



Kirsi Villberg, Kristina Saarela,  
Tiina Tirkkonen, Anna-Liisa Pasanen,  
Jukka-Pekka Kasanen, Pertti Pasanen,  
Pentti Kalliokoski, Helena Mussalo-Rauhamaa,  
Marjatta Malmberg & Tari Haahtela

## Sisäilman laadun hallinta

VTT PUBLICATIONS 540

# **Sisäilman laadun hallinta**

**Kirsi Villberg, Kristina Saarela & Tiina Tirkkonen**

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

**Anna-Liisa Pasanen, Jukka-Pekka Kasanen,  
Pertti Pasanen & Pentti Kalliokoski**

Kuopion yliopisto

**Helena Mussalo-Rauhamaa,  
Marjatta Malmberg & Tari Haahtela**

HYKS, Iho- ja allergiasairaala



ISBN 951-38-6398-0 (nid.)

ISSN 1235-0621 (nid.)

ISBN 951-38-6399-9 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

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

Copyright © VTT 2004

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7027, (09) 456 7066

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 5, PB 1806, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7027, (09) 456 7066

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7027, + 358 9 456 7066

Viimeistely Auli Rautakivi

Edita Prima Oy, Helsinki 2004

Villberg, Kirsi, Saarela, Kristina, Tirkkonen, Tiina, Pasanen, Anna-Liisa, Kasanen, Jukka-Pekka, Pasanen, Pertti, Kalliokoski, Pentti, Mussalo-Rauhamaa, Helena, Malmberg, Marjatta & Haahtela, Tari. Sisäilman laadun hallinta [Indoor air quality control]. Espoo 2004. VTT Publications 540. 172 s. + liitt. 20 s.

**Avainsanat** indoor air, asthma, allergy, clinical tests, questionnaire, irritating compounds, mouse bioassay, emission chamber, sensory evaluation, sorption

## Tiivistelmä

*Sisäilman laadun hallinta*- projektissa (diaari 188/401/00, päätös 40724/00), joka kuului Suomen ympäristöterveyden tutkimusohjelmaan (SYTTY), selvitetiin korrelaatioita rakennuksen sisäilmaongelmia aiheuttaneiden materiaalipäästöjen ja sisäilmaperäisten oireiden/ sairauksien (mm. astma, allerginen nuha) sekä asunnon viihtyvyystekijöiden välillä. Mukaan projektiin valittiin sisäilmaongelmaisia potilaita HYKSiin Iho- ja allergiasairaalan sisäilmapoliklinikalta tutkivan lääkärin toimesta. Näiden potilaiden kotona suoritettiin sisäilman laatumittaukset sekä kotikäynti, jossa määritettiin mm. huoneilman hiilidioksidipitoisuus. Mukaan sisäilmamittauksiin otettiin verrokkikohteita sellaisilta Helsingin asuinalueilta, joilta ei sisäilmavalituksia ole tullut. Kaikki mukana olleet perheet täyttivät kyselylomakkeen, jossa kartoitettiin mm. asunnon pintamateriaaleja sekä erilaisia asuinympäristöön vaikuttavia tekijöitä ja asukkaiden kotona kokemia oireita. Tulosten laskentaa ja tilastollista selvitystä varten yhdistettiin sisäilmamittausten tulokset, kotikäyntien tulokset, potilaiden kliinisten kokeiden tulokset ja kyselylomakkeen vastaukset. Tutkimuksen avulla määritettiin eräiden yksittäisten yhdisteiden pitoisuustasoja, joissa tiettyjen sisäilmassa koettujen oireiden vaara kasvaa.

Samalla tutkittiin myös rakennusmateriaalien emissioiden ja kemikaalieseosten ärsytysominaisuuksia, selvitettiin materiaaliemissioiden hajuominaisuuksien soveltuvuutta ärsyttävyyden indikaattoriksi sekä kehitettiin käytännönläheisempi menetelmä materiaalien aistinvaraiseen arviointiin. Rakennusmateriaaliemissioiden ja kemikaalieseosten ärsytysvaikutuksia tutkittiin Kuopion yliopistossa USA:ssa standardoidun hiirimallin avulla. Tutkittavaksi valittiin 3–8 yleisintä yhdistettä kuvaamaan kutakin tutkittavana olevaa materiaalia ja mukaan otettiin myös ärsytyksen kannalta reaktiivisia yhdisteitä. Seoksille määritettiin hajukyn-

nykset ihmispaneelilla ja seosten ärsytysominaisuuksia tutkittiin koe-eläinmallin avulla. Tutkimuksen aikana tehtiin myös kokeita kahdella materiaalilla hiirimallin herkkyyden testaamiseksi havaita materiaaliemissioiden ärsytysvastetta silloin, kun emissiot vapautuvat materiaalista normaaliolosuhteissa testikammiossa. Kokeelliset tulokset loivat pohjan VOC-seosten ja materiaaliemissioiden ärsytysvasteen mallintamiselle ja ATK-pohjaisen mallin luomiselle.

Koska materiaalien emissiotutkimukset ovat käytännössä relevantteja vain kun emissiot tutkitaan sekä aistinvaraisesti että kemiallisesti, valmistettiin 5 m<sup>3</sup>:n emissiokammio, joka täyttää CEN- ja ISO-standardien vaatimukset emissiotutkimuskammion ja josta voidaan aistinvarainen arvio suorittaa samanaikaisesti. Kammion soveltuvuutta aistinvaraiseen arviointiin testattiin tekemällä testejä valituilla rakennusmateriaaleilla ja saatuja tuloksia verrattiin tällä hetkellä rakennusmateriaaliluokituksessa käytössä olevaan alumiinikammion aistinvaraisiin tuloksiin. Ison kammion käyttö aistinvaraisessa arvioinnissa mahdollistaa myös suurten materiaalien, esim. huonekalujen, kemiallisten emissioiden ja aistinvaraisen arvioinnin oikeassa koossa.

Lisäksi selvitettiin uudisrakennuksessa ja/tai remontin yhteydessä tapahtuvaa sorptioilmiötä eli eri rakennusmateriaalien kykyä adsorboida yhdisteitä huoneilmasta ja desorboida niitä takaisin huoneilmaan. Koska rakennus- ja korjausvaiheessa monien yhdisteiden, joskus jopa haitallisten, pitoisuus sisäilmassa voi nousta hetkellisesti hyvinkin korkeaksi, tutkittiin kaasun ja kiinteän aineen välistä sorptioilmiötä. Testattavina materiaaleina oli yleisesti käytössä olevia materiaaleja kuten kipsilevyä, PVC-mattoa ja lakattua parkettia. Tutkimuksen avulla saatiin tietoa mm. siitä, missä ajassa remontin aiheuttama emissiokuorma sisäilmassa on laskenut normaalia vastaavalle tasolle.

Villberg, Kirsi, Saarela, Kristina, Tirkkonen, Tiina, Pasanen, Anna-Liisa, Kasanen, Jukka-Pekka, Pasanen, Pertti, Kalliokoski, Pentti, Mussalo-Rauhamaa, Helena, Malmberg, Marjatta & Haahtela, Tari. Sisäilman laadun hallinta [Indoor air quality control]. Espoo 2004. VTT Publications 540. 172 p. + app. 20 p.

**Keywords** indoor air, asthma, allergy, clinical tests, questionnaire, irritating compounds, mouse bioassay, emission chamber, sensory evaluation, sorption

## Abstract

Indoor Air Quality Control- project (Dno 188/401/00, 40724/00), one part of the *Finnish Research Programme on Environmental Health* (SYTTY), was consisted of three parts. In part one the objective was to establish a causal connection between indoor air quality, perceived comfort and diagnosed health effects. The indoor air quality was measured with methods used today in the Finnish classification, but complementary new methods were applied and tested for their relevance in attaining a better coverage of different chemical substances in indoor air. The health and comprehensive indoor air data were collected from subjects, which were chosen among the patients treated in Helsinki University Central Hospital because of building related symptoms. Additionally control families were randomly selected from Helsinki area. All participants were interviewed for their residential conditions and any building related problems using modified Örebro and Tuohilampi questionnaires. Clinical data was only collected from the patients in medical examination. All these data was used as additional information in drafting conclusions and recommendations for the improvement of characterising indoor air quality and the classification procedure.

In the second part the aim was to develop procedures to evaluate the irritating and odorous chemical compounds of material emissions and the perceived air quality. The causative relationships between sensory assessment method used in the present Finnish Classification of Building Materials, olfactometry and emission measurements in chemical terms were determined. Another objective of this project was to investigate irritation properties of building material emissions and chemical mixtures by the mouse bioassay. In addition the indicator value of human evaluation was clarified for estimating irritancy of building material emission and for studying an impact of ageing of materials on odour and irritation

responses. Finally a model was developed for estimating irritancy of chemical mixtures based on physico-chemical properties and previous knowledge on irritation potency of individual chemicals without animal experiment.

In the third part the sorption phenomena between solid materials and gaseous compounds have been studied both as a surface effect (adsorption and desorption) and inside the material (absorption and diffusion). The results have been very significant and characteristic for transmission of VOCs in the building materials.

# Alkusanat

Suomen Ympäristöterveyden Tutkimusohjelman (SYTTY) hankkeen Sisäilman Laadun Hallinta/Indoor Air Quality Control (1998–2002) (Dnro 188/401/00, päätös 40724/00) tavoitteena oli hankkia tietoa, jota voidaan käyttää hyvän sisäilman laadun ja sisäilmaongelmien todentamisessa, materiaaliemissioiden testaus- ja arviointimenetelmien kehittämisessä sekä sisäilman laadun ennustamisessa käytettyjen rakennusmateriaalien pohjalta. Tutkimus toteutettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sisäilmakemian ryhmän ja HYKSin Iho- ja allergiasairaalan sisäilmapoliklinikan ja Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen välisenä yhteistyönä. Tutkimusprojektia varten perustettiin syksyllä 1998 johtoryhmä, johon kuuluivat: Ilmari Absetz Tekesistä, Esko Kukkonen ympäristöministeriöstä, Kari Vikström Rakennustietosäätiöstä, Pentti Kalliokoski Kuopion yliopistosta, Arto Suikka Rakennustuoteteollisuudesta, Jorma Säteri Sisäilmayhdistyksestä sekä Tari Haahtela HYKSistä. Puheenjohtajana toimi Esko Kukkonen ympäristöministeriöstä. Vuonna 1999 johtoryhmään uusina jäseninä tulivat Kaisa Kauko ympäristöministeriöstä Esko Kukkonen tilalle, Pentti Lumme Lohja Rudus Oy:stä, sekä Petri Neuvonen Rakennustietosäätiöstä Kari Vikströmin tilalle. Vuonna 2001 johtoryhmää laajennettiin teollisuuden edustajilla (Terve Talo -hankkeen *Sisäilmaongelman toteaminen, korjaus ja jälkiseuranta* (Dnro 948/31/02, päätös 40267/02) johtoryhmä) ja puheenjohtajaksi siirtyi Pentti Lumme Lohja Rudus Oy:stä. Mukaan tulivat Jari Iso-Anttila Skanska Etelä Suomi Oy:stä, Heimo Levamo Kiinteistön Tuottoanalyysit Oy:stä, Matti Salo Upofloor Oy:stä, Kurt Johansson VVO-Rakennuttaja Oy:stä, Markku Viinikka Helsingin kaupungin ympäristökeskuksesta, Helena Turto Optiroc Oy:stä, Klaus Hamström Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimistosta, Matti Salonen Saint-Gobain Isover Oy:stä, Ilkka Jerkku Insinööritoimisto Mikko Vahananen Oy:stä, Kari Varkki Rakennusyhtiö Hartela Oy:stä ja Jarmo J. Heinonen Tekesistä vaihtui Ilmari Absetzin tilalle. Johtoryhmä kokoontui hankkeen aikana yhdeksän kertaa.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan (ent. VTT Kemiantekniikka) sisäilmakemian ryhmästä hankkeessa olivat mukana Kristina Saarela, Kirsi Villberg, Tiina Tirkkonen ja Eero Luostarinen, sekä vuoden 2000 syksyyn asti Timo Lukkarinen ja Anna Saarinen ja kesään 2001 asti Marja-Leena Wilke. Kolmiosaisen tutkimuksen osassa I sisäilmanäytteiden keräyksestä tapaus- että verrokkikohteissa vastasivat Eero Luostarinen ja Timo Lukkarinen. Osan I tapaus/verrokkitulosten



koostamisesta VTT:n osalta vastasi Kirsi Villberg. Kammionsuunnittelusta ja rakennuksesta (osa II) vastasivat Eero Luostarinen, Timo Lukkarinen ja Tiina Tirkkonen. Sorptiokokeista (osa III) vastasi Anna Saarinen osan päättymiseen asti. Koko hankkeen vastuullisena johtajana toimi ryhmäpäällikkö Kristina Saarela. Materiaaliemissioiden ärsytysvaikutukset (osa II) suoritettiin pääosin Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksella Jukka-Pekka Kasasen, Anna-Liisa Pasasen, Pertti Pasasen ja Pentti Kalliokosken vastatessa hankkeesta. Osan II seosten hajukynnysten määrittämisestä vastasivat Sari Kuusisto ja Tuula Rissanen VTT Prosesseista (ent. VTT Kemiantekniikka). Helena Mussalo-Rauhamaa HYKSiin Iho- ja allergiasairaala vastasi osassa I potilaiden valinnasta ja tutkimisesta projektiin ja kokosi kliinisten tutkimuksen tulokset sekä huolehti potilaiden saamasta kirjallisesta tutkimustulospalautteesta. Marjatta Malmberg (Iho- ja allergiasairaala), valitsi kotikäyntien perusteella mukaan otettavia potilaita ja Sirkka-Liisa Piippo (Iho- ja allergiasairaala) huolehti kyselylomakkeiden postituksesta kohdeperheille ja verrokeille. Tuire Nurmi Helsingin yliopiston kansanterveystieteen laitokselta tallensi kyselylomakkeiden tiedot tietokoneelle.

Haluamme kiittää kaikkia tutkimuksessa mukana olleita erittäin miellyttävästä ja antoisasta yhteistyöstä. Tekesiä ja ympäristöministeriötä kiitämme tämän tutkimushankkeen rahoittamisesta.

Espoossa 4.2.2004

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	5
Alkusanat .....	7
Symboliluettelo .....	14
1. Johdanto .....	17
1.1 Osa 1. Rakennuksen aiheuttamat terveysongelmat ja sisäilman laatu..	18
1.2 Osa 2. Materiaaliemissioiden tutkimus- ja arviointimenetelmien kehittäminen .....	19
1.3 Osa 3. Pintamateriaalien sorptioilmiö .....	19
2. OSA I. Rakennuksen aiheuttamat terveysongelmat ja sisäilman laatu .....	21
2.1 Taustaa .....	21
2.2 Menetelmät/datan tuottaminen .....	21
2.2.1 Kliiniset tutkimukset .....	23
2.2.2 Kotikäynnit .....	25
2.2.3 Kyselylomake .....	26
2.2.4 Sisäilman laadun määrittäminen .....	28
2.2.5 Sisäilmanäytteenoton laajentaminen/ Tenax GR ja haistelutekniikka .....	30
2.2.5.1 Tunnistettuja hajuhaittayhdisteitä .....	32
2.2.6 Tilastolliset testit .....	34
2.3 Tulokset: kyselylomake .....	35
2.3.1 Asuntoa ja asumista koskevat kysymykset .....	35
2.3.1.1 Talotyyppi ja rakennusvuosi .....	35
2.3.1.2 Asunnossa tapahtuneet kosteusvauriot/ sisäilmaongelman epäily ja tiedot vastaajista .....	36
2.3.1.3 Lemmikkieläimet .....	38
2.3.1.4 Tupakointi .....	39
2.3.1.5 Asunnon ilmanvaihdon tyyppi .....	39
2.3.1.6 Asunnon varustus .....	41
2.3.1.7 Asunnossa käytetyt pintamateriaalit .....	41

2.3.1.8	Puhdistus/ käytetyt kemikaalit/ siivoustottumukset....	42
2.3.1.9	Viherkasvit.....	43
2.3.2	Kyselylomakkeen avulla saadut taustatiedot vastaajista .....	43
2.3.2.1	Asunnossaoloaika vuorokaudessa.....	43
2.3.2.2	Asuinympäristön kuvaus.....	43
2.3.2.3	Nykyinen terveydentila.....	45
2.3.2.4	Hajusteiden käyttö/reagointi hajusteisiin.....	45
2.3.2.5	Vastaajien itse raportoimat sairaudet ja allergiat .....	46
2.3.2.6	Oireet kotona ja työssä.....	47
2.3.2.7	Nenäoireet .....	48
2.3.2.8	Iho-oireet.....	49
2.3.2.9	Silmäoireet .....	49
2.3.2.10	Vuorokauden/vuoden aika, jolloin oireet olivat pahimmillaan .....	50
2.3.3	Täydentävät kysymykset.....	50
2.3.3.1	Hengitystietulehdukset.....	50
2.4	Kyselylomakkeen vastausten yhteenveto .....	51
2.5	Tulokset: Iho- ja allergiasairaalan suorittamat kotikäynnit .....	52
2.6	Tulokset: Iho- ja allergiasairaalassa tehdyt kliiniset kokeet .....	54
2.6.1	Keuhkofunktio tutkimukset.....	55
2.6.2	Röntgentutkimukset .....	56
2.6.3	Hengitysteiden inflammaatiotulehduksen selvittely .....	57
2.6.4	Allergiatutkimukset.....	60
2.6.5	Peruslaboratoriotutkimukset .....	62
2.6.6	Muut tutkimukset .....	64
2.6.7	Kliinisten tutkimusten perusteella tehdyt diagnoosit .....	66
2.7	Tulosten tarkastelu: Iho- ja allergiasairaalassa tehtyjen potilastutkimusten tulosten yhteys sisäilman VOC-mittaustuloksiin ...	67
2.7.1	Tulehdusvastemerkkiaineet.....	67
2.7.2	Huoneilman TXIB:n suhde potilaiden atooppisuuteen ja tupakointitottumuksiin .....	68
2.7.3	Röntgentutkimukset .....	69
2.7.4	Uusi astmadiagnoosi ja huoneilmasta mitatut VOC-yhdisteet	70
2.8	Tulokset: sisäilman laatu .....	71
2.8.1	Yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet sisäilmassa.....	71
2.8.1.1	TVOC, ammoniakki, formaldehydi .....	72
2.8.1.2	Karboksyyliphot.....	75

2.8.1.3	Aldehydit .....	76
2.8.1.4	Alkoholit .....	77
2.8.1.5	Alifaattiset hiilivedyt .....	78
2.8.1.6	Aromaattiset hiilivedyt .....	79
2.8.1.7	Esterit .....	80
2.8.1.8	Glykolit/glykolieetterit/esterit.....	81
2.8.1.9	Ketonit .....	82
2.8.1.10	Terpeenit .....	83
2.9	Sisäilman laadun tulosten tarkastelu.....	84
2.10	Tulokset: Oireiden ja yhdisteiden väliset korrelaatiot .....	84
2.10.1	Tunkkainen ilma.....	85
2.10.2	Epämiellyttävä haju.....	86
2.10.3	Silmäoireet .....	87
2.10.4	Nenäoireet .....	87
2.10.5	Limannousu.....	88
2.10.6	Hengenahdistus .....	89
2.11	Tulokset: Yhdisteiden pitoisuustasot ja oireiden esiintyminen .....	89
2.11.1	TXIB .....	90
2.11.2	Formaldehydi .....	91
2.11.3	Ammoniakki.....	92
2.11.4	Limoneeni .....	93
2.11.5	alfa-pineeni.....	94
2.11.6	Nonanaali .....	95
2.12	Korrelaatiotulosten tarkastelu.....	96
3.	OSA II.I Materiaalien ärsytysominaisuuksien tutkiminen ja arvioiminen ..	98
3.1	VOC-seosten ja materiaaliemissioiden ärsyttävyyys.....	98
3.2	Materiaaliemissioita kuvaavien kemikaaliseosten ärsyttävyyys ja sen suhde hajuaistimukseen .....	99
3.3	Materiaaliemissioita edustavat kemikaaliseokset.....	100
3.3.1	Seosten hajukynnyksen määrittäminen .....	103
3.3.2	Seosten ärsyttävyyden testaus hiirimallilla .....	103
3.4	Kemikaaliseosten ärsyttävyyden mallintaminen; kokeellinen ja teoreettinen tarkastelu malliseosten avulla .....	105
3.4.1	Kokeiden kuvaus.....	106
3.5	Tulokset .....	107
3.5.1	Materiaaliemissioiden hajuominaisuudet.....	107

3.5.2	VOC-seosten ärsyttävyys .....	107
3.5.3	RD <sub>50</sub> - ja RIL-arvot .....	110
3.5.3.1	Tulosten tarkastelu .....	110
3.5.4	Hiirinmallin soveltuvuus tuoreiden materiaalien ärsyttävyyden rutiininomaiseen tarkasteluun .....	115
3.5.5	Kemikaaliseosten ärsyttävyyden mallintaminen .....	116
3.5.5.1	Tulosten tarkastelu .....	124
3.5.6	Ärsytysmallin sovellettavuus ja hyödyntäminen.....	125
3.6	Yhteenveto.....	126
4.	OSA II.II. Materiaaliemissioiden ja hajujen määrittäminen sekä aistinvaraisen arvioinnin kehittäminen .....	128
4.1	Kammion suunnittelu .....	129
4.2	Kammion testaus .....	130
4.2.1	Kemialliset emissiot .....	132
4.2.2	Aistinvarainen arvio .....	134
4.3	Yhteenveto.....	136
5.	OSA III. Pintamateriaalien sorptioilmiö .....	137
5.1	Rakennusmateriaalien sorptioilmiöiden vaikutus sisäilman laatuun..	137
5.2	Rakennusmateriaalien sorptioilmiöiden tutkimusmenetelmät.....	138
5.3	Sorptioilmiöiden tutkimukset kuppimenetelmällä.....	140
5.3.1	Koejärjestelyt .....	140
5.3.2	Käytetyt materiaalit ja yhdisteet.....	142
5.3.2.1	Alustava koesarja .....	142
5.3.2.2	Kokeet kuivissa olosuhteissa .....	143
5.3.3	Testimateriaalien valmistus .....	144
5.3.4	Tulosten laskeminen.....	146
5.4	Tulokset: kuppimenetelmä .....	147
5.4.1	Kokeet vaihtelevissa kosteusolosuhteissa .....	147
5.4.2	Kokeet kuivissa olosuhteissa.....	151
5.5	Tulosten tarkastelu.....	151
5.6	Sorptioilmiöiden tutkimukset kammiomenetelmällä.....	153
5.6.1	Koejärjestelyt .....	153
5.7	Tulokset: kammiotestit .....	156
5.7.1	Sisäilman VOC-pitoisuudet .....	156
5.7.2	Materiaalien väliset erot.....	157

5.8	Kammiotestien tulosten tarkastelu.....	158
6.	Yhteenveto.....	160
	Lähdeluettelo .....	165
Liitteet		
	Liite A: Kliininen tiedonkeruulomake	
	Liite B: Tapaus/verrokki-kyselylomake	
	Liite C: Esimerkkejä ärsytyksen arvioinnista	
	Liite D: Aistinvaraisen arvioinnin lomake	

## Symboliluettelo

Alveolaaritila	Keuhkonahtauma tila
ATK	Automaattinen tietojenkäsittely
BHT	Butylated hydroxy toluene, käytetty mm. muovimattojen lisäaineena
BRI	Building Related Illnesses
Bronkofiberoskopia	Keuhkojen tähystystutkimus
BTEX-yhdisteet	Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleenit
CEN	The European Committee for Standardization
CLIMPAQ	Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality; kammio materiaalin aistinvaraiseen arviointiin
Diffuusiokapasiteetti	Diffuusiokapasiteettikokeella mitataan hengityskaasun pääsyä keuhkoista verenkiertoon
ECP	Eosinofilien kationinen proteiini
Epikutaanitesti	Ihotesti viivästyneen allergian tutkimiseen
FID	Flame ionisation detector; liekki-ionisaatiodetektori
GC/MSD	Gas Chromatograph/Mass Selective detector; Kaasukromatografi/massaselektiivinen detektor
Histamiinialtistus	Keuhkoputkien supistumisherkkyyden tutkiminen
HTP	Työpaikan ilman epäpuhtauksien sallittu enimmäispitoisuus
IARC	The International Agency for Research on Cancer

IgE	Immunoglobuliini E
Immunospot	IgE-välitteisen allergian esiintyvyyttä tutkiva koe
ISO	International Organization for Standardization
Lasko, CRP	Perusverenkuva-koetta
MPO	Myeloperoksidaasi
OII	Odor Induction Index; hajun voimakkuuden indeksi
Oskilometria	Spirometria koetta vastaava keuhkojen tilavuustutkimus, jota käytetään pienten lasten astman tutkimiseen
Parenkyymi	Pintakudos
Peak-flow (PEF)	Uloshengityksen huippuvirtaus
Prick-testi	Ihon pistokoe
PVC	Polyvinyylidikloridi
RD	Decrease in respiratory rate, hengitystiheyden lasku.
RD <sub>50</sub>	Yhdisteen pitoisuus, joka laskee hiiren hengitystiheyttä 50 % perusjakson keskiarvosta
Retentioaika	Aika, jolloin yhdiste eluoituu kolonnista
RIL-arvo	Recommended Indoor Level; sisäilman hyväksyttävä pitoisuus
SBS	Sick Building Syndrome
Sinuiitti	Poskiontelotulehdus
SIPI	Sensory Irritation Potency Index; sensorisen ärsytyksen voimakkuuden indeksi



Spirometria	Keuhkotilavuuksien mittauskoe; yleisimmin virtaus - tilavuuspirometria
TOC	Threshold odour concentration; hajukynnysarvo eli pienin kyseisen yhdisteen pitoisuus jossa haju tunnustetaan
TVOC	Total volatile organic compounds, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä väliltä heksaani-heksadekaani (C <sub>6</sub> -C <sub>16</sub> )
TXIB	2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli di-isobutyraatti, käytetty mm. muovimatoissa viskositeetinalentajana
WHO	World Health Organization; Maailman terveysjärjestö
VOC	Volatile organic compound, haihtuva orgaaninen yhdiste kiehumispistevälillä 50–250 °C

# 1. Johdanto

Suuri osa ilmasta ihmiseen kohdistuvasta kemiallisesta altistuksesta on peräisin rakennusten sisäilmasta. Sisäilman laatu muodostuu siihen joutuneiden kemiallisten yhdisteiden aiheuttamasta kemiallisesta altistumisesta sekä siitä miten ihminen aistii ilman laadun; miellyttävänä tai epämiellyttävänä. Pahimmillaan sisäilman kemialliset yhdisteet saattavat olla terveydelle haitallisia, jolloin ne altistusajan pituudesta riippuen saattavat johtaa pysyvään sairastumiseen tai ohimenevään oireiluun, joka uusiutuu heti kun henkilö altistuu uudelleen herkistymisen aiheuttaneille yhdisteille.

Sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat yleistyneet viime vuosien aikana ja ongelmien jo ennalta tapahtuvaan estämiseen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota jo rakennusten suunnitteluvaiheessa. Terveelliset rakennus- ja sisustusmateriaalit ja niiden oikea käyttö ovat yksi hyvänlaatuisen ja miellyttävän sisäilman perustekijöistä. Rakennuksissa käytettävien materiaalien päästöt ovat siten eräs keskeisimmistä tekijöistä, jotka vaikuttavat ihmisen altistumiseen sisätiloissa ja altistumisen merkittävyyttä lisää se, että materiaalien päästöt ovat yleensä pitkäikäisiä.

Haju on yleensä ensimmäinen asia, joka kertoo poikkeavista emissioista sisäilmassa. Haju koetaan ärsyttävänä tekijänä erityisesti sen jatkuessa pitkään. Materiaalin haju- ja sensorisen ärsytyksen aistimus ovat fysiologisesti eri ilmiöitä (eri hermojen välittämiä aistimuksia), mikä ilmenee mm. siinä, että hajuun totutaan nopeasti, kun taas ärsytysvaste on yleensä aina vähintään samankaltainen tai se voi jopa vahvistua altistuksen jatkuessa tai toistuessa. Lisäksi haju- ja ärsytyskynnyksen välinen suhde vaihtelee eri yhdisteillä, ja reaktiivisilla yhdisteillä hajukynnyksen antama turvallisuusmarginaali ärsytysvaikutusten suhteen saattaa olla yllättävän kapea. Uudessa tai remontoitussa asunnossa tunnistetaan usein uusille materiaaleille tyypillinen haju. Yleensä tämä haju häviää joidenkin viikkojen tai viimeistään kuukausien kuluessa, jolloin näin lyhytaikaisista päästöistä ei aiheudu huomattavaa oireilua. Kuitenkin tilanne voi toisinaan olla se, että päästöt jatkuvat pidempään tai ne ovat tavanomaista voimakkaampia, jolloin kyseessä voi olla liikaa emittoiva tai peräti virheellinen materiaali, rakenne tai jopa rakennusvirhe. Ongelma ei ole vain uusissa asunnoissa vaan myös vanhoissa rakennuksissa, jolloin kyseessä saattaa olla materiaalissa alkanut hajoamisreaktio. Tämän seurauksena asukas altistuu normaalia enemmän kemiallisille yh-

disteille, jolloin seurauksena voi olla voimakkaita ja jatkuvia oireita tai sairastuminen. Tällä hetkellä sisäilman kemiallisten päästöjen pitkäaikaisista terveyshaitoista on niukalti epidemiologisia tutkimuksia. Muutamissa tutkimuksissa on esimerkiksi astmasairastavuuden vaaran todettu altistuneilla lisääntyneen. Useimmiten kirjallisuudessa julkaistuissa tutkimuksissa sisäilman kemiallisten päästöjen aiheuttamia terveyshaittoja on selvitetty ainoastaan korreloimalla ilmasta mitattuja pitoisuuksia niille altistuneiden henkilöiden kyselyssä raportointiin oireisiin.

Koska tällä hetkellä on vain rajoitetusti terveystietoa materiaalien emissioiden aiheuttamista terveysvaikutuksista, kohdistuu terveellisen sisäilman saavuttamisessa materiaalien kehittämiseen emissioiden minimoimiseksi ja sitä kautta altistuksen vähentymiseen. Materiaaliemissioiden mittausten avulla ei nykyisin voida täysin luotettavasti arvioida materiaalipäästöjen ärsytysvaikutuksia, siksi on tarve kehittää nykyistä aistinvaraista tutkimusmenetelmää oikeellisempi ja luotettavampi menetelmä, jota voitaisiin soveltaa rakennusmateriaalien luokituksessa.

Arviointitekniikan kehittämisen pohjaksi tarvitaan lisäksi yksityiskohtaisempaa tietoa kemiallisten yhdisteiden terveysvaikutuksista sisäilmassa sekä ennen kaikkea toimenpiteitä tämän tiedon soveltamiseen ja sisäilman laadun arviointiin. Emissiolähteiden selvittämisessä käytetty mittauskäytäntö on ollut varsin kirjavaa ja yhteismitallisten tulosten arviointitekniikan puuttumisesta kärsivät niin materiaalitoimittajat, urakoitsijat ja rakentajat kuin viime kädessä myös itse asukkaat.

## **1.1 Osa 1. Rakennuksen aiheuttamat terveysongelmat ja sisäilman laatu**

Tämän projektin ensimmäisessä osassa tavoitteeksi asetettiin selvittää korrelaatiot rakennuksen materiaalipäästöjen ja sisäilmaongelman aiheuttaneiden oireiden ja sairauksien välillä sekä selvittää näin materiaaliemissioiden mahdolliset ärsytysvaikutukset. Saatuja tuloksia voitaisiin myöhemmin soveltaa sisäilmastoluokituksen raja-arvoihin. Lisäksi tarkoituksena oli kehittää entistä kattavampi menetelmä sisäilman laadun mittaamiseksi.

## **1.2 Osa 2. Materiaaliemissioiden tutkimus- ja arviointimenetelmien kehittäminen**

Hankkeen toisessa osassa tutkittiin Kuopion yliopistossa rakennusmateriaaliemissioiden ja kemikaaliseosten ärsytysominaisuuksia hiirimallin avulla, selvitettiin materiaaliemissioiden hajuominaisuuksien soveltuvuutta ärsyttävyyden indikaattoriksi. Lisäksi arvioitiin materiaalin ikääntymisen vaikutusta haju- ja ärsytysvasteeseen. Näiden tekijöiden perusteella kehitettiin lopulta malli, jonka avulla erilaisten kemikaaliseosten ärsyttävyyttä voidaan arvioida fysiko-kemiallisten ominaisuuksien ja aiempien ärsytystietojen perusteella ilman eläinkokeita. Tavoitteena oli hyödyntää mallia mm. rakennusmateriaalien tuotekehityksessä ja sisäilman VOC-mittaustulosten tulkinnessa. Toisena tavoitteena oli kehittää luotettavampi ja käytännönläheisempi menetelmä materiaalien aistinvaraiseen arviointiin rakennusmateriaalien luokituksessa. Tähän tarkoitukseen suunniteltiin ja rakennettiin VTT:n toimesta 5 m<sup>3</sup>:n kokoinen emissiokammio, jota voidaan käyttää sekä kemialliseen näytteenottoon että aistinvaraiseen arviointiin.

## **1.3 Osa 3. Pintamateriaalien sorptioilmiö**

Hankkeen kolmannessa osassa tutkittiin rakennusmateriaalien sorptioilmiötä; kykyä adsorboida haihtuvia orgaanisia yhdisteitä huoneilmasta, sekä niiden kykyä desorboida yhdisteitä takaisin huoneilmaan. Sorptioilmiö on keskeinen erityisesti uudisrakennuksessa. Rakentamisen tai remontoinnin yhteydessä mm. työvaiheiden ajoituksella ja tehdyillä materiaalivalinnoilla sekä ilmanvaihdoilla saattaa olla suuri ja pitkäaikainen vaikutus kiinteistön sisäilman laatuun. Koeolosuhteet pyrittiin järjestämään mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaaviksi, jotta saatuja tuloksia voitaisiin helpommin hyödyntää käytännön ongelmia ratkaistaessa. Kolmas osatehtävä päättyi vuonna 2000.

Koko hankkeen organisaatiokaavio esitetään kuvassa 1.



*Kuva 1. Hankkeen organisaatiokaavio.*

## **2. OSA I.**

# **Rakennuksen aiheuttamat terveysongelmat ja sisäilman laatu**

### **2.1 Taustaa**

Sisäilman yhdisteille altistuminen kattaa alueen hajuärstytyksestä eriaistaiseen kemialliseen altistumiseen ja pahimmissa tapauksissa toksisten yhdisteiden aiheuttamaan myrkytykseen. Monet ihmiset viettävät jopa 90 % ajastaan sisätiloissa, joten sisäilman laadulla on suuri merkitys ihmisten elämänlaatuun vaikuttavana tekijänä.

1970-luvun loppupuolella määriteltiin ilmiö nimeltä ”sairas rakennus” -oireyhtymä (SBS; sick building syndrome), jota käytetään kuvaamaan joukkoa erilaisia rakennuksessa koettuja oireita. Oleellista näille oireille on se, että ne poistuvat tai helpottuvat rakennuksesta poistuttaessa. WHO:n määrittelyn mukaan tähän oireyhtymään liitetään usein seuraavat oireet: 1) limakalvo-oireet 2) iho- ja silmäoireet 3) hengenahdistus 4) väsymys 5) päänsärky, 6) pahoinvointi, 7) uneliaisuus, 8) keskittymiskyvyn puute, 9) haju Haitat ja 10) influenssa-oireet. Herkkyys sisäilman epäpuhtauksille vaihtelee yksilökohtaisesti. Toiset eivät huomaa erityisiä reaktioita, kun taas herkemmat yksilöt vastaavassa tilassa aivastelevat ja tuntevat esimerkiksi nenän kuivumista. SBS-oireyhtymä erotetaan BRI-oireyhtymästä (building-related illnesses) seuraavasti; BRI:ssä oireet eivät häviä/helpotu rakennuksesta poistuttaessa. BRI:n aiheuttajia ovat esimerkiksi homeille ja bakteereille altistuminen, endotoksiinit, mykotoksiinit ja radon (WHO 2000).

### **2.2 Menetelmät/datan tuottaminen**

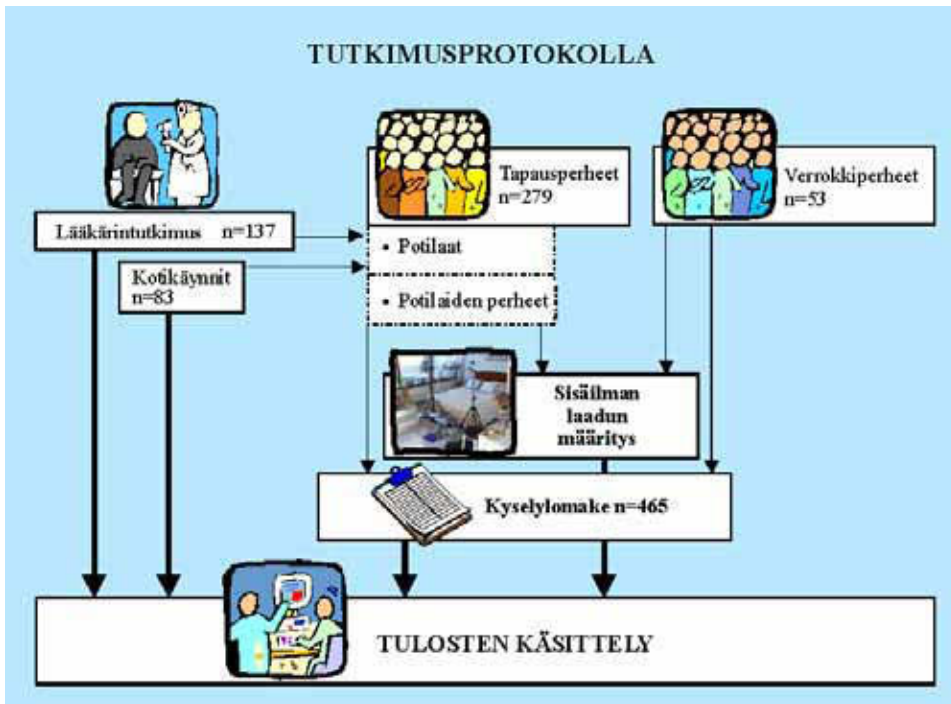
Potilaat tähän tutkimukseen valittiin ensi sijassa henkilöistä, jotka olivat kokeneet asunnossaan sisäilmaan liittyvää oireilua ja tulleet sen vuoksi lääkäriin lähetteellä vastaanotolle HYKSin Iho- ja allergiasairaalaan. Potilaiden valinnan suoritti kuntoutushoitaja Marjatta Malmberg (MM) ja sisäilmapoliklinikan potilas-työtä tekevä lääkäri Helena Mussalo-Rauhamaa (HM-R). Viimeksi mainittu oli

myös tutkimuksen vastaava lääkäri. Potilaita hyväksyttiin projektiin sekä pelkän lääkärin vastaanottohaastattelun perusteella että kuntoutushoitajan kotikäynnin perusteella. Kaikki Iho- ja allergiasairaalan lääkärit voivat tehdä kuntoutushoitajalle pyynnön kotikäynnistä hoitamansa potilaan asuinympäristön selvittämiseksi. Siksi potilaita valikoitui sisäilmapoliklinikan lisäksi myös muilta poliklinikoilta, mm. ihotauti- ja allergiapoliklinikoilta, joissa potilaan kliinisissä tutkimuksissa oli herännyt epäily sisäilmaperäisestä sairaudesta ja kotikäynnin perusteella jatkotutkimukset olivat tarpeen.

Mittauskohdeasuntojen valintakriteereitä oli 1) epäily materiaaliperäisestä emissiosta (ns. tasoiteaineongelma tms.) ja 2) asunnossa aistittavissa oleva poikkeava haju. Kotikäynnin ja lääkärin tekemän haastattelun perusteella selkeät homevaurioasunnot pyrittiin rajaamaan pois mittauskohteita valittaessa. Mahdollisimman suuren otoskoon saavuttamiseksi toiveena oli myös löytää tutkittaviksi monijäsenisiä perheitä.

Verrokkikohteiden valinta perustui Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen rekisteritietoihin. Niiltä Helsingin kaupungin alueilta, joilta ympäristökeskukseen oli tullut vain vähän sisäilmaan liittyviä valituksia, valittiin satunnaisesti asuntoja, joiden asukkaille esitettiin kirjeitse pyyntö osallistua tutkimukseen. Kaikkiaan 47 asuntoon lähetettiin pyyntökirje. Mukaan otettiin 30 perhettä; osassa näistä oli kuitenkin aloitettu remontti juuri ennen mittausta, joten heidän sisäilmatuloksiaan ei otettu mukaan tarkasteluun. Osa vastaajista ilmoitti, että he eivät olleet kiinnostuneita sisäilmamittauksesta, mutta he vastasivat kuitenkin kyselyyn. Mittaukset suoritettiin 27:ssä kohteessa. Tutkimusprotokolla on esitetty kuvassa 2.

Tutkimuslupa tämän tutkimuksen tekemiseen saatiin Iho- ja allergiasairaalan tulosyksikön vastaavalta lääkäriltä. Sisäilmamittauskohteiden perheet ovat saaneet projektin vastaavalta lääkäriltä (HM-R) kopion sisäilmamittauksen tuloksista ja kirjallisen selvityksen tulosten merkityksestä.



*Kuva 2. Tutkimusprotokolla.*

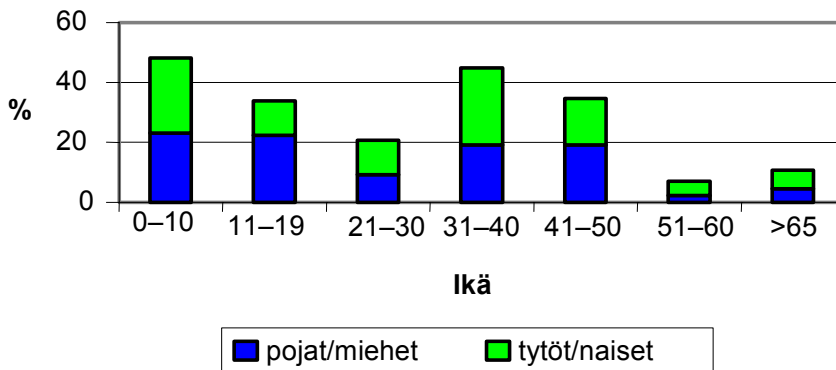
### 2.2.1 Kliiniset tutkimukset

Mittauskohteiden asukkaista 137 kävi Iho- ja allergiasairaalassa kliinisissä tutkimuksissa. Lääkärin läheteellä tutkittavaksi tulleiden pääasialliset oireet/ tulokset on esitetty taulukossa 1. Kuviissa 3 ja 4 on esitetty kliinisesti tutkittujen ja kaikkien tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden ikäjakaumat.

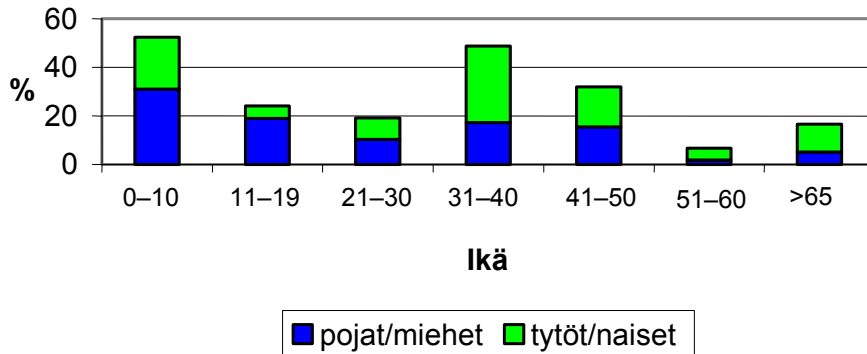


Taulukko 1. Iho- ja allergiasairaalan tutkimuksiin tulon syitä.

Oire/ tulosyy	Lapset /pojat <15-v.	Lapset/ tytöt <15-v.	Aikuiset/ miehet >14-v.	Aikuiset/ naiset >14-v.	Yhteensä kaikista tutkituista
ihovaiva	3 (11,5 %)	4 (10,0 %)	2 (6,3 %)	11 (18,9 %)	20 (14,8 %)
hengenahdistus	7 (26,9 %)	2 (10,0 %)	6 (18,8 %)	17 (29,3 %)	32 (23,7 %)
toistuvat poskion- telotulehdukset	-	2 (10,0 %)	2 (6,3 %)	2 (3,4 %)	6 (4,4 %)
yskä	8 (30,8 %)	4 (20,0 %)	5 (15,6 %)	7 (12,1 %)	24 (17,8 %)
nenäoireet	-	3 (15,0 %)	9 (28,1 %)	12 (20,7 %)	24 (17,8 %)
silmäoireet	-	-	2 (6,3 %)	2 (3,4 %)	4 (3,0 %)
kurkkukipu	-	-	2 (6,3 %)	-	2 (1,5 %)
infektiot	2 (7,7 %)	1 (5,0 %)	-	1 (1,7 %)	4 (3,0 %)
huimaus	-	-	-	1 (1,7 %)	1 (0,7 %)
allergiaoireet	2 (7,7 %)	3 (15,0 %)	1 (3,2 %)	-	6 (4,4 %)
epäily sisäilma- ongelmasta	-	-	-	1 (1,7 %)	1 (0,7 %)
nokkosrokko	-	-	-	1 (1,7 %)	1 (0,7 %)
astma-kontrolli	2 (7,7 %)	-	-	2 (3,4 %)	4 (3,0 %)
nivelvaiva	1 (3,8 %)	-	-	1 (1,7 %)	2 (1,5 %)
päänsärky	1 (3,8 %)	-	-	-	2 (0,7 %)
turvotus	-	-	1 (3,2 %)	-	1 (0,7 %)
muut syyt	-	-	1 (3,2 %)	1 (1,7 %)	2 (1,5 %)
kaikki yhteensä	26 (100 %)	20 (100 %)	32 (100 %)	59 (100 %)	137 (100 %)



Kuva 3. Kyselyyn osallistuneiden ikä- ja sukupuolijakauma (%).



Kuva 4. Kliinisissä tutkimuksissa sairaalassa olleiden ikä- ja sukupuolijakauma (%).

Iho- ja allergiasairaalan tutkimuksiin osallistuneet potilaat olivat sairaalan peruspotilaita, jotka tutkittiin kukin oireittensa vaatimalla tavalla. Mitään sisäilmatutkimuksen tavoitteista lähtevää tutkimusprotokollaa ei klinikan hoitaville lääkäreille annettu. Myöskään mitään vaateita tutkimusten laadun suhteen ei asetettu. Lääkärin suorittamaan tutkimukseen sisältyy yleensä terveysongelmien selvittelynä oire-, sairaus- ja asumishistorian kartoitus haastatteleamalla ja statustutkimusten teko. Usein kliinisiin tutkimuksiin liittyy myös erilaisia kokeita (liite A).

Kliinisiin tutkimuksiin osallistuneissa lapsissa ja nuorissa poikien määrä oli hieman tyttöjen määrää suurempi. Aikuisten ryhmässä iän lisääntyessä naispuolisten potilaiden määrä kasvoi. Kaiken kaikkiaan sairaalassa tutkittujen henkilöiden ikä- ja sukupuolijakauma olivat hyvin vastaavankaltaiset kuin kyselyyn vastanneiden. Tavallisin syy sairaalaan tulon oli hengenahdistus.

### 2.2.2 Kotikäynnit

Iho- ja allergiasairaalan kuntoutushoitaja teki kotikäynnin yhteensä 83 asuntoon. Kotikäynnillä hän kirjasi löydökset laatimaansa kotikäyntilomakkeeseen. Kotikäynnillä hän yleensä tutkii visuaalisesti pintojen mahdollisia värimuutoksia tai vaurioita, aistinvaraisesti homeenhajua tai asunnon muuta poikkeavaa hajua ja pinnalla näkyviä vaurioita. Hänellä on myös mukana välineet näytteenottoa var-



tutkijoille kyselylomakkeiden erilliseen liitteeseen perheenjäsentensä nimet ja syntymävuodet.

Kyselylomakkeeseen vastasi yhteensä 465 henkilöä. Heistä 306 oli yksittäisten perheiden jäseniä ja 53 verrokkiperheiden jäseniä. Vertailuksi lomakkeen täytti myös 74 suurehkon sisäilmaongelmattoman toimistotyöpaikan työntekijää ja 32 terveydenhuollon yksiköiden työntekijää. Asunnon sisäilmamittauksesta jouduttiin luopumaan muutamien kyselyyn vastanneiden perheiden kohdalla mm. remontin tai perheen toiseen asuntoon muuton vuoksi. Mittauskohteiden 281 asukkaalta vastauksia saatiin yhteensä 279.

Kyselylomake rakentui Örebro-kysymyslomakkeesta ja Tuohilampi-kysymys-sarjasta (Susitaival ym. 1999) otetuista kysymysoasioista, joihin lisättiin kysymyksiä mm. vastaajien infektiosairastavuudesta ja lisäksi tarkentavia kysymyksiä asuntoon liittyvistä tekijöistä. Lomakkeen kysymysosiot olivat seuraavat (liite B):

#### ASUNTOA/ASUMISTA KOSKEVAT KYSYMYKSET

- talotyyppi (kerrostalo, rivitalo, omakotitalo)
- rakennusvuosi, muuttoajankohta
- remontit, vesivahingot
- asuinolosuhteet (käytetyt pintamateriaalit)
- siivoustottumukset (käytetyt puhdistusaineet)

#### TAUSTATIEDOT VASTAAJASTA

- syntymävuosi, sukupuoli
- tupakointi
- asunnossaoloaika
- kotieläimet
- hajusteiden käyttö

#### ASUINYMPÄRISTÖ

- asumista haittaavat tekijät viimeisen 3 kk:n aikana (lämpötilaolot, hajut, pöly)

## SAIRAUSHISTORIA

allergiset sairaudet (astma, allerginen nuha, ihotesteillä todetut allergiat)  
hengitystietulehdukset viimeksi kuluneen 12 kk:n aikana  
oireet ja oireiden esiintyminen (kotona ja töissä) viimeksi kuluneen 3 kk:n aikana (väsymys, päänsärky, silmien kutina)  
vuorokaudenaika, jolloin oireet ovat pahimmillaan

## TÄYDENTÄVÄT KYSYMYKSET

nenä-, iho- ja silmäoireen luonteen yksityiskohtainen selvittely.

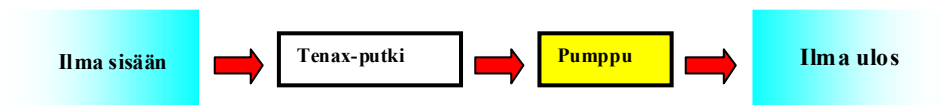
### **2.2.4 Sisäilman laadun määrittäminen**

Iho- ja allergiasairaalan valitsemien potilaiden sekä verrokkiperheiden kotona VTT:n toimesta suoritettiin sisäilman laadun mittaus (haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC, TVOC), ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuusmittaukset). Näytteenotto suoritettiin pääasiassa makuuhuoneesta (Kuva 6) tai siitä huoneesta, jossa oli koettu eniten oireilua. Yhteensä mittaukset suoritettiin 120 perheessä, joista yksi siirrettiin verrokkikohteeksi, koska asukkaat olivat muuttaneet ennen mittausta uuteen asuntoon ja oireet olivat hävinneet. Tuloksissa mukana on 118 perhettä (yhdessä perheessä oli pintaremontti aloitettu ennen mittauksia, joten kohde jätettiin pois).

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin Tenax TA- ja GR-adsorbenteilla täytettyihin näytteenottoputkiin imemällä ilmaa näyteputkien läpi (Kuva 7) (VTT:n menetelmäohje). Näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen näytteen-syöttöön termodesorptiotekniikkaa, jossa haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet irrotetaan näytteenottoputkista (adsorbentista) lämmön avulla (VTT:n menetelmäohje). Analysointiin käytetty kaasukromatografi on varustettu liekki-ionisaatio-detektorilla (FID) ja massaselektiivisellä detektorilla (MSD).



*Kuva 6. Sisäilmanäytteenotto.*



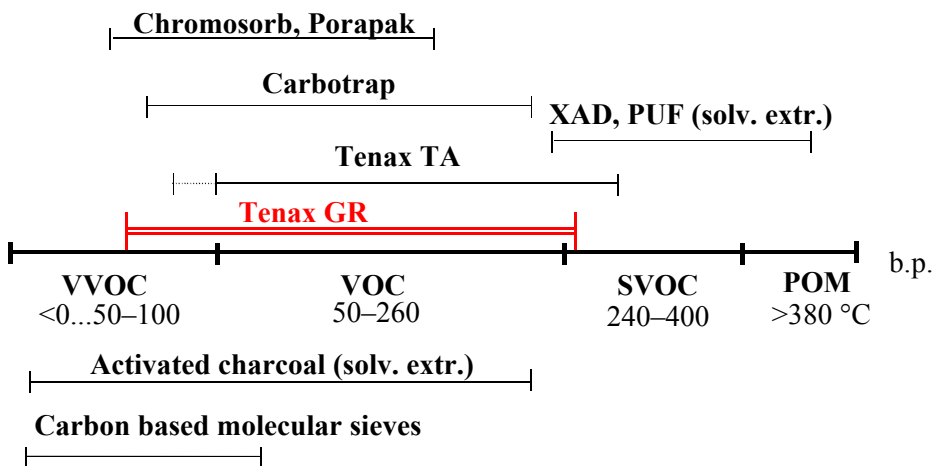
*Kuva 7. Sisäilmanäytteenoton periaate.*

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä, TVOC, laskettiin tolueenin vastetekijän avulla vähentämällä ennen heksaania ja heksadekaanin jälkeen elu-oituvat yhdisteet FID-kromatogrammin kokonaispinta-alasta (C<sub>6</sub>-C<sub>16</sub>). Yksittäisten yhdisteiden tunnistus perustui kirjasto-ohjelmaan (Wiley 138 tai 275 Library). Yksittäisten VOC-yhdisteiden tunnistuksia ei varmennettu malliaineilla. Formaldehydi ja ammoniakki kerättiin sisäilmasta laimeaan rikkihappoon kuplitusmenetelmää käyttäen. Formaldehydi analysoitiin näytteistä spektrofotometrisesti asetyyliasetonimenetelmällä (VTT:n menetelmäohje). Näytteen ammoniakkipitoisuus analysoitiin ammoniumspesifisellä elektrodilla (VTT:n menetelmäohje).

### **2.2.5 Sisäilmanäytteenoton laajentaminen/ Tenax GR ja haistelutekniikka**

Valtaosa sisäilmaklinikalle hakeutuneista potilaista raportoi oireidensa lisäksi kotona havaitusta epämiellyttävästä hajusta. Usein hajuhaittojen syynä ovat karbonyyliyhdisteet, kuten aldehydit, ketonit ja karboksyylihapot. Myös aromaattiset hiilivedyt, jotka usein ovat lähtöisin erilaista materiaaleista, luetaan hajuhaittayhdisteisiin. Edellä mainituista yhdisteryhmistä karbonyyliyhdisteiden hajukynnysarvo (TOC; threshold odor concentration) on suhteellisen alhainen (Devos ym. 1990). Yleisesti suoraketjuisten hiilivetyjen hajukynnysarvo on huomattavasti korkeampi kuin kaksoissidoksellisten tai aromaattisten hiilivetyjen. Hajuhaitan voi aiheuttaa yksi yksittäinen yhdiste tai se voi aiheutua usean yhdisteen seoksesta. Erityisesti jälkimmäisessä tapauksessa vaikeus tunnistaa hajun aiheuttaja kasvaa koska suhteellisten konsentraatioiden pienet muutokset aiheuttavat useita eri hajuvivahteita; saman yhdisteen haju voi olla täysin erilainen erilaisissa konsentraatioissa. Esimerkiksi puhtaan metyyli-isoborneolin hajua kuvataan kamferimaiseksi, mutta laimeana liuoksena hajua kuvataan maamaiseksi.

