



Helena Järnström & Kristina Saarela

## Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa



# **Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa**

Helena Järnström & Kristina Saarela  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

SBN 951-38-6527-4 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/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, FIN-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, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7027, +358 20 722 7066

Järnström, Helena & Saarela, Kristina. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa [Indoor air quality and material emissions in new buildings]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2281. 82 s. + liitt. 18 s.

**Avainsanat** air quality, residential buildings, indoor air, emissions, construction materials, volatile organic compounds, ammonia, formaldehyde, moisture, surface coatings

## Tiivistelmä

Julkaisussa esitetään yhteenveto sisäilma- ja materiaaliemissiotuloksista, joita kerättiin Tekesin rahoittaman Terve Talo -teknologiaohjelman puitteissa uusista asuinrakennuksista vuosien 2000–2003 aikana. Tutkimuskohteita oli yhteensä kahdeksan, ja ne vastasivat tämän päivän hyvän rakennustavan mukaan toteutettuja rakennuksia ja sisälsivät rakenteiden kosteuden hallinnan. Lisäksi rakennuksissa käytetyt rakennusmateriaalit olivat tutkitusti kemiallisilta epäpuhtauksiltaan vähäpäästöisiä (M1-luokiteltuja). Rakenteiden emissioita seurattiin vaiheittain rakentamisen aikana. Emissiomittaukset toistettiin vastavalmistuneessa sekä 6 ja 12 kuukautta asutuissa rakennuksissa ja samanaikaisesti määritettiin myös sisäilman laatu.

Yhteenvetona voidaan sisäilmamittausten tuloksista todeta, että uusissa asuinrakennuksissa ei tavallisesti *luovutusvaiheessa* saavuteta Sisäilmastoluokituksen määrittämiä tavoitearvoja orgaanisten haihtuvien yhdisteiden (TVOC) sekä ammoniakkipitoisuuden suhteen. TVOC-pitoisuus laskee sisäilmastoluokituksen S1–S3-luokkia vastaavalle tasolle (<200–600 µg/m<sup>3</sup>) keskimäärin ensimmäisen kuuden kuukauden aikana asunnon käyttöönotosta. Ammoniakkipitoisuus vaihteli ja jopa nousi ensimmäisen asumisvuoden aikana ja tämän todettiin selittyvän em. ulkoisten olosuhteiden (kosteus, lämpötila) vaihtelusta eri vuodenaikoina. Formaldehydipitoisuus uusissa asuinrakennuksissa oli hyvin pieni.

Emissiomittausten perusteella voitiin todeta, että rakenteesta mitataan tavallisesti korkeampia emissioita kuin vastaavista yksittäisistä materiaaleista laboratorio-olosuhteissa. Tämän voidaan olettaa johtuvan em. siitä, että materiaalit ovat rakenteessa todellisessa ympäristössä eli ulkoiset olosuhteet, kuten rakenteen ja sisäilman kosteus ja lämpötila, voivat vaihdella hyvinkin paljon eri mittaustilanteissa. Oikeista rakenteista mitatuissa emissioissa oli eroja, jotka johtuivat käytetyistä rakennusmateriaaleista. Erityisen suuret erot havaittiin eri M1-luokiteltujen PVC-pinnoitteiden sekä eri liimatuotteiden välillä, mikä havaittiin lattiarakenteesta pinnoitteen poiston jälkeen mitatuista emissiotuloksista.

Tutkimuksen aikana uudiskohteista kerätty sisäilma- ja emissiodata on arvokasta sikäli, että sitä voidaan hyödyntää osana rakentamien laadunseurantaa sekä epäiltyjen sisäilmaongelmatapausten arvioinnissa: kerätty tutkimustieto toimii referenssiarvoina, kun

arvioidaan, onko sisäilmaongelma peräisin rakenteen poikkeavasta epäpuhtauksien tai liiallisen rakennekosteuden vaikutuksesta aiheutuvien hajoamistuotteiden emissiosta.

Tämän tiedotteen liitteenä esitetään erillinen menetelmäohje rakennusaikaisten emissioiden sekä vastavalmistuneen asuinrakennuksen sisäilman laadun määrittämiseksi.

Järnström, Helena & Saarela, Kristina. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa [Indoor air quality and material emissions in new buildings]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2281. 82 p. + app. 18 p.

**Keywords** air quality, residential buildings, indoor air, emissions, construction materials, volatile organic compounds, ammonia, formaldehyde, moisture, surface coatings

## Abstract

This publication summarises the indoor air quality and material emission results, which were gathered from new buildings in years 2000–2003 during a national healthy building programme, financed by the Finnish National Technology Agency (Tekes).

A total of eight residential buildings were chosen for investigation. The buildings were built according to today's good building practice, including structure humidity control during the time of construction. The building materials used were low-emitting (M1-classified). The emission from the structures at the different structure build up stages were followed. Emission measurements were repeated in the newly finished buildings and in the 6- and 12-months old buildings. The indoor air quality was determined simultaneously.

From the indoor air measurement results it could be concluded that the target values for the TVOC (total volatile organic compounds), ammonia and formaldehyde concentration, as defined in the Finnish Classification of Indoor Climate, were not generally reached in the newly finished building. The TVOC concentration decreased to a level, which correspond a S1–S3 class indoor air quality ( $<200\text{--}600\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), during the first six months of occupation. The ammonia concentration varied and even rose at some sites during the follow-up measurements and the variations were explained by the seasonal variations in outer conditions (i.e. temperature, humidity). The formaldehyde concentration was on a low level in the new buildings at all measurement points.

In general, higher emissions are measured from building structures compared to the individual materials at laboratory conditions. This is explained by the fact that the material in a real structure is affected by its surroundings, i.e. the humidity and temperature of the structure and its surrounding air, which vary at different measurement points. The emissions measured from the structures varied for the different building materials. Particularly large variations in the emissions were observed for the different PVC products and adhesives, when the emissions were measured from the underlying structure after the floor covering was removed.

The indoor air quality and material emission data collected from the new buildings can be used as reference values in quality control as well as in indoor air problem cases, when an emission originating from the structure, is suspected to cause the problem.

A method description to determine the emission of structures and indoor air quality in new buildings was developed and is shown in Appendix A.



# Alkusanat

Tässä julkaisussa esitetään yhteenveto kolmen eri urakoitsijan vuosien 2000–2003 asuinrakennustuotannosta kerätyistä sisäilman sekä rakenteiden emissioiden mittaustuloksia. Tutkimus kuului Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekesin) rahoittamaan valtakunnalliseen Terve Talo -teknologiaohjelmaan. Projektin johtoryhmään kuului VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkimusryhmän lisäksi yhteensä 14 osapuolta, jotka edustivat rakennuttajia, rakennusurakoitsijoita, materiaalivalmistajia sekä eri asiantuntijaosapuolia. Johtoryhmän kokoonpano oli seuraava: Risto Ruotsalainen Allergia- ja astmaliitosta (mukana alkaen vuodesta 2001), Klaus Hamström Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimistosta, Markku Viinikka Helsingin 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 (nyk. Maxit Group), Kari Varkki Rakennusosakeyhtiö Hartela Oy:stä, Matti Salonen Saint-Gobain Isover Oy:stä, Jari Iso-Anttila Skanska Etelä-Suomi Oy:stä, Toste Karlsson Tarkett 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. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkimusryhmään kuuluivat projektin vastuhenkilö Kristina Saarelan lisäksi tutkijat Anna Saarinen (vuosina 1999–2000), Helena Järnström, Kirsi Villberg sekä Tiina Tirkkonen. Tutkimusavustajina toimivat Marja-Leena Wilke (vuosina 1999–2001) sekä Eero Luostarinen. Jarmo Halonen Kiinteistön tuottoanalyysit Oy:stä mittasi vuosien 2000–2002 aikana sisäilmamittausten yhteydessä mittauskohteiden ilmanvaihtokertoimet. Vuoden 2003 sisäilmamittauksissa ilmanvaihtokertoimet määrittä Jarmo Laamanen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
Sanastoa.....	10
1. Johdanto.....	12
2. Aineisto ja menetelmät.....	15
2.1 Projektiin valitut tutkimuskohteet.....	15
2.2 Mittaussuunnitelma uudiskohteille.....	17
2.3 Mittaus- ja analysointimenetelmät.....	18
3. Tulokset.....	21
3.1 Rakennusaikaiset olosuhteet.....	21
3.2 Rakennusaikaiset rakenteiden emissio- ja kosteusmittaukset.....	22
3.2.1 Kantava rakenne.....	22
3.2.2 Kantava rakenne tasoituksen jälkeen.....	25
3.2.3 Lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa.....	29
3.2.4 Lattiapinnoite luovutusvaiheessa.....	33
3.2.5 Kattorakenne luovutusvaiheessa.....	36
3.2.6 Seinärakenne luovutusvaiheessa.....	39
3.3 Rakennusaikaiset sisäilmamittaukset.....	41
3.3.1 Lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa.....	41
3.3.2 Luovutusvaihe.....	42
3.4 Rakenteiden emissio- ja kosteusmittaukset ensimmäisen käyttövuoden aikana.....	46
3.4.1 Lattiarakenne 6 ja 12 kuukautta luovutuksen jälkeen.....	46
3.4.2 Kattorakenne.....	58
3.4.3 Seinärakenne.....	61
3.5 Sisäilman laadun kehitys ensimmäisen käyttövuoden aikana.....	67
3.6 Laboratorio-olosuhteissa suoritettut liimatuotteiden emissiomittaukset.....	72
3.6.1 Koejärjestely.....	72
3.6.2 Tulokset.....	73
3.6.3 Yhteenveto liimakokeista.....	77
3.7 Aasukyselyt.....	77
3.7.1 Taustatiedot.....	77
3.7.2 Asumisympäristö.....	77

3.7.3	Asuntoon liittyvä oireilu .....	78
3.7.4	Asukaskyselyjen yhteenveto .....	78
4.	Yhteenveto .....	79
	Loppusanat .....	81
	Lähdeluettelo .....	82
	Liite A: Ohje rakenteiden emissioiden sekä sisäilman pitoisuuksien laadunseurantaan kenttäolosuhteissa	

# Sanastoa

## Sisäilman pitoisuus

Sisäilma koostuu kaasu-muodossaan olevista kemiallisista yhdisteistä, jotka ovat peräisin sisään syötetystä tai tulevasta ulkoilmasta sekä tilan materiaaleista ja toiminnasta. Sisäilman yhdisteiden pitoisuus annetaan massayksikkönä tilavuusyksikköä kohden eli  $\text{mg}/\text{m}^3$  ( $= 1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tilan ilmanvaihto vaikuttaa olennaisesti sisäilman eri yhdisteiden pitoisuustasoihin. Tilan ilmanvaihtoa kuvaa ilmanvaihtokerroin, joka on ilman vaihtuvuus tilassa aikayksikköä kohden ( $\text{h}^{-1}$ ). Sisäilman pitoisuustasoihin vaikuttaa myös sisäilman suhteellinen kosteus, joka ilmaistaan prosenttiyksikkönä (%) sekä lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## Materiaaliemissio

Materiaaliemissio on materiaalin pinnasta tapahtuva kemiallisten yhdisteiden haihtumisilmiö. Emissio annetaan massayksikkönä pinta-ala- ja aikayksikköä kohden eli  $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$  ( $= 1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) tai vaihtoehtoisesti massayksikkönä massayksikköä kohden eli  $\text{mg}/\text{kg}$ . Tilan materiaaleista tapahtuva emissio vaikuttaa suoraan tilan sisäilman koostumukseen. Materiaalista tapahtuvaan emissioon vaikuttaa monta tekijää, kuten pinnan *ilmanvaihto*, yhdisteiden *höyrypaine* ja *diffuusiokerroin materiaalissa* sekä materiaalin tai rakenteen *lämpötila* ja *kosteuspitoisuus*.

## TVOC (Total Volatile Organic Compounds)

Käsitteellä TVOC tarkoitetaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää, ja se voidaan, kuten myös muut sisäilmassa esiintyvät yhdisteet, ilmoittaa pitoisuutena (sisäilma) tai emissiona (materiaalit). TVOC:n muodostavat yksittäiset yhdisteet eli nk. VOC-yhdisteet ovat kemiallisesti ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan monimuotoisia; yhdistävänä tekijänä on määrittäminen menetelmä. Orgaanisia haihtuvia yhdisteitä emittoituu valtaosasta tänä päivänä käytetyistä rakennusmateriaaleista, kuten puusta, betonista, tasoitteista, liimoista, lattiamateriaaleista, rakennuslevyistä sekä maaleista. Eri materiaalien TVOC-emissiotaso sekä yksittäisten VOC-yhdisteiden koostumus voivat vaihdella hyvinkin paljon.

## Ammoniakki

Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on epäorgaaninen emäksinen typpiyhdiste, jota voi emittoitua sisäilmaan rakenteista. Ammoniakkia emittoituu eri rakenteista jo rakennusvaiheessa, mutta myöhemmät, epänormaalia korkeammat emissiot voivat viitata rakenteissa tapahtuviin hajoamisreaktioihin. Esimerkkinä voidaan mai-

nita viime vuosikymmeninä käytetty tasoitteen lisäaine kaseiini, joka kosteuden vaikutuksesta hajoaa, jolloin muodostuu mm. ammoniakkia.

### **Formaldehydi**

Formaldehydi on pienimolekyylinen orgaaninen yhdiste, jota voi emittoitua sisäilmaan rakenteista. Formaldehydiä voi emittoitua sisäilmaan mm. lastulevyistä, joissa on käytetty ureaformaldehydihartsia liima-aineena. Formaldehydiongelma sisäilmayhteudessa oli pahimmillaan 1970- ja 1980-luvuilla. Tänä päivänä sisäilman formaldehydipitoisuus on uudisrakennuksissa hyvin alhainen.

### **Rakennekosteus**

Rakenteen suhteellinen kosteus kuvaa rakenteen kanssa tasapainotilassa olevan rakenteen huokosten ilman kosteuspitoisuutta suhteessa ilman enimmäiskosteuspitoisuuteen mitatussa lämpötilassa ja se annetaan prosenttilukuna (SK %).

### **Ilmanvaihtokerroin**

Tilan ilman vaihtuvuutta kuvaa ilmanvaihtokerroin, joka ilmaistaa aikayksikköä kohti. Esimerkkinä ilmanvaihtokerroin  $0,5 \text{ h}^{-1}$  tarkoittaa sitä, että tilan ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa.

# 1. Johdanto

Sisäilmastoluokituksen ensimmäinen versio julkistettiin vuonna 1995, ja vuonna 2001 julkaistiin sen kehittyneempi versio [Sisäilmayhdistys 2001]. Tähän päivään mennessä ei kuitenkaan ole ollut kattavaa ja tarkkaa tietoa siitä, miten sisäilmaston laatuluokitus toteutuu normaalilla rakennustavalla toteutetuissa asuinrakennuksissa, kun rakentamisessa on käytetty M1-luokan materiaaleja, miten materiaalit käyttäytyvät uuden rakennuksen kosteiden rakenteiden pinnassa ja rakenteiden sisällä eikä siitä, miten ne kestävät pitkäaikaista kosteuskuormitusta ja miten se ilmenee rakenteista suoritetuista mittauksista, ja toisaalta minkälaisena asukkaat aistivat uuden asunnon sisäilman vuoden parin aikana rakennuksen valmistumisesta. Niissä tapauksissa, joissa uudehkon rakennuksen sisäilmasta on valitettu, on usein havaittu, että ongelmien todentamisessa ja aiheuttajien arvioinnissa ei ole käytetty yhteismitallista, järkevää mittaustilastointia ja mittaustulosten vertailuun tarvittava referenssidata on puuttunut.

Tämä tutkimus kuului Tekesin Terve Talo -ohjelmaan. Projektiryhmään kuului yhteensä 15 osapuolta, jotka edustavat rakennuttajia, rakennusurakoitsijoita, materiaalivalmistajia sekä eri asiantuntijaosapuolia. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää rakenteissa olevien materiaalien emissioille numeerinen referenssiarvodata rakenteiden työmaa-aikaiseen laadunseurantaan, data vastavalmistuneen rakennuksen sisäilman 1–2 ensimmäisen vuoden laadunseurantaan sekä riippuvuussuhde rakenteiden emissiodatan ja sisäilman laadun kehittymiselle uudisrakennuksissa. Referenssiarvodataa voidaan käyttää uusien rakennusten sisäilman laadun todentamisessa, ja sen perusteella voidaan epäilyihin ongelmakohteisiin kehittää luotettava, mittaustuloksien todennettava materiaali- tai rakennusperäisen sisäilmaongelman osoitus- ja korjausmenetelmät. Näitä menetelmiä sovelletaan myös vanhojen rakennusten sisäilman laadun toteamiseen ja rakenteiden emissiovaurioiden todentamiseen. Tässä julkaisussa esitetään yhteenveto projektin toteutuksesta uusissa asuinrakennuksissa, joissa kerättiin mittaustuloksia kolmen eri urakoitsijan asuinrakennustuotannosta vuosien 2000–2003 aikana. Tulosten esittely on jaettu siten, että ensin käsitellään rakentamisen aikana kerätyt mittaustulokset ja tämän jälkeen esitetään ensimmäisen vuoden seurantamittaustulokset valmiissa, asutuissa huoneistoissa. Tämä esittelytapa on valittu siksi, että asukkaiden sisäänmuutto ja asuminen yleensä tuo uuden, rakentajan vastuun ulkopuolella olevan muuttujan, jonka vaikutus sisäilman laatuun voi olla merkittävä. Alkuperäisen tutkimussuunnitelman mukaisesti on projektin tulosten perusteella laadittu erityinen menettelyohje rakenteiden emissioiden sekä sisäilman pitoisuuksien mittaamiseen rakentamisen aikana, ja se on tämän julkaisun liitteenä.

Suomen rakentamismääräyskokoelmaa osa D2 ”Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto” antaa määräyksiä ja ohjeita uuden rakennuksen sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon, ja sen uusien 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 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), hiili-monoksidille ( $8\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 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 haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista (HTP), kun yksittäisen aineen vaikutus on täysin hallitseva [Ympäristöministeriö 2003].

Sisäilmayhdistys ry:n julkaisussa ”Sisäilmastoluokitus 2000” ovat koottuna sisäilman laadun kannalta tärkeät tekijät sekä se, miten niihin voidaan jo rakennusvaiheessa vaikuttaa niin, että saavutetaan mahdollisimman korkealaatuinen sisäilman laatu rakennuksen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Sisäilmastoluokitus on sisäilmayhdistyksen rakennusalaalle luoma vapaaehtoinen järjestelmä, ja sen määrittelemät luokitukset eivät ole sidottuina rakentamismääräyksiin. Annetut tavoitearvot ovat alan omia suosituksia, eli luokituksen soveltaminen käytännössä jää rakentajan (tai rakennuttajan) harkinnan varaan. Sisäilman kemiallisten yhdisteiden pitoisuustasojen suuri vaikutin on rakenteista tapahtuva emissio, ja sitä onkin pyritty hallitsemaan luomalla rakennusmateriaalien päästöluokitus, jossa määritellään tavoitearvot vähäpäästöisille rakennusmateriaaleille. Materiaali (M) -luokkien enimmäisarvot kemiallisten epäpuhtauksien emissioille on annettu TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydiemissioille, ja ne esitetään taulukossa 1. Luokitellusta materiaalista ei saa myöskään haihtua karsinogeenisiä yhdisteitä, ja sen on oltava hajuton. Luokitusmerkin myöntää Rakennustietosäätiö ry, ja sen levinneisyys perustuu rakennusmateriaalivalmistajien vapaaehtoiseen, materiaalipäästöjä vähentävään toimintaan.

*Taulukko 1. Sisäilmastoluokituksen määrittämät enimmäisarvot materiaalien emissioille luokissa M1 ja M2 [Sisäilmayhdistys 2001].*

Materiaalin laatuluokka	TVOC-emissio ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )	Ammoniakkiemissio ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )	Formaldehydiemissio ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )
M1	200	30	50
M2	400	60	125

Sisäilmastoluokituksessa esitetään sisäilman yhdisteiden pitoisuustasoille myös kolmea eri sisäilman laatuluokkaa kuvaavat tavoitearvot. Nämä tavoitearvot sisäilman TVOC-, ammoniakki- sekä formaldehydipitoisuudelle esitetään taulukossa 2. Sisäilmastoluokituksen laatuluokat kuvataan seuraavasti: S1 luokka vastaa ”yksilöllistä sisäilmaa”, S2 ”hyvää sisäilmaa” ja S3 ”tydyttävää sisäilmaa” [Sisäilmayhdistys 2001].

*Taulukko 2. Sisäilmastoluokituksen määrittämät tavoitearvot sisäilman pitoisuuksille luokissa S–S3 [Sisäilmayhdistys ry].*

Sisäilman laatuluokka	TVOC-pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ammoniakkipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Formaldehydipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
S1	200	30	30
S2	300	30	50
S3	600	40	100



## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Projektiin valitut tutkimuskohteet

Urakoitsija-osapuolet valitsivat tässä esitetyn projektin aikana mitattaviksi kohteiksi vuosina 2000–2003 valmistuvasta rakennuskannastaan yhteensä kahdeksan kohdetta (seitsemän Helsingissä ja yksi Turussa), joiden tiedot esitetään taulukossa 3. Kohteet toteutettiin tämän päivän hyvän rakennuskäytännön mukaisesti, sisältäen rakenteiden kosteuden hallinnan rakentamisen aikana, ja niissä käytettiin rakennusmateriaaleina (lattiapinnoitteet, maalit, tasoitteet) pääasiassa Sisäilmastoluokituksen antamien tavoitearvojen mukaan luokiteltuja M1-luokan materiaaleja (luokiteltujen materiaalien tavoitearvot sisäilman kemiallisille yhdisteille esitettiin edellisen luvun taulukossa 1).

*Taulukko 3. Tutkimukseen valitut uudiskohteet.*

Kohde	Talotyyppi, rakenne, ilmanvaihtojärjestelmä	Rakennusaika = runkorakenne valmis – luovutusajankohta)	Mittauspisteet
1	Kerrostalo, paikalla valettu rakenne, koneellinen poistoilmajärjestelmä	Marraskuu 1999 – Elokuu 2000	3 asuntoa (2., 4. ja 5. kerros, asunnot 5, 18 ja 24)
2	Kerrostalo, elementtirakenne, koneellinen poistoilmajärjestelmä	Toukokuu 2000 – Helmikuu 2001	1 asunto (6. kerros)
3	Paritalo, paikalla valettu rakenne, koneellinen poistoilmajärjestelmä	Toukokuu 2000 – Maaliskuu 2001	1 asunto (2. kerros)
4	Kerrostalo, paikalla valettu rakenne, koneellinen poistoilmajärjestelmä	Kesäkuu 2000 – Kesäkuu 2001	1 asunto (3. kerros)
5	Kerrostalo, elementtirakenteinen, koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä	Marraskuu 2000 – Heinäkuu 2001	1 asunto (2. kerros)
6	Kerrostalo, elementtirakenne + pintalaatta (välipohja), koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä	Tammikuu 2001 – Joulukuu 2001	1 asunto (1. kerros)
7	Kerrostalo, elementtirakenne, koneellinen poistoilmajärjestelmä	Maaliskuu 2001 – Joulukuu 2001	2 asuntoa (3. ja 4. kerros, asunnot 17 ja 31)
8	Kerrostalo, paikalla valettu rakenne, koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä	Marraskuu 2001 – Kesäkuu 2002	4 asuntoa (2., 4. ja 6. kerros, asunnot 29, 36, 44 ja 45)

*Taulukko 4. Mitattujen pintojen tai rakenteen materiaalitiedot.*

Materiaali	Tuotenimi (Valmistaja)
Hienotasoite 1	Vetonit 3000 (Optiroc Oy Ab, nyk. Maxit Group)
Karkea tasoite 1	Plaano Plus (Optiroc Oy Ab, nyk. Maxit Group))
Karkea tasoite 2	ABS 311 Grosso (Optiroc Oy Ab, nyk. Maxit Group, ei M1-luokiteltu)
Karkea tasoite 3	ABS 312 Grosso (Optiroc Oy Ab, nyk. Maxit Group)
Parketti 1	Tammi parketti (Forbo Oy)
Parketti 2	Parla Tammi Natur (Olavi Räsänen Oy)
Parketti 3	Pyökki Nature (Upofloor Oy)
Parketti 4	Kirsikka Select (Upofloor Oy)
Parketti 5	Tammi Nature (Upofloor Oy)
Parketti 6	Tammi Nature+ Tammi Palace 16 x 68 x 612 (Upofloor Oy)
PVC 1	Upostep (Upofloor Oy)
PVC 2	Rhino Domestic / Pro 2000 (Armstrong World Industries)
PVC 3	Upostep 20 (Upofloor Oy)
PVC 4	Upostep 53 (Upofloor Oy)
PVC 5	Nordic stabil (Tarkett Oy)
PVC 6	Tapiflex 162 ST (Tarkett Oy)
Liima 1	Kiilto 2 Plus (Kiilto Oy, ei M1-luokiteltu)
Liima 2	Kiilto Plus (Kiilto Oy, ei M1-luokiteltu)
Liima 3	Casco proff Solid 3480 (Akzo Nobel Deko Oy)
Liima 4	Thomsit K 188 E (Oy Henkel Norden)
Pohjatasoite 1	Scanwall LK (Scanmix Oy)
Pohjatasoite 2	Vetonit L (Optiroc Oy)
Pintatasoite 1	Scanwall LH ( Scanmix Oy)
Pintatasoite 2	Vetonit LR (Optiroc Oy)
Pohjamaali 1	Ykköspohja (Tikkurila Oy)
Pohjamaali 2	Presto J (Tikkurila Oy)
Pohjamaali 3	Ekora 3 (Teknos Winter Oy)
Pohjamaali 4	Siroplast 7 (Tikkurila Oy)
Pintamaali 1	Siroplast 20 (Tikkurila Oy)
Pintamaali 2	Presto LH (Tikkurila Oy)
Pintamaali 3	Ekora 12 (Teknos Oy)
Pintamaali 4	Novaplast 7 (Tikkurila Oy)
Tapetti 1	Netto-Otto 4567-5 (Sandudd Oy)

Tutkimuskohteet valittiin niin, että ne edustavat mahdollisimman monipuolisesti tämänhetkistä rakennuskäytäntöä sekä toteutettujen rakenteiden että käytettyjen materiaalien osalta. Tutkimuskohteina oli sekä paikalla valettuja että elementtirunkoisia betoniraken-

nuksia, ja niiden valmistusajankohdat ajoittuivat eri vuodenaikoihin. Yhdessä kohteessa tutkittiin lattiarakenne, joka muodostui ontelolaatasta ja sen päälle valetusta pintabetonista. Kyseinen lattiarakenne parantaa tutkimustiedon mukaan välipohjien ääneneristystä [Betonikeskus ry. 2000].

Tutkimuskohteiden lattiapinnoitteina oli sekä muovimatto- (PVC-) että parkettipinnoitteita. Projektin toisen osion aikana valittiin kohde 8 mitattavaksi, jotta voitaisiin tarkemmin tutkia koneellisen tuloilmajärjestelmän vaikutusta sisäilman pitoisuustasoihin. Jokaisesta tutkimuskohteesta kerättiin materiaalitiedot, valmistajat sekä valmistuspäivämäärät rakenteissa. Taulukossa 4 ovat eriteltyinä tässä julkaisussa esitettävien rakennusmateriaalien tuotenimet sekä tieto siitä, jos tuote ei ole M1-luokiteltu [RTS 2003, www.rts.fi]. Kohteissa valittiin 1–4 mittauspistettä (asuntoa). Sisäilma- ja emissiomittaukset suoritettiin yleensä makuhuoneessa. Mitattujen asuntojen pinta-alat olivat 31,5–232 m<sup>2</sup>. Kahdessa eri kohteessa (kohde 1 ja kohde 7) asennettiin kokeilumielessä erilaisia lattiapinnoitteita saman kohteen eri asuntoihin tarkoituksena verrata eri pintamateriaalien vaikutusta lattiarakenteen emissioihin sekä edelleen sisäilman laatuun.

## 2.2 Mittaussuunnitelma uudiskohteille

Rakentamisen aikana uudiskohteissa seurattiin tutkimussuunnitelman mukaisesti kantavien rakenteiden eli lattia-, katto- ja seinärakenteiden kosteuksia ja emissioita sekä sisäilman laatua seuraavan mittausohjelman mukaisesti:

Mittaukset ja sen suoritusajankohta:

1. Kantavat rakenteet, kun ne ovat valmiit (rakennuksen lämpö on kytketty päälle).
2. Mittaus kantavien rakenteiden tasoitteesta juuri ennen pinnoitteen asentamista.
3. Pinnoitteet neljän viikon ikäisenä (= M1-luokitusikä).
4. Sisäilma samanaikaisesti kuin neljän viikon mittaukset pinnoitteista.
5. Ilmanvaihto, sisäilma ja pinnat sekä rakenne sisältä juuri ennen luovutusta.
6. Ilmanvaihto, sisäilma ja pinnat sekä rakenne sisältä puolen vuoden kuluttua asunnon käyttöönotosta.
7. Ilmanvaihto, sisäilma ja pinnat sekä rakenne sisältä vuoden kuluttua asunnon käyttöönotosta.

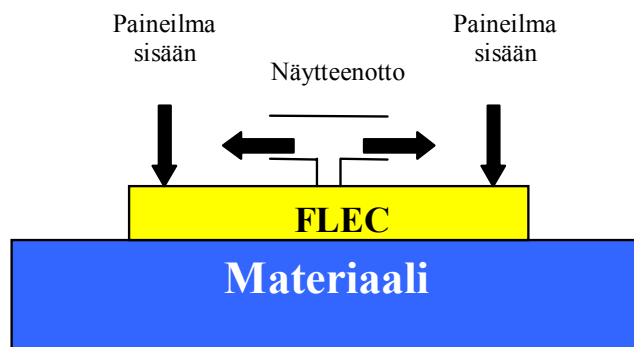
Uudiskohteissa kiinnitettiin erityistä huomiota lattiarakenteeseen, jonka emissioita seurattiin sekä pinnoitteen päältä että sen alla olevasta lattiarakenteesta 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen. Lattiarakenteen seurantamittauksilla tutkittiin, miten eri kantavat rakenteet yhdistettyinä eri pinnoitemateriaaleihin vaikuttavat rakenteen emissiotasoihin sekä edelleen sisäilman pitoisuuksiin. Yhteensä emissio- ja sisäilmamittauksia kertyi uudiskohteissa 25–30 kpl/kohde.

Tutkimuskohteet rakennettiin tämän päivän hyvän rakennuskäytännön mukaisesti sisältäen rakenteiden kosteuden seurannan rakentamisen aikana. Ennen pinnoitteiden asennusta varmistettiin kosteusmittauksin, että rakenne on riittävän kuiva. Käytännössä tämä tarkoitti rakennustöiden yleisten laatuvaatimusten mukaan sitä, että rakennekosteus oli 80 % tai vähemmän ennen parkettipinnoitteen asennusta ja alle 85 % ennen PVC-pinnoitteen asennusta [Rakennustieto Oy 1998]. Kohteessa 1 seurattiin paikalla valetun rungon kosteuden kehittymistä urakoitsijan toimeksiannosta erityisen tiheästi ennalta sovittuina ajankohtina. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan toimesta suoritettuja emissiomittauksia pyrittiin ajoittamaan näiden kosteusmittausajankohtien yhteyteen. Muissa kohteissa seurattiin kosteuden kehittymistä emissiomittausten yhteydessä pääasiassa VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan toimesta.

Projektin laajuus merkitsi arviolta 300 näytteenottoa uudiskohteissa, ja ne ajoittuivat vuoden 2003 kesäkuuhun asti. Viimeisen seurantamittauksen yhteydessä 12 kuukautta asunnon valmistumisesta asukkaille toimitettiin sisäilman laatuun liittyvä kysely, jossa kartoitettiin asukkaan tai asukkaiden taustatietojen lisäksi asukkaan kokemukset asuinympäristöstään viihtyvyyden sekä oman terveystilansa kannalta. Asukaskyselyjen tulokset esitetään kohdassa 3.7.

## **2.3 Mittaus- ja analysointimenetelmät**

Sisäilma- ja pintojen emissionäytteiden näytteenotto suoritettiin erityisesti sitä varten kehitetyllä tekniikalla. Ilmanäytteet sekä huoneen sisäilmasta että rakenteiden pinnoista haihtuvasta ilmasta kerättiin tietyllä virtausnopeudella adsorbenttiin, josta ne myöhemmin analysoitiin. Rakenteiden materiaaliemissiot määritettiin eurooppalaisella tasolla standardisoitua nk. FLEC (Field and Laboratory emission cell) -tekniikkaa hyödyntäen [CEN 1999]. Menetelmä vastaa yksittäisille rakennusmateriaaleille laboratoriossa suoritettavaa ns. kammionäytteenottomenetelmää [CEN 1999]. Emissionäyte kerätään tutkittavan pinnan yli tietyllä nopeudella johdettavasta puhtaasta (synteettisestä) ilmasta. Kuva 1 on periaatekuva näytteenotosta, joka kenttäolosuhteissa voidaan, kuten kuvassa 2 esitetään, suorittaa huoneen kaikista eri pinnoista (lattiasta, seinästä, katosta).



*Kuva 1. FLEC-näytteenottotekniikan periaate.*



*Kuva 2. Emissionäytteenotto seinä- ja lattiarakenteesta FLEC-tekniikkaa hyödyntäen.*

Ilmanäytteen haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) määritettiin kansainvälisen ISO-standardin mukaisesti [ISO 2001]. Menetelmän mukaan näyte kerätään Tenax TA-adsorbenttiin, josta se analysoidaan kaasukromatografisesti termodesorption jälkeen. Orgaanisten haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärä, TVOC, määritettiin tolueniekvivalentteina välillä heksaani–heksadekaani (C6–C16). Ammoniakki- ja formaldehydinäytteet kerättiin laimeaan rikkihappoliuokseen, josta ammoniakkipitoisuus määritettiin ammoniumspesifisellä elektrodilla ja formaldehydipitoisuus asetyliasetonimenetelmällä VTT:n sisäisen menetelmäohjeen mukaisesti. Rakenteen kosteus määritettiin välipohjarakenteelle syvyydeltä 0,2 x rakenteen paksuus ja alapohjarakenteelle 0,4 x rakenteen

paksuus [Rakennustieto Oy 1998]. Ilmanvaihtokertoimet määritettiin sisäilmamittausten yhteydessä Alnor AXD-530 -mittalaitteistolla. Kaikkien sisäilma- ja materiaaliemissionäytteenottojen yhteydessä määritettiin sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Kentällä otetuista emissionäytteistä on syytä todeta, että erot voivat olla hyvinkin suuria riippuen näytteenottopisteestä, koska rakenteen tuotantoprosessista peräisin oleva epähomogeenisuus aiheuttaa vaihtelua tuloksiin. Rakenteiden emissioiden summaa kuvaa sisäilmasta otettu näyte. Kentällä otettujen sisäilma- ja emissionäytteiden lisäksi otetaan myös ns. kenttänä, joka määrittää taustapitoisuuden. Tulosten tulkinnassa on huomioitava myös näytteenoton ja analyysimenetelmän mittausepävarmuudet.

## 3. Tulokset

### 3.1 Rakennusaikaiset olosuhteet

Tässä julkaisussa esitetyt ”rakennusajat” on laskettu siitä ajankohdasta, jolloin mittauspisteen runkorakenne on valmistunut, luovutusajankohtaan. Kohteiden rakennusajat ajoittuvat tämän perusteella tammikuun 2000 ja kesäkuun 2002 väliselle ajalle. Rakennusaikaiset lämpötilat sekä sadevesimäärät Helsingissä ja Turussa esitetään taulukossa 5 [Ilmatieteenlaitos 2003].

*Taulukko 5. Lämpötila- ja sadevesimäärät (kuukauden keskiarvo) Helsingissä sekä Turussa vuosina 2000–2002 [Ilmatieteen laitos 2003].*

Kuukausi	Helsinki		Turku	
	Lämpötila (° C)	Sadevesimäärä (mm)	Lämpötila (° C)	Sadevesimäärä (mm)
Tammikuu 2000/ 2001	-2,2/ -1,0	40,7/ 53,5	-2,4/ -1,4	64,2/ 36,6
Helmikuu 2000/ 2001	-1,6/ -6,8	41,1/ 43,6	-2,0/ -7,8	63,0/ 45,8
Maaliskuu 2000/ 2001	-0,3/ -2,7	29,5/ 34,2	-1,0/ -3,1	60,4/ 27,7
Huhtikuu 2000/ 2001	5,8/ 5,0	42/ 79,4	6,2/ 5,2	38,5/ 56,9
Toukokuu 2000/ 2001	10,2/ 9,7	33,2/ 14,8	10,4/ 9,2	21,3/ 20,9
Kesäkuu 2000/ 2001	13,9/ 13,8	76,0/ 86,6	13,6/ 14,3	35,5/ 35,1
Heinäkuu 2000/ 2001	17,0/ 20,2	74,4/ 58,8	16,2/ 19,7	104,1/ 130,8
Elokuu 2000/ 2001	15,9/ 16,4	79,5/ 86,2	15,1/ 16,4	39,7/ 84,3
Syyskuu 2000/ 2001	10,5/ 12,8	16,6/ 81,1	10,0/ 11,9	14,8/ 163,4
Lokakuu 2000/ 2001	9,5/ 8,7	89,5/ 62,7	8,9/ 8,4	92,0/ 92,4
Marraskuu 2000/ 2001	5,5/ 0,9	113,7/ 78,0	4,6/ 0,2	114,7/ 61,5
Joulukuu 2000/ 2001	2,0/ -6,0	70,2/ 29,8	1,4/ -6,2	67,7/ 30,4

Tutkimuksen aikana sääolosuhteet vastasivat normaaleja tilastoja siten, että sateisin vuodenaika ajoittui vuosien 2000–2001 aikana syys- ja kesäkaudelle sekä Turussa että Helsingissä. Kesäkauden sadevesimäärät vaihtelivat kaupunkien välillä: Turussa oli molempina vuosina heinäkuu erityisen sateinen verrattuna muihin kesäkuukausiin, kun taas Helsingin sadevesimäärät olivat tasaisempia. Vuoden 2001 elo- ja syyskuut olivat sateisia, ja tuolloin mitattiin myös suhteellisen korkeita ilman kosteuspitoisuuksia, mikä ilmenee myöhemmin tässä julkaisussa esitettävissä mittaustuloksissa.

Kohteen 1 vesikatto valmistui vuoden 1999 viikolla 50, ja tästä ajankohdasta lähtien oli myös lämpö ollut päällä koko rakennuksessa. Kohteessa 1 seurattiin urakoitsijan toimeksiantona rakenteen kuivumista erityisen tiheästi heti rungon valmistumisesta pinnoitteen asennukseen asti, ja tässä kohteessa voitiinkin todeta, että tavanomaista pidempi rakennusaika mahdollisti erityisen hyvin rakenteen riittävän kuivumisen. Kohteen 2 vesikatto oli asennettu kesäkuun 2000 loppuun mennessä ja lämpö oli saatiin päälle pari viikkoa tämän jälkeen, heinäkuun puolella välissä. Edeltävä kevät oli sademäärältään vähäinen, kesäkuun aikana oli kuitenkin sateisempaa. Kohteen 3 vesikatto valmistui kesäkuun 2000 viimeisellä viikolla, ja rakennuksen lämpö oli kytketty syyskuun puoleen väliin mennessä. Kohteen 4 (Turku) rakennusaika oli tämän projektin kohteista pisin, ja rungon rakentaminen ajoittui vuoden 2000 kesä- ja syyskaudelle. Vesikatto saatiin valmiiksi vuoden 2001 ensimmäisellä viikolla, ja mittauspisteessä oli lämpö päällä kuusi viikkoa aikaisemmin. Kohteen 5 vesikatto valmistui ja lämpö saatiin päälle helmikuun 2001 alussa. Urakoitsijan ilmoituksen mukaan runko kastui jonkin verran ennen tätä ja rakennusaikana käytettiin väliaikaista lisälämmitystä, mikä edisti rungon kuivumista. Kohteessa 6 saatiin vesikatto asennettua huhtikuun 2001 loppuun mennessä ja lämpö oli ollut päällä noin viikon ennen tätä ajankohtaa. Elementtiasennus tehtiin kuivana kautena, mutta valetun pintalaatan kuivuminen kesäkaudella oli suhteellisen hidasta. Kohteen 7 vesikatto valmistui kesäkuussa 2001. Kaukolämmön toimitus viivästyi, ja lämpö saatiin kytkettyä heinäkuun loppuun mennessä. Kesäkuu oli urakoitsijan ilmoituksen mukaan sateinen. Juuri ennen luovutusta marraskuussa 2001 sattui 2. kerroksen asunnossa putkivuoto, jonka seurauksena osa lattiarakennetta kastui. Asuntoa kuivattiin lisälämmittimen avulla noin kaksi viikkoa. Kohteen 8 vesikatto valmistui joulukuun 2001 puolella välissä, ja lämpö oli ollut kytkettynä muutaman viikon ennen tätä ajankohtaa. Kaikissa tämän projektin tutkimuskohteissa oli kosteudenhallintasuunnitelma rakentamisen aikana, mikä edellytti sitä, että rakenteen kuivuminen oli riittävä ennen lattiapinnoitteen asennusta. Käytännössä tämä tarkoitti rakennustöiden yleisten laatuvaatimusten mukaan sitä, että rakennekosteus oli alle 80 % ennen parkettipinnoitteen asennusta ja alle 85 % ennen PVC-pinnoitteen asennusta [Rakennustieto Oy 1998]. Rakenteen suhteellisen kosteuden kehittymistä seurattiin ensimmäisen käyttövuoden aikana, minkä perusteella saatiin jokaisen kohteen rakenteelle kuivumisprofiili.

## **3.2 Rakennusaikaiset rakenteiden emissio- ja kosteusmittaukset**

### **3.2.1 Kantava rakenne**

Projektin aikana mitatut uudiskohteet olivat paikallavalu- tai elementtirunkorakenteisia. Paikalla valetut välipohjarakenteet olivat teräsbetonia (korkeus 190–300 mm), ja elementtikohteissa välipohjarakenteet olivat tehdasvalmisteisia ontelolaattaelementtejä (korkeus 265–320 mm). Ensimmäinen emissiomittaus suoritettiin vasta sen jälkeen, kun kohteen



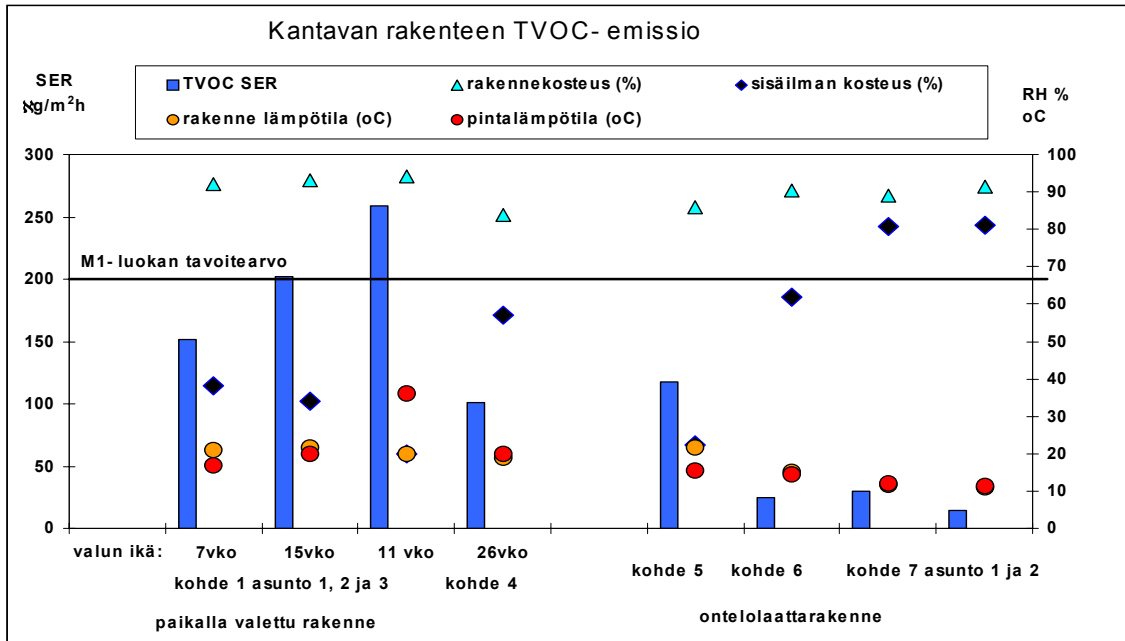
lämpö oli kytketty päälle. Rakenteen ikä eri kohteissa oli tuolloin 7–26 viikkoa. Taulukossa 6 ja kuvissa 3–5 esitetään projektin seitsemän uudiskohteen kantavista rakenteista saadut mittaustulokset. Kohteissa 2 ja 3 ei mitattu kantavaa rakennetta, koska niiden rakennusvaihe oli jo pinnoitteiden asennuksessa, kun kohteet valittiin projektin tutkimuskohteiksi.

*Taulukko 6. Kantavasta rakenteesta suoritettujen rakennusaikaisien mittaukset (\* ei tulosta, \*\* kuivumisprofiilin perusteella arvioitu tulos, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila, PV = paikalla valettu rakenne, O = ontelolaattarakenne).*

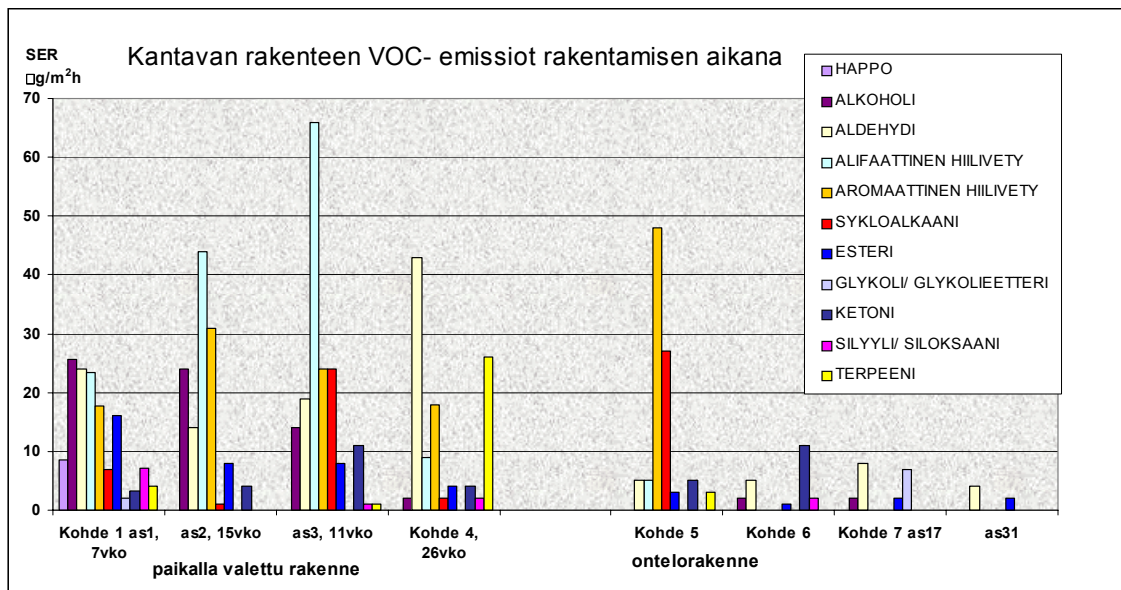
Rakenne ja ikä (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH-rakenne (%)	RH-sisäilma, pinta (%)	T, rakenne tai pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA			
PV 7 vko (1)	152	31	<5	92	38	21/ 17
PV 15 ko (1)	202	113	<5	93	34	22/ 20
PV 11 vko (1)	259	66	<5	92	20	20/ 36
PV 26 vko (4)	101	45	5	84**	57	*/ 20
O 13 vko (5)	118	4	14	86	23	*/ 16
O 14 vko (6)	25	24	<5	91	62	14/ 14
O 10 vko (7)	30	12	3	89	81	12/ 12
O 10 vko (7)	14	14	4	91	81	11/ 11

Sekä paikalla valetun että elementtirakenteisen ontelolaattarakenteen TVOC-emissio oli kaikkina mittausajankohtina keskimäärin M1-luokan tasolla eli 200 µg/m<sup>2</sup>h tai alle. Ontelorakenteesta mitatut TVOC-emissiot olivat keskimäärin paikalla valetusta rakenteesta mitattuja alhaisemmat. Kantavasta rakenteesta suoritettujen emissiomittausten yhteydessä määritetyt rakenteiden suhteelliset kosteudet olivat 84–93 %. Ontelorakenteen suhteellinen kosteus oli paikalla valettuun rakenteeseen verrattuna alhaisempi, ja myös rakenteen pinnasta mitattu lämpötila oli ontelorakenteen mittausajankohtina selvästi paikalla valettua rakennetta alhaisempi, mikä voi osaltaan selittää ontelorakenteen alhaisemmat TVOC-emissiotulokset.

Yksittäisiä VOC-yhdisteitä yhdisteryhmittäin tarkasteltaessa voidaan todeta (kuva 4), että ryhmäkohtaiset emissiot ovat tavallisesti tasolla 50 µg/m<sup>2</sup>h tai alle sekä paikalla valetulle rakenteelle että ontelorakenteelle. Kohteiden 6 ja 7 ontelorakenteen VOC-yhdisteryhmien emissiot olivat hyvin pienellä tasolla, alle 10 µg/m<sup>2</sup>h. Paikalla valetusta rakenteesta mitattiin tavallisesti suurimpina emissioina alkoholeja, aldehydejä sekä alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä.



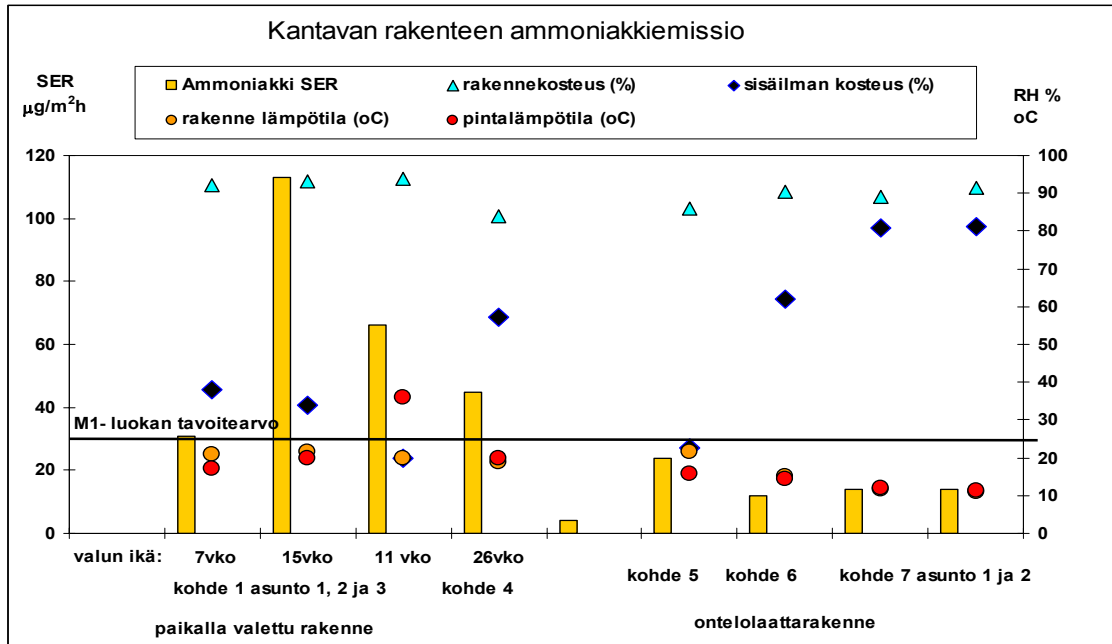
Kuva 3. Kantavan rakenteen TVOC-emissio.



Kuva 4. Kantavan rakenteen VOC-emissioiden summat yhdisteryhmittäin rakentamisen aikana.

Kantavasta rakenteesta mitatut ammoniakkiemissiot vaihtelivat suhteellisen paljon paikalla valettujen kohteiden välillä, ja ne olivat tavallisesti yli M1-luokan vaatimusarvon 30 µg/m<sup>2</sup>h. Voidaan arvioida, että rakenteen epähomogeenisuus ja kuivumisolosuhteet, kuten myös työmaalla samanaikaisesti käynnissä olevat työvaiheet (esim. maalaustyöt), ovat voineet vaikuttaa tuloksiin. Ammoniakkiemissio oli yli M1-luokan tason jopa 26

viikon ikäiselle valulle. Ontelorakenteen ammoniakkiemissio oli selvästi alhaisempi vertailussa paikalla valettuun rakenteeseen: kymmenen viikkoa elementtiasennuksesta mitattu ontelolaattarakenteen ammoniakkiemissio oli M1-luokkaa vastaava. Formaldehydiemissio oli sekä paikalla valetulle että ontelorakenteelle kaikkina mittausajankohtina hyvin pieni, alle  $20 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , mikä vastaa rakennusmateriaaliluokituksen M1-luokkaa.



Kuva 5. Kantavan rakenteen ammoniakkiemissio.

### 3.2.2 Kantava rakenne tasoituksen jälkeen

Tasoitettu lattiarakenne mitattiin juuri ennen pinnoitustöiden aloitusta. Paikalla valetuissa kohteissa käytettiin hienotasoitetta (levitysmäärä 3–5 mm) ja elementtirakennekohteissa karkeatasoitetta (levitysmäärä 10–30 mm). Tasoitteen levitysikä rakenteessa oli mittaushetkellä pääasiassa yli kaksi viikkoa. Kohteessa 3 tasoite mitattiin alle viikon ikäisenä. Tulokset esitetään taulukossa 7 ja kuvissa 6–9.

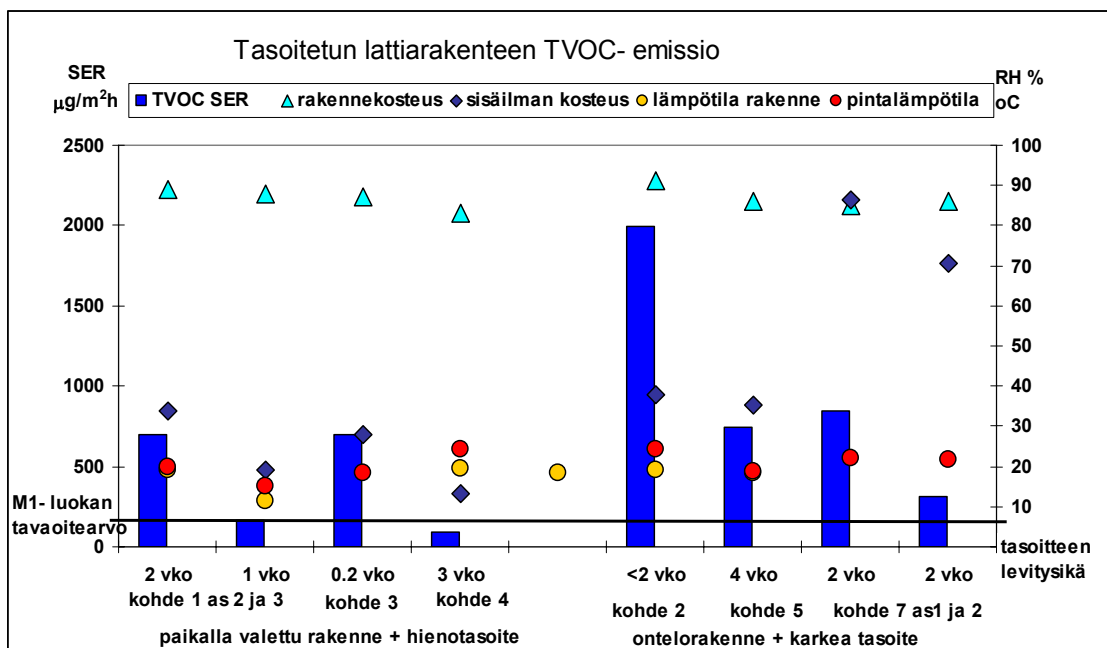
Taulukko 7. Lattiarakenteesta suoritettut mittaukset tasoitteen levityksen jälkeen (\* ei tulosta, \*\* kuivumisprofiilin perusteella arvioitu tulos,  $NH_3$  = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).

Tasoite, levitysikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			RH-rakenne (%)	RH-sisäilma, pinta (%)	T, rakenne tai pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )
	TVOC	$NH_3$	FA			
Hienotasoite 1 + lisätasoite, 2 vko (1)	697	20	0	89 / 50	34	16 / 20
Hienotasoite 1, 1 vko (1)	169	39	0	88 / 50	19	19 / 15
Karkeatasoite 1, <2 vko (2)	1990	14	121	91**	38	* / 24
Hienotasoite 1, 2 päivää (3)	700	21	175	87**	28	* / 19
Hienotasoite 1, 3 vko (4)	90	12	50	83**	13	* / 24
Karkeatasoite 2, 4 vko (5)	748	71	87	86 / 40	35	19 / 19
Karkeatasoite 3, 2 vko (7)	849	19	274	85 / 80	86	19 / 22
Karkeatasoite 3, 2 vko (7)	308	19	188	86 / 80	71	19 / 22

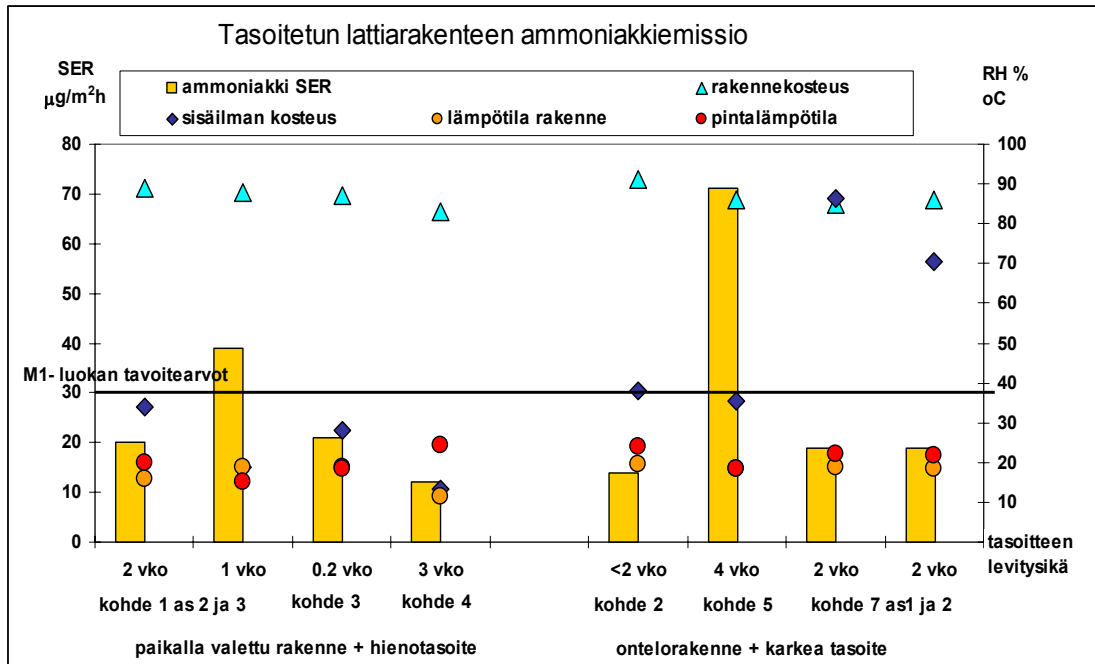
Paikalla valetun kohteen (rakenteen ikä 14 viikkoa) hienotasoitteen TVOC-emissio oli M1-luokkaa eli alle  $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , kun tasoitteen ikä rakenteessa oli yksi viikko. Kahden päivän ikäisestä vastaavasta tasoitteesta mitattiin huomattavasti korkeampi, M1-luokan rajan ylittävä emissio. Karkeatasoitteen TVOC-emissiot olivat selvästi yli M1-luokan jopa neljä viikkoa levityksestä, ja voidaan todeta, että karkean tasoitteen levitysmäärät ja kosteuspitoisuudet voivat vaihdella kohteittain, mikä osaltaan vaikuttaa emissiotulosten eroavuuksiin. Kohteen 7 tasoitetusta lattiarakenteesta mitattiin kaksinkertainen ero rinnakkaisissa asunnoissa, ja voidaan arvioida, että edellä mainitut tekijät vaikuttanevat tuloksiin, ja tämä oletus vahvistui, kun tarkasteltiin yksittäisiä VOC-yhdisteryhmiä (kuva 7): VOC-yhdisteiden koostumus oli sama kohteen eri mittauspisteissä (asunnoissa). Hienotasoitteesta mitattiin 1–2 viikon kuivumisajan jälkeen pääasiassa alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä, ja näiden emissiotasot olivat  $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  tai vähemmän. Kohteessa 3 mitattiin tasoite kahden päivän kuivumisen jälkeen, ja VOC-emission pääkomponentit olivat alifaattisten hiilivetyjen lisäksi glykoleja tai glykolieettereitä sekä alkoholeja. Myös karkeasta tasoitteesta mitatut pääkomponentit olivat alifaattisia sekä aromaattisia hiilivetyjä, glykoleja tai glykolieettereitä, alkoholeja sekä lisäksi aldehydejä. Alkoholien ja aldehydien osuus oli sitä suurempi, mitä lyhyempi tasoitteen kuivumisaika oli ollut.

Ammoniakkiemissiot luokitelluille hieno- ja karkeatasoiteille olivat M1–M2-luokkaa eli välillä 30–60 µg/m<sup>2</sup>h. Luokittelemattoman karkeatasoitteen (kohde 5) TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydiemissiot eivät neljään viikkoon levityksestä saavuttaneet rakennusmateriaaliluokituksen tavoitearvoja. Hienotasoitteen formaldehydiemissio oli kolmen viikon ikäisenä lähes M1-luokkaa eli alle 50 µg/m<sup>2</sup>h.

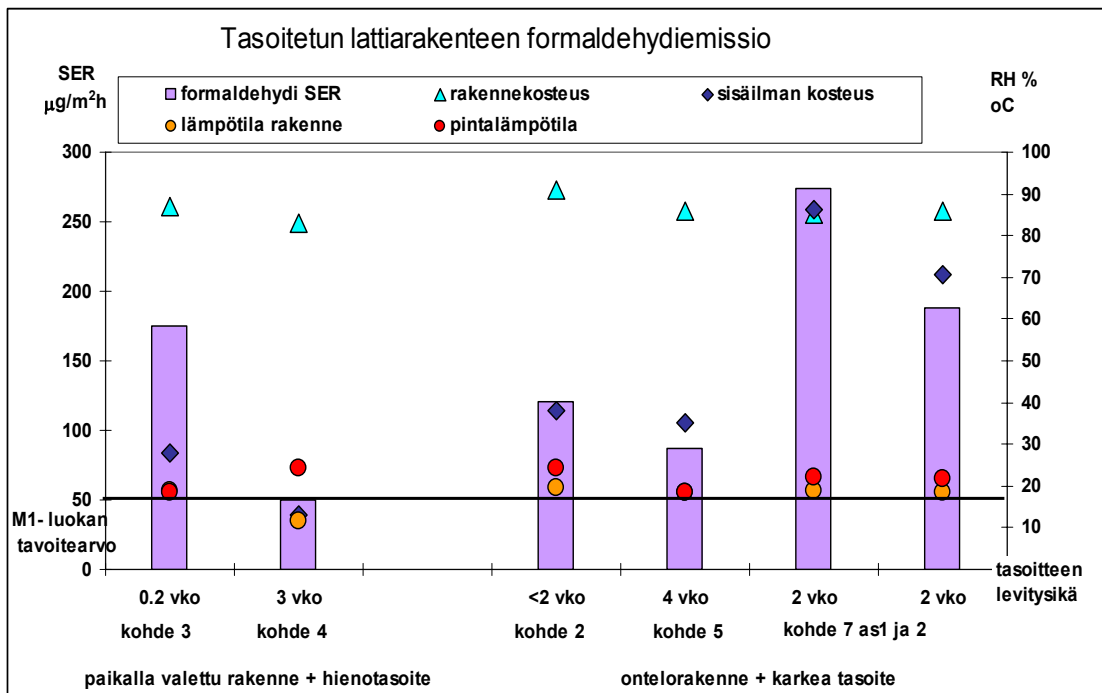
Karkeatasoitteesta mitattu formaldehydiemissio oli vertailussa selvästi korkeampi, ja kaksi viikkoa tasoituksen levityksestä mitatut formaldehydiemissiot olivat suhteellisen korkealla tasolla 200 µg/m<sup>2</sup>h.



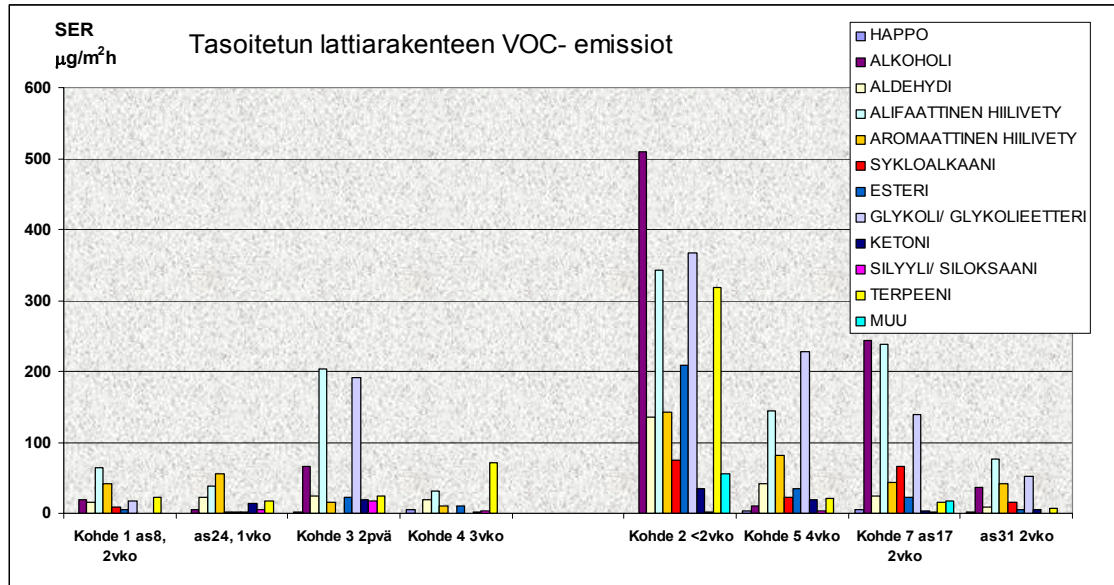
Kuva 6. Lattiarakenteen TVOC-emissio tasoituksen levityksen jälkeen.



Kuva 7. Lattiarakenteen ammoniakkiemissio tasoitteen levityksen jälkeen.



Kuva 8. Lattiarakenteen formaldehydiemissio tasoitteen levityksen jälkeen.



Kuva 9. Tasoitetun lattiarakenteen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat rakentamisen aikana.

### 3.2.3 Lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa

Lattiapinnoitteesta suoritettiin ensimmäiset emissiomittaukset neljä viikkoa pinnoitteen asennuksesta, koska tämä ajankohta vastaa yksittäisten rakennusmateriaalien luokituskäytäntöä. Tutkituissa asunnoissa rakennettiin kaapistosta avattavissa oleva pinnoite- luokku, jonka kautta suoritettiin lattiarakenteen mittauksia 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen (kuvat 10 ja 11). Luokku suljettiin tiiviiksi seurantamittausten välillä.

Kaikissa kohteissa käytettiin luokiteltuja parketti- tai muovimattopinnoitteita (parketit 1–2 sekä PVC 1–6). Parkettien alle asennettiin muovinen nk. ”Tuplex”-alusmateriaali, joka koostuu kahdesta tiiviistä polyeteenikalvosta, joiden välissä on joustavia polystyreenirakeita. Muovimattokohteissa käytettiin mattoliimaa (liimat 1–4) poikkeuksena kohteen 7 3. kerroksen asunto, jonka muovimaton asennuksessa ei käytetty liimaa. Pinnoitteen päältä sekä lattiarakenteesta pinnoitteen poiston jälkeen mitatut tulokset esitetään taulukoissa 8–11 sekä kuvissa 12 ja 13.



Kuvat 10 ja 11. Kaapiston alapuoliseen sokkelitilaan lattiarakenteen seurantamittauksia varten rakennettu, avattavissa oleva lattiapinnoite.

Taulukko 8. Lattiapinnoitteesta suoritettavat emissiomittaukset neljä viikkoa asennuksesta (\* ei tulosta, \*\* kuivumisprofiilin perusteella arvioitu tulos,  $\text{NH}_3$  = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).

Pinnoite (kohde)	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			RH-rakenne (%)	RH-sisäilma, pinta (%)	T, rakenne tai pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )
	TVOC	$\text{NH}_3$	FA			
Parketti 1 (1 as. 5)	104	5	*	84/ 50	22	19/ 19
PVC 1 (1 as. 18)	2 070	16	*	85/ 50	38	23/ 26
PVC 2 (1 as. 24)	112	69	*	84/ 50	36	23/ 27
PVC 3 (2)	1 350	64	5	86**	37	*/ 25
Parketti 1 (3)	100	1	8	87**	46	*/ 19
PVC 4 (4)	420	7	4	82**	33	*/ 19
Parketti 2 (6)	157	3	2	73/ 20	50	21/ 22
PVC 5 (7 as. 17)	40	6	5	80/ 80	44	18/ 18
PVC 6 (7 as. 24)	121	5	3	82/ 80	45	18/ 17



*Taulukko 9. Lattiarakenteen TVOC-emissio 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen, pinnoitteen asennusikä neljä viikkoa (\* ei tulosta).*

Pinnoite (kohde)	TVOC- emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	10 900	1 070	1 000	900
PVC 1 + liima 1 (1 as. 18)	11 070	4 840	5 075	1 825
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	9 570	4 591	4 200	1 848
PVC 3 + liima 3 (2)	5 560	2 681	1 524	1 287
Parketti 1 (3)	1 088	618	512	394

*Taulukko 10. Lattiarakenteen ammoniakkiemissio 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen, pinnoitteen asennusikä neljä viikkoa (\* ei mitattu).*

Pinnoite (kohde)	Ammoniakkimissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	670	550	450	39
PVC 1 + liima 1 (1 as. 18)	3 180	46	121	40
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	6 650	639	194	135
PVC 3 + liima 3 (2)	100	48	35	19
Parketti 1 (3)	46	67	67	41

*Taulukko 11. Sisäilman kosteus- ja lämpötilamittaukset emissiomittausten yhteydessä, lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa (\* ei tulosta, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

Kohde	RH sisäilma, pinta (%)				T, pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
1, as. 5	*	22	27	34	*	17	17	17
1, as. 18	*	29	25	30	*	26	23	21
1, as. 24	*	25	23	30	*	26	24	21
2	34	30	23	19	25	25	25	25
3	34	28	30	17	17	19	18	18

Taulukko 12. Lattiarakenteen TVOC- ja ammoniakkiemissio sekä sisäilman lämpötila ja kosteus 3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen kohteissa 6 ja 7 (pinnoitteen asennusikä neljä viikkoa, \* ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).

Pinnoite	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)		RH sisäilma, pinta (%)	T, pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>		
Parketti 2 (6)	1 438	99	45	21
PVC 5 + liima 1 (7)	2 669	191	57	18
PVC 6 irtoasennettu (7)	3 986	191	56	18

Parketin TVOC-emissiot kahden eri valmistajan parketeille olivat neljä viikkoa niiden asennuksesta M1-luokkaa eli alle 200 µg/m<sup>2</sup>h. Muovimattojen päältä mitatuissa TVOC-emissioissa oli sen sijaan jopa kymmenkertaisia eroja eri valmistajien tuotteiden välillä. Esimerkiksi kohteeseen 1 asennetun PVC 1:n päältä mitattu TVOC-emissio ylitti kymmenkertaisesti M1-luokan raja-arvon, kun taas samaan kohteeseen asennetun PVC 2:n päältä mitattiin M1-luokkaa vastaava emissio. Tuloksista voidaan yhteenvedonä todeta, että M1-luokan PVC-pinnoitteilla on hyvinkin erilaisia läpäisevyysominaisuuksia TVOC-yhdisteiden suhteen. Muovimattojen asennuksessa käytetystä liimasta sekä alla olevasta lattiarakenteesta peräisin olevat VOC-yhdisteet kulkeutuvat joidenkin muovimattopinnoitteiden lävitse ja emittoituvat niiden pinnasta sisäilmaan, kun taas jotkut PVC-pinnoitteet ovat lähes läpäisemättömiä alustan VOC-yhdisteille. Tämä ilmeni hyvin selvästi lattiarakenteesta, pinnoitteen poiston jälkeen saaduista emissiomittauksista. Heti pinnoitteen avauksen jälkeen (0. päivä) mitatut TVOC-emissiot voivat olla, PVC-pinnoitteen tiivyydestä riippuen, hyvin korkeita, jopa 10 000 µg/m<sup>2</sup>h tasolla. Lattiarakenteesta mitatut TVOC-emissiot tasaantuivat kolmessa päivässä parkettikohteissa (paikalla valettu rakenne) tasolle 500–1500 µg/m<sup>2</sup>h ja muovimattokohteissa tasolle 800–4 000 µg/m<sup>2</sup>h. Irtoasennetun ja liimatun muovipinnoitteiden alta mitatuissa TVOC-emissioissa ei todettu merkittävää eroa ja todettiin, että lattiarakenteesta mitatut VOC-yhdisteet tässä kyseisessä tutkimuskohteessa (kohde 7) ovat kulkeutuneet muovimattopinnoitteen alapuolesta lattiarakenteeseen. Liimojen osuutta lattiarakenteen TVOC-emissiotuloksiin käsitellään tarkemmin kohdassa 3.6, ja lattiarakenteesta tunnistetut yksittäiset VOC-yhdisteet on käsitelty yhdisteryhmittäin kohdassa 3.4.1.

Parkettipinnoitteen ammoniakkiemissiot olivat kahden eri valmistajan parketeille M1-luokkaa eli alle 30 µg/m<sup>2</sup>h. Muovimattojen päältä mitatuissa ammoniakkiemissioissa oli eroja eri valmistajien tuotteiden välillä; neljän maton päältä mitatut (PVC 1, 4, 5 ja 6) emissiot olivat M1-luokkaa, kun taas kahden maton (PVC 2 ja 3) ammoniakkiemissiot olivat lähes 70 µg/m<sup>2</sup>h. Heti pinnoitteen avauksen jälkeen mitatut lattiarakenteen korkeat ammoniakkiemissiot laskivat kolmessa päivässä tasolle 20–200 µg/m<sup>2</sup>h riippuen käytetystä pinnoitemateriaalista sekä liimasta. Liimojen osuutta lattiarakenteen ammoniak-

kiemissioihin käsitellään tarkemmin kohdassa 3.6. Pinnoitteiden päältä mitatut formaldehydiemissiöt olivat M1-luokkaa eli alle 50 µg/m<sup>2</sup>h mitatuille muovimatoille ja parke-teille. Ensimmäisten seurantamittauksien jälkeen päätettiin lattiarakenne jatkossa mitata yhden ja kolmen päivän kuluttua pinnoitteen poiston jälkeen.

### 3.2.4 Lattiapinnoite luovutusvaiheessa

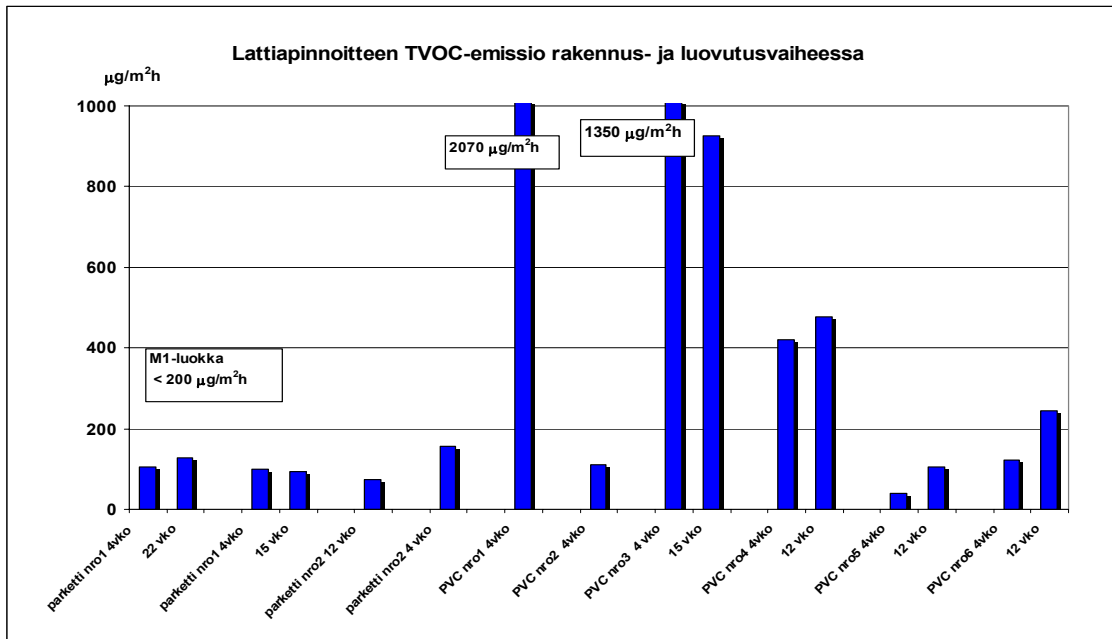
Neljä viikkoa asennuksesta suoritettua lattiapinnoitteen ja sen alla olevan rakenteen mit-taukset toistettiin juuri ennen luovutusta. Pinnoitteiden asennusikä oli eri mittauskoh-teissa 8–22 viikkoa. Emissiomittaukset suoritettiin, kun ilmanvaihto oli ollut kytkettynä vähintään kaksi viikkoa kaikissa muissa mittauskohteissa paitsi kohteessa 7, jossa il-manvaihto saatiin toimintakuntoon neljä päivää ennen luovutusta. Taulukoissa 13–16 sekä kuvissa 12 ja 13 esitetään pinnoitteen päältä ja lattiarakenteesta pinnoitteen poiston jälkeen mitatut tulokset.

*Taulukko 13. Lattiapinnoitteesta suoritettua mittaukset juuri ennen luovutusta (\* ei tulos-ta, \*\* kuivumisprofiilin perusteella tehty arvio, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

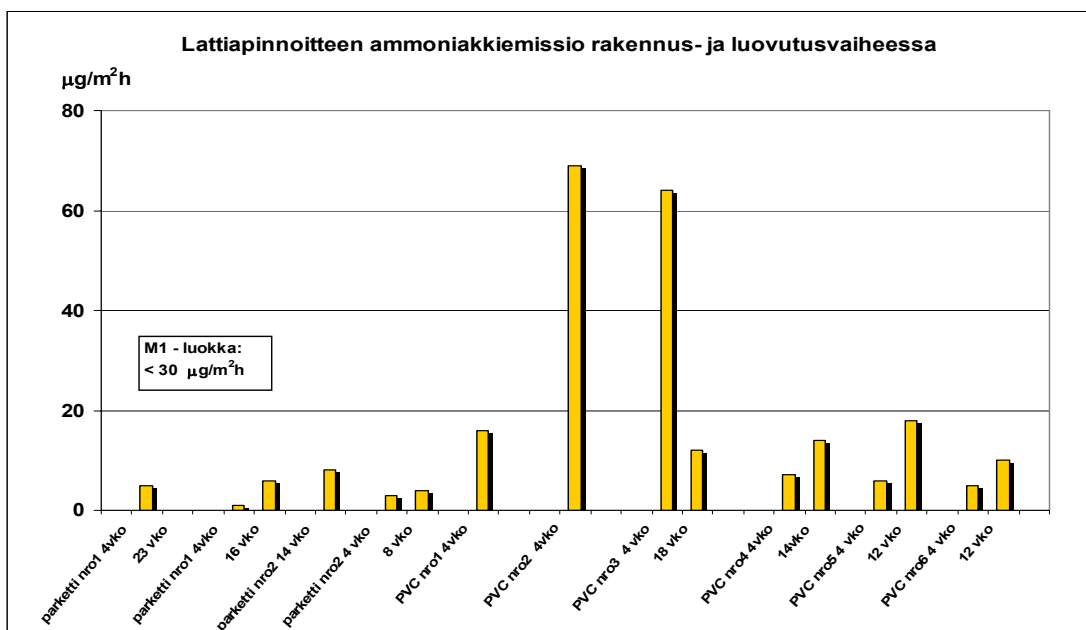
Pinnoite, asennusikä (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH rakenne (%)	RH sisäilma, pinta (%)	T, rakenne/pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA			
Parketti 1, 22 vko (1 as. 5)	129	*	*	87/ 50	63	22/ 23
PVC 3, 15 vko (2)	926	12	8	84**	38	*/ 24
Parketti 1, 15 vko (3)	93	6	0	83**	23	*/ 24
PVC 4, 12 vko (4)	447	14	*	80**	52	*/ 22
Parketti 2, 12 vko (5)	74	8	9	76/40	41	22/ 28
Parketti 2, 8 vko (6)	16	4	2	69/ 20	27	19/ 21
PVC 5, 12 vko (7)	104	18	10	86/ 80	24	28/ 32
PVC 6, 12 vko (7)	245	11	18	83/ 80	23	28/ 29

Muovimattojen päältä mitattu TVOC-emissio väheni edellisestä mittauksesta yhden PVC-pinnoitteen osalta (kohde 2, PVC 3). Muiden mitattujen muovimattopinnoitteiden TVOC-emissiöt olivat samalla tasolla kuin neljä viikkoa pinnoitteen asennuksessa tehdyssä mittauksessa. Kahden muovimattopinnoitteen (PVC 3 ja 4) TVOC-emissiöt ylittivät M1-luokan rajan 200 µg/m<sup>2</sup>h selvästi. Luovutusvaiheessa lattiapinnoitteesta tunnis-tetut yksittäiset VOC-yhdisteet on käsitelty yhdisteryhmittäin kohdassa 3.4.1.

Kohteen 2 muovimaton (PVC 3) ammoniakkiemissio oli 14 viikossa laskenut M1-luokkaan eli alle  $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . PVC-pinnoitteiden asennusikä luovutusvaiheessa vaihteli välillä 12–18 viikkoa. Parkettipinnoitteiden TVOC- ja ammoniakkiemissiot olivat luovutusvaiheessa, kun pinnoitteen asennusikä oli 8–22 viikkoa, edelleen M1-luokkaa. Kaikkien sekä parketti- että PVC-pinnoitteiden päältä mitatut formaldehydiemissiot olivat edelleen M1-luokkaa eli alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .



Kuva 12. Lattiapinnoitteen TVOC-emissio rakennus- ja luovutusvaiheessa.



Kuva 13. Lattiapintojen ammoniakkiemissio rakennus- ja luovutusvaiheessa.

*Taulukko 14. Lattiarakenteen TVOC-emissio pinnoitteen poiston jälkeen juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta).*

Pinnoite (kohde)	TVOC-emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	2 061	552	429	489
PVC 1 + liima 1 (1 as. 18)	2 513	1 708	739	946
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	6 904	3 105	2 186	2 546
PVC 3 + liima 3 (2)	*	1 510	1 410	983
Parketti 1 (3)	*	1 087	*	*
PVC 4 + liima 4 (4)	*	477	*	*
Parketti 2 (5)	*	1 839	*	1 407
Parketti 2 (6)	*	216	237	*
PVC 5 + liima 1 (7 as. 17)	*	2 053	*	934
PVC 6 (7 as. 31)	*	2 219	*	2 991

*Taulukko 15. Lattiarakenteen ammoniakkiemissio 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta).*

Pinnoite	Ammoniakkiemissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	153	50	37	37
PVC 1 + liima 1 (1 as. 18)	554	344	181	132
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	1 104	282	175	143
PVC 3 + liima 3 (2)	*	92	42	19
Parketti 1 (3)	*	73	*	*
PVC 4 + liima 4 (4)	*	57	*	*
Parketti 2 (5)	*	47	*	30
Parketti 2 (6)	*	92	62	*
PVC 5 + liima 1 (7 as. 17)	*	611	*	132
PVC 6 (7 as. 31)	*	538	*	113

Taulukko 16. Sisäilman kosteus- ja lämpötilamittaukset emissiomittausten yhteydessä juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta).

Kohde	Sisäilman kosteus, pinta (%)				Lämpötila, pinta (°C)			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
1, as. 5	57	54	51	43	23	23	22	23
1, as. 18	52	49	43	39	25	25	24	25
1, as. 24	52	48	44	41	25	26	24	24
2	*	26	25	25	*	24	25	25
3	*	23	*	*	*	23	*	*
4	*	48	*	*	*	21	*	*
5	*	44	*	47	*	29	*	29
6	*	36	32	*	*	19	19	*
7, as. 17	*	31	*	24	*	24	*	27
7, as. 31	*	25	*	22	*	30	*	28

Lattiarakenteen TVOC-emissiot pinnoitteen avauksen jälkeen olivat luovutusvaiheessa samaa luokkaa kuin vastaavassa mittauksessa neljä viikkoa pinnoitteen asennuksesta. Emissio tasaantui kolmessa päivässä tasolle 250–1500 µg/m<sup>2</sup>h parkettikohteissa (paikalla valettu tai elementtirakenne) ja tasolle 500–4 000 µg/m<sup>2</sup>h muovimattokohteissa. Yhteenveto lattiarakenteen TVOC-emissiotuloksista sekä yksittäisistä VOC-yhdisteistä yhdisteryhmittäin esitetään kohdassa 3.4.1. Lattiarakenteen ammoniakkiemissiot pinnoitteen avauksen jälkeen luovutusvaiheessa olivat samaa luokkaa kuin vastaavassa mittauksessa neljä viikkoa pinnoitteen asennuksesta. Heti pinnoitteen avauksen jälkeen mitatut lattiarakenteen korkeat ammoniakkiemissiot laskivat kolmessa päivässä alle 40 µg:aa/m<sup>2</sup>h parkettikohteissa sekä yhdessä muovimattokohteessa (kohde 2: PVC 3 ja liima 3). Muissa muovimattokohteissa 3. päivänä mitattu ammoniakkiemissio oli tasolla 50–150 µg/m<sup>2</sup>. Yhteenveto lattiarakenteen ammoniakkiemissiotuloksista esitetään kohdassa 3.4.1.

### 3.2.5 Kattorakenne luovutusvaiheessa

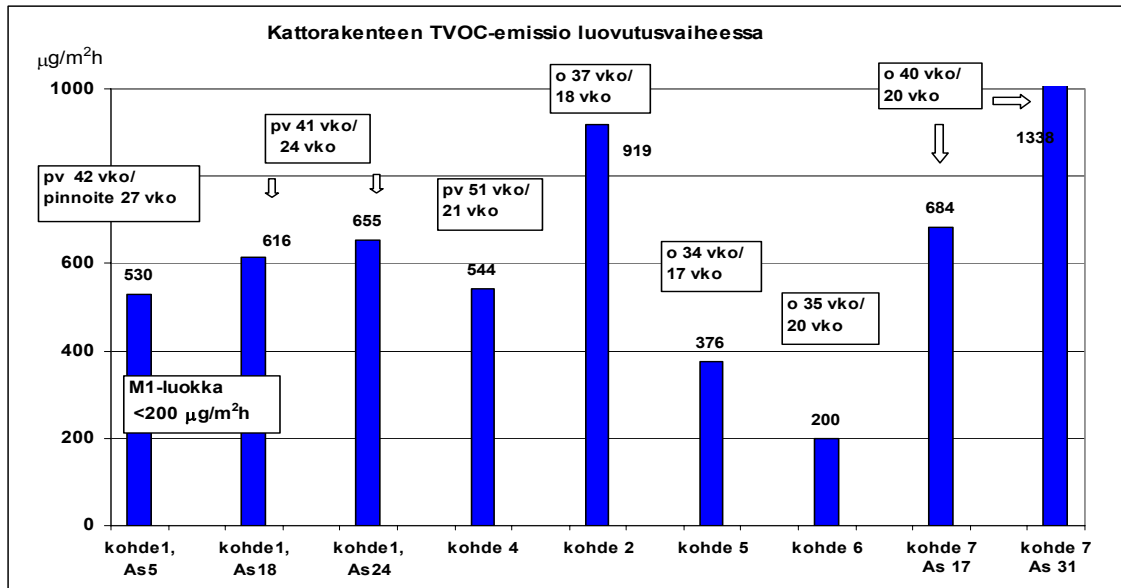
Ennen luovutusta mitattiin ensimmäisen kerran rakentamisen aikana myös katto- ja seinäpintojen emissiot sekä määritettiin sisäilman kosteus ja lämpötila. Emissiomittaukset suoritettiin, kun ilmanvaihto oli ollut kytkettynä vähintään kaksi viikkoa kaikissa muissa mittauskohteissa paitsi kohteessa 7, jossa ilmanvaihto saatiin toimintakuntoon neljä päivää ennen luovutusta. Kaikissa kohteissa oli kattopinnoitteena ruiskutasoite paikalla valetun tai ontelolaattarakenteen päällä. Kantavat seinät (betoni) sekä väliseinät (kipsi)

oli maalattu tasoituksen jälkeen. Kohteessa 4 oli seinäpinnoitteena alustaan liimattu tapetti (paperi). Taulukossa 17 ja kuvissa 14 ja 15 esitetään katto- ja seinäpintojen emissiomittaustulokset juuri ennen luovutusta.

*Taulukko 17. Kattopinnasta suoritettut mittaukset juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

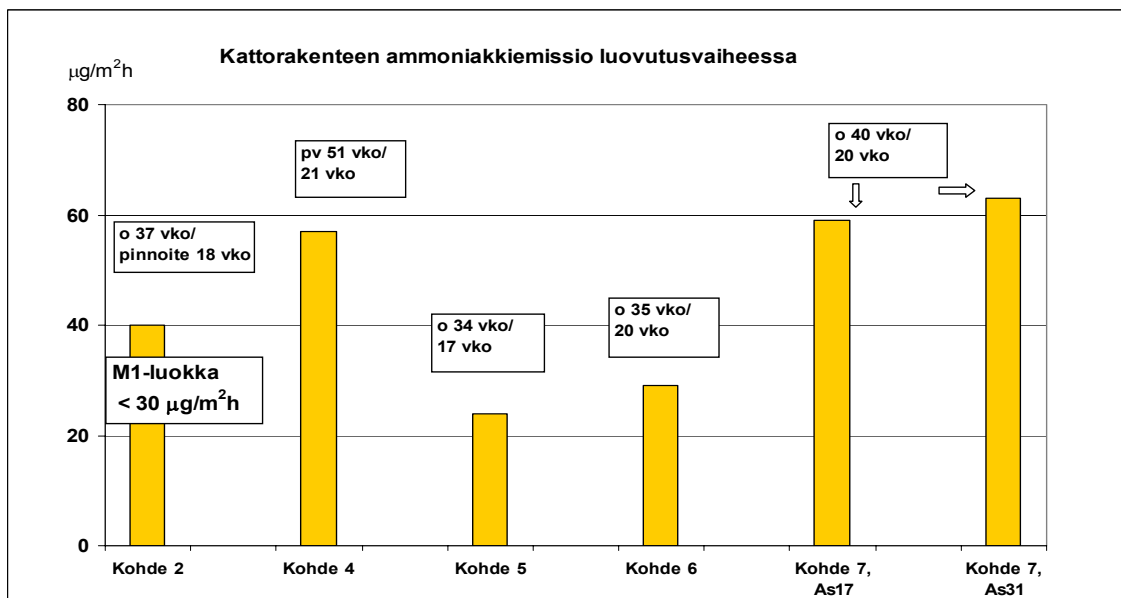
Tasoite, levitysikä (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH sisäilma, pinta (%)	T, pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA		
Pintatasoite 1, 27 vko (1 as. 5)	530	*	*	64	23
Pintatasoite 1, 24 vko (1 as. 18)	616	*	*	59	25
Pintatasoite 1, 24 vko (1 as. 24)	655	*	*	55	25
Pintatasoite 1, 18 vko (2)	919	40	56	24	25
Pintatasoite 1, 21 vko (4)	544	57	*	52	22
Pintatasoite 2, 17 vko (5)	376	24	20	41	29
Pintatasoite 1, 19 vko (6)	200	29	14	20	22
Pintatasoite 1, 20 vko (7 as. 17)	684	59	63	20	29
Pintatasoite 1, 20 vko (7 as. 31)	1 338	63	96	23	29

Kattorakenteen TVOC-emissiot vaihtelivat eri kohteiden välillä ja olivat pääasiassa yli M1-luokan tason 200 µg/m<sup>2</sup>h. Korkeimmillaan emissiot olivat tasolla 600–1 000 µg/m<sup>2</sup>h kohteissa 1, 2, 4 sekä kohteen 7 asunto 17:ssä. Kohteissa 5 ja 6 mitatut TVOC-emissiot olivat tasolla 200–400 µg/m<sup>2</sup>h, mikä vastaa rakennusmateriaalilukituksen M2-luokkaa. Kohteen 7 asunto 31:n kattopinnan TVOC-emissio oli kaksinkertainen verrattuna asunto 17 tulokseen, ja voitiin todeta, että asunnossa suoritettu noin kahden viikon lämmitysvaihe rakennusaikaisen vesivahingon seurauksena on todennäköisesti vaikuttanut siten että rakenteista tapahtuva emissio on lisääntynyt (nk. ”bake out”-ilmiö) ja tätä emissiotasoa voidaan siten pitää poikkeuksellisen suurena normaaliin tilanteeseen verrattuna. Kattorakenteesta tunnistetut yksittäiset VOC-yhdisteet esitetään yhdisteryhmittäin kohdassa 3.4.2.



Kuva 14. Kattorakenteen TVOC-emissio luovutusvaiheessa (pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne).

Kattorakenteen ammoniakkiemissiot olivat M2-luokkaa eli alle  $60 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  kohteissa 2, 4 ja 7. Alhaisimmat, M1-luokkaa vastaavat eli alle  $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ammoniakkiemissiot mitattiin kohteissa 5 ja 6. Näissä kahdessa kohteessa mitattiin kattorakenteesta myös alhaisimmat, selvästi alle M1-luokan eli alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  formaldehydiemissiot. Muissa mitatuissa kohteissa formaldehydiemissio oli alle  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , mikä vastaa rakennusmateriaaliluokituksen M2-luokkaa.



Kuva 15. Kattorakenteen ammoniakkiemissio luovutusvaiheessa (pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne).



### 3.2.6 Seinärakenne luovutusvaiheessa

Seinärakenteesta luovutusvaiheessa mitatut tulokset esitetään taulukoissa 18 ja 19 sekä kuvissa 16 ja 17.

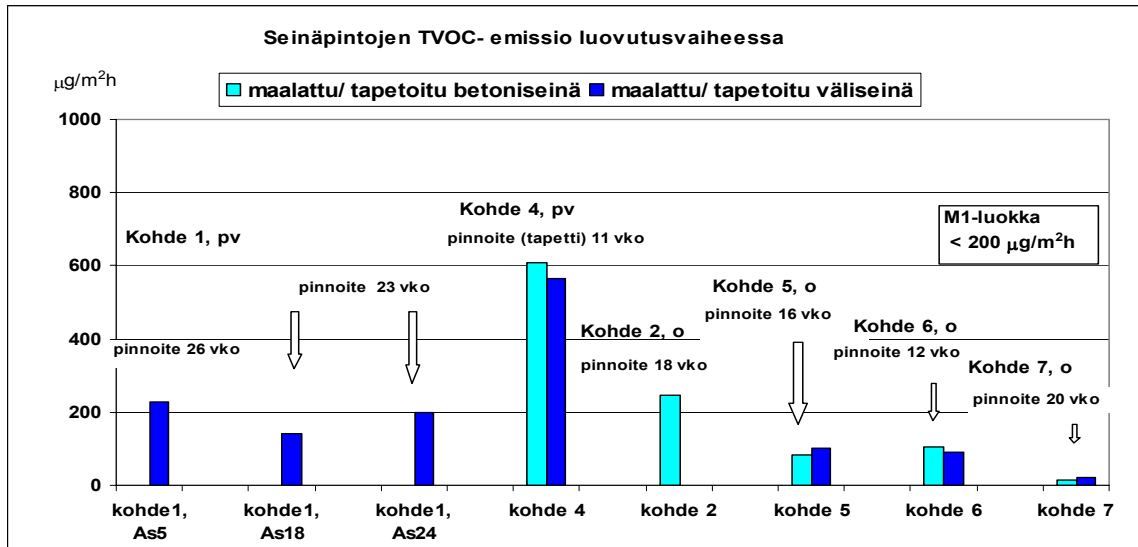
*Taulukko 18. Betonirakenteisesta seinästä suoritettavat mittaukset juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

Pintamaali/ pohjamaali, levityssikä (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH sisäilma, pinta (%)	T, pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA		
2/ 2, 18 vko (2)	248	9	7	27	24
tapetti/ 4, 11 vko (4)	610	58	*	53	22
1/ 1, 16 vko (5)	82	13	8	46	30
3/ 3, 12 vko (6)	14	6	3	28	22
1/ 1, 20 vko (7 as. 17)	104	25	11	15	34

*Taulukko 19. Kipsirakenteisesta seinästä suoritettavat mittaukset juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

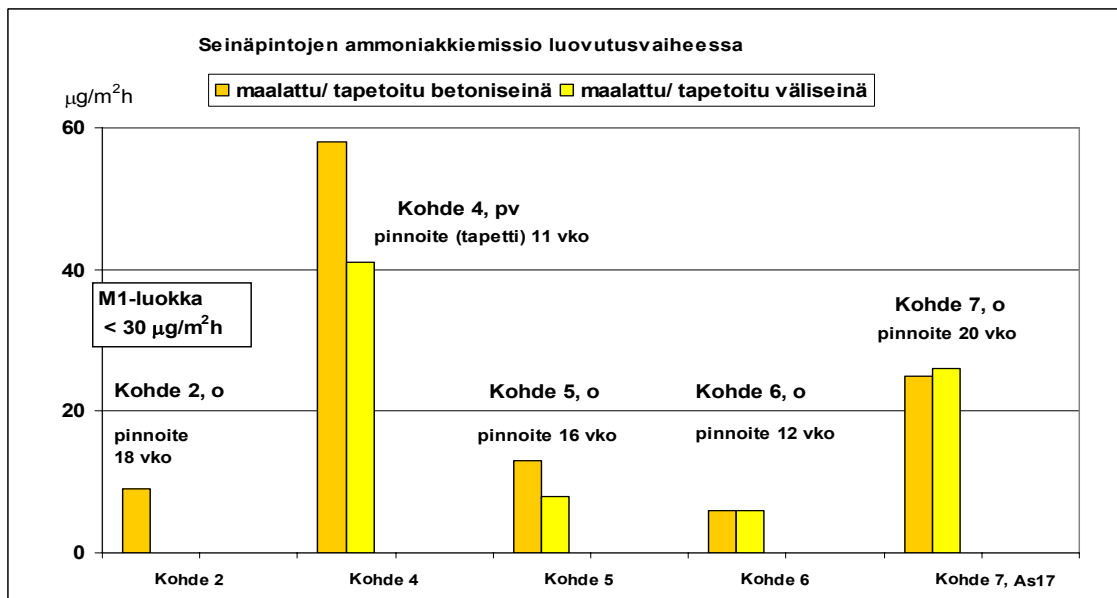
Pintamaali/ pohjamaali, levityssikä (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH sisäilma, pinta (%)	T, pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA		
1/ 1, 26 vko (1 as. 5)	230	*	*	64	23
1/ 1, 23 vko (1 as. 18)	140	*	*	59	25
1/1, 23 vko (1 as. 24)	200	*	*	55	25
tapetti/ 4, 11 vko (4)	564	41	*	44	21
1/1, 16 vko (5)	100	8	7	37	30
3/3, 12 vko (6)	20	6	5	26	22
1/1, 20 vko (7 as. 17)	90	26	9	20	28

Maalattujen betoni- ja kipsilevyseinien TVOC-emissiot olivat luovutusvaiheessa, kun valmiin rakenteen ikä oli 12–26 viikkoa, lähes M1-luokkaa eli alle 200 µg/m<sup>2</sup>h. Kohteen 4 tapetoidun seinän TVOC-emissio oli selvästi maalattuihin pintoihin verrattuna korkeampi ja tasolla 600 µg/m<sup>2</sup>h, kun tapetin liimauksesta oli kulunut 11 viikkoa. Seinärakenteesta tunnistettuja VOC-yhdisteitä käsitellään kohdassa 3.4.3.



Kuva 16. Seinäpintojen TVOC-emissio luovutusvaiheessa (pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne).

Maalattujen betoni- ja kipsilevyseinien ammoniakkiemissiot olivat luovutusvaiheessa lähes M1-luokkaa. Tapetoidusta seinästä mitattiin myös maalattuun pintaan verrattuna korkeampi ammoniakkiemissio, n. 60 µg/m<sup>2</sup>h, mikä vastaa M2-luokkaa. Maalattujen betoni- ja kipsilevyseinien formaldehydiemissiot olivat hyvin pienet, alle 10 µg/m<sup>2</sup>h, mikä vastaa rakennusmateriaaliluokituksen M1-luokkaa.



Kuva 17. Seinäpintojen ammoniakkiemissio luovutusvaiheessa (o = ontelorakenne, pv = paikalla valettu rakenne).

### 3.3 Rakennusaikaiset sisäilmamittaukset

#### 3.3.1 Lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa

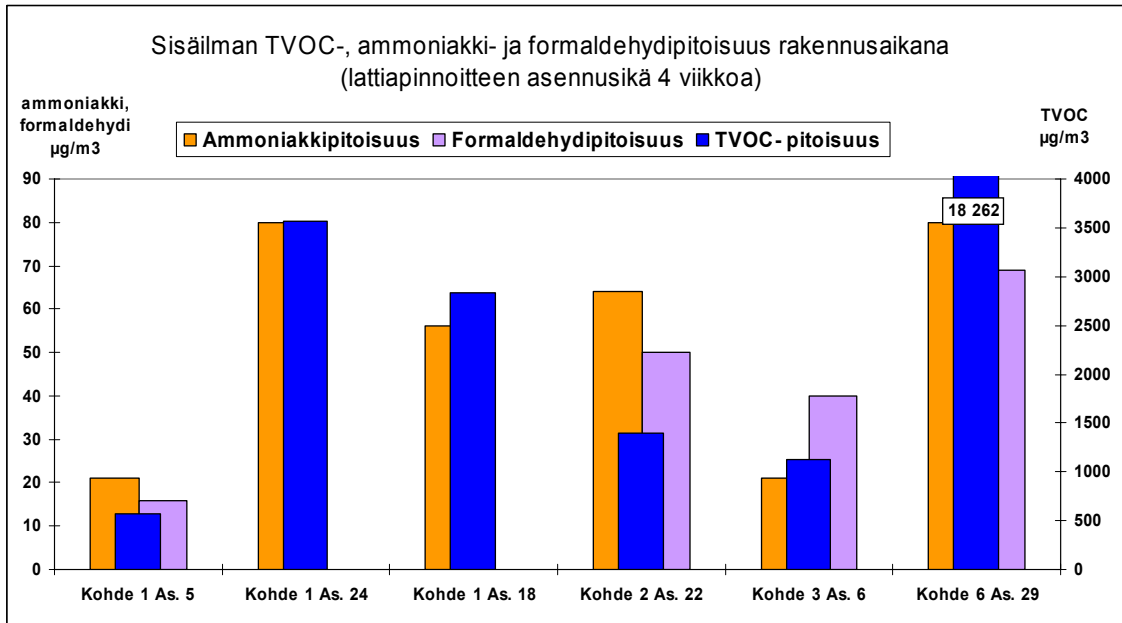
Ensimmäinen sisäilmamittaus rakennusaikana suoritettiin, kun pinnoitteen asennusikä oli neljä viikkoa. Taulukossa 20 ja kuvissa 18 ja 19 esitetään sisäilman TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuudet sekä samanaikaisesti määritetty sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila kohteissa 1, 2, 3 ja 6.

*Taulukko 20. Sisäilman pitoisuudet, suhteellinen kosteus ja lämpötila kun lattiapinnoitteen asennusikä on 4 viikkoa (\* ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

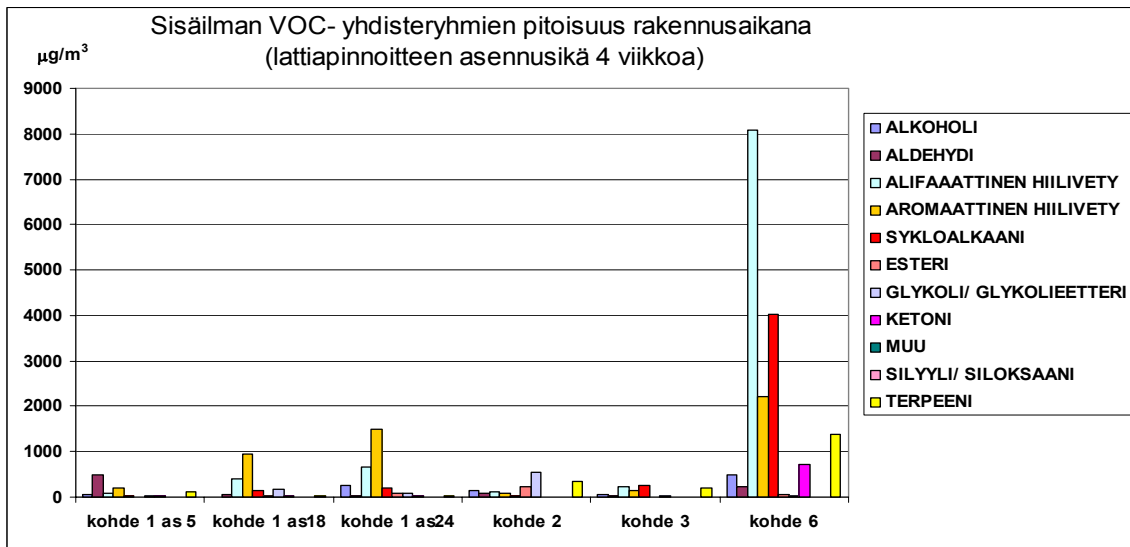
Kohde, rakenne, lattiapinnoite	Pitoisuus (µg/m <sup>3</sup> )			RH sisäilma (%)	T (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA		
1, as. 5, paikallavalu, parketti 1	566	21	16	22	19
1, as. 18, paikallavalu, parketti 1	2 827	56	*	38	26
1, as. 24, paikallavalu, parketti 1	3 570	80	*	36	27
2, elementtirakenne, PVC 3	1 400	64	50	38	26
3, paikallavalu, parketti 1	1 130	21	40	41	19
6, elementtirakenne + pintalaatta, parketti 2	18 262	80	69	44	24

Neljä viikkoa pinnoitteen asennuksesta mitattiin yli 500 µg/m<sup>3</sup> TVOC-pitoisuus kaikissa mitatuissa kohteissa. Rakennusaikana sisäilman TVOC-pitoisuus vaihteli paljon riippuen siitä, mihin työvaiheeseen sisäilmamittaus ajoittui; kohteissa 1 ja 6 maalaustöiden aikana mitatut pitoisuudet olivat 3 000–18 000 µg/m<sup>3</sup>. Yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat rakennusaikana mitattuna jopa 2 000 µg/m<sup>3</sup>. Maalaustöiden aikana otetut näytteet sisälsivät pääasiassa alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä sekä sykloalkaaneja (kuva 19).

Sisäilman ammoniakkipitoisuus oli myös koholla maalaustöiden aikana. Tällöin mitattu sisäilman ammoniakkipitoisuus oli jopa 80 µg/m<sup>3</sup>, kun taas muina mittausajankohtina pitoisuus oli S1-luokkaa eli alle 30 µg/m<sup>3</sup>. Sisäilman formaldehydipitoisuus oli korkeimmillaan S3-luokkaa eli tasolla 70 µg/m<sup>3</sup>, kun maalaustöitä oli käynnissä.



Kuva 18. Sisäilman TVOC-, ammoniaki- ja formaldehydipitoisuus rakennusaikana (lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa).



Kuva 19. Sisäilman VOC-yhdisteryhmien pitoisuus rakennusaikana, lattiapinnoitteen asennusikä neljä viikkoa.

### 3.3.2 Luovutusvaihe

Luovutusvaiheessa mitattiin kaikissa kohteissa sisäilman pitoisuudet ja samanaikaisesti määritettiin sisäilman suhteellinen kosteus, lämpötila sekä ilmanvaihtokerroin (taulukko 21, kuvat 20 ja 21). Ilmanvaihto oli ollut kaikissa kohteissa toiminnassa yli kaksi viik-

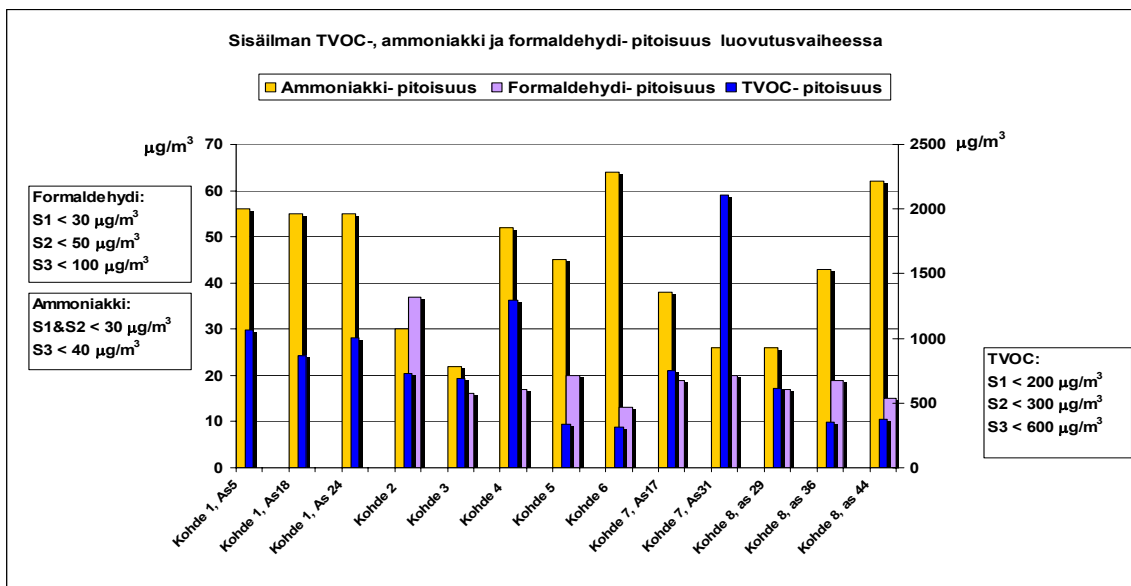
koa, paitsi kohteessa 7, jossa ilmanvaihto saatiin toimimaan vasta luovutusviikolla (neljä päivää ennen sisäilmamittausta). Kohteiden viimeinen rakennustyövaihe oli suoritettu 13–26 viikkoa ennen luovutusvaiheen sisäilmamittausta (taulukko 22). Viimeinen työvaihe oli tavallisesti lattiapinnoitteen asennus. Sisäilmasta suoritettujen mittausten tulokset esitetään taulukossa 21 ja ilmanvaihdon toiminta-aika sekä viimeisestä työvaiheesta kulunut aika taulukossa 22. Kohteen 1 asuntoihin 18 ja 24 asennettiin asukkaiden pyynnöstä parkettilattiat rakennusaikana tutkittujen muovimattopinnoitteiden päälle (PVC 1 ja 2). Seurantamittauksissa näiden muovimattopinnoitteiden emissiomittaukset suoritettiin kaapiston alapohjaan asennetusta pinnoitteesta sekä siihen tehdyn, avattavissa olevan luukun alta.

