



Oirekyselyt asuntojen PVC- muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijana

Pertti Metiäinen

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 9/2009

Pertti Metiäinen

Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla
päällystettyjen betonilattioiden
sisäilmahaittojen ratkaisijana

Helsingin kaupungin ympäristökeskus
Helsinki 2009

Kannen kuva: © Pertti Metiäinen

ISSN 1235-9718
ISBN 978-952-223-488-9
ISBN (PDF) 978-952-223-489-6

Painopaikka: Kopio Niini Oy
Helsinki 2009

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	1
Tiivistelmä	3
Sammandrag	4
Summary	5
Alkusanat	6
Symboliluettelo	7
Määritelmiä	10
1 Johdanto	11
2 Tutkimuksen tavoite	15
3 Materiaaliemissiöt sisäilmaan	16
3.1 Emissiot.....	16
3.1.1 Emissioiden hiipuminen.....	17
3.1.2 Emissioiden laskenta.....	17
3.1.3 Emissiotuotteiden OC määrä betonilaatassa.....	18
3.1.4 Emissiotuotteiden OC siirtyminen betonilaatassa.....	21
3.1.5 Emissiotuotteiden siirtyminen lattiapinnoitteen läpi betonilaatasta sisäilmaan.....	22
3.2 Betonilaatan kosteus ja päällystettävyyys.....	23
3.3 Korjaaminen ja ennaltaehkäisy.....	24
4 Asunnontarkastusprosessi	25
5 Tutkimusmenetelmät	28
5.1 Mittaus- ja analysointimenetelmät.....	28
5.2 Kyselylomakkeet.....	30
5.3 Tilastolliset testit.....	31
6 Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu	32
6.1 TXIB-tutkimukset.....	32
6.1.1 TXIB-pitoisuuden ja oireilun välinen yhteys.....	32
6.1.2 Lattiakorjausten vaikutus päästöihin ja oireiluun.....	33
6.2 2-etyyli-1-heksanolitutkimukset.....	36
6.2.1 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden ja oireilun välinen yhteys.....	36
6.2.2 Lattiakorjausten vaikutus päästöihin ja oireiluun.....	39
7 Johtopäätökset	40
Kirjallisuusluettelo	41

Liite 1. Esimerkki Helsingin kaupungin ympäristölaboratorion tutkimustodistuksesta VOC-näytteistä.

Liite 2. Esimerkki tutkimuksessa käytetystä oirekyselylomakkeesta.

Liite 3. Esimerkki tutkimuksessa käytetystä korjausten jälkeisestä oirekyselylomakkeesta

Liite 4. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., TXIB-emission from floor structure as a marker of increased risk for some specific symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002.

Liite 5. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., TXIB-päästöt terveys-haittojen indikaattorina. Sisäilmastoseminaari 2001, Espoo 14.–15.3.2001, SIY Raportti 15; 117–121.

Liite 6. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., Muovimattokorjausten vaikutus sisäilman TXIB-pitoisuuteen ja asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2003, Espoo 19.–20.3.2003, SIY Raportti 19; 173–176.

Liite 7. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M., TXIB-emission from floor structure and reported symptoms before and after repair, Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lissabon, Eds. de Oliveira Fernandes, Gameiro da Silva and Rosado Pinto, Vol 1, 2006, 127–130.

Liite 8. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M., 2-ethanol-1-hexanol emission from floor structure and health symptoms, Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Eds. Tham, Sekhar and Cheong, Vol 3, 2003, 36-41.

Liite 9. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., Lattiarakenteen 2-etyyli-1-heksanolipäästöt, korjaustoimenpiteet ja niiden vaikutus asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2004, Espoo 17.–18.3.2004, SIY Raportti 22; 211–216.

Tiivistelmä

Sisäilman laadusta johtuvat epämääräiset valitukset ns. materiaalipäästöepäilyt, joissa ei todeta selkeätä mikrobivaurioita tai riittämätöntä ilmanvaihtoa, kohdistuvat lähes yksinomaan asuntoihin, joissa lattiarakenteena on käytetty PVC-muovimatolla päällystettyjä betonilaattoja. Asunnoista, joissa on käytetty parkettitai laminaattipintaa, ei materiaalipäästöepäilyjä juuri tule. Terveyshaittaepäilyn kohdistuminen asuntoon selittyy sillä, että asukkaat voivat paremmin tai ovat täysin terveitä asuessaan muualla. Tutkittujen asuntojen sisäilmassa havaittiin eräitä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) (esimerkiksi 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraattia eli TXIB:tä) tavanomaista korkeampina pitoisuuksina.

2000-luvun taitteessa muovimattopäästöjen ja terveyshaittojen yhteys oli todettu käytännön tasolla, mutta tiedot annos/vastesuhteista puuttuivat. Helsingin kaupungin ympäristökeskus tarvitsi työkalua, jolla voitaisiin määrittää olosuhteet, jossa terveyshaittaperusteinen lattiankorjauskehoitus voitaisiin antaa.

Oirekyselyjen käyttö muovimattopäästöjen tutkimiseen oli urauurtavaa. Oirekyselyitä oli aiemmin käytetty lähinnä työpaikkojen tai koulujen mikrobivaurioselvityksissä, ei materiaalipäästötutkimuksissa. Kohde- ja verrokkitaloyhtiöiden asukkaat muodostivat tutkittavat vertailuryhmät.

Tutkimusten tavoitteena oli 1. selvittää voidaanko oirekyselyillä löytää kerrostalo-yhtiöitä, joissa on materiaalipäästöongelmia, 2. löydetäänkö yhteys tutkittavan yhdisteen ja ihmisten oireilun välille, 3. miten asunnot voidaan korjata ja 4. miten korjaus vaikutti yhdisteen pitoisuuteen sisäilmassa ja asukkaiden oireiluun.

Tutkimuksissa voitiin todeta, että oirekyselyillä voidaan löytää ja todentaa lattiarakenteen materiaalipäästöistä aiheutuvia terveyshaittoja kerrostaloissa. Tämä edellyttää riittävän suurta asukasmäärää ja oirekyselyn vastausprosenttia sekä asuntoja, joissa ei ole muita sekoittavia tekijöitä. Opinnäytetyön aineisto kerättiin Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen tutkimuksista vuosien 1999–2002 aikana.

TXIB-kohteissa löydettiin yhteys sisäilman TXIB-pitoisuuden ja silmän ärsytysoireiden välillä. TXIB-pitoisuuden ollessa yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SIM) silmän ärsytysoireiden vaara oli 8-kertainen verrattuna alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuusaltistumiseen (OR = 8,857, 95 % CI 1,5 - 51,3).

Kaikki korjaustarpeessa olleet lattiat korjattiin samalla tavalla: vanha muovimatto ja liima poistettiin, asuntoa lämmitettiin + 30...+ 35 °C lämpötilassa ja ilmanvaihtoa lisättiin 2–3 viikon ajan, jonka jälkeen uusi M1 luokiteltu muovimatto liimattiin M1-luokitellulla liimalla. Tällä korjaustavalla saatiin erittäin hyviä tuloksia TXIB-kohteissa, joissa sisäilman TXIB-pitoisuudet vähenivät murto-osaan alkuperäisestä ja asukkaiden kokemat terveyshaitat vähenivät merkittävästi. Lattiarakenteen päästöongelmia voidaan ennaltaehkäistä varmistamalla betonilattian kuivus ennen vähäpäästöisen M1-luokitellun pintamateriaalin asentamista.

Sammandrag

Diffusa klagomål som härrör från kvaliteten på inomhusluften och baserar sig på misstanke om materialutsläpp riktar sig nästan enbart till bostäder där man som golvkonstruktion har använt betongplattor belagda med en PVC-plastmatta. I de här bostäderna har man varken kunnat konstatera någon tydlig mikroskada eller otillräcklig ventilation. I bostäder där man har använt parkett- eller laminatyta har inte misstankar om materialutsläpp förekommit. Misstanke om sanitär olägenhet som riktar sig till en bostad förklaras genom att invånarna mår bättre eller är helt friska när de befinner sig någon annanstans. Man upptäckte förhöjda halter av vissa flyktiga organiska föreningar (VOC) (till exempel 2,2,4-trimetyl-1,3-pentandiolid-isobutyrat dvs. TXIB) i inomhusluften i de undersökta bostäderna.

I början av 2000-talet hade man i praktiken konstaterat sambandet mellan utsläpp från plastmattor och sanitära olägenheter men man saknade data från dos/korrelationsproportioner. Helsingfors stads miljöcentral behövde verktyg för att kunna fastställa förhållanden där man kunde uppmana till golvreparation på basis av en sanitär olägenhet.

Frågeformulär om symptom gav banbrytande resultat i samband med forskning av utsläpp från plastmattor. Sådana frågeformulär hade tidigare använts främst i samband med utredning av mikroskador vid arbetsplatser eller i skolor men inte alls vid forskning av materialutsläpp. De undersökta jämförelsegrupperna bestod av invånare i objekt- och referenshusbolag.

Man hade som målsättning att utreda, 1. ifall man med hjälp av utfrågningar om symptom kunde hitta höghusbolag där det förekom problem med materialutsläpp, 2. ifall man kunde hitta samband mellan den undersökta föreningen och invånare som uppvisade symptom, 3. hur bostäderna kunde repareras samt 4. hur reparationen inverkar på halten av föreningar i inomhusluften samt på invånare som uppvisade symptom.

Vid undersökningar kunde man konstatera att man med hjälp av utfrågningar om symptom kan hitta och verifiera sanitära olägenheter som härrör från golvkonstruktionens materialutsläpp i höghus. Det här förutsätter både en tillräckligt stor invånarmängd och svarsprocent vid utfrågning om symptom samt bostäder där det inte förekommer andra störande faktorer. Materialet till examensarbete samlades upp vid undersökningar utförda för Helsingfors stads miljöcentral under åren 1999–2002.

Vid TXIB-objekt upptäcktes samband mellan TXIB-halten i inomhusluften och symptom på ögonirritation. När TXIB-halten översteg $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SIM) var risken för symptom på ögonirritation 8-faldig jämfört med när man utsätts för halter under $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OR = 8,857, 95 % CI 1,5 - 51,3).

Samtliga golv i behov av reparation lagades på samma sätt: den gamla plastmattan och limmet avlägsnades, bostaden värmdes upp till + 30...+ 35°C temperatur och ventilationen ökades under 2–3 veckors period varefter en ny M1-klassad plastmatta limmades med hjälp av M1-klassat lim. Med det här reparationssättet uppnåddes mycket goda resultat vid TXIB-objekt där TXIB-halterna i inomhusluften minskades till en bråkdel från de ursprungliga halterna och även sanitära olägenheter som invånarna upplevde minskade avsevärt. Man kan förebygga utsläppsproblem från golvkonstruktion genom att försäkra sig om att betonggolvet är torrt innan man installerar lågemitterande M1-klassat ytmaterial.

Summary

Residents made plenty of undefined complaints about poor indoor air quality, which were suspected to be in connection with building material emissions. In most cases microbiological damages and insufficient ventilation were ruled out. Most cases concentrated on soft PVC-coverings on concrete floors. There were almost no cases with wooden parquets or laminates. The dwellings were under suspicion because residents were completely well or felt better when they were staying overnight away from home. In this research unusually high concentrations of some volatile organic compounds (VOC) like 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanedioldiisobutyrate (TXIB) were found in indoor air.

At the turn of the 21st century the relation between emissions from soft PVC-flooring and health effects were recognized at a pragmatic level, but there was no knowledge of the dose relationship. The City of Helsinki Environment Centre needed a health related tool to determine when the concentration of certain VOC's were too high in indoor air and the floor covering should be replaced with a low emitting one.

The use of questionnaires about symptoms was pioneering in the research of material emissions from concrete floors. Previously questionnaires were used mainly in suspected microbiological damage surveys in offices and schools, not in material emissions in dwellings. The residents of target and reference flats made up groups for the studies.

The aim of the studies was 1. to determine if it is possible to find out whether a block of flats is suffering from material emissions with questionnaires, 2. to find a possible relation between a specific compound and symptom, 3. how to repair a flat, and 4. how repairing a flat would affect the concentration in indoor air and residents' symptoms.

As a result of the studies it was possible to verify that questionnaires would help in finding out if there were a health hazard caused by material emissions from floor structures in a block of flats. This requires that there are enough residents to answer the questionnaire and that there are no other mixing components in the flats. This thesis was composed from the studies that the City of Helsinki Environment Centre made during the years 1999–2002.

A relationship between TXIB -concentration in indoor air and eye irritations was found. When the TXIB -concentration was over 30 µg/m³ (SIM) the risk of eye irritation increased over 8 times compared to TXIB -concentrations less than 10 µg/m³ (OR = 8,857, 95% CI 1,5-51,3).

All the floors which needed to be repaired were renovated in the same way: the old PVC -coverings and glue were removed, the flats were heated up to + 30°C ..+ 35°C and ventilation was increased for 2–3 weeks. New M1 -labelled PVC-coverings were glued with M1-labelled glue. This method showed very good results. TXIB -concentrations decreased to a fraction of the original level and the residents symptoms decreased significantly. The emissions from floor structures can be prevented by making sure that the concrete floors are dry before installing low emitting M1-labelled materials on the surface

Alkusanat

Olen tehnyt tämän lisensiaattityön omassa työssäni tekemistäni tutkimuksista Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen palveluksessa. Tutkimukset ovat liittyneet todellisiin asuttuihin asuntoihin, osassa todettiin terveyshaittoja ja osa valittiin ongelmattomiksi verrokkiasunnoiksi.

Työn valvojana, ohjaajana ja tarkastajana toimi Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan professori Jari Puttonen, toisena tarkastajana toimi professori Olli Seppänen.

Haluan kiittää dosentti Helena Mussalo-Rauhamaata oirekyselyjen analysoinnista, johtavaa ympäristötarkastajaa Markku Viinikkaa hänen avustaan ja rohkaisutaan tutkimusten läpiviennissä, tutkimusavustaja Juha Österholmia näytteiden otosta nopealla aikataululla, ympäristötarkastaja Toni Lyyskiä ruotsinkielisen tiivistelmän avustamisessa sekä Helsingin kaupungin ympäristölaboratorion henkilökuntaa kemiallisten analyysien toteuttamisessa. Kiitän myös vaimoani Sinikkaa sekä tyttäriäni Nelliä ja Tiiaa saamastani kannustuksesta ja tuesta.

Helsingissä 18.5.2009

Pertti Metiäinen

Symboliluettelo

DEHP	bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti eli DOP eli dioktyyliftalaatti on PVC- muovimatossa yleisesti käytetty pehmitin
BRI	Building Related Illnesses; rakennuksesta aiheutuvat sairaudet
c	emissiotuotteen pitoisuus rajapinnalla
C_{air}	kaasumaisten emissiotuotteiden määrä huokosilmassa
c_{air}	emissiotuotteiden pitoisuus huokosilmassa
C_c	huokosten pinnalle kiinnittyneiden emissiotuotteiden määrä
C_m	kiintoaineeseen sitoutunut emissiotuotteiden määrä
c_{sat}	emissiotuotteen kyllästymispitoisuus
C_{tot}	emissiotuotteiden kokonaismäärä betonissa
C_w	huokosveteen liuenneiden emissiotuotteiden määrä
c_w	huokosveteen liuenneiden emissiotuotteiden pitoisuus
D'_w	diffuusiokerroin
δ_{OC}	diffuusiokerroin
Δx	materiaalikerroksen paksuus
DOP	dioktyyliftalaatti, katso DEHP
E	haihtumisnopeus
EF	emissiokerroin
FID	Flame Ionisation Detector; liekki-ionisaatiodetektor
FLEC	Field and Laboratory Emission Cell; kenttä- ja laboratoriokäyttöön kehitetty emissiomittauskammio
Ftalaatti	muovin pehmitin
GC/MSD	Gas Chromatograph/Mass Selective detector; Kaasukromatografi/massaselektiivinen detektor
HTP	työpaikan ilman epäpuhtauksien sallittu enimmäispitoisuus
k	massansiirtokerroin

χ^2 -testi	tilastollinen testimenetelmä
M1	vähäpäästöisin rakennusmateriaaliluokka. Vapaaehtoinen luokitusjärjestelmä, jossa materiaalien päästöt arvioidaan sekä aistinvaraisesti että mittaamalla VTT:n kehittämän testausmenettelyn mukaisesti.
Mann-Whitney testi	tilastollinen testimenetelmä
OC	emissiotuotteet (organic compounds)
OH^-	hydroksyyli-ioni
p-arvo	ilmoittaa ehdollisen todennäköisyyden, jolla saadaan todettu tai vielä enemmän poikkeava testisuureen arvo nollahypoteesin ollessa totta.
pH	emäksisyys (happamuus)
PVC	Polyvinyylikloridi
Q	emissiotuotteiden määrä
q	emissiotuotteiden siirtyminen materiaalin läpi
q_{air}	kaasumainen diffuusio
q_m	diffuusio kiinteässä aineessa
q_{mw}	siirtyvän veden konvektio
q_R	reaktiotuotteiden tuotanto
q_{tot}	reaktiotuotteiden eri siirtymismuotojen summa betonissa
q_w	diffuusio vedessä
ρ_w	veden tiheys
R_{fc}	diffuusiovastus
RH	Relative Humidity, ilman suhteellinen kosteus
RH_{crit}	betonilaatassa olevan ilman suhteellisen kosteuden kriittinen arvo, jossa pintarakenteiden hydrolyysireaktio käynnistyy
S	liukenevuus
SBS	Sick Building Syndrome; rakennuksesta aiheutuva oireyhtymä
SER	Specific Emission Rate; emissiokerroin pinta-alayksikköä kohti
SIM	Selected Ion Monitoring; valitun ionin seuranta

Spearman-testi	tilastollinen testimenetelmä
STM	Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö
SVOC	semi volatile organic compound, puolihaihtuva orgaaninen yhdiste kiehumispistevälillä 250–390 °C
T	lämpötila
Tenax TA	haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteenotossa käytetty adsorbentti
TVOC	total volatile organic compounds, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä väliltä heksaaniheksadekaani (C6-C16)
TXIB	$C_{16}H_{30}O_4$, 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli diisobutyraatti, esteri, jota on käytetty mm. muovimatoissa viskositähtäjäaineena, molekyylimassa 286.4 ja kiehumispiste 280 °C, indikaattoryhdiste
V_a	vapaa huokostilavuus
V_{mtrl}	kokonaistilavuus
VOC	volatile organic compound, haihtuva orgaaninen yhdiste kiehumispistevälillä 50–250 °C
V_p	materiaalin kokonaishuokostilavuus
VP_{ilma}	yhdisteen höyrynpaine ympäröivässä ilmassa
VP_p	yhdisteen höyrynpaine materiaalin pinnalla
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
w	materiaalin vesipitoisuus
WHO	World Health Organization; Maailman terveysjärjestö
YMK	Helsingin kaupungin ympäristökeskus
2-etyyli-1-heksanoli	$C_8H_{16}O$, alkoholi, jota on pieniä määriä muovimatoissa ja liimassa, mutta jota vapautuu hydrolyysireaktiossa suurempia määriä, molekyylimassa 130.2 ja kiehumispiste 185 °C, indikaattoryhdiste

Määritelmiä

Absorptio	kaasumaisessa olomuodossa olevan yhdisteen imeytyminen materiaalin sisään.
Adsorptio	kaasumaisessa olomuodossa olevan yhdisteen kiinnittyminen materiaalin pintaan.
Desorptio	kaasumaisessa olomuodossa olevan yhdisteen vapautuminen materiaalin pinnasta tai sisältä.
Emissio	materiaalista vapautuva kaasumaisessa olomuodossa oleva yhdiste ympäröivään ilmaan tai toiseen materiaaliin.
Hydrolyysireaktio	kostean, tuoreen betonin sisältämä hydroksidiryhmä (OH^-) reagoi muovimattoliiman ja muovimaton komponenttien (esimerkiksi pehmittimien) kanssa.

1 Johdanto

Teknologisen kehityksen myötä rakenteiden olemus on muuttunut erityisesti rakennusmateriaalien osalta. Nykyisin valtaosa rakenteista on monikerroksisia ja koostuu keinotekoisista, kemiallisesti monimutkaisista rakenteista. Erityisesti pintarakenteet ovat lähes poikkeuksetta kemianteollisuuden valmistaman pinnoitteen peitossa (luonnonmateriaalitkin lakataan tai maalataan). Ilmanvaihtotekniikka ja rakennusten lämmitysjärjestelmät ovat muuttuneet oleellisesti. Näiden muutosten vaikutus sisäilman laatuun on ollut valtava. Lisäksi ihmisen elämäntapa on muuttunut niin, että on aivan normaalia olla 90 % (tai jopa enemmän) ajasta sisälle suljettuna. Siten sekä altistava ympäristö että altistusaika ovat muuttuneet parin sukupolven aikana oleellisella tavalla. (AIKIVUORI, 2001, s. 7)

Viime vuosikymmenten aikana on asuntojen terveyshaittoihin kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Helsingin kaupungin ympäristökeskukselle on kertynyt runsaasti kokemusta terveyshaittojen selvittelyistä. Sisäilman laadusta johtuvat epämääräiset valitukset ns. materiaalipäästöepäilyt ruuhkauttavat ajoittain terveydensuojeluviranomaisia.

Materiaalipäästöillä tarkoitetaan lähinnä kemiallisia epäpuhtauksia, joita haihtuu rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai kosteuden vaurioittamista rakenteista. Sisäilman kaasumaiset yhdisteet ovat todennäköisesti yhteydessä ihmisten kokemiin terveys- ja hajuhaittoihin (mm. päänsärkyä, väsymystä, ärsytysoireita jne.) ja erityisesti asumisviihtyvyyttä vähentäviin tuntemuksiin. Ilmassa samanaikaisesti esiintyvillä useilla yhdisteillä saattaa olla vaikutukseltaan myös toisiaan vahvistava ominaisuus.

Emissioiden terveysvaikutuksia

Rakennusvaiheessa uusien, tuoreiden rakennusmateriaalien päästöt ovat suurimmillaan. Työntekijät altistuvat suurimmalle hetkellisille primääriemissioille. Työturvallisuuslaissa on määritelty monien ilman epäpuhtauksien haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien käsite (HTP). Työministeriö vahvistaa HTP-arvot, jotka on annettu eripituisille altistusajoille: 8 tunnin, 15 minuutin tai hetkellisille keskipituisuuksille.

HTP-arvojen soveltaminen asumiseen on kyseenalaista, koska altistumisaika voi olla lähes jatkuvaa eikä elimistölle jää riittävästi puhdistumisaikaa ja pientenkin pitoisuuksien vaikutus voi alkaa kumuloitua. (AIKIVUORI, 2001, s. 13)

Epämääräiset sisäilman laadusta johtuvat valitukset, joissa ei todeta selkeätä mikrobivaurioita tai riittämätöntä ilmanvaihtoa, kohdistuvat lähes yksinomaan asuntoihin, joissa lattiarakenteena on käytetty PVC-muovimatolla päällystettyjä betonilaattoja. Asunnoista, joissa on käytetty parketti- tai laminaattipintaa, ei materiaalipäästöepäilyjä juuri tule.

Terveyshaittaepäilyn kohdistuminen asuntoon selittyy sillä, että asukkaat voivat paremmin tai ovat täysin terveitä asuessaan muualla. Tutkittujen asuntojen sisäilmassa havaittiin eräitä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) (esimerkiksi 2-etyyli-1-heksanolia tai 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraattia) tavanomaista korkeampina pitoisuuksina. Näiden yhdisteiden tiedetään haihtuvan PVC-matoista tai niiden liimoista joko sellaisenaan muuttumattomana tai hajoamisreaktion seurauksena alkalisessa ja kosteassa ympäristössä.

Aiempina vuosikymmeninä on tutkittu ja selvitetty mm. formaldehydiin, ammoniakkiin ja styreeniin liittyviä terveyshaittaepäilyjä.

Formaldehydi

Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1) sisäilman formaldehydipitoisuudelle on annettu ohjearvo $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Formaldehydi ärsyttää silmiä ja ylempiä hengitysteitä. Ihmisten herkkyys formaldehydin ärsytysvaikutuksille vaihtelee suuresti. Formaldehydin hajukynnys on noin $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Formaldehydi voi aiheuttaa ärsytysoireita herkkillä henkilöillä hyvin pienissä pitoisuuksissa ($5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sisäilman formaldehydi on yleensä peräisin liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista, jota on käytetty lastulevyssä ja eräissä paneeleissa. Myös hapokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet, itsesiliävät tekstiilit ja kokolattiamatot saattavat sisältää formaldehydiä, joka vapautuu niistä sisäilmaan. Asuntojen kiintokalusteet ja huonekalut, jotka sisältävät formaldehydiperusteisia liimoja, saattavat olla sisäilman formaldehydilähteitä.

2000-luvulla sisäilman formaldehydipitoisuudet ovat ylittäneet erittäin harvoin ohjearvon $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ammoniakki

Asumisterveysohjeen mukaan sisäilman ammoniakille ei voida ilmoittaa terveysperusteista ohjearvoa. Sisäilman ns. tavanomaisena ammoniakin pitoisuutena voitaneen kuitenkin pitää arvoa $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jos sisäilman ammoniakkipitoisuus ylittää arvon $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pitoisuutta voidaan pitää tavanomaista korkeamana. Tällöin on aiheellista pyrkiä löytämään syy, kuten kosteus- tai viemäriaurio, joka on saattanut aiheuttaa ammoniakin pitoisuuden kohoamisen sisäilmassa. Lisäksi tulisi mahdollista terveyshaittaa aiheuttavien sisäilman epäpuhtauksien lähteiden selvittämiseksi harkita yksittäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mitausta.

Sisäilmasta ammoniakki tulisi määrittää silloin, kun sisäilma haisee lämpötilan ja kosteuden muutosten mukaan vaihtelevalle pistävälle, mädän tyyppiselle hajulle tai kun lattiapinnoitteessa, esimerkiksi parketissa, on tummia värimuutoksia.

TVOC (Total volatile organic compounds)

Kemiallisten, sisäilmassa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää ilmoitetaan usein termillä TVOC (Total volatile organic compounds).

Asumisterveysohjeessa mainitaan mm., että TVOC-mittaustulosta ei voida käyttää sellaisenaan terveyshaitan arvioinnissa. Toisaalta kohonnut TVOC-pitoisuus (yli $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on osoitus kemiallisten aineiden epätavallisen suuresta määrästä sisäilmassa, ja lisäselvitykset yksittäisten yhdisteiden tutkimiseksi ovat todennäköisesti tarpeen. Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet ovat usein korkeimmat uudisrakennuksissa ja korjatuissa rakennuksissa.

Vaikka sisäilman TVOC-pitoisuus olisi alhainen (alle $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), niin sen sisältämät yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet voivat kertoa tavanomaisesta poikkeaa-

vasta sisäilmasta. Käytännössä juuri yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet ovat tärkeämpiä kuin TVOC.

Yksittäiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Asumisterveysohjeessa mainitaan erikseen styreeni. Sisäilman styreenipitoisuus saa olla enintään 40 µg/m³. Styreenille tyypillistä on sen pistävä haju (hajukynnys 75 µg/m³). Normaalisti styreenin pitoisuus sisäilmassa on hyvin pieni, jopa alle 1 µg/m³. Styreeniä saattaa esiintyä sisäilmassa, jos rakennusmateriaaleissa käytetty polyesterihartsin eri komponentit eivät ole reagoineet keskenään täydellisesti.

Asumisterveysohjeen soveltamisoppaassa, Asumisterveysoppaassa (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009) mainitaan kaksi yhdistettä (TXIB ja 2-etyyli-1-heksanoli), jotka indikoivat lattiarakenteista aiheutuvia materiaalipäästöjä.

TXIB eli 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraatti

Mattomaisten PVC-lattiapinnoitteiden pääasiallinen emittoituva aine oli vielä 1990-luvulla TXIB (AIKIVUORI, 2001, s. 17). Sen käyttö pohjoismaissa valmistetuissa tai tuoduissa PVC-matoissa loppui lähes kokonaan vuonna 1995.