VOCien näytteenottoon käytetyt adsorbentit ovat yleensä hiilipohjaisia tai huokoisia polymeerejä. Näistä aktiivihiiilen pidätyskyky on erinomainen ja kapasiteetti suuri, mutta sisäilma- ja materiaaliemissiopitoisuuksiin aktiivihiihi soveltuu verrattain huonosti, koska yhdisteiden irrottamiseen tarvittava liuotinuutto huonontaa määritysmenetelmän herkkyyttä. Huokoisista polymeereistä VOC-yhdisteiden määrittämiseen soveltuvat termodesorboitavat adsorbentit, esimerkiksi Tenax TA, Porapak ja Chromosorb. Tenax TA on yleisin VOC-yhdisteiden määrittämiseen käytetty adsorbentti. Tenax TA:n suosio perustuu sen laajaan käyttöalueeseen ja ominaisuuksiin, jotka tekevät siitä erityisen hyvin termiseen desorptioon soveltuvan adsorbentin (Tirkkonen ym. 1995, Tirkkonen 1996). Tässä projektissa osassa tapausperheistä sisäilmasta kerättiin näytteet sekä Tenax TA- ja Tenax GR -adsorbentteihin. Molemmat adsorbentit ovat samaa Tenax matriisia, joista Tenax GR sisältää 23 % grafiittia. Tästä syystä Tenax GR soveltuu hieman paremmin erityisesti pienimolekyylisiin yhdisteisiin, jotka pidättyvät huonommin Tenax TA:n (Kuva 8). Usein nämä alhaalla kiehuvat, erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOCs) todetaan syyllisiksi sisäilmassa ilmeneviin hajuhaittaongelmiin.



Kuva 8. Adsorbenttien jaottelu VOCien näytteenottoon.

Näytteiden analysointimenetelmänä käytettiin kaasukromatografisen (kohdassa 2.2.4 esitetyn) analysoinnin lisäksi näytteen samanaikaista aistinvaraista arviointia eli haistelua. Käytetty menetelmä oli erittäin käyttökelpoinen etsittäessä hajun aiheuttavaa yhdistettä. Menetelmä perustuu aistidetektorin (SNIFF) ja instrumenttimetodin (GC/MSD) yhdistämiseen. Kuvassa 9 esitetään samanaikainen haistelu GC/MSD-ajon kanssa.

Haistelusuppilosta haistellaan kolonnista eluoituvat yhdisteet ja hajunkuvaukset merkitään ylös retentioajan (= aika, jolloin yhdiste eluoituu kolonnista) kanssa. GC/MSD-ajon jälkeen havaitut kullekin yhdisteelle ominaiset hajut merkitään ionikromatogrammiin (Kuvat 10 a–c). Näin voidaan keskittyä yhdisteiden tunnistamisessa kiinnostavalle alueelle ts. sisäilman tai materiaalin ominaishajun aiheuttavaan yhdisteeseen tai yhdisteisiin. Useinkaan hajun aiheuttava yhdiste ei ole suurin yhdiste. Kuvasarjassa esitetystä näytteestä tunnistettiin paha, pistävä hajuu, jonka aiheuttava yhdiste haluttiin tunnistaa. Kromatogrammista tunnistettiin hajun kohdalta etikkahappo.

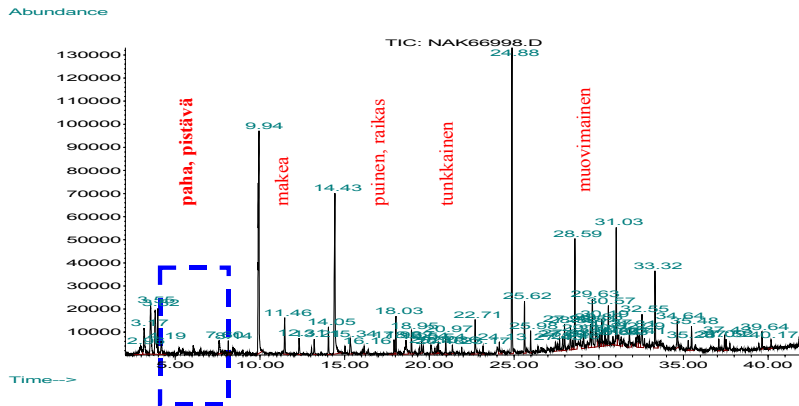




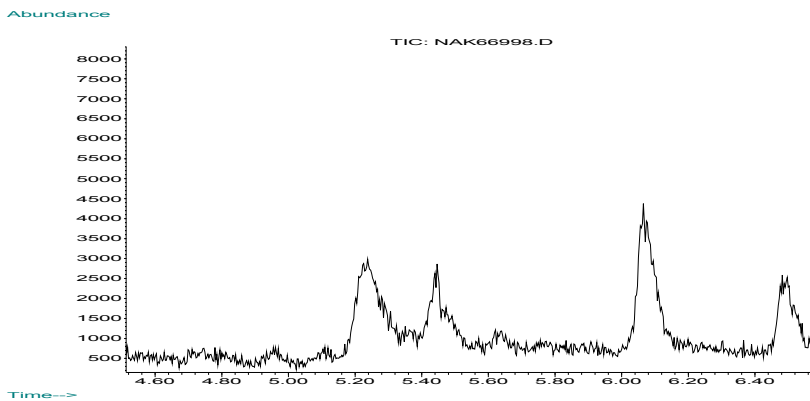
*Kuva 9. GC/MSD-ajon kanssa samanaikaisesti tapahtuva haistelu.*

### 2.2.5.1 Tunnistettuja hajuhaittayhdisteitä

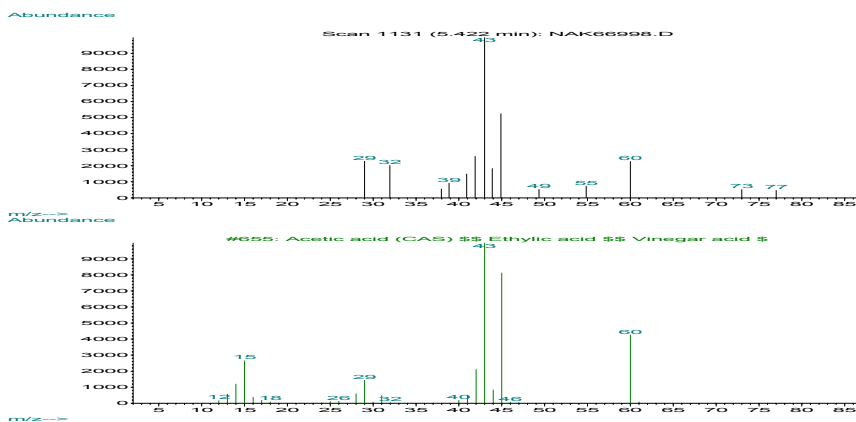
Haistelun avulla sisäilmanäytteistä tunnistettiin hajua aiheuttaviksi yhdisteiksi karbonyyliyhdisteitä eli aldehydejä, ketoneja ja karboksyylihappoja. Aldehydien hajunkuvaukset olivat pääasiassa epämiellyttäviä ja voimakkain haju havaittiin yleensä nonanaalilla (paha, talimainen), jonka hajukynnys ilmassa on erittäin alhainen ( $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Devos ym. 1990). Heksanaalin kohdalla GC/MSD-ajon aikana tunnistettiin myös usein hajua, joka vaihteli pitoisuudesta riippuen lehväsmäisestä ruohon hajuun. Pienimolekyylisten aldehydien, asetaldehdin ja butanaalin kohdalla havaittiin epämiellyttävää hajua.



Kuva 10a. Hajunkuvausten merkitseminen totaali-ionikromatogrammiin.



Kuva 10b. Hajunkuvauksen "paha, pistävä" kohdalta suurennettu kromatogrammi.



Kuva 10c. Hajunkuvauksen "paha, pistävä" kohdalta tunnistettu yhdiste (etikkahappo).

Matalin hajukynnys sisäilmasta tunnistetuista ketoneista oli 2,3-butaanidionilla ( $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Devos ym. 1990). Sen aiheuttamaa hajua kuvattiin kinuskimaiseksi ja toffeemaiseksi. Asetonin hajunkuvaus oli hieman makea, mutta samalla terävä ja pistävä. Erityisesti asetonin aiheuttama pistävä haju havaittiin näytteissä, jotka oli kerätty Tenax GR -adsorbenttiin. Keskimääräinen pitoisuus oli yli kaksinkertainen verrattuna Tenax TA:lla saatuihin pitoisuuksiin.

Karboksylihapojen kohdalla huomattiin Tenax GR:n parempi adsorptiokyky erityisesti etikkahapon kohdalla. Tämän yhdisteen hajunkuvaus on selvästi etikkamainen, joskin se hieman muuttui pitoisuuden mukaan (paha, pistävä-> etikka).

Muut tunnistetut hajua aiheuttavat yhdisteet olivat mm. rikkiyhdisteitä. Näiden yhdisteiden hajut ovat erittäin epämiellyttäviä, joita kuvataan yleensä mädäksi ja pilaantuneeksi. Rikkiä sisältävien yhdisteiden hajukynnysarvot ovat erittäin matalia, mistä johtuen usein jo pitoisuustasolla  $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aistitaan hajua. Tutkittujen asuntojen sisäilmasta kerätyissä näytteissä tunnistettiin usein myös 1,2-propanidionia, jonka hajua kuvattiin imeläksi ja lakkamaiseksi.

### **2.2.6 Tilastolliset testit**

Korrelaatio selvityksiä varten kohteista kerätty fysikaalinen ja kemiallinen data muokattiin ja yhdistettiin VTT:n sisäilma- ja materiaalitietopankkeihin, joista mittausdata yhdistettiin kyselylomakkeiden vastauksiin. Kliiniset tutkimustiedot ja kotikäyntilöydökset kerättiin hoitavan lääkärin (Helena Mussalo-Rauhamaa) toimesta erilliseksi Iho- ja allergiasairaalassa säilytettäväksi tiedostoksi. Statistiset analyysit tuloksista tehtiin SPSS 10.05 ohjelmalla.  $\chi^2$ -testiä ja regressio-analyysijä käytettiin selvitettäessä asuin ympäristön ja oireiden eroja tapaus- ja verrokkiryhmissä. Spearman-testiä käytettiin korrelaatioanalyysissä. Taulukoiduissa tuloksissa p-arvo  $< 0,05$  on merkitty yhdellä tähdellä (\*) ja p-arvo  $< 0,01$  on merkitty kahdella tähdellä (\*\*). Kliinisten tutkimusten tuloksia ei tietosuojaan takia voitu yhdistää suoraan VTT:n mittaustulosrekisteriin.

## 2.3 Tulokset: kyselylomake

Seuraavassa osiossa käydään läpi kyselylomakkeen vastausten osuudet tapausperheiden ja verrokkiperheiden välillä.

### 2.3.1 Asuntoa ja asumista koskevat kysymykset

#### 2.3.1.1 Talotyyppi ja rakennusvuosi

Kyselylomakkeessa kysyttiin tapausperheiden/verrokkiperheiden talon rakennusvuotta ja talotyyppiä (kerrostalo, rivitalo, omakotitalo/paritalo). Tapausperheet asuivat pääosin melko uusissa taloissa: 36 % tapausperheistä asui 1990-luvulla rakennetuissa taloissa, joista 36 % oli kerrostaloja, 44 % rivitaloja ja 20 % omakotitaloja. 20 % tapausperheistä asui 1980-luvulla rakennetuissa taloissa, joista 18 % kerrostaloja, 14 % rivitaloja ja 54 % omakotitaloja.

Verrokkiperheistä 44 % asui taloissa, jotka oli rakennettu 1950-luvulla tai aiemmin. Näistä omakotitaloja oli 27 % ja kerrostaloja 73 %. Verrokkiperheistä 23 % asui 1990-luvulla valmistuneissa taloissa, joista 21 % oli kerrostaloja, 25 % rivitaloja ja 27 % omakotitaloja.

Tarkasteltaessa oireiden esiintymistä verrattuna talon rakennusvuoteen huomattiin eroja silmä- ja kurkkuoireiden ( $p<0,05$ ) sekä limannousun viikoittaisessa kokemisessa ( $p<0,01$ ). Joka viikkoisesta limannoususta raportoineista tapauksista 45 % asui 1990-luvulla rakennetuissa taloissa. Samoin suurin osa joka viikkoisista silmäoireista (46 %) ja kurkkuoireista (49 %) raportoineista tapauksista asui 1990-luvulla rakennetuissa taloissa.

Joka viikko raportoitujen toistuvien kurkkuoireiden kokemisella ( $p<0,001$ ), silmäoireiden kokemisella ( $p<0,01$ ) ja viikoittain ilmenevällä limannousulla ( $p<0,01$ ) oli selkeä yhteys talotyyppiin. 65 % limannoususta viikoittain raportoineista tapauksissa asui kerrostalossa, ja vastaavasti silmäoireista viikoittain kärsivistä tapauksista 66 % ja kurkkuoireista viikoittain kärsivistä tapauksista 75 %. Myös astma ( $p<0,05$ ), yskä ( $p<0,01$ ) ja hengenahdistus ( $p<0,01$ ) oli yleisempää kerrostalossa kuin rivi- tai omakotitalossa asuvilla.

### 2.3.1.2 Asunnossa tapahtuneet kosteusvauriot/ sisäilmaongelman epäily ja tiedot vastaajista

Kyselylomakkeessa tiedusteltiin, onko asunnossa tapahtunut kosteusvaurioita/vesivuotoja ja mikä on näiden tapahtumisajankohta sekä milloin ensimmäisen kerran oli epäilty sisäilmaongelmaa ja miksi. Tapausperheistä 32 %:lla oli ollut vesivaurio kotona, verrokkiperheiden kotona vesivaurio oli todettu 21 %:lla (Kuvat 11–12). Vesivahinko ei välttämättä johtanut homevaurioon asunnossa.

58 % kerrostaloissa asuvista tapausperheistä oli todennut sisäilmaongelman yli vuoden kuluttua vesivaurion havaitsemisesta ja 23 % perheistä oli todennut sisäilmaongelman samana vuonna vesivaurion jälkeen. Kerrostalossa asuvista verrokkiperheistä 43 % oli havainnut sisäilman laadussa muutoksia heti vesivaurion jälkeen, mutta yli vuoden kuluttua vesivauriosta ei yhdelläkään verrokkiperheellä ollut huomautettavaa sisäilman laadusta.



*Kuva 11. Puutteellisesta ilmanvaihdosta johtunut kosteusvaurio kylpyhuoneen katossa.*

Rivitaloissa asuvista tapausperheistä 21 % ilmoitti kokeneensa sisäilman laadun huonontuneen välittömästi vesivaurion jälkeen, ja 38 % huomasi sisäilman laadun huonontuneen, kun vesivaurion havaitsemisesta oli kulunut yli vuosi. Verrokkiperheistä 25 % totesi sisäilman laadussa muutoksia vasta yli vuoden kuluttua vesivaurion toteamisesta.

Omakotitalossa asuvista tapausperheistä 50 % raportoi sisäilmaongelmista heti vesivaurion jälkeen ja 31 % yli vuoden kuluttua vesivaurion toteamisen jälkeen. Verrokkiperheistä 91 % totesi sisäilman laadun heikentyneen heti vesivaurion jälkeen, mutta yli vuoden kuluttua vaurion toteamisesta ei sisäilman laadussa ollut asukkaiden mielestä huomautettavaa.

Asunnossa tapahtuneella kosteusvauriolla ei ollut yhteyttä asunnossa koettuihin oireiluihin.



*Kuva 12. Parketin tummumista alapuolisesta lattiamateriaalista päässeen kosteuden aiheuttamana.*

### 2.3.1.3 Lemmikkieläimet

Lemmikkieläiminä tapausperheissä oli kissa (5 % perheistä), koira (17 %), kissa + koira (7 %) ja hamsteri tai muu häkkieläin (3 %). Verrokkiperheissä lemmikkinä oli useimmiten koira (7 %). Vastauslomakkeessa kysyttiin myös onko perheiden naapurissa tai muussa lähiympäristössä lemmikkieläimiä. Useimmiten lemmikkieläin oli naapurissa tai isovanhempien luona. Tapausperheistä 21 %:lla oli ollut aiemmin lemmikki, joka useimmin oli ollut akvaario (21 %) tai häkkieläin (hamsteri, kesy rotta) tai kilpikonna (10 %). Verrokkiperheillä puolestaan oli ollut lemmikkieläin aiemmin 10 %:lla, ja useimmin lemmikki oli ollut kissa tai koira (7 %). Lemmikkieläinten pidolla ei ollut yhteyttä mihinkään kotona koettuihin oireisiin tai asunnon viihtyvyystekijöihin.



*Kuva 13. Tapausperheissä useimmiten lemmikkinä oli koira.*

#### 2.3.1.4 Tupakointi

Tapaus- ja verrokkiperheissä tupakointi oli yhtä yleistä (14 %). Iho- ja allergiasairaalassa tutkituista potilaista tupakoi 19 %. Tapauksista entisiä tupakoijia oli 13 %, verrokeista 7 %. Verrokeista tupakoivat pääasiassa miehet (25 %), kun taas tapauksista tupakoivat enemmän naiset (16 %). Tapausperheissä asunnossa tupakointi oli erittäin vähäistä (1 %) ja pääosin tupakointi tapahtui ulkona (esim. parvekkeella) 24 %. Verrokkiperheissä sisällä tupakointi oli hieman yleisempää (3 %) kuin tapausperheissä, mutta ulkona tupakointi oli vähäisempää (5 %) kuin tapausperheissä.

#### 2.3.1.5 Asunnon ilmanvaihdon tyyppi

Verrokkiperheillä oli pääosin painovoimainen ilmanvaihto (50 %), mikä on tyypillistä vanhemman rakennuskannan taloissa. Tapausperheiden asunnoissa oli 50 %:ssa koneellinen poistoilmanvaihto ja 23 %:ssa asuntoja oli sekä koneellinen tulo- että poistoilmanvaihto. Vastaavasti verrokkiperheiden asunnoissa koneellinen poisto oli 23 %:ssa ja koneellinen tulo- ja poisto oli 23 %:ssa asuntoja. Ilmanvaihdon tyyppillä ei ollut vaikutusta kotona koettuihin oireisiin (ilmanvaihto = vastauslomakkeen ilmoitus, toimintaa/käyttöä ei tarkastettu, ks. kuvat 14–15).





*Kuva 14. Asukkaan teippaama koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tuloilma-venttiili.*



*Kuva 15. Likainen koneellisen poistoilmanvaihdon poistoilmaventtiili.*

### 2.3.1.6 Asunnon varustus

Taulukossa 2 esitetään tapaus- ja verrokkiperheiden kodin varustus (liesituuletin, keskuspölynimuri, pyykinkuivauskaappi, ilmanpuhdistin ja ilmankostutin). Tapausperheistä lähes kaikissa oli liesituuletin (72 %). Tapausperheiden kodeissa ilmanpuhdistimen käyttö (25 %) oli yleisempää kuin verrokkiperheiden kodeissa (7 %).

*Taulukko 2. Tapaus/verrokkiperheiden kodin varustus.*

Kodin varustus	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Liesituuletin	72 %	39 %
Keskuspölynimuri	8 %	7 %
Pyykinkuivauskaappi	13 %	5 %
Ilmankostutin	4 %	2 %
Ilmanpuhdistin	25 %	7 %

### 2.3.1.7 Asunnossa käytetyt pintamateriaalit

Taulukossa 3 esitetään makuu- ja olohuoneen seinä- ja lattiamateriaalit tapaus- ja verrokkiperheissä.

*Taulukko 3. Asunnossa käytetyt pintamateriaalit.*

Lattia- Materiaali	Makuuhuone		Olohuone	
	Tapausperhe	Verrokkiperhe	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Muovimatto	57 %	8 %	46 %	5 %
Parketti	20 %	29 %	32 %	31 %
Korkki	3 %	2 %	-	-
Seinä- materiaali	Tapausperhe	Verrokkiperhe	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Maalattu	49 %	17 %	48 %	17 %
Tapetti	22 %	25 %	26 %	22 %
Yhdistelmä	3 %	-	3 %	-

Tapausperheiden kodeissa lattiamateriaalina oli käytetty enemmän muovimattoa kuin verrokkiperheiden kodeissa. Verrokkiperheissä lattiat olivat pääosin parkettia. Tapausperheiden kodeissa oli 3 %:lla korkkilattia makuuhuoneessa ja verrokkiperheiden kodeissa 2 %:lla. Lattiamateriaalin vaikutus joka viikko raportoituihin oireisiin oli merkitsevä silmäoireiden ( $p<0,05$ ) kokemisen kanssa. Lisäksi hengenahdistus ( $p<0,01$ ) ja yskä ( $p<0,01$ ) olivat selkeästi yhteydessä asunnon lattiamateriaaliin. Lisäksi tunkkaisuuden ( $p<0,001$ ) ja hajuhaitan ( $p<0,05$ ) kokeminen korreloi selkeästi lattiamateriaalin kanssa. 68 %:lla joka viikko tunkkaisesta ilmasta raportoineista henkilöistä ja 62 %:lla joka viikko epämiellyttävästä hajusta raportoineista henkilöistä oli lattiamateriaalina muovimatto.

Tapausperheiden kotona oli yleensä maalatut seinät (makuuhuoneessa 49 %, olohuoneessa 48 %). Verrokkiperheissä seinät olivat pääosin tapetoituja (makuuhuone 25 % ja olohuone 22 %).

#### 2.3.1.8 Puhdistus/ käytetyt kemikaalit/ siivoustottumukset

Kyselylomakkeessa kysyttiin siivoustottumuksia sekä eri puhdistuskemikaalien käyttöä. Lattian puhdistuskemikaalien kirjo oli laaja, tapausperheissä eniten käytettiin muovimatoille tarkoitettuja puhdistusaineita sekä Tolua. Verrokkiperheissä lattiapintojen puhdistukseen käytettiin eniten Tolua (7 %) ja erilaisia lattian hoitoaineita (5 %). Seinien puhdistukseen tapausperheet käyttivät useimmin erimerkkisiä astianpesuaineita tai mäntysuopaa (16 %). Verrokkiperheistä seinien pesuun käytettiin yleisimmin vettä tai yleispuhdistusaineita ja kosteaa liinaa. Kosteiden tilojen puhdistuksessa tapausperheissä eniten käytettiin mäntysuopaa ja Vimiä, verrokkiperheissä Vimiä.

Asunnoissa joka viikkoisena häiriötekijänä pölystä oli eniten haittaa tapauksille, joilla oli allergisia nuhaoireita ( $p<0,05$ ), astmaa ( $p<0,05$ ), viikoittain toistuvia silmäoireita ( $p<0,001$ ), yskää ( $p<0,001$ ) sekä hengenahdistusta ( $p<0,05$ ). Asunnon imurointikerrat vaihtelivat suuresti. Tapausperheistä jopa 18 % perheistä imuroi 30 kertaa kuukaudessa eli päivittäin. Verrokkiperheissä kuukauden aikana imuroitiin pääosin 4–8 kertaa eli 1–2 kertaa viikossa. Imurointikertojen määrällä ei ollut selkeää korrelaatiota tunkkaisuuden kokemisen kanssa. Asunnossa koettuihin oireisiin imurointikerroilla oli vaikutusta yskän kokemisessa ( $p<0,05$ ). 45 % tapauksista, jotka eivät koskaan raportoineet yskästä joka viikkoisena hait-

tana imuroi kerran viikossa, kun taas 66 % niistä tapauksista, jotka kärsivät yskästä joka viikko imuroivat vähintään kaksi kertaa viikossa, osa jopa päivittäin. Kostealla mopilla lattioita pyyhittiin verrokkiperheissä kerran viikossa (24 %), ja kaksi kertaa viikossa (5 %). Tapausperheissä kostealla mopilla pyyhittiin kolme kertaa viikossa (21 %), ja kuukauden aikana 16 kertaa eli 4 kertaa viikossa (11 %). Kostealla mopilla pyyhkimisellä ei ollut vaikutusta asunnon tunkkaisuuden kokeamiseen.

### 2.3.1.9 Viherkasvit

Tapausperheistä 72 %:lla oli viherkasveja asunnossaan ja verrokkiperheistä 45 %:lla. Viherkasvien määrä vaihteli; pääosin sekä tapaus- että verrokkiperheissä oli 1–10 viherkasvia. Yhdessä tapausperheessä kirjattiin jopa 40 viherkasvia. Viherkasvien lukumäärällä ei ollut yhteyttä kotona koettuihin oireisiin tai asunnon häiritteijöihin.

## 2.3.2 Kyselylomakkeen avulla saadut taustatiedot vastaajista

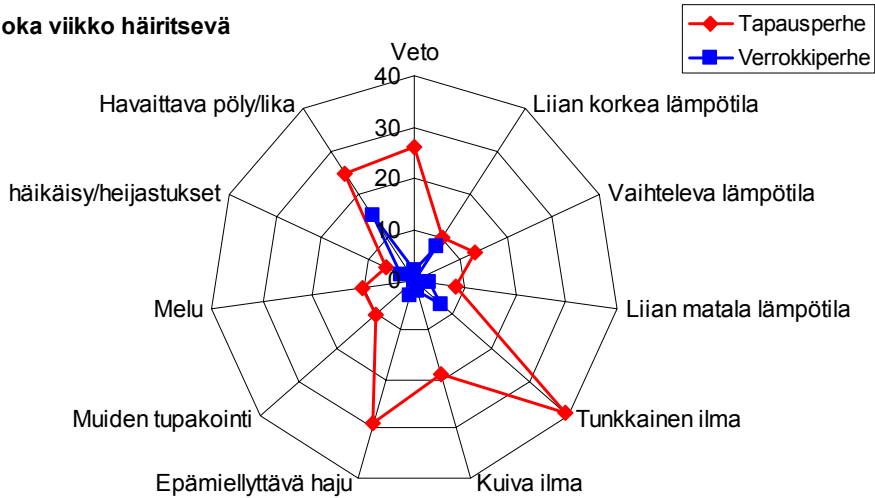
### 2.3.2.1 Asunnossaoloaika vuorokaudessa

Tapausperheiden jäsenet olivat kotona hieman enemmän kuin verrokkiperheiden jäsenet; 90 % tapauksista vietti kotona yli 12 tuntia vuorokaudessa ja verrokkiperheistä 70 % oli yli 12 tuntia kotona. Asunnossaoloajalla ei todettu olevan merkitsevää korrelaatiota asunnossa koettuihin joka viikkoisiin häiritteijöihin tai oireisiin.

### 2.3.2.2 Asuinympäristön kuvaus

Kuvissa 16–18 on esitetty sekä tapaus- että verrokkiperheiden asuinympäristön häiritteijät ja niiden esiintyvyys. Kuvassa 16 esitetään joka viikko häiritsevät tekijät, joista tapausperheissä selkeästi suurin osuus on tunkkaisella ilmalla (40 %) ja epämiellyttävällä hajulla (30 %). Verrokkiperheissä eniten joka viikko häiritsevä tekijä oli havaittava pöly/lika (15 %).

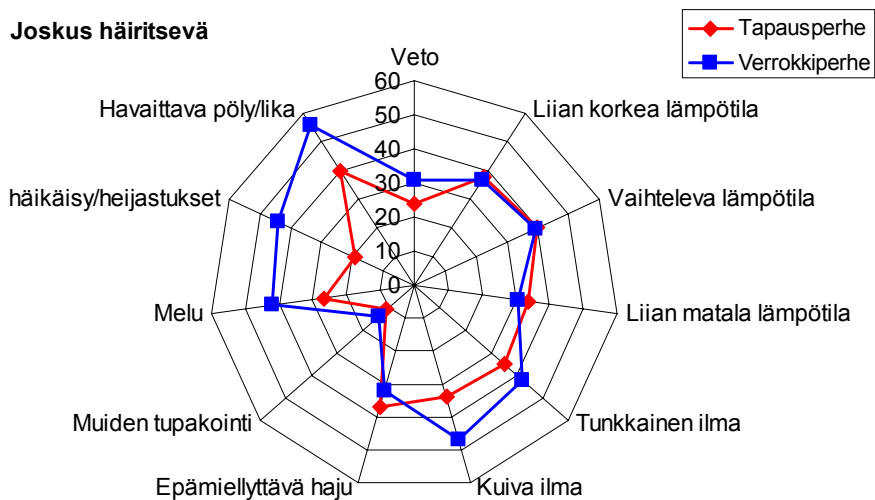
### Joka viikko häiritsevä



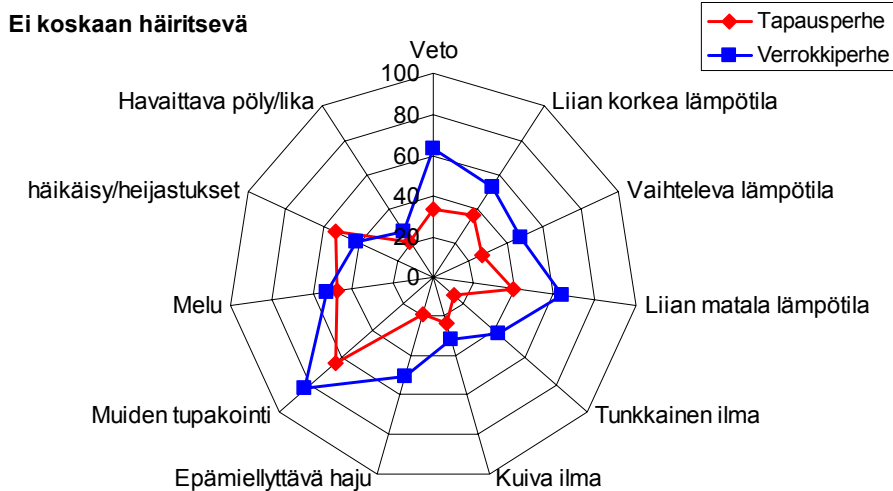
Kuva 16. Joka viikko häiritsevät haavaava tekijät tapaus- ja verrokkiperheissä.

Joskus häiritsevaksi tekijäksi (Kuva 17) tapausperheet kokivat yleisimmin haavaavan pölyn/lian ja epämiellyttävän hajun, verrokkiperheet haavaavan pölyn/lian ja kuivan ilman.

### Joskus häiritsevä



Kuva 17. Joskus häiritsevät haavaava tekijät tapaus- ja verrokkiperheissä.



*Kuva 18. Ei koskaan häiritsevät haavaatekijät tapaus- ja verrokkiperheissä.*

Vähiten haavaa (Kuva 18) sekä tapaus- että verrokkiperheissä koettiin muiden tupakoinnista; tapausperheistä 62 % ja verrokkiperheistä 82 % ei kokenut sitä koskaan häiritseväksi tekijäksi. Suurin osa verrokkiperheiden jäsenistä ei myöskään kokenut vetoa tai kärsinyt liian matalasta sisäilman lämpötilasta.

### 2.3.2.3 Nykyinen terveydentila

Tapausperheiden jäsenistä 26 % arvioi terveydentilansa hyväksi, 28 % melko hyväksi ja 15 % tunsi terveydentilansa melko huonoksi ja 2 % huonoksi. 46 % verrokeista piti terveydentilaansa hyvänä ja 32 % melko hyvänä ja 5 % verrokeista piti terveydentilaansa melko huonona.

### 2.3.2.4 Hajusteiden käyttö/reagointi hajusteisiin

Tapauksista 26 % ilmoitti kärsivänsä joskus ja 14 % usein muiden käyttämistä hajusteista ja 22 % reagoi usein voimakkaisiin hajuihin ja 34 % harvemmin. Suurin osa verrokeista (69 %) ei ilmoittanut kärsivänsä muiden käyttämistä hajusteista eikä reagoivansa yleensä voimakkailla hajuille (49 %).

### 2.3.2.5 Vastaajien itse raportoimat sairaudet ja allergiat

Taulukkoon 4 on kerätty tapausperheiden ja verrokkiperheiden asukkaiden kyselylomakkeeseen raportoimat tiedot lääkärin toteamista allergioista ja astmasta.

Allergista nuhaa oli todettu tapausperheissä 69 %:lla naisista (n=68), miehillä vastaava luku oli 45 % (n=34) ja lapsilla 46 % (n=48). Verrokkiperheissä miesten osalla allergista nuhaa oli 67 %:lla (n=10) naisista 50 %:lla (n=14) ja lapsista 40 %:lla (n=4).

Tapausperheissä astmaa esiintyi runsaasti naisilla 41 %:lla (n=41) oli todettu astma. Miehillä 16 % (n=12) ja lapsista 32 %:lla (n=33) oli todettu astma. Verrokkeista 14 %:lla naisista (n=4) oli astma ja lapsista 20 %:lla (n=2). Miehillä ei astmaa ollut diagnosoitu.

Allergista ihottumaa raportoitiin tapausperheissä olleen 55 %:lla (n=54) naisista, 40 %:lla miehistä (n=30) ja 48 %:lla (n=50) lapsista. Verrokkeilla vastaavat luvut olivat 36 % (naiset n=10), 33 % (miehet n=5) ja 50 % (lapset n=1).

Kyselylomakkeen perusteella ihotesteillä tai verikokeilla oli todettu allergisoitumista seuraavasti: yleisimpiä allergian aiheuttajia olivat erilaiset siitepölyt (koivu, leppä) sekä heinät. Tapausperheiden jäsenillä todettiin myös erilaisia ruoka-aineallergioita (viljat, maito, pähkinä, kala, kananmuna, maapähkinä) ja eläinallergioita (kissa, koira, yleensä eläinpöly).

*Taulukko 4. Potilaiden ikäjakauma ja todetut allergiat ja astma.*

	IKÄ Mediaani	IKÄ Vaihtelu	Allerginen nuha	Allergiset iho-oireet	Astma*
<b>Tapausperhe (N)</b>					
Naiset (99)	37	15–76	68 (69 %)	54 (55 %)	41 (41 %)
Miehet (76)	37	15–73	34 (45 %)	30 (40 %)	12 (16 %)
Lapset (104)	7	1–14	48 (46 %)	50 (48 %)	33 (32 %)
<b>Verrokkiperhe (N)</b>					
Naiset (28)	48	16–85	14 (50 %)	10 (36 %)	4 (14 %)
Miehet (15)	49	18–77	10 (67 %)	5 (33 %)	-
Lapset (10)	11.5	2–14	4 (40 %)	1 (46 %)	2 (20 %)

\* lääkärin toteama

### 2.3.2.6 Oireet kotona ja työssä

Tapausperheissä useimmin kotona koetut oireet (Taulukko 5) olivat naisten kohdalla väsymys sekä erilaiset silmä-nenä- ja kurkkuoireet sekä käsien ihon ärsytysoireet. Miesten kohdalla selkeästi eniten koettiin nenä-ärsytystä. Naisista 60 % koki väsymystä kotona ollessaan. Miehistä 24 % koki väsymystä kotona ollessaan. Silmä-ärsytystä naisista koki 42 % kotona ollessaan, miehistä 34 %. Nenä-ärsytystä naisista koki 62 % kotona, miehistä 49 %.

Verrokkiperheiden kohdalla eniten koettiin väsymystä ja nenä-ärsytystä kotona ollessa. Naisista 42 % koki väsymystä joka viikko, miehistä 46 %. Nenä-ärsytyksen osuus oli naisilla 29 % ja miehillä 18 %.

*Taulukko 5. Joka viikko kotona koetut oireet (%). Tapaus ja verrokkiperheiden  $\chi^2$ -testin p-arvo merkitty oireen perään.*

OIRE	Tapausperheet			Verrokkiperheet		
	Naiset	Miehet	Lapset	Naiset	Miehet	Lapset
Väsymys **	60	24	59	42	46	30
Päänsärky **	30	16	9	4	-	18
Pään tuntuminen raskaalta **	32	25	9	21	9	17
Keskittymisvaikeudet *	18	20	17	9	18	25
Huimaus *	17	9	1	9	-	-
Pahoinvointi *	12	5	3	4	-	-
Kuumeilu *	4	7	1	-	-	-
Vatsakipu *	14	9	7	4	-	-
Limannousu **	42	30	32	18	-	-
Silmä-ärsytys **	42	34	23	17	9	-
Nenä-ärsytys **	62	49	42	29	18	-
Vuotava nenä **	43	24	33	21	-	9
Kurkkuoireet *	50	26	25	18	-	-
Käheys **	43	24	22	19	-	-
Hengitysvaikeudet **	25	17	8	12	-	-
Yskä **	24	20	26	18	-	-
Kuiva kasvojen iho	44	22	30	27	27	36
Kasvojen ihon kuumotus *	28	11	14	14	10	9
Käsien ärsytysoireet	51	26	28	38	18	17

\* aikuiset p<0.05, \*\* aikuiset p<0,01.



Työpaikalla koettiin väsymyksen lisäksi eniten päänsärkyä; naisista 23 % ja miehistä 21 % koki päänsäryn joka viikkoiseksi oireeksi työpaikalla. Kurkkuoireita ja käheyttä naisista koki joka viikkoisena ongelmana kotona 49 % ja 43 %, miehistä vastaavasti kurkkuoireista kärsi 26 % ja käheydestä 24 %.

Verrokkiperheistä naiset (43 %) kokivat selvästi enemmän väsymystä työpaikalla kuin kotona, miehistä 31 %. Verrokkiperheiden naiset kokivat enemmän oireita työpaikalla kuin tapausperheiden naiset, joiden oireiden painopiste oli kotona.

### 2.3.2.7 Nenäoireet

Nenäoireista kysyttiin oireiden laatua, kuten aivastelu, nenän kutina, nenän tukkoisuus, kirkas erite, samea erite, nenän limakalvojen kuivuus, hajuainin heikkeneminen ja nieluun valuva erite (Taulukko 6). Nenäoireiden laadussa oli vähäisiä eroja tapausperheiden ja verrokkiperheiden jäsenten välillä. Yleisin oire tapausperheiden jäsenillä oli nenän tukkoisuus (76 %), verrokkiperheiden jäsenet raportoivat useimmiten aivastelusta (61 %). Vähiten raportoitiin hajuainin heikkenemisestä.

*Taulukko 6. Nenäoireiden laadun jakautumien.*

Oire	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Aivastelu	64 %	61 %
Nenän kutina	52 %	44 %
Nenän tukkoisuus	76 %	58 %
Kirkas erite	58 %	47 %
Samea erite	33 %	16 %
Nenän limakalvojen kuivuus	38 %	37 %
Hajuainin heikkeneminen	17 %	6 %
Nieluun valuva erite	33 %	23 %

### 2.3.2.8 Iho-oireet

Tapausperheiden jäsenet raportoivat hieman enemmän ihottumaa kuin verrokkit (Taulukko 7). Tavallisimmin iho-oireet olivat käsissä tai kasvoilla.

*Taulukko 7. Ihon alueet, missä raportoitu ihottumaa olleen viimeisen kolme kuukauden aikana.*

Oire	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Päänahka	18 %	8 %
Silmäluomet	13 %	7 %
Kasvot	22 %	10 %
Kaula/niska	12 %	8 %
Kädet/kyynärvarret	24 %	29 %
Vartalo	23 %	7 %
Olkavarret	18 %	10 %
Sääret	17 %	15 %
Taipeet	11 %	8 %

### 2.3.2.9 Silmäoireet

Erialaisten silmäoireiden esiintyvyys kolmen viimeksi kuluneen kuukauden aikana on esitetty taulukossa 8. Tapausperheissä raportoitiin yleisimmin silmäluomien kutinaa (23 %), silmien räähkimistä (30 %), silmien kirkelyä (24 %), ja silmien vetisyyttä (30 %). Verrokeilla tavallisin silmäoire oli valonarkuus (27 %).

*Taulukko 8. Silmäoireiden esiintyminen viimeisen kolmen kuukauden aikana.*

Oire	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Silmäluomien kutina	23 %	8 %
Silmäluomien punoitus	18 %	8 %
Silmien turvotus	21 %	8 %
Roskantunne silmässä	20 %	12 %
Silmien räähkiminen	30 %	8 %
Silmien kirkely	24 %	20 %
Silmien valonarkuus	17 %	27 %
Silmien vetisyys	30 %	25 %

### 2.3.2.10 Vuorokauden/vuoden aika, jolloin oireet olivat pahimmillaan

Sekä tapaus- että verrokkiperheissä eniten oireita koettiin aamuisin; selkeimmin ero oli yöllä koettavissa oireissa; tapausperheissä 18 %:lla vaikeimmat oireet olivat öisin; verrokeista vain 5 %:lla. Aamulla ja päivällä koetuista oireista selkeästi vaikeimmat oireet olivat silmäoireita, öisin vaikeimmaksi oireiksi kirjattiin myös nenä- ja kurkkuoireita.

Sekä tapaus- että verrokkiperheissä koettiin oireet pahimmiksi talvi- ja kevätai- kaan, tapausperheiden jäsenille lisäksi syksy oli lähes yhtä vaikeaa aikaa kuin kevät. Molemmissa vastausryhmissä kesä oli selkeästi helpointa aikaa.

## 2.3.3 Täydentävät kysymykset

### 2.3.3.1 Hengitystietulehdukset

*Taulukko 9. Hengitystietulehdukset viimeisen vuoden aikana.*

Oire	Tapausperhe	Verrokkiperhe
Flunssa ilman kuumetta	76 %	76 %
Nuhakuume	65 %	41 %
Nielurisatulehdus, angiina	11 %	-
Välikorvan tulehdus	20 %	5 %
Poskiontelotulehdus	28 %	5 %
Keuhkoputkentulehdus	27 %	2 %
Keuhkokuume	2 %	-

Sekä tapaus- että verrokkiperheiden keskuudessa flunssa ilman kuumetta oli yhtä yleistä; sekä tapauksista että verrokeista 76 % oli sairastanut viimeisen vuoden aikana. Flunssakerrat vaihtelivat kuitenkin suuresti; suurin osa verrokeista oli sairastanut flunssan vain kerran (34 %) tai kaksi (24 %) viimeisen vuoden aikana, kun taas tapauksista osa oli sairastanut flunssan jopa 12 kertaa. Tapauksista 65 % oli sairastanut nuhakuumetta viimeisen vuoden aikana; verrokeista 41 %. Sairastamiskertojen lukumäärä vaihteli samoin kuin flunssan kohdalla: verrokeista suurin osa oli sairastanut nuhakuumeen vain kerran tai kahdesti, tapaukset huomattavasti useammin. Angiinan ja keuhkokuumeen kohdalla oli selvä ero tapausten ja verrokkien välillä; verrokeista ei kukaan ollut sairastanut kyseisiä

sairauksia kuluneen vuoden aikana; tapauksista 11 % oli sairastanut angiinan ja 2 % keuhkokuumeen. Korvatulehdus oli ollut 20 %:lla tapauksista, verrokeista 5 %:lla, ja korvatulehduskertojen määrä oli 2–3 sekä tapauksilla että verrokeilla. Poskiontelotulehdus oli myös yleisempää tapauksilla (28 %) kuin verrokeilla (5 %) samoin kuin keuhkoputkentulehdus; tapauksilla 27 % ja verrokeilla 2 %.

## 2.4 Kyselylomakkeen vastausten yhteenveto

Suurin osa tapauksista asui 1990-luvulla rakennetuissa taloissa. Nämä perheet jakaantuivat lähes tasan rivitaloihin, kerrostaloihin ja omakotitaloihin. Oireita koettiin eniten kerrostaloasunnoissa. Oireiden kokeminen painottui pääosin 1990-luvulla rakennettuihin taloihin. Verrokkiperheistä lähes puolet asui 1950-luvulla tai aiemmin rakennetuissa taloissa.

Erityisesti tunkkaisuutta/tunkkaisuuden tuntua ja hajuhaitan kokemista (epämiellyttävää hajua) raportoitiin joka viikkoisena häirtana tapausperheiden keskuudessa. Verrokkiperheillä eniten raportoitiin pölyhaittaa. Pölyllä oli yhteys allergisiin nuhaoireisiin, astmaan sekä silmäoireisiin, yskään ja hengenahdistukseen. Tapauksen ja verrokkien siivoustottumukset erosivat huomattavasti toisistaan. Tapausperheissä imuroitiin jopa päivittäin, kun taas verrokkiperheissä keskimäärin 1–2 kertaa viikossa. Mitä useammin asunnossa imuroitiin, sitä enemmän kärsittiin viikoittain toistuvasta yskästä. Suurin osa niistä perheistä, jotka imuroivat vain kerran viikossa ei kärsinyt viikoittain toistuvasta yskästä lainkaan. Asunnon sisäilman tunkkaisuuteen ei useilla imurointikerroilla ollut vaikutusta. Ilmanvaihdon tyypillä (painovoimainen, koneellinen poisto, koneellinen tulo/poisto = kyselylomakkeen vastausvaihtoehdot) ei ollut yhteyttä asunnon viihtyvyystekijöihin eikä kotona koettuihin oireisiin (ilmanvaihdon toimivuutta ei tarkistettu/mitattu). Asunnossa tapahtuneella kosteus/vesivauriolla ei myöskään ollut vaikutusta koettuihin oireisiin. Huomattavaa oli asunnossa käytetyn lattiamateriaalin vaikutus tunkkaisuuden ja hajuhaitan kokemiseen. Lattiamateriaalin valinnalla oli vaikutusta myös silmäoireiden sekä hengenahdistuksen ja yskän esiintymisen kanssa.

Yleisimpiä allergiaoireita aiheuttivat siitepöly ja heinät, tapausperheet raportoivat lisäksi erilaisista ruoka-aineallergioista sekä eläinallergioista. Lemmikkieläinten pidolla ei kuitenkaan ollut yhteyttä koettuihin oireisiin tai kodin viihtyvyystekijöihin.

Tapausperheiden jäsenet viettivät kotona hieman enemmän aikaa kuin verrokkiperheiden jäsenet. Tällä seikalla ei kuitenkaan todettu olevan yhteyttä asunnossa koettuihin oireiluihin ja asuinympäristön kokemiseen. Väsymys, sekä nenä-, silmä- ja kurkkuärsytysoireet olivat yleisimpiä kotonakoettuja oireita sekä naisilla että miehillä. Nämä oireet olivat yleisimpiä tapausperheissä. Verrokkiperheiden miesten ja lasten oireiden esiintyminen oli huomattavasti vähäisempää kuin tapauksen kohdalla. Huomattavaa on, että verrokkiperheiden naiset kokivat oireita enemmän töissä kuin kotona, kun taas tapausperheiden naisten oirehtivat enemmän kotona. Tapaukset sairastivat myös huomattavasti useammin infektiota kuin verrokkit.

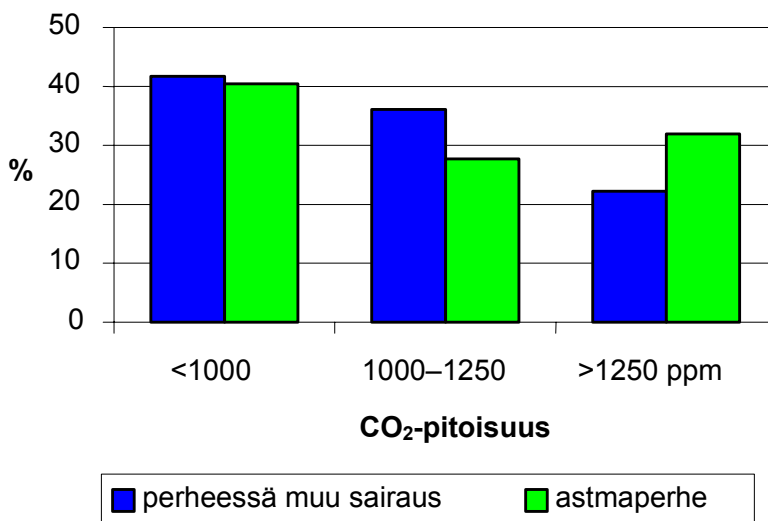
## **2.5 Tulokset: Iho- ja allergiasairaalan suorittamat kotikäynnit**

Kuntoutushoitajan 83 kotikäynnin perusteella ilmanvaihto oli riittämätöntä 77 %:ssa tarkastetuista asunnoista. Tämä on yhtenevä kokemuksiin, joita kuntoutushoitajalla on kotikäynneistään Iho- ja allergiasairaalan potilaiden koteihin ylipäätään: 707 tarkastetussa kohteessa hän on todennut puutteellisen ilmanvaihdon 83 % asunnoista (Malmberg 2002). Tavallinen löydös on mm. riittämätön korvausilman saanti. Sisäilmatutkimuskohteista 36 % asunnoista hän kirjasi korvausilmaa tulevan postiluukusta. Ilmanvaihdon tehottomuutta kuvaa myös huoneilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus. Kuntoutushoitajan kotikäynnillä mitattaman 83 asunnon olo/makuuhuoneen CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mediaani oli 1090 ppm ja vaihtelu 55–2330 ppm (Taulukko 10).

Taulukko 10. CO<sub>2</sub> mittausten tulokset.

N=83 asuntoa; olo- tai makuuhuoneet					
CO <sub>2</sub> -pitoisuus (ppm)					
Aritmeettinen keskiarvo	Mediaani	Vaihteluväli	25 % persentiili	75 % persentiili	90 % persentiili
1101	1090	55–2330	840	1280	1480

Astmaa tai astmankaltaista hengenahdistusta potevien henkilöiden asunnoissa CO<sub>2</sub>-pitoisuudet eivät eronneet muusta syystä tutkimuksiin tulleiden asunnoista mitatuista (Mann-Whittney,  $p > 0,05$ ) (Kuva 19).



Kuva 19. Kuntoutushoitajan kodin olo- ja makuuhuoneen ilmasta mitaaman CO<sub>2</sub>-pitoisuuksien jakaumat asunnoissa, joissa asui astmaa tai astmaattista hengenahdistusta sairastavia ja muita sairauksia potevia/ muuten oirehtivia.

Kuntoutushoitaja oli antanut asukkaille ohjeen pitää ikkunat suljettuna eli tuuletamatta n. 4 tuntia ennen kotikäyntiä poikkeavien hajujen toteamiseksi. Kolmannes asunnoista tuntui kotikäynnillä tunkkaiselta. Ainoastaan 22 asunnossa (25 %) ilma oli tarkastajan mielestä raikkaan tuntuinen (Taulukko 11).

Taulukko 11. Kuntoutushoitajan kotikäynnillä tekemä arvio ilman laadusta.

Haju	Esiintyvyys /asuntojen lkm (suluisissa %-osuus)
Ei hajua	22 (25,2 %)
Ummehtunut, tunkkainen haju	45 (51,7 %)
Homeen, maakellarin haku	3 (3,4 %)
Ummehtunut ruoan haju	4 (4,5 %)
Eläinten haju	3 (3,4 %)
Tupakan haju	3 (3,4 %)
Pesupulverin haju	3 (3,4 %)
Imelä haju	2 (2,3 %)
Hajusteen haju	1 (1,1 %)
Muovin haju	1 (1,1 %)

Kotikäynnillä otettujen teippi- ja/ tai materiaalinäytteiden perusteella mikrobiologisissa viljelytutkimuksissa todettiin viitettä alkavasta vesivauriosta tai selvä homevaurio yhteensä 21 kylpyhuoneessa (23 % asunnoista). Lisääntynyttä kosteutta- ja/tai homekasvustoa löytyi myös yksittäisissä asunnoissa saunasta (3), putkiroilosta (1), keittiön seinästä (2), kattorappauksesta (1) ja lattiarakenteesta (1 asunnoista). Kosteus- ja homeongelma oli aiemmin todettu 5 asunnossa (50 %), mutta vauriot oli korjattu ennen sisäilmamittauksia. Useimmiten kosteus- ja homevauriot olivat hyvin pieniä ja paikallisia. Homekasvustojen esiintymisessä ei ollut eroa astmaatikkokojen perheissä verrattuna muusta syystä tutkittujen asuntoihin ( $\chi^2$ -testi,  $p>0,05$ ).

## 2.6 Tulokset: Iho- ja allergiasairaalassa tehdyt kliiniset kokeet

Iho- ja allergiasairaalan potilaiden tutkimisesta saatujen tietojen keruun ja käsittelyn suoritti tutkijalääkäri (HMR). Tietosuojan säilymiseksi ainoastaan tutkijalääkäri (HMR) on osallistunut kliinisten tietojen käsittelyyn. Kliinisten tietojen koontilomakkeet (liite A) säilytettiin lukitussa kaapissa ja ne hävitetään tutkimuksen päätyttyä. Tutkijalääkäri tallensi koontilomakkeen tiedot SPSS-ohjelmiston tiedostoksi ja yhdisti näin saadun tiedoston kyselytutkimuksen ja sisäilmamittausten tuloksista koottuun tiedostoon. Tilastollisia ajoja varten em. yhdistelmä tiedosto oli käytettävissä ainoastaan tutkijalääkärillä. Yhdistelmä tiedoston tulokset koottiin taulukoiksi, joista yksittäisten potilaiden tuloksia ei voi erottaa.

Lääkärin vastaanotolla sisäilmaongelmaisista potilaista tehdyt statuslöydökset ovat usein melko niukat ja niiden kirjaaminen potilaan sairaskertomukseen on hyvin vaihtelevaa. Siksi statuslöydöksiä ei koottu kliinisten tulosten tiedostoon. Eri tutkimuksiin osallistuneiden määrät vaihtelivat suuresti, koska kullekin potilaalle lääkärit ovat tilanneet vain potilaan diagnoosin teon kannalta oleelliset tutkimukset. Esimerkiksi astmaa epäiltäessä tavallisia tutkimuksia aikuisilla oli keuhkofunktio- ja hengityksen peak-flow-seuranta, spirometria ja histamiinialtistus keuhkoputken ahtauman selvittämiseksi ja allergiatutkimuksina erilaiset ihopistotestit. Infektioselvittelyinä tilataan usein keuhko- tai poskionteloröntgenkuva ja perusverikokeita. Keuhkoputken limakalvon inflammatio- ja leukosyyttien selvittämisessä yskösnäyte (eosinofiilien kationisen proteiinin (ECP) tai neutrofiilisten valkosolujen tuottaman myeloperoksidaasin (MPO) määrittäminen) ja keuhkojen uloshengityksen NO-määrittäminen ovat osoittautuneet erittäin hyviksi (Metso ym. 2002, Metso ym. 2001). Yskösnäyte otettiin lähinnä aikuisilta. Harvinaisten allergeenien reaktioita (IgE-välitteiset) tutkitaan ns. immunospot-tutkimuksella. Myös formaldehydin IgE-luokan vasta-aineet voidaan määrittää. Keuhkokudoksen sairautta epäiltäessä on voitu suorittaa myös korkean erotuskyvyn tietokonetomografiatutkimuksia ja keuhkojen tähytystutkimus eli bronkofiberoskopia ja lisäksi kaasujenvaihtotutkimuksena diffuusiokapasiteettikoe (liite A).

Lääkärin vastaanotolla tutkittaville teetettyjen funktio-, röntgen- ja laboratoriotutkimusten tulokset on koottu taulukkoihin 12–20.

### **2.6.1 Keuhkofunktio- ja hengitystutkimukset**

Yleisin lääkärintutkimuksiin lähettämisen syy oli hengenahdistus (taulukko 1, sivu 15). Hengitysfunktiota on päädytty sairaalassa tutkimaan poikien ja miesten kohdalla lähes kaikilta (taulukko 12). Yli 80 % lapsista ja nuorista keuhkoputken ahtausta ei spirometriatutkimuksessa tullut esiin. Sen sijaan miehistä vain 56 % ja naisista 74 %:lla spirometriatulokset olivat normaali. Keuhkojen supisteluherkkyys histamiinikokeen perusteella oli yleistä erityisesti aikuisilla miehillä.



Taulukko 12. Keuhkofunktio tutkimusten tulokset.

Tutkimus ja sen tulos	Lapset/ nuoret pojat <15-v.	Lapset/ nuoret tytöt <15-v.	Miehet >14-v.	Naiset >14-v.	Kaikki
Spirometria	24/26	15/20	32/32	53/59	124/137
-normaali	14 (58 %)	9 (50 %)	18 (56 %)	39 (74 %)	80 (65 %)
-lievä ahtauma	4 (16,7 %)	1 (6,7 %)	11 (34 %)	11 (21 %)	27 (22 %)
-keskivaikkea ahtauma	-	-	3 (9,4 %)	1 (1,9 %)	4 (3,3 %)
-vaikea ahtauma	-	-	-	1 (1,9 %)	1 (0,7 %)
-keuhkojen jäykkyys	-	-	-	1 (1,9 %)	1 (0,7 %)
-oskillometria #	6 (25,3 %)	5 (33 %)			11 (8,9 %)
Histamiinialistutus	3/47	4/17	18/32*	35/59	60/137
-normaali	3 (100 %)	3 (75 %)	10 (56 %)	26 (74 %)	42 (70 %)
-lievä supistustaipumus	-	1 (25 %)	4 (22 %)	7 (20 %)	11 (18,3 %)
-kohtalainen --	-	-	4 (22 %)	-	5 (8,3 %)
-vaikea --	-	-	-	(5,7 %)	(0,3 %)
Peak-flow- puhallus seuranta	12/26	5/20	26/32	48/59	91/137
-normaali	10 (83 %)	4 (80 %)	23 (85 %)	37 (73 %)	74 (81 %)
-astmaattinen vaihtelu	1(8,3 %)	-	2 (7,4 %)	5 (9,8 %)	(8,8 %)
-tason lasku, taso vakaa	1(8,3 %)	1 (20 %)	1 (3,7 %)	6 (5,9 %)	9 (9,9 %)

$\chi^2$ -testi, \* p<0,05 \*\* p<0,01; verrattu poikia ja tyttöjä keskenään tai miehiä ja naisia keskenään  
# pienille lapsille tehty oskillometriakoe, joka oli tulokseltaan kaikilla normaali

## 2.6.2 Röntgentutkimukset

Potilaiden keuhkoröntgenkuvista löytyi tulehdusmuutoksia erittäin harvoin (Taulukko 13). Poskionteloröntgenkuvissa tavallinen löydös oli limakalvoturvotus erityisesti pojilla (42 % tutkituista). Tutkituista ainoastaan tytöillä löytyi märkäisiä poskiontelotulehduksia eli sinuiitteja.

Taulukko 13. Röntgentutkimusten tulokset.

Tutkimus ja sen löydös	Lapset/ nuoret pojat <15-v.	Lapset/ nuoret tytöt <15-v.	Miehet >14-v.	Naiset >14-v.
	Keuhkoröntgenkuva -normaali -poikkeava#	16/26 14 (88 %) 2 (12 %)	9/20 8 (89 %) 1 (11 %)	21/32 18 (86 %) 3 (14 %)
Poskionteloröntgenkuva -normaali -limakalvon turvotus -poskiontelo kokonaan varjostunut = sinuiitti -polyyppi/ kysta	19/26* 10 (53 %) 8 (42 %) - 1 (5,3 %)	13/20 6 (46 %) 2 (15,4 %) 5 (39 %) -	24/32 16 (67 %) (25 %) - (8,4 %)	37/59 24 (67 %) 12 (33 %) - 1 (1,7 %)
Keuhkojen HRCT-tutkimus -normaali	-	1/20 1	1/32 1	1/59 1

# juosteisuuslisää

$\chi^2$ -testi \* p<0,05 \*\* p<0,01; verrattu poikia ja tyttöjä keskenään tai miehiä ja naisia keskenään

### 2.6.3 Hengitysteiden inflammaatiotulehduksen selvittely

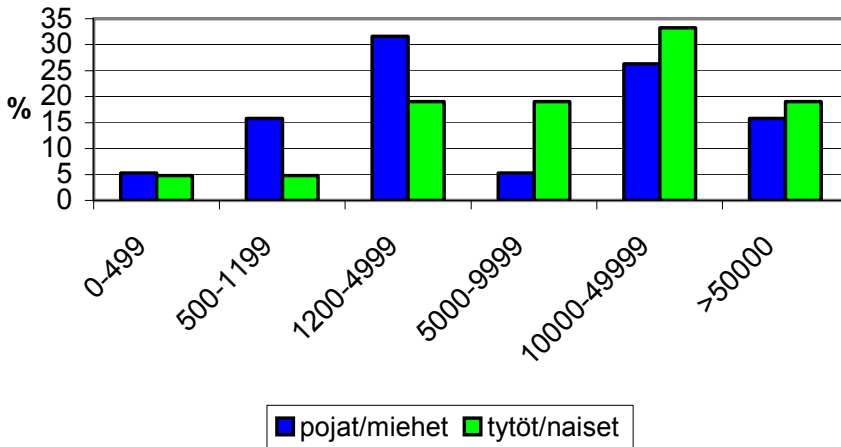
Eosinofiilien kationinen proteiini (ECP) kuvaa eosinofiilisten valkosolujen tuottaman emäksisen proteiinin määrää. ECP-pitoisuuden on usein todettu olevan koholla ysköksessä tai seerumissa erityisesti astmapotilailla (Venge ym. 1999). Myeloperoksidaasin (MPO) löytyminen ysköksestä viittaa neutrofiilisten valkosolujen esiintymiseen limakalvoilla. Neutrofiilisia valkosoluja tarvitaan puolustusreaktioissa mm. bakteeri- tai virusperäisissä infektioissa.

Lapsilla ja nuorilla ECP-pitoisuuksissa ei todettu kohonneita arvoja, sen sijaan aikuisista 24 %:lla arvo oli yli viitearvon. MPO-pitoisuus oli kaikilla lapsilla ja nuorilla yli viitearvon, aikuisistakin 76 %:lla arvo oli koholla. ECP- ja MPO-pitoisuudet korreloivat toisiinsa,  $r_s = 0,913$ ,  $p < 0,001$  (Kuvat 20–21, Taulukko 14). ECP- ja MPO-pitoisuuksissa ei ollut todettavissa yhteyttä yskösnäytteen antajan atopiatapumukseen (Taulukko 15).

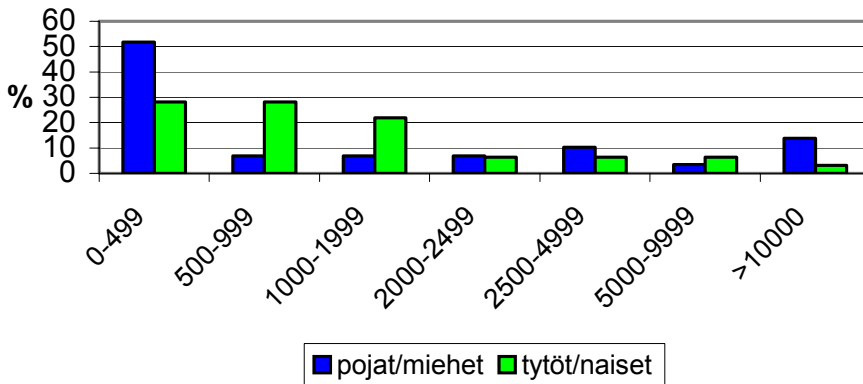
Taulukko 14. Ysköstutkimusten löydökset.

Ysköstutkimus ja sen tulos	Lapset/nuoret Pojat <15-v.	Lapset/nuoret Tytöt <15-v.	Aikuiset miehet >14-v.	Aikuiset naiset >14-v.	Kaikki yhteensä
Eosinofiilien kationisen proteiinin (ECP)-pitoisuus (µg/l)	/26	-/20	27/32	32/59	62/137
aritmeettinen keskiarvo	378	-	3141	1819	2277
mediaani	305		579	903	760
geometrinen keskiarvo	281		822	806	750
vaihteluväli	<100–730		<100–14280	<100–14180	<100–14280
yli viiterajan (>2500µg/l)	0 %		32 %	18 %	24 %
Myeloperoksidaasin (MPO) pitoisuus (µg/l)	2/26	-/20	17/26	21/59	40/137
aritmeettinen keskiarvo	6678		18123	19002	18012
mediaani	6678		4705	12250	8675
geometrinen keskiarvo	6678		5772	9365	7465
vaihteluväli	4055–9300		90–>50.000	495–>50.000	90–>50.000
yli viiterajan (>1200µg/l)	100 %		71 %	81 %	78 %
Ysköksen solujakauma# Eosinofiiliset valkosolut					60/137 37 (62 %)
- = ei todettavissa					16 (27 %)
+					(33 %)
2+					(50 %)
3+					(33 %)
4+					
Neutrofiiliset valkosolut					4 (72 %)
- = ei todettavissa					17 (30 %)
+					20 (35 %)
2+					13 (23 %)
3+					3 (5,1 %)
4+					

# mikroskopoimalla tehty semikvantitatiivinen solujakaumatutkimus



Kuva 20. Ysköksen ECP-pitoisuusjakauma (%). Viitearvon raja on 2 500 µg/l.



Kuva 21. Ysköksen MPO-pitoisuuksien jakauma (%): Viitearvon raja on 1 200 µg/l.

Taulukko 15. Yskösnäytteiden tulokset ja atooppisuus.

	Ei-atooppinen	Atooppinen
MPO-pitoisuus N=5 <1200 µg/l*	3 (11 %)	2 (20 %)
MPO-pitoisuus N=32 >1199 µg/l	24 (89 %)	8 (80 %)
ECP-pitoisuus N=43 <2500 µg/l	27 (75 %)	16 (80 %)
ECP-pitoisuus N=13 > 2499 µg/l	9 (25 %)	4 (20 %)

\* viitearvon yläraja

Tupakointi keuhkoputken limakalvoa ärsyttävänä tekijänä lisää MPO:n määrää hengitysteiden limakalvolla (Ekberg-Jansson ym. 2001). Tupakoijilla MPO-pitoisuudet olivat kaikilla koholla (>1 200 µg/l). Ei-tupakojien ryhmässä koholla olevia arvoja oli 86 %:lla.

MPO-pitoisuus on usein todettu kohonneeksi sisäilmaongelmaisella, minkä vuoksi on esitetty, että sitä voitaisiin käyttää kliinisissä tutkimuksissa markkerina epäiltäessä sisäilmaongelmaa (Metso ym. 1993, Mussalo-Rauhamaa ym. 2000). MPO-pitoisuus suurenee myös mm. virustulehduksissa, minkä vuoksi MPO-tulosta tulee tulkita harkiten.

#### 2.6.4 Allergiatutkimukset

Lapsuudessa astma ja allergia ovat usein pojilla tyttöjä yleisempiä. Teini-ikään jälkeen naisilla astmasairastavuus lisääntyy ja se on vanhemmalla iällä yleisempää kuin miehillä (Sennhauser & Kuhni 1995).

Kun atopian määritelmänä pidetään 2 tai useampi yli 2 mm reaktio prick-ihopistotestissä oli alle 15-vuotiaista pojista 39 % ja tytöistä 11 % luokiteltavissa atooppisiksi. 15-vuotiaista ja sitä vanhemmista miehistä 37 % ja naisista 40 % oli atooppisia. Atooppisten on usein väitetty olevan herkempiä saamaan oireita sisäilman saasteista. Tämän tutkimuksen tulos ei selkeästi puolla tätä väitettä.

Tasoteaineille ihopistotesteissä sai reaktion kaksi naista. Tasoteaineiden on osoitettu voivat aiheuttaa IgE-välitteisen herkistymisen (Mäkinen-Kiljunen & Mussalo-Rauhamaa 1999, 2002). Homeille herkistyminen on harvinaista (Taskinen ym. 1997). Tässä työssä 5 (5,5 % tutkituista aikuisista) sai ihopistotestissä >2 mm reaktion jollekin/joillekin homeille. Reaktiot olivat yleensä vähäisiä, 3 mm:n luokkaa. Reaktion antoi *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus* ja *Cladosporium cladosporioidea* homeet. Yhden potilaan osalta tutkittiin IgE-luokan vasta-aineita formaldehydiä vastaan, mutta niitä ei löytynyt.

Viivästyneen allergian tutkimiseksi tehtiin epikutaanitestejä 3 miehelle ja 9 naiselle tutkimalla mm. perussarja ja säilyteainesarja. Ainoastaan yhdellä henkilöllä todettiin positiivinen reaktio (nikkeli).

Nenäsolututkimus tehtiin 44 tutkituista potilaista. Heistä eosinofilisia valkosoluja ei löytynyt nenäsolunäytteestä 22:lta (71 %), seitsemän oli ko. soluja semikvantitatiivisella luokituksella yhden plussan verran (23 %) ja yhdellä kahden (3,2 %) ja yhdellä kolmen plussan (3,2 %) verran.

*Taulukko 16. Allergiaselvittelyiden tulokset.*

Tutkimus ja sen tulos	Lapset/ nuoret Pojat <15-v.	Lapset/ nuoret tytöt <15-v.	Aikuiset miehet >14-v.	Aikuiset naiset >14-v.
Kokonais IgE	12/26	9/20	22/32	35/59
aritmeettinen keskiarvo	825	98	864	404
mediaani	49	20	50	38
geometrisen keskiarvo	74	34	85	58
vaihteluväli	2–8372	2–353	2–15610	6–5230
yli viitearvon (aikuiset <110 kU/l lapset < 320 kU/l/ 8-14v)	42 %	0 %	32 %	23 %
Prick-ihopistotesti # Yksi tai useampia >2 mm reaktio =poikkeava				
Perussarja normaali	26/26 16 (62 %)	18/20 (72 %)	29/32 16 (55 %)	54/59 30 (56 %)
poikkeava	10 (38 %)	5 (28 %)	13 (45 %)	24 (44 %)
Ruokasarja normaali	12/26 7 (58 %)	11/20 11 (100 %)	6/32 3 (50 %)	15/59 11 (73 %)
poikkeava	(42 %)	-	3 (50 %)	4 (27 %)
Homesarja normaali	14/26 14 (100 %)	6/20 6 (100 %)	20/32 19 (95 %)	35/59 31 (89 %)
poikkeava	-	-	1 (5 %)	4 (11 %)
Punkkisarja normaali	9/26 8 (89 %)	6/20 6 (100 %)	21/32 19 (91 %)	38/59 32 (84 %)
poikkeava	1 (11 %)	-	2 (9 %)	6 (16 %)
Tasoiteainesarja normaali	-/ 26 -	-/ 20 -	11/ 32 11 (100 %)	15 / 59 13 (87 %)
poikkeava	-	-	-	2 (13 %)
Kasvis-maustesarja normaali	5/26 4 (80 %)	5/20 5 (100 %)	6/32 5 (83 %)	14/59 13 (93 %)
poikkeava	1 (20 %)	-	1 (17 %)	1 (7 %)
Viherkasvisarja normaali	1/26 -	-/20 -	4/32 4 (100 %)	12/59 9 (75 %)
poikkeava	1 (100 %)	-	-	3 (25 %)

# suluissa testiin osallistuneiden %-osuus tutkituista ryhmässään

## 2.6.5 Peruslaboratoriotutkimukset

Sisäilmaongelmaiset raportoivat kärsivänsä ärsytysoireiden lisäksi usein infektiosta. Tutkimuksiin tullessa potilaiden veren tulehdusmittareista lasko tai CRP oli koholla vain lähinnä naispuolisilla potilailla (Taulukko 17). Noin puolella naispotilaista lasko oli yli viitearvon. Näillä potilailla useallakaan ei kuitenkaan löytynyt selvää tulehdusfokusta. Trombosyttimäärissä ja valkosolujakaumissa poikkeamat viitearvoista olivat harvinaisia, mikä myös viittaa siihen että sairaalaan tulovaiheessa ei tutkittavilla ollut esimerkiksi infektiioon sopivia muutoksia (Taulukko 18).

*Taulukko 17. Perusverikokeiden tuloksia.*

Tutkimus	Lapset/ nuoret Pojat <15-v.	Lapset/ nuoret tytöt <15-v.	Aikuiset miehet >14-v.	Aikuiset naiset >14-v.
CRP	6/26	3/20	9/32	17/59
aritmeettinen keskiarvo	<10	<10	<10	<10
mediaani	<10	<10	<10	<10
geometrinen keskiarvo	<10	<10	<10	<10
vaihteluväli		<10–22	<10–16	<10–59
yli viitearvon (aikuiset ja lapset <10 mm)	0 (0 %)	1 (33 %)	1 (11 %)	2 (12 %)
LA (lasko)	13/26	8/20	25/32	42/59
aritmeettinen keskiarvo	<10	<10	<10	<10
mediaani	<10	<10	<10	<10
geometrinen keskiarvo	<10	<10	<10	<10
vaihteluväli	<10–17	<10–24	<10–24	<10–36
yli viitearvon (aikuiset <10 mm lapset 1–15 mm /0–16 v.)	2 (15,4 %)	3 (38 %)	3 (12 %)	20 (48 %)

Taulukko 18. Veren trombosyytti- ja valkosolujakaumat.

Tutkimus	Lapset/nuoret < 13-v.	Aikuiset > 12-v.
leukosyyttimäärä x10 <sup>9</sup> /l	6 /46	17/91
aritmeettinen keskiarvo	7,3	6,4
mediaani	6,0	6,9
geometrinen keskiarvo	7,1	6,2
vaihteluväli	5,6–11,0	–10
yli viitearvon	0 %	0 %
(aikuiset 4–10) (lapset 4–13)		
trombosyyttimäärä x10 <sup>9</sup> /l	14/46	57/91
aritmeettinen keskiarvo	293	254
mediaani	291	245
geometrinen keskiarvo	285	246
vaihteluväli	152–424	141–439
yli viitearvon	2 %	10 %
(aikuiset 140–320) (lapset 152–423)		
neutrofiiliset valkosolut osuus %	9/46	52/91
aritmeettinen keskiarvo	46	59
mediaani	50	59
geometrinen keskiarvo	44	58
vaihteluväli	26–60	42–81
yli viitearvon	0 %	0 %
aikuiset 41–81 (lapset 7–12 v. 26–60 %)		
lymfosyyttiset valkosolut osuus %	10/46	52/91
aritmeettinen keskiarvo	46	31
mediaani	45	31
geometrinen keskiarvo	44	30
vaihteluväli	27–63	–50
yli viitearvon	0 %	4 %
(aikuiset 20–45 lapset 27–63 %)		
eosinofiiliset valkosolut osuus %	12/46	52/91
aritmeettinen keskiarvo	5	4
mediaani	5	3
geometrinen keskiarvo	4	-
vaihteluväli	1–12	0–12
yli viitearvon	0 %	10 %
(aikuiset 1–6 % lapset 7–12 v. 1–12 %)		



Taulukko 18. Jatkoa...

monosyyttiset valkosolut osuus %	11/46	50/91
aritmeettinen keskiarvo	5	6
mediaani	5	6
geometrinen keskiarvo	4	6
vaihteluväli	1–8	2–13
yli viitearvon (aikuiset ja lapset 1–8 %)	0 %	6,6 %

## 2.6.6 Muut tutkimukset

Seitsemälle potilaalle tehtiin ns. immunospot-tutkimus, jolla voidaan tutkia huonepölyn komponenttien mahdollista IgE-välitteistä reaktiota tutkittavan potilaan veren kanssa. Näissä tutkimuksissa ilmeni yhdessä tapauksessa viitettä herkistymisestä punkeille ja kahdessa viitettä IgE-välitteisestä reaktiosta kodin tai työpaikan huonepölyyn.

Kolmelle potilaalle jouduttiin tekemään keuhkojen tähystys eli bronkoskopia, koska epäiltiin keuhkon peruskudoksen eli parenkyymien sairautta. Kahdella heistä todettiin keuhkojen bronkoalveolaarikudoksen (BAL)-huuhtelunäytteessä lymfosyyttisten valkosolujen määrän lisääntyminen (lymfosytoosi) merkinä siitä, että heillä keuhkoissa on tapahtunut ns. immunologisen puolustusreaktion aktivaatio.

IgG-luokan homevasta-ainemäärityksiä tehtiin 23 aikuisen ja 5 lapsen verestä, (Taulukko 19). IgG-luokan vasta-aineita elimistö tuottaa puolustusreaktioitaan varten. Immunoglobuliinivasta-ainetuotannon tiedetään käynnistyvän hitaasti lapsuusiässä. IgG-luokan homevasta-aineita löytyy lähes kaikilta aikuisilta suomalaisilta (Makkonen ym. 2001). Lapsilla IgG homevasta-ainepitoisuudet olivat yleensä vähäisempiä kuin aikuisilla. Homevasta-aineiden esiintymisen katsotaan osoittavan, että henkilö on altistunut joskus ko. homeelle. Vasta-aineet säilynevät verenkierrossa vuosia.

IgG-homevasta-ainepitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi useammin koholla niillä yli 14-vuotiailla asukkailla, joiden asunnossa oli korjattu homevaurio tai kuntoutushoitaja oli löytänyt homekasvustoa (*Cephalosporium acremonium*,  $p < 0,01$ ; *Phoma betae*  $p < 0,01$ ; *Stachybotrys atra*  $p < 0,01$ ; *Aspergillus versicolor*  $p < 0,01$ ). Lapsilla homevasta-aineiden pitoisuuksissa ei eroja todettu.

*Cephalosporium acremonium*in IgG-luokan vasta-aineet olivat 4:lla (18 %), *Fusarium moniliformiksen* 6:lla (26 %), *Stachybotrys atran* 4:lla (18 %), *Aspergillus versicolorin* 2:lla (9 %) ja *Thermoactinomyces vulgariksen* 3 henkilöllä (3,3 % tutkituista) yli 90 %:n persentiilin viitearvon.

Taulukko 19. IgG- homevasta-ainepitoisuudet.

Tutkimus	Lapset/ nuoret  <15-v.	Aikuiset  >14-v.	Viitearvot (Pharmacia)	
			mediaani	90 % persenttiili
<i>Cephalosporium acremonium</i> aritmeettinen keskiarvo mediaani geometrinen keskiarvo vaihteluväli	5/46 28,1 5,0 7,6 <2–121	23/91 12,8 7,8 8,9 2,6–48,9	8,1	28,7
<i>Phoma betae</i> aritmeettinen keskiarvo mediaani geometrinen keskiarvo vaihteluväli	4/ 3,3 2,8 3,0 <2–6	23/ 2,8 2,2 2,6 <2–6	1,8	7,5
<i>Stachybotrys atra</i> aritmeettinen keskiarvo mediaani geometrinen keskiarvo vaihteluväli	4/ 3,0 3,0 2,8 <2–4	23/ 5,4 3,6 3,9 <2–18,6	4,4	10,9
<i>Fusarium moniliformis</i> aritmeettinen keskiarvo mediaani geometrinen keskiarvo vaihteluväli	4/ 10,6 8,6 9,1 5–20	23/ 44,6 11,3 18,6 3–200	7,9	45,6
<i>Aspergillus versicolor</i> aritmeettinen keskiarvo mediaani geometrinen keskiarvo vaihteluväli	4/ 41,4 19,4 14,6 2,8–124	22/ 37,2 20,7 23,1 2,5–200	29,7	100
<i>Thermoactinomyces vulgaris</i> aritmeettinen keskiarvo mediaani geometrinen keskiarvo vaihteluväli	4/ 7,4 6,6 5,4 <2,0– 14,2	23/ 15,0 13,8 10,5 <2,0–39,2	24,9	34,4

## 2.6.7 Kliinisten tutkimusten perusteella tehdyt diagnoosit

Sairaalatutkimuksissa tavallisin annettu diagnoosi oli astma (Taulukko 20). Kaikkiaan 71 potilaalla (52 % kliinisesti tutkituista) oli diagnosoitu astma tai astmankaltainen tila jossain vaiheessa elämäänsä. Heistä 31:lla oli 'vanha astma', joka 20 kohdalla oli vaikeutunut niin, että sen vuoksi oli ollut tarpeen hakeutua sairaalatutkimuksiin. Sairaalatutkimuksissa astmadiagnoosin sai lisäksi 30 tutkituista (22 % kaikista tutkituista) ja diagnoosi jäi alkavan astman epäilyksi 10 kohdalla (7,2 % kaikista tutkituista).

*Taulukko 20. Iho- ja allergiasairaalan kliinisissä tutkimuksissa asetetut diagnoosit (vain ensimmäinen annettu diagnoosi huomioitu).*

Diagnoosi	Lapset /pojat <15 v.	Lapset/ tytöt <15 v.	Aikuiset/ miehet	Aikuiset/ naiset	Kaikki yhteensä
atooppinen ihottuma	2 (7,7 %)	2 (10,0 %)	3 (9,4 %)	7 (12,1 %)	14 (10 %)
astma	13 (50 %)	8 (40 %)	8 (25 %)	21 (36 %)	50 (38 %)
astmaepäily/ dyspnea	6 (23,0 %)	1 (5,0 %)	1 (3,1 %)	4 (8,5 %)	12 (8,7 %)
toistuvat poskiontelo- tulehdukset	-	3 (15,0 %)	2 (6,3 %)	4 (6,9 %)	9 (6,6 %)
yskä	2 (7,7 %)	-	2 (6,3 %)	3 (5,2 %)	7 (5,1 %)
nuha / nenäntukkoisuus		1 (5,0 %)	9 (28,1 %)	12 (20,7 %)	22 (16,1 %)
sisäilmaongelma	-	-	1(3,1 %)	5 (8,6 %)	6 (4,4 %)
hengitystieinfektio	1 (3,8 %)	1 (5,0 %)	-	-	2 (1,5 %)
nokkosrokko	-	-	4 (12,5 %)	3 (5,2 %)	8 (5,8 %)
allergiatestaus	1 (3,8 %)	1 (5,0 %)	-	-	2 (1,5 %)
muu diagnoosi	1 (,8 %)	3 (15,0 %)	1 (3,1 %)	-	5 (3,6 %)

## **2.7 Tulosten tarkastelu: Iho- ja allergiasairaalassa tehtyjen potilastutkimusten tulosten yhteys sisäilman VOC-mittaustuloksiin**

### **2.7.1 Tulehdusvastemerkkiaineet**

Ysköksen inflammaatiomerkkiaineiden pitoisuuksien korrelaatiot asunnoista mitattuihin VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin on esitetty taulukossa 21. Ysköksen ECP-pitoisuus korreloitui ryhmätasolla eetteri- ja silyyliyhdisteiden kanssa ja yksittäisistä aineista mm. muovimatoista emittoituvan BHT:n (2,6-bis-(1,1-dimetyylietyyli-4-metyylifenoli) kanssa. Kiinnostava havainto on se, että TXIB-pitoisuus, joka tässä tutkimuksessa assosioituu hyvin moniin potilaiden raportoimiin ärsytysoireisiin, korreloitui myös lähes merkitsevästi ysköksen myelope-roksidaasi (MPO)-pitoisuuteen tutkituilla potilailla ( $p=0,079$ ). Tämä puoltaa epäilyjä, että TXIB tai jokin sen kanssa samanaikaisesti esiintyvä yhdiste voi olla syytä asukkaiden raportoimiin ärsytysoireisiin. Metiäinen ym (2003) on osoittanut, että TXIB-pitoisten muovimattojen korvaaminen uudella ei-TXIB:tä emittoivalla muovimatolla merkitsevästi vähentää asukkaiden kokemia ärsytys- ja yleisoireita. TXIB ei ole matosta emittoituva hajoamistuote, vaan valmistuksessa käytetty lisäaine (viskositeetin alentaja).

Kemiallisten yhdisteiden tiedetään saattavan vaikuttaa limakalvoon myrkyllisesti. Toksiset aineet indusoivat tulehdusreaktion (Trush ym. 1994), johon kertyy runsaasti neutrofiilisiä valkosoluja. Ne tuottavat MPO:ta limakalvolle. TXIB voi vaikuttaa toksiinin tavoin. TXIB:n on raportoitu aiheuttaneen esimerkiksi 24-tunnin ihokokeessa lievän ihon ärsytyksen ([www.eastman.com](http://www.eastman.com) 2000).

Taulukko 21. Ysköksen tulehdusmarkkereiden pitoisuuden korreloituminen potilaan asunnon sisäilman VOC-yhdisteisiin.

Yhdiste	Spearman korrelaatiokerroin $r_s$	p-arvo
ECP		
1-butanoli	0,366	0,043
3-metyyli-2-heksanoli	0,949	0,051
BHT=	0,821	0,023
2,6-bis (1,1-dimetyylietyyli-4-metyyliifenoli)		
eetteriyhdisteet #	0,250	0,065
silyyliyhdisteet#	0,244	0,072
MPO		
TXIB	0,402	0,079
1,2,3-trimetyyliβetseeni	0,745	0,021

# yhdisteryhmä

Tutkittujen henkilöiden raportoimien ärsytysoireiden frekvenssin tai asunnon sisäilman laadun ja ECP- ja MPO-pitoisuuksien välillä ei voitu osoittaa minkään tekijän suhteen tilastollisesti merkittävää korrelaatiota.

### 2.7.2 Huoneilman TXIB:n suhde potilaiden atooppisuuteen ja tupakointitottumukseen

Taulukossa 22 on esitetty tutkitut potilaat atooppisen ominaisuutensa ja asuntonsa TXIB-pitoisuuden mukaan jaoteltuna. Sekä atooppisia ja ei-atooppisia asui TXIB-pitoisissa asunnoissa. Atooppinen ominaisuus ei myöskään jaotellut ihmisiä tupakointitottumusten suhteen: tähän tutkimukseen osallistuneet atooppiset henkilöt tupakoivat yhtä usein kuin ei-atooppiset henkilöt (Taulukko 23). Tupakointi ei tämän perusteella näyttäisi olevan sekoittava tekijä arvioitaessa TXIB:n ja MPO:n välistä korrelaatiota. Ysköksen myeloperoksidaasimääritys on tehty vain pienelle joukolle tutkituista, minkä vuoksi tulosta TXIB:n ja MPO:n välisestä yhteydestä on pidettävä viitteellisenä.

Taulukko 22. Asukkaiden atooppinen ominaisuus ja heidän asuntonsa TXIB-pitoisuus.

	Ei-atooppiset (N, (%))	Atooppiset (N, (%))
TXIB-pitoisuus <20 µg/m <sup>3</sup>	48 (89 %)	24 (77 %)
TXIB-pitoisuus >19 µg/m <sup>3</sup>	6 (11 %)	7 (23 %)

$\chi^2$ -testi, p>0,05

Taulukko 23. Tutkittujen tupakointitottumus suhteessa heidän asuntonsa TXIB-pitoisuuteen ja yskösnäytteen MPO-löydökseen.

TXIB-pitoisuus <20 µg/m <sup>3</sup>	Ei-tupakoija lukumäärä	Tupakoija lukumäärä
MPO<1200	1	-
MPO>1199	12	3
TXIB-pitoisuus >19 µg/m <sup>3</sup>		
MPO<1200	-	-
MPO>1199	2	-

### 2.7.3 Röntgentutkimukset

Poskionteloröntgenkuvassa todettiin poskiontelon limakalvon turvotusta niillä tutkituilla henkilöillä, joilla asunnon huoneilmasta löytyi tavallista enemmän bentsoehappoa, fenolia, undekaania ja bentseeniä (Taulukko 24).

Taulukko 24. Poskiontelon limakalvon turvotuksen yhteys asunnon sisäilman VOC-yhdisteisiin.

Yhdiste	Sinus-röntgenkuvan löydös*		p-arvo
	Normaali	Turvotus	
Bentsoehappo	22	7	0,070
Fenoli	7	7	0,038
Undekaani	46	21	0,051
Bentseeni	32	12	0,055

\* vertailussa huomioitu vain löydökset niillä, joilla asunnon ko. yhdisteen pitoisuus on ollut yli määrittäysrajan.

## 2.7.4 Uusi astmadiagnoosi ja huoneilmasta mitatut VOC-yhdisteet

Kun tutkimukseen osallistuneet ryhmiteltiin kolmeen ryhmään 1) 'vanhat astmat', 2) uudet sairaalassa astmadiagnoosin saaneet ja 3) muut tutkimusprojektiin osallistuneet todettiin, että uusien astmaatikkojen asunnoissa oli tilastollisesti merkittävästi enemmän mm TXIB-yhdistettä kuin muissa (Taulukko 25). Tilastollisesti merkitsevästi kohonneita yhdisteiden pitoisuuksia ilmeni vain 'uusi astma'-diagnoosin saaneiden asuntojen suhteen. Tulos osoittaa, että monet eri yhdisteet voivat olla vaikuttamassa siihen, että astma syntyy. Esimerkiksi TXIB oli selittämässä 19 'uuden astman' diagnoosin saaneiden potilaiden sairastumista. Taulukossa esiintyvät ryhmät:

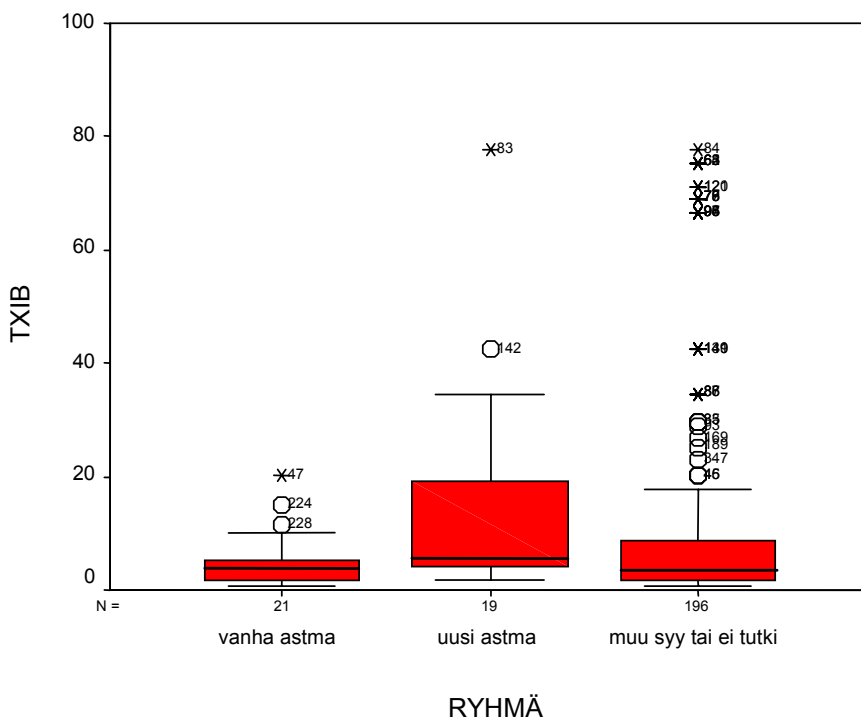
*Taulukko 25. TVOC ja yksittäisten yhdisteiden p-arvot asunnoissa jaoteltuna kolmeen ryhmään: 'vanhat astmat', 'uudet astmat' ja muut .*

	A) ryhmiä 3	B) ryhmiä 2
Yhdiste	p-arvo	p-arvo
TVOC	0,018 <sup>α</sup>	0,007 <sup>α</sup>
1-butanoli	0,025 <sup>α</sup>	0,005 <sup>α</sup>
2-etyyli-1-heksanoli		0,008 <sup>α</sup>
fenoli		0,043 <sup>α</sup>
heksanaali	0,032 <sup>α</sup>	0,075 <sup>α</sup>
oktanaali	0,045 <sup>α</sup>	
etikkahapon butyyliesteri	0,032 <sup>α</sup>	0,042 <sup>α</sup>
TXIB	0,017 <sup>α</sup>	0,018 <sup>α</sup>
dl-mentoli		0,036 <sup>#</sup>
sykloheksanoni	0,047 <sup>α</sup>	
aldehydit ryhmänä	0,065 <sup>α</sup>	
esterit ryhmänä	0,016 <sup>α</sup>	0,089 <sup>α</sup>
ketonit ryhmänä	0,022 <sup>α</sup>	0,009 <sup>α</sup>

<sup>α</sup> ryhmässä 'uusi astma' keskimäärin suurin pitoisuus <sup>#</sup> ryhmässä 'muut' keskimäärin suurin pitoisuus

A) Ryhmät: vanha astma, uusi astma ja muut. Ryhmässä 'vanha astma' on 10 henkilöä, joilla astma ei ollut vaikeutunut tutkimuksiin tullessa. Muut ryhmässä on myös henkilöitä, jotka ovat raportoineet itsellään olevan astman, mutta eivät ole kuitenkaan ole tarvinneet sairaalalutkimuksia sen vuoksi. (Kruskal-Wallis-testi)

B) Ryhmät: uusi astma ja muut. Ryhmästä muut poistettu kaikki ne henkilöt, joilla on todettu sairaalassa 'vanha astma' tai jotka ovat itse raportoineet astman, mutta eivät ole olleet nyt sairaalalutkimuksissa. (Mann-Whitney-testi)



Kuva 22. TXIB-pitoisuuden jakaumat uuden astmadiagnoosin saaneilla ja muun diagnoosin saaneilla.

## 2.8 Tulokset: sisäilman laatu

### 2.8.1 Yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet sisäilmassa

Sisäilmanäytteiden tulosten perusteella tarkempaan tarkasteluun valittiin 100 yleisimmin sekä tapaus- että verrokkiperheiden sisäilmassa tunnistettua yhdistettä. Näille yhdisteille määritettiin keskiarvot (geometrinen ja aritmeettinen) ja maksimiarvo. Taulukossa 26 on esitetty tässä tutkimuksessa tunnistettujen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet sekä ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuudet. Taulukossa 27 on esitetty yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet.



Taulukko 26. TVOC (tolueeniekvivalenttina), ammoniakki ja formaldehydi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

	Tapauserheet n=118				Verrokkiperheet n=27			
	n	GM <sup>1)</sup>	Keski-arvo	Max	n	GM <sup>1)</sup>	Keski-arvo	Max
TVOC	118	265	320	1480	27	213	258	746
AMMONIA	118	22	26	68	27	24	26	50
FA	118	15	21	83	27	21	28	60

<sup>1)</sup> geometrinen keskiarvo

### 2.8.1.1 TVOC, ammoniakki, formaldehydi

Sisäilman keskimääräinen TVOC-pitoisuus (taulukko 26) oli tapausperheissä korkeampi kuin verrokkiperheiden sisäilmanäytteissä. Myös sisäilman TVOC-pitoisuuden maksimiarvo oli suurempi tapausperheiden kohdalla. Sisäilman ammoniakkipitoisuudella ei ollut eroa tapausperheiden ja verrokkiperheiden välillä. Maksimiarvo oli hieman korkeampi tapausperheiden kohdalla. Sisäilman formaldehydipitoisuuden keskiarvo oli hieman korkeampi verrokkiperheissä ja maksimiarvo oli hieman korkeampi tapausperheiden kohdalla.

Taulukko 27. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tolueeniekvivalenttina.

	Tapausperheet n=118				Verrokkiperheet n=27			
	n	GM <sup>1)</sup>	Keski-arvo	Max	n	GM <sup>1)</sup>	Keski-arvo	Max
<b>KARBOKSYyliHAPOT</b>								
Etikkahappo	23	3	3	7	8	4	9	41
Bentsoehappo	47	2	3	12	21	3	3	5
Heksaanihappo	13	4	5	14	4	6	6	7
Heksaanihappo, 2-etyyli-	39	1	2	4	4	2	2	3
<b>ALDEHYDIT</b>								
Heksanaali	101	6	8	29	22	5	8	30
Bentsaldehydi	108	2	3	13	25	3	3	10
Dekanaali	99	5	6	22	16	4	5	10
Heptanaali	84	1	2	5	14	2	2	3
Nonanaali	104	7	8	24	16	7	7	11
Oktanaali	92	3	3	9	12	3	4	16
Pentanaali	50	2	3	10	8	4	5	8
<b>ALKOHOLIT</b>								
1-Butanoli	66	5	6	24	8	10	11	16
1-Heksanoli, 2-etyyli-	57	4	6	23	9	4	5	14
1-Propanoli	4	2	3	6	1	2	2	2
2-Butanoli	4	2	2	5	1	11	11	11
2-Propanoli	59	10	41	1573	9	4	5	11
Bentsyylialkoholi	32	2	3	22	5	2	2	8
Etanoli	93	15	35	542	18	20	25	55
<b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b>								
Dekaani	68	5	12	292	3	5	7	24
Dodekaani	98	2	3	21	27	2	3	30
Heptaani	68	2	3	33	4	2	2	2
Heksadekaani	95	2	2	5	17	2	2	5
Nonaani	86	2	4	113	14	2	2	4
Oktaani	37	2	3	34	1	1	1	1
Tridekaani	80	1	2	8	13	1	2	5
Undekaani	101	3	5	92	14	3	6	40
<b>AROMAATTISET HIILIVEDYT</b>								
Bentseeni	69	4	5	21	1	4	4	4
Bentseeni, 1,2,3-trimetyyli	26	3	5	59	9	2	2	5
Bentseeni, 1,2-dimetyyli-	14	3	4	16	13	4	5	14
Bentseeni, 1,3,5-trimetyyli-	41	2	2	11	5	2	4	13
Bentseeni, 1,3-dimetyyli-	30	4	8	56	11	3	5	13
Bentseeni, 1,4-dimetyyli-	25	4	7	37	14	4	6	32

Taulukko 27. Jatkoa...

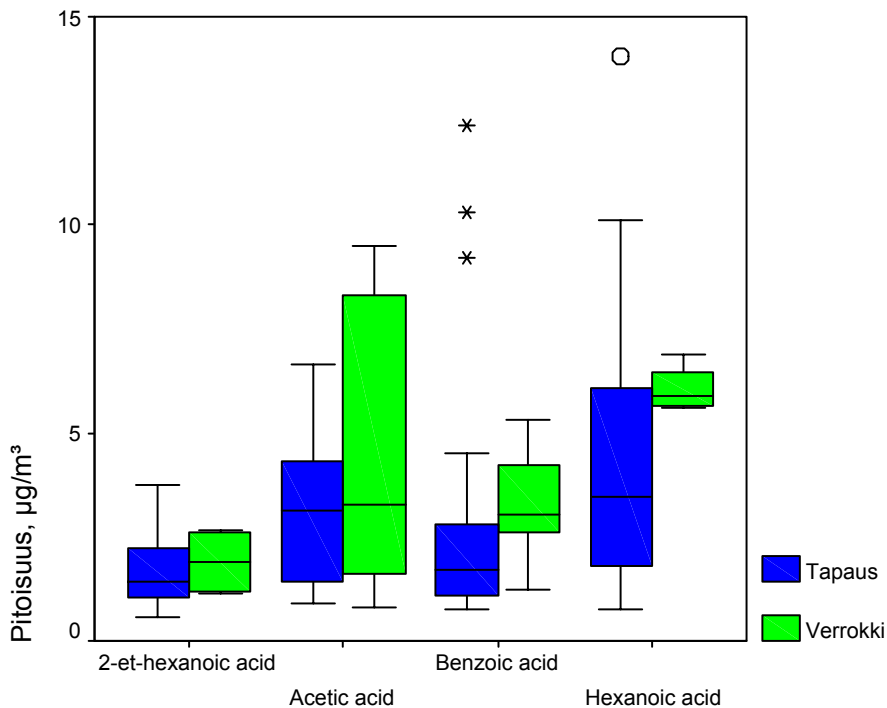
	Tapausperheet n=118				Verrokkiperheet n=27			
	n	GM <sup>1)</sup>	Keski- arvo	Max	n	GM <sup>1)</sup>	Keski- arvo	Max
Bentseeni, etyyli-	103	2	4	45	17	2	3	9
Tolueeni	116	10	19	170	25	10	12	54
Naftaleeni	13	1	1	4	4	1	2	3
Styreeni	52	1	1	5	7	1	2	3
ESTERIT								
Butyyliasetaatti	63	2	9	425	11	2	3	5
Etyyliasetaatti	63	3	11	419	11	3	5	15
Silyyliesteri	25	4	17	258	11	8	16	49
GLYKOLIT/ GLYKOLIEETTERIT/ESTERIT								
Etanoli, 2-(2-etoksietoksi)-	17	2	10	140	-			
Etanoli, 2-butoksi-	27	2	2	7	5	2	5	19
Etanoli, 2-fenoksi-	27	2	4	22	6	1	1	4
Etanoli, 2-(2-butoksietoksi)-, asetaatti	20	3	18	150	2	1	2	2
Texanol	5	2	2	4	2	1	1	2
TXIB	81	5	11	78	11	2	3	10
1,2-Propanidioli	54	8	13	60	12	6	9	31
Etanoli, 2-(2-butoksietoksi)-	22	3	5	29	2	4	4	6
KETONIT								
2,3-Butaanidioni	5	3	4	7	2	3	3	3
2-Butanoni	39	2	3	11	4	2	2	3
2-Pentanoni	7	1	2	3	1	2	2	2
Sykloheksanoni	33	2	2	7	1	1	1	1
Etanoni, 1-fenyyl-	22	1	1	4	10	1	2	7
TERPEENIT								
Alfa-pineeni	109	12	18	96	24	14	22	96
delta-3-kareeni	74	5	7	32	11	6	10	37
dl-Limoneeni	84	8	13	124	20	8	38	493

\* ei pidäty Tenax TA:han kvantitatiivisesti.

<sup>1)</sup> geometrinen keskiarvo

### 2.8.1.2 Karboksyylihapot

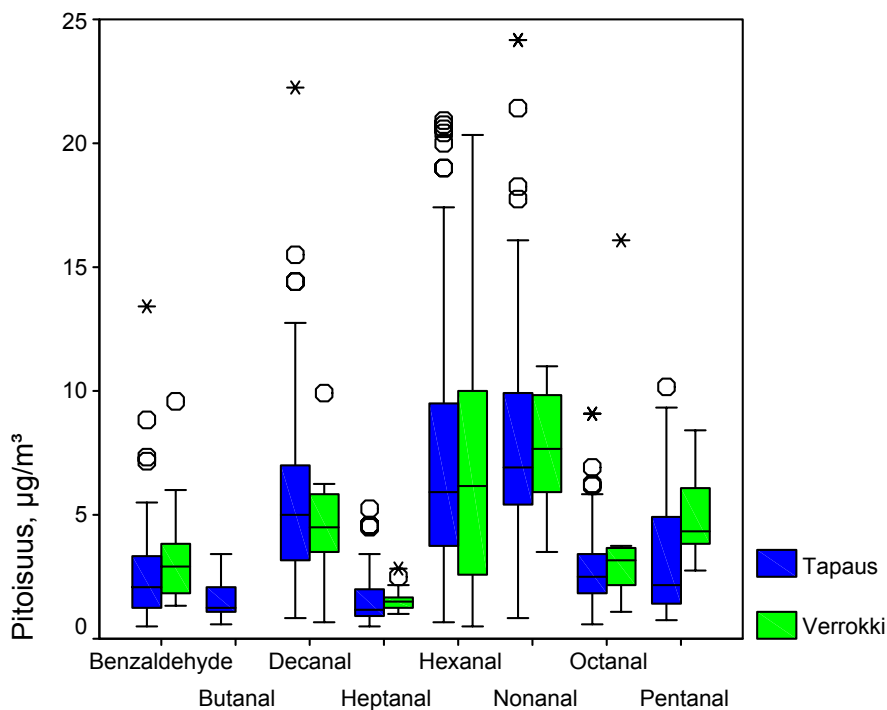
Verrokkikohteiden sisäilmassa karboksyylihappojen keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeammat kuin tapausperheiden sisäilmassa (Kuva 23). Näistä erityisesti etikkahapon pitoisuudet olivat suurempia verrokkikohteiden (n=8) sisäilmassa kuin tapauskohteiden (n=23). Etikkahappoa on mitattu esimerkiksi parkettien ja muiden puutuotteiden emissioissa, ja verrokkikohteissa lattianpäällysteenä oli useimmiten parketti, kun taas tapausperheiden kodeissa lattianpäällysteenä oli valtaosalla muovimatto. Muovimattojen emissioille tyypillinen yhdiste karboksyylihapoista on 2-etyyliheksaanihappo. Sen esiintyvyys oli hieman suurempi tapausperheiden sisäilmassa. Verrattaessa happojen yksittäisten yhdisteiden pitoisuustasoa VTT:n sisäilmätietopankin normaaliksi koettujen asuinhuoneistojen keskiarvopitoisuuksiin sisäilmassa, voidaan todetta, että etikkahapon keskimääräinen pitoisuus verrokkikohteissa oli korkeampi kuin normaaliksi koettu etikkahapon sisäilmapitoisuus ( $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



Kuva 23. Karboksyylihappojen pitoisuudet tolueniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.8.1.3 Aldehydit

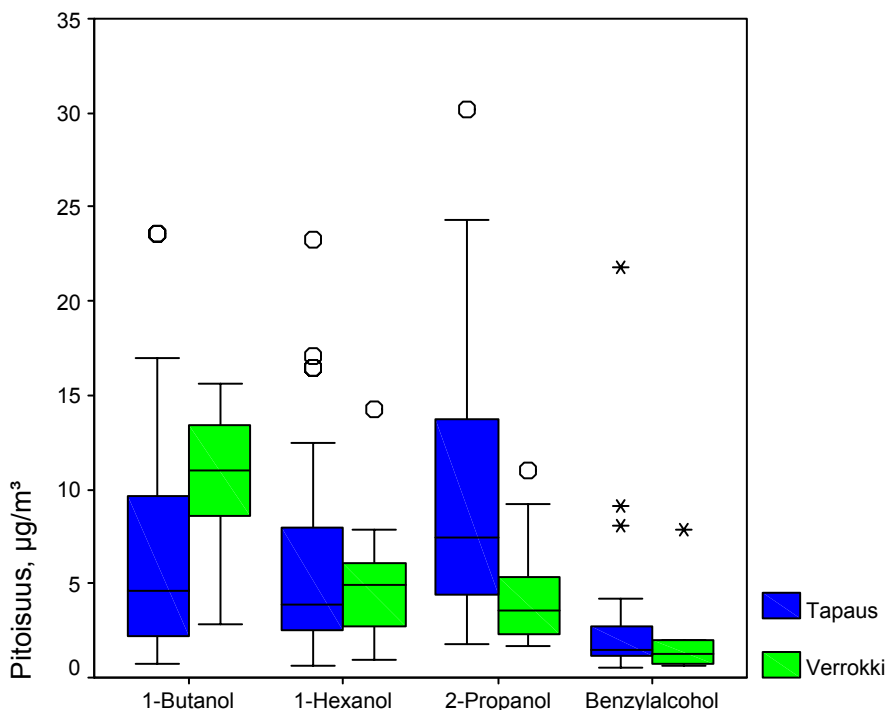
Aldehydien pitoisuustasot olivat samaa suuruusluokkaa sekä tapauskohteiden asuntojen sisäilmassa että verrokkikohteiden asuntojen sisäilmassa (Kuva 24). Yleisimmin sisäilmanäytteistä tunnistettiin heksanaali, bentsaldehydi ja nonaali, harvemmin pentanaali. Tapauskohteiden sisäilman maksimipitoisuudet kullekin aldehydille olivat VTT:n sisäilmätietopankin normaalin asuinhuoneiston keskiarvopitoisuuksia suuremmat. Erityisesti hajuhaittayhdisteeksi tunnistetun nonaalin maksimipitoisuus oli tapausperheiden sisäilmassa huomattavasti korkeampi (24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) kuin VTT:n sisäilmätietopankin mukaan normaaliksi koettu pitoisuus 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Verrokkiperheiden sisäilmassa nonaalin maksimipitoisuus oli 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tapausperheiden jäsenet raportoivat useimmin epämiellyttävästä hajusta kuin verrokkiperheiden jäsenet.



Kuva 24. Aldehydien pitoisuudet tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

#### 2.8.1.4 Alkoholit

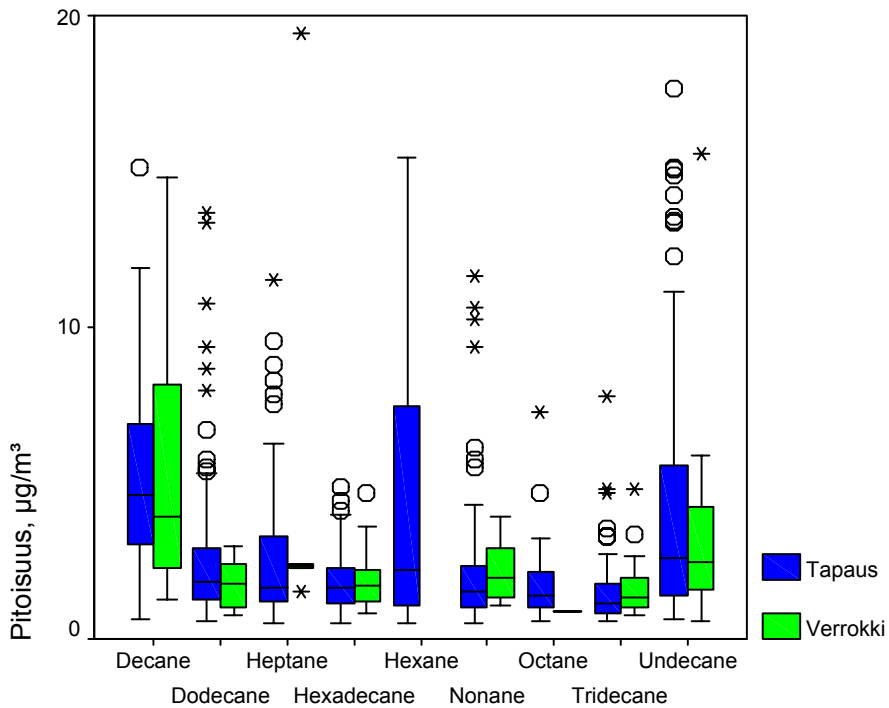
Alkoholeista 1-butanolin ja 2-butanolin keskiarvopitoisuudet olivat suuremmat verrokkiperheiden sisäilmassa kuin tapausperheiden sisäilmassa (Kuva 25). Tapauskohteiden sisäilmassa 2-propanolin ja etanolin keskiarvot ja maksimi-arvot olivat huomattavasti korkeammat kuin verrokkikohteiden sisäilmassa. 2-etyyli-1-heksanoli ja 1-butanoli sekä bentsyylialkoholi yhdistetään yleensä mm. muovimattojen emissioihin. 2-etyyli-1-heksanolin esiintyvyys oli tapauskohteissa  $n=57/118$  ja verrokkikohteissa  $n=9/27$  ja keskiarvopitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa, mutta maksimipitoisuus oli selkeästi korkeampi tapauskohteiden sisäilmassa ( $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). VTT:n sisäilmatietopankin mukaan normaalisti koetuissa asuinhuoneistoissa, joissa lattianpäällysteenä on käytetty muovimattoa, on 2-etyyli-1-heksanolin keskimääräinen pitoisuus ollut  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Kuva 25. Alkoolien pitoisuudet tolueeniekvivalenteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.8.1.5 Alifaattiset hiilivedyt

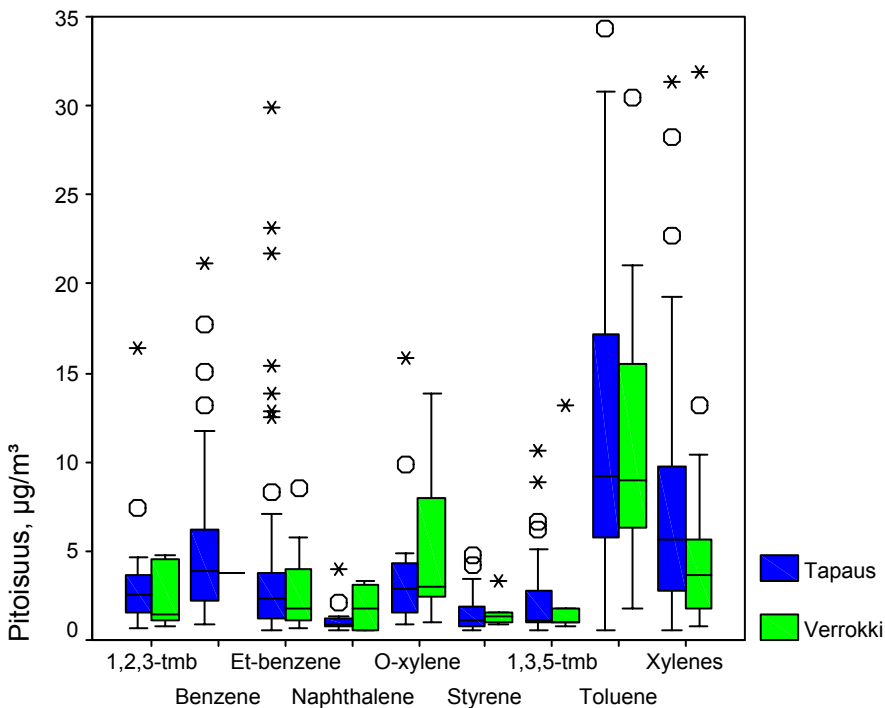
Alifaattisten hiilivetyjen keskimääräiset pitoisuudet olivat erittäin pieniä sekä tapaus- että verrokkikohteiden sisäilmassa (Kuva 26). Alifaattisia hiilivetyjä emittoituu lähes kaikista rakennusmateriaaleista ja niiden hajukynnysarvot ovat huomattavasti normaaleja sisäilmapitoisuuksia suuremmat. Alifaattisten hiilivetyjen maksimi-arvot olivat selvästi korkeampia tapauskohteiden sisäilmassa, mutta nämäkin pitoisuudet jäivät alle kyseisten yhdisteiden hajukynnysarvojen.



Kuva 26. Alifaattisten hiilivetyjen pitoisuudet tolueniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.8.1.6 Aromaattiset hiilivedyt

Aromaattisten hiilivetyjen keskiarvopitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa sekä tapaus- että verrokkikohteiden sisäilmassa (Kuva 27). Keskiarvopitoisuudet jäivät alle VTT:n sisäilmamietopankin normaaliksi koettujen keskiarvopitoisuuksien. Aromaattisista yhdisteistä nk. BTEX-yhdisteet (bentseeni, tolueni, etyyli-bentseeni ja ksyleenit) yhdistetään yhdessä sisäilmassa esiintyessään liikenteen päästöihin. Kyseisiä yhdisteitä tunnustetaan myös mm. rakennusmateriaalien emissioista. Tällöin kuitenkin harvemmin sisäilmasta tunnustetaan bentseeniä, joka luokitellaan syöpävaaralliseksi aineeksi. WHO:n mukaan bentseenille ei tästä syystä ole olemassa turvallista pitoisuustasoa (WHO, IARC). Verrokkikohteissa bentseeniä tunnustettiin yhden asunnon sisäilmassa ( $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), tapauskohteissa bentseeniä tunnustettiin 69:ssä asunnossa, maksimiarvon ollessa  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

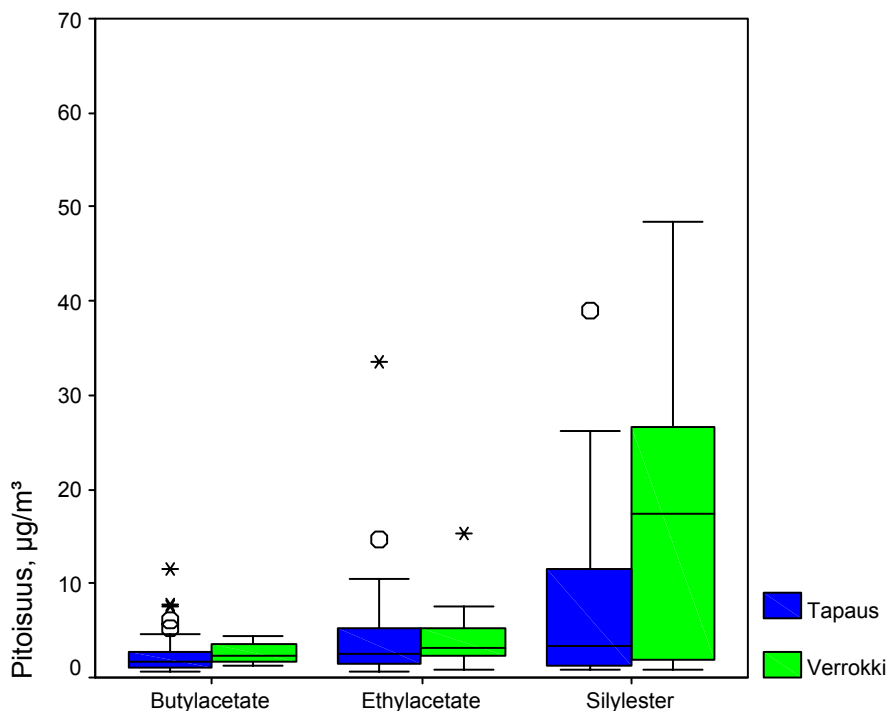


Kuva 27. Aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet tolueniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



### 2.8.1.7 Esterit

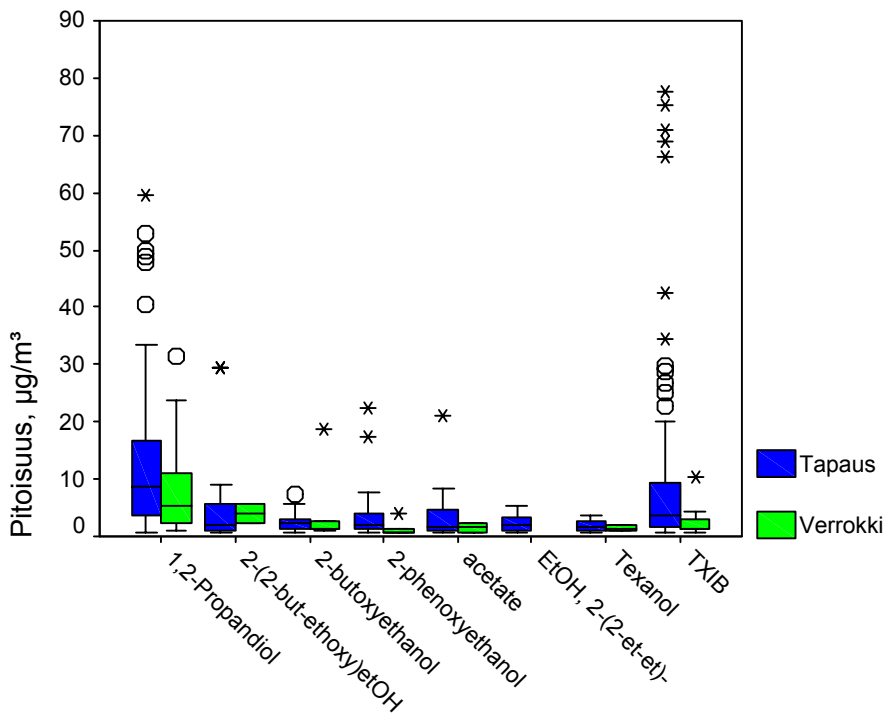
Estereistä etikkahapon butyyliasettaattia ja etikkahapon etyyliasettaattia tunnistettiin erityisen suuret pitoisuudet yhdessä tapauskohteessa (maksimiarvot  $>400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Kyseisessä tapauksessa syynä oli parketin lakka, josta vapautuvat yhdisteet aiheuttivat asukkaalle hengitysoireita. Verrokkikohteissa keskiarvopitoisuudet ja maksimipitoisuudet olivat huomattavasti pienemmät (Kuva 28). Silylies-  
terin maksimipitoisuus oli myös huomattavan korkea yhden tapauskohteen sisäilmassa  $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kyseisessä tapauksessa asukas raportoi erilaisista limakalvon ärsytysoireista.



Kuva 28. Esterien pitoisuudet tolueniekvivalenteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.8.1.8 Glykolit/glykolieetterit/esterit

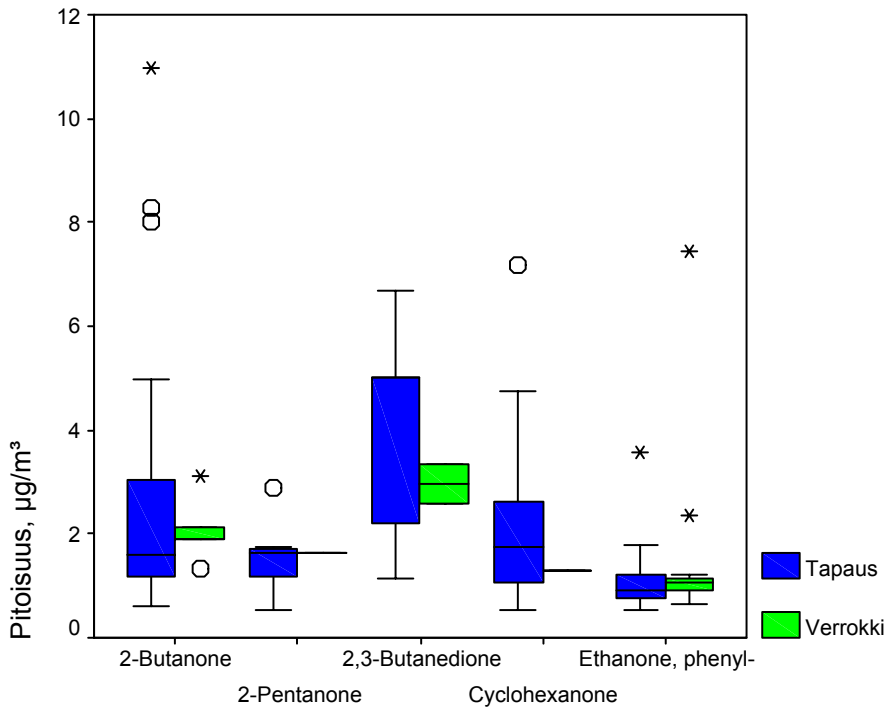
Glykoli/glykolieettereiden/estereiden keskiarvot ja maksimi-arvot olivat huomattavasti korkeammat tapauskohteissa (Kuva 29), joissa kyseissä tapauksissa kärsittiin erilaisista silmä- ja hengitystieoireista. Kyseisistä yhdisteistä useat ovat mm. maaleille ja muovimatoille sekä erilaisille liimoille tyypillisiä yhdisteitä. TXIB:n esiintyvyys oli korkea erityisesti tapauskohteissa (n=81/118), joissa usein oli lattianpäällysteenä muovimatto. Kyseisen yhdisteen keskiarvopitoisuus oli tapauskohteiden sisäilmassa  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja verrokkiperheiden sisäilmassa  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksimipitoisuus tapauskohteiden sisäilmassa ( $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylitti selvästi VTT:n sisäilmatieopankin TXIB:n normaaliksi koetun keskiarvopitoisuuden  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Verrokkikohteissa TXIB:n maksimipitoisuus oli  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Kuva 29. Glykoli/glykolieettereiden/estereiden pitoisuudet tolueniekvivalenteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.8.1.9 Ketonit

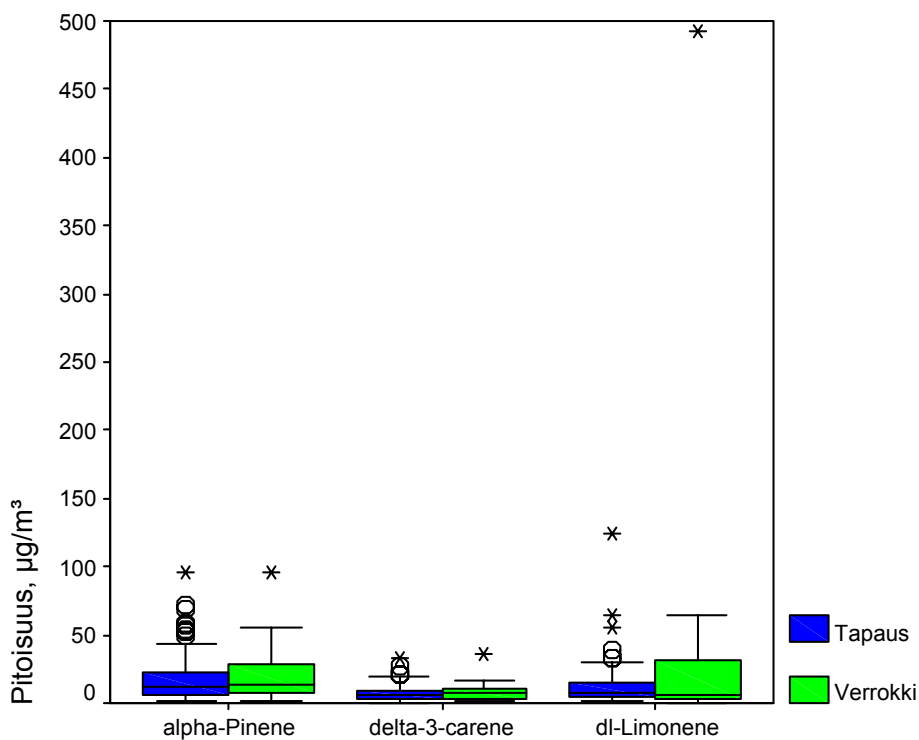
Ketoneja tunnistettiin vain muutamissa verrokkiperheiden sisäilmasta otetuissa näytteissä (Kuva 30). Tapauserheiden sisäilmassa ketoneja esiintyi useammin johtuen mm. siitä, että valtaosalla oli lattianpäällysteenä muovimatto, jonka emissioissa esiintyy esim. sykloheksanonia.



Kuva 30. Ketonien pitoisuudet tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.8.1.10 Terpeenit

Terpeenien kohdalla sekä keskiarvopitoisuudet että maksimipitoisuudet olivat hieman suuremmat verrokkiperheiden kotoa kerätyissä sisäilmanäytteissä tapausperheisiin verrattuna (Kuva 31). Erityisesti limoneenin maksimipitoisuus oli yhdessä verrokkikohteessa erityisen suuri. Tässä perheessä ei kuitenkaan raportoitu oireita.



Kuva 31. Terpeenien pitoisuudet tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## 2.9 Sisäilman laadun tulosten tarkastelu

Sekä tapaus- että verrokkikohteiden sisäilmasta tunnistetut yhdisteet olivat tyyppillisiä kohteissa käytettyjen rakennus- ja pintamateriaalien emissioille. Tapauskohteissa oli usein lattiamateriaalina muovimatto, kun verrokkikohteissa useimmiten lattianpäällysteenä oli parketti. Yleisimmät ( $n > 100/118$ ) tapausperheiden sisäilmasta tunnistetut yhdisteet olivat aldehydeistä heksanaali, bentsaldehydi ja nonanaali, aromaattisista hiilivedyistä tolueni ja etyylibentseeni, alifaattisista hiilivedyistä undekaani, sekä terpeeneistä alfa-pineeni. Verrokkiperheiden sisäilmasta määritetyt yleisimmät ( $n > 20/27$ ) yhdisteet olivat samat kuin tapausperheiden sisäilmassa, lisäksi useimmin tunnistettiin myös karboksyylihapoista bentsoehappo sekä terpeeneistä limoneeni.

Tapausperheiden sisäilmasta tunnistettujen yksittäisten VOC-yhdisteiden maksimipitoisuudet olivat pääosin suuremmat kuin verrokkiperheiden sisäilmassa. Tapauskohteiden sisäilmasta mitattujen yksittäisten, erityisesti ester- ja glykolyihdisteiden sekä alkoholien maksimiarvot olivat yli  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aina  $1\ 573 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :iin asti. Yleisesti verrokkiperheiden sisäilmasta tunnistettujen yksittäisten yhdisteiden maksimiarvot olivat suhteellisen pieniä, suurin osa oli  $< 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Yhdisteistä vain toluenin, etanolin, alfa-pineenin ja limoneenin mitatut maksimiarvot ylittivät kyseisen pitoisuuden. Huomattavaa on, että verrokkiperheiden sisäilman limoneenin maksimipitoisuus oli huomattavasti suurempi verrattuna tapauskohteiden sisäilmasta mitattuihin pitoisuuksiin.

Yhdisteiden pitoisuuksien keskiarvot olivat yleensä suuremmat tapausperheiden sisäilmanäytteissä. Yhdisteryhmistä vain terpeenien keskimääräiset pitoisuudet olivat suurempia verrokkiperheiden sisäilmanäytteissä.

## 2.10 Tulokset: Oireiden ja yhdisteiden väliset korrelaatiot

Tapauskohteissa raportoitiin useimmin asuntojen tunkkaisesta ilmasta ja epämiellyttävästä hajusta sisäilmassa. Oireista yleisimmät olivat silmäoireet ( $n=95$ ;  $n$ =vastausten lukumäärä, joka viikko koetut oireet) ja nenäoireet ( $n=155$ ) sekä limannousu ( $n=98$ ) ja hengenahdistus ( $n=42$ ). Näille oireille sekä tunkkaiselle ilmalle ( $n=112$ ) ja epämiellyttävälle hajulle ( $n=84$ ) laskettiin korrelaatiot yksit-

täisten yhdisteiden ja yhdisteryhmien pitoisuuksien välille ja seuraaviin taulukoihin koottiin sellaiset yhdisteet, joilla oli merkitsevä korrelaatio kyseisten oireiden kanssa. Taulukoissa olevien yhdisteiden perään p-arvot on merkitty (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ). Vastausvaihtoehdoista huomioitiin vain joka viikko koetut oireet ja ei koskaan koetut oirevastaukset.

### 2.10.1 Tunkkainen ilma

*Taulukko 28. Yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet ja niiden korrelaatiot joka viikko raportoidun tunkkaisen ilman kanssa. Pitoisuudet esitetään tolueeniekvivalenteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).*

Compound	N/122	GM <sup>1)</sup>	Keskiarvo	Max
1-Heksanoli, 2-etyyli- *	58	5	6	18
1-Propanoli *	7	1	2	5
Bentsyylialkoholi *	44	2	3	22
Fenoli, 2,6-bis(1,1-dimetyylietyyli)-4-metyyli- (BHT) *	5	2	2	3
Butanaali *	15	1	1	3
Nonanaali *	98	7	9	24
2-Pentanoni *	11	1	1	2
dl-Limoneeni *	76	10	16	124
Karboksylihapot ryhmänä *	80	3	4	22
Ketonit ryhmänä*	110	10	23	495
Silyliyhdisteet ryhmänä**	25	3	12	163

Korrelaatiotarkastelut: Joka viikko kyseisiä oireita kokevat henkilöt vs. ei koskaan kyseisiä oireita kokevat henkilöt

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$  <sup>1)</sup> Geometrinen keskiarvo

Asunnoissa, joissa sisäilma koettiin tunkkaiseksi, yleisimmin tunnistettiin nonanaalia (n=98) ja 2-etyyli-1-heksanolia (n=58). Yhdisteryhmistä karboksylihapot, ketonit ja silyliyhdisteet korreloivat tunkkaisen ilman kanssa. Karboksylihappojen ja ketonien hajukynnysarvot ovat erittäin alhaisia, mikä osaltaan saattaa vaikuttaa tunkkaisuuden aistimiseen. Yhdisteistä BHT eli 2,6-bis(1,1-dimetyylietyyli)-4-metyyli-fenoli on tyypillinen eräiden muovimattojen emissioille.

## 2.10.2 Epämiellyttävä haju

Taulukko 29. Yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet ja niiden korrelaatiot epämiellyttävän hajun kanssa. Pitoisuudet esitetään tolueeniekvivalenteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

	N /84	GM <sup>1)</sup>	Keskiarvo	Max
1-Heksanoli, 2-etyyli- *	39	5	6	16
1-Propanoli *	5	1	2	5
Fenoli *	17	2	3	12
Butanaali *	15	1	2	3
Dekanaali *	73	4	4	14
Bentseeni, 1,3-dietyyli- *	6	3	3	3
Bentseeni, 1,3-dimetyyli *	18	6	9	17
Etanoli, 2-(2-butoksietoksi)-, asetaatti **	12	2	2	8
2-Pentanoni **	13	1	1	2
Sykloheksanoni *	33	2	2	4
Etanoni, 1-fenyyli- **	16	1	1	1
Mentholi *	5	2	2	2
Karboksylihapot ryhmänä **	58	3	5	22
Esterit ryhmänä *	84	10	19	138
Silyyliyhdisteet ryhmänä **	16	3	9	46

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$  <sup>1)</sup> Geometrinen keskiarvo

Yleisimmin kohteiden sisäilmassa esiintyneet yksittäiset yhdisteet, jotka korreloivat epämiellyttävän hajun kanssa olivat dekanaali ( $n=73$ ), 2-etyyli-1-heksanoli ( $n=39$ ) ja sykloheksanoni ( $n=33$ ). Yhdisteryhmistä (ryhmän yksittäisten yhdisteiden kokonaispitoisuus) korrelaatio todettiin karboksylihapoilla, estereillä ja silyyliyhdisteillä. Yhdisteryhmistä estereitä tunnistettiin kaikkien niiden asuntojen sisäilmasta, joissa asukkaat raportoivat epämiellyttävästä hajusta joka viikko. Epämiellyttävän hajun aiheuttajina karboksylihapot ja esterit ovat tunnettuja, johtuen kyseisten yhdisteiden matalista hajukynnysarvoista (Devos ym. 1990).

### 2.10.3 Silmäoireet

Taulukko 30. Yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet ja niiden korrelaatiot silmäoireiden kanssa. Pitoisuudet esitetään tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

	N/95	GM <sup>1)</sup>	Keskiarvo	Max
1-Propanoli *	8	2	2	6
2-Butanoli *	2	1	1	1
Texanol *	4	1	1	1
TXIB *	69	5	15	78
Glykoolit ryhmänä*	81	11	19	162

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , <sup>1)</sup> Geometrinen keskiarvo

Useasti raportoiduksi joka viikkoiseksi oireeksi tässä tutkimuksessa nousivat erityisesti erilaiset silmäoireet. Silmäoireiden esiintyvyys oli yhteydessä sisäilmasta tunnistetuista yhdisteistä alkoholeista 1-propanolin ja 2-butanolin esiintymisen kanssa ja Texanolin ja TXIB:n kanssa. Yhdisteryhmistä selkein korrelaatio oli glykoleilla. Keskiarvopitoisuudet kyseisille yhdisteille olivat pääosin  $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , TXIB:lle  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  maksimin ollessa  $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kyseiset yhdisteet ovat tyypillisiä esim. erilaisille pintakäsittelyaineille, maaleille ja lattianpäällysteille.

### 2.10.4 Nenäoireet

Nenäoireet olivat myös usein raportoituja joka viikkoisia oireita ( $n=155$ ). Selkeimmät korrelaatiot nenäoireiden kanssa todettiin 2-etyyliheksaanihapolla ja delta-3-kareenilla, joista 2-etyyliheksaanihapo on esim. joidenkin muovimattojen emissioille tyypillinen yhdiste. Yhdisteryhmistä selkein korrelaatio nenäoireiden kanssa oli glykoleilla ja niiden kokonaispitoisuuden maksimi sisäilmassa on melko korkea, samoin kuin alkoholien.



Taulukko 31. Yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet ja niiden korrelaatiot nenäoireiden esiintymisen kanssa. Pitoisuudet (paitsi formaldehydi) ilmoitettu tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

	N/155	GM <sup>1)</sup>	Keskiarvo	Max
Formaldehydi *	151	14	19	83
Heksaanihappo *	16	3	3	7
Heksaanihappo, 2-etyyli- **	54	1	2	4
Heptanaali *	110	1	2	5
Naftaleeni *	18	1	1	4
Etanoni, 1-fenyyli- *	31	1	1	2
delta-3-kareeni **	94	5	7	32
Alkoholit ryhmänä *	147	26	54	569
Glykolit ryhmänä**	132	9	16	162
Silyliyhdisteet ryhmänä*	49	3	9	163

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , <sup>1)</sup> Geometrinen keskiarvo

## 2.10.5 Limannousu

Taulukko 32. Yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet ja niiden korrelaatiot joka viikko esiintyneen limannousun kanssa. Pitoisuudet ilmoitettu tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

	N	GM <sup>1)</sup>	Keskiarvo	Max
Propaanihappo, 2-metyyli- *	4	2	2	2
1-Heksanoli, 2-etyyli **	65	5	7	23
Nonanaali *	88	8	9	24
Ksyleenit *	59	6	12	100
Texanol*	4	3	3	4
2-butoksietanoli *	32	3	3	19
dl-Limoneeni *	67	9	15	124
Glykolit ryhmänä **	85	11	19	162
Silyliyhdisteet ryhmänä *	26	2	4	46

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , <sup>1)</sup> Geometrinen keskiarvo

Henkilöiden, jotka raportoivat limannousua joka viikko, kodin sisäilmasta useimmiten tunnistetut yhdisteet olivat nonanaali (n=88), ksyleenit (n=59),

2-etyyli-1-heksanoli (n=65) sekä limoneeni (n=67). Nonanaalia tunnistettiin lähes kaikissa niissä kohteissa, joissa koettiin limannousua joka viikkoisena oireena. Selkein korrelaatio todettiin 2-etyyli-1-heksanolilla ja yhdisteryhmistä glykoleilla.

### 2.10.6 Hengenahdistus

Joka viikko koettujen hengenahdistusoireiden esiintymisen kanssa korreloi erityisesti yksittäiset esteriyhdisteet ja yhdisteryhmistä glykolit.

*Taulukko 33. Yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuudet ja niiden korrelaatiot joka viikko koetun hengenahdistuksen kanssa. Pitoisuudet ilmoitetaan tolueeniekvivalentteina ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).*

	N	GM <sup>1)</sup>	Keski-arvo	Max
1-propanoli *	4	1	1	1
Butanaali **	10	2	2	3
Bentseeni *	26	5	6	16
Tolueeni *	42	14	23	99
Butyyliasettaatti *	27	3	3	8
Etyyliasettaatti *	24	3	4	8
Etanoli, 2-(2-butoksietoksi)-, asetaatti *	7	6	9	15
1,2-propanidioli *	27	8	13	50
Etanoli, 2-butoksi- *	15	3	4	19
2-butanoni *	16	3	3	5
Glykolit **	39	13	20	57
Ketonit *	40	13	41	495

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , <sup>1)</sup> Geometrinen keskiarvo

## 2.11 Tulokset: Yhdisteiden pitoisuustasot ja oireiden esiintyminen

Edellä esitettyjen korrelaatio selvitysten avulla valittiin pitoisuustarkasteluun yksittäisistä yhdisteistä TXIB, jolla huomattiin selkeä korrelaatio silmäoireiden esiintymisen kanssa. Lisäksi tarkasteluun (Taulukot 34–39) valittiin formaldehydi, nonanaali ja limoneeni sekä ammoniakki ja alfa-pineeni, joille ei saatu korrelaatiota minkään oireen kanssa.

## 2.11.1 TXIB

60 %:ssa niistä tapauksista, jotka raportoivat jokaviikkoisista silmäoireista, TXIB-pitoisuus (tolueeniekvivalenttina) oli yli 10 µg/m<sup>3</sup> ja vastaajien prosenttiosuus oli yli 80 %, kun TXIB-pitoisuus (tolueeniekvivalenttina) oli yli 20 µg/m<sup>3</sup>. Taulukossa 34 on esitetty TXIB-pitoisuudelle lasketut vaarasuhteet.

*Taulukko 34. TXIB-vaarasuhteet. Pitoisuus laskettu tolueeniekvivalenttina.*

TXIB-pitoisuus <20 vs. >19,99 µg/m <sup>3</sup>	Raaka odds ratio	95 % luottamusväli	Vakioitu odds ratio *	95 % luottamusväli
<b>Sairaudet</b>				
astma	1,4214	0,5072–3,9840	1,3667	0,4381–4,2637
allerginen nuha	0,9858	0,3599–2,6969	0,8038	0,2846–2,3605
<b>Oireet</b>				
yskä	2,6363	0,9936–6,9927	2,2157	0,7215–6,8050
hengenahdistus	2,7243	0,9796–7,5751	3,0256	1,0923–9,1216
käheys	2,9048	1,0277–8,0082	2,6951	0,8940–8,1246
nenäoireet	3,2091	1,0277–10,0208	3,4767	1,0491–11,5214
nenänvetistys	4,5714	1,6336–12,7929	4,8399	1,5468–15,1437
silmäoireet	15,9568	3,5614–71,4944	16,4069	3,5397–76,0483
kasvojen ihon oireet	1,2727	0,4688–3,4589	1,0266	0,3440–3,0640
kasvojen punoitus	0,9586	0,3000–3,0624	0,7286	0,2093–2,6067
nivelkipu	1,9009	0,6257–5,7749	2,3408	0,7064–7,7565
kurkkukipu	4,7600	1,6249–13,9436	5,7326	1,7228–19,0756
limaisuus	3,4386	1,2848–9,1491	2,9982	1,0146–8,8598

\* ikä- ja sukupuolivakioitu

Taulukosta nähdään, että riski saada silmäoireita kasvaa TXIB-pitoisuuden (tolueeniekvivalentteina) ollessa 20 µg/m<sup>3</sup> ja on 16-kertainen, (mallissa mukana ikä, sukupuoli ja tupakointitapa) verrattuna tätä vähäisempään altistustasoon.

## 2.11.2 Formaldehydi

Sisäilman formaldehydipitoisuuden kasvaessa joka viikkoisena haittana raportoivien silmä- nenä- ja kurkkuoireiden prosentuaalinen osuus pieneni. Esimerkiksi viikoittaisista silmäoireista raportoivien osuus oli 40 % kun formaldehydipitoisuus sisäilmassa oli yli 20 µg/m<sup>3</sup> ja vastaajien määrä laski 30 %:iin kun formaldehydipitoisuus oli yli 40 µg/m<sup>3</sup>.

Taulukko 35. Formaldehydin vaarasuhteet.

Formaldehydi pitoisuus <20 vs. >19,99 µg/m <sup>3</sup>	Raaka odds ratio	95 % luottamusväli	Vakioitu odds ratio *	95 % luottamusväli
<b>Sairaudet</b>				
astma	0,8415	0,4457–1,5888	0,7593	0,3887-1,4831
allerginen nuha	0,6147	0,3431–1,1012	0,6132	0,3377-1,1135
<b>Oireet</b>				
yskä	1,1290	0,5645–2,2574	1,0247	0,4760-2,2059
hengenhdistus	1,0036	0,4651–2,1655	0,9318	0,4236-2,0501
käheys	0,9346	0,5013–1,7424	0,8143	0,4195-1,5807
nenäoireet	0,6212	0,3483–1,1080	0,5652	0,3102-1,0298
nenänvetistys	0,7865	0,4206–1,4708	0,6664	0,3413-1,3010
silmäoireet	1,3067	0,7159–2,3854	1,2400	0,6632-2,1336
kasvojen ihon oireet	0,8825	0,4704–1,6557	0,8156	0,4244-1,5379
kasvojen punoitus	1,4519	0,7088–2,9740	1,4180	0,6715-2,9941
kurkkuvaiva	0,6017	0,3223–1,1233	0,4738	0,2374-0,9451
nivelvaiva	0,7375	0,3371–1,6135	0,5878	0,2572-1,3432
limaisuus	1,0000	0,5395–1,8535	0,9305	0,4798-1,8047

\* ikä- ja sukupuolivakioitu

Formaldehydin ei todettu lisäävän tutkitulla pitoisuustasolla ärsytysoireita.

### 2.11.3 Ammoniakki

Ammoniakille valittiin tarkasteltavaksi pitoisuustasoksi Sisäilmastoluokituksen S3-luokan tavoitearvopitoisuus  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Sisäilmastoluokitus 2000).

*Taulukko 36. Ammoniakin vaarasuhteet .*

NH3 <40 vs. >39,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Raaka odds ratio	95 % luottamusväli	Vakioitu odds ratio *	95 % luottamusväli
<b>Sairaudet</b>				
astma	1,4269	0,6169–23,3005	1,7483	0,7109–4,2997
allerginen nuha	0,5799	0,2626–1,2808	0,5920	0,2627–1,3342
<b>Oireet</b>				
yskä	2,6717	1,1375–6,2752	2,7980	1,0602–7,3841
hengenahdistus	3,2339	1,2651–8,2668	3,4838	1,2927–9,3885
käheys	1,6800	0,7322–3,8545	1,8155	0,7432–4,4350
nenäoireet	2,0814	0,8628–5,0144	2,1146	0,8546–5,2114
nenänvetistys	1,8137	0,7357–4,4714	1,8174	0,6809–4,8084
silmäoireet	3,8131	1,5936–9,1247	4,1147	1,6463–10,2841
kasvojen ihon oireet	0,5428	0,1889–1,5600	0,5473	0,1825–1,6414
kasvojen punoitus	0,4834	0,1360–1,7217	0,5473	0,1825–1,6414
kurkkukipu	1,9434	0,8632–4,3752	2,2425	0,9073–5,5423
nivelvaiva	0,6256	0,1745–2,2429	0,6380	0,1701–2,3923
limaisuus	3,0000	1,3188–6,8256	3,0180	1,2435–7,3250

\* ikä- ja sukupuolivakioitu

Ammoniakki pitoisuustasolla  $> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yskä- ja silmäoireet, hengenahdistus, limaisuus ja käheys olivat yleisempiä kuin alle  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksilla. Epäselvää on, onko ammoniakki vain merkkiaine joillekin muille yhdisteille, jotka ovat oireiden aiheuttajia. Tällaisiksi ärsyttäviksi aineiksi on epäilty mm. amiiniyhdisteitä. Toksikologisten tutkimusten mukaan näin matalilla pitoisuuksilla ei ole odotettavissa ärsytysoireita.

## 2.11.4 Limoneeni

Seuraavissa taulukoissa 37–38 esitettyjen limoneenin ja alfa-pineenin ei todettu tutkituilla pitoisuustasoilla lisäävän ärsytysoireita. Pitoisuustasoksi valittiin 20 µg/m<sup>3</sup>.

*Taulukko 37. Limoneenin vaarasuhteet pitoisuustasolla.*

Limoneeni <20 vs. >19,99 µg/m <sup>3#</sup>	Raaka odds ratio	95 % luottamusväli	Vakioitu odds ratio *	95 % luottamusväli
<b>Sairaudet</b>				
astma	1,4531	0,6062–3,4831	1,4116	0,5547–3,5921
allerginen nuha	0,3877	0,1663–0,9043	0,3997	0,1669–0,9574
<b>Oireet</b>				
yskä	1,5844	0,6067–4,1376	1,0579	0,3516–3,1828
hengenhadistus	0,7637	0,2087–2,7952	0,5613	0,1431–2,2011
käheys	0,8611	0,3321–2,2317	0,7017	0,2517–1,9565
nenäoireet	1,4970	0,6277–3,5702	1,4282	0,5881–3,4683
nenänvetistys	1,0091	0,4069–2,5023	0,9401	0,3616–2,4441
silmäoireet	1,6653	0,6930–4,0016	1,4587	0,5874–3,6222
kasvojen ihon oireet	1,9412	0,8025–4,6955	2,1022	0,8375–5,2766
kasvojen punoitus	1,2812	0,4702–3,4919	1,4058	0,4959–3,9849
kurkkukipu	1,5524	0,6463–3,7288	1,2351	0,4675–3,2633
nivelvaiva	0,7301	0,2026–2,6305	0,5765	0,1531–2,1701
limaisuus	1,0557	0,4188–2,6613	0,8638	0,3127–2,3866

\* ikä- ja sukupuoli vakioitu, # tolueeniekvivalenttina

## 2.11.5 alfa-pineeni

Taulukko 38. alfa-pineenin vaarasuhteet pitoisuustasolla.

alfa-pineeni <20 vs. >19,99 µg/m <sup>3</sup> #	Raaka odds ratio	95 % luottamusväli	Vakioitu odds ratio *	95 % luottamusväli
<b>Sairaudet</b>				
astma	0,7829	0,4126–1,4855	0,7674	0,3934–1,4968
allerginen nuha	0,8137	0,4619–1,4335	0,8119	0,4539–1,4520
<b>Oireet</b>				
yskä	0,5313	0,2596–1,0876	0,4969	0,2254–1,0954
hengenahdistus	0,9088	0,4384–1,8838	0,9448	0,4461–2,0011
käheys	1,0569	0,5755–1,9409	1,1365	0,5979–2,1603
nenäoireet	0,7341	0,4191–1,2858	0,7494	0,4238–1,3253
nenän vetistys	0,6579	0,3550–1,2192	0,6752	0,3539–1,2882
silmäoireet	0,8364	0,4647–1,5054	0,8664	0,4727–1,5882
kasvojen ihon oireet	0,7688	0,4134–1,4298	0,7896	0,4161–1,4983
kasvojen punoitus	0,5141	0,2386–1,1077	0,5169	0,2341–1,1416
nivelvaiva	0,4545	0,2005–1,0305	0,4595	0,1994–1,0588
kurkku	1,3361	0,7424–2,4046	1,5502	0,8176–2,9393
limaisuus	0,8954	0,4911–1,6327	0,9636	0,5048–1,8394

\* ikä- ja sukupuoli vakioitu, # tolueniekvivalenttina

## 2.11.6 Nonanaali

Nonanaali korreloi tapausten raportoiman viikoittain toistuvan limannousun kanssa, ja keskiarvopitoisuus näissä tapauksissa oli 9 µg/m<sup>3</sup>. Tarkastelupitoisuusustasoksi valittiin 5 µg/m<sup>3</sup>, mikä vastaa VTT:n sisäilmätietopankin kyseisen yhdisteen keskimääräistä pitoisuutta normaaliksi koetussa asuinhuoneistossa (VTT:n sisäilmätietopankki). Nonanaalin ei todettu lisäävän tutkitulla pitoisuustasolla ärsytysoireita. Nonanaalin hajukynnysarvo on suhteellisen alhainen 13 µg/m<sup>3</sup>, mikä osaltaan selittää sen aistittavuuden jo pienissä pitoisuuksissa ja korrelaation tunkkaisen ilman kanssa.

Taulukko 39. Nonanaalin vaarasuhteet.

Nonanaali <5 vs. >4,99 µg/m <sup>3</sup> #	Raaka odds ratio	95 % luottamusväli	Vakioitu odds ratio *	95 % luottamusväli
<b>Sairaudet</b>				
astma	1,1317	0,5883–2,1770	1,2626	0,6340–2,5129
allerginen nuha	0,7062	0,3891–1,2819	0,6475	0,3481–1,2045
<b>Oireet</b>				
yskä	0,9954	0,4906–2,0194	1,2089	0,5536–2,6395
hengenahdistus	1,1012	0,4997–2,4265	1,2016	0,5324–2,7119
käheys	1,5204	0,7988–2,9231	1,8818	0,9365–3,7815
nenäoireet	1,2383	0,6909–2,2193	1,3416	0,7371–3,5577
nenän vetistys	0,7531	0,4040–1,4038	0,8245	0,4290–1,5846
silmäoireet	1,1931	0,6474–2,1987	1,3009	0,6912–2,4482
kasvojen ihon oireet	1,0882	0,5681–2,0845	1,1401	0,5835–2,2277
kasvojen punoitus	1,3872	0,6384–3,0236	1,4351	0,6645–3,1953
nivelvaiva	1,2294	0,5455–2,7707	1,4198	0,6153–3,2761
kurkku	1,3332	0,7097–2,5044	1,6320	0,8246–3,2297
limaisuus	1,3512	0,7149–2,5541	1,6175	0,8117–3,2232

\* ikä- ja sukupuolivakioitu, # tolueeniekvivalenttina



## 2.12 Korrelaatiotulosten tarkastelu

Tapausten yleisimmin raportoimat kodin olosuhdehaitat olivat epämiellyttävä haju sekä tunkkainen ilma. Tapauserheiden kotien sisäilmanäytteissä useimmin tunnistettiin nonanaalia, jonka tiedetään jo pienissä pitoisuuksissa aiheuttavan tunnistettavan hajun. Tämä johtuu kyseisen yhdisteen erittäin matalasta hajukynnysarvosta ja usein tämän yhdisteen hajua kuvataan erittäin likaiseksi ja epämiellyttäväksi. Normaaliksi koetussa asuinhuoneistossa nonanaalin keskimääräinen pitoisuus on  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tämä pitoisuustaso ei vaarasuhdetarkastelun mukaan lisännyt tapausten ärsytysoireita. Nonanaalin korrelaatio saatiin tunkkaiselle ilmalle, mitä kyseisen yhdisteen matala hajukynnysarvo puoltaa. Tarkasteltaessa tunkkaisen ilman ja epämiellyttävän hajun kanssa korreloineita yhdisteitä huomattiin, että ne olivat samoja, joita usein tunnistetaan joidenkin muovimattojen emissioista. Nonanaalin kanssa useimmin sisäilmassa esiintyvät yhdisteet olivat terpeenejä kuten alfa-pineeni sekä erityisesti verrokkitapausten kodin sisäilmasta suurissakin pitoisuuksissa tunnistettu limoneeni. Näille terpeeniyhdisteille laskettiin vaarasuhteet pitoisuustasolla  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mikä ei lisännyt ärsytysoireiden riskiä tutkitulla aineistolla.

Yleisimmin raportoidut oireet olivat nenä- ja silmäoireita. Yhdisteet, joille saatiin selkeä tilastollinen riippuvuus näiden oireiden kanssa olivat eri tyyppisiä. Kun silmäoireiden korrelaatiot painoutuivat glykoli/glykolieetterien/esterien ja alkoholien kanssa, olivat nenäoireiden kanssa korreloivat yhdisteet pääasiassa karbonyyliyhdisteitä (karboksyylihapot, aldehydit, ketonit). Mielenkiintoinen yhteys huomataan että toistuvien, viikoittaisten nenäoireiden kanssa korreloivat yhdisteet ovat jo pienissä pitoisuuksissa haisevia yhdisteitä.

Viime aikoina paljon keskustelua herättänyt yhdiste TXIB, joka liitetään ensisijaisesti joidenkin muovimattojen emissioihin, korreloi ainoastaan silmäoireiden kanssa. Kun TXIB:n pitoisuus (tolueeniekvivalenttina) sisäilmassa ylitti pitoisuustason  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kasvoi eri oireista viikoittain raportoivien tapausten prosentuaalinen määrä selvästi. Kun kyseiselle yhdisteelle laskettiin vaarasuhteet tällä pitoisuustasolla, voitiin todeta, että jo aiemmassa tarkastelussa korreloineet silmäoireet nousivat vielä selkeämmin tässä tarkastelussa esille. Silmäoireiden riski oli 16-kertainen. TXIB-pitoisuuden ollessa  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tai enemmän verrattuna pienempiin altistumistasoihin.

Sisäilman laatua määritettäessä formaldehydi määritetään erikseen. Tämän tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa oli huomattavaa, että verrokkiperheissä sisäilman formaldehydipitoisuus oli korkeampi kuin tapausperheissä. Tätä osoittaa myös viikoittain raportoivien tapausten vastausprosentin lasku, kun formaldehydipitoisuus sisäilmassa kasvoi. Vaarasuhteita tarkasteltaessa formaldehydin ei todettu tällä aineistolla lisäävän normaalissa sisäilmapitoisuudessa  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ärsytysoireita. Kuitenkin formaldehydin tiedetään aiheuttavan ärsytysoireita herkille henkilöille hyvinkin pienissä pitoisuuksissa.

Ammoniakki ja sen aiheuttamista terveyshaitoista on keskusteltu laajasti jo pidemmän aikaa. Tällä hetkellä arvioidaan että ammoniakkina määritetyt amiinit, joiden hajukynnykset ovat erittäin matalia, jopa 100-kertaa pienempiä kuin ammoniakkin, ovat ammoniakkia todennäköisemmin ärsytysoireita aiheuttavat yhdisteet. Tässä tutkimuksessa ammoniakki ei tilastollisen tarkastelun mukaan korreloinut oireiden kanssa, vaarasuhdetarkastelussa tiettyjen oireiden riski kohosi hieman pitoisuustasolla  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tämä tutkimus ei selvittänyt aiheutuiko pieni oirevaaran kasvu itse ammoniakkin pitoisuudesta vai oliko ammoniakki merkkiaineena näissä tapauksissa sisäilmassa oleville amiineille.

## 3. OSA II.I

# Materiaalien ärsytysominaisuuksien tutkiminen ja arvioiminen

### 3.1 VOC-seosten ja materiaaliemissioiden ärsyttävyyys

Tutkimushankkeen lähtökohtana on ollut sisätiloissa käytettävien materiaalien kemiallisten emissioiden terveellisyysnäkökulman huomioiminen eräänä mahdollisena parametrina rakennustuotteiden päästöluokituksessa ja materiaalien tuotekehityksessä. Nykyinen päästöluokitus perustuu materiaalin kemiallisten emissioiden määrittämiseen ja emissioiden hajujen aistinvaraiseen arviointiin. Kuitenkaan kummankaan näiden parametrin perusteella ei voida tehdä suoria päätelmiä materiaaliemissioiden terveydellisyydestä, mm. ärsytysominaisuuksista.

Haihtuvien kemikaalien (VOC) on jo pitkään tiedetty voivan aiheuttaa ärsytysoireita ja niitä on pidetty yhtenä ärsytysoireita selittävänä tekijänä myös sisäympäristöissä. Koska rakennusmateriaalit ovat merkittävien haihtuvien kemikaalien lähde sisätiloissa, materiaaliemissioiden ärsytysominaisuuksien määrittäminen on perusteltu lähestymistapa arvioitaessa materiaalien päästöjen terveydellisyyden näkökohtia. Emission hajuominaisuuksia, erityisesti hajukynnystä, on esitetty yhdeksi ärsyttävyyden indikaattoriksi, koska yleensä kemikaalien hajukynnykset ovat huomattavasti matalampia kuin ärsytystä aiheuttavat pitoisuudet ja hajukynnysten määrittäminen on helpompaa, vaivattomampaa ja eettisestikin hyväksyttävämpää kuin ärsytyskynnyksen arviointi. Ongelmana tässä yleistyksessä on, että haju- ja sensorisen ärsytyksen aistimukset ovat fysiologisesti eri ilmiöitä, mikä ilmenee mm. siinä, että hajuun totutaan nopeasti, kun taas ärsytysvaste on yleensä aina vähintään samankaltainen tai se voi jopa vahvistua altistuksen jatkuessa tai toistuessa. Haju- ja ärsytyskynnyksen välinen suhde myös vaihtelee eri yhdisteillä, ja reaktiivisilla yhdisteillä hajukynnyksen antama ”turvallisuusmarginaali” ärsytysvaikutusten suhteen saattaa olla yllättävän kapea (Korpi ym. 1999). Vaikka yksittäisten yhdisteiden kohdalla hajua kuvaavien parametrien ja ärsytysominaisuuksien välille voidaan esittää joskus hyviäkin korrelaatioita, useiden kemikaalien seosten haju- ja ärsytysominaisuudet eivät välttämättä korreloi samalla tavalla. Siksi yhtenä tutkimuksen lähtökohtana oli arvioida kemikaaliseosten ärsyttävyyttä mahdollisimman objektiivisella menetelmällä.

Tässä tutkimuksessa ärsytysvaikutuksia tutkittiin hiirimallilla, jolla on aiemmin määritetty yli 300 yksittäisen yhdisteen ja seoksen ärsytysominaisuuksia (Scha-per 1993). Mallin antamien tulosten on todettu korreloivan hyvin ihmisten ko- keman ärsytysvasteen kanssa, ja mallin tuloksia onkin käytetty yhtenä perustee- na määrittäessä kemikaalien työhygieenisiä viite- ja raja-arvoja. Myös sisäil- massa esiintyvien kaasumaisten epäpuhtauksien aiheuttamien ärsytysoireiden riskinarviointiin on ehdotettu hiirimallin tulosten pohjalta käyttökelpoinen arvi- ointimalli (Nielsen ym. 1995)

Hiirimallin kokeellisten tulosten pohjalta on myös kehitetty teoreettisia malleja ei-reaktiivisten VOC-yhdisteiden ja -seosten ärsyttävyyden arvioimiseksi. Näi- den teorioiden on todettu toimivan kohtalaisen hyvin kokeellisesti määritettyjen tulosten kanssa. Sen sijaan reaktiivisista yhdisteistä, kuten aldehydeistä, amii- neista ja kaksoissidoksia sisältävistä yhdisteistä, ja ei-reaktiivisista yhdisteistä koostuvien seosten ärsyttävyyden mallintamista on tutkittu vähemmän, ja se edellyttää laajemman kokeellisen aineiston keräämistä teoreettisen mallin poh- jaksi. Tähän haasteeseen tämä tutkimus pyrki omalta osalta vastaamaan.

Hankkeen tavoitteena oli tutkia erilaisten rakennusmateriaaliemissioiden ja ke- mikaaliseosten ärsytysominaisuuksia USA:ssa standardoidun hiirimallin (ASTME981-84; ASTM 1984) avulla, selvittää materiaaliemissioiden hajuomi- naisuuksien soveltuvuutta ärsyttävyyden indikaattoriksi sekä kehittää kokeellisen tulosten ja teoreettisten tarkastelujen pohjalta mallia, jonka avulla erilaisten kemikaaliseosten ärsyttävyyttä voidaan arvioida fysikaalis-kemiallisten ominai- suuksien ja aiempien ärsytystietojen perusteella ilman eläinkokeita.

### **3.2 Materiaaliemissioita kuvaavien kemikaaliseosten ärsyttävyys ja sen suhde hajuaistimukseen**

Suomessa käytössä olevassa rakennusmateriaalien päästöluokituksessa kemial- listen emissioiden lisäksi arvioitavasta materiaalista määritetään myös sen hajun hyväksyttävyyys aistinvaraisella arvioinnilla (Sisäilmastoluokitus 2000). Tässä tutkimuksessa määritettiin tunnettujen rakennusmateriaalien kemiallisia emissi- oita edustavien VOC-seosten ärsytysvaikutuksia standardoidun koe-eläinmallin avulla (ASTM 1984) sekä hajuvaikutuksia aistinvaraisella arvioinnilla. Tarkoi-

tuksena oli verrata, kuinka hyvin aistinvaraisella hajujen arvioinnilla voidaan ennustaa materiaaliemissioiden ärsytysominaisuuksia.

Suomalaisessa rakennusmateriaalien päästöluokituksessa (Sisäilmastoluokitus 2000) testattavat tuotteet jaetaan kolmeen ryhmään. Testattaessa tuotteet ovat neljä viikkoa vanhoja. 'Parhaan', M1 luokan, päästörajat ovat 0.05 mg/m<sup>2</sup>h formaldehydille (HCHO), 0.03 mg/m<sup>2</sup>h ammoniakille (NH<sub>3</sub>) ja 0.2 mg/m<sup>2</sup>h TVOC (total volatile organic compounds)-emissioille. M2 luokassa päästörajat ovat vastaavasti 0.125 mg/m<sup>2</sup>h (HCHO), 0.06 mg/m<sup>2</sup>h (NH<sub>3</sub>), and 0.4 mg/m<sup>2</sup>h (TVOC). Luokkaan M3 kuuluvat materiaalit, joiden epäpuhtauspäästöt ylittävät luokan M2 vaatimukset. Kemiallisten päästökriteerien lisäksi jokaisessa luokassa materiaali-päästöille on asetettu aistinvaraisessa testissä hyväksyttävyyvaatimuksia.

Aluksi tässä hankkeessa valittiin VTT:n Sisäilmakemian datapankista kahdeksan rakennusmateriaalia (4 paria: kaksi lattiapäilystettä (PVC), kaksi maalia, kaksi tasoitetta ja kaksi liimaa, joista puolet täytti 'parhaan' M1-luokan kriteerit ja puolet ei. Materiaalien emissiotiedoista valittiin edelleen kullekin materiaalille tyypilliset VOC-seokset (3–8 yleisintä yhdistettä, mukana myös ärsytyksen kannalta reaktiivisia yhdistettä), joiden ärsytysominaisuuksia tutkittiin koe-eläinmallin avulla ja hajukynnykset määritettiin ihmispaneelilla.

### 3.3 Materiaaliemissioita edustavat kemikaaliseokset

Tutkimukseen valituista kahdeksasta materiaalista (Taulukko 40) kaikki paitsi Maali[-]-materiaali täyttivät M1-luokan vaatimukset kemiallisten emissioiden osalta, mutta kustakin parista vain toinen materiaali hyväksyttiin (merkitty [+]) ja vastaavasti toinen hylättiin (merkitty [-]) aistinvaraisessa arvioinnissa. Taulukossa 1 on esitetty tutkittujen materiaalien 3–8 keskeisintä yhdistettä ja niiden emissio kertoimet. Nämä kemikaalit muodostivat kyseistä materiaalia edustavan VOC-seoksen eläinkokeita (ASTM 1984) ja paneelin hajukynnyksen määrittämistä varten. Seoksen ärsyttävyy (hiiri) ja hajun havaitsemiskynnykset (ihmis-paneeli) määritettiin sekä perusseoksille, jotka eivät sisältäneet reaktiivisia kemikaaleja (formaldehydiä ja ammoniakia), että kokonaisseoksille (sisälsivät kaikki taulukossa 40 esitetyt kemikaalit).

Taulukko 40. Testattujen materiaalien yhdistekohtaiset emissiokertoimet, suhteelliset osuudet koko emissiosta sekä laskennalliset pitoisuudet Climpaq-kammiossa materiaalien haistelun aikana (kammion tilavuus  $0.05 \text{ m}^3$ ; materiaalin määrä kammiossa  $0.67 \text{ m}^2$  (PVC, liima, tasoite) ja  $2.3 \text{ m}^2$  (maali); ilmanvaihto  $3.13\text{--}3.42 \text{ m}^3/\text{h}$ ) ja  $17 \text{ m}^3$  mallihuoneessa (ilmanvaihtokerroin =  $0.5 \text{ l/h}$ ).

Materiaali/Emissio	Materiaaliemissiot		Laskennallinen pitoisuus	
	Emissiokerroin $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Osuus emissiosta, %	Climpaq, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mallihuone $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PVC [+], hyväksytty				
1,2-propaanidioli	13	8.5	2.8	11
fenoli	5	3.3	1.1	4
2-(2-butoksietoksi)etanoli	58	37.9	12.4	47
1-metyyli-2-pyrrolidoni	77	50.3	16.5	63
ammoniakki	-	-	-	-
Formaldehydi	-	-	-	-
<b>Yhteensä</b>	<b>153</b>	<b>100</b>	<b>32,7</b>	<b>125</b>
PVC [-], ei-hyväksytty				
2-etyyliheksanoli	13	18.1	2.6	11
2,2,4,6,6- pentametyyli-heptaani	2	2.8	0.4	2
2-etyyliheksaanihappo	35	48.6	6.9	28
1-butanoli	5	6.9	1.0	4
ammoniakki	12	16.7	2.4	10
formaldehydi	5	6.9	1.0	4
<b>Yhteensä</b>	<b>72</b>	<b>100</b>	<b>14,2</b>	<b>59</b>
Maalif[+], hyväksytty				
Texanoli	137	95.8	92.7	383
ammoniakki	3	2.1	2.0	8
formaldehydi	3	2.1	2.0	8
<b>Yhteensä</b>	<b>143</b>	<b>100</b>	<b>96.7</b>	<b>399</b>
Maalif[-], ei-hyväksytty				
1,2-propaanidioli	260	70.1	191.1	728
2-(2-etoksietoksi)etanoli	100	27.0	73.5	280
2-amino-2-metyyli-1-propanoli	4	1.1	2.9	11
ammoniakki	4	1.1	2.9	14
formaldehydi	3	0.8	2.2	8
<b>Yhteensä</b>	<b>371</b>	<b>100</b>	<b>272.6</b>	<b>1041</b>

Taulukko 40. Jatkoa...

	Materiaaliemissiot		Laskennallinen pitoisuus	
Materiaali/Emissio	Emissiokerroin $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Osuus emissiosta, %	Climpaq, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mallihuone $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Liima[+], hyväksytty</b>				
Nonanaali	1	0.7	0.2	0.8
sykloheksanoli	1	0.7	0.2	0.8
2-(2-butoksietoksi)etanoli, asetaatti	117	86.0	23.8	95
2-(2-butoksietoksi)etanoli	5	3.7	1	4
ammoniakki	5	3.7	1	4
formaldehydi	7	5.1	1.5	6
<b>Yhteensä</b>	<b>136</b>	<b>99,9</b>	<b>27,7</b>	<b>110,6</b>
<b>Liima[-], ei-hyväksytty</b>				
1,2-propanidioli	5	13.2	1	4
ksyleeni	2	5.3	0.5	2
2-(2-butoksietoksi)etanoli, asetaatti	10	26.3	2	8
tolueeni	1	2.6	0.2	0.8
ammoniakki	10	26.3	2	8
formaldehydi	10	26.3	2	8
<b>Yhteensä</b>	<b>38</b>	<b>100</b>	<b>7,7</b>	<b>30,8</b>
<b>Tasoite[+], hyväksytty</b>				
Heksanaali	3	10	0.5	2
2-etyyli-1-heksanoli	1	3.3	0.2	0.8
nonanaali	2	6.7	0.5	2
TXIB	1	3.3	0.2	0.8
ammoniakki	3	10	0.5	2
formaldehydi	20	66.7	4	16
<b>Yhteensä</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>5,9</b>	<b>23,6</b>
<b>Tasoite[-], ei-hyväksytty</b>				
1,2-propanidioli	70	50.0	14.3	57
tolueeni	1	0.7	0.2	0.8
TXIB	3	2.1	0.5	2
2-(2-butoksietoksi)etanoli	1	0.7	0.2	0.8
2-etyyliheksanoli	2	1.4	0.5	2
bentseenimetanoli	4	2.9	0.8	3
ammoniakki	3	2.1	0.5	2
formaldehydi	56	40.0	11.5	46
<b>Yhteensä</b>	<b>140</b>	<b>99,9</b>	<b>28,5</b>	<b>113,6</b>

### 3.3.1 Seosten hajukynnyksen määrittäminen

Näytteenottopusseihin otettujen näytteiden hajukynnykset määritettiin aistinvaraisesti Olfatomat OLF-N1-e-olfaktometrillä. Olfaktometri muodostaa alkuperäistä näytettä puhtaalla ilmalla laimentamalla näytekaasuvirran, jossa hajun pitoisuus on vakio. Laite toimii ns. Forced Choice menetelmän mukaan, eli koehenkilö valitsee kahdesta kaasuvirrasta, josta toinen on puhdasta ilmaa ja toinen näytekaasuvirta, kumpi on haiseva. Näytekaasuvirran pitoisuutta kasvatetaan ts. laimennusta vähennetään asteittain, kunnes detektorina toimiva koehenkilö erottaa hajua näytekaasuvirrassa. Koehenkilöiden arvioinnin perusteella olfaktometri laskee näytteen hajupitoisuuden (P50) muodossa hajuyksikköä/m<sup>3</sup> (h.y./m<sup>3</sup>). Hajupitoisuus tarkoittaa sitä laimennuskertojen lukumäärää, jolla näytekaasuvirtaa on laimennettava, jotta 50 % hajupaneelin jäsenistä ei tunnista näytevirrassa hajua. Hajuarvioinnit suoritti VTT Kemianteekniikan henkilökunnasta muodostettu paneeli.

### 3.3.2 Seosten ärsyttävyyden testaus hiirimallilla

Perusseokset (seos, joka ei sisältänyt reaktiivisia kemikaaleja, formaldehydiä ja ammoniakkia) valmistettiin puhtaista laboratoriokemikaaleista (Sigma-Aldrich, Saksa) taulukon 40 osoittamien suhteellisten osuuksien mukaan. Laimennettua 36.5 % formaldehydi-vesiliuosta (Riedel-deHaën, Saksa) sekä 25 % ammoniakiliuosta (Merck, Saksa) (tai kaasumaista ammoniakkia (Woikoski, Suomi)) käytettiin kyseisten kaasujen tuottamiseen kokonaisseosten testaamisessa. Peruskemikaaliseokset ja vesiliuokset syötettiin halutun altistuspitoisuuden mukaisella vakionopeudella infuusiopumppujen avulla Pitt#1 generaattoriin (Kasanen ym. 1998, 1999), jossa ne haihtuivat ohivirtaavaan paineilmaan, ja josta ne johdettiin altistuskammioon.

Seosten aiheuttamaa ylempien hengitysteiden ärsytystä (sensorinen ärsytys, sensory irritation, SI) tutkittiin standardoidun hiirimallin avulla (ASTM 1984). Jokaisessa kokeessa altistettiin yksi neljän hiiren ryhmä tietylle seospitoisuudelle siten, että ainoastaan hiirten päät olivat altistuskammiossa. Ylempiä hengitysteitä ja silmiä ärsyttävät aineet aiheuttavat refleksimäisen hengitystiheyden laskun, jolloin pään aluetta hermottavan kolmoishermon aktivoitumisen tuloksena tauko uloshengityksen jälkeen pitenee (Alarie 1973).



Jokaisessa kokeessa rekisteröitiin neljän hiiren keskimääräinen hengitystiheys automaattisella tiedonkeruujärjestelmällä (Viljayaraghavan ym. 1993, 1994; Boylstein ym. 1995) 15 sekunnin välein koko kokeen (15 min. perusjakso, 30 min. altistusjakso ja 15 min. palautumisjakso) ajan. Perus- ja palautumisjakson aikana hiiret hengittivät huoneilmaa. Perusjakson aikana kerätyistä arvoista määritettiin hengitystiheyden perustaso (keskiarvo 60:stä 15 sekunnin arvosta), jolle annettiin arvo 100 % (=normaali hengitystiheys). Tähän arvoon verrattiin muita kokeen jaksojen aikana rekisteröityjä hengitystiheyksiä. Jotta sensorinen ärsytys voitiin erottaa muista hengitystievaikutuksista, rekisteröitiin myös uloshengityksen jälkeisen tauon pituus automaattisesti koko kokeen ajan (Viljayaraghavan ym. 1993, 1994; Boylstein ym. 1995). Kokeesta saatavana vasteena tietylle testattavan altisteen pitoisuudelle (yksittäinen kemikaali, ks. jäljempänä, tai kemikaaliseos) tässä tutkimuksessa käytettiin maksimaalista hengitystiheyden laskua,  $RD_{max}$  (hengitystiheyden lasku = RD, decrease in respiratory rate).  $RD_{50}$ -arvon (yhdisteen pitoisuuden, joka laskee hiiren hengitystiheyttä 50 % perusjakson keskiarvosta) määrittäminen perustuu juuri pitoisuus- $RD_{max}$ -korrelaation perusteella saatavaan kokeelliseen arvoon (ASTM 1984).

Kuten aiemmin on todettu hiirimallilla on tähän mennessä arvioitu yli 300 yhdisteen tai seoksen ärsyttävyyttä (Schaper 1993). Näiden tutkimusten perusteella on voitu osoittaa, että  $RD_{50}$ -arvon (yhdisteen pitoisuuden, joka laskee hiiren hengitystiheyttä 50 % perusjakson keskiarvosta) avulla voidaan luotettavasti arvioida työpaikan ilman epäpuhtauksien sallittuja enimmäispitoisuuksia (ns. HTP-arvoja) yhtälöllä  $HTP = 0.03 \cdot RD_{50}$  (Schaper 1993). Koska sisäilmassa ei voida hyväksyä yhtä suuria pitoisuuksia kuin työpaikoilla, Nielsen ym. (1995) ovat edelleen arvioineet, että aineiden sisäilmassa hyväksyttävät pitoisuudet (Recommended Indoor Level, RIL) voisivat olla korkeintaan  $1/4-1/40$  ( $RIL_{ylempi} - RIL_{alempi}$ ) työilmassa sallituista pitoisuuksista perustuen pidempään altistusaikaan (24 h/vrk) ja herkkien ihmisryhmien oleskeluun sisätiloissa. Alemman RIL-arvon voidaan katsoa suojaavan kaikkein herkimpiäkin yksilöitä (esim. lapset, vanhukset, astmaatit) kemikaalien aiheuttamilta ärsytysoireilta (Nielsen ym. 1995).

### **3.4 Kemikaaliseosten ärsyttävyyden mallintaminen; kokeellinen ja teoreettinen tarkastelu malliseosten avulla**

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) pidetään tärkeänä sisäilmassa esiintyvänä ärsytysoireita aiheuttavan tekijänä. Jo kymmenien yksittäisten kemikaalien ärsytysominaisuuksia on tutkittu kokeellisesti sekä ihmisillä että eläimillä. Kuitenkin kemikaalit esiintyvät työpaikoilla ja kodeissa seoksina, joiden ärsytysominaisuuksia, kuten muitakin terveysvaikutuksia, arvioidaan yksittäisten kemikaalien ominaisuuksien perusteella. Arviointi perustuu yleensä additiivisuusperiaatteen: seoksen ärsytysvaikutus lasketaan seoksessa esiintyvien yksittäisten kemikaalien vaikutuksista summaamalla (Korpi ym. 1999 a ja b). Hengitystieärsytyksen kannalta tämän periaatteen teoreettista pohjaa on tutkittu vain muutamassa tutkimuksessa aiemmin (Kane ja Alarie 1978; Nielsen ym. 1988; Cassee ym. 1996; Hempel-Jorgensen et al. 1999; Kasanen ym. 1999; Cometto-Muniz ym. 1999, 2001).

Yleisesti sisäilmassa esiintyvät kemikaalit ovat ärsytyksen kannalta ei-reaktiivisia yhdisteitä (mm. alifaattiset alkoholit, ketonit, alkyylibentseenit). Lisäksi sisäilmassa esiintyy muutamia tyypillisiä reaktiivisia kemikaaleja, esim. formaldehydi, amiinit erityisesti ammoniakki. Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena verrata/mallintaa, kuinka hyvin yksittäisten aineiden ärsytysvaikutusten perusteella voidaan ennustaa niiden seoksen aiheuttamaa ärsytystä. Kemikaaliseosten yhteisvaikutusperiaatteen selvittämiseksi teoreettisella tasolla ärsytysvaikutuksia tutkittiin erilaisilla malliseoksilla, jotka sisälsivät tyypillisiä sisäilmassa esiintyviä yhdisteitä. Tutkimuksessa määritettiin kolmen ei-reaktiivisen malliyhdisteen ja formaldehydin ärsytystä, ensin yksittäin ja sitten erilaisina seosyhdistelminä. Ko. seoksilla pyrittiin saamaan selville, miten erilaisten yhdisteiden ärsytysominaisuudet voidaan laskea mukaan näistä koostuvan seoksen ärsytyspotentiaalia arvioitaessa, ja voidaanko reaktiivisia yhdisteitä, kuten formaldehydiä ja ammoniakkia, sisällyttää samaan malliin ei-reaktiivisten kanssa, vai tuleeko ne huomioida erikseen (esim. määrittää omat emissiorajat ärsytysvaikutusten suhteen).

### 3.4.1 Kokeiden kuvaus

Testattaviksi kemikaaleiksi valittiin tyypillisiä sisäilmassa esiintyviä yhdisteitä ja joihin kuului ärsytyksen kannalta reaktiivinen yhdiste (formaldehydi) ja kolme ei-reaktiivista yhdistettä (etyylibentseeni, 2-heksanoni, pineeni). Ensin testattiin kunkin kemikaalin ärsytysominaisuudet yksistään standardoidun hiirimallin avulla (ASTM 1984). Näiden tulosten perusteella saatiin matemaattinen arvio (pitoisuus-vaste ( $RD_{\max}$ -käyrä) kullekin yhdisteelle. Kyseisten käyrien perusteella voitiin määrittää additiivisuus-periaatteeseen perustuen testatun seoksen laskennallinen (arvioitu, estimoitu) vaste, jota verrattiin kokeellisesti saatuun ärsytysvasteeseen.

Käytetyt kemikaalit olivat laboratoriolaatua (Sigma-Aldrich, Saksa). Seoksista testattiin seuraavat binaariset (kahden kemikaalin muodostama) yhdistelmät: etyylibentseeni - 2-heksanoni, pineeni - 2-heksanoni, etyylibentseeni - pineeni, formaldehydi - etyylibentseeni ja formaldehydi- 2-heksanoni. Lisäksi testattiin kolmen ei-reaktiivisen kemikaalin - etyylibentseeni, 2-heksanoni ja pineeni - seoksen ärsyttävyyttä. Seoksissa käytettiin erilaisia seossuhteita (1:1, 1:2 jne.).

Formaldehydin tuottamiseen käytettiin laimennettua 36.5 % formaldehydivesiliuosta (Riedel-deHaën, Saksa). Formaldehydivesiliuos syötettiin halutun altistuspitoisuuden mukaisella vakionopeudella aina omalla infuusiopumpullaan Pitt#1-generaattoriin. Ei-reaktiiviset kemikaalit sekoitettiin tarvittaessa toisiinsa halutun pitoisuuden mukaisessa suhteessa ja ko. seokset syötettiin halutun altistuspitoisuuden mukaisella vakionopeudella toisen infuusiopumpun avulla Pitt#1-generaattoriin. Generaattorista kemikaalit haihtuivat ohivirtaavaan paineilmaan, ja josta ne johdettiin altistuskammioon (Kasanen ym. 1998, 1999).

Ylempien hengitysteiden ärsytystä (sensorinen ärsytys, sensory irritation, SI) tutkittiin edellä kuvatun standardoidun koe-eläinmallin avulla (ASTM E981-84). Jokaisessa kokeessa altistettiin yksi neljän hiiren ryhmä tietylle pitoisuudelle siten, että ainoastaan hiirten päät olivat altistuskammiossa. Ärsytyksen voimakkuuden arvioinnissa käytettiin kussakin kokeessa (tietyllä pitoisuudella) maksimaalista hengitystiheyden laskua ( $RD_{\max}$ ) altistuksen aikana verrattuna perusjakson keskiarvoon.

Kokeiden perusteella kullekin yksittäiselle yhdisteelle piirrettiin pitoisuus-vaste -käyrät (pitoisuus vs.  $RD_{max}$ ). Yksittäisille yhdisteille muodostettujen käyrien yhtälöiden avulla laskettiin additiivisuuteen perustuen kunkin testatun seoksen pitoisuuden perusteella (kun tiedetään seoksessa olevien yksittäisten kemikaalien pitoisuudet) seokselle laskennallinen vaste, jota verrattiin kokeellisesti saatuun ärsytysvasteeseen. Pitoisuus-vaste (RD)-käyrien matemaattinen sovitus hajontakuvion pisteille on laskettu SigmaPlot 5.0 -ohjelmalla.

## 3.5 Tulokset

### 3.5.1 Materiaaliemissioiden hajuominaisuudet

Materiaalien emissioiden hyväksyttävyyden keskiarvot sekä paneelin jäsenten niihin liittämät sanalliset kuvaukset emission laadusta on esitetty taulukossa 41. Liima[+]- ja PVC[+] -materiaalien aiheuttamat emissiot olivat selvästi hyväksyttäviä. Muiden materiaalien hyväksyttävyys oli melko lähellä nollaa. Itse asiassa hylättyjen materiaalien hyväksyttävyys vaihteli hyvin vähän (-0.03 – -0.17) ja hyvin selvästi hylättyjä materiaaliemissioita ei ollut mukana. Tämä saattaa hie-man vaikuttaa tulosten luotettavuuteen ja yleistettävyyteen. Laadullisissa kuvauksissa kaikki testauksessa hylättyjen materiaalien emissiot kuvattiin epämiellyttäväksi/ei-hyväksyttäväksi ja kolme neljästä pistäväksi. Myös Tasoite[+]’n emissiota kuvattiin pistäväksi. Yksi ärsyttävyyden aistittava ominaisuus on pistävyys (pungency) (Getchell ym. 1991; Green ym. 1990).

Perus- ja kokonaisseoksille määritetyt hajun havaitsemiskynnykset on esitetty taulukossa 41. Maali-kokonaisseoksille ei havaitsemiskynnyksiä pystytty määrittämään niiden epästabiilisuuden vuoksi. Kun reaktiiviset yhdisteet lisättiin perusseoksiin, kaikki havaitsemiskynnykset muuttuivat alkuperäisestä (perusseoksen havaitsemiskynnys), mutta selvää trendiä havaitsemiskynnyksen muutoksessa ei havaittu (taulukko 41).

### 3.5.2 VOC-seosten ärsyttävyys

Kun hiiret altistettiin koko tunnin ajan huoneilmalle, hengitystiheydessä (tai muissa rekisteröidyissä muuttujissa) ei havaittu merkittäviä muutoksia perusjak-

soon verrattuna. Seoksille altistettaessa tauon pidentyminen uloshengityksen jälkeen (sensorinen ärsytys) aiheutti kokeissa havaitut hengitystiheyden laskut altistusten aikana. PVC[+]-kemikaaliseos (ei sisältänyt ammoniakkia (NH<sub>3</sub>) tai formaldehydiä (HCHO)) aiheutti vain hyvin pienen laskun hengitystiheydessä testatuilla pitoisuuksilla 300 ja 580 mg/m<sup>3</sup>, kun taas PVC[-]-seokselle altistettaessa suurin havaittu vaste – suurin havaittu hengitystiheyden lasku (RD<sub>max</sub>) – oli noin 40–48 % pitoisuuden ollessa noin 50 mg/m<sup>3</sup> (sis. 11 mg/m<sup>3</sup> NH<sub>3</sub>:a ja 3.2 mg/m<sup>3</sup> HCHO:ä) ja noin 70 % pitoisuudella 110 mg/m<sup>3</sup>. PVC[-]-perusseos (ei sis. NH<sub>3</sub> tai HCHO) aiheutti pitoisuudesta riippuvan vasteen nousun, ja (RD<sub>max</sub>) oli noin 40 %, kun pitoisuus oli 306 mg/m<sup>3</sup>.

Maali[-]-perusseos (ei sis. NH<sub>3</sub> tai HCHO) ei aiheuttanut laskua hengitystiheydessä suurimmilla testatuilla pitoisuuksilla (alle 600 mg/m<sup>3</sup>). Maali[+]-perusseos aiheutti puolestaan pienen RD<sub>max</sub>:n mutta tällöin sen pitoisuus (noin 140–180 mg/m<sup>3</sup>) oli vain kolme-neljäsosa Maali[-]-seoksen maksimipitoisuudesta. Formaldehydin lisäys ko. seokseen kasvatti vastetta selvästi. Maali[-]-kokonaisseos aiheutti kohtalaisen laskun hengitystiheydessä suurimmilla testatuilla pitoisuuksilla (noin 615 mg/m<sup>3</sup>). Suurin testattu Maali[+]-kokonaisseoksen pitoisuus aiheutti puolestaan hieman pienemmän laskun (25 %), mutta tällöin sen pitoisuus (noin 145 mg/m<sup>3</sup>) oli vain neljäsosa Maali[-]-seoksen maksimipitoisuudesta.

Molemmat Liima-perusseokset aiheuttivat vain pientä sensorista ärsytystä. Maksimaalinen RD oli vain 10–12 %, kun Liima[+]-perusseoksen pitoisuus oli 210 mg/m<sup>3</sup>, ja 15–20 % Liima[-]-perusseoksen pitoisuudella 520 mg/m<sup>3</sup>. Liima-kokonaisseokset puolestaan aiheuttivat selkeän pitoisuudesta riippuvan maksimaalisen RD:n. RD<sub>max</sub> oli yli 50 %, kun Liima[-]-kokonaisseoksen pitoisuus oli 46 mg/m<sup>3</sup> (sis. 11 mg/m<sup>3</sup> HCHO) ja kun Liima[+]-kokonaisseoksen pitoisuus oli 90 mg/m<sup>3</sup> (sis. 5.1 mg/m<sup>3</sup> HCHO).

Tasoite-perusseokset olivat myös heikkoja ärsyttäjiä. Hyvin pieni maksimaalinen RD havaittiin, kun Tasoite[-]-perusseoksen pitoisuus oli >390 mg/m<sup>3</sup>, ja RD<sub>max</sub> oli 13–15 %, kun Tasoite[+]-perusseoksen pitoisuus oli 86–136 mg/m<sup>3</sup>. Formaldehydin lisääminen perusseoksiin nosti vasteen hyvin voimakkaaksi: yli 60 %:n RD<sub>max</sub> Tasoite[+]-kokonaisseoksen 24 mg/m<sup>3</sup> pitoisuudella ja Tasoite[-]-kokonaisseoksen 41 mg/m<sup>3</sup> pitoisuudella.

Taulukko 41. Materiaali(emissio)n hyväksyttävyyys (-1 ... 1) ja sanallinen kuvaus, sekä seoksen hajun havaitsemiskynnys ihmispaneelilla määritettynä, RIL-arvot, sensorisen ärsytyksen voimakkuuden indeksit (SIPI) ja hajun voimakkuuden indeksit (OII) testattujen materiaalien ja seosten osalta.

Materiaali / Seos	Materiaalin hyväksyttävyyys	Materiaalin (emission) sanallinen kuvaus	Seoksen hajun havaitsemiskynnys (mg/m <sup>3</sup> )		RIL (alempi-ylempi)	Cclimpaq / RIL <sub>alempi</sub>	Cclimpaq / OT <sub>ko-konaisseos</sub>
			Perusseos	Kokonaisseos	µg/m <sup>3</sup>	SIPI	OII
Liima[+]	+0.91	Miellyttävä, puumainen, kuiva	0.002	0.001	60–600	0.47	28
Liima[-]	-0.03	Epämiellyttävä, tunkkainen, pistävä	0.010	0.030	30–300	0.27	0.267
Tasoite[+]	+0.33	Hyväksyttävä, kuiva, pistävä	0.010	0.005	11–110	0.55	1.2
Tasoite[-]	-0.14	Epämiellyttävä, kuiva, pistävä	0.005	0.010	19–190	1.47	2.8
Maali[+]	+0.28	Makea, hyväksyttävä	0.003	Nd	260–2600	0.37	--
Maali[-]	-0.11	Ei-hyväksyttävä	0.003	Nd	680–6800	0.40	--
PVC[+]	+0.87	Hyvä, makea, muovimainen	0.040*	0.040*	1300–13000	0.03	0.825
PVC[-]	-0.17	Epämiellyttävä, painostava, tunkkainen, pistävä	0.030	0.100	38–375	0.37	0.14

nd, ei määritetty (seos ei pysynyt stabiilina Tedlar-pussissa)

\* sama seos

### 3.5.3 RD<sub>50</sub>- ja RIL-arvot

PVC[-]-kokonaisseoksen 50 mg/m<sup>3</sup> pitoisuus aiheutti noin 50 % hengitystiheyden laskun maksimissaan. Tähän perustuen kyseiselle seokselle voidaan laskea RIL-arvoiksi PVC[-]-kokonaisseokselle 38–375 µg/m<sup>3</sup> (RIL<sub>ylempi</sub> – RIL<sub>alempi</sub>). Liima- ja Tasoite-kokonaisseoksille vastaavasti lasketut RIL-arvot on esitetty taulukossa 54.

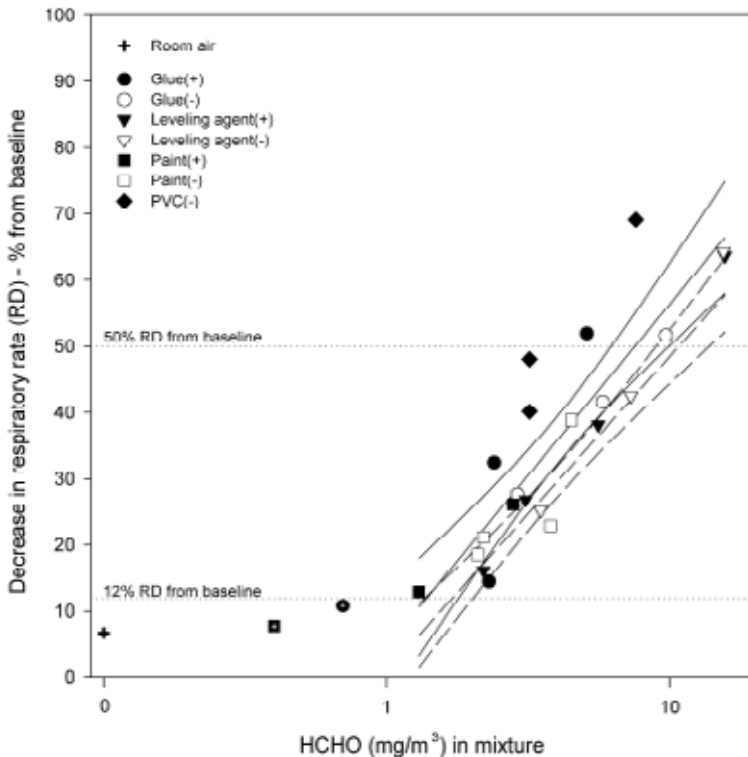
Vaikka Maali- ja PVC[+]-kokonaisseoksilla RD<sub>50</sub>-tasoa ei saavutettu, arvioitiin näille seoksille RD<sub>50</sub>-arvot perustuen suurimpiin käytettyihin pitoisuuksiin ja niiden aiheuttamaan maksimivasteeseen (RD<sub>max</sub>) ko. pitoisuudella sekä 25 hyvin tunnetun sensorista ärsytystä aiheuttavan kemikaalin pitoisuus-vastekorrelaatioiden kulmakertoimiin (20). Kun käytetään näiden kulmakertoimien keskiarvoa (59.6 +/- 21.4(SD)), ja otetaan huomioon, että maksimaalinen RD on noin 26.5 % Maali[+]-kokonaisseoksen pitoisuudella 150 mg/m<sup>3</sup>, saadaan näistä RD<sub>50</sub>-arvioksi 350 mg/m<sup>3</sup>. Tästä arvioitu RIL Maali[+]-kokonaisseokselle on 0.3 –2.6 mg/m<sup>3</sup>(RIL<sub>ylempi</sub> – RIL<sub>alempi</sub>). Vastaavasti arvioidut RIL-arvot Maali[-]- ja PVC[+]-kokonaisseoksille on esitetty taulukossa 41.

#### 3.5.3.1 Tulosten tarkastelu

Reaktiiviset yhdisteet seoksissa, erityisesti formaldehydi, olivat pääasiallisin syy seosten ärsyttävyyteen: verrattaessa perusseoksia ja vastaavia kokonaisseoksia, huomataan, että formaldehydin ja ammoniakkin lisäys seoksiin aiheuttaa merkittävän vasteen kasvamisen. Toisin sanoen, mitä suurempi formaldehydin osuus seoksessa oli, sitä ärsyttävämpi tutkittu seos oli. Tasoite[+]-kokonaisseoksessa oli formaldehydin osuus kaikkein suurin (66.7 %), ja se oli voimakkain ärsyttävä. Heikoimmat ärsyttäjät olivat Maali[-] (0.8 % HCHO) ja PVC[+] (0 % HCHO). Vastaava formaldehydin dominoiva rooli materiaaliemissiossa on huomattu muutamissa aikaisemmissa tutkimuksissa (Hansen ym. 1991; Johnsen ym. 1991; Wolkoff ym. 1991; Muller ym. 1995).

Formaldehydin ärsytysvastetta ohjaava rooli tulee hyvin esille kuvassa 32. Siihen on piirretty testatuista seoksista tehdyt kokeet niiden sisältämien formaldehydipitoisuuksien ja aiheuttamien vasteiden (RD<sub>max</sub>) mukaan. Kuvan sanoma on selvä: mitä suurempi on formaldehydin pitoisuus seoksessa, sitä ärsyttävämpi

kyseinen seos on. Ammoniakki on myös tunnettu hengitystieärsytyksen aiheuttaja ( $RD_{50} = 303\text{--}770 \text{ mg/m}^3$ ), mutta se on noin 100 kertaa heikompi ärsyttävä kuin formaldehydi ( $RD_{50} = 3.9\text{--}6.5 \text{ mg/m}^3$ ) (Schaper 1993; Nielsen ym. 1999). Tutkituissa seoksissa ammoniakkin pitoisuus oli paljon pienempi kuin sen  $RD_{50}$ -arvo, kun taas formaldehydiä seoksissa oli paljon enemmän suhteessa sen  $RD_{50}$ -arvoon.



Kuva 32.  $RD_{max}$ -vaste (y-akseli) eri seoksissa olevan formaldehydin (HCHO, x-akseli) pitoisuuden funktiona (Room air = huoneilma-altistus, Glue = Liimaseos, Leveling agent = Tasoiteseos, Paint = Maaliseos). Kuvassa on esitetty yhtenäisillä viivoilla pistejoukkoon sovitettu suora ja sen 95 % luottamusväli. Niissä kokeissa, joissa  $RD_{max}$  on ollut alle 12 %, ei ole otettu mukaan regressioanalyysiin (merkitty +:lla symbolin sisään). (Katkoviivoilla on esitetty vastaava suorasovitus, kun vasteena on ollut RD-arvojen keskiarvo koko altistuksen aikana. Tätä muuttujaa ei raportissa ole esitetty.)



Tutkituista perusseoksista vain harvat aiheuttivat voimakasta ylähengitysteiden ärsytystä. PVC[-]-perusseoksen ärsyttävyyden aiheutuu 2-etyyliheksanolista ja 2-etyyliheksaanihaposta. 2-Etyyliheksanolin  $RD_{50}$ -arvo on  $233 \text{ mg/m}^3$  (Schaper 1993). Vastaavalle hapolle  $RD_{50}$ -arvoa ei ole määritetty, mutta se on todennäköisesti hyvin lähellä alkoholin arvoa. Muut perusseokset sisälsivät vain heikosti ärsyttäviä yhdisteitä.

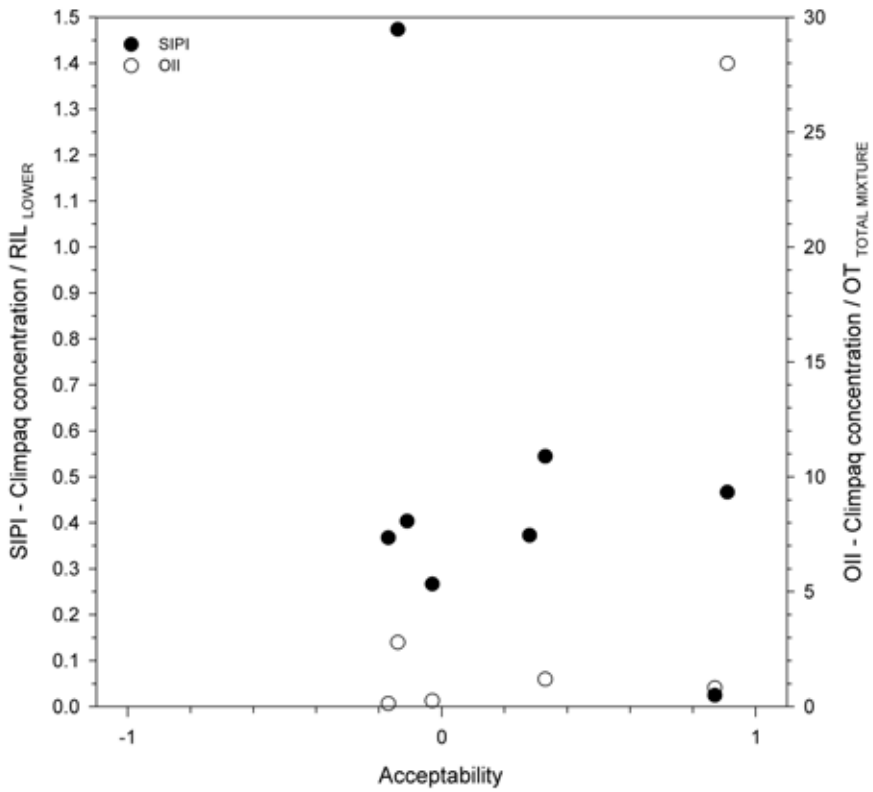
Hyväksyttävyyssarvojen, ärsyttävyyden ja hajun tulosten vertailemiseksi on laskettu testatuille materiaaleille sensorisen ärsytyksen voimakkuuden indeksit (SIPI, sensory irritation potency index) ja hajun voimakkuuden indeksit (OII, odor induction index) Climpaq-kammiossa havaittujen pitoisuuksien perusteella. SIPI-arvot on määritetty tietyn materiaalin emissioiden Climpaq-kammiossa aiheuttaman pitoisuuden (taulukot 40–41) ja tätä emissiota kuvaavan kemikaaliseksi alemman RIL-arvon ( $RIL_{\text{alempi}}$ ) välisenä suhteena. Mitä suurempi SIPI-arvo on sitä todennäköisempi on, että materiaalin hyväksyttävyyden arvioinnissa paneelin jäsen kokee ärsytystä. Jos SIPI-arvo ylittää 1.0 voivat herkimmat yksilöt kokea ärsytysoireita arvioinnin aikana. Mitä lähempänä arvo on 10.0 tai jopa sen sitä todennäköisemmin ärsytysoireita kokee suurin osa ihmisistä. Vastaavasti OII-arvot on määritetty tietyn materiaalin emissioiden Climpaq-kammiossa aiheuttaman pitoisuuden (taulukot 40–41) ja tätä emissiota kuvaavan kemikaaliseksi hajun havaitsemiskynnyksen välisenä suhteena. Jos OII on alle 1.0, on hyvin epätodennäköistä, että paneelin jäsenet havaitsevat kyseisessä seoksessa olevien kemikaalien aiheuttamaa hajua.

Joidenkin materiaaliparien aistinvaraisesti ihmispaneelilla saatu hyväksyttävyyden arvio ja hiirimallilla saatu ärsyttävyyden arvio (SIPI) tukivat toisiaan. Maali-, Tasoite- ja PVC-materiaalien [-]-seokset (aistinvaraisessa arvioinnissa hylätyn materiaalin pääemissiot) aiheuttivat suuremman ärsytysvaikutuksen kuin [+]-seokset. Näiden materiaaliparien aistinvarainen (hajupaneeli) ja hiirimallilla saatu arvio tukevat toisiaan materiaalin hyväksyttävyyttä arvioitaessa. Liimaseoksien aistinvaraisessa arvioinnissa hyväksytty materiaali oli ärsyttävämpi. Kaikissa kolmessa parissa (Maali-kokonaiseoksille ei hajun havaitsemiskynnystä kyetty määrittämään) hyväksyttävää materiaalia kuvaavalla kemikaaliseksi on alempi hajun havaitsemiskynnys kuin hylätyn materiaalin. Tämä on luultavasti sattumaa, koska hyväksyttävyyssarvolla (numeerinen arvio hyväksyttävyydestä, taulukko 41) ja hajun havaitsemiskynnöksellä (OII) ei ainakaan näiden kuuden materiaalin kesken ole selvää korrelaatiota (kuva 33). Kuten edellä esi-

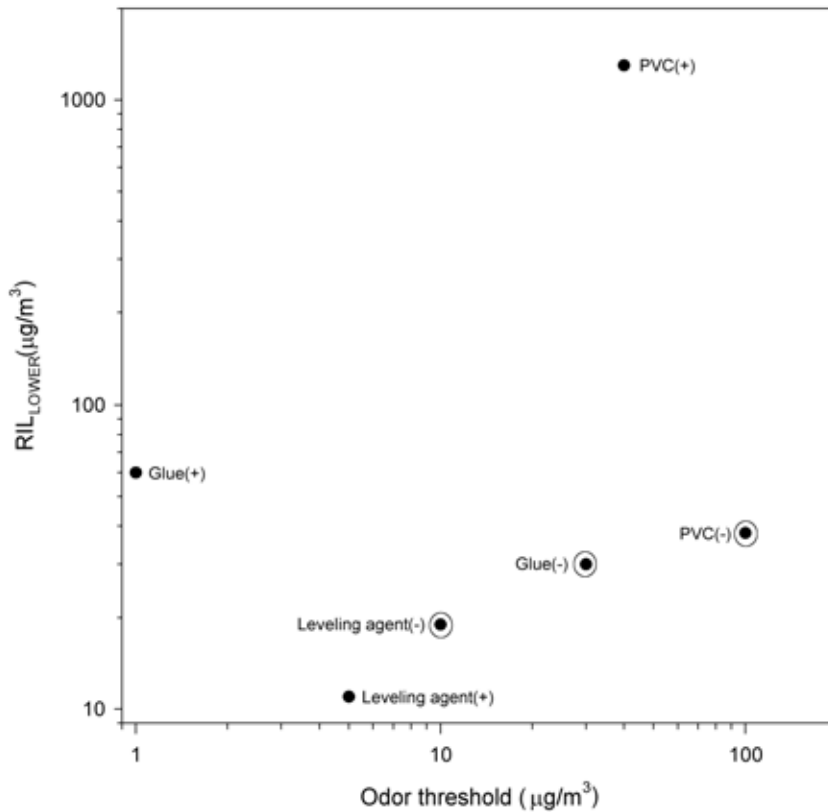
tettiin, myöskään materiaalin hyväksyttävyydellä ja ärsytyksellä (SIPI) ei korrelaatiota havaita (taulukko 41 ja kuva 33). Hajun ja ärsyttävyyden aistimisen eroavuutta korostaa myöskin se, että ärsyttävyyssarvojen (RIL) ja hajun havaitsemiskynnyksen välillä ei ainakaan tutkittujen seosten osalta havaittu korrelaatioita (taulukko 41 ja kuva 34).

SIPI-arvojen vaihteluväli oli 0.025–1.47. Näin ollen on hyvin epätodennäköistä, että ärsytysoireet ohjaisivat näiden materiaaliemissioiden 'hyväksyttävyyden' tai 'ei-hyväksyttävyyden' arviointia – ärsytystä ei ole todennäköisesti aistittu luokiteltaessa materiaaliemissio 'ei-hyväksyttäväksi'. Toisaalta 'pistävän' hajun kuvaus (kolme neljästä hylätystä materiaalista ja Tasoite[+], jonka hyväksyttävyyssarvo +0.33 on melko lähellä nollaa) viittaa siihen, että ainakin osa paneelin jäsenistä on voinut kokea joidenkin materiaalien emissiot sensorisesti ärsyttäväksi. Paneelin jäsenten kokemat hajuaistimukset ovat todennäköisemmin määrittävämmässä roolissa näiden materiaalein hyväksyttävyyttä arvioitaessa.

Mallihuoneen (17 m<sup>3</sup>) eri materiaalien aiheuttamat laskennalliset pitoisuudet ylittivät alemman RIL-arvon lähes jokaisen materiaalin kohdalla (poislukien PVC[+]). Useimmissa näissä tapauksissa huoneen laskennallinen pitoisuus oli kuitenkin alle tai noin kaksi kertaa suurempi kuin materiaalin laskennallinen RIL<sub>alempi</sub>-arvo. Näin ollen on mahdollista, että kaikki materiaalit voisivat aiheuttaa vähäistä sensorista ärsytystä herkimmissä henkilöissä todellisessa käyttötilanteessa, erityisesti materiaalin asennuksen jälkeen. Tasoite[-]:n kohdalla RIL<sub>alempi</sub>-arvo ylittyy noin kuusinkertaisesti, joten tämän materiaalin emissioiden voidaan olettaa aiheuttavan ärsytysoireita useammalla henkilöllä. Tutkituissa seoksissa formaldehydin keskeinen osuus ärsytysaistimuksen aiheuttajana tuli selvästi esille. Tutkimuksen perusteella voidaan myös todeta, että pelkän aistinvaraisen hajujen arvioinnin perusteella ei pystytä luotettavasti ennustamaan materiaaliemissioiden ärsytysvaikutuksia.



Kuva 33. SIPI- ja OII-arvojen (ks. teksti, taulukko 2) ja hyväksyttävyyden (acceptability; numeroarvo taulukossa 2) välinen korrelaatio.



Kuva 34. RIL ( $RIL_{alempi}$ , y-akseli) ja hajun havaitsemiskynnyksen (odor threshold) (ks. taulukko 54) välinen korrelaatio eri seoksilla (Glue = Liimaseos, Leveling agent = Tasoiteseos).

### 3.5.4 Hiirinmallin soveltuvuus tuoreiden materiaalien ärsyttävyyden rutiinomaiseen tarkasteluun

Tutkimuksen aikana tehtiin pilottikokeita kahdella mattoliimalla hiirimallin herkkyuden testaamiseksi havaita materiaaliemissioiden ärsytysvastetta silloin, kun emissiot vapautuvat materiaalista normaaliolosuhteissa testikammiossa.

Liimoista toinen (Liima 1) kuului emissiotietojen mukaan luokkaan M3 (sekä aistinvaraisen arvioinnin tulos että TVOC-emissiot eivät täytä luokan M2 kriteerejä: TVOC emissiot 2243  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , aistinvarainen arviointi -0.51, ammoniakki 4  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja formaldehydi 0  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) ja toinen (Liima 2) oli lähes M1-luokkaa (ainoastaan ammoniakkiemissio ylitti niukasti M1-luokan kriteerin: TVOC 37  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , aistinvarainen arviointi 0.57; ammoniakki 45  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja formaldehydi 8  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ). Liimat levitettiin lasilevyille ( $4 \times 22 \text{ cm} \times 67.1 \text{ cm}$ ), jotka sijoitettiin 120 litran teräskammioon ( $22^\circ\text{C}$ ; 45 % RH; ilmavirta läpi kammion 1.5 L/min) 24 tuntia ennen varsinaista ärsyttävyyden emissioiden ärsyttävyyden testaamista. Koska ihminen on herkempi ärsytyksen aistimisessa kuin hiiri, materiaalin suhteellinen määrä (materiaalin pinta-ala/kammion tilavuus,  $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) kammiossa oli 12 kertaa suurempi kuin ihmispaneelin suorittamassa aistinvaraisessa arvioinnissa. Yksi tunti ennen ärsyttävyyden testaamista kammion läpi virtaavan ilmavirta suljettiin, ja varsinaisessa kokeessa ilmaa johdettiin materiaalikammioista hiirten altistuskammioon 1.5 l/min.

Liimoista normaaliolosuhteissa vapautuvien emissioiden ärsytysvastetta tutkittiin edellä kuvatulla hiirimallilla yhden ja kolmen päivän sekä yhden kuukauden kuluttua levityksestä. Altistettaessa hiiriä liimalle 1, koe-eläimissä havaittiin selvä ärsytysvaste yhden päivän kuluttua liiman levityksestä ja lievä vaste vielä kolmantenakin päivänä. Liiman 2 emissioiden aiheuttama vaste oli selvästi lievempi jo vuorokauden kuluttua liiman levityksestä. Yhden kuukauden kuluttua kumpikaan liimoista eivät aiheuttaneet havaittavaa ärsytysvastetta hiirissä.

Pilottikokeet osoittivat, että ainakin joissakin tapauksissa koe-eläinmallin herkkyys riittää havaitsemaan ärsytysvasteen tuoreista materiaaliemissioista, mutta menetelmä ei sovellu materiaalien rutiinitestauksiin neljä viikkoa vanhoista näytteistä, mikä on rakennusmateriaalien päästöluokituksessa määritelty testausajankohta.

### 3.5.5 Kemikaaliseosten ärsyttävyyden mallintaminen

Yksittäisten kemikaalien pitoisuus-vaste (RD)-käyrien yhtälöt on esitetty alla (Kaavat 1–6. Etyylibentseenille ja 2-heksanolille ne on esitetty myös kuvassa 38. Viimeksi mainituille yhdisteille saatuun pistejoukkoon ( $\log$ -pitoisuus –  $\text{RD}_{\text{max}}$ -koordinaatistossa) on sovitettu polynomi muotoa

$$RD_{\max} = y_0 + a \cdot \text{pitoisuus} + b \cdot \text{pitoisuus}^2 \quad (1)$$

Etyylibentseenille kyseinen yhtälö on seuraavanlainen

$$RD_{\max} = 0.7814 + 0.0177 \cdot \text{pitoisuus} + 1.2641 \cdot 10^{-6} \cdot \text{pitoisuus}^2 \quad (2)$$

$$(r^2 = 0.933; F = 69.88; p < 0.0001)$$

Vastaavasti 2-heksanonille saadaan

$$RD_{\max} = 7.0536 + 0.0263 \cdot \text{pitoisuus} - 3.1532 \cdot 10^{-6} \cdot \text{pitoisuus}^2 \quad (3)$$

$$(r^2 = 0.923; F = 54.06; p < 0.0001)$$

Pineenille ja formaldehydille (kuvia ei esitetty) paras sovitus perustuu suoran yhtälöön

$$RD_{\max} = a + b \cdot \lg(\text{pitoisuus}) \quad (4)$$

Tähän perustuen saadaan pineenille

$$RD_{\max} = -38.672 + 31.939 \cdot \lg(\text{pitoisuus}) \quad (5)$$

$$(r^2 = 0.87)$$

ja formaldehydille

$$RD_{\max} = 2.803 + 51.445 \cdot \lg(\text{pitoisuus}) \quad (6)$$

$$(r^2 = 0.96)$$

Kaikissa edellä esitettyissä yhtälöissä pitoisuuden yksikkö on ppm.

Alarie (1998) on määrittänyt kyseisellä hiirimallille alimman ärsytysvastetason (JDE, just detectable effect), jota voidaan pitää merkitseväenä.  $RD_{\max}$ -muuttujalle tämä vaste on 12 % (ks. kuva 35). Tämän tutkimuksen ensimmäisenä vaiheessa oltiin erityisen kiinnostuneita sellaisista seoksista, joissa yksittäisten yhdisteiden pitoisuuden olivat liian pieniä (jos esiintyisivät yksin ilmassa) aiheuttamaan havaittavaa hengitystieärsytystä. Siten tutkittiin, voiko etyylibentseenin ja 2-heksanonin yksinkertainen 1:1 (V/V) -kemikaaliseos aiheuttaa ärsytystä tilanteessa, jossa seoksen kumpikaan yhdiste ei yksinään aiheuta ärsytysvastetta. Käytettyihin seoksiin valittiin ko. kemikaalien pitoisuus-vaste-yhtälöiden perusteella sellaiset etyylibentseenin ja 2-heksanonin pitoisuudet, jotka yksinään eivät olisi aiheuttaneet merkittävää ärsytystä. Tästä huolimatta, kun seoksessa olevien aineiden yhteispitoisuus ilmassa ylitti 90 ppm, havaittiin hiirillä merkittävä hengitystiheyden lasku (kuva 35). Laskennallisesti arvioiden (käyrät) vasta noin 190 ppm 2-heksanonია tai noin 610 ppm etyylibentseeniä aiheuttaisi vastaavan yli 12 % maksimaalisen hengitystiheyden laskun. Lisäksi kaikki seoksen tutkitut pitoisuudet (kuva 35) aiheuttivat suuremman vasteen kuin kumpikaan yksittäinen kemikaali vastaavalla pitoisuudella esiintyessään yksin (vrt. esimerkiksi noin 100 ppm 2-heksanonin tai noin 100 ppm etyylibentseenin aiheuttamaa vastetta 100 ppm seoksen aiheuttamaan hengitystiheyden laskuun; kuva 35).

Kun kyseisen 1:1 (etyylibentseeni:2-heksanoni; V/V) seoksen pitoisuutta nostettiin yli 200 ppm:n, merkittävää vasteen kasvua ei huomattu (tuloksia ei ole esitetty), päinvastoin kuin odotettiin. Tämän ilmiön syytä ei vielä ole osattu selittää tarkemmin. Kun muilla seossuhteilla tehtiin muutama koe, niin vastaava ilmiö huomattiin myös silloin: kun seoksen pitoisuus pysyi alhaisena (odotettu, teoreettisesti arvioitu vaste oli pieni), havaittu, kokeellinen vaste oli kohtalaisesti sopusoinnussa additiivisuus-periaatteen kanssa, mutta kun teoreettinen vaste ( $RD_{\max}(\text{expected})$ ) oli yli 15–20 %, kokeellinen vaste oli selvästi pienempi kuin summavaikutuksen perusteella voisi olettaa (kuva 36).

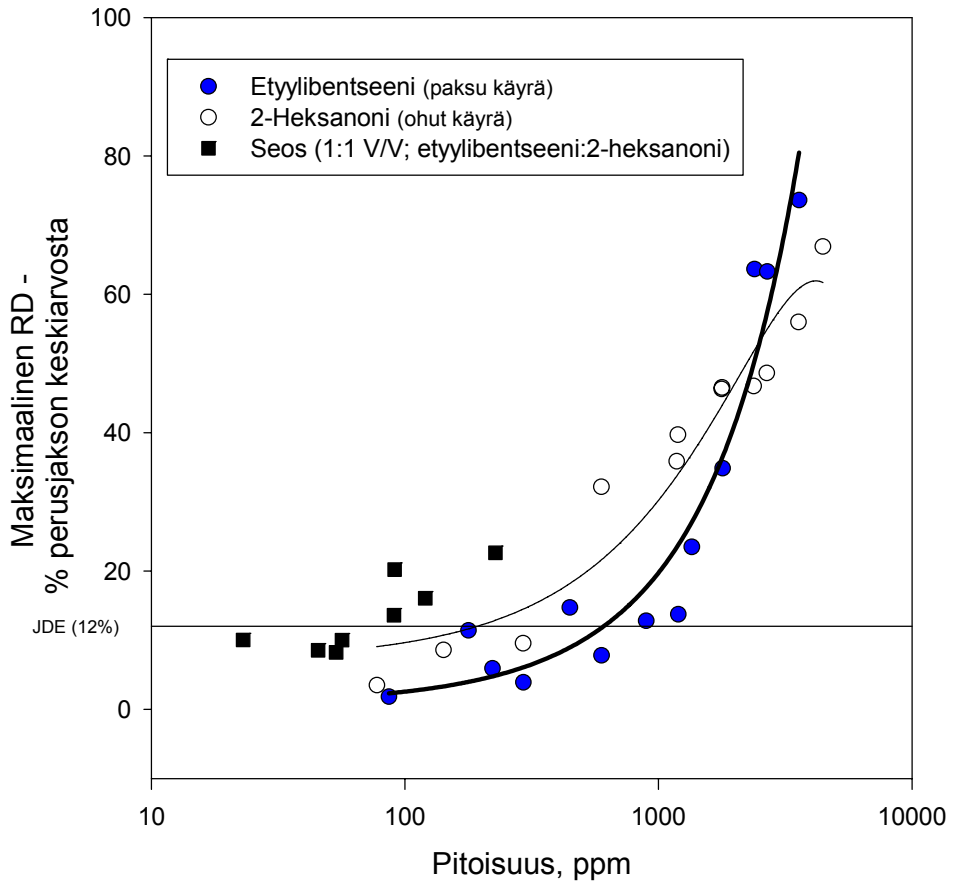
Kuvassa 36 yhtenäinen viiva kuvaa sitä suoraa, jolle pisteiden pitäisi asettua, jos seoksen yhdisteet 'ilmentäisivät' täydellistä additiivisuutta, eli seoksen yhdisteiden yhteisvaikutusta voitaisiin ennustaa yksittäisten yhdisteiden ärsytystulosten summavaikutuksena. Jos pisteet ovat suoran yläpuolella, voidaan päätellä seoksen olevan hieman voimakkaampi ärsytysominaisuuksiltaan kuin summavaikutuksen perusteella oletettu vaste – siis kyseessä on synergistinen vaikutus. Jos pisteet ovat suoran alapuolella, yhteisvaikutus on pienempi (hypoadditiivisuus;

antagonismi) kuin summavaikutuksen perusteella oletettiin. Pisteet sijoittuvat suoran ympärille pienillä odotetun vasteen arvoilla, mutta selvästi suoran alapuolelle suurilla  $R_{d_{\max}}(\text{expected})$ -arvoilla. Tämä viittaa summavaikutukseen seoksen alhaisilla pitoisuuksilla, mutta hypoadditiivisuuteen korkeammilla pitoisuuksilla.

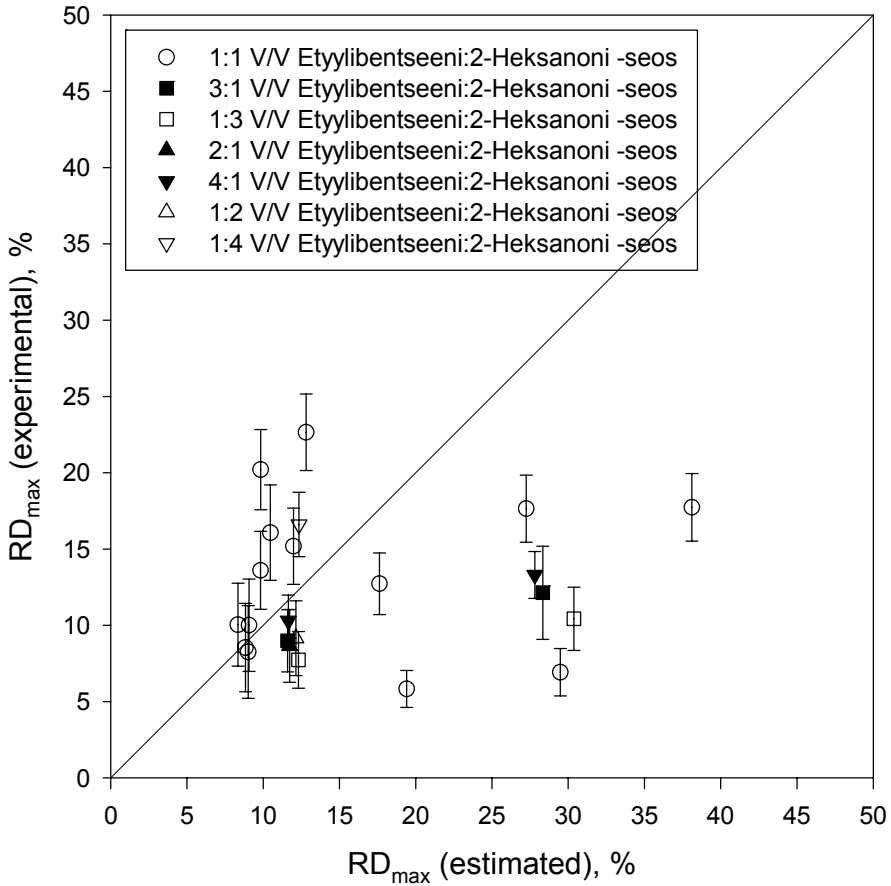
Alfa-pineenin ja etyylibentseenin tai 2-heksanonin muodostamissa binaarisissa seoksissa täyttyivät vastaavanlaisella lähestymistavalla tarkasteltuna summavaikutuksen kriteerit paremmin kuin etyylibentseenin ja 2-heksanonin seoksessa (dataa ei esitetty). Näiden kolmen ei-reaktiivisen kemikaalin muodostamassa tertiäärisessä seoksessa kemikaalit käyttäytyivät lievästi hypoadditiivisesti (kuva 37).

Tutkimuksessa oli mukana kaksi reaktiivisen ja ei-reaktiivisen kemikaalin muodostamaa binaarista seosta. Kuvassa 38 on esitetty formaldehydin ja etyylibentseenin muodostaman seoksen kokeiden perusteella piirretty laskennallisen vasteen (x-akseli; yo. formaldehydin ja etyylibentseenin käyrien perusteella laskettu vaste perustuen summavaikutukseen, additiivisuuteen) ja kokeissa havaitun vasteen (y-akseli) riippuvuus. Näissä kokeissa formaldehydin pitoisuus vaihteli välillä 0.7–3.5 ppm ja etyylibentseenin 120–2670 ppm. Pisteet sijoittuvat tasaisesti yhtenäisen suoran (summavaikutusta kuvaava) ympärille, siis summavaikutus (additiivisuus) näyttää näiden kokeiden perusteella täyttyvän ja selittävän yhteisvaikutusta etyylibentseenin ja formaldehydin seoksessa. Kuvassa on esitetty pisteiden lineaarinen korrelaatio (ja sen 95 % luottamusvälit). Kyseinen suora poikkeaa vain hieman yhtenäisestä viivasta (=additiivisuus-periaatteen mukainen vaste) – alemmilla pitoisuuksilla ollaan hieman yläpuolella (synergismi) ja ylemmillä pitoisuuksilla hieman alapuolella – mutta ei merkittävästi, koska yhtenäinen viiva on koko ajan 95 % luottamusvälien sisällä. Vastaavanlaisiin tuloksiin päädyttiin formaldehydin ja 2-heksanonin muodostaman binaarisen seoksen tulosten perusteella (dataa ei ole esitetty tarkemmin).

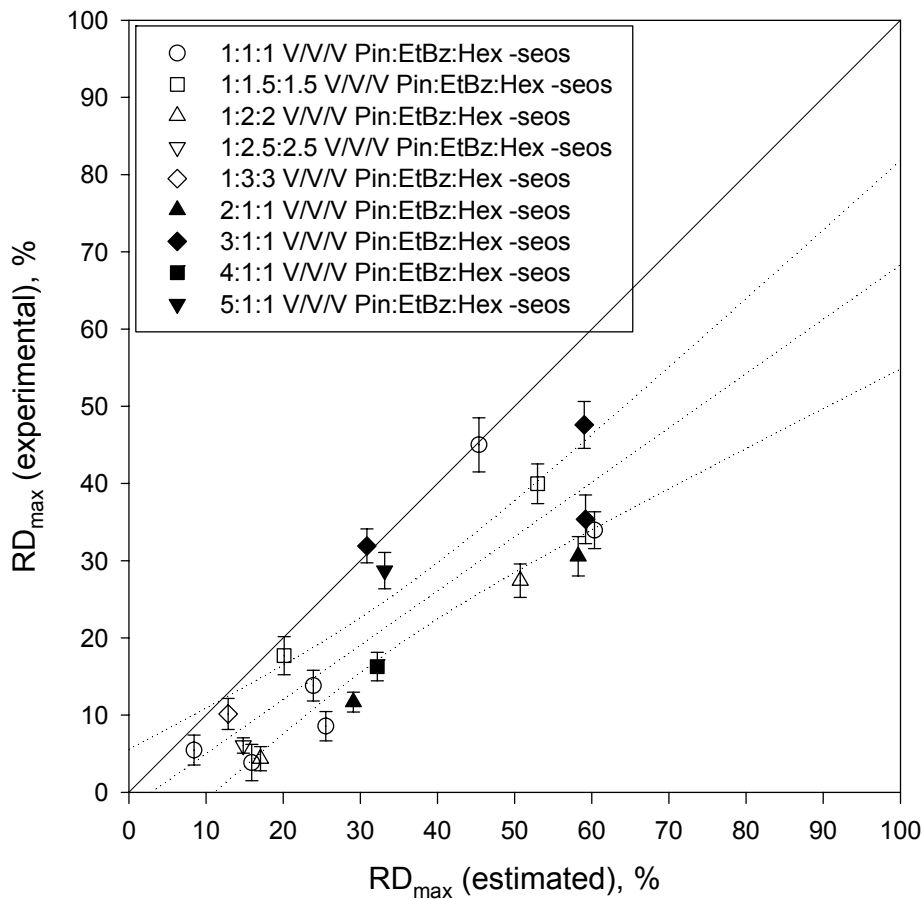




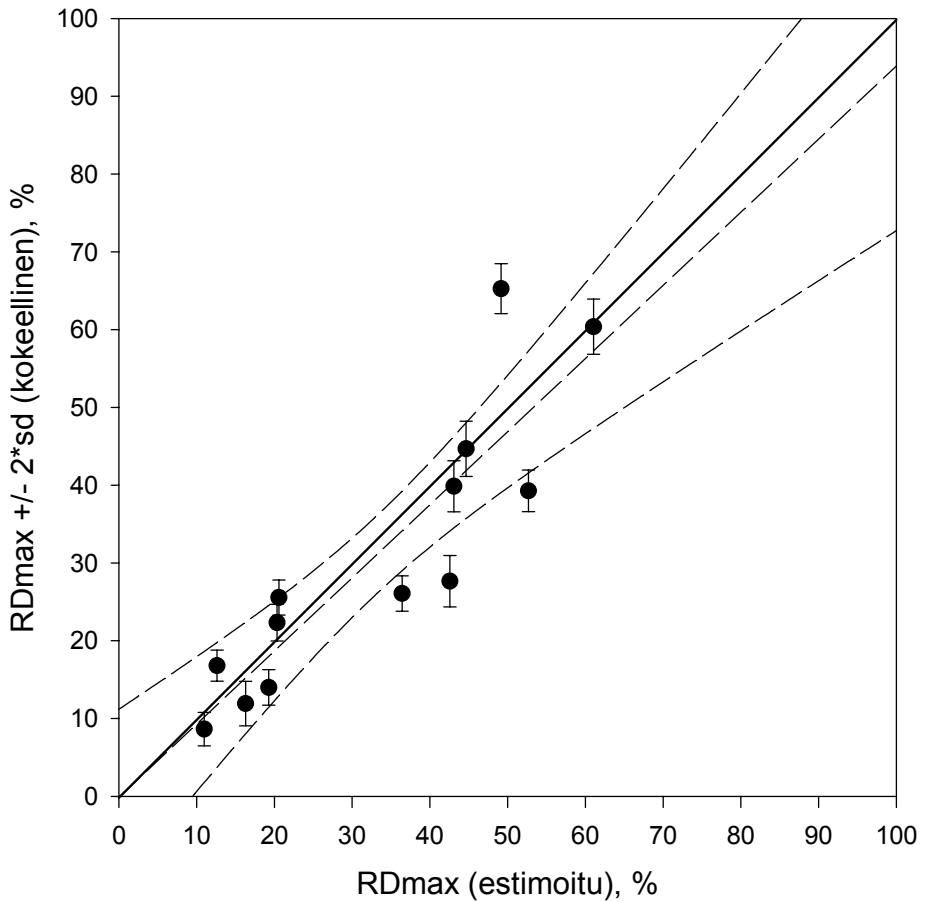
Kuva 35. Pitoisuus-vaste ( $RD_{max}$ ) -käyrät etylibentseenille ja 2-heksanonille sekä niiden 1:1 V/V -seoksen aiheuttamat vasteet alemmilla pitoisuustasoilla (alle 230 ppm).



Kuva 36. Etylibentseenin ja 2-heksanonin seoksen odotettu ( $RD_{max}$  (estimated)) ja kokeellisesti havaittu ( $RD_{max}$  (experimental)) ärsytysvaste yksittäisissä kokeissa eri seossuhteilla (kuvassa esitetty  $RD_{max}$  (experimental)  $\pm$  2\*keskihajonta). Odotettua summavaikutusvastetta, additiivisuus, kuvaa yhtenäinen suora.



Kuva 37. Alfa-pineenin (Pin), etyylibentseenin (EtBz) ja 2-heksanonin (Hex) muodostaman seoksen odotettu ( $RD_{max}$  (estimated)) ja kokeellisesti havaittu ( $RD_{max}$  (experimental)) ärsytysvaste yksittäisissä kokeissa eri seossuhteilla (kuvassa esitetty  $RD_{max}$  (experimental)  $\pm$  2\*keskihajonta sekä näihin sovitettu suora ja sen 95 % luottamusvälit pisteviivoilla). Odotettua summavaikutukseen, additiivisuus, perustuvaa vastetta kuvaa yhtenäinen suora.



Kuva 38. Etyylibentseenin ja formaldehydin seoksen odotettu ( $RD_{max}$  (estimoitu)) ja kokeellisesti havaittu ( $RD_{max}$  (kokeellinen)) ärsytysvaste yksittäisissä kokeissa eri seossuhteilla (kuvassa esitetty  $RD_{max}$  (kokeellinen)  $\pm 2$ \*keskihajonta sekä näihin sovitettu suora ja sen 95 % luottamusvälit katkoviivoilla). Odotettua summavaikutukseen, additiivisuus, perustuvaa vastetta kuvaa yhtenäinen suora.

### 3.5.5.1 Tulosten tarkastelu

Aiemmin tehdyissä samalla menetelmällä (ASTM E981) toteutetuissa tutkimuksissa, joissa on selvitetty kahden ärsytysominaisuuksiltaan ei-reaktiivisen aineen seoksen (Nielsen ym. 1988) sekä kahden (Kane ja Alarie 1978) tai kolmen (Cassie ym. 1996) reaktiivisen aldehydin ärsytysvastetta, on havaittu, että yksinkertainen additiivisuusperiaate pätee melko hyvin, kun seoksen ja yksittäisten aineiden pitoisuudet ovat pieniä. Kun pitoisuus kasvaa, seoksen aiheuttama vaste näyttäisi olevan hieman pienempi kuin yksittäisten kemikaalien ärsyttävyyden perusteella voisi olettaa. Tämä on havaittu myös omissa kokeissamme monoterpeenien seoksella, tärpätillä (Kasanen ym. 1999). Myös viimeaikoina julkaistuisa ihmisillä tehdyissä kokeissa on päädytty samoihin johtopäätöksiin (Cometto-Muniz ym. 1999, 2001; Hempel-Jorgensen et al. 1999). Tässä tutkimuksessa mielenkiinto kohdistui erityisesti tarkasti tunnetun seoksen pieniin pitoisuuksiin, jotka edellä esitetyissä koe-eläintutkimuksissa ovat jääneet vähemmälle huomiolle.

Yllä mainitut eläimillä tehdyt kokeet ovat keskittyneet korkeammille pitoisuusalueille, joissa ärsytysvasteet saadaan varmasti esille. Tässä tutkimuksessa oli mukana myös sellaisia seoksen pitoisuustasoja, joissa seoksen sisältämien yksittäisten kemikaalien ärsytysominaisuuksien perusteella ei pitäisi ilmetä merkittävää ärsytysvastetta. Etyylibentseenin ja 2-heksanonin 1:1 V/V-seoksen pitoisuuden ollessa 90–230 ppm, merkittävä ärsytysvaste havaittiin kuitenkin säännönmukaisesti, vaikka sitä ei summavaikutuksen perusteella pitäisi ilmetä. Muilla seossuhteilla näin ei kuitenkaan käynyt.

Muiden ei-reaktiivisten kemikaalien seoksissa vaste näyttäisi noudattavan summavaikutukseen perustuvaan periaatetta, ainakin alemmilla pitoisuuksilla. Sisäilmaympäristöjen riskiarvioinnin kannalta tämä on merkittävämpi pitoisuusalue kuin korkeat pitoisuudet, joita on käytetty työilman hyväksyttävien pitoisuuksien arvioinnissa ( $RD_{50}$ -arvot). Sisäilmassa pitoisuudet ovat kertaluokkia pienemmät kuin työilmassa.

Tulokset viittaavat siihen, että alhaisilla pitoisuuksilla seoksen ärsytysvaste on vähintään yhtä suuri (additiivisuus; agonismi) tai voi olla jopa suurempi (synergismi) kuin yksittäisten seoksen yhdisteiden aiheuttama vaste yhteensä. Synergismiä on havaittu jo aiemmissa tutkimuksissamme viiden mikrobien haihtuvien metaboliitin (MVOC) seoksen aiheuttamassa ärsytysvasteessa (Korpi ym. 1999)

jopa koko testatulla pitoisuusalueella. Tässä saadut tulokset ovat hyvin so-  
puseinnussa aiemmissa tutkimuksissa koe-eläimillä ja ihmisillä saatujen tulosten  
kanssa (Kane and Alarie 1978; Nielsen et al. 1988; Cassee et al. 1996; Cometto-  
Muniz et al. 1999, 2001; Hempel-Jorgensen et al. 1999; Kasanen et al. 1999).  
Nämä tulokset luovat hyvän pohjan sisäilmassa esiintyvien kemikaaliseosten  
riskinarvioinnille ja tuleville tutkimuksille.

Tämän ja aikaisempien tutkimusten tulosten perusteella ei-reaktiivisten VOC-  
seosten ärsyttävyyden arvioimiseksi voidaan käyttää lähtökohtaisesti additiivi-  
suus-periaatetta (summavaikutus eli seoksen ärsytysvaikutukset saadaan arvioi-  
tua summaamalla yhteen sen yksittäisten yhdisteiden vaikutukset). Lisäksi näyt-  
tää siltä, että ärsytyksen kannalta reaktiivisten yhdisteiden vaikutukset voidaan  
laskea samalla periaatteella. Joitakin yksittäisiä tästä periaatteesta poikkeavia  
vaikutuksia huomattiin tiettyjen seosten yhteydessä, mutta niiden merkitys on  
vielä epäselvä, joten lähtökohtana mallinnuksessa voidaan pitää tässä vaiheessa  
summavaikutusta. Lisäksi on huomioitava, että reaktiivisten yhdisteiden malliai-  
neena on käytetty vain formaldehydiä, joten ärsytyksen kannalta reaktiivisen ja  
ei-reaktiivisen yhdisteen yhteisvaikutus seoksessa tulisi varmistaa myös muilla  
'reaktiivisilla' yhdisteillä, esim. amiinit.

Koska aiempien tutkimusten perusteella yksittäisten, ärsytyksen kannalta ei-  
reaktiivisten yhdisteiden ärsytystä pystytään arvioimaan yhdisteen fysikaalis-  
kemiallisten ominaisuuksien perusteella suhteellisen luotettavasti, ja koska taval-  
lisimmille rakennusmateriaalien emissioissa esiintyville, ärsytyksen kannalta  
reaktiivisille yhdisteille on ärsyttävyys määritetty, tämän tutkimuksen perusteella  
materiaaliemissioiden (seosten) ärsytysominaisuuksien arviointi kemiallisiin emis-  
sioihin ja aikaisemmin määritettyihin ärsytystuloksiin pohjautuen voi olla mahdol-  
lista. Ärsytyksen mallintaminen ja mallin soveltaminen materiaaliemissioiden  
terveysvaikutusten arvioinnissa näyttäisi olevan mahdollista siinäkin tapauksessa,  
että materiaaliemissioissa on mukana myös reaktiivisia, ärsyttäviä yhdisteitä.

### **3.5.6 Ärsytysmallin sovellettavuus ja hyödyntäminen**

Aikaisemmat tutkimukset ja edellä kuvattu aineisto muodostavat kokeellista  
pohjaa VOC-seosten ja materiaaliemissioiden ärsytysvasteen mallintamiselle ja  
ATK-pohjaisen mallin luomiselle. Käytännössä tämä tarkoittasi tietokonemallia,

jonka ohessa olisi käytettävissä laaja database materiaaliemissioissa esiintyvien yksittäisten yhdisteiden fysikaalis-kemiallisista ja ärsytysominaisuuksista. Malliin syötettäisiin materiaalin kemiallisten emissioiden tiedot ja malli laskisi käyttäen apuna databasea emissioille ”ärsyttävyyksi-indeksiin”.

Tätä tietoa rakennusmateriaaliteollisuus voisi hyödyntää suoraan tuotekehityksessään vastaavalla tavalla kuin kemiallisia päästötietoja. Malli sopisi myös rakennusmateriaalien päästöluokituksen osaksi ja edesauttaisi päästötietojen hyödyntämistä materiaalien terveellisyden arvioinnissa. Lisäksi kehitettävä malli edistäisi sisäilman ja työhygieenisten VOC-mittausten tulkintaa.

Esimerkkejä mallin soveltamisesta materiaaliemissioiden vähentämiseen ja sisäilman VOC-mittausten tulkintaan on esitetty liitteessä C.

### 3.6 Yhteenveto

Tulokset osoittivat selvästi, että formaldehydi oli materiaaliemissioita kuvaavien VOC-seosten ärsyttävien yhdiste. Mitä suurempi formaldehydin osuus seoksessa oli, sen ärsyttävämmäksi seos osoittautui. Vaikka formaldehydin osuus emissioista oli vain muutama %, sen läsnäolo ohjasi ärsytysvastetta. Muita ärsyttävyyden kannalta merkittäviä yhdisteitä olivat ko. seoksissa pitkäketjuiset alkoholit (esim. 2-etyyliheksanoli) ja ammoniakki. Kuitenkin esim. ammoniakki on n. 100 kertaa heikompi ärsyttäjä kuin formaldehydi, mikä oli havaittavissa myös VOC-seoksilla saaduissa tuloksissa. Tätä tietoa vasten päästöluokituksen emissio-kriteereitä tulisi tarkistaa, mikäli niillä halutaan ottaa kantaa myös terveystieteeseen. Selkeää ja yksinkertaista yhteyttä ei minkään tutkitun vasteen – ihmisillä määritetty hyväksyttävyyden ja hajukynnys sekä hiirillä määritetyt ärsytysominaisuudet – välillä ei ollut löydettävissä. Ristiriitaisuudet ärsytys- ja hajuvasteen välillä tukevat sitä hypoteesia, että hajuominaisuuksilla ei voida varauksettomasti arvioida kemikaalien ärsytysvaikutuksia. Siksi ärsytysominaisuuksien huomiointi luokituksessa jollakin tavoin näyttäisi tällä hetkellä olevan luotettavin tapa arvioida materiaaliemissioiden terveellisyttä. Tämän tutkimuksen tulokset antavat käyttökelpoista tietoa Sisäilmastoluokituksen kehittämistyöhön.

Malliseosten ärsytystulosten perusteella materiaaliemissioiden arviointi kemiallisiin emissioihin pohjautuen on mahdollista. Tämän ilmiön mallintaminen ja

mallin soveltaminen materiaaliemissioiden ja sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien ärsytysvaikutusten arvioinnissa on mahdollisuuksien rajoissa siinäkin tapauksessa, että materiaaliemissioissa on mukana myös reaktiivisia, ärsyttäviä yhdisteitä.

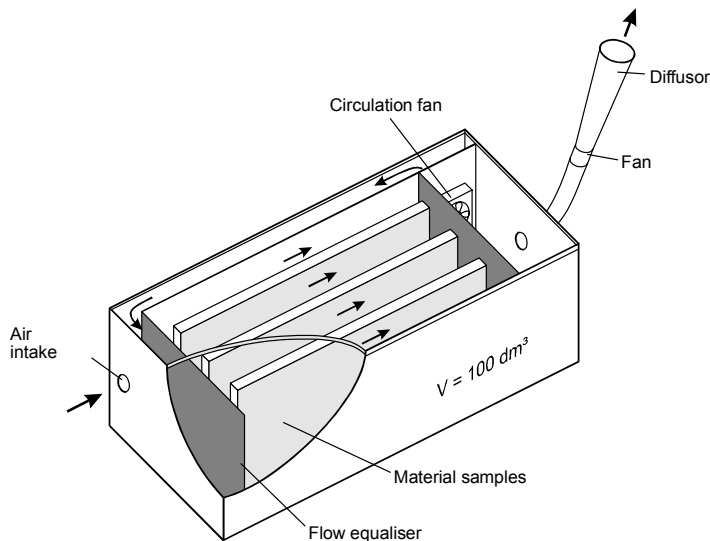


## 4. OSA II.II.

# Materiaaliemissioiden ja hajujen määrittäminen sekä aistinvaraisen arvioinnin kehittäminen

Sisäilman laadun takaamiseksi laadittu suomalainen rakennusmateriaalien luokitus nojautuu pääosin materiaalien emissioiden minimointiin ja materiaalin hajun hyväksyttävyyteen. Tällä hetkellä rakennusmateriaalien luokituksessa (Sisäilmastoluokitus 2000) käytettävät menetelmät ovat yksinkertaistettuja, eli tarkoituksena tässä osassa oli kehittää rakennusmateriaalien päästöluokituksen menetelmien kattavuutta.

Rakennusmateriaalien aistinvarainen arviointi suoritetaan tällä hetkellä alumiinikammioista (Nordtest Method NT Build 482) (Kuva 39). Menetelmä on yksinkertainen aistinvaraisen arvioinnin suorittamiseen, mutta kammion käyttöä rajoittaa sen koko, koska suuria materiaaleja/materiaaliyhdistelmiä ei sen avulla voida tutkia. Rakennusmateriaalien kuormitussuhde L (loading factor) kammiossa on määritetty ns. mallihuoneen avulla, jossa lattiapinta-alaksi oletetaan  $7 \text{ m}^2$ , huoneen korkeudeksi  $2,4\text{--}2,5 \text{ m}$  ja huoneen ilmanvaihdoksi  $0,5 \text{ h}^{-1}$ .



*Kuva 39. Aistinvaraisessa arvioinnissa käytetty kammio (rotocol for Cchemical and Sensory testing of Building materials).*

Materiaalien emissiotutkimukset ovat käytännössä relevantteja vain kun emissiot tutkitaan samanaikaisesti kemiallisesti sekä aistinvaraisesti. Materiaaliemissioiden ja hajujen samanaikaista määrittystä varten suunniteltiin 5 m<sup>3</sup>:n emissiokammio VTT:n toimesta. Kammion etuna tulisi olemaan se, että siitä voitaisiin aistinvaraisen määrittelyn lisäksi luotettavasti suorittaa samanaikaisesti kemiallinen määrittely, mikä täyttää CEN ja ISO standardien vaatimukset (CEN, ISO).

## 4.1 Kammion suunnittelu

Kammion suunnittelu aloitettiin materiaalin valinnalla. Materiaalin valinta perustui materiaalin mahdollisimman pieneen kemiallisten yhdisteiden adsorptioon, sekä sen helppoon puhtaana pitämiseen ja työstettävyyteen. Rakennetta suunniteltaessa lisäksi oli otettava huomioon laitteen käytön helppous jokapäiväisissä mittauksissa sekä myös sen muunneltavuus erilaisiin testeihin; erityisesti sellaisten rakenteiden/materiaalien testaukseen, joita ei pienemmällä kammioilla ole mahdollista suorittaa.

Kammiomateriaalin valinnassa testattiin useiden eri materiaalien hajua, koska kammion taustan hajuttomuus ja vähäinen emissio olivat tärkeimmät vaatimukset testikammioille. Tutkittavat materiaalit esitetään taulukossa 42.

*Taulukko 42. Testatut kammiomateriaalit.*

Materiaali	Hyväksyttävyyys		Hyväksyttävyyys (250°C)	
	Arvio	Hajun kuvaus	Arvio	Hajun kuvaus
Kiillottamaton teräs	+0,24	Metallinen, tunkkainen	+0,86	Hajuton
Happoteräs, harjattu	+0,71	Hyväksyttävä, metallinen	+0,93	Hyvä
Happoteräs, mekaanisesti kiillotettu	+0,65	Metallinen	+0,95	Hyvä, hajuton
Happoteräs, sähkökiillotettu	+0,81	Metallinen	+1,0	Hajuton
Alumiini	+0,69	Etikka	-0,06	Karvas, etikka

Näytekappaleet asetettiin 0,1 m<sup>3</sup> alumiiniseen kammioon aistinvaraista arviointia varten. Aistinvarainen arviointi suoritettiin käyttäen viiden henkilön kouluttamatonta paneelia (Protocol for Chemical and Sensory Testing of Building Materials). Paneeli arvioi kammioilman hyväksyttävyyttä asteikoilla -1...-0,1 (täysin ei hyväksyttävä – juuri ei hyväksyttävä) ja +0,1...+1 (juuri hyväksyttävä – täysin hyväksyttävä) (Liite D). Kammiomateriaalit asetettiin vuorotellen uuniin (250°C) 16 tunniksi, minkä jälkeen aistinvarainen arvio suoritettiin uudelleen. Parhaaksi materiaaliksi osoittautui sähkökiillotettu teräs, joka kuumennuksen jälkeen sai täyden hyväksyttävyydsarvion (+1,0) ja oli hajuton.

Ilmanvaihto suunniteltiin samoin kuin tällä hetkellä kemiallisessa testauksessa käytössä olevissa pienemmissä (1 m<sup>3</sup>, 0,5 m<sup>3</sup> ja 0,120 m<sup>3</sup>) testikammioissa (0,5 l/h). Puhdas ilma johdettiin aktiivihiihluodattimen läpi. Kammioon sisään tuleva ilma oli tarkoitus sekoittaa kammion sisällä.

## 4.2 Kammion testaus

Uusi 5 m<sup>3</sup>:n testauskammio (Kuva 40) valmistui keväällä 2002 ja jonka toimintaperiaate täyttää CEN ENV 13419-1:n vaatimukset. Kammion soveltuvuutta testaukseen selvitettiin kuuden eri materiaalin (PVC-matto, linoleummatto, parketti, mäntylauta, lämpökäsitelty mänty ja maalattu kipsilevy) avulla projektissa ”Sensory assessment of building materials for labelling purposes” (FORMAS FoU projekt 2000354). Seuraavassa esitetään esimerkkinä PVC-matolle (lattiamateriaali) ja maalatulle kipsilevyille (seinämateriaali) tehdyt testit 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa, 1 m<sup>3</sup>:n kammiossa ja 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa (Tirkkonen T ym. 2004). Materiaalit haisteltiin 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa ja 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa ja kemialliset emissiot määritettiin 1 m<sup>3</sup>:n ja 5 m<sup>3</sup>:n kammioissa (Kuvat 42–43).



*Kuva 40. 5 m<sup>3</sup>:n emissiokammio.*

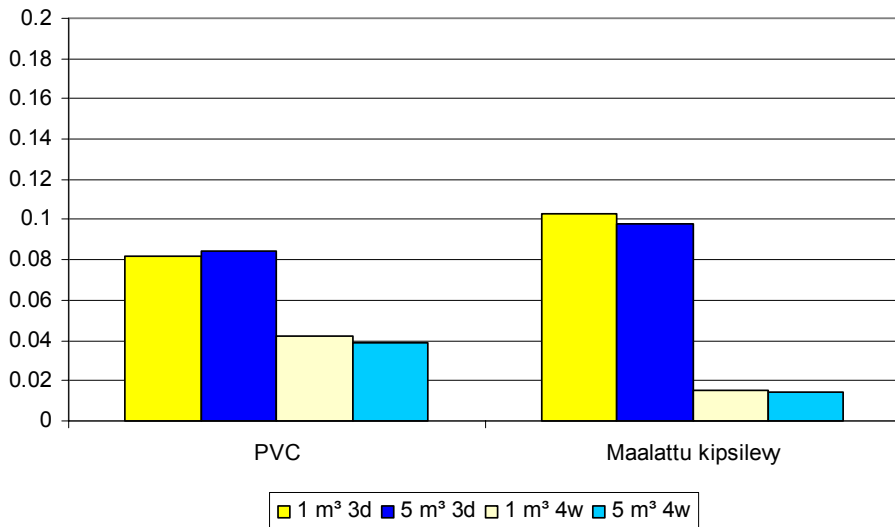
### 4.2.1 Kemialliset emissiot

Materiaalinäytteet valmistettiin PVC-matosta (lattiamateriaali), jonka tausta peitettiin alumiinifoliolla ja reunat teipattiin alumiiniteipillä, sekä maalatusta kipsilevystä (seinämateriaali), jonka tausta peitettiin alumiinifoliolla. Valitut materiaalit testattiin kolmen päivän ja neljän viikon ikäisenä. Seuraavassa esitetään PVC:n ja maalatun kipsilevyn emissiotulokset 1 m<sup>3</sup>:n kammiossa ja 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa (taulukko 43).

Suurimmat yhdisteryhmät PVC-näytteessä olivat alkoholit, ketonit, aldehydit ja glykolit. Emissiokertoimet olivat samaa suuruusluokkaa molemmissa kammioissa. Maalatusta kipsilevystä tunnistetut suurimmat yhdisteryhmät olivat alifaattisia hiilivetyjä sekä eetteriyhdisteitä. Emissiokertoimet olivat samaa suuruusluokkaa molemmissa kammioissa. Verrattaessa TVOC-emissiokertoimia huomataan, että kammioiden välillä ei ollut merkittävää eroa (Kuva 41). Maalatun kipsilevyn ammoniakkiemissio oli kolmen vuorokauden jälkeen mitattuna hieman suurempi 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa verrattuna 1 m<sup>3</sup>:n kammioista saatuun tulokseen. Neljän viikon ikäisistä tuotteista mitattuna ammoniakkiemissiot olivat erittäin pienet.

Taulukko 43. Emissiokertoimet VOC (tolueeniekvivalentteina), ammoniakki ja formaldehydi.

Materiaali	TVOC, $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$			
	3 vrk		4 viikkoa	
	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
PVC	82	84	42	39
Maalattu kipsilevy	103	98	15	14
	NH <sub>3</sub> , $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$			
	3 vrk		4 viikkoa	
	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
PVC	<5	<5	<5	<5
Maalattu kipsilevy	67	89	<5	<5
	FA, $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$			
	3 vrk		4 viikkoa	
	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
PVC	<5	<5	<5	<5
Maalattu kipsilevy	7	8	<5	<5



Kuva 41. TVOC-emissiokerroin (PVC, maalattu kipsilevy) 1 m<sup>3</sup>:n ja 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa kolmen päivän ja neljän viikon ikäisistä materiaaleista.

#### 4.2.2 Aistinvarainen arvio

Aistinvarainen arviointi suoritettiin sekä 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa (Kuva 42) ja 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa (Kuva 43) kolmen päivän ja neljän viikon ikäisistä materiaaleista. Kuormitus oli 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa lattiamateriaalilla 0,67 m<sup>2</sup> ja seinämateriaalilla 2,4 m<sup>2</sup>, 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa vastaavasti 1,8 m<sup>2</sup> ja 6,4 m<sup>2</sup>. 0,1m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa näyte asetettiin ilman kulkusuunnan mukaan, 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa PVC-matto asetettiin kammion lattialle ja seinämateriaali kammion seinämille (ei oven kohdalle). Aistinvarainen arviointi 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammioista asettamalla kasvot kuvan 42 osittamalla tavalla suppilon yläpään. Ulostulevan ilman nopeus oli 0,9 l/s, ja altistuksissa on koko kolmoisherme sekä silmät. 5 m<sup>3</sup>:n kammioista suoritettussa haistelussa kasvot asetettiin kuvan 43 mukaiseen maskiin, jossa hajuaistimus oli mahdollista kokea kuten huonetilassa. Tällöin ulostulevalla ilmalla ei ollut suoraa kontaktia silmiin.

Paneeli koostui 8–12 kouluttamattomasta henkilöstä (VTT:n henkilökuntaa), joista useimmat olivat aiemmin jo perehtyneet käytettyyn menetelmään. Paneeli arvioi kammioilman hyväksyttävyyttä rakennusmateriaalien luokituksessa käytetyillä asteikoilla -1...-0,1 (täysin ei hyväksyttävä – juuri ei hyväksyttävä) ja +0,1...+1 (juuri hyväksyttävä – täysin hyväksyttävä).

Panelisteilta kysyttiin arvioinnin yhteydessä mitä materiaalia he arvelivat sekä 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa että 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa olevan. PVC-maton kohdalla materiaali tunnistettiin haisteltaessa 5 m<sup>3</sup>:n kammioista. Al-kammioista haisteltaessa materiaalin tunnistaminen osoittautui vaikeammaksi. 5 m<sup>3</sup>:n kammio antoi siten todellisemman kuvan PVC-maton aistittavuudesta. Aistinvaraisessa arvioinnissa 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa arviot olivat PVC-materiaalin kohdalla hieman paremmat kuin 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammioista arvioitaessa. Maalattun kipsilevyn hyväksyttävyyden oli 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammiossa hieman parempi kuin 5 m<sup>3</sup>:n kammioista arvioituna (kuva 44).

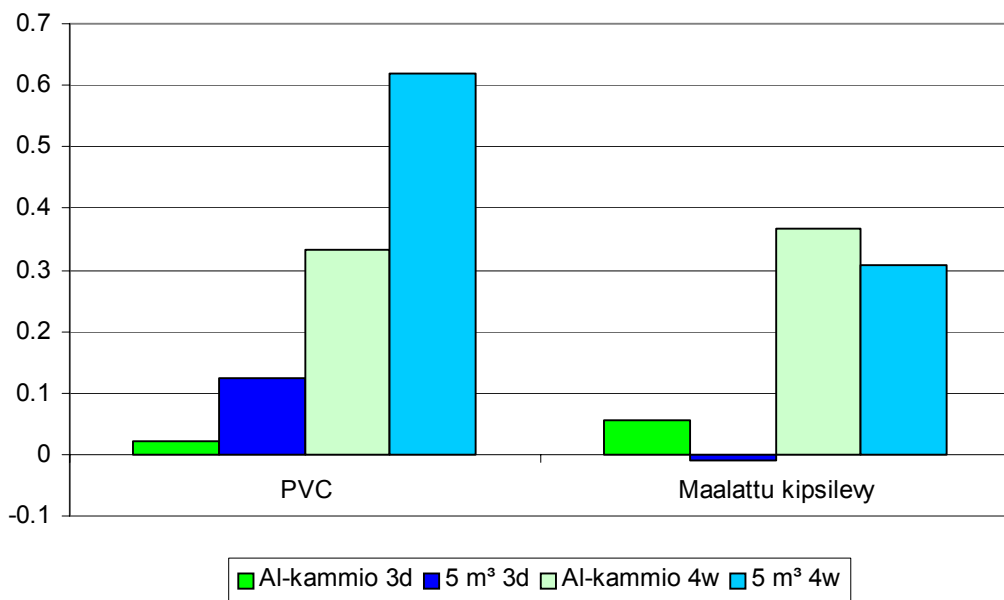


*Kuva 42. Aistinvarainen arviointi  $0,1\text{m}^3$ :n alumiinikammioista.*



*Kuva 43. Aistinvarainen arviointi  $5\text{m}^3$ :n kammioista.*





*Kuva 44. Hyväksyttävyyssarviot (PVC, maalattu kipsilevy) sekä alumiinikammiossa ja 5 m<sup>3</sup>:n kammiossa kolmen päivän ja neljän viikon ikäisistä materiaaleista.*

### 4.3 Yhteenveto

Rakennusmateriaaliluokituksen näkökulmasta tuloksia arvioiden, ei 5 m<sup>3</sup>:n ja 0,1 m<sup>3</sup>:n alumiinikammioilla ei ollut eroja. Hankkeen tuloksena VTT:llä on nyt valmius määrittää ensimmäisenä Suomessa tutkittavana olevan materiaalin kemialliset emissiot ja aistinvarainen arviointi samanaikaisesti samasta emissiokammiossa myös paksuilla materiaaleilla ja isoilla rakennus- ja sisustustuotteilla.

## 5. OSA III.

# Pintamateriaalien sorptioilmiö

### 5.1 Rakennusmateriaalien sorptioilmiöiden vaikutus sisäilman laatuun

Rakennusmateriaalien sorptioilmiöt vaikuttavat olennaisesti sisäilman laatuun. Yleinen mielenkiinto näihin ilmiöihin on herännyt kuitenkin vasta 90-luvulla, eikä niiden määrittämiseksi tarvittavia tutkimusmenetelmiä ole vielä kovin paljon kehitetty. Sorptioilmiöiden tärkeys sisäilman laatuun vaikuttavana tekijänä on osoitettu erilaisin tutkimuksin jo useita kertoja (Kirchner. et al. 1997; Tirkkonen & Saarela 1997a; Zellweger. et al. 1995). Sisäilma koostuu suuresta määrästä eri yhdisteitä, joilla on mahdollisuus olla vuorovaikutuksessa rakennusmateriaalien kanssa. Varsinkin rakennus- ja korjausvaiheessa (esim. remontti) ilmiöiden merkitys korostuu, koska monien ihmiselle haitallisten yhdisteiden pitoisuus ilmassa nousee hetkellisesti hyvin korkeaksi. Esimerkiksi parketin lakkaamisen yhteydessä sisäilmaan päässyt haitallinen yhdiste saattaa adsorboitua seinäpinnoina käytettyyn kipsilevyyn ja desorboitua takaisin sisäilmaan vielä pitkänkin ajan kuluttua.

Kun kaasu, höyry tai neste on yhteydessä puhtaan kiinteän pinnan kanssa, osa siitä kiinnittyy eli adsorboituu pintaan. Ainetta, jonka pinnalle adsorptio tapahtuu, kutsutaan adsorbentiksi (*adsorbent*) ja adsorboituva aine on nimeltään adsorbaatti (*adsorbate*). Adsorptioilmiö tapahtuu kaasun ja kiinteän aineen rajapinnalla, ja se on eri ilmiö kuin absorptio, jossa aine tunkeutuu toisen aineen sisään. Adsorption vastakohtaa eli sitä kun pinnasta irtoaa ainetta, kutsutaan desorptioksi. Yleensä näiden ilmiöiden erottaminen toisistaan on hankalaa, ja siitä syystä on alettu käyttää termiä sorptio kuvaamaan yleisesti kiinteän materiaalin ja kaasun välisiä tapahtumia. (Kalliorinne et al. 1990; Shaw 1980). Ilmiönä sorptio on monimutkainen, koska niin monet eri parametrit vaikuttavat siihen. Merkitystä on muun muassa rakennusmateriaalin laadulla, fyysisellä rakenteella (huokoisuus ja karheus), tutkittavien yhdisteiden kemiallisella luonteella (polarisuus) ja ympäristötekijöillä (lämpötila ja suhteellinen kosteus). Kiinteän materiaalin ja kaasumaisen yhdisteen välisiä sorptioilmiöitä tarkastellaan sekä materiaalin pinnalla (adsorptio ja desorptio) että sen sisällä (absorptio ja diffuusio).

Tässä työssä tutkitaan kaasun ja kiinteän aineen välisiä sorptioilmiöitä. Tapah-  
tuvia tarkastellaan sekä materiaalin pinnalla että sen sisällä. Kiinteän aineen  
pinnalla tapahtuvan kaasureaktion voidaan ajatella koostuvan seuraavista osa-  
vaiheista: 1) reagoivien aineiden diffuusio kiinteän aineen pintaan, 2) reagoivien  
aineiden adsorptio kiinteään aineeseen, 3) kiinteän aineen pinnassa tapahtuva  
reaktio, 4) reaktiotuotteiden desorptio kiinteän aineen pinnasta ja 5) tuotteiden  
diffuusio pinnan läheisyydestä (Kalliorinne et al. 1990, s. 119). Rakennusmateria-  
aleja tutkittaessa fysikaalisilla sorptioilmiöillä on kuitenkin enemmän merkitys-  
tä kuin kemiallisilla ilmiöillä. Pintailmiöiden lisäksi on otettava huomioon myös  
pintaa syvemmällä tapahtuvat ilmiöt absorptio ja diffuusio. Diffuusion merkitys  
korostuu tutkittaessa rakennusmateriaalien sorptiota, koska todellisissa raken-  
nuksissa on aina kyseessä kerrosrakenteet. Kaasumaisten yhdisteiden diffuntoi-  
tumisen vaikutusta sisäilman laatuun ei ole vielä perusteellisesti tutkittu.

Tässä työssä diffuusiota käsitellään sorptioon vaikuttavana tekijänä, koska sen  
erottaminen erilliseksi ilmiöksi sisäilmamittauksissa olisi mahdotonta. Esimer-  
kiksi mitattaessa rakennusmateriaalien päästöjä seinäpinnoitteen päältä on tois-  
taiseksi mahdotonta määrittellä kuinka paljon tulokseen vaikuttaa yhdisteiden  
diffuntoituminen eri kerrosten läpi verrattuna muihin sorptioilmiöihin.

Tämä osatehtävä jakautui kirjallisuusselvitykseen ja kokeelliseen osuuteen.

(Erillinen laajempi kirjallisuusselvitys esitetään Anna Saarisen diplomityössä  
*Rakennusmateriaalien Sorptioilmiöt*, 1999, Espoo, s. 91). Kokeellisen osan ta-  
voitteena oli saada lisää tietoa rakennusmateriaalien ja kemiallisten yhdisteiden  
välisistä sorptioilmiöistä. Kahta erilaista tutkimusmenetelmää: kuppimenetelmää  
ja kammiomenetelmää käytettiin. Kuppimenetelmällä arvioitiin materiaalien ja  
yhdisteiden diffuusiokykyä ja kammiomenetelmää käytettiin adsorptio- ja de-  
sorptiokykyjen määrittämiseen.

## **5.2 Rakennusmateriaalien sorptioilmiöiden tutkimusmenetelmät**

Koska tämäntyyppistä tutkimusta on tehty vasta vähän, löytyy kirjallisuudesta  
hyvin harvoja täysin valmiita esityksiä rakennusmateriaalien sorptioilmiöiden  
tutkimusmenetelmiksi. Diffuusiokertoimen määrittämiseksi kuppimenetelmällä

on laadittu useita kansainvälisiä standardeja (CEN, NT, ASTM ja SFS), mutta ne kaikki on kehitetty kosteuden siirtymisen tutkimista varten. Jo vuosien ajan on tutkittu kosteuden siirtymistä puussa ja muissa materiaaleissa, mutta muiden yhdisteiden, esimerkiksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden eli VOCien, tutkimiseen ei vastaavia standardeja ole vielä kehitetty.

Kuppimenetelmän peruseriaate on hyvin yksinkertainen: diffuusiokertoimen määrittäminen perustuu painonmuutoksen mittaamiseen. Näytemateriaali asetetaan tiiviiksi kanneksi astiaan, jonka sisällä on tutkittavaa yhdistettä. Komponentin höyrynpaineen ero kupin sisä- ja ulkopuolella saa aikaan höyryn siirtymisen näytemateriaalin läpi. Kuppia punnitaan säännöllisin väliajoin, kunnes massamuutos aikayksikössä on vakio eli stationaaritila on saavutettu. Ympäristöolosuhteiden on kokeen aikana pysyttävä vakiona, koska lämpötilan ja kosteuden muuttuminen vaikuttaa diffuusiokertoimen arvoon. (CEN 1994; Koskelo 1994). Tutkittavan materiaalin olomuoto ja rakenne vaikuttavat olennaisesti soveltuvan kupin malliin. Kiinteä itsensä kannattava materiaali voidaan tiivistää näyteastian päälle ikään kuin kanneksi, mutta jauheen ja nesteen ollessa kyseessä on meneteltävä muulla tavoin. Tässä tutkimuksessa keskitytään rakennusmateriaaleihin. Ne kuuluvat itsensä kannattaviin materiaaleihin, mikä hieman yksinkertaistaa kuppimallin valintaa.

Diffuntoituvan aineen kemiallinen koostumus vaikuttaa olennaisesti näyteastian ja tiivistysaineen materiaalien valintaan. Mikäli kyseessä on joku helposti reagoiva komponentti, saattaa diffuusion lisäksi tapahtua muitakin ilmiöitä, jotka häiritsevät mittauksen suorittamista. Jo suunnitteluvaiheessa tulisi selvittää riittävän perusteellisesti kupin tiivistämismahdollisuudet. CENin suosituksen mukaan näytteen halkaisijan tulee olla ainakin kaksi kertaa näytteen paksuinen. Niin ikään alttiina olevia alueita (eli vapaita pintoja) tulee olla vähintään 50 cm<sup>2</sup>, eikä näytteen yläpuolen pinta-ala saa poiketa alapuolen pinta-alasta enempää kuin 10 % (CEN 1994). Mikäli käytetään avointa kuppimallia, on käytettävä erillistä ”laattaa” näytteen päällä ja huomioitava peitetyn reunan vaikutus mittauksiin (CEN 1994). Kyseisen mallinen kuppi voidaan valmistaa sekä lasista että metallista. Huomattavasti helppokäyttöisempi on teräksestä valmistettu kuppi, jossa on kierteellinen kiinni kiristettävä kansi. Sen avaaminen ja sulkeminen käyvät kädenkäänteessä, mutta haittapuoliakin on. Lasiseen astiaan verrattuna sen valmistaminen on huomattavasti kalliimpaa ja se on myös painavampi kuin lasinen, eikä siitä näy läpi.

## 5.3 Sorptioilmiöiden tutkimukset kuppimenetelmällä

Tavoitteena oli kehittää kuppimenetelmää rakennusmateriaalien sorptio-ominaisuuksien tutkimiseen. Aiemmin diffuusiokertoimen määrittämiseen tarkoitettua kuppimenetelmää on käytetty lähinnä kosteuden siirtymisen tutkimiseen. Tässä työssä menetelmää kehitettiin niin, että se soveltuu rakennusmateriaalien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden väliseen tutkimukseen.

Kuppimenetelmän peruseriaatteen mukaan diffuusiokertoimen määrittäminen perustuu massan muutoksen mittaamiseen. Näytemateriaali asetetaan tiiviiksi kanneksi astiaan, jonka sisällä on tutkittavaa yhdistettä. Komponentin höyrynpaineen ero kupin sisä- ja ulkopuolella saa aikaan höyryn siirtymisen näytemateriaalin läpi. Kuppia punnitaan säännöllisin väliajoin, kunnes massan muutos aikayksikössä on vakio eli stationaaritila on saavutettu. (CEN 1994)

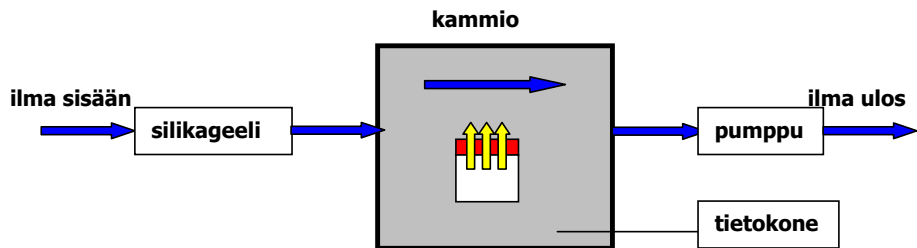
### 5.3.1 Koejärjestelyt

Tämän tutkimuksen puitteissa suunniteltiin erityinen teräksinen näyteastia. Teräksisen näyteastian suunnittelu perustui siihen, että rakennusmateriaalit haluttiin testata mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaavassa olomuodossa. Materiaalien rakennetta ei haluttu hajottaa, vaan mahdollisuuksien mukaan säilyttää samanlaisena kuin niitä rakennuksissa käytetään. Tästä syystä teetettiin suhteellisen suuri näyteastia, johon saattoi kiinnittää mm. kipsilevyn ilman, että siitä täytyi poistaa sitä ympäröivät pahvit. Materiaalina käytettiin ruostumatonta terästä ja tekniset työt (hitsaus, sorvaaminen ym.) tehtiin VTT:llä. Kuvassa 45 on esitetty kyseinen näyteastia. Avonainen kansiosa varustettiin kierteillä ja sen alapintaan sorvattiin ura tiivisterenkaalle. Myös pohjaosassa on kierre ja ura tiivisterenkaalle. Sekä kansi- että pohjaosan sisähalkaisijat ovat 100 mm, ja näin ollen näytemateriaalin vapaana oleva alue sekä ylä- että alapuolella on yhtä suuri (7 854 mm<sup>2</sup>).



*Kuva 45. VTT:llä valmistettu teräksinen näyteastia varustettuna betoninäytteellä.*

Näyteastian lisäksi tarvittiin myös vaaka (Mettler Toledo PR 8002), joka kytkettiin tietokoneeseen (Hewlett Packard, Vectra, 486/33 VL), johon asennettiin massan muutosta ajan funktiona seuraava ohjelma (Mettler Toledo, Balance-Link). Näin saatu tieto yhdisteiden ja materiaalien välisestä käyttäytymisestä siirrettiin toisen, varsinaisen työtietokoneen (MicroScan 5AP/ADI) ohjelmistoon (Microsoft Excel 97) lopullisten diffuusioarvojen laskemista varten. Kokeet suoritettiin kuvan 46 mukaisesti. Kammion läpi virtaava ilma kuivattiin sekä ilman kosteutta että lämpötilaa seurattiin jatkuvatoimisilla mittareilla (TINYtalk II), joiden tulokset käsiteltiin tietokoneohjelmalla (Orion Tiny Logger Manager). Ohivirtaavan ilman nopeutta mitattiin digitaalisella anemometrillä (WM HTA4200).



Kuva 46. Koejärjestelyt.

### 5.3.2 Käytetyt materiaalit ja yhdisteet

Kaksi erilaista koesarjaa tehtiin valituille materiaaleille: 1) alustava koesarja) ja 2) kokeet kuivissa olosuhteissa).

#### 5.3.2.1 Alustava koesarja

Alustava koesarja vaihtelevissa kosteusoloissa tehtiin kahdeksalle eri rakennusmateriaalille (kipsilevy, liisteröity tapetti, akryylimaalilla maalattu tapetti, PVC-matto, kokolattiamatto, betoni, kevytbetoni ja tiili) ja neljälle eri yhdisteelle (etyyliasettaatti, n-oktaani, n-dodekaani ja TXIB) Tutkittujen materiaalien ominaisuuksia on esitelty taulukossa 44 ja yhdisteiden taulukossa 45.

*Taulukko 44. Alustavassa koesarjassa tutkittavina olleet materiaalit ja niiden ominaisuudet.*

Tutkittu materiaali	Paksuus (m)	Huomioitavaa
Liisteröity tapetti	0,0002	Liisterinä käytettiin valmisliisteriä.
Akryylimaalattu tapetti	0,0005	Epähomogeeninen materiaali. Paksuus vaihteli 0,0003–0,001 m.
Kipsilevy	0,0125	Suojapahvit kipsilevyn molemmin puolin säilytettiin.
Kevytbetoni	noin 0,01	Näytekappaleiden paksuus vaihteli.
Kiinteä betoni	noin 0,01	Epähomogeeninen materiaali.
PVC-matto	0,0016	Perusmatto. Ei pehmustetta alapinnalla.
Kokolattiamatto	0,0085	Tausta styreenibutadienikumia.
Tiili	noin 0,01	Näytekappaleiden paksuus vaihteli.

Taulukko 45. Tutkitut yhdisteet ja niiden ominaisuuksia. (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1997)

Tutkittu yhdiste	Molekyylikaava	Molekyylipaino (g/mol)	Tiheys (g/ml)	Kieh.piste °C	Polaarisuus $10^{-24} \text{ cm}^3$
etyyliasettaatti	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	88,1	0,9	77,1	9,7
n-oktaani	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$	114,2	0,7	125,6	15,9
n-dodekaani	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$	170,3	0,7	216,3	22,8
TXIB *)	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_4$	286,4	0,9	n. 281,5	

\*) TXIB eli 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli di-isobutyraatti, tiedot ovat maahantuojalta (Tamro).

### 5.3.2.2 Kokeet kuivissa olosuhteissa

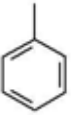
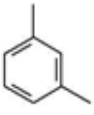


Alustavien kokeiden jälkeen kuppikokeet tehtiin kuivissa olosuhteissa kahdeksalle materiaalille ja neljälle yhdisteelle. Seuraavassa taulukossa 46 on esitetty testattavien materiaalien ominaisuudet ja taulukossa 47 testattavien yhdisteiden ominaisuudet. Huomioitavaa on, että joitakin materiaaleja (mm. marmori ja kevytbetoni) käytettiin useissa eri mittauksissa puhdistamisen jälkeen.

Taulukko 46. Testattavien materiaalien ominaisuudet.

Materiaali	Paksuus (m)	Kommentit
Vinyylitapetti	0,0002	Liisteriä ei käytetty tutkimuksissa
Maalattu tapetti	0,0005	Paksuus vaihteli 0,0003–0,001 m
Kipsilevy	0,0125	Suojapahvit kipsilevyn molemminpuolin säilytettiin
Kevytbetoni	noin 0,01	Paksuus vaihteli
Marmori	noin 0,01	Paksuus vaihteli
PVC matto	0,0016 ja 0,002	Kaksi eri paksuutta
Kokolattiamatto	0,0085	Tausta styreenibutadieenikumia
Lakattu parketti	0,014	Tammiparketti



Taulukko 47. Testattavien yhdisteiden ominaisuudet (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1997; Daubert. & Danner 1989)

Yhdisteen ominaisuudet	Tolueni	m-ksyleeni	n-Oktaani	n-Dekaani
Molekyylikaava	$(C_6H_5)CH_3$	$1,3-(CH_3)_2(C_6H_4)$	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	$CH_3(CH_2)_8CH_3$
Rakennekaava				
Molekyylipaino (g/mol)	92,141	106,167	114,2	142,285
Höyrynpaine 23 °C (Pa)	3418	1003	1674	166
Kiehumispiste (°C)	110,6	139,1	125,6	174,1
CAS numero	108-88-3	108-38-3	111-65-9	124-18-5
Liukoisuus <sup>1)</sup>	H <sub>2</sub> O 1 EtOH 5 eth 5 ace 3	ace 4 bz 4 eth 4 EtOH 4	H <sub>2</sub> O 1 EtOH 5 eth 3 ace 5	H <sub>2</sub> O 1 EtOH 5 eth 3 ctc 2

Liukoisuus: 1 = liukenematon, 2 = osittain liukeneva, 3 = liukeneva, 4 = erittäin liukeneva, 5 = sekoittuva ja 6 = hajoava. Liuotinten lyhenteet: Ace (asetoni), bz (bentseeni), ctc (hiilitetrakloridi), EtOH (etanoli), H<sub>2</sub>O (vesi) and eth (etyyलिएetteri).

### 5.3.3 Testimateriaalien valmistus

Osa materiaaleista (tapetit, kipsilevy ja matot) testattiin yhtä paksuina kuin niitä todellisuudessakin käytetään. Osa materiaaleista (betonit ja tiili) sahattiin noin 10 mm paksuiksi siivuksiksi. Materiaalien kovuuden vuoksi tämä täytyi tehdä timanttilaikalla. Leikkauksessa syntynyt pöly pestiin pois materiaalien pinnoilta vedellä ja harjalla, minkä jälkeen näytteet kuivattiin normaalissa huoneen lämpötilassa. Näytekappaleista tehtiin pyöreitä (halkaisija 110 mm) joko saksilla (tapetit ja matot) tai koteloporalla (kipsilevy, betonit ja tiili). Kiinteä betoni ja tiili tarvitsivat timanttiorantherän, kun sen sijaan kipsilevy ja kevytbetoni muotoutuivat tavallisen terän avulla. Poraukset suoritettiin pylväsporakoneen avulla.

Liisteröidyn tapettinäytteen valmisliisteri levitettiin siveltimellä ja sen annettiin kuivua ennen testaamista. Kuvassa 47 on esitetty esikäsiteltyjä materiaaleja

Mittaukset suoritettiin seuraavasti: Pestyn, lämpökaapissa kuivatetun näyteastian lämpötilan annettiin vakiintua huoneen lämpötilaan ennen sen asettamista vaa'alle. Tutkittavaa yhdistettä pipetoitiin näyteastiaan noin 50 ml. Näyttemateriaali asetettiin paikoilleen tiivisterenkaiden väliin ja näyteastian kansi kierrettiin tiukasti kiinni. Tietokone ohjelmoitiin mittaamaan näyteastian painon muutosta tietyin väliajoin. Yleensä mittaus suoritettiin 5–10 minuutin välein. Pitkissä kokeissa mittausväliä harvennettiin joskus jopa tunniksi. Kokeiden kesto vaihteli suuresti tutkittavasta materiaalista ja yhdisteestä riippuen. Mittausajat vaihtelivat muutaman tunnin ja usean vuorokauden välillä. Mittauksia pyrittiin aina jatkamaan niin kauan, että stationaaritila saavutettiin.



*Kuva 47. Esikäsiteltyjä näyttemateriaaleja kuppikokeita varten. Kuvassa on akryylimaalattu tapetti, kiinteä betoni, kokolattiamatto, kipsilevy, kevytbetoni ja tiili.*

### 5.3.4 Tulosten laskeminen

Yhdisteen pitoisuus näyteastian ulkopuolella oletettiin nolllaksi ja sisäpuolella oletettiin olevan kylläisen höyryn tasapainokonsentraatio. Yhdisteiden höyrynpaineet määritettiin kaavan (7) avulla (Daubert & Danner 1989). Höyrynpaineet laskettiin kokeissa vallinneen keskiarvolämpötilan ( $21\text{ °C} = 294,15\text{ K}$ ) avulla. Taulukossa 48 on esitetty sekä kaavaan sijoitettujen vakioiden arvot.

$$Y = \exp \left[ A + \frac{B}{T} + C \ln T + DT^E \right] \quad (7)$$

missä  $Y$  on puhtaan komponentin höyrynpaine (Pa)

$T$  on lämpötila (K)

$A, B, C, D$  ja  $E$  ovat vakioita.

Taulukko 48. Kaavaan 1 sijoitettavien vakioiden arvot.

Yhdiste	A	B	C	D	E
etyyliasettaatti	66,824	$-6,2276 \times 10^3$	-6,41	$1,7914 \times 10^{-17}$	6,00
m-ksyleeni	84,747	$-7,5941 \times 10^3$	-9,2570	$5,5500 \times 10^{-6}$	2,00
n-dekaani	65,940	$-7,7331 \times 10^3$	-6,1174	$1,1180 \times 10^{-6}$	2,00
n-oktaani	71,886	$-6,9339 \times 10^3$	-7,2653	$3,3802 \times 10^{-6}$	2,00
tolueeni	83,359	$-6,9950 \times 10^3$	-9,1635	$6,2250 \times 10^{-6}$	2,00

Tutkittavan kaasumaisen yhdisteen pitoisuus astian sisäpuolella laskettiin kaavalla (8) seuraavasti:

$$c = \frac{p M}{R T} \quad (8)$$

missä  $c$  on pitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

$p$  on höyrynpaine (Pa)

M on molekyylipaino (g/mol)

R on kaasuvakio (8,314 J/K\*mol)

T on lämpötila (K).

Diffuusiokerroin laskettiin alla olevan kaavan (9) avulla.

$$D = \frac{q e}{A c} \quad (9)$$

missä D on diffuusiokerroin (m<sup>2</sup>/h)

q on massavirta materiaalin läpi (g/h)

e on materiaalin paksuus (m)

A on alttiina olevan alueen pinta-ala (m<sup>2</sup>)

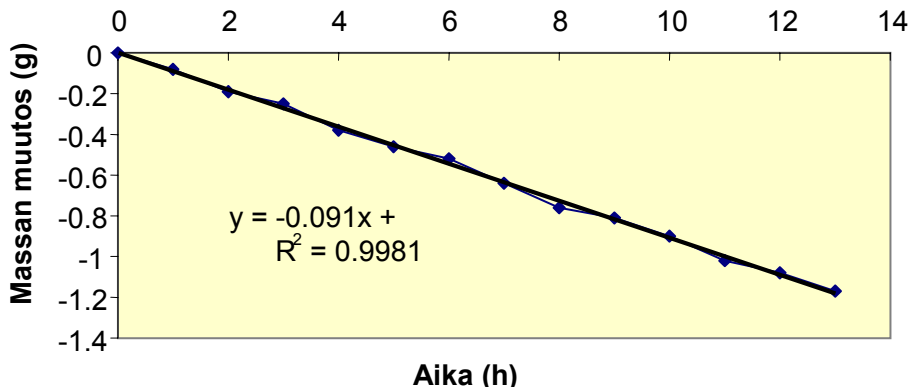
c on yhdisteen pitoisuus (g/m<sup>3</sup>).

Materiaalin läpi kulkevan massavirran arvona on laskuissa käytetty kuppikokeilla määritettyjen tulosten keskiarvoa.

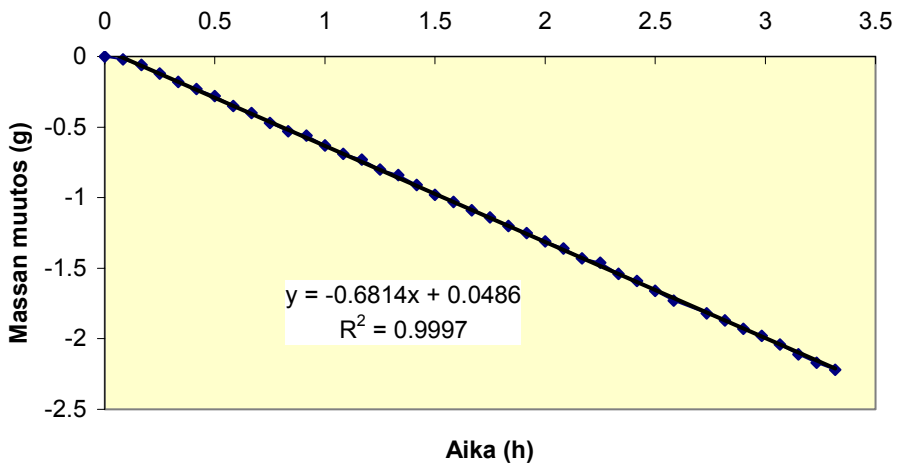
## 5.4 Tulokset: kuppimenetelmä

### 5.4.1 Kokeet vaihtelevissa kosteusolosuhteissa

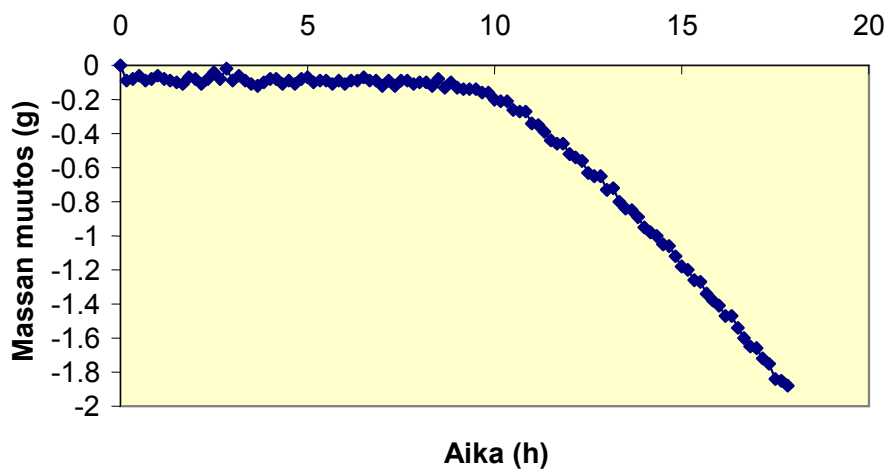
Etyyliasetaatin ja n-oktaanin kuppikokeissa diffuusio näytemateriaalien läpi oli nopeaa kaikkien muiden materiaalien paitsi PVC-maton läpi. Kuvassa 48 esitetään n-oktaanin ja kuvassa 49 etyyliasetaatin diffuntoituminen kipsilevyn läpi. Kuvassa 50 esitetään etyyliasetaatin ja PVC-maton välisen kuppikokeen tulos. Kuvassa 51 esitetään kuppikokeen tulos TXIB:lle ja kipsilevylle ja kuvassa 52 maalatun tapetin ja dodekaanin välinen tulos. Vallitsevissa koeolosuhteissa TXIB:n ja dodekaanin kuppikokeissa ei massan muutos vakiintunut. Taulukkoon 49 on koottu etyyliasetaatin ja n-oktaanin diffuusiokertoimia.



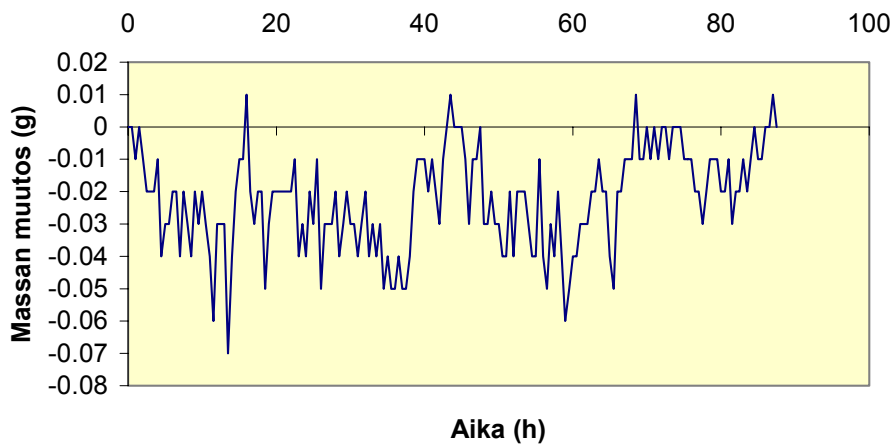
Kuva 48. Massan muuttuminen ajan funktiona kipsilevyn ja n-oktaanin välisessä kuppikokeessa.



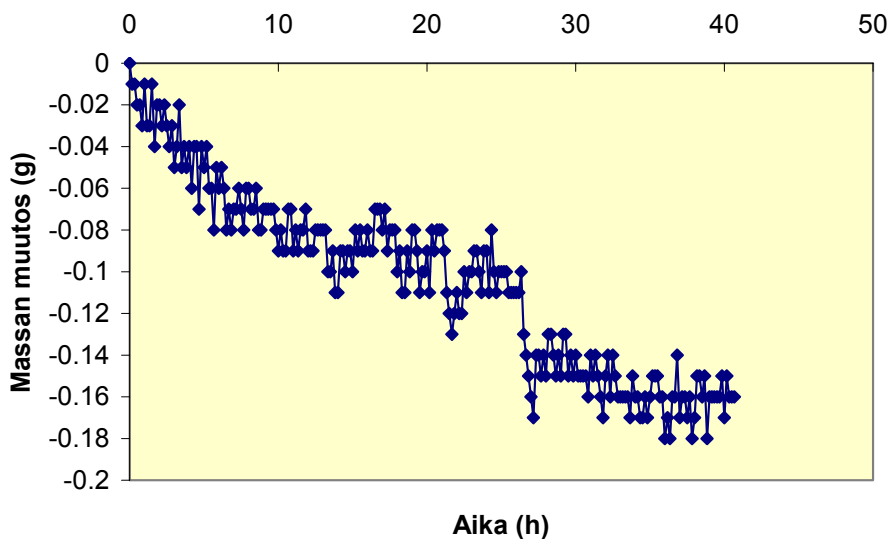
Kuva 49. Massan muuttuminen ajan funktiona kipsilevyn ja etyyliasetaatin välisessä kuppikokeessa.



*Kuva 50. Massan muuttuminen ajan funktiona PVC-maton ja etyyliasettiin välisessä kuppikokeessa.*



*Kuva 51. Massan muuttuminen ajan funktiona kipsilevyn ja TXIB:n välisessä kuppikokeessa.*



Kuva 52. Massan muuttuminen ajan funktiona maalattun tapetin ja dodekaanin välisessä kuppikokeessa.

Taulukko 49. Kuppikokeilla määritettyjä etyyliasettiin ja n-oktaanin diffuusiokertoimia rakennusmateriaaleille.

Tutkittu materiaali	D [ $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /h]	
	etyyliasettiini	n-oktaani
Liisteröity tapetti	10	13
Akryylimaalattu tapetti	108	60
Kipsilevy	3068	2250
Kevytbetoni	2264	2009
PVC-matto	<sup>1)</sup> 137	<sup>1)</sup> 18
Kokolattiamatto	1823	1219

<sup>1)</sup> Tulos on laskettu PVC-materiaalin osittaisen liukenemisen jälkeen

### 5.4.2 Kokeet kuivissa olosuhteissa

Kuivissa olosuhteissa tehtyjen kuppikokeiden tulokset on esitetty taulukossa 50.

*Taulukko 50. Kuivissa olosuhteissa tehtyjen kuppikokeiden tulokset.*

Testimateriaali	Diffuusiokerroin D [ $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /h]			
	Tolueneeni	m-Ksyleeni	n-Oktaani	n-Dekaani
Vinyylitapetti	40	50	160	30
Maalattu tapetti	140	120	60	60
Kipsilevy	2760	2560	2660	2600
Kevytbetoni	2390	2360	1530	2640
Parketti	360	140	540	220
PVC-lattianpäällyste	290	280	-	-
Kokolattiamatto	2420	2330	1360	1690
Marmori	220	340	170	610

## 5.5 Tulosten tarkastelu

Taulukossa 50 esitettyjä diffuusiokertoimien arvoja ei pidä tulkita tarkkoina tuloksina, vaan ennemminkin suuntaa antavina arvoina, koska kaikkia virhettä aiheuttavia tekijöitä ei tutkimuksessa pystytty huomioimaan, eikä varsinkaan koejärjestelyiden kohdalla eliminoimaan.

Suoritetut laskutoimitukset perustuvat oletukseen, että diffuntoituvan aineen pitoisuus näyteastian ulkopuolella on nolla. Ohi virtaavan ilman nopeus kuitenkin vaikuttaa siihen, miten molekyylit irtoavat näytemateriaalin pinnasta ja min-käläinen pitoisuus sekä materiaalin pinnalla että pinnan läheisyydessä vallitsee. Peittyneen reunan vaikutusta, ei ole huomioitu. Ei ole mitään kokemusperäistä tietoa, miten virtaussuunnan muuttuminen haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä vaikuttaa tuloksiin, joten virheen suuruutta on mahdoton arvioida. On selvää, että kokeen aikana vallitsevalla suhteellisella ilman kosteudella on suuri vaikutus diffuusiokertoimen arvoon. Myös materiaalien huokoisuus ja huokoisten sisällä oleva kosteus vaikuttavat tuloksiin. Tämän tutkimuksen perusteella ei kuiten-



kaan voida vetää johtopäätöksiä näiden seikkojen aiheuttamien virheiden suuruuksista.

Sellaisella teknisellä virheellä, kuten mahdollisella punnitusvirheellä, ei ole olennaista merkitystä lopputulokseen. Painon muuttumista mitattiin pitkällä aikavälillä useita kertoja, ja vain muutoksen suuruus ajan suhteen vaikutti tulokseen. Jonkin verran virhettä aiheuttavat materiaalin paksuuden ja alttiina olevan alueen pinta-alan määritykset. Nämä mittaukset suoritettiin samalla työntömitalla, ja koska toinen tekijä on yhtälön (8) osoittajassa (paksuus) ja toinen nimittäjässä (pinta-ala) kompensoivat virheet jonkin verran toisiaan. Suuremman virheen tulokseen kuitenkin aiheuttaa joidenkin tutkittujen materiaalien epähomogeenisuus. Esimerkiksi tanskalaisten lähettämä akryylimaalilla maalattu tapetti oli kohotapettia, jonka paksuus vaihteli. Sen lisäksi maalipinta oli jonkin verran halkeillut, joten materiaali ei ollut niin tasalaatuista kuin luotettavien tuloksien saamiseksi olisi vaadittu. Kiinteä betoni ei myöskään ole täysin sopiva materiaali tämäntyyppisiin kokeisiin, sillä sentin paksuinen siivu betonia ei välttämättä edusta kovin hyvin materiaalia kokonaisuudessaan. Tutkiessaan radonin diffuusiota betoninäytteiden läpi raportoivat mm. Rogers et al. (1994) materiaalien heterogeenisyyden aiheuttamista virheistä.

Tutkittavan yhdisteen pitoisuus laskettiin kaavan (8) avulla. Sen lisäksi, että lämpötila vaikuttaa kääntäen verrannollisesti pitoisuuteen, vaikuttaa se myös yhtälöön sijoitettavan höyrynpaineen arvoon. Höyrynpaine muuttuu lämpötilan funktiona (kaava (7)). Kirjallisuudesta löytyvät puhtaiden aineiden höyrynpaineiden arvot vaihtelivat yllättävän paljon hakuteoksesta riippuen (Daubert & Danner 1989; CRC 1997; Perry's Chemical Handbook 1992). Höyrynpaineiden lähteeksi valittiin Daubertin ja Dannerin kokoama teos professori Markku Hurmeen suosituksen perusteella.

PVC-matolle tehdyissä kuppikokeissa vaikutti diffuusion lisäksi muitakin tekijöitä. Etyyliasettaatti ja oktaani liuottivat osittain PVC-materiaalia sillä seurauksella, että materiaalin rakenne muuttui. Yhdisteet myös tiivistyivät näyttemateriaalin alapinnalle. Kyse oli tuolloin jo paljon muustakin kuin kaasun diffuusiosta, joten todellisia diffuusiokertoimien arvoja on kyseisten kokeiden perusteella mahdoton määrittää.

Tutkimuksissa käytettiin huomattavasti suurempia pitoisuuksia kuin sisäilmassa yhdisteillä tavallisesti on, joten suoria johtopäätöksiä rakennusmateriaalien diffuusion vaikutuksesta sisäilman laatuun ei voi tämän tutkimuksen perusteella vielä tehdä.

## 5.6 Sorptioilmiöiden tutkimukset kammiomenetelmällä

Rakennusmateriaalien kykyä adsorboida haihtuvia orgaanisia yhdisteitä huoneilmasta, sekä niiden kykyä desorboida yhdisteitä takaisin huoneilmaan, tutkittiin 15 m<sup>3</sup> kokoisessa mallihuoneessa (kuva 53). Mallihuoneen tekniset tiedot esitetään taulukossa 51. Koeolosuhteet pyrittiin järjestämään mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaaviksi, jotta saatuja tuloksia voitaisiin helpommin hyödyntää käytännön ongelmia ratkaistaessa. Mallihuoneessa suoritettiin kolme erillistä koesarjaa, jotka esitellään tarkemmin taulukossa 52. Kaikissa koesarjoissa materiaaleista emittoituvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuksien muuttumista seurattiin FLEC eli Field and Laboratory Emission Cell -tekniikalla. Samanaikaisesti seurattiin mallihuoneen sisäilman VOC-pitoisuuksien muuttumista ajan funktiona. VOC-yhdisteet kerättiin Tenax TA-adsorbenttiin ja näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen näytteen-syöttöön termodesorptiotekniikkaa. Huoneilman lämpötilaa ja kosteutta seurattiin jatkuvatoimisilla mittareilla.

### 5.6.1 Koejärjestelyt

*Taulukko 51. VTT:llä 1999 rakennetun mallihuoneen tekniset tiedot.*

Lattiapinta-ala	6 m <sup>2</sup>
Korkeus	2,6 m
Tilavuus	15 m <sup>3</sup>
Ilmanvaihtokerroin	0,5 h <sup>-1</sup>
Runkomateriaali	teräs
Seinä- ja kattomateriaali	kipsilevy
Lattiamateriaali	teräs

Koesarjoja tehtiin kolme, joissa kahdessa eri akrylaattilateksimaalia levitettiin telalla lasilevyille. Kolmannessa koesarjassa akrylaattilateksimaalia levitettiin kipsilevyille ja maalaus suoritettiin kahdesti (Kuva 54). Mallihuoneessa altistetut materiaalit olivat kaikissa kokeissa samat: kipsilevy, lakattu parketti, päällystetty puukuitulevy, päällystetty lastulevy ja PVC-matto.



*Kuva 53. 15 m<sup>3</sup> mallihuone.*



*Kuva 54. Maalaus mallihuoneessa.*

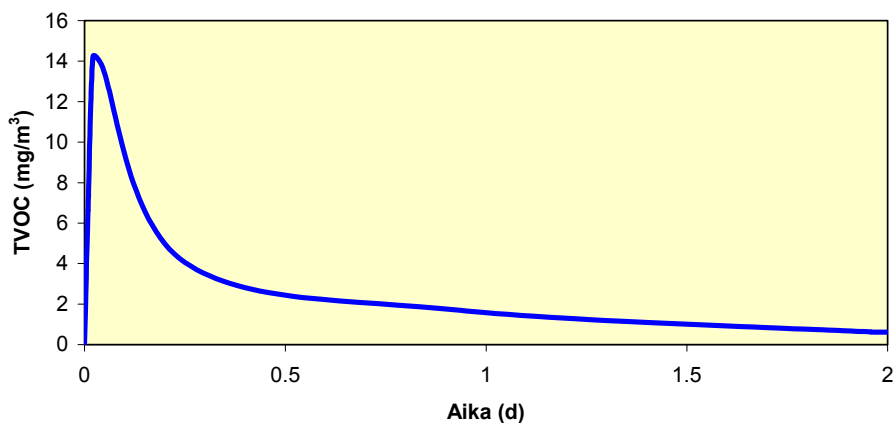
*Taulukko 52. Koesarjojen kuvaukset.*

Koe sarjan numero	Kesto (vrk)	Maalin kuvaus	Levityspinta	Levitystapa	Tutkitut materiaalit
1	9	Akrylaattilateksimaali (1)	lasi	tela (punnitus ennen ja jälkeen levityksen)	Kipsilevy Lakattu parketti Päällystetty puukuitulevy Päällystetty lastulevy PVC-matto
2	36	Akrylaattilateksimaali (2) (kosteisiin ja rasituskestävyyttä vaativiin tiloihin)	lasi	tela (punnitus ennen ja jälkeen levityksen)	Kipsilevy Lakattu parketti Päällystetty puukuitulevy Päällystetty lastulevy PVC-matto
3	15	Akrylaattilateksimaali (2)  (kosteisiin ja rasituskestävyyttä vaativiin tiloihin)	kipsilevy	tela (maalia levitettiin 2 kertaa)	Kipsilevy Lakattu parketti Päällystetty puukuitulevy Päällystetty lastulevy PVC-matto

## 5.7 Tulokset: kammiotestit

### 5.7.1 Sisäilman VOC-pitoisuudet

Koesarjoissa käytettiin kahta erityyppistä maalia. Ensimmäisessä kokeessa käytetty maali (maali 1) emitti huoneilmaan suhteellisen pieniä VOC-pitoisuuksia, mutta toisessa ja kolmannessa koesarjassa (maali 2) pitoisuudet nousivat huomattavasti suuremmiksi. Lasilevyille levitettäessä sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) oli tunti maalaamisen jälkeen yli 40 mg/m<sup>3</sup> ja kipsilevyille levitettäessä vastaava arvo oli yli 10 mg/m<sup>3</sup>. Sisäilman TVOC-pitoisuuksia seurattiin epäsäännöllisesti mittausjaksojen aikana. Tiheimmin mittauksia suoritettiin ensimmäisen vuorokauden aikana, jolloin pitoisuudet vaihtelivat eniten. Ensimmäisen koesarjan jälkeen sisäilma palautui alkuperäiselle tasolle jo ensimmäisen vuorokauden aikana. Toisen ja kolmannen koesarjan jälkeen palautuminen kesti useita vuorokausia. Esimerkiksi kolmannessa koesarjassa, jossa maalia levitettiin kaksi kertaa (1. ja 3. päivänä), kesti alussa vallinneen S1 luokan sisäilman takaisin saavuttaminen yli viikon. Kuvassa 55 on TVOC-pitoisuuden muuttuminen ajan suhteen maalauskerrojen välissä kolmannessa koesarjassa.

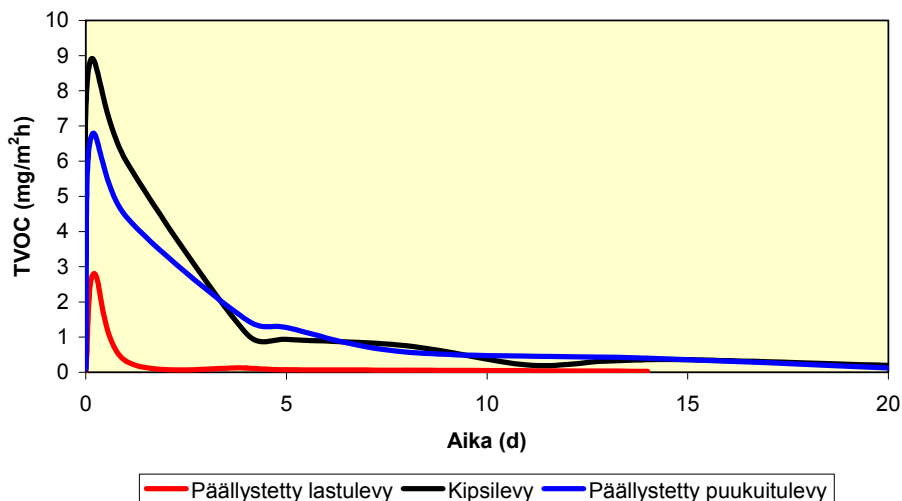


*Kuva 55. Sisäilman TVOC-pitoisuudet 1. maalauskerrojen jälkeen kolmannessa koesarjassa.*

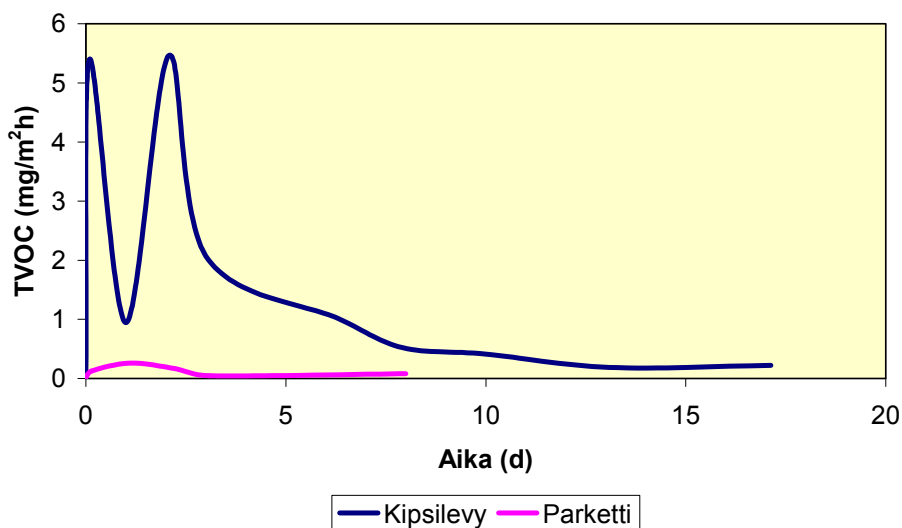
## 5.7.2 Materiaalien väliset erot

Tutkimuksissa havaittiin selkeitä eroja erilaisten materiaalien sorptio-ominaisuuksien välillä. Varsinkin huokoisten materiaalien kyky desorboida haihtuvia orgaanisia yhdisteitä vielä kauan alkuperäisen liuottimia sisältäneen aineen kovettumisen jälkeen ilmeni selkeästi tehdyissä koesarjoissa.

Ensimmäisessä koesarjassa sisäilman VOC-pitoisuudet olivat niin pieniä, ettei sorptiota materiaaleihin havaittu. Toisen ja kolmannen koesarjan tulokset sen sijaan osoittivat selkeitä eroja eri materiaalien sorptiokyvyissä. Kuvassa 56 on esitetty toisen koesarjan tulokset kolmelle eniten adsorboineelle materiaalille (kipsilevy, puukuitulevy ja lastulevy). Tutkituista materiaaleista kipsilevyn sorptiokyky oli suurin. Huomattavaa oli, että kului melkein kaksi viikkoa, ennen kuin sen päästöt palasivat takaisin M1-luokan tavoitearvoon ( $< 200 \text{ mg/m}^2\text{h}$ ). Toisessa koesarjassa havaittiin myös, että yhdisteitä desorboitui kipsilevystä vielä 36 vuorokautta altistamisen jälkeen. Toiseksi tehokkain sorptiokyky oli paperitapetilla päällystetyllä puukuitulevyllä ja kolmanneksi tehokkain oli muovikalvolla päällystetyllä lastulevyllä. Materiaaleilla oli sama järjestys myös kolmannessa koesarjassa. Yhdisteiden sorptio parkettiin ja PVC-mattoon oli huomattavasti heikompaa (kuva 57).



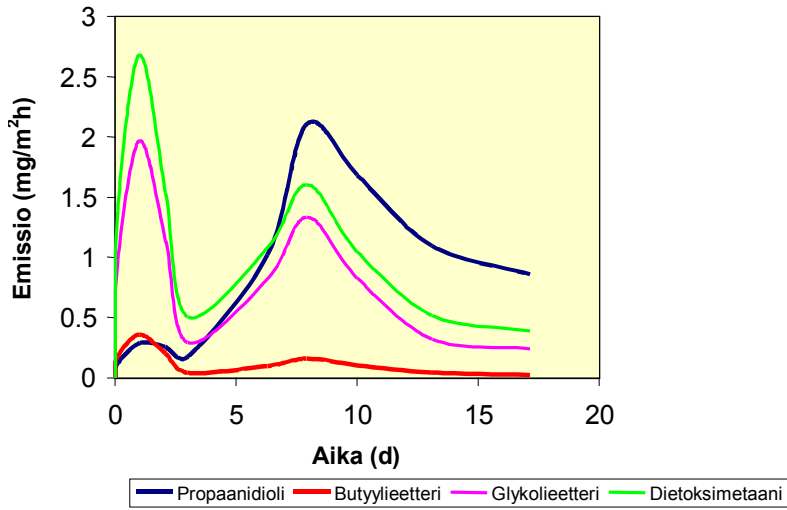
Kuva 56. Materiaalien TVOC-emissiot toisessa koesarjassa.



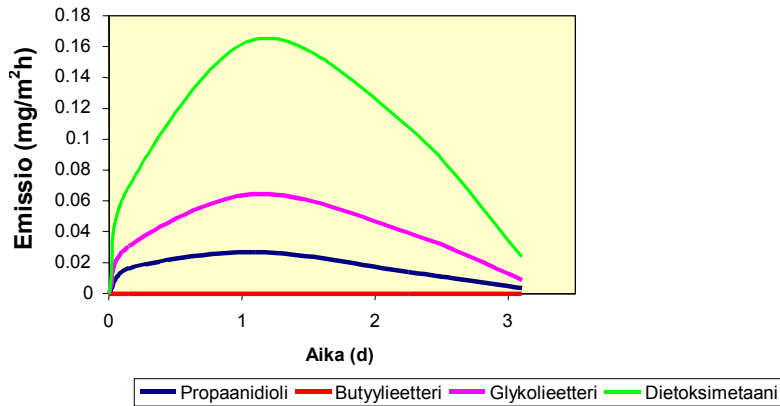
*Kuva 57. Kipsilevyn ja lakatun parketin sorptiokyvyn ero.*

## 5.8 Kammiotestien tulosten tarkastelu

Tarkasteltaessa yhdisteiden pitoisuuksia mallihuoneen sisäilmassa verrattuna niiden emissionopeuteen materiaalien pinnoilta huomioitiin seuraavaa. Yhdisteiden käyttäytymistä havainnollistetaan kuvilla 58 ja 59, joissa on kuvattu neljän eniten desorboituneen yhdisteen (propanidioli, butyylietteri, glykolieetteri ja dietoksimetaani) emissiot mitattuna kipsilevyn pinnasta ja samojen yhdisteiden pitoisuudet mitattuna parketin pinnasta. Vaikka yhdisteiden desorptio materiaaleista on eri suuruusluokkaa, on yhdisteiden keskinäinen järjestys miltei samanlainen. Propanidiolin käyttäytyminen poikkesi eniten. Pääsääntöisesti materiaaleista emittoituneiden yhdisteiden pitoisuuksien suhde oli verrannollinen yhdisteiden pitoisuuksien suhteeseen sisäilmassa. Yhdisteiden pitoisuudet sisäilmassa pienenevät kuitenkin huomattavasti nopeammin kuin pitoisuudet huokoisissa materiaaleissa.



Kuva 58. Kipsilevyn pinnasta kolmannessa koesarjassa eniten emittoituneet yhdisteet.



Kuva 59. Parketin pinnasta kolmannessa koesarjassa emittoituneet yhdisteet.



## 6. Yhteenveto

Tällä hetkellä mittauskäytäntö sekä sisäilman laadun arvioimiseksi ja ennenkaikkea emissiolähteiden mittaamiseksi on erittäin kirjavaa. Tästä tilanteesta joutuvat kärsimään ennen kaikkea sisäilman laadun mittaustuloksia tarvitsevat tahot eli viime kädessä asunnon käyttäjät. Kyseessä on laaja ongelma, koska menetelmän tulisi olla käytettävissä helposti, nopeasti ja edullisesti. Nykyisillä menetelmillä osa sisäilmassa olevista erittäin haihtuvista yhdisteistä menetetään. Tietoa siitä, mitä halutaan sisäilmasta nähdä (SVOC, VVOC, amiinit) on, mutta kattavan ja nopean menetelmän kehittäminen ei ole ilmaista.

Tässä hankkeessa laajennettiin sisäilma-analytiikkaa ja mukaan otettiin rinnakkainen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keräysmenetelmä, jolla pystytään määrittämään osa tällä hetkellä muuten poisjäävistä yhdisteistä. Lisäksi sisäilmanäytteiden analysoinnin aikana käytettiin samanaikaisesti tapahtuvaa aistinvaraista arviointia eli haistelua helpottamaan erityisesti sisäilman hajuhaitta-aineiden tunnistamista. Tavoitteena oli lisäksi laajentaa valmiutta emissiotestien suorittamiseen. Hankkeen tuloksena VTT:llä on nyt mahdollisuus määrittää ensimmäisenä Suomessa tutkittavana olevan materiaalin kemialliset emissiot ja aistinvarainen arviointi samanaikaisesti samasta emissiokammioista myös pak-suilla materiaaleilla ja isoilla rakennus- ja sisustustuotteilla. Suurempi emissiokammio mahdollistaa nyt myös esimerkiksi huonekalujen emissiotestauksen.

Kuten tässäkin hankkeessa, niin useimmissa kirjallisuudessa julkaistuissa tutkimuksissa sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mahdollisia terveyshaittoja on selvitetty korreloimalla ilmasta mitattuja pitoisuuksia niille altistuneiden henkilöiden raportoimiin oireisiin. Tässä tutkimuksessa tavoite asetettiin kuitenkin pidemmälle: osa tutkimukseen osallistuneista henkilöistä oli Iho- ja allergiasairaalan potilaina. Heidät tutkittiin sairaalassa oireittensa vaatimalla tavalla. Tämä tuotti erillisten kokeiden ja selvitysten aineiston, jonka löydösten yhteyttä potilaan asunnon ilmasta mitattuihin yhdistepitoisuuksiin voitiin tutkijalääkärin avulla selvittää.

Mukaan valittavat tapausperheet pyrittiin valitsemaan niin, että erityisesti asunnon irtaimiston ja rakennusmateriaalien päästöjen vaikutuksia terveyteen voitiin tutkia. Siksi homeongelmaiset yritettiin rajata pois. Kosteus- ja homeongelmai-

sia asuntoja sisältyy kuitenkin aineistoon. Vaikka asunnoissa oli havaittu vesivaurio, se ei aina johtanut homevaurioon.

Laajennettuja analyysimenetelmiä hyväksikäyttäen tämän hankkeen aikana kerättiin suuri määrä erilaisia tiedostoja (potilaiden/verrokkien kyselylomakkeen vastaukset, sisäilmadata), jotka syötettiin VTT:n sisäilmatietopankkiin. Tietopankkiin syötetyt tiedot hankkeessa kerätystä datasta auttavat selvittämään tyyppillisiä rakennusmateriaaleista vapautuvia yhdisteitä/yhdistepattereita erityisesti ongelmatapauksissa. Tietopankkiin syötetyistä tuloksista tehtiin tilastollisia analyyseja, ja tuloksista ilmeni tiettyjen materiaaaliperäisten yhdisteiden (esim. TXIB) korrelointi yleisimpien asunnossa koettujen oireiluja kanssa (esim. erilaiset silmäoireet, astman synty). Näille, sekä TXIB:lle ja muille sisäilmaoireiden kanssa korreloiville yhdisteille, määritettiin tilastomallien avulla ns. kriittiset pitoisuustasot, joiden ylittyttyä oireet lisääntyvät. Kun oirekyselyt ja sisäilman kemiallinen data yhdistettiin, todettiin, että suurin osa tutkimuksessa mukana olleista ongelmatapauksista asui 1990-luvulla ennen Sisäilmastoluokituksen käyttöönottoa rakennetuissa taloissa ja oireiden kokeminen painottui lähinnä kerrostaloasuntoihin. Yleisin haitta oli asunnossa havaittu tunkkaisuuden tuntu ja poikkeava, epämiellyttävä haju, joista raportoitiin olevan joka viikko koettavaa haittaa erityisesti tapausperheiden keskuudessa. Väsymys, sekä nenä-, silmä- ja kurkkuaireet olivat yleisimpiä kotona koettuja oireita sekä naisilla että miehillä. Verrokkiperheiden naiset kokivat oireita enemmän töissä kuin kotona, kun taas tapausperheiden naisten oireet olivat pääosin kotona tuntuvia. Tapaukset sairastivat myös huomattavasti useammin infektioita ja astmaa kuin verrokkit.

Lattiamateriaalin vaikutus oli selkeä erilaisten jokaviikkoista haittaa aiheuttavien oireiden kanssa: silmäoireet, hengenahdistus ja yskä olivat selkeästi yhteydessä asuinossa käytettyihin lattiamateriaaleihin. Useimmissa tapauksissa lattiamateriaalina oli muovimatto. Lisäksi korrelaatio asunnossa käytetyn lattiamateriaalin vaikutuksesta tunkkaisuuden ja hajuhaitan kokemiseen oli merkitsevä. Mielenkiintoista oli todeta, että asunnon sisäilman tunkkaisuuteen ei useilla imurointikerroilla eikä kostealla pyyhkimisellä kuitenkaan ollut vaikutusta. Imurointikerroilla oli vaikutusta joka viikko koetun häiritsevän yskän kokemisessa. Mitä useimmin asunnossa imuroitiin, sitä suurempi oli yskästä viikoittaisena haittana kärsivien tapauksien määrä. Osa näistä henkilöistä imuroi jopa päivittäin.

Tutkimuksessa mukana olleilla tapauksilla yleisimpiä allergiaoireita aiheuttivat siitepöly ja heinät, tapausperheet raportoivat lisäksi erilaisista ruoka-aine-allergioista sekä eläinallergioista. Merkittävää on, että lemmikkieläinten pidolla ei ollut yhteyttä mihinkään kotona koettuihin oireisiin eikä haittatekijöihin.

Sekä kyselytutkimus että kliiniset tutkimukset osoittavat, että sisäilman terveys-haitoille erityisesti alttiita eivät ole vain biologiselta ominaisuudeltaan atooppiset henkilöt, kuten kirjallisuudessa on esitetty. Kliininen tutkimusosio antaa myös kuvan siitä, mitä löydöksiä ylipäättään sisäilmaongelmaisista potilaista lääkärin tutkimuksissa löytyy. Tämä auttaa terveydenhuollon henkilöitä suunnittelemaan tutkimuskäytäntöjään ko. potilaiden osalta. Sisäilmatutkimuksen kannalta erityisesti keuhkofunktion toimintaa kartoittavat kokeet ja ylähengitysteiden limakalvon tilaa kuvaavien tutkimusten tulokset olivat erityisen kiinnostavia. Keuhkofunktio tutkimuksilla voitiin varmentaa tutkittujen raportoimia sairauksia, kuten astma, ja diagnosoida uudet astmat. Yskösnäytteen avulla voitiin todentaa potilaan raportoima ärsytysoireen tulehduksellisuusluonne ylähengitysteiden limakalvoilla. Poskiontelokuvan avulla voitiin osoittaa poskionteloiden limakalvojen turvotustilat jne. Koska kustakin potilaasta saatiin vaihtelevasti erilaisia kliinisten tutkimusten tuloksia, jäi aineiston tilastollinen voima esimerkiksi yskösnäytteiden osalta melko heikoksi. Vain noin puolelta sairaalassa olleelta oli yskösnäyte otettu. Silti tutkimus antoi viitettä siitä, että joillakin sisäilman haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä, esimerkiksi TXIB:llä, saattaa olla ylähengitysteiden limakalvon tulehdusreaktiota lisäävä vaikutus tai että ne voivat lisätä poskiontelon limakalvon turvotusta. Kliininen tutkimusosio toi myös esiin joukon yhdisteitä, jotka saattavat hengitysilmassa esiintyessään lisätä astmaan sairastumisen riskiä. Logistisella regressioanalyysillä mallintamalla saatiin siten kyselytutkimuksen tuottamien ärsytyskynnysarvojen lisäksi kartoitettua eri yhdisteille ja yhdisteryhmille pitoisuustasoja, joilla eri sairastumisriskit saattavat merkitsevästi lisääntyä.

Hankkeessa selvitettiin myös ärsytysoireita eläinkokeiden avulla, ja näiden eläinkokeiden tulokset osoittivat selvästi, että formaldehydi oli tässä hankkeessa materiaaliemissioita kuvaavien VOC-seosten ärsyttävin yhdiste. Mitä suurempi formaldehydin osuus näissä seoksissa oli, sen ärsyttävämmäksi seos osoittautui. Vaikka formaldehydin osuus emissioista oli vain muutama %, sen läsnäolo ohjasi ärsytysvastetta. Muita ärsyttävyyden kannalta merkittäviä yhdisteitä olivat ko. seoksissa pitkäketjuiset alkoholit (esim. 2-etyyliheksanoli) ja ammoniakki. Kui-

tenkin esim. ammoniakki on n. 100 kertaa heikompi ärsyttävä kuin formaldehydi, mikä oli havaittavissa myös VOC-seoksilla saaduissa tuloksissa. Malliseosten ärsytystulosten perusteella materiaaliemissioiden arviointi kemiallisiin emissioihin pohjautuen on mahdollista. Tämän ilmiön mallintaminen ja mallin soveltaminen materiaaliemissioiden ja sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien ärsytysvaikutusten arvioinnissa on mahdollisuuksien rajoissa siinäkin tapauksessa, että materiaaliemissioissa on mukana myös reaktiivisia, ärsyttäviä yhdisteitä.

Asuntojen hajuhaittavalitukset ovat usein yhteydessä joko täysin uuteen asuntoon tai juuri remontin jälkeiseen tilaan, kun asunnossa on paljon uutta materiaali- ja pintaa. Tässä työssä tutkittiin rakennusmateriaalien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden välisiä sorptioilmiöitä, jotka korostuvat uudisrakennuksessa tai juuri remontoitussa asunnossa. Kokeellisen puolen tärkein tulos oli menetelmän kehittäminen soveltumaan rakennusmateriaalien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden välisiin diffuusiotutkimuksiin. Kokeita vaihtelevissa olosuhteissa suoritettiin kahdeksalle rakennusmateriaalille (liisteröity tapetti, maalattu tapetti, kipsilevy, kevytbetoni, kiinteä betoni, PVC-matto, kokolattiamatto ja tiili) ja neljälle yhdisteelle (esim. TXIB). Selvitettäessä remontin jälkeisen emissio- ja koormituksen laskemista sisäilman normaalille tasolle tutkittiin sorptioilmiötä myös erityisesti tätä tutkimusta varten rakennetussa mallihuoneessa. Viisi materiaalia (kipsilevy, paperitapetilla päällystetty puukuitulevy, muovikalvolla päällystetty lastulevy, lakattu parketti ja PVC-matto) altistettiin maaleista emittoituville yhdisteille. Koeolosuhteet pyrittiin järjestämään mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaaviksi, jotta saatuja tuloksia voitaisiin helpommin hyödyntää käytännön ongelmia ratkaistaessa. Sisäilman TVOC-pitoisuuksia seurattiin epäsäännöllisesti mittausjaksojen aikana. Tiheimmin mittauksia suoritettiin ensimmäisen vuorokauden aikana, jolloin pitoisuudet vaihtelivat eniten. Ensimmäisen koesarjan jälkeen sisäilma palautui alkuperäiselle tasolle jo ensimmäisen vuorokauden aikana. Toisen ja kolmannen koesarjan jälkeen palautuminen kesti useita vuorokausia. Tutkituista materiaaleista kipsilevyn sorptiokyky oli suurin. Huomattavaa oli, että kului melkein kaksi viikkoa, ennen kuin sen päästöt palasivat takaisin M1-luokan tavoitearvoon. Toisessa koesarjassa havaittiin myös, että yhdisteitä desorboitui kipsilevystä vielä 36 vuorokautta altistamisen jälkeen. Toiseksi tehokkain sorptiokyky oli paperitapetilla päällystetyllä puukuitulevyllä ja kolmanneksi tehokkain oli muovikalvolla päällystetyllä lastulevyllä. Pääsääntöisesti materiaaleista emittoituneiden yhdisteiden pitoisuuksien suhde oli verrannollinen yhdisteiden pitoisuuksien suhteeseen sisäilmassa. Yhdisteiden pitoisuudet

sisäilmassa pienuivat kuitenkin huomattavasti nopeammin kuin pitoisuudet huokoisissa materiaaleissa. Koejärjestelyt vastasivat hyvin todellisuutta ja mahdollistivat pitkäaikaiset kokeet, minkä ansiosta yhdisteiden käyttäytymistä sisäilmassa remontin jälkeen voidaan ennustaa.

Tämän tutkimuksen tulokset antavat käyttökelpoista tietoa Sisäilmastoluokituksen kehittämistyöhön. Tuloksista huomataan, että ennen luokituksen käyttöönottoa rakennetuissa asunnoissa on osassa korkeita emissioita aiheuttavia rakennusmateriaaleja. Tällä hetkellä on nähtävissä, että luokituksen käyttöönoton jälkeen lattianpäällysteiden ja muiden rakennus- ja pintamateriaalien emissiot ovat pudonneet murto-osaan siitä, millä tasolla ne olivat ennen luokitusta. Näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi sisäilmaluokituksen edelleen kehittämisessä ottaen huomioon tämänhetkisen TVOC:n lisäksi myös yksittäisten yhdisteiden/yhdisteryhmien pitoisuustasot. Lisäksi eläinkokeiden tulosten perusteella todettiin, että hajuominaisuuksilla ei voida varauksettomasti arvioida kemikaalien ärsytysvaikutuksia. Siksi ärsytysominaisuuksien huomioiminen sisäilmastoluokituksessa jollakin tavoin näyttäisi tällä hetkellä olevan luotettavin tapa arvioida materiaaliemissioiden terveellisyttä.

Tämän hankkeen tuloksia voidaan soveltaa paremman sisäilman laadun saavuttamisessa/diagnosoinnissa sekä rakennusmateriaaliteollisuuden ohjeistamiseksi käytössä olevan rakennusmateriaaliluokituksen edelleen kehittämisessä.

## Lähdeluettelo

Alarie, Y. 1973. Sensory irritation by airborne chemicals. *CRC Critical Reviews in Toxicology*. Vol. 2, s. 299–363.

Alarie, Y. 1998. Computer-based bioassay for evaluation of sensory irritation of airborne chemicals and its limit of detection. *Archives of Toxicology*. Vol. 72, s. 277–282.

Alarie, Y., Schaper, M., Nielsen, G.D. & Abraham M.H. 1998. Structure-activity relationships of volatile organic chemicals as sensory irritants. *Archives of Toxicology*. Vol. 72, s. 125–140.

ASTM. 1984. ASTM E981-84. Standard Test Method for Estimating Sensory Irritancy of Airborne Chemicals. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

Boylstein, L.A., Anderson, S.J., Thompson, R.D. & Alarie, Y. 1995. Characterization of the effects of an airborne mixture of chemicals on the respiratory tract and smoothing polynomial spline analysis of the data. *Archives of Toxicology*. Vol. 69, s. 579–589.

Cassee, F.R., Arts, J.H.E., Groten, J.P. & Feron, V.J. 1996. Sensory irritation of mixtures of formaldehyde, acrolein, and acetaldehyde in rats. *Archives of Toxicology*. Vol. 70, s. 329–337.

CEN, 1997. Air quality-determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Draft.

CEN ENV 13419-1:1999 Building products - Determination of the emission of volatile organic compounds -Part 1: Emission test chamber method

CEN, 1994. *Building materials – Determination of water vapour transmission properties*, CEN/TC 89 N 246 E, 1–26.

Cometto-Muniz, J.E., Cain, W.S., Abraham, M.H. & Gola, J.M.R. 1999. Chemosensory detectability of 1-butanol and 2-heptanone singly and in binary mixtures. *Physiology and Behaviour*. Vol. 67, s. 269–276.

Cometto-Muniz, J.E., Cain, W.S., Abraham, M.H. & Gola, J.M.R. 2001. Ocular and nasal trigeminal detection of butyl acetate and toluene presented singly and in mixtures. *Toxicological Sciences*. Vol. 63, s. 233–244.

CRC, 1997. *Handbook of Chemistry and Physics*. Toim. Lide, D. 78. painos, CRC Press LLC, New York.

Daubert, T. & Danner, R. 1989. *Physical and Thermodynamic Properties of Pure Chemicals*, Hemisphere publishing corporation, USA.

Devos, M., Patte, F., Rouault, J., Laffort, P. & Van Gemert, L.J. (eds.) 1990. Standardized human olfactory thresholds. New York: Oxford University Press.

Ekberg-Jansson, A., Andersson, B., Bake, B., Boijesen, M., Enanden, I., Rosengren, A., Skoogh, B.E., Tylen, U., Venge, P. & Lofdahl, C.G. 2001. Neutrophil-associated activation markers in healthy smokers relates to a fall in DL(CO) and to emphysematous changes on high resolution CT. *Respiratory Medicine*, 95:363–373.

Getchell, T.V., Doty, R.L., Bartoshuk, L.M. & Snow, Jr, J.B. (eds.). 1991. *Smell and Taste in Health and Disease*. Raven Press. New York.

Green, B.G., Mason, J.R. & Kare, M.R. (eds.). 1990. *Chemical Senses*. Vol. 2: Irritation. Marcel Dekker. New York.

Hansen, L.F., Nielsen, G.D., Tøttrup, J., Abildgaard, A., Jensen, O.F.D., Hansen, M.K. & Nielsen, O. 1991. Biological determination of emission of irritants from paints and lacquer. *Indoor Air* 2:95–110.

Hempel-Jorgensen, A., Kjaergaard, S.K., Molhave, L. & Hudnell, K.H. 1999. Sensory irritation in humans exposed to mixture of volatile organic compounds. *Archives of Environmental Health*. Vol. 54 (6), s. 416–424.

IARC- List of IARC Evaluations. The International Agency for Research on Cancer. <http://193.51.164.11/monoeval/grlist.html>.

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

Johnsen, C.R., Heinig, J.H., Schmidt, K., Albrechtsen, O., Nielsen, P.A., Wolkoff, P., Nielsen, G.D., Hansen, L.F. & Franck, C. 1991. A study of human reactions to emissions from building materials in climate chambers. Part I: clinical data, performance and comfort. *Indoor Air* 4:377–388.

Kalliorinne, K., Kankaanperä, A., Kivinen, A. & Liukkonen, S. 1990. *Fysikaalinen kemia 3 – dynamiikka*, Kirjayhtymä, Helsinki. S. 1–189.

Kane, L.E. & Alarie, Y. 1978. Evaluation of sensory irritation from acrolein-formaldehyde mixtures. *American Industrial Hygiene Association Journal*. Vol. 39, s. 270–274.

Kasanen, J.-P., Pasanen, A.-L., Pasanen, P., Liesivuori, J., Kosma, V.-M. & Alarie, Y. 1998. Stereospecificity of the sensory irritation receptor for nonreactive chemicals illustrated by pinene enantiomers. *Arch Toxicol* 72:514–523.

Kasanen, J.-P., Pasanen, A.-L., Pasanen, P. et al. 1999. Evaluation of sensory irritation of  $\Delta^3$ -carene and turpentine, and acceptable levels of monoterpenes in occupational and indoor environment. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*. Vol. 57, s. 89–114.

Kirchner, S., Karpe, P., Rouxel, P., Kephelopoulos, S., Knoeppel, H., De Bortoli, M., Bluysen, Ph., Van der Wal, J., Cornelissen, H., Hoogeveen, A., Kjaer, U. & Tirkkonen, T. Characterization of adsorption-desorption of organic pollutants on wall and floor coverings surfaces, *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Characterization and Control of Emissions of Odors and VOCs*, Montreal 1997, s. 270–282.



Korpi, A., Kasanen, J.-P., Alarie, Y. et al. 1999. Sensory irritating potency of some microbial volatile organic compounds (MVOCs) and a mixture of five MVOCs. *Archives of Environmental Health*. Vol. 54, s. 347–352.

Korpi, A., Kasanen, J.-P. & Pasanen, A.-L. 1999. Sisäilman orgaanisten yhdisteiden hajun ja ärsyttävyyden välinen yhteys. Kirjassa *Sisäilmastoseminaari 1999. Sisäilmayhdistys*. Helsinki. s. 187–192.

Koskelo, T. 1994. *Kosteuden siirtyminen puussa kuppikokeiden suoritusohje*. Talonrakennustekniikan laboratorio, TKK, Helsinki, 45, 1–42.

Makkonen, K., Viitala, K.I., Parkkila, S. & Niemelä, O. 2001. Serum IgG and IgE antibodies against mold-derived antigens in patients with symptoms of hypersensitivity. *Clinica Cimica Acta*; 305: 89–98.

Malmberg, M. 2002. Sisäilmapotilaan ohjaaminen kotikäynnillä saadun kokemuksen pohjalta. *Sisäilma ja terveys, symposiumi 24.9. 2002. Allergia – ja Astmaliitto ry, 12. symposiumi*.

Malmberg, M., Mussalo-Rauhamaa, H., Mäkinen-Kiljunen, S., Malmberg, H. & Haahtela, T. *Sisäilmaongelmat kotikäyntien valossa. Suomen Lääkärilehti 2000; 14–15: 1599–1603*).

Metiäinen, P., Mussalo-Rauhamaa, H. & Viinikka, M. 2003. Muovimattokorjausten vaikutus sisäilman TXIB-pitoisuuteen ja asukkaiden oireiluun. *Sisäilmastoseminaari 2003, s.173–176. Sisäilmayhdistysraportti 19. Toim. Jorma Säteri, Helka Backman. SIY Sisäilmatieto Oy, Vantaa*.

Metso, T., Bjorksten, F., Kilpio, K., Kivikanta, K., Haahtela, T., Kalso, S., Kostainen, R. & Viinikka, M. 1993. Serum myeloperoxidase and sick building syndrome. *Lancet*; 342: 113–114.

Metso, T., Rytila, P., Peterson, C., Haahtela, T. 2001. Granulocyte markers in induced sputum with respiratory disorders and healthy persons obtained by two sputum-processing methods. *Respiratory medicine*; 95: 48–55.

Metso, T., Venge, P., Haahtela, T., Peterson, C.G.B. & Seveus, L. 2002. Cell specific markers for eosinophils and neutrophils in sputum and bronchoalveolar lavage fluid of patients with respiratory conditions and healthy subjects. *Thorax*; 57: 449–451.

Muller, W.J. 1995. Black MS. Sensory irritation in mice exposed to emissions from indoor products. *Am Ind Hyg Assoc J* 56:794–803.

Mussalo-Rauhamaa, H., Hakala, K., Kiviranta, K., Metso, T. & Haahtela, T. Increased myeloperoxidase (MPO) in induced sputum in patients with a history of indoor air health problems. *Proceedings of Healthy Buildings 2000, Exposure, Human Responses and Building Investigations, Vol. 1.*, toim. O. Seppänen, J. Säteri, SIY Indoor Air, Information Oy, Helsinki, Finland/Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, s. 263–266.

Mäkinen-Kiljunen, S. & Mussalo-Rauhamaa, H. 1999. The role of airborne food-related allergens from indoor surface material as potential sensitizers. *JEAVEQ*; 12 (Suppl.2): S101.

Mäkinen-Kiljunen, S. & Mussalo-Rauhamaa, H. 2002. Casein, an important house dust allergen. *Allergy*; 57: 1084–1085.

Nielsen, G.D., Kristiansen, U., Hansen, L. & Alarie, Y. 1988. Irritation of the upper airways from mixtures of cumene and n-propanol. Mechanisms and their consequences for setting industrial exposure limits. *Archives of Toxicology*. Vol. 62, s. 209–215.

Nielsen, G.D., Alarie, Y., Poulsen, O.M., & Nexø, B.A. 1995. Possible mechanisms for the respiratory tract effects of noncarcinogenic indoor-climate pollutants and bases for their risk assessment. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 21:165–178.

Nielsen, G.D., Hougaard, K.S., Larsen, S.T. et al. 1999. Acute airway effects of formaldehyde and ozone in BALB/c mice. *Human and Experimental Toxicology* 18:400–409.

Nordtest 1990. *Building materials: Emission of Volatile Compounds, Chamber Method*, NT Build 358, Espoo.

Protocol for Chemical and Sensory Testing of Building Materials. Julkaisija Rakennustietosäätiö 2002, [www.rts.fi](http://www.rts.fi)

Rogers, V., Nielson, K., Holt, R. & Snoddy, R. 1994, Radon diffusion coefficients for residential concretes, *Health Phy.* 67, 261–265.

Schaper, M. 1993. Development of a database for sensory irritants and its use in establishing occupational exposure limits. *American Industrial Hygiene Association Journal* 54:488–544.

Sennhauser, F.H. & Kuhni, C.E. 1995. Prevalence of respiratory symptoms in Swiss children: Is bronchial asthma really more prevalent in boys? *Pediatric Pulmonology*, 19: 161–166.

Shaw, D. 1980. *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, 3. painos, Butterworths, Englanti. S. 108.

Sisäilmastoluokitus 2000. Sisäilmayhdistys, Rakennustietosäätiö, SIY raportti 5, Espoo 2001.

Susitaival, P., Kanerva, L., Hannuksela, M., Jolanki, R. & Estlander, T. 1999. Tuohilampi Questionnaire for Epidemiological, Studies of Contact Dermatitis and Atopy, *People and Work*, Research Reports 10, s. 1–26.

Taskinen, T., Meklin, T., Juntunen, R., Nousiainen, M., Husman, T., Nevalainen, T., Nevalainen, A. & Korppi, M. 1997. Moisture and mold problems in the schools and respiratory manifestations in the pupils. Clinical and skin test findings. *Avta Paediatrica*; 86:118–1187.

Tirkkonen, T., Mroueh, U-M. & Orko, I. 1995. *Tenax as a collection Medium for Volatile Organic Compounds*, Nordic Committee on Building Regulations, NKB Committee and Work Reports, 1995:06 E, Helsinki, s. 1–53.

Tirkkonen, T. & Saarela, K. Adsorption of VOCs on interior surfaces in a full scale building, *Proceedings of the Healthy Buildings / IAQ '97 Conference in Washington DC*, toim. Woods, J. et al., Washington 1997a, 3 551–556.

Tirkkonen, T. 1996. Tenax TA adsorbentin ominaisuudet ja käyttö VOC-yhdisteiden määrittämisessä. *Sisäilmastoseminaari*, toim. Ruotsalainen, R. et al., Espoo. S. 233–237.

Tirkkonen, T., Saarela, K. & Kukkonen, E. 2004. Sensory evaluation method of building materials for labelling purposes. FORMAS project No 2001-0538. Project report.

Trush, M.A., Egner, P.A. & Kensler, T.W. 1994. Myeloperoxidase as a biomarker of skin inflammation. *Food & Chemical Toxicology*; 32: 143–147.

Venge, P., Byström L, Carlson, M. et al. 1999. Eosinophil cationic protein (ECP): molecular and biological properties and the use of ECP as a marker of eosinophil activation in disease. *Reviv. Clin Exp. Allergy*; 29: 1172–1186.

Viljayaraghavan, R., Schaper, M., Thompson, R. et al. 1993. Characteristic modifications of the breathing pattern of mice to evaluate the effects of airborne chemicals on the respiratory tract. *Archives of Toxicology*. Vol. 67, s. 478–490.

Viljayaraghavan, R., Schaper, M., Thompson, R. et al. 1994. Computer assisted recognition and quantification of the effects of airborne chemicals acting at different areas of the respiratory tract in mice. *Archives of Toxicology*. Vol. 68, s. 490–499.

VTT:n menetelmäohje. Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuden määrittäminen.

VTT:n menetelmäohje. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) analysointi Tenax TA-adsorbenttiputkista käyttäen GC-FID/MSD-tekniikkaa.

VTT:n menetelmäohje. Ammoniakkipitoisuuden määrittäminen.

VTT:n menetelmäohje. Formaldehydin määrittäminen vesiliuoksesta spektrofotometrisesti.

VTT:n menetelmäohje. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) emissiopeuden määrittäminen FLEC-menetelmällä.

WHO Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva, 2000.

Wolkoff, P., Nielsen, G.D., Hansen, L.F., Albrechtsen, O., Johnsen, C.R., Heinig, J.H., Franck, C., Nielsen, P.A. 1991. A study of human reactions to emissions from building materials in climate chambers. Part II: VOC measurements, mouse bioassay, and decipol evaluation in the 1-2 mg/m<sup>3</sup> TVOC range. *Indoor Air* 4:389–403.

Zellweger, C., Gehrig, R., Hill, M. & Hofer, P. 1995. VOC emissions from building materials: comparison of chamber emission data with concentrations in real rooms, *The Proceedings of the International Conference on Healthy Buildings in mild climate – Healthy Buildings '95*, Milano, 2, 845–850.

# Liite A: Kliininen tiedonkeruulomake

Tiedonkeruulomake/  
VOC-tutkimus/potilas

N:o \_\_\_\_\_

Sex: 1 mies    2 nainen

Syntymävuosi: \_\_\_\_\_

Pahin oire: \_\_\_\_\_

Dg: \_\_\_\_\_

IgE: \_\_\_\_\_

Ex-ECP: \_\_\_\_\_

ex-MPO: \_\_\_\_\_

Ex-eos:    -   +   ++   +++   ++++

Ex-neutr   -   +   ++   +++   ++++

Ex-makr.   -   +   ++   +++   ++++

Hb \_\_\_\_\_

B-leuk \_\_\_\_\_

B-eos \_\_\_\_\_

La \_\_\_\_\_ CRP \_\_\_\_\_

## Spirometria

1 norm 2 lievä 3 koht.

4 vaikea obstruktio

5 restriktio 6 ei tehty

## Histamiinikoe

1 norm 2 lievä 3 koht. 4 vaikea

Pd 15 \_\_\_\_\_

## PEF-seuranta

1 norm. 2 tasovaihtelua

3 perustaso laskenut vakaa

4 ei tehty

## Bronkoskopia

1 tehty 2 ei tehty

BAL 1 norm 2 poikkeava

## Jatkuva allergialääkitys

1 ei 2 kyllä

## Thorax

1 ei tehty 2 norm 3 poikkeava

## Sinus-rtg

1 ei tehty 2 norm 3 poikkeava

## Allergiatestit

perussarja 1 ei tehty 2 neg 3 poikkeava

ruokasarja 1 ei tehty 2 neg 3 poikkeava

homesarja 1 ei tehty 2 neg 3 poikkeava

punkkisarja 1 ei tehty 2 neg 3 poikkeava

latex 1 ei tehty 2 neg 3 poikkeava

## Atoopikko

1 ei 2 kyllä

### Homevasta-aineet

1 ei tehty 2 tehty

Cep. curtipes \_\_\_\_\_

Fusarium \_\_\_\_\_

Phoma \_\_\_\_\_

St albus \_\_\_\_\_

Asp. versicolor \_\_\_\_\_

Ther. vulg. \_\_\_\_\_

### Nenäsyttologia

1 ei tehty 2 tehty

n-eos - + ++ ++

n-neutr. - + ++ +++

### Kotikäynti/ asunto:

Huone lkm \_\_\_\_\_

Koko: \_\_\_\_\_

Lämmitys \_\_\_\_\_

Ilmanvaihto

1 koneellinen poisto

2 painovoimainen

3 koneellinen tulo ja poisto

Haju

home

1 ei 2 kyllä

ammoniakki

1 ei 2 kyllä

### Ilmanvaihdon tehokkuus

1 norm.

2 heikentynyt

3 selvä ilmanvaihdon haitta

4 korvausilman puute

### Kosteusmittaukset:

1 ei 2 kyllä kosteutta, missä

-----

### Pölypunkkiacarex

1 ei tehty 2 kyllä pos 3 neg

Suhteellinen kosteus \_\_\_\_\_

Lämpötila makuuhuone \_\_\_\_\_

CO<sub>2</sub> \_\_\_\_\_

Viherkasvit: \_\_\_\_\_

### Homeviljely

home - + ++ +++

sädesieni - + ++ +++

## Liite B: Tapaus/verrokki-kyselylomake

Kiitos siitä, että olette lupautunut osallistumaan VTT:n kanssa tekemäämme 'Sisäilmaston laatu' tutkimukseen. Tutkimuksessa mittaamme asuntonne huoneilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuutta. Lisäksi pyydämme Teitä kertomaan omat kokemuksenne asuntonne nykyisestä sisäilmastosta ja Teillä esiintyneistä sairauksista ja oireista. Tutkimuksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että kaikki taloudessanne asuvat vastaavat omalla lomakkeellaan. Vanhempia pyydetään täyttämään alle 15-vuotiaiden puolesta tämä lomake. **Älkää laittako lomakkeeseen nimeänne.** Vastaajien henkilötiedot pyydän täydentämään liitteeseen 1. Palauttakaa vastaukset oheisessa kirjekuoressa. Antamianne tietoja käsitellään luottamuksellisina.

Kiitän vaivannäöstänne!

Helena Mussalo-Rauhamaa, tutkijalääkäri, Iho- ja Allergiasairaala, sisäilmapoliklinikka

puh 4716526 ja 19127545

### A. ASUNTOANNE KOSKEVAT KYSYMYKSET

Lomakkeen täyttöpäivä \_\_\_\_\_

**1. Asuntonne on** \_\_\_ kerrostalossa \_\_\_\_\_kerros, kerroksia  
kaikkiaan \_\_\_\_\_

\_\_\_ rivitalo \_\_\_\_\_kerrosta  
\_\_\_ omakotitalo \_\_\_\_\_kerrosta  
\_\_\_ maatila

**2. Asunnon katto** \_\_\_ harjakatto \_\_\_ tasakatto \_\_\_ pulpettikatto  
\_\_\_ aumakatto \_\_\_ muu, mikä \_\_\_\_\_

**3. Asunnon rakennusvuosi** \_\_\_\_\_

**4. Muuttoajankohtanne** \_\_\_\_\_(vuosi) \_\_\_\_\_(kuukausi)



## 5. Onko asunnossanne tapahtunut vesivuotoja?

Ei \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ kyllä, vuonna \_\_\_\_\_

## 6. Milloin ensimmäisen kerran epäilitte asunnossanne sisäilmaongelmaa? \_\_\_\_\_

ja (miksi) \_\_\_\_\_

## 7. Onko kotonanne eläimiä? \_\_\_\_\_ ei \_\_\_\_\_ ei, mutta lähellä on

\_\_\_\_\_ (mikä eläin) ja missä) \_\_\_\_\_

(esim. naapuri/yläkerta/mummola jne.)

\_\_\_\_\_ kyllä, kotonani on ollut (mitä) \_\_\_\_\_, vuodesta \_\_\_\_\_

## 8. Onko kotonanne ollut ennen kotieläimiä?

\_\_\_\_\_ ei \_\_\_\_\_ kyllä

mitä \_\_\_\_\_ ja

kuinka kauan \_\_\_\_\_ (kuukausi, vuosi); \_\_\_\_\_ (kuukausi, vuosi)

## 9. Tupakoidaanko asunnossa?

\_\_\_\_\_ ei \_\_\_\_\_ kyllä, sisällä, \_\_\_\_\_ kyllä ulkona

\_\_\_\_\_ kyllä, on aiemmin tupakoitu, sisällä tupakointi lopetettu vuonna \_\_\_\_\_

## 10. Asunnon ilmanvaihto

- painovoimainen
- koneellinen poisto
- koneellinen tulo ja poisto

## 11. Onko Teillä asunnossa

- liesituuletin
- keskuspölynimuri
- pyykinkuivauskaappi
- ilmankostutin
- ilmanpuhdistin, käytössä missä huoneessa \_\_\_\_\_
- kosteusmittari, lukema \_\_\_\_\_%
- sisälämpömittari, lukema \_\_\_\_\_°C

## 12. Asunnon lattiapinnoitteen laatu

makuuhuoneessa     muovi     korkki     parketti     muu, \_\_\_\_\_  
olohuoneessa         muovi     korkki     parketti     muu \_\_\_\_\_

## 13. Asunnon seinämateriaali/pinnoite (vastaajan)

makuuhuone         tapetti     maali     muu, \_\_\_\_\_  
olohuone             tapetti     maali     muu, mikä \_\_\_\_\_

## 14. Mitä kemikaaleja käytätte kodin pintojen puhdistukseen?

Kylpyamme- ja allaspinnat \_\_\_\_\_

Lattiapinnat \_\_\_\_\_

Seinäpinnat \_\_\_\_\_

Huonekalut \_\_\_\_\_

## 15. Kuinka usein käytätte kemikaaleja pintojen puhdistuksessa?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(kertaa/ missä tilassa?)

## 16. Kuinka usein imuroitte asunnossanne?

\_\_\_\_\_ kertaa/viikossa/kuukaudessa

## 17. Kuinka usein pyyhitte lattiaita

- kostealla mopilla \_\_\_\_\_ kertaa viikossa/kuukaudessa  
 kuivalla mopilla \_\_\_\_\_ kertaa/viikossa/kuukaudessa

## 18. Mitä vihherkasveja Teillä on kotona? \_\_\_\_\_

Viherkasvien lukumäärä \_\_\_\_\_

## **B. TAUSTATIETOJA VASTAAJASTA**

(täydentäkää tai merkitkää ruksi)

1. Syntymävuotenne 19\_\_\_\_ 2. Sukupuolenne \_\_ Mies \_\_ Nainen

3. Tupakoitteko itse? \_\_ En \_\_ Kyllä

4. Kuinka kauan olette polttanut? \_\_\_\_\_ vuotta \_\_\_\_\_ kuukautta

5. Kuinka paljon poltatte päivittäin? \_\_\_\_\_

6. Olen tupakoinut aiemmin vuosina \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_, yleensä \_\_\_\_/ päivä

7. Kuinka kauan keskimäärin olette asunnossanne? \_\_\_\_\_ tuntia.

## **8. ASUINYMPÄRISTÖNNE** (merkitkää ruksi **sopivaa** vaihtoehtoon joka rivillä)

Onko Teitä haitannut nykyisessä asunnossanne jokin seuraavista tekijöistä

**viimeksi kuluneen 3 kuukauden aikana?**

	Kyllä, joka viikko	Kyllä, joskus	Ei koskaan	En osaa sanoa
Veto	—	—	—	—
Liian korkea huonelämpötila	—	—	—	—
Vaihteleva huonelämpötila	—	—	—	—
Liian matala huoneenlämpötila	—	—	—	—
Tunkkainen (huono) ilma	—	—	—	—
Kuiva ilma	—	—	—	—
Epämiellyttävä haju	—	—	—	—
Pintojen sähköiskut	—	—	—	—
Muiden tupakointi	—	—	—	—
Melu	—	—	—	—

Heikko valaistus tai häikäisy/heijastukset	—	—	—	—
Havaittava pöly tai lika	—	—	—	—
Muu, mikä?	—	—	—	—

---

**9. Allergiset sairaudet** (merkitkää ruksi. Muistakaa merkitä **ei**, jos teillä ei ole ko. sairautta!)

	Kyllä	Ei
Onko lääkäri todennut Teillä nyt tai aikaisemmin astman ?	—	—
Onko Teillä nyt tai aikaisemmin ollut allergista nuhaa ?	—	—
Onko Teillä nyt tai aikaisemmin ollut maitorupea, taiveihottumaa tai muuta allergista ihottumaa ?	—	—
Onko vanhemmillanne tai sisaruksillanne ollut yllämainittuja allergisia sairauksia?	—	—

**Mihin edellä esitetyistä sairauksista joudutte käyttämään lääkitystä**

— ajoittain \_\_\_\_\_  
 — päivittäin \_\_\_\_\_

**10. Onko Teillä ihotesteillä tai verikokeilla todettua allergiaa ?**

ei \_\_\_\_\_  
 kyllä \_\_\_, mille \_\_\_\_\_

**11. Muut pitkäaikaiset sairautenne**

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**12. Jatkuva päivittäinen lääkityksenne**

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ (lääkkeen nimi)

### 13. OIREET

(täydentäkää tai merkitkää ruksit **sopiviin** vaihtoehtoihin joka rivillä)

Onko Teillä esiintynyt jotain seuraavista oireista tai vaivoista **viimeisten 3 kuukauden aikana** ?

	Jos vastasitte kyllä uskotteko oireen johtuvan työympäristöstänne?					
	kyllä joka viikko	kyllä, harvemmin	ei koskaan	ei	kyllä myös yöstä	kyllä vain työstä
väsymystä	—	—	—	—	—	—
pää tuntuu raskaalta	—	—	—	—	—	—
päänsärkyä	—	—	—	—	—	—
keskittymisvaikeuksia	—	—	—	—	—	—
huimausta	—	—	—	—	—	—
pahoinvointia	—	—	—	—	—	—
kuumetta	—	—	—	—	—	—
vilunväreitä	—	—	—	—	—	—
vatsakipuja	—	—	—	—	—	—
oksentelua	—	—	—	—	—	—
silmien kutinaa,	—	—	—	—	—	—
kirvelyä, ärsytystä	—	—	—	—	—	—
nenän ärsytystä, tukkoa	—	—	—	—	—	—
nenän vetistystä	—	—	—	—	—	—
käheyttä	—	—	—	—	—	—
kurkun kuivuutta	—	—	—	—	—	—
hengenahdistusta	—	—	—	—	—	—
yskää	—	—	—	—	—	—
limannousua	—	—	—	—	—	—
nivelkipuja	—	—	—	—	—	—
lihaskipuja	—	—	—	—	—	—
lisääntynyttä	—	—	—	—	—	—
virtsaamisen tarvetta	—	—	—	—	—	—
vatsavaivoja	—	—	—	—	—	—
kasvojen ihon kuivuutta	—	—	—	—	—	—

kasvojen punoitusta    \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_  
käsien ihon kuivuutta,  
kutinaa , punoitusta    \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_  
jotain muuta oiretta,    \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_            \_\_\_  
mitä? \_\_\_\_\_

**MIKÄ EM. OIREISTA ON OLLUT VAIKEIN?** \_\_\_\_\_

#### **14. Onko teillä yleensä ollut edellä mainittuja oireita**

(voitte ruksata useita vaihtoehtoja)

\_\_\_ talvella    \_\_\_ keväällä    \_\_\_ kesällä    \_\_\_ syksyllä     ympärivuoden

#### **15. Onko teillä mielestänne asuntoonne liittyen oireita yleensä**

\_\_\_ talvella                      \_\_\_ keväällä                      \_\_\_ kesällä  
\_\_\_ syksyllä                      \_\_\_ ympärivuoden                      \_\_\_ ei oireita

#### **16. Pidättekö nykyistä terveydentilaanne** (ruksatkaa Teihin sopiva numerovaihtoehto)

\_\_\_ hyvänä                      \_\_\_ melko hyvänä                      \_\_\_ kesinkertaisena  
\_\_\_ melko huonona                      \_\_\_ huonona

#### **17.**

	Ei	Kyllä, viime aikoina mitä?
Käytättekö päivittäin hajuvettä	___	___
Käytättekö päivittäin partavettä	___	___
Käytättekö päivittäin deodoranttia	___	___
Käytättekö päivittäin ripsiväriä	___	___
Käytättekö päivittäin kasvojen värivoiteita	___	___
Muuta huomioitavaa. Täydentäkää tarvittaessa _____		

#### **18. Kärsittekö yleensä muiden hajusteista ?**

\_\_\_ ei    \_\_\_ kyllä usein    \_\_\_ kyllä joskus

#### **19. Reagoitteko yleensä voimakkailla hajuille?**

\_\_\_ ei    \_\_\_ kyllä usein    \_\_\_ kyllä, mutta vain harvoin

## C. TÄYDENTÄVIÄ KYSYMYKSIÄ

### 1. Onko Teillä ollut seuraavia hengitystietulehduksia viimeisten 12 kuukauden aikana?

(voitte valita yhden tai useampia vaihtoehtoja)

	Kuinka monta kertaa?	Kuinka monta kertaa kävitte lääkärissä niiden vuoksi?
flunssa ilman kuumetta	_____	_____
kuumeinen flunssa, nuhakuume	_____	_____
nielurisatulehdus, angiina	_____	_____
välikorvantulehdus (keskikorvantulehdus)	_____	_____
poskiontelotulehdus	_____	_____
keuhkoputkentulehdus	_____	_____
keuhkokuume	_____	_____
muu, mikä? _____	_____	_____

ei mitään hengitystietulehduksia viimeisten 12 kuukauden aikana \_\_\_\_\_

### 2. Mitä seuraavista nenäoireista Teillä oli viimeisen 3 kk aikana?

(valitkaa yksi tai useampia vaihtoehtoja)

aivastelu	_____
nenän kutina	_____
nenän tukkoisuus	_____
kirkas erite	_____
samea erite	_____
nenän limakalvojen kuivuus	_____
hajuaistin heikkeneminen	_____
nieluun valuva erite	_____
muut, mitä? _____	_____

### **3. Jos teillä on ollut viimeksi kuluneen 3 kk aikana ihottumaa, millä ihon alueella sitä on ollut?**

(ruksatkaa yksi tai useampia vaihtoehtoja)

- |  |   |
|--|---|
| päänahka   | — |
| silmäluomet  | — |
| muualla kasvoissa  | — |
| kaula tai niska  | — |
| <br>   |   |
| kädet tai kynärvarret                                      | — |
| vartalo (hartiat, selkä, kyljet,<br>pakarat, rinta, vatsa) | — |
| olkavarret tai reidet                                      | — |
| sääret   | — |
| jalkaterien päällä, nilkat                                 | — |
| kynärpäät tai polvet                                       | — |
| kynär- tai polvitaiepet                                    | — |
| nivustaiepet, rinnanalustaiepet<br>tai kainalot            | — |
| sukupuolielimet  | — |
| varvasvälit, jalkapohjat                                   | — |
| muualla, missä? _____                                      | — |

### **4. Mitä seuraavista silmäoireista Teillä oli viimeisen 3 kk aikana?**

(yksi tai useampia vaihtoehtoja)

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| kutina                | — |
| punoitus              | — |
| vetistys              | — |
| valonarkuus           | — |
| kirvely               | — |
| rähmiminen            | — |
| roskantunne           | — |
| silmäluomien turvotus | — |
| silmäluomien punoitus | — |



silmäluomien kutina \_\_\_\_\_  
silmäluomien hilseily \_\_\_\_\_  
silmäluomien  
karstoittuminen \_\_\_\_\_  
näärännäppy luomessa \_\_\_\_\_  
muut, \_\_\_\_\_  
**mitä?** \_\_\_\_\_

## **5. Mihin vuorokaudenaikaan oireenne ovat yleensä pahimmillaan?**

aamulla \_\_\_\_\_, mikä oire \_\_\_\_\_

päivällä \_\_\_\_\_, mikä oire \_\_\_\_\_

yöllä \_\_\_\_\_, mikä oire \_\_\_\_\_  
vuorokaudenajalla ei ole vaikutusta \_\_\_\_\_

**KIITOS!**

Käsittellemme vastauksianne luottamuksellisina

# Liite C: Esimerkkejä ärsytyksen arvioinnista



KUOPION YLIOPISTO  
Ympäristötieteiden laitos

## Esimerkkejä ärsytysmallin käytöstä

Alla on esitetty kolme käytännöllistä esimerkkiä ärsytysmallin hyödyntämisestä. Tarkastelujen kriteerit ja tulkintaperusteet ovat seuraavat:

Ärsytyskynnykset (= arvio ihmisen ärsytyskynnyksestä) on laskettu RD50-arvon perusteella seuraavasti:

- Työympäristön ärsytyskynnys =  $0.03 * RD50$

- Sisäympäristön ärsytyskynnys =  $1/40 * \text{Työympäristön ärsytyskynnys}$

RD50-arvot on poimittu artikkelista Schaper, MM. Am Ind Hyg Assoc J 1993;54(9):488-544. Niille yhdisteille, joille ei RD50-arvoa ole määritetty, ko. arvo on arvioitu laskennallisesti ko. aineen fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista. Joillekin yhdisteille ei RD50-arvoa ole luotettavasti pystytty arvioimaan käytävissä olevista ominaisuuksista (tyhjät kohdat indeksien kohdalla).

Ärsytysindeksi *yksittäiselle aineelle* lasketaan aineen ilmapitoisuuden ja aineelle lasketun ärsytyskynnyksen osamääränä. *Seokselle* laskettu ärsytysindeksi perustuu yksittäisten aineiden ärsytysindeksien summavaikutukseen, jota voidaan tulkita seuraavasti

- jos 'Työympäristön ärsytysindeksi' seokselle ylittää arvon 1,0, todennäköisesti kaikki ihmiset kokevat ko. olosuhteissa ärsytysoireita työpäivän aikana
- jos 'Sisäympäristön ärsytysindeksin' arvo ylittää 1,0 voivat herkimät ihmiset kokea ärsytysoireita kyseisessä sisäilmapitoisuudessa, ja jos arvo 10,0 ylittyy voivat terveet ihmiset kokea ärsytysoireita sisäympäristöissä
- jos 'Sisäympäristön ärsytysindeksi' jää alle 1,0 on ärsytyksen kokeminen herkimmilläkin ihmisillä erittäin epätodennäköistä sisäympäristöissä

## Esimerkki 1. Tunnettujen kemikaaliseosten (esim. materiaaliemissioiden) ärsyttävyyden vertailu

Ensimmäisenä erään tasoitteen todelliset, mitatut emissiotiedot ja niiden perusteella arvioidut pitoisuudet ja ärsyttävyys mallihuoneessa. Ärsytysoireet ovat hyvin todennäköisiä periaatteessa kaikilla huoneessa oleskelevilla.

TASOITE				
Yhdiste	Emissio, $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Mallihuone ( $17 \text{ m}^3$ ), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sisäympäristön Ärsytysindeksi	Työympäristön ärsytysindeksi
1,2-propaanidioli	70	57	0.266825	0.006672
Tolueeni	1	0.8	8.41E-05	2.1E-06
TXIB	3	2		
2-(2-butoksietoksi) etanoli	1	0.8	0.003249	8.12E-05
2-etyyliheksanoli	2	2	0.011402	0.000285
Bentseenimetanoli	4	3	0.012755	0.000319
Ammoniakki	3	2	0.01268	0.000317
Formaldehydi	56	46	15.64886	0.391319
<b>Yhteensä</b>	<b>140</b>	<b>113.6</b>	<b>15.95586</b>	<b>0.398996</b>

Alla olevan 'muunnellun' tasoitteen emissiotiedot ovat kuvitteellisia ja pyrkivät havainnollistamaan, että seoksen koostumuksella on merkitystä ärsyttävyyden kannalta. Muunnellun tasoitteen kokonaisemissio on yhtä suuri kuin aiemmassa esimerkissä, mutta ärsyttävyys selvästi pienempi. Tässä pitoisuudessa mallihuoneessa ärsytysoireilua todennäköisesti esiintyisi vain herkimmillä yksiköillä.

TASOITE (muunnettu)				
Yhdiste	Emissio, $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Mallihuone ( $17 \text{ m}^3$ ), $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sisäympäristön Ärsytysindeksi	Työympäristön Ärsytysindeksi
1,2-propaanidioli	70	57	0.266825	0.006672
Tolueeni	52	43	0.004521	0.000113
TXIB	3	2		
2-(2-butoksietoksi) etanoli	1	0.8	0.003249	8.12E-05
2-etyyliheksanoli	2	2	0.011402	0.000285
Bentseenimetanoli	4	3	0.012755	0.000319
Ammoniakki	3	2	0.01268	0.000317
Formaldehydi	5	4	1.360771	0.034028
<b>Yhteensä</b>	<b>140</b>	<b>113.8</b>	<b>1.672201</b>	<b>0.041815</b>

## **Esimerkki 2. Tunnetun sisäilmasta mitatun kemikaaliseoksen todennäköisyys aiheuttaa ärsytysoireita ihmisellä**

Seuraavassa kolmen VTTn "Sisäilmaongelman toteaminen, korjaus ja jälkiseuranta" -projektiin kuuluvan kohteen, S18, V27 ja V15, kemiallisten epäpuhtauksien todelliset mittaustulokset sekä niiden perusteella arvioidut ärsytysindeksit.

Tulosten mukaan kohteessa S18 ärsytysoireet ovat epätodennäköisempiä kuin kohteessa V27, vaikka kohteen S18 kokonaispitoisuus on suurempi kuin kohteen V27. Kohteessa S18 vain kaikkein herkimmät yksilöt voivat kokea ärsytysoireita. Kohteessa V15 ärsytysoireilu on todennäköistä myös muiden kuin herkkien henkilöiden keskuudessa

<b>Asuntokohte, S18 Yhdiste</b>	<b>Pitoisuus, µg/m3</b>	<b>Sisäympäristön Ärsytysindeksi</b>	<b>Työympäristön ärsytysindeksi</b>
Ammoniakki	62	0.393094	0.00983
Formaldehydi	<5	0.850482	0.021267
Ethanol	4.555995	0.000237	5.92E-06
2-Propanone	11.95527	0.000286	7.16E-06
Acetic acid, methoxy-, methyl ester	1.515082	0.000251	6.28E-06
Pentane	2.029326	7.36E-06	1.84E-07
1,3-Pentadiene, (Z)-	5	0.000242	6.04E-06
2-Butanone	0.746601	3.76E-05	9.4E-07
1-Butanol	1.243409	0.000432	1.08E-05
Benzene	4.065347		
Pentanal	0.716838	0.000243	6.07E-06
Heptane	0.688202	1.44E-05	3.6E-07
1,2-Propanediol	52.80555	0.24719	0.006181
Benzene, methyl-	5.333093	0.000561	1.4E-05
Hexanal	3.501061	0.001109	2.77E-05
Octane	0.65689	1.04E-05	2.59E-07
Benzene, 1,4-dimethyl-	2.886657	0.00067	1.68E-05
Heptanal	0.946364	0.000192	4.81E-06
o-Xylene	0.897876	0.000188	4.71E-06
Benzaldehyde	0.504918	0.000467	1.17E-05
Alpha-Pinene	15.91539	0.003623	9.06E-05
Beta-Pinene	1.596249	0.000299	7.48E-06
Octanal	2.097322	0.000519	1.3E-05
C3-BENZENE	1.151194		
Decane	1.947828		
Delta-3-Carene	9.824174	0.001751	4.38E-05
Limonene	8.325248	0.001855	4.64E-05
Nonanal	6.903211	0.00154	3.85E-05
l-Linalool	2.230375		

Undecane	1.82036		
Decanal	5.52704	0.001123	2.81E-05
Decane	1.314973		
Beta-Pinene	1.162052	0.000218	5.45E-06
Geranyl acetone	1.513523		
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	2.682636		
1,2-Benzenedi-carboxylic acid, butyl 2-ethylhexyl ester	1.497825		
TXIB	4.611087		
<b>Yhteensä</b>	<b>201.5028</b>	<b>1.50664</b>	<b>0.037675</b>

<b>Asuntokohte, V27 Yhdiste</b>	<b>Pitoisuus, µg/m3</b>	<b>Sisäympäristön Ärsytysindeksi</b>	<b>Työympäristön ärsytysindeksi</b>
Ammoniakki	14	0.088763	0.00222
Formaldehydi	15	5.102891	0.127604
Ethanol	4.109896	0.000214	5.34E-06
Acetone	6.961458	0.000167	4.17E-06
2-propanol	2.577083	0.000293	7.33E-06
Acetic acid	1.309896	0.004367	0.000109
Benzene, methyl-	3.955729	0.000416	1.04E-05
Hexanal	3.202604	0.001014	2.54E-05
Benzaldehyde	1.629688	0.001506	3.77E-05
a-pinene	3.109896	0.000708	1.77E-05
2-Isononenal	1.921875	0.000435	1.09E-05
2-Undecanethiol, 2-methyl-	1.741667	0.013733	0.000343
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	1.355208		
DELTA,3-Carene	1.420833	0.000253	6.33E-06
Limonene	1.981771	0.000442	1.1E-05
Nonanal	5.353646	0.001195	2.99E-05
Benzoyl bromide	4.209896	0.004384	0.00011
Silyl	4.004167		
Decanal	6.257813	0.001271	3.18E-05
Silyl	3.632813		
Tetradecane	1.309375		
1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester	2.806771	0.050249	0.001257
TXIB	1.067188		
Hexadecane	1.741667		
<b>Yhteensä</b>	<b>94.66094</b>	<b>5.272299</b>	<b>0.13184</b>

Asuntokohde, V15 Yhdiste	Pitoisuus, µg/m3	Sisäympäristön Ärsytysindeksi	Työympäristön ärsytysindeksi
Ammoniakki	24	0.152165	0.003805
Formaldehydi	60	20.41156	0.510417
Propane	3.49945	2.03E-06	5.08E-08
Ethanol	23.89174	0.001242	3.1E-05
Butane	14.51193	2.13E-05	5.32E-07
Isoprene	6.02055	5.05E-05	1.26E-06
Butane, 2-chloro- 3-methyl-	2.082569	0.000378	9.46E-06
Acetic acid	7.157431	0.023861	0.000597
Acetic acid, ethyl ester	3.585688	0.002292	5.73E-05
2-methyl-1-propanol	2.306055	0.000559	1.4E-05
Ethane, 1,1,1-trichloro-	1.53945	1.06E-05	2.66E-07
1-Butanol	10.42826	0.003625	9.06E-05
Pentanal	4.277431	0.001447	3.62E-05
Ethanol, 2-ethoxy-	1.106055	0.000142	3.55E-06
1,2-propanediol	4.214312	0.019728	0.000493
Cyclopropane, 1,2-dimethyl-, trans-	1.266055	3.66E-06	9.16E-08
Toluene	8.053211	0.000847	2.12E-05
Acetic acid, 2-methylpropyl ester	0.829358	0.000285	7.12E-06
Hexanal	11.81615	0.003743	9.36E-05
ISO BUTYL ACETATE	1.47156	0.000505	1.26E-05
2-Furancarboxaldehyde	1.461651	0.002123	5.31E-05
Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	0.729908	0.01319	0.00033
2-Pentanol, acetate	3.740917	0.000653	1.63E-05
METHYLLAURATE	6.790092	0.087628	0.002191
Benzene, 1,3-dimethyl-	9.161101	0.002126	5.32E-05
Styrene \$\$ Benzene, ethenyl-	0.84	0.001684	4.21E-05
Heptanal	1.656147	0.00046	1.15E-05
Benzene, 1,2-dimethyl-	1.831193	0.000384	9.6E-06
Nonane	2.041101	8.35E-06	2.09E-07
Benzaldehyde	2.94789	0.002725	6.81E-05
,alpha,-PINENE	29.12917	0.006631	0.000166
Phenol	1.070826	0.002236	5.59E-05
6-METHYL-5-HEPTEN-2-ONE	2.474128	0.000936	2.34E-05
o-Ethyl toluene	1.268624	0.000241	6.02E-06
2-,BETA,-PINENE -	2.570275	0.000482	1.2E-05
Octanal	3.59633	0.00089	2.23E-05

Benzene, 1,2,3-trimethyl-	1.161835	0.000163	4.08E-06
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	3.19156		
, DELTA, -3-CARENE	7.017982	0.001251	3.13E-05
1-Hexanol, 2-ethyl-	2.754862	0.015705	0.000393
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	1.495046	0.000539	1.35E-05
LIMONENE	0.55633	0.000124	3.1E-06
Butanoic acid, 3-methyl-, butyl ester	3.865321	0.005101	0.000128
PARA-CYMENENE	1.166972	0.000556	1.39E-05
Nonanal	10.18826	0.002274	5.69E-05
Hexanoic acid, 2-ethyl-	1.121468	0.005772	0.000144
Undecane	1.841835		
Benzoic acid	5.315229	0.119518	0.002989
CAMPHOR	4.277064	0.004449	0.000111
Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-, cis-	1.579083	0.001779	4.45E-05
Benzoic acid, 2-[(trimethylsilyloxy]-, trimethylsilyl ester	1.839266		
Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-	1.729174	0.008029	0.000201
Naphthalene	0.605872	0.002862	7.16E-05
N-DECANAL	6.079266	0.001235	3.09E-05
Ethanol, 2-phenoxy-	0.513394	0.002448	6.12E-05
Dodecane	1.776514		
Tetradecanoic acid	1.229725	0.028417	0.000711
ISOBORNYL ACETATE	2.405138	0.014756	0.000369
Tetradecanal	0.691743	0.000103	2.59E-06
Tridecane	1.357431		
Nonane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethyl-	1.517431		
Propanoic acid, 2-methyl-, 2-ethyl-3-hydroxyhexyl ester	0.718165		
Tetradecane	3.017248		
3-Tetradecene, (Z)-	1.285872	0.007917	0.000198
Cyclodecane	1.285872		
Pentadecane	3.382385		
TXIB	10.4444		
Hexadecane	2.235963		
<b>Yhteensä</b>	<b>351.0143</b>	<b>20.96786</b>	<b>0.524328</b>

### Esimerkki 3. Erään maalaamon työilmasta mitatun kemikaaliseoksen todennäköisyys aiheuttaa ärsytysoireita työntekijöillä

Alla olevat tulokset ovat erään maalaamon työhygieenisistä mittauksista. Tulokset osoittavat, että kaikki työntekijät todennäköisesti kokevat ärsytysoireita työpäivän aikana elleivät käytä tarkoituksenmukaisia hengityksensuojaimia. Myös maalaamon ilmanvaihtoa tulisi parantaa pitoisuuksien laskemiseksi.

#### Hengitysvyöhykenäyte, polyuretaanimaalaus

Yhdiste	Pitoisuus, Mg/m <sup>3</sup>	Sisäympäristön Ärsytysindeksi	Työympäristön ärsytysindeksi
Butanoli	11.56157	4.018607	0.10049
1-metoksi-2-propanoli	8.632115	0.868375	0.021715
Tolueneeni	7.699283	0.809414	0.02024
Butyyliasettaatti	405.4957	156.1182	3.90393
Ksyleenit	1519.309	352.6158	8.8176
Alkyylibentseeni	944.0406	167.6452	4.192177
Nonaani	7.729189	0.031626	0.000791
Dekaani	8.38425		
Alkeenibentseeni	11.1488	22.35618	0.559044
<b>Yhteensä</b>	<b>2924</b>	<b>704.4634</b>	<b>17.61599</b>

#### Esimerkkejä ärsytysmallin hyödynnettävyydestä

Edellä kuvattujen esimerkkien pohjalta ärsytysmallia voidaan hyödyntää esim. seuraavissa tilanteissa:

- 1) Materiaalien tuotekehityksessä, jolloin voidaan vaikuttaa mahdollisesti ärsytystä aiheuttavien komponenttien esiintymiseen lopullisen materiaalin emisioissa
- 2) Rakennusten sisäilmamittausten tulokinnassa, esim.
  - arvioitaessa uudisrakennuksen valmistuttua rakennuksen tuuletustarvetta,
  - arvioitaessa ongelmarakennuksen kemiallisten epäpuhtauksien yhteyttä ärsytysvalituksiin
  - arvioitaessa korjaustoimien onnistumista ongelmarakennuksessa
- 3) Työhygieenisten mittausten tulosten tulokinnassa, esim.
  - arvioitaessa ilmanvaihdon riittävyttä ja mahdollisia teknisiä ja työsuojelullisia toimenpiteitä työskentelypisteessä
  - arvioitaessa teknisten toimenpiteiden onnistumista altistuksen vähentämiseksi
- 4) Sisäilmaluokituksen kehittämisessä, esim. ärsyttävyyksindeksi sisällyttämistä osaksi rakennustuotteiden päästöluokitusta





# Liite D: Aistinvaraisen arvioinnin lomake



RAKENNUS-JA YHDYSKUNTATEKNIikka  
Rakennusfysiikka ja Sisäilmasto

## MATERIAALIEN AISTINVARAINEN TESTAUS

Kammio no: \_\_\_\_\_  
Päivämäärä \_\_\_\_\_  
Testaaja \_\_\_\_\_

Ohje: Kuvittele, että päivittäisen työpaikkasi ilma olisi kammion ilman kaltaista. Päättä onko kammion ilma hyväksyttävää vai ei. Tämän jälkeen merkitse viiva vasemmanpuoleiseen asteikon arviointisi mukaisesti. Täytä tuoksun kuvaustaulukko ja noin kahden minuutin kuluttua tee toinen haistelu ja merkitse arviointisi oikeanpuoleiseen asteikkoon.

### TESTAUSTULOS

#### 1. kerta

Täysin hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri Ei hyväksyttävä

Täysin Ei hyväksyttävä

Hajun kuvaus	
hyvä	<input type="checkbox"/>
miellyttävä	<input type="checkbox"/>
tydyttävä	<input type="checkbox"/>
epämiellyttävä	<input type="checkbox"/>
sietämätön	<input type="checkbox"/>
puinen	<input type="checkbox"/>
metallinen	<input type="checkbox"/>
makea	<input type="checkbox"/>
hajuton	<input type="checkbox"/>
muovinen	<input type="checkbox"/>
liimamainen	<input type="checkbox"/>
raikas	<input type="checkbox"/>
kostea	<input type="checkbox"/>
kuiva	<input type="checkbox"/>
painostava	<input type="checkbox"/>
tunkkainen	<input type="checkbox"/>
pistävä	<input type="checkbox"/>
muu, mikä:	<input type="checkbox"/>

#### 2. kerta

Täysin hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri Ei hyväksyttävä

Täysin Ei hyväksyttävä



Tekijä(t) Villberg, Kirsi, Saarela, Kristina, Tirkkonen, Tiina, Pasanen, Anna-Liisa, Kasanen, Jukka-Pekka, Pasanen, Pertti, Kalliokoski, Pentti, Mussalo-Rauhamaa, Helena, Malmberg, Marjatta & Haahtela, Tari			
Nimeke <b>Sisäilman laadun hallinta</b>			
Tiivistelmä <p><i>Sisäilman laadun hallinta</i>-projektissa (diaari 188/401/00, päätös 40724/00), joka kuului Suomen ympäristöterveyden tutkimusohjelmaan (SYTTY), selvitettiin korrelaatioita rakennuksen sisäilmaongelmia aiheuttaneiden materiaalipäästöjen ja sisäilma-eräisten oireiden/sairauksien (mm. astma, allerginen nuha) sekä asunnon viihtyvyystekijöiden välillä. Mukaan projektiin valittiin sisäilmaongelmaisia potilaita HYKSin Iho- ja allergiasairaalan sisäilmapoliklinikalta tutkivan lääkärin toimesta. Näiden potilaiden kotona suoritettiin sisäilman laatumittaukset sekä kotikäynti, jossa määritettiin mm. huoneilman hiilidioksidipitoisuus. Mukaan sisäilmamittauksiin otettiin verrokkihoiteita sellaisilta Helsingin asuinalueilta, joilta ei sisäilma-eräisyyksiä ole tullut. Kaikki mukana olleet perheet täyttivät kyselylomakkeen, jossa kartoitettiin mm. asunnon pintamateriaaleja sekä erilaisia asuinympäristöön vaikuttavia tekijöitä ja asukkaiden kotona kokemia oireita. Tulosten laskentaa ja tilastollista selvitystä varten yhdistettiin sisäilmamittausten tulokset, kotikäyntien tulokset, potilaiden kliinisten kokeiden tulokset ja kyselylomakkeen vastaukset. Tutkimuksen avulla määritettiin eräiden yksittäisten yhdisteiden pitoisuustasoja, joissa tiettyjen sisäilmassa koettujen oireiden vaara kasvaa.</p> <p>Samalla tutkittiin myös rakennusmateriaalien emissioiden ja kemikaalieseosten ärsytysominaisuuksia, selvitettiin materiaaliemissionen hajuominaisuuksien soveltuvuutta ärsyttävyyden indikaattoriksi sekä kehitettiin käytännönläheisempi menetelmä materiaalien aistinvaraiseen arviointiin. Rakennusmateriaaliemissionen ja kemikaalieseosten ärsytysvaikutuksia tutkittiin Kuopion yliopistossa USA:ssa standardoidun hiirimallin avulla. Tutkittavaksi valittiin 3–8 yleisintä yhdistettä kuvaamaan kutakin tutkittavana olevaa materiaalia ja mukaan otettiin myös ärsytyksen kannalta reaktiivisia yhdisteitä. Seoksille määritettiin hajukynnykset ihmispaneelilla ja seosten ärsytysominaisuuksia tutkittiin koe-eläinmallin avulla. Tutkimuksen aikana tehtiin myös kokeita kahdella materiaalilla hiirimallin herkkyyden testaamiseksi havaita materiaaliemissionen ärsytysvastetta silloin, kun emissiot vapautuvat materiaalista normaaliolosuhteissa testikammiossa. Kokeelliset tulokset loivat pohjan VOC-seosten ja materiaaliemissionen ärsytysvasteen mallintamiselle ja ATK-pohjaisen mallin luomiselle.</p> <p>Koska materiaalien emissiotutkimukset ovat käytännössä relevantteja vain kun emissiot tutkitaan sekä aistinvaraisesti että kemiallisesti, valmistettiin 5 m<sup>3</sup>:n emissioammio, joka täyttää CEN- ja ISO-standardien vaatimukset emissiotutkimuskammioille ja josta voidaan aistinvarainen arvio suorittaa samanaikaisesti. Kammion soveltuvuutta aistinvaraiseen arviointiin testattiin tekemällä testejä valituilla rakennusmateriaaleilla ja saatuja tuloksia verrattiin tällä hetkellä rakennusmateriaaliluokituksessa käytössä olevaan alumiinikammion aistinvaraisiin tuloksiin. Ison kammion käyttö aistinvaraisessa arvioinnissa mahdollistaa myös suurten materiaalien, esim. huonekalujen, kemiallisten emissioiden ja aistinvaraisen arvioinnin oikeassa koossa.</p> <p>Lisäksi selvitettiin uudisrakennuksessa ja/tai remontin yhteydessä tapahtuvaa sorptioilmiötä eli eri rakennusmateriaalien kykyä adsorboida yhdisteitä huoneilmasta ja desorboida niitä takaisin huoneilmaan. Koska rakennus- ja korjausvaiheessa monien yhdisteiden, joskus jopa haitallisten, pitoisuus sisäilmassa voi nousta hetkellisesti hyvinkin korkeaksi, tutkittiin kaasun ja kiinteän aineen välisiä sorptioilmiöitä. Testattavina materiaaleina oli yleisesti käytössä olevia materiaaleja kuten kipsilevyä, PVC-mattoja ja lakattua parkettia. Tutkimuksen avulla saatiin tietoa mm. siitä, missä ajassa remontin aiheuttama emissiokuorma sisäilmassa on laskenut normaalia vastaavalle tasolle.</p>			
Avainsanat indoor air, asthma, allergy, clinical tests, questionnaire, irritating compounds, mouse bioassay, emission chamber, sensory evaluation, sorption			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6398-0 (nid.) 951-38-6399-9 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinumero R4SU00047	
Julkaisuaika Kesäkuu 2004	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 172 s. + liitt. 20 s.	Hinta D
Projektin nimi Suomen Ympäristöterveyden Tutkimusohjelma (SYTTY)		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), ympäristöministeriö	
Avainnimeke ja ISSN VTT Publications 1235-0621 (nid.) 1455-0849 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Villberg, Kirsi, Saarela, Kristina, Tirkkonen, Tiina, Pasanen, Anna-Liisa, Kasanen, Jukka-Pekka, Pasanen, Pertti, Kalliokoski, Pentti, Mussalo-Rauhamaa, Helena, Malmberg, Marjatta & Haahtela, Tari			
Title <b>Indoor air quality control</b>			
Abstract Indoor Air Quality Control- project (Dno 188/401/00, 40724/00), one part of the <i>Finnish Research Programme on Environmental Health</i> (SYTTY), was consisted of three parts. In part one the objective was to establish a causal connection between indoor air quality, perceived comfort and diagnosed health effects. The indoor air quality was measured with methods used today in the Finnish classification, but complementary new methods were applied and tested for their relevance in attaining a better coverage of different chemical substances in indoor air. The health and comprehensive indoor air data were collected from subjects, which were chosen among the patients treated in Helsinki University Central Hospital because of building related symptoms. Additionally control families were randomly selected from Helsinki area. All participants were interviewed for their residential conditions and any building related problems using modified Örebro and Tuohilampi questionnaires. Clinical data was only collected from the patients in medical examination. All these data was used as additional information in drafting conclusions and recommendations for the improvement of characterising indoor air quality and the classification procedure.  In the second part the aim was to develop procedures to evaluate the irritating and odorous chemical compounds of material emissions and the perceived air quality. The causative relationships between sensory assessment method used in the present Finnish Classification of Building Materials, olfactometry and emission measurements in chemical terms were determined. Another objective of this project was to investigate irritation properties of building material emissions and chemical mixtures by the mouse bioassay. In addition the indicator value of human evaluation was clarified for estimating irritancy of building material emission and for studying an impact of ageing of materials on odour and irritation responses. Finally a model was developed for estimating irritancy of chemical mixtures based on physico-chemical properties and previous knowledge on irritation potency of individual chemicals without animal experiment.  In the third part the sorption phenomena between solid materials and gaseous compounds have been studied both as a surface effect (adsorption and desorption) and inside the material (absorption and diffusion). The results have been very significant and characteristic for transmission of VOCs in the building materials.			
Keywords indoor air, asthma, allergy, clinical tests, questionnaire, irritating compounds, mouse bioassay, emission chamber, sensory evaluation, sorption			
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6398-0 (soft back ed.) 951-38-6399-9 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number R4SU00047	
Date June 2004	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 172 p. + app. 20 p.	Price D
Name of project Suomen Ympäristöterveyden Tutkimusohjelma (SYTTY)		Commissioned by The National Technology Agency (Tekes), Ministry of the Environment	
Series title and ISSN VTT Publications 1235-0621 (soft back ed.) 1455-0849 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

## VTT PUBLICATIONS

- 518 Lappalainen, Jari T. J. Paperin- ja kartonginvalmistusprosessien mallinnus ja dynaamisen reaaliaikainen simulointi. 2004. 144 s.
- 519 Pakkala, Daniel. Lightweight distributed service platform for adaptive mobile services. 2004. 145 p. + app. 13 p.
- 520 Palonen, Hetti. Role of lignin in the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. 2004. 80 p. + app. 62 p.
- 521 Mangs, Johan. On the fire dynamics of vehicles and electrical equipment. 2004. 62 p. + app. 101 p.
- 522 Jokinen, Tommi. Novel ways of using Nd:YAG laser for welding thick section austenitic stainless steel. 2004. 120 p. + app. 12 p.
- 523 Soininen, Juha-Pekka. Architecture design methods for application domain-specific integrated computer systems. 2004. 118 p. + app. 51 p.
- 524 Tolvanen, Merja. Mass balance determination for trace elements at coal-, peat- and bark-fired power plants. 2004. 139 p. + app. 90 p.
- 525 Mäntyniemi, Annukka, Pikkarainen, Minna & Taulavuori, Anne. A Framework for Off-The-Shelf Software Component Development and Maintenance Processes. 2004. 127 p.
- 526 Jääliñoja, Juh. Requirements implementation in embedded software development. 2004. 82 p. + app. 7 p.
- 527 Reiman, Teemu & Oedewald, Pia. Kunnossapidon organisaatiokulttuuri. Tapaustutkimus Olkiluodon ydinvoimalaitoksessa. 2004. 62 s. + liitt. 8 s.
- 528 Heikkinen, Veli. Tunable laser module for fibre optic communications. 2004. 172 p. + app. 11 p.
- 529 Aikio, Janne K. Extremely short external cavity (ESEC) laser devices. Wavelength tuning and related optical characteristics. 2004. 162 p.
- 530 FUSION Yearbook. Association Euratom-Tekes. Annual Report 2003. Ed. by Seppo Karttunen & Karin Rantamäki. 2004. 127 p. + app. 10 p.
- 531 Toivonen, Aki. Stress corrosion crack growth rate measurement in high temperature water using small precracked bend specimens. 2004. 206 p. + app. 9 p.
- 532 Moilanen, Pekka. Pneumatic servo-controlled material testing device capable of operating at high temperature water and irradiation conditions. 2004. 154 p.
- 534 Kallio, Päivi. Emergence of Wireless Services. Business Actors and their Roles in Networked Component-based Development. 2004. 118 p. + app. 71 p.
- 535 Komi-Sirviö, Seija. Development and Evaluation of Software Process Improvement Methods. 2004. 175 p. + app. 78 p.
- 537 Tillander, Kati. Utilisation of statistics to assess fire risks in buildings. 2004. 224 p. + app. 37 p.
- 538 Wallin, Arto. Secure auction for mobile agents. 2004. 102 p.
- 540 Villberg, Kirsi, Saarela, Kristina, Tirkkonen, Tiina, Pasanen, Anna-Liisa, Kasanen, Jukka-Pekka, Pasanen, Pertti, Kalliokoski, Pentti, Mussalo-Rauhamaa, Helena, Malmberg, Marjatta & Haahtela, Tari. Sisäilman laadun hallinta. 2004. 172 s. + liitt. 20 s.

Tätä julkaisua myy  
VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. (09) 456 4404  
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av  
VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. (09) 456 4404  
Fax (09) 456 4374

This publication is available from  
VTT INFORMATION SERVICE  
P.O.Box 2000  
FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. +358 9 456 4404  
Fax +358 9 456 4374