*Taulukko 21. Sisäilman pitoisuudet, suhteellinen kosteus, lämpötila ja ilmanvaihtokerroin tutkimuskohteissa juuri ennen luovutusta (\* ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila, IVK = ilmanvaihtokerroin).*

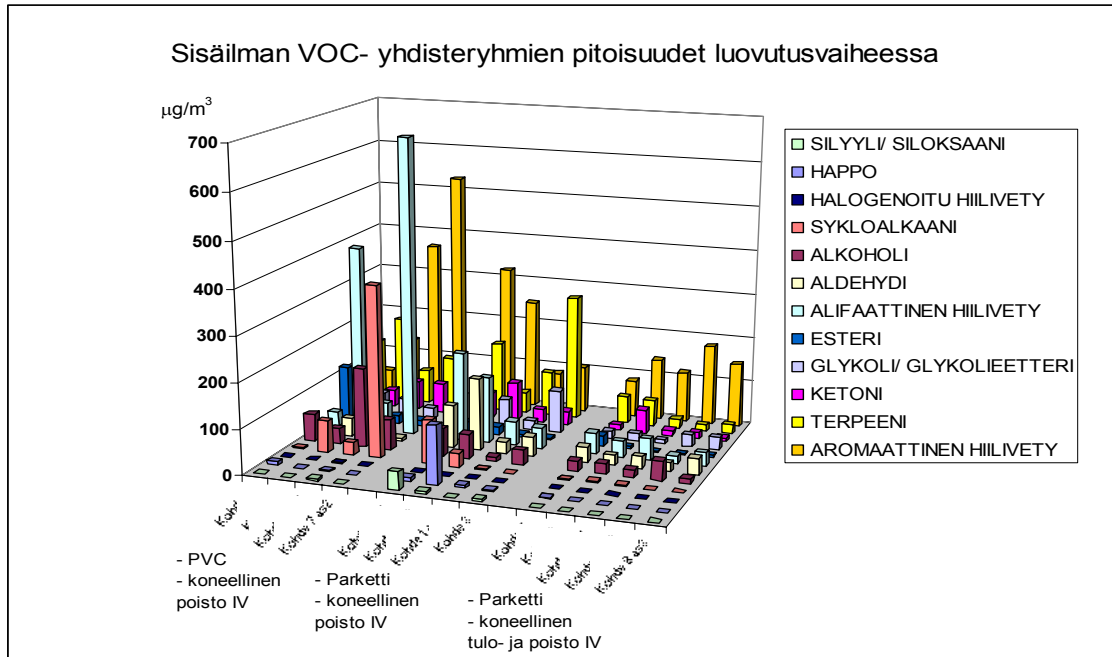
Kohde, Rakenne, lattiapinnoite	Pitoisuus (µg/m <sup>3</sup> )			RH sisäilma (%)	T (°C)	IVK (h <sup>-1</sup> )
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA			
1, as. 5, paikallavalu, parketti 1	1 068	56	*	64	23	1,06
1, as. 18, paikallavalu, parketti 1	865	56	*	59	25	1,61
1, as. 24, paikallavalu, parketti 1	1 007	55	*	54	25	1,47
2, elementtirakenne, PVC 3	730	30	37	37	24	1,13
3, paikallavalu, parketti 1	690	22	16	26	23	0,94
4, paikallavalu, PVC 4	1 300	52	17	53	23	0,82
5, elementtirakenne, parketti 2	335	45	20	53	30	1,00
6, elementtirakenne + pintalaatta, parketti 2	311	64	13	35	22	0,70
7, as. 17, elementtirakenne, PVC 5	755	38	19	38	18	1,03
7, as. 31, elementtirakenne, PVC 6	2 106	26	20	37	18	0,99
8, as. 29, paikallavalu, parketti 3	617	26	17	43	27	*
8, as. 36, paikallavalu, parketti 4	352	43	19	41	27	*
8, as. 44, paikallavalu, parketti 5	379	62	15	43	26	*

Taulukko 22. Ilmanvaihdon toiminta-aika ja viimeisestä työvaiheesta kulunut aika sisäilmamittaushetkellä juuri ennen luovutusta.

Kohde	Ilmanvaihdon toiminta-aika (vko)	Viimeisestä työvaiheesta kulunut aika (vko), työvaihe
1, as. 5	8	26, parkettiasennus
1, as. 18	8	13, PVC-asennus
1, as. 24	8	13, PVC-asennus
2	2	15, PVC-asennus
3	12	28, parkettiasennus
4	2	12, maalaus
5	4	13, parkettiasennus
6	2	11, parkettiasennus
7, as. 17	0,5	13, PVC-asennus
7, as. 31	0,5	13, PVC-asennus



Kuva 20. Sisäilman TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuus juuri ennen luovutusta sekä sisäilmastoluokituksen tavoitearvot eri S1-, S2- ja S3-luokille [Sisäilmäyhdistys ry].



*Kuva 21. Sisäilman VOC-yhdisteryhmien pitoisuudet luovutusvaiheessa.*

Sisäilman TVOC-pitoisuus ennen luovutusta oli tutkimuskohteissa 300–2 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Suurin pitoisuus mitattiin kohteessa 7, missä ilmanvaihto ollut toiminnassa vain neljä päivää. Tavallisesti ilmanvaihto oli ollut kohteissa käynnissä useita viikkoja ennen luovutusta, ja silloin mitattu TVOC-pitoisuus oli tasolla 1 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  eli yli S3-luokan tavoitearvon 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kohteissa 5, 6 ja 8 mitattiin alhaisin, S2–S3-luokkia vastaava pitoisuus eli 300–600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Yhdistävä tekijä näille kolmelle kohteelle oli se, että niissä oli ilmanvaihtojärjestelmänä koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, kun taas muissa tutkimuskohteissa oli ainoastaan koneellinen poistoilmajärjestelmä. Luovutusvaiheessa tunnistetut yksittäisten VOC-yhdisteet esitetään yhdisteryhmittäin kuvassa 21. Yksittäisiä VOC-yhdisteitä tunnistettiin luovutusvaiheessa mittauskohteiden sisäilmanäytteistä yhteensä yli 250 kpl. Uusissa rakennuksissa mitataan tavallisesti alifaattisia- ja aromaattisia hiilivetyjä, sykloalkaaneja, alkoholeja, aldehydejä, ketoneja, glykoleja ja glykolieettereitä sekä terpeenejä. Edellä mainittujen yhdisteryhmien pitoisuustasot olivat 15–700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  niissä kohteissa, joissa oli ainoastaan koneellinen poistoilmajärjestelmä. Kohteissa, joissa oli koneellisen poistoilmajärjestelmän lisäksi koneellinen tuloilma, olivat VOC-yhdisteryhmien pitoisuudet selvästi alhaisemmalla tasolla, 15–200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Yksittäisten VOC-yhdisteiden perusteella voidaan todeta, että PVC- ja parkettikohteiden välillä ei ole merkittävää TVOC:n koostumukseen liittyvää eroa.

Sisäilman ammoniakkipitoisuus oli luovutusvaiheessa seitsemässä mittauspisteessä yli S3-luokan eli yli 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kahdessa mittauspisteessä S2–S3-luokkia eli alle 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja neljässä mittauspisteessä S1-luokkaa eli alle 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuudet eivät riippuneet ilmanvaihdon toiminta-ajasta, ilmanvaihtojärjestelmästä tai viimeisen työvaiheen ajan-

kohdasta; esimerkkinä kohde 7, jossa mitattiin S1-luokkaa vastaava ammoniakkipitoisuus, kun ilmanvaihto oli ollut toiminnassa vasta neljä päivää.

Formaldehydipitoisuus oli kohteissa 3–8 S1-luokkaa eli alle 30 µg/m<sup>3</sup> ja kohteessa 2 S2-luokkaa vastaava eli alle 50 µg/m<sup>3</sup>.

Yhteenvetona voidaan sisäilmamittausten tuloksista todeta, että uusissa asuinrakennuksissa ei tavallisesti luovutusvaiheessa saavuteta Sisäilmastoluokituksen määrittämiä tavoitearvoja TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuuden suhteen, vaikkakin käytetään M1-luokiteltuja pinnoitemateriaaleja.

### 3.4 Rakenteiden emissio- ja kosteusmittaukset ensimmäisen käyttövuoden aikana

#### 3.4.1 Lattiarakenne 6 ja 12 kuukautta luovutuksen jälkeen

Tutkimuskohteiden lattiarakenteen emissioita seurattiin 6 ja 12 kuukautta rakennuksen luovutuksesta ja käyttöönotosta. Mittaukset suoritettiin, kuten aikaisemmin rakennusaikana, eli emissiot mitattiin lattiapinnoitteen päältä sekä sen alla olevasta rakenteesta 1 ja 3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen. Mittaustulokset esitetään taulukoissa 23–31 sekä kuvissa 22–31.

*Taulukko 23. Lattiapinnoitteesta suoritettavat mittaukset 6 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta, \*\* kuivumisprofiilin perusteella tehty arvio, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

Pinnoite, asennusikä (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH rakenne (%)	RH sisäilma, pinta (%)	T, rakenne tai pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA			
Parketti 1, 49 vko (1 as. 5)	80	10	6	82**	25	* / 23
PVC 1, 48 vko (1 as. 18)	174	1	*	82**	16	* / 25
PVC 2, 47 vko (1 as. 24)	71	2	<5	82**	18	* / 26
PVC 3, 39 vko (2)	336	2	10	73**	52	* / 27
Parketti 1, 38 vko (3)	18	2	<5	78**	62	* / 23
PVC 4, 33 vko (4)	84	13	6	76**	26	20 / 23
Parketti 2, 35 vko (5)	38	18	<5	46 / 40	23	23 / 22
Parketti 2, 30 vko (6)	184	6	<5	66 / 20	45	22 / 23
PVC 5, 35 vko (7 as. 17)	45	11	<5	76 / 80	29	* / 25
PVC 6, 35 vko (7 as. 31)	106	16	<5	71 / 80	30	* / 23



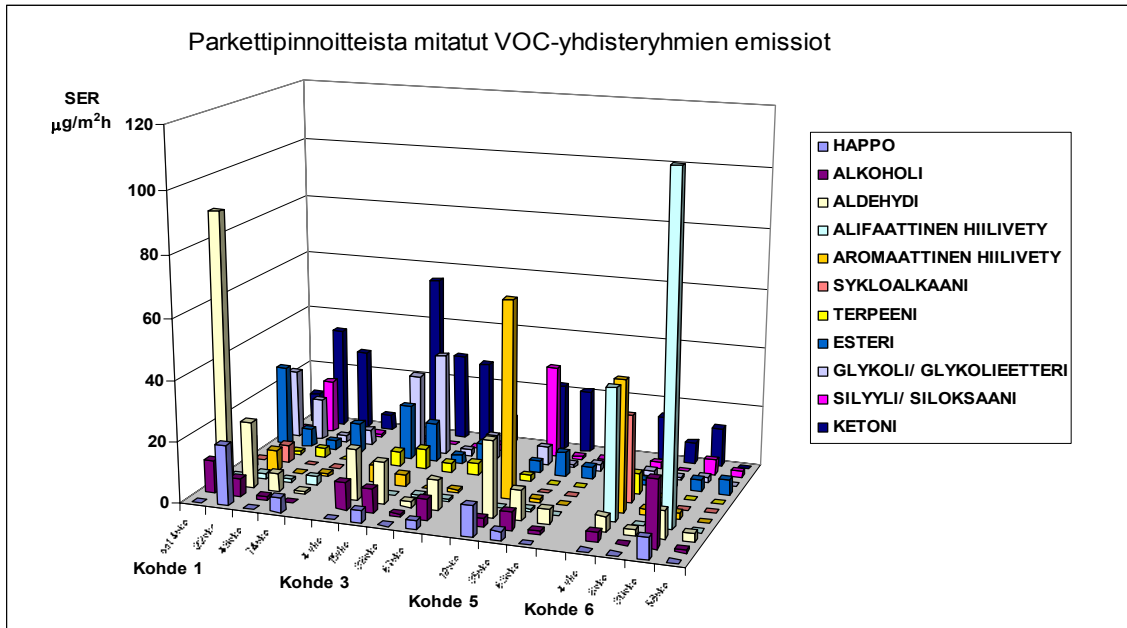
Taulukko 24. Lattiapinnoitteesta suoritettavat mittaukset 12 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta, \*\* kuivumisprofiilin perusteella tehty arvio, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).

Pinnoite, ikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH rakenne (%)	RH sisäilma, pinta (%)	T, rakenne/pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA			
Parketti 1, 74 vko (1 as. 5)	33	10	5	78 / 50	74	25 / 24
PVC 1, 72 vko (1 as. 18)	119	<5	10	78 / 50	47	25 / 25
PVC 2, 71 vko (1 as. 24)	60	5	<5	78 / 50	50	25 / 27
PVC 3, 69 vko (2)	191	20	*	61 / 60	25	22 / 23
Parketti 1, 67 vko (3)	47	37	8	69	33	* / 23
PVC 4, 55 vko (4)	125	6	*	73	42	* / 27
Parketti 2, 63 vko (5)	21	7	6	46 / 40	33	23
Parketti 2, 59 vko (6)	12	6	2	61 / 20	20	22 / 21
PVC 5, 63 vko (7 as. 17)	30	3	5	72 / 80	22	* / 21
PVC 6, 63 vko (7 as. 31)	179	2	4	65 / 80	30	* / 21

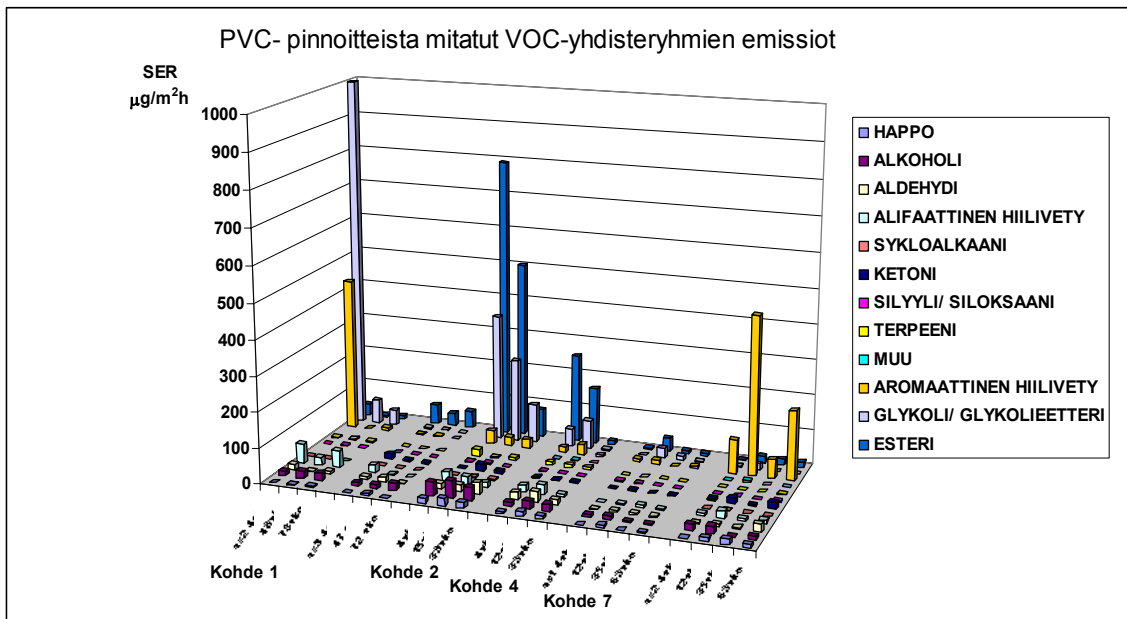
PVC 1, 3- ja 4-pinnoitteiden päältä mitatut TVOC-emissiot laskivat tasaisesti ensimmäisen käyttövuoden aikana M1-luokkaa vastaavalle tasolle eli alle 200 µg:aan/m<sup>2</sup>h. Muissa PVC- sekä parkettikohteissa lattiapinnoitteen TVOC-emissio oli kaikissa seurantamittauksissa edelleen M1-luokan tasolla.

Parkettipinnoitteelle tyypilliset VOC-yhdisteet olivat neljä viikkoa asennuksesta aldehydit, ketonit sekä terpeenit, joiden emissiotasot olivat luokkaa 40 µg/m<sup>2</sup>h tai vähemmän. Kohteen 1 neljän viikon ikäisestä parkettipinnoitteesta mitattiin yli 80 µg:n/m<sup>2</sup>h terpeniyhdisteiden emissiotaso. VOC-yhdisteryhmien emissiotasot laskivat 20 µg:aan/m<sup>2</sup>h tai sen alle seurantamittauksissa. Kohteen 6 parkettipinnoitteesta kuuden kuukauden seurantamittauksessa mitattu alifaattisten hiilivetyjen emissio oli lähes 100 µg/m<sup>2</sup>h, ja todettiin, että hiilivedyt koostuivat korkeammalla kiehuista yhdisteistä (tetra-, penta- ja heksadekaani). Emissiot olivat pienentyneet hyvin pienelle tasolle seuraavassa seurantamittauksissa. PVC-pinnoitteiden päältä mitattiin hyvin erilaisia VOC-yhdisteiden emissioita riippuen käytetystä pinnoitteesta sekä sen asennuksesta käytetystä liimasta. Kohteiden 2 ja 4 PVC-pinnoitteiden päältä mitattiin suhteellisen korkeita emissioita (yli 100 µg/m<sup>2</sup>h) esteriyhdisteitä sekä glykoleja tai glykolieettereitä. Kohteissa 1 ja 7 (asunto 2) mitattiin PVC-pinnoitteiden emissioista lisäksi aromaattisia hiilivetyjä. Taulukossa 25 esitetään PVC-pinnoitteiden emissioista tunnistettujen alkoholiyhdisteiden emissiot 12 kuukauden seuranta-mittauksessa. Tavallisin PVC:stä tunnistettu alkoholiyhdiste oli





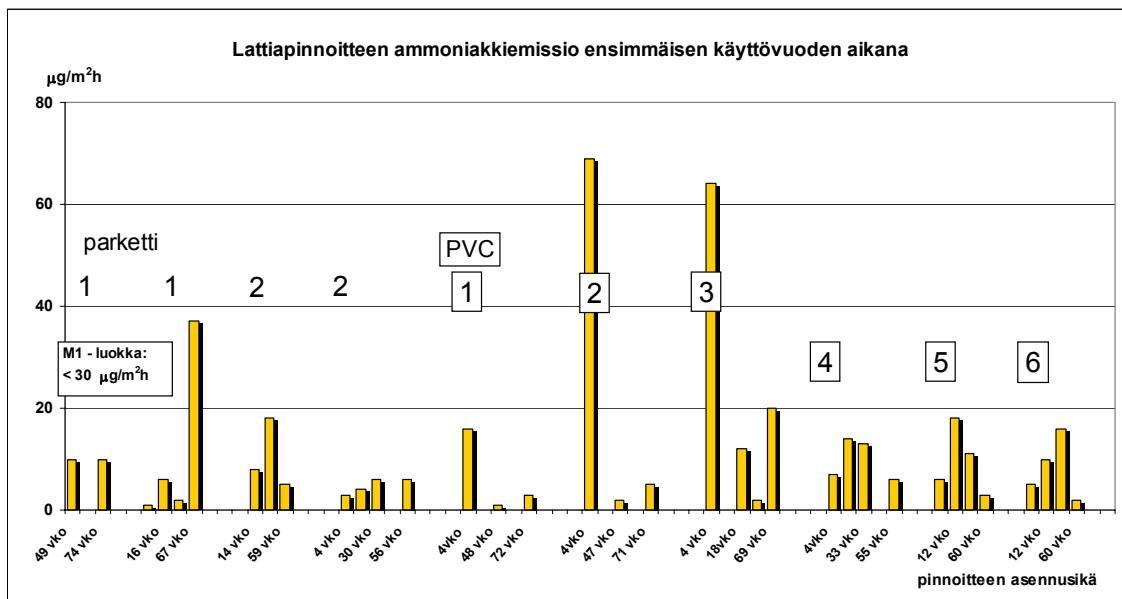
Kuva 23. Parkettipinnoitteen päältä mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat.



Kuva 24. PVC-pinnoitteen päältä mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat.

Taulukko 25. PVC-pinnoitteen päältä mitatut alkoholiyhdisteiden emissiot 12 kuukauden seurantamittauksissa (\* = tulos alle määrittysrajan).

Pinnoite + liima, ikä rakenteessa	Emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$				
	1-butanoli	2-etyyli-1-heksanoli	bentsyyli-alkoholi	fenoli	trimetyyli-silanoli
PVC 1 + liima 1 78 vko	1	5	1	1	1
PVC 2 + liima 2 72 vko	1	3	*	*	*
PVC 3 + liima 3 69 vko	5	16	5	*	*
PVC 4 + liima 4 55 vko	7	12	4	*	*
PVC 5, irtoasennettu 63 vko	*	3	*	4	2
PVC 6 + liima 1 63 vko	*	*	*	9	*



Kuva 25. Lattiapinnoitteen ammoniakkiemissio ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta.

Taulukko 26. Lattiarakenteen TVOC-emissio 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen 6 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta).

Pinnoite (kohde)	TVOC- emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	2 709	308	*	351
PVC 1+ liima 1 (1 as. 18)	648	283	255	167
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	1 1364	4 3856	*	2 812
PVC 3 + liima 3 (2)	*	1 070	782	803
Parketti 1 (3)	*	549	*	*
PVC 4 + liima 4 (4)	*	166	*	*
Parketti 2 (5)	*	539	*	298
Parketti 2 (6)	*	287	182	243
PVC 5 + liima 1 (7 as. 17)	*	2 600	*	1 228
PVC 6 (7 as. 31)	*	1 863	*	1 208

Taulukko 27. Lattiarakenteen ammoniakkiemissio 0–3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen 6 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta).

Pinnoite (kohde)	Ammoniakkiemissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	124	53	*	33
PVC 1 + liima 1 (1 as. 18)	550	99	180	138
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	241	77	*	64
PVC 3 + liima 3 (2)	*	*	22	52
Parketti 1 (3)	*	97	*	*
PVC 4 + liima 4 (4)	*	306	*	*
Parketti 2 (5)	*	53	*	61
Parketti 2 (6)	*	86	91	32
PVC 5 + liima 1 (7 as. 17)	*	226	*	56
PVC 6 (7 as. 31)	*	213	*	97

Taulukko 28. Lattiarakenteen TVOC- ja ammoniakkiemissio 1 ja 3 päivää pinnoitteen poiston jälkeen 12 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta).

Pinnoite (kohde)	TVOC SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )		Ammoniakki SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )	
	1. päivä	3. päivä	1. päivä	3. päivä
Parketti 1 (1 as. 5)	303	253	50	43
PVC 1 + liima 1 (1 as. 18)	135	96	69	29
PVC 2 + liima 2 (1 as. 24)	3 473	2 243	92	57
PVC 3 + liima 3 (2)	315	212	42	24
Parketti 1 (3)	233	*	91	*
PVC 4 + liima 4 (4)	302	*	450	*
Parketti 2 (5)	300	216	74	45
Parketti 2 (6)	153	124	46	48
PVC 5 + liima 1 (7 as. 17)	1 748	1 178	95	40
PVC 6 (7 as. 31)	1 309	961	104	56

Taulukko 29. Sisäilman kosteus- ja lämpötilamittaukset emissio-mittausten yhteydessä 6 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta).

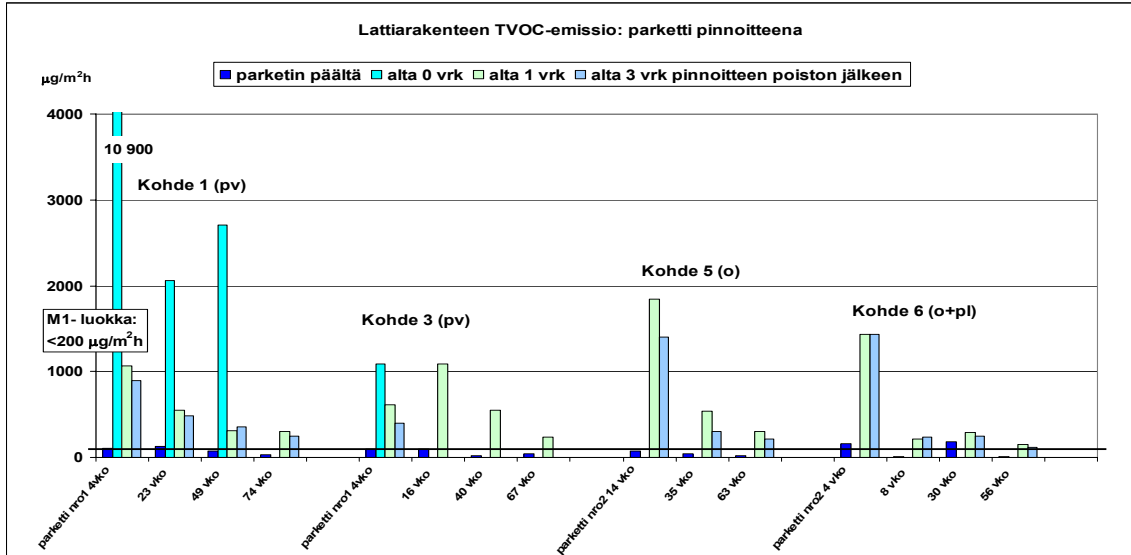
Kohde	Sisäilman kosteus, pinnoitteen alapuolinen pinta (%)				Lämpötila, pinnoitteen alapuolinen pinta (°C)			
	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä	0. päivä	1. päivä	2. päivä	3. päivä
1, as. 5	31	31	*	27	23	23	*	23
1, as. 18	18	21	21	24	24	24	24	24
1, as. 24	22	23	*	20	26	26	*	26
2	*	42	40	40	*	26	26	26
3	*	58	*	*	*	23	*	*
4	*	27	*	*	*	19	*	*
5	*	23	*	17	*	23	*	23
6	*	52	47	47	*	22	22	22
7, as. 17	*	31	*	38	*	25	*	26
7, as. 31	*	29	*	31	*	25	*	25

Taulukko 30. Sisäilman kosteus- ja lämpötilamittaukset emissiomittausten yhteydessä 12 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta).

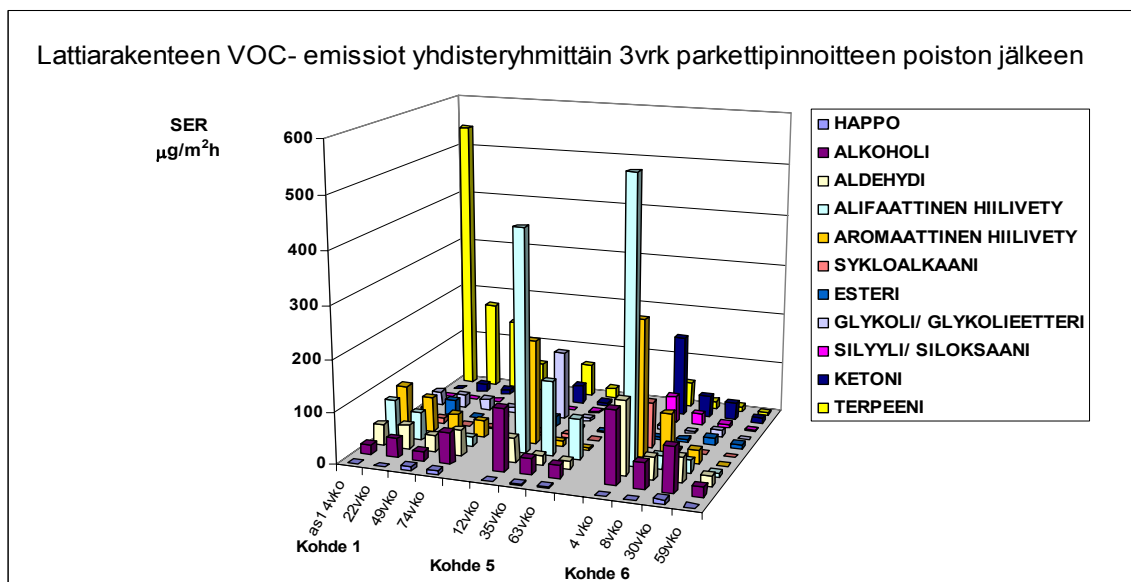
Kohde	Sisäilman kosteus, pinnoitteen alapuolinen pinta (%)		Lämpötila, pinnoitteen alapuolinen pinta (°C)	
	1. päivä	3. päivä	1. päivä	3. päivä
1, as. 5	62	57	24	24
1, as. 18	44	47	25	25
1, as. 24	48	45	27	27
2	26	30	23	22
3	30	*	23	*
4	43	*	27	*
5	36	39	25	26
6	30	28	21	22
7, as. 17	22	27	21	21
7, as. 31	27	28	22	22

Lattiarakenteen 3. päivänä parkettipinnoitteen poiston jälkeen mitattu TVOC-emissio pysytteli tasolla 150–350  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  6 ja 12 kk rakennuksen käyttöönotosta suoritetuissa seurantamittauksissa. TVOC-luku muodostui terpeeneistä, alifaattisista- ja aromaattisista hiilivedyistä, alkoholeista, aldehydeistä sekä ketoneista. Seurantamittauksissa näiden yhdisteryhmien summat olivat selvästi alle 100  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  tasolla. PVC-pinnoitteen alta mitatut vastaavat TVOC-emissiot olivat käytetyn PVC-tuotteen ja liiman mukaan 100–3 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . TVOC-emissiotasot vaihtelivat edelleen paljon käytettyjen PVC-tuotteiden ja liimojen välillä, ja tämä ero korostui pitkällä aikavälillä. Esimerkkinä voidaan vertailuna tarkastella kohteen 1 kahta eri PVC-tyyppiä (PVC 1 ja 2), joiden läpäisevyys VOC-yhdisteille oli hyvin erilainen. PVC 1 on selvästi ”huokoisempi” ja 6–12 kuukauden seurantamittauksien tuloksista voitiin havaita, että pinnoitteen alta, rakenteesta peräisin olevat VOC-yhdisteet ”tuulettuvat” tämän PVC-tyypin lävitse ensimmäisenä käyttövuotena kun sen sijaan PVC 2 pidättää yhdisteet alla olevaan rakenteeseen. Kohteen 2 PVC 3 oli myös tyypiltään huokoinen VOC-yhdisteille, kun taas kohteen 7 molemmat PVC-pinnoitteet olivat tiiviitä. Yksittäisiä VOC-yhdisteitä tarkasteltaessa voitiin todeta, että tavallisimpia yhdisteitä eri PVC-tyyppien alapuolisesta rakenteesta mitattuna olivat alkoholit, alifaattiset- ja aromaattiset hiilivedyt, glykolit tai glykolieetterit, terpeenit sekä esterit. Eri kohteiden välillä oli suuria eroja erityisesti esterit- ja aromaattisten yhdisteiden osalta, joiden emissiot olivat joissakin kohteissa jopa tasolla 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  tai korkeammat. Tavallisimmat rakenteesta pinnoitteen poiston jälkeen tunnistetut alkoholiyhdisteet olivat etanolin lisäksi 2-etyyli-heksanoli sekä n-butanoli. 2-etyyli-heksanolin emissiotaso oli tiiviin PVC:n alapuolisesta rakenteesta (kohde 1, asunto 3 sekä kohde 7) mitattuna 4–81  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja huokoisen PVC:n alapuolisesta rakenteesta

mitattuna 5–14  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Vastaavat n-butanolin emissiot olivat 10–31  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ("tiivis" PVC) ja 3–12  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ("huokoinen" PVC). Kohteen 7 ensimmäisessä asunnossa mitattiin irtoasennetun PVC:n alapuolisesta rakenteesta suhteellisen korkea (>100  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) metyyli-propanolin emissio.

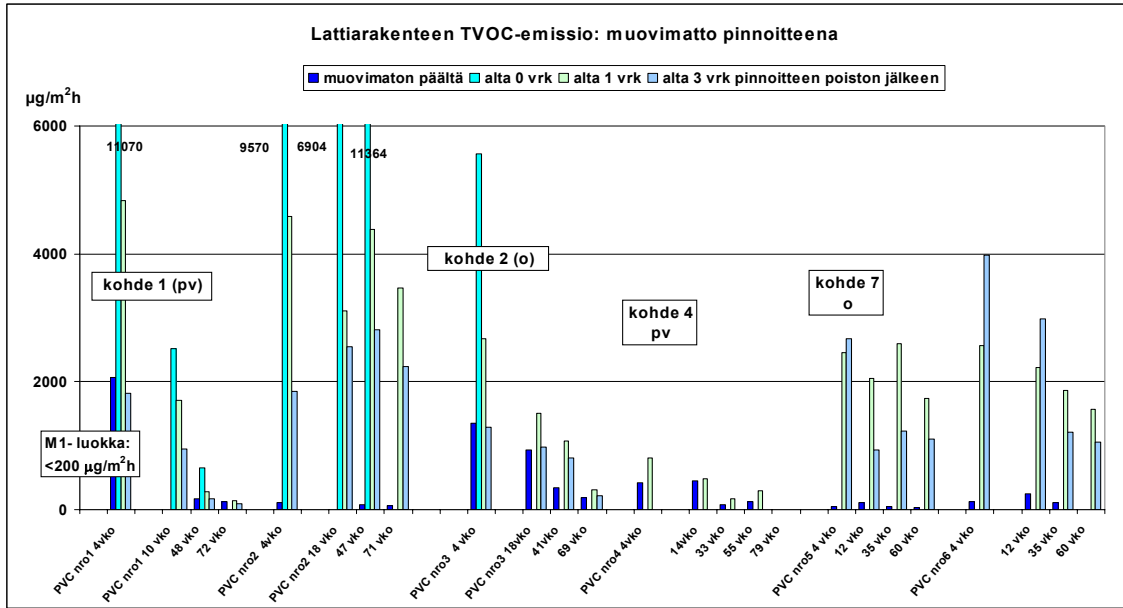


Kuva 26. Lattiarakenteen TVOC-emission kehittyminen ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta, lattiapinnoitteena parketti (pinnoitteen asennusikä 4–74 viikkoa, pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne, o + pl = ontelorakenne jonka päällä pintavalu).

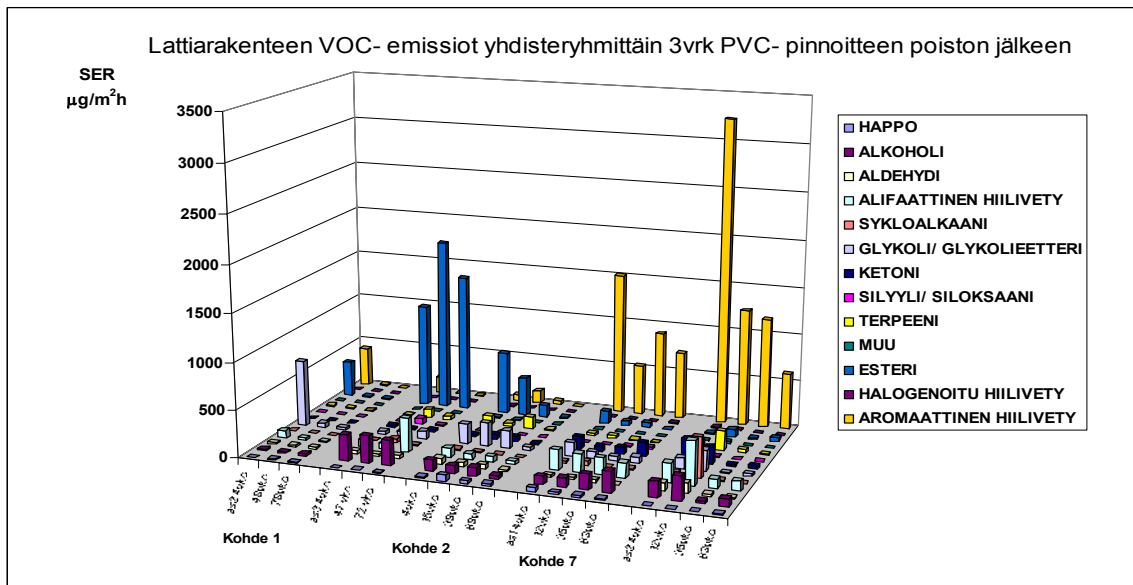


Kuva 27. Parkettipinnoitteen alapuolisesta rakenteesta mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kolme vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen.





Kuva 28. Lattiarakenteen TVOC-emission kehittyminen ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta, lattiapinnoitteena PVC (pinnoitteen asennusikä 4–72 viikkoa, pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne).

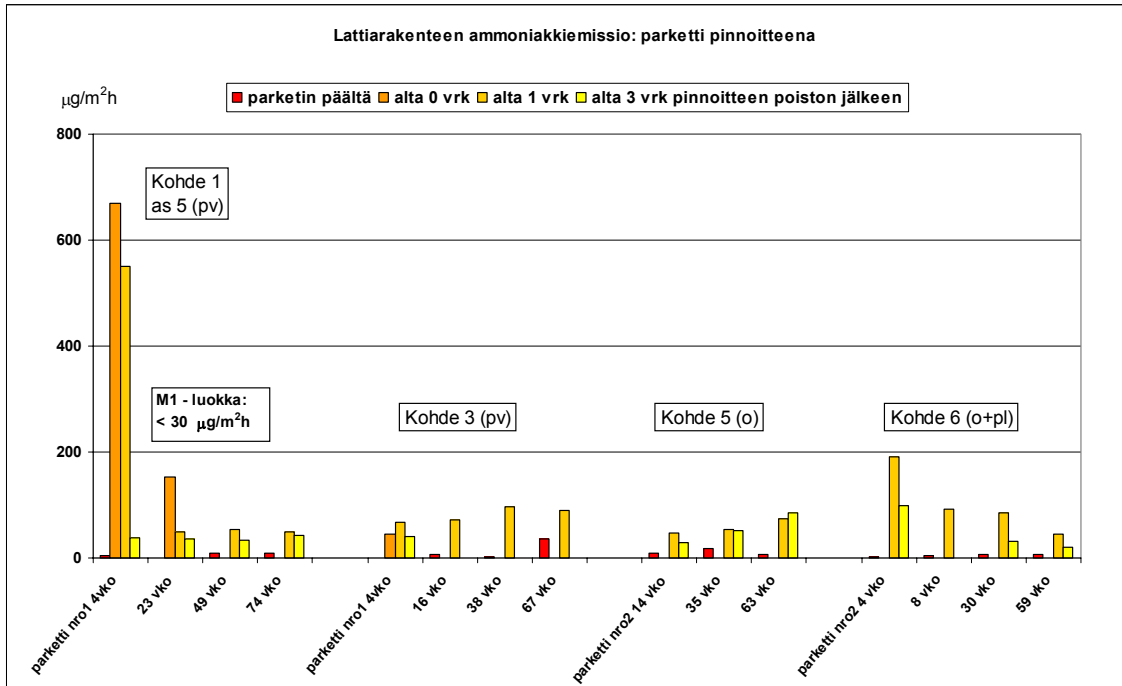


Kuva 29. PVC-pinnoitteen alapuolisesta rakenteesta mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kolme vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen.

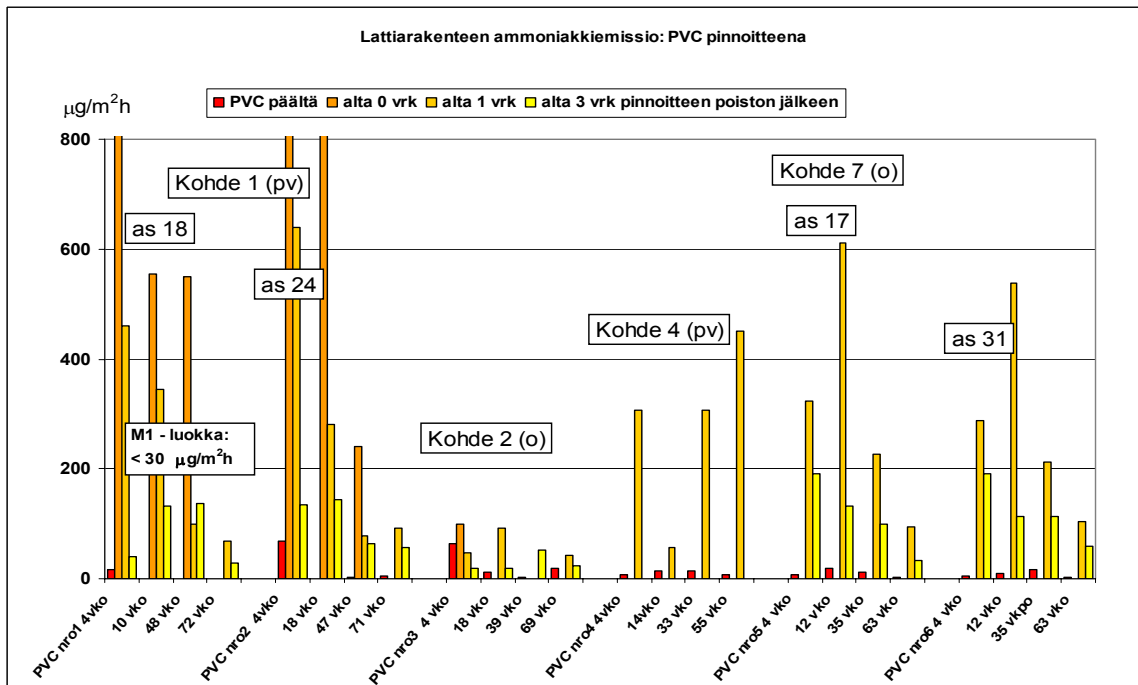
Taulukko 31. PVC-pinnoitteen alapuolisen rakenteen alkoholiyhdisteiden emissiot kolme vuorokautta pinnoitteen poiston jälkeen 12 kuukauden seurantamittauksissa (\* = tulos alle määrittämissrajat).

	PVC 1 + liima 1 78 vko	PVC 2 + liima 2 72 vko	PVC 3 + liima 3 69 vko	PVC 5 irtoas. 63 vko	PVC 6 + liima 1 63 vko
YHDISTE	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) 3 vrk				
1-butanoli	3	20	12	31	10
1-heptanoli	*	*	*	4	3
5-metyyli-1-heptanoli	1	3	*	*	*
2-etyyli-1-heksanoli	5	81	14	11	4
4-metyyli-1-heksanoli	*	7	*	14	7
5-metyyli-1-heksanoli	*	*	*	6	4
2-butyli-1-oktanoli	*	2	*	*	*
1-pentanoli	1	5	*	*	2
2,2-dimetyyli-1-pentanoli	*	2	*	3	2
2,4,4-trimetyyli-1-pentanoli	*	1	*	*	*
2-metyyli-1-propanoli	1	*	*	126	9
2-furaanimetanoli	*	*	*	3	*
2-propanoli	*	3	*	3	*
2-propanoli, 2-metyyli-	*	*	*	4	*
3-buten-1-oli	*	*	2	*	*
bentsyylialkoholi	*	3	*	*	4
Etanoli (ei TVOC-alueella)	11	7	3	8	31
heptanoli	*	5	*	*	*
fenoli	*	2	3	4	3
trimetyylisilanoli	*	*	1	*	*

Lattiarakenteesta mitattu ammoniakkiemissio oli 3. päivänä parkettipinnoitteen poiston jälkeen tasolla 30–60  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  6 ja 12 kuukauden seurantamittauksissa. Paikalla valetun ja elementtirakenteisen ontelolaatta rungon välillä ei havaittu merkittävää eroa rakenteen ammoniakkiemission suhteen. Eri PVC-pinnoitteiden alta mitatut ammoniakkiemissiot vaihtelivat edelleen paljon ensimmäisinä päivinä pinnoitteen poiston jälkeen. Kolmantena päivänä pinnoitteen poiston jälkeen lattiarakenteesta mitatut ammoniakkiemissiot tasaantuivat kuitenkin tasolle 20–60  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ensimmäisen käyttövuoden aikana, riippumatta alla olevasta rakenteesta tai käytetystä liimasta tai PVC-pinnoitetyypistä.



Kuva 30. Lattiarakenteen ammoniakkiemission kehittyminen ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta, lattiapinnoitteena parketti (pinnoitteen asennusikä 4–74 viikkoa, pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne, o + pl = ontelorakenne, jonka päällä on pintavalu).



Kuva 31. Lattiarakenteen ammoniakkiemission kehittyminen ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta, lattiapinnoitteena PVC (pinnoitteen asennusikä 4–72 viikkoa, pv = paikalla valettu rakenne, o = ontelorakenne).

### 3.4.2 Kattorakenne

Tutkimuskohteiden kattorakenteesta mitatut TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydiemissiot 6 ja 12 kk kohteen käyttöönotosta esitetään taulukoissa 32 ja 33 sekä kuvissa 32–35.

*Taulukko 32. Kattorakenteesta suoritettavat mittaukset 6 kk asunnon käyttöönotosta (\*= ei tulosta, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

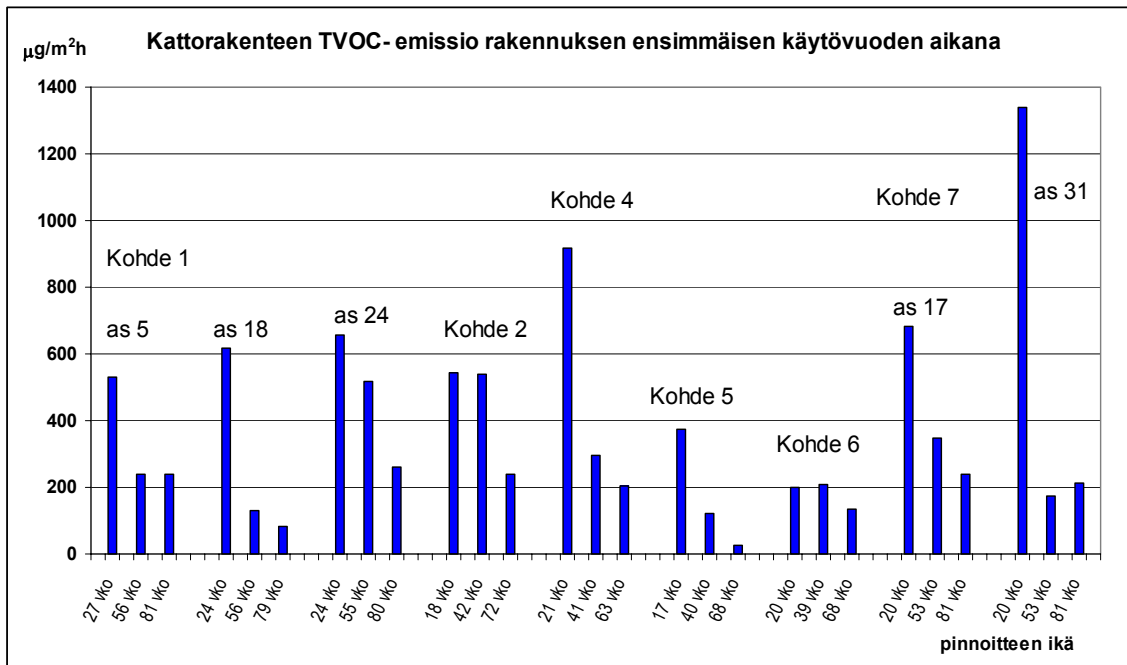
Pohja- tai pintatasoite, ikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH sisäilma pinta (%)	T pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA		
1/1, 56 vko (1 as. 5)	238	51	36	30	24
1/1, 56 vko (1 as. 18)	130	25	9	25	26
1/1, 55 vko (1 as. 24)	516	24	*	20	25
1/1, 42 vko (2)	539	21	*	37	27
1/1, 46 vko (4)	296	68	37	24	23
2/2, 41 vko (5)	123	37	14	25	19
1/1, 39 vko (6)	210	86	17	42	25
1/1, 53 vko (7 as. 17)	346	67	109	38	25
1/1, 53 vko (7 as. 31)	172	76	34	31	24

*Taulukko 33. Kattorakenteesta suoritettavat mittaukset 12 kk asunnon käyttöönotosta (NH<sub>3</sub> = ammoniakki, FA = formaldehydi, RH = suhteellinen kosteus, T = lämpötila).*

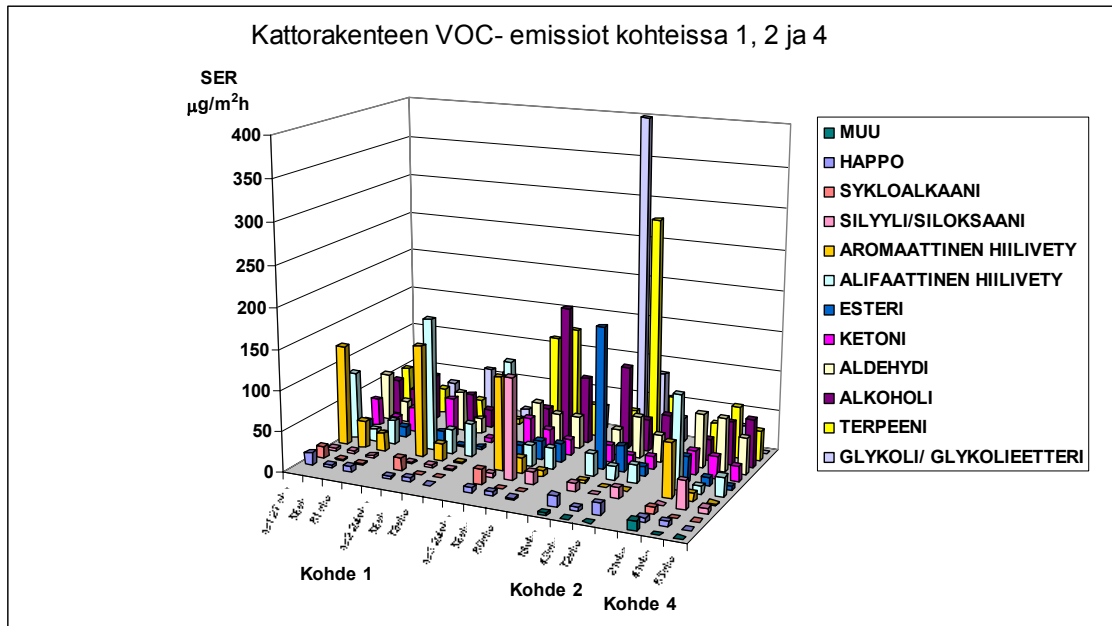
Pohja- tai pintatasoite, ikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER (µg/m <sup>2</sup> h)			RH sisäilma pinta (%)	T pinta (°C)
	TVOC	NH <sub>3</sub>	FA		
1/1, 81 vko (1 as. 5)	238	59	30	53	25
1/1, 79 vko (1 as. 18)	83	36	28	53	25
1/1, 80 vko (1 as. 24)	260	48	34	49	26
1/1, 72 vko (2)	239	21	16	27	24
1/1, 75 vko (3)	199	43	46	28	27
1/1, 63 vko (4)	205	114	40	42	28
2/2, 68 vko (5)	26	20	13	36	26
1/1, 68 vko (6)	136	61	15	19	24
1/1, 81 vko (7 as. 17)	239	42	21	21	22
1/1, 81 vko (7 as. 31)	215	42	34	29	22

Kattorakenteen TVOC-emissio laski tasaisesti ensimmäisen käyttövuoden aikana ja saavutti kaikissa tutkimuskohteissa lähes M1-luokkaa vastaavan tason eli  $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  12 kuukaudessa. Kattorakenteesta mitatut VOC-yhdisteryhmät olivat alifaattisia ja aro-maattisia hiilivetyjä, estereitä alkoholeja, aldehydejä, ketoneja, glykoleja tai glykolieet-tereitä sekä terpeenejä, ja niiden emissiot olivat luovutusvaiheessa tavallisesti tasolla  $50\text{--}400 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

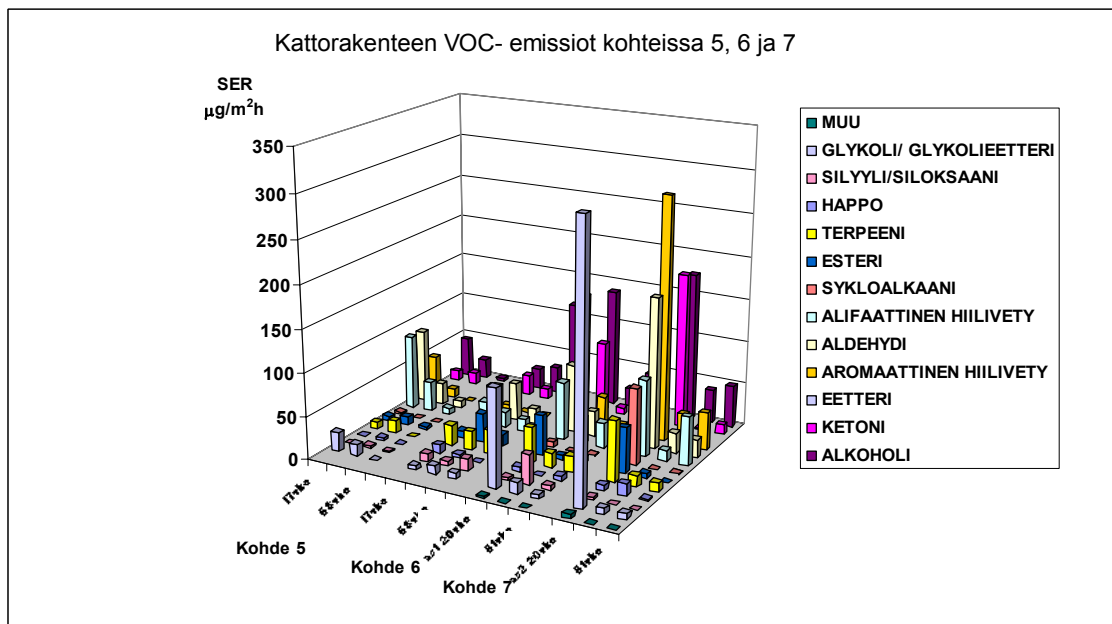
Kattorakenteen ammoniakkiemissioissa havaittiin suurempia vaihteluja ja seurantamittauksissa emissiotasot jopa nousivat. Tämän todettiin osittain selittyvän sisäilman suhteellisen kosteuden lisääntymisellä kesäkauden aikana suoritetuissa mittauksissa. Lisäksi voidaan arvioida, että ruiskutasoitettu kattopinta on huokoinen rakenne ja voi näin ollen adsorboida huoneessa tapahtuvasta toiminnasta peräisin olevia yhdisteitä. Huokoi-sen rakenteen emittoiva pinta-ala on myös suurempi kuin vastaavan sileän pinnan. Nä-mä edellä mainitut tekijät voivat johtaa siihen, että tilapäisesti mitataan kohonneita emissioita. Kattorakenteesta mitatut ammoniakkiemissiot olivat seurantamittauksissa ensimmäisen käyttövuoden aikana tavallisesti yli M1-luokkaa vastaavan tason  $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Kohteessa 4 mitattiin 12 kuukauden seurantamittauksessa kesäkuussa 2002 korkein kattorakenteen ammoniakkiemissio, joka oli tasolla  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Kyseisessä kohteessa tehtiin 18 kuukauden seurantamittaus tammikuussa 2003 ja todettiin, että kat-torakenteen ammoniakkiemissio oli pienentynyt tasolle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .



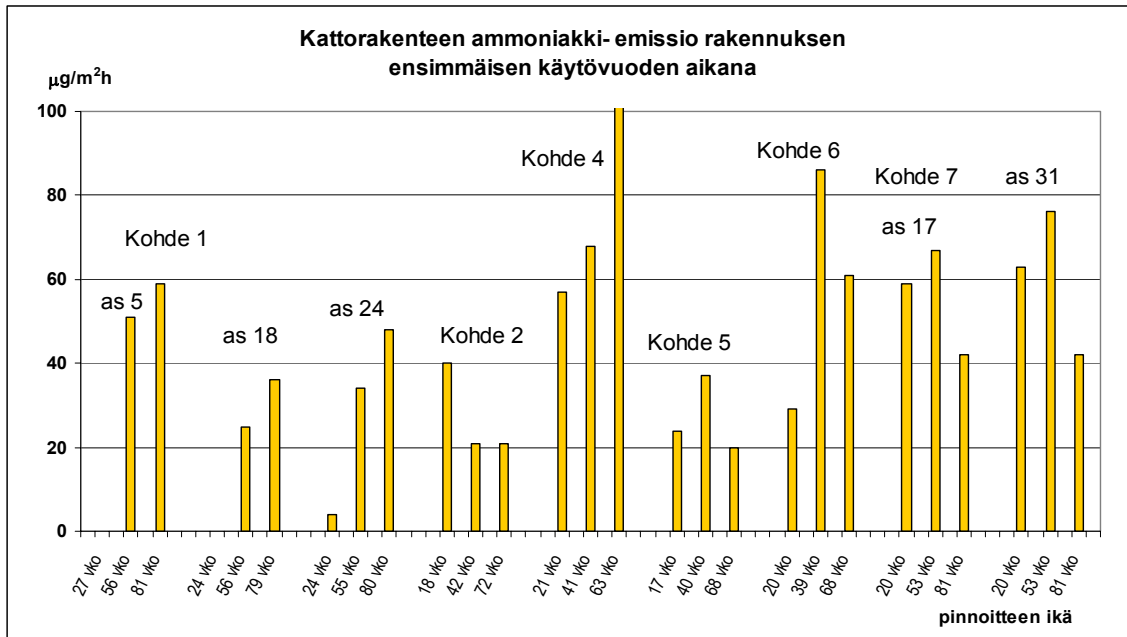
Kuva 32. Kattorakenteen TVOC-emissio ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönnotosta.



Kuva 33. Kattorakenteesta mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kohteissa 1, 2 ja 4.



Kuva 34. Kattorakenteesta mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kohteissa 5, 6 ja 7.



Kuva 35. Kattorakenteen ammoniakkiemissio ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta.

### 3.4.3 Seinärakenne

Seinärakenteen emissiomittauksien tulokset ensimmäisen käyttövuoden aikana esitetään taulukoissa 34–37 sekä kuvissa 36–41.

Taulukko 34. Betonirakenteisesta seinästä suoritettavat mittaukset 6 kk kohteen käyttöönotosta ( $NH_3$  = ammoniakki, FA = formaldehydi).

Pohja- tai pintamaali, levitysikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			Sisäilman kosteus, pinta (%)	Lämpötila, pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )
	TVOC	$NH_3$	FA		
1/1, 55 vko (1 as. 5)	90	10	7	30	23
1/1 54 vko (1 as. 18)	49	<5	<5	21	25
2/2, 42 vko (2)	107	15	*	54	27
tapetti/ 4, 32 vko (4)	148	48	36	26	22
1/1, 39 vko (5)	11	5	<5	25	19
3/3, 32 vko (6)	66	20	2	47	24
1/1, 43 vko (7 as. 17)	37	18	<5	34	24
1/ 1, 43 vko (7 as. 31)	82	11	<5	31	23

Taulukko 35. Väliseinästä suoritettut mittaukset 6 kk kohteen käyttöönotosta ( $\text{NH}_3$  = ammoniakki, FA = formaldehydi).

Pohja- tai pintamaali, levitysikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			Sisäilman kosteus, pinta (%)	Lämpötila, pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )
	TVOC	$\text{NH}_3$	FA		
1/1, 55 vko (1 as. 5)	50	8	6	27	24
1/1, 55 vko (1 as. 18)	37	<5	<5	16	24
tapetti/ 4, 32 vko (4)	123	39	36	26	22
1/1, 39 vko (5)	26	7	<5	22	24
3/3, 32 vko (6)	42	2	15	47	24
1/1, 43 vko (7 as. 17)	31	6	37	33	24

Taulukko 36. Kantavasta seinästä suoritettut mittaukset 12 kk kohteen käyttöönotosta ( $\text{NH}_3$  = ammoniakki, FA = formaldehydi).

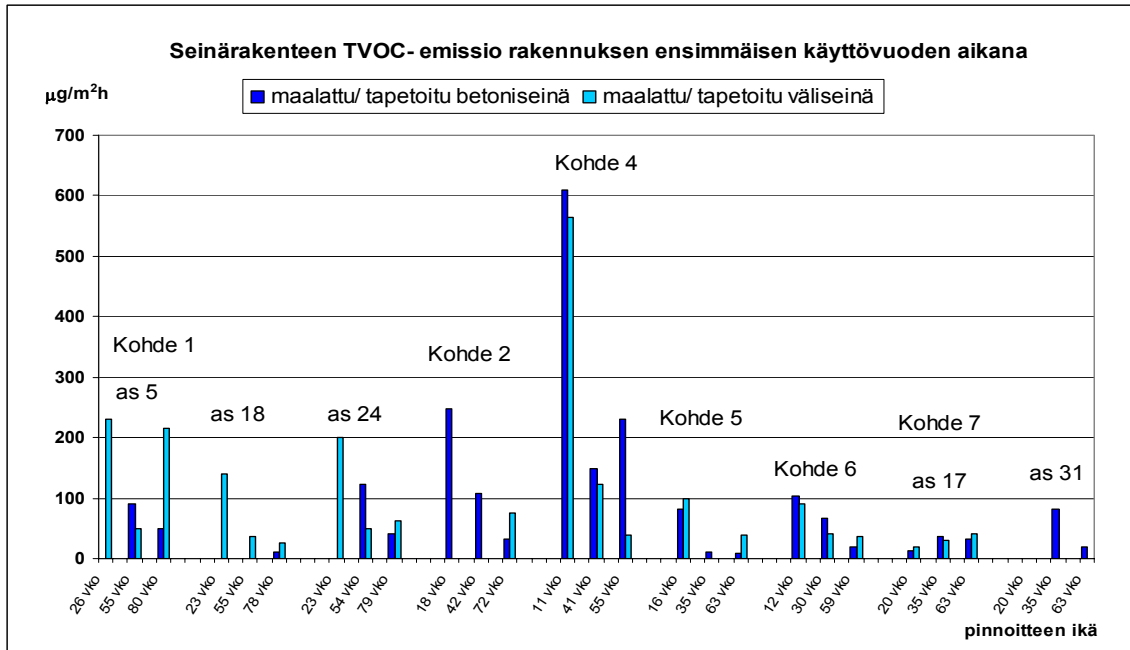
Pohja- tai pintamaali, levitysikä rakenteessa (kohde)	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			Sisäilman kosteus, pinta (%)	Lämpötila, pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )
	TVOC	$\text{NH}_3$	FA		
1/1, 80 vko (1 as. 5)	50	9	<5	52	25
1/1, 78 vko (1 as. 18)	11	11	<5	50	25
1/1, 79 vko (1 as. 24)	42	18	<5	48	26
2/ 2, 72 vko (2)	32	11	5	32	21
tapetti/ 4, 54 vko (4)	231	71	39	41	28
1/ 1, 84 vko (5)	9	8	8	31	26
3/ 3, 95 vko (6)	19	19	<5	18	23
1/ 1, 91 vko (7 as. 17)	33	3	3	23	20
1/ 1, 91 vko (7 as. 31)	19	9	<5	24	23



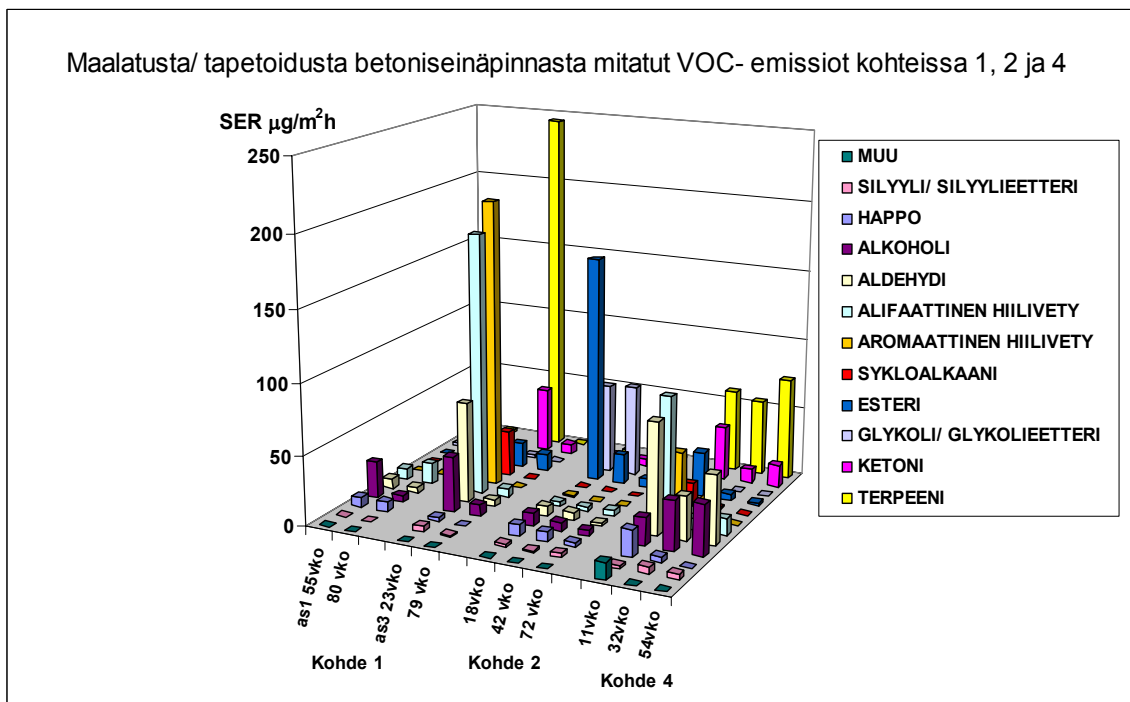
Taulukko 37. Väliseinästä suoritettut mittaukset 12 kk kohteen käyttöönotosta ( $\text{NH}_3$  = ammoniakki, FA = formaldehydi).

Kohde	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			Sisäilman kosteus, pinta (%)	Lämpötila, pinta ( $^{\circ}\text{C}$ )
	TVOC	$\text{NH}_3$	FA		
1/1, 80 vko (1 as. 5)	215	22	6	61	26
1/ 1, 78 vko (1 as. 18)	25	<5	<5	48	25
1/1, 79 vko (1 as. 24)	62	6	<5	50	27
2/ 2, 72 vko (2)	76	<11	<5	24	23
tapetti/ 4, 54 vko (4)	38	10	*	39	28
1/1, 84 vko (5)	39	7	8	34	25
3/ 3, 95 vko (6)	37	3	<5	20	24
1/ 1, 91 vko (7 as. 17)	40	3	<5	22	21

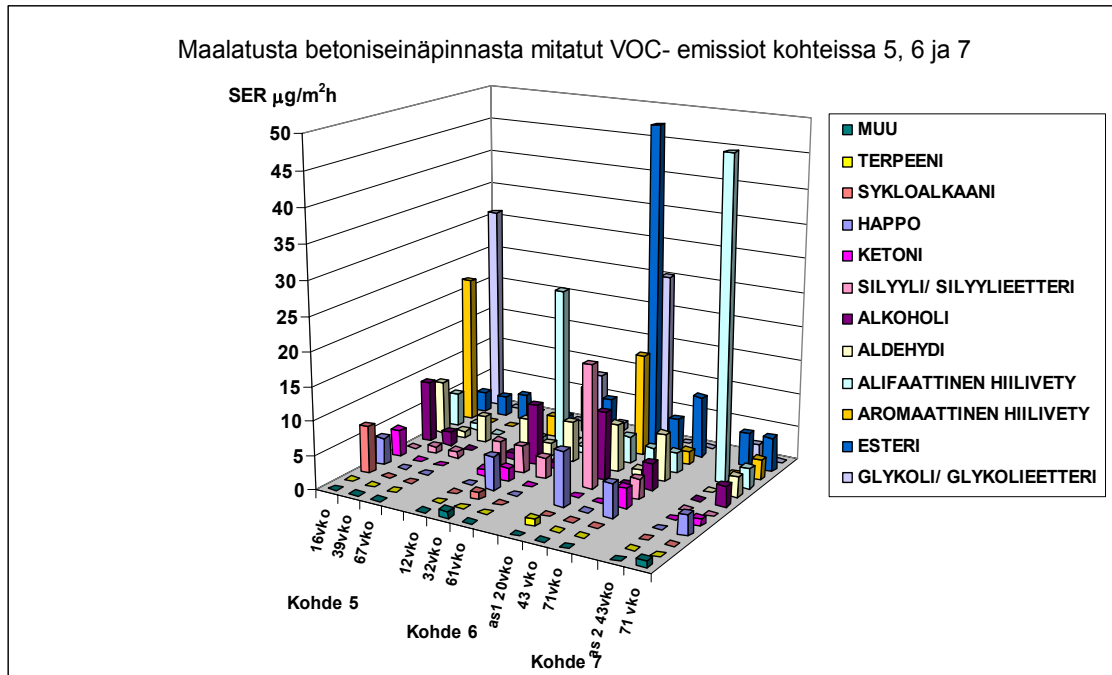
Maalattua betoni- tai kipsilevyseinästä mitatut TVOC-emissiot pysyttelivät M1-luokan tasolla eli alle  $200 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta. Sekä maalattua että tapetoidusta seinärakenteesta tunnistettiin lähes kaikkia eri VOC-yhdisteryhmiä eli alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä, alkoholeja, aldehydejä, ketoneita, estereitä sekä glykoleja tai glykolieettereitä. Maalattun seinärakenteen emissiotasot olivat seurantamittauksissa alhaisella tasolla, alle  $15 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , kun taas tapetoidun rakenteen emissiotasot pysyttelivät tasolla  $10\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ensimmäisen vuoden aikana. Kipsilevy- ja betonirakenteisen seinän VOC-yhdisteryhmien emissioissa ei havaittu merkittävää eroa. Tapetoidun seinärakenteen TVOC-emissio laski tasaisesti ja saavutti M1-luokan tason ensimmäisen kuuden kuukauden seurantamittauksessa. Myös maalattun betoni- tai kipsilevyseinän ammoniakkiemissiot pysyttelivät M1-luokan tasolla eli alle  $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta. Tapetoidusta seinäpinnasta mitattiin selvästi korkeampi ammoniakkiemissio maalattuun pintaan verrattuna, ja tapetoidusta betoniseinärakenteesta mitattiin M1-luokan tason kaksinkertaisesti ylittävä ammoniakkiemissio vielä 12 kuukauden seurantamittauksessa.



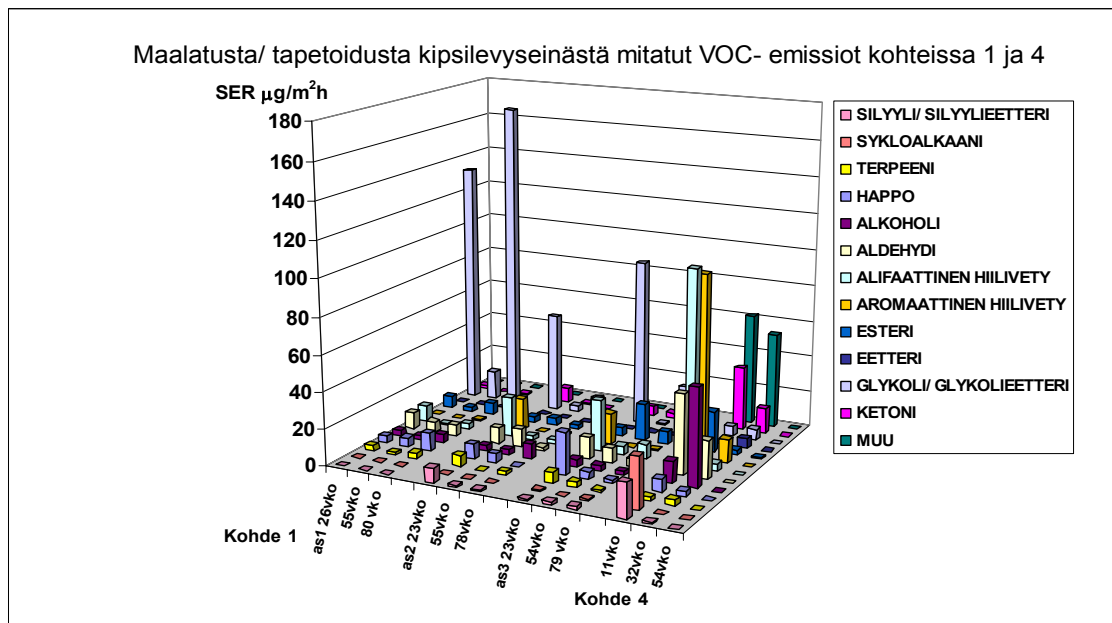
Kuva 36. Seinärakenteen TVOC-emissio ensimmäisen käyttövuoden aikana.



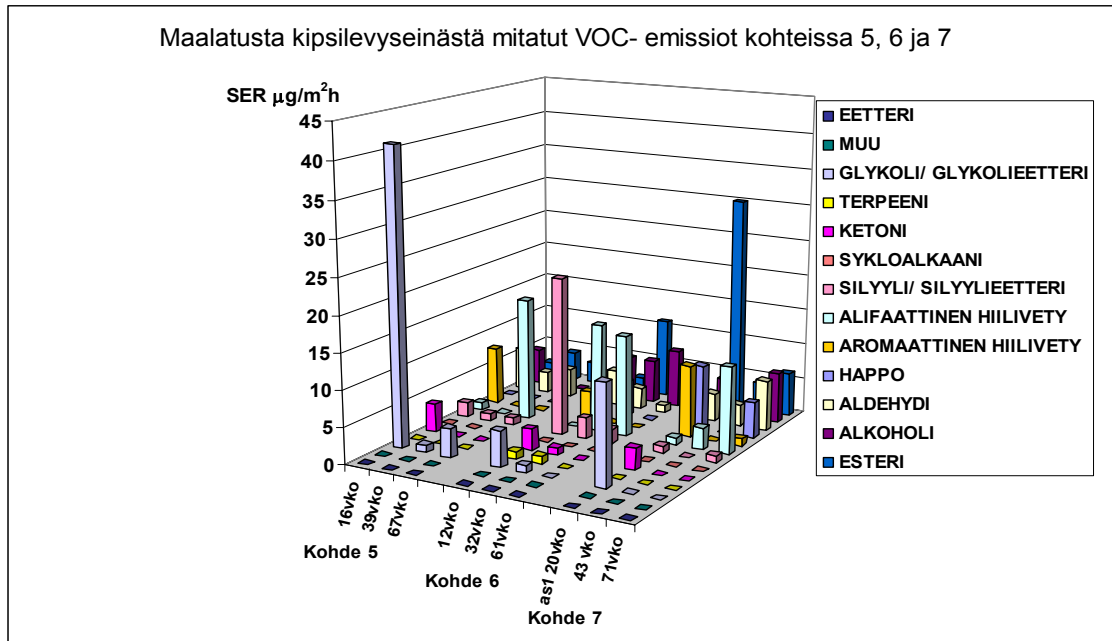
Kuva 37. Maalatus- tai tapetoidusta betoniseinäpinnasta mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kohteissa 1, 2 ja 4.



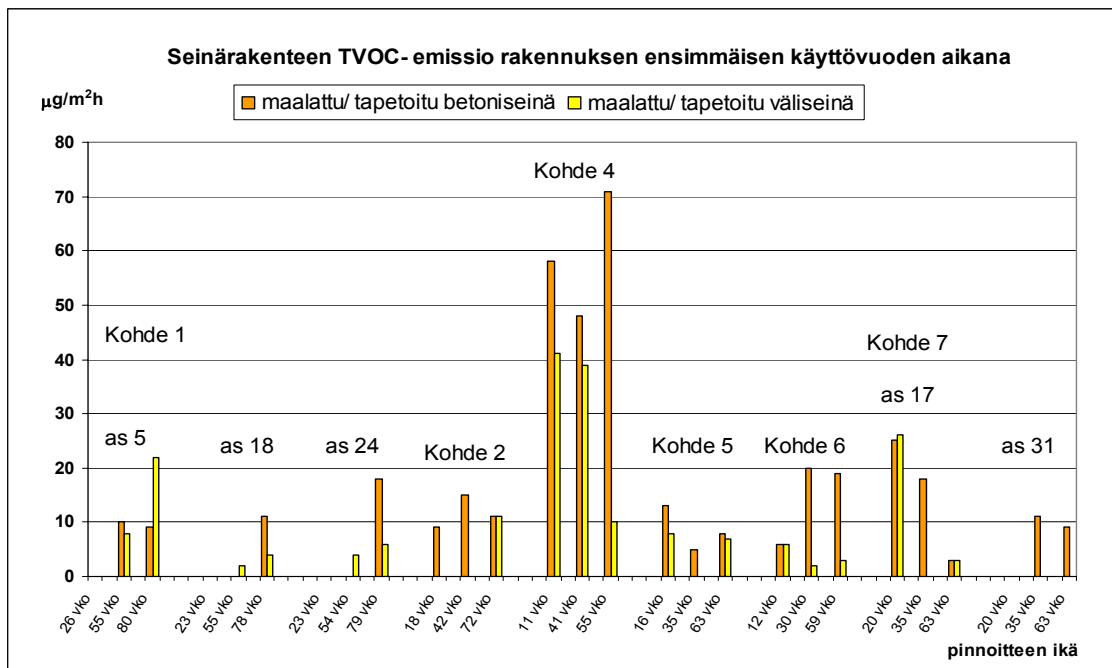
Kuva 38. Maalattusta tai tapetoidusta betoniseinäpinnasta mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kohteissa 5, 6 ja 7.



Kuva 39. Maalattusta tai tapetoidusta kipsilevyseinästä mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kohteissa 1, 2 ja 4.



Kuva 40. Maalattusta tai tapetoitusta kipsilevyseinästä mitattujen VOC-yhdisteryhmien emissioiden summat kohteissa 5, 6 ja 7.



Kuva 41. Seinärakenteen ammoniakkiemissio ensimmäisen käyttövuoden aikana.

### 3.5 Sisäilman laadun kehitys ensimmäisen käyttövuoden aikana

Sisäilman TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuustasot mitattiin 6 ja 12 kuukautta rakennuksen käyttöönotosta. Mittausten yhteydessä määritettiin samanaikaisesti sisäilman suhteellinen kosteus, lämpötila sekä huoneiston ilmanvaihtokerroin. Tulokset esitetään taulukoissa 38 ja 39 ja kuvissa 42–46.

*Taulukko 38. Sisäilman pitoisuudet, suhteellinen kosteus, lämpötila ja ilmanvaihtokerroin 6 kk kohteen käyttöönotosta.*

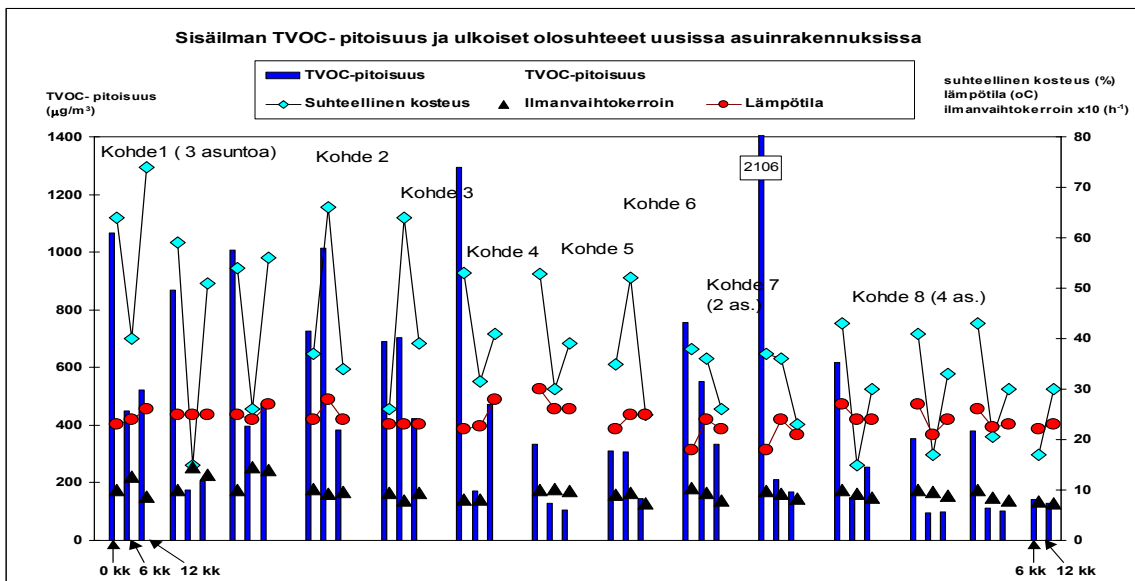
Kohde/ Rakenne, lattiapinnoite	Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Sisä- ilman kosteus (%)	Lämpö- tila ( $^{\circ}\text{C}$ )	Ilman- vaihto- kerroin ( $\text{h}^{-1}$ )
	TVOC	$\text{NH}_3$	FA			
1, as. 5/ paikallavalu, parketti 1	449	58	18	40	24	1,26
1, as. 18/ paikallavalu, parketti 1	174	43	22	15	25	1,45
1, as. 24/ paikallavalu, parketti 1	396	22	16	26	24	1,31
2/ elementtirakenne, PVC 3	1013	63	42	66	28	0,93
3/ paikallavalu, parketti 1	703	46	45	64	23	0,79
4/ paikallavalu, PVC 4	173	46	22	32	23	0,82
5/ elementtirakenne, PVC 2	130	41	17	30	26	1,02
6/ elementtirakenne (pintalaatta), parketti 2	306	77	17	52	25	0,94
7, as. 17/ elementtirakenne, PVC 5	550	49	32	36	24	0,95
7, as. 31/ elementtirakenne, PVC 6	212	47	28	36	24	0,93
8, as. 29/ paikallavalu, parketti 3	148	30	11	15	24	0,93
8, as. 36/ paikallavalu, parketti 4	95	23	7	15	22	0,97
8, as. 44/ paikallavalu, parketti 5	112	20	10	21	22	0,84
8, as. 45/ paikallavalu, parketti 6	141	22	11	17	22	0,77

Taulukko 39. Sisäilman pitoisuudet, suhteellinen kosteus, lämpötila ja ilmanvaihtokerroin 12 kk kohteen käyttöönotosta (\* ei tulosta).

Kohde/ Rakenne, lattiapinnoite	Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Sisäilman kosteus (%)	Lämpötila (°C)	Ilman- vaihto- kerroin ( $\text{h}^{-1}$ )
	TVOC	$\text{NH}_3$	FA			
1, as. 5/ paikallavalu, parketti 1	523	84	50	74	26	0,87
1, as. 18/ paikallavalu, parketti 1	204	57	52	51	21	1,31
1, as. 24/ paikallavalu, parketti 1	475	92	47	56	27	1,39
2/ elementtirakenne, PVC 3	384	64	*	34	24	0,97
3/ paikallavalu, parketti 1	422	31	51	39	23	0,95
4/ paikallavalu, PVC 4	472	57	36	41	28	*
5/ elementtirakenne, parketti 2	105	46	20	39	26	0,98
6/ elementtirakenne (pintalaatta), parketti 2	144	36	8	25	25	0,73
7, as 17/ elementtirakenne, PVC 5	333	30	15	26	22	0,80
7, as. 31/ elementtirakenne, PVC 6	170	22	14	23	21	0,83
8, as. 29/ paikallavalu, parketti 3	255	31	14	30	24	0,85
8, as. 36/ paikallavalu, parketti 4	99	37	17	33	24	0,89
8, as. 44/ paikallavalu, parketti 5	104	27	14	30	23	0,80
8, as. 45/ paikallavalu, parketti 6	129	27	14	30	23	0,74

Sisäilman TVOC-pitoisuus laski ensimmäisen puolen vuoden aikana asunnon käyttöönotosta sisäilmastoluokituksen S1-luokan tasolle eli alle  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  viiden eri kohteen (kohde 1, 4, 5, 7 ja 8) yhteensä kahdeksassa asunnossa. Kolmen eri kohteen (kohde 1, 6 ja 7) neljän asunnon TVOC-pitoisuus oli  $300\text{--}600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mikä vastaa S2- ja S3-luokkien tasoa. Kohteessa kolme ei TVOC-pitoisuus laskenut juurikaan ensimmäisen puolen vuoden aikana. Kohteessa kaksi mitattiin n.  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  korkeampi TVOC-pitoisuus verrattuna luovutusvaiheeseen, ja yksittäisiä VOC-yhdisteitä tarkasteltaessa voitiin todeta, että terpeenien osuus oli lisääntynyt. Terpeenien lisääntyminen sisäilmas- sa voitiin liittää huoneeseen ennen mittausta edeltävällä viikolla asennettuun uuteen, puiseen kirjahyllyyn. Kaikkien tutkimuskohteiden TVOC-pitoisuus saavutti ainakin S3-luokkaa vastaavan tason 12 kuukautta asunnon käyttöönotosta. Kuuden eri kohteen (kohteiden 1, 5, 6, 7 ja 8) kahdeksassa asunnossa mitattu TVOC-pitoisuus oli S1-luokkaa vastaava eli alle  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kohteessa 4 mitattu TVOC-pitoisuus oli yli kak- sinkertainen verrattuna kuuden kuukauden seurantamittaustulokseen, ja voitiin todeta,

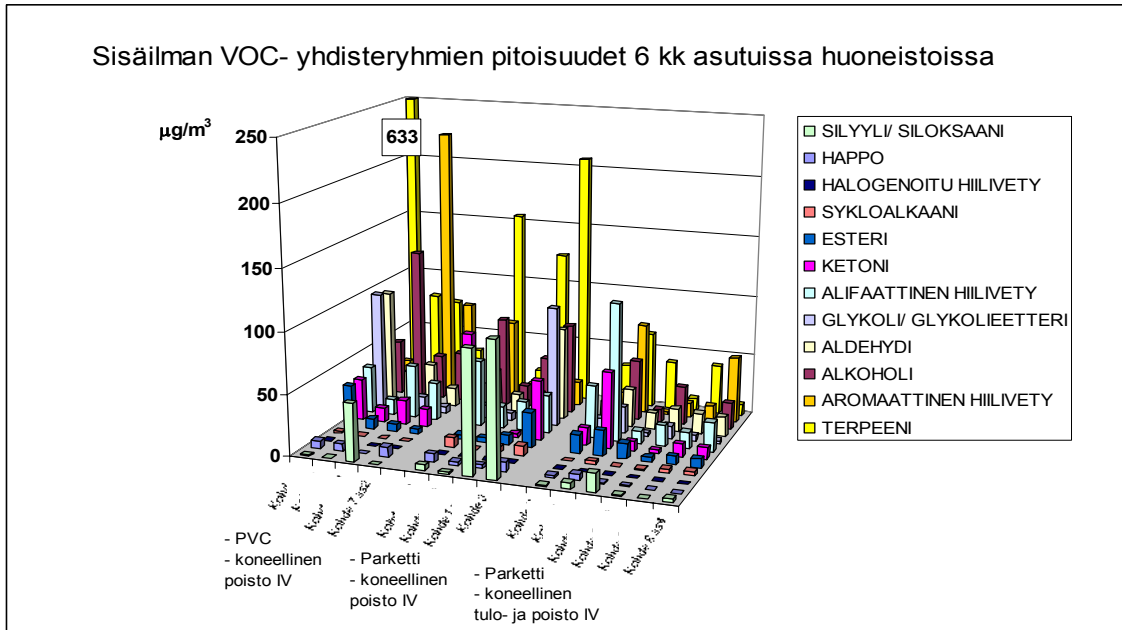
että tämä oli todennäköisesti seurausta siitä, että huoneen korvausilmaventtiilit oli suljettu, mikä havaittiin sisäilmamittauksen yhteydessä. Kaikkien muiden tutkittujen huoneistojen ilmanvaihokertoimet olivat ensimmäisen vuoden seurantamittauksissa välillä 0,73–1,45 h<sup>-1</sup> ja rakentamismääräysten mukainen eli yli 0,5 h<sup>-1</sup>. Ilmanvaihokertoimet laskivat jonkin verran ensimmäisen vuoden aikana, mikä voitiin liittää ilmanvaihtojärjestelmän (liesituulettimen suodattimien) likaantumiseen. Sisäilman lämpötila oli kesäkauden aikana 21–28 °C ja talvella ja kevättalvella 21–26 °C. Suhteellinen kosteus oli vastaavasti kesäkauden aikana mitattuna 30–74 % ja talvella ja kevättalvella 15–40 %. Sisäilman suhteellisen kosteuden vaihtelut eivät vaikuttaneet TVOC-pitoisuustasoon.



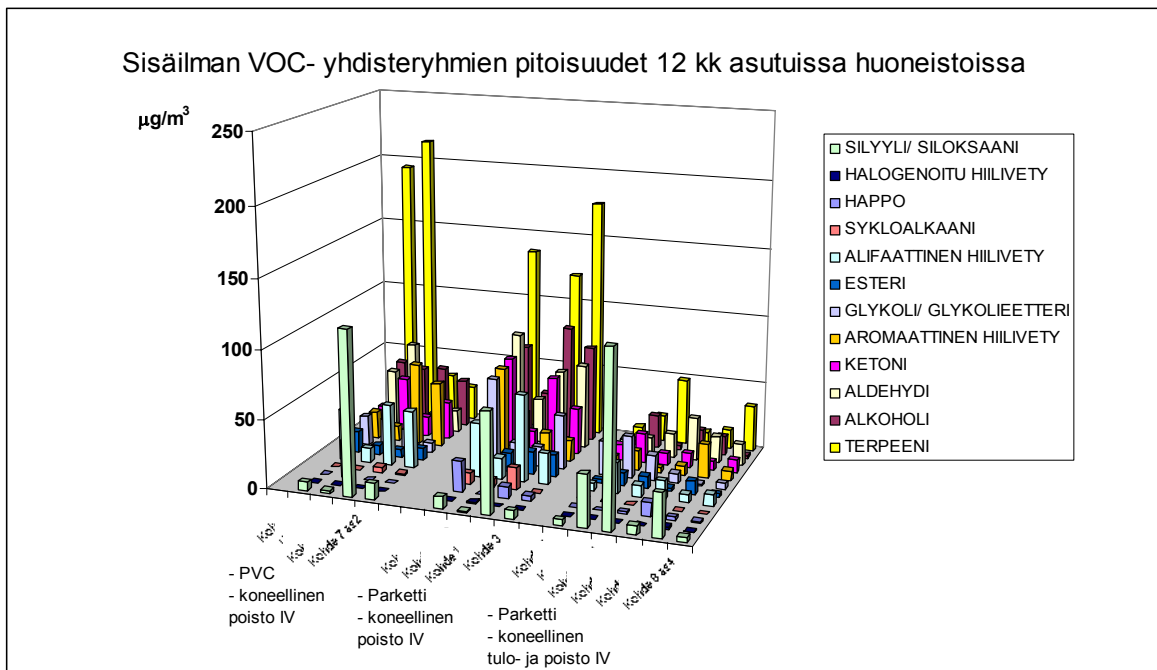
Kuva 42. Sisäilman TVOC-pitoisuus ja ulkoiset olosuhteet kohteissa 1–8 ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta (0 kk = ennen luovutusta, 6 kk = 6 kk asuttu huoneisto, 12 kk = 12 kk asuttu huoneisto).

VOC-yhdisteryhmien pitoisuudet olivat asutuissa huoneistoissa pienentyneet alle 250 µg:aan/m<sup>3</sup> ensimmäisen puolen vuoden aikana kaikissa mittauskohteissa. Kohteissa, joissa oli koneellinen tuloilmajärjestelmä, mitattiin edelleen alhaisemmat pitoisuustasot kaikille VOC-yhdisteryhmille. Vertailussa luovutusvaiheeseen oli sykloalkaanien sekä alifaattisten ja aromaattisten hiilivetyjen osuus pienentynyt eniten suhteessa muihin yhdisteryhmiin. Terpeenien pitoisuudet pysyivät aikaisemmalla tasolla, ja voidaan olettaa, että yhdisteet voivat olla asumisesta, kuten huonekaluista, kasveista tai hajusteista peräisin. Esimerkiksi kohteessa 2 oli terpeeniyhdisteiden pineenin sekä kareenin pitoisuudet keskimäärin viisinkertaistuneet, ja näiden yhdisteiden lähteeksi arvioitiin huoneeseen mittausta edeltävällä viikolla asennettu uusi, mäntypuinen kirjahylly. Asumisen aikana mitattiin selvästi korkeampia silyyliyhdisteiden pitoisuuksia verrattuna ennen luovutusta tilanteeseen, ja nämä yhdisteet voivat olla peräisin asunnossa käytetyistä

pesuaineista tai hajusteista. VOC-yhdisteryhmien pitoisuuksissa ei havaittu merkittävää muutosta viimeisessä seurantamittauksessa vuosi asunnon käyttöönotosta.



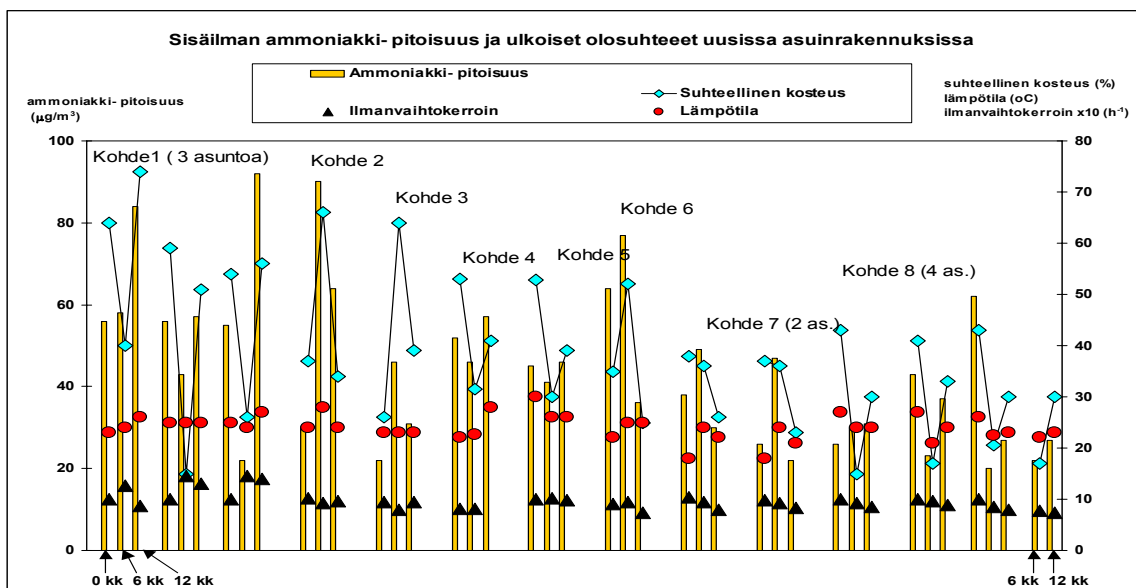
Kuva 43. Sisäilman VOC-yhdisteryhmien pitoisuudet 6 kk asutuissa huoneistoissa.



Kuva 44. Sisäilman VOC-yhdisteryhmien pitoisuudet 12 kk asutuissa huoneistoissa.

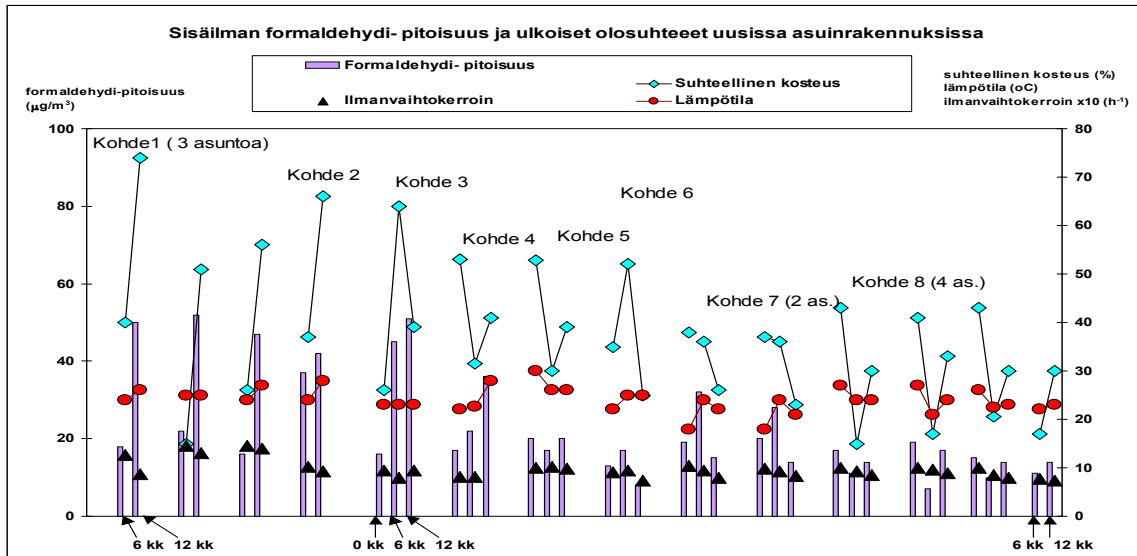


Sisäilman ammoniakkipitoisuus oli ensimmäisessä seurantamittauksessa, puoli vuotta asunnon käyttöönotosta tasolla 20–70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kohteen 8 neljässä eri asunnossa sekä kohteen 1 asunnossa 24 mitattiin S1-luokkaa vastaava eli alle 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ammoniakkipitoisuus. Kaikissa muissa asunnoissa mitattiin S3-luokan ylittävä eli yli 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuus. Ammoniakkipitoisuus oli 12 kuukautta asunnon käyttöönotosta tasolla 22–92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kohteen 3 yhdessä asunnossa, kohteen 8 neljässä eri asunnossa sekä kohteen 7 kahdessa eri asunnossa mitattiin S1-luokkaa vastaava ammoniakkipitoisuus. Kohteessa 6 ammoniakkipitoisuus vastasi S3-luokkaa eli alle 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Muissa kohteissa mitattu ammoniakkipitoisuus oli yli S3-luokan tason. Ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta havaitut vaihtelut sisäilman ammoniakkipitoisuuksissa voitiin liittää sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluihin eri vuodenaikoina. Kesäkautena, etenkin heinä- ja elokuussa, ulkoilman ja näin ollen myös sisäilman suhteellinen kosteus oli selvästi muita ajankohtia korkeampi, ja silloin mitattiin myös korkeimmat ammoniakkipitoisuudet.



Kuva 45. Sisäilman ammoniakkipitoisuus ja ulkoiset olosuhteet kohteissa 1–8 ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta (0 kk = ennen luovutusta, 6 kk = 6 kk asuttu huoneisto, 12 kk = 12 kk asuttu huoneisto).

Sisäilman formaldehydipitoisuus oli ensimmäisessä seurantamittauksessa, puoli vuotta asunnon käyttöönotosta tasolla 7–45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mikä vastaa sisäilmastoluokituksen S2-luokkaa eli alle 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kuudessa kohteessa (kohteissa 1, 4, 5, 6, 7 ja 8) mitattiin S1-luokan eli alle 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuustaso. Kahdentoista kuukauden seurantamittauksissa oli formaldehydipitoisuus noussut kahdessa kohteessa (kohde 1 ja 3), mikä voitiin liittää korkeaan ulko- ja myös sisäilman suhteellisen kosteuteen mittausajankohtana. Sisäilman formaldehydipitoisuudet eivät kuitenkaan minään mittausajankohtana ylittäneet S2-luokan tavoitearvoa 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Kuva 46. Sisäilman formaldehydipitoisuus ja ulkoiset olosuhteet kohteissa 1–8 ensimmäisen vuoden aikana rakennuksen käyttöönotosta (0 kk = ennen luovutusta, 6 kk = 6 kk asuttu huoneisto, 12 kk = 12 kk asuttu huoneisto).

### 3.6 Laboratorio-olosuhteissa suoritettujen liimatuotteiden emissiomittaukset

#### 3.6.1 Koejärjestely

Tutkimuskohteissa käytettyjen liimojen ominaisemissiot mitattiin laboratorio-olosuhteissa käyttäen kansainvälisen CEN-standardin mukaista mittaustekniikkaa [CEN 1999]. Näyte valmistettiin siten, että liimatuotetta levitettiin nk. mallihuoneen lattiapinnan kuormituksen mukaisesti tasaisesti lasilevyille, jota voidaan pitää inerttinä materiaalina, toisin sanoen se ei aiheuta liiman kanssa mitään reaktiota eikä myöskään itsessään emittoi tutkittuja yhdisteitä, ja näin ollen voidaan saatuja emissiotuloksia pitää liimojen ominaisemissioina. Näytteenotot suoritettiin 1, 3, 10 ja 28 päivää liiman levityksestä. Näytteet säilytettiin näytteenottojen välissä vakio-olosuhteissa (50 % suhteellinen kosteus, 23°C lämpötila). Mittaukset suoritettiin seuraaville neljälle eri kaupalliselle liimatuotteelle (liimat 1, 2, 3, ja 4).

Rakennusmateriaaliluokituksen M1/M2-merkintä vastaa 28. päivänä mitattua tulosta. Oikeassa rakenteessa on tilanne kuitenkin toinen, koska liimatuotteen päälle asennetaan pinnoite pian levityksen jälkeen. Tästä johtuen oli tämän projektin puitteissa syytä tutkia liimojen emissiot aikaisempaan ajankohtana, jotta saataisiin mahdollisimman oikea kuva siitä, mikä oli rakenteessa käytettyjen eri tuotteiden vaikutus kokonaisuudessaan lattiarakenteesta mitattuihin emissioihin.

### 3.6.2 Tulokset

Taulukoissa 40–42 esitetään liimojen TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydiemissiot 1, 3, 10 ja 28 päivää niiden levityksestä lasilevyille.

*Taulukko 40. Liimatuotteiden TVOC-emissio 1, 3, 10 ja 28 päivää levityksestä lasilevyille (\* rakennusmateriaaliluokituksen mukaan tuotteen enimmäisemissio).*

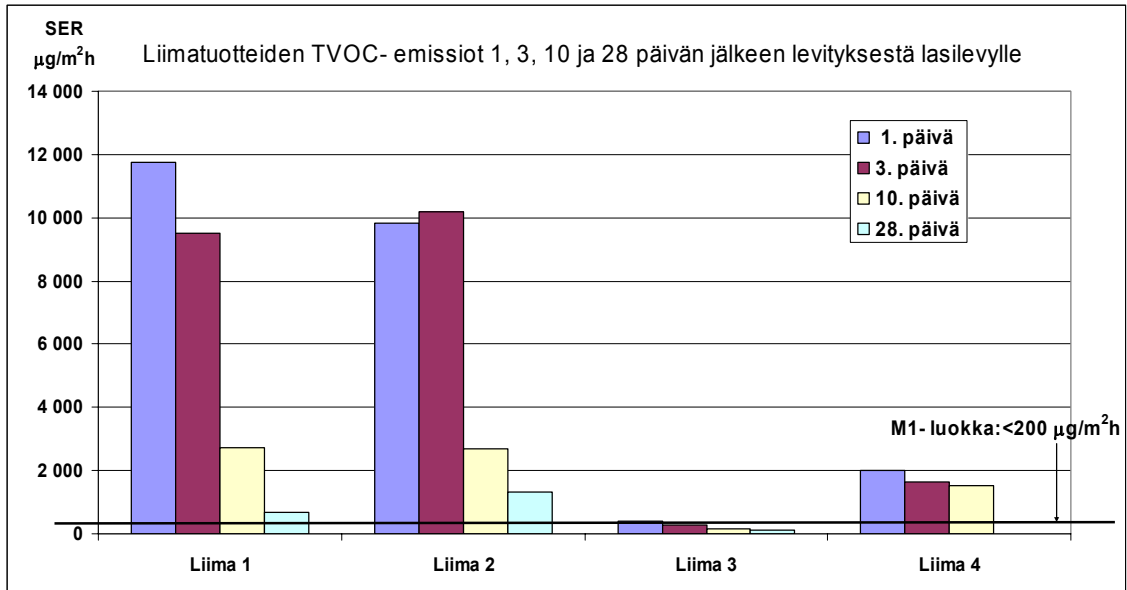
Liima	TVOC-emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$			
	1. päivä	3. päivä	10. päivä	28. päivä
Liima 1	11 735	9 489	2 733	693
Liima 2	9 824	10 204	2 675	1 328
Liima 3	412	287	156	101
Liima 4	1 993	1 664	1 532	<200*

*Taulukko 41. Liimatuotteiden ammoniakkiemissio 1, 3, 10 ja 28 päivää levityksestä lasilevyille (\* rakennusmateriaaliluokituksen mukaan tuotteen enimmäisemissio).*

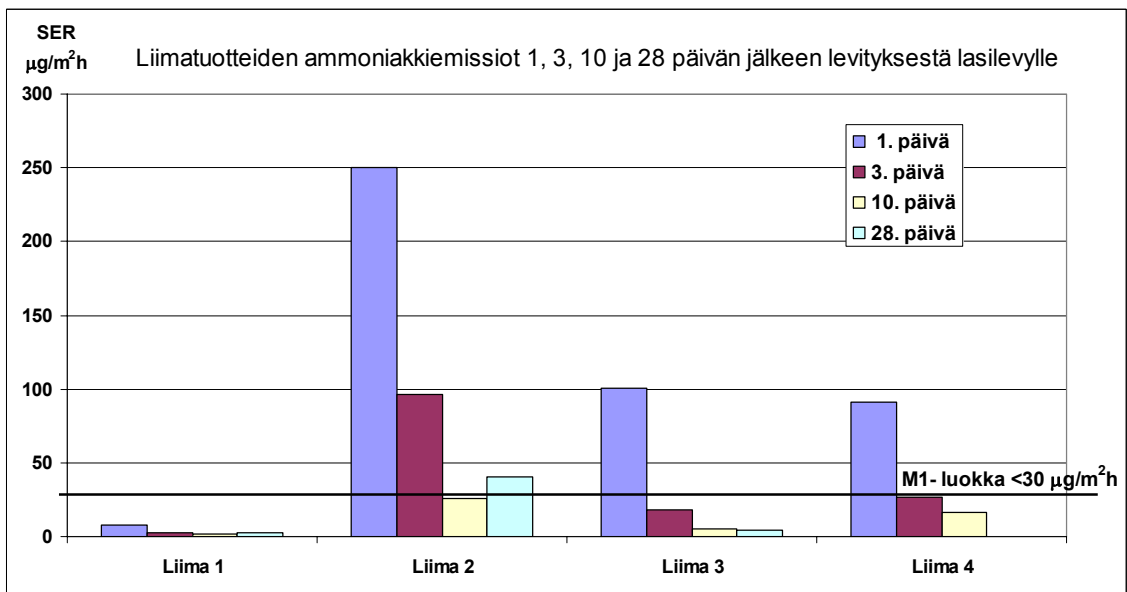
Liima	Ammoniakkiemissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$			
	1. päivä	3. päivä	10. päivä	28. päivä
Liima 1	8	3	2	3
Liima 2	250	96	26	40
Liima 3	101	18	5	4
Liima 4	91	27	16	<30*

*Taulukko 42. Liimatuotteiden formaldehydiemissio 1, 3, 10 ja 28 päivää levityksestä lasilevyille (\* rakennusmateriaaliluokituksen mukaan tuotteen enimmäisemissio).*

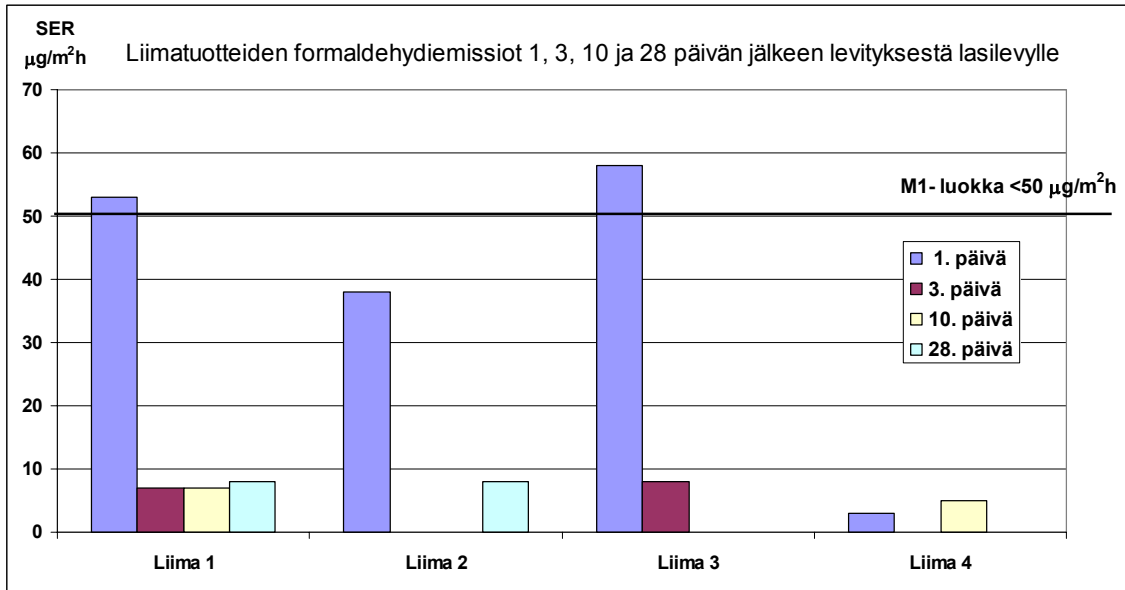
Liima	Formaldehydiemissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$			
	1. päivä	3. päivä	10. päivä	28. päivä
Liima 1	53	7	7	8
Liima 2	38	<5	<5	8
Liima 3	58	8	<5	<5
Liima 4	3	<5	5	<50*



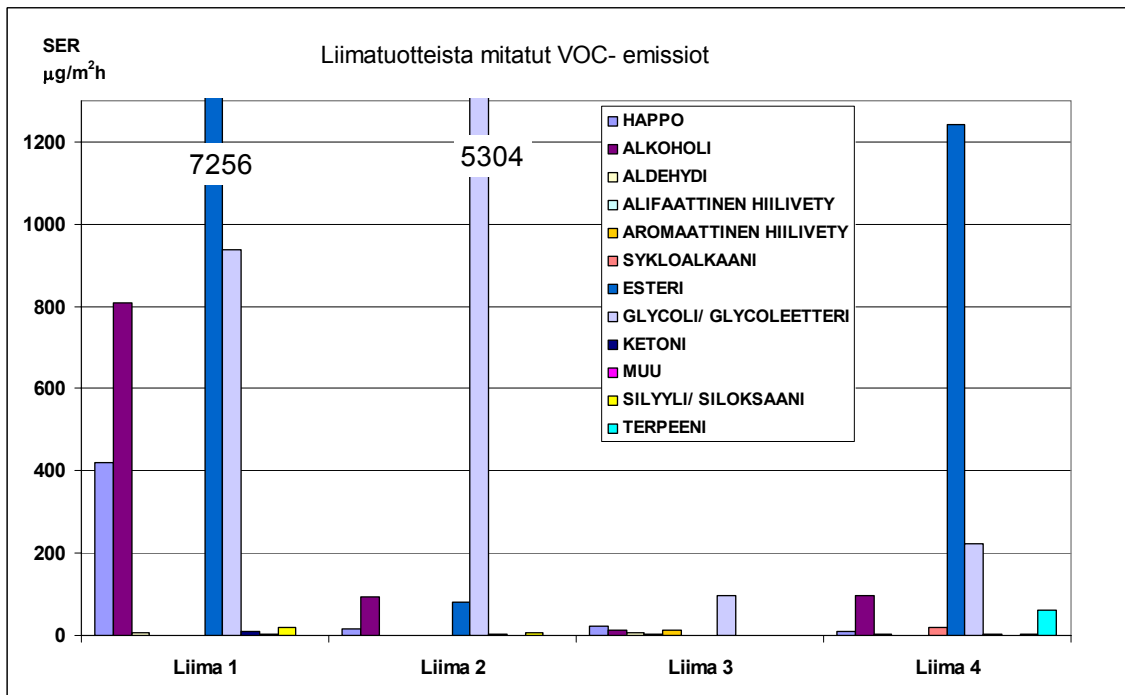
Kuva 47. Liimatuotteiden TVOC-emissiot 1–28 päivän jälkeen levityksestä lasilevyille.



Kuva 48. Liimatuotteiden ammoniakkiemissiot 1–28 päivän jälkeen levityksestä lasilevyille.



Kuva 49. Liimatuotteiden formaldehydiemissiot 1–28 päivän jälkeen levityksestä lasilevyille.



Kuva 50. Liimatuotteiden VOC-yhdisteryhmien emissiot.

Eri liimatuotteiden ominaisemissiot osoittivat huomattavia eroja, kun vertailtiin mittausjakson ensimmäisinä päivinä saatuja emissiotuloksia. Neljän eri liimatuotteen TVOC-tulos vaihteli 1. päivänä mitattuna 412:sta 11 735  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Alhaisin, lähes M2-luokkaa vastaava TVOC-emissio, mitattiin liimatuotteesta 3 ja korkeimmat emissiot mitattiin liimoista 1 ja 2. Eri liimatuotteiden ammoniakkiemissiot olivat 1. mittauspäivänä 8–250  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Alhaisin, M1-luokkaa vastaava eli alle 30  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ammoniakkiemissio mitattiin liimatuotteesta 1. Muiden liimojen ammoniakkiemissiot olivat samana mittausajankohtana tasolla 100  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  tai korkeampia. Formaldehydiemissiot olivat 1. päivänä 3–58  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Alhaisin, M1-luokkaa vastaava eli alle 30  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  formaldehydiemissio, mitattiin liimatuotteesta 4.

*Taulukko 43. Liimatuotteista tunnistettujen alkoholi- ja esteriyhdisteiden emissiot kolmen päivän kuluttua liiman levityksestä lasilevyille (kaikkien taulukossa esitettyjen yhdisteiden tunnistuksia ei ole varmennettu malliaineilla).*

YHDISTE	Emissio SER ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )			
	Liima 1	Liima 2	Liima 3	Liima 4
ALKOHOLI				
2-etyyli- 1-heksanoli	807	90		60
2-metyyli- 2-propanoli				2
Sykloheksanoli			5	
Fenoli	3	5	5	34
ESTERI				
1,2-Bentseenidikarboksylihapon dietyyliesteri	11	5		2
1-Butanoli- 3-metyyli- propanoaatti				6
2-Norpineeni-2-etanoli, 6,6-dimetyyli-, asetaatti				7
Etikkahapon 2-etyyliheksyyliesteri	121	44		12
Etanoli, 2-(2-butoksietoksi)-, asetaatti	7 075	5		1 210
Etanoli, 2-butoksi-, asetaatti	9			4
Etanoli, 2-etoksi-, asetaatti				1
Etanoli, 2-fenoksi-, asetaatti		1		
Propaanihapon pentyyliesteri	39	27		
GLYKOLI/ GLYKOLIEETTERI				
1,2-Etaanidioli			20	
1,2-Propaanidioli			71	
1,4-Dioksaani			2	2
Etanoli, 2-(2-(2-butoksietoksi)etoksi)-				11
Etanoli, 2-(2-butoksietoksi)-	926	3	1	212
Etanoli, 2-fenoksi-	2	5 301		
Oksiraani, 2-etyyliheksyyli-oksymetyyli-	8			

### 3.6.3 Yhteenveto liimakokeista

Liimojen laboratorio-olosuhteissa mitattujen ominaisemissiotulosten perusteella voidaan todeta, että liimojen osuus lattiarakenteesta mitatuista emissioista voi olla merkittävä. Erityisen huomioitavaa oli se, että eri liimatuotteiden, myös M1-luokiteltujen, emissioissa oli suuria eroja, kun ne mitattiin 1–3 päivää näytteen valmistuksesta. Edellä esitettyjen liimojen laboratoriomittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että valmiista lattiarakenteesta voidaan mitata M1-luokan ylittäviä emissiotasoa, jos lattiapinnoitteenä on käytetty alustaan liimattua PVC-pinnoitetta. Rakenteesta mitattuihin tuloksiin vaikuttavat käytetyn liimatuotteen lisäksi sen levitysmäärä sekä PVC-pinnoitteen läpäisevyys liimasta peräisin oleville yhdisteille.

## 3.7 Asukaskyselyt

### 3.7.1 Taustatiedot

Kaikkien tutkittujen asuntojen asukkaille lähetettiin erityinen asukaskysely tämän projektin puitteissa suoritetun viimeisen seurantamittauksen yhteydessä eli silloin, kun asukkaat olivat asuneet huoneistossa yhden vuoden. Kyselyllä kartoitettiin asukkaiden taustatiedot sekä se, miten he kokivat asuinympäristönsä ja esiintyykö heillä asuntoon liittyvää oireilua. Asukaskyselyyn vastasi yhteensä 21 asukasta kahdeksasta mukana olleesta eri mittauskohteesta. Miehiä vastanneista oli 14 ja naisia seitsemän. Asukkaiden ikäjakauma oli pääasiassa 16–30 vuotta (seitsemän asukasta) ja 31–60 vuotta (12 asukasta). Kaksi asukasta oli yli 61 vuotta vanhoja. Ammattinsa puolesta ei kenenkään asukkaista voida olettaa altistuvan merkittävästi kemikaaleille. Asukkaiden terveys oli heidän oman arvionsa mukaan ”keskinkertainen”, ”melko hyvä” tai ”hyvä”. Neljällä asukkaalla oli lääkärin toteama allergia tai astma. Kolme asukasta tupakoi.

### 3.7.2 Asumisympäristö

Keskimäärin asukkaat oleskelivat kotona 12–14 tuntia vuorokaudessa. Yksi asukas oleskeli keskimäärin 20 tuntia vuorokaudessa kotona. Tavallisesti asunnoissa siivottiin 1–2 kertaa viikossa. Kohteessa 6 siivottiin (imuroitiin) 4–5 kertaa viikossa.

Asukaskyselyssä selvitettiin mitkä asumisen viihtyvyyttä haittaavat tekijät ilmenevät heidän asuinympäristössään. **Joskus** haittaa aiheuttivat seuraavat tekijät: muiden tupakointi (4 vastausta), haittaava pöly/lika (10 vastausta), liian korkea huonelämpötila (9 vastausta), liian matala huonelämpötila (6 vastausta), vaihteleva huonelämpötila (11 vastausta), kuiva ilma (9 vastausta), tunkkainen ilma (8 vastausta), epämiellyttävä haju (8 vastausta), veto (6 vastausta).

**Joka viikko** asumisviihtyvyyteen vaikutti seuraavat tekijät: veto (3 vastausta), liian korkea lämpötila (6 vastausta) sekä liian matala lämpötila (2 vastausta), haittaava pöly tai lika (5 vastausta), tunkkainen ilma (3 vastausta), kuiva ilma (4 vastausta).

### **3.7.3 Asuntoon liittyvä oireilu**

Asukaskyselyssä selvitettiin myös sitä, oliko asukkailla asuntoon muuton jälkeen ilmennyt asuntoon liittyvää oireilua, ja mikäli näin oli, heitä pyydettiin tarkentamaan esiintyneet oireet. Kyselyyn vastanneista oli kohteen neljä asukkaalla (ei tupakoijia) ilmennyt limaista köhimistä aamuisin asuntoon muuton jälkeen. Saman kohteen toisella kyselyyn vastanneella asukkaalla ei ollut ilmennyt oireilua. Kohteen 8 asunnoissa 44 ja 45 oli myös heti asuntoon muuton jälkeen esiintynyt nenän ja silmien kirvelyä sekä hengitysteiden ärtymistä. Kyseisessä kohteessa oli koneellinen tuloilmajärjestelmä, ja oireet hävisivät ja asukkaiden mielestä myös sisäilman laatu parantui sen jälkeen, kun tuloilmakanavat puhdistettiin uudestaan urakoitsijan toimeksiannosta.

### **3.7.4 Asukaskyselyjen yhteenveto**

Tutkimuskohteiden asukkaat edustivat keskimäärin normaalia, hyvän tai melko hyvän terveyden omaavaa, työssäkäyvää suomalaista. Allergioiden esiintymistiheys oli ~20 % viidestä ja tupakoitsijoita oli ~14 %. Tavallisin asuinympäristössä esiintynyt viihtyvyyttä haittaava tekijä liittyi huonelämpötilaan. Kohteissa haittasi sekä liian korkea että liian matala huonelämpötila, ja joissakin kohteissa lämpötilojen vaihtelut häiritsivät. Lähes puolet asukkaasta koki haittaavan pölyn tai lian esiintymisen ajoittain ja yksi neljästä joka viikko. Asukaskyselyn perusteella oli kolmella asukkaalla ilmennyt asuntoon liittyvää oireilua asumisen aikana. Kahden saman kohteen asukkaan oireilu liittyi todennäköisesti likaiseen tuloilmakanavaan, koska oireet hävisivät kanavan puhdistuksen jälkeen. Kyseisessä kohteessa S1-luokan taso eli ”yksilöllinen” sisäilman laatu saavutettiin ensimmäisen kuuden kuukauden asumisen aikana TVOC- ja ammoniakkipitoisuuden suhteen. Formaldehydipitoisuus oli kaikissa seurantamittauksissa hyvin alhainen.

Eräässä kohteessa oli oman arvionsa mukaan ilmennyt oireilua asuntoon muuton jälkeen. Kyseisen kohteen pitoisuustasot eivät kuitenkaan merkittävästi poikenneet muissa kohteissa mitatuista pitoisuustasoista. Viimeisen seurantamittauksen yhteydessä havaittiin kuitenkin, että mitatun tilan korvausilmaventtiili oli suljettuna ja näin ollen tuloilman määrä oli rajoittunut. Mittaustuloksista todettiin, että pitoisuustasot olivat lähes kaksinkertaiset verrattuna edelliseen mittaukseen, jolloin korvausilmaventtiili oli auki.



## 4. Yhteenveto

Tämän Tekesin Terve Talo -tutkimusohjelmaan kuuluvan projektin aikana tutkittiin sisäilman laatua sekä rakenteiden emissioita suomalaisessa uudisrakentamisessa vuosien 2000–2003 aikana. Tutkimuskohteita eli asuinrakennuksia oli yhteensä kahdeksan, ja voidaan todeta, että niistä sadut tulokset edustavat hyvin sitä, mikä sisäilman laatutaso saavutetaan tämän päivän hyvän rakentamiskäytännön mukaisesti toteutetuissa rakennuksissa, kun käytetään kemiallisilta epäpuhtauksiltaan vähäpäästöisiä, luokiteltuja rakennusmateriaaleja. Tutkimuksen aikana selvitettiin eri rakenneratkaisujen, ilmanvaihtojärjestelmän sekä rakennus- ja pintamateriaalien vaikutusta lopulliseen sisäilman laatuun, ja lisäksi arvioitiin asukkaiden kokema sisäilman laatu erityisesti tätä tutkimusta varten laaditun asukaskyselyn perusteella.

Sisäilman laatu oli luovutusvaiheessa yli Sisäilmastoluokituksen S3-luokan tavoitearvon TVOC- ja ammoniakkipitoisuuden suhteen niissä kohteissa, joissa oli pelkkä koneellinen poistoilmajärjestelmä. Kohteissa, joissa oli myös koneellinen tuloilma, saavutettiin luovutusvaiheessa S2- ja S3-luokkien pitoisuustasot tutkittujen kemiallisten epäpuhtauksien osalta. Formaldehydipitoisuuden voidaan todeta olevan uusissa rakennuksissa hyvin pieni, eikä tämän projektin aikana tutkituissa kohteissa ylitetty S2-luokan tasoa eli  $50 \mu\text{g}\cdot\text{aa}/\text{m}^3$  minään mittausajankohtana. TVOC-pitoisuudet pienenevät asutuissa huoneistoissa tasaisesti jopa S1-luokan tasolle eli alle  $200 \mu\text{g}\cdot\text{aan}/\text{m}^3$  ensimmäisen puolen vuoden aikana. Tutkittujen asuntojen ilmanvaihtokertoimet olivat  $0,8\text{--}1,5 \text{ h}^{-1}$ . Sen sijaan ensimmäisen käyttövuoden aikana asuinrakennuksissa mitattiin tavallisesti sisäilmastoluokituksen S3-luokan tason eli  $40 \mu\text{g}\cdot\text{n}/\text{m}^3$  ylittävä ammoniakkipitoisuus. Tutkimuksen aikana vahvistui edelleen käsitys siitä, että ulkoisten olosuhteiden osuus voi olla hyvinkin merkittävä, kun tarkastellaan sisäilman pitoisuustasoja. Ennen muuta korostuivat käytetty ilmanvaihtojärjestelmä sekä sen toimivuus rakennuksen käytön aikana. Myös sisäilman (ulkoilman) suhteellisen kosteuden vaihtelut eri vuodenaikoina vaikuttivat merkittävästi sisäilmasta mitattuihin ammoniakki- ja formaldehydipitoisuustasoihin. Asuminen itsessään tuo lisämuuttujan sisäilman epäpuhtauksien kannalta, esimerkiksi asuntoon tuodut huonekalut sekä siivoamisessa käytetyt pesu- ja puhdistusaineet vaikuttavat sisäilman pitoisuuksiin.

Oikeista rakenteista mitatuissa emissioissa oli eroja liittyen käytettyihin rakennusmateriaaleihin. Erityisen suuret erot havaittiin eri M1-luokiteltujen PVC-pinnoitteiden sekä eri liimatuotteiden välillä, mikä havaittiin lattiarakenteesta pinnoitteen poiston jälkeen mitatuista emissiotuloksista. Tämä uudiskohteista kerätty emissiodata on arvokasta sikäli, että sitä voidaan hyödyntää epäiltyjen sisäilmaongelmatapausten arvioinnissa: kerätty tutkimustieto toimii referenssiarvoina, kun arvioidaan, onko sisäilmaongelma peräisin rakenteen poikkeavasta epäpuhtauksien tai liiallisen rakennekosteuden vaikutuksesta aiheutuvien hajoamistuotteiden emissioista. Uudiskohteiden tulosten perusteella on kehitetty

erityinen mittausmenetelmä lattiarakenteen mittaukseen tällaisten hajoamisreaktioiden toteamiseksi (julkaistaan VTT julkaisusarjassa 2005). *Menetelmän mukaan epäiltyä ongelmarakennetta ei missään tilanteessa tule irrottaa rakenteesta vaan mittaus tulee tehdä FLEC-tekniikkaa hyväksikäyttäen rakenteen oikeassa ympäristössä.* Lattiapinnoitteen alla olevan rakenteen emissio voidaan mitata aikaisintaan kolmen vuorokauden kuluttua pinnoitteen poiston jälkeen, jolloin rakenne on saavuttanut tasapainotilan emissioiden suhteen. Tämä mittausajankohta on valittu siksi, että uudiskohteista saatujen lattiarakenteen seurantamittausten tulosten perusteella voitiin todeta, että rakenteesta mitatut emissiot voivat ennen tätä ajankohtaa olla normaalissakin tapauksessa hyvinkin suuret ja sellaisten mittaustulosten arvo on siksi ongelman arvioinnissa vähäinen.

Tasoitetusta, valmiista kattorakenteesta mitattiin ensimmäisen vuoden seurantamittausten aikana tavallisesti suhteessa muihin pintoihin korkeimmat emissiot. Tähän voi osaltaan vaikuttaa ruiskutasoitettun kattorakenteen erityisen huokoinen pinta, mikä on ominaan sisäilmassa esiintyvien yhdisteiden sorptiolle. Erityisesti tämä kävi ilmi ensimmäisen vuoden seurantamittauksissa, kun tutkittiin asuttuja huoneistoja, joissa asukkaiden toiminta (huonekalut, siivous ym.) tuo sisäilman epäpuhtauksien kuormituksen kannalta uuden muuttujan. Näin ollen asutuissa rakennuksissa mitatut emissiot voivat olla uuteen rakenteeseen verrattuna korkeammat. Erityisesti lämpiminä vuodenaikoina, kun sisäilman (ulkoilman) suhteellinen kosteus oli korkeimmillaan, mitattiin kattorakenteesta korkeampia ammoniakki- ja formaldehydiemissioita, minkä vaikutus oli myös nähtävissä, kuten edellä on mainittu, sisäilman pitoisuustasoissa.

Uudiskohteissa tehtyjen asukyselyjen perusteella voitiin todeta, että suurin osa asukkaista oli tyytyväisiä asuinympäristöönsä. Eniten viihtyvyyteen vaikutti asunnon lämpötila. Yhdellä asukkaalla oli oman arvionsa mukaan ilmennyt oireilua asuntoon muuton jälkeen. Ainoa tässä kohteessa havaittu poikkeama liittyi korvausilman saatavuuteen, jonka havaittiin kyseisessä asunnossa viimeisen seurantamittauksen aikana olleen rajoittunut, koska asukas oli itse sulkenut korvausilmaventtiilin. Kyseisen kohteen pitoisuustasot eivät merkittävästi poikenneet muissa kohteissa mitatuista, vaikkakin kyseisen asunnon pitoisuustasot olivat nousseet selvästi edellisestä mittauskerrasta, jolloin korvausilmaventtiili oli auki ja tämän perusteella arvioitiin, että raikkaan tuloilman vähäisyys on voinut aiheuttaa oireilua. Edellä esitetty kuvaa jälleen ilmanvaihdon toiminnan tärkeyttä liittyen sisäilman laatuun ja sitä, miten rakennuksen käyttäjä voi siihen itse suhteellisen helposti vaikuttaa.

# Loppusanat

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan hyödyntää osana materiaaliemissioiden sekä sisäilman laadun rakennusaikaista laadunvarmistusta. Projektin aikana laadittiin tätä tarkoitusta varten myös erityinen menettelyohje, joka on tämän julkaisun liitteenä. Ohjeessa käsitellään mittausmenetelmät ja -ajankohdat sekä esitetään referenssinä uusista rakenteista mitattuja emissiotuloksia. Asuinrakennuksen suunnittelu- ja toteutusvaihetta ajatellen voidaan esittää seuraavat rakennusaikana huomioitavat tärkeät tekijät, jotta uudessa asuinrakennuksessa saavutetaan mahdollisimman matalan emissiotason omaavat rakenteet sekä edelleen hyvä sisäilman laatu.

- !! Käytetään tutkitusti vähäpäästöisiä, luokiteltuja (M1) rakennusmateriaaleja.
- !! Huomioidaan rakenteiden riittävät kuivumisajat. Kosteudenhallinta sisällytetään työmaan toimintaan.
- !! Ilmanvaihto suunnitellaan ja toteutetaan hyvin toimivaksi, eli varmistetaan riittävät tulo- ja poistoilmamäärät.
- !! Rakenteen ylimääräistä ulkopuolista kemiallista kuormitusta eri työvaiheissa tulee välttää (tupakointia, lämmityslaitteiden polttoöljyä jne.).
- !! Sisäilman laadun kannalta merkittävät **työmaakohtaiset** riskit tulee arvioida ja hallita.

# Lähdeluettelo

Betonikeskus ry. 8.5.2000. Betonirakenteiden äänitekniikka.

CEN. 1999. ENV 13419-1. Building products – Determination of the emission of volatile organic compounds. Part 1: Emission test chamber method. Bruxelles: European Committee for Standardization.

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.

Ilmatieteen laitos 2003. Ilmastotilastot 2000–2002.

ISO. 6.8.2001. ISO/DIS 16000-6. Indoor Air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and chamber air by active sampling on TENAX TA, thermal desorption and gas-chromatography MSD/FID.

Rakennustieto Oy. 1998. RT-ohjekortti RT 14-10675: Rakenteen suhteellisen kosteuden määrittäminen.

Rakennustieto Oy. 1998. SisäRYL 2000. Rakennustöiden yleiset laatusopimukset. Talonrakennuksen sisätyöt RT 14-10668.

Rakennustietosäätiö RTS. [www.rts.fi](http://www.rts.fi). 2003.

Sisäilmayhdistys ry. 2001. Sisäilmastoluokitus 2000. Espoo: SIY. ISBN 952-5236-14-5

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka menetelmäohje RTESIS295. Sisäilman ammoniakkipitoisuuden määrittäminen.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Terve Talo -projektin loppuraportti ”Sisäilmaongelman todentaminen, korjaus ja jälkiseuranta” osa 2 (julkaistaan VTT:n julkaisusarjassa).

Ympäristöministeriö. 2003. Rakentamismääräyskokoelma D2 – Rakennuksen sisäilma- ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

# Liite A: Ohje rakenteiden emissioiden sekä sisäilman pitoisuuksien laadunseurantaan kenttäolosuhteissa

1. Johdanto.....	2
2. Käsitteistä .....	2
2.1 Sisäilman pitoisuus .....	2
2.2 Materiaaliemissio.....	3
2.3 Sisäilma- ja materiaaliluokitus.....	3
3. Mittauspisteet ja -ajankohta.....	4
4. Mittaustekniikka ja analyysimenetelmät .....	5
4.1 Yleistä .....	5
4.2 Emissiomittaus.....	6
4.3 Sisäilmamittaus.....	7
4.4 Betonirakenteen ja sisäilman kosteusmittaus .....	8
4.5 Näytteenotto- ja analyysimenetelmät.....	10
4.6 Laadunvarmistus.....	11
4.6.1 Yleistä .....	11
4.6.2 Ilmanäytteenotto ja kemialliset analyysimenetelmät.....	12
4.6.3 Kosteusmittaukset.....	12
4.7 Mittauspöytäkirjat.....	13
5. Tulosten arviointi.....	14
5.1 Yleisesti tuloksista .....	14
5.2 Rakenteiden emissiot.....	15
5.3 Sisäilman pitoisuustasot.....	15
6. Kirjallisuutta .....	16
7. Kenttäolosuhteissa kerättyjä mittaustuloksia .....	16

## 1. Johdanto

Sisäilman laatu on viime vuosikymmenien aikana ollut erityisen kiinnostuksen kohteena johtuen ennen muuta siihen liittyvistä ongelmista, jotka useassa tapauksessa ovat ilmenneet haju- ja/tai terveyshaittana. Näiden ongelmien aiheuttajaksi on monessa tapauksessa epäilty rakenteesta tapahtuvaa epäpuhtauksien haihtumista, eli emissiota, sisäilmaan, ja tätä kuormitusta onkin pyritty vähentämään luomalla erityinen rakennusmateriaalien luokitusjärjestelmä [Sisäilmastoluokitus 2000]. Luokituksessa on määritetty laboratorioolosuhteissa mitatun materiaalin emissioiden enimmäisarvot sekä vastaavasti tavoitearvot sisäilman pitoisuuksille. Tällä hetkellä näitä ns. luokiteltuja tuotteita on markkinoilla yli 400, ja niissä on edustettuna kaikkien eri rakennusvaiheiden materiaaleja, kuten lattiatasotteita, liimoja, lattiapinnoitteita, eristeitä sekä maaleja.

Tässä ohjeessa esitetään, miten uusissa, hyvän rakennuskäytännön mukaisesti toteutetuissa asuinrakennuksissa voidaan rakennusvaiheessa huomioida rakenteiden emissioiden seuranta sekä emissioiden vaikutus lopulliseen sisäilman laatuun asunnon valmistusvaiheessa, kun rakennusmateriaaleina on käytetty vähäpäästöisiä, luokiteltuja rakennusmateriaaleja. Tietoa voidaan soveltaa työmaalla osana rakentamisen aikana tapahtuvaa laadunseuranta. Yleisten käsitteiden lisäksi esitetään käytettävät mittaustekniikat ja analyysimenetelmät, jotka perustuvat eurooppalaisella tasolla hyväksytyihin standardeihin sekä yhteenveto siitä, minkälaiset mittaustulokset ovat tavallisia normaaleille rakenteille eri työvaiheissa. Nämä vertailutulokset perustuvat Tekesin rahoittamaan Terve Talo -emissioprojektin aikana kolmen eri urakoitsijan asuntotuotannossa kerättyyn tutkimustietoon vuosien 1999–2001 aikana. **Esitetyt arvot ovat ainoastaan viitteellisiä arvoja, ja niiden vertailukelpoisuus tulee harkita jokaisella työmaalla erikseen.** Esimerkkinä rakennuksissa käytetyt materiaalit, kuten myös olosuhteet, vaihtelevat hyvinkin paljon, ja kaikkia mahdollisia rakenneratkaisujen kenttäolosuhteissa antamia emissiotuloksia on käytännössä vaikea kartoittaa ja näin ollen on olemassa olevan vertailutiedon rajallisuus huomioitava. **Tässä esitettyä menettely tai arviointitapa on laadittu uusille asuinrakennuskohteille osaksi rakennusaikaista laadunseuranta eikä sitä tule soveltaa sisäilmaongelmatapauksissa.**

## 2. Käsitteistä

### 2.1 Sisäilman pitoisuus

Sisäilma koostuu kaasumaisista yhdisteistä ja hiukkasista, jotka ovat peräisin sisään syötetystä tai tulevasta ulkoilmasta sekä tilan materiaaleista ja toiminnasta. Sisäilman yhdisteiden pitoisuus annetaan ainemääränä tilavuusyksikköä kohden eli  $\text{mg}/\text{m}^3$  (=  $1\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Pitoisuus voidaan kaasumaisten yhdisteiden kohdalla ilmoittaa myös tilavuusosuutena, jonka yksikkönä käytetään yleensä lyhennettä ppm eli parts per million,

$10^{-6}$ . Tilan *ilmanvaihto* on olennainen tekijä sisäilman eri yhdisteiden pitoisuustason vaikuttimena. Tilan ilmanvaihtoa kuvaa ilmanvaihtokerroin, joka annetaan aikayksikköä kohden ( $\text{h}^{-1}$ ). Sisäilman pitoisuustasoihin vaikuttaa myös sisäilman *suhteellinen kosteus*, joka ilmaistaan prosenttiyksikkönä (SK %) sekä *lämpötila*.

## 2.2 Materiaaliemissio

Materiaaliemissio on materiaalin pinnasta tapahtuva kemiallisten yhdisteiden haihtumismisilmiö. Emissionopeus (SER, Specific Emission Rate) annetaan ainemääränä pinta-ala- ja aikayksikköä kohden eli  $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$  ( $= 1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) tai vaihtoehtoisesti ainemääränä massayksikköä kohden eli  $\text{mg}/\text{kg}\text{h}$ . Tilan materiaaleista tapahtuva emissio vaikuttaa suoraan tilan sisäilman koostumukseen. Materiaalista tapahtuvaan emissioon vaikuttaa monta tekijää, kuten pinnan *ilmanvaihto*, yhdisteiden *höyrypaine* ja *diffuusiokerroin materiaalisissa* sekä materiaalin tai rakenteen *lämpötila* ja *kosteuspitoisuus*.

## 2.3 Sisäilma- ja materiaaliluokitus

Sisäilmastoyhdistys ry on julkaisussa ”Sisäilmaluokitus 2000” määrittänyt sisäilman kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksille nk. S-luokituksen. Sisäilmaluokitus antaa tavoitearvot sisäilman orgaanisille haihtuville yhdisteille (TVOC), ammoniakki- sekä formaldehydipitoisuudelle. Sisäilmastoluokituksen laatuluokat kuvataan seuraavasti: S1 = ”yksilöllinen sisäilma”, S2 = ”hyvä sisäilma”, S3 = ”tydyttävä sisäilma”. S-luokkien tavoitearvot esitetään taulukossa A1.

Sisäilmaluokituksessa määritellään myös rakennusmateriaalien päästöluokituksen M vaatimukset. Päästöluokitus määrittelee enimmäisarajat TVOC-, ammoniakki- sekä formaldehydiemissioille. Luokitellusta materiaalista ei saa myöskään haihtua karsinogeenisiä yhdisteitä, ja sen on oltava hajuton. M-luokkien enimmäisarvot emissioille esitetään taulukossa A2. Luokitusmerkin myöntää Rakennustietosäätiö ry.

*Taulukko A1. Rakennusmateriaalien päästöluokituksen vaatimukset luokille M1 ja M2 (Sisäilmaluokitus 2000).*

Materiaalin laatuluokka	TVOC-emissio ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )	Ammoniakkiemissio ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )	Formaldehydiemissio ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )
M1	200	30	50
M2	400	60	125

Taulukko A2. Sisäilmaluokituksen määrittämät tavoitearvot sisäilman yhdisteiden pitoisuuksille luokissa S1, S2 ja S3 (Sisäilmaluokitus 2000).

Sisäilman laatu-luokka	TVOC-pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ammoniakkipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Formaldehydipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
S1	200	30	30
S2	300	30	50
S3	600	40	100

### 3. Mittauspisteet ja -ajankohta

Mittauspisteet valitaan kohteittain niin, että ne kattavat käytetyt rakenneratkaisut ja valmistumisajankohdat mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi emissiomittaukset voidaan suorittaa rakennuksen kosteusmittaus suunnitelmassa valituissa mittauspisteissä eli jokaisessa portaikossa ja tasaisesti eri kerroksissa, kun kyseessä on kerrostalo. Koska rakenteiden kohonnut kosteuspitoisuus lisää myös emissioita, voidaan lähtökohtana olettaa, että rakennuksen kosteuden kannalta riskialttiit pisteet ovat sitä myös emissioiden kannalta. Uudiskohteille voidaan esimerkkinä noudattaa taulukoiden A3 ja A4 mukaisesti esitettyä rakenteiden emissioiden ja sisäilman (huoneilman) mittausohjelmaa rakentamisen aikana. Esitetyt mittausajankohdat perustuvat siihen, että näille ajankohdille on olemassa vertailudataa. Mittauksissa saatujen tuloksien arviointi esitetään luvussa 5. Tulokinnassa tulee erityisesti huomioida rakennusaikaiset olosuhteiden eroavaisuudet kohteiden välillä; esimerkiksi tasoitteen kuivumisaika on suuresti riippuvainen kuivumisolosuhteista. Myös rakennuksella tapahtuva normaali toiminta (esim. maalaustyöt) voi vaikuttaa tuloksiin, mikä tulee huomioida mittausajankohtaa valittaessa. Mittausajankohdat ja -tiheys ovat viime kädessä rakennuttajan tai urakoitsijan oman harkinnan alla.

Rakennusaikainen emissioiden seuranta voidaan aloittaa kantavasta rakenteesta, kun kohteen lämmitys on päällä. Lattiarakenteen emissiot eri valmistusvaiheissa mitataan siten, että huomioidaan riittävä kuivumisaika (tasoite) ennen mittauksen suorittamista kuitenkin niin, että kuivumisaika vastaa yleisesti rakennuksessa toteutettua käytäntöä. Mikäli käytäntö vaihtelee johtuen erilaisista kuivumisolosuhteista, tulisi kaikista eri olosuhteissa valmistuneista rakenteista mitata yksi esimerkki. Pintamateriaalien emissiot mitataan vasta silloin, kun ilmanvaihto on ollut käynnissä yli kaksi viikkoa eli käytännössä luovutusvaiheessa. Lattiapinnoitteen emissiot mitataan aikaisintaan neljä viikkoa asennuksen jälkeen ja vastaavasti seinä- ja kattopinnat 15 viikkoa valmistumisesta (tasoitus/maalaus/tapetointi).

Emissiomittausten yhteydessä mitataan rakenteen ja sisäilman (mitattavan pinnan päällä) lämpötila ja kosteuspitoisuus.



Sisäilmamittaus suoritetaan aikaisintaan siinä vaiheessa, kun ilmanvaihto on ollut toiminnassa vähintään kaksi viikkoa ja loppusiivous on tehty ja huoneisto on tuulettunut vähintään kaksi vuorokautta sen jälkeen. Sisäilmamittaus suoritetaan aina tyhjässä asunnossa ennen asukkaiden sisäänmuuttoa. Mikäli huoneiden koot vaihtelevat paljon, tulisi mittaus suorittaa useassa pisteessä tai ainakin pienintä tilaa vastaavassa huoneessa. Mittauksen yhteydessä määritetään aina ilman lämpötila ja kosteuspitoisuus.

*Taulukko A3. Emissioiden mittausohjelma rakentamisen aikana.*

<b>Mitattava rakenne</b>	<b>Mittaus</b>
<p><b>1. Kantava rakenne</b> Lämpö päällä; rakenteen lämpötila vähintään +15°C Kantavan rakenteen ikä vähintään 10 viikkoa (paikallavalu) <i>5 viikkoa (ontelorakenne)</i></p>	<p>Emissionopeus: TVOC ja ammoniakki Rakenteen kosteuspitoisuus ja lämpötila syvyydeltä 0,2 d ja 0,4 d Sisäilman kosteus ja lämpötila (mitattavan pinnan päältä)</p>
<p><b>2. Tasoitettu kantava rakenne</b> Tasoitteen <b>kuivumisaika</b> 1–4 viikkoa riippuen kuivumisolosuhteista ja levitysmäärästä (hienotasoite, levitys 3–5 mm, karkeatasoite, levitys 20–40 mm)</p>	<p>Emissionopeus: TVOC, ammoniakki ja formaldehydi Rakenteen kosteuspitoisuus ja lämpötila syvyydeltä 0,2 d ja 0,4 d Sisäilman kosteus ja lämpötila (mitattavan pinnan päältä)</p>
<p><b>3. Pintamateriaalit:</b> Lattiapinta, asennusikä yli 4 viikkoa Kattopinta, rakenteen ikä yli 15 viikkoa Seinäpinnat, rakenteen ikä yli 15 viikkoa Ilmanvaihto ollut toiminnassa yli 2 viikkoa (luovutusajankohta)</p>	<p>Emissionopeus: TVOC, ammoniakki ja formaldehydi Rakenteen kosteuspitoisuus ja lämpötila syvyydeltä 0,2 d ja 0,4 d Sisäilman kosteus ja lämpötila (mitattavan pinnan päältä)</p>

*Taulukko A4. Sisäilman mittausohjelma rakentamisen aikana.*

<b>Mittausajankohta</b>	<b>Mittaus</b>
<p><b>1. Juuri ennen luovutusta, kun</b> Ilmanvaihto on ollut toiminnassa vähintään 2 viikkoa Loppusiivous on tehty ja huoneisto on tuulettunut sen jälkeen vähintään 2 vuorokautta</p>	<p>Sisäilma: TVOC, ammoniakki ja formaldehydipitoisuus Sisäilman kosteus ja lämpötila</p>

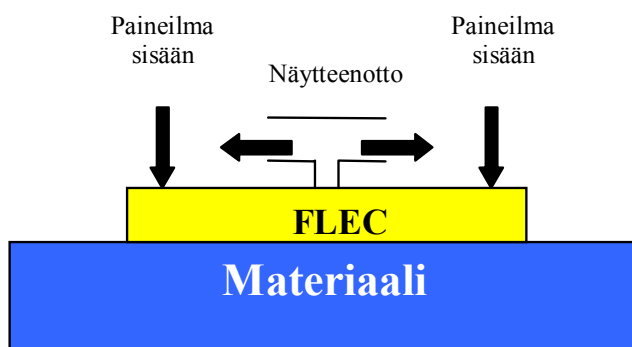
## 4. Mittaustekniikka ja analyysimenetelmät

### 4.1 Yleistä

Rakenteiden emissioiden ja sisäilman pitoisuuksien määrittämisessä käytetään erityisesti näitä varten kehitettyjä mittaustekniikoita ja ne suoritetaan niitä varten erikoistuneen laboratorion toimesta, mikä tarkoittaa sitä, että määrittäminen perustuu yleisesti hyväksytyihin standardeihin ja ne suoritetaan analyysimenetelmälle asetettujen laatu-kriteerien mukaisesti. Kentällä suoritettavat emissio- ja sisäilmamittaukset sisältävät monta epävarmuustekijää, jotka on pyrittävä huomioimaan niin, etteivät ne aiheuta virheellistä mittaustulosta. Seuraavassa esitetään emissioiden ja sisäilman mittaustekniikat kenttäolosuhteissa, analyysimenetelmät sekä suoritettujen mittausten laadunvarmistuksessa huomioon otavat asiat.

### 4.2 Emissiomittaus

Näytteenotto kohteesta rakenteista valitaan niin, että ne edustavat mahdollisimman hyvin tilan kokonaisuutta. Pintamateriaalien mittauksessa tulee mitattavan pinnan edustaa huoneilmaan kosketuksissa olevaa pintaa. Näytteenottoon käytetään FLEC-tekniikkaa (FLEC, Field and Laboratory Emission Cell). FLEC on kenttäkäyttöön soveltuva emissiotutkimuskammio. Mittausmenetelmän periaate esitetään kuvassa A1.



*Kuva A1. FLEC-mittauksen periaate.*

FLEC-mittauksessa alapinnalta avoin kammio tiivistetään tutkittavan pinnan päälle. Tiiviys tarkistetaan mittaamalla sisään menevä ja laitteesta ulos tuleva ilmamäärä. Näytteen yläpuolelle jää noin 35 ml:n tila, johon laitteistoon kuuluvan säätöyksikön kautta johdetaan painepullosta puhdasta, 50 %:n suhteelliseen kosteuteen kostutettua ilmaa. Tutkittavalta pinnalta tähän kammion ilmanvaihtoilmaan siirtyneet yhdisteet kerätään sopivaan väliaineeseen riippuen siitä, minkä yhdisteen emissionopeus määritetään (ks. kohta 4.5). Tässä menetelmäohjeessa annetut viitearvot perustuvat Tenax TA-adsorbenttiin suoritettuun näytteenottoon. Näytteenotto aloitetaan aikaisintaan 30 mi-

nuuttia sen jälkeen, kun FLEC-laitteistoon on kytketty ilmavirta ja se on todettu tiiviiksi. Tutkittavalta pinnalta pinta-alaa ja aikayksikköä kohti haihtuva ainemäärä lasketaan seuraavasti:

$$SER = c * \frac{Q}{A}$$

missä	<i>SER</i>	= Specific Emission Rate eli emissionopeus, mg/(m <sup>2</sup> h)
	<i>c</i>	= yhdisteen pitoisuus kammioilmassa, mg/m <sup>3</sup>
	<i>Q</i>	= FLEC-kammion läpi johdettu ilmamäärä, m <sup>3</sup> /h
	<i>A</i>	= FLEC-kammion rajaama vapaa pinta-ala tutkittavasta pinnasta, m <sup>2</sup> .

Emissionmittauksen yhteydessä määritetään mittauspisteessä rakenteen sekä pinnan sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila (ks. kohta 4.4).

### 4.3 Sisäilmamittaus

Sisäilmamittaus suoritetaan niin, että tutkittavaa ilmaa kerätään tunnettu tilavuus eri väliaineeseen riippuen siitä, minkä yhdisteen pitoisuus määritetään (ks. kohta 4.5). Yhdisteen pitoisuus sisäilmassa lasketaan seuraavasti:

$$c = \frac{m}{V}$$

missä	<i>c</i>	= yhdisteen pitoisuus sisäilmassa, mg/m <sup>3</sup>
	<i>m</i>	= yhdisteen ainemäärä näytteessä, mg
	<i>V</i>	= imetyn ilmamäärän tilavuus, m <sup>3</sup> .

Sisäilmanäytteenoton yhteydessä määritetään sisäilman kosteus ja lämpötila (ks. kohta 4.4).

Seuraavassa esitetään uudiskohteissa sisäilmasta juuri ennen luovutusta suoritettavalle näytteenotolle asetettavat yleiset vaatimukset:

- Näytteet otetaan tasaantuneissa ilmanvaihto-olosuhteissa; ilmanvaihdon on oltava toiminnassa vähintään kaksi viikkoa ennen mittausta.
- Mitattavaa tilaa ei saa tulla 1 vuorokauteen ennen mittausta.

- Huoneistosta on poistettava ihmisen toiminnasta aiheutuvat tilapäiset lähteet (esimerkiksi rakennustarvikkeet ja -aineet, tupakointi, puhdistusaineet) vähintään vuorokausi ennen mittausta.
- Olo- ja makuuhuoneet edustavat tiloja, joissa asukkaat keskimäärin viettävät eniten aikaa ja näytteenotto suoritetaan tavallisesti näissä tiloissa. Näytteet voidaan perustellussa tapauksessa ottaa muistakin tiloista, ei kuitenkaan keittiöstä eikä WC:stä, kylpy- tai kodinhoitohuoneesta.
- Valitussa näytteenottopisteessä näytteet otetaan mahdollisimman keskeltä huonetta n. 1,1 m lattiataason yläpuolelta. Näytteenottopisteen etäisyyden seinästä tulee olla vähintään 1 m.
- Näytteenottopistettä valittaessa on kiinnitettävä huomiota korvausilman mahdolliseen kanavoitumiseen tutkittavassa tilassa ja sijoitettava näytteenottopiste riittävän kauas esim. korvausilma-aukoista

Näytteenoton ajankohta valitaan niin, että huoneiston ilmanvaihto-olosuhteet ovat mahdollisten muutosten jälkeen vakioituneet. Jos huoneistossa joudutaan suorittamaan tuuletus esim. tupakansavun poistamiseksi asunnosta, on tuuletuksen jälkeen odotettava useita tunteja ennen mittausten aloittamista koska sisätiloissa tupakointi vaikuttaa sisäilman yhdisteiden pitoisuustasoihin merkittävästi. Myös puhdistuskemikaalit saattavat tilapäisesti nostaa sisäilman pitoisuuksia.

Yleisenä ohjeena on, että tutkittavan huoneen ovi pidetään ennen mittauksia ja mittausten aikana suljettuna mikäli mahdollista. Tulosten tulkinnan kannalta on tärkeää, että näytteet otetaan tilanteessa, joka vastaa asunnon normaalia käyttötilaa mahdollisimman tarkoin.

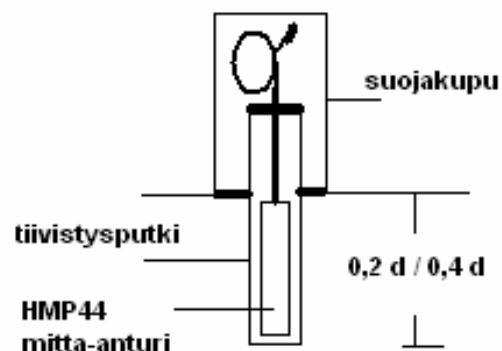
#### **4.4 Betonirakenteen ja sisäilman kosteusmittaus**

Emissiomittauksen yhteydessä määritetään rakenteen ja sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila määritetään myös aina sisäilmamittauksen yhteydessä. Rakenteen suhteellinen kosteus kuvaa rakenteen kanssa tasapainotilassa olevan rakenteen huokosten ilman kosteuspitoisuutta suhteessa ilman enimmäiskosteuspitoisuuteen mitatussa lämpötilassa, ja se annetaan prosenttilukuna (SK %). Vastaavasti sisäilman suhteellinen kosteus on ilman kosteuspitoisuus suhteessa ilman enimmäiskosteuspitoisuuteen mitatussa lämpötilassa.

Rakenteen suhteellinen kosteus ja lämpötila emissiomittauksen yhteydessä määritetään syvyydeltä 0,2 d ja 0,4 d välipohjarakenteelle, ja se voidaan suorittaa vaihtoehtoisesti seuraavilla tavoilla:

- Porareikämenetelmä 1; porareian ilman kosteus mitataan kapasitiivisellä anturilla.
- Näytepalamenetelmä; kosteusmittaus suoritetaan laboratorio-olosuhteissa näytepalasta.

Kuvassa 2 esitetään kosteusmittaus porareikästä kapasitiivisellä anturilla (esim. Vaisala HMP44).



*Kuva A2. Kosteusmittaus porareikästä kapasitiivisellä anturilla.*

Porareikästä kapasitiivisellä anturilla suoritettavassa kosteusmittauksessa käytetään Vaisalan HMP44 (rakennekosteus ja -lämpötila) ja HMP41 (sisäilman kosteus ja lämpötila) mitta-antureita. Valmistajan antamat virherajat ovat  $\pm 2\%$  (0–90 SK %) ja  $\pm 3\%$  (>90 SK %) näille antureille. Rakenteen suhteellisen kosteuden määrittäminen tällä menetelmällä suoritetaan käytännössä seuraavasti:

1. Reikä porataan oikealle syvyydelle, halkaisija 16 mm.
2. Reikä puhdistetaan porauspölystä imuroimalla.
3. Reikä tiivistetään koko pituudeltaan erityisellä tiivistysputkella mittaussyvyyteen asti.
4. Reiän avoin pää tiivistetään hyvin (esim. tiivistemassalla ”Malkit”).
5. Porareian annetaan tasapainottua **vähintään 3 vuorokautta**.
6. Anturin asennetaan kuvan A2 mukaisesti, tiivistetään kunnolla!
7. Mittauskaapelin päälle asennetaan suojakupu.

8. Anturin lukema luetaan aikaisintaan tunnin kuluttua asennuksesta. Anturin lämpötila ei saa poiketa merkittävästi mittauskohteen lämpötilasta anturin asennuksen yhteydessä.
9. Mittauslukemat (SK ja lämpötila) dokumentoidaan.
10. Arvot korjataan kunkin anturin yksilöllisillä kalibrointi-korjauskertoimilla.

Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila sisäilmamittauksen yhteydessä määritetään korkeudelta 1–1,5 m esimerkiksi Vaisala Oy:n mitta-anturilla HMP41. Anturin tasapainotusaika huoneilmassa on 30 minuuttia.

Yleisesti tulee rakenteen kosteusmittauksessa huomioitava seuraavat kohdat:

- Samasta porausreiästä ei saa mitata viikon sisällä edellisestä mittauksesta, mikäli se ei ole tulpattu mittausajankohtien välillä.
- Ennen mittausta tulisi anturi ”kuivata” alhaisemmalla kosteuspitoisuudella kuin aiotaan mitata (esim. kalibrointiliuoksella). Tämä siksi, että voidaan olettaa, että betonin on helpompi luovuttaa kuin sitoa kosteutta.
- Mittausanturi tulisi kalibroida riittävän usein, kuitenkin vähintään kahden kuukauden välein. Anturi kalibroidaan tietylle anturin lukulaitteelle.
- Ennen anturin asennusta on mittarin oltava huoneenlämmössä noin yksi tunti (anturin lämpötila ei saa poiketa merkittävästi mittauskohteen lämpötilasta).

#### **4.5 Näytteenotto- ja analyysimenetelmät**

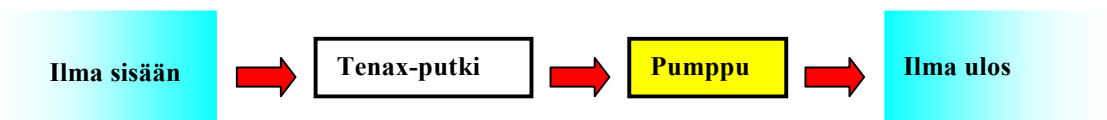
Emissio- ja sisäilmanäytteet kerätään sopiviin väliaineisiin riippuen siitä, minkä yhdisteen emissionopeus tai pitoisuus halutaan määrittää. Seuraavassa adsorbentit:

Orgaaniset haihtuvat yhdisteet (VOC, TVOC): Tenax TA/GR

Ammoniakki: laimea rikkihappoliuos

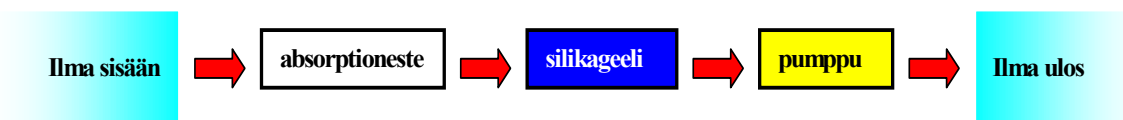
Formaldehydi: vesiliuos tai DNPH-adsorbentti.

Orgaaniset haihtuvat yhdisteet kerätään Tenax TA (tai GR) -adsorbenttiin kuvassa A3 esitetyn periaatteen mukaan. Pumpun avulla putken läpi imetään tukittavaa ilmaa nopeudella 100–150 ml/min. Imettävä kaasumäärä voi vaihdella 1–5 l. Näytteenoton jälkeen näyteputket suljetaan tiivistä.



Kuva A3. Esimerkki näytteenottojärjestelyistä Tenax-adsorbenttia käytettäessä (ilmanäytteen orgaanisten haihtuvien yhdisteiden määrittäminen).

Ammoniakin ja formaldehydin näytteenottoon käytetään periaatteeltaan kuvan A4 mukaista järjestelyä. Kuplituspulloon lisätään näytteenottoliuokseksi pullon koosta riippuen esim. 10–50 ml laimeaa rikkihappoa (väkevyys 0,005–0,01 mol/l). Pumpun avulla kuplituspullon läpi imetään tutkittavaa ilmaa nopeudella 1–5 l/min. Imettävän kaasun kokonaismäärä määräytyy käytetyn analyysimenetelmän herkkyydestä. Imettävän kaasumäärän tulisi olla vähintään 100 litraa ilmaa jokaista näytteenottoliuoksen 10 ml:aa kohti.



Kuva A4. Esimerkki näytteenottojärjestelyistä kuplitusmenetelmää käytettäessä (ilmanäytteenotto ammoniakkin ja formaldehydin määrittästä varten).

Näytteenoton jälkeen kuplituspullot suljetaan huolellisesti ja näyte kuljetetaan laboratorioon analysoitavaksi. Orgaaniset haihtuvat yhdisteet analysoidaan Tenax-adsorbentista kaasukromatografisesti termodesorptiotekniikkaa käyttäen. Yhdisteet kvantifioidaan joko liekki-ionisaatio- (FID) tai massaselektiivisellä (MSD) detektorilla omilla vasteillaan. Orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä, TVOC (total volatile organic compounds), annetaan tolueeniekvivalenteina FID-pinta-alasta välillä heksaani–heksadekaani. Määrittäminen rajoittaa tutkittavat yhdisteet niin, että ne ovat suhteellisen poolittomia ja niiden kiehumispiste on 60–260 °C.

Näytteeseen kerätty ammonium määritetään spektrofotometrisesti, potentiometrisesti ioniselektiivisellä elektrodilla tai nestekromatografisesti.

Formaldehydi määritetään nestekromatografisesti tai spektrofotometrisesti.

## 4.6 Laadunvarmistus

### 4.6.1 Yleistä

On suositeltavaa, että mittausten tekijä edustaa hyvän asiantuntemuksen ja toimintatavan omaavaa tai toimintansa puolesta akkreditoitua laboratoriota ja että käytetyt näytteenotto- ja analyysimenetelmät ovat yleisesti hyväksytyjä tai akkreditoituja. Akkredi-

toitu laboratorio on ulkopuolisen arvioijan toimesta todettu päteväksi käytetylle määrittämenetelmälle.

#### 4.6.2 Ilmanäytteenotto ja kemialliset analyysimenetelmät

Sisäilman pitoisuuden ja rakenteiden emissioiden määrittämisessä mittaustuloksen oikeellisuuden kannalta olennaisia teknisiä tekijöitä ovat näytteenoton tilavuuden määrittystarkkuus ja analyysin kokonaisepävarmuus. Näytteenottoon liittyvät epävarmuustekijät ovat yleensä huomattavasti suurempia kuin laboratorioanalyysiin liittyvät epävarmuudet, ja **suurimmat virheet tehdään yleensä kentällä näytteen keräysvaiheessa.**

- Näytteenottotilanteessa kerätyn ilmamäärän määrittämiseen käytetään tyypillisesti rotometriä, kaupallista kalibraattoria (saippuakuplamittari) tai kaasukelloa. Tärkeää on, että käytetty tilavuusmittari tai imunopeutta osoittava mittari on kalibroitu ja kalibrointi on voimassa. Käytettävän pumpun tulee toiminnaltaan olla moitteeton, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että virtausmittareita käytettäessä pumpun imunopeuden on näytteenoton ajan pysyttävä vakiona. Näytteenotossa näytteen kokonaistilavuuden eli näytteenottoliuoksen läpi imetyt ilmamäärän määrittämisessä olisi päästävä vähintään  $\pm 5\%$  tarkkuuteen.
- Satunnaisen virheen poissulkemiseksi on sisäilmasta ja rakenteesta otettava aina **vähintään kaksi rinnakkaisnäytettä.**
- Kenttämittauksissa on aina oltava mukana nollanäyte, joka käy läpi kaikki samat käsittelyvaiheet kuin varsinaiset näytteetkin lukuun ottamatta näytteen keräysvaihetta.
- Analyysivaiheen kokonaisepävarmuus on määritettävä. Näytteiden kohdalla huomiota on kiinnitettävä näytteiden säilyvyyteen laboratoriossa näytteenoton jälkeen.
- Näytteenoton epävarmuustekijöiden ja analyysivaiheen kokonaisepävarmuuden perusteella on arvioitava pitoisuusmäärittämisjärjestelmän kokonaisepävarmuus, joka on raportoitava tulosten yhteydessä.

Edellä esitettyjen laboratorion sisäisten laadunvarmistustoimenpiteiden lisäksi mittauksia suorittavien tahojen on suositeltavaa mahdollisuuksien mukaan osallistua vertailumittauksiin.

#### 4.6.3 Kosteusmittaukset

Kosteusmittauksen laadunvarmistuksessa on ensiarvoisen tärkeää mittareiden riittävän usein toistuva kalibrointi, mikä tarkoittaa sitä, että antureiden antamat lukemat tarkastetaan tunnetussa kosteuspitoisuudessa (esim. suolaliuoksessa). Kosteusanturien kalibrointi riippuu niiden käyttöasteesta; anturit tulee kuitenkin kalibroida **vähintään kerran vuodessa.**



Erityisesti kapasitiivisellä anturilla tehdyn mittauksen virhelähteet:

- Anturi on kylmempi kuin betoni => kondensaatiota esiintyy.
- Anturilukema otetaan lukulaitteella, jota ei ole käytetty kalibroinnissa (lukulaitteeseen asetetaan kyseisen anturin kalibrointi-arvot).
- Käytetään väärää asemaa anturilukijassa, joten lukija saa väärän offset-gain-arvon.
- Offset-gain-arvot muutetaan ilman, että otetaan esille uutta kalibrointikäyrää.
- Anturin filteri on tukkeutunut liasta tai porauspölystä; vaikuttaa mittausaikaan.
- Porausreiässä on porauspölyä; tällainen tilanne voi antaa väärän SK-arvon.
- Kosteuslukema otetaan liian aikaisin.

#### **4.7 Mittauspöytäkirjat**

Mittauspöytäkirjaan dokumentoidaan olosuhteet mittauspaikalla ja mittaustulosten laskeamiseen ym. käsittelyyn ja tulosten tulkintaan vaikuttavat asiat. Laadunvarmistukseen liittyvissä mittauksissa selvitetään materiaalitiedot ja rakenteiden valmistumisajankohdat työmaalta ennen mittausta, kun valitaan mittausajankohta.

Mittausraporttiin tulee kirjata seuraavat asiat:

##### 1) Mittauspaikan kuvaus

- osoite, huoneisto
- talotyyppi
- rakennuksen ikä (valmistumisvuosi)
- rakenteiden kuvaus (lattia, seinä ja kattorakenteet; lattia, seinä ja kattopinnoitteet)
- rakenteiden valmistumisajankohdat
- mittauskohteen kuvaus: huoneluku, materiaalit, toiminta ennen näytteenottoa ja sen aikana, mitä ohjeita mittauskohteeseen on ennen mittausta annettu
- lämpötila (ennen ja jälkeen)
- suhteellinen kosteus (ennen ja jälkeen)
- ilmanvaihtojärjestelmä, ilmanvaihdon toimivuus mittaushetkellä, ilmanvaihto-olosuhteet ennen mittausta.

##### 2) Mittausajankohta

- päivä, aika
- ulkoilman olosuhteet mittauksen aikana.

### 3) Miksi mittaus on tehty?

- tavoite ja miten se on päätetty ratkaista.

### 4) Miten mittaus on tehty?

- mistä kohdasta näytteet on otettu (näytteenottopisteet)
- mittauskohteen tila mittaushetkellä (ovi kiinni, tuuletus)
- näytteenotto- ja analyysimenetelmä
- määrittymenetelmän määrittäysraja
- käytetyt laadunvarmistustoimenpiteet
- mittaustuloksen epävarmuusarvio.

### 5) Mittauskohteesta tehdyt muut havainnot

- tupakointi
- kotieläimet
- yleinen siisteystila
- mittaajan havainnot ilman laadusta, haju
- mahdolliset kosteusvauriot
- mahdolliset rakenteelliset poikkeavuudet
- kuinka monta henkilöä huoneessa mittaushetkellä
- normaali asukasluku
- onko kohde normaalissa käytössä vai mikä sen tila on mittaushetkellä
- huoneessa tehdyt siivoukset ja käytetyt puhdistusaineet.

### 6) Mittauksen aikana mittaustapahtumaan liittyvät poikkeamat.

## 5. Tulosten arviointi

### 5.1 Yleisesti tuloksista

Tähän kohtaan on yhteenvedoluontoisesti esitetty, miten kenttämittauksissa saatuja tuloksia voidaan arvioida rakennusaikaisessa laaduntarkkailussa. Liitteessä 1 on kenttäolosuhteissa kerättyjä mittaustuloksia uudiskohteista. Esitetyt arvot ovat siinä määrin rajoitetut, että ne eivät kata kaikkia mahdollisia rakenneratkaisuja ja käytettyjä materiaaleja. Kuitenkin voidaan todeta, että ne antavat hyvän kuvan siitä, mitkä emissio- ja pitoisuustasot voidaan tämän päivän asuinrakennustuotannossa käytetyillä yleisillä rakenneratkaisuilla ja luokitelluilla materiaaleilla saavuttaa.

## 5.2 Rakenteiden emissiot

Rakennusaikana kerätyn emissiodatan arvioinnissa tulee ennen muuta huomioida, että rakennusolosuhteet vaihtelevat hyvinkin paljon kohteittain. Emissiomittaus on yksittäinen tapahtuma suhteellisen pienellä aikavälillä, ja siksi sen tulos on myös erityisen altis rakennuksilla tapahtuvan erilaisen normaalin toiminnan vaikutuksille. Mikäli epäillään, että mittausajankohta on ollut ”normaalista” tilanteesta poikkeava, voidaan toistaa mitaus ja verrata eri ajankohtien tuloksia toisiinsa.

Esimerkiksi tasoitteen mittauksessa tulee kiinnittää huomiota siihen, että tasoitteen kosteuspitoisuus vaikuttaa merkittävästi emissioihin, ja näin ollen on tasoitteen kuivumisajan oltava riittävä ennen emissiomittauksen suoritusta. Myös tasoitteen levitysmäärät on syytä huomioida tulosten tarkastelussa.

Eri lattiapinnoitteilla (erityisesti PVC-pinnoitteilla) voi esiintyä suuriakin eroja emissioissa ensimmäisten 10–30 viikkojen aikana asennuksesta. PVC-pinnoitteilla on havaittu olevan hyvinkin erilaisia läpäisevyysominaisuuksia alla olevan rakenteen yhdisteille, ja myös liimojen emissioissa on todettu suhteellisen suuria eroavaisuuksia. Eri M1-luokiteltujen PVC-pinnoitteiden päältä mitattujen emissioiden erot voivat tästä johtuen alkuvaiheessa olla jopa kymmenkertaisia. Eri rakenne- ja materiaaliyhdistelmien suuren variaation takia PVC-pinnoitteista saadut emissiotulokset on siis arvioitava kohteittain hyvin tarkkaan.

## 5.3 Sisäilman pitoisuustasot

Juuri ennen luovutusta määritetty sisäilman laatu vastaa sisäänmuuttotilannetta edellyttäen, että se suoritetaan viimeisenä työvaiheena (luvun 3 taulukon 2 mukaisesti). Sisäilmamittaus suoritetaan tyhjässä asunnossa, mikä on erityisesti huomioitava, sillä tutkimusten perusteella asukkaiden vaikutus uuden asunnon sisäilman pitoisuustasoihin voi olla huomattava esimerkiksi asuntoon tuotujen uusien huonekalujen takia. Mittausajankohtana vallitsevat ulkoiset olosuhteet, kuten ilman suhteellinen kosteus, vaikuttavat pitoisuustasoihin (ammoniakki, formaldehydi), ja siksi on erityisen tärkeää, että näiden yhdisteiden pitoisuustason määrittämisen yhteydessä mitataan myös aina ilman lämpötila ja kosteuspitoisuus. Ulkoilmasta kulkeutuvat yhdisteet voidaan tarvittaessa määrittää sisäilmamittauksen yhteydessä ottamalla myös ulkoilmasta näyte. Tulosten arvioinnissa tulee myös kiinnittää huomiota mitatun tilan kokoon. Liitteessä 1 esitetään tämän projektin aikana juuri ennen luovutusta mitatut pitoisuustasot uusissa rakennuksissa mitkä saavutetaan vastaavasti sivuilla A17–A18 esitetyillä emissiotasoilla. Vertailuna sisäilmastoluokituksen tavoitearvoihin voidaan todeta, että uusissa asuinrakennuksissa ei tavallisesti saavuteta luokituksen määrittämiä arvoja pitoisuustasoille. Parhaimmillaan

saavutettiin tämän Terve Talo -projektin puitteissa tutkituissa uudiskohteissa S2-luokan sisäilman laatu TVOC-, ammoniakki- ja formaldehydipitoisuuden suhteen.

Uudiskohteissa mitatuista tuloksista on voitu todeta, että eri rakenteilla, käytetyillä M1-luokan rakennusmateriaaleilla tai rakenteiden valmistusajankohdilla ei ole ollut merkittävää vaikutusta pitoisuustasoihin **luovutusvaiheessa**. Sen sijaan on havaittu, että kohteissa, joissa on koneellinen **tulo-** ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, mitataan tavallisesti luovutusvaiheessa alhaisempia pitoisuuksia vertailussa kohteisiin, joissa on ainoastaan koneellinen poistoilmajärjestelmä.

## **6. Kirjallisuutta**

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.

ISO/DIS 16000-6. Indoor Air- Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and chamber air by active sampling on TENAX TA, thermal desorption and gas-chromatography MSD/FID. Date 2001-06-08.

Manual fuktmätning i betong. Byggtreprenörerna, Stockholm 1999.

Rakenteen suhteellisen kosteuden määrittäminen. RT-ohjekortti RT 14-10675.

Sisäilmastoluokitus 2000. Sisäilmayhdistys ry, Espoo 2001.

Terve Talo -teknologiaohjelman projekti ”Sisäilmaongelman toteaminen, korjaus ja jälkiseuranta”, loppuraportti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2004 (ei julkaistu).

## **7. Kenttäolosuhteissa kerättyjä mittaustuloksia**

Esitetty vertailudata on kerätty vuosien 1999–2001 aikana kolmen eri urakoitsijan asuntotuotannosta. Kaikki kohteet on toteutettu yleisesti hyväksytyyn hyvän rakennustavan mukaisesti sisältäen rakenteiden kosteudenhallinnan. Rakennus- ja pintamateriaaleina on käytetty vähäpäästöisiä, M1-luokiteltuja tuotteita.

*Välipohjarakenteen emissiot ja suhteellinen kosteus, SER = emissiokerroin.*

Rakenne	Ikä (vko)	Emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$			Rakenne- kosteus (%)
		TVOC	Ammoniakki	Formaldehydi	
Betonivalu (h = 190–240 mm)	5–25	100–300	30–120	<20	92–98
Ontelolaatta (h = 320 mm)	5–25	50–150	10–50	<20	89–93

*Tasoitetun kantavan rakenteen emissiot.*

Rakenne	Ikä (vko)	Emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$			Rakenne- kosteus (%)
		TVOC	Ammoniakki	Formaldehydi	
Paikallavalu + hienotasoite (levitysmäärä 2–5 mm)	>1	100–200	10–50	50	88–92
Ontelolaatta + karkea tasoite (levitysmäärä 20–50 mm)	2–4	200–1000	20–80	100–300	85–93

*Lattiapinnoitteen emissiot.*

Pinnoite	Asennusikä rakenteessa (vko)	Emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$			Rakenne- kosteus (%)
		TVOC	Ammoniakki	Formaldehydi	
Parketti	4	100–150	<10	<10	84–92
Parketti	8–22	20–150	<10	<10	80–87
PVC-pinnoite 1	4	50–150	<10	<10	80–92
PVC-pinnoite 1	12–15	100–250	<20	<20	80–87
PVC-pinnoite 2	4	400–2 000	20–80	<10	88–90
PVC-pinnoite 2	12–15	500–1 000	<20	<10	88

*Kattopinnoitteen emissiot; ruiskutasoite sekä sileäksi tasoitettu ja maalattu kattopinta.*

Pinnoite	Pinnoitteen ikä (vko)	Emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$		
		TVOC	Ammoniakki	Formaldehydi
Betonivalu + ruiskutasoite	20–27	500–1 000	60	20–60
Ontelorakenne + ruiskutasoite	20	200–1 000	3040	60

*Seinäpintojen emissiot: maalattu betoniseinä ja kipsilevy, tapetoitu betoniseinä ja kipsilevy.*

Pinnoite	Pinnoitteen ikä (vko)	Emissio SER $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$		
		TVOC	Ammoniakki	Formaldehydi
Betonivalu + maali	12–20	20–250	10–30	10
Kipsilevy + maali	12–26	20–250	10–30	10
Betonivalu + tapetti	10	600	60	<20
Kipsilevy + tapetti	10	600	40	<20

*Sisäilman pitoisuustasot uusissa asuinrakennuksissa, kun pintamateriaaleina on käytetty M1-luokiteltuja tuotteita (tyhjä huoneisto).*

Pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )	Suhteellinen kosteus (%)
TVOC	Ammoniakki	Formaldehydi		
300–1 000	20–60	20–40	18–25	25–65



Tekijä(t) Järnström, Helena & Saarela, Kristina			
Nimeke <b>Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa</b>			
Tiivistelmä <p>Tiedotteessa esitetään yhteenveto sisäilma- ja materiaaliemissiotuloksista, joita kerättiin Tekesin rahoittaman Terve Talo -teknologiaohjelman puitteissa uusista asuinrakennuksista vuosien 2000–2003 aikana. Tutkimuskohteita oli yhteensä kahdeksan ja ne vastasivat tämän päivän hyvän rakennustavan mukaan toteutettuja rakennuksia, sisältäen rakenteiden kosteuden hallinnan ja tämän lisäksi rakennuksissa käytetyt rakennusmateriaalit olivat tutkitusti kemiallisilta epäpuhtauksiltaan vähäpäästöisiä (M1-luokiteltuja). Rakenteiden emissioita seurattiin vaiheittain rakentamisen aikana. Emissioimittaukset toistettiin vastavalmistuneessa sekä 6 ja 12 kuukautta asutuissa ja samanaikaisesti määritettiin myös sisäilman laatu.</p> <p>Yhteenvetona voidaan sisäilmamittausten tuloksista todeta, että uusissa asuinrakennuksissa ei tavallisesti luovutusvaiheessa saavuteta Sisäilmastoluokituksen määrittämiä tavoitearvoja orgaanisten haihtuvien yhdisteiden (TVOC) sekä ammoniakkipitoisuuden suhteen. TVOC-pitoisuus laskee sisäilmastoluokituksen S1–S3-luokkia vastaavalle tasolle (&lt;math&gt;&lt;200-600 \mu\text{g}/\text{m}^3&lt;/math&gt;) keskimäärin ensimmäisen kuuden kuukauden aikana asunnon käyttöönotosta. Ammoniakkipitoisuus vaihteli ja jopa nousi ensimmäisen asumisvuoden aikana ja tämän todettiin selittyvän em. ulkoisten olosuhteiden (kosteus, lämpötila) vaihtelusta eri vuodenaikoina. Formaldehydipitoisuus uusissa asuinrakennuksissa oli hyvin pieni.</p> <p>Emissiomittausten perusteella voitiin todeta että rakenteesta mitataan tavallisesti korkeampia emissioita kuin vastaavasti yksittäisistä materiaaleista laboratorio-olosuhteissa. Tämän voidaan olettaa johtuvan em. siitä että materiaalit ovat rakenteessa todellisessa ympäristössä, mikä tarkoittaa sitä, että ulkoiset olosuhteet, kuten rakenteen ja sisäilman kosteus ja lämpötila, voivat vaihdella hyvinkin paljon eri mittaustilanteissa. Oikeista rakenteista mitatuissa emissioissa oli eroja liittyen eri käytettyihin rakennusmateriaaleihin. Erityisen suuret erot havaittiin eri M1-luokiteltujen PVC-pinnoitteiden sekä eri liimatuotteiden välillä, mikä havaittiin lattiarakenteesta pinnoitteen poiston jälkeen mitatuista emissiotuloksista.</p> <p>Tutkimuksen aikana uudiskohteista kerätty sisäilma- ja emissiodata on arvokasta sikäli että sitä voidaan hyödyntää osana rakentamisen laadunseurantaa sekä epäiltyjen sisäilmaongelmatapausten arvioinnissa: kerätty tutkimustieto toimii referenssiarvoina kun arvioidaan onko sisäilmaongelma peräisin rakenteen poikkeavasta epäpuhtauksien tai liiallisen rakennekosteuden vaikutuksesta aiheutuvien hajoamistuotteiden emissioista.</p> <p>Tiedotteen liitteenä on erillinen menetelmäohje rakennusaikaisten emissioiden sekä vastavalmistuneen asuinrakennuksen sisäilman laadun määrittämiseksi.</p>			
Avainsanat air quality, residential buildings, indoor air, emissions, construction materials, volatile organic compounds, ammonia, formaldehyde, moisture, surface coatings			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6527-4 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinumero R4SU00046	
Julkaisu-aika Tammikuu 2005	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 82 s. + liitt. 18 s.	Hinta C
Projektin nimi Terve talo -teknologiaohjelma		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus Tekes	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Julkaisija: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	





Author(s) Järnström, Helena & Saarela, Kristina			
Title <b>Indoor air quality and material emissions in new buildings</b>			
Abstract <p>This publication summarises the indoor air quality and material emission results, which were gathered from new buildings in years 2000–2003 during a national healthy building programme, financed by the Finnish National Technology Agency (Tekes).</p> <p>A total of eight residential buildings were chosen for investigation. The buildings were built according to today's good building practice, including structure humidity control during the time of construction. The building materials used were low-emitting (M1-classified). The emission from the structures at the different structure build up stages were followed. Emission measurements were repeated in the newly finished buildings and in the 6- and 12-months old buildings. The indoor air quality was determined simultaneously.</p> <p>From the indoor air measurement results it could be concluded that the target values for the TVOC (total volatile organic compounds), ammonia and formaldehyde concentration, as defined in the Finnish Classification of Indoor Climate, were not generally reached in the newly finished building. The TVOC concentration decreased to a level, which correspond a S1–S3 class indoor air quality (&lt;200–600 µg/m<sup>3</sup>), during the first six months of occupation. The ammonia concentration varied and even rose at some sites during the follow-up measurements and the variations were explained by the seasonal variations in outer conditions (i.e. temperature, humidity). The formaldehyde concentration was on a low level in the new buildings at all measurement points.</p> <p>In general, higher emissions are measured from building structures compared to the individual materials at laboratory conditions. This is explained by the fact that the material in a real structure is affected by its surroundings, i.e. the humidity and temperature of the structure and its surrounding air, which vary at different measurement points. The emissions measured from the structures varied for the different building materials. Particularly large variations in the emissions were observed for the different PVC products and adhesives, when the emissions were measured from the underlying structure after the floor covering was removed.</p> <p>The indoor air quality and material emission data collected from the new buildings can be used as reference values in quality control as well as in indoor air problem cases, when an emission originating from the structure, is suspected to cause the problem.</p> <p>A method description to determine the emission of structures and indoor air quality in new buildings was developed and is shown in Appendix A.</p>			
Keywords air quality, residential buildings, indoor air, emissions, construction materials, volatile organic compounds, ammonia, formaldehyde, moisture, surface coatings			
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6527-4 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number R4SU00046	
Date January 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 82 p. + app. 18 p.	Price C
Name of project		Commissioned by Finnish National Technology Agency (Tekes)	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Publisher VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

VTT on yhteistyössä rakennuttajien kanssa tutkinut Tekesin Terve Talo -teknologiaohjelman puitteissa sisäilman laatua sekä rakenteiden emissioita vuoden 2000 jälkeen valmistuneessa asuinrakennustuotannossa, joissa oli käytetty suomalaisen Sisäilmastoluokituksen 2000 mukaisesti M1-luokiteltuja, kemiallisilta emissioiltaan vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja. Rakennusaikaisten mittausten lisäksi kohteissa tehtiin seurantamittauksia ensimmäisen vuoden aikana asunnon käyttöönotosta, ja saatuja tuloksia verrattiin sisäilmastoluokituksen antamiin sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien tavoitearvoihin.

Tutkimustulokset osoittivat, että hyvän rakennuskäytännön mukaisesti toteutetuissa uusissa asuinrakennuksissa, joissa on rakentamisen aikana noudatettu kosteuden hallintasuunnitelmaa sekä käytetty M1-luokiteltuja materiaaleja, Sisäilmaluokituksen S1 tavoitteet saavutettiin ilmanvaihtojärjestelmästä riippuen muutaman kuukauden tai viimeistään vuoden kuluttua. Parhaaseen tulokseen sisäilman laadun kannalta päästiin niissä kohteissa, joissa oli ilmanvaihtojärjestelmänä sekä koneellinen tulo- että poistoilmajärjestelmä.

Emissiotulosten perusteella voitiin todeta, että todellisessa rakenteessa pintamateriaalin emissiot ovat korkeampia kuin vastaavan yksittäisen pinnoitemateriaalin emissiot laboratoriomittauksissa. Sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteiden vaikutus emissio- ja sitä kautta sisäilman pitoisuustasoihin oli merkittävä, mikä korostui asutuissa huoneistoissa ensimmäisen vuoden aikana.

Tutkimuksen aikana uudiskohteiden sisäilmapitoisuuksille ja rakenteissa oleville materiaalien emissioille kerättyä numeerista referenssiarvodataa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää rakenteiden laadunseurannassa alkaen työmaavaiheesta uudisrakennuksen sisäilman laadun seurantaan asti sekä myös epäillyissä sisäilman laatuun liittyvissä ongelmatapauksissa.

---

VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. 020 722 4404  
Faksi 020 722 4374

VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. 020 722 4404  
Fax 020 722 4374

VTT INFORMATION SERVICE  
P.O.Box 2000  
FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 20 722 4404  
Fax + 358 20 722 4374

---