TXIB ei ole erityisen haihtuva yhdiste, mikä johtaa pitkäkestoiin päästöihin. Emission määrä ja kesto riippuvat tuotteen paksuudesta ja koostumuksesta. Uuden tuotteen TXIB-päästö oli tyypillisesti suuruusluokaltaan muutamia satoja µg/m²/h. Huolimatta siitä, että TXIB on teollisuudessa yleisesti käytetty aine, jolle ei ole asetettu turvallisuusrajaa, sen käyttöä rakennusmateriaalisovellutuksiin vähennettiin johtuen sen esiintymisestä useissa ongelmakohteissa tehdyissä sisäilmamittauksissa. (AIKIVUORI, 2001, s. 17)

Eri tutkimuksissa on havaittu sisäilman tavanomaista korkeamman TXIB-pitoisuuden yhteys ärsytysoireisiin sekä lääkärin toteamien uusien astmatapaus-ten välillä. Ärsytysoireista yleisin oli silmän ärsytysoireet, jonka riskin todettiin olevan yli kahdeksankertainen, jos sisäilman TXIB-pitoisuus oli yli 30 µg/m³ (SIM) [Metiäinen et al. 2002], vastaavasti myöhemmin julkaistussa, laajassa "Sisäilman laadun hallinta -projektissa" riskin todettiin olevan yli 16-kertainen, jos sisäilman TXIB-pitoisuus oli yli 20 µg/m³ (tolueeni ekvivalentteina) [Villberg et al. 2004]. Lääkärin toteaman uuden astman riski oli lähes kolmikertainen, jos sisäilman TXIB-pitoisuus ylitti 10 µg/m³ (tolueeni ekvivalentteina) [Villberg et al. 2008].

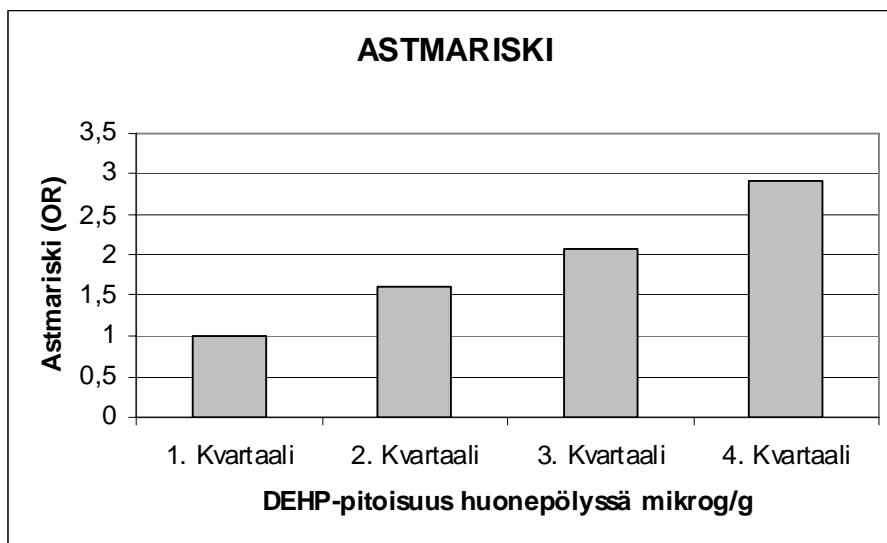
2-etyyli-1-heksanoli

PVC-lattiapinnoitteissa ja liimoissa on vähäisiä määriä 2-etyyli-1-heksanolia raaka-aineena (primääriemissio), mutta suuremmassa määrin sitä vapautuu ftalaattien hajoamisreaktioiden seurauksena emäksisessä ympäristössä (sekundääriemissio).

Ammoniakki ja emäksinen kosteus hajoittavat PVC-muovimatossa olevaa DEHP (bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti eli DOP eli dioktyyliftalaatti) pehmitintä aiheuttaen makeahkon hajuisen 2-etyyli-1-heksanolipäästön. (AIKIVUORI, 2001, s. 17)

Ftalaatit eivät ole kiinnittyneet pysyvästi muoviin, vaan ne pyrkivät siirtymään pintojen kautta ympäristöönsä. Ftalaatit emittoituvat PVC-muovimaton koko elinkaaren aikana sisäilmaan ja sitoutuvat lattian pintaan ja pölyhiukkasiin. Ruotsalaisessa tutkimuksessa on löydetty korrelaatio astman ja huonepölyn DEHP fta-

laattipitoisuuden välillä. Tutkimuksessa huonepölynäytteet jaettiin neljään kvartaaliin ftalaattipitoisuuden mukaan, kuva 1 (BORNEHAG 2006).



Kuva 1. Huonepölyn DEHP-pitoisuus ja astmariski.

Opinnäytetyön aineisto kerättiin Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen tutkimuksista vuosina 1999–2002.

Työn laadinnassa olen käyttänyt seuraavia, liitteenä olevia julkaisuja:

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. TXIB-päästöt terveys- haittojen indikaattorina. Sisäilmastoseminaari 2001, Espoo 14.-15.3.2001, SIY Raportti 15; 117–121

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. TXIB-emission from floor structure as a marker of increased risk for some specific symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. Muovimattokorjausten vaikutus sisäilman TXIB-pitoisuuteen ja asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2003, Espoo 19.–20.3.2003, SIY Raportti 19; 173–176

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M. 2-ethanol-1-hexanol emission from floor structure and health symptoms, Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Eds. Tham, Sekhar and Cheong, Vol 3, 2003, 36–41.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. Lattiarakenteen 2-etyyli-1-heksanolipäästöt, korjaustoimenpiteet ja niiden vaikutus asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2004, Espoo 17.–18.3.2004, SIY Raportti 22; 211–216.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M. TXIB-emission from floor structure and reported symptoms before and after repair, Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lissabon, Eds. de Oliveira Fernandes, Gameiro da Silva and Rosado Pinto, Vol 1, 2006, 127–130.

2 Tutkimuksen tavoite

2000-luvun taitteessa muovimattopäästöjen ja terveyshaittojen yhteys oli todettu käytännön tasolla, mutta tiedot annos/vastesuhteista puuttuivat. Helsingin kaupungin ympäristökeskus tarvitsi työkalua, jolla voitaisiin määrittää olosuhteet, jossa terveyshaittaperusteinen lattiankorjauskehotus voitaisiin antaa.

Haasteena oli myös se, ettei terveydensuojelulaissa (763/1994) tai sen 32§:n nojalla annetussa sosiaali- ja terveysministeriön ohjeessa (Sisäilmaohje 1997) ollut mainintaa muovimattorakenteista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä tai niiden raja-arvoista.

Selvitystyössä etsittiin sellaisia kohteita, joissa olosuhteet olisivat mahdollisimman samankaltaisia, joissa ei olisi montaa sekoittavaa tekijää. Hyviä kohteita olivat kerrostaloasunnot, joissa runko- ja pintamateriaalit sekä ilmanvaihtojärjestelmä olivat samoja. Tärkeää oli myös se, ettei asunnoissa ollut muita terveyshaittaa aiheuttavia tekijöitä, kuten hometta.

Oirekyselyjen käyttö muovimattopäästöjen tutkimiseen oli urauurtavaa. Oirekyselyitä oli aiemmin käytetty lähinnä työpaikkojen tai koulujen mikrobivaurioselvityksissä, ei materiaalipäästötutkimuksissa. Kohde- ja verrokkitaloyhtiöiden asukkaat muodostivat tutkittavat vertailuryhmät.

Tutkimusten tavoitteena oli 1. selvittää voidaanko oirekyselyillä löytää kerrostaloyhtiöitä, joissa on materiaalipäästöongelmia, 2. löydetäänkö yhteys tutkittavan yhdisteen ja ihmisten oireilun välille, 3. miten asunnot voidaan korjata ja 4. miten korjaus vaikutti yhdisteen pitoisuuteen sisäilmassa ja asukkaiden oireiluun.

Tutkimuksen tavoitteiden toteutumista voitiin arvioida tilastollisilla menetelmillä 1. löydetäänkö tilastollisesti merkittäviä eroja kohde- ja verrokkiasuntojen välillä, 2. löydetäänkö tilastollisesti merkittävä yhteys tutkitun yhdisteen pitoisuuden ja asukkaiden oireilun välillä, 3. ja 4. millainen vaikutus valitulla korjaustavalla oli tutkitun yhdisteen pitoisuuteen sisäilmassa ja asukkaiden oireiluun.

3 Materiaaliemissiot sisäilmaan

3.1 Emissiot

Emissio tarkoittaa materiaalista vapautuvia kaasumaisessa olomuodossa olevia yhdisteitä ympäröivään ilmaan tai toiseen materiaaliin.

Primääriemissio tarkoittaa uudessa tuotteessa olevia ja siitä vapautuvia yhdisteitä. Sekundääriemissio tarkoittaa puolestaan tuotteen ja ympäristön välisten kemiallisten reaktioiden tuottamia uusia yhdisteitä. (SALTHAMMER & AL, 2000, s. 145)

Haihtumisnopeus (E) voidaan esittää kaavan 1 mukaan (AIKIVUORI, 2001, s. 9):

$$E = k(VP_p - VP_{ilma}) \quad (1)$$

missä

E = haihtumisnopeus

k = massansiirtokerroin

VP_p = yhdisteen höyrynpaine materiaalin pinnalla

VP_{ilma} = yhdisteen höyrynpaine ympäröivässä ilmassa

Emissio sinänsä on siis varsin selväpiirteinen ilmiö, mutta ilmiön tekee monimutkaisemmaksi se mitä tapahtuu emittoituneille aineille. Osa emittoituneista aineista jää ilmatilaan, ja ilmanvaihto laimentaa niiden pitoisuutta. Osa emittoituneista aineista voi adsorboitua materiaalien pinnalle tai absorboitua materiaalin sisään tai ne voivat uudelleen siirtyä desorptiona sisäilmaan. (AIKIVUORI, 2001, s. 9)

Paitsi ilmatilan kautta, voivat materiaalista haihtuvat aineet adsorboitua tai absorboitua suoraan toiseen, pintakosketuksessa olevaan materiaaliin. (AIKIVUORI, 2001, s. 9)

Betonilaatan kyky tai kapasiteetti varastoida muovimaton ja liiman reaktiotuotteita vaikuttaa oleellisesti tuleviin lattiarakenteen emissioihin, koska jopa puolet reaktiotuotteista voi siirtyä alaspäin betonilaattaan ja varastoitua siihen. Kun ympäristön olosuhteet muuttuvat, voivat varastoituneet yhdisteet emittoitua laatasta sisäilmaan hyvin pitkän aikaa. Siksi olisi tärkeä tietää reaktioyhdisteiden kokonaismäärä ja tunkeutumissyvyys betonilaatassa. (SJÖBERG, 2001, s. 1)

Emittoituneen aineen siirtyminen tapahtuu diffuusio- ja konvektioilmiöiden kautta. Diffuusio tapahtuu molekyylin siirtyessä rajapinnan yli joko ilmatilaan tai toiseen materiaaliin, lisäksi diffuusiolla on merkitystä materiaalin sisäiselle emittoituvan aineen liikkeelle kohti haihduttavaa pintaa. Konvektio puolestaan siirtää emittoitunutta ainetta nk. konvektiovirtauksen mukana sisäilmassa. (AIKIVUORI, 2001, s. 9)

Emission suuruuteen vaikuttavat materiaaliominaisuudet, kuten massa ja pinta-ala sekä ominaispinta-ala sekä luonnollisesti materiaalin kemiallinen koostumus. Kaikkiin siirtoilmiöihin vaikuttavat mm. lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, ilmanvaihokerroin, ilman nopeus ja turbulenssi. (AIKIVUORI, 2001, s. 9)

3.1.1 Emissioiden hiipuminen

Emissiot vähenevät emittoituvan aineen pitoisuuden vähentyessä emittoivassa materiaalissa. Aluksi, pitoisuuden ollessa suurimmillaan myös emissiot ovat korkeimmillaan. Alkuvaiheessa tapahtuu yleensä erittäin nopea emissiotason aleneminen. Kun materiaalin pinnan pitoisuus on alentunut, ja emittoituva aine joutuu kulkemaan (diffuusiomekanismeilla) kohti pintaa ennen emittoitumistaan, emissiotaso laskee oleellisesti. (AIKIVUORI, 2001, s. 10)

3.1.2 Emissioiden laskenta

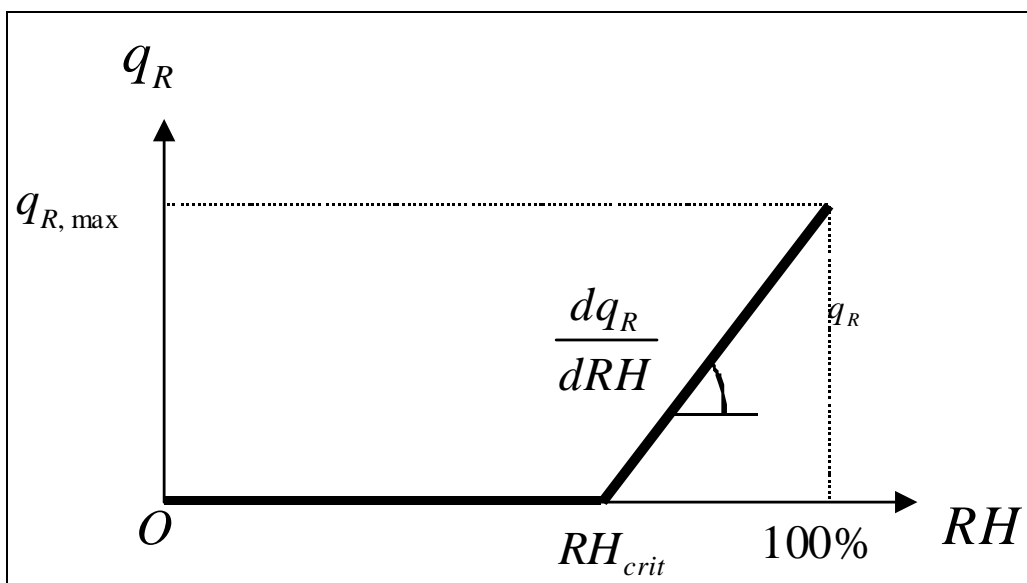
Muovimaton alla (liimassa ja muovimaton alapinnassa) tapahtuvien reaktioiden reaktiotuotteet voivat siirtyä sekä ylöspäin muovimaton läpi sisäilmaan että alaspäin betonilaattaan ja varastoitua siihen vuosiksi. (SJÖBERG, 2000, s. 59)

Betonilaatan kosteuspitoisuus vaikuttaa monella tavalla emissioihin mm. syntyvien reaktiotuotteiden määrään, varastoitumiseen ja siirtymiseen betonilaatassa. (SJÖBERG, 2000, s. 108)

Emissiotuotteiden OC määrä Q riippuu vaikutusajasta t , betonilaatan suhteellisesta kosteudesta RH ja emäksisyydestä pH sekä liiman ja muovimaton reagoivista ainesosista. (SJÖBERG, 2000, s. 108)

$$Q = \text{funktio}(t, RH, pH, \text{reagoivat ainesosat}) \quad [\text{kg/m}^2] \quad (2)$$

Tutkimuksissa on todettu, että jos betonilaatan RH on alle kriittisen kosteuden RH_{crit} , niin reaktioita ei käytännöllisesti katsoen synny. Reaktiot saavuttavat maksimiarvon, kun suhteellinen kosteus on 100 %. Reaktioyhtälöä on yksinkertaistettu siten, että oletetaan reaktiotuotteiden tuotannon q_R olevan lineaarisesta, $q_R = 0$, kun $RH < RH_{crit}$ ja $q_R = q_{R,max}$, kun $RH = 100\%$, kuva 2. (SJÖBERG, 2000, s. 110)



Kuva 2.

Tällöin emissiotuotteiden määrän yhtälö Q voidaan kirjoittaa olettaen, että $RH_{act} \geq RH_{crit}$

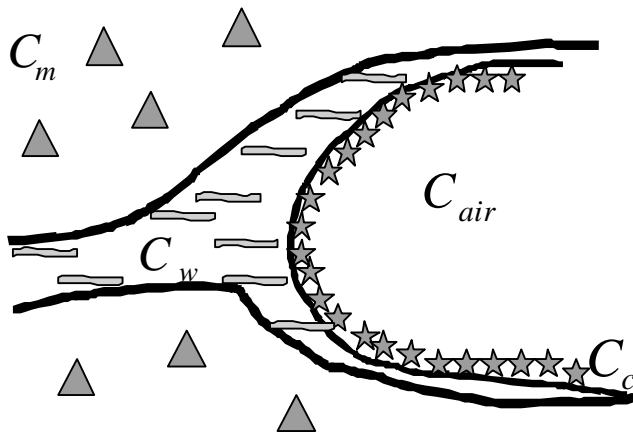
$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \frac{q_{R,max}}{1 - RH_{crit}} \cdot (RH_{act}(t) - RH_{crit}) \cdot dt \quad [\text{kg/m}^2] \quad (3)$$

missä RH_{act} on betonilaatan suhteellinen kosteus hetkellä t .

3.1.3 Emissiotuotteiden OC määrä betonilaatassa

Emissiotuotteiden kokonaismäärä betonissa (C_{tot}) on summa kaasumaisten emissiotuotteiden määrästä huokosilmassa (C_{air}), huokosten pinnalle kiinnittyneiden emissiotuotteiden määrästä (C_c), huokosveteen liuenneiden emissiotuotteiden määrästä (C_w) sekä kiintoaineeseen sitoutuneiden emissiotuotteiden määrästä (C_m), kuva 3. (SJÖBERG, 2000, s. 111)

$$C_{tot} = C_{air} + C_c + C_w + C_m \quad [\text{kg} / \text{m}^3_{mtrl}] \quad (4)$$

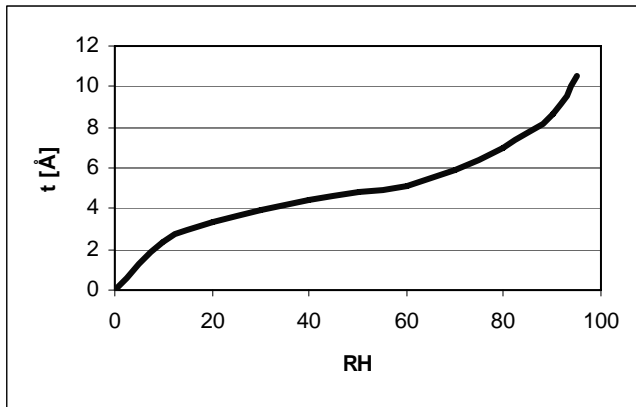


Kuva 3. Emissiotuotteet betonissa.

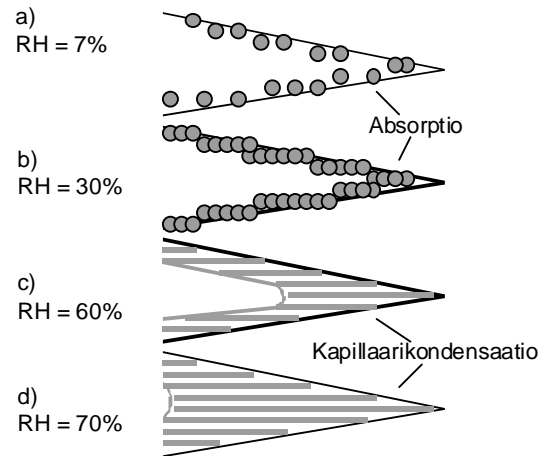
Kiintoaine koostuu runkoaineesta (sora ja hiekka) sekä sementtigelistä. Ne ovat hyvin lämpäisemättömiä epäorgaanisia materiaaleja, jolloin voidaan olettaa, että C_m on hyvin pieni ja sen osuus voidaan jättää huomiotta. (SJÖBERG, 2000, s. 111)

Huokosten pinnalla emissiotuotemolekyylit "kilpailevat" vesimolekyylien kanssa kiinnittymispaikoista. Kun huokosilman suhteellinen kosteus on alhainen 25–30 % RH, muodostuu huokosten pinnalle keskimäärin yhden vesimolekyylin paksuinen kerros (3,5Å) vettä. Kun suhteellinen kosteus nousee 60 % RH muodostuu huokosten pinnalle keskimäärin 1,5 vesimolekyylin paksuinen kerros vettä ja 80 % RH:n kosteudessa keskimäärin kahden vesimolekyylin paksuinen kerros

vettä, kuva 4. Kun RH nousee yli 60 % muodostuu kapeimpiin huokosiin kapillaarikondensaatiolla vettä, kuva 5.



Kuva 4. Huokosen pinnalle absorboituneen vesikerroksen paksuus (Hillerborg 1975)



Kuva 5. Huokosen täytyminen absorptiolla ja kapillaarikondensaatiolla (Ahlgren 1972)

Kovettumisen jälkeen betoniin jää vielä ylimääräistä kosteutta, joka ajan kuluessa haihtuu betonin saavuttaessa tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa, tällöin suhteellinen kosteus ilmahuokosissa on noin 50–60 %. Ilmahuokosten pinnat ovat tasapainokosteuden vallitessakin vesimolekyylien peitossa. Käytännössä emissiotuotemolekyyleillä ei ole tilaa kiinnittyä huokosten pinnalle eli C_c on hyvin pieni ja sen osuus voidaan jättää myös huomiotta. (SJÖBERG, 2000, s. 111)

Tällöin voidaan yhtälöä (4) yksinkertaistaa

$$C_{tot} = C_{air} + C_w \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (5)$$

Henryn lain mukaan kaasun liukeneminen veteen vakio lämpötilassa on suoraan verrannollinen kaasun osapaineeseen. Tällöin C_w voidaan kirjoittaa liukenevuuden S , lämpötilan T , emissiotuotteen kyllästymispitoisuuden C_{sat} ja vettä ympäröivän ilman emissiotuotepitoisuuden C_{air} funktiona. (SJÖBERG, 2000, s. 112)

$$c_w = \text{funktio}(S, T, c_{sat}, c_{air}) \quad [kg / m^3_{water}] \quad (6)$$

Henryn lain mukaan huokosveten liuennan emissiotuotteen pitoisuus voidaan laskea

$$c_w = S \cdot \frac{c_{air}}{c_{sat}} \quad [kg / m^3_{water}] \quad (7)$$

Jos lämpötila oletetaan vakioksi, 20 °C, voidaan myös S ja C_{sat} olettaa vakioksi. (SJÖBERG, 2000, s. 112)

$$C_w = \frac{w}{\rho_w} \cdot S \cdot \frac{c_{air}}{c_{sat}} \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (8)$$

Missä w = materiaalin vesipitoisuus, ρ_w = veden tiheys

Vapaan emissiotuotteen määrä materiaalilavuusyksikköä kohti (C_{air}) riippuu emissiotuotteen pitoisuudesta huokosilmassa (c_{air}) ja vapaasta huokostilavuudesta (V_a). V_a on sellaisten huokosten tilavuus, jotka eivät ole täyttyneet vedellä. (SJÖBERG, 2000, s. 113)

$$C_{air} = c_{air} \cdot \frac{V_a}{V_{mtrl}} \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (9)$$

Kosteissa materiaaleissa osa huokosista on täyttynyt vedellä. Vapaa huokostilavuus on silloin funktio materiaalin kokonaishuokostilavuudesta (V_p) ja vesipitoisuudesta w . (SJÖBERG, 2000, s. 113)

$$\frac{V_a}{V_{mtrl}} = \frac{V_p}{V_{mtrl}} - \frac{w}{\rho_w} \quad [m^3_{air} / m^3_{mtrl}] \quad (10)$$

Jos huokoisuus $p = V_p / V_{mtrl}$, niin vapaa huokoisuus $p_a = V_a / V_{mtrl}$, saadaan

$$\frac{V_a}{V_{mtrl}} = p_a = p - \frac{w}{\rho_w} \quad [m^3_{air} / m^3_{mtrl}] \quad (11)$$

Jos yhtälöt 9 ja 11 yhdistetään, saadaan C_{air} muotoon:

$$C_{air} = c_{air} \cdot \left(p - \frac{w}{\rho_w} \right) \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (12)$$

Emissiotuotteiden kokonaismäärä C_{tot} huokosilmassa ja huokosvedessä voidaan kirjoittaa korvaamalla yhtälöt 8 ja 12 yhtälöllä 5:

$$C_{tot} = C_{air} + C_w = c_{air} \cdot \left(p - \frac{w}{\rho_w} \right) + \frac{w}{\rho_w} \cdot S \cdot \frac{c_{air}}{c_{sat}} \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (13)$$

Koska c_{air} on molemmissa tekijöissä, voidaan se ottaa yhteiseksi tekijäksi sulkujen eteen:

$$C_{tot} = c_{air} \cdot \left[\left(p - \frac{w}{\rho_w} \right) + \frac{w}{\rho_w} \cdot \frac{S}{c_{sat}} \right] \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (14)$$

Koska emissiotuotteiden määrä on käytännön mittausten perusteella paljon suurempi veteen liunneena kuin huokosilmassa voidaan termi C_{air} jättää huomiotta, jolloin $C_{tot} = C_w$:

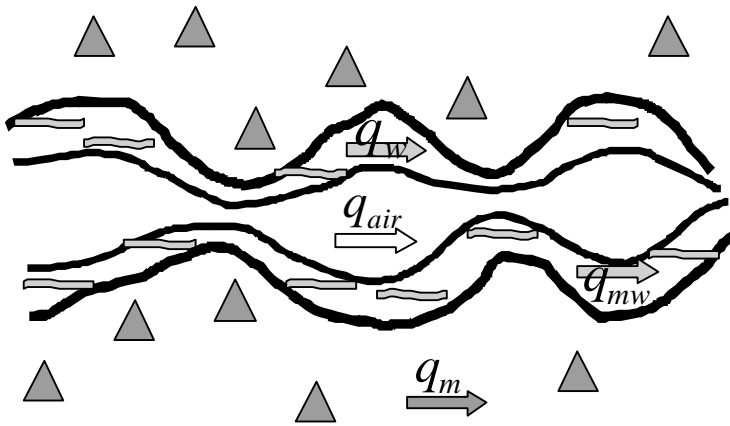
$$C_{tot} = C_w = c_{air} \cdot \frac{w}{\rho_w} \cdot \frac{S}{c_{sat}} \quad [kg / m^3_{mtrl}] \quad (15)$$

3.1.4 Emissiotuotteiden OC siirtyminen betonilaatassa

Emissiotuotteiden siirtyminen betonilaatassa on eri siirtymismuotojen summa: kaasumainen diffuusio (q_{air}), diffuusio kiinteässä aineessa (q_m), siirtyvän veden konvektio (q_{mw}) sekä diffuusio vedestä (q_w). (SJÖBERG, 2000, s. 114)

$$q_{tot} = q_{air} + q_m + q_{mw} + q_w \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (16)$$

Kuten edellä on todettu, betonin kiinteä aines ei varastoi emissiotuotteita eikä siten myöskään siirrä niitä, joten termi q_m voidaan jättää huomiotta. Tällä yksinkertaistuksella voidaan todeta, että orgaaniset aineet siirtyvät vain betoni-huokosissa. Betonin huokokset ovat joko täysin tai osittain veden täyttämiä, kuva 6.



Kuva 6. Emissiotuotteiden siirtyminen betonilaatassa.

Veteen sitoutuneiden emissiotuotteiden siirtymisnopeuteen vaikuttaa veden siirtymisnopeus laatassa (q_{mw}) sekä emissiotuotteiden pitoisuus vedessä (c_w). Nestemäisen veden siirtyminen betonilaatan huokosissa voidaan määrittää vesipitoisuuden (w) ja diffuusiokertoimen (D'_w) avulla, jolloin

$$q_{mw} = \text{funktio}(w, D'_w, c_w) \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (17)$$

Betonilaatassa, jonka yläpinnassa on tiivis päällyste, vähentää nestemäisen virtauksen nopeuden niin pieneksi, että termi q_{mw} voidaan jättää huomiotta. (SJÖBERG, 2000, s. 114)

Emissiotuotteiden diffuusio betonilaatan huokosvedestä (q_w) riippuu emissiotuotteiden pitoisuuseroista nestemäisessä vedessä ja nestemäisen veden jatkuvuudesta huokosverkossa. Nestemäisen veden kerrospaksuus ja jatkuvuus voidaan määrittää suhteellisen kosteuden (RH) avulla, katso kuvat 3 ja 4. (SJÖBERG, 2000, s. 114)

$$q_w = \text{funktio}(RH, c_w) \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (18)$$

Emissiotuotteiden siirtyminen nestemäisestä vedestä voidaan jättää myös huomiotta, koska mittauksissa on todettu diffuusionopeuden olevan vesihöyrystä jopa tuhatkertainen nesteeseen verrattuna (CRC 1997). (SJÖBERG, 2000, s. 114)

Emissiotuotteiden diffuusio kaasufaasissa (q_{air}) aiheutuu emissiotuotteiden pitoisuuseroista laatan huokosissa. Kun kaasumainen emissiotuote on huokoisen materiaalin sisällä, diffuusiokertoimeen vaikuttaa materiaalista riippuva diffuusiokerroin (δ_{OC}). Diffuusiokerroin ei ole vakio, vaan siihen vaikuttaa myös betonin kosteus. (SJÖBERG, 2000, s. 115)

$$q_{air} = \text{funktio}(\delta_{OC}, c_{air}) \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (19)$$

Fickin ensimmäistä lakia soveltaen saadaan

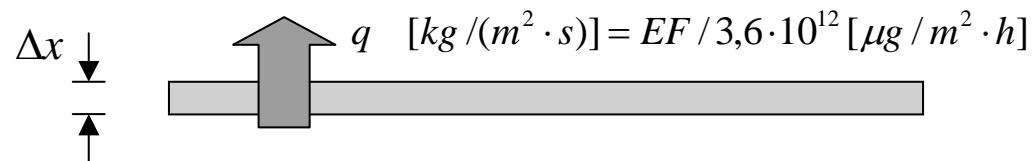
$$q_{air} = -\delta_{OC} \cdot \frac{\partial c_{air}}{\partial x} \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (20)$$

3.1.5 Emissiotuotteiden siirtyminen lattiapinnoitteen läpi betonilaatasta sisäilmaan

Jos oletetaan, että lattiapinnoite muodostaa vain yhden diffuusiovastuksen eikä sillä ole emissiotuotteiden varastointikapasiteettia, voidaan yhtälöä 20 yksinkertaistaa yhdelle kerrokselle, jonka pinnoilla vallitsee eri emissiotuotteiden pitoisuudet, kuva 7. (SJÖBERG, 2000, s. 119)

$$q_{air} = \delta_{OC} \cdot \frac{c_2 - c_1}{\Delta x} \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (21)$$

Emissiotuotteiden siirtymistä kuvaava q voidaan ilmaista SI yksiköillä tai emissiokertoimen EF avulla. Emissiokerroin EF voidaan mitata FLEC-laitteistolla (Field and Laboratory Emission Cell) ja yksikkönä käytetään $\mu g/(m^2 \cdot h)$.



Kuva 7. Kaasumaiset emissiotuotteet siirtyvät diffuusion avulla lattiapinnoitteen läpi, siirtymisnopeus q . Lattiapinnoitteelle ei oleteta olevan emissiotuotteiden varastointikapasiteettia, (SJÖBERG, 2000, s. 119). Tämä on yksinkertaistus, sillä todellisuudessa PVC-muovimatolla on varastointikapasiteettia ja alkuvaiheen päästöt aiheutuvat pääasiassa matosta haihtuvista yhdisteistä.

Lattiapinnoitteen diffuusiovastus (R_{fc}) voidaan määrittää

$$R_{fc} = \frac{\Delta x}{\delta_{OC}} \quad [s/m] \quad (22)$$

Yhtälö 21 voidaan kirjoittaa uudelleen lattiapinnoitteen diffuusiovastuksen (R_{fc}) avulla

$$q_{air} = \frac{(c_2 - c_1)}{R_{fc}} \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (23)$$

Yhtälöä voidaan muuntaa paremmin käytännön olosuhteisiin sopivaksi olettaen, että emissioreaktiot tapahtuvat lattiapinnoitteen alla ja että huoneessa on toimiva ilmanvaihto.

Emissiotuotteiden pitoisuudet ovat lattianpinnoitteen yläpuolella (c_1) paljon pienemmät kuin alapuolella (c_2). Jos emissiotuotteiden pitoisuus lattiapinnoitteen yläpuolella c_1 muutetaan huonetilan (tausta)pitoisuudeksi (c_0), saadaan

$$q_{air} = \frac{(c_2 - c_0)}{R_{fc}} \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (24)$$

Muovimaton ominaisuudet vaikuttavat siihen, miten nopeasti sen alla olevat yhdisteet pääsevät sisäilmaan. Muovimaton hidastavaa vaikutusta voidaan kuvata termillä R_{fc} . Ruotsalaisissa tutkimuksissa mitattiin kahden haihtuvan orgaanisen yhdisteen kulkeutumista erilaisten muovimattojen läpi. Koe toteutettiin siten, että maton alapuolelle järjestettiin kylläinen kaasuseos ja muovimaton yläpinnalta mitattiin FLEC-laitteella emissiokerroin EF.

3.2 Betonilaatan kosteus ja päällystettävyyys

Betonilaattaan jää valmistuksen yhteydessä vettä eli ns. rakennekosteutta. Rakennekosteus poistuu rakenteesta, kun rakenne saavuttaa tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa. Betonista elementin valun jälkeen poistuva kosteus määrä on noin 80 kg/m³. Mikäli rakenteeseen kulkeutuu vettä rakentamisen aikana, kuivumisaika tulee huomattavasti pidemmäksi kuin pelkästään betonin valmistuksessa laattaan kemiallisesti sitoutumattoman veden kuivumiseen kuluva aika. (AIKIVUORI, 2001, s. 60)

Tuoreessa betonilaatassa on emäksistä vettä, jossa hydroksyyli-ionit (OH⁻) voivat liikkua vapaasti laatan sisällä niin kauan kun laatan kosteus on yli kriittisen kosteuden. Nämä ionit voivat vaeltaa laatan yläpintaan ja reagoida PVC-pintamateriaalin ja liiman kanssa muodostaen haihtuvia reaktiotuotteita, joista osa vapautuu sisäilmaan ja osa varastoituu lattiarakenteeseen. (SJÖBERG, 2000, s. 10)

Betonilattian enimmäiskosteudeksi oli aiemmin annettu ja pitkään käytetty ohjearvo $RH_{max} < 85 \%$, kun lattianpäällysteenä on käytetty huopa- tai solumuovipohjaista muovimattoa. Porareikämittauksen mittaussyvyytenä oli välipohjarakenteissa 20 % rakenteen paksuudesta. (SUOMEN BETONIYHDISTYS: Betonilattiat. Luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet, 1981)

Uusissa ohjeissa enimmäiskosteuden ohjearvoa on tiukennettu betonilattian pintaosan (10–30 mm syvyydellä pinnasta) ja tasoitteen osalta $RH_{max} < 75 \%$. (MERIKALLIO et al., 2007, s. 50)

3.3 Korjaaminen ja ennaltaehkäisy

Sisäilman laadun kannalta merkittävin riski on kosteusvaurion syntyminen. Kosteusvaurio aiheuttaa tyypillisesti rakennusmateriaalissa aineensisäistä hajoamista, ja hajoamistuotteet vapautuvat usein sisäilmaan epäpuhtauspäästöinä, jotka voivat olla hyvinkin pitkäkestoisia, jopa useiden vuosien ajan jatkuvia. Usein lisäksi hajoamisprosessit kerran käynnistyttyään eivät enää ole korjattavissa jälkikäteen tehdyllä kuivatuksella, vaan ainoa keino päästä eroon ongelmasta on poistaa lähde eli uusia vaurioitunut materiaali. (AIKIVUORI, 2001, s. 36)

Korjaamisessa on käytetty niin sanottua "bake out" menetelmää, jossa vanhan muovimaton ja kiinnitysliiman poistamisen jälkeen sisäilman ja betonilattian lämpötilaa nostetaan + 30 ... 35 °C lämpötilaan. Lämpötilan nosto lisää betonilattiaan varastoituneiden emissiotuotteiden siirtymistä kohti sisäpintaa ja siitä edelleen sisäilmaan. Ilmanvaihdon lisääminen samanaikaisesti lämpötilan noston kanssa laimentaa sisäilman pitoisuutta, jolloin sisäilmaan voi taas haihtua enemmän emissiotuotteita betonilaatasta. Ilmanvaihdon lisääminen vähentää myös emissiotuotteiden absorboitumista muille sisäpinnoille.

Paras keino ennaltaehkäistä ongelma on betonilaatan kuivattaminen riittävän kuivaksi ennen pinnoitusta. Ruotsissa on saatu myös hyviä tuloksia käyttämällä heikkoemäksistä tasoitetta (perusaineksena kalsiumalumiinaattisementti) vähintään 5 mm paksuisena kerroksena ja betonilaatan RH oli alle 90 % ennen pinnoitusta. Tällöin 2-etyyli-1-heksanolipäästöt olivat vain alle kymmenesosan tasoitteettomaan lattiaan verrattuna. (ALEXANDERSON, 2003)

4 Asunnontarkastusprosessi

Asunnontarkastusprosessissa kuvataan Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen menettelyä neuvonnasta jälkivalvontaan saakka. Prosessi alkaa asukkaan yhteydenotosta (soitto, käynti, sähköposti tai kirje).

Terveydensuojeluviranomaisen neuvonta ja esiselvitys

Haastatellaan valituksen antajaa, minkä tyyppinen ongelma on kyseessä, onko oireilua tai sairastelua asunnossa?

Oireilevaa ja sairastelevaa asukasta opastetaan kääntymään lääkärin puoleen (jollei asukas ole jo käynyt), lääkäri voi todeta myös muista syistä kuin sisäilma-
sta aiheutuvia oireita ja sairauksia.

Kysytään ensin asukkaalta, onko hän ollut yhteydessä isännöitsijään tai muihin tahoihin ja millaisen vastauksen hän on saanut. Jollei asukas ole ottanut yhteyttä isännöitsijään tai muihin vastuullisiin tahoihin, tulee asukkaan ottaa heihin ensin yhteyttä, ennen kuin asia otetaan vireille.

Otetaan yhteyttä isännöitsijään tai muihin tahoihin, varmistutaan asukkaan yhteydenotosta ja mahdollisista toimenpiteistä, joita on tehty tai tullaan tekemään.

Jos neuvonta ja opastus riittävät, ei jatkotoimenpiteisiin tarvitse ryhtyä.

Jos asukkaat, taloyhtiö tai muut tahot tekevät joitakin yksinkertaisia toimenpiteitä asian ratkaisemiseksi, voidaan sopia parin tai muutaman viikon seurantajaksosta, jolloin asukkaat seuraavat sisäilman laadun ja oireilun muutoksia asunnossaan. Jos asukkaat ovat tyytyväisiä muuttuneeseen tilanteeseen, ei jatkotoimenpiteisiin tarvitse ryhtyä.

Jos asukkailla on oireita ja/tai perusteltuja syitä epäillä terveyshaittaa aiheuttavan puutteen tai vaurion olemassaoloa asunnossa eikä kiinteistön omistaja tai muu vastuullinen taho ole todennut korjaustarvetta tai ei muuten ole ryhtynyt toimenpiteisiin haitan poistamiseksi, niin asia otetaan vireille terveydensuojeluviranomaisessa.

Terveyshaitalla tarkoitetaan sekä varsinaista ihmisen terveyttä haittaavaa sairautta tai oiretta että sellaisen olosuhteen esiintymistä asunnossa, joka voi aiheuttaa asukkaille terveyshaittaa.

Toimenpidepyynnön vireilletulo

Vireilletulosta tiedotetaan kaikkia osapuolia kirjeellä.

Kirjeessä mainitaan, että jos terveyshaitta saadaan asian käsittelyn aikana poistettua asukkaan, taloyhtiön tai muiden toimenpitein, tulee siitä mainita terveydensuojeluviranomaiselle välittömästi. Jos asukkaat ovat tyytyväisiä muuttuneeseen tilanteeseen, ei asunnontarkastusta tarvitse tehdä. Tällöin osapuolille lähetetään ns. päättökirje, jossa todetaan toimenpidepyynnön tulleen loppuun käsitellyksi terveydensuojeluviranomaisessa.

Toimenpidepyynnöt otetaan käsittelyyn pääsääntöisesti tulojärjestyksessä. Tarkastaja ottaa yhteyden asukkaaseen ja isännöitsijään sekä muihin mahdollisiin

osapuoliin ja sopii tarkastusajankohdasta (vähintään viikkoa ennen tarkastusta, jotta kaikilla halukkailla on mahdollisuus olla paikalla).

Asunnontarkastus

Asunnontarkastukseen sisältyy aistinvarainen arviointi, osapuolten haastattelut, tutustuminen rakennuksen asiakirjoihin ja aiemmin tehtyihin selvityksiin sekä mahdolliset mittaukset ja näytteenotot.

Asunnontarkastuksesta laaditaan pöytäkirja, jossa kerrotaan, onko asunnossa todettu terveyshaittaa tai sellaista olosuhdetta tai tekijää, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa tulevaisuudessa.

Jos terveyshaittaa tai sellaista olosuhdetta tai tekijää, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa tulevaisuudessa, ei voida nykyisen tietämyksen mukaisilla menetelmillä todeta, päättyy asian käsittely terveydensuojeluviranomaisessa tähän. Tämä kirjataan myös asunnontarkastuspöytäkirjaan. Jos asukas on tyytymätön tähän ratkaisuun, hän voi valittaa siitä terveydensuojeluviranomaiselle (ympäristö- tai terveyslautakunta).

Toimenpidekehotus

Jos todetaan terveyshaitta tai sellainen olosuhde tai tekijä, joka voi aiheuttaa terveyshaittaa tulevaisuudessa, kehoitetaan haitan aiheuttajaa tai vastuullista osapuolta mahdollisiin lisäselvityksiin ja/tai korjauksiin. Toimenpiteistä pyydetään kirjallinen selvitys kohtuulliseen määräaikaan mennessä. Selvitysten perusteella voidaan arvioida korjaustoimenpiteiden riittävyttä.

Tarvittaessa voidaan tehdä vielä seurantatarkastus toimenpiteiden onnistumisen ja terveyshaitan poistumisen varmistamiseksi, mutta useimmiten asia voidaan varmistaa puhelimitse asianosaisilta. Tämän jälkeen osapuolille lähetään ns. päättökirje, jossa todetaan toimenpidepyynnön tulleen loppuun käsitellyksi terveydensuojeluviranomaisessa.

Jos jo asunnontarkastusvaiheessa käy ilmi, ettei tarpeellisia selvityksiä tai korjauksia aiota tehdä, voidaan asianosaisia kuulla asian viemiseksi terveydensuojeluviranomaiseen suoraan asunnontarkastuspöytäkirjassa.

Kuuleminen

Mikäli terveyshaittaa ei voida tai ei haluta poistaa tarkastuskertomuksen korjauskehotuksesta huolimatta kohtuullisessa ajassa tai ongelman korjaus muista syistä viivästyy, kuullaan asianosaisia todetusta terveyshaitasta, terveyshaitan korjaamisesta, terveydensuojeluviranomaisen korjausmääräyksen antamisesta ja mahdollisista pakkokeinoista ennen asian viemistä lautakunnan käsittelyyn.

Tarvittaessa asunnossa tehdään uusi tarkastus ennen kuulemista. Kuulemiskirjeessä pyydetään kirjalliset selitykset asianosaisilta kohtuullisessa ajassa (yleensä 2–4 viikkoa). Mikäli saaduissa selityksissä luvataan ryhtyä riittäviin ja pikaisiin toimenpiteisiin ongelman ratkaisemiseksi, ei lautakuntakäsittelyä yleensä tarvita, vaan seurataan toimenpiteiden valmistumista. Tarvittaessa osapuolia kuullaan vielä toistensa selityksistä (ns. ristiinkuuleminen). Asia voidaan viedä lautakunnan käsittelyyn, vaikkei asianosaisilta saataisikaan selityksiä määräaikaan mennessä.

Lautakunnan määräys

Mikäli kuulemisen jälkeen ei asiaan saada ratkaisua, asia viedään lautakunnan käsittelyyn. Lautakunta antaa terveystaitan poistamiseksi korjausmääräyksen, jonka tehosteeksi asetetaan yleensä riittävän suuri uhkasakko. Korjausten valmistumiselle annetaan määräaika.

Lautakunta antaa korjausmääräyksen sille, jonka menettely tai toimenpide on syynä haittaan. Päätöksistä voi valittaa hallinto-oikeuteen ja tarvittaessa korkeimpaan hallinto-oikeuteen asti, jolloin lautakunnalta pyydetään selitykset valituksiin.

Lautakunta voi myös määrätä, että päätöstä on noudatettava mahdollisesta muutoksenhausta huolimatta, jollei valitusviranomainen toisin määrää. Jos terveystaitan poistaminen ei ole mahdollista tai jos lautakunnan määräämiin korjaustoimiin ei ole ryhdytty, voidaan asunnon käyttö kieltää. Korjausmääräyksen noudattaminen muutoksenhausta huolimatta sekä asunnon käytön rajoittaminen edellyttävät vakavan terveystaitan olemassaoloa.

Asunnon käyttökielto tai käytön rajoitus

Lautakunta voi määrätä asunnon käyttökieltoon tai rajoittaa sen käyttöä joltakin osin, mikäli korjauskehotusta ei noudateta, terveystaittaa ei voida poistaa tai kyseessä on niin vakava terveystaitta, ettei tiloissa oleskelua voida sallia ennen niiden korjaamista. Käyttökielto voidaan tämän jälkeen purkaa vain lautakunnan uudella päätöksellä.

Jälkivalvonta

Korjaustoimenpiteiden riittävyys ja terveystaitan poistuminen varmistetaan jälkivalvonnalla. Jälkivalvontaan kuuluu uusi asunnontarkastus sekä mahdollisia seurantamittauksia ja/tai näyteenottoja. Jälkivalvonnasta kirjoitetaan pöytäkirja.

Jos korjaukset ovat onnistuneet ja asukkaiden oireilut ovat helpottuneet, niin tämän jälkeen osapuolille lähetään ns. päättökirje, jossa todetaan toimenpidepyynnön tulleen loppuun käsitellyksi terveydensuojeluviranomaisessa. Jos haitta ei poistunut tai uusia haittoja on ilmaantunut, alkaa prosessi uudelleen ja se jatkuu niin pitkään, että haitta tai haitat saadaan poistettua.

5 Tutkimusmenetelmät

Tutkimustyöni alkoi tavanomaisista asunnontarkastuksista, jossa asukkaat olivat valittaneet epämääräisestä oireilusta eikä kiinteistöhuollon tarkastuksissa havaittu mitään korjattavaa tai tavanomaisesta poikkeavaa. Asunnontarkastusprosessi on kuvattu luvussa 4.

Asukkaiden oireilun ja/tai ensimmäisen tarkastuksen havaintojen perusteella teetettiin sisäilmamittauksia, joiden avulla pyrittiin selvittämään, oliko asunnossa terveyshaittaa vai ei. Erilaisista lähteistä aiheutuu niille tyypillisiä oireita: mineraalivillakuiduista aiheutuu silmien ja ihon kutinaa ja kirvelyä, hengitysteiden ärsytystä ja kurkun käheyttä, homevaurioista aiheutuu kuumeilua, hengitystie- ja silmätaulehduksia, silmien ja hengitysteiden ärsytystä ja ihottumaa. Materiaalipäästöistä aiheutuu silmien ja hengitysteiden ärsytystä sekä limannousua. Osa oireista on yhteisiä eri lähteille, jolloin näytteenottoja tarvitaan useammalla menetelmällä. Näytteet voidaan ottaa samanaikaisesti tai yksitellen.

Mikrobinäytteet otettiin Andersen kuusivaihekeräimellä suoraan viljelymaljoille, jotka kasvatettiin laboratorioissa ja mikroskopoitin sekä laskettiin suku- tai lajitasolla. VOC-näytteet otettiin tenax-hartsia sisältäviin lasiputkiin ja analysoitiin laboratorioissa kaasukromatografisella massaspektrometrilla. Ammoniakinäytteet otettiin rikkihappoliuokseen ja analysoitiin laboratorioissa. Otin itse noin puolet VOC-näytteistä, ja kaikki muut näytteet otti tutkimusavustaja Juha Österholm ympäristökeskuksesta.

Yleensä kaikki asunnot, joissa todettiin tavanomaisesta poikkeava, terveyshaittaa mahdollisesti aiheuttava olosuhde, korjattiin. Korjausten jälkeen uusittiin oirekysely samaan vuodenaikaan kuin alkuperäinen kysely. Myös sisäilmasta otettiin seurantanäytteet. Korjausten vaikutus oireiluun ja olosuhteisiin todettiin vertaamalla seurantakyselyjen ja -mittausten tuloksia ennen korjauksia saatuihin tuloksiin.

Tutkimukset tehtiin käytössä olleisiin asuntoihin. Asunnot valittiin asunnontarkastusten yhteydessä. Mittaukset suoritettiin hetkellisinä ja olosuhteet vaihtelivat jatkuvasti, mutta esimerkiksi ilmanvaihtokertoimet osa- ja täystehoilla pysyivät vuosia samalla tasolla, jos poistoilmaventtiilejä puhdistettiin säännöllisesti.

5.1 Mittaus- ja analysointimenetelmät

Aistinvarainen arviointi

Ensimmäisellä asunnontarkastuskerralla tehtiin aistinvaraisia havaintoja asunnon sisäilmasta ja -pinnoista, hajuhavainnot ja väri/materiaalimuutokset kirjattiin tarkastuspöytäkirjaan. Sisäilman laatua arviointiin hajun perusteella, oliko sisäilmassa tunkea tai jotain muuta mikrobiperäistä tai kemiallista hajua.

Aistinvarainen arviointi on helppo ja yksinkertainen tapa selvittää mahdollisia vaurioita: haju voi kertoa mahdollisesta mikrobivauriosta, kemiallisesta reaktiosta, heikkolaatuisesta tai runsaspäästöisestä pintamateriaalista ja värimuutokset puolestaan mahdollisista kosteusvaurioista tai kemiallisista reaktioista. Tavanomaisesta poikkeavan hajun tunnistus tehtiin heti sisään tulon jälkeen, sillä moniin hajuihin tottuu nopeasti.

Aina ei poikkeavaa hajua voitu tunnistaa, sillä monien kemiallisten yhdisteiden hajukynnys on korkea, usein yli 100 µg/m³.

Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila

Sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus tehtiin rutiininomaisesti kaikissa asunnoissa. Mittauksella haluttiin varmistua, että asunto oli tavanomaisessa käytössä. Mittalaitteena käytettiin Gann Hydromette UNI 2 -kosteusmittaria ja RF-T-anturia. Mittalaitteen näytössä ilman suhteellinen kosteus ilmoitetaan suoraan prosentteina ja lämpötila celsiusasteina.

Rakennekosteus

Tarkastuskäynnillä selvitettiin myös rakenteiden kosteustilaa kriittisistä pisteistä pintakosteusilmaisimen avulla. Kriittisiä pisteitä olivat mm. kylpyhuoneiden ja WC-tilojen sisäpinnat, läpiviennit, vesipisteiden ympäristö, kylpyhuoneen oven edusta, keittiön vesipisteiden ja astianpesukoneen ympäristö, ulkoseinien ja kantavien väliseinien liittymät, maanvarainen laatta sekä sisäkaton pinnassa havaitut värimuutokset.

Lattian kosteustila selvitettiin rutiininomaisesti muovimaton päältä pintakosteusosoittimen avulla. Mittalaitteena käytettiin Gann Hydromette UNI 2 -pintakosteusosoitinta ja B 50 -anturia. Mittalaitteen näytössä rakenteen kosteustila ilmaistaan kosteusindeksiluvun avulla (välillä 0–150). Tavanomaisesta poikkeavan rakennekosteuden rajana pidettiin kosteusindeksilukua 80.

Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon toimintaa arvioitiin mittaamalla koneellisen ilmanvaihdon tehokkuutta ns. ilmanvaihtokertoimen avulla sekä tuloilman saati ja/tai tuloilmakanavien puhtaus selvitettiin.

Ilmanvaihto mitattiin ilmanpoistoventtiileistä, kun poistoilmanvaihto oli osateholla. Ilmanvaihdon mittauksessa valittiin osateho, koska se kuvaa ilmanvaihtoa suurimman osan vuorokaudesta ja koska mittaustulosta voi verrata Asumisterveysohjeen minimiarvoon, joka on 0,5 1/h.

Mittalaitteena käytettiin TSI Veloci Calc 8388 -kuumalanka-anemometria + mittaustorvea. Mittalaitteen näytössä näkyy ilmavirtauksen nopeus mittaustorven keskellä. Kun mittatorven poikkipinta-ala tunnetaan kuumalanka-anturin kohdalla, voitiin ilmavirran tilavuus aikayksikköä kohti laskea kertomalla ilmavirran nopeus poikkipinnan alalla. Asunnon ilmanvaihtokerroin n [1/h] saatiin jakamalla kaikkien ilmanpoistoventtiilien kautta poistuva ilmamäärä [m^3] yhden tunnin aikana [h] koko asunnon tilavuudella [m^3]. Mittausepävarmuus koostuu mittarin virheestä, mittatorven ja kuumalanka-anemometrin asetteluvirheestä sekä asunnon tilavuuden laskentaepätarkkuudesta. Mittausepävarmuuden arvioitiin olevan noin 20 %.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Asuntojen sisäilmasta mitattiin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) keräämällä ilmanäytteet Tenax TA -adsorbenttiin. Ilmanäytteen keräämisessä käytettiin akukäyttöistä ilmapumppua, johon oli kytketty lasiputkeen pakattu Tenax TA -absorbentti. Näytteet kerättiin joka asunnosta kahdesta huoneesta. Näytteenotto-kohta oli huoneen keskiosassa noin 1,2 metrin korkeudella. Keräysaika oli 30 minuuttia. Keräyksen aikana huoneiden ovet olivat kiinni ja asunnon ilmanvaihto osateholla, ulkoilmaventtiilit olivat auki, mutta ulko-ovet ja ikkunat olivat kiinni. Ilmanvaihdon osateho valittiin, koska se kuvaa ilmanvaihtoa suurimman osan

vuorokaudesta ja koska haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus on sisäilmassa korkeampi kuin täyden tehon aikana.

Näytteiden analysointiin käytettiin massaselektiivisellä detektorilla (MSD) varustettua kaasukromatografia (Hewlett Packard 6890). Yksittäisten yhdisteiden tunnistaminen perustui pääasiassa SIM-tekniikkaan. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän (TVOC) määrittäminen perustui puolestaan SCAN-tekniikkaan. Mittausepävarmuuden arvioitiin olevan noin 20 %. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratorio ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) tekivät säännöllisesti yhteismittauksia, joilla varmistuttiin mittaustulosten oikeellisuudesta. Liitteessä 1 on esimerkki, miten tulokset on esitetty Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratorion tutkimustodistuksessa.

5.2 Kyselylomakkeet

Ympäristökeskuksella on sähköinen tietokanta, johon kirjataan asunnoista tehdyt valitukset osoitteittain. Jos samasta katuosoitteesta tulee useita valituksia, voidaan epäillä, että rakennuksessa on systemaattinen vika tai rakennusvirhe, joka voi aiheuttaa asukkaille oireita. Joskus tällainen tieto saadaan myös terveyskeskuksen kautta, jossa on kiinnitetty huomiota siihen, että oireilevia potilaita tulee samasta katuosoitteesta.

Oireilun yleisyyttä on helpointa tutkia oirekyselyjen avulla. Jos oirekyselyyn vastaa yli puolet asukkaista ja vastanneita on riittävä määrä, niin oirekyselyn tulosten avulla voidaan melko luotettavasti todeta, onko rakennuksessa poikkeavia olosuhteita. Parempaan kuvan antoi verrokkirakennukseen samaan aikaan tehty oirekysely. Verrokkiksi pyrittiin löytämään mahdollisimman samantyyppinen rakennus, jossa ei ollut vaurioita tai tavanomaisesta poikkeavaa oireilua ja jonka asukasrakenne vastasi kohteen rakennetta. Jos kohderakennuksessa todettiin tavanomaisesta poikkeavaa oireilua (selvästi yleisempää kuin verrokkirakennuksessa ja samantyyppistä oireilua oli yli 30 %:lla vastaajista), niin asunnontarkastuksia ja näytteenottoja lisättiin yhtiön muihin asuntoihin (joista ei ollut valitettu) tarkemman kokonaiskuvan saamiseksi.

Oirekyselylomakkeen kysymykset laadittiin yhdessä Iho- ja Allergiasairaalan lääkärin Helena Mussalo-Rauhamaan kanssa. Oirekysely perustui MM-40 ns. Örebro-kyselyyn, joka on kehitetty työterveyshuollon käyttöön. Lomake soveltuu erityisesti oireseurantaan ryhmätasolla.

Tässä tapauksessa kerrostaloasunnot olivat ympäristöltään samankaltaisia, käytetyt pinta- ja runkomateriaalit sekä ilmanvaihtojärjestelmä olivat samanlaisia. Ryhmä muodostui kerrostalojen asukkaista. Toimistoympäristöissä tehtyjen kyselyjen perusteella tavanomaisissakin tilanteissa viikoittain toistuvia työympäristöön liittyviä oireita saa alle 20 % työntekijöistä. Näitä yleisempiä oireita pidetään tavanomaisesta poikkeavina. Oirekyselyt kerättiin luottamuksellisina, ja niitä käsiteli Iho- ja Allergiasairaalan lääkäri Helena Mussalo-Rauhamaa. Liitteessä 2 on esimerkki tutkimuksessa käytetystä oirekyselylomakkeesta.

Korjausten jälkeen asukkaille jaettiin yksinkertainen kyselylomake, jossa kysyttiin havaittuja muutoksia asukkaiden terveydentilassa, sisäilman laadussa sekä tyytyväisyyttä tehtyyn lattiakorjaukseen. Vastaukset kerättiin 1–6 kuukauden kuluttua korjauksesta. Liitteessä 3 on esimerkki korjausten jälkeisestä kyselylomakkeesta.

5.3 Tilastolliset testit

Korrelaatio selvityksiä varten kohteista kerätty mittausdata yhdistettiin oirekyselyihin. Tilastolliset analyysit tuloksista tehtiin SPSS 10.05 -ohjelmalla. χ^2 -testiä ja regressioanalyysijä käytettiin selvittäessä asuin ympäristön ja oireiden eroja tapaus- ja verrokkiryhmissä. Spearman-testiä käytettiin korrelaatioanalyysissä.

Käytetyt tilastolliset menetelmät soveltuvat hyvin pienelle aineistolle, joka ei ole normaalijakautunut ja jossa käytetään luokkamuuttujia. P-arvo ilmoittaa ehdollisen todennäköisyyden, jolla saadaan todettu tai vielä enemmän poikkeava testisuureen arvo nol lahypoteesin ollessa totta. Taulukoiduissa tuloksissa p-arvo $<0,05$ on merkitty yhdellä tähdellä (*) ja p-arvo $<0,01$ kahdella tähdellä (**).

Tilastolliset testit teki tutkimuksen yhteistyökumppanina ollut Iho- ja Allergiasairaan lääkäri Helena Mussalo-Rauhamaa.

6 Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu

6.1 TXIB-tutkimukset

PVC-muovimatot sisältävät useita eri komponentteja, joilla vaikutetaan muovimaton valmistusprosessin onnistumiseen, käyttöominaisuuksiin, kestävyys- ja elinkaaren pituuteen.

Muovimatoissa yleisesti viskositeetin alentajana on käytetty 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli di-isobutyraatti eli kauppanimeltään TXIB[®]. TXIB voi haihtua muuttumattomana joko maton huonon laadun tai kemiallisen reaktion seurauksena.

6.1.1 TXIB-pitoisuuden ja oireilun välinen yhteys

TXIB-tutkimukset tehtiin vuonna 2000 ja tulokset on esitetty tarkemmin liitteiden 4 ja 5 julkaisussa.

Taulukoon 1 on kerätty muutamia perustietoja tutkimuksessa mukana olleista yhtiöistä.

Taulukko 1. Perustietoja tutkimuksessa mukana olleista taloyhtiöistä.

	Kohdetaloyhtiö	Verrokkitaloyhtiö
Rakennusten valmistumisvuosi	1994	1995
Asuntojen lukumäärä	77	59
Asuntojen lukumäärä sisäilmamittauksessa	20 (26 %)	13 (22 %)
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	Koneellinen poisto-ilmanvaihto + tuloiv.
Lattianpäällyste	PVC-muovimatto	PVC-muovimatto

Sisäilmatekijöiden mittaustuloksia on esitetty taulukossa 2. Kaikki näyteanalyytit tehtiin Helsingin kaupungin ympäristölaboratoriossa.

Taulukko 2. Kohde- ja verrokkitaloyhtiön sisäilmatekijät.

Sisäilmatekijä	Kohdetaloyhtiö		Verrokkitaloyhtiö	
	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli
Ilmanvaihtokerroin (1/h)	0,55	0,30–1,20	0,50	0,30–0,80
Ammoniakkipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14	< 5–24	18	< 5–32
TVOC-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	230	80–430	270	70–620
TXIB-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31	10–109	6	1–21
2-etyyli-1-heksanolipit. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	< 3	< 3–6	9	< 3–21

Taulukkoon 3 on kerätty eräiden viikoittain esiintyneiden oireiden ilmaantuvuus.

Taulukko 3. Eräiden viikoittain esiintyneiden oireiden ilmaantuvuus (%).

Oire	Kohdetaloyhtiö			Verrokkitaloyhtiö		
	Naiset	Miehet	Lapset	Naiset	Miehet	Lapset
Väsytys	49	57	25	40	48	50
Pää raskas	23	35*	21	11	3,6	-
Limannousu	25	24	24	36	14	7,1
Silmäoireet	29	39*	31	23	7,1	7,1
Nenänärsytys	31	55**	39	25	14	29
Kurkkuoire	22	17	28	22	14	18
Kasvojen punoitus	9	28*	4,0	22	3,6	14

χ^2 -testi, oirevaihtoehdot: oiretta 12 viimeksi kuluneen kuukauden aikana viikoittain, harvemmin, ei juuri koskaan. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. P-arvo ilmoittaa ehdollisen todennäköisyyden, jolla kohdetaloyhtiössä todetun oireilun yleisyys verrokkiin verrattuna voitaisiin selittää sattumalla.

Kohdetaloyhtiön asukkaat raportoivat merkittävästi useammin erilaisia ärsytysoireita kuin verrokkit. Silmän ärsytysoireiden vaara lisääntyy TXIB-pitoisuuden kasvaessa. TXIB-pitoisuuden ollessa yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SIM) silmän ärsytysoireiden vaara oli 8-kertainen verrattuna alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuusaltistumiseen (OR = 8,857, 95 % CI 1,5–51,3). Myös vastaavasti myöhemmin julkaistussa, laajassa Sisäilman laadun hallinta -projektissa todettiin silmän ärsytysoireiden vaaran kasvavan jopa 16-kertaiseksi, kun sisäilman TXIB-pitoisuus ylitti $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VTT:n mittaustuloksia, ilmoitettu tolueeniekvivalenttina) (OR = 16,4, 95 % CI 3,5–76,0) [VILLBERG & AL 2004, s. 90].

VTT:n mittauksissa yksittäisen yhdisteen pitoisuus ilmaistaan tolueeniekvivalenttina (FID) ja Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen (ymk) tuloksissa se ilmaistaan yksittäisen yhdisteen oman standardin vasteen mukaisena pitoisuutena (SIM). VTT:n ja ymk:n tuloksia TXIB:n osalta voidaan verrata kertoimen 1,6 avulla. Esimerkiksi edellä mainittu VTT:n mittaustulos $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vastaa ymk:n tulosta $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Oirekyselyjen ja mittausten avulla saatiin käyttöön terveyshaittaperusteinen raja-arvo sisäilman TXIB-pitoisuudelle, tähän ei olisi päästy pelkillä oirekyselyillä tai pelkillä sisäilmamittauksilla. Tätä raja-arvoa on sovellettu Helsingin kaupungin ympäristökeskuksessa tämän tutkimuksen jälkeen. Tavanomaista korkeammat sisäilman TXIB-pitoisuudet johtuivat todennäköisesti huonolaatuisista, runsaspäästöisistä PVC-muovimatoista. Ärsytysoireet aiheutuivat joko TXIB-yhdisteestä itsestään tai TXIB-yhdiste toimi jonkin muun ärsyttävän yhdisteen indikaattorina.

6.1.2 Lattikorjausten vaikutus päästöihin ja oireiluun

TXIB-kohteiden korjauksia seurattiin vuosina 2001 ja 2002, korjausten vaikutusten tulokset on esitetty tarkemmin liitteiden 6 ja 7 julkaisuissa. Lattikorjaukset tehtiin seuraavasti: vanha muovimatto poistettiin ja liima hiottiin pois, kuva 8.



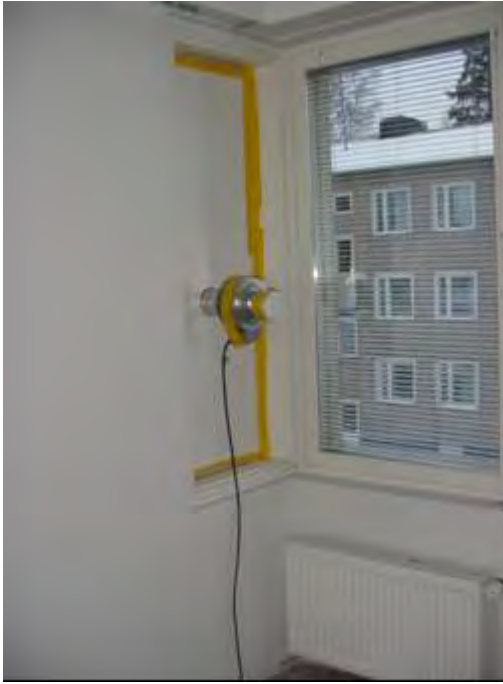
Kuva 8. Vanha liima poistettiin hiomalla.

Lattian rakennekosteus kuivatettiin ja asunnon lämpötilaa nostettiin, kuva 9.



Kuva 9. Asunnon sisälämpötilaa nostettiin sähkölämmittimen avulla.

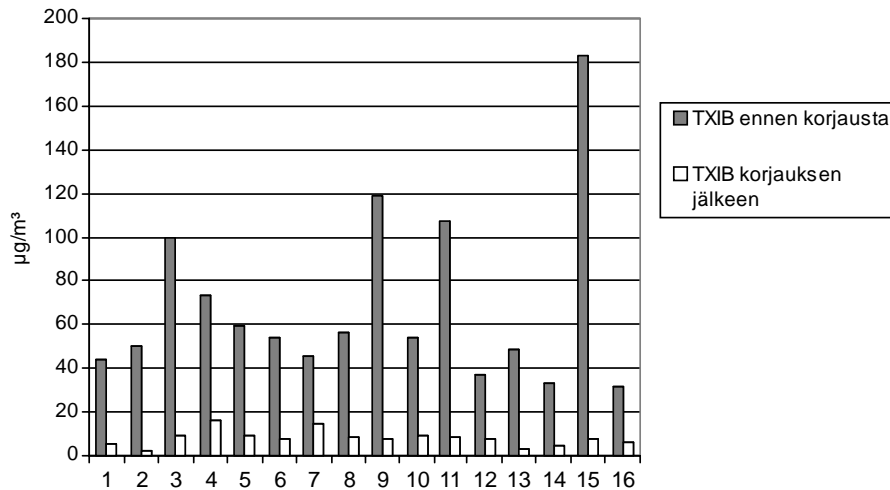
Samalla kun asunnon sisälämpötilaa nostettiin, tehostettiin myös ilmanvaihtoa noin kolmen viikon ajan ikkuna-aukkoon asennetun apupuhaltimen avulla, kuva 9.



Kuva 10. Ilmanvaihtoa tehostettiin ikkuna-aukkoon sijoitetulla apupuhaltimella.

Lämmityksen ja tuuletuksen jälkeen lattiaan liimattiin uusi M1-luokan muovimatto M1-luokan liimalla. Sisäilman VOC-pitoisuudet mitattiin 1–6 kuukauden kuluttua korjauksesta.

Kuvassa 11 on esitetty sisäilman TXIB-pitoisuudet ennen ja jälkeen lattiakorjauksen.



Kuva 11. Sisäilman TXIB-pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ennen ja jälkeen lattiakorjauksen.

Lattiakorjauksilla onnistuttiin vähentämään sisäilman TXIB-pitoisuuksia kaikissa kohteissa murto-osaan ennen korjausta vallinneesta tilanteesta. Vähenneminen johtui rakenteiden tuuleuksesta korjauksen aikana sekä ennen kaikkea uudesta vähäpäästöisestä M1-luokan PVC-muovimatosta.

Korjausten jälkeen asukkaille jaettiin yksinkertainen kyselylomake, jossa kysyttiin havaittuja muutoksia asukkaiden terveydentilassa, sisäilman laadussa sekä tyytyväisyyttä tehtyyn lattiakorjaukseen.

Asukkaista valtaosa (74 %) koki terveydentilassaan merkittävää tai lievää parantumista. 78 % vuoden 2002 vastaajista koki sisäilman laadun selvästi tai lievästi parantuneen.

6.2 2-etyyli-1-heksanolitutkimukset

Yleisin Pohjoismaissa käytetty PVC-muovimaton pehmitin on DEHP (bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti eli DOP eli dioktyyliftalaatti), jota muovimatoissa on usein jopa 30 painoprosenttia. Tuoreessa kosteassa betonissa tai Portland-sementtiä sisältävässä tasoitteessa on korkea pH, joka voi laukaista hajoamisreaktion muovimatoissa ja liimassa. Ruotsalaisessa tutkimuksessa mitattiin kohonneille sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksille arvoja 10–30 µg/m³.

6.2.1 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden ja oireilun välinen yhteys

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen 2-etyyli-1-heksanolitutkimukset tehtiin vuonna 2002 ja tulokset on esitetty tarkemmin liitteen 8 julkaisussa. Taulukkoon 4 on kerätty muutamia perustietoja 2-etyyli-1-heksanolitutkimuksissa olleista taloyhtiöistä.

Taulukko 4. Perustietoja 2-etyyli-1-heksanolitutkimuksessa olleista taloyhtiöistä.

	Kohdetaloyhtiö	Verrokkitaloyhtiö
Rakennusten valmistumisvuosi	2000	2000
Asuntojen lukumäärä	19	20
Asuntojen lukumäärä sisäilmamittauksessa	19 (100 %)	4 (25 %)
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen poisto-ilmanvaihto + korv.iv	Koneellinen poisto-ilmanvaihto + korv.iv
Lattianpäällyste	PVC-muovimatto (M1)	PVC-muovimatto (M1)

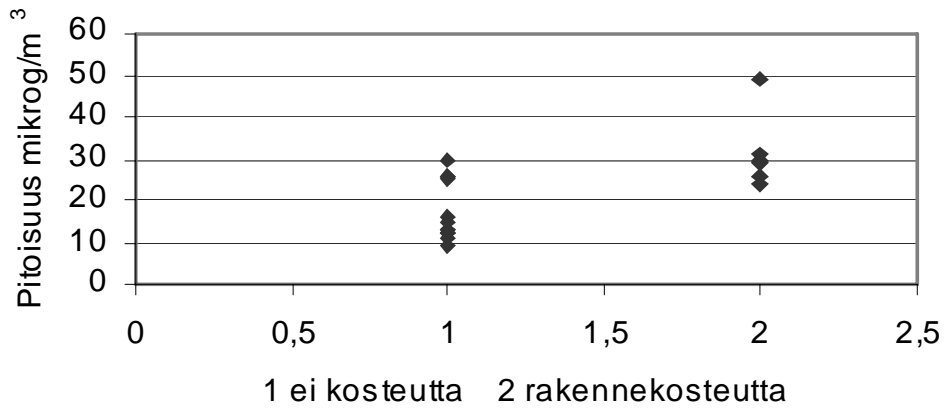
Sisäilmatekijöiden mittaustuloksia on esitetty taulukossa 5. Kaikki näyteanalyysit tehtiin Helsingin kaupungin ympäristölaboratoriossa.

Taulukko 5. Kohde- ja verrokkitaloyhtiön sisäilmatekijät.

Sisäilmatekijä	Kohdetaloyhtiö		Verrokkitaloyhtiö	
	Mediaani	Vaihteluväli	Mediaani	Vaihteluväli
Ilmanvaihtokerroin (1/h)	0,50	0,30–0,90	0,40	0,40–0,60
TVOC-pitoisuus (µg/m ³)				
Olohuone	470	250–870	210	170–400
Makuuhuone	485	190–1750	240	160–280
2-etyyli-1-heksanolipitoisuus (µg/m ³)				
Olohuone	19	9–45	7	< 3–13
Makuuhuone	18	8–53	6	< 3–12

Osassa kohdeasuntojen lattioita todettiin kohonneita rakennekosteuksia muovimaton alapuolisen betonilaatan yläosassa (RH 80 ... 98 %) sekä nestemäistä

vettä ontelolaatan onteloissa. Kuvassa 12 nähdään lattiarakenteessa todetun rakennekosteuden ja sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden välinen yhteys.



Kuva 12. Lattiarakenteessa todetun rakennekosteuden ja sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden välinen yhteys

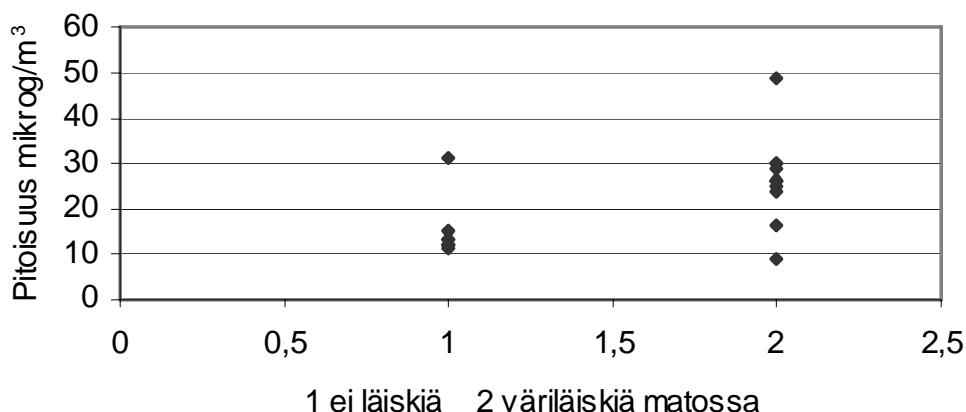
Kohonneet 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet korreloivat hyvin sekä todetun lattian rakennekosteuden että muovimatossa olleiden väriläiskien kanssa (Mann-Whitney testi, $p < 0,05$). Mann-Whitney testi soveltuu hyvin kahden arvomuuuttujan vertailuun pienessä aineistossa.

Osassa muovimatoista todettiin pieniä värjäytymiä, kuva 13.



Kuva 13. Eräissä kohdeyhtiön asunnoissa todettiin lattian muovimatoissa värjäytymiä.

Kuvassa 14 nähdään muovimatoissa todetun värjäytymän ja sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden välinen yhteys.



Kuva 14. Muovimatossa todetun värjäytymän ja sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden välinen yhteys.

Oirekyselyn vastauksissa nähtiin tilastollisesti merkitsevät erot aikuisten silmä-, nenä- ja kurkkuoireilussa kohde- ja verrokkiyhtiöiden asukkaiden välillä, taulukko 6.

Taulukkoon 6 on kerätty eräiden viikoittain esiintyneiden oireiden ilmaantuvuus.

Taulukko 6. Eräiden viikoittain esiintyneiden oireiden ilmaantuvuus (%).

Oire	Kohdetaloyhtiö				Verrokkitaloyhtiö			
	Naiset	Miehet	Aikuiset	Lapset ¹	Naiset	Miehet	Aikuiset	Lapset ¹
Väsymys	71	44	61	38	43	17	35	50
Pää raskas	50	67	57	13	21	17	20	-
Limannousu	29	11	22	25	14	-	10	-
Silmäoireet	71	44	61**	38	14	-	10	-
Nenänärkytys	71	67	70**	44	36	17	30	-
Kurkkuoire	64	11	44 ²	38	14	-	10	-
Kasvojen punoitus	36	11	26	25	7	-	5	25

χ^2 -testi, oirevaihtoehdot: oiretta 3 viimeksi kuluneen kuukauden aikana viikottain, harvemmin, ei juuri koskaan. * $p < 0.05$, ** $p < 0,01$, ¹ alle 16 vuotiaat, ² $p = 0,08$

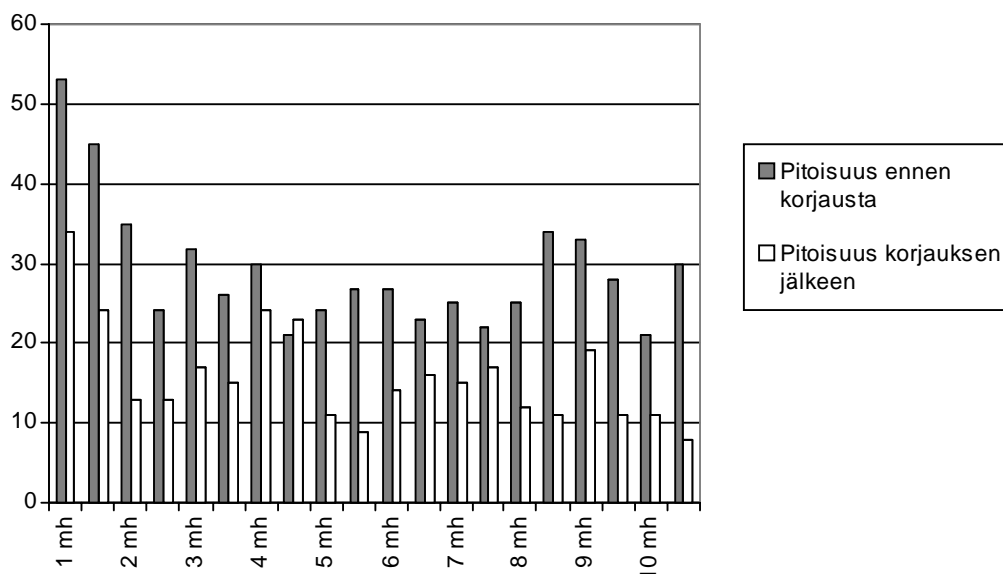
Sekä kohde- että verrokkiyhtiössä oli käytetty M1-luokiteltua lattialiimaa ja muovimattoa. Kohdetaloyhtiön asuntojen sisäilmassa todettiin tavanomaista korkeampia 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksia, verrokkikohteen asuntojen sisäilmassa pitoisuudet olivat tavanomaisella tasolla. Kohdeyhtiön asukkailla oli merkittävästi enemmän nenä-, silmä- ja kurkkuoireita verrokkiyhtiön asukkaisiin verrattuna.

Kohdeyhtiön lattioissa oli todettu alkalista rakennekosteutta, joka oli todennäköisesti reagoinut muovimaton ja liiman kanssa. Reaktioista vapautui sisäilmaan 2-etyyli-1-heksanolia ja muita tunnistamattomia reaktiotuotteita. Nämä tunnistamattomat reaktiotuotteet saattavat muodostaa merkittävän osan päästöjen ärsyttävyydestä ja voivat selittää sen, ettei oireilulle ja 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudelle löytynyt annosvastetta.

6.2.2 Lattiakorjausten vaikutus päästöihin ja oireiluun

2-etyyli-1-heksanolikohteiden korjauksia seurattiin vuosina 2001 ja 2002, korjausten vaikutusten tulokset on esitetty tarkemmin liitteiden 8 ja 9 julkaisuissa.

Lattiakorjaukset tehtiin 2-etyyli-1-heksanolikohteissa samalla tavoin kuin kohdassa 6.1.2. Kuvassa 15 nähdään miten sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet muuttuivat ennen ja jälkeen lattiakorjauksen.



Kuva 15. Sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet (µg/m³) ennen ja jälkeen lattiakorjauksen.

Lattiakorjauksilla onnistuttiin vähentämään sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksia noin puoleen ennen korjausta vallinneesta tilanteesta. 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet laskevat hitaammin kuin TXIB-pitoisuudet. Korjausten jälkeisissä FLEC-mittauksissa todettiin, että betonilaatasta haihtunut 2-etyyli-1-heksanoli adsorboitui varsinkin ruiskutasoitettuun kattopintaan väliavarastoksi.

Asukkaiden terveyden tilassa ei raportoitu suuria muutoksia. Asunnon sisäilman laadun koettiin kuitenkin parantuneen selvästi tai hieman yli puolessa korjatuista asunnoista.

7 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin hyvin: 1. oirekyselyillä voidaan löytää niitä kerrostaloyhtiöitä, joissa on materiaalipäästöongelmia. Kohde- ja verrokkiasuntojen asukkaiden oireilussa todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja. 2. tilastollisesti merkitsevä yhteys sisäilman TXIB-pitoisuuden ja silmän ärsytysoireiden välillä pystyttiin osoittamaan. 3. tutkimuksessa käytetty lattioiden korjaustapa vähensi merkittävästi sisäilman TXIB-pitoisuutta ja asukkaiden oireilua.

Tutkimuksissa voitiin todeta, että oirekyselyillä voidaan löytää ja todentaa lattiarakenteen materiaalipäästöistä aiheutuvia terveyshaittoja kerrostaloissa. Tämä edellyttää riittävän suurta asukasmäärää ja oirekyselyn vastausprosenttia sekä asuntoja, joissa ei ole muita sekoittavia tekijöitä. Oirekyselyt ja sisäilmamittaukset tukevat toisiaan. Pelkillä oirekyselyillä ei voida saada selville, mikä on oireilun syy. Toisaalta, jos yksittäisessä sisäilmamittauksessa todetaan kohonneita pitoisuuksia, ei voida tietää, onko kyseessä yksittäinen tapaus vai onko useammassa asunnossa ongelmia. Oirekyselyllä voidaan arvioida, onko kiinteistössä suuri vai pieni ongelma. Oirekyselyjen perusteella voidaan myös sisäilmamittaukset kohdentaa oireilevien asuntoihin.

Oirekyselyjen avulla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä sisäilmatutkimusten ja -mittausten kustannuksissa. Oirekyselyn toteuttaminen on suhteellisen helppo ja nopea tapa selvittää millaisia sisäilmamittauksia tarvitaan asukkaiden kokemien oireiden perusteella. Jos oireilevia asukkaita on vähän, niin tutkimus voidaan rajoittaa vain valituskohteisiin. Jos oireilevia asukkaita on runsaasti, voidaan korjaukset ulottaa kaikkiin asuntoihin muutaman sisäilmamittauksen perusteella.

Oirekyselyillä on helppoa ja edullista seurata korjausten onnistumista, jos ne toteutetaan samaan vuodenaikaan kuin alkuperäinen kysely ennen korjausta. Uusia sisäilmamittauksia ei tarvitse tehdä kuin pistokoemaisesti.

M1-luokitellut muovimatot ja liimat eivät takaa hyvää sisäilman laatua, jos betonialusta on pinnoitettaessa liian kostea. Kuivalle alustalle liimattu M1-luokiteltu muovimatto ei aiheuttanut tavanomaisesta poikkeavia päästöjä eikä asukkaille oireita. Lattiarakenteen päästöongelmia voidaan ennaltaehkäistä varmistamalla betonilattian kuivuus ennen vähäpäästöisen M1-luokitellun pintamateriaalin asen- tamista.

Mahdollisten ftalateista aiheutuvien terveyshaittojen ehkäisemiseksi olisi suositeltavaa käyttää muovimattojen sijasta parkettia tai laminaattia.

Kirjallisuusluettelo

Aikivuori Anne. Terveen rakennuksen evoluutio, VTT julkaisuja, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo 2001

Alexanderson J. Emissions from adhesives and floor coverings on aggressive substrates, Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Eds. Tham, Sekhar and Cheong, Vol 3, 2003, 184–188.

Asumisterveysohje, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1.

Bornehag C-G. Dampness in Buildings and Health, esitelmädiat, Sisäilmastoseminaari 2006.

Merikallio T. ym. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen, Suomen Betonitieto Oy, Lahti 2007

Metiäinen, P. Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., TXIB-päästöt terveyshaittojen indikaattorina. Sisäilmastoseminaari 2001, Espoo 14.–15.3.2001, SIY Raportti 15; 117–121.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. TXIB-emission from floor structure as a marker of increased risk for some specific symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. Muovimattokorjausten vaikutus sisäilman TXIB-pitoisuuteen ja asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2003, Espoo 19.–20.3.2003, SIY Raportti 19; 173–176.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M. 2-ethanol-1-hexanol emission from floor structure and health symptoms, Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Eds. Tham, Sekhar and Cheong, Vol 3, 2003, 36-41.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M. Lattiarakenteen 2-etyyli-1-heksanolipäästöt, korjaustoimenpiteet ja niiden vaikutus asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2004, Espoo 17.–18.3.2004, SIY Raportti 22; 211–216.

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M. TXIB-emission from floor-structure and reported symptoms before and after repair, Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lissabon, Eds. de Oliveira Fernandes, Gameiro da Silva and Rosado Pinto, Vol 1, 2006, 127–130.

Salthammer T., Kephalopoulos S., Villberg K., WS29 Assesment of Material Emission on IAQ. Workshop summaries, Healthy Buildings 2000, Espoo 2000.

Sjöberg Anders, Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2001.

Suomen Betoniyhdistys. Betonilattiat: Luokitusohjeet, päällystettävyysohjeet, Helsinki 1981.

Villberg K., Saarela K., Tirkkonen T., Pasanen A-L., Kasanen J-P., Pasanen P., Kalliokoski P., Mussalo-Rauhamaa H., Malmberg M. ja Haahtela T. Sisäilman laadun hallinta, VTT publications 540, Espoo 2004.

Villberg, K.; Mussalo-Rauhamaa, H.; Haahtela, T.; Saarela, K. Prevalence of plastic additives in indoor air related to newly diagnosed asthma, Indoor and Built Environment. Vol. 17 (2008) No: 5, 455–459.



HELSINGIN KAUPUNKI
Ympäristökeskus
Ympäristölaboratorio

TUTKIMUSTODISTUS
Ilma/Rakennusmateriaalit
Päivä: 22.03.02

Sivu: 1

YMK, ympäristövalvontayksikkö
ympäristötarkastaja
Saarinen Anna

PL 510
00099 HELSINGIN KAUPUNKI

Näyteenottaja: YMK, ympäristövalvontayksikkö näytteidenottaja Juhana Österholm

Näytenumero	Näytetiedot	Tutkimuksen syy	Näyteenottopaikka	Ottopvm	Saappvm	Tutk.al.pvm
1)	2002-01724-2	Sisäilma, olohuone, 13897	Valvonta			
2)	2002-01724-4	Sisäilma, makuuhuone, 14463	Valvonta			

Analyysi	Menetelmä	Yksikkö	Näyte 1	Näyte 2

Lisätietoja antaa Kemisti Timo Luukkainen 7312 2665 ja Kemisti Timo Vartiola 7312 2656


Laboratoripäällikkö Seppo Ahonen 7312 2660



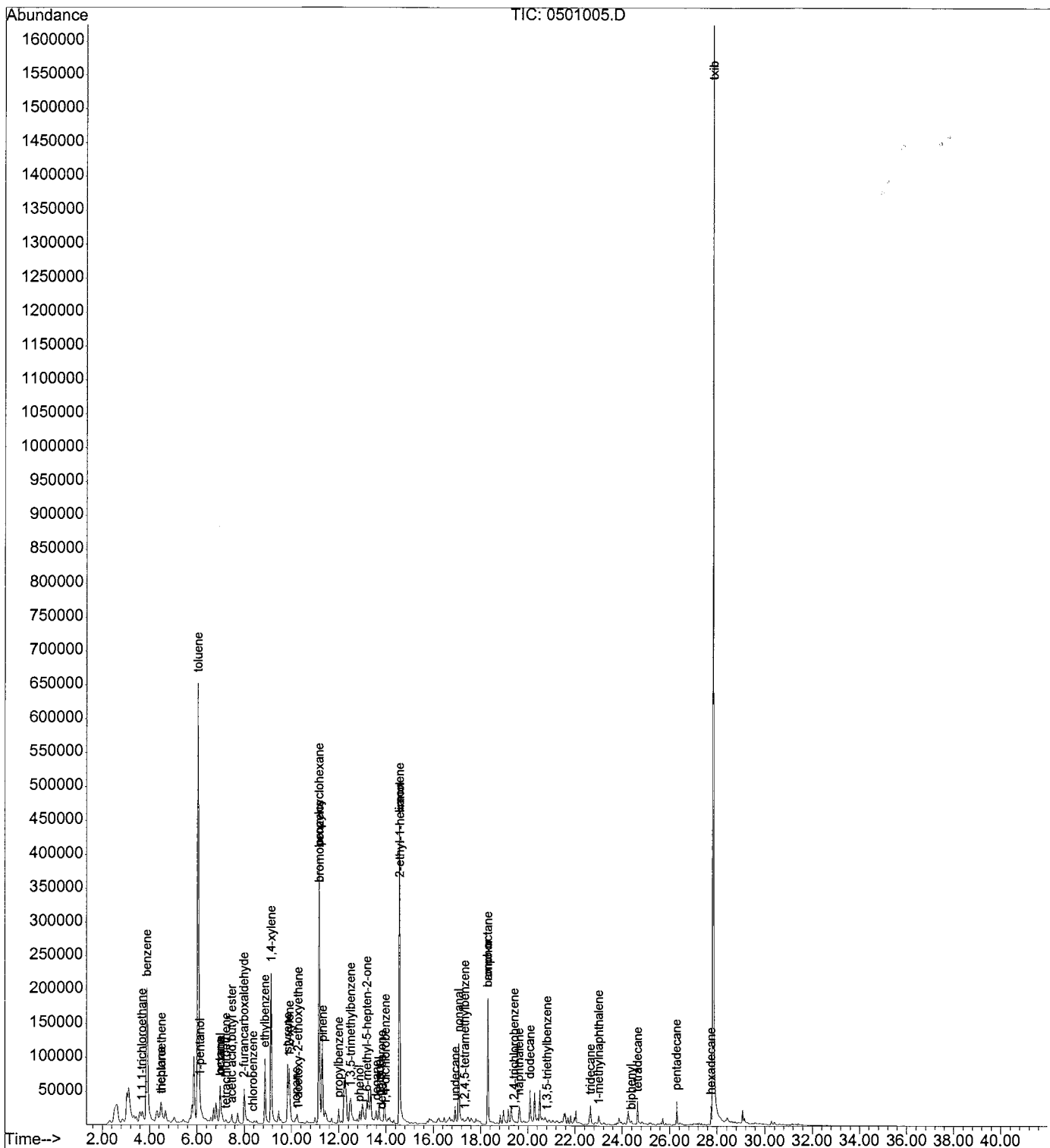
Asiakirjan osittainen kopioiminen kielletty. Testausulos koskee vain tutkittua näytettä.

Postiosoite Käyntiosoite
PL 500 Helsinginkatu 24
00099 HELSINGIN KAUPUNKI 00530 Helsinki

(09) 7312 1 (Vaihde)
(09) 7312 2655 (Fax)

Henkilötiedot rekisteröidään LimsBOSS-ympäristölaboratorion ympäristö- ja elintarviketurvallisuuden tietojärjestelmään. Järjestelmän rekisteriseloste on nähtävissä Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen kirjaimossa osoitteessa Helsinginkatu 24 ja internetissä osoitteessa www.hel.fi/rekisteriseloste

File : C:\HPCHEM\1\DATA\020228TE\0501005.D
 Operator : pm
 Acquired : 28 Feb 2002 19:28 using AcqMethod TEFIDSIM
 Instrument : GC/MS Ins
 Sample Name : ██████████,oh (1974)1724-1
 Misc Info :
 Vial Number: 5



Data File Name

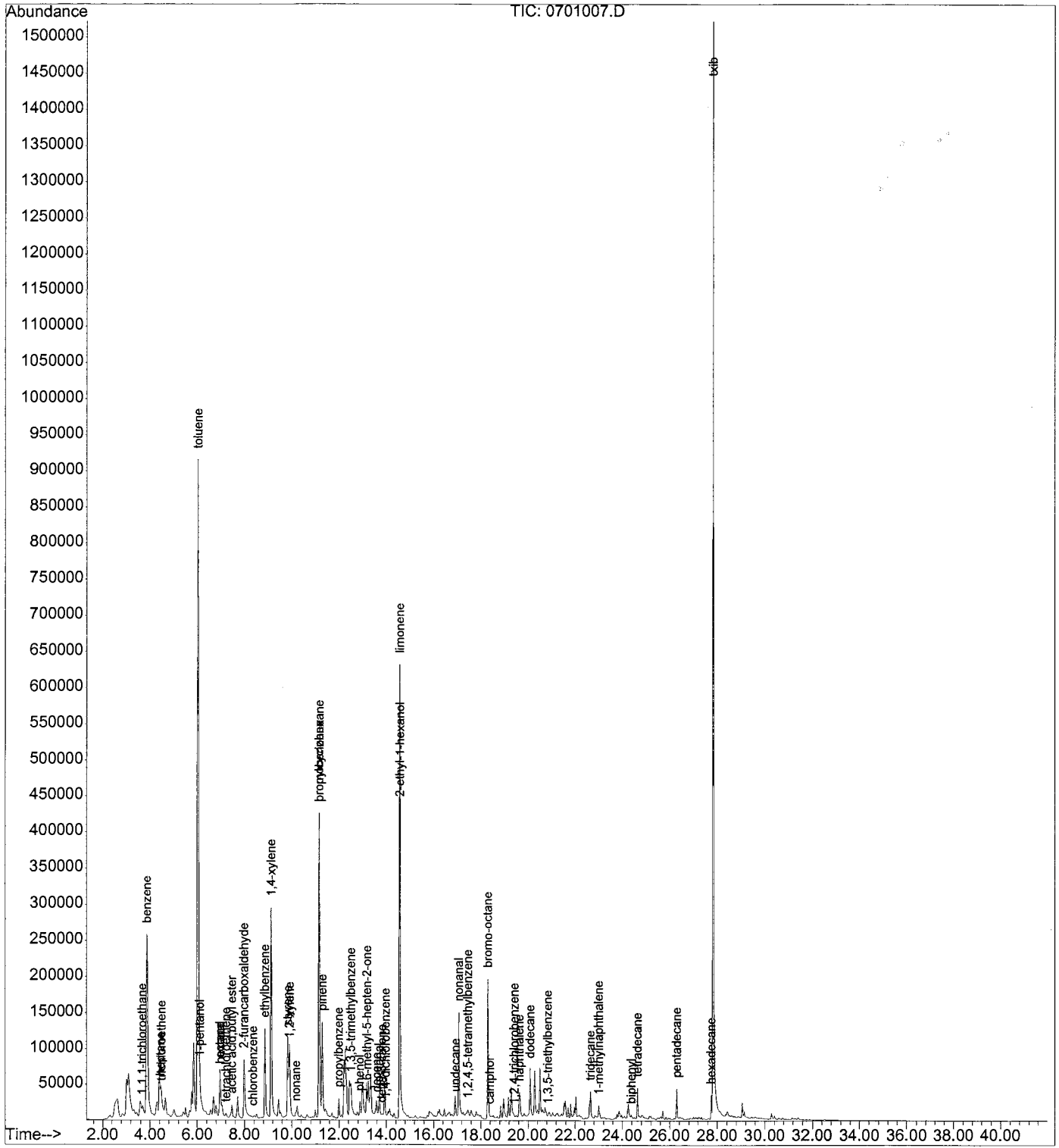
0501005.D

Sample Name

██████████,oh (1974)1724-1

Aromaattiset yhdisteet	Pitoisuus (ug/m3)	Karboonyylit	Pitoisuus (ug/m3)
benzene	6.91	hexanal	em. (<4,7)
toluene	9.66	benzaldehyde	1.32
ethylbenzene	1.25	6-methyl-5-hepten-2-one	ei tod. (<0,9)
1,4-xylene	3.58	octanal	em. (<1,8)
styrene	1.57	nonanal	em. (<10)
1,2-xylene	0.70	Karboonyylit yht.	1.32
propylbenzene	em. (<0,4)	Halogenoidut yhdisteet	
1,3,5-trimethylbenzene	0.45	1,1,1-trichloroethane	em. (<1,4)
1,2,4,5-tetramethylbenzene	em. (<0,5)	trichloroethene	em. (<0,6)
naphthalene	0.43	tetrachloroethene	ei tod. (<0,2)
1,3,5-triethylbenzene	em. (<0,4)	chlorobenzene	ei tod. (<0,1)
1-methylnaphthalene	0.38	1,1,2,2-tetrachloroethane	ei tod. (<0,8)
biphenyl	0.45	1,4-dichlorobenzene	em. (<0,1)
Aromaattiset yht.	25.37	2,4-dichlorotoluene	ei tod. (<0,05)
		1,2,4-trichlorobenzene	ei tod. (<0,03)
Alkaanit		Halogenoidut yht.	0.00
heptane	em. (<7)	Esterit	
octane	ei tod. (<1,4)	acetic acid,butyl ester	em. (<2,1)
nonane	ei tod. (<1,0)	txib	22.39
decane	ei tod. (<0,4)	Esterit yht.	22.39
undecane	em. (<7,2)	Muut yhdisteet	
dodecane	em. (<5,4)	methylcyclohexane	ei tod. (<0,2)
tridecane	em. (<4,7)	1-pentanol	ei tod. (<0,5)
tetradecane	em. (<5,3)	2-furancarboxaldehyde	3.55
pentadecane	em. (<1,4)	1-acetoxy-2-ethoxyethane	ei tod. (<1,3)
hexadecane	em. (<2,5)	propylcyclohexane	ei tod. (<0,2)
Alkaanit yht.	0.00	phenol	em. (<1,3)
Terpeenit		2-ethyl-1-hexanol	5.12
pinene	em. (<6,7)	Muut yhdisteet yht.	8.67
delta-3-carene	em. (<3,4)		
limonene	8.61		
camphor	em. (<0,8)		
Terpeenit yht.	8.61		
YHTEENSÄ	89.42		

File : C:\HPCHEM\1\DATA\020228TE\0701007.D
 Operator : pm
 Acquired : 28 Feb 2002 21:37 using AcqMethod TEFIDSIM
 Instrument : GC/MS Ins
 Sample Name : ██████████, mh (14555)1724-3
 Misc Info :
 Vial Number: 7



Data File Name

0701007.D

Sample Name

[REDACTED],mh (14555)1724-3

Aromaattiset yhdisteet	Pitoisuus (ug/m3)	Karboonyylit	Pitoisuus (ug/m3)
benzene	7.85	hexanal	em. (<4,7)
toluene	12.12	benzaldehyde	1.50
ethylbenzene	1.49	6-methyl-5-hepten-2-one	ei tod. (<0,9)
1,4-xylene	4.30	octanal	em. (<1,8)
styrene	1.95	nonanal	em. (<10)
1,2-xylene	0.80	Karboonyylit yht.	1.50
propylbenzene	em. (<0,4)	Halogenoidut yhdisteet	
1,3,5-trimethylbenzene	0.49	1,1,1-trichloroethane	em. (<1,4)
1,2,4,5-tetramethylbenzene	em. (<0,5)	trichloroethene	em. (<0,6)
naphthalene	0.50	tetrachloroethene	ei tod. (<0,2)
1,3,5-triethylbenzene	em. (<0,4)	chlorobenzene	ei tod. (<0,1)
1-methylnaphthalene	0.41	1,1,2,2-tetrachloroethane	ei tod. (<0,8)
biphenyl	0.45	1,4-dichlorobenzene	em. (<0,1)
Aromaattiset yht.	30.36	2,4-dichlorotoluene	ei tod. (<0,05)
		1,2,4-trichlorobenzene	ei tod. (<0,03)
Alkaanit		Halogenoidut yht.	0.00
heptane	em. (<7)	Esterit	
octane	ei tod. (<1,4)	acetic acid,butyl ester	em. (<2,1)
nonane	ei tod. (<1,0)	txib	20.73
decane	ei tod. (<0,4)	Esterit yht.	20.73
undecane	em. (<7,2)	Muut yhdisteet	
dodecane	em. (<5,4)	methylcyclohexane	ei tod. (<0,2)
tridecane	em. (<4,7)	1-pentanol	ei tod. (<0,5)
tetradecane	em. (<5,3)	2-furancarboxaldehyde	4.39
pentadecane	1.43	1-acetoxy-2-ethoxyethane	ei tod. (<1,3)
hexadecane	em. (<2,5)	propylcyclohexane	ei tod. (<0,2)
Alkaanit yht.	1.43	phenol	em. (<1,3)
Terpeenit		2-ethyl-1-hexanol	5.30
pinene	em. (<6,7)	Muut yhdisteet yht.	9.70
delta-3-carene	em. (<3,4)		
limonene	12.85		
camphor	ei tod. (<0,03)		
Terpeenit yht.	12.85		
YHTEENSÄ	103.07		

SISÄILMASTOKYSELY

Arvoisa vastaaja

Pyydämme Teitä kertomaan omat kokemuksenne asuntonne nykyisestä sisäilmastosta ja Teillä **vii-meisen kolmen kuukauden tai vuoden aikana** esiintyneistä vaivoista tai oireista. Tutkimuksen kannalta on tärkeää, että kaikki taloudessanne asuvat vastaavat omalla lomakkeellaan. Vanhemmat voivat täyttää tämän lomakkeen alle 15-vuotiaiden lasten puolesta. Antamianne tietoja käsitellään luottamuksellisina.

TAUSTATIETOJA (täydentäkää tai merkitkää ruksi)

1. Syntymävuotenne _____
2. Sukupuolenne () Mies () Nainen
3. Tupakoitko? () En () Kyllä
4. Kuinka kauan olette polttanut _____
5. Kuinka paljon poltatte päivittäin? _____
6. Lopetin tupakoimisen vuonna _____
7. Kauanko olette asunut nykyisessä asunnossanne? _____ vuotta.
8. Kuinka kauan keskimäärin oleskelette asunnossanne? _____ tuntia/vrk
9. Asunnon osoite _____
10. Ammatinne: _____
11. Käyttökö työssä () Kyllä () En
12. Onko Teillä kotieläimiä? () ei () kyllä, (mitä) _____
() ei nyt, mutta aiemmin _____ (vuotta sitten) mitä _____

13. ASUINYMPÄRISTÖ (merkitkää ruksi sopivaan vaihtoehtoon joka rivillä)

Onko Teitä haitannut nykyisessä asunnossanne jokin seuraavista tekijöistä

	Kyllä, joka viikko	Kyllä, joskus	Ei koskaan
Veto	()	()	()
Liian korkea huonelämpötila	()	()	()
Vaihteleva huonelämpötila	()	()	()
Liian matala huonelämpötila	()	()	()
Tunkkainen (huono) ilma	()	()	()
Kuiva ilma	()	()	()
Epämiellyttävä haju	()	()	()
Pintojen sähköisyydestä johtuvat sähköiskut	()	()	()
Muiden tupakointi	()	()	()
Melu	()	()	()
Heikko valaistus tai häikäisy/heijastukset	()	()	()
Havaittava pöly tai lika	()	()	()

14. ALLERGISET SAIRAUDET (merkitkää ruksi. Muistakaa merkitä **ei**, jos Teillä ei ole sairautta!)

	Kyllä	Ei
Onko Teillä nyt tai aikaisemmin ollut (lääkärin toteama) astma ?	(), vuosi_____	()
Onko Teillä nyt tai aikaisemmin ollut lääkärin toteamaa allergista nuhaa ?	()	()
Onko Teillä nyt tai aikaisemmin ollut maitorupea, taiveihottumaa tai muuta allergista ihottumaa ?	()	()
Onko vanhemmillanne tai sisaruksillanne ollut yllämainittuja allergiasairauksia ?	()	()

15. OIREET (merkitkää ruksi sopivaan vaihtoehtoon joka rivillä, arvioikaa myös työpaikan osuus)Onko Teillä esiintynyt joitakin seuraavista oireista tai vaivoista **viimeisen kolmen kuukauden aikana?**

Jos vastasitte kyllä, niin uskotko oireen johtuvan työympäristänne?

	Kyllä, joka viikko	Kyllä, harvemmin	Ei koskaan	Ei	Kyllä, myös työstä	Kyllä, vain työstä
Väsymystä	()	()	()	()	()	()
Pää tuntuu raskaalta	()	()	()	()	()	()
Päänsärkyä	()	()	()	()	()	()
Keskittymisvaikeuksia	()	()	()	()	()	()
Huimausta	()	()	()	()	()	()
Pahoinvoitua	()	()	()	()	()	()
Kuumetta	()	()	()	()	()	()
Vilunväreitä	()	()	()	()	()	()
Vatsakipuja	()	()	()	()	()	()
Oksentelua	()	()	()	()	()	()
Silmien kutinaa, kirvelyä tai ärsytystä	()	()	()	()	()	()
Nenän ärsytystä, tukkoa	()	()	()	()	()	()
Nenän vetistystä	()	()	()	()	()	()
Käheyttä	()	()	()	()	()	()
Kurkun kuivuutta	()	()	()	()	()	()
Hengenahdistusta	()	()	()	()	()	()
Yskää	()	()	()	()	()	()
Limannousua	()	()	()	()	()	()
Nivelkipuja	()	()	()	()	()	()
Lihaskipuja	()	()	()	()	()	()
Lisääntynyttä virt- saamisen tarvetta	()	()	()	()	()	()
Vatsavaivoja	()	()	()	()	()	()
Kasvojen ihon kuivuutta	()	()	()	()	()	()
Kasvojen punoitusta	()	()	()	()	()	()
Käsien ihon kuivuutta, kutinaa tai punoitusta	()	()	()	()	()	()
Jotain muuta oiretta, mitä? _____	()	()	()	()	()	()

Mikä em. oireista on ollut vaikein? _____

16. Pidättekö nykyistä terveydentilaanne (ruksatkaa Teihin sopiva numerovaihtoehto)

1 hyvänä 2 melko hyvänä 3 keskinkertaisena 4 melko huonona 5 huonona
() () () () ()

17. Onko Teillä ollut seuraavia hengitystietulehduksia viime vuoden aikana?

(voitte ruksata yhden tai useampia vaihtoehtoja)

Kuinka monta kertaa? Kuinka monta kertaa kävitte
lääkärissä niiden vuoksi?

Flunssaa ilman kuumetta	() _____	_____
Kuumeinen flunssa, nuhakuume	() _____	_____
Nielurisatulehdus, angiina	() _____	_____
Väli(keski-)korvantulehdus	() _____	_____
Poskiontelontulehdus	() _____	_____
Keuhkoputkentulehdus	() _____	_____
Muu, mikä? _____	() _____	_____

Ei mitään hengitystietulehduksia viime vuoden aikana ()

18. Käytättekö säännöllisesti jotain/joitain lääkkeitä? _____

SISÄILMASTOKYSELY

Arvoisa vastaaja

Pyydämme Teitä nyt vertamaan omia kokemuksianne asuntonne nykyisestä sisäilmastosta tilanteeseen ennen korjausta. Tutkimuksen kannalta on tärkeää, että kaikki taloudessanne asuvat vastaavat omalla lomakkeellaan. Vanhemmat voivat täyttää tämän lomakkeen alle 15-vuotiaiden lasten puolesta. Antamianne tietoja käsitellään luottamuksellisina.

TAUSTATIETOJA (täydentäkää tai merkitkää ruksi)

1. Syntymävuotenne _____ 2. Sukupuolenne () Mies () Nainen
3. Asunnon osoite _____

Onko terveydentilanne muuttunut siitä, mitä se oli ennen tehtyä

lattian korjaustöitä? (Täydentäkää Teihin sopiva kohta kuvaamalla terveydentilassanne tapahtunutta muutosta. Tarvittaessa voitte jatkaa erilliselle paperille.)

1. Terveydentila on merkittävästi parantunut, erityisesti _____
_____ (oireet ovat vähentyneet)
2. Terveydentilassa on tapahtunut vain lievää paranemista _____
_____ (ovat vähentyneet/ helpottuneet)
3. Terveydentila on sama kuin ennenkin ()
4. Terveydentila on jonkin verran heikentynyt aiemmasta (kuvaa muutosta) _____

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

6. Olen aina ollut jokseenkin terve _____
7. Onko asuntonne ilmanlaatu muuttunut korjauksen jälkeen? 1. selvästi parantunut ()
2. lievästi parantunut () 3. ei muutosta () 4. hieman heikentynyt () 5. selvästi heikentynyt ()
8. Oletteko tyytyväinen asunnossanne tehtyyn lattian korjaukseen?

LIITE 4.

TXIB-EMISSION FROM FLOOR STRUCTURE AS A MARKER OF INCREASED RISK FOR SOME SPECIFIC SYMPTOMS

P Metiäinen^{1*}, H Mussalo-Rauhamaa² and M Viinikka¹

¹ City of Helsinki, Environment Center, Finland

² Helsinki University Central Hospital, Department of Dermatology and Allergic Diseases, Finland

ABSTRACT

Two small scale studies were conducted in order to find out any connection between VOC-emissions from floor structure and symptoms of the residents. Three block of flats with PVC-carpet on concrete floor were studied. In all flats residents were asked to fill out a modified questionnaire based on Örebro and Tuohilampi questionnaires. Volatile organic compounds were measured by the GC/MSD system. Higher concentrations of 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate (TXIB) in indoor air seem to increase the risk of symptoms like nose and eye irritation, throat symptoms and "heavy head". Health effects may be a direct effect of TXIB exposure. Alternatively TXIB may act as a marker for another PVC component. In the world TXIB has been or is widely used as plasticizer in many PVC-products. Results of this survey indicates that these findings are of potentially major public health importance.

INDEX TERMS

TXIB-emission, VOC, health effects, floor structure

INTRODUCTION

City of Helsinki Environment Centre receives each year several hundreds complaints of poor indoor air quality. Almost all of them comes from flats with concrete floor and PVC-carpet and very seldom from flats with concrete floor and wooden parquet. We surveyed in two small scale studies residents of three blocks of flats, build 1990 – 1995, which were in the same area of the Helsinki City.

The storage capacity of concrete for decomposition products of PVC-carpet and glue is a critical factor for future emissions from the floor, since up to one half of the decomposition products can be transported downwards and stored in the concrete. The organic compounds stored in the concrete can, if conditions change, be emitted to the indoor air over a long period (Sjöberg 2001).

There is an increasing body of evidence that poor indoor air quality increases the frequency of skin, mucosal and upper respiratory tract symptoms. Low rates of ventilation and air exchange seem to enhance the effects of indoor air pollutants (Bornehag and Stridh 2000). Previous studies have found an increased prevalence of asthma among subjects with domestic exposure to newly painted surfaces (Wieslander et al. 1997). Plastics (PVC) and textile wall materials also appear to have a role in the development of asthma and bronchial obstruction in young children (Jaakkola et al. 2000). TXIB is widely used in the production of vinyl floor coverings and other vinyl products.

METHODS

Health effects were investigated by cross sectional study. Indoor Air Quality (IAQ) measurements were conducted during the home calls. Home calls were made only if the residents were complaining of poor indoor air. The inspector of City of Helsinki Environment Center did an interview, over-all study by sense perception, ventilation rate measurement and checked moisture condition of the structures. Later on an air sample for ammonia and volatile organic compounds (VOC) measurement were collected. If there was a suspicion of mould damage in an apartment, bioaerosol samples were collected by Andersen sampler. Background facts of the flats are given in Table 1.

Table 1. Investigated blocks.

	Block one	Block two	Block three
Year of completion	1994	1995	1990
Number of stores	4 – 6	3 - 5	2
Number of flights	6	4	6
Number of apartments (No)	77	59	46
No of indoor air measurements	20 (26%)	13 (22%)	15 (33%)
Frame structure	Concrete elements	Concrete elements	Concrete elements
Ventilation system	Mechanical in and out let	Mech. out let and fresh air openings on the wall	Mech. out let and fresh air openings on the wall
Floor covering	PVC-plastic cover	PVC-plastic cover	PVC-plastic cover

Ventilation rate was estimated by measuring the air flow through outlets (TSI Veloci Calc 8388). Moisture condition of structures were estimated from the surface (Gann Hydromette UNI 1). The VOCs were collected on Tenax TA from indoor air, and VOCs were thermally desorbed from sampling tubes into a GC/MSD system (Hewlett Packard 6898).

A postal questionnaire was mailed to all residents. Residents filled it out probing symptoms, medical history and living conditions. The response rate was around 75% from all. The questionnaire used in this study was the Örebro (MM-40-FIN) questionnaire where a few questions from Finnish Tuohilampi questionnaire were added. There are several versions of Örebro questionnaire concerning e.g. working places, schools and day-care centers. The version used in this study contains questions about personal data, previous illnesses, physical and psychological environmental factors in home and experienced symptoms. Both questions about indoor climate factors and symptoms have three alternative answers: “Yes, often (every week)“, “Yes, sometimes“ and “No, never“. In the first study (block one and two) symptoms were asked during last twelve months (spring 2000), in the second study (block three) only last three months (spring 2001). In both studies diseases were asked during last twelve months. The questions’ validity and test-retest reliability has been tested and found to be acceptable (Andersson 1992). Background information of the residents who responded the questionnaire are given in Table 2.

All statistical analyses were made by using SPSS statistical package. The chi-square test and logistic regression methods were used in the analysis of the differences in subjective environmental factors and symptoms between the groups. The Spearman test were used for the correlation analysis.

Table 2. Information on residents.

	AGE (years) Median, Range		Smokers	Pets in families	Number of persons	Atopy	Allergic Rhinitis	Asthma
BLOCK ONE				18 (31%)	n = 115			
Woman	39	18 – 72	18 (34%)		53	16 (32%)	18 (35%)	7 (14%)
Man	35	16 – 65	15 (47%)		31	8 (28%)	10 (37%)	2 (6.5%)
Child	7	1 – 11	-		31	31 (39%)	7 (25%)	6 (20%)
BLOCK TWO				14 (32%)	n = 77			
Woman	39	17 – 67	9 (27%)		31	8 (25%)	10 (33%)	3 (10%)
Man	40	24 – 73	13 (42%)		32	10 (32%)	10 (32%)	2 (7.0%)
Child	7.5	1 – 15			14	5 (36%)	5 (36%)	1 (7.7%)
BLOCK THREE				16 (44%)	n = 93			
Woman	37	16 - 63	16 (47%)		34	17 (50%)	9 (27%)	2 (6.5%)
Man	42	16 - 69	13 (50%)		26	8 (31%)	6 (23%)	4 (15%)
Child	8	1 - 15			35	13 (39%)	6 (18%)	2 (7.0%)

RESULTS

In all apartment buildings, IAQ was found to be quite similar, Table 3. Ventilation rate was considered as adequate, ammonia concentration at normal range (except some flats in block three), no mould damage was found. There was no significant difference in the mean TVOC concentration. Although the overall levels were similar, the TXIB (2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate) concentration in the indoor air was significantly higher in block one and three. In block two there was higher concentration of 2-ethyl-1-hexanol compound.

Table 3. Indoor Air Quality measurements

Measurement	Block one		Block two		Block three	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Ventilation rate (1/h)	0.55	0.30 – 1.20	0.50	0.30 – 0.80	0.65	0.20 – 1.20
Ammonia concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14	< 5 - 24	18	< 5 - 32	36	< 9 - 102
TVOC -"- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	230	80 - 430	270	70 - 620	310	110 - 630
TXIB -"- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31	10 - 109	6	1 - 21	50	11 - 138
2-ethyl-1-hexanol -"- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	< 3	< 3 - 6	9	< 3 - 21	6	< 3 - 15

TXIB- and 2-ethyl-1-hexanol emission source found was PVC floor cover used in these apartments. It was verified by the specific emission rate (SER) from the floor structure, measured by FLEC-method (VTT Kemiantekniikka 2000), Table 4.

Table 4. Specific emission rate (SER) from the floor structure by FLEC -method

SER ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	Block one, n = 3		Block two, n = 3		Block three, n = 5	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Ammonia	3	3 - 4	2	-	4	1 - 6
TVOC	340	248 - 406	120	107 - 145	190	148 - 245
TXIB	140	74 - 229	5	3 - 7	86	61 - 129
2-ethyl-1-hexanol	3	3 - 4	17	13 - 25	6	3 - 15

Table 5. Symptoms which had occurred every week (%)

Symptom	Block one (12 months) Spring 2000			Block two (12 months) Spring 2000			Block three (3 months) Spring 2001		
	Women	Men	Children ¹	Women	Men	Children	Women	Men	Children
Fatigue	49	57	25	40	48	50	61	52	33
Headache	23	25	20	14	7.1	7.1	39	16	15
Heavy head	23	35*	21	11	3.6	-	43	21	16
Mucus rising	25	24	24	36	14	7.1	26	24	36
Eye irritation	29	39*	31	23	7.1	7.1	40	19	31
Nose irritation	31	55**	39	25	14	29	55	50	43
Runny nose	24	30	24	21	7.1	14	29	28	19
Throat symptom	22	17	28	22	14	18	48	31	24
Hoarse throat	13	19	27	16	14	21	23	20	18
Difficulty breathing	13	9	4.0	12	3.8	7.5	13	12	5.7
Cough	26	29	55	22	-	43	19	16	33
Flushed facial skin	9	28*	4.0	22	3.6	14	29	4.2	16
Dry facial skin	31	35	31	32	21	14	47	25	25

X²-test, alternatives: symptom during last 12 or 3 months, every week, more seldom, almost never.

* p<0.05, ** p<0,01 (first study compared block one and two) , ¹ under 15 years of age

In the first study results from block one and two were compared. A cut point of 30 µg/m³ for TXIB-concentration were used (Metiäinen et al. 2001). When symptoms were divided by TXIB-concentration, some symptoms seem to occur more with higher concentration, Table 6.

Table 6. Symptoms of the adults which had occurred every week (%) by TXIB-concentration.

Symptom	Block one (12 months) Spring 2000			Block two (12 months) Spring 2000			Block three (3 months) Spring 2001		
	TXIB (µg/m ³)	< 30	> 30	N/M ¹	< 30	> 30	N/M ¹	< 30	> 30
Fatigue	37	57	64	39	57	-	48	58	52
Headache	8.7	33	60	4.4	10	-	28	27	38
Heavy head	15	45	60	4.5	3.3	-	24	17	28
Mucus rising	15	47	36	24	17	-	24	33	34
Eye irritation	21	42	58	14	17	-	23	8	50
Nose irritation	27	50	75	20	28	-	47	25	71
Runny nose	19	42	36	13	17	-	27	17	34
Throat symptom	11	26	67	18	17	-	47	17	37
Hoarse throat	10	18	55	14	20	-	14	8	36
Difficulty breathing	7.5	13	9.1	7.3	6.7	-	14	9	9
Cough	10	27	27	11	23	-	14	17	38
Flushed facial skin	7.5	26	10	9.1	17	-	17	17	26
Dry facial skin	20	52	60	20	27	-	40	33	38

Alternatives: symptom during last 12 or 3 months, every week, more seldom, almost never.

N/M¹ = no complaints before study and therefore no measurement

There seems to be a dose-response between TXIB-concentration level and symptoms like eye and nose irritation or throat symptom, Table 6. For example only 25 % of residents were reporting nose irritation in block three, when measured TXIB-concentration was less than 30 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in their apartment and 71 %, when TXIB-concentration was over 30 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). When there were no measurement of TXIB-concentration (N/M column in Table 6), the TXIB- concentration could be over 30 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in some apartments, which could explain 47 % reporting rate.

People from block one and three complained during the previous months prior to the questionnaire more (bothering every week) about dry, stuffy air and excessive dust than people from block two. Residents from block three complained more about low indoor temperature and unpleasant odour. There was no significant difference between women's and men's opinion about their perceived living environment.

Later on five flats from block three were repaired. The old PVC-carpet and glue were removed, room air temperature and ventilation rate were increased for couple of weeks in order to air out organic compounds from the floor structure. Afterwards a low-emitting PVC-carpet was glued on the floor with low-emitting glue. Residents had less symptoms and they reported feeling better after this renovation.

DISCUSSION

An Indoor Air Questionnaire was used to study symptoms of inhabitants in three buildings during last twelve or three months. Asking symptoms during a long period of time may slightly affect on the reliability of the results. On the other hand, it may assure that people who are suffering most are detected with bigger confidence.

High concentration of TXIB in the indoor air of block one and three was found. Possible explanation to higher TXIB concentration in these blocks is the poor quality of the PVC floor cover (high emission rate of TXIB compound) combined with possible old water damage. At construction phase it could have been possible that PVC floor cover was glued on wet concrete and screed surface. Then the alkaline water in concrete could have made reactions with screed, glue and PVC flooring during the years.

Another explanation for the difference is the ventilation system. In the block one there is a totally mechanical ventilation system with inlet and outlet. Fresh air supply is preheated and well filtered. The inlet is on the wall under the ceiling, dust is visible on the ceiling above the outlet (impact of household dust). In the block two and three there is mechanical ventilation system for the outlet and inlet is through fresh air openings on the exterior wall of living and bedrooms. Fresh air openings are not preheated and have a filter for only coarse particles.

Manufacturer indicates that TXIB-emission should be minimal in the normal domestic environment. TXIB itself is not irritating agent to human beings. When eye was exposed to TXIB-liquid no reaction was found and in a 24 hour skin exposure test there was only a very slight reaction (Eastman.com 2001). Epidemiologic studies suggest that emissions from PVC-surface materials correspond to bronchial obstruction (Jaakkola et al. 2000). Correlation between TXIB-emission and eye and nose irritation has also reported (Villberg et al. 2000). We did not find any correlation between TXIB-emissions and lung symptoms. However, the number of doctors' diagnosed asthma was high in block one.

Floor constructions with concrete slab, screed, carpet glue and PVC-carpet are widely used in the world. Findings of TXIB-emissions and their health effects are potentially major public health importance.

CONCLUSION

As a result of these studies there seems to be a dose-response between certain symptoms and TXIB-concentration level in indoor air. The TXIB-source found was the floor covering made of PVC-plastic. Some flats were over ten years old and the floor structures were still emitting high quantities of TXIB-compound.

Pollution from floor structures can be prevented by using high quality, low emitting products and by controlling moisture of the concrete floor before installing surface layers.

REFERENCES

- Andersson K, and Stridh G. 1992. The use of standardized questionnaires in building related illness (BRI) and sick building syndrome (SBS) surveys. In: Levy F and Maroni M, eds. NATO/CCMS pilot study on Indoor Air Quality. Oslo, National Institute of Occupational Health, 1992, 47-
- Bornehag C-G, and Stridh G. 2000. Volatile organic compounds (VOC) in the Swedish housing stock. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, Eds. O. Seppänen, O. Säteri, Vol 1, 2000, 437-442.
- Follin T. 1997. Airing out pollutions. Healthy Buildings/ IAQ '97. Global issues and regional solutions. Proceedings: residences; eds. Wood J.E., Grimsrud D.T., Boschi N. vol 3,1997, 353-356.
- Indoor Air Quality- A Public Health Issue, Eastman.com /online publications, 2001.
- Jaakkola, J J K, Verkasalo, P K, and Jaakkola, N. 2000. "Plastic interior materials and respiratory health in young children," Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, Eds. O. Seppänen, O. Säteri. Vol 1, 2000, 139-143.
- Metiäinen P, Mussalo-Rauhamaa H and Viinikka M. 2001. TXIB-päästöt terveyshaittojen indikaattorina. Sisäilmastoseminaari 2001. SIY Sisäilmätieto Oy. Vantaa, Finland 2001. (In Finnish)
- Sjöberg A. 2001. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden 2001.
- Villberg K, Saarela K, Lukkarinen T, and Mussalo-Rauhamaa H. 2000. Comparison of different chemical groups related to sick building syndrome (SBS), In: Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, eds. O. Seppänen, O. Säteri, Vol 1, 2000, 419-424.
- VTT Kemianteekniikka, 2000. Tutkimuslausekkeet n:o KET 2649/00 ja KET 2702/00. (In Finnish).
- Wieslander G, Norback D, Björnsson E, et al. 1997. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;69 (2);115-124.

TXIB-PÄÄSTÖT TERVEYSHAITTOJEN INDIKAATTORINAPertti Metiäinen¹, Helena Mussalo-Rauhamaa², Markku Viinikka¹¹ Helsingin kaupungin ympäristökeskus² Kansanterveystieteen laitos, Helsingin yliopisto/Iho- ja Allergiasairaala, sisäilmapoliklinikka**Tiivistelmä**

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ja Iho- ja Allergiasairaalan sisäilmapoliklinikan yhteistyönä toteutettiin keväällä 2000 kyselytutkimus kahdessa taloyhtiössä, joista toisessa todettiin poikkeavan korkeita huoneilman TXIB-pitoisuuksia. Vertailuyhtiöksi valittiin toinen yhtiö, jonka huoneilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat lähes tavanomaiset. Asunnoissa, joissa asukkaat raportoivat runsaasti silmä- ja nenä-ärsytys-oireita sekä pään raskautta, todettiin huoneilman TXIB-pitoisuuden olevan koholla.

Tutkimuskohteet

Kahdesta eri taloyhtiöstä monet asukkaat ottivat yhteyttä Helsingin kaupungin ympäristökeskukseen, koska he epäilivät terveyshaittojensa johtuvan asuntonsa sisäilmatekijöistä. Ympäristökeskuksen asunnontarkastuksissa havaittiin, että toisessa taloyhtiössä oli enemmän oireilevia ja sairaita henkilöitä kuin toisessa. Ensin mainittu yhtiö valittiin kohteeksi ja jälkimmäinen verrokiksi. Taulukoon 1 on kerätty muutamia perustietoja yhtiöistä.

Taulukko 1. Perustietoja tutkimuksessa olleista taloyhtiöistä.

	Kohdetaloyhtiö	Verrokkitaloyhtiö
Rakennusten valmistumisvuosi	1994	1995
Kerrosten lukumäärä	4 - 6	4 - 6
Portaiden lukumäärä	6	4
Asuntojen lukumäärä	77	59
As. lukumäärä sisäilmamittauksessa	20 (26%)	13 (22%)
Rakennustapa	Elementtirakenteinen	Elementtirakenteinen
Ilmanvaihtojärjestelmä	Kon.tulo- ja poistoiv.	Kon. poistoiv + korv.iv.
Lattianpäällyste	Muovimatto	Muovimatto

Menetelmät

Terveyshaittoja päätettiin tutkia poikkileikkaustutkimusasetelmalla. Molempien yhtiöiden asunnot on rakennettu 1990-luvun puolessa välissä; kohdeyhtiön asunnoissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ja verrokkiyhtiössä koneellinen poistoilmanvaihto sekä korvausilmaventtiilit olo- ja makuuhuoneiden ulkoseinissä. Ympäristökeskus teki useisiin näiden taloyhtiöiden asuntoihin tarkastuskäynnin ja mittasi asunnoissa sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja ammoniakkin pitoisuudet. Niissä asunnoissa, joissa epäiltiin homevaurioita, mitattiin myös homeitiöpitoisuudet sisäilmasta.

Taloyhtiöiden asukkaiden taustatiedot (taulukko 2), käsitykset ympäristöhaittatekijöistä ja oireet ja sairaudet kerättiin Örebro- ja Tuohilampikysymyssarjoista kootulla kysely-lomakkeella. Kummasakin taloyhtiössä noin 75% asukkaista vastasi kyselyyn.

Taulukko 2. Asukkaiden taustatietoja

	IKÄ Mediaani (v)	IKÄ Vaihtelu (v)	TUPA- KOIJIA	KOTIEL. perh. lkm	LUKU- MÄÄRÄ	ALLERGI- NEN NUHA	ASTMA (lkm)
KOHDE- YHTIÖ				16			
Nainen	39	18 - 72	18 (34%)		53	18 (35%)	7 (14%)
Mies	35	16 - 65	15 (47%)		31	10 (37%)	2 (6,5%)
Lapsi	7	1 - 11			31	7 (25%)	6 (20%)
VERROKKI- YHTIÖ				14			
Nainen	39	17 - 67	9 (27%)		31	10 (33%)	3 (10%)
Mies	40	24 - 73	13 (42%)		32	10 (32%)	2 (7%)
Lapsi	7,5	1 - 15			14	5 (36%)	1 (7,7%)

Tulokset

Kummassakin taloyhtiössä ilmanvaihto toimi kohtuullisen hyvin. Sisäilmatutkimusten perusteella, taulukko 3, kohdeasuntojen sisäilmassa oli erityisesti muovimaton päästöihin liittyvien yhdisteiden, kuten TXIB:n (2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli-di-isobutyaatti) pitoisuudet koholla. Kohdeyhtiön asunnoissa TXIB-pitoisuus oli verrokkiyhtiön asuntoihin verrattuna merkittävästi korkeampi ($p < 0,01$).

Taulukko 3. Kohde- ja verrokkitaloyhtiön sisäilmatekijät

Sisäilmatekijä	Kohdetaloyhtiö		Verrokkitaloyhtiö	
	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli
Iv-kerroin (1/h)	0,55	0,30 - 1,20	0,50	0,30 - 0,80
Ammoniakkipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14	< 5 - 24	18	< 5 - 32
TVOC-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	230	80 - 430	270	70 - 620
TXIB-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31	10 - 109	6	1 - 21
2-etyyli-1-heksanolipit. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	< 3	< 3 - 6	9	< 3 - 21

Kohonneita ammoniakki- tai homeitiöpitoisuuksia ei todettu. Verrokkiyhtiön asuntojen sisäilmasta mitattiin korkeampia 2-etyyli-1-heksanoli-pitoisuuksia kuin kohdeyhtiössä. Kohdeasuntojen päästöt ovat todennäköisesti vanhan kosteusvaurion seurausta: rakennus-vaiheessa muovimatto on liimattu kostean betonin ja tasoitteen päälle. Betonin alkalinen kosteus on vuosien kuluessa reagoinut tasoitteen, liiman ja muovimaton kanssa. Päästö-määriin vaikuttaa kohdeasunnoissa käytetty runsaspäästöinen mattolaatu. Lattiapinnoit-teista emittoituneet yhdisteet VTT Kemiantekniikka määrittä FLEC- eli Field and Laboratory Emission Cell -tekniikalla kummankin taloyhtiön kolmessa asunnossa, taulukko 4 [1].

Taulukko 4. FLEC-tekniikalla mitatut lattiapinnoitteiden emissio-kertoimet mitatuissa pisteissä [1]

Emissiokerroin ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)	Kohdetaloyhtiö		Verrokkitaloyhtiö	
	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli
Ammoniakki	3	3 - 4	2	-
TVOC	340	248 - 406	120	107 - 145
TXIB	140	74 - 229	5	3 - 7
2-etyyli-1-heksanoli	3	3 - 4	17	13 - 25

Olohuoneessa mitattu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) korreloi ilman ammoniakkipitoisuuteen ($r_s = 0,513$, $p < 0,01$) ja 2-etyyli-1-heksanoli-pitoisuuteen ($r_s = 0,557$, $p < 0,05$).

Oirekyselyn tulokset

Kohdeyhtiön asukkaat valittivat kärsivänsä viikottain merkitsevästi enemmän asunnon kuivasta, huonosta ilmasta ja tuloilmakanavasta mahdollisesti tulevasta pölystä kuin verrokkiyhtiön asukkaat. Naisten ja miesten käsitykset asuinympäristöstään olivat hyvin samankaltaisia, taulukko 5.

Taulukko 5. Asuinympäristö, viikottain aikuisia häiritsevien tekijöiden esiintyvyys (%)

	Kohdetaloyhtiö	Verrokkitaloyhtiö
veto	19	6,5
korkea lämpö	5,2	8,5
matala lämpö	7,7	8,1
vaihteleva lämpö	7,9	3,3
huono ilma	24,4	9,8
kuiva ilma	19*	13
epämiellyttävä haju	11	5
pintojen sähköisyys	3,9	9,8
muiden tupakointi	9,5	9,8
melu	14	11
havaittava pöly	31,6*	11,5

X^2 -testi, * $p < 0,05$

Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus oli koholla asunnoissa, joissa raportoitiin "huonoa ilman laatua" ($r_s = 0,178$, $p < 0,01$). TXIB-pitoisuus oli myös usein koholla niissä asunnoissa, joissa pölyisyyttä havaittiin joka viikko häiritsevässä määrin ($r_s = 0,491$, $p < 0,05$).

Kohdeyhtiön asukkaat raportoivat tavallista enemmän silmän- ja nenänärsytysoireita ja pään raskautta, taulukko 6. Erityisesti näistä oireista kärsivät kohdetaloyhtiön miehet.

Taulukko 6. Kahdentoista viime kuukauden aikana viikottain esiintyneiden oireiden ilmaantuvuus (%).

OIRE	KOHDETALOYHTIÖ			VERROKKITALOYHTIÖ		
	Naiset	Miehet	Lapset	Naiset	Miehet	Lapset
Väsymys	49	57	25	40	48	50
Päänsärky	23	25	20	14	7,1	7,1
Pää raskas	23	35*	21	11	3,6	-
Keskittymis- vaikeus	13	20	12	8	3,6	-
Huimaus	13	14,3	4,2	3,7	-	-
Pahoinvointi	4,7	5	8,3	3,8	-	-
Kuumeilu	-	-	-	7,1	3,6	-
Vatsakivut	6,8	9,5	3,8	14,8	3,6	7,1
Oksentelu	-	-	-	4,0	-	-
Limannousu	25	24	24	36	14	7,1
Silmäoireet	29	39*	31	23	7,1	7,1
Nenänärstyys	31	55**	39	25	14	29
Nenänvetistys	24	30	24	21	7,1	14
Kurkkuoire	22	17	28	22	14	18
Käheys	13	19	27	16	14	21
Hengenahdistus	13	9	4,0	12	3,8	7,5
Yskä	26	29	55	22	-	43
Nivelvaivat	13	20	4,3	15	3,6	-
Kasvojen punoitus	9	28*	4,0	22	3,6	14
Kasvojen kui- vuus	31	35	31	32	21	14

X^2 -testi, oirevaihtoehdot: oiretta 12 viimeksi kuluneen kuukauden aikana viikottain, harvemmin, ei juuri koskaan. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Infektiosairastavuudessa ei ollut eroja eri taloyhtiöiden asukkaiden välillä missään ikäryhmässä. Silmäoireiden ja pään raskauden yleisyys korreloituivat asunnossa oleskeluaikaan. Sisäilman TXIB-pitoisuus oli koholla niissä asunnoissa, joissa raportoitiin viikottain silmien ja nenän ärsytyksestä sekä pään raskaudesta.

Pään raskaus ($r_s = 0,178$, $p < 0,05$) ja silmäoireet ($r_s = 0,248$, $p < 0,01$) korreloivat asunnossa oleskeluaikaan. Eri rappujen asukkaat kokivat asuntonsa sisäilmatekijät samankaltaisesti. Myöskään oireissa ja infektiosairastavuudessa ei ollut eri rappujen asukkaiden välillä tilastollisesti merkitseviä eroja.

Silmän ärsytysoireiden vaara lisääntyy TXIB-pitoisuuden kasvaessa kun otetaan huomioon logistisissa regressiomallissa ikä, sukupuoli, diagnosoitu allerginen nuha ja suvun allergia-historia. TXIB-pitoisuuden ollessa yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ silmän ärsytysoireiden vaara oli 8-kertainen verrattuna alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuusaltistumiseen (OR = 8,857, 95% CI 1,530 - 51,258).

Verrokkitaloyhtiössä 66% asukkaista raportoi oireita esiintyneen ympäri vuoden. Kohdetaloyhtiössä 45% asukkaista raportoi oireita esiintyneen ympäri vuoden, 24% erityisesti talvella, 16% syksyllä ja 15% keväällä. Oireiden paheneminen kesällä oli molempien yhtiöiden asukkailla harvinaista (5%).

Tulosten tarkastelu ja yhteenveto

Kyselytutkimuksella kartoitettiin asukkaiden oirehdintaa viimeksi kuluneen vuoden aikana kahdessa taloyhtiössä, joista toisessa erityisesti sisäilman TXIB-pitoisuus oli merkittävästi koholla. Oireiden esiintymistiheyden tutkiminen pitkällä aikavälillä saattaa jonkin verran heikentää raportoinnin luotettavuutta. Toisaalta erityisen runsaasti oirehtivat henkilöt saadaan näin suuremmalla varmuudella esiin.

TXIB:n valmistajan mukaan ko yhdiste on hyvin vähän ärsyttävä aine. Toksisuuskokeissa esimerkiksi TXIB-liuoksen laimalla silmään ei saatu reaktioita. 24 tunnin ihoaltistuksessa saatiin vain lievä ärsytysreaktio [2]. Epidemiologisissa tutkimuksissa PVC-pintamateriaalien päästöt on yhdistetty keuhkoputkien lisääntyneeseen yliäärtyvyyteen [3]. TXIB-päästöjen yhteys silmä- ja nenä-ärsytykseen havaittiin myös tutkimuksessa [4]. Omassa tutkimuksessamme huoneilman TXIB-päästöjen ja keuhko-oireiden välillä ei todettu yhteyttä. Mahdollisesti TXIB on vain indikaattoriyhdiste, joka kuvaa yhtä tai useampia vielä tunnistamattomia, esimerkiksi PVC-materiaalista irtoavia terveydelle haitallisia aineita.

Lähdeluettelo

[1] VTT Kemiantekniikka, 2000, Tutkimusraportti n:o KET2702/00

[2] Indoor Air Quality- A Public Health Issue, Eastman.com /online publications.

[3] Jaakkola, J.J.K, Verkasalo, P.K. ja Jaakkola, N. 2000. "Plastic interior materials and respiratory health in young children," Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, Vol 1, pp139-143.

[4] Villberg, K., Saarela, K., Lukkarinen, T. ja Mussalo-Rauhamaa, H. 2000. "Comparison of different chemical groups related to sick building syndrome (SBS)," Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, Vol 1, pp 419-424.

MUOVIMATTOKORJAUSTEN VAIKUTUS SISÄILMAN TXIB-PITOISUUTEEN JA ASUKKAIDEN OIREILUUN

Pertti Metiäinen¹, Helena Mussalo-Rauhamaa² ja Markku Viinikka¹

¹ Helsingin kaupungin ympäristökeskus

² Etelä-Suomen lääninhallitus/Iho- ja Allergiasairaala, HYKS

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten eräällä tekniikalla toteutetut lattiankorjaukset vaikuttivat sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuteen ja erityisesti 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraatin (TXIB) pitoisuuteen asuntojen sisäilmassa. Samalla haluttiin selvittää, mitä muutoksia asukkaiden oireilussa tapahtui.

Korjausten seurauksena sisäilman TXIB-pitoisuus väheni murto-osaan korjausta edeltäneestä tasosta. Valtaosa asukkaista koki oireilun helpottuneen tai loppuneen kokonaan.

JOHDANTOA

Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu sisäilman tavanomaista korkeamman TXIB-pitoisuuden ja ärsytysoireiden, kuten silmä-, nenä- ja kurkkuoireiden välinen yhteys /1,2/.

Sisäilman pääasialliseksi TXIB-lähteeksi on todettu lattiarakenne (PVC-muovimatto) /1,2,3/.

Tutkimuskohteet

Tutkittavat asunnot (16 kpl) valittiin niistä korjatuista asunnoista, joissa Helsingin kaupungin ympäristökeskus oli kehottanut kiinteistön omistajaa korjaamaan asunnon lattiarakenteen tavanomaista korkeamman sisäilman TXIB-pitoisuuden takia. Asunnot sijaitsivat Itä-Helsingissä ja ne oli rakennettu vuosina 1990-1994. Ne olivat betonirakenteisia rivi- ja kerrostaloja, joissa lattiarakenteena oli alhaaltapäin lukien seuraava rakenne: betonilaatta, tasoite, liima ja PVC-muovimatto.

Asuntojen sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet ja tavanomaista korkeammat sisäilman TXIB-pitoisuudet mitattiin ensimmäisen kerran vuosina 1999 - 2002. Lattia- ja seinäkorjaukset tehtiin vuosina 2000 - 2002 ja korjausten jälkeiset seurantamittaukset vuosina 2001 ja 2002. Oirekyselyt ennen korjauksia tehtiin vuosina 2000-2002 ja korjausten jälkeen vuosina 2001 ja 2002.

Lattia- ja seinäkorjaukset tehtiin seuraavasti: vanha muovimatto poistettiin ja liima hiottiin pois, asunnon lämpötilaa nostettiin ja ilmanvaihtoa tehostettiin parin viikon ajaksi ennen uuden M1-luokan muovimaton liimaamista lattiaan M1-luokan liimalla.

Mittaus- ja analysointimenetelmät

Asuntojen sisäilmasta mitattiin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) keräämällä ilmanäytteet Tenax TA -adsorbenttiin. Näytteiden analysointiin käytettiin massaselektiivisellä detektorilla (MSD) varustettua kaasukromatografia (Hewlett Packard 6890). Yksittäisten yhdisteiden tunnistaminen perustui pääasiassa SIM-tekniikkaan, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän (TVOC) määrittäminen perustui puolestaan SCAN-tekniikkaan.

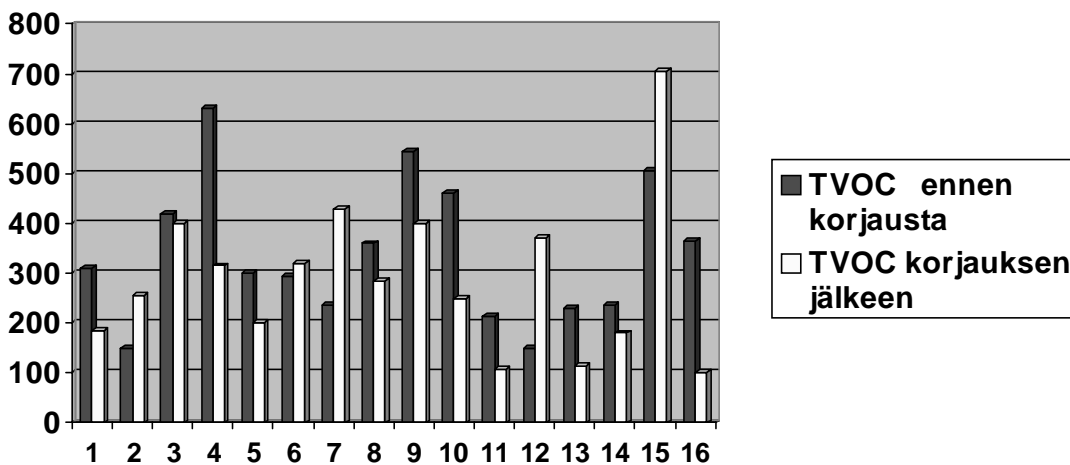
Kyselylomake

Korjausten jälkeen asukkaille jaettiin yksinkertainen kyselylomake, jossa kysyttiin havaittuja muutoksia asukkaiden terveydentilassa, sisäilman laadussa sekä tyytyväisyyttä tehtyyn lattiakorjaukseen. Vastaukset kerättiin 1 - 6 kuukauden kuluttua korjauksesta.

TULOKSET

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

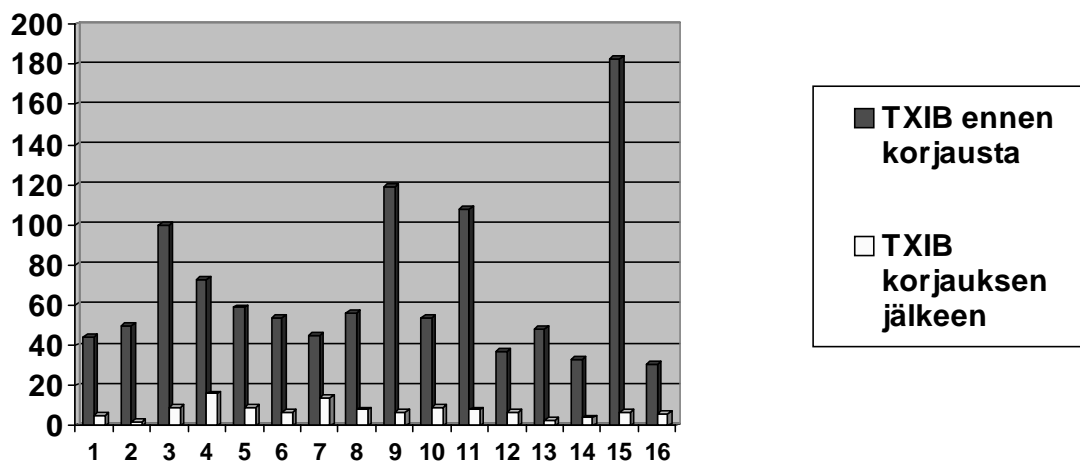
Sisäilmamittauksissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaissumma (TVOC) oli ennen korjausta 150 - 630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaanin ollessa 305 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Korjauksen jälkeen TVOC oli 100 - 705 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kuvassa 1. on esitetty kohteittain sisäilman TVOC-pitoisuus ennen ja jälkeen korjauksen.



Kuva 1. Sisäilman TVOC-pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ennen ja jälkeen lattiakorjauksen

Sisäilman TVOC-pitoisuus pieneni tai suureni lähes sattumanvaraisesti eri kohteissa korjauksen jälkeen. Tämä selittyy sillä, että sisäilman TVOC-pitoisuuteen vaikuttavat monet eri tekijät, joista merkittävin on asukkaiden toiminnan vaikutus /4/.

Ennen korjausta sisäilman TXIB-pitoisuus oli 31 - 183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä, mediaanin ollessa 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Korjauksen jälkeen TXIB-pitoisuus oli 2 - 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kuvassa 2. on esitetty kohteittain sisäilman TXIB-pitoisuus ennen ja jälkeen korjauksen.



Kuva 2. Sisäilman TXIB-pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ennen ja jälkeen lattiakorjauksen

Lattiakorjauksilla onnistuttiin vähentämään sisäilman TXIB-pitoisuuksia kaikissa kohteissa murtoosaan ennen korjausta vallinneesta tilanteesta. Vähenneminen johtui rakenteiden tuuletuksesta korjauksen aikana sekä ennen kaikkea uudesta vähäpäästöisestä M1-luokan PVC-muovimatosta.

Kyselyjen tulokset

Vastauksia saatiin kaikkiaan 35 asukkaalta, 16 miespuoliselta vastaajalta ja 19 naispuoliselta. Keski-ikä oli 19 vuotta, iän vaihdella 0 - 61 vuoden välillä.

Taulukko 1. Kyselyjen tuloksia.

	Vastaajien lukumäärä N = 35
TERVEYDENTILAN KEHITYS	
jokin oire tai sairaus	
merkittävästi parantunut	20 (57%)
lievästi parantunut	6 (17%)
sama kuin ennen	6 (17%)
lievästi heikompi	3 (9%)
merkittävästi heikompi	-
on aina ollut terve	-
ASUNNON SISÄILMAN LAATU*	
selvästi parempi	6 (26%)
lievästi parempi	12 (52%)
ei muutosta	-
hieman heikentynyt	-
selvästi heikentynyt	-
ei vastannut	5 (22%)
TYTYTYVÄINEN KORJAUKSEEN	
kyllä	23 (65%)
ei	9 (26%)
ei vastannut	3 (9%)

*Kysymys sisältyi vain vuoden 2002 lomakkeeseen, vastaajien lukumäärä N = 23 kpl Asukkaista valtaosa (74%) koki terveydentilassaan merkittävää tai lievää paranemista. 78% vuoden 2002 vastaajista koki sisäilman laadun selvästi tai lievästi parantuneen. Korjaukseen tyytyväisiä oli 65% vastaajista, tyytymättömiä oli 26%, joista suurin osa oli tyytymättömiä korjauksen laatuun tai viimeistelyyn.

Taulukko 2. Vastaajien arvio oireiden ja sairauksien kehityksestä. Vastaajat raportoivat yhden tai useampia oireita, joiden esiintyvyys oli muuttunut.

OIRE/SAIRAUS	Vastaajien lukumäärä N = 35
PARANTUNUT/LOPPUNUT KOKONAAN /VÄHENTYNYT	
ihon tila	4
kurkkukipu	5
yskä	6
päänsärky	6
nuha/nenän tukkoisuus	5
aivastelu	1
silmäoireet	1
korvatulehdukset	1
astma	1
ei raportoinut mikä oire helpottunut	10
LISÄÄNTYNYT JONKIN VERRAN	
kuume, flunssainen olo	3
yskä	1
ei parempia päiviä enää	1

Hyvin erilaisten oireiden raportoitiin merkittävästi parantuneen: yleisimmin oireista oli helpottuneet yskä, kurkkukipu, nenäoireet ja päänsärky.

LÄHDELUETTELO

1. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., TXIB-päästöt terveyshaittojen indikaattorina. Sisäilmastoseminaari 2001, Espoo 14.-15.3.2001, SIY Raportti 15; 117-121
2. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., TXIB-emission from floor structure as a marker of increased risk for some specific symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002.
3. Saarinen A. ja Viinikka, M., Lattiamateriaalipäästöjen vaikutus sisäilman laatuun. Sisäilmastoseminaari 2001, Espoo 14.-15.3.2001, SIY Raportti 15; 123-128
4. Saarinen A., Vartiala T. ja Viinikka, M., Asukkaiden vaikutus sisäilman VOC- ja NH₃ -pitoisuuksiin. Sisäilmastoseminaari 2002, Espoo 30.-31.1.2002, SIY Raportti 17; 145-150

TXIB-EMISSION FROM FLOOR STRUCTURE AND REPORTED SYMPTOMS BEFORE AND AFTER REPAIR

P. Metiäinen¹, H. Mussalo-Rauhamaa² and M. Viinikka¹

¹ City of Helsinki, Environment Centre, P.O.Box 510, FIN-00099 City of Helsinki, Finland
email: pertti.metiainen@hel.fi

² Helsinki University Central Hospital, Departments of Dermatology and Allergic Diseases, Finland

Summary: *A small scale study was conducted in order to find out how the repair of flat's floor structure would effect the emissions from the floor structure and reported symptoms of the residents. 16 flats with a PVC-carpet on concrete floor were studied. Residents of all flats reported symptoms before being aware that there was anything wrong in their flat, for example they didn't complain about any odors. Volatile organic compounds were measured by the GC/MSD system. Unusually high concentrations of 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate (TXIB) in indoor air were detected. Subsequently, all flats were repaired. The old PVC-carpets and glue were removed; room air temperature and ventilation rate were increased for a couple of weeks in order to air out organic compounds from the floor structure. A new low-emitting M1-labelled PVC-carpet was glued on the floor. From one to six months after finishing the repairs, a new questionnaire was mailed and IAQ measurements were repeated. The concentrations of TXIB decreased dramatically and 74% of the residents reported significant or slight decrease in their symptoms. Our results of this study indicate that these findings could potentially be of major importance to public health.*

Keywords: TXIB, PVC, VOC, symptoms, floor structure, repair

1 Introduction

There is an increasing body of evidence indicating that poor quality of indoor air increases the frequency of skin, mucosal and upper respiratory tract symptoms. Low rates of ventilation and air exchange seem to enhance the effects of indoor air pollutants [1]. Previous studies have found an increased prevalence of asthma among subjects with domestic exposure to newly painted surfaces [2]. Plastics (PVC) and textile wall materials also appear to have a role in the development of asthma and bronchial obstruction in young children [3].

Higher concentrations of TXIB in indoor air seem to increase the risk of symptoms like nose and eye irritation, throat symptoms and "heavy head". The number of asthma diagnosed by a doctor was high in one of the target blocks of flats. Symptoms may be a direct result of TXIB exposure. Alternatively, TXIB may act as a marker for another PVC component [4]. Correlation between TXIB-emission and eye and nose irritation has also been reported [5].

The storage capacity of concrete for decomposition products of PVC-carpet and glue is a critical factor concerning future emissions from the floor, since up to one half of the decomposition products can be transported downwards and stored in the concrete. The organic compounds stored in the concrete can, if conditions change, be emitting to the indoor air over a

long period [6]. High quantities of 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate (TXIB) were still emitted from floor structures that were over ten years old [4].

The idea for this study came from City of Helsinki Environment Centre. It was important to find out how repair of the floor structure would change emissions and symptoms reported by the residents.

2 Methods

Health effects were investigated by a cross sectional study. Indoor Air Quality (IAQ) measurements were conducted during the home calls. The inspector of City of Helsinki Environment Centre conducted an interview, an overall study based on sense perception, ventilation rate measurements and checked the moisture condition of the structures (from the surface). Later on air samples for volatile organic compounds (VOC) measurements were collected.

In this study 16 flats were selected from the City of Helsinki database. These flats had an unusually high concentration of TXIB in indoor air and the residents would stay in their apartment after repair. The source of TXIB was a low quality PVC-carpet on concrete floor. These flats located in eastern parts of Helsinki and some were in semidetached houses or in a block of flats. The main frame in these buildings was made

of reinforced concrete and the floor structure mentioned above was made of PVC-carpet, glue, screed and concrete slab. The flats were built between 1990 and 1994.

The old PVC-carpets and glue were removed; room air temperature and ventilation rate were increased for a couple of weeks in order to air out organic compounds from the floor structure. A new low-emitting M1 labelled PVC-carpet was glued on the floor with low-emitting M1 labelled glue [7]. The repair work was done in 2000-2002.

Ventilation rate was estimated by measuring air flow through outlets (TSI Veloci Calc 8388). Moisture condition of the structures were estimated from their surface (Gann Hydromette UNI 1). The VOCs were collected on Tenax TA from indoor air (from the middle of the living room and bedroom, 1.2 m above floor level). VOCs were thermally desorbed from sampling tubes into a GC/MSD system (Hewlett Packard 6898). TVOC concentration in indoor air was verified by SCAN-method. TXIB concentration in indoor air was verified by SIM-method. The first measurements were conducted in 1999-2002 and the second measurements after the repair work in 2001-2002.

The first questionnaire was mailed to all residents before repair (2000-2002). The questionnaire included questions about the residents' symptoms, medical history and living conditions. The response rate was around 100%. The questionnaire used in this study was the Örebro (MM-40-FIN) questionnaire where a few questions from the Finnish Tuohilampi questionnaire were added. The residents were asked to report symptoms occurred during the last three months and diseases occurred during the last twelve months. The parents reported on behalf of children younger than 14 years old.

The second questionnaire was mailed one to six months after repair (2001-2002). This questionnaire was very simple and it included questions about any changes in reported symptoms and IAQ (included only in 2002 questionnaire) and any possible complaints of the repair work. The parents reported on behalf of children younger than 14 years old. All residents responded to this questionnaire.

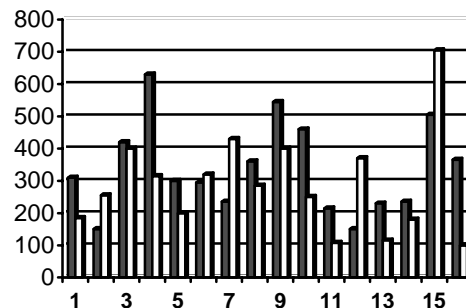
3 Results

3.1 Volatile organic compounds (VOC)

TVOC concentrations in indoor air varied before repairs between 150 - 630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the median was 305 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. After repair TVOC varied between 100 - 705 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the median was 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In figure 1 the TVOC concentrations in indoor air are presented for each flat before and after repair.

TVOC concentrations in indoor air decreased or increased very randomly after repair. This could be explained by acknowledging that there are many factors affecting TVOC concentration, like the

■ TVOC before repair □ TVOC after repair



lifestyle's of the residents.

Figure 1. TVOC-concentration in indoor air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) before and after repair

TXIB concentrations in indoor air varied before repairs between 31 - 183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2.6 - 15.4 ppb), the median was 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4.5 ppb). After repair, TXIB varied between 2 - 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.2 - 1.3 ppb). In figure 2 the TXIB concentrations in indoor air are presented for each flat before and after repair.

■ TXIB before repair □ TXIB after repair

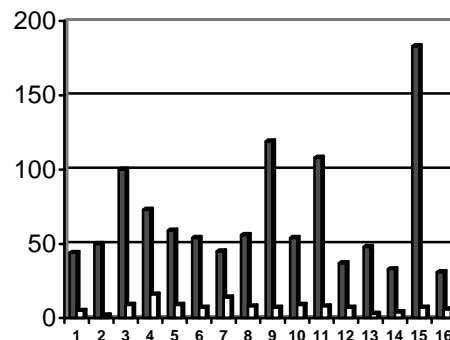


Figure 2. TXIB-concentration in indoor air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) before and after repair

This repair method had a great effect on TXIB concentration in indoor air. TXIB concentration decreased in all flats to a fraction of its previous values after repair. This was a result of airing out VOCs from the concrete slab and using a new low-emitting (labelled M1 [7]) PVC-carpet.

3.2 Results from questionnaires

There were a total of 35 residents living in the flats, 16 males and 19 females, ages varied between 0 – 61 years old and the mean being 19 years.

Table 1. Some results from the questionnaires

	Amount of answers N = 35
Development in health a symptom or illness	
improved significantly	20 (57%)
improved slightly	6 (17%)
remained the same	6 (17%)
worsened slightly	3 (9%)
worsened significantly	-
not applicable (always in good health)	-
Indoor air quality*	
improved significantly	6 (26%)
improved slightly	12 (52%)
remained the same	-
worsened slightly	-
worsened significantly	-
no response	5 (22%)
Reported quality of repair work	
good	23 (65%)
some complaints	9 (26%)
no response	3 (9%)

*This question was included only the questionnaires send in 2002, amount of answers N = 23.

A majority (74%) of the residents reported significant or slight improvement in their health Also a majority (78%) of the answers from the questionnaire of 2002 reported significant or slight improvement in indoor air quality. 65% of the residents reported that the quality of the repair work was good and 26% reported some complaints about the quality or refinements of the repair work.

Table 2. Development of reported symptoms or illnesses. Residents reported one or more symptoms.

Symptom or illness	Amount of answers N = 35
Healed/disappeared/improved	
Skin symptom	4
Throat symptom	5
Cough	6
Headache	6
Runny nose/blocked nose	5
Sneezing	1
Eye symptom	1
Ear infection	1
Asthma	1
Did not specify which symptom was improved	10
Worsened slightly	
fever	3
cough	1
depression	1

The residents reported significant improvement in many different symptoms like cough, a sore throat, nose symptoms and headache.

4 Discussion

In a recent study on odor and chemesthesis from brief exposures to TXIB it had claimed that some odor could be sensed at 1.2 ppb and chemically stimulated symptoms could occur only concentrations of 2.1 ppm or more [8]. In this study test subjects were exposed to clean TXIB vapor of different concentrations for many hours through a headspace. In our case some residents had been living in their flat for many years. We don't know how high the concentrations of TXIB in indoor air there had been in the beginning. In addition TXIB doesn't exist only as clean vapor in indoor air, but as adsorbed into dust particles or into the surfaces. Small children often crawl on the floor and they are hence exposed more than adults to TXIB and other possible compounds evaporating from a PVC-carpet. The mechanism and the harmful substance(s) triggering symptoms are still unknown, but studies show that the TXIB concentration in indoor air and symptoms have a relation [4][5]. Our suggestion is either that TXIB has a significant relation with symptoms or the other unknown substance is in the same proportion as TXIB in indoor air and TXIB would be a marker for it.

5 Conclusion

In our study we found out that it is possible to reduce significantly TXIB-concentrations in indoor air, following in a reduction in the amount of symptoms reported by the residents. The method used in the repairs included airing out concrete floor for a couple of weeks and installing a new low-emitting PVC-carpet.

Acknowledgements

Miss Tiia Metiäinen, an IB student, helped us to edit the language.

References

- [1] C-G. Bornehag and G. Stridh. Volatile organic compounds (VOC) in the Swedish housing stock. *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland, Eds. O. Seppänen, O. Säteri, Vol 1, 2000, 437-442.
- [2] G. Wieslander, D. Norbäck, E. Björnsson, et al. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;69 (2);115-124.
- [3] N. Jaakkola. Plastic interior materials and respiratory health in young children. *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland, Eds. O. Seppänen, O. Säteri. Vol 1, 2000, 139-143.
- [4] P. Metiäinen, H. Mussalo-Rauhamaa and M. Viinikka. TXIB-emission from floor structure as a marker of increased risk for some specific symptoms, *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002*. Santa Cruz 2002, 108-113.
- [5] K. Villberg, K. Saarela, H. Mussalo-Rauhamaa, et al. Correlation between VOCs emitted from building materials and diagnosed building related symptoms, *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002*. Santa Cruz 2002, 207-212.
- [6] A. Sjöberg. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden 2001.
- [7] J. Säteri. Finnish classification of Indoor Climate 2000: Revised target values, *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002*. Santa Cruz 2002, 643-648.
- [8] W. S. Cain, R. A. de Wijk, A. A. Jalowayski, G. Pilla Caminha and R. Schmidt. Odor and chemesthesis from brief exposures to TXIB. *Indoor Air* 15 (2005) 445-457.

2-ETHYL-1-HEXANOL EMISSION FROM FLOOR STRUCTURE AND HEALTH SYMPTOMS

P Metiäinen^{1*}, H Mussalo-Rauhamaa² and M Viinikka¹

¹ City of Helsinki, Environment Centre, Finland

² Helsinki University Central Hospital, Departments of Dermatology and Allergic Diseases, Finland

ABSTRACT

A small scale study was conducted in order to find out whether or not there are any connections between 2-ethyl-1-hexanol emissions from floor structure and symptoms of the residents. Two blocks of flats (target and reference) with PVC floor covering on concrete floor were studied. In all flats residents were asked to fill out a modified questionnaire based on Örebro and Tuohilampi questionnaires. Volatile organic compounds (VOC) were measured by the GC/MSD system. In some of the target flats there had been moisture-damage in the concrete floor. The damage caused quite high concentrations of 2-ethyl-1-hexanol in indoor air, which seem to have increased the risk of symptoms such as nose and eye irritation, throat symptoms, "heavy head" and dry facial skin. However, no dose-response correlation between 2-ethyl-1-hexanol concentration level and symptoms was found. 2-ethyl-1-hexanol seems to be only one of the irritants of VOC compounds in indoor air. Dampness in concrete floor seems to be the trigger for adverse health effects. Results of this survey indicates that these findings are potentially of major public health importance.

INDEX TERMS

2-ethyl-1-hexanol emission, moisture, plasticizer, health effects, floor structure

INTRODUCTION

The idea for this study came from complaints of some residents living in the same block of flats. They were reporting building related symptoms and there was dampness in concrete floor structures. First four apartments were studied carefully and the only thing found was 2-ethyl-1-hexanol concentration level, which was considered quite high. There were yellow, red and purple stains on PVC floor coverings.

City of Helsinki Environment Centre decided to study all of the apartments in this flat (target block) and find a suitable reference block with similar conditions and without any complaints from the residents. We found a reference block that was built in the same year (2000) in the same area of the Helsinki City. It had also exactly the same kind (same manufacturer and type) of low emitting, M1 label according Finnish classification system (Säteri 2002), PVC floor covering.

In both blocks there was mechanical ventilation system for the outlet. The inlet is through fresh air openings on the exterior wall of living room and bedrooms. Fresh air openings are not preheated and have a filter for only coarse particles.

There is an increasing body of evidence that poor indoor air quality increases the frequency of skin, mucosal and upper respiratory tract symptoms. Low rates of ventilation and air exchange seem to enhance the effects of indoor air pollutants (Bornehag and Stridh 2000). Previous studies have found an increased prevalence of asthma among subjects with domestic exposure to newly painted

surfaces (Wieslander et al. 1997). Plastics (PVC) and textile wall materials also appear to have a role in the development of asthma and bronchial obstruction in young children (Jaakkola et al. 2000). Asthma symptoms may be related to increased humidity in concrete floor construction and emission of 2-ethyl-1-hexanol (Norbäck et al. 2000).

2-ethyl-1-hexanol is an alcohol, which is a common degradation product of phthalate-based plasticizers in PVC floor covers and the glue in alkaline media. It has a distinct, bitter-sweet odour and is a suspect cause of many indoor air problems (Saarela et al. 2000).

Nose, throat and also mucous membrane symptoms were connected with 2-ethyl-1-hexanol emissions (Villberg et al. 2002). Emissions related to the degradation of di-(2-ethylhexyl) phthalate DEHP due to dampness in the floor, indicated by increased 2-ethyl-1-hexanol in the air, may affect the mucous membranes in the eyes and nose, decrease tear film stability and increase the occurrence of ocular and nasal symptoms (Wieslander et al. 1999). Throat irritation and cough were suggested to be the result from the irritating nature of 2-ethyl-1-hexanol (Kamijima et al. 2002).

Destruction products from carpet glue on damp concrete, not 2-ethyl-1-hexanol, was the main cause for SBS symptoms (Follin 1997).

The storage capacity of concrete for decomposition products of PVC-carpet and glue is a critical factor for future emissions from the floor, since up to one half of the decomposition products can be transported downwards and stored in the concrete. The organic compounds stored in the concrete can, if conditions change, be emitted to the indoor air over a long period (Sjöberg 2001). High quantities of 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate (TXIB) were still emitting from floor structures that were over ten years old (Metiäinen et al. 2002). It is possible to reduce 2-ethyl-1-hexanol emissions and other destruction products by airing out concrete floor structures (Follin 1997).

METHODS

Health effects were investigated by a cross sectional study. Indoor Air Quality (IAQ) measurements were conducted during the home calls. The inspector of City of Helsinki Environment Centre performed an interview, an overall study by sense perception, ventilation rate measurements and checked moisture condition of the structures (on the surface). Later on air samples for volatile organic compounds (VOC) measurements were collected. In the target block air samples for ammonia measurements and bioaerosol samples were collected by Andersen sampler in four apartments. Background facts of the flats are given in Table 1.

Table 1. Investigated blocks.

	Target block	Reference block
Year of completion	2000	2000
Number of apartments	19	20
Indoor air measurements	19 (100%)	4 (20%)
Frame structure	Concrete elements	Concrete elements
Ventilation system	Mech. outlet and fresh air openings on the wall	Mech. outlet and fresh air openings on the wall
Floor covering	PVC-plastic cover	PVC-plastic cover

Ventilation rate was estimated by measuring the air flow through outlets (TSI Veloci Calc 8388). Moisture condition of the structures were estimated from the surface (Gann Hydromette UNI 1). The owner of target block measured the moisture content of concrete slab from drilled holes (Vaisala HMI41/HMP42). The VOCs were collected on Tenax TA from indoor air (in the middle of living room and bedroom, 1.2 m above floor level). VOCs were thermally desorbed from sampling tubes into a GC/MSD system (Hewlett Packard 6898). 2-ethyl-1-hexanol concentration levels were verified by SIM-method.

A questionnaire was mailed to all residents. The questionnaire inquired about the residents' symptoms, medical history and living conditions. The response rate was around 89% from the target block and 74% from the reference block. The questionnaire used in this study was the Örebro (MM-40-FIN) questionnaire where a few questions from Finnish Tuohilampi questionnaire were added. There are several versions of Örebro questionnaire (e.g. working places, schools and day-care centres). The version used in this study contains questions about personal data, previous illnesses, physical and psychological environmental factors in home and experienced symptoms. Both questions about indoor climate factors and symptoms have three alternative answers: "Yes, often (every week)", "Yes, sometimes" and "No, never". The residents were asked to report symptoms during last three months (autumn 2002) and diseases during last twelve months. The questions' validity and test-retest reliability have been tested and found to be acceptable (Andersson 1992). Background information of the residents who responded the questionnaire is found in Table 2.

All statistical analyses were made by using SPSS statistical package. The chi-square test and logistic regression methods were used in the analysis of the differences in subjective environmental factors and symptoms between the groups. The Spearman test was used for the correlation analysis.

Table 2. Information on the residents.

	AGE (years) Median, Range		Smokers	Pets in families	Number of persons	Allergic Rhinitis	Asthma
TARGET				5	n = 41		
Women	32	20-42	4 (29%)		14	3 (21%)	1 (7.1%)
Men	35	25-45	4 (44%)		9	-	-
Adults	35	20-45			23		
Children < 16 years	3.5	0 – 16	-		18	4 (25%)	2 (13%)
REFERENCE				5	n = 25		
Women	43	17 – 75	3 (21%)		14	4 (29%)	3 (21%)
Men	43	30 – 58	3 (50%)		6	-	-
Adults	43	17-75			20		
Children < 16 years	7	2 – 16	1 (20%)		5	1 (20%)	-

RESULTS

In the target block there were some indications, that PVC floor covers were glued on wet concrete floors structures. High RH level were found (98%) in the concrete and water was found inside the tubes of precast hollow core floor slabs. There were colourful stains on the PVC floor coverings in about half of the apartments. A careful inspection of four apartments did not reveal a sign of mould growth or elevated levels of ammonia even though there were dampness in floor structures. In the reference block there were no signs of dampness in floor structures. In both apartment buildings, ventilation rate was considered as adequate (See Table 3). There was significant difference in the TVOC and 2-ethyl-1-hexanol concentrations. In the target block TVOC concentrations and 2-ethyl-1-hexanol concentrations were two times and three times, respectively, higher than those concentrations found in the reference block. Some residents in the target block were suffering from SBS-symptoms, even though 2-ethyl-1-hexanol concentrations were less than in the reference block.

Table 3. Indoor Air Quality measurements

Measurement	Target block		Reference block	
	Mean/Median	Range	Mean/Median	Range
Ventilation rate (1/h)	0.55/ 0.50	0.30 – 0.90	0.45/ 0.40	0.40 – 0.60
TVOC concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
living room	484/ 470	250-870	262/ 210	170-400
bedroom	574/ 485	190-1750	228/ 240	160-280
2-ethyl-1-hexanol concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
living room	21/ 19	9 - 45	7/ 7	< 3 - 13
bedroom	22/ 18	8 - 53	6/ 6	< 3 - 12

Samples taken from PVC floor covering indicated that the 2-ethyl-1-hexanol emissions came from the PVC floor coverings used in these apartments (purge and trap method). Also a new PVC floor covering was emitting 2-ethyl-1-hexanol. Those apartments having dampness and/or stains were having significantly higher 2-ethyl-1-hexanol concentration (Mann-Whitney-test, $p < 0.05$).

The residents from the target block were suffering significantly more from nose, eye and throat symptoms compared to the residents of the reference block, Table 4.

Table 4. Symptoms which had occurred every week (%)

Symptom	Target block				Reference block			
	Women	Men	Adults	Children ¹	Women	Men	Adults	Children ¹
Fatigue	71	44	61	38	43	17	35	50
Headache	57	11	39	13	7	33	15	-
Heavy head	50	67	57	13	21	17	20	-
Mucus rising	29	11	22	25	14	-	10	-
Eye irritation	71	44	61**	38	14	-	10	-
Nose irritation	71	67	70**	44	36	17	30	-
Runny nose	43	33	39	31	14	17	15	-
Throat symptoms	64	11	44 ²	38	14	-	10	-
Hoarse throat	50	11	35	31	14	-	10	-
Shortness of breath	14	-	8.7	6	7	-	5	-
Cough	21	-	13	31	7	-	5	-
Flushed facial skin	36	11	26	25	7	-	5	25
Dry facial skin	64	33	52	50	36	-	25	-

χ^2 -test, alternatives: symptom during last 3 months, every week, more seldom, almost never.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, ¹ under 16 years of age, ² $p = 0.08$

The results did not reveal a dose-response relationship between 2-ethyl-1-hexanol concentration level and symptoms. There was no significant difference between the residents suffering from infectious diseases in the target and the reference blocks. The residents from the target block complained more (bothering every week) during the previous months prior to the questionnaire about draught, low indoor temperature, dry air and unpleasant odour than the residents from the reference block. In most cases there was no significant difference between the women's and the men's opinion about their perceived living environment.

Dampness in the concrete floor seems to be the major factor and 2-ethyl-1-hexanol is merely a marker for decomposing products.

Subsequently, ten flats from the target block were repaired. The old PVC-carpet and glue were removed; concrete floor slabs were dried out; room air temperature and ventilation rate were increased for couple of weeks in order to air out organic compounds from the floor structure. The moisture content of the concrete floor slabs were measured from drilled holes before a new low-

emitting M1 labelled PVC-carpet was glued on the floor with low-emitting M1 labelled glue. Three months after repairs a new questionnaire and IAQ measurements will be mailed and repeated. Results of these repairs were not available by the deadline of this article.

DISCUSSION

An Indoor Air Questionnaire was used to study symptoms of inhabitants in two buildings during three months. Irritation symptoms such as nose and eye symptoms have in many studies been connected to 2-ethyl-1-hexanol emissions. This study confirms those results.

Quite high concentrations of 2-ethyl-1-hexanol in the indoor air of the target block were found. At the construction phase it was quite certain that PVC floor cover was glued on wet concrete and screed surface. Then the alkaline water in concrete might have reacted with screed, glue and PVC floor cover.

(DEHP) is widely used as a plasticizer in many PVC-products all over the world. DEHP is sensitive to alkaline hydrolysis and decomposes to 2-ethyl-1-hexanol and mono-(2-ethylhexyl) phthalate (MEHP). Both DEHP and MEHP are of very low volatility. They tend to condense on surfaces and they have a high affinity for particles, so they could be mediated by respirable dust (Wieslander 1999).

CONCLUSION

Both PVC floor covering and glue are sensitive to alkaline hydrolysis. Decomposition products have potential to provoke adverse health effects in the residents of moisture-damaged buildings. 2-ethyl-1-hexanol is a good marker for decomposition activity and its concentration is easy to measure from indoor air.

We have several questions to solve, for example what concentration of 2-ethyl-1-hexanol is to be considered normal from PVC floor covering and glue? How can we verify old moisture-damage, which has dried out during the years? Decomposition products and their health effects should be studied more thoroughly.

Pollution from floor structures can be prevented by using high quality, low emitting products and by controlling moisture of the concrete floor before installing surface layers.

ACKNOWLEDGEMENTS

The chemical analyses were made by Mr Timo Lukkarinen from City of Helsinki Environment Centre. The Foundation of Kerttu and Jukka Vuorinen was sponsoring my travelling costs to the Conference.

REFERENCES

- Andersson K, and Stridh G. 1992. The use of standardized questionnaires in building related illness (BRI) and sick building syndrome (SBS) surveys. In: Levy F and Maroni M, eds. NATO/CCMS pilot study on Indoor Air Quality. Oslo, National Institute of Occupational Health, 1992, 47-
- Bornehag C-G, and Stridh G. 2000. Volatile organic compounds (VOC) in the Swedish housing stock. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, Eds. O. Seppänen, O. Säteri, Vol 1, 2000, 437-442.
- Follin T. 1997. Airing out pollutions. Healthy Buildings/ IAQ '97. Global issues and regional solutions. Proceedings: eds. Wood J.E., Grimsrud D.T., Boschi N. vol 3, 1997, 353- 356.

- Jaakkola, J J K, Verkasalo, P K, and Jaakkola, N. 2000. "Plastic interior materials and respiratory health in young children," Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, Eds. O. Seppänen, O. Säteri. Vol 1, 2000, 139-143.
- Kamijima, M., Sakai, K., Shibata, E. et al., 2-ethyl-1-hexanol in Indoor Air as a Possible Cause of Sick Building Symptoms. J Occup Health, Vol. 44, 2002, 186-191.
- Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M., TXIB-emission from floor structure as a marker of increased risk for some specific symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002, 108-113.
- Norbäck D., Wieslander G., Nordström K. et al., Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1hexanol in indoor air. Int J Tuberc Lung Dis 4 (11) 2000, 1016-1025.
- Saarela K., Villberg K., Lukkarinen T., Emissions from materials and structures. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, eds. O. Seppänen, Säteri, Vol 4, 2000, 35-48.
- Sjöberg A. 2001. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden 2001.
- Säteri J., Finnish classification of Indoor Climate 2000: Revised target values, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002, 643-648
- Villberg K, Saarela K, Lukkarinen T, and Mussalo-Rauhamaa H. 2000. Comparison of different chemical groups related to sick building syndrome (SBS), In: Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, eds. O. Seppänen, Säteri, Vol 1, 2000, 419-424.
- Villberg K, Saarela K, Mussalo-Rauhamaa H, et al. 2000. Correlation between VOCs emitted from building materials and diagnosed building related symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002, 207-212.
- Wieslander G, Norbäck D, Björnsson E, et al. 1997. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. Int Arch Occup Environ Health 1997;69 (2);115-124.
- Wieslander G, Norbäck D, Nordström K, et al. 1999. Nasal and ocular symptoms, tear film stability and biomarkers in nasal lavage, in relation to building-dampness and building design in hospitals. Int Arch Occup Environ Health 1999. 72 ,451-461.

LATTIARAKENTEEN 2-ETYyli-1-HEKSANOLIPÄÄSTÖT, KORJAUSTOIMENPITEET JA NIIDEN VAIKUTUS ASUKKAIDEN OIREILUUN

Pertti Metiäinen¹, Helena Mussalo-Rauhamaa^{2 3} ja Markku Viinikka¹

¹ Helsingin kaupungin ympäristökeskus

² Iho- ja Allergiasairaala, HYKS

³ Etelä-Suomen lääninhallitus

TIIVISTELMÄ

Kahdessa uudessa kerrostaloyhtiössä tutkittiin sisäilman laatua ja asukkaiden oireilua. Kohteeksi valittiin yhtiö, josta oli tullut valituksia ja jossa todettiin kohonneita 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksia asuntojen sisäilmassa. Ne johtuivat todennäköisesti siitä, että rakennusvaiheessa muovimatot oli liimattu kostealle betonilaatalle. Oirekyselyn tuloksissa nähtiin tilastollisesti merkittävät erot aikuisten nenä-, silmä- ja kurkkuoireilussa kohde- ja verrokkiyhtiöiden asukkaiden välillä. Kuitenkaan 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden ja oireilun välillä ei havaittu annosvastesuhdetta. Kohdeyhtiön 19 asunnosta korjattiin 10 asuntoa. Sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet alenivat noin puoleen 3- 6 kuukauden päästä korjauksesta. Asukkaiden terveydentilassa ei tapahtunut tässä ajassa suuria muutoksia, mutta yli puolet heistä koki sisäilman laadun parantuneen selvästi/hieman.

JOHDANTOA

Asunnoissa, joissa käytetään lattian pintamateriaalina muovimattoja, todetaan usein 2-etyyli-1-heksanoli nimistä haihtuvaa orgaanista yhdistettä. Yhdiste kuuluu alkoholeihin ja sillä on happamainen haju. Useissa koti- ja ulkomaisissa tutkimuksissa on todettu sisäilman tavanomaista korkeamman 2-etyyli-1-heksanoli-pitoisuuden ja ärsytysoireiden, kuten silmä-, nenä- ja kurkkuoireiden välinen yhteys /1,2,3,4/. 2-etyyli-1-heksanolia vapautuu mm. liimassa ja muovimatossa olevien ftalaattien hajoamisesta alkalisessa ympäristössä /3,5/. 2-etyyli-1-heksanolia pidetään hyvänä hajoamisreaktion indikaattorina, mutta myös muut ftalaattien hajoamistuotteet saattavat olla ärsyttäviä ja terveystahaitta aiheuttavia /1,6/.

TUTKIMUSKOhteet

Erään vuonna 2000 valmistuneen kerrostalon asukkaat epäilivät asunnoissaan olevan terveyshaittoja ja pyysivät Helsingin kaupungin ympäristökeskusta tutkimaan asuntonsa. Asuntojen sisäilmasta tutkittiin home- ja sädesieni-itiö-, ammoniakki- ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet. Ainoa tavanomaisesta poikkeava tulos oli kohonneet 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet sisäilmassa. Aiemmissä tutkimuksissa oli todettu, että osassa lattiarakenteista oli rakennusaikaista kosteutta ja muovimatoissa väriläikkää.

Verrokkikohteeksi valittiin samalta alueelta v 2000 valmistunut kerrostaloyhtiö, jossa oli käytetty samaa vähäpäästöistä M1 luokiteltua muovimattoa ja josta ei ollut valitettu ympäristökeskukselle tai yhtiön isännöitsijälle. Taulukoon 1 on kerätty muutamia perustietoja yhtiöistä.

Taulukko 1. Perustietoja tutkimuksessa olleista taloyhtiöistä.

	Kohdetaloyhtiö	Verrokkitaloyhtiö
Rakennusten valmistumisvuosi	2000	2000
Kerrosten lukumäärä	3	4
Portaiden lukumäärä	2	1
Asuntojen lukumäärä	19	20
As. lukumäärä sisäilmamittauksessa	19 (100%)	4 (25%)
Rakennustapa	Elementtirakenteinen	Elementtirakenteinen
Ilmanvaihtojärjestelmä	Kon. poistoiv. + korv.iv	Kon. poistoiv + korv.iv.
Lattianpäällyste	Muovimatto	Muovimatto

MENETELMÄT

Terveyshaittoja päätettiin tutkia poikkileikkaustutkimusasetelmalla. Molempien yhtiöiden asunnot on rakennettu vuonna 2000; asunnoissa oli koneellinen poistoilmanvaihto sekä korvausilmaventtiilit olo- ja makuuhuoneiden ulkoseinissä. Ympäristökeskus tarkasti kaikki kohdetaloyhtiön asunnot ja neljä verrokkiyhtiön asuntoa ja mittasi näissä asunnoissa sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet syksyllä 2002. Neljässä kohdeasunnossa mitattiin myös sisäilman ammoniakki- ja homeitiöpitoisuudet.

Taloyhtiöiden asukkaiden taustatiedot (taulukko 2), käsitykset ympäristöhaittatekijöistä ja oireet ja sairaudet kerättiin Örebro- ja Tuohilampikysymyssarjoista kootulla kysely-lomakkeella. Kohdetaloyhtiössä noin 89% asukkaista ja verrokkiyhtiössä noin 74% vastasi kyselyyn.

Taulukko 2. Asukkaiden taustatietoja

	IKÄ Medi- aani (v)	IKÄ Vaihtelu (v)	TUPA- KOIJI A	KOTIEL. perh. lkm	LUKU- MÄÄRÄ	ALLERGI- NEN NUHA	ASTMA (lkm)
KOHDE- YHTIÖ				5	N = 41		
Nainen	32	20 - 42	4 (29%)		14	3 (21%)	1 (7,1%)
Mies	35	25 - 45	4 (44%)		9	-	-
Lapsi	3,5	0 - 16			23	4 (25%)	2 (13%)
VERROKKI- YHTIÖ				5	N = 25		
Nainen	43	17 - 75	3 (21%)		14	4 (29%)	3 (21%)
Mies	43	30 - 58	3 (50%)		6	-	-
Lapsi	7	2 - 16	1 (20%)		5	1 (20%)	-

TULOKSET

Kummassakin taloyhtiössä ilmanvaihto toimi tyydyttävästi. Kohdetaloyhtiön asuntojen sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet olivat huomattavasti tavanomaista korkeammat, taulukko 3.

Taulukko 3. Kohde- ja verrokkitaloyhtiön sisäilmatekijät

Sisäilmatekijä	Kohdetaloyhtiö		Verrokkitaloyhtiö	
	Mediaani	Vaihteluväli	Mediaani	Vaihteluväli
Ilmanvaihto kerroin (1/h)	0,50	0,30 - 0,90	0,40	0,40 - 0,60
TVOC-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
Olohuone	470	250 - 870	210	170 - 400
Makuuhuone	485	190 - 1750	240	160 - 280
2-etyyli-1-heksanolipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
Olohuone	19	9 - 45	7	< 3 - 13
Makuuhuone	18	8 - 53	6	< 3 - 12

Kohonneet 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet korreloivat hyvin sekä todetun lattian rakennekosteuden että muovimatossa olleiden väriläiskien kanssa (Mann-Whitney testi, $p < 0,05$).

Kohonneita ammoniakki- tai homeitiöpitoisuuksia ei todettu.

Oirekyselyn tulokset

Kohdeyhtiön asukkaat valittivat kärsivänsä viikottain merkitsevästi enemmän vedosta, matalista lämpötiloista, kuivasta sisäilmasta ja epämiellyttävistä hajuista kuin verrokkitaloyhtiön asukkaat, taulukko 4.

Taulukko 4. Asuinympäristö, viikottain aikuisia häiritsevien tekijöiden esiintyvyys (%)

	Kohdetaloyhtiö	Verrokkitaloyhtiö
veto	30**	15
korkea lämpö	26	30
matala lämpö	61**	5,0
huono ilma	52	10
kuiva ilma	65**	10
epämiellyttävä haju	39**	5,0
pintojen sähköisyys	13	-
muiden tupakointi	8,7	10
melu	13	10
havaittava pöly	30	10

X^2 -testi, ** $p < 0,01$

Oirekyselyn vastauksissa nähtiin tilastollisesti merkittävät erot aikuisten silmä-, nenä- ja kurkkui-reilussa kohde- ja verrokkitaloyhtiöiden asukkaiden välillä, taulukko 5.

Taulukko 5. Kolmen viime kuukauden aikana viikottain esiintyneet oireet (%).

OIRE	KOHDETALOYHTIÖ				VERROKKITALOYHTIÖ			
	Naiset	Miehet	Aikuiset	Lapset ¹	Naiset	Miehet	Aikuiset	Lapset ¹
Väsymys	71	44	61	38	43	17	35	50
Päänsärky	57	11	39	13	7	33	15	-
Pää raskas	50	67	57	13	21	17	20	-
Limannousu	29	11	22	25	14	-	10	-
Silmäoireet	71	44	61**	38	14	-	10	-
Nenänäräytys	71	67	70**	44	36	17	30	-
Nenänvetistys	43	33	39	31	14	17	15	-
Kurkkuoire	64	11	44 ²	38	14	-	10	-
Käheys	50	11	35	31	14	-	10	-
Yskä	21	-	13	31	7	-	5	-
Kasvojen punoitus	36	11	26	25	7	-	5	25
Kasvojen kii- vuus	64	33	52	50	36	-	25	-

X² -testi, oirevaihtoehdot: oiretta 3 viimeksi kuluneen kuukauden aikana viikottain, harvemmin, ei juuri koskaan. * p<0.05, ** p<0,01, ¹ alle 16 vuotiaat, ² p = 0,08

Asukkaiden oireilun ja sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuden välillä ei havaittu annosvastesuhdetta.

Infektiosairastavuudessa (flunssat, kuumeiset flunssat, angiinat, poskiontelo-, korva- ja keuhkoputkentulehdukset) ei ollut eroja eri taloyhtiöiden asukkaiden välillä missään ikäryhmässä.

KORJAUSKOHTEET

Korjauskohteiksi valittiin kohdetaloyhtiön ne asunnot, joissa sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuus ylitti 25 µg/m³. Kohdeyhtiön 19 asunnosta korjattiin 10 asuntoa. Lattikorjaukset tehtiin seuraavasti: vanha muovimatto poistettiin ja liima hiottiin pois, lattian mahdollinen rakennekosteus kuivatettiin, asunnon lämpötilaa nostettiin ja ilmanvaihtoa tehostettiin kolmen viikon ajaksi ennen uuden M1-luokan muovimaton liimaamista lattiaan M1-luokan liimalla. VOC-pitoisuudet mitattiin 3 - 6 kuukauden kuluttua korjauksesta.

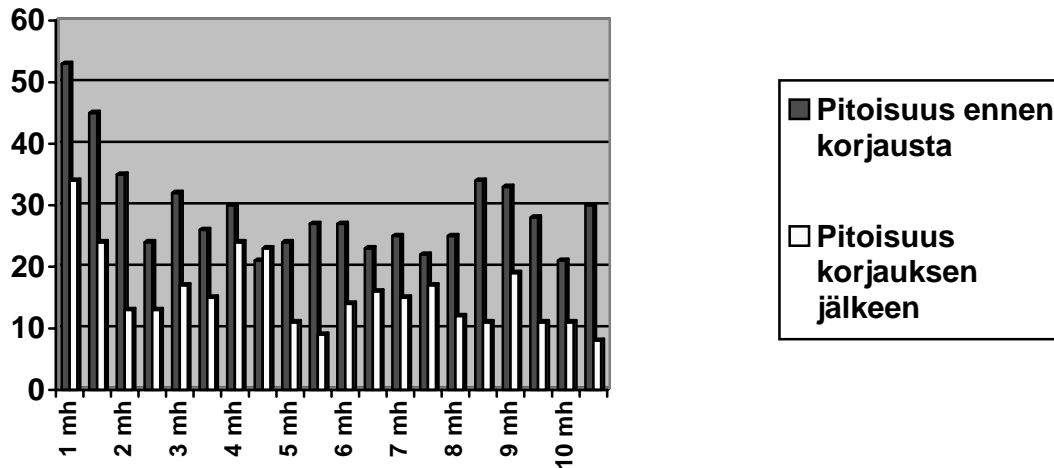
Kyselylomake

Korjausten jälkeen asukkaille jaettiin yksinkertainen kyselylomake, jossa kysyttiin havaittuja muutoksia asukkaiden terveydentilassa, sisäilman laadussa sekä tyytyväisyyttä tehtyyn lattikorjaukseen. Vastaukset kerättiin sisäilmamittausten yhteydessä.

Korjausten jälkeiset tulokset

2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet

Kuvassa 1. on esitetty kohteittain sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuus ennen ja jälkeen korjauksen sekä olo- että makuuhuoneessa.



Kuva 2. Sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ennen ja jälkeen lattiakorjauksen

Lattiakorjauksilla onnistuttiin vähentämään sisäilman 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksia noin puoleen ennen korjausta vallinneesta tilanteesta.

Kyselyjen tulokset

Korjausten jälkeisiin kyselyihin vastasi 41 henkilöä. Terveystilassa ei raportoitu suuria muutoksia. Asunnon sisäilman laadun koettiin kuitenkin parantuneen selvästi/hieman yli puolessa korjatuista asunnoista.

TULOSTEN TARKASTELU JA YHTEENVETO

Sekä kohde- että verrokkiyhtiössä oli käytetty M1 luokiteltua lattialiimaa ja muovimattoa. Kohdetaloyhtiön asuntojen sisäilmassa todettiin tavanomaista korkeampia 2-etyyli-1-heksanolipitoisuuksia, verrokkikohteen asuntojen sisäilmassa pitoisuudet olivat tavanomaisella tasolla. Kohdeyhtiön asukkailla oli merkittävästi enemmän nenä-, silmä- ja kurkkuoireita verrokkiyhtiön asukkaisiin verrattuna. Kohdeyhtiön lattioissa oli todettu alkalista rakennekosteutta, joka oli todennäköisesti reagoinut muovimaton ja liiman kanssa. Reaktioista vapautui sisäilmaan 2-etyyli-1-heksanolia ja muita tunnistamattomia reaktiotuotteita. Nämä tunnistamattomat reaktiotuotteet saattavat muodostaa merkittävän osan päästöjen ärsyttävyydestä ja voivat selittää sen, ettei oireilulle ja 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudelle löytynyt annosvastetta. Nämä tulokset ovat hyvin saman suuntaisia kuin muissa koti- ja ulkomaisissa tutkimuksissa saadut tulokset /1,2,3,4,5,6/.

M1 luokitellut muovimatot ja liimat eivät takaa hyvää sisäilman laatua, jos betonialusta on pinnoitettaessa kostea. Kuivalle alustalle (verrokkiyhtiö) liimattu M1 luokiteltu muovimatto ei aiheuttanut tavanomaisesta poikkeavia päästöjä eikä asukkaille oireita.

Jos lattia on pinnoitettu kosteana, voidaan lattiakorjauksilla alentaa lattiarakenteen 2-etyyli-1-heksanoli- ja muiden reaktiotuotteiden päästöjä sisäilmaan merkittävästi. Pitoisuuksien lasku ja parantaminen ovat olleet selvästi hitaampia kuin vastaavissa lattiakorjauksissa, joissa indikaattorina oli ollut tavanomaista korkeampi sisäilman 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraatti (TXIB®) pitoisuus /7/.

Lattiarakenteen päästöongelmia voidaan ennaltaehkäistä varmistamalla betonilattian kuivuus ennen vähäpäästöisen M1 luokitellun muovimaton liimaamista M1 luokitellulla liimalla.

LÄHDELUETTELO

1. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. and Viinikka, M., 2-ethanol-1-hexanol emission from floor structure and health symptoms, Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Eds. Tham, Sekhar and Cheong, Vol 3, 2003, 36-41.
2. Villberg K, Saarela K, Mussalo-Rauhamaa H, et al. 2000. Correlation between VOCs emitted from building materials and diagnosed building related symptoms, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate -Indoor Air 2002. Santa Cruz 2002, 207-212.
3. Wieslander G, Norbäck D, Nordström K, et al. 1999. Nasal and ocular symptoms, tear film stability and biomarkers in nasal lavage, in relation to building-dampness and building design in hospitals. Int Arch Occup Environ Health 1999. 72 ,451-461.
4. Kamijima, M., Sakai, K., Shibata, E. et al., 2-ethyl-1-hexanol in Indoor Air as a Possible Cause of Sick Building Symptoms. J Occup Health, Vol. 44, 2002, 186-191.
5. Saarela K., Villberg K., Lukkarinen T., Emissions from materials and structures. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, eds. O. Seppänen, Säteri, Vol 4, 2000, 35-48.
6. Follin T. 1997. Airing out pollutions. Healthy Buildings/ IAQ '97. Global issues and regional solutions. Proceedings: eds. Wood J.E., Grimsrud D.T., Boschi N. vol 3,1997, 353-356.
7. Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. ja Viinikka, M., Muovimattokorjausten vaikutus sisäilman TXIB-pitoisuuteen ja asukkaiden oireiluun. Sisäilmastoseminaari 2003, Espoo 19.-20.3.2003, SIY Raportti 19; 173-176

KUVAILULEHTI / PRESENTATIONSBLAD / DOCUMENTATION PAGE

Julkaisija Utgivare Publisher	Helsingin kaupungin ympäristökeskus Helsingfors stads miljöcentral City of Helsinki Environment Centre	Julkaisuaika/Utgivningstid/ Publication time Syyskuu 2009 / September 2009
Tekijä(t)/Författare/Author(s)	Pertti Metiäinen	
Julkaisun nimi Publikationens titel Title of publication	Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijana Frågeformulär om symptom som lösning på olägenheter i inom-husluften i bostäder med betonggolv beklädda med PVC-plastmatta Questionnaires about symptoms as a solution of harms in indoor air in flats from concrete floor with PVC-covering	
Sarja Serie Series	Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja Helsingfors stads miljöcentralens publikationer Publications by City of Helsinki Environment Centre	Numero/Nummer/No. 9/2009
ISSN 1235-9718	ISBN 978-952-223-488-9	ISBN (PDF) 978-952-223-489-6
Kieli Språk Language	Koko teos / Hela verket / The work in full Yhteenveto/Sammandrag/Summary Taulukot/Tabeller/Tables Kuvatekstit/Bildtexter/Captions	fin fin, sve, eng fin fin
Asiasanat Nyckelord Keywords	Oirekysely, materiaalipäästöt, betonilattiat, VOC, TXIB, PVC Frågeformulär, symptom, utsläpp, betonggolv, VOC, TXIB, PVC Questionnaires, symptom, emission, concrete floor, VOC, TXIB, PVC	
Lisätietoja Närmare upplysningar Further information	Pertti Metiäinen Puh./tel. (09) 7729 2413 Sähköposti/e-post/e-mail: pertti.metiainen@valvira.fi	
Tilaukset Beställningar Distribution	Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Asiakaspalvelu PL 500, 00099 Helsingin kaupunki Helsingfors stads miljöcentral, Kundtjänst PB 500, 00099 Helsingfors stad City of Helsinki Environment Centre, Customer Service P.O. Box 500, FIN-00099 CITY OF HELSINKI Puh./tel. +358-9-310 13000 Sähköposti/e-post/e-mail: ymk@hel.fi	

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2008

1. Puttonen, J., Terhemaa, L. Jätehuolto Helsingin venesatamissa vuonna 2007
2. Vuorela, M., Koskela, T., Kauppinen, I. Helsingin kaupungin ympäristöjohtamisen arviointi
3. Luontotieto Keiron Oy. Haltialan aarnialueen luonnonsuojelualueen hoito- ja käyttösuunnitelma
4. Luontotieto Keiron Oy. Pitkäkosken rinnelehtojen luonnonsuojelualueen hoito- ja käyttösuunnitelma
5. Luontotieto Keiron Oy. Ruutinkosken luonnonsuojelualueen hoito- ja käyttösuunnitelma
6. Munne, P., Muurinen, J., Pääkkönen, J.-P., Räsänen, M. Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2007. Jätevesien vaikutusten velvoitetarkkailu.
7. Pienmunne, E., Pakarinen, R., Paaer, P., Nummi, P. Kauppatorin lokkitutkimus 2007
8. Saarikivi, J. Helsingin matelija- ja sammakkoeläinlajisto sekä tärkeät matelija- ja sammakkoeläinalueet vuonna 2007
9. Yrjölä, R. Vuosaaren satamahankkeen linnustoseuranta 2007
10. Ilmansuojelutyöryhmä. Helsingin kaupungin ilmansuojelun toimintaohjelma 2008 - 2016
11. Ilmarinen, K., Oulasvirta, P. Vesikasvillisuus Espoon ulkosaariston–Helsingin itäisen ulkosaariston alueella kesällä 2007
12. Viinanen, J., Pitkänen, E. (toim.). Helsingin kaupungin ilmansuojelun toimintaohjelma 2008 - 2016. Terveys- ja ympäristövaikutusten arviointi.
13. Åberg, R., Nousiainen, L.-L., Lampinen, H., Klemettilä-Kirjavainen, E. Graavisuolatun ja kylmäsavustetun kalan hygieeninen laatu ja säilytyslämpötilat vähittäismyynnissä ja laitoksissa
14. Åberg, R. Sushituotteiden valmistus, HACCP ja valmistukseen liittyvät hygieeniset riskit
15. Niskanen, I., Päivänen, J., Virrankoski, L., Alanko, M., Jokinen, S., Pesu, M., Leppänen, P., Gröhn, L. Helsingin kaupungin meluntorjunnan toimintasuunnitelma 2008
16. Helsingin luonnonsuojeluohjelma 2008 - 2017
17. Hakkarainen, T., Pönkä, A., Kivikoski, L. Yleisten uimarantojen hygieeninen taso Helsingissä vuonna 2008
18. Pönkä, A., Järveläinen, A., Kalso, S. Irtojätelön ja veden mikrobiologinen laatu helsinkiläisissä kesäkieläisissä keissa
19. Munne, P., Pääkkönen, J.-P., Tiensuu, M., Vahtera, E. Töölönlahden tila ja meriveden juoksutuksen vaikutus vuosina 2006-2008

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2009

1. Kiema, S., Saarenoksa, R. Kivinokan pohjoisen metsäalueen kääpä- ja orvakkainventointi 2006–2007
2. Muotka, K. Helsingin ulkoilureittien ja puistojen roskaantuminen
3. Salla, A. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet sekä pitoisuudet puistoissa ja kerrostalojen pihilla Helsingissä
4. Niskanen, I., Päivänen, J., Virrankoski, L., Alanko, M., Jokinen, S., Pesu, M., Leppänen, P., Gröhn, L. Helsingfors stads handlingsplan för bullerbekämpning 2008
5. Dictus, J., Creedy, A. (eds). Towards Environmental Sustainability. Report of the Peer review of the city of Helsinki.
6. Yrjölä, R. Vuosaaren satamahankkeen linnustoseuranta 2008
7. Kajaste, I., Muurinen, J., Räsänen, M., Vahtera, E., Pääkkönen, J.-P. Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2008. Jätevesien vaikutusten velvoitetarkkailu.
8. Peltomaa, J., Klemettilä-Kirjavainen, E. Kebabin mikrobiologinen laatu Helsingissä vuonna 2008
9. Metiäinen, P. Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijana