnakkaisten emissionäytteiden TVOC-pitoisuuksien ollessa 15 ja $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 2-etyyli-1-heksanolin emissiot ovat alhaisemmat kuin lähtötilanteessa tulosten ollessa 2 ja $0 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Sitä vastoin näytteissä todettiin lähtötilanteesta poiketen 1-butanolia, jonka pitoisuudet olivat $3 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ molemmissa näytteissä. 1-butanolia emittoitui pieniä määriä betonipinnalta tuuletusjakson aikana. On kuitenkin mahdollista, että uuden muovipäällysteen päältä mitatut yhdisteet ovat päällystämateriaalin primääriemissioita.



Kuvio 29. Mallihuoneen 1 rinnakkaisten FLEC-näytteiden tulokset ulko- ja väliseinän puolelta sekä sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Mallihuoneen 1 sisäilmanäytteissä oli todettavissa selvä alenema lähtötilanteen ja seurantamittausten välillä. Kuvio 30 esittää mittaustulokset, joista voidaan havaita, että lähtötilanteessa sisäilman TVOC-pitoisuus oli $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja puolen vuoden jälkeen tehdyissä seurantamittauksissa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Puolen vuoden jälkeen yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksista C₉-alkoholeja esiintyi sisäilmassa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-etyyli-1-heksanolia $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vaikka emissiomittauksessa todettiin 1-butanolia, sitä ei kuitenkaan havaittu sisäilmanäytteessä. Sisäilmanäytteiden perusteella voidaan havaita emissiomittauksista poiketen myös selvää alenemaa kuuden viikon tuuletuksen jälkeen TVOC-pitoisuuden ollessa $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mittaustulokseen voi vaikuttaa tilan ilmanvaihdon erot eri mittauskerroilla.

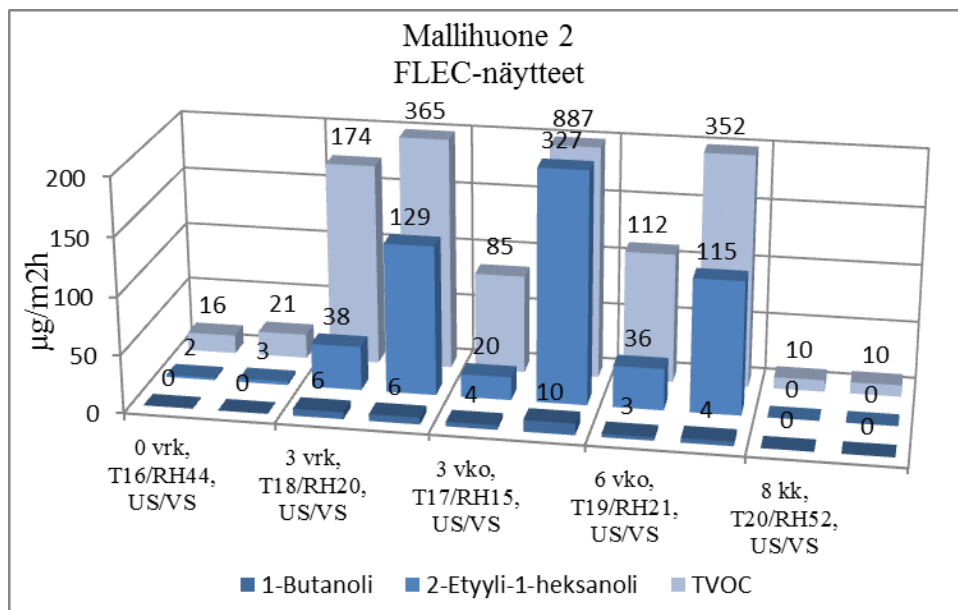


Kuvio 30. Mallihuoneen 1 sisäilman VOC-mittaustulokset sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus.

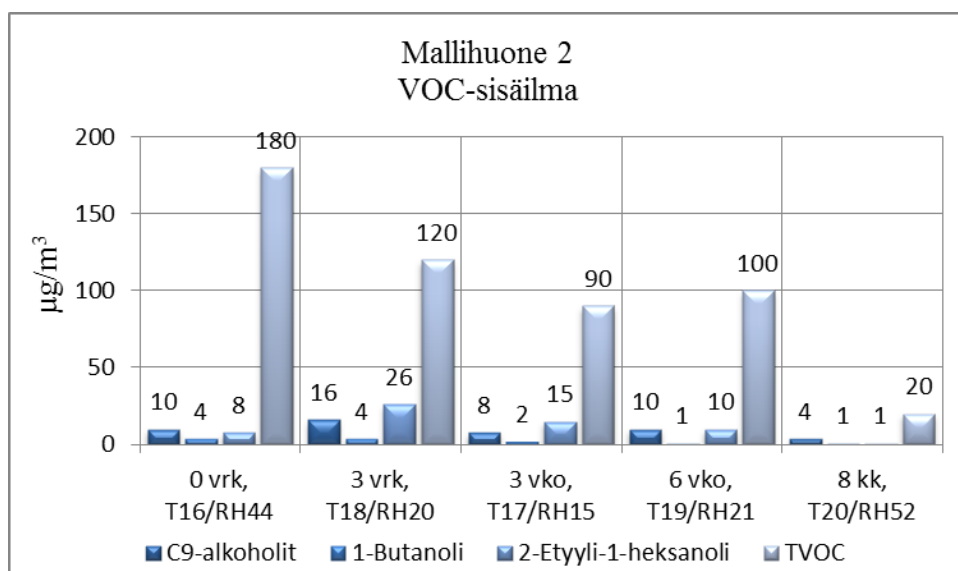
Mallihuoneen 2 emissiomittausten rinnakkaisten FLEC-näytteiden tulokset on esitetty ohessa, Kuvio 31. Lähtötilannemittausten emissioiden TVOC-pitoisuudet olivat 16 ja $21 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Indikaattoriyhdisteiden pitoisuudet olivat 2-etyyli-1-heksanolin osalta 2 ja $3 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja 1-butanolia ei lähtötilanteen emissiomittauksissa todettu. Lähtötilanteen emissioita voidaan pitää hyvin alhaisina.

Tuuletusjaksolla emissiot olivat hyvin korkeita erityisesti väliseinän läheltä otetussa näytteessä kolmen viikon kuluttua lähtötilanteesta TVOC-pitoisuuden ollessa $887 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja 2-etyyli-1-heksanolin $327 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Kuuden viikon tuuletuksen jälkeen väliseinän lähellä emissionopeus oli laskenut lähes kolmannekseen. Sitä vastoin ulkoseinän läheltä otetussa näytteessä kuuden viikon tuuletuksen jälkeen emissiot olivat korkeammat kuin kolmen viikon tuuletuksen jälkeen.

Puolen vuoden tasaantumisjakson jälkeen tehdyssä seurantatutkimuksessa lattian uuden muovipäällysteen pinnalta otetussa FLEC-näytteessä TVOC-pitoisuudet olivat erittäin alhaiset molempien rinnakkaisten näytteiden tulosten ollessa $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Indikaattoriyhdisteiden 2-etyyli-1-heksanolin ja 1-butanolin emissionopeudet jäivät alle määrittämissä.



Kuvio 31. Mallihuoneen 2 rinnakkaisten FLEC-näytteiden tulokset ulko- ja väliseinän puolelta sekä sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

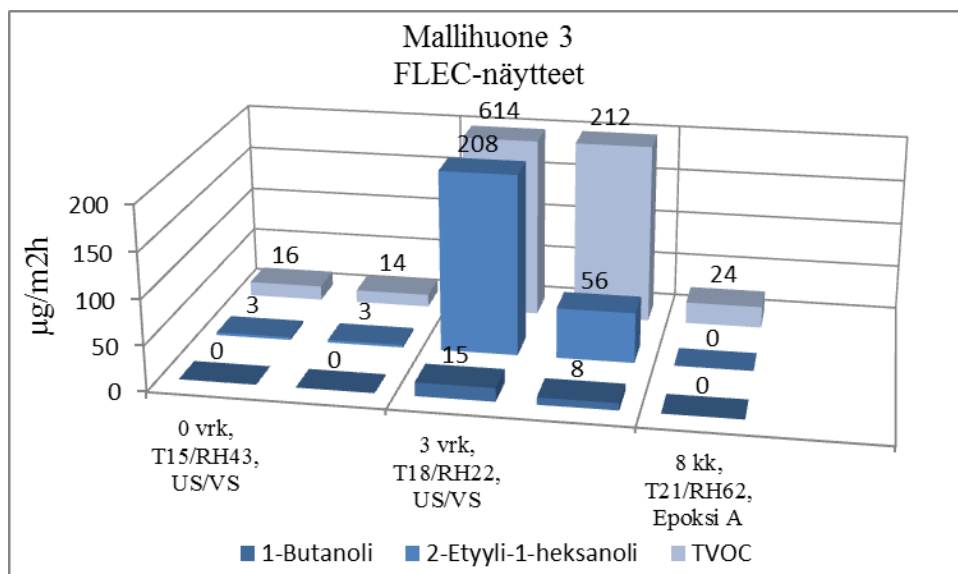


Kuvio 32. Mallihuoneen 2 sisäilman VOC-mittaustulokset sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Mallihuoneen 2 sisäilman TVOC-pitoisuudet olivat lähtötilannemittauksissa tutkittujen tilojen korkeimmat eli $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. C₉-alkoholeja oli sisäilmassa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolia $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-etyyli-1-heksanolia $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kuvio 32 esittää mittaustulokset graafisesti ja numeerisesti. Tuuletusjaksolla TVOC-pitoisuudet olivat alhaisemmat pitoisuuksien ollessa $100 \dots 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vaikka kahteen suuntaan jyrstyn betonipinnan emissionopeudet olivat 2...3 kertaa suuremmat kuin yhteen kertaan jyrstyn tai hiotun betonipinnan. Tämä selittyy tehostetun ilmanvaihdon laimentavalla vaikutuksella. Sama ilmiö toistui muissakin mallihuoneissa lukuun ottamatta mallihuonetta 4, jossa tuuletusjaksolla sisäilman TVOC-pitoisuudet olivat lähtötilannemittausta korkeammat. Puolen vuoden taantumisajan jälkeen tehdyissä seurantatutkimuksissa sisäilman sisältämä

TVOC-pitoisuus oli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, C₉-alkoholien pitoisuus oli $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolin ja 2-etyyli-1-heksanolin $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

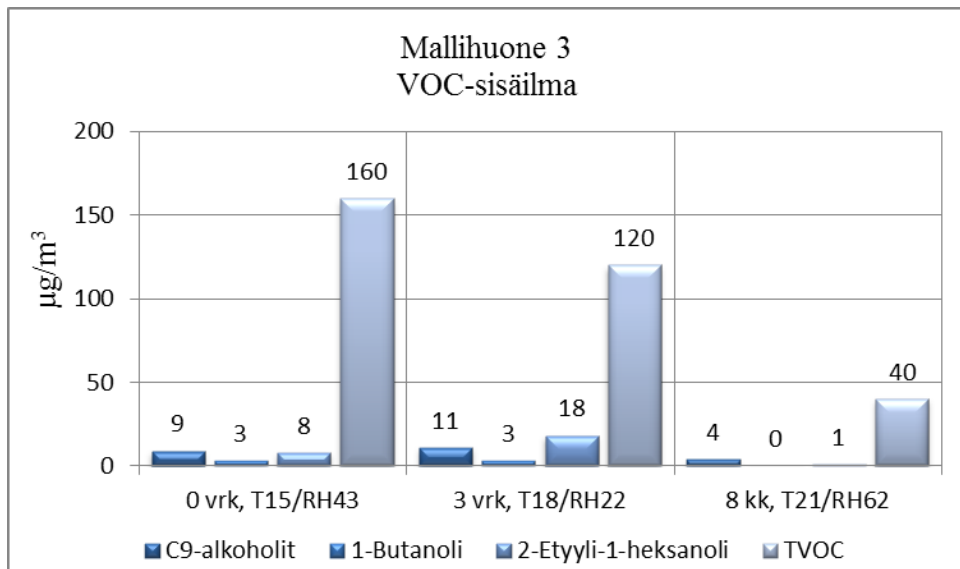
Mallihuoneen 3 lattiapinta kapseloitiin kolmen eri valmistajan epoksilla kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen, joten mallihuoneessa ei tehty kolmen ja kuuden viikon kohdalla mittauksia. Eri kapselointiepoksien tarkemmat emissiomittausten tulokset on esitetty alaluvussa 5.2.6 Kapselointiepoksien vertailu. Tässä yhteydessä esitetään ainoastaan Epoksi A:n emissiomittausten tulokset puolen vuoden seurantatutkimuksista. Mittaustulokset on esitetty ohessa, Kuvio 33.



Kuvio 33. Mallihuoneen 3 rinnakkaisten FLEC-näytteiden tulokset ulko- ja väliseinän puolelta sekä sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Alkuperäisen muovipäällysteen päältä mitatut lähtötilanteen emissionopeudet olivat hyvin alhaisia. TVOC-pitoisuudet olivat 16 ja $14 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja indikaattoriyhdisteistä emittoitui ainoastaan 2-etyyli-1-heksanolia pitoisuudella $3 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ molemmissa rinnakkaisissa näytteissä. Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen jyrksytyltä betonipinnalta otettujen rinnakkaisien näytteiden TVOC-pitoisuuksien emissionopeuksissa oli noin kolminkertainen ero pitoisuuksien ollessa 614 ja $212 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. 2-etyyli-1-heksanolin emissionopeuksien ero oli noin nelinkertainen pitoisuuksien ollessa 208 ja $56 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Puolen vuoden jälkeen tehtyjen seurantamittausten tuloksia käsitellään tarkemmin alaluvussa 5.2.6 Kapselointiepoksien vertailu.

Mallihuoneen 3 sisäilmamittausten tulokset on esitetty ohessa, Kuvio 34. Lähtötilannemittauksissa sisäilman TVOC-pitoisuus oli $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yksittäisistä yhdisteistä C₉-alkoholien pitoisuus oli $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-etyyli-1-heksanolin $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen sisäilman TVOC-pitoisuus oli $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jonka lähtötilannetta pienempi pitoisuus selittyy tehostetun ilmanvaihdon vaikutuksella. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuus kolmen vuorokauden jälkeen oli C₉-alkoholien osalta $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolin osalta $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-etyyli-1-heksanolin osalta $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuvio 34. Mallihuoneen 3 sisäilman VOC-mittaustulokset sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Seurantatutkimukset tehtiin puolen vuoden tasaantumisjakson jälkeen. Muista mallihuoneista poiketen tilassa ei ollut uutta lattian muovipäällystettä, joten sisäilmaan emittoitui lattiabetoniin imeytyneitä yhdisteitä kapselointiepoksien läpi sekä epoksien primääriemissioita. Seurantamittausten TVOC-pitoisuus oli $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mittaustulos oli kaksinkertainen verrattuna muihin mallihuoneisiin. Vastaavaa poikkeamaa ei voitu havaita yksittäisten indikaattoriyhdisteiden osalta C₉-alkoholien pitoisuuden sisäilmassa ollessa $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolin $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-etyyli-1-heksanolin $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Laboratorioanalyysin mukaan muista tiloista poikkeava sisäilman TVOC-pitoisuus selittyi erityisesti Epoksista B suurina pitoisuuksina emittoituvalta bentsyylialkoholilla, jonka pitoisuus sisäilmanäytteessä oli $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

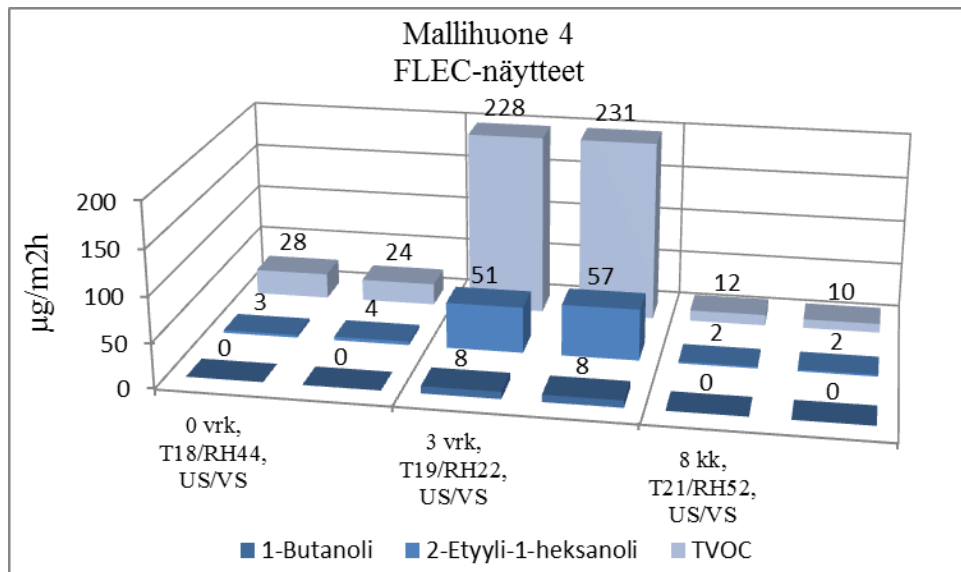
Mallihuoneen 4 lattiapinta päällystettiin uudella muovipäällysteellä kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen, joten tilassa ei tehty mittauksia kolmen ja kuuden viikon kohdalla.

Muiden mallihuoneiden mittaustuloksista poiketen mallihuoneen 4 rinnakkaisien emissiomittausten tulokset olivat hyvin samanlaisia kaikilla näytteenottokerroilla. Tulokset on esitetty ohessa, Kuvio 35. Lähtötilanteessa alkuperäisen muovipäällysteen päältä tehtyjen emissiomittausten TVOC-pitoisuudet olivat 28 ja $24 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, jotka olivat korkeimmat mallihuoneista mitatut lähtötilanteen emissiot. Indikaattoriyhdisteiden emissionopeudet olivat kuitenkin yhtenevät muiden mallihuoneiden kanssa. 1-butanolia ei näytteistä havaittu ja 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuudet olivat 3 ja $4 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen hiotun betonipinnan TVOC-emissiot olivat rinnakkaisissa näytteissä 228 ja $231 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, 1-butanolin $8 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ molemmissa rinnakkaisissa näytteissä ja 2-etyyli-1-heksanolin 51 ja $57 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

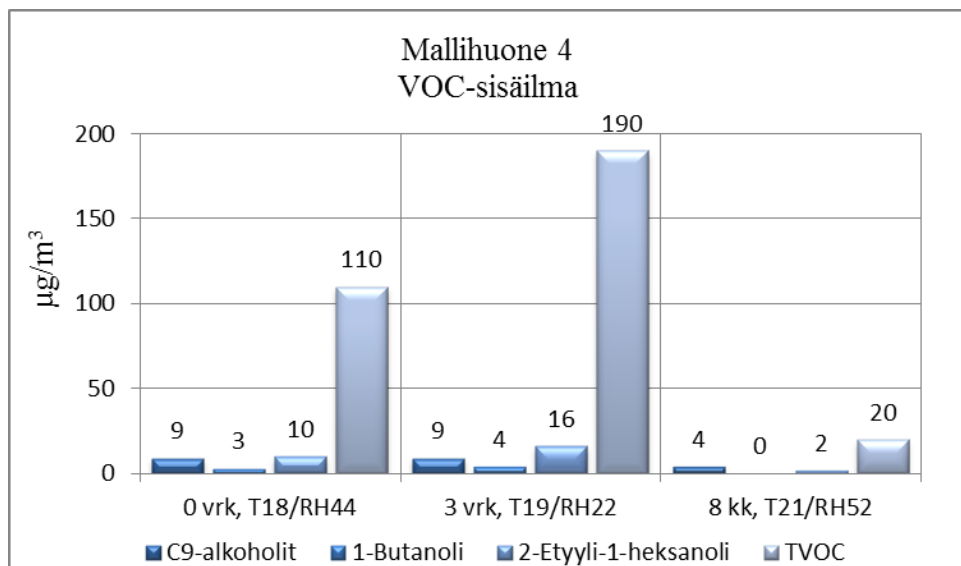
Puolen vuoden tasaantumisaajan jälkeen emissioiden TVOC-pitoisuus rinnakkaisissa näytteissä oli 12 ja $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Indikaattoriyhdisteistä 1-

butanolia ei todettu lainkaan ja 2-etyyli-1-heksanolin emissionopeus oli molemmissa näytteissä $2 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.



Kuvio 35. Mallihuoneen 4 rinnakkaisten FLEC-näytteiden tulokset ulko- ja väliseinän puolelta sekä sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Sisäilmasta otettujen lähtötilannemittausten TVOC-pitoisuus oli mallihuoneessa 4 kaikkein pienin ollen $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kuvio 36 esittää mittaustulokset graafisessa muodossa. Pitoisuus oli kuitenkin hyvin samaa suuruusluokkaa kuin muissa mallihuoneissa. Yksittäisten indikaattoriyhdisteiden pitoisuudet olivat myös hyvin yhtenevät muiden mallihuoneiden lähtötilannemittausten tuloksiin. C_9 -alkoholeja oli sisäilmassa $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolia $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-etyyli-1-heksanolia $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuvio 36. Mallihuoneen 4 sisäilman VOC-mittaustulokset sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen yksittäisten indikaattoriyhdisteiden pitoisuuksissa sisäilmassa ei ollut havaittavissa merkittävää muutosta C_9 -alkoholien pitoisuuden ollessa $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolin $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 2-

etyyli-1-heksanolin $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sisäilman TVOC-pitoisuus oli sitä vastoin mallihuoneiden korkein ollen $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä oli jossain määrin yllättävää, sillä betonipinnalta mitatut emissiot olivat enintään samaa suuruusluokkaa mallihuoneiden 1 ja 2 kanssa ja merkittävästi pienempiä kuin mallihuoneessa 3. Selittävänä tekijänä oli todennäköisesti tilojen keskenään erilaiset ilmanvaihtokertoimet. Niitä ei kuitenkaan mitattu tämän tutkimuksen yhteydessä.

Seurantatutkimusten tulokset olivat täysin yhtenevät mallihuoneiden 1 ja 2 kanssa. Sisäilman TVOC-pitoisuus oli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yksittäisistä indikaattoriyhdisteistä C_9 -alkoholeja oli sisäilmassa $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-butanolin pitoisuus jäi alle määritysrajan ja 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuus oli $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.6 Kapselointiepoksien vertailu

Mallihuoneen 3 betonilattia jaettiin kolmen vuorokauden tuuletusjakson jälkeen vyöhykkeisiin ja päällystettiin kolmen eri valmistajan kapselointiepoksilla valmistajien antamien ohjeiden mukaan. Kutakin kapselointiepoksia levitettiin kahteen kertaan riittävän kalvopaksuuden saavuttamiseksi. Päällimmäiseen kerrokseen siroteltiin hiekkaa tartuntakerrokseksi.

Jyrsityn betonipinnan hyvin suuren epätasaisuuden vuoksi kapselointiepoksilla ei kuitenkaan saavutettu valmistajan ilmoittamaa tuotteilta vaadittua kalvopaksuutta, joten lattia hiottiin uudelleen puhtaalle betonipinnalle ja kapselointityö uusittiin sirotellen päällimmäiseen kerrokseen valmistajan suosittelemaa hiekkaa.

Eräillä tuotevalmistajilla oli tuoteohjeissaan myös maininta mahdollisuudesta käyttää kemiallisia aineita tartunnan aikaan saamiseksi. Mallikorjauksissa päätettiin kuitenkin käyttää tartuntakerroksena hiekkasirotetta, koska arveltiin sen voivan vaikuttaa enemmän epoksien kapselointivaikutukseen. Näin kaikki mallikorjaukset toteutettiin myös vastaavalla tavalla. Epoksien kovettumisen jälkeen ylimääräinen hiekka imuroitiin pois.

Valmiista rakenteesta otettiin timanttikoralla halkaisijaltaan 50 millimetrin kokoinen lieriö kunkin kapselointiepoksen kohdalta. Poraus ulotettiin runkobetoniin saakka. Näytteenottohetkellä porauslieriöistä ja -rei'istä oli aistittavissa voimakas, pistävä haju. Haju oli samanlainen kuin lattian alkupe räisen muovipäällysteen poistamisen yhteydessä. Kapselointiepoksen suojaksi tehtiin suojaepoksikerros. Näytteistä valmistettiin pintahieet, joista määritettiin kunkin kapselointiepoksen kalvopaksuus ja koostumus sekä tartunta ja imeytyminen alustaan.

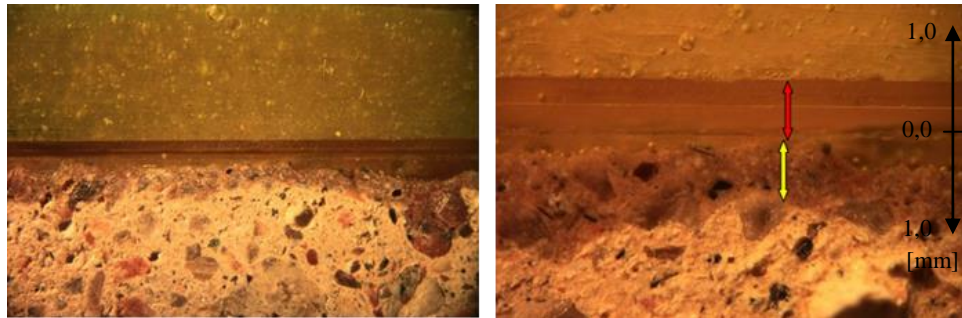
Kapselointiepoksi A oli asennettaessa koostumukseltaan melko jäykkä, kirkas neste joka oli lähes hajutonta. Ensimmäinen kerros oli kovettuaan pinnaltaan kova, kiiltävä ja lasimainen. Pinnassa oli havaittavissa muutama alusbetoniin ulottuva ilmakupla. Toinen epoksikerros oli helppo levittää. Tuoreeseen epoksiin siroteltiin hiekkaa valmistajan ohjeen mukaan.

Laboratoriotutkimusten tulokset on esitetty ohessa, Taulukko 17. Epoksin koostumus oli homogeeninen ja tartunta sekä tunkeuma alustaan hyvä

tunkeuman ollessa 0,65 mm. Kalvopaksuus oli keskimäärin 1,00 mm. Kuva 8 esittää mikroskooppikuvaa ja osasuurennosta epoksilla A päällystystä rakenteesta valmistetusta pintahieestä. Kuvassa yllinä näkyvä vihertävä kerros on suojaepoksi. Kerrospaksuuksien hahmottamiseksi kuvaparin oikeassa reunassa on osasuurennoksen ohjeellinen mittakaava, jonka yksikkö on millimetri.

Taulukko 17. Epoksi A:n kalvopaksuus, tartunta ja tunkeuma alapuoliseen betoniin.

EPOKSIÄYTE A	KA [mm]	MIN [mm]	MAX [mm]	KERROKSEN LAATU
Uloin kirkas kerros	0,25	0,23	0,27	Tiivis, homogeeninen, hyvä tartunta
Keskimmäinen kirkas kerros	0,27	0,24	0,30	Tiivis, homogeeninen, hyvä tartunta
Alin kirkas kerros	0,50	0,30	0,65	Tiivis, homogeeninen, hyvä tartunta
Pinnoite yhteensä	1,00	0,80	1,10	
Tunkeuma betoniin	0,65	0,45	0,75	Homogeeninen, hyvä



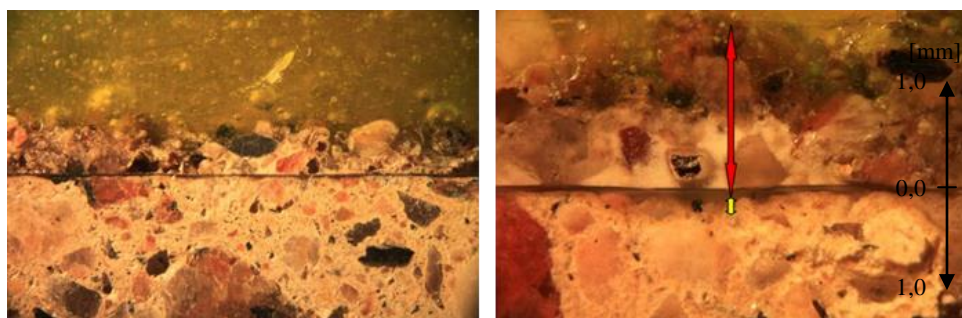
Kuva 8. Mikroskooppikuva sekä osasuurennos epoksi A:n ja betonin rajapinnasta. (Punainen nuoli: kapselointiepoksi. Keltainen nuoli: tunkeuma betoniin.)

Kapselointiepoksi B oli helppo asentaa tuotteen ollessa hyvin notkeaa. Tuote oli vaaleankeltaista ja haju oli pistävä. Levittämisen jälkeen epoksiin nousi runsaasti ilmakuplia, jotka hävisivät suurimmaksi osaksi tuotteen kovettuttua. Kovettunut pinta oli läpikuultavan kirkas. Pistävä haju hävisi kovettumisen jälkeen. Toinen kapselointikerros oli helppo asentaa ja se peitti kaikki ensimmäisessä kerroksessa olleet ilmakuplat. Tuoreeseen epoksiin siroteltiin valmistajan ohjeiden mukainen tartuntahiekka.

Taulukko 18 esittää epoksilla B kapseloidusta rakenteesta valmistetun pintahieheen laboratorioanalyysien tulokset. Epoksikerros oli koostumukseltaan epähomogeeninen ja kerrospaksuus oli hyvin epätasainen. Keskimääräinen kalvopaksuus oli 1,30 mm. Tunkeuma alustaan oli hyvin vähäinen, keskimäärin 0,20 mm mutta vähimmillään ainoastaan 0,05 mm. Kuva 9 on mikroskooppikuva ja osasuurennos epoksin B pintahieestä.

Taulukko 18. Epoksi B:n kalvopaksuus, tartunta ja tunkeuma alapuoliseen betoniin.

EPOKSIÄYTE B	KA [mm]	MIN [mm]	MAX [mm]	KERROKSEN LAATU
Hiekkainen kirkas kerros	1,20	0,60	1,50	Hiekkainen, erittäin karkea, epähomogeeninen ja harva kerros
Kirkas kerros	0,35	0,05	0,80	Paikoitellen hyvinkin ohut kerros
Pinnoite yhteensä	1,30	1,00	2,00	Epätasainen
Tunkeuma betoniin	0,20	0,05	0,30	Epähomogeeninen, erittäin vähän tunkeutunut

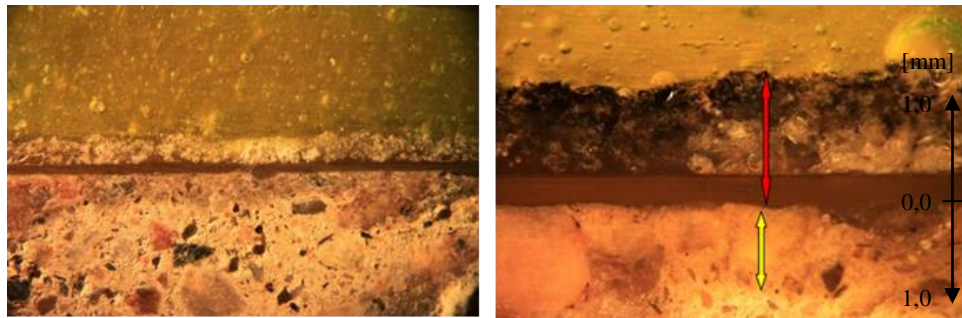


Kuva 9. Mikroskooppikuva sekä osasuurennos epoksi B:n ja betonin rajapinnasta. (Punainen nuoli: kapselointiepoksi. Keltainen nuoli: tunkeuma betoniin.)

Asennusvaiheessa kapselointiepoksi C oli koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin epoksi A, hiukan jäykkä ja kirkas, lähes hajuton neste. Kovettumisen jälkeen pinta oli kova, kiiltävä ja lasimainen. Tuotteessa oli muutama alusbetoniin ulottuva ilmakupla. Toinen levityskerta oli helppo tehdä ja tuoreeseen pintaan siroteltiin valmistajan ohjeen mukaista hiekkaa.

Taulukko 19. Epoksi C:n kalvopaksuus, tartunta ja tunkeuma alapuoliseen betoniin.

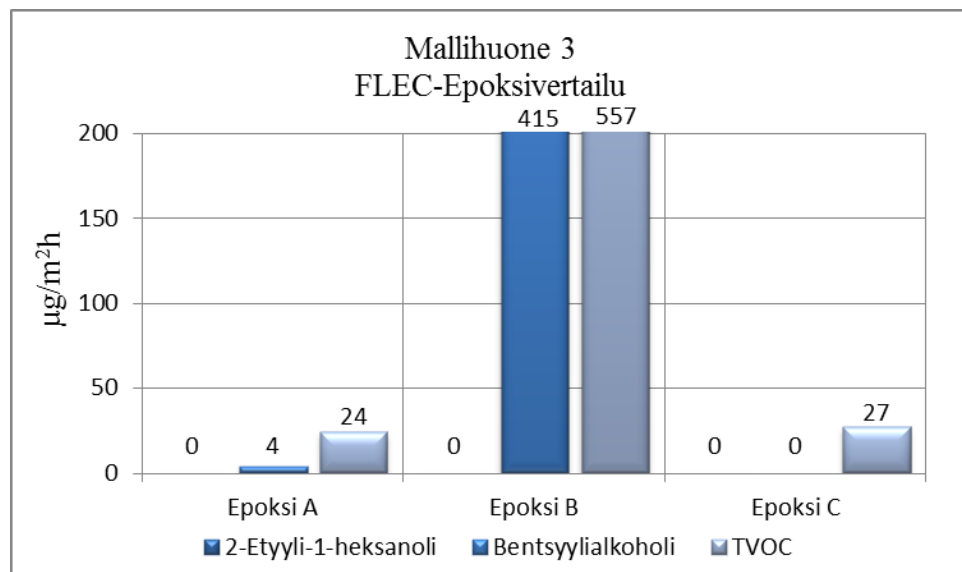
EPOKSIÄYTE C	KA [mm]	MIN [mm]	MAX [mm]	KERROKSEN LAATU
Hiekkainen kirkas kerros	0,80	0,50	1,00	Karkea, hiekkainen, epähomogeeninen, tartunnassa joitakin harvatiiloja (10%)
Kirkas kerros	0,40	0,25	1,10	Tiivis, homogeeninen, hyvä tartunta, alustan epätasaisuuden vuoksi vaihteli suuresti
Pinnoite yhteensä	1,30	1,10	1,60	
Tunkeuma betoniin	0,70	0,55	0,90	Hieman epähomogeeninen



Kuva 10. Mikroskooppikuva sekä osasuurennos epoksi C:n ja betonin rajapinnasta. (Punainen nuoli: kapselointiepoksi. Keltainen nuoli: tunkeuma betoniin.)

Epoksilla C sivellyn rakenteen pintahieanalyysissä tuotteen havaittiin olevan hieman epähomogeeninen ja tartunta alustaan vaihteli suuresti. Epoksikerros oli kuitenkin tiivis. Tulokset on esitetty ohessa, Taulukko 19. Kalvopaksuus oli keskimäärin 1,30 mm ja tunkeuma betoniin 0,7 mm. Kuva 10 esittää mikroskooppikuvaa ja sen osasuurennosta ohuthieestä.

Kuvio 37 esittää mallihuoneen 3 seurantatutkimusten emissiomittausten tulokset noin puolen vuoden jälkeen kapselointityön suorittamisesta. Yhdessäkään FLEC-näytteessä ei todettu muovipäällysteiden hajoamistuotteiden indikaattoriyhdisteitä.



Kuvio 37. Mallihuoneen 3 FLEC-mittaustulokset kolmen eri valmistajan epoksin päältä.

Epoksien A ja C emissiomittausten tulokset olivat hyvin samankaltaiset TVOC-pitoisuuksien ollessa 24 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ epoksilla A ja 27 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ epoksilla C. Epoksin B mittaustulos oli täysin poikkeava kahdesta muusta tutkitusta tuotteesta, sillä emissioiden TVOC-pitoisuus oli 557 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Epoksin B primääriemissiot koostuivat enimmäkseen bentsyylialkoholista, jonka pitoisuus oli 415 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Myös epoksin A emissiot sisälsivät pienen määrän bentsyylialkoholia pitoisuuden ollessa 4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Koekappaleiden tulosten tarkastelu

Laattaparille 1 ja 2 tehty korjauskäsittely, jossa rakenteen lämpötilaa nostettiin säteilylämmittimillä 60 °C ja jäähdytettiin takaisin huoneenlämpöön syklisesti kuuden tunnin jaksoissa yhdessä kolmen viikon tuuletuksen ja tehostetun ilmanvaihdon kanssa poistivat hyvin tehokkaasti betonirakenteeseen imeytyneet yhdisteet. VOC-pitoisuudet betonirakenteen eri syvyyksillä laskivat erityisesti syvemmillä rakenteessa. Hiotun betonipinnan emissiot laskivat samalle tasolle kuin vuoden tasaantumisajan jälkeiset tulokset olivat muovipäällysteen päältä mitattuna laattapareilla, joille tehtiin pelkästään tuuletus huoneenlämmössä ja uuden päällysteen asennus. Korjaustoimenpidettä voidaan pitää onnistuneena. Menetelmä poistaa yhdisteet niin tehokkaasti, että lattian uudelta päällysteeltä ei vaadita suurta diffuusiovastusta, jolloin päällyste voidaan valita vapaammin. Lämpökäsittelyn johdosta korjausmenetelmän haittapuolena on sen huono soveltuvuus suurille pinta-aloille.

Kolmen viikon lämmittämisen huoneenlämpötilaa nostamalla 30 °C ja tuulettamisen jälkeen yhdisteiden pitoisuuksissa koekappaleiden 7 ja 11 rakenteen eri syvyyksillä oli havaittavissa tasaantumista, ei niinkään haihtumista. Erityisesti koekappaleen 7 pintaosan tuloksissa oli havaittavissa hienoista kasvua, jolloin syvemmillä rakenteessa olevat pitoisuudet olivat siirtyneet lähemmäksi pintaosaa. Tulokset poikkeavat tältä osin selkeästi laattaparista 1 ja 2, joita lämmitettiin syklisesti 60 °C. Vaikka koekappaleiden 7 ja 11 betoninäytteiden mittaustuloksissa ei havaittu yhtä selvää alenemaa kuin koekappaleilla 1 ja 2, FLEC-mittaukset osoittivat pinta-tuoton vähentyneen merkittävästi korjaustoimenpiteiden seurauksena. Yhdisteiden kokonaismäärä oli kuitenkin noin kaksinkertainen laattapariin 1 ja 2 verrattuna. Korjaustoimenpidettä voidaan pitää onnistuneena, mikäli tulosta verrataan vaurioitumattomien muovipäällysteiden vertailuarvoihin (Taulukko 4). Lämpötilan nostamiseen perustuva korjausmenetelmä soveltuu huonosti suurille pinta-aloille.

Koekappaleille 13 ja 14 tehtiin niin sanottu pikakorjaus, jossa rakennetta tuuletettiin normaalissa huoneenlämmössä ainoastaan kolme vuorokautta ennen uuden lattianpäällysteen asentamista. Betonirakenteen eri syvyyksiltä otettujen materiaalinäytteiden VOC-yhdisteiden emissioiden mittaustulokset nousivat tutkimushypoteesin vastaisesti kolmen vuorokauden tuuletusjakson aikana. On mahdollista, että yhdisteet tulivat syvemmältä betonirakenteesta tai sitten tulokseen vaikutti näytteenottomenetelmään liittyvä epätarkkuus, sillä kukin näyte edustaa ainoastaan kyseistä kohtaa rakenteessa, eikä näytteenotto ole siten täysin toistettavissa. Molempien koekappaleiden mittaustulokset korreloivat kuitenkin hyvin keskenään. Mittaustulosten perusteella voidaan havaita, että kolmen vuorokauden normaalissa huoneenlämmössä suoritettujen tuuletusjakson aikana VOC-yhdisteiden poistumista betonirakenteesta ei merkittävässä määrin tapahtunut.

Pikakorjauksen FLEC-mittausten tulokset olivat osittain samansuuntaisia betonirakenteen VOC-näytteiden kanssa. Tuloksissa ei ole kuitenkaan täysin selvää korrelaatiota eri mittausmenetelmien kesken. Tulosten hajonta ja rinnakkaisten näytteiden pieni otanta tekivät tulosten tulkinnan vaikeaksi. Kolmen vuorokauden tuuletuksella huoneenlämmössä ei ollut juurikaan vaikutusta VOC-yhdisteiden poistumiselle betonirakenteesta. Laattaparille tehtiin vuoden tasaantumisaajan jälkeen FLEC-seurantamittaus uuden muovipäällysten päältä. Tuloksista voidaan nähdä, että muovipäällyste läpäisi jonkin verran alusbetoniin jääneitä yhdisteitä, sillä emissioiden TVOC-pitoisuus oli noin kolme kertaa korkeampi kuin lasilevyille tehdyissä vertailunäytteissä L1 ja L2. Lisäksi tuloksissa esiintyi vertailunäytteistä poiketen 2-etyyli-1-heksanolia. Mikäli seurantatutkimuksen tuloksia verrataan vaurioitumattoman muovipäällysteen vertailuarvoihin (Taulukko 4), voidaan korjaustapaa pitää onnistuneena. Onnistumisen edellytys on kuitenkin hyvin suuren diffuusiovastuksen omaava muovipäällyste.

Laattaparille 5 ja 8 tehtiin kapselointikorjaus höyrynsulkuepoksilla. Kolmen viikon normaalissa huoneenlämmössä suoritetun tuuletusjakson jälkeen koekappaleiden materiaalinäytteiden yhdistepitoisuudet pääsääntöisesti kasvoivat lähtötilanteeseen verrattuna. Ilmiö oli samankaltainen kuin laattaparilla 13 ja 14, joita tuuletettiin ainoastaan kolme vuorokautta. Materiaalinäytteistä poiketen hiotun betonipinnan VOC-yhdisteiden pinta-tuotossa oli silti havaittavissa erittäin merkittävä alenema. Kapselointiepoksen vaikutus oli myös merkittävä, sillä vuoden vanhasta rakenteesta tehty seurantatutkimus osoittaa muovipäällysteen päältä mitattujen emissioiden olevan täysin yhtenevät lasilevyille tehtyjen vertailunäytteiden kanssa, jolloin mittaustuloksissa havaitut yhdisteet olivat uudesta muovipäällysteestä peräisin olevia primääriemissioita. Korjausmenetelmää voidaan pitää täysin onnistuneena. Kapselointia käytettäessä voidaan myös vapaammin valita uusi lattianpäällyste, sillä korjausmenetelmä ei perustu muovipäällysteen suureen diffuusiovastukseen.

Koekappaleille 9 ja 10 tehtiin korjauskäsittely, jossa hiottua betonilattiaa tuuletettiin kolmen viikon ajan normaalissa huoneenlämmössä, jonka jälkeen lattia päällystettiin uudelleen muovipäällysteellä. Koekappaleen 10 betonirakenteen yhdistepitoisuudet alenivat tuuletusjakson aikana poiketen koekappaleiden 5 ja 8 tuloksista, vaikka kaikkia laattoja tuuletettiin samassa lämpötilassa yhtä pitkä aika. Hiotulta betonipinnalta otetut FLEC-näytteet sitä vastoin korreloivat hyvin emissioiden ollessa kaikilla laatoilla samaa suuruusluokkaa tuuletusjakson jälkeen.

Koekappaleen 9 osalta FLEC-näytteissä oli havaittavissa erittäin heikko korrelaatio VOC-materiaalinäytteisiin, jotka poikkesivat kaikista muista tutkituista laatoista mittaustulosten ollessa erittäin alhaisia. Sitä vastoin FLEC-näytteiden emissionopeudet olivat samaa suuruusluokkaa muiden laattojen kanssa lukuun ottamatta laattaparia 13 ja 14, joille tehtiin niin sanottu pikakorjaus.

Laattarin 9 ja 10 seurantatutkimuksen tulokset osoittavat, että betonirakenteeseen jääneet yhdisteet läpäisevät jonkin verran uuden muovipäällysteen. Verrokinäytteissä L1 ja L2 ei esiinny laisinkaan 2-etyyli-1-

heksanolia, jota taas emittoitui koekappaleiden 9 ja 10 FLEC-näytteissä. On mahdollista, että kolmen viikon tuuletusjakso huoneenlämmössä ei ole poistanut alusrakenteeseen imeytyneitä yhdisteitä riittävästi. Korjausmenetelmää voidaan pitää onnistuneena, mikäli saatuja tuloksia verrataan vaurioitumattoman muovipäällysteen vertailuarvoihin (Taulukko 4). Korjausmenetelmän teho perustuu ensisijaisesti hyvin suuren diffuusiovastuksen omaavaan lattian muovipäällysteeseen.

Koekappaleiden mallikorjausten yhteydessä ei suoritettu VOC-yhdisteiden sisäilmamittauksia, joten tulosten vertailua Työterveyslaitoksen käyttämiin korjausten jälkeisiin sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tavoitearvoihin ei tehty.

6.2 Koehuoneiden tulosten tarkastelu

Koehuoneiden lattiabetonista otettujen materiaalinäytteiden mukaan haihtuvat orgaaniset yhdisteet olivat imeytyneet suurina pitoisuuksina ainoastaan betonirakenteen pintaosaan noin 30 millimetrin syvyydelle pitoisuuden pienentyessä nopeasti mentäessä syvemmälle rakenteeseen. Yli 60 millimetrin syvyydessä runkobetonin pintaosissa yhdisteitä todettiin enää hyvin pieniä määriä ja syvemmällä runkobetonissa niitä ei enää todettu lainkaan.

Purkutöiden ja tuuletusjakson aikana tilojen lämpötilaa ei kyetty pitämään toimisto-olosuhteita vastaavalla tasolla johtuen sekä kiinteistön peruslämpötilan pudottamisesta ennen tutkimushankkeen käynnistämistä että normaalia tehokkaamman ilmanvaihdon vuoksi. Lämpötilakuvaajista havaittiin, että tilojen lämpötilat tasaantuivat toimisto-olosuhteita vastaavaksi vasta sen jälkeen kun kunkin tilan tehostettu tuuletusjakso päättyi.

Tavanomaista toimistotilaa alhaisempi lämpötila vaikutti todennäköisesti tuuletusjakson emissionopeuksiin, joten emissiopitoisuuksissa ei yleisesti voitu todeta merkittävää alenemaa kuuden viikon tuuletusjaksolla. Sisäilman sisältämien VOC-yhdisteiden mittaustuloksiin voi lisäksi vaikuttaa tilojen ilmanvaihdon erot eri mittauskerroilla.

Lattiabetoni oli kuivunut mallihuoneiden 1 ja 2 molemmissa tutkimuskohdissa muutamien prosenttiyksiköiden verran lähtötilanne- ja seurantatutkimusten välisenä aikana. Kuivumista oli tapahtunut todennäköisesti pääasiassa kuuden viikon tuuletuksen aikana. Vastaavasti uusi tasoite ja liima olivat tuoneet rakenteeseen jonkin verran kosteuslisää heti uuden päällysteen alapuolelle. Puolen vuoden tasaantumisen aikana kuivumista muovipäällysteen läpi oli tapahtunut arvioilta ainoastaan noin 0,5 prosenttiyksikköä, jolloin tasoitteen ja liiman kosteus tasaantuvat alapuoliseen massiiviseen betonirakenteeseen. Mallihuoneen 4 toisessa tutkimuspisteessä seurantamittauksen suhteellisen kosteuden tulos oli suurempi kuin lähtötilanteessa. Lyhyen tuuletusjakson aikana ei ehtinyt tapahtua juurikaan lattiabetonin kuivumista ja tasoite sekä liima toivat rakenteeseen kosteuslisää, joka ei ehtinyt poistua rakenteesta tai tasaantua riittävästi puolen vuoden kuluessa.

Koehuoneen 1 mallikorjauksessa lattiabetoni jyrstiin yhteen kertaan liiman ja tasoitteen poistamiseksi ja tilaa tuuletettiin kuuden viikon ajan, jonka jälkeen lattiaan asennettiin uusi muovipäällyste. Jyrstyttä betonipinnalta FLEC-menetelmällä mitattujen rinnakkaisten näytteenottokohtien emissionopeudet eivät juurikaan muuttuneet kuuden viikon tuuletusjakson aikana. Puolen vuoden kuluttua uuden lattianpäällysten asentamisesta tehdyissä seurantamittauksissa emissionopeus oli melko alhainen. Sekä yksittäiset yhdisteet että yhdisteiden kokonaismäärä jäivät murto-osaan vaurioitumattomien muovipäällysteiden vertailuarvoista (Taulukko 4).

Sisäilmasta mitatuissa yhdisteiden pitoisuuksissa voitiin FLEC-mittauksista poiketen havaita alenemaa kuuden viikon tuuletusjakson aikana siten, että yhdisteiden kokonaispitoisuus aleni noin puoleen tuuletuksen alkuvaiheesta. Puolen vuoden jälkeen tehdyissä seurantamittauksissa sisäilman sisältämien yhdisteiden kokonaismäärä oli hyvin pieni, mutta osa yksittäisten indikaattoriyhdisteiden pitoisuuksista oli Työterveyslaitoksen korjauksille asettamassa tavoitearvossa tai sen yli (Taulukko 3, Luku 3.8). Koehuoneen 1 mallikorjausta voidaan siis varauksin pitää onnistuneena. Korjauksen onnistuminen edellyttää hyvin suuren diffuusiovastuksen omaavaa lattianpäällystettä.

Koehuoneen 2 mallikorjaus poikkesi koehuoneen 1 käsittely-yhdistelmästä siten, että lattiabetoni jyrstiin kahteen kertaan ristikkäisiin suuntiin. Kuuden viikon tuuletuksen jälkeen lattiaan asennettiin uusi muovipäällyste. Lattian betonipinnan ristiin jyrstintä mahdollisesti tehosti VOC-yhdisteiden haihtumista betonirakenteesta mutta rinnakkaisissa FLEC-näytteistä ei voitu havaita selvää korrelaatiota. Mahdollisesti hyvin epätasainen betonipinta myös haihdutti VOC-yhdisteitä epätasaisesti ja aiheutti siten merkittävää hajontaa mittaustuloksiin. Kahteen suuntaan jyrstityn betonipinnan emissionopeudet olivat joka tapauksessa merkittävästi suuremmat kuin yhteen kertaan jyrstityn tai hiotun betonipinnan.

Ristiin jyrstityn lattiabetonin voimakkaampi haihduttava vaikutus oli mahdollisesti nähtävissä myös sisäilmanäytteissä, sillä sisäilman sisältämät yhdistepitoisuudet olivat kuuden viikon tuuletusjakson loppuun saakka alkutilanteen tasolla. Vähäisen otannan ja erityisesti emissiomittausten tulosten hajonnan vuoksi johtopäätökset eivät olleet kuitenkaan yksiselitteisiä.

Seurantamittaukset, jotka tehtiin puolen vuoden tasaantumisajan jälkeen, osoittavat, että uuden muovipäällysteen päältä mitatut emissiot olivat hyvin alhaisia ja tarkasteltuja indikaattoriyhdisteitä ei emissiomittauksissa havaittu. Tulosten vertaaminen vaurioitumattoman muovipäällysteen vertailuarvoihin (Taulukko 4) osoittaa korjauksen onnistuneen. Sisäilmanäytteen sisältämien yhdisteiden kokonaispitoisuus jäi murto-osaan Työterveyslaitoksen viitearvoista (Taulukko 3) mutta yksi yksittäinen yhdiste ylitti kaksinkertaisesti korjausten tavoitearvon (Luku 3.8). Näin ollen korjausta voidaan pitää varauksin onnistuneena. Tässäkin tapauksessa uudelta lattianpäällysteeltä edellytetään hyvin suurta diffuusiovastusta, jotta korjaustapaa voidaan pitää onnistuneena.

Koehuoneen 3 lattiabetoni kapselointiin kolmen eri valmistajan höyrynsulku- tai kapselointiepoksilla kolmen vuorokauden tuuletuksen jälkeen. Lattiabetoni jyrättiin yhteen kertaan alkuperäisen muovipäällysteen poistamisen jälkeen, kuten koehuoneessa 1. Kolmen vuorokauden tuulettamisen jälkeen tehtyjen rinnakkaisten emissiomittausten tulokset olivat samaa tai lähes samaa suuruusluokkaa kuin koehuoneissa 1 ja 2. Samoin sisäilman sisältämien yhdisteiden pitoisuudet olivat kolmen vuorokauden tuulettamisen jälkeen hyvin samaa suuruusluokkaa muiden mallihuoneiden mittaustulosten kanssa.

Muista koehuoneista poiketen, tilaan ei asennettu uutta lattian muovipäällystettä, vaan seurantatutkimukset tehtiin kapselointiepoksin päältä. Epokseilla A ja C toteutettua mallikorjausta voidaan pitää onnistuneena, mikäli emissiomittausten tuloksia verrataan vaurioitumattoman muovipäällysteen vertailuarvoihin (Taulukko 4). Tuotteiden käsiteltävyys ja mekaaniset ominaisuudet puolsivat myös epoksien A ja C käyttöä. Sitä vastoin kapselointiepoksin B primääriemissiot olivat niin suuria, että pitoisuudet ylittivät vaurioitumattoman muovipäällysteen vertailuarvot noin viisinkertaisesti. Mahdollisesti tästä johtuen myös koehuoneen 4 sisäilmanäytteen sisältämien yhdisteiden kokonaispitoisuus oli kaksinkertainen muiden mallihuoneiden sisäilmanäytteiden mittaustuloksiin. Vertailu Työterveyslaitoksen käyttämiin viitearvoihin (Taulukko 3) osoittaa, että yhdisteiden kokonaispitoisuus jäi murto-osaan tavoitteesta mutta yhden indikaattoriyhdisteen pitoisuus oli kaksinkertainen korjauksen jälkeiseen tavoitearvoon nähden (Luku 3.8). Kapselointiepokseilla toteutettua mallikorjausta voidaan siten pitää varauksin onnistuneena, johtuen erityisesti yhden käytetyn tuotteen suurista primääriemissioista.

Kapseloinnin etuna muiden koehuoneiden mallikorjauksiin voidaan pitää sitä, että kapseloinnin ansiosta lattiabetonille riittää lyhyempi tuuletusaika ja uusi lattianpäällyste voidaan valita vapaasti huomioimatta lattianpäällysteen omaa diffuusiovastusta ja siitä johtuvaa kapselointivaikutusta.

Koehuoneessa 4 suoritettiin niin sanottu pikakorjaus. Lattian alkuperäisen muovipäällysteen poistamisen jälkeen betonipinta hiottiin timanttilaikalla liiman ja tasoitteen poistamiseksi. Lattiapintaa tuuletettiin ainoastaan kolmen vuorokauden ajan ennen uuden muovipäällysteen asentamista. On mahdollista, että lattiapinnan hionnalla aikaansaatu tasalaatuisempi pinnan karheus verrattuna jyräytymiseen voidaan havaita myös tasaisempina emissiomittausten tuloksina. Tämä voisi selittää muista mallihuoneista poikkeavan betonipinnan emissiomittausten tuloksen. Tulosten suuruusluokka jäi kuitenkin keskimääräistä emissionopeutta alhaisemmaksi, joten todennäköisesti hiotulta pinnalta ei emittoitu yhdisteitä niin paljon kuin jyräytystä pinnalta. Päätelmä on yhtenevä tutkimushypoteesin kanssa mutta otannan pienuuden vuoksi tulosten yleistäminen edellyttäisi lisätutkimuksia.

Puolen vuoden tasaantumisaajan jälkeen emissiotaso uuden muovipäällysteen päältä mitattuna oli täysin yhtenevä mallihuoneiden 1 ja 2 kanssa, vaikka lattian betonipinta oli näistä poiketen ainoastaan hiottu ja tuuletusaika oli ainoastaan kolme vuorokautta. Samoin sisäilmamittauksen tulokset olivat yhtenevät mallihuoneiden 1 ja 2 kanssa. Vaikka mallihuoneessa

4 tehtiin niin sanottu pikakorjaus, seurantamittausten tuloksia voidaan pitää hyvinä ja korjaustapaa varauksin onnistuneena, mikäli emissiomittausten tuloksia verrataan vaurioitumattoman muovipäällysteen vertailuarvoihin (Taulukko 4) ja sisäilmanäytteiden tuloksia Työterveyslaitoksen käyttämiin viitearvoihin (Taulukko 3) yhden indikaattoriyhdisteen pitoisuuden ollessa kaksinkertainen korjauksen tavoitearvoon (Luku 3.8) verrattuna. Lyhyemmän tuuletusajan vuoksi lattiabetoniin jäi todennäköisesti mallihuoneita 1 ja 2 suurempia pitoisuuksia siihen imeytyneitä yhdisteitä. Korjausmenetelmän onnistumisen edellytys oli hyvin tiivis lattian muovipäällyste.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koehuoneiden ja -kappaleiden mallikorjauksista saatuja mittaustuloksia ei voitu suoraan verrata keskenään erilaisista tutkimusmenetelmistä ja koeasetelmista johtuen. Tämän vuoksi olisi toivottavaa, että haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sisäilmatutkimuksissa erityisesti emissioiden mittaamisessa ja materiaalinäytteenotossa voitaisiin nopeasti ryhtyä käyttämään yhdenmukaisia tutkimusmenetelmiä. FLEC-menetelmä on hiljalleen syrjäyttämässä muita emissiomittausmenetelmiä, mutta käytössä on silti kaksi toisistaan poikkeavaa standardoitua menetelmää, joiden tuloksia ei voida suoraan verrata keskenään. Betonirakenteen VOC-näytteenotolle ei ole olemassa selkeää ohjeistusta eikä vertailuaineistoa ja -arvoja. Lisäksi olisi syytä selvittää laajemman tutkimusaineiston avulla betonirakenteeseen imeytyneiden yhdisteiden korrelaatio betonipinnan emissioihin, koska näytteenotto betonirakenteesta on hyvin työläs toteuttaa ja se sisältää useita erillisiä näytteitä, mikäli yhdisteiden jakauma ja tunkeuma halutaan selvittää.

Betonipinnan käsittelyllä liiman ja tasoitteen poistamisen yhteydessä oli mittaustulosten mukaan vaikutusta siihen, miten paljon yhdisteitä emittoitiin betonipinnalta tuuletusjakson aikana. Hiotulta pinnalta saatiin hyvin tasaiset tulokset rinnakkaisissa emissiomittauksissa mutta emissionopeus jäi alhaisemmaksi kuin jyrksityltä betonipinnalta. Ristiin jyrskintä tehosti emissionopeutta edelleen mutta rinnakkaisissa mittaustuloksessa oli huomattavaa hajontaa, joten on todennäköistä, että epätasainen pinta myös haihduttaa epätasaisesti betoniin imeytyneitä yhdisteitä. Hionta yhdistettynä tarpeeksi pitkään tuuletukseen on todennäköisesti kuitenkin riittävä toimenpide yhdisteiden haihduttamiseksi riittävästi.

Koekappaleiden mallikorjauksissa havaittiin selkeästi, että lattiabetonin syklinen lämmittäminen yhdessä kolmen viikon tuuletuksen kanssa poisti betoniin imeytyneet yhdisteet erittäin tehokkaasti. Myös huonelämpötilan nostamisella oli haihtumista tehostava vaikutus. Lämpökäsittelyt eivät kuitenkaan sovellu suurille pinta-aloille. Koehuoneiden mallikorjauksissa havaittiin, että tehostettu tuuletus jo sinällään aiheutti haasteita lämpötilan ylläpitämiseksi koska kiinteistön omaa lämmitysjärjestelmää ei ole mitoitettu sellaista käyttötilannetta varten. Samalla havaittiin, että lämpötilan laskeminen muutamalla asteella hidasti merkittävästi yhdisteiden haihtumista.

Betonipinnan tuulettaminen huoneenlämmössä poisti yhdisteet riittävän tehokkaasti, jolloin korjaustapaa voitiin pitää onnistuneena, mikäli tuuletusaika oli tarpeeksi pitkä ja ilmanvaihtokerroin riittävän suuri laimentamaan sisäilman sisältämien yhdisteiden pitoisuutta. Jotta riittävä tuuletusaika voitaisiin varmistaa, on lattiabetonin emissionopeus selvitettävä mittauksin ennen uuden päällysteen asentamista. Tuuletuksen ilmanvaihtokerroin ei ole käytettävissä selkeää ohjeistusta, joten ohjeistuksen laatimisen tueksi tarvittaisiin kattavampaa tutkimusaineistoa.

Niin sanottu pikakorjaus hyvin lyhyellä tuuletusajalla huoneenlämmössä ei juurikaan poistanut betoniin imeytyneitä yhdisteitä. Ellei lattiapintaa kapseloida, on korjauksen onnistuminen täysin riippuvainen lattiabetoniin imeytyneiden yhdisteiden määrästä sekä uuden muovipäällysteen diffusiovastuksesta. Tällöin epäonnistumisen riski korjauksessa on merkittävä.

Lattiabetoniin imeytyneiden yhdisteiden kapselointi oli yksi valituista mallikorjauksista molemmissa tutkimushankkeissa. Yksiselitteinen havainto oli, että epoksit kyllä kapseloivat lattiabetoniin imeytyneet yhdisteet tehokkaasti mutta tuotteiden omat primääriemissiöt voivat olla hyvin suuria. Tuotteen valinnassa on siksi syytä olla kriittinen. On myös mahdollista, että jokin mallihuoneissa käytetyistä kapselointituotteista ei ollut kovertunut täysin, vaikka työn suorituksessa pyrittiin noudattamaan tarkasti materiaalitoimittajan ohjeita. Mallikorjauksissa havaitut ongelmat työsuorituksessa korostavat kohdekohtaisten mallitöiden merkitystä onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi.

Kapselointiepoksi muodostaa betonirakenteen pintaan hyvin tiiviin kalvon, jolloin uusi tasoite ja muovipäällysteen kiinnitysliima jäävät kahden tiiviin pinnan väliin. Olisi syytä selvittää riippumattomin tutkimuksin, mikä on tasoitekerroksen riittävä paksuus ja riittävän alhainen suhteellinen kosteus varmistamaan liiman kosteuden tasaantumisen siten, etteivät uudet pintarakenteet vaurioidu liiallisen kosteuden vaikutuksesta.

Koehuoneiden sisäilman sisältämät TVOC-pitoisuudet olivat puolen vuoden tasaantumisajan jälkeen tehdyissä seurantatutkimuksissa täysin samat kaikissa mallihuoneissa, joissa lattia oli päällystetty uudella muovipäällysteellä. Samoin yksittäisten indikaattoriyhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin samansuuruisia. Uuden muovipäällysteen päältä FLEC-menetelmällä tehdyissä emissiomittauksissa oli hyvin pieniä eroja eri mallihuoneiden välillä vaikka alusbetonin emissioissa oli hyvinkin suuria eroja niin tilojen välillä kuin rinnakkaisissa näytteissä. Onkin syytä olettaa, että PU-kalvolla vahvistettu hyvin tiivis julkisen tilan muovipäällyste itsessään kapseloi alusbetoniin imeytyneet yhdisteet niin tehokkaasti, että emissiöt ja sisäilman sisältämät pitoisuudet olivat lähes yksinomaan uuden muovipäällysteen primääriemissioita. Mallihuoneiden koejärjestelyssä ei ollut mukana verrokkinäytettä, jossa olisi tutkittu pelkkää muovipäällystettä, joten kiistattomia johtopäätöksiä tästä ei voida tehdä. On myös syytä muistaa, että tehdyissä mallikorjauksissa käytettiin vain yhtä muovipäällystettä. Jopa saman valmistajan muovipäällysteissä voi olla hyvin suuria tuotekohtaisia

eroja. Johtopäätösten yleistämisessä koskemaan muita kuin tutkimuksessa käytettyä päällystettä, on oltava hyvin varovainen.

Edellä mainittua korostaa koekappaleiden mallikorjauksissa tehty havainto, jonka mukaan käytetty muovipäällyste läpäisi jonkin verran alusbetoniin jääneitä yhdisteitä. Muovipäällyste oli saman valmistajan eri tuote kuin koehuoneiden mallikorjauksissa, joten materiaaleissa on tuotekohtaisia eroja puhumattakaan eri valmistajien tuotteiden eroista. Muovipäällysteiden haihtuvien orgaanisten yhdisteiden läpäisevyydestä ei ole käytettävissä kattavaa tutkimustietoa ja yksittäisiä yhdisteitä on satoja. Vesihöyryn diffuusiovastus ei kuitenkaan korreloi luotettavasti, jotta sitä voisi sellaisenaan käyttää haihtuvien orgaanisten yhdisteiden läpäisevyyden arviointiin. Mikäli betonilattian VOC-korjauksen onnistuminen perustuu lähes yksinomaan uuden muovipäällysteen kapseloivaan vaikutukseen, on tuotteen valinnan onnistumisella erittäin suuri merkitys korjauksen onnistumiselle.

Uudemmat lattian muovipäällysteet eivät enää sisällä, eikä niistä emittoidu hajoamistuotteinakaan aikaisemmin tunnettuja vaurioituneen lattianpäällysteen indikaattoriyhdisteitä. Näytteiden analysoinnissa käytettävää sisäilmalaboratoriota onkin syytä pyytää erittelemään analyysivastauksissaan uudempien lattianpäällysteiden vaurioitumisen indikaattoreina esiintyviä C₉-alkoholeja.

LÄHTEET

Asikainen, V. (toim.) 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen, Osa 1, Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnan tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Opetushallitus. Vammala.

Asumisterveysopas 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. 3. korjattu painos.

Backlund, P. 2014. Uusien lattiamuovipäällysteiden emissiot. Sisäilmasto-seminaari 2014. Seminaarijulkaisu. Messukeskus. Helsinki.

Betonikeskus ry 2008. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Suomen Betonitieto Oy. Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry.

Björkholtz, D. 2004. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. 3. painos. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Byggvarubedömningen 2013. Bedömningskriterier 26.08.2013. Sundbyberg. Viitattu 30.12.2013. http://www.byggvarubedomningen.se/documents/public/bedomningskriterier/Kriterier/Byggvarubedomningens_bedomningskriterier_fran_20130826_131007_Red1.pdf

Eronen, J. (toim.) 1998. Päällystettyjen betonilattioiden emissiot. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.

FiSIAQ 2014. The Finnish Society of Indoor Air and Climate. M1 Emission Classification of Building Materials: Protocol for Chemical and Sensory Testing of Building Materials. Version 8.4.2014.

GEV Classification Criteria 2013. Association for the Control of Emissions in Products for Flooring Installation, Adhesives and Building Materials (GEV). Requirements for Emission Controlled Installation Products, Adhesives and Building Materials, Award of EMICODE. Edition: 15.04.2013.

GEV Testing Method 2013. Association for the Control of Emissions in Products for Flooring Installation, Adhesives and Construction Products (GEV). Determination of Volatile Organic Compounds for Control of Emissions from Products for Flooring Installation, Adhesives, Construction Products and Wood Flooring Coatings. Edition: 15.04.2013.

ISO 16000-6:2011. Indoor air -- Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID.

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

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

ISO 16000-28:2012. Indoor air -- Part 28: Determination of odour emissions from building products using test chambers.

Jokipii, M., Kollanen, T. & Valkonen, H. 2014. Vaurioituneiden säilytettyjen kiviaineisten rakenteiden käsittely. Terve Tila -hanke. Versio 0.6. Päivätty 29.01.2014. Jyväskylä.

Järnström, H. & Saarela, K. 2005. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa. VTT Tiedotteita 2281. Espoo.

Järnström, H. 2005. Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT Publications 571. Espoo.

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

Karvinen, K. 2008. Lattiarakenteista aiheutuvat sisäilmaongelmat ja niiden korjaaminen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio.

Keinänen, H. 2013. Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin. Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

Kylliäinen, K. 2010. Betonirakenteiden VOC-emissiot ja niiden vähentäminen rakennetta lämmittämällä. Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. Aducate Reports and Books 7/2010. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

Lappi, S. 2013. Uudempien PVC-lattiapäällysteiden vaurioituminen kosteusrasituksen johdosta. Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

Lindström, M. 2006. Rakennusmateriaalien sorptio- ja desorptioilmiöiden mallintaminen haihtuville orgaanisille yhdisteille. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Merikallio, T. (toim.) 2008. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy. Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry.

Metiäinen, P. 2007. Muovimattojen päästöongelmat betonilattioissa. Rakennusfysiikka 2007. Seminaarijulkaisu 1. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Metiäinen, P. 2009. Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijana. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 9/2009. Helsinki.

Miettinen, M. 2010. Kemiallisesti hajoavien lattian pintarakenteiden korjaaminen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio.

NT Build 484. 1998. BUILDING MATERIALS: EMISSION OF VOLATILE COMPOUNDS – On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC). Nordtest.

Palomäki, E. 2008. Muovimaton uusiminen. Työohje 8.4.2008. Työterveyslaitos. Tampere. Viitattu 30.12.2013. http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/Documents/Muovimaton_uusiminen.pdf

Palomäki, E. 2011. Rakennusmateriaaleista peräisin olevat sisäilman epäpuhtaudet. 4.10.2011. Työterveyslaitos. Luentoaineisto.

Peltola, S. (toim.) 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen, Osa 2, Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen. Opetushallitus. Vammala.

Ratu 82-0383. 2011. Kosteus ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. Menetelmät. Julkaistu 04.05.2011. Rakennustieto Oy.

Ratu S-1225. 2009. Pölyntorjunta rakennustyössä. Julkaistu 18.12.2009. Rakennustieto Oy.

Salonen, H. (toim.) 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitos. Tampere.

Sievänen, M. 2010. Kutsu Jyväskylän kiinteistönomistajille Terve Tila -hankkeeseen. Tampere.

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovellukset. Tampere.

Sisäilmayhdistys 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-10946.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2013. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista. LUONNOS.

SYK 2011. Betonin VOC-korjausmenetelmien vertailu, kokousmuistio 25.11.2011. Suomen Yliopistokiinteistöt Oy. Tampere.

Tarkastusvaliokunta 2013. Tarkastusvaliokunnan mietintö 1/2013 vp. TrVM 1/2013 vp – M 5/2013 vp.

Tarkett 2013. Tarkett luopuu ftalaattien käytöstä muovilattioissa. Tiedote, lokakuu 2013. Viitattu 25.02.2014. http://kohdemyynti-lattiat.tarkett.fi/sites/tarkettb2b_fi/files/tarkett_tiedote_lokakuu_2013_tarkett_luopuu_ftalaattien_kaytosta_1.pdf

Tarkett 2014a. Homogeeniset muovilattiat - iQ-lattiat. Viitattu 25.02.2014. <http://kohdemyynti-lattiat.tarkett.fi/products/homogeeniset-muovilattiat-iq-lattiat>

Tarkett 2014b. Heterogeeniset muovilattiat. Viitattu 25.02.2014. http://kohde_myynti-lattiat.tarkett.fi/products/heterogeeniset-muovilattiat

Työterveyslaitos 2010. Epoksiyhdisteiden aiheuttamia allergisista kosketusihottumista aiheutuu erityisesti maalaus- ja talonrakennustyössä ja sähkö- ja elektroniikkatuotteiden kokoamistyössä. Päivitetty 21.10.2010. Viitattu 25.02.2014. http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/epoksiyhdisteet/Sivut/default.aspx

Työterveyslaitos 2011a. Sisäilman 2-etyyli-1-heksanoli. Päivitetty 23.06.2011. Viitattu 19.09.2011. http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisa_ymparisto/terveydelliset_tekijat/sisailman_2eh/sivut/default.aspx

Työterveyslaitos 2011b. VOC-näytteenotto FLEC-laitteella. 9/2011. Viitattu 31.12.2013. http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/kemikaalit_ja_polyt/kemian_analyysit/Documents/FLEC-ohje.pdf

Työterveyslaitos 2013. Lattiapinnoitteiden uudet kosteusvaurioindikaattorit. Viitattu 30.12.2013. http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisa_ymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhtaudet/sivut/default.aspx

Upofloor 2014a. Julkiset tilat, Muovimatot. Viitattu 25.02.2014. http://www.upofloor.fi/upofloor_fi/upofloor_oy/etusivu/tuotteet/julkiset_tilat/muovimatot/

Upofloor 2014b. Asuntomatot. Viitattu 25.02.2014. http://www.upofloor.fi/upofloor_fi/upofloor_oy/etusivu/tuotteet/asuntilat/asuntomatot/

Valvira 2011. Lausunto VOC-mittaustulosten tulkinnasta asuntojen terveyshaitta-asioissa. 30.08.2011. Kouvola. Viitattu 31.12.2013. http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC_lausunto_ESAVI.pdf

WHO 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization. Viitattu 30.12.2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf