



Helena Järnström

Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa

VTT PUBLICATIONS 571

Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa

Helena Järnström

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



ISBN 951-38-6651-3 (nid.)

ISSN 1235-0621 (nid.)

ISBN 951-38-6652-1 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0849 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7027, 020 722 7066

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 5, PB 1806, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7027, 020 722 7066

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7027, +358 20 722 7066

Sivulle 42 tehty lisäys elokuussa 2007.

Toimitus Anni Kääriäinen

Valopaino Oy, Helsinki 2005

Järnström, Helena. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa [VOC emission from the PVC coated floor structure at indoor air problem sites]. Espoo 2005. VTT Publications 571. 76 s. + liitt. 14 s.

Avainsanat indoor air quality, apartment houses, floor structures, surface coating, construction materials, emissions, volatile organic compounds, formaldehyde, ammonia, measuring techniques

Tiivistelmä

Tutkimuksen aikana selvitettiin, miten lattiapinnoitteen vaurio ja korjaustoimenpiteen onnistuminen pystytään todentamaan olemassa olevilla kemiallisten epäpuhtauksien mittaustekniikoilla. Yhteensä tutkittiin seitsemän asuntoa kolmessa eri kerrostalokohteessa, joissa asukkailla esiintyi asunnossa oleskeluun liittyvää oireilua. Ilmanvaihtokerroin oli säädösten mukainen kaikissa asunnoissa. Korjaustoimenpiteinä lattiapinnoite (PVC) ja sen alla oleva liima (ja yhdessä kohteessa tasoite) poistettiin ja kohteisiin asennettiin uudet, vähäpäästöiset pinnoitteet.

Sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuustasot (VOC, formaldehydi, ammoniakki) määritettiin ennen korjaustoimenpiteitä. Sisäilman VOC-yhdisteiden TXIB- ja 2-etyyliheksanolin pitoisuuksien todettiin olevan keskimäärin kaksinkertaiset verrattuna normaaliin tasoon. Vertailuarvoina käytettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sisäilmatietopankin kahdeksasta uudiskohteesta saatuja mittaustuloksia. TXIB-kohteessa tutkittiin asumisen vaikutusta sisäilman pitoisuuksiin ja todettiin, että TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuus oli kaksinkertainen asutuissa huoneistoissa. Asuminen ei vaikuttanut sisäilman TXIB-pitoisuuteen eikä lattiapinnoitteen TXIB-emissioon.

FLEC-tekniikalla tehtyjen rakenteen emissiomittausten perusteella lattiarakenne todettiin epäpuhtauslähteeksi jokaisessa seitsemässä asunnossa. Lattiapinnoitteen päältä mitatut emissiot olivat VTT:n materiaaliemissiotietopankin uusista, ongelmattomista kohteista kerättyihin arvoihin verrattuna 3–4 kertaa (TXIB) ja 3–5 kertaa (2-etyyliheksanoli) korkeammat. Tutkimus osoitti, että emissiot tulisi mitata paikan päällä suoraan epäilystä rakenteesta, ja epäillyn ongelmarakenteen (lattia) mittaukselle kehitettiin toimintamalli.

Sisäilman pitoisuuksia ja lattiarakenteen emissioita seurattiin vuosi korjaustoimenpiteen jälkeen. Asuntojen TVOC-pitoisuus oli tavallisesti 12 kuukauden kuluttua korjaustoimenpiteistä sisäilmastoluokituksen S2-luokkaa vastaava ($<300 \mu\text{g}/\text{m}^3$). TXIB-pitoisuus oli keskimäärin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja uuden lattiapinnoitteen TXIB-emissio oli hyvin pieni eli $8 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ tai alle. 2-etyyliheksanoliipitoisuus oli vastaavasti $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tai alle ja lattiapinnoitteen 2-etyyliheksanoliemissio $25\text{--}46 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Asukaskyselyjen perusteella korjaustoimenpide vähensi oireita merkittävästi.

Järnström, Helena. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapa-
uksissa [VOC emission from the PVC coated floor structure at indoor air problem sites]. Espoo
2005. VTT Publications 571. 76 p. + app. 14 p.

Keywords indoor air quality, apartment houses, floor structures, surface coating,
construction materials, emissions, volatile organic compounds, formaldehyde,
ammonia, measuring techniques

Abstract

The research project investigated whether it is possible to identify an indoor air problem by using measurement techniques that are available today for measuring indoor pollutants, as well as the effect of remediation procedures in the long run. Seven apartments were investigated in three different apartment buildings, where the occupants had been suffering from different symptoms. The air exchange rates were as regulated. As a renovation procedure, the floor covering and adhesive (and smoothing material at one site) was removed and replaced with a new, low-emitting product.

The concentration of indoor air pollutants (VOCs, formaldehyde, ammonia) was determined prior to the renovation. The concentration of the VOC compounds TXIB and 2-ethyl-hexanol were generally two times higher than normally according to the VTT Building and Transport indoor air database. The effect of inhabitants was investigated at the TXIB-sites. The TVOC, ammonia and formaldehyde concentration was two times higher in the inhabited apartments compared to the emptied and cleaned apartments. The TXIB concentration, however, was not effected by occupancy.

The floor structure was determined, by using FLEC-technique, to be the source of the pollutants at all sites. The emission levels of the pollutants were 3–4 (TXIB) and 3–5 (2-ethyl-hexanol) times higher than normally in reference buildings according to the VTT material emission database. A specific measurement approach was determined for the problem structure (floor). The research concluded that the emissions should be determined on site from the real structure at problem cases.

The indoor air concentration and emissions of the floor structure were followed during the first year after the renovation. The TVOC-level reached generally the S2-class ($<300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) according to the Finnish indoor climate classification. The TXIB concentration was $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on average and the TXIB-emission measured from the new floor covering was very low, $8 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ or smaller. The 2-ethyl-hexanol concentration was $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ or smaller and the 2-ethyl-hexanol emission of the floor covering was $25\text{--}46 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. The results gained from a survey made among the inhabitants concluded that the symptoms had markedly decreased after the renovation.

Alkusanat

Tämän lisensiaattitutkimuksen aineisto perustuu Tekesin Terve Talo -teknologiaohjelman pariin kuuluneen tutkimuksen "Sisäilmaongelman toteaminen, korjaus ja jälkiseuranta" aikana erilaisista sisäilmaongelmakohteista vuosina 2000–2003 kerättyyn tutkimustietoon sisäilman laadusta sekä rakenteiden emissioista. Projektin ideoija ja vastuuhenkilö oli VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan erikoistutkija Kristina Saarela, ja hanke käynnistettiin yhteistyössä Insinööritoimisto Mikko Vahasen kanssa. Projektin rahoittajina oli Tekesin lisäksi yhteensä 14 osapuolta, jotka edustivat rakennuttajia, rakennusurakoitsijoita, materiaalivalmistajia sekä eri asiantuntijaosapuolia. Johtoryhmän kokoonpano oli seuraava: Risto Ruotsalainen Allergia- ja astmaliitosta (mukana vuodesta 2001), Klaus Hamström Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimistosta, Markku Viinikka Helsingin kaupungin ympäristökeskuksesta, Ilkka Jerkku Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy:stä, Heimo Levamo Kiinteistön tuottoanalyysit Oy:stä, Pentti Lumme (johtoryhmän puheenjohtaja) Lohja Rudus Oy:stä, Raimo Ellonen NCC Finland Oy:stä, Helena Turto Optiroc Oy:stä, Kari Varkki Rakennusosakeyhtiö Hartela Oy:stä, Matti Salonen Saint-Gobain Isover Oy:stä, Jari Iso-Anttila Skanska Etelä-Suomi Oy:stä, Toste Karlsson Tarkett Sommer Oy:stä, Matti Salo Upofloor Oy:stä, Jukka Riikonen Valtion Kiinteistölaitoksesta sekä Kurt Johansson VVO-Rakennuttaja Oy:stä. Tekesin edustaja johtoryhmässä oli projektin alkuvaiheessa Ilmari Absetz ja hänen seuraajansa oli Jarmo J. Heinonen. Esitän lämpimät kiitokset projektin rahoittajaosapuolille, joiden ansiosta tämä tutkimus oli mahdollinen.

Lämpimät kiitokset Kristina Saarelalle, jonka aloitteesta ja kannustuksesta lisensiaattityöni sai alkuunsa, sekä ohjaajilleni professori Anna-Liisa Pasaselle (Kuopion yliopisto) ja professori Pentti Kalliokoskelle (Kuopion yliopisto). Heidän asiantuntemuksensa ja neuvonsa olivat avuksi lisensiaattityön eri vaiheissa. Kiitokset myös työni tarkastajille filosofian lisensiaatti Kirsi Villbergille ja filosofian tohtori Anneli Tuomaiselle. Lämpimät kiitokset Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen yhdyshenkilöille ympäristötarkastaja Pertti Metiäiselle ja Sinikka Ekblomille, joiden avustuksella toteutimme kenttämittaukset. Erityiskiitokset VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan teknikko Eero Luostariselalle, joka suoritti suuren osan kenttämittauksista, sekä erikoistutkija Tiina Tirkkoselle avusta koko toteutuksen aikana. Kiitokset myös tutkimuskohteista vastanneille kiinteistöyhtiöille sekä asukkaille yhteistyöstä. Lopuksi haluan kiittää perhettäni tuesta ja kannustuksesta.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	7
Symboliluettelo	10
1. Johdanto	13
2. Kirjallisuuskatsaus	16
2.1 Materiaaliemissioiden muodostuminen ja niiden vaikutus sisäilman laatuun	16
2.1.1 Ominaisemissiot ja ulkoisten olosuhteiden vaikutus emissioihin	16
2.1.2 Ulkoisten olosuhteiden merkitys sisäilmassa esiintyvien yhdisteiden pitoisuustasoihin	19
2.2 Ohje- ja vertailuarvot sisäilman kemiallisille epäpuhtauksille	20
2.2.1 Kansainväliset ohjearvot	20
2.2.2 Suomalaisen Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset ja Asumisterveysohje	22
2.3 Sisäilma- ja materiaaliluokitukset	24
2.3.1 Kansainväliset luokitukset	24
2.3.2 Suomalainen sisäilmaluokitus	24
2.3.3 Tutkimustietoa sisäilmastoluokituksen soveltamisesta asuin- ja toimistorakennuksissa	26
2.4 Sisäilman kemiallisten yhdisteiden terveysvaikutukset	27
2.4.1 Formaldehydi, TVOC ja epäorgaaniset kaasut	27
2.4.2 Yksittäiset VOC-yhdisteet	28
2.5 Kemiallisten epäpuhtauksien tutkimusmenetelmät ja laskentatavat	32
2.5.1 Sisäilma- ja emissionäytteen näyttö	32
2.5.2 Kemiallisten epäpuhtauksien analysointi	34

3. Tutkimuksen tavoitteet	36
4. Aineisto ja menetelmät	37
4.1 Mittauskohteet ja mittausten toteutus	37
4.1.1 Sisäilmaongelmakohde 1	37
4.1.2 Sisäilmaongelmakohde 2	39
4.1.3 Sisäilmaongelmakohde 3	39
4.2 Emissio- ja sisäilmamittaukset	41
4.3 Vertailuarvot.....	42
5. Tulokset ja tulosten tarkastelu	44
5.1 Sisäilmaongelmakohde 1	44
5.1.1 Ennen korjaustoimenpiteitä suoritettut mittaukset	44
5.1.2 Pinnoitteen poiston yhteydessä suoritettut mittaukset.....	45
5.1.3 Seurantamittaukset 4 viikkoa sekä 6 ja 12 kuukautta uuden pinnoitteen asennuksesta	49
5.1.4 Yhteenveto kohteessa tehdyistä asukaskyselyistä.....	51
5.2 Sisäilmaongelmakohde 2.....	53
5.3 Ongelmakohde 3.....	56
5.3.1 Sisäilman ja pintojen emissiomittaukset ennen korjaustoimenpiteitä	56
5.3.2 Lattiarakenteen emissiot pinnoitteen poiston yhteydessä	57
5.3.3 Sisäilman laadun ja pintojen emissiomittaukset korjaustoimenpiteen jälkeen.....	59
6. Yhteenveto korjauskohteiden tuloksista	62
7. Johtopäätökset.....	67
Lähdeluettelo	69

Liitteet

Liite A: Asukkaille toimitettu tiedote ennen sisäilma- ja emissiomittauksia

Liite B: Asukaskysely ongelmakohteille

Liite C: Sisäilma- ja emissiomittaustulokset

Symboliluettelo

ASTM	American Society for Testing Materials
BHT	(2, 6-bis(1,1,-dimetyylietyyli-4-metyylifenoli)
CEN	Comitè Européen de Normalisation, (eng. European Committee for Standardization)
DNPH	2,4-dinitrophenylhydrazine
ECP	eosinophilic cationic protein
ETS	environmental tobacco smoke
FID	flame ionization detector
FLEC	field and laboratory emission cell
GC	gas chromatograph
GEV	Gemeinschaft emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe e.V.
GUT	Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden
HOPE	Health optimization protocol for energy efficient buildings
HYKS	Helsingin yliopistollinen keskussairaala
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICL	The Indoor Climate Labelling
ISO	International Organization for Standardization
MSD	mass selective detector
OCIA	organic compounds in indoor air
PCB	polychlorinated biphenyl compounds

PCDD	polychlorinated dibenzodioxine
PCDF	polychlorinated dibenzofurane
POM	particulate organic matter
PVC	polyvinylchloride
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.
RH	relative humidity
SBS	sick building syndrome
SCAN (eng.)	suomenno: skannata
SER	specific emission rate
SIM	selected ion monitoring
STM	sosiaali- ja terveystministeriö
SVOC	semi volatile organic compounds
TXIB	2,2,4-trimethyl-1,3-pentenediol di-isobutyrate
TVOC	total volatile organic compounds
UZ 38	(RAL) Umweltzeichen 38
UR	unit risk
VOC	volatile organic compounds
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
VVOC	very volatile organic compound
WHO	World Health Organization
YMK	Helsingin kaupungin ympäristökeskus

1. Johdanto

Suomessa sisäilman laatuun liittyviä ongelmia alkoi esiintyä laajemmin 1970-luvulla. Tuolloin alettiin käyttää ureaformaldehydivaahtoa vanhojen talojen lisälämmöneristeinä. Myös lastulevyissä käytettiin ureaformaldehydihartsia liima-aineina. Ureaformaldehydi hajosi kosteuden vaikutuksesta ja muodosti tänä päivänä syöpävaaralliseksi luokiteltua formaldehydiä. (Ojala & Saarela 1977, Wäänänen ym. 1984, Paavola & Niemi 1978, IARC 2004.) Samalla vuosikymmenellä energiakriisin myötä pyrittiin mahdollisimman energiaa säästävään rakentamiseen eli tiiviiseen rakennusvaippaan, minkä johdosta ilman vaihtuvuus näissä rakennuksissa jäi usein puutteelliseksi (Teknillinen korkeakoulu 1986). Nyt tiedetään, että tämä rakennustapa on riski sisäilman laadun kannalta. Riittämättömän ilmanvaihdon seurauksena rakenteesta peräisin olevat terveydelle haitalliset yhdisteet kerääntyvät sisäilmaan, jolloin ihminen altistuu niille (Kreiss 1998).

Synteettisesti valmistetut rakennusmateriaalit muodostavat rakennuksissa tärkeän haitallisten aineiden päästölähteen. Viime vuosikymmeninä materiaalien kehityksessä on otettu terveydelliset näkökohdat aiempaa paremmin huomioon. Esimerkkinä mainittakoon maalit, joiden liuotinpitoisuus on merkittävästi vähentynyt. Lisäksi on vaihdettu alhaalla kiehuvia, helposti haihtuvat liuottimia korkeammalla kiehuviin yhdisteisiin (Klein 1993, Bjorseth & Malvik 1995). Nykyisin valtaosa rakennusmaaleista on vesiohenteisia. Liuotinohenteisiä maaleja käytetään vain erityistilanteissa. Vesiohenteissa maaleissa on kuitenkin usein pieniä määriä orgaanisia liuottimia, erityisesti kalvonmuodostajina toimivia glykoleja ja glykolieettereitä (Swaraj 1985, Yu & Crump 1998, 2000). Materiaalien liuotinpäästöjä kuvastavat orgaanisten haihtuvien yhdisteiden (VOC) emissiot, joita alettiin tutkia enenevässä määrin 1980-luvulla. Näiden yhdisteiden uskottiin osaltaan vaikuttavan nk. sairas rakennus -oireyhtymään (englanniksi SBS = sick building syndrome) ja niiden epäiltiin myös olevan osasy syy erilaisten allergioiden lisääntymiseen länsimaissa (Kreiss 1998). VOC-yhdisteiden terveysvaikutuksia esitellään tarkemmin kohdassa 2.4. Kansainvälisen terveysjärjestön, WHO:n, antaman määrittelyn mukaan VOC-alueeseen lasketaan ne yhdisteet, joiden kiehumispiste on ~50–260 °C. Tämän lämpötila-alueen alapuolella (<0 ~50–100°) kiehuvia yhdisteitä kutsutaan hyvin haihtuviksi eli VVOC (very volatile organic compound) -yhdisteiksi ja vastaavasti alueen yläpuolella kiehuvia yhdisteitä huonosti haihtuviksi SVOC (semi volatile organic compound) -yhdisteiksi. Yli 380 °C:ssa kiehuvia yhdisteitä ovat hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet, joita

nimitetään POM (particulate organic matter) -yhdisteiksi. (WHO 1989.) VOC-yhdisteiden muita päästölähteitä sisäilmaan ovat tuloilman kautta kulkeutuvat epäpuhtaudet (liikenteen päästöt ulkoilmassa), ilmanvaihtojärjestelmästä kulkeutuvat epäpuhtaudet, tilassa tapahtuva toiminta (mm. tupakointi, puhdistusaineet, kopiointikoneet ja tulostuslaitteet), mikrobit sekä sisäilmassa tapahtuvat kemialliset reaktiot (Wolkoff 1995, Weschler 2000). Eurooppalaisessa altistumistutkimuksessa kotona, sisätiloissa tapahtuvan altistumisen epäpuhtauksille on todettu olevan merkittävää työpaikalla tai ulkona tapahtuvaan altistumiseen verrattuna (Saarela ym. 2003).

Eri maissa on luotu luokitusjärjestelmiä, joiden tavoitteena on saada materiaaleista haihtuvien haitallisten yhdisteiden emissiot mahdollisimman pieneksi. Tunnetuimmat eurooppalaiset luokitukset ovat tanskalainen sisäilmastoluokitus (ICL), teollisuuden Emission Code mm. liimatuotteille (GEV), saksalaiset GUT ja RAL-UZ 38 matoille ja puuperäisille tuotteille sekä suomalainen Sisäilmastoluokitus 2000, joka esitellään tarkemmin kohdassa 2.3.2. Rakennusmateriaalien emissiomäärittelyn harmonisointi on tähän asti keskittynyt lähinnä mittaus- ja analyysitekniikoiden yhtenäistämiseen, ja näin ollen esimerkiksi yleinen testauskäytäntö ja viitearvot voivat vielä vaihdella eri luokitusten välillä (Kephapoulos ym. 2003).

VOC-yhdisteiden ulkopuolelle osittain jäävät, nk. puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet, SVOCit, voivat myös olla varteenotettavia sisäilman laadun ja terveysriskin kannalta. SVOC-yhdisteisiin kuuluu mm. eri pehmittimiä, palonsuoja-aineita sekä lahonestoaineita. Ne esiintyvät, korkean kiehumispisteensä vuoksi, pääasiassa sisäilman hiukkasiin sitoutuneina tai pinnoilla (Salthammer 1999, Kemmler ym. 2003, Weschler 2003, Wilke ym. 2004). Myös otsonin vaikutusta sisäilmassa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin on tutkittu viime aikoina, ja näissä reaktioissa syntyvien yhdisteiden on epäilty olevan ärsyttäviä (Weschler & Shields 1997, Weschler 2000, Wolkoff & Nielsen 2001). Reaktiossa syntyviä tuotteita on kuitenkin voitu analysoida vain puutteellisesti. Tältä osin lisätutkimuksen tarve on ilmeinen etenkin sen vuoksi, että monet sisäilmaan liittyvät ongelmatapaukset jäävät edelleen ratkaisematta (Sundell 2000).

Sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat edelleen yleisiä. Viime vuosina asukkailla on ilmennyt oireita uuteen asuntoon muuton jälkeen. Uudehkon rakennuksen sisäilmavalituksen tulkitsemisessa on käytetty erilaisia mittausstrategioita ja

menetelmiä. Lisäksi mittaustulosten vertailuun tarvittava referenssidata on ollut puutteellista. Tässä julkaisussa esitetyn tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten kemiallisin mittauksin voidaan todentaa sisäilmaongelma, sen aiheuttaja sekä korjaustoimenpiteiden onnistuminen pitkällä aikavälillä. Opinnäytetyön aineisto kerättiin Tekesin Terve Talo -teknologiaohjelman pariin kuuluneen tutkimuksen aikana kolmesta eri sisäilmaongelmakohteesta vuosien 2000–2003 aikana.

2. Kirjallisuuskatsaus

2.1 Materiaaliemissioiden muodostuminen ja niiden vaikutus sisäilman laatuun

2.1.1 Ominaisemissiot ja ulkoisten olosuhteiden vaikutus emissioihin

Rakenteiden emissioita on tutkittu liittyen erilaisiin sisäilman ongelmatapauksiin, joissa ongelman aiheuttajaksi on epäilty rakenteesta peräisin olevia epäpuhtauksia. Usein rakenteessa on havaittu epätavallinen värjäytymä tai vaurio (Karlsson ym. 1989). 1980-luvulla aloitettiin kehitystyö rakenteiden emissioiden määrittämiseksi, ja sen seurauksena on nykyään käytössä emissiokammioimittustekniikka. Mittaustekniikka esitetään tarkemmin kohdassa 2.5.

Materiaaliemissio on materiaalin pinnasta tapahtuva kemiallisten yhdisteiden haihtumisilmiö. Emissio ilmoitetaan massayksikkönä pinta-ala- ja aikayksikköä kohden eli $\text{mg/m}^2\text{h}$ ($= 1\,000\ \mu\text{g/m}^2\text{h}$) tai vaihtoehtoisesti massayksikkönä massayksikköä kohden eli mg/kg . Materiaaliemission nopeuteen vaikuttavat mm. materiaalin lämpötila, sen pinnassa tapahtuva ilmanvaihtuvuus sekä yhdisteen diffuusiokerroin kyseisessä materiaalissa (Wolkoff 1998, Salthammer 1999).

Tietylle uudelle rakennusmateriaalille ominaista emissiota kutsutaan ominaisemissioksi tai primaariemissioksi. Viime vuosikymmenellä on julkaistu useita tutkimuksia, joissa on selvitetty eri materiaalien tyypillisimmät VOC-emissiot (Wolkoff 1995, Salthammer 1999, Wilke ym. 2004). Taulukossa 1 esitetään sisäkäyttöön tarkoitetuista rakennustuotteista mitattuja tyypillisiä VOC-yhdisteitä ja yhdisteryhmiä. Emissionopeudet ovat tasolla $\mu\text{g/m}^2\text{h}$ – $\text{mg/m}^2\text{h}$ (Wolkoff 1995).

Taulukko 1. Rakennustuotteista mitattuja VOC- yhdisteiden ja yhdisteryhmien emissioita (Wolkoff 1995).

Rakennustuote	VOC-yhdiste/yhdisteryhmä
Muovimatto (PVC)	Alkaanit, aromaattiset yhdisteet, 2-etyyliheksanoli, TXIB (esteriyhdiste)
Parkettilaite (puu)	C ₅ -C ₆ -aldehydit, terpeenit
Linoleum	C ₅ -C ₁₁ -aldehydit, alifaattiset hapot, bentsaldehydi
Kumimatto	Asetofenoni, alkyloidut aromaattiset yhdisteet, styreeni
Liima	C ₉ -C ₁₁ -alkaanit, tolueni, styreeni
Lakka	Alkaanit, aldehydit
Maali	Alkaanit, glykolit, glykoliesterit, Texanol
Saumausaine	Ketonit, esterit, glykolit, polyklooratut bifenyylit, siloksaani
Lastulevy	Alkaanit, aldehydit, ketonit, butanoli, formaldehydi

VOC-emissiot lisääntyvät, kun rakenteen kosteuspitoisuus on korkea. Ongelmaa esiintyy erityisesti lattiarakenteissa. Mm. muovimatoissa pehmittimenä käytetyt ftalaatit hajosivat alkalisen kosteuden vaikutuksesta, jolloin muodostui 2-etyyliheksanolia (Gustafsson 1990). Pohjoismaissa on tutkittu 1970- ja 1980-luvuilla käytetyn kaseiinipitoisen, itsestään tasoittuvan tasoitteen emissioita. Proteiiniin kuuluva kaseiini hajoaa korkeassa kosteudessa ja muodostaa mm. ammo-niakkia (Karlsson ym. 1989, Gustafsson 1990, Bornehag 1991). Tällaisessa tapauksessa oli havaittavissa epämiellyttävää hajua ja lattiapinnoitteen värjäytymiä. Lattiarakenteen emissioita sekä tasoitteen ja liiman vaikutusta niihin on selvitetty useassa ruotsalaisissa tutkimuksissa (Fritsche 1996, Sjöberg 2001, Persson 2003, Alexanderson 2004). Sisäilmaongelman aiheuttaja voi myös olla huonolaatuinen materiaali, jonka VOC-emissiot itsessään ovat korkeat (Saarela 2005).

Suomessa tehtiin laaja 20 kuntaa tai kuntayhtymää käsittänyt asuntojen sisäilman ammoniakkipitoisuustutkimus (Hiltunen 2000). Tutkimuskohteet olivat

pääasiassa 1990-luvun asuntoja, ja mittauksen yleisin lähtökohta oli asukkaiden oireilu. Tyypillinen ongelmakohde oli betonirakenteinen kerrostaloasunto, jossa oli koneellinen poistoilmajärjestelmä. Asunnon lattiapinnoitteena oli muovimatto, seinäpinnoitteena maalia ja kattopinnoitteena maalaamaton tasoite. Korkeimmat ammoniakkipitoisuudet ylittivät $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikista mitatuista ammoniakkipitoisuuksista 70 % oli enimmillään $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lisäksi havaittiin, että kotieläimet ja tupakointi lisäsivät ammoniakkipitoisuuksia. Lämpötila sekä suhteellinen kosteus korreloivat myös positiivisesti ammoniakkipitoisuuteen. Tutkimuksen perusteella todettiin, että ammoniakkipitoisuudet ovat nousseet 1990-luvun asuntotuotannossa. Selittävä tekijänä esitettiin rakennusaikojen lyhene mistä, minkä seurauksena betoniset rakenteet ovat valmiissa rakennuksessa kosteampia kuin aiemmin. Tämän perusteella todettiin, että riittävä työmaa-aikainen kosteudenhallinta on tärkeä tekijä sisäilman ammoniakkipitoisuuden kannalta (Hiltunen 2000).

Ammoniakin lisäksi lattiarakenteen ongelmatapauksiin liittyvistä ilmanäytteistä on tunnistettu monoamiineja (Karlsson ym. 1989). Ne, kuten 2-etyyliheksanoli ja ammoniakki, muodostuvat materiaalisissa esiintyvien yhdisteiden hajoamisessa jonkin ulkopuolisen tekijän vaikutuksesta, ja niitä kutsutaan sekundaariemissioiksi. Tärkein tekijä on kosteus. Muita sekundaariemissioita aikaansaavia ulkoisia tekijöitä ovat lämpötila ja otsoni. Sekundaariemissioiden sisältävät happoja, aldehydejä sekä alkoholiyhdisteitä. VOC-yhdisteiden (limoneeni, α -pineeni, β -pineeni, styreeni, rasvahapot, vinyylisyklohekseeni) hapettumistuotteita ovat mm. formaldehydi, bentsaldehydi, asetoni, sykloheksanoni, nopinoni, 6-metyyli-5-hepten-2-oni, 4-asetyyli-1-metyyli-syklohekseeni sekä muurahais- ja etikkahappo (Wolkoff 1995). Aldehydeillä on usein hyvin matala hajukynnys, ja näin ollen niiden emissioiden lisääntyminen heikentää koettua sisäilman laatua (Wolkoff 1998, Wolkoff & Nielsen 2001).

Primaari- ja sekundaariemissioiden ajallinen kehitys on erilaista. Primaariemissioille on tyypillistä, että ne (uusissa materiaaleissa) pienenevät ajan funktiona suhteellisen nopeasti; tämä pätee erityisesti alhaalla kiehuviin liuotinyhdisteisiin. Korkeammalla kiehuville yhdisteille emissionopeus määräytyy sen diffuusioominaisuuksista. Sekundaariemissioiden emissio profiili taas on suhteellisen tasainen ajan funktiona, ja emissioita voi esiintyä pitkällä aikavälillä, jopa monen vuoden ajan (Wolkoff 1999).

2.1.2 Ulkoisten olosuhteiden merkitys sisäilmassa esiintyvien yhdisteiden pitoisuustasoihin

Ilmanvaihdon merkitys on olennainen sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien kannalta (Tuomainen ym. 2003). Ilmanvaihdon kaksinkertaistuksessa sisäilman TVOC-pitoisuus voi neljässä viikossa pienentyä jopa 60 % (VOC-yhdisteiden fysikaalisten ominaisuuksien mukaan) (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Uudiskohteissa on todettu, että *ilmanvaihtojärjestelmällä* on merkitystä sisäilman pitoisuuksiin: luovutusvaiheessa on mitattu selvästi pienempiä TVOC-pitoisuuksia, kun kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, verrattuna kohteeseen, jossa on pelkästään koneellinen poistoilmajärjestelmä (Järnström & Saarela 2005).

Sisäilman *suhteellisen kosteuden* vaihtelu vuodenaikojen mukaan voi vaikuttaa sisäilman yhdisteiden pitoisuustasoihin. Esimerkiksi ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuuden on havaittu nousevan, kun sisäilman suhteellinen kosteus kasvaa (Hiltunen 2000, Reponen ym. 1991). Sekä ammoniakki- että formaldehydipitoisuustasot voivat uusissa asuinrakennuksissa vaihdella paljon ensimmäisen käyttövuoden aikana sen mukaan, mikä on ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu eri vuodenaikoina. Toisaalta suhteellisen kosteuden vaihtelujen ei todettu samassa tutkimuksessa korreloivan sisäilman TVOC-pitoisuustason kanssa. Tiettyjen yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuuksilla onkin havaittu selvä korrelaatio sisäilman kosteuspitoisuuteen. Esimerkkejä korrelaatiosta esitetään tämän julkaisun luvussa 6 (Järnström & Saarela 2005).

Rakenteiden emissiot lisääntyvät lämpötilan noustessa, ja näin ollen myös sisäilman pitoisuudet kasvavat. Siten voisi olettaa, että lämpimän vuodenaikajakson jälkeen alkusyksystä mitataan korkeampia pitoisuuksia kuin vastaavasti keväällä. Toisaalta pitoisuustasoihin vaikuttavat samanaikaisesti monet muut ulkoiset tekijät (ilmanvaihto ja suhteellinen kosteus), ja lopullinen sisäilman pitoisuus onkin kaikkien näiden osatekijöiden vaikutuksen summa. *Asutuissa* huoneistoissa useiden yhdisteiden pitoisuudet ovat korkeampia kuin vastaavaan tyhjän asunnon pitoisuudet. Pitoisuustasoihin vaikuttavat mm. asunnon huonekalut, käytetyt pesuaineet ja hajusteet sekä tupakointi. (Wolkoff 1995, Saarinen ym. 2003, Järnström & Saarela 2005). Asukkaiden vaikutusta sisäilmassa esiintyvien yhdisteiden pitoisuuksiin käsitellään tarkemmin kohdassa 5.1.1.

2.2 Ohje- ja vertailuarvot sisäilman kemiallisille epäpuhtauksille

2.2.1 Kansainväliset ohjearvot

Tämänhetkisen tutkimustiedon perusteella vain muutamille yhdisteille on pystytty asettamaan terveysperusteisia ohjearvoja. Muiden aineiden kohdalla on tavoitteena mahdollisimman pienen altistustason saavuttaminen (Pasanen 2004).

Maailman terveysjärjestö WHO on julkaissut Euroopan ilman laadulle ohjearvoja. Ohjearvoissa ei varsinaisesti eritellä ulkoilmaa ja sisäilmaa. Taulukossa 2 esitetään orgaaniset yhdisteet, jotka sisältyvät ohjeeseen. Sisäilman epäpuhtauksiksi lasketaan myös tupakansavu, ihmisen valmistamat kuidut sekä radon. WHO:n ohjeeseen sisältyy lisäksi epäorgaanisia yhdisteitä (mm. asbesti ja tietyt metallit) sekä "klassiset ilman saastuttajat", kuten typpidioksidi, otsoni (sekä muut fotokemialliset hapettimet), rikkidioksidi sekä hiukkaset. Typpidioksidille on annettu ohjearvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, otsonille $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 tunnin altistus) sekä rikkidioksidille $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 tunnin altistus) ja $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vuositason altistus) (WHO 2000).

Joillekin yhdisteille on syöpätutkimustilastojen perusteella laskettu ylimääräinen elinikäinen syöpäriski, joka ilmaistaan yksikköriskinä (UR), kun keskimääräinen eliniän altistumispuite on $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (taulukko 2). Polyklooratuille bifenyylilyhdisteille (PCB-yhdisteet) sekä dibentsodioksiineille ja dibentsofuraaneille (PCDD/PCDF-yhdisteet) altistuminen hengitysteitse on niin vähäistä, että ohjearvoa ei ole nähty tarpeelliseksi. Tupakansavulle (ETS) ei ole todisteita turvalisesta tasosta, vaan yksikköriskiksi (UR) on arvioitu 10^{-3} (yksi tupakoija kodissa) (WHO 2000).

Taulukko 2. WHO:n määrittämät ilman orgaaniset epäpuhtaudet. Suluissa on esitetty altistumisaika (* perustuu hajukynnykseen, ** yhdiste ei ole todettu syöpävaaralliseksi altistuksessa hengitysteitse, WHO 2000).

Yhdiste	Turvallinen altistuspitoisuus / ehdotus ohjearvoksi	UR (unit risk = yksikköriski)
Akrylonitriili	ei ole	2×10^{-5}
Bentseeni	ei ole	6×10^{-6}
Butadieeni	ei tietoa	ei tietoa
Rikkihiili	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 min)*	**
Hiilimonoksiidi	$10\text{--}100 \text{ mg}/\text{m}^3$ (8 h–15 min)	**
1,2-dikloorietaani	$0,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ (24 h)	**
Dikloorimetaani	$3 \text{ mg}/\text{m}^3$ (24 h)	**
Formaldehydi	$0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (30 min)	
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet)	ei ole	$8,7 \times 10^{-5} / \text{ng}/\text{m}^3$
Styreeni	$0,26 \text{ mg}/\text{m}^3$ (vko) / $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ *	**
Tolueeni	$0,26 \text{ mg}/\text{m}^3$	
Tetrakloorietyleeni	$0,25 \text{ mg}/\text{m}^3$	ei tietoa
Trikloorietyleeni	ei ole	$4,3 \times 10^{-7}$
Vinyylikloridi	ei ole	1×10^{-6}

EU:n rakennustuotedirektiivin kolmannen olennaisen vaatimuksen (ER 3) mukaan rakennus pitää suunnitella siten, että se ei uhkaa asukkaiden tai naapureiden hygieniaa tai terveyttä eikä myöskään ympäristöä. Tässä tarkastuskohteena ovat erityisesti säänneltyjen haitallisten aineiden (esim. tietyt orgaaniset haitta-aineet, VOC, metallit, karsinogeenit) vaikutukset sisäilmaan ja maaperään sekä pinta- tai pohjaveteen. (www.europa.eu.int.) Komissio on helmikuussa 2005 hyväksynyt mandaattiehdotuksen säänneltyihin aineisiin liittyvien tuotestandardien laatimiseksi. Tavoitteena on saada yhtenäiset testausmenetelmästandardit

valmiiksi vuoteen 2010 mennessä. Mandaatin valmistelun yhteydessä on laadittu komission pyynnöstä tietokanta yksittäisten valtioiden rakennustuotteille säännellyistä vaarallisista aineista koskevista määräyksistä (säädellyistä yhdisteistä). Tietojen keruussa suomalainen asiantuntemus on ollut edustettuna (Wahlström 2005, Saarela 2005).

Eurooppalaisen HOPE (Health optimization protocol for energy efficient buildings) -projektin tavoitteena on lisätä sellaisten rakennusten määrää, jotka ovat energiatehokkaita sekä terveellisiä, ja näin vähentää energiankulutusta (eli hiilidioksidipäästöjä), mikä liittyy rakennuksen lämmitykseen ja ilmastointiin. Projektin aikana kehitetään arviointimenetelmä rakennuksen suorituskykyyn liittyen tiettyihin terveys- ja energiakriteereihin, minkä perusteella voidaan parantaa ei-terveellisiä tai energiatehottomia rakennuksia. Projektissa terveysriskiksi on määritelty seuraavat kemialliset epäpuhtaudet: TVOC ja yksittäiset VOCit (bentseeni, formaldehydi), hiilimonoksidi, typpioksidit, rikkidioksidi sekä tupakansavu. Muita ilman saastuttajia ovat radon, raskasmetallit, asbesti, synteettiset kuidut, hiukkaset, otsoni, tartunnanaiheuttajat (ihmisistä ja rakennuksista peräisin olevat) sekä allergeenit (Bluyssen ym. 2003).

2.2.2 Suomalaisen Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset ja Asumisterveysohje

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto" antaa määräyksiä ja ohjeita uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Sen uusin versio tuli voimaan 1.10.2003. Ilmanlaadusta on annettu seuraavanlainen määräys, joka on velvoittava rakennuksen tekijälle: "Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja." Suunnitteluun tarkoitettuja ohjearvoja sisäilman pitoisuuksille on annettu ammoniakille ja amiineille ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), asbestille ($0 \text{ kuitua}/\text{cm}^3$), styreenille ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), formaldehydille ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), hiilimonoksidille ($8\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), hiukkasille ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sekä radonille (vuosikeskiarvo $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$). Ohjeen mukaan voi muiden epäpuhtauksien pitoisuus tavanomaisissa tiloissa olla korkeintaan 1/10 työpaikkojen haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista (HTP), kun yksittäisen aineen vaikutus on täysin hallitseva (Ympäristöministeriö 2003).

Sosiaali- ja terveysministeriöllä (STM) on terveydensuojelulakiin (763/94) vuodelta 1994 perustuva velvollisuus seurata ja valvoa asuntojen terveydellisiä haittavaikutuksia. Terveyshaitta määritellään terveydensuojelulaissa ihmisessä todettavaksi sairaudeksi tai muuksi terveydenhäiriöksi tai sellaiseksi tekijäksi tai olosuhteen esiintymiseksi, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä (www.finlex.fi). Lain mukaan asuntojen ja muiden oleskelutilojen sekä yleisten alueiden pitää olla olosuhteiltaan sellaisia, ettei niistä aiheudu terveyshaittaa ihmisille. Tämä asettaa vaatimuksia esimerkiksi sisäilman laadulle, melun asteelle, värinän määrälle, hajulle, lämpötilalle, mikrobin tai vahinkoeläinten esiintymiselle ja niin edelleen. Haitan aiheuttaja on velvollinen poistamaan haitan tai rajoittamaan haitan määrää (www.finlex.fi).

Terveydensuojelulakiin perustuen on STM julkaissut asumisterveysohjeen (uusin versio julkaistu ja voimassa 1.5.2003 alkaen), jossa on annettu haitallisten yhdisteiden sisäilman pitoisuuksille ohjearvoja. Sisäilman TVOC-pitoisuudesta on ohjeessa seuraava maininta: "TVOC-mittaustulosta ei voida sellaisenaan käyttää terveyshaitan arvioinnissa. Toisaalta kohonnut TVOC-pitoisuus (esimerkiksi yli 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) on osoitus kemiallisten aineiden epätavallisesta suuresta määrästä sisäilmassa ja lisäselvitykset yksittäisten aineiden tutkimiseksi ovat todennäköisesti tarpeen." Sisäilman styreenipitoisuus saa olla enintään 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TVOC:hen sisältyville muille yksittäisille yhdisteille ei ole olemassa viranomaisten määrittelemiä, terveyshaittaan perustuvia raja-arvoja sisäilman pitoisuuden suhteen (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

STM:n ohjearvo sisäilman formaldehydipitoisuudelle on 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Lisäksi on todettu, ettei ammoniakkipitoisuudelle voida ilmoittaa terveysperusteista ohjearvoa. Tavanomainen ammoniakkipitoisuus on ohjeen mukaan 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jos pitoisuus ylittää 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, on aiheellista löytää syy, kuten kosteus- tai viemärivero, tavanomaista korkeampaan pitoisuuteen (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

Tahaton altistuminen tupakansavulle asunnossa ei ole asumisterveysohjeen mukaan hyväksyttävää. Jos halutaan määrittää sisäilman tupakansavun pitoisuus, on mitattava sisäilman nikotiinipitoisuus. Toteamisrajan ylittävä nikotiinipitoisuus asunnossa, jossa ei tupakoida, on osoitus tupakansavun kulkeutumisesta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

2.3 Sisäilma- ja materiaaliluokitukset

2.3.1 Kansainväliset luokitukset

Tällä hetkellä on olemassa kaksi kansainvälistä ja kuusi kansallista luokitusjärjestelmää rakennusmateriaalien epäpuhtauksien päästöille. Tanskalainen ICL, saksalaiset RAL UZ 38 (Blue Angel), RAL-GZ 479, Emicode ja GuT sekä suomalainen sisäilmastoluokitus (ks. seuraava kohta) ovat tunnetuimmat. Mitattuja epäpuhtauksia ovat VOC-yhdisteet tai niiden kokonaismäärä (TVOC), formaldehydi, aromaattiset yhdisteet, pestisidit, karsinogeenit sekä metallit. Kaikissa järjestelmissä on määritelty näytteen valintaan sekä vanhennukseen liittyviä tekijöitä, näytteenotokammion käyttö, kemialliset testimenetelmät, emissionopeuden määrittäminen, huonepitoisuuden mallinnus sekä terveys ja viihtyvyysvaikutuksen arviointi. Edellä mainitut vapaaehtoiset luokitukset ovat merkittävästi vaikuttaneet rakennustuotteiden ympäristöystävällisempään kehitykseen. Tällä hetkellä eri luokitusten harmonisointi eurooppalaisella tasolla on vielä kesken (Salthammer 1999, Kephapoulus ym. 2003, Wolkoff 2003).

2.3.2 Suomalainen sisäilmaluokitus

Sisäilmayhdistys ry:n julkaisi ensimmäisen suomalaisen sisäilmastoluokituksen vuonna 1995 ja vuonna 2001 julkaistiin sen toinen versio "Sisäilmastoluokitus 2000". Luokituksessa on koottuna sisäilman laadun kannalta tärkeät tekijät sekä se, miten niihin voidaan vaikuttaa jo rakennusvaiheessa ja teknisillä ratkaisuilla niin, että saavutetaan mahdollisimman korkealaatuinen sisäilman laatu rakennuksen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Sisäilmastoluokitus on sisäilmayhdistyksen rakennusalalle luoma vapaaehtoinen järjestelmä, eivätkä sen määrittelemät luokitukset ole sidoksissa rakentamismääräyksiin, eli annetut tavoitearvot ovat alan omia suosituksia (Sisäilmayhdistys 2001).

Sisäilman kemiallisten yhdisteiden pitoisuustasojen merkittävin lähde uudisrakennuksissa on rakenteista vapautuva emissio. Rakennusmateriaalien päästöluokitus antaa enimmäisarvot vähäpäästöisille rakennusmateriaaleille. Päästöluokitus määrittelee enimmäisarjat TVOC-, ammoniakki- sekä formaldehydiemissioille. Luokitellusta materiaalista ei saa myöskään haihtua karsinogeenisiä yhdisteitä, ja sen on oltava hajuton. Materiaali (M) -luokkien enimmäisarvot

emissioille esitetään taulukossa 3. Luokitusmerkin myöntää Rakennustietosäätiö ry kolmeksi vuodeksi kerrallaan (Sisäilmayhdistys 2001).

Sisäilmastoluokituksessa on myös esitetty tavoitearvot sisäilman TVOC-, ammoniakki- sekä formaldehydipitoisuudelle. Sisäilmastoluokituksen laatuluokat kuvataan seuraavasti: S1 = "yksilöllinen sisäilmasto", S2 = "hyvä sisäilmasto", S3 = "tydyttävä sisäilmasto". Eri laatuluokkien tavoitearvot esitetään taulukossa 4.

Taulukko 3. Sisäilmastoluokituksen määrittämät enimmäisarvot materiaalien emissioille luokissa M1 ja M2 (Sisäilmayhdistys 2001).

<i>Materiaalin laatu- luokka</i>	<i>Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)</i>		
	<i>TVOC</i>	<i>Ammoniakki</i>	<i>Formaldehydi</i>
<i>M1</i>	<i>200</i>	<i>30</i>	<i>50</i>
<i>M2</i>	<i>400</i>	<i>60</i>	<i>125</i>

Taulukko 4. Sisäilmastoluokituksen määrittämät tavoitearvot sisäilman yhdisteiden pitoisuuksille luokissa S1, S2 ja S3 (Sisäilmayhdistys 2001).

<i>Sisäilman laatuluokka</i>	<i>Sisäilman pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>		
	<i>TVOC</i>	<i>Ammoniakki</i>	<i>Formaldehydi</i>
<i>S1</i>	<i>200</i>	<i>30</i>	<i>30</i>
<i>S2</i>	<i>300</i>	<i>30</i>	<i>50</i>
<i>S3</i>	<i>600</i>	<i>40</i>	<i>100</i>

2.3.3 Tutkimustietoa sisäilmastoluokituksen soveltamisesta asuin- ja toimistorakennuksissa

Vuonna 1997 valmistuneessa asuinkerrostalokohteessa (tutkimuskohde) pintamateriaaleina käytettiin M1-luokiteltuja tuotteita ja rakennustyössä noudatettiin P-luokitusta. Suunniteltu ilmanvaihtokerroin oli $1,7 \text{ h}^{-1}$. Tutkimuskohteessa oli keskuspölynimuri, erikoisikkunat (k-kerroin 1,1) lämpökustannusten vähentämiseksi ja säteilylämmön hallitsemiseksi, ja tämän lisäksi rakenteiden suhteelliset kosteudet olivat enimmillään tasolla 85 % tai alle ennen pinnoitteen asentamista. Ennen asukkaiden sisäänmuuttoa oli asunnon ilmanvaihto kytkettynä täydelle teholle noin viikon ajan. Vertailukohteeksi oli valittu vastaavanlainen asuinkerrostalo, joka rakennettiin normaalin rakennuskäytännön mukaisesti ja ilman M1-luokiteltuja materiaaleja. Vertailukohteen suunniteltu IV-kerroin oli $0,8 \text{ h}^{-1}$. Juuri ennen asukkaiden sisäänmuuttoa TVOC-tason todettiin olevan noin 10 kertaa korkeampi vertailukohteessa verrattuna tutkimuskohteeseen. Viikon tehostettu ilmanvaihtojakso pienensi TVOC-pitoisuutta noin 50 % tutkimuskohteessa. Vastavalmistuneessa tutkimuskohteessa parhaita S1-luokkaa vastaavat tavoitearvot saavutettiin huoneiston lämpötilan, kosteuden, kokonaishiukkasten määrän sekä formaldehydi- ja hiilidioksidipitoisuuden suhteen. TVOC- ja hiilimonoksidipitoisuudet saavuttivat S1-luokan tavoitearvot viiden kuukauden aikana rakennuksen käyttöönotosta. Ainoastaan asunnon hajutaso ylitti S1-luokan vaatimustason tässä vaiheessa. Yhteenvedona tutkimuksesta todettiin, että hyvä sisäilman laatu voidaan saavuttaa huolellisella suunnittelulla, rakennusmateriaalien ja tarvikkeiden valinnalla sekä korkealaatuisella rakentamisella (Tuomainen ym. 1997, 2001). Seurantamittauksissa 1, 2 ja 3 vuotta rakennuksen valmistumisesta sisäilman laatu oli yleensä edelleen luokituksen S1-tasolla ja pitoisuudet tutkimuskohteessa olivat selvästi alhaisemmat kuin vertailukohteessa. Tutkimuskohteen ammoniakkipitoisuus ylitti S1-luokan tason toisena vuonna (syynä viemäri) mutta pieneni kolmantena vuonna takaisin S1-tasolle. Aldehydien emissiot olivat hieman korkeammat tutkimuskohteessa, mutta niiden lähteitä ei pystytty erittelemään (Tuomainen ym. 2001, 2003).

Toisessa tutkimuksessa vuonna 1998 valmistuneessa toimistorakennuksessa tutkittiin sisäilman TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuuksia valmistuksen jälkeen. Toimistorakennuksen rakenteiden suunnittelussa pyrittiin hyvän rakennusfysikaalisen toimivuuden, ilmanvaihtotekniikan sekä vähäpäästöisten pintamateriaalien avulla saavuttamaan hyvä sisäilman laatu. Ulkoseinärakentees-

sa sovellettiin perinteisen massiivitiilitalon rakentamisperiaatetta ja rakenteiden kosteuksia seurattiin koko rakentamisen ajan. Ilmanvaihtojärjestelmänä oli koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä sekä lisäksi ulkoilmaventtiilit toimistohuoneissa. Tuloksista todettiin, että S1-luokkaa vastaava sisäilman pitoisuustaso saavutettiin 2 kuukautta rakennuksen käyttöönotosta. Ilmanvaihtokertoimet tutkituissa huoneissa olivat $1,8 \text{ h}^{-1}$ ja $2,8 \text{ h}^{-1}$. Lattiapinnoitteista mitatut emissiot olivat samana ajankohtana M1-luokkaa vastaavat (Saarela ym. 2000, 2001).

Kolmannessa tutkimuksessa TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuuksia mitattiin yhteensä 8 asuinrakennuksessa, joissa oli käytetty rakennusmateriaaleina vähäpäästöisiä, M1-luokiteltuja materiaaleja. Rakennukset oli toteutettu tämän päivän hyvän rakennustavan mukaisesti, ja ne sisälsivät rakenteen työmaa-aikaisen kosteudenhallinnan. Tutkimuksen mukaan sisäilmastoluokituksen S3-tavoitearvoa TVOC-pitoisuudelle ei yleensä saavutettu niissä uusissa asuinrakennuksissa, joissa oli pelkästään koneellinen poistoilmajärjestelmä. Kohteissa, joissa oli myös koneellinen tuloilmajärjestelmä, saavutettiin luovutusvaiheessa S3-luokkaa vastaavat pitoisuustasot sisäilman TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuuden suhteen. Kaikissa kohteissa saavutettiin ensimmäisen kuuden kuukauden aikana käyttöönotosta S1–S2-luokkaa vastaava TVOC- ja formaldehydipitoisuus. Ammoniakkipitoisuudet sen sijaan jopa kohosivat ensimmäisen seurantavuoden aikana, ja sisäilman suhteellisen kosteuden vaihtelut eri vuodenaikoina vaikuttivat erityisesti ammoniakki- ja formaldehydipitoisuuksien vaihteluun. Aukkaiden toiminta (huonekalut, puhdistusaineet, ilmanvaihdon toimivuus ym.) kohotti sisäilman TVOC-pitoisuutta joissakin asutuissa huoneistoissa (Järnström & Saarela 2005).

2.4 Sisäilman kemiallisten yhdisteiden terveysvaikutukset

2.4.1 Formaldehydi, TVOC ja epäorgaaniset kaasut

Formaldehydin aiheuttamia tavallisia oireita ovat silmien ja limakalvojen ärsytys, päänsärky sekä väsymys (Kane & Alarie 1978, Damgård Nielsen ym. 1995, Kreiss 1998). Formaldehydi kuuluu kansainvälisen syövän tutkimuskeskuksen (IARC, International Agency for Research on Cancer) luokituksen mukaan ihmisissä syöpää aiheuttavaksi yhdisteeksi (luokka 1) (IARC 2004).

TVOC-arvon ei ole todettu korreloivan asuntoon liittyvän oireilun kanssa. TVOC-arvo ei siis suoranaisesti indikoi terveyshaittaa, vaan se on osoitus yksittäisten VOC-yhdisteiden yleisestä esiintymisestä (Andersson ym. 1997, Molhave 2003).

Ammoniakki ei sisäilmassa havaituissa pitoisuuksissa aiheuta terveyshaittaa, mutta sen esiintyminen kohonneina pitoisuuksina voi indikoida muuta rakenteissa tapahtuvien reaktioiden aiheuttamaa terveysriskiä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Sisäilman ammoniakkin terveysvaikutuksen arviointia voi osaltaan vaikeuttaa ioniselektiivisellä elektrodilla tehtyyn ammoniakkimääritykseen sisältyvien amiiniyhdisteiden osuus (Orion Instruction Manual). Amiiniyhdisteet ovat tunnetusti ärsyttäviä yhdisteitä ja ne voivat olla peräisin materiaalin hajoamisreaktiosta (Karlsson ym. 1989).

Ammoniakin lisäksi sisäilmassa esiintyviä epäorgaanisia epäpuhtauksia ovat erilaisista polttoprosesseista (mm. lämmityksestä ja liikenteestä) peräisin olevat typpi- ja rikkioksidit (NO_x, SO_x) sekä hiilimonoksidi (CO). Yleisesti nämä yhdisteet aiheuttavat erilaisia hengitystieoireita. Hätämyrkytykselle (CO) tyypillistä on päänsärky, huimaus ja pahoinvointi. (WHO 2000.) Toimistoissa käytössä olevat kopiointi- ja tulostuslaitteet voivat muodostaa otsonia, jonka on todettu aiheuttavan hengitystieoireita, kuten astmaoireita (WHO 2000). Otsoni voi myös kulkeutua sisätiloihin ulkoilmasta ilmastoinnin kautta (Weschler 2000).

2.4.2 Yksittäiset VOC-yhdisteet

Tärkeimmät ei-karsinogeenisten VOC-yhdisteiden vaikutukset kohdistuvat hengitysteihin ja hermostoon (Damgård Nielsen ym. 1995). Tiedot ovat olleet pääosin peräisin ihmisille tehdyistä ärsyttävyytutkimuksista, joissa pitoisuustasot (mg/m³) ovat paljon korkeammat kuin sisäilmassa tavallisesti esiintyvät pitoisuudet (µg/m³). Toisaalta altistumisaika on koeasetelmassa suhteellisen lyhyt verrattuna sisäilma-altistukselle (Pappas ym. 2000). VOC-yhdisteiden ärsyttävyyksiä on myös tutkittu standardisoidulla hiirimallilla, jonka on todettu korreloivan hyvin ihmisen kokeman ärsytysvasteen kanssa (ASTM 1984). Esimerkiksi puutuotteille tyypillisten terpeeniyhdisteiden ärsyttävyyttä on selvitetty hiirimallin avulla (Kasanen ym. 1999). Hiirimallilla on myös todettu, että seoksen ärsytysvaikutuksia voidaan arvioida summavaikutuksena (seoksen ärsytysvaiku-

tus saadaan laskemalla yhteen sen yksittäisten yhdisteiden vaikutukset) (Villberg ym. 2004).

Ruotsalaisessa tutkimuksessa tehtiin 88 aikuiselle koehenkilölle sarja kliinisiä kokeita sekä määritettiin heidän kotinsa sisäilman laatu. Tilastollisen analyysin perusteella esitettiin, että sisäilman VOC-yhdisteet ja formaldehydi voivat aiheuttaa astmaoireita. Formaldehydipitoisuus oirekohteissa oli keskimäärin $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja oireettomissa kohteissa $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kliinisissä kokeissa havaittiin korrelaatio sisäilman terpeenipitoisuuden ($p < 0,01$) sekä formaldehydipitoisuuden ($p < 0,01$) ja hengitysteiden ahtauman ja yöllisen hengenahdistuksen välillä. Sisäilman yhteenlaskettu VOC-pitoisuus oli oirekohteissa keskimäärin $790 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja oireettomissa kohteissa $310 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norrback ym. 1995). Suppeammassa ($n = 39$) tutkimuksessa havaittiin korrelaatio sisäilman 1-okten-3-olin ja iho-oireiden välillä ($p < 0,05$) (Norrback ym. 1993).

Wieslander ym. tutkivat vastamaalattuja asuntoja ($n = 62$) ja niiden sisäilmassa esiintyvien VOC-yhdisteiden yhteyttä astmaoireisiin. Astman esiintyminen pystyttiin tilastollisesti liittämään vastamaalattuihin asuntoihin (riskisuhde = 1,5–2,3, luottamusväli 95 %), joiden sisäilmasta tunnistettiin alifaattisia hiilivetyjä (C8–C11), butanoleja sekä TXIB:tä (Wieslander ym. 1997). Jaakkola ym. (1999) totesivat norjalaisia lapsia koskeneessa tutkimuksessa, että kotona lattiamateriaaleina käytetyt PVC- ja tekstiilipinnoitteet voivat olla osaselittäjä sairastumiseen hengitystieoireisiin varhaislapsuuden aikana. Tutkimuksessa vertailtiin 251:tä oiretapausta ja yhtä monta verrokkitapausta vuosien 1992 ja 1993 aikana syntyneistä lapsista (Jaakkola ym. 1999).

Sisäilman laadun ja astmaoireiden yhteyttä selvitettiin toisessa ruotsalaisessa tutkimuksessa, jossa määritettiin neljän eri sairaalarakennuksen sisäilman epäpuhtaudet, rakennekosteus sekä laskeutuneen pölyn allergeenit. Kahdessa rakennuksessa oli merkkejä kohonneesta rakennekosteudesta (RH 75–84 %) ja näissä kohteissa tunnistettiin 2-etyyliheksanolia (pitoisuus $2\text{--}32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sisäilmasta. Vaikkakin otanta oli suhteellisen pieni ($n = 50$), selvä yhteys havaittiin astmaoireiden ja kohonneen rakennekosteuden sekä 2-etyyliheksanolin välillä (riskisuhde = 6,2, luottamusväli 95 %) (Norrback ym. 2000). Samat tutkijat totesivat erässä toisessa tutkimuksessa, jossa selvitettiin nenäoireita ja niihin liittyviä biomarkkereita kosteusvaurioituneessa toimistorakennuksessa, että sisäilman kohonnut 2-etyyliheksanolipitoisuus liittyi kosteaan rakenteeseen. Altistumisella

kosteusvaurioituneessa rakennuksessa todettiin olevan yhteys hengitystietulehdukseen (Wälinder ym. 2001). Samoin 2-etyyliheksanolin epäiltiin aiheuttavan oireilua eräässä toimistorakennuksessa kanadalaisessa tutkimuksessa (Mc Laughlin & Aigner 1990). Japanista on raportoitu tapaus, jossa 2-etyyliheksanolin uskotaan aiheuttaneen erilaisia silmä- ja hengitystieoireita ja jopa lievää kuumeilua eräälle yliopiston professorille. Oireiden esiintyminen liittyi tilaan, jossa sisäilman 2-etyyliheksanoli oli korkea, $469 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kamijima ym. 2002).

Vuonna 1995 julkaistussa Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen tutkimuksessa selvitettiin Helsingin kaupungin alueella sijaitsevan 38 ongelmakohteen sekä 50 vertailukohteen VOC-pitoisuudet. Vertailukohteiksi valittiin sellaiset asunnot, jotka olivat valmistuneet vähintään kolme vuotta aikaisemmin, joissa ei ollut viimeisen puolentoista vuoden aikana tehty korjauksia ja joissa asuvat henkilöt eivät olleet valittaneet asuntoon liittyvästä oireilusta. VOC-yhdisteiden pitoisuustasot olivat hyvin samanlaiset ongelma- ja vertailukohteissa. Ongelmakohteissa mitattiin useammin 50–1 000-kertainen VOC-pitoisuus verrattuna normaalikohteen mediaaniin. Suurin ylitys todettiin aromaattisilla yhdisteillä (mm. ksyleeni ja trimetyylibentseeni). Johtopäätöksenä todettiin kuitenkin, että VOC-yhdisteet eivät yksiselitteisesti selittäneet oireilua, koska mahdollisia tekijöitä VOC-yhdisteiden lisäksi ovat mm. mikrobit ja pöly (Kostiainen 1995).

Vuonna 1998 tehdyssä tutkimuksessa mitattiin sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien (ammoniakki, formaldehydi, VOC) sekä mikrobien pitoisuuksia vuosina 1993–1994 rakennetussa pienkerrostalossa (32 asuntoa). Oirekyselyn perusteella todettiin merkittävä korrelaatio sisäilman aromaattisten hiilivetyjen sekä viikoittain esiintyvien hengitystieoireiden kokonaismäärän välillä (korrelaatiokerroin 0,7) (Niiranen 1999).

Valituskohteissa on usein havaittu sisäilmassa suhteellisen korkea TXIB-pitoisuus. Vuonna 2000 tehdyssä kyselytutkimuksessa tutkittiin kaksi taloyhtiötä (elementtirakenteinen runko, valmistusvuosi 1994–1995), joista toisessa todettiin poikkeavan korkeita huoneilman TXIB-pitoisuuksia (keskiarvo $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vertailukohteen keskiarvo $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kaikkien tutkittujen huoneistojen (yhteensä 33 kpl) lattiapinnoitteena oli muovimatto. Kohteissa ei mitattu kohonneita ammoniakki- tai homeitiöpitoisuuksia ja ilmanvaihto toimi kohtuullisen hyvin. TVOC-pitoisuus oli tilastollisesti merkittävästi koholla asunnoissa, joissa rapor-

toitiin "huonoa ilman laatua". Oirekyselystä ilmeni edelleen, että kohdeyhtiön asukkaat, erityisesti miehet, kärsivät tavallista enemmän silmän ja nenän ärsytysoireista ja pään raskaudesta. Silmäoireet ja pään raskaus korreloituivat asunnossa oleskeluaikaan. TXIB-pitoisuuden ollessa yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ silmän ärsytysoireiden vaara oli 8-kertainen verrattuna alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuusaltistumiseen. Infektiosairastavuudessa ei ollut eroja eri taloyhtiöiden asukkaiden välillä missään ikäryhmässä (Metiäinen ym. 2001).

Eräässä suomalaisessa toimistorakennuksessa tehtiin tutkimuksia liittyen sisäilman laatuun vuosien 1999 ja 2001 välillä. Sisäilmaselvitysten perusteella epäiltiin, että lattiapinnoitteena käytetty PVC on voinut olla osasyys sisäilman laatuun liittyviin valituksiin. Oirekyselyn perusteella "tunkkaista ilmaa" ja epämiellyttävää hajua valittaneiden työntekijöiden määrä väheni 75 %, kun vanha PVC-lattiapinnoite vaihdettiin uuteen, vähäpäästöiseen PVC-pinnoitteeseen tai keraamiseen laattaan. Korjaustoimenpiteen yhteydessä myös PVC:n alla oleva liima ja tasoite poistettiin ja tämän jälkeen rakennetta lämmitettiin ja tuuletettiin noin viikon ajan. Tilastollisesti merkittävää pientymistä korjaustoimenpiteen jälkeen oli "raskas pää" -valituksissa ja käsien iho-oireissa (Tuomainen ym. 2004).

Vuosina 2002–2003 tutkittiin Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen toimesta kaksi taloyhtiötä (elementtirakenteinen runko, valmistusvuosi 2000), joissa toisessa ilmaantui asuntoon liittyvää oireilua. Sisäilman 2-etyyliheksanolipitoisuus oli oireilutalossa tasolla $10\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä oli 2–3 kertaa korkeampi kuin vertailutalossa. Kohteissa, jossa oli korkeampi 2-etyyliheksanolipitoisuus, esiintyi tilastollisesti merkittävästi enemmän silmä-, nenä- sekä kurkkuoireita (Metiäinen ym. 2003).

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan ja Helsingin yliopistollisen keskussairaalan (HYKS) yhteistyössä toteuttamassa projektissa "Sisäilman laadun hallinta" on kerätty tietoa eri oireiden ja yksittäisten VOC-yhdisteiden välillä esiintyvistä korrelaatioista. Projektissa selvitettiin 120 potilaan oireilua kyselyin ja kliinisin kokein sekä määritettiin heidän asuntojensa sisäilman kemiallinen laatu. Tulosten tilastollista käsittelyä varten tutkittiin samoin menetelmin 30 oireetonta verrokkitapausta. Sisäilman keskimääräinen TVOC-pitoisuus oli tapausperheissä korkeampi kuin verrokkiperheissä. Yksittäisten VOC-yhdisteiden tilastollisen analyysin tuloksena todettiin, että uusien astmaatikkojen asunnoissa oli tilastollisesti merkittävästi enemmän TXIB-yhdistettä, 1-butanolia, 2-etyyliheksanolia,

fenolia, mentolia sekä butyyliasettaattia. TXIB-yhdisteen esiintyminen korreloi silmäoireiden kanssa ($p < 0,05$). Asukkaiden toistuvasti kokemien silmäoireiden esiintymistiheys (%) nousi huomattavasti, kun sisäilman TXIB-pitoisuustaso ylitti $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tolueeniekvivalenttina). Pitoisuustasolla $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ silmäoireiden vaara oli 16-kertainen verrattuna tätä vähäisempään pitoisuussaltistukseen. 2-etyyliheksanolin esiintyminen pitoisuustasolla $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tolueeniekvivalenttina) korreloi puolestaan asukkaiden kokemaan "tunkkaiseen ilmaan" ($p < 0,05$) sekä "epämiellyttävään hajuun" ($p < 0,05$). Sama 2-etyyliheksanolipitoisuus korreloi limannouluun ($p < 0,01$). Ysköksen tulehdusmarkkeri (ECP, eosinophilic cationic protein) korreloitui 1-butanoli- ja BHT (2, 6-bis(1,1,-dimetyylietyyli-4-metyylifenoli) -pitoisuuden kanssa ($p < 0,05$) (Villberg ym. 2004).

Muista sisäilmaongelmia (hajuhaittaa tai limakalvoärsytystä) aiheuttaneista VOC-yhdisteistä on Wolkoff tehnyt yhteenvedon, ja näitä ovat edellä sekä kohdassa 2.1.1 esitettyjen hapettumis- ja hajoamistuotteiden lisäksi mm. mono- isopropyylibifenyyl, styreeni, 4-fenyylisykloheksaani, heksanaali, heksaanihapo, dimetyylisulfidi, bentsotiatsoli, 1,2,5-trithiefaani, divinyylisulfidi ja allyylifenoksisetaatti (Wolkoff 1995).

2.5 Kemiallisten epäpuhtauksien tutkimusmenetelmät ja laskentatavat

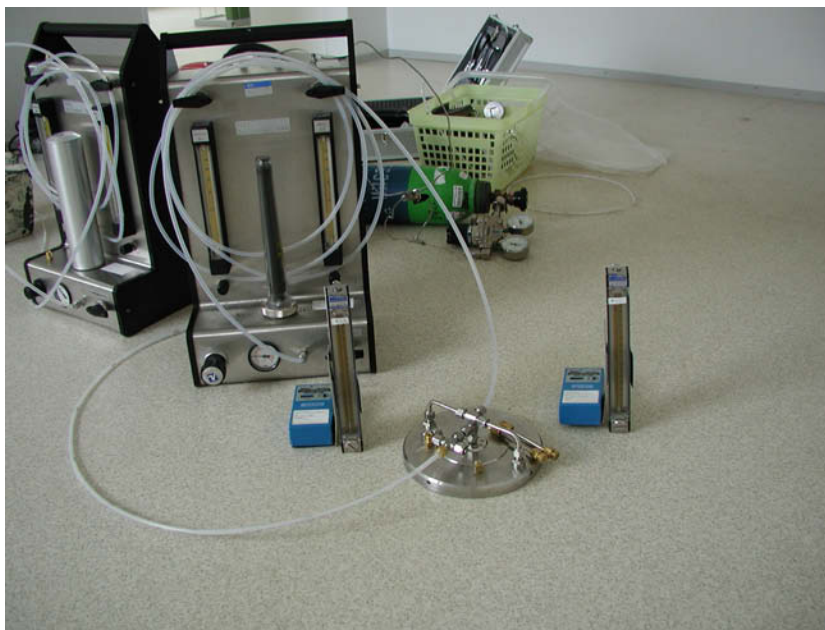
2.5.1 Sisäilma- ja emissionäytteiden näytteenotto

Ilmanäytteet sekä tilan sisäilmasta että rakenteiden pinnoista haihtuvasta ilmasta kerätään tietyllä virtausnopeudella adsorbenttiin, josta ne myöhemmin analysoidaan. VOC-yhdisteet kerätään yleisimmin Tenax TA -adsorbenttiin, joka on orgaaninen polymeeri (fenyyli-fenyleenioksidi). Muita polymeeriadsorbentteja ovat styreenipolymeerit ja ko-polymeerit (Chromosorb, Propak, XAD). Hiiltä sisältävät adsorbentit, kuten aktiivihiili, molekyyliseulat (Carbosieve, Carboxen, Ambersorb) ja grafiittinen hiili (Carbotrap), soveltuvat paremmin hyvin haihtuvien yhdisteiden (VVOC-yhdisteet) analysointiin. Tenax-adsorbentin etuna on sen suhteellisen laaja sovellusalue VOC-yhdisteille yhdistettynä sen pieneen taustaan ja vähäiseen reaktiivisuuteen kerättävien yhdisteiden kanssa verrattuna hiiltä sisältäviin adsorbentteihin. Tenax-adsorbentin terminen kestävyys sekä alhainen vedensitomiskyky mahdollistavat näytteenottoon termodesorption avulla.

la jopa 300 °C:ssa. Toinen adsorbenttien esikäsittelymenetelmä on liuotinuutto. Näytteenotossa Tenax-adsorbenttiin tulee huomioida läpimurtotilavuus tietyille yhdisteille, kuten terpeeneille, sekä alhaalla kiehuville aldehydeille ja amiineille. Eri adsorbenttien ominaisuuksia voidaan yhdistellä käyttämällä nk. multisorbenttia (Tirkkonen ym. 1995, Salthammer 1999). Kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n laatimassa standardissa sisäilman VOC-näytteenotto suoritetaan Tenax-adsorbenttiin (ISO 2004).

Aldehydit voidaan määrittää keräämällä ne DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine) -patruunaan, josta ne analysoidaan nestekromatografisesti. Formaldehydi voidaan kerätä myös kuplitusmenetelmällä (impinger) veteen. Ammoniakinäyte kerätään kuplitusmenetelmällä laimeaan rikkihappoon, jolloin emäksinen ammoniakki neutralisoituu ja muodostuu ammoniumliuos.

Materiaaliemissionäytteille on kehitetty erityinen näytteenkeräystekniikka, joka mahdollistaa näytteenoton huoneen eri pinnoista (lattia, seinät, katto). Tekniikassa käytetään ns. FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) -laitteistoa (kuva 1), joka vastaa yksittäisille rakennusmateriaaleille laboratoriossa suoritettavaa ns. kammionäytteenottoa. Näytteenotto suoritetaan siten, että FLEC-kammio tiivistetään tutkittavaa pintaa vasten ja siihen kytketään ilmavirta, joka voidaan säätää tiettyyn suhteelliseen kosteuteen. Näyte kerätään FLECin ulostulevasta ilmasta tietyn tasapainotusajan jälkeen, jolloin emissionopeus on saavuttanut tasapainotilan. (Salthammer 1999). Näytteenottomenetelmä on standardisoitu näytteenotolle laboratoriossa (CEN 1999).



Kuva 1. Lattianpinnoitteen emissiomittaus FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) -tekniikalla.

2.5.2 Kemiallisten epäpuhtauksien analysointi

Näytteen TVOC- sekä yksittäisten VOC-yhdisteiden (mm. TXIB, 2-etyyliheksanoli, n-butanoli) pitoisuudet määritetään kaasukromatografisesti termodesorptiotekniikkaa käyttäen. Kansainvälinen standardisointijärjestön ISON 16000-6-standardissa esitetään menetelmän tekniset yksityiskohdat sekä laskutavat (ISO 2004). TVOC:n määrittämisessä voidaan ISO-standardin mukaan käyttää vaihtoehtoisesti GC/MSD- tai GC/FID-tekniikkaa. TVOC määritetään FID-vasteesta väliltä heksaaniheksadekaani. Yksittäiset VOC-yhdisteet (yli $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kvantifioidaan ISO-standardin mukaan, mikäli mahdollista omilla standardivasteilla ja muissa tapauksissa tolueenistandardin antaman vasteen avulla. VOC-yhdisteet tunnistetaan massaspektrin avulla.

Ammoniakkipitoisuus määritetään tavallisimmin ioniselektiivisellä elektrodilla laimeasta rikkihappoliuoksesta. Menetelmä on myös STM:n Asumisterveysohjeen hyväksymä määrittämenetelmä, ja sen määrittäysherkyys on $0,005 \text{ mg}/\text{m}^3$. STM:n ohjeen mukaan ammoniakki voidaan vaihtoehtoisesti analysoida spektro-

fotometrisellä, ionikromatografisella tai nestekromatografisella menetelmällä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Menetelmien määrittämissherkkydet ja tuloksen epävarmuuteen vaikuttavat tekijät, kuten näytteessä olevien muiden ionien konsentraatiot, vaihtelevat menetelmän mukaan.

Formaldehydipitoisuus voidaan määrittää laimeasta rikkihappoliuoksesta spektrofotometrisesti asetyyliasetonimenetelmällä. Menetelmän määrittämissherkkyys formaldehydille on 0,01 mg/m³. STM:n ohjeen mukaisesti sisäilman formaldehydipitoisuus tulisi määrittää SFS 3862 -standardin (kromitrooppihappomenetelmän) mukaisesti tai vaihtoehtoisesti nestekromatografisesti asetonitriiliuutteesta (uutto DNPH-patruunasta). Spektrofotometrisen menetelmän on kansainvälisessä vertailumittauksessa todettu olevan vertailukelpoinen nestekromatografiamenetelmän kanssa (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

3. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten mittauksin voidaan todentaa kemiallisista tekijöistä aiheutuva sisäilmaongelma (tässä: vaurioitunut lattiapinnoite), sen aiheuttaja sekä korjaustoimenpiteiden onnistuminen pitkällä aikavälillä. Kokeellisessa osassa käytettiin kansainvälisiin standardeihin perustuvia sisäilman ja rakenteiden emissioiden mittaamenetelmiä. Kolmesta ongelmakohteesta (yhteensä seitsemästä asuinhuoneistosta) mitattuja tuloksia verrattiin referenssiaineistoon, joka oli koottu kahdeksassa, uudessa asuinrakennuksessa tehdyistä mittauksista (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Vertailuasunnoissa tutkittiin sisäilman laatua ja rakenteiden emissioita rakentamisen ja ensimmäisen käyttövuoden aikana.

Tutkimuksen aikana selvitettiin

- miten uudisrakennuksista kerättyjä laatukriteerejä liittyen sisäilman epäpuhtauksien (tässä: VOC, formaldehydi ja ammoniakki) pitoisuuksiin ja rakenteiden emissioihin voidaan soveltaa vaurioituneen lattiapinnoitteen todentamisessa
- miten fysikaalisten ja kemiallisten suureiden tulokset korreloivat havaitun sisäilmaongelman kanssa eli miten vauriokohteissa ongelma voidaan todentaa mittauksilla
- mitä korjaustapoja ongelmakohteen korjaamisessa on käytetty
- miten erilaiset korjaukset vaikuttivat sisäilman laatuun.

Tavoitteena oli luoda toimintamalli lattiapinnoitevaurioiden tulkitsemiseksi sekä tuottaa referenssidataa tulosten tulkintaan ja korjaustoimenpiteiden tarpeen arvioimiseksi. Toimintamallissa huomioitiin rakenteen mahdollinen hajoaminen kosteuden vaikutuksesta.

4. Aineisto ja menetelmät

4.1 Mittauskohteet ja mittausten toteutus

4.1.1 Sisäilmaongelmakohde 1

Helsingin kaupungin alueella sijaitsevassa vuokratilakohteessa asukkailla ilmeni vuoden 1999 aikana kahdessa huoneistossa sisäilman laatuun liittyviä ongelmia. Helsingin kaupungin ympäristökeskus mittasi suhteellisen korkeat TXIB-pitoisuudet molemmissa asunnoissa, minkä perusteella ympäristökeskus antoi kiinteistöyhtiölle korjaustoimenpidekehottuksen vaihtaa lattiapinnoite. Ongelmakohde 1 on vuonna 1994 rakennettu 3-kerroksinen kerrostalo, jossa on yhteensä 20 asuntoa (kuva 2). Mitatut asunnot A1 ja B11 ovat vierekkäiset huoneistot (eri portaikoissa) 1. kerroksessa maan tasolla. Kantavat seinät ovat paikalla valettua betonia (asuinhuoneistopinta tasoitettu ja maalattu) ja välipohjat ovat tasoitettuja ontelolaattarakenteita. Julkisivut ovat betonielementtejä. Kevyet seinät ovat kipsilevyä (pinta maalattu), ja kattorakenne on ruiskutasoitettu. Lattiapinnoitteena oli alustaan liimattu PVC-pinnoite.

Korjaustoimenpiteenä pinnoite ja sen alla olevan liima ja tasoite poistettiin, minkä jälkeen rakennetta tuuletettiin ja asunnon lämpötila nostettiin 30–35 °C:seen. Uudeksi lattiapinnoitteeksi asennettiin tämän jälkeen vähäpäästöinen, M1-luokiteltu PVC-pinnoite. Sisäilman laatu (TVOC, ammoniakki, formaldehydi) ja lattiapinnan emissiot (TVOC) mitattiin ensimmäisen kerran ennen korjaustoimenpiteiden suoritusta sekä ennen asukkaiden muuttoa toukokuussa 2001 asunnoista A1 ja B11. Mittaukset toistettiin asukkaiden poismuuton ja huoneistojen pesun jälkeen. Mittaushetkellä oli pesusta kulunut kaksi vuorokautta. Pesun tarkoituksena oli poistaa asunnossa tapahtuneesta toiminnasta mahdollisesti peräisin olevat sisäilman epäpuhtaudet. Lattiarakenteen TVOC-emissioita seurattiin korjaustoimenpiteiden aikana, lattiapinnoitteen poiston yhteydessä. Rakenteiden kosteudet mitattiin molemmissa asunnoissa kolmesta eri pisteestä kolmelta eri syvyydeltä emissiomittauspisteen yhteydessä.

Ensimmäiset seurantamittaukset korjaustoimenpiteen valmistuttua suoritettiin 4 viikkoa uusien lattiapinnoitteiden asennuksen jälkeen syyskuussa 2001. Seurantamittaukset suoritettiin 6 ja 12 kuukautta uuden lattiapinnoitteen asennuksesta,

helmikuussa ja elokuussa 2002. Kaikkien sisäilmamittausten yhteydessä Helsingin kaupungin ympäristökeskus määrittä ilmanvaihtokertoimet ja ilmanvaihdon toimivuutta verrattiin rakentamismääräyksessä annettuun vaatimukseen, jonka mukaan asuintilan ilmanvaihdon tulee olla vähintään $0,5 \text{ h}^{-1}$ (Ympäristöministeriö 2003). Asukkaille toimitettiin 2–3 päivää ennen mittauksia tiedote, jossa asukkaita ohjeistettiin tulevaa mittausta varten mm. tuuletuksesta ja hajusteiden käytöstä (liite A).



Kuva 2. Sisäilma- ja emissiomittaus ennen korjaustoimenpiteitä ongelmakohdassa 1.

VTT toimitti asukkaille kyselyn 4 viikon sekä 6 ja 12 kuukauden kuluttua korjaustoimenpiteestä (liite B). Kyselyllä pyrittiin selvittämään, miten suoritettavat korjaukset vaikuttivat asukkaan aistimaan asuinympäristöön sekä asunnossa oleskeluun liittyvään oireiluun. Asukaskyselyjen perusteella selvitettiin asukkaan taustatiedot (ikä, sukupuoli, syntymävuosi, ammatti, mahdollinen tupakointi, oma arvio terveydentilasta), asuinympäristö (miten kauan keskimäärin viettää aikaa kotona, siivous, kotieläimet, lämpötila, veto, ilmanlaatu, hajut, muiden tupakointi, pöly) sekä ne oireet, joiden asukas koki liittyvän asuinympäristöön, eli sellai-

set oireet, jotka olivat ilmaantuneet asuntoon muuton jälkeen ja jotka helpottuivat, kun oleskeltiin pidempiä aikoja muualla. Oirekyselyiden yhteydessä tiedusteltiin, olivatko oireet tai sairaudet lääkärin toteamia tai määrittämiä.

4.1.2 Sisäilmaongelmakohde 2

Toinen tämän projektin sisäilmaongelmakohde (myöhemmin kohde 2) on vuonna 1994 rakennettu kerrostalo Helsingissä. Rakennus on elementtirunkorakenteinen (ontelolaattavälipohja), ja alkuperäinen lattiapinnoite oli alustaan liimattu PVC-pinnoite. Seinäpinnat ovat maalattuja kipsi- ja betoniseiniä, ja kattorakenne on viimeistely ruiskutasoitteella. Kohteessa mitattiin kolme eri asuntoa, jotka sijaitsivat eri portaikossa sekä eri kerrostasoilla. Asunnot olivat olleet tyhjillään yli vuoden siitä, kun Helsingin kaupungin ympäristökeskus oli mitannut sisäilmasta kohonneen TXIB-pitoisuuden ja asukkaat olivat muuttaneet pois. Ensimmäiset sisäilma- ja emissiomittaukset tehtiin tyhjissä asunnoissa keväällä 2001. Korjaustoimenpiteenä kohteessa suoritettiin muovipinnoitteen ja sen alla olevan liiman poisto, jonka jälkeen huoneistoja lämmitettiin (lämpötila: 30–35 °C) ja tuuletettiin yli kolmen viikon ajan. Tämän jälkeen asuntoihin asennettiin uudet M1-luokitellut pinnoitteet. Lattiarakenteen emissioita seurattiin pinnoitteen poiston yhteydessä, huoneiston lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen sekä ensimmäisen vuoden aikana uuden pinnoitteen asennuksen jälkeen.

4.1.3 Sisäilmaongelmakohde 3

Kolmannessa ongelmakohteessa oli asukkailla ilmennyt asumisen aikana oireita, joiden he kokivat aiheutuvan asunnon sisäilmasta. Kyseinen kohde on vuonna 2000 valmistunut elementtirunkorakenteinen kerrostalo Itä-Helsingissä. Kohteen lattiapinnoite oli PVC-materiaali, jossa havaittiin selviä värjäytymiä mm. ontelon linjassa (kuva 3). Rakennuksessa käytetty PVC-tuote on M1-luokiteltu, eli sen ominaisemissiot ovat hyvin pienet. Asunnossa 3 oli noin puolet asunnon PVC-pinnoitteesta vaihdettu jo kerran asunnon käyttöönoton jälkeen.



Kuva 3. Värjäytynyt PVC-pinnoite ongelmakohteessa 3.

Helsingin kaupungin ympäristökeskus mittasi sisäilmassa kohonneen 2-etyyliheksanolipitoisuuden, jonka epäiltiin vaikuttaneen asukkailla ilmenneeseen oireiluun. Kiinteistöyhtiö suoritti syyskuussa 2002 rakenteiden kosteusmittaukset, joissa kuudessa huoneistossa todettiin kohonneita rakennekosteuksia. A-portaikun alapohjarakenteen onteloihin kosteusmittausten yhteydessä poratuista rei'istä valui vettä (HB Sisäilmatutkimus 2002).

Kosteusmittausten jälkeen rakenteita kuivattiin. Tämän jälkeen kaikki PVC-pinnoitteet ja niiden alla oleva liima poistettiin. Sitten asuntoa lämmitettiin 30–35 °C:seen ja tuuletettiin 2–3 viikkoa ennen uuden pinnoitteen asennusta. Uusi pinnoite oli M1-luokiteltu muovimatto, jonka asennuksessa käytettiin myös M1-luokiteltua liimaa. Sisäilman laatu sekä lattiapinnoitteen ja sen alla olevan rakenteen TVOC-emissiot mitattiin sekä ennen että jälkeen uusien lattiapinnoitteiden asennuksen. Ensimmäisen kerran asuntojen sisäilma sekä lattiapinnoitteen emissiot määritettiin ennen lattiapinnoitteen vaihtoa, kun asukkaat olivat muuttaneet pois asunnosta (tyhjä asunto mitattiin). Mittaukset toistettiin 4 viikon sekä 6 ja 12 kuukauden kuluttua korjaustoimenpiteen suorittamisen jälkeen. Lattiaraken-

teen emissioita seurattiin 1 ja 3 vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen (kuva 4) sekä lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen.



Kuva 4. Lattiarakenteen emissiomittaus PVC-pinnoitteen poiston yhteydessä ongelmakohteessa 3.

4.2 Emissio- ja sisäilmamittaukset

Emissio- ja sisäilmamittaukset toteutettiin kohdassa 2.5 esitetyillä menetelmillä. Lattiarakenteen emissionäyteenotto suoritettiin FLEC-tekniikalla. Emissiokammio tiivistettiin tutkittavaa pintaa vasteen ja näytteenotto suoritettiin tasapainotusajan (30 min) jälkeen. Ilmavirran suhteellinen kosteus oli 50 %, ja FLEC-laitteiston sisäänmenevän ilman määrä oli 400 ml/min. Ensin otettiin VOC-näytteet Tenax TA -adsorbenttiin (näytetilavuus 2–3 l, näytteenottonopeus n. 100 ml/min), minkä jälkeen formaldehydi- ja ammoniakkinäytteet kerättiin samaan laimeaan rikkihappoliuokseen (virtaus n. 400 ml/min, näytteenottotilavuus 100 l / 10 ml liuosta). Formaldehydi määritettiin spektrofotometrisellä menetelmällä ja ammoniakki ioniselektiivisellä elektrodilla.

VOC-tulos määritettiin tolueeniekvivalenttina. Tämä voidaan muuttaa kunkin yhdisteen oman standardin vasteen mukaiseksi pitoisuudeksi seuraavan kaavan avulla: VOC-yhdisteen oma vaste * VOC-yhdisteen konsentraatio tolueeniekvivalenttina / VOC-yhdisteen konsentraatio = 0,000055 (= tolueenin FID-vaste VTT:n laitteistolla).

TXIB-yhdisteen konsentraatio omalla vasteella laskettuna on edellä olevan kaavan mukaisesti 1,6 x konsentraatio tolueeniekvivalenttina VTT:n analyysilaitteistolla mitattuna. 2-etyyliheksanolille vastaava luku on 1,4 ja n-butanolille 1,9 (ks. taulukko 5).

Tässä julkaisussa käsitellyt tulokset on esitetty yhdisteen omalla vasteella laskettuna.

Taulukko 5. Julkaisussa käsiteltyjen VOC-yhdisteiden vaste suhteessa tolueenin vasteeseen (määrittäminen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan GC/MSD-FID-laitteistolla, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

VOC-yhdiste	VOC-yhdisteen vaste / tolueenin vaste
TXIB	1,6
2-etyyliheksanoli	1,4
n-butanoli	1,9

4.3 Vertailuarvot

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sisäilmakemian tiimi on 1990-luvulta lähtien suorittanut sisäilma- ja materiaaliemissionäytteenottoja kentällä erilaisista asuin- ja toimistorakennuksista sekä laboratorio-olosuhteissa. Mittaustulokset on kerätty systemaattisesti erilliseen tietokantaan, joka koostuu sisäilma- ja materiaaliemissionäytöksistä. Sisäilmamittaustuloksia on tällä hetkellä noin 1 400 ja materiaaliemissionäytöksistä yli 2 000. Nk. "normaaliarvot" on johdettu niiden asuinrakennusten, joissa asukkailla ei ole ilmennyt oireilua, keskiarvopitoisuudesta (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

Uusin lisäys tähän tietokantaan on saatu VTT:n yhdessä rakennusteollisuuden kanssa toteuttaman projektin aikana, jossa kerättiin sisäilma- ja materiaaliemis-

sionäytteitä yhteensä kahdeksasta vastavalmistuneesta asuinrakennuksesta. Asuinrakennukset oli toteutettu tämän päivän hyvän rakennustavan mukaisesti (mukaan lukien rakenteen kosteusmittaukset), ja niissä oli käytetty vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja. VOC-, ammoniakki- ja formaldehydinäytteet kerättiin ja analysoitiin, kuten kohdassa 4.2 esitettiin. Näin ollen tulokset ovat vertailukelpoisia tässä julkaisussa esitetyn tutkimuksen tuloksiin, ja niihin viitataan tulosten tarkastelun yhteydessä.

5. Tulokset ja tulosten tarkastelu

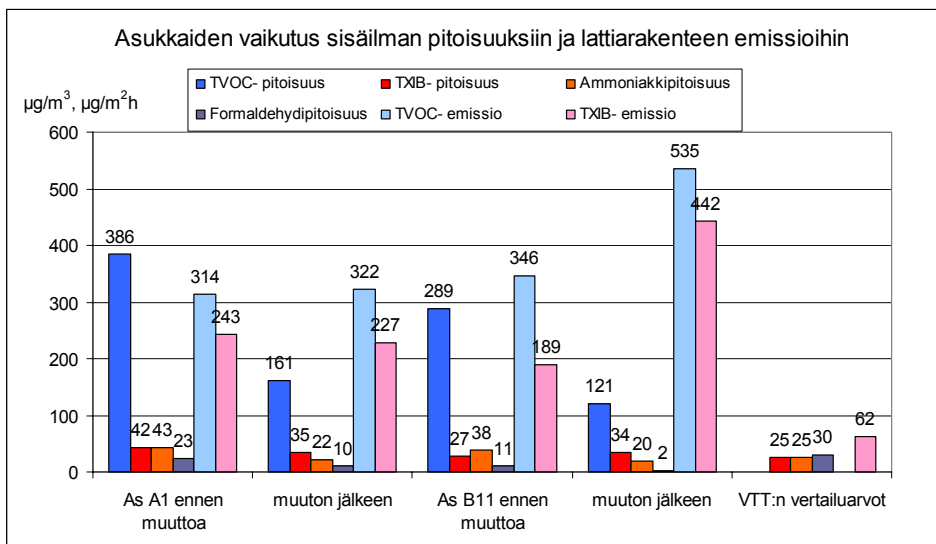
5.1 Sisäilmaongelmakohde 1

5.1.1 Ennen korjaustoimenpiteitä suoritettut mittaukset

Asunnossa A1 TVOC-pitoisuus oli $386 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja asunnossa B11 $289 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Näistä TXIB:n osuus oli $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. TVOC-emissiot lattiapinnoitteen päältä mitattuna olivat $314 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ (asunto A1) ja $346 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ (asunto B11). TXIB:n osuudet olivat $243 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja $189 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ (liite C: taulukko 1 ja 2; kuvaaja 1). VTT:n sisäilmatietopankin mukaan normaaliksi koetun huoneilman TXIB-pitoisuus on keskimäärin $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. VTT:n materiaalitietopankin mukaan lattiapinnoitteen keskimääräinen TXIB-emissio on $62 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 12 kk:n ikäiselle rakenteelle (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Siten TXIB-tasot ylittivät ns. normaalitason. Asuntojen ammoniakkipitoisuudet ylittivät VTT sisäilmatietopankin mukaan normaaliksi koetun sisäilman ammoniakkipitoisuustason $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja formaldehydipitoisuudet alittivat normaalitason $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005; kuvaaja 1). Uusissa rakennuksissa (≤ 12 kk) mitataan tavallisesti näitä korkeampia pitoisuuksia (Järnström & Saarela 2005). Sisäilmamittausten yhteydessä määritetyt ilmanvaihtokertoimet olivat $0,5 \text{ h}^{-1}$ eli rakentamismääräyksiä vastaavat (Ympäristöministeriö 2003).

Asukkaiden muuton ja huoneistojen pesun jälkeen sisäilman TVOC-pitoisuus pieneni molemmissa asunnoissa n. 60 % (liite C: taulukko 1; kuvaaja 1). Myös sisäilman ammoniakki- ja formaldehydipitoisuudet laskivat samassa suhteessa. Sisäilman TXIB-pitoisuuden osuus ei kuitenkaan vähentynyt muuton ja pesun vaikutuksesta; asunnossa B11 mitattiin jopa hieman korkeampi sisäilman TXIB-pitoisuus pesun jälkeen. Lattiapinnan TVOC- ja TXIB-emissiot muuton ja pesun jälkeen olivat lähes samat kuin ennen asukkaiden muuttoa (asunto A1: $322 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h} / 227 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$; asunto B11: $535 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h} / 442 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$); asunnossa B11 mitattiin jopa selvästi korkeampi TVOC- ja TXIB-emissio pesun jälkeen (liite C: taulukko 2; kuvaajat 1 ja 7). Tämä selittynee osittain sillä, että mittaus lattiapinnasta pesun jälkeen suoritettiin hieman eri kohdasta kuin ennen pesua ja rakennusmateriaalien epähomogeenisuus vaikuttaa tulokseen. Yhteenvetona sisäilma- ja emissiomittauksista voidaan siis todeta, että sisäilman TXIB-pitoisuus oli huoneen materiaaleista (lattiasta) peräisin eikä asukkaiden toiminta vaikuttanut

siihen. Sen sijaan asukkaiden läsnäolo kohotti selvästi huoneistojen TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuutta.



Kuvaaja 1. Sisäilman TVOC-, TXIB-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuudet sekä lattiapinnoitteen TVOC- ja TXIB-emissiot ennen asukkaiden muuttoa sekä muuton ja tilojen pesun jälkeen kohteessa 1 sekä vertailuarvot (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

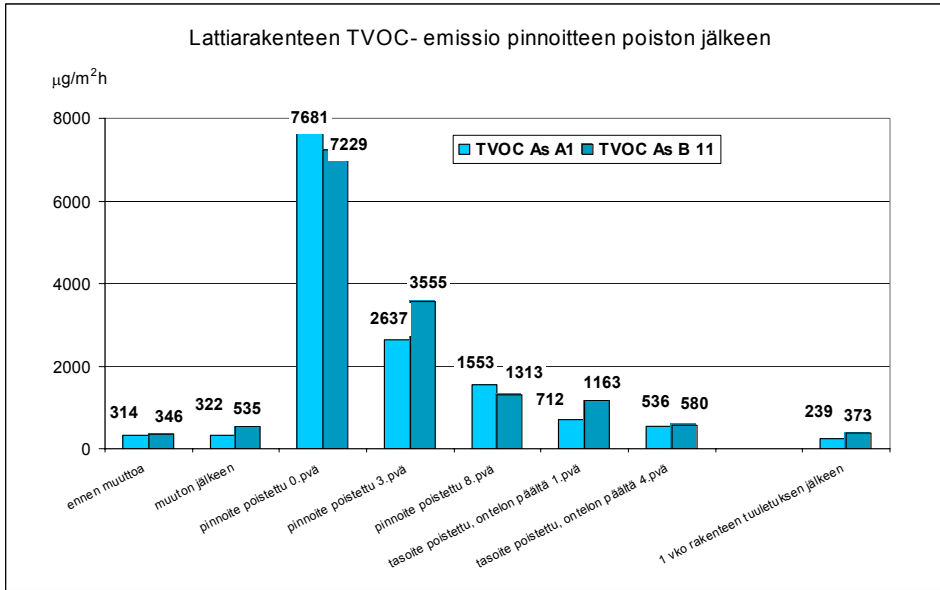
5.1.2 Pinnoitteen poiston yhteydessä suoritettavat mittaukset

Pinnoitteen poiston yhteydessä lattiarakenteen TVOC-emissio oli heti pinnoitteen poiston jälkeen yli 7 000 µg/m²h. TXIB:n emissio oli lähes 630 µg/m²h. Kahdeksassa päivässä molempien asuntojen TVOC-emissiot laskivat noin 80 % ja TXIB-emissiot vastaavasti 60 ja 70 % (160–260 µg/m²h). Ammoniakkiemissiot laskivat tasolta 1 500–2 000 µg/m²h alle 100 µg/m²h tasolle kahdeksassa päivässä, mikä vastaa normaalisti rakenteista mitattua tasoa, eli erityistä rakenteiden hajoamisreaktioita indikoivaa ammoniakkiemissiota ei todettu (liite C: taulukko 3; kuvaajat 2, 3 ja 4). Viitteenä on kuvaajassa 5 esitetty uudesta rakenteesta PVC-pinnoitteen poiston jälkeen tavallisesti mitattuja ammoniakkiemissiotasoja. Näistä tuloksista voidaan todeta, että eri PVC-tuotteiden alta mitatut ammoniakkiemissiot vaihtelevat heti pinnoitteen poiston jälkeen paljonkin käytetyn PVC-tyyppin sekä pinnoitteen asennuksessa käytetyn liiman mukaan. Lattiarakenteen

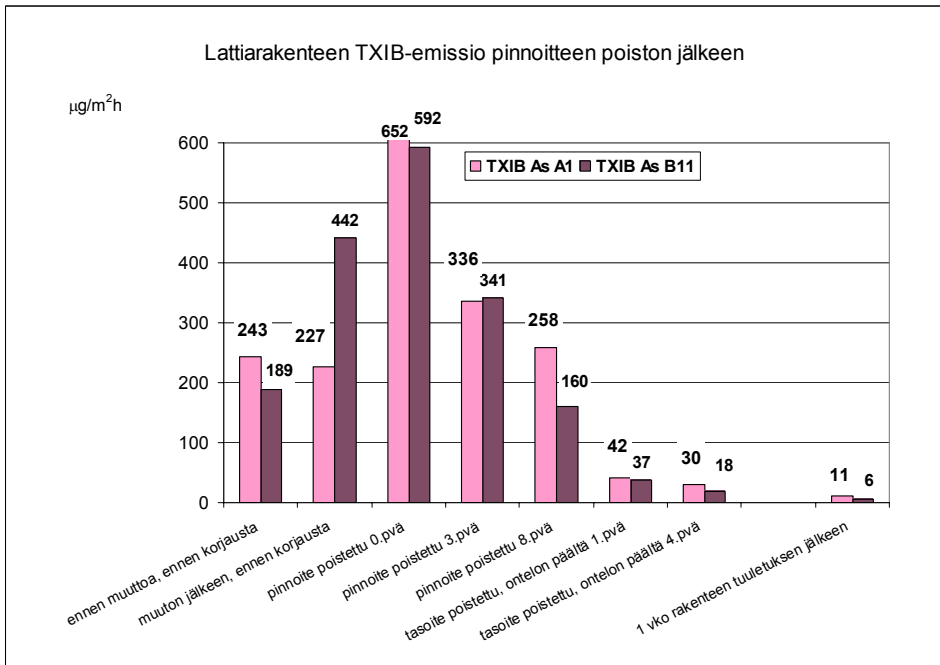
kenteen ammoniakkiemissiotasot kuitenkin tasaantuvat kolmessa vuorokaudessa tasolle alle $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ käytetyistä pinnoite- ja liimatuotteista riippumatta (Järnström & Saarela 2005).

Tasoiheen poiston jälkeen ontelon päältä mitattu TVOC-emissio oli noin $1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja TXIB-emissio noin $40 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Yhden viikon lämmityksen ($30\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}$) ja tehostetun tuuletuksen jälkeen molempien huoneistojen lattiarakenteen TVOC-emissiot olivat laskeneet noin 70 % ja vastasivat rakennusmateriaali-luokituksen M2-luokkaa ($<400 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). TVOC-yhdisteistä TXIB-emissio oli molemmissa huoneistoissa hyvin pieni, alle $15 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Lattiarakenteen ammoniakki- ja formaldehydiemissiot olivat M1-luokkaa (ammoniakki: $<30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, formaldehydi: $<50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). Viimeiset emissiomittaukset pinnoitteen poiston yhteydessä suoritettiin 2,5 vuorokautta lämmityksen päättymisen jälkeen. Asunnon B11 työtilan lattiarakenteesta (paikalla valettu rakenne) mitattu TXIB-emissio oli alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ lattiapinnoitteen poiston jälkeen. Huoneistot olivat alipaineistettuja ($4\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) koko purkutyön ajan.

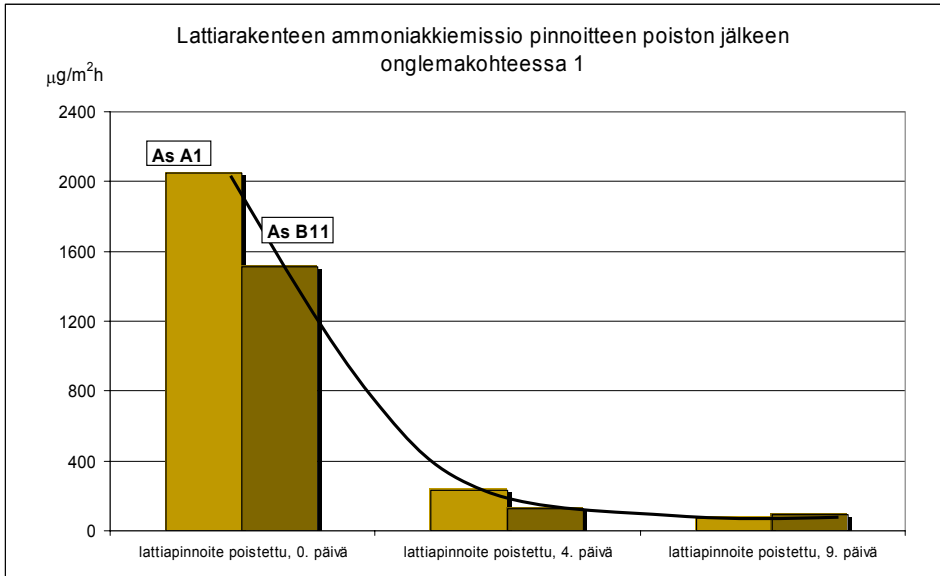
Lattiarakenteen suhteellinen kosteus oli korkeimmillaan pinnoitteiden poiston yhteydessä asunnossa A1 72 % ja asunnossa B11 69 % (syvyys 65 mm). Lämmitysvaiheen jälkeen arvot olivat asunnolle A1 58 % ja asunnolle B11 63 %.



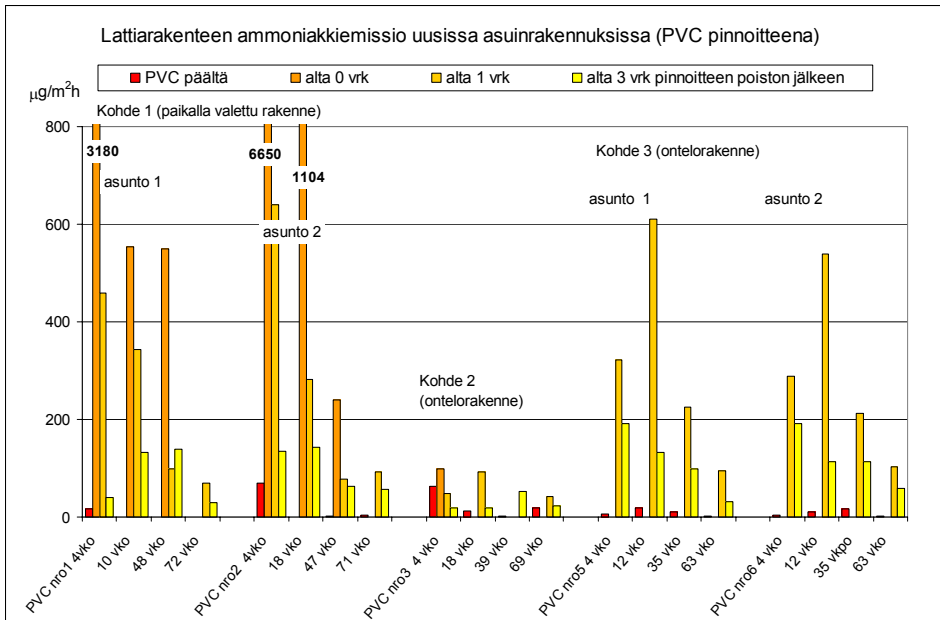
Kuvaaja 2. Lattiarakenteen TVOC-emissio lattiapinnoitteen poiston jälkeen ongelmakohteessa 1 (asunto A1 ja B11).



Kuvaaja 3. Lattiarakenteen TXIB-emissio lattiapinnoitteen poiston jälkeen ongelmakohteessa 1 (asunto A1 ja B11).



Kuvaaja 4. Lattiarakenteen ammoniakkiemissiot lattiapinnoitteen poiston jälkeen ongelma-kohteessa 1 (asunto A1 ja B11).



Kuvaaja 5. Lattiarakenteen ammoniakkiemissiot lattiapinnoitteen poiston jälkeen uusissa asuinrakennuksissa (lattiapinnoitteena PVC; Järnström & Saarela 2005).

5.1.3 Seurantamittaukset 4 viikkoa sekä 6 ja 12 kuukautta uuden pinnoitteen asennuksesta

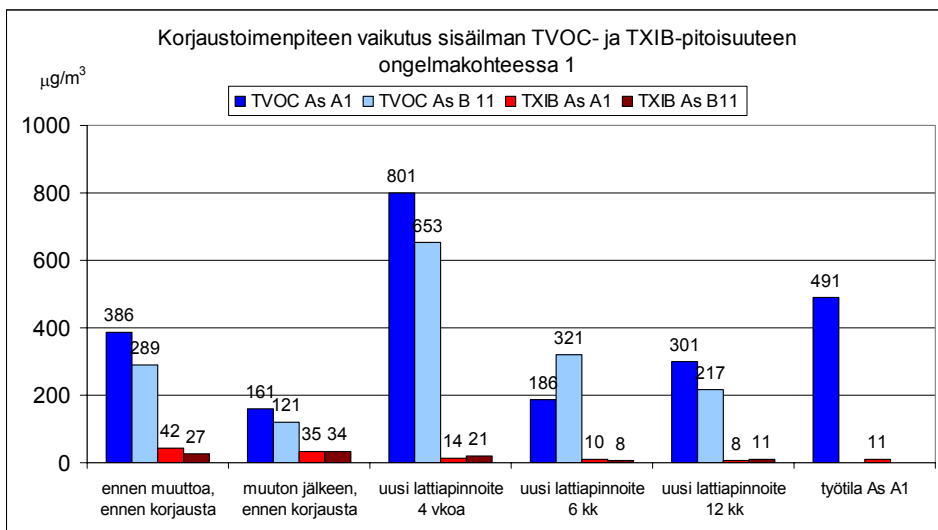
Sisäilman pitoisuudet mitattiin 4 viikkoa uusien lattiapinnoitteiden asennuksesta syyskuussa 2001. Samalla mitattiin asunnon A1 työtilan sisäilman laatu ja laminaattipinnoitteen emissiot (lattiapinnoitetta ei vaihdettu korjauksen aikana). Korjatuissa asunnoissa mitattiin suhteellisen korkeat, STM:n viitteellisen ohjearvon ylittävät sisäilman TVOC-pitoisuudet (650–800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Suuri osa yksittäisistä VOC-yhdisteistä on maaleissa esiintyviä yhdisteitä (propaanidioli, butoksietoksietanoli, dekaani, sykloheksaaneja). Sisäilman TXIB-pitoisuus oli tasolla 15–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asunto A1:n ilmanvaihtokerroin oli 0,5 h^{-1} ja normien mukainen, kun taas asunnon B11 ilmanvaihto oli 0,4 h^{-1} mikä ei vastaa rakentamismääräysten vaatimuksia. Aikaisemman tutkimustiedon mukaan vastavalmistuneen huoneiston sisäilman TVOC-pitoisuus on tavallisesti tasolla 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Järnström & Saarela 2005).

Uuden lattiapinnoitteen TVOC-emissio asunnossa A1 oli alle 100 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja TXIB-emissio oli alle 10 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Asunnon A1 työtilan (lattiapinnoitetta ei vaihdettu) sisäilman TVOC-pitoisuus oli 491 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, josta TXIB:n osuus oli <15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Työtilan laminaattilattiapinnoitteen TVOC- ja TXIB-emissiot olivat 79 ja <5 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Sisäilma- ja materiaaliemissiomittaukset toistettiin korjatuissa huoneistoissa 6 ja 12 kuukautta uuden pinnoitteen asennuksesta tammikuussa ja elokuussa 2002. Sisäilman TVOC- ja TXIB-pitoisuudet korjaustoimenpiteen jälkeen esitetään liitteen C taulukossa 4. Kuvaajassa 6 on esitetty korjaustoimenpiteen vaikutus sisäilman pitoisuuksiin. Uuden lattiapinnoitteen TVOC- ja TXIB-emissiot esitetään liitteen C taulukossa 5. Kuvaajassa 7 esitetään korjaustoimenpiteen vaikutus lattiarakenteen emissioihin.

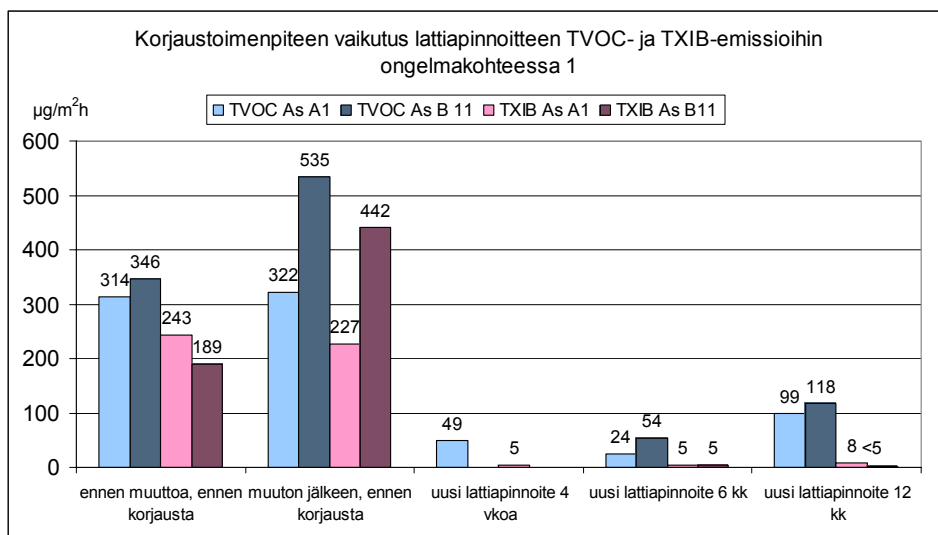
Molempien tutkittujen asuntojen TVOC-pitoisuudet laskivat 50–70 % (alle 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 4 viikon ja 6 kuukauden seurantamittausten välillä. Maaleista peräisin olevien yhdisteiden pitoisuudet vähenivät molemmissa kohteissa. Myös TXIB-pitoisuus pieneni alle 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tasolle molemmissa kohteissa. Asunnon B11 asukas oli edellisenä iltana sulkenut ilmanvaihdon, mikä on vaikuttanut mittaus-tulokseen siten, että tulos on suurempi kuin normaalia asumistilannetta vastaava pitoisuus. Asunnon A1 ilmanvaihto toimi normaalisti (ilmanvaihtokerroin oli 0,5 h^{-1}). Kaksitoista kuukautta korjaustoimenpiteestä mitattiin 200–300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC-pitoisuus ja alle 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TXIB-pitoisuus. Yksittäisten VOC-yhdisteiden

pitoisuudet olivat tasaisesti pienentyneet korjaustoimenpiteen jälkeen, eivätkä niiden pitoisuudet ylittäneet normaalisti sisäilmassa mitattuja arvoja (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Asunnossa A1 olivat tiettyjen aldehydien (heksanaali, nonanaali) sekä terpeenien (pineeni, kareeni) pitoisuudet kohonneet 12 kuukauden seurantamittauksessa. Nämä yhdisteet ovat tyypillisiä puussa esiintyviä yhdisteitä, ja ne voivat olla peräisin esimerkiksi uusista huonekaluista. Asunnossa B11 eivät yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet olleet nousseet 12 kuukauden seurantamittauksessa. Ilmanvaihtokertoimet olivat normien mukaiset molemmissa asunnoissa 12 kuukauden seurantamittauksissa. Sisäilman ammoniakkipitoisuus oli molemmissa asunnoissa alle $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja formaldehydipitoisuus alle $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 6 ja 12 kuukautta korjaustoimenpiteestä suoritetuissa mittauksissa.

Molempien asuntojen lattiapinnoitteen TXIB-emissio oli 6 ja 12 kuukauden seurantamittauksessa hyvin pieni eli $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ tai pienempi. PVC-lattiapinnoitteen TVOC-emissio alitti M1-luokan enimmäisarvon $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ kaikissa seurantamittauksissa (Sisäilmayhdistys 2001).



Kuvaaja 6. Sisäilman TVOC- ja TXIB-pitoisuudet ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteen ongelmakohteessa 1.



Kuvaaja 7. Lattiapinnoitteiden TVOC- ja TXIB-emissiot ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteen ongelmakohteessa 1.

5.1.4 Yhteenveto kohteessa tehdyistä asukaskyselyistä

Asunto A1:ssä asuivat vuonna 1968 ja 1970 syntynyt mies ja nainen sekä heidän vuosina 1994 ja 1998 syntyneet lapsensa (tyttö ja poika). Oman terveydentilansa asukkaat arvioivat olevan "keskinkertainen", "melko hyvä" tai "hyvä", ja kotona vietetty aika oli 13–18 h/vrk. Kukaan asukkaista ei tupakoinut. Ennen korjaustoimenpiteitä asukkaat olivat kärsineet poskionteloiden ja korvien kivuista, silmien kirvelystä ja huulten kuivumisesta. Erityisesti nainen oli kärsinyt edellä mainittujen oireiden lisäksi tulehtuneista nenäkäytävistä ja nenän verenvuodosta, joiden oireiden lääkäri on todennut mahdollisesti johtuvan jostain ärsytyksestä (allergiaa ei todettu). Kaikki nämä oireet olivat ilmenneet asuntoon muuton jälkeen (asumisaika oli 4 vuotta ja 9 kuukautta ennen korjaustoimenpiteitä). Asunnossa koko elinikänsä asunut perheen poika sairasti flunssaa sekä allergiaa, ja hän oli sairastanut korvateiden tulehduksen ensimmäisen 10 elinkuukauden aikana yhteensä 10 kertaa. Vanhempien mukaan oireet hävisivät, kun korvat putkitettiin ja tulehtunut kitarisa leikattiin. Lisäksi lapsella oli iho- ja vatsaoireita, joihin ei ole löytynyt selvää syytä. Lapsen todettiin olevan yleisesti rauhallisempi – hän esimerkiksi nukkui paremmin – kun hän oleskeli muualla. Asunnon siivous suoritettiin 2 kertaa viikossa (imurointi, pintojen pesu pääasiassa ympäristöystävällisillä tuotteilla),

ja kotieläiminä heillä oli kaloja (akvaario). Ennen korjaustoimenpiteitä joka viikko asuinympäristöön vaikuttavia tekijöitä olivat kyselyn mukaan "tunkkainen ilma", "muiden tupakointi" ja "haittaava pöly tai lika".

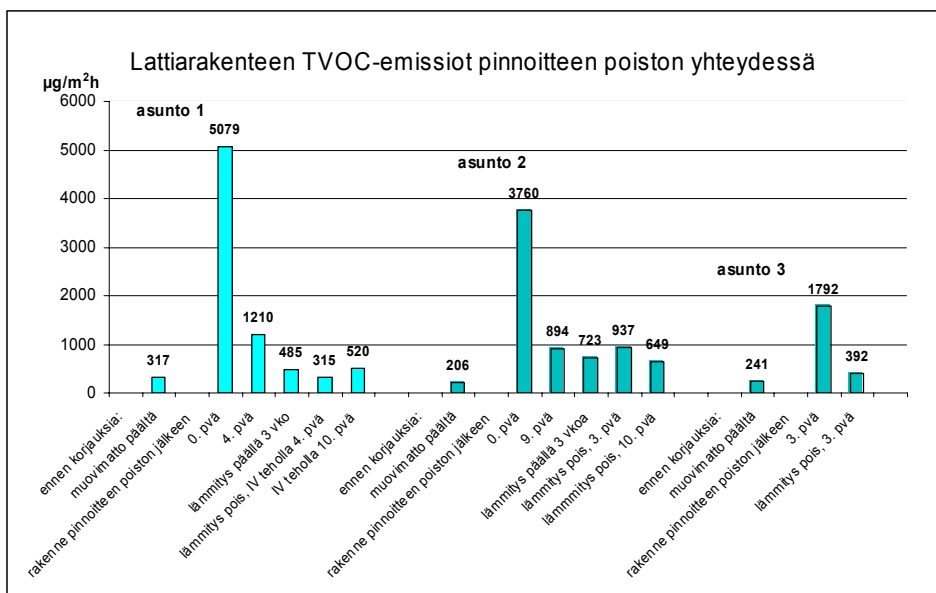
Korjaustoimenpiteen jälkeen sisäilma todettiin selvästi raikkaammaksi. Oireilu väheni lievästi 4 viikkoa korjauksesta ja merkittävästi 6 kk korjaustoimenpiteestä. Lapsen oireet olivat hävinneet kokonaan 6 kk korjauksesta. Oireita ei edelleen havaittu, kun korjauksesta oli kulunut 12 kuukautta. Terveystila koettiin "melko hyväksi" (nainen ja lapset) tai "hyväksi" (mies). Vuoden 2002 aikana asuinympäristössä ilman koettiin ajoittain olevan kuiva, kun taas aikaisemmin joka viikko esiintynyttä ilman tunkkaisuutta tai haittaavaa pölyä ei enää havaittu. Asukkaat olivat erittäin tyytyväisiä tehtyyn korjaustoimenpiteeseen.

Asunto B11:ssä asuivat vuonna 1965 syntyneen naisen lisäksi vuosina 1988 ja 1993 syntyneet pojat. Oman terveystilansa he arvioivat olevan "keskinkertainen" tai "hyvä", ja he oleskelivat kotona 14–22 h/vrk. Asukkaat eivät tupakoineet. Asukkaiden ennen korjaustoimenpiteitä kokemat oireet olivat korvakipu, ihottumaa ja allergiaa. Asunto siivottiin kerran viikossa yleisillä puhdistusaineilla, ja kotieläimenä heillä oli käärme ja kilpikonna. Ennen korjaustoimenpiteitä joka viikko esiintyneitä asumisympäristöön vaikuttavia tekijöitä olivat "tunkkainen ilma", "kuiva ilma" ja "vaihteleva lämpötila". Perhe oli asunut huoneistossa 5 vuotta ennen korjaustoimenpiteitä.

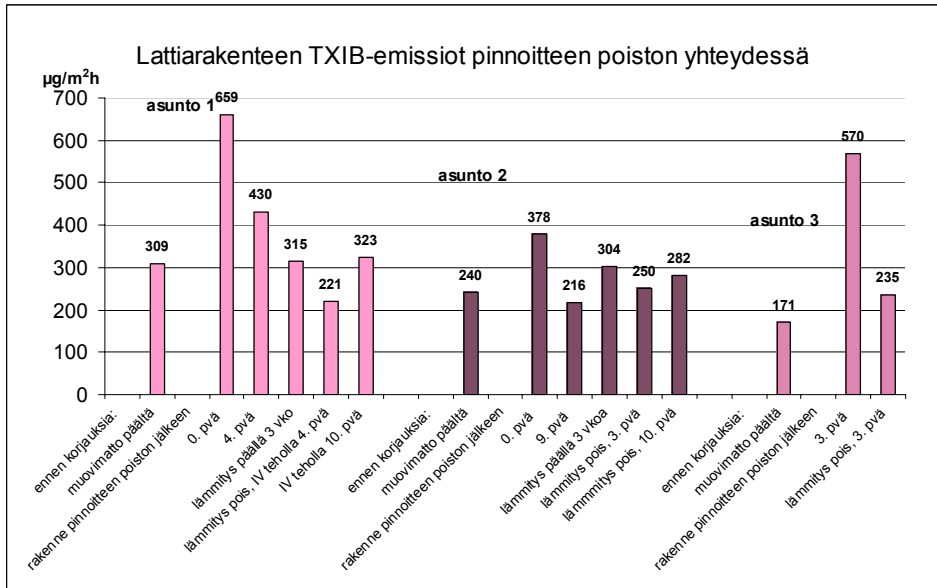
Naisen korvakivut olivat hävinneet kokonaan ja toisen pojan oireet vähentyneet puoleen 6 kk korjauksesta. Ilma koettiin korjaustoimenpiteen jälkeen raikkaaksi ja kevyeksi hengittää. 12 kuukautta korjauksesta naisen terveystila oli merkittävästi parantunut. Pojalla esiintyy edelleen ihottumaa. Asukkaiden itsensä kokemaa terveystila arvioitiin "hyväksi" tai "melko hyväksi". Korjaustoimenpiteen jälkeen, vuoden 2002 aikana, sisäilma todettiin ajoittain kuivaksi, mutta muita tekijöitä, kuten aikaisemmin todettua tunkkaisuutta, ei ollut esiintynyt. Asukkaat olivat tyytyväisiä suoritettuun korjaustoimenpiteeseen.

5.2 Sisäilmaongelmakohte 2

Sisäilman TVOC-pitoisuus oli ennen korjaustoimenpiteitä hyvin alhainen ($<200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mistä kuitenkin TXIB-yhdisteen osuus oli merkittävä ja vaihteli välillä 37 ja $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. VTT:n sisäilmatietopankin mukaan normaaliksi koetun huoneilman TXIB-pitoisuus on keskimäärin $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Sisäilman ammoniakki- ja formaldehydipitoisuudet olivat tasolla $10\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä vastaa normaalia tasoa (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka). Asuntojen lattiarakenteesta mitattu TXIB-yhdisteen emissio oli $171\text{--}309 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja normaalikohteeseen verrattuna 3–5-kertainen (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka). Ongelmakohteessa 2 ennen korjaustoimenpiteitä mitatut sisäilman pitoisuudet ja lattiarakenteen emissiot esitetään liitteen C taulukossa 6. Lattiarakenteesta mitatut emissiot ennen korjaustoimenpiteitä sekä niiden aikana esitetään liitteen C taulukossa 7 ja kuvaajissa 8 ja 9.

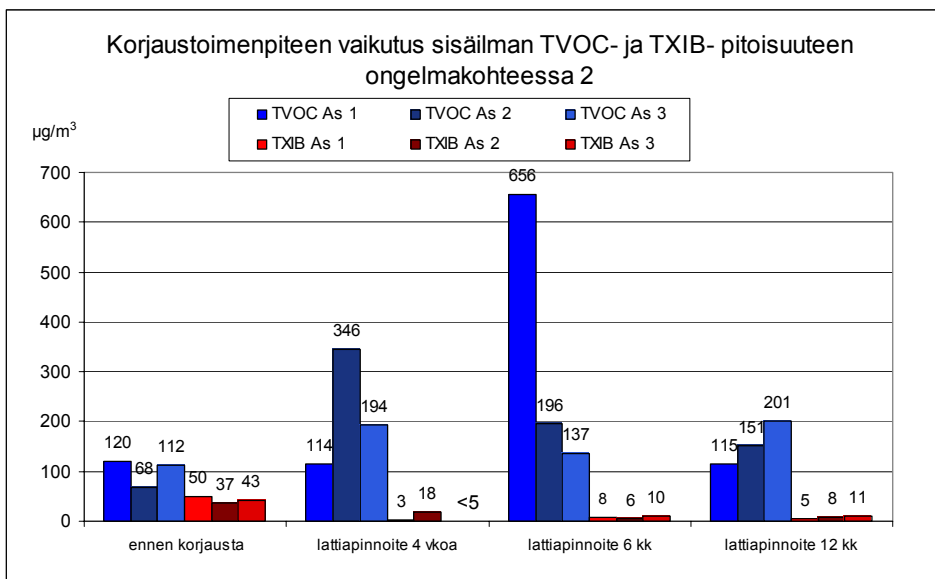


Kuvaaja 8. Lattiarakenteen TVOC-emissio korjaustoimenpiteen yhteydessä ongelma-kohteessa 2.

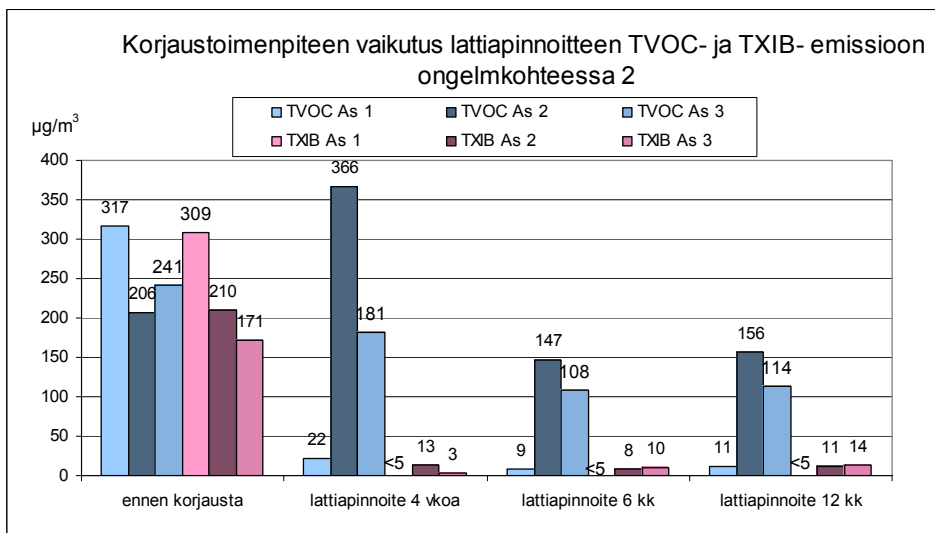


Kuvaaja 9. Lattiarakenteen TXIB-emissio korjaustoimenpiteen yhteydessä ongelma-kohteessa 2.

Heti pinnoitteen poiston yhteydessä mitattiin lattiarakenteesta korkeat TVOC- ja TXIB-emissiot, jotka tasaantuivat ensimmäisen viikon aikana (ennen lämmitysvaihetta) samalle tasolle kuin kohteessa 1 (TVOC: $\sim 1\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, TXIB: $\sim 250\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). Kolme viikkoa kestäneen lämmitysvaiheen jälkeen TVOC-emissio oli laskenut tasolle $300\text{--}500\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, mutta TXIB-yhdisteen emissio oli edelleen aikaisemmin mitatulla tasolla eli $\sim 250\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Kohteessa ei tehty lisätoimenpiteitä emissiotason pienentämiseksi ennen uuden pinnoitteen asennusta. Asuntoon 1 asennettiin laminaattipinnoite, kun taas asuntoihin 2 ja 3 asennettiin uudet PVC-pinnoitteet. Kaikki lattiapinnoitteet ovat M1-luokiteltuja. Liitteen C taulukoissa 8 ja 9 esitetään sisäilman pitoisuudet ja lattiarakenteen emissiot seurantamittauksissa 4 viikkoa–12 kuukautta uuden pinnoitteen asennuksen jälkeen. Kuvaajissa 10 ja 11 esitetään korjaustoimenpiteen vaikutus TVOC- ja TXIB-pitoisuuksiin ja emissioihin.



Kuvaaja 10. Korjaustoimenpiteen vaikutus sisäilman TVOC- ja TXIB-pitoisuuteen ongelmakohteessa 2.



Kuvaaja 11. Korjaustoimenpiteen vaikutus lattiapinnoitteen TVOC- ja TXIB-emissioon ongelmakohteessa 2.

Alhainen sisäilman TXIB-pitoisuus (alle 15 µg/m³) saavutettiin kaikissa kolmessa asunnossa jo ensimmäisessä seurantamittauksessa 4 viikkoa uuden lattiapin-

noitteen asennuksesta. Uudesta lattiasta mitattu TXIB-emissio oli vastaavasti myös hyvin alhainen (alle $15 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) ja murto-osa siitä, mitä vanhasta pinnoitteesta mitattiin. Laminaattipinnoitteesta (asunto 1) ei yhdessäkään seurantamittauksessa mitattu yli määritysrajan ylittävää TXIB-emissiota. Asunto 1:n laminaattipinnoitteesta mitattiin myös selvästi pienin, alle $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ TVOC-emissio verrattuna asunto 2 ja 3:n PVC-pinnoitteisiin, jotka saavuttivat M1-luokkaa vastaavan emissiotason (alle $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) kuusi kuukautta uuden pinnoitteen asennuksesta. Sisäilman TVOC-pitoisuus ei tässä ajassa pienentynyt yhdessäkään mitatuista asunnoista, ja yksittäisten VOC-yhdisteiden osalta alifaattiset ja sykliset hiilivedyt sekä aldehydit, joita esiintyy esimerkiksi maaleissa ja PVC-pinnoitteissa, olivat selvästi lisääntyneet korjaustoimenpiteen jälkeen. Asunto 1:n neljän ja kuuden kuukauden seurantamittausten välillä nämä VOC-yhdisteet aiheuttivat selvän TVOC-pitoisuuden nousun. Muuten asunnoissa saavutettiin alle $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC-pitoisuus kuudessa kuukaudessa korjaustoimenpiteestä.

Asukaskyselyyn vastasi kaksi asukasta, jotka eivät kuitenkaan olleet asuneet asunnossa ennen korjaustoimenpiteitä. He ilmoittivat terveydentilansa olevan hyvä (ei oireita). Asunnossa ei ollut korjausten jälkeen ilmennyt tunkkaisuutta tai epämiellyttävää hajua. Joka viikko havaittiin tupakansavua, joskus vetoa, kuiva ilmaa, pölyä ja liian korkeaa huonelämpötilaa.

5.3 Ongelmakohde 3

5.3.1 Sisäilman ja pintojen emissiomittaukset ennen korjaustoimenpiteitä

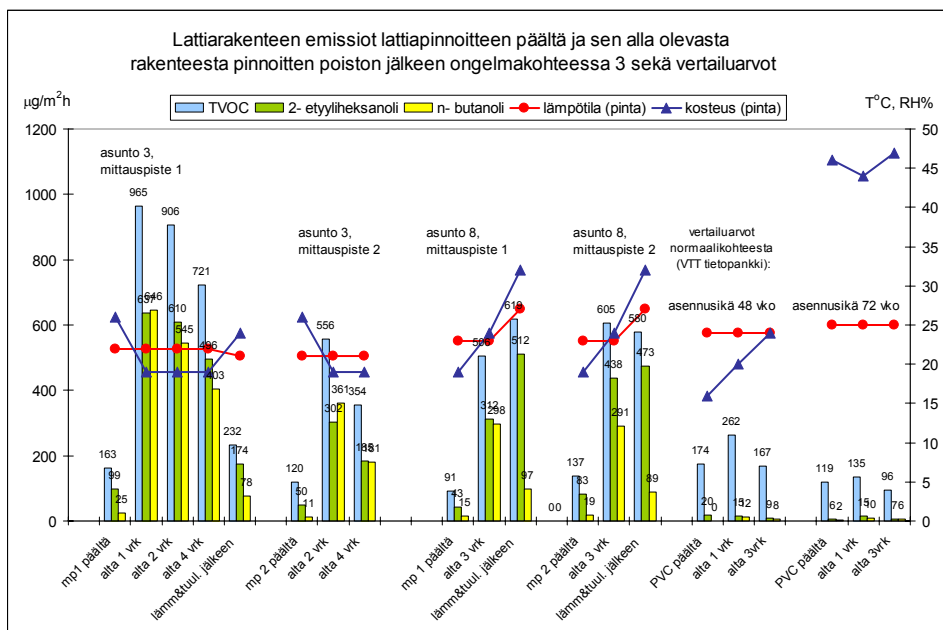
Sisäilman TVOC-pitoisuus oli ennen korjaustoimenpiteitä molemmissa mitatuissa asunnoissa hyvin alhainen eli tasolla $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tai pienempi. VOC-yhdisteistä oli 2-etyyliheksanolin pitoisuus välillä 18 ja $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja n-butanolin pitoisuus vaihteli välillä 10 ja $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. VTT Rakennustekniikan sisäilmatietopankin mukaan sisäilman 2-etyyliheksanolin pitoisuus on sisäilman laadultaan "normaaliksi" koetuissa asunnoissa tasolla $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uusissa asuinrakennuksissa sisäilman 2-etyyliheksanolipitoisuus 12 kk luovutusvaiheesta on tavallisesti alle $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kohteissa, joissa lattiapinnoitteena on käytetty PVC-tuotetta (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Ongelmakohteen 3 molemmissa asunnoissa n-butanolin pitoisuus oli tasolla alle $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä vastaa normaalisti

asuinhuoneistossa mitattua tasoa (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Molempien asuntojen ammoniakkipitoisuus oli alle $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja formaldehydipitoisuus oli hyvin pienellä tasolla $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä vastaa normaalisti sisäilmasta mitattua tasoa. PVC-pinnoitteesta mitatut TVOC-emissiot olivat 91–163 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ eli M1-luokkaa vastaavat. 2-etyyliheksanolin osuus oli kuitenkin merkittävä ja vaihteli välillä 43 ja 99 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. n-butanoliemissio oli 11–25 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Normaalisti vastaavasta, 48–72 viikon ikäisestä rakenteesta mitattu 2-etyyliheksanoliemissio on ollut 7–21 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja n-butanoliemissio $<10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ (liite C, taulukko 14, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Sisäilman pitoisuudet ennen korjaustoimenpidettä esitetään liitteen C taulukossa 10. Vastaavat emissiot lattiapinnoitteen päältä esitetään liitteen C taulukossa 11.

Sisäilman suhteellinen kosteus oli mittausajankohtana (noin 145 cm korkeudella lattiapinnasta mitattuna) 27 % asunnossa 3 ja 20 % asunnossa 8. Huoneistojen sisälämpötilat olivat vastaavasti $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Lattiapinnoitteen päältä samana ajankohtana mitattu suhteellinen kosteus ja sisäilman lämpötila olivat 26 % ja $22 \text{ }^\circ\text{C}$ asunnossa 3 sekä 19 % ja $23 \text{ }^\circ\text{C}$ asunnossa 8. Sisäilmamittausten yhteydessä todettiin, että huoneistojen ilmanvaihto oli toiminnassa. Helsingin kaupungin ympäristökeskus oli aikaisemmin keväällä 2003 suoritetun tarkastuksen yhteydessä todennut, että ilmanvaihto toimii säädösten mukaisesti. Asunto 8:ssa auki olleet ikkunat suljettiin 2 tuntia ennen sisäilmamittauksia.

5.3.2 Lattiarakenteen emissiot pinnoitteen poiston yhteydessä

Ongelmakohteen 3 lattiapinnoitteen alapuolisesta rakenteesta suoritettut mittaukset esitetään liitteen C taulukossa 12 sekä kuvaajassa 12. Samanaikaisesti määritetyt rakennekosteudet esitetään liitteen C taulukossa 13. Lattiarakenteen päältä mitattu sisäilman lämpötila oli mittausjakson aikana asunnoissa 3 ja 8 välillä 21 ja $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ja vastaavasti sisäilman suhteellinen kosteus vaihteli välillä 18 ja 24 %. Uudiskohteesta kerätyt vertailuarvot TVOC-, 2-etyyliheksanoli- sekä n-butanoliemissiolle ongelma-kohteessa 3 käytetylle PVC-tuotteelle esitetään liitteen C taulukossa 14 ja kuvaajassa 12. Kyseisen vertailukohteen rakenteen suhteellinen kosteuspitoisuus oli mittauksin todennettu olevan riittävän alhainen PVC-pinnoitteen asennusvaiheessa.



Kuvaaja 12. Ongelmakohde 3, asuntojen 3 ja 8 lattiarakenteen TVOC-, 2-etyyliheksanoli- ja n-butanoliemissiot lattianpinnoitteen poiston jälkeen sekä vertailuarvot (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005), (mp = mittauspiste, lämm&tuul. jälkeen = 2–3 viikon lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen).

Lattiarakenteesta 3 vuorokautta PVC-pinnoitteen poiston jälkeen mitattu TVOC-emissio vaihteli välillä 354 ja 721 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ kahdessa asunnossa. Vastaavasti samalla mittaushetkellä 2-etyyliheksanolin emissio oli 185–496 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja n-butanolin emissio 181–403 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, ja näiden osuus oli 65–80 % TVOC-tuloksesta. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan materiaaliemissiotietopankin mukaan oikeasta rakenteesta mitatut 2-etyyliheksanoli ja n-butanoliemissiot ovat 3 vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen, kohteessa käytetylle PVC-tuotteelle, tavallisesti tasolla 15 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ tai pienemmät, kun pinnoitteen asennuksesta on kulunut 48–72 viikkoa (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005). Lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen asunnossa 3 mitattiin yli 200 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ TVOC-emissio, josta 2-etyyliheksanolin osuus oli 174 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja n-butanolin 78 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Asunto 8:ssä lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen mitattu TVOC-emissio oli 600 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, 2-etyyliheksanolin emissio 493 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja n-butanolin emissio 93 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

5.3.3 Sisäilman laadun ja pintojen emissiomittaukset korjaustoimenpiteen jälkeen

Kun uusien pinnoitteiden asennuksesta oli kulunut 23–28 ja 40–48 viikkoa, asuntojen 3 ja 8 sisäilman pitoisuus- ja uuden lattiapinnoitteen emissiotasot mitattiin uudelleen. Lattiapinnoitteen emissio mitattiin samasta kohdasta, josta määritettiin lattiarakenteen emissio lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen. Asunnon 8 seurantamittauksessa maaliskuussa 2004 valittiin lisäksi toinen emissiomittauspiste, koska varsinainen seurantapiste sijaitti paksun, asukkaiden mukanaan tuoman maton alla. Oletettiin, ettei maton alapuolisella pinnalla tapahtuva haihtuminen vastaa normaalia huonetilaa. Sisäilmanmittauksen yhteydessä määritettiin myös asuntojen ilmanvaihtokertoimet. Molemmat asunnot olivat asuttuja ja asunnossa 3 oli asukkailla kaksi kissaa, joiden hiekkalaatikot sijaitsivat eteisessä. Yleisilmeeltään asunto 3 oli siisti ja asunto 8 erityisen siisti molempina mittauskertoina. Asunnossa 8 havaittiin ensimmäisellä mittauskerralla selvä imelä tuoksu, jonka arvioitiin olevan peräisin hajusteesta tai mausteesta. Toisella mittauskerralla asukas oli siivonnut huoneistoa pesuaineilla mittausta edeltävän aamun aikana. Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila olivat ensimmäisellä mittauskerralla 45 % ja 24 °C asunnossa 3 ja 37 % ja 25 °C asunnossa 8. Lattiapinnoitteen päältä samana ajankohtana mitattu sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila olivat 46 % ja 22 °C asunnossa 3 sekä 38 % ja 24 °C asunnossa 8. Toisella mittauskerralla asunnon 3 suhteellinen kosteus oli 34 % ja lämpötila 23 °C. Asunnossa 8 vastaavat arvot olivat 35 % ja 24 °C. Lattiapinnoitteen päältä samana ajankohtana mitattu sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila olivat 37 % ja 21 °C asunnossa 3 sekä 37 % ja 22 °C asunnossa 8. Sisäilma- ja emissiomittauksien tulokset esitetään liitteen C taulukoissa 15 ja 16 sekä kuvaajissa 13 ja 14.

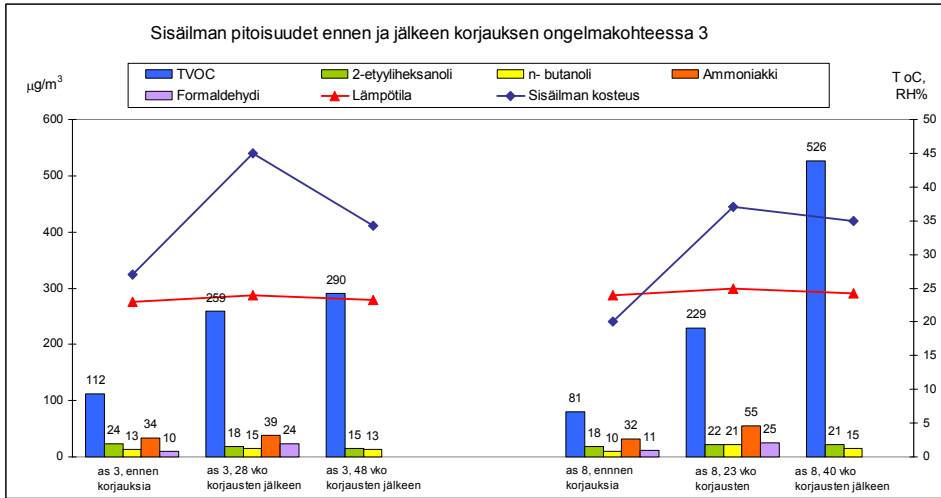
Sisäilman TVOC-pitoisuus oli ensimmäisissä seurantamittauksissa molemmissa asunnoissa alle 300 µg/m³, mikä on yli kaksinkertainen taso verrattuna ennen korjausta mitattuihin pitoisuuksiin. Sisäilman 2-etyyliheksanolin ja n-butanolin pitoisuudet olivat 18–22 µg/m³ sekä 15–21 µg/m³ eli samalla tasolla kuin ennen korjausta. Ammoniakkipitoisuus oli 39–55 µg/m³ eli hieman korkeampi kuin ennen korjausta. Formaldehydipitoisuus oli 22–44 µg/m³, mikä oli 2–4 kertaa korkeampi taso kuin ennen korjausta. Aldehydien, terpeenien sekä silyyliyhdisteiden osuus TVOC:sta oli hieman lisääntynyt korjaustoimenpiteen jälkeen. Edellä mainittujen yhdisteiden pitoisuustasojen lievä nousu verrattuna tilanteeseen ennen korjaustoimenpidettä voidaan selittää sillä, että seurantamittauksissa

pinnoitteiden vaihdon jälkeen huoneistot olivat asuttuja, kun taas ennen korjauksia mitattiin tyhjät asunnot: asuminen – eli huonekalut sekä mm. pesuaineet ja hajusteet (asunto 8) – toivat sisäilman pitoisuuksiin uuden muuttujan. Korjaustoimenpiteen jälkeen mitattiin myös molemmissa asunnoissa korkeampia tolueni- ja ksyleenipitoisuuksia verrattuna tilanteeseen ennen korjaustoimenpiteitä. Nämä yhdisteet ovat tyypillisiä maalien emissioita. Yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet eivät ylittäneet normaalisti uudehkoissa asunnoissa mitattuja pitoisuuksia (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

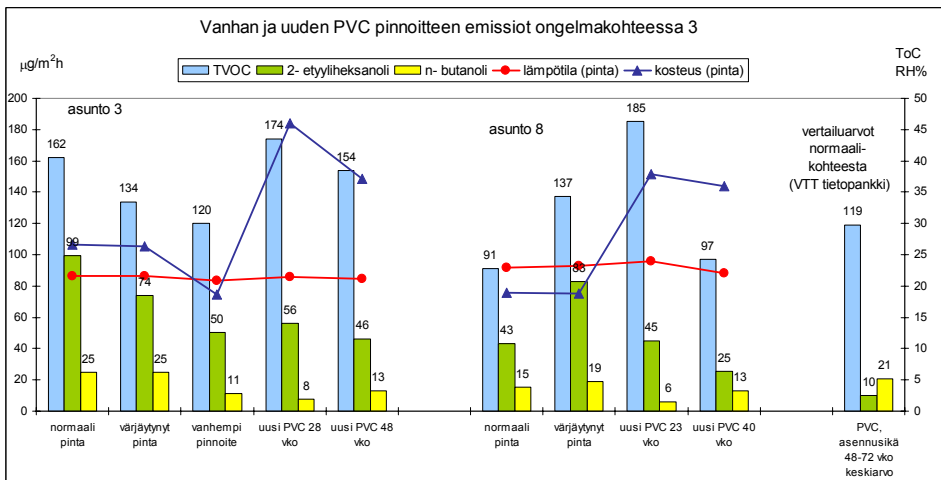
Uusien lattiapinnoitteiden TVOC-emissiot olivat alle $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, mikä vastaa vähäpäästöisen, M1-luokitellun tuotteen emissiotasoa. 2-etyyliheksanolin emissio oli tasolla $45\text{--}56 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja n-butanolin alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Asunto 3:n PVC-maton päältä mitattu 2-etyyliheksanolin emissio oli noin puolet siitä, mitä vanhasta, vaurioituneesta pinnoitteesta keskimäärin mitattiin. Asunto 8:n 2-etyyliheksanolin emissio oli samalla tasolla kuin ennen korjaustoimenpiteitä.

Toisella seurantamittauksella asunto 3:n TVOC-pitoisuus oli samalla tasolla eli $\sim 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kuin edellisessä seurantamittauksessa 5 kuukautta aikaisemmin. Asunto 8:n TVOC oli lähes kaksinkertainen edelliseen kertaan verrattuna mutta kuitenkin alle $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hydroksimantelihapon etyylesteri-dimetyylisilyliin osuus oli $298 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli puolet TVOC-arvosta. Kyseisen silyliyhdisteen esiintyminen johtunee siivouksesta (ks. kohdan 5.3.3 ensimmäinen kappale), eikä TVOC-pitoisuuden näin ollen voida arvioida pysyvästi nousseen edelliseen mittaukseen verrattuna. Molempien asuntojen osalta 2-etyyliheksanolin pitoisuus oli enimmillään $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja n-butanolin enimmillään $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tai alle. Pitoisuudet olivat samaa pitoisuusluokkaa kuin 5 kk aikaisemmin tehdyssä sisäilma-mittauksessa.

Lattiapinnoitteiden TVOC-emissiot olivat toisella mittauksella edelleen M1-tasoa. Asunto 8:n kohdalla emissio oli pienentynyt lähes puoleen tasolle $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, ja 2-etyyliheksanolin emissio pinnoitteen päältä mitattuna kyseisen asunnon kohdalla oli myös pienentynyt keskimäärin 30 %. Asunto 3:n emissiot olivat vastaavasti hieman pienentyneet edelliseen kertaan verrattuna. 2-etyyliheksanolin emissio lattiapinnoitteen päältä oli enimmillään $46 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. n-butanoliemissio oli molemmissa asunnoissa enimmillään $13 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.



Kuvaaja 13. Korjaustoimenpiteen vaikutus sisäilman pitoisuuksiin ongelmakohteessa 3.



Kuvaaja 14. Korjaustoimenpiteen vaikutus lattiapinnoitteen päältä mitattuihin emissioihin ongelmakohteessa 3, asunnoissa 3 ja 8, sekä vertailuarvot (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

6. Yhteenvedo korjauskohteiden tuloksista

Tämän tutkimusprojektin aikana tutkittiin sisäilman laatua kolmessa eri ongelma-kohteessa, joissa asukkailla oli ilmennyt erilaisia asuntoon liittyviä oireita. Kaikissa kohteissa ilmanvaihto toimi säädösten mukaisesti. Vaikka asuntojen sisäilman pitoisuudet edustivat kemiallisten epäpuhtauksien osalta sisäilmastoluokituksen mukaisesti hyvää sisäilman tasoa, tiettyjen yksittäisten VOC-yhdisteiden osuus oli merkittävä. Kyseisiä yhdisteitä, TXIB:tä, 2-etyyliheksanolia ja n-butanolia, on mitattu emittoituvan muovimatoista (Rossell 1990, Wolkoff 1995, Lundgren ym. 1999, Wilke ym. 2004), ja suoraan rakenteesta mitatut emissiot osoittivat lattiarakenteen olevan VOC-yhdisteiden lähde. Aikaisemmissa tutkimuksissa on TXIB:n ja 2-etyyliheksanolin esiintyminen sisäilmassa voitu liittää asukkaiden tai työntekijöiden oireiluun (Norrback ym. 2000, Metiäinen ym. 2001, 2003, Tuomainen ym. 2004). PVC-pinnoite kotona oli eräässä tutkimuksessa yksi selittävä tekijä varhaislapsuudessa ilmenneisiin hengitystieoireisiin (Jaakkola ym. 1999). Muovimattopinnoitteesta mitatut 2-etyyliheksanolin sekä n-butanolin emissiot voitiin päätellä uudiskohteista kerätyn referenssitiedon perusteella kohonneiksi ja liittää kosteusmittausten perusteella rakennusaikaiseen kosteusvaurioon. Sen sijaan normaalia korkeamman TXIB-yhdisteen emissioiden ja rakennekosteuden välillä ei ollut yhteyttä. 2-etyyliheksanolin ja n-butanolin tiedetään olevan liiallisen rakennekosteuden vaikutuksesta syntyviä muovimaton hajoamistuotteita (Gustafsson 1990). Tyypillistä tälle hajoamisreaktiolle on, että se jatkuu, vaikkakin muovimaton alla oleva kosteuspitoisuus laskee kuivumisajan myötä. Siinä vaiheessa kun pinnoitteen vaurio havaitaan, rakennekosteus ei välttämättä ole enää kohonnut.

Korjaustoimenpiteenä muovimattopinnoitteet vaihdettiin kaikissa kohteissa uusiin, tutkitusti vähäpäästöisiin PVC-tuotteisiin. Pinnoitteiden vaihtaminen sekä pinnoitteen alla olevan rakenteen lämmittäminen ja tuulettaminen usean viikon ajan tai (TXIB-kohteissa) vaihtoehtoisesti tasoitetun rakenteen osittainen poisto oli onnistunut korjaustoimenpide sisäilman laadun sekä asukkaiden oireilun vähenemisen kannalta.

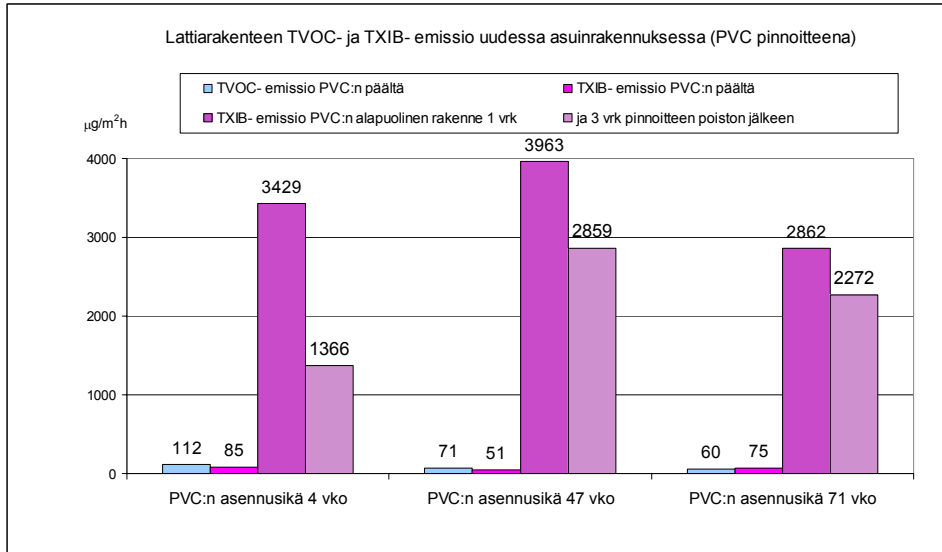
Ongelmakohteen 1 asuissa huoneistoissa mitattiin jopa kaksi kertaa korkeammat TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuudet kuin vastaavissa tyhjiissä, siivotuissa asunnossa. Asukkaiden toiminnan vaikutus sisäilman pitoisuuksiin on todettu jo aikaisemmissa tutkimuksissa (Saarinen ym. 2003). Sen sijaan asukkai-

den toiminta ei lisännyt TXIB-pitoisuutta ja sen emissiota lattiapinnoitteesta. Riittävän alhainen sisäilman TXIB-pitoisuustaso saavutettiin molemmissa asunnoissa puoli vuotta korjaustoimenpiteiden jälkeen. Asunnon lattiarakenteen, oletettavasti muovimatosta peräisin oleva, TXIB saatiin tehdyillä korjaustoimenpiteellä käytännössä kokonaan poistettua, eli sen emissio oli alle $15 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Samalla lattiarakenteen TVOC-emissio saavutti hyvin alhaisen tason. Lattiarakenteesta tehdyistä emissiomittauksista voitiin myös olettaa, että muovimatosta peräisin oleva TXIB-yhdiste oli kulkeutunut ontelorakenteeseen asti. Tämä voi viitata siihen, että lattiarakenteen kosteuspitoisuus on pinnoitusvaiheessa ollut korkea. Asukaskyselyjen tulokset osoittivat, että asuntoon liittynyt oireilu väheni tai loppui kokonaan korjaustoimenpiteen jälkeen ongelmakohteessa 1. Korjaustoimenpiteen myönteinen vaikutus asukkaiden kokemaan sisäilman laatuun oli havaittavissa jo 4 viikkoa korjauksesta, ja se korostui edelleen 6 ja 12 kuukauden kuluttua korjaustoimenpiteestä.

Markkinoilla esiintyy fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan hyvinkin erityyppisiä pinnoitemateriaaleja. Myös matalapäästöisillä, M1-luokan materiaaleilla on eroja liittyen VOC-yhdisteiden koostumuksen sekä pinnoitteen läpäisevyysominaisuuksien suhteen (Järnström & Saarela 2005). Erilaiset kulkeutumisarvioinnit yhdisteiden kemiallisten ominaisuuksien perusteella ovat vaikeita kokeellisen tiedon puuttuessa. Myös käytettyjen rakennusmateriaalien moninaisuuden vuoksi on vaikeaa tehdä yhteneväistä, eri tilanteissa sovellettavissa olevaa teoreettista mallia. Uudiskohteista kerätyn tiedon mukaan voidaan tiiviin PVC-pinnoitteen alapuolisesta rakenteesta mitata hyvinkin korkeita TXIB-yhdisteen emissioita samalla kun pinnoitteen päältä mitattu TVOC-emissio ei ylitä M1-luokan tavoitearvoa (kuvaaja 15, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka). Tutkimustulos viittaa siihen, että PVC-pinnoitteesta peräisin oleva TXIB-yhdiste kulkeutuu pitkällä aikavälillä suhteellisen suurissa määrin pinnoitteen alapuoliseen rakenteeseen PVC-pinnoitteen tiiviin pintakalvon estäessä yhdisteen pääsyn sisäilmaan.

TXIB:n suhteellisen korkean kiehumispisteen ($280 \text{ }^\circ\text{C}$, European Commission Joint Research Centre 2000) vuoksi yhdisteen emissioden sisäilmaan ei pitäisi olla merkittäviä. Ongelmakohteessa 2 yli kolmen viikon pituinen lattiarakenteen lämmitys ja tuuletus pinnoitteen ja liiman poiston jälkeen ei vähentänyt lattiarakenteen TXIB-emissiota alle $250 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ tasolle. Ensimmäisen vuoden mittaus tulosten perusteella näissä kohteissa saavutettiin hyvä sisäilman laatu TXIB-

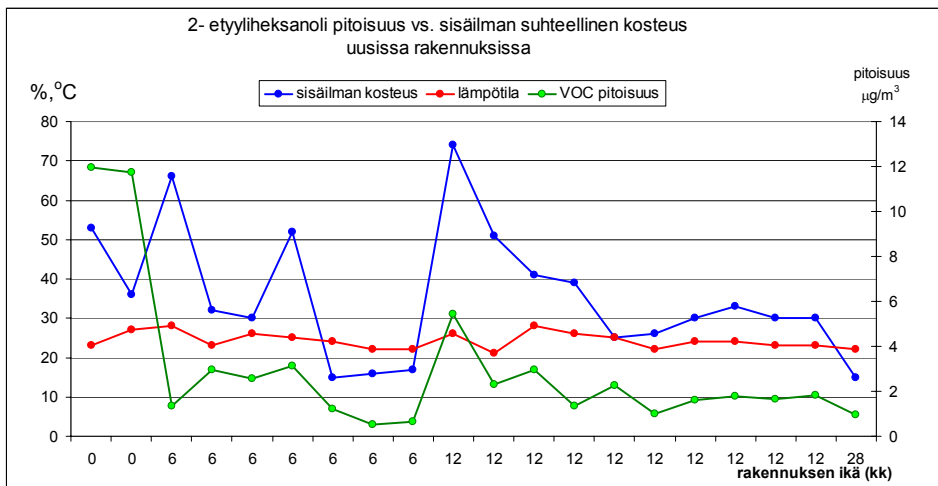
yhdisteen suhteen. Edellä mainitun korjaustoimenpiteen pitkäaikaisvaikutusta (yli vuoden) sisäilman laatuun ei kuitenkaan ole tutkittu.



Kuvaaja 15. Lattiarakenteen TVOC- ja TXIB-emissiot uudessa asuinrakennuksessa (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

Ongelmakohteen 3 korjausten yhteydessä, pinnoitteen päältä sekä pinnoitteen poiston jälkeen lattiarakenteesta mitattiin kohonneita 2-etyyliheksanolin ja n-butanolin emissioita. PVC-pinnoitteen päältä mitattu 2-etyyliheksanolin emissio oli 6–14 kertaa korkeampi, ja pinnoitteen alapuolisen rakenteen emissio (3 vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen) oli vastaavasti 135–350 kertaa korkeampi kuin vertailukohteen vastaavat emissiot (Järnström & Saarela 2005). 2-etyyliheksanolin on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu muodostuvan PVC:n pehmittimenä käytetyistä ftalaateista alkalisen rakennekosteuden vaikutuksesta (Gustafsson 1990). Ongelmakohteesta 3 mitattiin myös kohonneita rakennekosteuksia, joten rakennekosteus on ollut osatekijänä kohonneiden 2-etyyliheksanolin emissioiden syntyyn. Toisaalta toisen asunnon (asunto 3) rakennetta oli kuivattu ennen kuin emissiomittaukset suoritettiin. Seurantamittauksissa sisäilman 2-etyyliheksanolin pitoisuudet eivät merkittävästi laskeneet, vaikka lattiapinnoitteesta mitattu emissio laski noin puoleen toisessa asunnossa. Toisaalta sisäilman lämpötila sekä suhteellinen kosteus oli molemmissa mittauksissa korjaustoimenpiteen jälkeen selvästi korkeampi kuin ennen korjaustoimen-

piteitä. Sisäilman kosteuden vaikutus pitoisuustasoihin voi olla merkittävä. Esimerkiksi ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuudet kasvavat suhteellisen kosteuden kohotessa uudisrakennuksissa (Reponen ym. 1991, Järnström & Saarela 2005). Sama ilmiö on havaittu myös osittain vesiliukoisilla eli hydrofiilisillä VOC-yhdisteillä. Kuvaajassa 16 on esimerkkinä 2-etyyliheksanolin pitoisuus sekä sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila uusissa asuinrakennuksissa ensimmäisen vuoden aikana. Kuvaajasta voidaan havaita, että sisäilman 2-etyyliheksanolin pitoisuudet vaihtelevat ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Yhteys havaitaan jo 2-etyyliheksanolin suhteellisen pienellä pitoisuustasolla alle $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).



Kuvaaja 16. Sisäilman 2-etyyliheksanolipitoisuus sekä sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila uusissa asuinrakennuksissa, rakennuksien ikä 0–28 kk (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

Ongelmakohteen 3 viimeisessä seurantamittauksessa sisäilman 2-etyyliheksanolipitoisuus saavutti tason $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja lattiapinnoite emissiotason alle $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Uudiskohteista kerätyn tiedon mukaan lattiarakenteesta mitatut emissiot voivat normaalisti, käytetyn pinnoitemateriaalin sekä asennuksessa käytetyn liiman mukaisesti, olla hyvinkin korkeita ensimmäisinä vuorokausina pinnoitteen poiston jälkeen (Järnström & Saarela 2005). Emissiot tasaantuvat muutamassa vuorokaudessa tietylle tasolle. Siten rakenteesta heti pinnoitteen poiston jälkeen tai pinnoitteeseen tehdyn viillon kautta mitattujen emissiotulosten arvo on vähäinen lattiarakenteen vaurion selvittämisessä.

Sisäilman laadun varmistamiseksi pitkällä aikavälillä on lattiarakenteen emissio-
taso korjaustoimenpiteen aikana pyrittävä saamaan mahdollisimman alhaiselle
tasolle. Korjaustoimenpiteen kaikissa vaiheissa on tilojen riittävä alipaineistus
pintojen adsorptioilmiön välttämiseksi tärkeää.

Toimiva ilmanvaihto on hyvän sisäilman edellytys, ja ilmanvaihdon toiminta
tulee aina tarkistaa sisäilmamittauksen yhteydessä. Tilan ilman lämpötilan ja
kosteuden vaikutus emissioihin ja edelleen sisäilman pitoisuuksiin voi olla mer-
kittävä. Myös asukkaiden vaikutus voi olla suuri; sisäilman epäpuhtauksien pi-
toisuudet voivat asutuissa huoneistoissa olla jopa kaksinkertaiset vastaavaan
tyhjiään tilaan verrattuna. Sisäilman laadun arvioinnissa on siten asumisen vaiku-
tus huomioitava.

Tämän tutkimuksen aikana kehitettiin ja sovellettiin uudiskohteista kerätyn refe-
renssitiedon perusteella erityinen toimintamalli ongelmalattiarakenteen todenta-
miseen. Menetelmässä epäillyn ongelmapinnoitteen emissiotasot mitataan
FLEC-laitteistolla **oikeasta rakenteesta** kenttäolosuhteissa (*in situ*). Vaurioitu-
nutta materiaalia ei siis irroteta ja viedä laboratorioon tutkittavaksi. Emissiot
mitataan pinnoitteen päältä sekä sen alla olevasta rakenteesta aikaisintaan 3 vuo-
rokautta pinnoitteen poiston jälkeen. Tässä julkaisussa esitetyt arvot ovat vertai-
luelkpaisia tässä esitetylle menetelmälle, eikä niitä tule soveltaa muilla mene-
telmillä, kuten nk. kupumenetelmällä, tai laboratoriossa näytepalasta mitattuihin
tuloksiin.

7. Johtopäätökset

Tutkimuksessa todettiin, että lattian muovipinnoitteeseen liittyvä ongelma on mahdollista todentaa olemassa olevaa kemiallisten epäpuhtauksien mittaustekniikkaa hyödyntäen. Tutkimuksessa kehitettiin erityinen mittauskäytäntö, jossa lattiapinnoitteen epätavallista suuremmat emissiot todennetaan FLEC-tekniikalla paikan päällä. Mittaus suoritetaan pinnoitteen päältä sekä sen alla olevasta rakenteesta aikaisintaan 3 vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen. Mittaustulosten arvioinnissa hyödynnettiin uudisrakennuksista kerättyjä laatuksiteerejä liittyen sisäilman epäpuhtauksien (VOC, formaldehydi, ammoniakki) pitoisuustasoihin ja emissioihin oikeassa rakenteessa. Ongelmakohteessa pystyttiin vertailussa uudiskohteiden tuloksiin todentamaan kohonnut sisäilman pitoisuus ja lattiarakenteen emissio (FLEC-mittaustekniikkaa hyödyntäen) VOC-yhdisteiden TXIB:n (kohde 1 ja 2) ja 2-etyyliheksanolin (kohde 3) suhteen.

Tutkimuksen aikana tarkasteltiin kahden eri korjaustoimenpiteen vaikutusta lopulliseen sisäilman laatuun ja asukkaiden oireiluun. Molemmat korjaustoimenpiteet (PVC-pinnoitteen ja liiman tai liiman ja tasoitteen poisto sekä huoneiston lämmitys ja tuuletus 2–3 viikon ajan) osoittautuivat onnistuneiksi, koska vuoden kuluttua sisäilman TXIB- ja 2-etyyliheksanolipitoisuudet ja lattiarakenteen vastaavat emissiot laskivat normaalitasolle.

Yhteenvedona voidaan esittää toimintamalli sellaisille tapauksille, joissa epäillään lattiapinnoitteen (PVC) emissioita sisäilmaongelman aiheuttajaksi (asukkaiden oireilu tai materiaalin vaurio).

1. Asunnon silmämääräinen tarkistus: onko pinnoitteessa näkyvä vaurio tai värjäytymä?
2. Onko syytä epäillä kosteusvauriota? Tarvittaessa suoritetaan rakenteen kosteusmittaus.
3. Ilmanvaihdon toimivuus tarkistetaan: ilmanvaihdon minimivaatimus = $0,5 \text{ h}^{-1}$, korvausilma riittävä.

Ilmanvaihto OK



4. Sisäilmamittaus: määritetään sisäilman VOC-pitoisuudet (TXIB, 2-etyyliheksanoli) sekä ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.
5. Lattiapinnoitteen emissioiden määrittäminen: VOC-emissiot (TXIB, 2-etyyliheksanoli) määritetään FLEC-laitteistolla (CEN 1999) PVC-pinnoitteen **päältä** ja sen alta olevasta rakenteesta (liima poistettu) **aikaisintaan 3 vuorokautta** pinnoitteen (mittauspiste: Ø 30 cm) poiston jälkeen.
6. VOC-pitoisuus- tai emissiotuloksia vertaillaan referenssiarvoihin eli "normaaliarvoihin". Tulosten arvioinnissa huomioidaan tuotetiedot (tasoite, PVC ja liima) sekä ulkoisten olosuhteiden (lämpötila, kosteus, ilmanvaihto) merkitys. Seuraavassa esitetään normaalista rakenteesta mitattuja TXIB- ja 2-etyyliheksanoliemissioita (VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka 2005):

Mitattu rakenne	Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	
	TXIB	2-etyyliheksanoli
Lattiapinnoite (PVC)	<5–65	<5–30
Lattiarakenne 3 vrk pinnoitteen ja sen alla olevan liiman poiston jälkeen	Tulosten arvioinnissa huomioidaan tuotetiedot (tasoite, PVC ja liima).	Tulosten arvioinnissa huomioidaan tuotetiedot (tasoite, PVC ja liima).

7. Mikäli "normaaliarvot" ylittyvät, suoritetaan seuraavat korjaustoimenpiteet:

PVC-pinnoite ja sen alla oleva liima (tarvittaessa tasoite) poistetaan koko vaurioalueelta, ja huoneistoa lämmitetään (30–35 °C) ja tuuletetaan 2–3 viikkoa ennen uuden pinnoitteen asennusta.

Lähdeluettelo

- Alexanderson J. 2004. Secondary emissions from alkali attack on adhesives and PVC floorings. Report TVBM-3115. Lund: Lund Institute of Technology.
- Andersson K., Bakke J. V., Bjørseth O., Bornehag C.-G., Clausen G., Hongslo J. K., Kjellman M., Kjærgaard S., Levy F., Mølhav L., Skerfving S. & Sundell J. 1997. TVOC and health in non-industrial environments. *Indoor Air*, 7, s. 78–91.
- ASTM. 1984. ASTM E981-84. Standard Test Method for Estimating Sensory Irritancy of Airborne Chemicals. Philadelphia: American Society for Testing Materials.
- Bjørseth O. & Malvik B. 1995. Reduction in VOC emission from water-based paints. *Proceedings of Healthy Buildings '95, Milan*, Vol. 2. S. 881–886.
- Bluyssen P., Cox C., Maroni M., Boshi N., Raw G., Roulet C. A. & Foradini F. 2003. European project HOPE (Health optimisation protocol for energy efficient buildings). *Proceedings of Healthy Buildings, Singapore*. S. 76–81.
- Bornehag C.-G. 1991. Indoor Climate in Dalen. Physical measurements in 90 flats at Enskededalen, Stockholm. Stockholm: Byggeforskningsrådet BFR.
- Bornehag C. G., Sundell J., Hägerhed-Engman L. & Sigsgaard T. 2005. Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergenic symptoms in children. *Indoor Air*, Vol. 15, s. 275–280.
- CEN. 1999. ENV 13419-2, Building products. Determination of the emission of volatile organic compounds. Part 2: Emission test cell method. Bruxelles: European Committee for Standardization.
- Damgård Nielsen G., Alarie Y., Poulsen O. M. & Andersen Nexø B. 1995. Possible mechanisms for respiratory tract effects of noncarcinogenic indoor-climate pollutants and bases for their risk assessment. *Scand J Work Environ Health*, Vol. 21, s. 165–178.

Euroopan neuvoston virallinen lehti nro L 040, 11/02/1989, s. 0012–0026. Suomenk. erityispainos Alue 13 Nide 17 s. 0185. www.europa.eu.int

European Commission Joint Research Centre. 2000. International Uniform Chemical Information Database. IUCLID CD-ROM. Year 2000 Edition. ISBN 92-828-8641-7.

Fritsche M. 1996. Kemisk emission från golvlim på betong. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Institutionen för byggnadsmaterial.

Gustafsson H. 1990. Kemisk emission från byggnadsmaterial – beskrivning av skadefall, mätteknik och åtgärder. SP Rapport 1990:25.

HB Sisäilmatutkimus. Raportti 9.9.2002.

Hiltunen K. 2000. Sisäilman ammoniakki suomalaisissa asunnoissa. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2000.

IARC Cancer Databases. 2004. International Agency for Research on Cancer. www.iarc.fr.

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

Jaakkola J. K., Øie L., Nafstad P., Botten G., Samuelsen S. O. & Magnus P. 1999. Interior Surface Materials in the Home and the Development of Bronchial Obstruction in Young Children in Oslo, Norway. *American Journal of Public Health*, Vol. 89, s. 188–192.

Järnström H. & Saarela K. 2005. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Kamijima M., Sakai K., Shibata E., Yamada T., Itohara S., Ohno H., Hayakawa R., Sugiura M., Yamaki K. & Takeuchi Y. 2002. 2-ethyl-hexanol in indoor air as a possible cause of sick building syndrome. *J Occup Health*, Vol. 44, ps. 186–191.

Kane L. E. & Alarie Y. 1978. Evaluation of sensory irritation from acrolein-formaldehyde mixtures. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol. 39, s. 270–274.

Karlsson S., Banhidi Z. G. & Albertsson A.-C. 1989. Gas chromatographic detection of volatile amines found in indoor air due to putrefactive degradation of casein-containing building materials. *Mater. Struct.*, Vol. 22, s. 163–169.

Kasanen J.-P., Pasanen A.-L. & Pasanen P. 1999. Evaluation of sensory irritation of Δ^3 -carene and turpentine, and acceptable levels of monoterpenes in occupational and indoor environment. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Vol. 56, s. 89–114.

Kemmlin S., Hahn O. & Jann O. 2003. Emissions of organophosphate and brominated flame retardants from selected consumer products and building materials. *Atmospheric Environment*, Vol. 37, s. 5485–5493.

Kephalopoulos S., Augustin R., Cochet C., Seifert B., Maroni M., Saarela K., Crump D., Wolkoff P., Leva P. & Kotzias D. 2003. Harmonization of indoor material labelling systems in the EU – A critical review of existing labelling systems. In *Proceedings of Healthy Buildings, Singapore*. S. 567–573.

Klein R. J. 1993. Formulating low-odor, low-VOC interior paints. *Modern Paint and Coatings*, March 1993, s. 37–39.

Kostiainen R. 1995. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. *Atmospheric Environment*, Vol. 29, s. 693–702.

Kreiss K. 1998. Sick building syndrome and building-related illness. In: *Environmental and occupational medicine*. 3rd edition. Lippincott-Raven Publishers. S. 1471–1477.

Lundgren B., Jonsson B. & Ek-Olausson B. 1999. Materials Emission of Chemicals – PVC Flooring Materials. *Indoor Air*, Vol. 9, s. 202–208.

Mc Laughlin P. & Aigner R. 1990. Higher alcohols as indoor air pollutants: source, cause, mitigation. *Proceedings of Indoor Air, Toronto*, s. 587–591.

Metiäinen P., Mussalo-Rauhamaa H & Viinikka M. 2001. TXIB-päästöt terveyshaittojen indikaattorina, Sisäilmastoseminaari 2001. S. 117–121.

Metiäinen P., Mussalo-Rauhamaa H. & Viinikka M. 2003. 2-ethyl-1-hexanol Emission from Floor Structure and Health Symptoms. Proceedings of Healthy Buildings, Singapore. S. 36–41.

Molhave L. 2003. Organic compounds as indicators of air pollution. *Indoor Air*, Vol. 13 (Suppl 6), s. 12–19.

Niiranen J. 1999. Sisäilman laatu ja asukkaiden oireet nuorissa asunnoissa. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 11/99.

Norrbäck D., Edling C., Wieslander G. & Ramadham S. 1993. Exposure to volatile organic compounds (VOC) in the general Swedish population and its relation to perceived air quality and sick building syndrome (SBS). Proceedings of *Indoor Air* Vol. 1, Helsinki. S. 573–578.

Norrbäck D., Björnsson E., Janson C., Widström J. & Boman G. 1995. Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde and carbon dioxide in dwellings, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 52, s. 388–395.

Norrbäck D., Wieslander G., Nordström K. & Wälinder R. 2000. Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air. *Int J Tuberc Lung Dis.*, Vol. 4, s. 1016–1025.

Ojala M. & Saarela K. 1977. Kosteuden vaikutus ureaformaldehydivahtomuoviin. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Kemian laboratorio, tiedonanto 11.

Paavola A. & Niemi I. 1978. Asuminen ja allergia. Terveellisen asumisen tutkimusprojekti 4. Helsinki: Asuntohallitus.

Pappas G. P., Herbert R. J., Henderson W., Koenig J., Stover B. & Barnhart S. 2000. The Respiratory Effects of Volatile Organic Compounds. *Int J Occup Environ Health*, Vol. 6, s. 1–8.

Pasanen A.-L. 2004. Sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien terveyshaitat – katsaus viimeaikaiseen tutkimustietoon. Sisäilmaseminaari 2004, Espoo, Sisäilmayhdistyksen raportti 22. S. 163–168.

Persson B. 2003. Golvsystem på betong – fuktpåverkan, kemisk emission och vidhäftning. Lund: Lunds tekniska högskola.

Rakennustietosäätiö ry. www.rts.fi.

Reponen T., Raunemaa T., Savolainen T. & Kalliokoski P. 1991. The effect of material ageing and season on formaldehyde levels in different ventilation systems. *Environment International*, Vol. 17, s. 349–355.

Rossel L. 1990. High levels of semi-VOC in indoor air due to emission from vinyl floorings. *Proceedings of Indoor Air, Toronto*. S. 707–712.

Saarela K., Villberg K. & Ruotsalainen R. 2000. Demonstration of good IAQ in the Finnish Allergy House. *Proceedings of Healthy Buildings, Vol 4*. S. 493–498.

Saarela K., Tirkkonen T. & Yrjölä R. 2001. Allergiatalo: kosteus, lattiapintojen ja rakenteiden emissiot. *SIY Raportti 15*. Vantaa: SIY Sisäilmätieto Oy. S. 325–329.

Saarela K., Tirkkonen T., Laine-Ylijoki J., Jurvelin J., Nieuwenhuijsen M. J. & Jantunen M. 2003. Exposure of Population and Microenvironmental Distributions of Volatile Organic Compound Concentrations in the EXPOLIS study. *Atmospheric Environment*, Vol. 37, s. 5563–5575.

Saarela K. 2005. Suullinen tiedonanto.

Saarinen A., Vartiala T. & Viinikka M. 2003. Asukkaiden vaikutus sisäilman VOC- ja NH₃-pitoisuuksiin. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 7/2003.

Salthammer T. (toim.). 1999. *Organic Indoor Air Pollutants: Occurrence, Measurement, Evaluation*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 3-527-29622-0.

Sisäilmayhdistys ry. 2001. Sisäilmastoluokitus 2001. Espoo.

Sjöberg A. 2001. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials (doctoral thesis). Göteborg: Department of Building Materials, Chalmers University of Technology.

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki.

Sundell J. 2000. Building related factors and health. Proceedings of Healthy Buildings, Espoo. S. 23–33.

Swaraj P. 1985. Surface Coatings. Science and Tehcnology. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-90397-3.

Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio. 1986. Rakennuksen Sisäilmaston laatu ja ilmanvaihdon tarve. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja D:104.

Tirkkonen T., Mroueh U.-M. & Orko I. 1995. Tenax as a Collection Medium for Volatile Organic Compounds 1995. NKB Committee and Work Reports 1995:06 E. Nordic Committee on Building Regulations, NKB.

Tuomainen A., Seuri M. & Sieppi A. 2004. Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings. Int Arch Occup Environ Health, Vol. 77, s. 222–226.

Tuomainen M., Pasanen A.-L. & Kalliokoski P. 1997. Practical aspects of design and construction of blocks of flats with good indoor air climate. Proceedings of Healthy Buildings` IAQ97, Washington DC, Vol 3. S. 357–361.

Tuomainen M., Pasanen A.-L., Tuomainen A., Liesvuori J. & Juvonen P. 2001. Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials: comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland. Atmospheric Environment, Vol 35, s. 305–313.

Tuomainen M., Tuomainen A., Liesvuori J. & Pasanen A.-L. 2003. The 3-year follow-up study in a block of flats – experiences in the use of the Finnish indoor climate classification. Indoor Air, Vol 13, s. 136–147.

Valtion säädöstietopankki. www.finlex.fi.

Villberg K., Saarela K., Tirkkonen T., Pasanen A.-L., Kasanen J.-P., Pasanen P., Kalliokoski P., Mussalo-Rauhamaa H., Malmberg M. & Haahtela T. 2004. Sisäilman laadun hallinta. VTT Publications 540. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 172 s. + liitt. 20 s.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 2005. Sisäilma- ja materiaalitietopankit.

Wahlström M. 2005. Suullinen tiedonanto.

Weschler C. J. & Schields H. C. 1997. Potential reactions among indoor air pollutants. *Atmospheric Environment*, Vol 31, s. 3487–3495.

Weschler C. J., Clausen P. A., Wilkins C. K. & Nielsen G. D. 2000. Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures. *Indoor Air*, Vol. 10, s. 82–91.

Weschler C. J. 2000. Ozone in indoor environments: Concentration and chemistry. *Indoor Air*, Vol. 10, s. 269–288.

Weschler C. J. 2003. Indoor/Outdoor connections exemplified by processes that depend on an organic compounds vapour pressure. *Atmospheric Environment*, Vol 37, s. 5455–5465.

Wieslander G., Norrbäck D., Björnsson E., Janson C. & Boman G. 1997. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 69, s. 115–124.

Wilke O., Jann O. & Brödner D. 2004. VOC and SVOC emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures. *Indoor Air*, Vol. 14 (Suppl 8), s. 98–107.

Wolkoff P. 1995. Volatile Organic compounds. *Indoor Air*, Suppl. 3, s. 1–73.

Wolkoff P. 1998. Impact of air velocity, temperature, humidity and air on long-term VOC emissions from building products, *Atmospheric Environment*, Vol. 32, s. 2659–2668.

Wolkoff P. 1999. How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective. *The Science of Total Environment*, Vol 227, s. 197–213.

Wolkoff P. & Nielsen G. D. 2001. Organic compounds in indoor air – their relevance for perceived indoor air quality? *Atmospheric Environment*, Vol 35, s. 4407–4417.

Wolkoff P. 2003. Trends in Europe to reduce the indoor air pollution of VOCs. *Indoor Air*, Vol. 13 (Suppl. 6), s. 5–11.

World Health Organization. 1989. *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. EURO Reports and studies No. 111. Copenhagen: World Health Organization.

World Health Organization. 2000. *Air Quality Guidelines for Europe*. 2nd edition. European Series 91. Copenhagen: WHO Regional Publications.

Wålinder R., Wieslander G. & Norrbäck D. 2001. Nasal Lavage Biomarkers: Effects of water damage and microbial growth in an office building. *Archives of Environmental Health*, Vol. 56, s. 30–35.

Wäänänen M., Nousiainen P., Saarela K. & Vihavainen T. 1984. Asuntotuotannossa käytettävien rakennusaineiden vaikutus huoneilman laatuun. VTT Tiedotteita 381. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 56 s.

Ympäristöministeriö. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D2 – Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.

Yu C. & Crump D. 1998. A review of the emission of VOCs from polymeric materials used in buildings. *Building and Environment*, Vol 33, s. 357–374.

Yu C. & Crump D. 2000. Methods for measuring VOC emission from interior paints. *Surface Coatings International*, Vol. 11, s. 548–556.

Liite A: Asukkaille toimitettu tiedote ennen sisäilma- ja emissiomittauksia

TIEDOTE ASUKKAILLE

Arvoisa Asukas,

Huoneistossanne suoritetaan VTT:n toimesta sisäilman laatuun liittyviä seuranta-mittauksia **torstaina 18.3.2004 klo 9:30-11:00**.

Mittausta edeltävänä päivänä (keskiviikkona 17.3.2004) pyydämme Teitä ystävällisesti huomioimaan seuraavat asiat:

- Huoneistoa **ei** saa **siivota** voimakastuoksuisilla **pesuaineilla**.
- Huoneistoa **ei** saa **tuulettaa** mittausta edellisen yön aikana, ja mittauspäivänä tulisi kaikki ikkunat ja ulko-ovet olla suljettuina. **Ilmanvaihdon tulee kuitenkin toimia normaalisti, eli asukkaiden tulisi tarkistaa, että korvausilmaventtiilit ovat avoimina kaikissa huoneissa** (korvausilmaventtiilit sijaitsevat tavallisesti ikkunoissa).
- Mittauspäivän aamuna **ei** mitään **hajusteita** saisi päästää sisäilmaan (hajurvedet, hiuslakat ym.).
- Mittauspäivänä **ei** tulisi **leipoa** ymv. **Tupakointia sisätiloissa tulisi välttää**.
- Asunnossa tulisi olla **mahdollisimman "normaali" asumisolotila**.

Sisäilmamittauksen yhteydessä tarkistamme ilmanvaihdon toimivuuden. Ilmanvaihtoventtiilien (keittiön liesituuletin, kylpyhuone/wc, sauna) edessä mahdollisesti olevat tavarat joudutaan siirtämään mittauksen ajaksi. Mikäli Teillä on jotakin asiaan liittyvää kysyttävää, voitte mielellään ottaa yhteyttä VTT:n sisäilmastoryhmään (yhteystiedot alla). Käytämme tarvittaessa yleisavainta.

9. Kuinka usein ja miten siivoatte huoneistonne (imurointi, pintojen pesu)? Mitä puhdistusaineita käytätte?

10. Pidättekö nykyistä terveydentilaanne (ruksatkaa Teihin sopiva numerovaihtoehto)

1 hyvänä 2 melko hyvänä 3 keskinäisenä 4 melko huonona 5 huonona.

() () () () ()

11. Onko terveydentilanne muuttunut siitä, mitä se oli ennen tehtyjä lattian korjauksia? (Täydentäkää Teihin sopiva kohta kuvaamalla terveydentilassanne tapahtunutta muutosta. Tarvittaessa voitte jatkaa erilliselle paperille.)

1. Terveydentila on merkittävästi parantunut, erityisesti _____

_____ (oireet ovat vähentyneet)

2. Terveydentilassa on tapahtunut vain lievää paranemista _____

_____ (ovat vähentyneet/helpottuneet)

3. Terveydentila on sama kuin ennenkin _____

4. Terveydentila on jonkin verran heikentynyt aiemmasta (kuva muutosta) _____

5. Terveydentila on merkittävästi heikentynyt aiemmasta (kuva muutosta) _____

6. Olen aina ollut jokseenkin terve _____

12. Asuinympäristö korjauksen jälkeen. Merkitkää rastilla mikäli olette tammi–maaliskuussa 2002 huomioineet asuinympäristössänne seuraavia tekijöitä:

Vuosi 2002

- | | |
|-----------------------------|-----|
| Veto | () |
| Liian korkea huonelämpötila | () |
| Vaihteleva huonelämpötila | () |
| Liian matala huonelämpötila | () |
| Tunkkainen (huono) ilma | () |
| Kuiva ilma | () |
| Epämiellyttävä haju | () |
| Havaittava pöly tai lika | () |

13. Oletteko tyytyväinen asunnossanne tehtyihin lattian korjauksiin?

Liite C: Sisäilma- ja emissiomittaukset

Taulukko 1. Sisäilman TVOC-, ammoniakki (NH₃)-, formaldehydi (FA)- ja TXIB-pitoisuudet ennen ja jälkeen asukkaiden muuton ja huoneistojen pesun keväällä 2001, ennen tehtyjä korjaustoimenpiteitä ongelmakohteessa 1.

Mittauskohde ja -ajankohta	Sisäilman pitoisuus (µg/m ³)			
	TVOC	TXIB	NH ₃	FA
As. A1 ennen muuttoa	386	42	43	23
As. A1 muuton & pesun jälkeen	161	35	22	10
As. B11 ennen muuttoa	289	27	38	11
As. B11 muuton & pesun jälkeen	121	34	20	2

Taulukko 2. Lattiapinnan TVOC- ja TXIB-emissiot ennen ja jälkeen asukkaiden muuton ja huoneistojen pesun ongelmakohteessa 1.

Mittauskohde ja -ajankohta	Emissionopeus (µg/m ² h)	
	TVOC	TXIB
As. A1 ennen muuttoa	314	243
As. A1 muuton & pesun jälkeen	322	227
As. B11 ennen muuttoa	346	189
As. B11 muuton & pesun jälkeen	535	442

Taulukko 3. Lattiarakenteen TVOC-, TXIB- ja ammoniakkiemissiöt (NH₃) lattiapinnoitteen poiston jälkeen ongelmakohteessa 1.

Mittausajankohta	Emissionopeus (µg/m ² h)					
	TVOC		TXIB		NH ₃	
	As. A1	As. B11	As. A1	As. B11	As. A1	As. B11
Pinnoite poistettu 0. päivä	7 681	7 229	626	592	2 047	1 511
Pinnoite poistettu 3. päivä	2 637	3 555	336	341	231	125
Pinnoite poistettu 8. päivä	1 553	1 313	258	160	74	90
Ontelon päältä 1. päivä	712	1 163	42	37	20	27
Ontelon päältä 1 viikon lämmityksen ja tuuletuksen jälkeen	239	373	11	6	27	16

Taulukko 4. Sisäilman TVOC-, ammoniakki (NH₃)-, formaldehydi (FA)- ja TXIB-pitoisuudet korjaustoimenpiteen jälkeen ongelmakohteessa 1.

Mittausajankohta	Sisäilman pitoisuus (µg/m ³)			
	TVOC	TXIB	NH ₃	FA
As. A1, 4 vkoa korjauksesta	801	14	34	26
As. A1, 6 kk korjauksesta	186	10	31	23
As. A1, 12 kk korjauksesta	301	8	31	41
As. B11, 4 vkoa korjauksesta	653	21	33	24
As. B11, 6 kk korjauksesta	321	8	35	25
As. B11, 12 kk korjauksesta	217	11	33	36

Taulukko 5. Lattiapinnan TVOC- ja TXIB-emissiot korjaustoimenpiteen jälkeen ongelmakohteessa 1.

Mittauspiste ja -ajankohta	Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	
	TVOC	TXIB
As. A1 4 vkoa korjauksen jälkeen	49	<5
As. A1 6 kk korjauksen jälkeen	24	<5
As. A1 12 kk korjauksen jälkeen	99	8
As. B11 6 kk korjauksen jälkeen	54	<5
As. B11 12 kk korjauksen jälkeen	118	<5

Taulukko 6. Sisäilman pitoisuudet sekä lattiarakenteen emissiot ennen suoritettuja korjaustoimenpiteitä ongelmakohteessa 2 (tyhjät asunnot mitattu, NH_3 = ammoniikki, FA = formaldehydi, * = ei mitattu).

Mittauspiste	Pitoisuus/emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)			
	TVOC	TXIB	NH_3	FA
As. 1	120/317	50/309	23	*
As. 2	68/206	37/210	11	*
As. 3	112/241	43/171	16	9

Taulukko 7. Lattiarakenteen TVOC-, TXIB- ja ammoniakki (NH₃) -emissiot lattiatapinnoitteen poiston jälkeen ongelmakohteessa 2 (* = ei mitattu).

Mittausajankohta	Emissionopeus (µg/m ² h)								
	TVOC			TXIB			NH ₃		
	As. 1	As. 2	As. 3	As. 1	As. 2	As. 3	As. 1	As. 2	As. 3
Pinnoite poistettu, 0. päivä	5 079	3 760	*	659	378	*	558	175	*
Pinnoite poistettu, 3. (as. 1,3)–9. (as. 2) päivä	1 210	893	1 792	430	216	570	34	20	40
3 viikkoa lämmityksen jälkeen 30–35 °C:ssa	484	723	*	324	304	*	20	23	*
Lämmitys poistettu, 3. päivä	324	937	392	221	250	235	*	18	20
Lämmitys poistettu, 10. päivä	520	649	*	323	282	*	*	*	*

Taulukko 8. Sisäilman pitoisuudet ensimmäisen vuoden aikana (4 vko, 6 kk ja 12 kk) korjaustoimenpiteen jälkeen ongelmakohteessa 2 (NH₃ = ammoniakki, FA = formaldehydi).

Mittauspiste	Pitoisuus (µg/m ³)			
	TVOC	TXIB	NH ₃	FA
As. 1, 4 vkoa / 6 kk / 12 kk korjauksen jälkeen	114/656/115	3/8/5	13/27/23	12/21/31
As. 2, 4 vkoa / 6 kk / 12 kk korjauksen jälkeen	346/196/151	18/6/8	29/24/23	<5/12/34
As. 3, 4 vkoa / 6 kk / 12 kk korjauksen jälkeen	194/137/201	<5/10/11	24/26/17	22/13/25

Taulukko 9. Lattiarakenteen emissiot ensimmäisen vuoden aikana (4 vkoa, 6 kk, 12 kk) korjaustoimenpiteen jälkeen ongelmakohteessa 2.

Mittauspiste	Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	
	TVOC	TXIB
As. 1, 4 vkoa / 6 kk / 12 kk korjauksen jälkeen	22/9/11	<5/<5/<5
As. 2, 4 vkoa / 6 kk / 12 kk korjauksen jälkeen	366/147/156	13/8/11
As. 3, 4 vkoa / 6 kk / 12 kk korjauksen jälkeen	181/108/114	3/10/14

Taulukko 10. Sisäilman TVOC-, ammoniakki (NH_3 -), formaldehydi (FA)-, 2-etyyliheksanoli- sekä n-butanolipitoisuudet ennen korjaustoimenpiteitä ongelmakohteessa 3 (2-etyyliheksanoli x 1,4, n-butanoli x 1,9, NH_3 = ammoniakki, FA = formaldehydi).

Mittausajankohta	Sisäilman pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	TVOC	2-etyyliheksanoli	n-butanoli	NH_3	FA
As. 3, ennen korjausta	112	24	13	34	10
As. 8, ennen korjausta	81	18	10	32	11

Taulukko 11. Lattiapinnan päältä mitatut TVOC-, 2-etyyliheksanoli- sekä n-butanoliemissiöt ennen korjaustoimenpiteitä ongelmakohteessa 3.

Mittauspiste ja -ajankohta	Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)		
	TVOC	2-etyyliheksanoli	n-butanoli
As. 3 ennen korjauksia, mittauspiste 1: uudempi pinnoite, normaali pinta	163	99	25
As. 3 ennen korjauksia, mittauspiste 2: vanhempi pinnoite, normaali pinta	120	50	11
As. 3 ennen korjauksia, mittauspiste 3: vanhempi pinnoite, värjäytynyt pinta	134	74	25
As. 8 ennen korjauksia, mittauspiste 1: normaali pinta	91	43	15
As. 8 ennen korjauksia, mittauspiste 2: värjäytynyt pinta	137	83	19

Taulukko 12. Lattiarakenteesta, pinnoitteen poiston jälkeen mitatut TVOC-, 2-etyyliheksanoli-, n-butanoli- sekä ammoniakki (NH₃) -emissiot ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteen (* = ei mitattu).

Mittauspiste ja -ajankohta	Emissionopeus (µg/m ² h)			
	TVOC	2-etyyliheksanoli	n-butanoli	NH ₃
As. 3, mittauspiste 1: lattiarakenne 1 vrk pinnoitteen (uudempi pinnoite, normaali pinta) poiston jälkeen	965	217	646	109
As. 3, mittauspiste 1: lattiarakenne 2 vrk pinnoitteen (uudempi pinnoite, normaali pinta) poiston jälkeen	906	190	545	56
As. 3, mittauspiste 1: lattiarakenne 4 vrk pinnoitteen (uudempi pinnoite, normaali pinta) poiston jälkeen	721	496	403	34
As. 3 mittauspiste 2: lattiarakenne 2 vrk pinnoitteen (vanhempi pinnoite, normaali pinta) poiston jälkeen	556	302	361	87
As. 3 mittauspiste 2: lattiarakenne 4 vrk pinnoitteen (vanhempi pinnoite, normaali pinta) poiston jälkeen	354	185	181	40
As. 3, mittauspiste 3: lattiarakenne 1 vrk pinnoitteen (vanhempi pinnoite, värjäytynyt pinta) poiston jälkeen	882	357	494	181
As. 3, mittauspiste 1: lattiarakenne 2–3 viikon lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen	232	174	78	*
As. 8 mittauspiste 1: lattiarakenne, 3 vrk pinnoitteen (normaali pinta) poiston jälkeen	506	312	298	69
As. 8 mittauspiste 2: lattiarakenne, 3 vrk pinnoitteen (värjäytynyt pinta) poiston jälkeen	605	438	291	73
As. 8, mittauspiste 2: lattiarakenne 2–3 viikon lämmitys- ja tuuletusvaiheen jälkeen	600	493	93	*

Taulukko 13. Rakennekosteudet ongelmakohteessa 3.

Mittauspiste	Rakennekosteus (%)	Lämpötila (°C)
Asunto 3, uudempi pinnoite, värjäytynyt pinta: ontelon sisäilma	55	21
Asunto 3, uudempi pinnoite, normaali pinta: rakenne, syvyys 0,2 x d	78	21
Asunto 3, vanhempi pinnoite, normaali pinta: rakenne, syvyys 0,2 x d	70	20
Asunto 8, värjäytynyt pinta, syvyys 0, 2 x d	56	23
Asunto 8, normaali pinta, syvyys 0, 2 x d	55	23

Taulukko 14. Lattiarakenteen TVOC-, 2-etyyliheksanoli- ja n-butanoliemissiöt vertailukohteessa (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005).

Mittaus	Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)		
	TVOC	2-etyyliheksanoli	n-butanoli
PVC-pinnoitteen päältä, asennusikä 48 viikkoa	174	20	<5
Lattiarakenne, 1 vrk pinnoitteen (asennusikä 48 vkoa) poiston jälkeen	262	15	11
Lattiarakenne, 3 vrk pinnoitteen (asennusikä 48 vkoa) poiston jälkeen	167	8	8
PVC-pinnoitteen päältä, asennusikä 72 viikkoa	119	7	<5
Lattiarakenne, 1 vrk pinnoitteen (asennusikä 72 vkoa) poiston jälkeen	135	15	10

Lattiarakenne, 3 vrk pinnoitteen (asennusikä 72 vkoa) poiston jälkeen	96	7	6
---	----	---	---

Taulukko 15. Sisäilman TVOC-, ammoniakki (NH₃)-, formaldehydi (FA)-, 2-etyyliheksanolin sekä n-butanolin pitoisuudet kohteessa suoritetun korjaustöiden jälkeen (* = ei mitattu).

Mittausajankohta	Sisäilman pitoisuus (µg/m ³)				
	TVOC	2-etyyliheksanoli	n-butanoli	NH ₃	FA
As. A3, 28 viikkoa uuden lattiapinnoitteen asennuksesta	260	18	15	55	41
As. A8, 23 viikkoa uuden lattiapinnoitteen asennuksesta	229	22	21	39	22
As. A3, 48 viikkoa uuden lattiapinnoitteen asennuksesta	290	15	13	*	*
As. A8, 40 viikkoa uuden lattiapinnoitteen asennuksesta	526	21	15	*	*

Taulukko 16. Lattiapinnan päältä mitatut TVOC-, 2-etyyliheksanoli- sekä n-butanoliemissiot kohteessa suoritettua korjaustoimenpiteen jälkeen.

Mittauspiste ja -ajankohta	Emissionopeus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)		
	TVOC	2-etyyliheksanoli	n- butanoli
As. A3 28 viikkoa uuden lattiapinnon asennuksesta	174	56	8
As. A8 23 viikkoa uuden lattiapinnon asennuksesta	185	45	6
As. A3 48 viikkoa uuden lattiapinnon asennuksesta	154	46	8
As. A8 40 viikkoa uuden lattiapinnon asennuksesta	97	25	13

Tekijä(t) Järnström, Helena			
Nimeke Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen aikana selvitettiin, miten lattiapinnoitteen vaurio ja korjaustoimenpiteen onnistuminen pystytään todentamaan olemassa olevilla kemiallisten epäpuhtauksien mittaustekniikoilla. Yhteensä tutkittiin seitsemän asuntoa kolmessa eri kerrostalokohteessa, joissa asukkailla esiintyi asunnossa oleskeluun liittyvää oireilua. Ilmanvaihtokerroin oli säädösten mukainen kaikissa asunnoissa. Korjaustoimenpiteinä lattiapinnoite (PVC) ja sen alla oleva liima (ja yhdessä kohteessa tasoite) poistettiin.</p> <p>Sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuustasot (VOC, formaldehydi, ammoniakki) määritettiin ennen korjaustoimenpiteitä. Sisäilman VOC-yhdisteiden TXIB- ja 2-etyyliheksanolin pitoisuuksien todettiin olevan keskimäärin kaksinkertaiset verrattuna normaaliin tasoon. Vertailuarvoina käytettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sisäilmatietotankin kahdeksasta uudiskohteesta saatuja mittaustuloksia. TXIB-kohteessa tutkittiin asumisen vaikutusta sisäilman pitoisuuksiin ja todettiin, että TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuus oli kaksinkertainen asutuissa huoneistoissa. Asuminen ei vaikuttanut sisäilman TXIB-pitoisuuteen eikä lattiapinnoitteen TXIB-emissioon.</p> <p>FLEC-tekniikalla tehtyjen rakenteen emissiomittausten perusteella (FLEC-tekniikalla) lattiarakenne todettiin epäpuhtauslähteeksi jokaisessa seitsemässä asunnossa. Lattiapinnoitteen päältä mitatut emissiot olivat VTT:n materiaaliemissiotietotankin uusista, ongelmattomista kohteista kerättyihin arvoihin verrattuna 3–4 kertaa (TXIB) ja 3–5 kertaa (2-etyyliheksanoli) korkeammat. Tutkimus osoitti, että emissiot tulisi mitata paikan päällä suoraan epäilystä rakenteesta.</p> <p>Sisäilman pitoisuuksia ja lattiarakenteen emissioita seurattiin vuosi korjaustoimenpiteen jälkeen. Asuntojen TVOC-pitoisuus oli tavallisesti 12 kuukauden kuluttua korjaustoimenpiteistä sisäilmastoluokituksen S2-luokkaa vastaava (<math>300 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>). TXIB-pitoisuus oli keskimäärin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja uuden lattiapinnoitteen TXIB-emissio oli hyvin pieni eli $8 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ tai alle. 2-etyyliheksanolipitoisuus oli vastaavasti $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tai alle ja lattiapinnoitteen 2-etyyliheksanoliemissio $25\text{--}46 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Asukaskyselyjen perusteella korjaustoimenpide vähensi oireita merkittävästi.</p>			
Avainsanat indoor air quality, apartment houses, floor structures, surface coating, construction materials, emissions, volatile organic compounds, formaldehyde, ammonia, measuring techniques			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6651-3 (nid.) 951-38-6652-1 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero	
Julkaisu-aika Lokakuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 76 s. + liitt. 14 s.	Hinta B
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Publications 1235-0621 (nid.) 1455-0849 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Järnström, Helena			
Title VOC emission from the PVC coated floor structure at indoor air problem sites			
Abstract <p>The research project investigated whether it is possible to identify an indoor air problem by using measurement techniques that are available today for measuring indoor pollutants, as well as the effect of remediation procedures in the long run. Seven apartments were investigated in three different apartment buildings, where the occupants had been suffering from different symptoms. The air ex-change rates were as regulated. As a renovation procedure, the floor covering and adhesive (and smoothing material at one site) was removed and replaced with a new, low-emitting product.</p> <p>The concentration of indoor air pollutants (VOCs, formaldehyde, ammonia) was determined prior to the renovation. The concentration of the VOC compounds TXIB and 2-ethyl-hexanol were generally two times higher than normally according to the VTT Building and Transport indoor air database. The effect of inhabitants was investigated at the TXIB-sites. The TVOC, ammonia and formaldehyde concentration was two times higher in the inhabited apartments compared to the emptied and cleaned apartments. The TXIB concentration, however, was not effected by occupancy.</p> <p>The floor structure was determined, by using FLEC-technique, to be the source of the pollutants at all sites. The emission levels of the pollutants were 3–4 (TXIB) and 3–5 (2-ethyl-hexanol) times higher than normally in reference buildings according to the VTT material emission database. A specific measurement technique was determined for the problem structure (floor). The research concluded that the emissions should be determined on site from the real structure at problem cases.</p> <p>The indoor air concentration and emissions of the floor structure were followed during the first year after the renovation. The TVOC-level reached generally the S2-class (<300 µg/m³) according to the Finnish indoor climate classification. The TXIB concentration was 10 µg/m³ on average and the TXIB-emission measured from the new floor covering was very low, 8 µg/m²h or less. The 2-ethyl-hexanol concentration was 21 µg/m³ or less and the 2-ethyl-hexanol emission of the floor covering was 25–46 µg/m²h. The results gained from a survey made among the inhabitants concluded that the symptoms had markedly decreased after the renovation.</p>			
Keywords indoor air quality, apartment houses, floor structures, surface coating, construction materials, emissions, volatile organic compounds, formaldehyde, ammonia, measuring techniques			
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6651-3 (soft back ed.) 951-38-6652-1 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Project number	
Date October 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 76 p. + app. 14 p.	Price B
Name of project		Commissioned by	
Series title and ISSN VTT Publications 1235-0621 (soft back ed.) 1455-0849 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 020 722 4404 Fax +358 020 722 4374	

VTT PUBLICATIONS

- 557 Mäki-Asiala, Pekka. Reuse of TTCN-3 Code. 2005. 112 p.
- 558 Ebersberger, Bernd & Lehtoranta, Olavi. Pattern of Innovative Activities among Finnish Firms. 2005. 197 p.
- 559 Kiihamäki, Jyrki. Fabrication of SOI micromechanical devices. 2005. 87 p. + app. 28 p.
- 560 Tuulari, Esa. Methods and technologies for experimenting with ubiquitous computing. 2005. 136 p. + app. 2 p.
- 561 Janne Merilinna. A Tool for Quality-Driven Architecture Model Transformation. 2005. 106 p. + app. 7 p.
- 562 Backman, Ulrika. Studies on nanoparticle synthesis via gas-to-particle conversion. 2005. 45 p. + app. 62 p.
- 563 Eerikäinen, Hannele. Preparation of nanoparticles consisting of methacrylic polymers and drugs by an aerosol flow reactor method. 2005. 112 p. + app. 55 p.
- 564 Wihersaari, Margareta. Aspects on bioenergy as a technical measure to reduce energy related greenhouse gas emissions. 2005. 93 p. + app. 71 p.
- 565 Kallio, Marke. The elastic and damping properties of magnetorheological elastomers. 2005. 146 p.
- 566 Kaasinen, Eija. User acceptance of mobile services – value, ease of use, trust and ease of adoption. 2005. 151 p. + app. 64 p.
- 567 FUSION Yearbook. Association Euratom-Tekes. Annual Report 2004. Ed. by Seppo Karttunen & Karin Rantamäki. 2005. 129 p. + app. 13 p.
- 568 Hanhijärvi, Antti, Ranta-Maunus, Alpo & Turk, Goran. Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade-project – phase 1. 2005. 81 p. + app. 6 p.
- 569 Katina, Kati. Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread. 2005. 92 p. + app. 81 p.
- 570 Kataja, Kari J. Numerical modelling of near field optical data storage. 2005. 102 p. + app. 63 p.
- 571 Järnström, Helena. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. 2005. 76 s. + liitt. 14 s.
- 572 Kiviniemi, Arto. Requirements management interface to building product models. 2005. 328 p.

Tätä julkaisua myy VTT TIETOPALVELU PL 2000 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	Denna publikation säljs av VTT INFORMATIONSTJÄNST PB 2000 02044 VTT Tel. 020 722 4404 Fax 020 722 4374	This publication is available from VTT INFORMATION SERVICE P.O.Box 2000 FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374
---	---	--