



# Tulipalon jälkihajujen poisto

Kaisa Belloni, Kirsi Villberg, Kati Tillander,  
Kristina Saarela & Tuomas Paloposki

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6594-0 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4815

VTT Bygg och transport, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4815

VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4815

<b>Tekijä(t)</b> Belloni, Kaisa, Villberg, Kirsi, Tillander, Kati, Saarela, Kristina & Paloposki, Tuomas		
<b>Nimeke</b> <b>Tulipalon jälkihajujen poisto</b>		
<b>Tiivistelmä</b> Tässä työssä tutkittiin kokeellisesti tulipalon jälkihajujen poistamista rakennusmateriaaleista ja sisäilmasta. Valtaosa kokeista tehtiin laboratorio-olosuhteissa pienessä mittakaavassa. Valitut rakennusmateriaalit altistettiin laboratoriokokeissa savulle, minkä jälkeen ne puhdistettiin ja niille suoritettiin hajunpoisto erilaisilla menetelmillä. Savua tuotettiin kolmea eri palomateriaalia käyttäen; nämä olivat lastulevy, muovimatto ja kananmunat. Hajunpoiston onnistumista arvioitiin sekä aistinvaraisesti että mittaamalla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiot materiaaleista sisäilmaan.  Laboratoriokokeissa havaittiin palomateriaalien tuottaman savun sisältävän runsaasti sellaisia yhdisteitä, joiden tiedetään olevan epämiellyttävän hajuisia ja/tai epäterveellisiä. Havaitut yhdisteet ja niiden määrät vaihtelivat sen mukaan, mitkä aineet osallistuivat palamisreaktioihin. Savulle altistetuista koekappaleista emittoituvat yhdisteet olivat osittain samoja kuin savussakin havaitut ja osittain ju muuntuneita. Aistinvaraisessa arvioinnissa todettiin savulle altistettujen koekappaleiden hajut voimakkaiksi ja epämiellyttäväiksi.  Laboratoriokokeissa ei havaittu selkeää yhteyttä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissioiden ja hajuaistimuksen välillä. Joissain tapauksissa emissiot olivat korkeat, mutta aistittu haju koettiin silti hyväksyttäväksi, osassa tapauksista jopa miellyttäväksi. Näissä tapauksissa korkeat emissiot liittyivät hajunpoistokemikaaleille ja puhdistusaineille tyypillisiin yhdisteisiin. Toisissa tapauksissa emissiotasot olivat alhaisia, mutta aistittu haju ei siltikään ollut hyväksyttävä. Selitys näihin havaintoihin löytyi kuitenkin lähes aina näytteen emissioista tunnistetuista yksittäisistä yhdisteistä. Vaikka emissiot olivat näissä näytteissä pienet, olivat nämä tunnistetut yhdisteet tunnettuja hajuhaitta-aineita tai yhdisteitä, joilla oli erittäin matala hajukynnys (= pienin pitoisuus, jossa kyseisen yhdisteen haju tunnistetaan). Hajunpoiston tuloksellisuutta arvioitaessa tulee kiinnittää huomiota sekä mitattuun emissiotasoon, emittoituihin yhdisteisiin ja niiden terveellisyteen, sekä aistittuun hajuun ja sen hyväksyttävyyteen.  Laboratoriokokeissa tutkituista hajunpoistomenetelmistä osa saavutti suhteellisen hyvät tulokset kaikissa tapauksissa, mutta osa sovellettiin tapauksiin selkeästi paremmin kuin toisiin. Vertailtaessa eri menetelmillä saavutettuja tuloksia on tärkeää verrata myös käsittelyaikaa ja sen suhdetta saavutettuihin tuloksiin. Todellisessa tilanteessa hajunpoistotyö joudutaan yleensä tekemään tiukalla aikataululla, ja menetelmävalinnassa etsitään hyvää kompromissia tulosten ja käsittelyajan välillä. Tässä työssä tehtyjen havaintojen valossa näyttää siltä, että käytännössä parhaat tulokset ja nopein käsittelyaika saavutetaan yhdistämällä tuuletukseen lämmitys sekä käyttämällä lisäksi hajunpoistokemikaaleja ja/tai hajunpoistoon tarkoitettuja laitteita.  Laboratoriokokeiden lisäksi tutkittiin tulipalon jälkihajujen poistoa kenttäolosuhteissa. Toinen kohteista oli rivitaloasunto, jonka keittiössä oli ollut todellinen tulipalo; toinen oli purettava omakotitalo, jonka yhdessä huoneessa poltettiin hallitusti muovinen television taustalevy. Näissä tapauksissa hajunpoiston onnistumista arvioitiin mittaamalla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, polyaromaattisten yhdisteiden, ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuudet sisäilmassa sekä emissiot sisäpintojen materiaaleista sisäilmaan. Aistinvaraista arviointia sisäilman laadusta ja pintamateriaalien emissioista ei tehty.  Kenttämittauksissa havaittiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen korkeampia haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissioita kuin ennen käsittelyä. Kyse oli pesu- ja desinfiointiaineille tyypillisistä yhdisteistä. Tulipalon yhteydessä syntyneiden yhdisteiden pitoisuudet olivat laskeneet merkittävästi hajunpoistokäsittelyn jälkeen.  Tässä työssä tehdyt mittaukset tukevat sitä johtopäätöstä, että jälkisaneraustyon yhteydessä on tärkeää suojautua mahdollisimman hyvin sekä hengitysteitse että ihon kautta tapahtuvaa altistumista vastaan. Myös jälkisanerauskohdetta ympäröivien tilojen ja niissä oleskelevien henkilöiden suojaus kohteen alipaineistuksella ja osastoinnilla on tärkeää.		
<b>Avainsanat</b> odor removal (treatments), smoke odor, indoor air quality, restauration work, fire emissions, ionization, odor modification, oxidization, ozonation, heating, ventilation, television fire, kitchen fire, accidental fire, VOC, PAH, TVOC, ammonia, formaldehyde		
<b>Toimintayksikkö</b> VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT		
<b>ISBN</b> 951-38-6594-0 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		<b>Projektinnumero</b>
<b>Julkaisu-aika</b> Joulukuu 2005	<b>Kieli</b> Suomi, engl. tiiv.	<b>Sivuja</b> 124 s.
<b>Avainnimeke ja ISSN</b> VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		<b>Julkaisija</b> VTT Tietopalvelu PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Author(s) Belloni, Kaisa, Villberg, Kirsi, Tillander, Kati, Saarela, Kristina & Paloposki, Tuomas		
Title <b>Removal of fire odor</b>		
Abstract <p>In this work, the removal of fire odors from building materials and indoor air was studied experimentally. The majority of the experiments were conducted in a laboratory as so-called small scale experiments. Some field experiments were also carried out. The objective of the work was to increase the knowledge of the effects of different odor removal treatments.</p> <p>In the laboratory experiments, test specimens made of selected building materials were exposed to smoke from different materials (particle board, plastic flooring, and eggs). After the exposure, the test specimens were cleaned and different odor removal treatments were applied. The success of different odor removal treatments was assessed both by sensory evaluation and by measuring the emission of volatile organic compounds from subjected building material specimens into the indoor air.</p> <p>It was observed that the smoke produced in the laboratory experiments contained high quantities of compounds which are known to smell bad and/or to be otherwise harmful. The observed compounds and their quantities varied according to the material burned. The compounds emitted from the exposed building material specimens were partly the same as in the smoke and partly converted into other compounds. The smell of the specimens was found strong and unpleasant in the sensory evaluation.</p> <p>After the odor removal treatments no clear connection between the emission of volatile organic compounds and the sensed smell was observed. In certain cases the emissions were high and yet the sensed smell was characterized as "approved" and sometimes even as "pleasant". In these cases the high emissions were caused by compounds typical to cleaning chemicals. In some cases the emission levels were low and yet the sensed smell was characterized as "unapproved". The explanation to these observations could, however, in almost all the cases be found in the compounds emitted from the exposed specimen. When the emission levels of a specimen were low and its smell "unapproved", the compounds emitted from the specimen were known to have low smell thresholds or to be malodorous. In a thorough assessment of odor removal treatments attention must be paid to several factors simultaneously. These include measured emission level, emitted compounds and their health effects, and the sensed smell.</p> <p>Some odor removal treatments studied in the laboratory experiments functioned relatively well for all situations tested in this study while other treatments were clearly more suitable for certain situations. When comparing results obtained by different treatments it is important to take into account also the treatment time. In real life situations the odor removal work usually has to be conducted within certain timeframe and the chosen treatment is a compromise between the best possible results and the time available. In light of the observations made in this work it seems that the best results and the shortest treatment time are obtained by combining heating with ventilation in addition to odor removal chemicals or equipment.</p> <p>Besides the laboratory experiments, odor removal was studied also in field conditions. Field measurements were conducted in a row house where a kitchen fire had occurred and in a single house in which a back plate of a television set was burnt under controlled circumstances. In these cases the success of the applied odor removal treatments was assessed by measuring the amounts of volatile organic compounds, polyaromatic compounds, ammonia, and formaldehyde in the indoor air and by measuring the emissions from the surfaces. Field measurements did not include sensory evaluation.</p> <p>In the field measurements higher VOC emissions were observed after the odor removal treatment than before it. However, the high emissions were due to compounds typical to cleaning and disinfecting chemicals. The amounts of compounds typical to fire smoke had decreased significantly after the odor removal treatment.</p> <p>The measurements conducted in this work support the policy that people involved in post-fire restoration should be well protected against exposure via lungs as well as via skin. Also the surroundings of the damaged area and people therein must be protected, for example, by low-pressurizing and compartmenting the area.</p>		
Keywords odor removal (treatments), smoke odor, indoor air quality, restoration work, fire emissions, ionization, odor modification, oxidization, ozonation, heating, ventilation, television fire, kitchen fire, accidental fire, VOC, PAH, TVOC, ammonia, formaldehyde		
Activity unit VTT Building and Transport, Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FI-02044 VTT, Finland		
ISBN 951-38-6594-0 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number
Date December 2005	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 124 p.
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Publisher VTT Information Service P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

# Alkusanat

Tämä raportti on tutkimushankkeen ”Tulipalon jälkihajujen poisto sisäilmasta” loppuraportti. Hankkeen toteutti VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka ja sitä rahoittivat vahinkosaneeraus-, vakuutus-, kiinteistö- ja pelastusalat sekä Tekes ja Palosuojelurahasto. Hankkeen koordinaattorina toimi Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden liitto ry.

Haluamme esittää kiitoksemme kaikille hanketta rahoittaneille ja sen toteuttamisessa auttaneille henkilöille ja yhteisöille. Erityisesti haluamme kiittää kokeiden toteuttamiseen osallistuneita yrityksiä (ASTQ Oy, Beretta Palvelut Oy, Bondmet Oy, Lassila & Tikanoja Oyj, Munters Oy, Noso-Tuote Oy, NSS Vahinkopalvelut, Rakentajain Konevuokraamo Oyj, Soft Protector Oy ja Suomen JVT- ja Vahinkopalvelut Oy) ja Lohjan pelastuslaitosta sekä hankkeen koordinoinnista vastannutta Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry:n toiminnanjohtajaa Jouko Leppästä.

Tekijät

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
1. Johdanto .....	9
1.1 Tausta .....	9
1.2 Tavoitteet.....	10
2. Kirjallisuustutkimus.....	11
2.1 Ihminen ja haju .....	11
2.2 Tulipaloissa syntyvät yhdisteet ja niiden myrkyllisyys.....	12
2.3 Tulipalon jälkihajujen vaikutus sisäilman laatuun .....	14
2.4 Tulipalon jälkihajujen poisto sisäilmasta .....	15
2.5 Otsonointi jälkisanerausmenetelmänä .....	17
3. Laboratoriokokeet .....	19
3.1 Palomateriaalit ja kohdemateriaalit .....	19
3.2 Koelaitteisto ja kokeiden suoritus .....	22
3.3 Koekappaleiden vertailukelpoisuus.....	26
3.4 Koekappaleisiin sovelletut hajunpoistomenetelmät .....	29
3.4.1 Menetelmä 1 (kemiallinen) .....	30
3.4.2 Menetelmä 2 (kemiallinen) .....	31
3.4.3 Menetelmä 3 (lämmitys ja tuuletus).....	31
3.4.4 Menetelmä 4 (kemiallinen) .....	32
3.4.5 Menetelmä 5 (kemiallinen) .....	32
3.4.6 Menetelmä 6 (ionisaattori) .....	33
3.4.7 Menetelmä 7 (kemiallinen) .....	33
3.4.8 Menetelmä 8 (otsonaattori) .....	34
3.4.9 Menetelmä 9 (kemiallinen) .....	34
3.5 Käytetyt arviointimenetelmät .....	35
3.5.1 Aistinvaraiset arvioinnit .....	35
3.5.1.1 VTT Palo.....	35
3.5.1.2 VTT Sisäilma .....	35
3.5.2 Kemialliset analyysit.....	38
3.5.2.1 FLEC-näytteenotto.....	38
3.5.2.2 VOC .....	39
3.5.2.3 PAH.....	39
3.6 Laboratoriokokeiden tulokset.....	40
3.6.1 Altistamattomien kohdemateriaalien emissiot .....	40
3.6.2 Palamisessa syntyneet yhdisteet.....	40
3.6.2.1 Lastulevyn savun yhdisteet .....	40

3.6.2.2	Muovimaton savun yhdisteet .....	40
3.6.2.3	Kananmunan savun yhdisteet.....	41
3.6.3	Altistettujen koekappaleiden emissiot ennen hajunpoistokäsittelyä ....	41
3.6.3.1	Lastulevyn savulle altistetut materiaalit.....	41
3.6.3.2	Muovimaton savulle altistetut materiaalit.....	42
3.6.3.3	Kananmunan savulle altistetut materiaalit .....	43
3.6.4	Altistettujen ja hajunpoistokäsiteltyjen koekappaleiden emissiot ja aistinvarainen arviointi.....	44
3.6.4.1	Lastulevyn savulle altistettu lasivilla .....	44
3.6.4.2	Muovimaton savulle altistettu lasivilla .....	47
3.6.4.3	Kananmunan savulle altistettu lasivilla.....	50
3.6.4.4	Lastulevyn savulle altistettu vuorivilla .....	53
3.6.4.5	Muovimaton savulle altistettu vuorivilla .....	56
3.6.4.6	Kananmunan savulle altistettu vuorivilla.....	60
3.6.4.7	Lastulevyn savulle altistettu kipsilevy .....	63
3.6.4.8	Muovimaton savulle altistettu kipsilevy .....	66
3.6.4.9	Kananmunan savulle altistettu kipsilevy.....	69
3.6.4.10	Lastulevyn savulle altistettu vaahtomuovi.....	72
3.6.4.11	Muovimaton savulle altistettu vaahtomuovi .....	75
3.6.4.12	Kananmunan savulle altistettu vaahtomuovi .....	78
3.6.5	Aistinvarainen arviointi (VTT Palo) .....	81
3.7	Laboratoriokokeiden tulokset menetelmittäin.....	83
3.7.1	Menetelmä 1 (kemiallinen) .....	83
3.7.2	Menetelmä 2 (kemiallinen) .....	85
3.7.3	Menetelmä 3 (lämmitys ja tuuletus).....	86
3.7.4	Menetelmä 4 (kemiallinen) .....	88
3.7.5	Menetelmä 5 (kemiallinen) .....	89
3.7.6	Menetelmä 6 (ionisaattori) .....	91
3.7.7	Menetelmä 7 (kemiallinen) .....	92
3.7.8	Menetelmä 8 (otsonaattori) .....	94
3.7.9	Menetelmä 9 (kemiallinen) .....	95
4.	Kenttäkokeet .....	97
4.1	Käytetyt arviointimenetelmät .....	97
4.1.1	Kenttämittaukset .....	97
4.1.2	Ammoniakki.....	97
4.1.3	Formaldehydi .....	97
4.1.4	Muut menetelmät .....	97
4.2	Suuren mittakaavan koe .....	98
4.2.1	Valmistelut .....	98
4.2.2	Kokeen kulku .....	101
4.2.3	Palohuoneen hajunpoistokäsittely .....	107

4.2.4	Palohuoneen sisäilman laatu ja kattopinnan emissiot .....	107
4.3	Todellinen palokohde .....	112
4.3.1	Yleiskuvaus .....	112
4.3.2	Puhdistus ja hajunpoistokäsittely .....	113
4.3.3	Sisäilman laatu ja pintojen emissiot .....	113
5.	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	118
5.1	Työn tausta ja sisältö .....	118
5.2	Päätulokset .....	118
5.3	Jatkotutkimustarpeet .....	120
	Lähdeluettelo .....	123



# 1. Johdanto

## 1.1 Tausta

Suomessa syttyy vuosittain keskimäärin 12 000 tulipaloa, joista yli 3 000 on rakennuspaloja. Palovahingot ovat viime vuosina olleet keskimäärin 100 miljoonaa euroa. Taloudelliset vahingot eivät ole yksinomaan tulen aiheuttamia, vaan oman lisänsä niihin tuovat myös savu ja noki, jotka joudutaan siivoamaan pois tulipalon jälkisaneerauksen yhteydessä. Palontorjunnan tehostuessa tulipalot saadaan monissa tapauksissa sammutettua aiempaa nopeammin, joten savulle altistuneiden tilojen ja materiaalien siivouksesta aiheutuvat kustannukset ovat usein merkittävä osa kokonaisvahingoista.

Tulipalon jälkeen tehtävässä jälkisaneerauksessa kohteeseen jää tai jätetään paikoilleen rakenteita tai niiden osia, jotka ovat altistuneet palamistuotteille. Näistä rakenteista voi palokohteen ja palokohdetta ympäröivien tilojen sisäilmaan kulkeutua savun hajua vielä pitkään tulipalon jälkeen ellei niitä käsitellä hajua poistavilla menetelmillä. Savunhajun poistoon on käytössä erilaisia menetelmiä, jotka perustuvat ensisijaisesti hajuyhdisteiden pilkkomiseen vähemmän haiseviksi yhdisteiksi hapettamalla. Yleisimmin käytettyjä menetelmiä ovat kuiva- ja märkähajunpoisto erilaisilla kemikaaleilla sekä otsonointi. Hajunpoistoon voidaan soveltaa myös ionisointia ja lisäksi palohajua voidaan yrittää peittää muilla, miellyttävämmiksi koetuilla hajulla. Soveltuvan hajunpoistomenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. paloon osallistuneet materiaalit, palossa syntyneet yhdisteet ja niiden määrät sekä syntyneen noen ja palokaasujen kulkeutuminen kohteessa.

Hajunpoistomenetelmän valinta perustuu kokemuksen kautta hankittuun osaamiseen. Tehokas ja onnistunut tulipalojen jälkihajujen poisto vaatii suorittajaltaan erityistaitoja ja -menetelmiä. Luotettavaa tutkimustietoa eri menetelmien käyttökelpoisuudesta ja oikeista soveltamistavoista ei ole kuitenkaan julkisesti saatavilla. Jotta näitä menetelmiä voidaan käyttää turvallisesti ja lisäksi toivottuja tuloksia saavuttaen, on tutkimuksen kautta saatava lisätieto ensiarvoisen tärkeää.

## 1.2 Tavoitteet

Projektin tavoitteena oli tuottaa hajunpoistomenetelmiä käyttäville yrityksille käytännön tilanteisiin sovellettavissa olevaa tutkimustietoa

- eri hajunpoistomenetelmien toiminnasta ja soveltuvuudesta erilaisissa tulipalojen jälkisaneerauskohteissa
- puhdistuksen aikana vallitsevien ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta lopputulokseen
- puhdistustyöntekijöiden ja tilojen loppukäyttäjien altistumisesta hajunpoistoke-mikaaleille ja reaktiotuotteille
- eri menetelmiin liittyviä muista riskitekijöistä
- mahdollisuuksista hajusaneeraustyön lopputuloksen arvioimiseen.

## 2. Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimusosuudessa haluttiin kartoittaa jo olemassa olevaa tietoa tulipalon pitkäaikaisvaikutuksista sisäilman laatuun. Selvisi kuitenkin, että vain muutamia tätä aihetta käsitteleviä tutkimuksia on suoritettu. Tästä johtuen kirjallisuustutkimus päätettiin laajentaa pelkästään tulipalon vaikutuksien tarkastelusta myös ihmisen hajuaistin tarkasteluun. Tavoitteena oli löytää vastauksia siihen, miksi tietyt yhdisteet haisevat siltä kuin haisevat ja minkälaiset seikat vaikuttavat hajuaistimukseen. Pyrittiin löytämään myös tietoa yhdisteistä, joita syntyy eri materiaalien palaessa. Projektin edetessä tätä tietoa verrattiin koekappaleista löytyneisiin yhdisteisiin.

### 2.1 Ihminen ja haju

Ihmisen hajuaisti liitetään kiinteästi nenään, aivan kuten kuuloaisti liitetään korvaan. Nenä itsessään ei kuitenkaan ole hajuja aistiva elin, kuten ei korvakaan. Kuuloaisti poikkeaa hajuaistista siinä, että ääniaallon muuntuminen kuuloaistimukseksi on tunnettu prosessi. Hajuaistimuksen syntyminen on kuitenkin ollut mysteeri aivan viime vuosiin asti. Vuonna 2004 lääketieteen tai fysiologian Nobel-palkinto myönnettiin tutkijoille Linda B. Buck ja Richard Axel heidän työstään hajuaistin parissa. Tutkijoiden keskuudessa on kuitenkin edelleen Buckin ja Axelin näkemyksistä poikkeavia tulkintoja hajuaistin toiminnasta. Tiedot Buckin ja Axelin tutkimuksista ovat peräisin viitteestä (Goldberg et al. 1995). Muilta osin tämän kappaleen tiedot ovat peräisin viitteestä (Berry 1998), ellei toisin ole mainittu.

Hajua aistivat solut sijaitsevat nenäontelon yläosassa noin 5–8 cm:n etäisyydellä sieraimista. Tätä nenäontelon osaa kutsutaan myös hajuepiteeliksi, ja se on suuruudeltaan noin 6,5 cm<sup>2</sup>. Nenän pääasiallinen tehtävä on ilman ohjaaminen hengityselimiin, ja tässä yhteydessä osa nenäontelossa virtaavista molekyyleistä joutuu kosketuksiin hajuepiteelin solujen värekarvojen kanssa. Tämä laukaisee reaktioketjun, jonka seurauksena sähköinen signaali lähetetään aivoihin hajukäämiin (olfactory bulb). Osa signaaleista päättyy siihen aivojen osaan, joka käsittelee tunteita. Hajuilla onkin vaikutusta ihmisen tunteisiin ja tähän perustuu esimerkiksi rentouttavien ja virkistävien tuoksuynttilöiden markkinointi. Hajuaistimusta välittäviä neuroneja kuolee jatkuvasti, mutta niiden tilalle syntyy uusia. Hajuaisti on ainoa nisäkkäiden hermoston osa, jossa näin tapahtuu. Tästä syystä esimerkiksi onnettomuudessa hajuaistinsa menettänyt voi saada sen takaisin. Hajuaistimusta välittävien hermosolujen uusiutuminen tapahtuu noin 1–2 kuukauden välein.

Hajun anatomian lisäksi myös hajun olemusta on pohdittu paljon. Tiedetään, että haju kulkee ilman mukana ja on nenällä aistittavissa. Tiedetään myös, että esimerkiksi tuulen suunta vaikuttaa siihen, missä haju aistitaan. Nykyään vallitsee yhteisymmärrys siitä,

että haju on molekyylien ominaisuus ja että hajuaistimus johtuu molekyylien ja hajuepiteelin vuorovaikutuksesta. Vielä 1950-luvulla uskottiin, että haju riippui molekyylin muodosta. Tämän jälkeen vallitsevaksi käsitykseksi nousi hajuaistimuksen johtuminen molekyylin värähtelystä. Linda B. Buckin ja Richard Axelin 1990-luvun alussa suorittamat tutkimukset näyttävät kuitenkin ratkaissees mysteerin.

Buckin ja Axelin tutkimusten (Goldberg et al. 1995) mukaan ihmisen hajuaisti on pitkälti koodattuna geneissämme. Hajuepiteelin reseptorisolujen värekarvoissa on nimittäin reseptoriproteiineja, joiden kanssa hajua aiheuttavat molekyylit reagoivat tarttumalla niihin. Tietyntyypiset hajua aiheuttavat molekyylit voivat tarttua vain tietyntyypisiin reseptoriproteiineihin. Toisin sanoen, eri reseptoriproteiinit tunnistavat vain tietyt hajua aiheuttavia molekyylit. Hajua aiheuttaviin molekyyliin luetaan tyypillisesti alkoholit, orgaaniset hapot, etteerit, esterit, aldehydit sekä erilaiset rikki- ja typpiyhdisteet. Aivoihin lähetetään viestisignaali, kun reseptoriproteiini tunnistaa siihen tarttuneen molekyylin. Geenit ovat vastuussa näiden reseptoriproteiinien valmistuksesta. Juuri tästä syystä kaikki ihmiset eivät esimerkiksi kykene haistamaan kamferin hajua, heiltä puuttuu tai on vaurioitunut se geeni, joka vastaa sen reseptoriproteiinin tuotosta, joka tunnistaa kamferin. Jopa 1 % ihmisen geneistä liittyy jollain tapaa hajuaistiin. Nykytutkimuksen valossa näyttää siltä, että kunkin reseptorisolun värekarvoissa on vain yhtä tai korkeintaan muutamaa eri reseptoriproteiinia. Tämän seurauksena aivoille riittää tieto hajua aiheuttavan molekyylin aktivoimista reseptorisoluista hajun tunnistamiseksi. Aivojen ei siis tarvitse tarkasti tietää proteiinia, jonka aktivoitumisen seurauksena signaali lähetettiin.

Buckin ja Axelin tutkimukset viittaavat siihen, että tiettyjen reseptorisolujen lähettämät signaalit ohjautuvat tietylle alueelle aivoissa. Näin ollen aivot tulkitsevat signaaleja tyyliin "Havaittu aktiivisuutta hajukäämin alueilla 1, 15 ja 54. Näitä vastaavat reseptorisolut 1, 15 ja 54. Haju on siis jasmiini.". Monet havaitsemamme hajut ovat useiden eri hajujen sekoituksia. Tällaiset hajut tunnistetaan aivoissa sen perusteella, mitkä aivojen alueet aktivoituivat reseptorisolujen lähettämistä signaaleista.

## **2.2 Tulipaloissa syntyvät yhdisteet ja niiden myrkyllisyys**

Tulipaloissa syntyvät yhdisteet riippuvat palavasta materiaalista. Esimerkiksi hiilivetyjen palaessa täydellisesti syntyy ainoastaan hiilidioksidia ja vettä. Kuitenkin melkein aina palaminen on epätäydellistä johtuen esimerkiksi vähäisestä hapesta paloa ympäröivässä tilassa. Tällöin hiilivetyjen palaessa syntyy hiilidioksidin lisäksi häkää. Usein tulipaloissa paloon osallistuvat materiaalit ovat kuitenkin ominaisuuksiltaan huomattavasti hiilivetyjä monimutkaisempia. Tällöin epätäydellisen palamisen seurauksena savuun pääsee alkuperäisen polymeerin monomeerejä, sitä lähellä olevia yhdisteitä ja hiilivetyjen hapettumistuotteita kuten aldehydejä, ketoneja, estereitä ja karboksyylihappoja. Orgaanisiin

haihtuviin yhdisteisiin viitataan usein lyhenteellä VOC, joka tulee englannin termistä "Volatile Organic Compound". Palavasta materiaalista riippuen savukaasuissa voi esiintyä myös epäorgaanisia haihtuvia yhdisteitä kuten ammoniakkia. Orgaaniset yhdisteet ovat savukaasuille tyypillisiä, koska useat materiaalit sisältävät hiiltä. Palamis- ja pyrolyysireaktioissa syntyy myös aromaattisia hiilivetyjä. Näille tunnusomaista on niissä esiintyvä bentseenirengas, johon voi olla liittyneenä hiilivetyketjuja ja toisia bentseenirenkaita. Yleisesti aromaattisiin hiilivetyihin viitataan lyhenteellä PAH, joka tulee englannin kielen termistä "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons". PAH-yhdisteiden tiedetään olevan erittäin myrkyllisiä ja usein ne ovat karsinogeenisiä. Monet tulipaloissa syntyvät yhdisteet ovat ihmisille ja eläimille vaarallisia ja useimpiin niistä liittyy negatiivinen hajunkuvaus. Tulipalon jälkeen niiden jäämiä jää rakenteisiin ja pinnoille esimerkiksi nokilaskeuman muodossa.

Nisäkkäiden on hengitettävä eläkseen. Ihminen selviää vaurioitta hapettomassa tilassa noin 5 minuuttia. Koska savu on kaasumainen aine, se kulkeutuu helposti keuhkoihin hengityksen mukana. Se pääsee myös helposti kosketuksiin silmien, nenän, suun ja kurkun limakalvojen kanssa. Keuhkoista savukaasujen sisältämät myrkylliset yhdisteet pääsevät helposti leviämään muualle kehoon verenkierron mukana. Esimerkiksi häkä eli hiilimonoksidi on myrkyllistä, koska hengitettynä se sitoutuu veren hemoglobiiniin huomattavasti tehokkaammin kuin happi (Shochat & Lucchesi 2004). Kun hiilimonoksidia on ilmassa riittävästi, hapen saanti kudoksissa estyy kokonaan. Hiilidioksidin myrkyllisyys perustuu samaan ilmiöön. Savukaasujen mukana keuhkoihin voi joutua myös palamisreaktiossa syntyneitä radikaaleja. Tällaiset radikaalit ovat erittäin reaktiivisia ja voivat siten aiheuttaa vakaviakin soluvaurioita. Erityisesti happiradikaaleja esiintyy savukaasuissa usein. Limakalvoilla savukaasujen sisältämät yhdisteet aiheuttavat lähinnä ärsytystä ja kirvelyä (Rothweiler & Schlatter 1993, Light et al. 1999).

Eri materiaalien synnyttämän savun ominaisuuksia on tutkittu melko paljon itse palotapahtuman aikana, vaikka tulipalon jälkeistä tilannetta ei olekaan tutkittu. Esimerkiksi Savolainen ja Kirchner (1998) ovat todenneet, että rakennusvillat eivät juuri osallistu savunmuodostukseen, sillä niissä tapahtuu muodonmuutoksia vasta hyvin korkeissa lämpötiloissa (~1 000 astetta). Tällöinkään ne eivät pala, vaan sulavat. Tämän lisäksi he ovat todenneet, että polyuretaani on sen sijaan materiaali, joka osallistuu savunmuodostukseen. Sen rakenneosaset alkavat hajota noin 250 asteen lämpötilassa ja tällöin muodostuu muiden muassa häkää ja syanidia. Polyuretaanin savulle altistuminen on Savolaisen ja Kirchnerin (1998) mukaan aiheuttanut ihmisissä hengitysteiden ärsytystä ja kuumeilua. Hiirillä polyuretaanin savulle altistuminen aiheutti merkittäviä muutoksia keuhkojen solujen aineenvaihdunnassa. Tutkijat toteavat myös, että polystyreenin palossa vapautuu häkää ja aerosoleja sekä styreeniä ja bentsaldehydiä. Polystyreenin synnyttämien savuhiukkasten tarkkoja terveysvaikutuksia ei tunneta, mutta selviä merkkejä savun myrkyllisyydestä on. Esimerkiksi eläimillä se voi aiheuttaa vaurioita maksassa ja

hermojärjestelmässä. Selluloosakuidut, kuten myös polyuretaani, alkavat kärsiä rakenteellisista muutoksista noin 250 asteen kuumuudessa. Palon alkuvaiheessa syntyy esimerkiksi erilaisia glukoosi- ja furaaniyhdisteitä. Myöhemmin muodostuu myös akroleiinia ja muita hengitysteihin ärsyttävästi vaikuttavia yhdisteitä. Erityisesti akroleiinin vaikutus keuhkoihin on hyvin myrkyllinen.

Puun palamisen seurauksena on ympäröivästä ilmasta löydetty furaaneja, ketoneja, toluenia, heksanaalia, pineeniä, kamfeenia ja furfuraaleja (Tsuchiya 1992). Polttoaineyhdistelmän puu, PVC, polymetyylimetakrylaatti ja styreeni (noin 2,5 kg kutakin) on todettu tuottavan ympäröivään ilmaan muiden muassa nitriilejä, bentseeniä, metyylimetakrylaattia, toluenia, styreeniä, pineeniä, kamfeenia, metyylistyreeniä, naftaliinia, bentsaldehydiä ja bifenyylä (Tsuchiya 1992).

Myös luonnonmateriaalien ja synteettisten materiaalien tuottaman savun laadun ja ominaisuuksien eroja on tutkittu (Morikawa et al. 1987). Tätä varten tehdyssä kokeessa suoritettiin kaksi simuloitua paloa. Toisessa paloi vain luonnonmateriaaleja ja toisessa paloi sekä luonnon- että synteettisiä materiaaleja. Havaittiin, että synteettisten materiaalien palaminen tuotti savuun selkeästi enemmän häkää, kloorivetyä (HCl) ja syaanivetyä (HCN) ja vähemmän hiilidioksidia kuin luonnonmateriaalien palaminen. Tutkimuksessa todettiin myös, että synteettiset materiaalit palavat voimakkaammin kuin luonnonmateriaalit. Savulle altistettiin hiiriä ja jäniksiä ja niissä havaittiin merkkejä mm. munuaisvaurioista. Synteettisten materiaalien savulle altistetuilla jäniksillä oli huomattavasti enemmän syanidia verenkierrössään kuin luonnonmateriaalien savulle altistetuilla jäniksillä.

Palamistuotteita lueteltaessa on kuitenkin muistettava, että myrkyllisten yhdisteiden terveysvaikutukset riippuvat määrästä, jolle altistutaan. Kuten tämän projektin yhteydessä suoritettujen kokeiden perusteella tullaan toteamaan, myös aistittu haju riippuu kappaleesta emissoituvista määristä enemmän kuin kappaleessa havaituista yhdisteistä.

### **2.3 Tulipalon jälkihajujen vaikutus sisäilman laatuun**

Koska lähes kaikki tulipaloissa ja kytemisreaktioissa syntyvät yhdisteet ovat ainakin jossain määrin ihmiselle haitallisia, on selvää, että tulipalon vaikutus sisäilman laatuun ei ole hyvä. Tätä asiaa on suoritettujen kirjallisuustutkimusten perusteella kuitenkin tutkittu tieteellisesti hyvin vähän, huolimatta siitä, että palomiehet ja jälkisaneeraajat mahdollisten asukkaiden lisäksi altistuvat tulipalon jälkeiselle sisäilmalle ja siinä oleville myrkyille. Tieteellisissä julkaisuissa on kuitenkin tunnustettu palomiesten ja jälkisaneeraajien riskialtis asema, ks. esimerkiksi (Ruokojärvi et al. 2000, King 2003).

Kirjallisuustutkimuksessa löytyi vain yksi sellainen tutkimus, jossa keskityttiin selkeästi tutkimaan muutoksia sisäilman laadussa tulipalon jälkeen samantyyppisin menetelmin kuin tässä projektissa (Tsuchiya 1992). Tutkimus on suoritettu kanadalaisessa rakentamisen tutkimusinstituutissa (Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada).

Tsuchiya on tutkinut tulipalon jälkeistä sisäilman laatua simuloimalla tulipaloja betoni-seinäisissä kuutioissa. Kahdessa kokeessa poltettiin puuta (10 kg) ja yhdessä sekoitepolttoainetta (puu, PVC, polymetyylimetakrylaatti, polystyreeni, 10 kg). Palokuorman annettiin palaa noin puoleenväliin, jonka jälkeen palo sammutettiin ja kuution annettiin jäähtyä. Ensin testattiin ilmanlaadun muutoksia, kun kuutioon johdettiin kuivaa ilmaa, ja sitten kun kuutioon johdettu ilma oli kosteaa (RH 50 %, ilman lämpötila molemmissa tapauksissa 22 °C). Ilman laatua kuutiossa seurattiin jaksottaisilla mittauksilla 30 päivän ajan. Mittaustulosten perusteella artikkelissa todetaan, että orgaaniset yhdisteet hävisivät ilmasta 2,5 kertaa nopeammin ilman ollessa kosteaa kuin sen ollessa kuivaa. Lisäksi artikkelissa raportoidaan havaittu yhteys yhdisteen kiehumispisteen ja hajoamisnopeuden välillä. Sellaiset yhdisteet, joilla on korkea kiehumispiste, voivat säilyä sisäilmassa jopa tuhansia päiviä.

## **2.4 Tulipalon jälkihajujen poisto sisäilmasta**

Tulipalojen jälkihajut voivat tutkimusten mukaan säilyä sisäilmassa pahimmillaan jopa tuhansia päiviä (Tsuchiya 1992). Usein yhdisteet, jotka jäävät esimerkiksi asuintilojen rakenteisiin, ovat ihmiselle haitallisia ja aiheuttavat pahaa hajua. Rakenteisiin hajut pääsevät tulipalon aiheuttaman tilan lämpenemisen ja painemuutosten takia. Lämpötilan nousu aiheuttaa rakenteiden lämpölaajenemista, jolloin rakenteen huokokset avautuvat ja näin hajua aiheuttavat molekyylit pääsevät tunkeutumaan rakenteen sisälle. Lisäksi tulipalon yhteydessä usein paine tilassa kasvaa ja molekyylit pääsevät korkean paineen avulla työntymään yhä helpommin rakenteisiin. Kun palo on sammutettu ja rakennus jäähtyy, rakenteiden huokokset sulkeutuvat. Tällöin hajua aiheuttavat molekyylit jäävät rakenteisiin ja pikku hiljaa kulkeutuvat ilmaan aiheuttaen hajua vaikka tulipalon näennäiset vauriot olisikin jo korjattu. Vaikka tilojen käyttäjien terveys ei olisi suoranaisesti vaarassa näiden rakenteisiin jäävien yhdisteiden takia, voivat ne pieninäkin pitoisuuksina aiheuttaa ärsytystä silmissä ja limakalvoilla sekä muita oireita, kuten päänsärkyä (Anon 2005a). Lisäksi on huomioitava myös tulipalon jälkihajun psykologinen merkitys sen uhreille. Näistä syistä on kehitetty useita hajunpoistoon tähtääviä menetelmiä. Useimmat menetelmät pyrkivät joko muokkaamaan pahaa hajua miellyttävämmäksi tai peittämään sen. Osa menetelmistä liittyy myös vahingoittuneen tilan tuulettaminen ja lämmittäminen. Olennainen osa hajunpoistoa on tietysti myös haisevan kappaleen puhdistaminen. Tulipalossa pahoin vaurioituneita, korjaamiskelvottomia rakenteita tai esineitä ei yleensä

edes pyritä puhdistamaan, vaan ne poistetaan ja korvataan uusilla. Tyypillisesti puhdistettava kappale on ollut esimerkiksi palavan huoneen vieressä ja kärsinyt savu- ja noki-vaurioita, mutta ei ole varsinaisesti tulen vaurioittama.

Seuraavassa on käsitelty tyypillisimpiä puhdistus- ja hajunpoistomenetelmiä. Tiedot perustuvat lähteisiin King (2003) ja Väinölä (2005), ellei toisin ole mainittu.

**Hajun peittäminen.** Menetelmä perustuu aistitun pahan hajun peittämiseen toisella, miellyttävämmäksi koetulla hajulla. Tämän menetelmän vaikutus ei ole pitkäkestoinen ja on suositeltava vain väliaikaisratkaisuna haluttaessa esimerkiksi suorittaa jälkisanerausta miellyttävämmässä työympäristössä. Tämä menetelmä ei ollut mukana tässä projektissa suoritetuissa kokeissa.

**Kapselointi.** Haiseva pinta käsitellään kapselointimaalilla. Tarkoituksena on lukita rakenteeseen imeytyneet hajua aiheuttavat molekyylit rakenteen sisälle pysyvästi. Usein tähän menetelmään liittyy kuitenkin hajun läpilyönnin riski myöhemmässä vaiheessa. Käsiteltävä pinta on ehdottomasti puhdistettava huolellisesti savukaasujen aiheuttamasta laskeumasta ennen käsittelyä. Kapselointimenetelmä ei ollut mukana tässä projektissa.

**Otsonointi.** Hajunpoisto tällä menetelmällä perustuu otsonin kykyyn pilkkoa molekyylejä. Kun hajua aiheuttava molekyyli pilkotaan, sen aiheuttama hajuu muuttuu. Ongelmalliseksi menetelmän tekee se, että lopputulosta on tästä syystä vaikea ennustaa. Lisäksi menetelmän käytön yhteydessä vapautuu happi-ioneja, jotka reagoivat herkästi. Tämä ilmiö voi johtaa siihen, että käsittely ei etene pintakerroksia syvemmälle ja on mahdollista, että hajuhaitta palaa. On myös mahdollista, että käsiteltävässä tilassa olevat materiaalit kärsivät vaurioita reaktiivisten happi-ionien takia. Otsonoinnista on yksityiskohtaisempaa tietoa kappaleessa 2.5. Otsonointimenetelmä oli yksi projektissa tutkituista menetelmistä.

**Ionisaattorit.** Näiden toiminta perustuu ilman hajottamiseen positiivisiksi ja negatiivisiksi ioneiksi (Väinölä 2005). Tämä toimii lisämenetelmänä kemiallisille menetelmille, jos puhdistustyön tilaajalla on esimerkiksi allergiaa tai muita yliherkkyysoongelmia. Ionisaattori oli yksi projektissa tutkituista menetelmistä.

**Kemialliset menetelmät.** Nämä menetelmät perustuvat hajua aiheuttavien molekyyliden pilkkomiseen hapettamalla tai niiden muuntamiseen molekyyleiksi, jotka eivät haise pahalta. Menetelmän ongelma on, että syntyvien yhdisteiden aiheuttamaa hajua ei välttämättä voida ennalta arvata. Tässä projektissa tutkittiin useita eri kemiallisia menetelmiä.



## 2.5 Otsonointi jälkisaneerausmenetelmänä

Otsonoinnista ilmanpuhdistusmenetelmänä on kirjoitettu runsaasti. Kuitenkin tieteellisten tutkimusten määrä aiheesta on huomattavasti rajoittuneempi. Suuren yleisön luettavana on siis paljon laitevalmistajien tuottamia tekstejä sekä pienempi määrä tieteellisiä tutkimuksia. Tästä syystä otsonoinnista on tullut ristiriitainen menetelmä, jota laitevalmistajat suosittelevat ja johon tutkijat suhtautuvat epäilevämmiin. Tähän kappaleeseen on pyritty kokoamaan tällä hetkellä tunnettu ja oikeaksi todistettu tietämys otsonoinnista. Kappale perustuu pitkälti Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluliiton (U. S. Environmental Protection Agency) julkaisuun "Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences" (Anon 2005b).

Otsonaattorit ovat laitteita, jotka tarkoituksenmukaisesti tuottavat ilmaan otsonia. Otsoni on pistävänhajuinen, vaaleansinertävä kaasu, joka muodostuu kolmen happiatomin muodostamista molekyyleistä. Ilmassa oleva happi, jota hengitämme, koostuu kahden happiatomin muodostamista molekyyleistä. Yleensä otsonimolekyyli hajoaakin nopeasti tällaiseksi kahden happiatomin muodostamaksi molekyyliksi ja yhdeksi yksinäiseksi happiatomiksi. Tämä yksinäinen happiatomi on puolestaan hyvin reaktiivinen. Juuri tähän reaktiivisuuteen perustuu niin otsonoinnin väitetty teho kuin väitetyt haitat. Reaktiiviset happiatomit nimittäin reagoivat ilmassa olevien orgaanisten yhdisteiden kanssa hapettaen ja pilkkoen niitä. Lopulta jäljelle jää vain hiilidioksidia ja vettä. Tulipalojen jälkisaneeraajien kannalta otsonaattori on mielenkiintoinen vaihtoehto, koska tulipaloissa syntyy erityisesti orgaanisia yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia, kuten pahaa hajua. Usein nämä yhdisteet ovat myös myrkyllisiä. Tällaisten yhdisteiden muuttaminen hiilidioksidiksi ja vedeksi otsonoinnilla kuulostaa yksinkertaiselta keinolta haitallisten yhdisteiden poistoon sisäilmasta. Hyvä puoli otsonoinnissa on myös se, että sen käyttöön ei tarvita mitään lisäkemikaaleja. Otsonaattoreita käytetään hajunpoistoon esimerkiksi hotelleissa, autokorjaamoilla ja jätehuoltolaitoksilla. Otsonaattoreita käytetään hajuhaittojen poiston lisäksi sisäilman laadun parantamiseen.

Ongelmalliseksi otsonoinnin tekee se, että se on elollisille organismeille haitallinen juuri yksinäisen happiatomin reaktiivisuuden takia. Niin kuin happiatomi reagoi ilmassa olevien yhdisteiden kanssa, se reagoi myös niiden orgaanisten yhdisteiden kanssa, joista esimerkiksi ihminen koostuu. Toisin sanoen, esimerkiksi hengitettynä otsoni voi aiheuttaa kudosvaurioita keuhkoissa. Toinen seikka, joka tekee otsonoinnista kyseenalaisen menetelmän, on se, että otsonin reagoidessa ilmassa olevien yhdisteiden kanssa vettä ja hiilidioksidia muodostuu usein vasta pitkän reaktioketjun lopussa. Tämän reaktioketjun läpikäyminen voi olla hidasta. Lisäksi reaktioketjun reaktioiden välituotteina ilmaan muodostuu paljon uusia yhdisteitä, joita siinä ei alun perin esiintynyt. Hajunpoistajien kannalta tämä on ongelmallista, koska on hyvin vaikea ennakoida näiden välituotteiden muodostamaa hajua ja niiden kemiallista luonnetta (Dunston & Spivak 1996–1997).

Välituotteet voivat olla esimerkiksi aldehydejä ja ketoneja, jotka puolestaan voivat muodostaa orgaanisia happoja ja olla siten haitallisia.

Maapallolla otsonia esiintyy erityisesti ilmakehän yläosassa, jossa se on olennaista elämän säilymisen kannalta. Se suojaa meitä Auringon tuhoisalta ultraviolettisäteilyltä. Otsonia on kuitenkin myös maan pinnalla. Sitä syntyy esimerkiksi salamoinnin yhteydessä. Aurinkoisina päivinä sitä syntyy myös liikenteen pakokaasuista UV-säteilyn reagoitessa pakokaasujen kanssa. Suuri osa suurkaupunkien savusumusta onkin juuri otsonia (U.S. EPA 1999). Hengitettynä otsoni aiheuttaa ihmiselle yskää, rintakipuja, hengenahdistusta ja kirvelyn tunnetta limakalvoilla jo suhteellisen pieninä pitoisuuksina. Otsoni voi myös aiheuttaa keuhkovaurioita ja vastustuskyvyn heikkenemistä. Otsonin vaaroille alttiimpia ovat kroonisista keuhkosairauksista kärsivät, astmaatit ja vanhukset. Suomessa on määritetty haitalliseksi tunnetuksi pitoisuudeksi 0,05 ppm 8 tunnin altistumisessa ja 0,20 ppm 15 minuutin altistumisessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2005). EPA:n arvion mukaan sisäilmassa on normaalisti noin 0,01–0,02 ppm:ä otsonia.

Tämänhetkisen tieteellisen todistusaineiston nojalla EPA:n artikkelissa todetaan, että pitoisuuksilla, jotka eivät ylitä suositusarvoja, otsoni ei ole toimiva menetelmä sisäilman laadun parantamiseksi. Näyttää siltä, että otsonia tarvitaan suositusarvot ylittävä määrä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Jälkisaneeraustilanteessa tila pidetään kuitenkin eristettynä ja siten tehokkaan hajunpoiston saavuttamiseksi myös korkeampia pitoisuuksia voidaan käyttää. Suomessa käytetyt pitoisuudet ovat yleisesti alle yhden ppm:n. Jälkisaneeraustoimenpiteisiin kuuluu käsitellyn tilan huolellinen tuuletus otsonoinnin jälkeen mahdollisten jäämien poistamiseksi. Otsonaattorien käyttöä normaaliolosuhteissa vaikeuttaa kuitenkin se, että EPA:n mukaan otsonin on todettu saattavan vaikuttaa haitallisesti esimerkiksi kumiin, sähköjohtojen päällysteisiin, kankaisiin ja taideteoksiin.

## 3. Laboratoriokokeet

Kesäkuussa viikolla 24 suoritettiin projektiin kuuluvat laboratoriokokeet. Näiden pienen mittakaavan kokeiden tarkoituksena oli vertailla savulle altistuneiden rakennusmateriaalien hajunpoistoon käytettäviä menetelmiä hallitusti laboratorio-olosuhteissa. Projektin ohjausryhmän tekemän päätöksen mukaisesti valittiin yhdeksän eri hajunpoistomenetelmää ja suoritajiksi kahdeksan alan yritystä. Käytettävät menetelmät esitellään kohdassa 3.4. Hajunpoiston suorittavat yritykset olivat ASTQ Oy, Beretta Palvelut Oy, Bondmet Oy, Lassila & Tikanoja Oyj, Munters Oy, NSS Vahinkopalvelut, Soft Protector Oy ja Suomen JVT- ja Vahinkopalvelut Oy.

Puhdistus- ja hajunpoistomenetelmien toimivuuden arvioimiseksi VTT:n sisäilmakemian ryhmä määrittä materiaaleista vapautuvat haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja niiden määrät ennen savuallistusta, ennen hajunpoistokäsittelyä ja hajunpoiston jälkeen. Lisäksi sekä puhdistajat, VTT:n palotekniikan ryhmän jäsenet (tästedes VTT Palo) että VTT:n sisäilmakemian ryhmän jäsenet (tästedes VTT Sisäilma) arvioivat materiaalien hajua aistinvaraisesti sekä ennen käsittelyä että niiden jälkeen. Vertailun vuoksi koekappaleita tuotettiin myös pitkäaikaissäilytykseen, jolloin niitä ei käsitelty mitenkään vaan niiden annettiin olla savuallistuksen jälkeen vapaassa tilassa 34 vuorokautta. Näille tehtiin ainoastaan aistinvarainen arviointi kohdassa 3.5.1.1 esitetyllä tavalla.

Tässä luvussa kuvaillaan ensin materiaalit, joiden savulle koekappaleet altistettiin ja materiaalit, joista koekappaleet tehtiin. Tämän jälkeen esitellään käytetty koelaitteisto ja todetaan tuotetut koekappaleet tasalaatuisiksi ja keskenään vertailukelpoiksi. Sitten käydään läpi käytetyt yhdeksän puhdistus- ja hajunpoistomenetelmää. Tämän jälkeen esitellään koekappaleiden arviointiin käytetyt menetelmät. Laboratoriossa tuotettujen koekappaleiden osalta kemiallisten analyysien tulokset esitetään luvun lopussa.

### 3.1 Palomateriaalit ja kohdemateriaalit

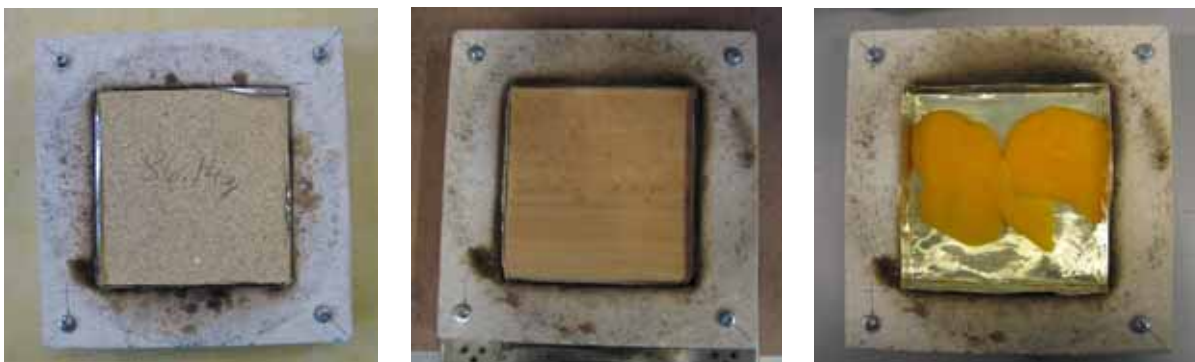
Tässä raportissa palomateriaaleilla tarkoitetaan niitä materiaaleja, joita poltetaan kokeissa ja kohdemateriaaleilla niitä materiaaleja, joista valmistettuja koekappaleita altistetaan palomateriaaleista syntyneelle savulle.

Palomateriaalien valinnassa otettiin huomioon, että käytännön kokemuksen mukaan vaikeasti poistettavia palohajuja aiheuttavat erityisesti ruoka-aineet ja muovit. Näitä edustamaan valittiin laboratoriokokeisiin kananmunat ja muovimatto. Tavanomaisempia palohajuja aiheuttavat puolestaan puuperäiset materiaalit, joita laboratoriokokeissa edusti lastulevy. Käytetyt palomateriaalit on esitelty tarkemmin taulukossa 1.

Taulukko 1. Palomateriaalien tiedot.

Palomateriaalit:	
Lastulevy	Urea-formaldehydi -liimattu lastulevy <u>Koostumus massaprosenteina:</u> C = 46,2 % H = 6,8 % N = 3,8 %
Muovimatto	Armstrong Magnum Kokonaispaksuus 3,0 mm Pintakalvon paksuus 0,35 mm Paino 2,65 kg/m <sup>2</sup> <u>Koostumus massaprosenteina:</u> PVC = 40,8 % Dolomiitti $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = 28\%$ Pehmitin = 28 % Lisäaineet = 3,2 %
Kananmunat	Luonnonpuhtaat maalaismunat kokoluokka M (53–63 g).

Laboratoriokokeissa käytettäviä palomateriaaleja varten valmistettiin näytteenpidin palamattomasta kalsiumsilikaattilevystä. Näytteenpitimessä oli keskellä 10 cm x 10 cm kokoinen tila, johon näytteet asetettiin folioastiassa. Lastulevy- ja muovimatonäytepalojen koot olivat 10 cm x 10 cm ja kananmunia rikottiin ja kaadettiin folioastiaan kaksi kappaletta koetta kohden. Kuvassa 1 esitetään palomateriaaleja näytteenpitimessä.

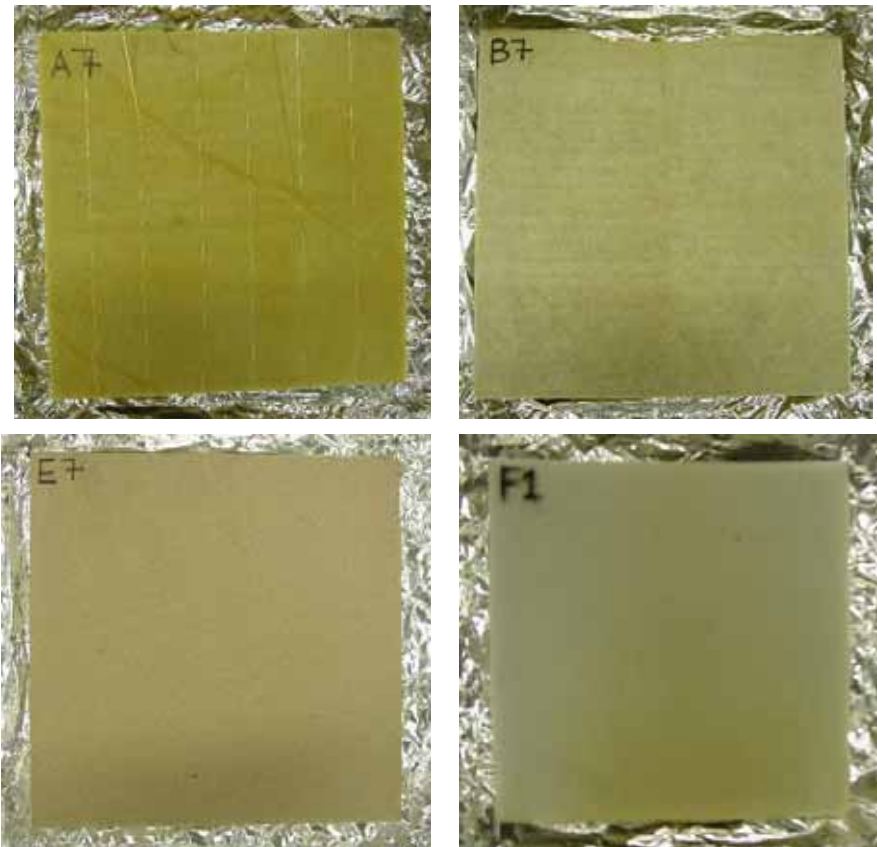


Kuva 1. Palomateriaalit lastulevy, muovimatto ja 2 kananmunaa folioastioissaan näytteenpitimessä.

Kohdemateriaalien valinnassa otettiin huomioon, että huokoisista materiaaleista on vaikea poistaa palohajuja. Laboratoriokokeissa käytettäväksi materiaaleiksi valittiin tämän vuoksi kipsilevy, kaksi erilaista lämmöneristevillaa ja vaahtomuovi, joista valmistettiin 22 cm x 22 cm kokoisia koekappaleita. Kohdemateriaalien tiedot on koottu taulukkoon 2 ja valokuvat koekappaleista on esitetty kuvassa 2.

*Taulukko 2. Materiaalit, joista koekappaleet valmistettiin.*

<b>Savulle altistuvat materiaalit:</b>	
Lasivilla	ISOVER OL-A-20 Tiheys 90 kg/m <sup>3</sup> Paksuus 20 mm
Vuorivilla	Paroc ROB 60t Tiheys 193 kg/m <sup>3</sup> Paksuus 18 mm
Kipsilevy	Knauf 95 KEK-0 erikoiskova sisäverhouslevy Tiheys 920 kg/m <sup>3</sup> Paksuus 13 mm
Vaahtomuovi	ESPE E-30 Tiheys 27,5–29,5 kg/m <sup>3</sup> Paksuus 19 mm <u>Koostumus:</u> Polyoli (polyalkoholi 3-arvoinen) hydroksyyililuku n. 48 69 % Tolueeni-di-isosyanaatti (80/20 isomeeri) 28 % Tina-oktoaatti 0,1 % Tertiäärinen amiini 0,06 % Vesi 2,2 % Silikoni 0,6 % Väripasta (tunnusväri) 0,03 %



*Kuva 2. Kohdemateriaaleista valmistetut koekappaleet erään kokeen jälkeen. Ylhäällä vasemmalla lasivilla, ylhäällä oikealla vuorivilla, alhaalla vasemmalla kipsilevy ja alhaalla oikealla vaahtomuovi.*

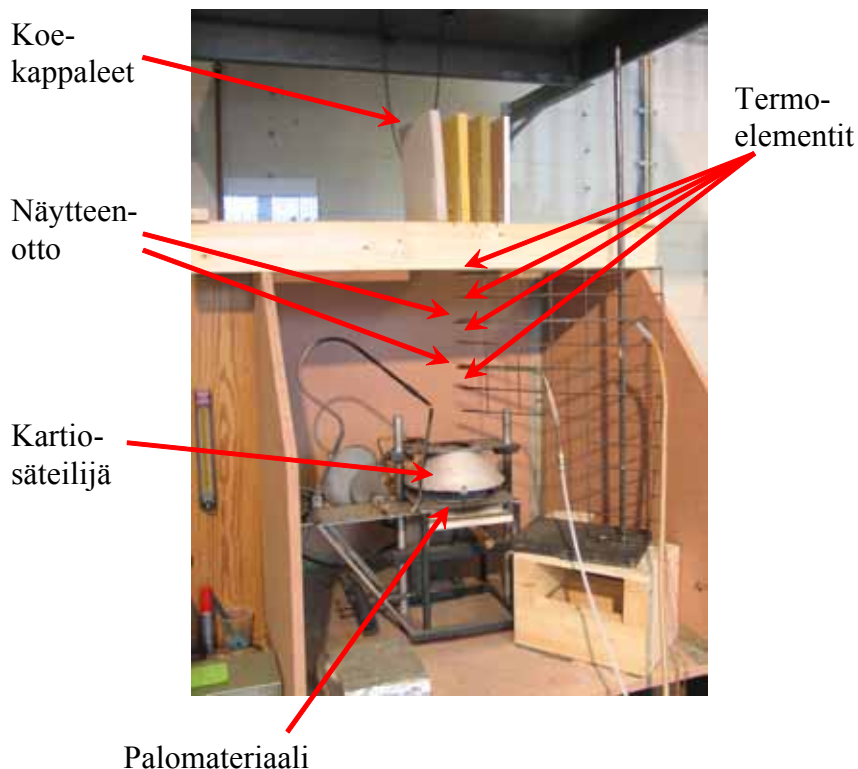
### **3.2 Koelaitteisto ja kokeiden suoritus**

Hallittuun savuntuottamiseen käytettiin kuvassa 3 esitettyä, standardin ISO-5657/1997(E) mukaista laitetta, jota yleensä käytetään eri rakennustuotteiden syttymisherkkyuden määrittämiseen. Epävirallisesti laitetta kutsutaan nokkijalaitteeksi. Palomateriaali, jonka savulle koekappaleet haluttiin altistaa, asetettiin kartion muotoisen sähkövastuksen, kartiosäteilijän, alle. Kartiosäteilijä synnyttää lämpösäteilyä, jonka voimakkuutta voidaan säädellä. Lämpösäteilyn aiheuttama kuumeneminen johtaa pyrolyysireaktioihin palomateriaalissa, joiden tuloksena siitä vapautuu palamiskelpoisia kaasuja. Nyt tehdyissä kokeissa savulle altistettavat koekappaleet asetettiin kartiosäteilijän yläpuolelle siten, että pyrolyysikaasut virtasivat niiden ohitse tartuttaen niihin savunhajua. Sen jälkeen savukaasut virtasivat keräilykuvun kautta poistoputkeen.

Kartiosäteilijän alle sijoitettu palomateriaali voi myös syttyä palamaan, mikäli siihen kohdistettu lämpösäteily on tarpeeksi voimakasta. Standardin mukaisissa kokeissa pyro-

lyysikaasut sytytetään pienellä kaasuliekillä, mutta nyt tehdyissä kokeissa sytytintä ei käytetty kahdesta syystä. Ensimmäinen syy oli se, että koekappaleita ei haluttu vaurioittaa liekin lämmöllä. Toinen syy oli se, että pelkän pyrolyysin seurauksena syntyy enemmän sen tyyppisiä yhdisteitä, joiden arveltiin aiheuttavan savunhajua. Pyrolyysikaasujen koostumus riippuu pitkälti pyrolysoituvasta materiaalista, erityisesti pyrolyysikaasuissa esiintyy alkuperäisen polymeerin rakenneosia, monomeerejä, ja hiilivetyjen hapettumistuotteita. Materiaalin palaessa täydellisesti syntyvään savuun jää pääasiassa hiilidioksidia ja vettä, joiden hajuhaitat ovat pieniä.

Nokkijalaitteen ympärille rakennetussa koelaitteistossa oli keskeisessä asemassa kuvassa 3 näkyvä, kartiosäteilijän yläpuolelle asetettu puinen teline, johon savulle altistettavat koekappaleet asetettiin kokeen ajaksi. Koekappaleet pysyivät paikoillaan puutelineeseen kiinnitettyjen naulojen avulla. Nokkijalaitteen yhteyteen rakennettiin tämän puutelineen lisäksi kehikko, johon kiinnitettiin neljä termoelementtiä ja kaksi näytteenottoputkea. Näytteenottoputkilla kerättiin savukaasunäytteitä analyysyä varten. Termoelementtien avulla taas seurattiin lämpötilaa, jossa kohdemateriaalinäytteet altistuivat savulle. Mitattu lämpötilan nousu aiheutui pääasiassa kartiosäteilijän säteilemästä lämmöstä, sillä pyrolyysireaktiot eivät olleet kyllin voimakkaita aiheuttaakseen merkittävää lämmön nousua. Osa kerätystä savukaasunäytteestä johdettiin kaasuanalysaattoreille, joilla mitattiin savun happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksien muutoksia ajan funktiona. Sekä pitoisuus- että lämpötilatiedot tallennettiin myöhempää käyttöä varten, sillä niiden avulla voitiin varmistua siitä, että eri kokeissa tuotetut koekappaleet olivat keskenään vertailukelpoisia. Tähän palataan kappaleessa 3.3. Lisäksi kerättiin savukaasunäytteitä Tenax- ja XAD-adsorbentteihin.



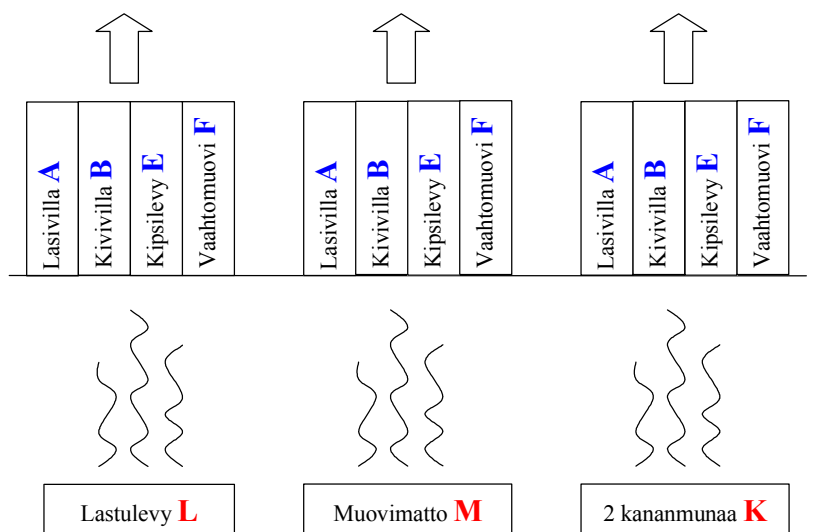
*Kuva 3. Nokkijalaite ja sen ylle asennettu teline koekappaleita varten sekä neljä koekappaleita. Kuvassa näkyy myös nokkijalaitteen yhteyteen rakennettu kehikko, johon kiinnitettiin termoelementit ja putket, joiden kautta imettiin savua savupatsaasta.*

Kun koekappaleet olivat paikoillaan ja palomateriaalinäyte valmiina, koe käynnistettiin. Kunkin kokeen alussa laitteiston annettiin käydä kaksi minuuttia ilman savua tuottavaa materiaalia, jolloin saatiin mitattua kaasuanalysointiperustasot. Tämän jälkeen palomateriaali asetettiin paikalleen, jonka jälkeen varsinainen altistusjakso kesti noin 20 minuuttia. Näin ollen yhden kokeen kesto oli noin 22 minuuttia.

Laboratoriokokeissa tuotettiin koekappaleita siten, että kullakin hajunpoistomenetelmällä käsiteltiin 12 koekappaleita (3 palomateriaalia x 4 kohdemateriaalia). Tähän tarvittiin siis  $9 \times 12 = 108$  koekappaleita. Lisäksi tuotettiin 12 koekappaleita, joille ei tehty hajunpoistokäsittelyä. Nämä toimivat vertailuaineistona. Koekappaleiden tuottamista yhtä puhdistajaa varten on havainnollistettu kuvassa 4. Kuhunkin koekappaleeseen liittyi kirjainkoodi, jonka muodostumisperiaate on myös esitetty kuvassa 4. Kirjainyhdistelmän lisäksi koekappaleisiin liitettiin numerot niihin sovelletun hajunpoistomenetelmän mukaan. Esimerkiksi koekappale BM5 on siis muovimaton savulle altistettu vuorivillakappale, joka hajunpoistokäsiteltiin menetelmällä 5.



**Yhden puhdistajan koekappaleet:**  
**AL BL EL FL AM BM EM FM AK BK EK FK**



*Kuva 4. Kullekin puhdistajalle annettiin yllä kuvattu 12 koekappaleen sarja. Yhden sarjan tuottamiseksi täytyi suorittaa kolme koetta. Kunkin kokeen aikana tuotettiin neljä koekappaletta. Kuhunkin koekappaleeseen liitettiin kirjainyhdistelmän lisäksi myös numero kappaleen hajunpoistoon sovelletun menetelmän mukaan.*

Koekappaleet tuotettiin taulukossa 3 esitetyn aikataulun mukaisesti. Esimerkiksi koeksessa K1001, joka suoritettiin maanantaina, tuotettiin hajunpoistomenetelmää 1 varten lastulevyn savulle altistetut vuorivilla, lasivilla, kipsilevy ja vaah tomuovipehmuste. Koeksessa K1002 tuotettiin samaa menetelmää varten vastaavat materiaalit altistettuina kananmunien savulle. Taulukon alaosaan on merkitty värikoodit, joiden avulla nähdään, missä kokeissa tuotetut koekappaleet käsiteltiin milläkin hajunpoistomenetelmällä.

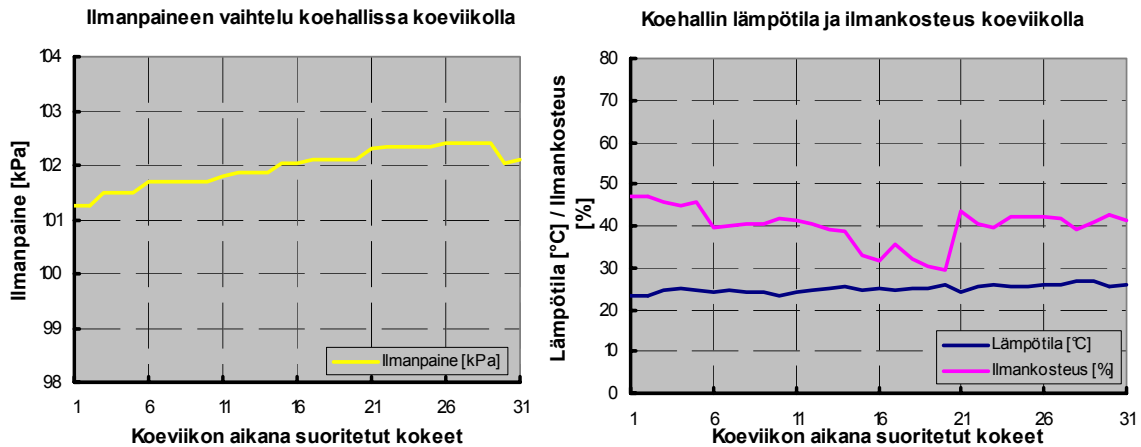
Taulukko 3. Koeviikon aikana suoritettut kokeet. Kokeiden lisäksi suoritettiin myös taustamittauksia, joiden avulla varmistuttiin siitä, että koelaitteisto ei ollut kontaminoitunut aiempien kokeiden savusta.

Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai
K1001 Lastulevy	K1006 Taustamittaus	K1015 Kananmunat	K1021 Taustamittaus	K1030 Kananmunat
K1002 Kananmunat	K1007 Kananmunat	K1016 Kananmunat	K1022 Lastulevy	K1031 Muovimatto
K1003 Muovimatto	K1008 Kananmunat	K1017 Kananmunat	K1023 Lastulevy	
K1004 Muovimatto	K1009 Lastulevy	K1018 Muovimatto	K1024 Kananmunat	
K1005 Muovimatto	K1010 Lastulevy	K1019 Muovimatto	K1025 Kananmunat	
	K1011 Lastulevy	K1020 Muovimatto	K1026 Muovimatto	
	K1012 Lastulevy		K1027 Muovimatto	
	K1013 Lastulevy		K1028 Lastulevy	
	K1014 Taustamittaus		K1029 Taustamittaus	
Menetelmä 1	Menetelmä 2	Menetelmä 4	Menetelmä 7	Menetelmä 9
	Menetelmä 3	Menetelmä 5	Menetelmä 8	
		Menetelmä 6		

### 3.3 Koekappaleiden vertailukelpoisuus

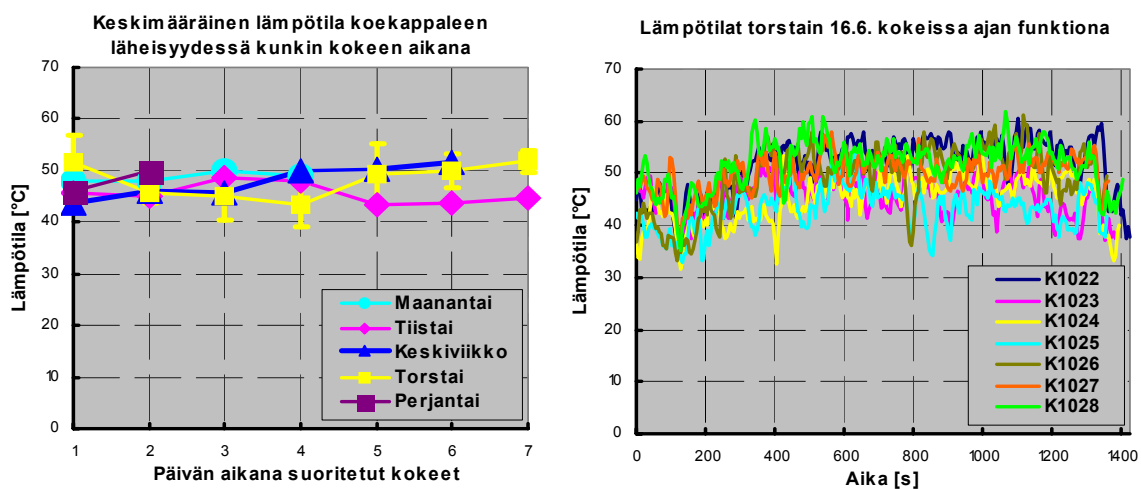
Jotta kaikille puhdistajille voitiin taata samanarvoiset koekappaleet, seurattiin laboratorioriohallin olosuhteita koeviikon aikana. Koeviikolla sää oli yleisesti ottaen hieman vaihteleva kesäsää. Jokaisen kokeen alussa kirjattiin ylös koehallin ilmanpaine, lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus. Näiden lisäksi seurattiin lämpötilaa, jossa koekappaleet altistuivat savulle, ja savun koostumusta.

Kaiken kaikkiaan koeviikon aikana suoritettiin 31 koetta (27 koetta ja 4 taustamittausta, ks. taulukko 3). Tuona aikana lämpötila vaihteli välillä 23–27 °C ja ilmanpaine välillä 101,3–102,4 kPa. Ilman suhteellinen kosteus vaihteli välillä 30–47 %. Tarkemmin ympäristön olosuhteiden vaihtelu koeviikon aikana näkyy kuvassa 5. Havaitut ilmanpaineen sekä ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaihtelut olivat niin pieniä, että niillä ei voi katsoa olleen vaikutusta savuallistukseen. Esimerkiksi yksi sateinen päivä olisi voinut helposti nostaa ilmankosteuden 70 %:n tasolle. Siihen nähden havaittu vaihtelu on pientä.



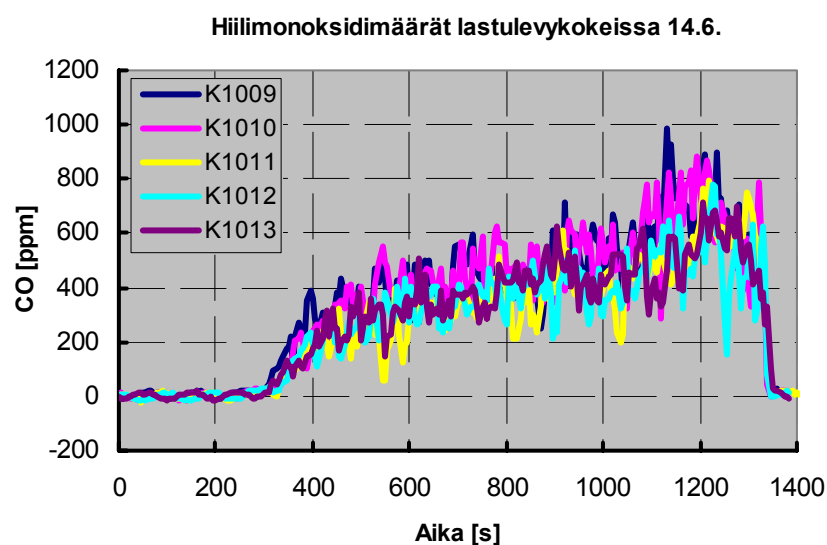
Kuva 5. Ympäristön olosuhteet koehallissa koeviikolla suoritetujen 31 kokeen aikana.

Ympäristön olosuhteiden lisäksi kiinnitettiin huomiota lämpötilaan, jossa kohdemateriaalit altistuivat savulle. Altistumislämpötilaa mitattiin termoelementillä, joka sijaitsi noin 10 cm koekappaleiden alapuolella. Koeviikolla suoritetujen 31 kokeen lämpötilakeskiarvot on esitetty kuvassa 6. Tämän kuvan perusteella voidaan todeta, että mitään hälyttävää heilahtelua lämpötiloissa ei ole havaittavissa. Myöskään systemaattisia vaihteluita, kuten lämpötilan nousua koepäivän loppua kohti, ei havaita. Torstain käyrään on lisäksi piirretty kunkin kokeen lämpötilan keskihajonta, joka on samaa suuruusluokkaa kuin päivittäisten keskiarvojen välinen vaihtelu. Kuvassa 6 on esitetty myös torstaina 16.6. suoritetujen seitsemän kokeen lämpötilamittaukset. Vaikka käyrien välillä näkyy vaihtelua, ei esiintyvä ero ole niin suuri, että koekappaleita tulisi pitää eriarvoisina altistumislämpötilan suhteen.

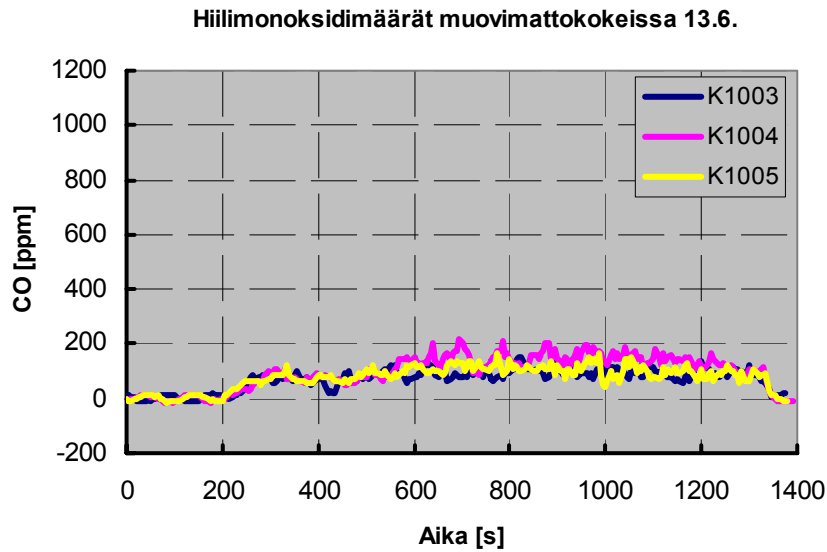


Kuva 6. Vasemmalla keskimääräinen lämpötila kohdekappaleen läheisyydessä kunkin kokeen aikana ja oikealla erään koesarjan aikaiset lämpötilamittaukset. Kuvasta nähdään, että perjantaina suoritettiin vain kaksi koetta, kun taas esimerkiksi torstaina suoritettiin 7 koetta. Kuvaan on piirretty myös torstaina suoritetujen kokeiden lämpötilan keskihajonnat.

Edellä esiteltyjen suureiden lisäksi tarkasteltiin myös kokeissa muodostuneen savun tasalaatuisuutta. Eroja ei ollut odotettavissa, sillä käytetyt palomateriaalit olivat tasalaatuisia. Kaikki poltetut muovimattopalat olivat peräisin samasta rullasta, lastulevyn palat olivat yhden valmistajan toimittamasta erästä ja käytetyt kananmunat olivat samanmerkkisiä. Savun tasalaatuisuuden mittarina käytettiin kokeiden aikana mitattuja hiilimonoksidipäästöjä. Kuvassa 7 on esitetty hiilimonoksidihavainnot viidessä peräkkäisessä kokeessa, joissa palomateriaalina oli lastulevy. Tässä on esitetty analyysin tulokset tarkasti lastulevykokeiden osalta, koska niissä havaitut hiilimonoksidimäärät olivat suurimpia eikä esimerkiksi kananmunakokeissa syntynyt hiilimonoksidia käytännössä ollenkaan. Kananmunakokeiden osalta savu olikin siinä mielessä tasalaatuista, että johdonmukaisesti missään kokeessa hiilimonoksidimäärä ei ylittänyt analysaattorien havaintokynnystä. Kuvan 7 lastulevykokeet suoritettiin 14.6. ja kaasuanalysaattorin suodatin vaihdettiin kokeiden K1009 ja K1010 välissä ja kokeiden K1011 ja K1012 välissä. Ennen koetta K1009 samalla suodattimella oli suoritettu kaksi koetta, joissa palomateriaalina oli kananmuna. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että savun hiilimonoksidipitoisuus lastulevyä poltettaessa saavutti huippunsa kokeen loppupuolella noin 1 000–1 400 sekunnin (17–23 minuutin) kuluttua kokeen alkamisesta. Kerätty data on melko kohinaista johtuen savupatsaan dynaamisuudesta. Jälleen voidaan todeta, että erot eri kokeiden hiilimonoksidimäärissä eivät ole merkityksellisiä. Kuvassa 8 on esitetty hiilimonoksidimäärät kolmessa peräkkäin suoritetussa muovimattokokeessa. Havaitaan, että muovimattokokeissa syntyvä hiilimonoksidin määrä on huomattavasti pienempi kuin lastulevykokeissa, eli alle 200 ppm. Erot esitetyissä käyrissä ovat hyvin pieniä ja koekappaleiden tasalaatuisuuden kannalta merkityksettömiä. Myös muissa lastulevy- ja muovimattokokeissa havaitut hiilimonoksidimäärät olivat samaa suuruusluokkaa kuin kuvien 7 ja 8 kokeissa. Tässä on kuitenkin esitetty hiilimonoksidihavainnot vain muutamista kokeista kuvien selvyuden säilyttämiseksi.



*Kuva 7. Havaitut hiilimonoksidimäärät 14.6. suoritetuissa peräkkäisissä lastulevykokeissa.*



*Kuva 8. Havaitut hiilimonoksidimäärät 13.6. suoritetuissa peräkkäisissä muovimattokokeissa.*

Yhteenvetona voidaan sanoa, että tuotetut koekappaleet olivat samanarvoisessa asemassa altistuessaan savulle ja siten niiden puhdistajat olivat tasa-arvoisessa asemassa toisiinsa nähden puhdistus- ja hajunpoistotoimenpiteiden alkaessa.

### **3.4 Koekappaleisiin sovelletut hajunpoistomenetelmät**

Koeviikon aikana laboratoriokokeisiin osallistuvien jälkisanerausyritysten edustajat käsitelivät VTT:n tutkimuskammioissa savulle altistettuja kohdemateriaalikappaleita. Kohdemateriaaleissa ei ollut varsinaista havaittavaa nokilaskeumaa, joten mekaanisen puhdistuksen osuus jäi pieneksi. Kuitenkin oli selvää, että hajunpoisto oli tarpeellinen operaatio. Yleensä palopaikalla juuri sellaisia kohteita pyritään puhdistamaan ja käsittelemään hajunpoistomenetelmin, jotka eivät ole likaantuneet tai vaurioituneet kohtuuttomasti.



*Kuva 9. Kontit ja kaksi puhdistajaa VTT:n tilojen takapihalla. Koekappaleiden puhdistus ja hajunpoisto suoritettiin kuvan konteissa.*

Puhdistajat suorittivat hajunpoisto- ja puhdistusoperaatiot kuvassa 9 esitetyissä konteissa siten, että kussakin kontissa toimi kerrallaan enintään yksi puhdistaja. Kontit sijoitettiin varjoisaan paikkaan kuvan 9 esittämällä tavalla. Kun puhdistaja oli saanut hänelle osoitetut koekappaleet VTT:n työntekijöiltä haltuunsa, hänellä oli vapaat kädet niiden suhteen. Ainoa rajoitus oli, että kaikki toimenpiteet tuli suorittaa puhdistajalle osoitetussa kontissa. Kahdeksan puhdistajaa sovelsi koekappaleisiin yhdeksää eri puhdistus- ja hajunpoistomenetelmää. Kukin puhdistaja antoi kirjallisen kuvauksen käyttämästään menetelmästä. Nämä kuvaukset on koottu alakohtiin 3.4.1–3.4.9.

### **3.4.1 Menetelmä 1 (kemiallinen)**

Kohdemateriaalit sumutettiin hajunmuokkauskemikaalilla. Tämän jälkeen puhdistaja arvioi kappaleen hajun aistinvaraisesti ja toisti käsittelyn tarpeen mukaan vahvemalla liuoksella. Kappaleita ei tarvinnut puhdistaa, vaan hajunpoistokäsittely oli riittävä. Ne kappaleet, jotka oli altistettu lastulevyn poltossa syntyvälle savulle, käsiteltiin hajunpoistokemikaalia ja vettä sisältävällä seoksella A. A-seosta sumutettiin kunkin koekappaleen molemmille puolille noin 6–7 ml. Lasivilla, vuorivilla ja kipsilevy, jotka oli altistettu kananmunasta syntyvälle savulle, käsiteltiin kemikaali-vesiseoksella B. Seosta B sumutettiin kappaleiden molemmille puolille noin 6–7 ml. Kananmunan savulle altistunut vaahtomuovikappale käsiteltiin kemikaali-vesiseoksella C. Sumutettu määrä oli sama kuin edellä. Muovimatosta syntyneelle savulle altistetut lasivilla, vuorivilla ja kipsilevy käsiteltiin kemikaali-vesiseoksella D. Kappaleisiin sumutettiin jälleen noin 6–7 ml seosta D molemmille puolille. Muovimaton savulle altistunut vaahtomuovikappale käsiteltiin kemikaali-vesiseoksella E.

Menetelmän 1 suorittaja sai koekappaleet käsittelyynsä sinä päivänä, jolloin koekappaleet oli altistettu savulle. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan kaksi vuorokautta.

### **3.4.2 Menetelmä 2 (kemiallinen)**

Ennen varsinaista hajunpoistoa kipsilevykappaleet imuroitiin ja pyyhittiin nokisienellä. Tässä vaiheessa kappaleista ei lähtenyt irti silminhavaittavaa likaa. Myös vaahtomuovikappaleet imuroitiin eikä niissäkään havaittu likaa. Lisäksi vaahtomuovikappaleet käytettiin hajunpoistoliuossumussa ja sen pintaan jäänyt hajunpoistoaine imettiin kanavapuhaltimella koekappaleen läpi. Koekappaleet asetettiin kontin hyllyille pystyasentoon ja konttiin asennettiin 3 kW:n lämmitin, joka säädettiin maksimiasentoon. Konttiin sumutettiin hajunpoistoliuosta noin minuutin ajan ja tämän jälkeen kontin ovet suljettiin. Kontin lämpötilaa ja kosteutta seurattiin tarkasti. Seuraavana päivänä kontti avattiin ja koekappaleet tarkastettiin. Lastulevyn savulle altistetuissa kappaleissa todettiin savunhajua, muissa kappaleissa havaittiin mieto hajunpoistokemikaalin tuoksu. Käsittelyä päätettiin jatkaa ja konttiin sumutettiin vajaan minuutin ajan hajunpoistoliuosta. Tämän jälkeen kontin ovet jälleen suljettiin ja lämpöpuhallin jätettiin päälle. Kolmantena päivänä kontti jälleen avattiin ja aloitettiin tuuletus puhaltimen avulla. Tuuletusta jatkettiin noin 3,5 tuntia. Kappaleet jätettiin tämän jälkeen edelleen konttiin ja lämmitys jätettiin päälle. Neljäntenä päivänä tuuletus toistettiin, tällä kertaa sitä jatkettiin noin 4,5 tuntia. Tämän jälkeen kappaleet luovutettiin VTT:lle analysoitaviksi. Työssä käytetyn hajunpoistoliuoksen vahvuus oli valmistajan ohjeen mukainen, eli 1 osa kemikaalia ja 9 osaa vettä. Toimenpiteen aikana ilmakeuhuus kontissa vaihteli 50 ja 60 %:n välillä lämpötilan ollessa noin 31 °C.

Hajunpoistomenetelmän 2 suorittajan koekappaleista lastulevyn ja kananmunan savuille altistetut koekappaleet tuotettiin samana päivänä kun hajunpoistokäsittely alkoi ja muovimaton savulle altistetut koekappaleet oli tuotettu edellisenä päivänä. Menetelmän 2 suorittaja piti koekappaleita hallussaan kolme vuorokautta.

### **3.4.3 Menetelmä 3 (lämmitys ja tuuletus)**

Ennen varsinaista hajunpoistoa kipsilevykappaleet imuroitiin ja pyyhittiin nokisienellä. Silminhavaittavaa likaa ei huomattu. Myös vaahtomuovikappaleet imuroitiin, eikä niissäkään lähtenyt irti silminhavaittavaa likaa. Hajunpoistoa varten koekappaleet asetettiin pystyasentoon kontin hyllyille ja konttiin asennettiin kaksi 3 kW:n lämmitintä. Lämmitimet säädettiin maksimiasentoon ja kontti suljettiin. Kontin lämpötilaa ja kosteutta seurattiin tarkasti koko prosessin ajan. Seuraavana päivänä koekappaleet tarkastettiin ja kaikissa kappaleissa havaittiin savunhajua. Voimakkainta hajua oli lastulevyn savulle

altistetuissa kappaleissa. Käsittelyä jatkettiin. Kolmantena päivänä kappaleet jälleen tarkastettiin ja edelleen kaikissa havaittiin savunhajua. Havaittu haju oli voimakkainta lastulevyn savulle altistetuissa kappaleissa, ja muissa kappaleissa havaittu haju oli hyvin mietoa. Käsittelyä jatkettiin edelleen. Neljäntenä päivänä havainnot olivat muuten samanlaisia kuin aiemmin, paitsi että havaittu haju oli miedompaa. Käsittelyä jatkettiin vielä kaksi kokonaista päivää ja kappaleet luovutettiin VTT:lle analysoitaviksi seitsämännän päivän aamuna. Toimenpiteen aikana ilmankosteus kontissa vaihteli noin 20 ja 30 %:n välillä lämpötilan ollessa noin 33 °C.

Hajunpoistomenetelmän 3 suorittajan koekappaleista lastulevyn ja kananmunan savuille altistetut koekappaleet tuotettiin samana päivänä kuin hajunpoistokäsittely alkoi ja muovimaton savulle altistetut koekappaleet oli tuotettu edellisenä päivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan kuusi vuorokautta.

#### **3.4.4 Menetelmä 4 (kemiallinen)**

Mineraalivilla- ja vaahtomuovikappaleet käsiteltiin suihkuttamalla niihin hajunpoistoliuosta n. 40–50 g/m<sup>2</sup>. Seuraavana päivänä koekappaleille suoritettiin aistinvarainen tarkastelu, jonka yhteydessä kappaleissa todettiin pieniä hajujäämiä. Käsittely toistettiin. Kipsilevykappaleen kohdalla toimittiin muutoin kuten edellä, paitsi että kemikaalia suihkutettiin 25–30 g/m<sup>2</sup>.

Hajunpoistomenetelmän 4 toteuttajan koekappaleista lastulevyn savulle altistetut kappaleet oli tuotettu edellisenä päivänä ja kananmunan ja muovimaton savuille altistetut kappaleet oli tuotettu hajunpoistokäsittelyn alkamispäivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan 5 vuorokautta.

#### **3.4.5 Menetelmä 5 (kemiallinen)**

Lämmöneristevillat ja vaahtomuovikappaleet puhdistettiin mikrosuodattimella varustetulla teollisuusimurilla. Tämän jälkeen höyryn avulla puristettiin kappaleisiin muokattuja mikrobeja noin 1,5 g/m<sup>2</sup>. Hajunpoisto suoritettiin aerosolimenetelmällä pisarakoon ollessa 0,5–1,0 µm. Hapettavaan orgaanisen- ja vetyperoksidin käyttövalmiiseen liuokseen lisättiin 8 % männynhavun hajustetta. Sekoitettua liuosta levitettiin noin 2,5 g/m<sup>3</sup>.

Hajunpoistomenetelmän 5 toteuttajan koekappaleista lastulevyn savulle altistetut kappaleet oli tuotettu edellisenä päivänä ja kananmunan ja muovimaton savuille altistetut kappaleet oli tuotettu hajunpoistokäsittelyn alkamispäivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan yhden vuorokauden.



### 3.4.6 Menetelmä 6 (ionisaattori)

Ennen varsinaista hajunpoistoa tarkastettiin, että kontti oli tiivis, jonka jälkeen kappaleet imuroitiin pyörösuulakkeella ja pyyhittiin nokisienellä. Tämän jälkeen kappaleet jätettiin konttiin neljäksi vuorokaudeksi ionisaattorin ollessa päällä teholla 2 (1–5). Ionisoitu ilma saatettiin liikkeelle puhaltimen avulla. Puhallinta käytettiin teholla 2 (1–3). Ionisoinnin jälkeen kontissa suoritettiin tunnin mittainen jälkituuletus. Tässä käytettiin apuna kanavapuhallinta teholla 150 l/s.

Hajunpoistomenetelmän 6 toteuttajan koekappaleista lastulevyn savulle altistetut kappaleet oli tuotettu edellisenä päivänä ja kananmunan ja muovimaton savuille altistetut kappaleet oli tuotettu hajunpoistokäsittelyn alkamispäivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan 5 vuorokautta.

### 3.4.7 Menetelmä 7 (kemiallinen)

Kaikki lastulevyn ja muovimaton savulle altistetut koekappaleet käsiteltiin sumuttamalla niille hajunpoistokemikaalia laimentamattomana. Näiden lisäksi myös kananmunan savulle altistettu kipsilevy käsiteltiin näin. Hajunpoistokemikaali levitettiin kohdemateriaaleihin matalapainesumuttimella. Kutakin koekappaletta kohti käytettiin noin 2 g kemikaalia. Hajunpoistoaineen annettiin vaikuttaa noin yhden vuorokauden ajan, jonka jälkeen konttia tuuletettiin puhaltimen avulla noin tunnin ajan. Normaalisissa jälkisaneraustilanteessa tässä käytettyä hajunpoistoainetta käytetään noin 1 litra 1 000 m<sup>3</sup> suuruiseen huonetilaan (esim. 20 m x 20 m x 2,5 m). Toisin sanoen, noin 100 g aktiiviainetta levitetään hienojakoisena sumuna noin 1 000 m<sup>2</sup> suuruiselle pinta-alalle olettaen, että tila on niukasti kalustettu. Tällöin käsittelylaitteena on aerosolisumutin, jonka tuottaman sumun pisarakoko on 10–50 µm. Vaikutusaika normaalitilanteessa on vähintään 24 tuntia ja enimmillään noin 2 viikkoa. Tässä sovelletussa hajunpoisto- ja desinfektioimenetelmässä käytetään vaikutukseltaan hapettavaa nestettä, joka koostuu orgaanisesta peroksidista ja vetyperoksidista sekä veden ja propeeniglykolin sekoituksesta. Loput kananmunan savulle altistetut kappaleet, eli lasivilla, vuorivilla ja vaahtomuovi, käsiteltiin eri hajunpoistoaineella. Hajunpoistoainetta käytettiin jälleen noin 2 g koekappaletta kohti. Käsittelyn jälkeen kappaleet huuhdottiin höyrypesimellä, joka tuotti noin 1,5 kg höyryä tunnissa ja jonka imuteho/alipaine oli noin 2 000 vpm. Hajunpoistoaineen annettiin vaikuttaa yhden vuorokauden ajan. Käsittelyn jälkeen konttia tuuletettiin tunnin ajan, kuten edellä on kuvailtu. Jälkimmäiseen tapaukseen sovellettu hajunpoistoaine on hapettava ja biofilmiä sekä saostumia poistava puhdistusaine, joka koostuu vetyperoksidista, polykarboksyylihaposta, tensideistä ja vedestä. Normaalisissa jälkisaneraustilanteessa tätä käytetään tekokuituisten kalusteiden ja sisustuksen pehmustepintojen puhdistamiseen siten, että ensin kohdekappale imuroidaan suodattimella varustetulla pölynimurilla ja tämän

jälkeen kyseinen hajunpoistoaine levitetään matalapainesumuttimella. Vaikutusajan kuluttua kappale huuhdellaan joko painehuuhtelulaitteella tai imurilla varustetulla höyrypesimellä. Tämän jälkeen kappale kuivataan puhaltimia ja kosteudenpoistajia käyttäen.

Hajunpoistomenetelmän 7 toteuttajan kaikki koekappaleet tuotettiin hajunpoistokäsittelyn alkamispäivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan yhden vuorokauden.

#### **3.4.8 Menetelmä 8 (otsonaattori)**

Koekappaleet aseteltiin kontissa olleille puuhyllyille pystyasentoon ja konttiin tuotiin otsonaattori. Kontti suljettiin ketjuilla niin, että ovien väliin jäi noin 10 mm:n rako korvausilman saamiseksi konttiin. Käytetyn otsonaattorin volyymivirta on noin 150 m<sup>3</sup> tunnissa. Tilaa otsonoitiin noin 24 tuntia, jona aikana ilmaa kierrätettiin kontissa lisätuulettimilla. Kun otsonointi lopetettiin, oli kontin otsonipitoisuus noin 1 ppm ( $\pm 20$  % mittausvirhe). Otsonoinnin lopettamisen jälkeen konttia tuuletettiin tuulettimin noin tunnin ajan.

Hajunpoistomenetelmän 8 toteuttajan kaikki koekappaleet tuotettiin hajunpoistokäsittelyn alkamispäivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan yhden vuorokauden.

#### **3.4.9 Menetelmä 9 (kemiallinen)**

Ennen hajunpoiston aloittamista koekappaleet tutkittiin lian varalta, mutta tarvetta mekaaniselle puhdistamiselle ei havaittu. Koekappaleet aseteltiin kontissa olleille hyllyille pystyasentoon käsittelyn ajaksi. Hajunpoistolaite (öljykennopumppu, joka pumppaa ilmaa öljykennostoa pitkin) käynnistettiin ja toiminta-ajaksi säädettiin 4 tuntia. Laitteessa käytettiin sitruskennoa 50 %:n teholla. Laitteen sammuttamisen jälkeen koekappaleet olivat kontissa vielä 3 vuorokautta. Tämän jälkeen suoritettiin noin tunnin mittainen jälkituuletus, jonka jälkeen koekappaleet luovutettiin VTT:lle.

Hajunpoistomenetelmän 9 toteuttajan lastulevyn savulle altistetut koekappaleet tuotettiin hajunpoistokäsittelyä edeltävänä päivänä ja muovimaton ja kananmunan savuille altistetut kappaleet tuotettiin käsittelyn alkamispäivänä. Suorittaja piti koekappaleita hallussaan 3 vuorokautta.

## 3.5 Käytetyt arviointimenetelmät

### 3.5.1 Aistinvaraiset arvioinnit

#### 3.5.1.1 VTT Palo

VTT:n paloturvallisuusryhmän työntekijät (2–3) arvioivat altistetut koekappaleet aistinvaraisesti pian altistuksen jälkeen. Näillä paloturvallisuusryhmän jäsenillä ei ole koulutusta sisäilman laatuun liittyen eikä siten asiantuntijalausannon tekemiseen vaadittavaa tietoa tai kokemusta. Ympäristö, jossa haistelu tehtiin, oli kontrolloimaton, eikä haistelujen välillä pidetty mitään säännöllisiä taukoja. Myös puhdistajat suorittivat aistinvaraisen arvioinnin kontrolloimattomassa ympäristössä. He arvioivat vain ne koekappaleet, joita itse käsittelivät. Puhdistajat arvioivat koekappaleet siinä yhteydessä, kun VTT Palo luovutti ne heille. Koekappaleet arvioitiin tällä tavalla myös hajunpoistokäsittelyn jälkeen.

#### 3.5.1.2 VTT Sisäilma

Emissioiden aistinvarainen arviointi suoritettiin soveltaen rakennusmateriaalien luokituksessa käytettävää testausprotokollaa. Arvioitava materiaali asetettiin 0,1 m<sup>3</sup> alumiinikammioon/0,05 m<sup>3</sup> lasikammioon (kuva 10) ja hajun arviointi suoritettiin käyttäen VTT:n sisäilmakemian ryhmän henkilökunnasta koostuvaa kouluttamatonta paneelia, jonka jäsenillä on laaja ja pitkäaikainen kokemus sisäilman laadun aistinvaraisesta arvioinnista. Koska arviointien välillä ei suoritettu nenän kalibrointia, paneelia kutsutaan kouluttamattomaksi. Paneeli arvioi kammioilman hyväksyttävyyttä kuvan 11 mukaisella kaavakkeella. Paneeli antaa aistitulle hajulle hyväksyttävyyssarvon asteikoilta -1,0...-0,1 (täysin ei hyväksyttävä – juuri ei-hyväksyttävä) ja +0,1...+1,0 (juuri hyväksyttävä – täysin hyväksyttävä). Materiaaleja ei tasaannutettu kammioissa, vaan kammioilman laatu arvioitiin lähes välittömästi näytteen kammioon asettamisen jälkeen.



*Kuva 10. Näytteen aistinvarainen arviointi alumiinikammioista. Suppilosta haistellaan kammioilmaa ja sitä arvioidaan kuvan 11 mukaisen kaavakkeen tehtävänannon mukaan.*

## MATERIAALIEN AISTINVARAINEN TESTAUS

Kammio no: \_\_\_\_\_

Päivämäärä \_\_\_\_\_

Testaaja \_\_\_\_\_

Ohje: Kuvittele, että päivittäisen työpaikkasi ilma olisi kammion ilman kaltaista. Päätä onko kammion ilma hyväksyttävää vai ei. Tämän jälkeen merkitse viiva vasemmanpuoleiseen asteikkoon 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

Kuva 11. Materiaalin aistinvaraisessa arvioinnissa käytetty kaavake.

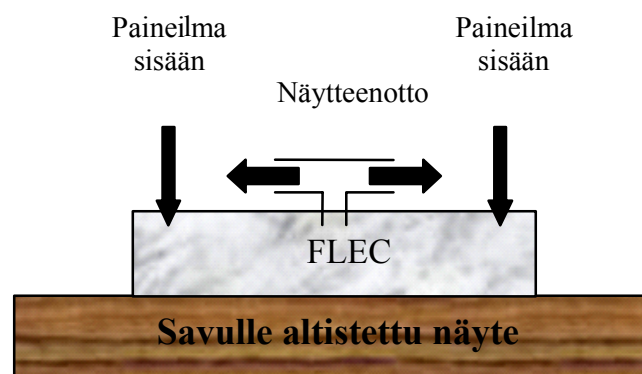
### 3.5.2 Kemialliset analyysit

#### 3.5.2.1 FLEC-näytteenotto

Näytekappaleiden emissiomittaukset suoritettiin FLEC-tekniikalla (Field and Laboratory Emission Cell) VTT:n menetelmäohjeen mukaisesti (VTT:n menetelmäohje). FLEC on alapuolelta avoin ruostumattomasta teräksestä valmistettu emissiotutkimuskammio, joka tiivistetään tutkittavan pinnan päälle. Menetelmä on havainnollistettu oheisissa kuvissa 12 ja 13.



*Kuva 12. FLEC-näytteenotto vuorivillanäytteestä.*



*Kuva 13. FLEC-näytteenoton periaate.*

### 3.5.2.2 VOC

Näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen näytteensyöttöön termodesorptio-tekniikkaa (GC/MSD). Analysointiin käytetty kaasukromatografi on varustettu liekki-ionisaatio-detektorilla (FID) ja massaselektiivisellä detektorilla. Laitteisto näkyy kuvassa 14. Menetelmä on akkreditoitu. Yksittäisten VOC-yhdisteiden alin määrittäysraja on yhdisteestä riippuen 0,1–1 µg/m<sup>3</sup>.



*Kuva 14. VOC-näytteiden analysointi GC/MSD-laitteistolla.*

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio, TVOC, laskettiin liekki-ionisaatiodetektorin kromatogrammin kokonaispinta-alasta väliltä heksaani-heksadekaani toluenin vastetekijän avulla. Näytteissä esiintyneet yksittäiset VOC-yhdisteet tunnistettiin massaselektiivisen detektorin kokonaisioni-kromatogrammista spektrikirjaston perusteella. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet on laskettu yhdisteen FID-grammista piikin pinta-alan ja toluenin vastetekijän perusteella. Yksittäisten VOC-yhdisteiden tunnistuksia ei ole varmennettu malliaineilla.

### 3.5.2.3 PAH

Sisäilman ja pintojen PAH-yhdisteet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) kerättiin XAD-putkiin vastaavalla periaatteella kuin haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin Tenax-putkiin. Näytteiden PAH-yhdisteet määritettiin niiden tolueniutteista kaasukromatografia-massaspektrometrisesti SIM-tekniikalla (Selected Ion Monitoring). Kvantitointi tehtiin sisäisen standardin menetelmällä (d10-pyreeni, β,β-binaftyylä, indeno(1,2,3-cd)fluoranteeni). Menetelmän määrittäysraja on 0,01 µg/näyte. Naftaleenipitoisuus esitetään semikvantitatiivisesti.

## 3.6 Laboratoriokokeiden tulokset

### 3.6.1 Altistamattomien kohdemateriaalien emissiot

Ennen laboratoriokokeiden alkua sisäilmakemian ryhmälle toimitettiin analysoitaviksi näytteet kohdemateriaaleista, joita ei ollut altistettu savulle. Altistamattomien kohdemateriaalien emissioiden tunteminen on välttämätöntä savuallistuksen todellisen vaikutuksen arvioimiseksi.

Lasivillasta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 33  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja näytteen emissioista tunnistettiin erityisesti ksyleenejä, silyyliyhdisteitä ja aldehydejä.

Altistamattomasta vuorivillanäytteestä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 55  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Vuorivillanäytteen emissioista tunnistettiin vuorivillan emissioille tyypillisiä yhdisteitä, kuten ksyleenejä, etyylibentseeniä ja aldehydejä.

Altistamattoman kipsilevystä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 25  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja näytteen yksittäisistä yhdisteistä tunnistettiin aldehydejä ja syklisiä hiilivetyjä.

Vaahtomuovista emittoituvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 100  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja yksittäisistä yhdisteistä tunnistettiin hiilivetyjä ja ketoneja.

Kaikkien kohdemateriaalien emissiot ennen savuallistusta alittivat Rakennusmateriaali-  
luokituksen parhaan ryhmän M1 raja-arvon 200  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  (Rakennustietosäätiö 2005).

### 3.6.2 Palamisessa syntyneet yhdisteet

#### 3.6.2.1 Lastulevyn savun yhdisteet

Lastulevyn poltossa syntyneestä savusta mitattu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli 82 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Runsaimmin savussa esiintyi etikkahappoa, jonka pitoisuus oli 17 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kyseinen yhdiste on lastulevyssä tyypillinen. Muut tunnistetut yhdisteet olivat metoksifenolit, pyrroliyhdisteet, furaaniyhdisteet ja alkyylibentseenit, jotka ovat savukaasuissa tyypillisesti esiintyviä yhdisteitä.

#### 3.6.2.2 Muovimaton savun yhdisteet

Muovimaton poltossa syntyneessä savussa oli suuri määrä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Arvioitu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli yli 10 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Yksittäisten yhdisteiden erittäin suurista pitoisuuksista johtuen analysointilaitteen kapasiteetti ei riittänyt erottelemaan tarkasti yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia. Vaikka lastulevyn poltossa syntyi enemmän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kuin muovimaton poltossa, oli lastulevyn palaessa syntyneessä savussa yhden yksittäisen yhdisteen pitoisuus hallitseva ja tästä syystä muiden yhdisteiden erottuminen/analysointi onnistui. Muovimaton poltossa syntyneessä savussa ei yhtä dominoivaa yhdistettä esiintynyt, ja tästä syystä yksittäisten yhdisteiden erottaminen oli mahdotonta. Muovimaton poltossa syntyneestä savusta tunnistettiin suuria määriä aldehydejä, erityisesti tyydyttymättömiä aldehydejä, joilla on alhaiset hajukynnysarvot. Lisäksi tunnistettiin yleensä savulle tyyppillisiä furaaniyhdisteitä, fenolisia yhdisteitä sekä naftaleeniyhdisteitä.

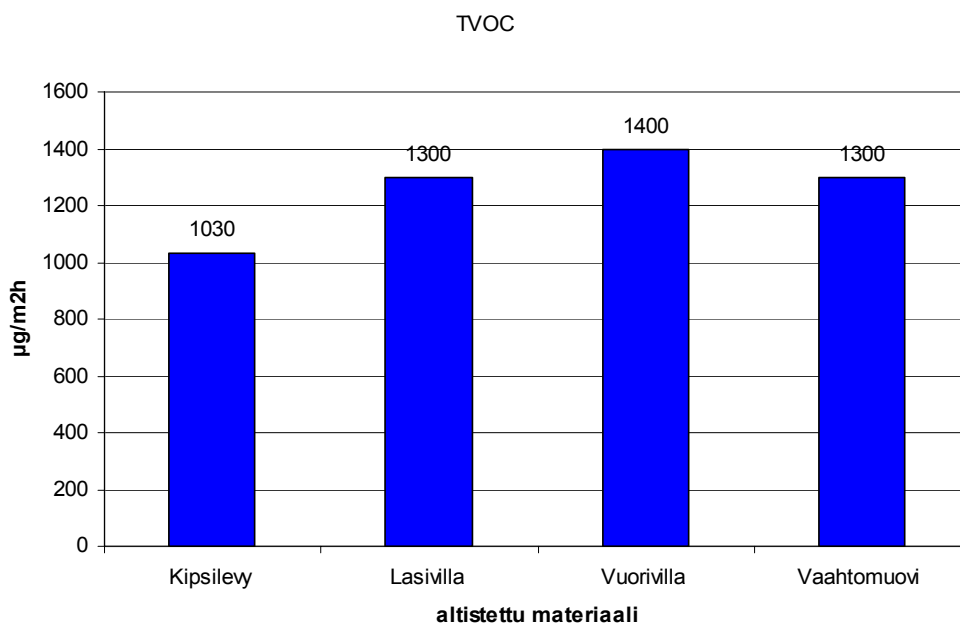
### 3.6.2.3 Kananmunan savun yhdisteet

Kananmunan poltossa syntyvässä savussa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli 400 µg/m<sup>3</sup>. Tunnistetut yhdisteet olivat aldehydejä, karboksyylihappoja sekä rikkiyhdisteitä kuten esimerkiksi dimetyylisulfidi.

## 3.6.3 Altistettujen koekappaleiden emissiot ennen hajunpoistokäsittelyä

### 3.6.3.1 Lastulevyn savulle altistetut materiaalit

Kuvasta 15 nähdään, että haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kaikissa lastulevyn savulle altistetuissa kohdemateriaaleissa samaa suuruusluokkaa.



Kuva 15. Lastulevyn savulle altistettujen kohdemateriaalien kokonaisemissiot.

Kipsilevyn emissioista tunnistettiin savulle tyypillisiä yhdisteitä, kuten alkoksifenoleja, furaaniryhdyhdisteitä, aromaattisia yhdisteitä sekä kresoleja. Kyseiset yhdisteet eivät ole tyypillisiä altistamattomalle kipsilevylle.

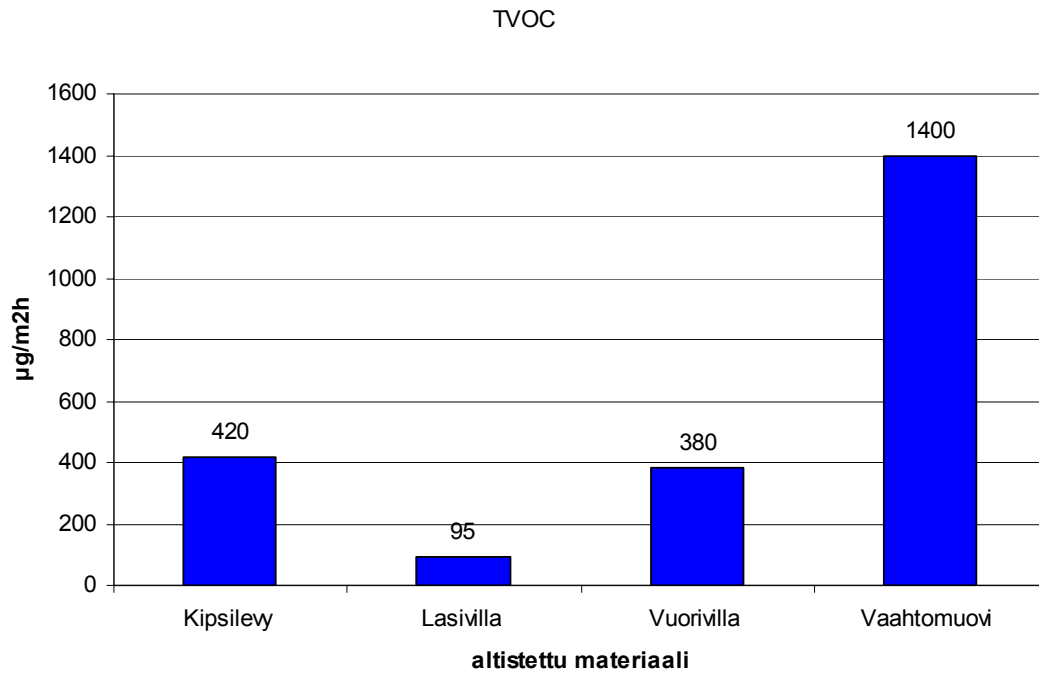
Vuorivillan emissioista tunnistettiin savuallistuksen jälkeen fenolisia yhdisteitä, kuten metyyliifenoleja ja alkoksifenoleja, jotka tuottivat selkeästi suurimmat emissiot. Lisäksi tunnistettiin aromaattisia yhdisteitä ja naftaleenisia yhdisteitä sekä pyratsiinia, furaaneja ja kresoleja. Nämä yhdisteet ovat savulle ja savun hajulle ominaisia yhdisteitä. Näistä aromaattiset yhdisteet ovat tyypillisiä myös altistamattomalle vuorivillalle, mutta savulle altistetussa vuorivillassa esiintyneet aromaattisten yhdisteiden emissiot olivat selkeästi suurempia kuin altistamattoman vuorivillan vastaavien yhdisteiden emissiot.

Myös lasivillan emissioista tunnistettiin alkoksi- ja metyyliifenoleja, aromaattisia yhdisteitä, naftaleenipyratsiinia ja muita pyrroliyhdisteitä sekä kresoleita. Näistä aromaattiset yhdisteet ovat tyypillisiä altistamattoman lasivillan omille emissioille, mutta tunnistetut määrät olivat altistetussa lasivillassa selkeästi suuremmat kuin altistamattoman lasivillan ominaisemissiot.

Lastulevyn savulle altistetun vaahtomuovin emissioista suurin osa oli furfuraaleja, joiden hajukynnysarvot ovat erittäin matalat ja jotka saavat aikaan erittäin pistävän ja pahan hajun. Lisäksi vaahtomuovissa tunnistettiin savulle tyypillisiä alkyylifenoleja. Vaahtomuovin ominaisemissiot eivät sisältäneet furfuraaleja tai alkyylifenoleja.

### 3.6.3.2 Muovimaton savulle altistetut materiaalit

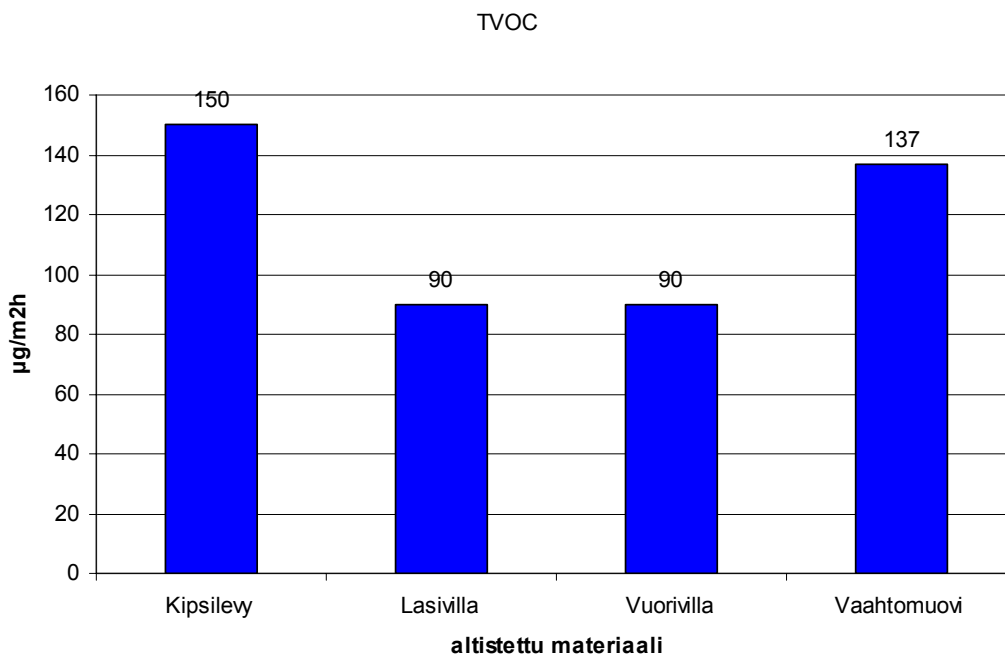
Kuvasta 16 nähdään, että muovimaton palaessaan tuottaman savun sisältämät yhdisteet absorboituivat eri tavoin eri kohdemateriaaleista valmistettuihin koekappaleisiin. Esimerkiksi lasivillan kokonaisemissio altistuksen jälkeen oli  $95 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , kun taas vaahtomuovin kokonaisemissio oli huomattavasti suurempi. Kipsilevyn emissioista tunnistettiin savuallistuksen jälkeen alkyylibentseeniä ja naftaleenisia yhdisteitä. Kyseiset yhdisteet eivät ole tyypillisiä altistamattomalle kipsilevylle. Vuorivillan emissiot olivat savuallistuksen jälkeen erittäin pienet. Lasivillan emissioista tunnistettiin savulle tyypillisiä alkyylifenoleja. Vaahtomuovin emissioista tunnistettiin erityisesti aromaattisia hiilivetyjä.



*Kuva 16. Muovimaton poltossa syntyneelle savulle altistettujen materiaalien kokonaisemissiot.*

### 3.6.3.3 Kananmunan savulle altistetut materiaalit

Kananmunan poltossa syntyneelle savulle altistettujen kohdemateriaalien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot olivat altistuksen jälkeen samaa suuruusluokkaa ja ne on esitetty kuvassa 17. Villanäytteiden, sekä lasi- että vuorivillan, kokonaisemissiot olivat yhtä suuret altistuksen jälkeen. Kananmunan pyrolyysissä syntyneen savun yhdisteistä aldehyditi absorboituivat parhaiten villanäytteisiin. Kipsilevyn emissioista tunnistettiin aldehydejä ja hiilivetyjä, lasivillan emissioista aldehydejä ja indolijhdiste, vuorivillan emissioista tunnistettiin aldehydejä, ja vaahтомуovin emissioista tunnistettiin alkyylibentseenejä.



Kuva 17. Kanamunan poltossa syntyneelle savulle altistettujen materiaalien kokonaisemissiot.

### 3.6.4 Altistettujen ja hajunpoistokäsiteltyjen koekappaleiden emissiot ja aistinvarainen arviointi

#### 3.6.4.1 Lastulevyn savulle altistettu lasivilla

Lastulevyn poltossa syntyvälle savulle altistetun lasivillan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistoa 1 300 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 1:** Hajunpoistokäsittelyn jälkeen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli laskenut koekappaleessa AL1 huomattavasti arvoon 34 µg/m<sup>2</sup>h, ja käsittelyn jälkeen näytteen hajua kuvattiin pesuainemaiseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,28, ja näytteen emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet olivat estereitä.

**Menetelmä 2:** Myös hajunpoistomenetelmä 2 vähensi savulle altistetun koekappaleen AL2 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota selkeästi arvoon 40 µg/m<sup>2</sup>h. Tyypillisimmät tunnistetut yhdisteet olivat estereitä. Koekappaleen hajua kuvailtiin heikosti kemialliseksi. Tämä näkyy näytteen hyväksyttävyyssarvossa, joka oli +0,5.

**Menetelmä 3:** Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio laski hajunpoistomenetelmällä 3 arvoon 274 µg/m<sup>2</sup>h, ja koekappale AL3 todettiin aistinvaraisessa arvioissa

lähes hajuttomaksi (hyväksyttävyyssarvo +0,9). Kappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat hiilivetyjä.

**Menetelmä 4:** Hajunpoistomenetelmä 4 kasvatti koekappaleen AL4 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission tasolle 16 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Suurin osa tunnistetuista yhdisteistä oli hiilivetyjä. Koekappaleen hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen heikoksi ja kemialliseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,65.

**Menetelmä 5:** Hajunpoistomenetelmä 5 tuotti koekappaleeseen AL5 huomattavan propyleeniglykoli-emission, joka todettiin pesuainemaisena hajuna näytteessä. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,18, ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 23 700  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 6:** Koekappaleen AL6 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio laski huomattavan alhaiseksi hajunpoistokäsittelyn jälkeen, mutta hajunpoistomenetelmä ei silti poistanut koekappaleessa ollutta savun hajua. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,4. Kappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat pääasiassa aldehydejä.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 ei poistanut koekappaleesta AL7 savun hajua, vaan se aistittiin käsittelyn jälkeenkin erittäin voimakkaana. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäikin ei-hyväksyttävään arvoon -0,62. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 4 582  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja koekappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat pääasiassa aldehydejä.

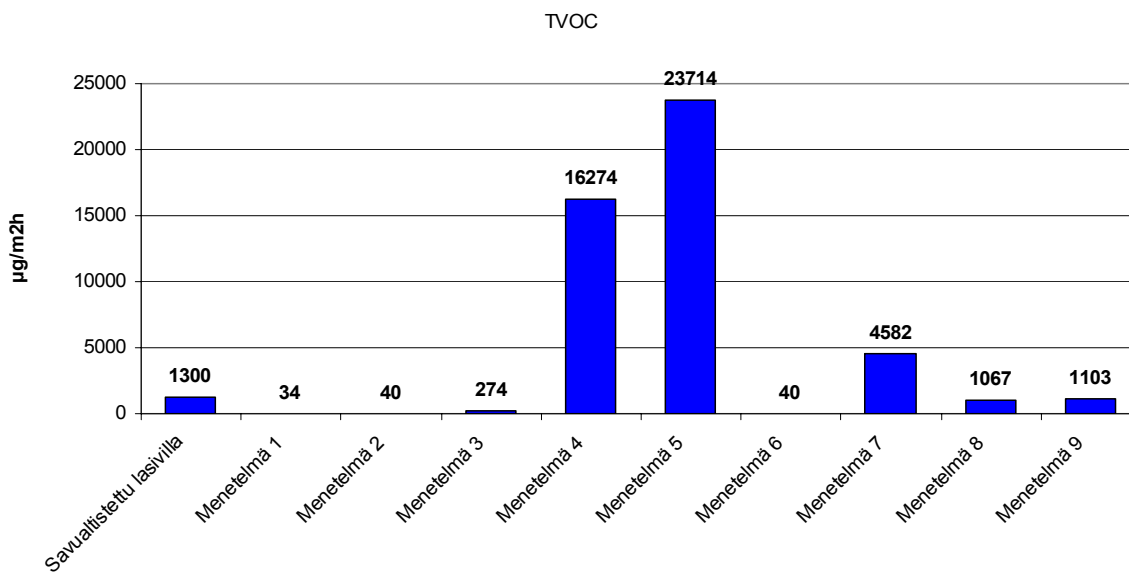
**Menetelmä 8:** Koekappaleessa AL8 havaittiin karvas ja voimakas savun haju vielä hajunpoistokäsittelyn jälkeenkin. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi lähes täysin ei-hyväksyttäväksi arvolla -0,75. Koekappaleen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 1 067  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja näytteen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat aldehydejä ja estereitä.

**Menetelmä 9:** Hajunpoistokäsittelyn jälkeen koekappaleen AL9 emissioista tunnistettiin fenyylilyhdisteitä ja hiilivetyjä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission ollessa 1 100  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen heikoksi ja savumaiseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,15.

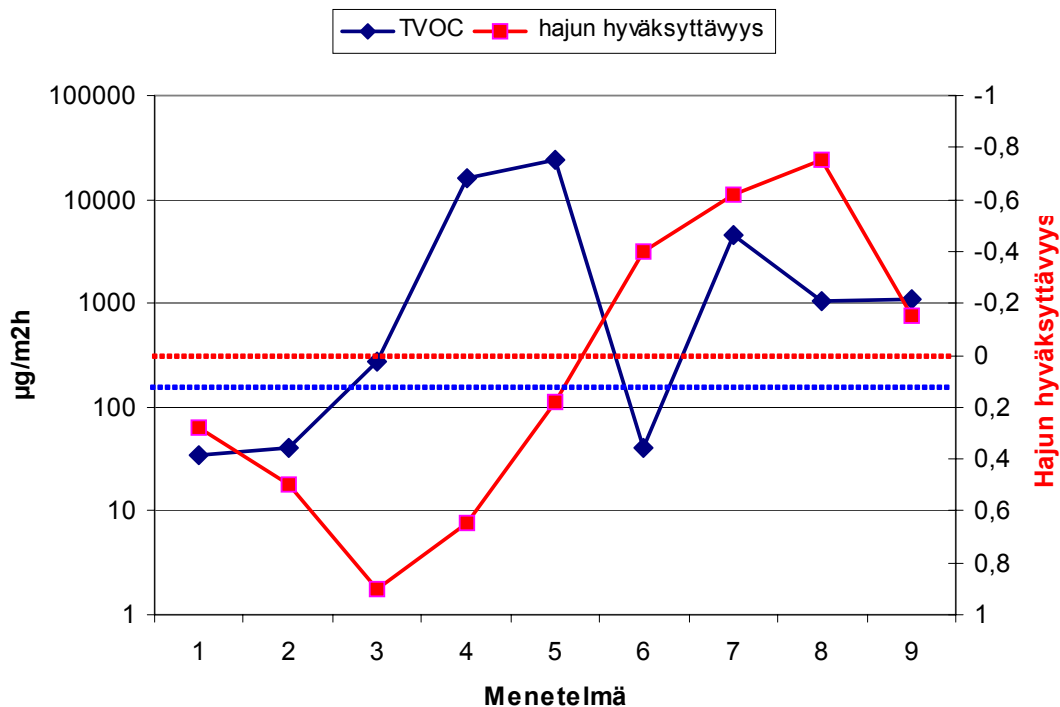
Taulukossa 4 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 18 ja 19 on esitetty hajunpoistokäsitteltyjen, lastulevyn savulle altistettujen lasivillakoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

Taulukko 4. Yhteenveto AL-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Pesuaine, hajuste	0,28	34	Estereitä
2.	Heikko kemiallinen	0,5	40	Estereitä
3.	Hajuton	0,9	274	Hiilivetyjä
4.	Heikko kemiallinen	0,65	16 274	Hiilivetyjä
5.	Pesuaine	0,18	23 714	Propyleeniglykolia
6.	Savu	-0,4	40	Aldehydejä
7.	Savu, voimakas	-0,62	4 582	Aldehydejä
8.	Karvas, voimakas savu	-0,75	1 067	Aldehydejä, estereitä
9.	Heikko savu	-0,15	1 103	Fenyyliyhdisteitä, hiilivetyjä



Kuva 18. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa AL1-9. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän savuaistitetun lasivillan kokonaisemissiota.



Kuva 19. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan lastulevyn poltossa syntyneelle savulle altistetuissa lasivillanäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyksrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.2 Muovimaton savulle altistettu lasivilla

Muovimaton poltossa syntyvälle savulle altistetun lasivillan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä  $95 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 laski haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota hieman arvoon  $70 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen AM1 hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,4 ja sen hajua kuvattiin metallimaiseksi. Koekappaleen emissioista tunnistettiin aldehydejä ja karboksyylihappoja.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 laski koekappaleen AM2 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission arvoon  $44 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja koekappaleen yksittäisistä emissioista tunnistettiin aldehydejä ja estereitä. Koekappaleen hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,8, ja hajua kuvattiin metallimaiseksi.

**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmä 3 tuotti käsittelyn jälkeen hajuttomimman koekappaleen hyväksyttävyyssarvion ollessa lähes täysin hyväksytty arvolla +0,88. Koekappaleeseen AM3 jäänyttä hajua kuvattiin metallimaiseksi. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonai-

semissio oli hieman kasvanut hajunpoistokäsittelmättömään altistettuun näytteeseen verrattuna ollessa 143  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Emissioista tunnistetut yhdisteet olivat alifaattisia hiilivetyjä.

**Menetelmä 4:** Hajunpoistomenetelmä 4 nosti koekappaleen AM4 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission arvoon 16 435  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Yksittäiset emissiot aiheutuivat pääosin alifaattisista hiilivedyistä. Koekappaleen hajua kuvattiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen heikosti kemialliseksi, ja hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,5.

**Menetelmä 5:** Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,6, ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kasvanut tasolle 19 900  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , josta 85 % oli propyleeniglykolia. Koekappaleen AM5 haju oli muuttunut menetelmän 5 ansiosta kemialliseksi, mikä huomattiin myös melko korkeana hajun hyväksyttävyyssarvona.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 vähensi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota hieman, mutta ei vaikuttanut silti positiivisesti havaittuun hajuun. Koekappaleen AM6 hajua kuvattiin edelleen savumaiseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,18, mikä selittyy näytteen emissioista tunnistetuilla yksittäisillä yhdisteillä. Näitä olivat erityisesti esterit ja aldehydit, joiden yleisesti tiedetään olevan hajuhaittayhdisteitä.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 nosti koekappaleesta AM7 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota huomattavasti tasolle 38 600  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja lisäksi jätti koekappaleeseen erittäin pahan ja karvaan hajun. Haju saikin alhaisen hyväksyttävyyssarvon -0,8, mikä vastaa lähes täysin ei-hyväksyttävää hajua.

**Menetelmä 8:** Hajunpoistomenetelmä 8 ei lisännyt koekappaleen AM8 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota huomattavasti, mutta ei myöskään vähentänyt savulle tyypillisten yhdisteiden määrää. Tämä näkyi koekappaleen hajun hyväksyttävyyssarviossa, joka jäi selkeästi ei-hyväksyttävälle asteikolle arvolla -0,65. Alhainen arvo johtui juuri koekappaleen emissioista tunnistetuista fenolisista yhdisteistä, jotka ovat ominaisia savun hajulle.

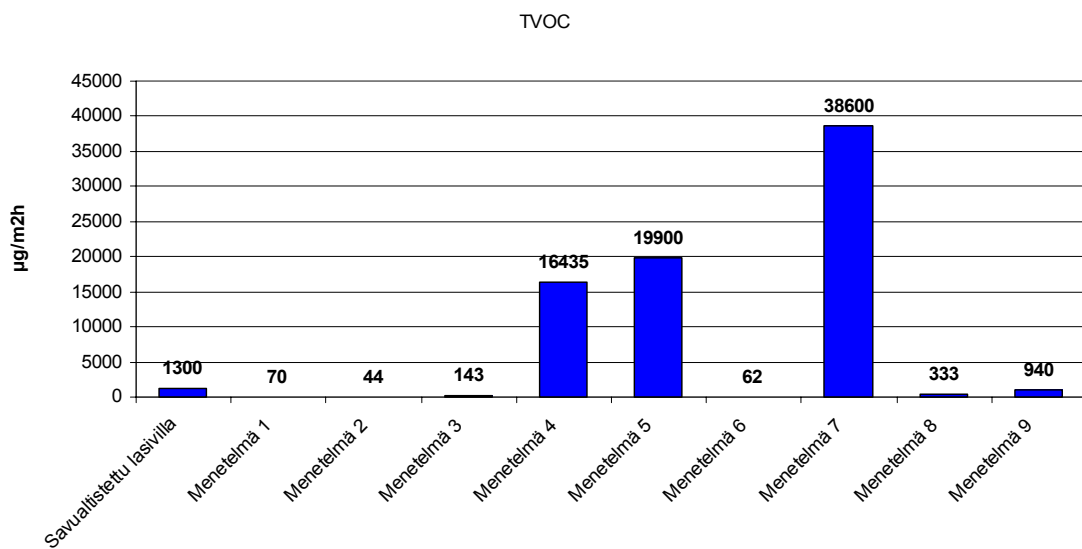
**Menetelmä 9:** Hajunpoistomenetelmän 9 soveltamisen jälkeen koekappaleeseen AM9 jääneet esteriyhdisteet saivat aikaan heikon kemiallisen hajun, mikä nosti koekappaleen hajun hyväksyttävyyssarvon tasolle +0,7. Koekappaleen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 940  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

Taulukossa 5 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 20 ja 21 on esitetty hajunpoistokäsiteltyjen, muovimaton savulle altistettujen lasivillakoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

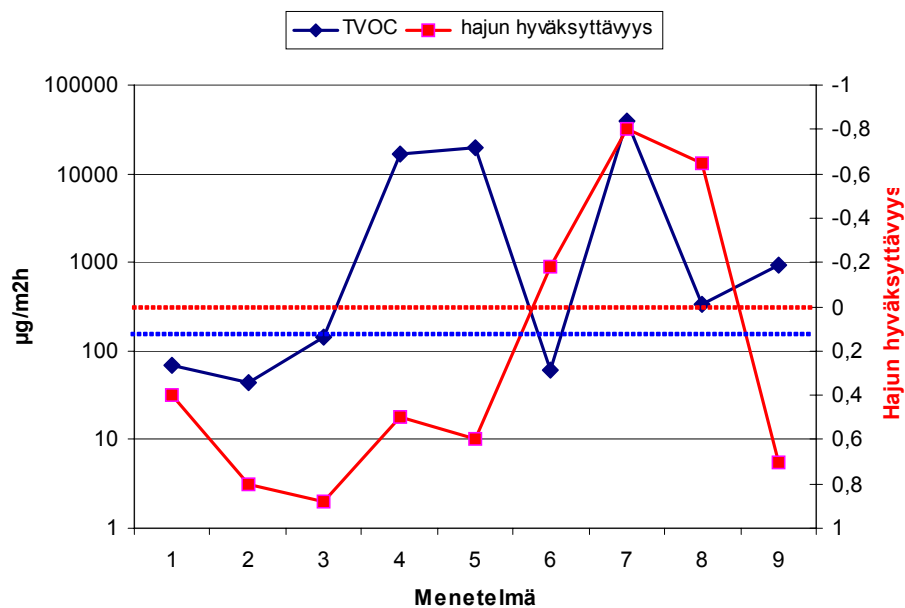


Taulukko 5. Yhteenvedo AM-koekappaleista eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Metalli	0,4	70	Aldehydit, hapot
2.	Metalli	0,8	44	Aldehydit esterit
3.	Metalli	0,88	143	Alifaattiset hiilivedyt
4.	Heikko kemiallinen	0,5	16 435	Alifaattiset hiilivedyt
5.	Kemiallinen	0,6	19 900	Propyleeniglykolia 85 %
6.	Heikko savu	-0,18	62	Esterit, aldehydit
7.	Paha, karvas	-0,8	38 600	Esterit, naftaleeniset yhdisteet
8.	Savu	-0,65	333	Fenoliset yhdisteet
9.	Heikko kemiallinen	0,7	940	Esterit



Kuva 20. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot käsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän muovimaton savulle altistetun lasivillakappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 21. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvon mukaan muovimaton poltossa syntyneelle savulle altistetuissa lasivillanäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyserajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-rajaa-arvoa.

### 3.6.4.3 Kananmunan savulle altistettu lasivilla

Kananmunan poltossa syntyvälle savulle altistetun lasivillan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä  $90 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 ei tehnyt suurta muutosta koekappaleen kokonaisemissioon sen ollessa käsittelyn jälkeen tasolla  $83 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen AK1 yksittäisistä yhdisteistä tunnistettiin estereitä ja furaaniyhdisteitä, mutta määrät olivat erittäin pieniä. Koekappaleen hajukin oli siten heikko. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,75, ja sitä kuvattiin kemialliseksi.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 lasi koekappaleen AK2 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota arvoon  $40 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Tunnistetut yksittäiset yhdisteet koekappaleen emissioissa olivat estereitä ja hiilivetyjä. Hajunkuvaus käsittelyn jälkeen oli heikko ja kemiallinen. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,68.

**Menetelmä 3:** Koekappaleesta AK3 tuli lähes hajuton hajunpoistomenetelmän 3 ansiosta. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $76 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja yksittäisten yhdisteiden emissioista tunnistettiin pääosin vain hiilivetyjä, jotka eivät yleensä aiheuta hajuhaittoja. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,85.

**Menetelmä 4:** Koekappaleesta AK4 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hajunpoistokäsittelyn 4 jälkeen  $17\,500\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , josta alifaattisia hiilivetyjä tunnistettiin  $16\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Tästä syystä korkea kokonaisemissio ei aiheuttanut koekappaleeseen pahaa hajua, vaan hajua kuvattiin kemialliseksi ja hieman makeahkoksi. Koekappaleesta tunnistettiin käsittelyn jälkeen naftaleenia, mutta sen hajua ei näytteestä tunnistettu. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,45.

**Menetelmä 5:** Hajunpoistomenetelmä 5 jätti koekappaleeseen AK5 suuren propyleeni-glykoliemission, joka aiheutti noin 90 % kokonaisemissiosta  $17\,700\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Muita koekappaleen emissioista tunnistettuja yhdisteitä olivat esterit ja fenoliset yhdisteet, joista johtuen näytteen haju oli pääasiassa kemiallinen. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,2.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 vähensi koekappaleen AK6 kokonaisemissiota tasolle  $51\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , mutta ei poistanut savulle tyypillisiä fenolisia yhdisteitä. Tästä syystä hajunkuvaus oli paha, karvas ja pistävä. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi siten ei- hyväksyttäväksi arvolla -0,25.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 aiheutti koekappaleeseen AK7 erittäin voimakkaan pahan ja kemiallisen hajun. Tämä selittyi näytteen kokonaisemissiosta  $5\,200\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  tunnistetuilla estereillä ja furfuraalisilla yhdisteillä. Hyväksyttävyyssarvo jäi alhaiseksi (-0,9).

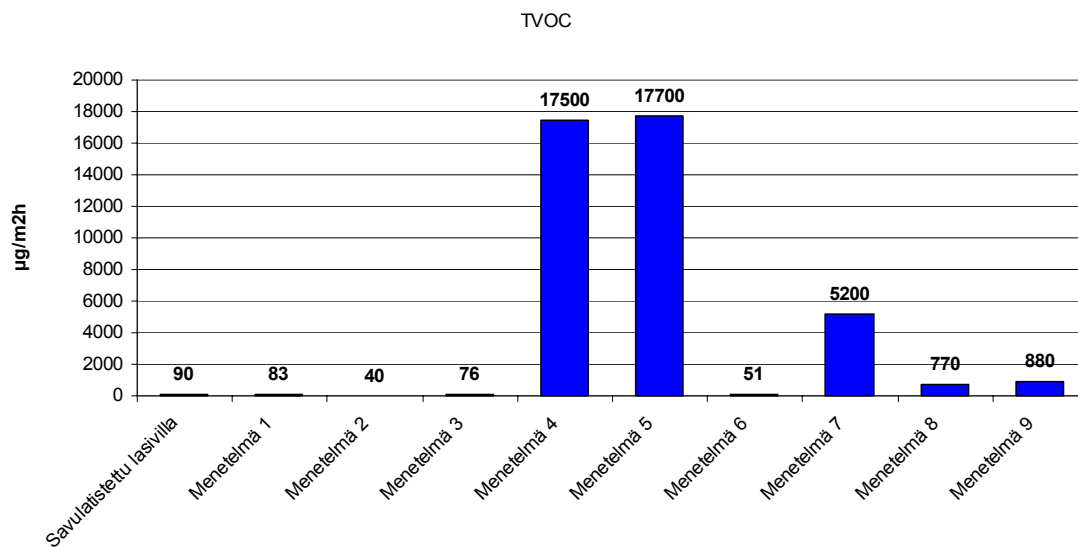
**Menetelmä 8:** Savun haju säilyi koekappaleessa AK8 hajunpoistokäsittelyn jälkeenkin, vaikka näytteessä tunnistettiin myös "uimahallimaista" hajua. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,5 ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio  $770\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Yksittäisistä emissioista tunnistettiin aldehydejä sekä muita savulle tyypillisiä yhdisteitä.

**Menetelmä 9:** Koekappaleen AK9 hajua kuvattiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen makeaksi, joka johtui käsittelyn aiheuttamista esteriemissioista. Lisäksi tunnistettiin propyleeni-glykolia haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission ollessa  $880\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,3.

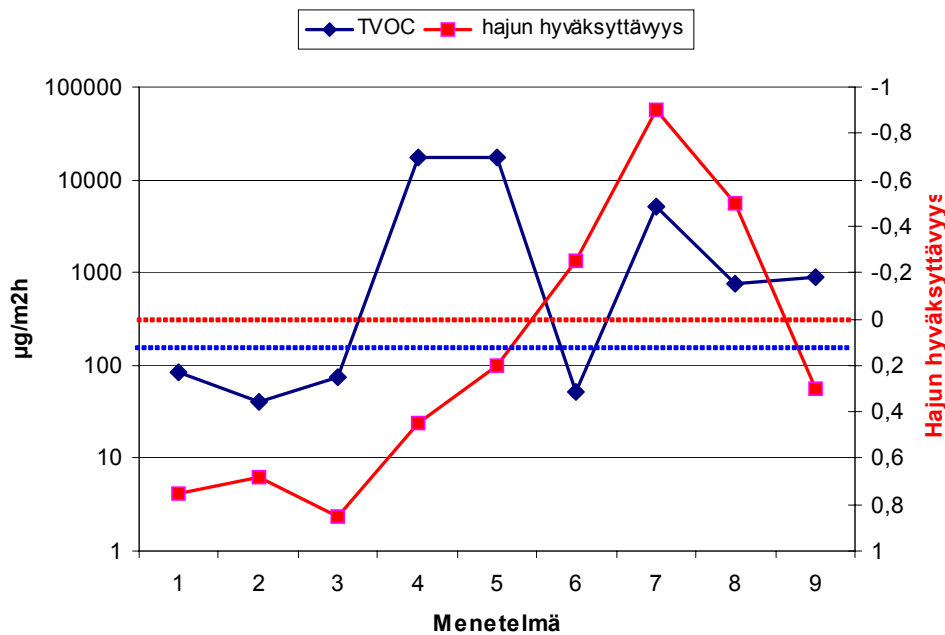
Taulukossa 6 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty hajunpoistokäsitteltyjen, kananmunan savulle altistettujen lasivillakoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

Taulukko 6. Yhteenveto AK-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Heikko, kemiallinen	0,75	83	Estereitä, furaaniyhdisteitä
2.	Heikko, kemiallinen	0,68	40	Estereitä, hiilivetyjä
3.	Makea, lähes hajuton	0,85	76	Hiilivetyjä
4.	Kemiallinen, makeahko	0,45	17 500	Alifaattiset hiilivedyt 16 000 $\mu\text{g}$ , naftaleeni
5.	Kemiallinen	0,2	17 700	Propyleeniglykoli 90 %, esterit, fenoliset yhdisteet
6.	Paha, karvas, pistävä	-0,25	51	Fenoliset yhdisteet
7.	Paha kemiallinen, voimakas	-0,9	5 200	Propyleeniglykoli 1 700 $\mu\text{g}$ , esterit, furfuraaliset yhdisteet
8.	Savu, uimahalli	-0,5	770	Aldehydit, savun yhdisteet
9.	Makea	0,3	880	Propyleeniglykoli, esterit



Kuva 22. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän kanamunan savulle altistetun lasivillakappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 23. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan kananmunan poltossa syntyneelle savulle altistetuissa lasivillanäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyden rajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-rajat-arvoa.

#### 3.6.4.4 Lastulevyn savulle altistettu vuorivilla

Lastulevyn poltossa syntyvälle savulle altistetun vuorivillan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä  $1\,400\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 vähensi koekappaleen BL1 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota huomattavasti tasolle  $28\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen hajua kuvattiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen kemialliseksi, joka selittyy koekappaleen yksittäisistä emissioista tunnistetuilla esteriyhdisteillä.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 sai koekappaleessa BL2 aikaan metallimaisen hajun, vaikka haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli käsittelyn jälkeen erittäin pieni  $53\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Yksittäisistä emissioista tunnistettiin terpeenejä ja aldehydejä. Aldehydit aikaansaavat metallimaisen hajun. Hajun hyväksyttävyyden arvo on  $+0,65$ .

**Menetelmä 3:** Koekappaleessa BL3 havaittiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen vielä heikko savun hajua. Emissioista tunnistetut yhdisteet olivat kuitenkin pääosin hiilivetyjä. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $260\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja hajun hyväksyttävyyden arvo  $+0,45$ .

**Menetelmä 4:** Koekappaleesta BL4 tunnistettiin hiilivetyjä ja naftaleeniyhdisteitä hajunpoistokäsittelyn jälkeen kokonaisemission ollessa 18 500 µg/m<sup>2</sup>h. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,3, ja koekappaleen hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen makeaksi ja kemialliseksi.

**Menetelmä 5:** Propyleeniglykolia tunnistettiin noin 85 % koekappaleen BL5 emissioista hajunpoistokäsittelyn jälkeen. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hajunpoistokäsittelyn aikana huomattavasti kasvanut ollen 13 500 µg/m<sup>2</sup>h sen jälkeen. Koekappaleen emissioista tunnistettiin estereitä, jotka selittävät näytteen kemialliseksi luonnehditun hajun. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,15.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 vähensi koekappaleen BL6 kokonaisemissiota huomattavasti tasolle 74 µg/m<sup>2</sup>h, mutta ei poistanut savulle tyypillisiä yhdisteitä. Tämän takia hajunkuvaus oli savumainen ja se jätti hajun hyväksyttävyyssarvion selvästi ei-hyväksyttäväksi arvolla -0,65.

**Menetelmä 7:** Koekappaleen BL7 emissiot kasvoivat huomattavasti käytettäessä hajunpoistomenetelmää 7, ja olivat 34 865 µg/m<sup>2</sup>h sen jälkeen. Koekappaleen hajua kuvattiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen erittäin pistäväksi ja savumaiseksi, ja se jäi selkeästi ei-hyväksyttävään arvioon hyväksyttävyyssarvolla -0,6.

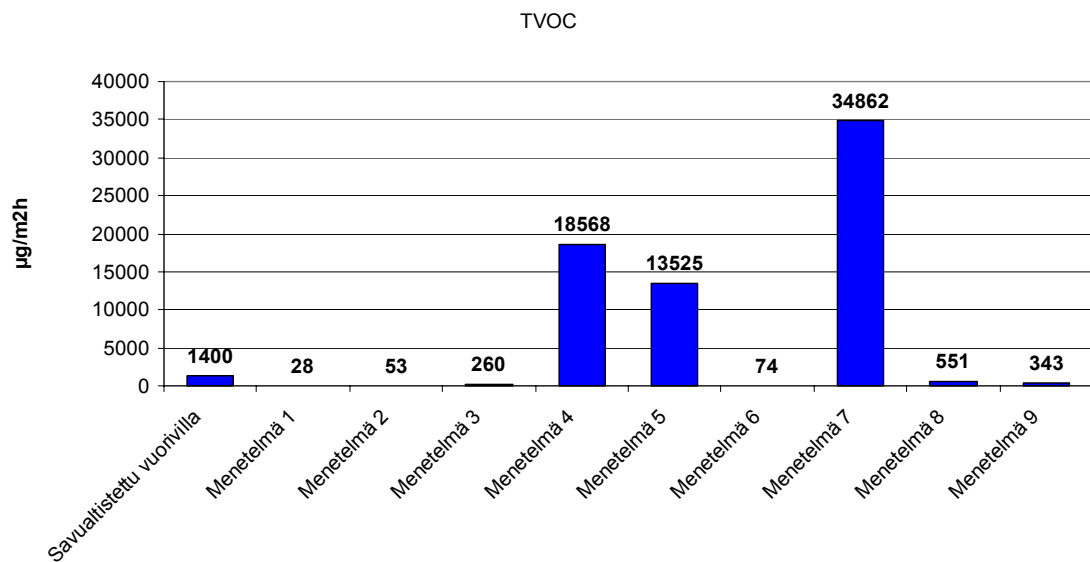
**Menetelmä 8:** Hajunpoistomenetelmälle 8 tyypilliset yhdisteet (hapettumistuotteet: aldehydit, oksoyhdisteet) saivat koekappaleen BL8 hajun hyväksyttävyyssarvion ei-hyväksyttävälle asteikolle arvolla -0,4. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 551 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 9:** Hajunpoistomenetelmä 9 vähensi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota hieman arvoon 343 µg/m<sup>2</sup>h, mutta yksittäisten yhdisteiden takia koekappaleen BL9 hajua kuvattiin savumaiseksi (fenoliset yhdisteet), pistäväksi ja kemialliseksi (esterit). Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,6.

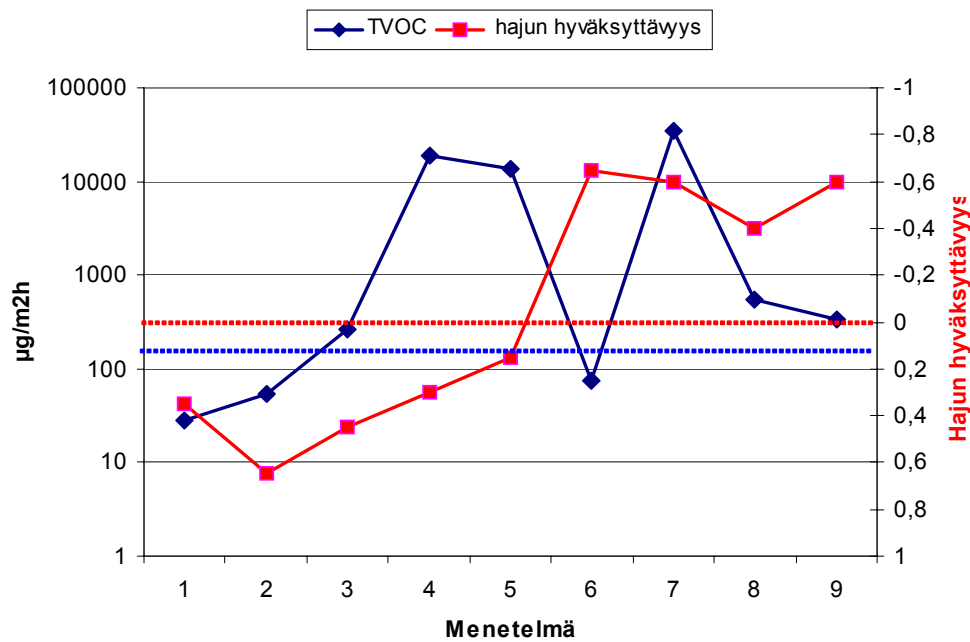
Taulukossa 7 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 24 ja 25 on esitetty hajunpoistokäsitteltyjen, lastulevyn savulle altistettujen vuorivillakoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

Taulukko 7. Yhteenveto BL-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Kemiallinen	0,35	28	Hiilivetyjä, estereitä
2.	Metallimainen	0,65	53	Terpeenjä, aldehydejä
3.	Heikko savu	0,45	260	Hiilivetyjä
4.	Makea, kemiallinen	0,3	18 568	Hiilivetyjä, naftaleenia
5.	Kemiallinen	0,15	13 525	Propyleeniglykolia 85 %, estereitä
6.	Savumainen	-0,65	74	Fenolisia yhdisteitä
7.	Pistävä savu	-0,6	34 862	Hydroksiyhdisteitä
8.	Uimahalli, kemiallinen	-0,4	551	Aldehydejä, oksoyhdisteitä
9.	Savu, pistävä, kemiallinen	-0,6	343	Propyleeniglykolia, estereitä, fenolisia yhdisteitä



Kuva 24. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän lastulevyn savulle altistetun vuorivillakappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 25. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan lastulevynpoltossa syntyneelle savulle altistetuissa vuorivillanäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyksrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.5 Muovimaton savulle altistettu vuorivilla

Muovimaton poltossa syntyvälle savulle altistetun vuorivillan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä 380 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 vähensi selkeästi koekappaleen kokonaisemissiota, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hajunpoistokäsittelyn jälkeen 54 µg/m<sup>2</sup>h. Aistinvaraisessa arvioinnissa koekappaleen hajulle saatiin hyväksyttävyyssarvo +0,75. Hajunkuvaukseksi koekappale BM1 sai arvion heikko pesuaine, mikä selittyy näytteestä tunnistetuilla esteriyhdisteillä. Muita tunnistettuja emissioita hajunpoistokäsittelyn jälkeen olivat hiilivedyt. Savulle tyypillisiä yhdisteitä ei käsittelyn jälkeen tunnistettu.

**Menetelmä 2:** Myös hajunpoistomenetelmä 2 vähensi koekappaleen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota, joka oli käsittelyn jälkeen 116 µg/m<sup>2</sup>h. Tunnistetut yhdisteet olivat estereitä kuten myös hajunpoistomenetelmän 1 jälkeen sekä aldehydejä, jotka antoivat hajunkuvaukselle heikon kemiallisen arvion. Hajun hyväksyttävyyssarvio oli kuitenkin lähes täysin hyväksytty arvolla +0,85. Koekappaleesta BM2 tunnistettiin myös pieniä määriä alkyylibentseeneitä, mutta savulle tyypillisiä fenoksiym. yhdisteitä ei käsittelyn jälkeen tunnistettu.



**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmän 3 käytön jälkeen koekappaleen BM3 kokonaisemissio oli laskenut lähtötilanteeseen verrattuna, mutta oli hieman suurempi kuin koekappaleissa BM1 ja BM2 hajunpoistokäsittelyjen jälkeen. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli koekappaleessa BM3 581  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja näytteen hajunkuvaus oli karvas ja likainen. Hajunkuvaus ja hyväksyttävyyssarvio selittynevät näytteen emissioista tunnistetuilla yhdisteillä, mukana ei kuitenkaan ollut enää savun hajulle tyypillisiä yhdisteitä. Hyväksyttävyyssarvo oli -0,05.

**Menetelmä 4:** Hajunpoistomenetelmän 4 jälkeen huomattiin kokonaisemissioiden kasvaneen verrattuna käsittelemättömään näytteeseen. Vaikka kokonaisemissio oli siihen nähden yli kymmenkertainen, oli koekappale BM4 aistinvaraisessa testauksessa saanut hyväksyttävyyssarvon +0,95, ja näyte tulkittiin lähes hajuttomaksi. Tätä puoltaa koekappaleesta tunnistettujen yhdisteiden kemialliset ryhmät, sillä suurin osa tunnistetuista yhdisteistä oli hiilivetyjä. Koekappaleesta tunnistettiin myös hyvin pieni määrä naftaleenia, joka ei kuitenkaan vaikuttanut hajuaistimukseen.

**Menetelmä 5:** Hajunpoistokäsittelyn jälkeen koekappaleesta BM5 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 36 892  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , josta noin 90 % oli propyleeniglykolia. Koekappaleen emissioista tunnistettiin lisäksi pieniä määriä naftaleenisia yhdisteitä. Aistinvaraisen arvioinnin tulos oli -0,12, ja näytteen hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen kemialliseksi. Savun hajua ei tunnistettu.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistokäsittelyn jälkeen koekappaleesta BM6 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli laskenut käsittelemättömään näytteeseen verrattuna. Hajunkuvaus oli karvas ja savumainen. Koekappaleesta käsittelyn jälkeen tunnistetut yhdisteet olivat keneja, aldehydejä ja estereitä, joilla tiedetään olevan epämiellyttävä hajunkuvaus. Aistinvaraisen arvioinnin tulos oli -0,4, eli ei-hyväksyttävän puolella.

**Menetelmä 7:** Kaikista käsitellyistä koekappaleista suurin hajunpoistokäsittelyn jälkeinen kokonaisemissio oli koekappaleessa BM7; haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 60 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , joista 54 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  oli propyleeniglykolin emissiota. Lisäksi koekappaleen emissioista tunnistettiin savun pistävälle hajulle tyypillisiä pyratsiiniyhdisteitä. Koekappaleen hajua kuvattiin erittäin pistäväksi ja pahaksi savun hajukseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,85.

**Menetelmä 8:** Koekappale BM8 haisi vielä hajunpoistokäsittelyn jälkeenkin savulle, ja sen hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,3. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 205  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja koekappaleen emissioista tunnistettiin ketoneja ja aldehydejä.

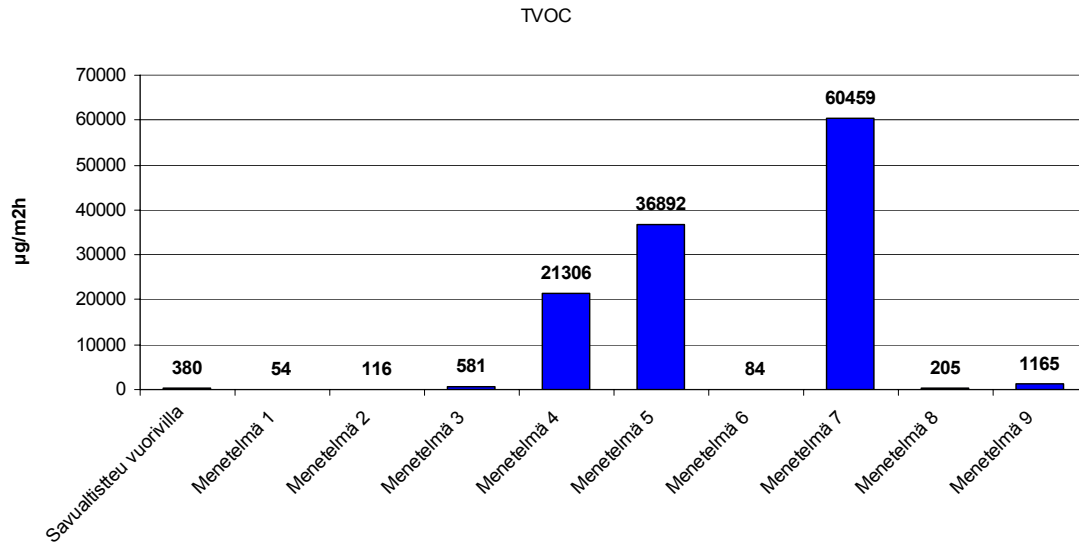
**Menetelmä 9:** Koekappaleen BM9 käsittely nosti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota (1 165  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) verrattuna käsittelemättömään (380  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ), mutta

hajunkuvaus oli käsittelyn myötä muuttunut kemialliseksi. Tämän seurauksena hyväksyttävyyssarvo oli positiivinen (+0,2). Koekappaleen emissioista tunnistettiin alkoholeja, aldehydejä sekä hiilivetyjä (sykliset, alifaattiset).

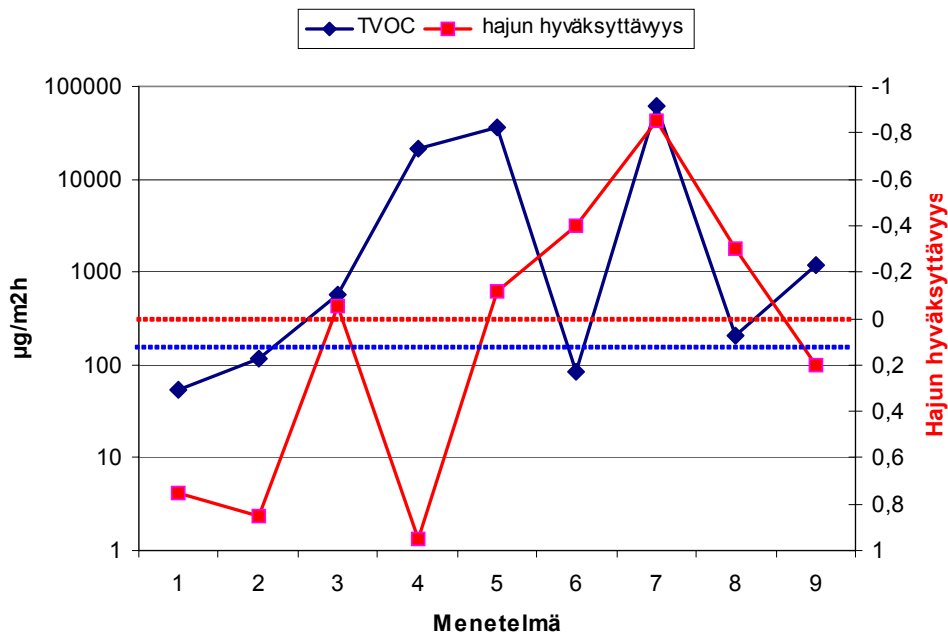
Taulukossa 8 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 26 ja 27 on esitetty hajunpoistokäsitteltyjen, muovimaton savulle altistettujen vuorivillakoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

*Taulukko 8. Yhteenveto BM-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.*

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Heikko pesuaine	0,75	54	Esterit
2.	Heikko kemiallinen	0,85	116	Esterit, aldehydit
3.	Karvas likainen	-0,05	581	Hiilivetyjä, alkoholeja
4.	Lähes hajuton	0,95	21 306	Hiilivetyjä
5.	Kemiallinen, ei savun hajua	-0,12	36 892	Propyleeniglykoli 90 %
6.	Karvas, savu	-0,4	84	Esterit, ketonit
7.	Erittäin paha, pistävä savu	-0,85	60 459	Pyratsiiniyhdisteitä, naftaleeniset yhdisteet
8.	Savu	-0,3	205	Ketonit, aldehydit
9.	Kemiallinen	0,2	1 165	Alkoholeja, aldehydejä



Kuva 26. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän muovimaton savulle altistetun vuorivillakappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 27. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan muovimaton poltossa syntyneelle savulle altistetuissa vuorivillanäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyssrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.6 Kananmunan savulle altistettu vuorivilla

Kananmunan poltossa syntyvälle savulle altistetun vuorivillan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä 90 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 nosti koekappaleen BK1 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission arvoon 162 µg/m<sup>2</sup>h. Emissioista tunnistetut yhdisteet olivat hiilivetyjä ja etikkahappoa. Koekappaleen hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen heikoksi ja kemialliseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,68.

**Menetelmä 2:** Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli pysynyt samalla tasolla hajunpoistokäsittelyn jälkeen (90 µg/m<sup>2</sup>h). Koekappaleessa BK2 havaittiin mieto haju sen hyväksyttävyyssarvon ollessa +0,5. Koekappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat hiilivetyjä ja aldehydejä.

**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmä 3 teki koekappaleesta BK3 miedon hajuisen ja vähensi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission tasolle 80 µg/m<sup>2</sup>h. Koekappaleen emissioista tunnistettiin hiilivetyjä. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,75.

**Menetelmä 4:** Hajunpoistomenetelmä 4 lisäsi koekappaleesta BK4 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrää huomattavasti ja nosti kokonaisemission arvoon 21 158 µg/m<sup>2</sup>h. Tästä suurin osa, 20 000 µg/m<sup>2</sup>h, oli hiilivetyjä. Koekappaleen hajua kuvattiin makeaksi ja kemialliseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,15.

**Menetelmä 5:** Propyleeniglykolin emissiot olivat hallitsevia koekappaleessa BK5 hajunpoistokäsittelyn jälkeen kokonaisemission ollessa 10 600 µg/m<sup>2</sup>h. Tämä sai koekappaleessa aikaan kemiallisen hajun. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,05.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 laskee koekappaleen BK6 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota huomattavasti arvoon 19 µg/m<sup>2</sup>h. Tunnistetut yhdisteet olivat aldehydejä, mikä selittää näytteen metallimaisen hajun käsittelyn jälkeen. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,38.

**Menetelmä 7:** Koekappaleessa BK7 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli lähes 10 000 µg/m<sup>2</sup>h, ja käsittelyn jälkeen sen hajua kuvattiin erittäin pahaksi ja kemialliseksi. Hajun syynä olivat näytteen emissioista tunnistetut yhdisteet, joita olivat esimerkiksi amiini- ja furfuraaliset yhdisteet. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi lähes täysin ei-hyväksyttäväksi arvolla -0,8.

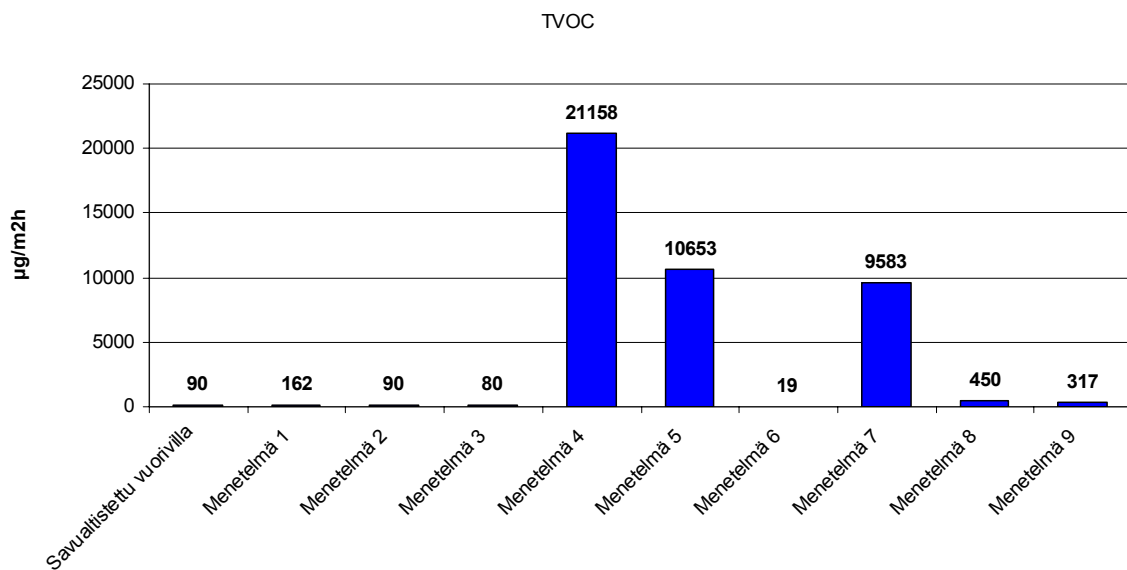
**Menetelmä 8:** Hajunpoistomenetelmä 8 tuotti koekappaleeseen BK8 karvaan ja heikon hajun, mikä johtuu näytteen emissioista tunnistetuista fenyyliyhdisteistä. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 450 µg/m<sup>2</sup>h, ja hajun hyväksyttävyyssarvo +0,6.

**Menetelmä 9:** Hajunpoistomenetelmällä 9 saatiin koekappaleesta BK9 lähes hajuton (hyväksyttävyyssarvo +0,8), ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 317 µg/m<sup>2</sup>h. Suurin osa koekappaleen emissioista tunnistetuista yhdisteistä oli hiilivetyjä, mikä selittää näytteen hajuttomuuden.

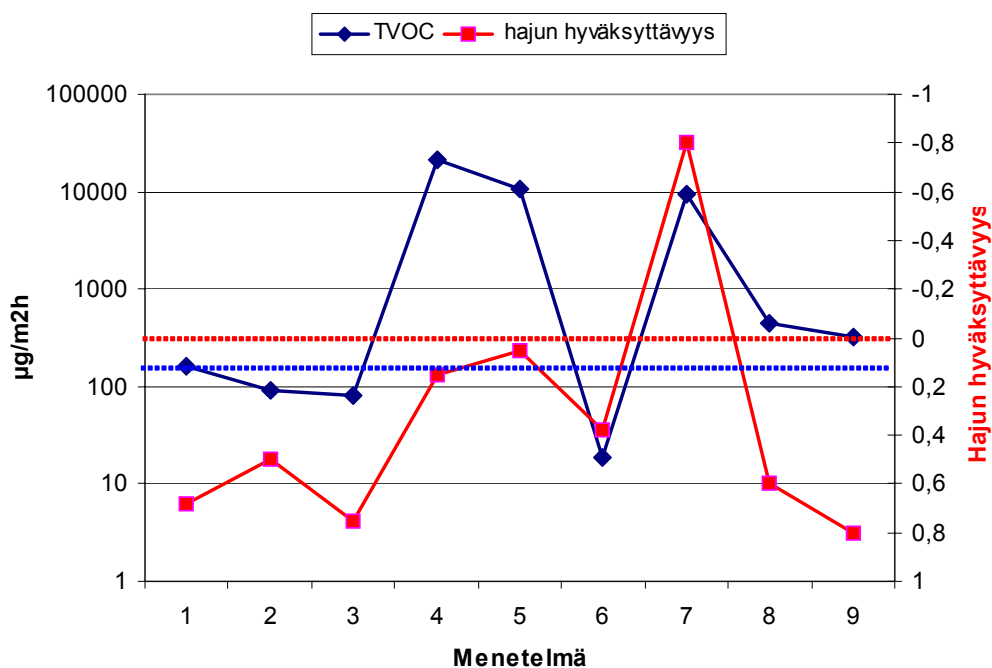
Taulukossa 9 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioiden ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 28 ja 29 on esitetty hajunpoistokäsiteltyjen, kananmunan savulle altistettujen vuorivilla-koekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissioiden ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

*Taulukko 9. Yhteenveto BK-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.*

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyys	TVOC µg/m <sup>2</sup> h	Tyypilliset yhdisteet
1.	Heikko kemiallinen	0,68	162	Hiilivetyjä, etikkahappo
2.	Mieto haju	0,5	90	Hiilivetyjä, aldehydejä
3.	Mieto haju	0,75	80	Hiilivetyjä
4.	Makea, kemiallinen	0,15	21 158	Hiilivetyjä 20 000 µg
5.	Kemiallinen	0,05	10 653	Propyleeniglykolia
6.	Metalli	0,38	19	Aldehydit
7.	Erittäin paha kemiallinen	-0,8	9 583	Amiiniyhdisteitä, furfuryyliakroleiini
8.	Karvas heikko haju	0,6	450	Fenyyliyhdisteet
9.	Hajuton	0,8	317	Hiilivedyt



Kuva 28. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän muovimaton savulle altistetun vuorivillakappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 29. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan kananmunan poltossa syntyneelle savulle altistetuissa vuorivillanäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyssrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.7 Lastulevyn savulle altistettu kipsilevy

Kipsilevykappaleet altistettiin lastulevyn poltossa syntyvälle savulle. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä 1 030  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 vähensi koekappaleen EL1 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota selkeästi arvoon 191  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen emissioista tunnistettiin aldehydejä, terpeenejä, mutta vain vähän savun hajulle tyypillisiä yhdisteitä. Tämä ilmenee hajunkuvauksessa, jossa hajua luonnehditaan kemialliseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,18.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 vähensi koekappaleesta EL2 emittoituvia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä huomattavasti. Koekappaleen kokonaisemissio oli 136  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen emissioista tunnistettiin pääosin hiilivetyjä, ja hajun hyväksyttävyyssarvo olikin +0,7. Koekappaleen hajua kuvattiin puumaiseksi.

Menetelmä 3: Hajunpoistomenetelmä 3 lisäsi koekappaleesta EL3 emittoituvia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (3 408  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ). Emissioista tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat savulle tyypillisiä yhdisteitä, mutta määrät eivät ylittäneet hajukynnystä. Koekappaleen hajua kuvattiin purumaiseksi ja tunkkaiseksi, mutta ei savumaiseksi. Koekappaleen hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,25.

**Menetelmä 4:** Koekappaleen EL4 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio nousi käytetyn hajunpoistomenetelmän takia tasolle 17 200  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja tunnistetut yhdisteet olivat alkyylibentseeneitä ja naftaleeniyhdisteitä. Nämä yhdisteet aiheuttivat koekappaleeseen heikon palaneen hajun. Hajun heikkoudesta johtuen hyväksyttävyyssarvio jäi hyväksyttävälle tasolle arvolla +0,15.

**Menetelmä 5:** Koekappaleessa EL5 havaittiin selkeä savun haju hajunpoistokäsittelyn jälkeen, ja näytteen kokonaisemissio oli 2 100  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Kokonaisemissiosta propyleeniglykolia oli lähes puolet, 1 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Lisäksi yksittäisistä emissioista tunnistettiin savulle tyypillisiä yhdisteitä. Näiden seikkojen vuoksi hajun hyväksyttävyyssarvio jäi ei-hyväksyttävälle tasolle arvolla -0,25.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 tuotti koekappaleeseen EL6 miedon lastulevymäisen hajun. Koekappaleen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli käsittelyn ansiosta kuitenkin hieman laskenut ollen 728  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Yksittäisistä yhdisteistä tunnistettiin pääosin hiilivetyjä. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,35.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 sai koekappaleeseen EL7 pahan ja pistävän hajun hyväksyttävyyssarvion jäädessä ei-hyväksyttävälle asteikolle arvolla -0,3. Haihtuvien

orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 8 485 µg/m<sup>2</sup>h, ja tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat alkoholeja ja ketoneja.

**Menetelmä 8:** Koekappaleesta EL8 hajunpoistomenetelmä 8 teki lähes hajuttoman hyväksyttävyyssarvon ollessa +0,9. Koekappaleen kokonaisemissio oli 1 143 µg/m<sup>2</sup>h ja yksittäisistä emissioista tunnistettiin pieniä määriä aldehydejä.

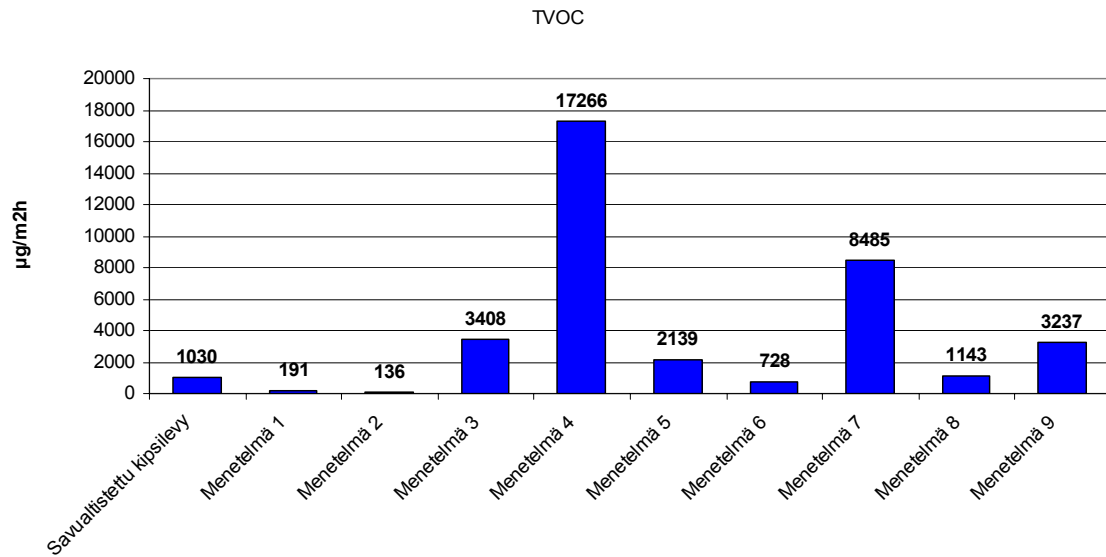
**Menetelmä 9:** Savulle tyypillisiä yhdisteitä tunnistettiin koekappaleesta EL9 vielä hajunpoistokäsittelyn jälkeenkin. Koekappaleen hajua kuvattiin pahaksi ja kemialliseksi. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 3 237 µg/m<sup>2</sup>h, ja hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,2.

Taulukossa 10 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 30 ja 31 on esitetty hajunpoistokäsiteltyjen, lastulevyn savulle altistettujen kipsilevykoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

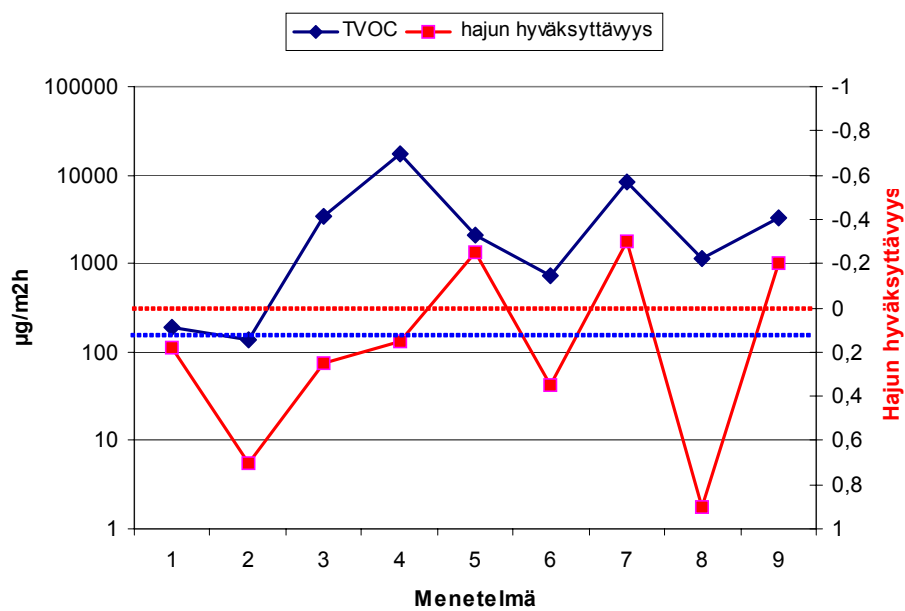
*Taulukko 10. Yhteenveto EL-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.*

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyss	TVOC µg/m <sup>2</sup> h	Tyypilliset yhdisteet
1.	Kemiallinen	0,18	191	Aldehydejä, terpeenejä, vähän savunhajulle ominaisia yhdisteitä
2.	Puumainen	0,7	136	Hiilivetyjä
3.	Puru, tunkkainen	0,25	3 408	Savun yhdisteitä (alkyylibentseenit), furfuraalisia yhdisteitä
4.	Heikko palaneen haju	0,15	17 266	Alkyylibentseenit, naftaleeniyhdisteet
5.	Selkeä savu	-0,25	2 139	Propyleeniglykolia 1 000 µg, savulle tyypillisiä yhdisteitä
6.	Mieto lastulevy	0,35	728	Hiilivetyjä
7.	Paha, pistävä	-0,3	8 485	Alkoholeja, ketoneja ei savun yhdisteitä
8.	Hajuton, puulevy	0,9	1 143	Aldehydejä
9.	Paha, kemiallinen	-0,2	3 237	Estereitä, hajusteita, savulle tyypillisiä yhdisteitä





Kuva 30. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiöt hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän lastulevyn poltossa syntyvälle savulle altistetun kipsilevykappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 31. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan lastulevyn poltossa syntyneelle savulle altistetuissa kipsilevynäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyssrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.8 Muovimaton savulle altistettu kipsilevy

Kipsilevykappaleet altistettiin muovimaton poltossa syntyvälle savulle. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä  $420 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio koekappaleesta EM1 oli laskenut hajunpoistokäsittelyn jälkeen arvoon  $143 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen hajunkuvaus oli kemiallinen hyväksyttävyyssarvon ollessa +0,1. Koekappaleen emissioista tunnistettiin ketoneja sekä hiilivetyjä.

**Menetelmä 2:** Koekappaleen EM2 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli laskenut käytetyn hajunpoistokäsittelyn jälkeen arvoon  $136 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja näyte koettiin täysin hajuttomaksi hyväksyttävyyssarvon ollessa +0,85, eli lähes täysin hyväksytty. Koekappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat alkyylibentseeniä, joiden yksittäisemissioikertoimet olivat erittäin pieniä.

**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmän 3 jälkeen koekappale EM3 oli menettänyt savun hajun, ja sen hajua kuvattiin kipsilevyllä ominaiseksi hajuksi. Hyväksyttävyyssarvo oli +0,35. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kuitenkin kasvanut arvoon  $4\,618 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja tunnistetut emissiot olivat alifaattisten hiilivetyjen aiheuttamia.

**Menetelmä 4:** Koekappaleen EM4 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio kasvoi käytetyn käsittelyn takia arvoon  $24\,184 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Emissioista tunnistetut yhdisteet olivat aromaattisia hiilivetyjä ja naftaleenisia yhdisteitä. Koekappaleen hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen kemialliseksi, eikä savun hajua tunnistettu. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,65.

**Menetelmä 5:** Koekappaleessa EM5 tunnistettiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen voimakas kemiallinen haju. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi ei-hyväksyttävän puolelle arvolla -0,3. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $9\,081 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja koekappaleen emissioista tunnistettiin suuri määrä propyleeniglykolia ja fenolisia yhdisteitä. Nämä selittävät koekappaleesta aistitun hajun.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 teki koekappaleesta EM6 lähes hajuttoman hyväksyttävyyssarvolla +0,95. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli silti kaksinkertaistunut tasolle  $900 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  verrattuna käsittelemättömään näytteeseen. Emissioista tunnistetut yhdisteet olivat pääosin aldehydejä. Vaikka aldehydit tunnetaan yleensä hajuhaittayhdisteinä, eivät niiden määrät tässä koekappaleessa ylittäneet hajukynnysarvoja.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 kasvatti koekappaleen EM7 kokonaisemissiota huomattavasti arvoon 11 126 µg/m<sup>2</sup>h ja tuotti koekappaleeseen liimamaisen ja pistävän hajun. Hyväksyttävyyssarvio jäikin alhaiseksi arvolla -0,75. Tunnistetut yhdisteet olivat ketoneja, karboksyylihappoja ja estereitä.

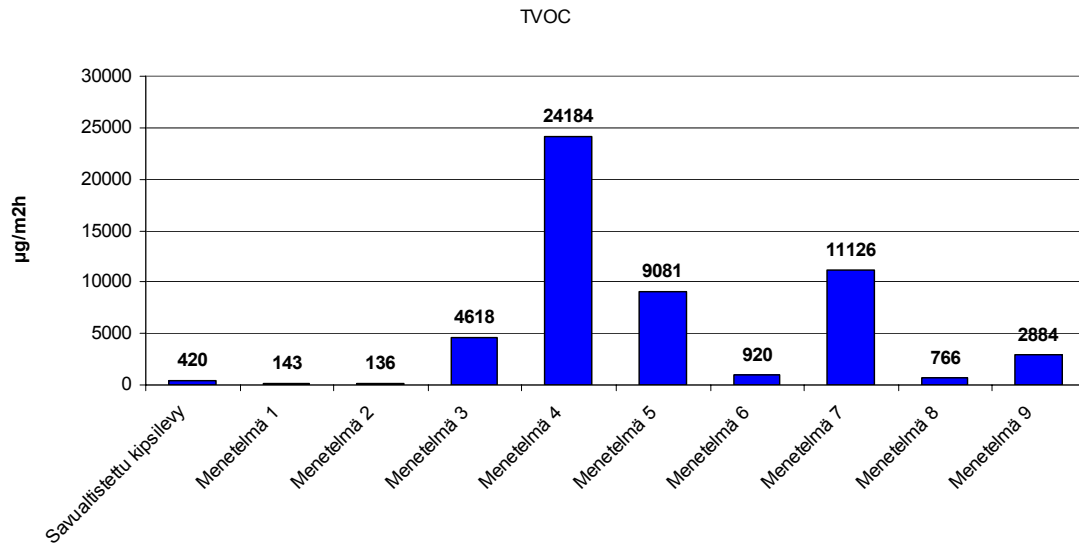
Menetelmä 8: Hajunpoistokäsittelyn 8 tuloksena koekappaleessa EM8 aistittiin makeahko haju hyväksyttävyyssarvon ollessa +0,45. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kasvanut arvoon 766 µg/m<sup>2</sup>h, ja koekappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat estereitä, jotka selittävät makean hajunkuvauksen. Koekappaleesta tunnistettiin myös pieniä määriä savulle tyypillisiä yhdisteitä, kuten furfuraalisia yhdisteitä.

**Menetelmä 9:** Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kasvanut hajunpoistokäsittelyn jälkeen arvoon 2 884 µg/m<sup>2</sup>h. Koekappaleen EM9 emissioista tunnistettiin estereitä, naftaleenia ja fenolisia yhdisteitä, jotka saivat aikaan koekappaleen kemiallisen ja karvaan hajun. Aistitun hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,15.

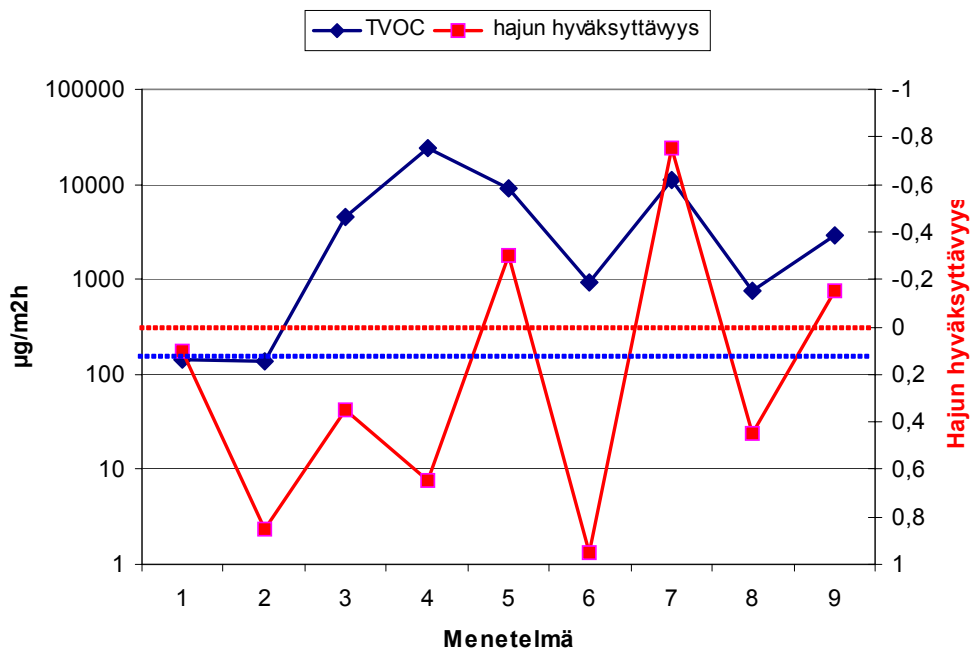
Taulukossa 11 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 32 ja 33 on esitetty hajunpoistokäsitteltyjen, muovimaton savulle altistettujen kipsilevykoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

*Taulukko 11. Yhteenveto EM-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.*

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyys	TVOC µg/m <sup>2</sup> h	Tyypilliset yhdisteet
1.	Kemiallinen	0,1	143	Ketoneja
2.	Hajuton	0,85	136	Alkyylibentseeniä
3.	Kipsilevy	0,35	4 618	Alifaattisia hiilivetyjä
4.	Kemiallinen	0,65	24 184	Aromaattisia yhdisteitä, naftaleeniyhdisteet
5.	Voimakas kemiallinen	-0,3	9 081	Propyleeniglykolia, fenolisia yhdisteitä
6.	Lähes hajuton	0,95	920	Aldehydejä
7.	Liimamainen, pistävä	-0,75	11 126	Karboksyylihappoja, estereitä, hajusteita
8.	Makeahko	0,45	766	Furfuraalisia yhdisteitä, estereitä
9.	Kemiallinen, karvas	-0,15	2 884	Estereitä, naftaleenia, fenolisia yhdisteitä



Kuva 32. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän muovimaton poltossa syntyvälle savulle altistetun kipsilevykappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 33. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan muovimaton poltossa syntyneelle savulle altistetuissa kipsilevynäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyusrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.9 Kananmunan savulle altistettu kipsilevy

Kipsilevykappaleet altistettiin kananmunan poltossa syntyvälle savulle. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä  $150 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 vähensi kananmunan savulle altistetun koekappaleen EK1 kokonaisemissiota arvoon  $56 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  ja teki siitä lähes hajuttoman. Koekappaleen haju saikin hyväksyttävyyssarvon  $+0,62$ . Koekappaleen emissioista tunnistetut yhdisteet olivat hiilivetyjä.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 tuotti myös lähes hajuttoman koekappaleen EK2, ja myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hieman pudonnut. Hyväksyttävyyssarvo oli  $+0,68$ , ja kokonaisemissio  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Tunnistetut yhdisteet olivat hiilivetyjä.

**Menetelmä 3:** Kun koekappale EK3 oli käsitelty menetelmää 3 käyttäen, sen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kasvanut arvoon  $3\,270 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Aistinvaraisen arvioinnin hyväksyttävyyssarvo oli  $+0,7$  ja koekappaleen hajua kuvattiin kipsilevyllä tyyppilliseksi. Yksittäisistä emissioista tunnistettiin alkyylibentseenejä ja hiilivetyjä.

**Menetelmä 4:** Hajunpoistomenetelmä 4 sai koekappaleessa EK4 aikaan erittäin suuren haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission,  $33\,300 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , josta alifaattisten hiilivetyjen osuus oli  $29\,000 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Lisäksi emissioista tunnistettiin savulle tyyppillisiä yhdisteitä, joiden määrät jäivät kuitenkin pieniksi. Koekappaleen hajua luonnehdittiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen kemialliseksi ja makeahkoksi hyväksyttävyyssarvon ollessa  $+0,4$ .

**Menetelmä 5:** Hajunpoistomenetelmää 5 käytettäessä aistinvaraisen arvioinnin tulos oli tämän ryhmän heikoin hajun hyväksyttävyyssarvon ollessa  $-0,5$ . Koekappaleessa EK5 olevaa hajua kuvattiin kemialliseksi ja pesuaineen hajuiseksi. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $9\,750 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja koekappaleen emissioista tunnistettiin muiden muassa propyleeniglykolia ja muita glykolisia yhdisteitä.

**Menetelmä 6:** Koekappaleen EK6 haju oli hävinnyt hajunpoistomenetelmän 6 avulla, ja koekappaleetta pidettiin lähes hajuttomana tai heikosti kemialliselta haisevana. Hyväksyttävyyssarvo oli  $+0,5$ . Koekappaleen kokonaisemissio hajunpoistokäsittelyn jälkeen oli  $784 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Emissioista tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat aldehydejä ja hiilivetyjä.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 teki koekappaleen EK7 hajusta pistävän, liimamaisen ja karvaan. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi ei-hyväksyttävälle puolelle arvolla  $-0,11$ . Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $7\,150 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja koe-

kappaleen emissioista tunnistettiin glykolisia yhdisteitä, alkoholeja ja estereitä. Nämä yhdisteet selittävät hajunkuvauksen.

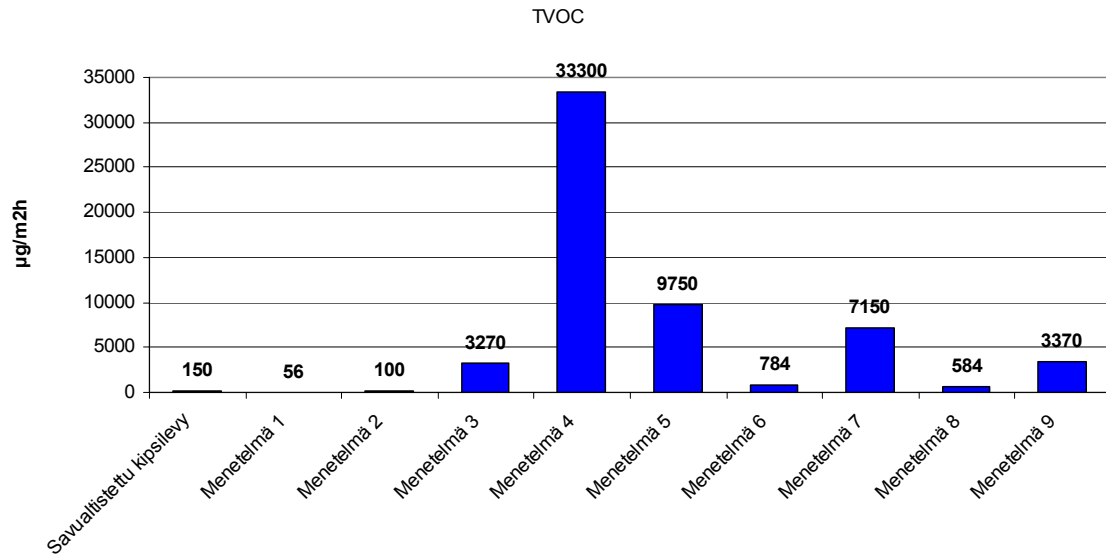
**Menetelmä 8:** Hajunpoistomenetelmän 8 koekappaleeseen EK8 tuottamat hapettumisyhdisteet saivat aikaan uimahallin hajun. Koekappaleessa aistittiin myös karvas haju. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,2. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hieman suurempi kuin hajunpoistokäsittelmättömässä kipsilevykappaleessa, 584 µg/m<sup>2</sup>h. Koekappaleen emissioista tunnistettiin aldehydejä ja ketoneja.

**Menetelmä 9:** Koekappaleen EK9 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hajunpoistokäsittelyn jälkeen 3 370 µg/m<sup>2</sup>h, ja sen emissioista tunnistettiin estereitä ja naftaleenisia yhdisteitä. Näistä yhdisteistä johtuen koekappaleen haju oli kemiallinen, ja hajun hyväksyttävyyssarvio jäi alhaiseksi arvolla -0,4.

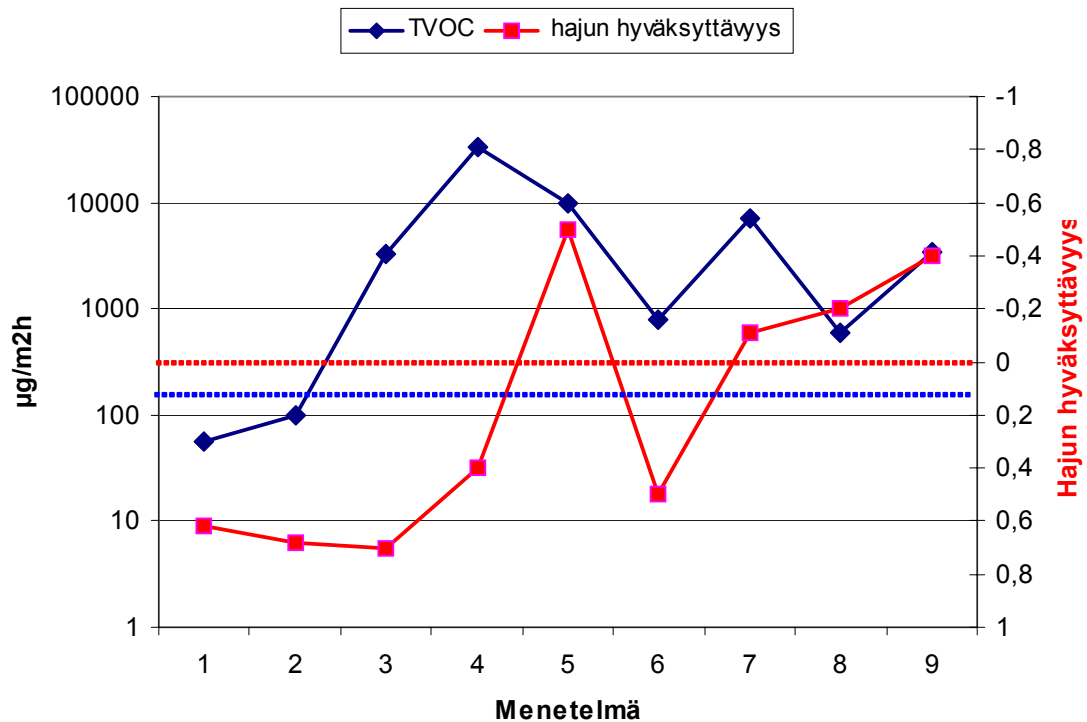
Taulukossa 12 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 34 ja 35 on esitetty hajunpoistokäsiteltyjen, kananmunan savulle altistettujen kipsilevykoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

*Taulukko 12. Yhteenveto EK-näytteistä eri hajunpoistomenetelmien jälkeen.*

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC µg/m <sup>2</sup> h	Tyypilliset yhdisteet
1.	Lähes hajuton	0,62	56	Hiilivetyjä
2.	Lähes hajuton	0,68	100	Hiilivetyjä
3.	Kipsilevy	0,7	3 270	Alkyylibentseebejä, hiilivetyjä
4.	Makeahko, kemiallinen	0,4	33 300	Alifaattisia hiilivetyjä 29 000 µg, savun yhdisteitä
5.	Kemiallinen, pesuaine	-0,5	9 750	Propyleeniglykoli, glykolieettereitä
6.	Lähes hajuton, heikko kemiallinen	0,5	784	Aldehydejä, hiilivetyjä
7.	Pistävä liimamainen, karvas	-0,11	7 150	Glykolisia yhdisteitä, alkoholeja, estereitä
8.	Uimahalli, karvas	-0,2	584	Aldehydejä, ketoneja
9.	Kemiallinen	-0,4	3 370	Estereitä, naftaleenia



Kuva 34. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän kananmunan poltossa syntyvälle savulle altistetun kipsilevykappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 35. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvon mukaan kananmunan poltossa syntyneelle savulle altistetuissa kipsilevynäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyssrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-rajaa-arvoa.

### 3.6.4.10 Lastulevyn savulle altistettu vaahtomuovi

Vaahtomuovikappaleet altistettiin lastulevyn poltossa syntyvälle savulle. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä  $1\ 300\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 1:** Lastulevyn savulle altistetun vaahtomuovisen koekappaleen FL1 kokonaisemissio väheni tasolle  $257\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  käytetyn hajunpoistokäsittelyn ansiosta. Koekappaleen emissioista tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat hiilivetyjä ja laktoneita. Hyväksyttävyyssarvo oli  $+0,45$ , ja koekappaleen hajua kuvattiin makeaksi ja kemialliseksi.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 vähensi koekappaleen FL2 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota huomattavasti arvoon  $46\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , mikä huomattiin myös aistinvaraisessa arvioinnissa. Hajun hyväksyttävyyssarvio oli lähes täysin hyväksytty arvolla  $+0,8$ . Koekappaleen hajua kuvattiin heikoksi ja hieman pesuainemaiseksi.

**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmä 3 teki koekappaleesta FL3 lähes hajuttoman. Osa hajun arvioijista erotti kuitenkin heikon savun hajun, mikä sai hajun hyväksyttävyyssarvion laskemaan arvoon  $+0,5$ . Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli käsittelyn myötä laskenut arvoon  $345\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Emissioista tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat hiilivetyjä.

**Menetelmä 4:** Koekappaleessa FL4 tunnistettiin naftaleenisia yhdisteitä käytetyn hajunpoistokäsittelyn jälkeen, ja tämän lisäksi koekappaleessa oli edelleen havaittavissa savun hajua. Hajunpoistomenetelmästä oli lisäksi jäänyt koekappaleeseen makeahko hajua. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi ei-hyväksyttävälle puolelle arvolla  $-0,1$ , ja se selittyy kappaleen emissioista tunnistetuilla alkyylibentseenillä ja aiemmin mainituilla naftaleenisilla yhdisteillä. Kokonaisemissio oli kasvanut käsittelemättömään näytteeseen verrattuna ja oli  $15\ 818\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Menetelmä 5:** Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio koekappaleessa FL5 nousi voimakkaan propyleeniglykoliemission takia arvoon  $33\ 500\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Propyleeniglykoliemissio johtuu käytetystä hajunpoistomenetelmästä. Kokonaisemissiosta 85 oli propyleeniglykolia. Hajunpoistokäsittelyn jälkeen koekappaleesta tunnistettiin heikko savun hajua, jota propyleeniglykoli peitti hieman. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli  $+0,1$ . Kyseisen koekappaleen emissiot mitattiin uudelleen kuukauden kuluttua, jolloin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli laskenut tasolle  $17\ 700\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Tästä oli edelleen 70 propyleeniglykolia. Lisäksi koekappaleesta tunnistettiin naftaleenisia yhdisteitä, joita ei ensimmäisellä mittauskerralla tunnistettu.

**Menetelmä 6:** Myös hajunpoistomenetelmä 6 vähensi koekappaleen FL6 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota, joka oli  $294\ \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Koekappaleen emissioista



tunnistettiin estereitä, joiden hajunkuvaukset ovat makeita ja tämän seurauksena hajun hyväksyttävyyssarvo oli + 0,75. Tulos oli siis lähes täysin hyväksyttävä.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 muutti koekappaleen FL7 hajun erittäin pahaksi ja karvaaksi, ja savun haju korostui hajunpoistokäsittelyn jälkeen. Hajun hyväksyttävyyssarvio jäi siten lähes täysin ei-hyväksyttäväksi arvolla -0,8. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 4 589 µg/m<sup>2</sup>h, ja emissioista tunnistetut yhdisteet olivat savun hajulle tyypillisiä fenolisia yhdisteitä, furaaniyhdisteitä ja estereitä.

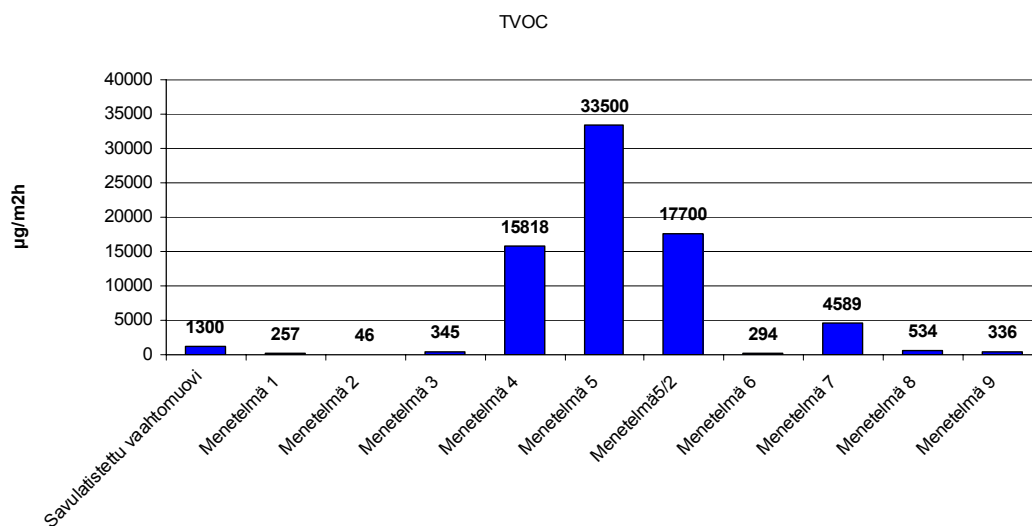
**Menetelmä 8:** Hajunpoistomenetelmä 8 sopi hajun vähenemisen puolesta vaahtomuovikappaleelle FL8, sillä kyseinen koekappale koettiin lähes hajuttomaksi. Koekappaleen yksittäisistä emissioista tunnistettiin ketoneja kokonaisemission ollessa 534 µg/m<sup>2</sup>h. Haju sai aistinvaraisessa arvioinnissa hyväksyttävyyssarvon +0,5.

**Menetelmä 9:** Hajunpoistomenetelmä 9 jätti koekappaleeseen FL9 pesuaineen "puhtaan" hajun, joka näkyi hajun hyväksyttävyyssarviossa (+0,8). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli pienentynyt käsittelyn ansiosta arvoon 336 µg/m<sup>2</sup>h, ja koekappaleen yksittäisistä emissioista tunnistettiin terpeenialkoholeja ja estereitä.

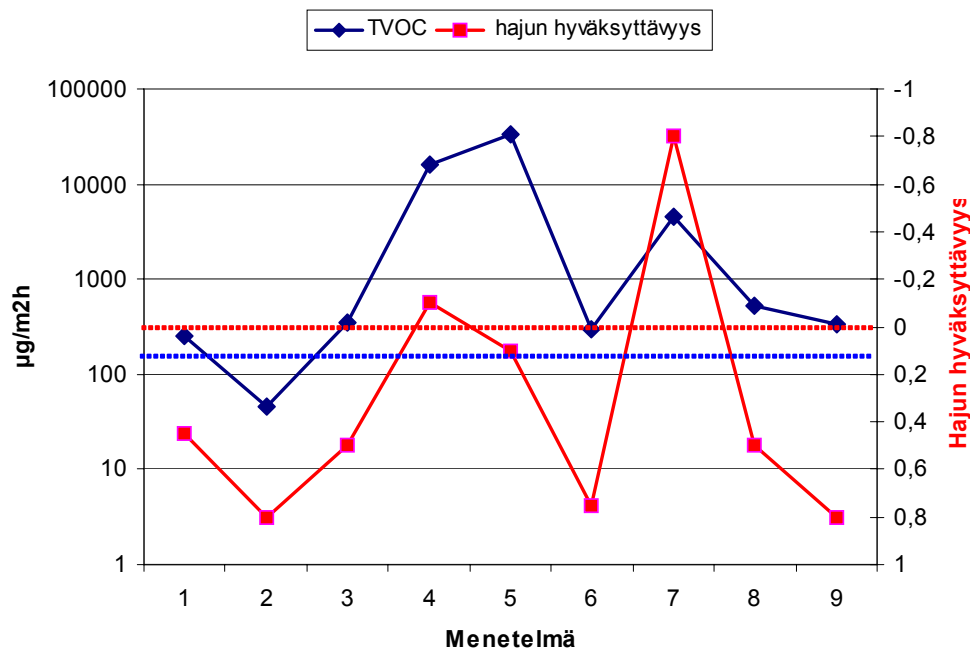
Taulukossa 13 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 36 ja 37 on esitetty hajunpoistokäsiteltyjen, lastulevyn savulle altistettujen vaahtomuovikoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

Taulukko 13. Yhteenveto FL-näytteistä eri hajunpoistokäsittelyjen jälkeen.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyt- tävyys	TVOC µg/m <sup>2</sup> h	Tyypilliset yhdisteet
1.	Makea kemiallinen	0,45	257	Hiilivetyjä, laktoneita
2.	Pesuaaine, heikko	0,8	46	Hiilivetyjä, terpeni
3.	Lähes hajuton, heikko savu	0,5	345	Hiilivetyjä
4.	Savu, makeahko	-0,1	15 818	Alkyylibentseeniä, naftaleenisia yhdisteitä
5.	Mieto savu, makeampi	0,1	33 500	Propyleeniglykolia 85 %*
6.	Ei savun hajua	0,75	294	Estereitä
7.	Paha, savu, karvas	-0,8	4 589	Fenolisia yhdisteitä, estereitä, furaaniyhdisteitä
8.	Lähes hajuton	0,5	534	Ketoneja
9.	Pesuaaine, *puhdas*	0,8	336	Terpeenialkoholeja, estereitä



Kuva 36. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän lastulevyn poltossa syntyvälle savulle altistetun vaahtomuovikappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 37. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan lastulevyn poltossa syntyneelle savulle altistetuissa vaahtomuovinäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyksrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-raja-arvoa.

### 3.6.4.11 Muovimaton savulle altistettu vaahtomuovi

Vaahtomuovikappaleet altistettiin muovimaton poltossa syntyvälle savulle. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä 1 400 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmä 1 laski haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission arvoon 623 µg/m<sup>2</sup>h, ja koekappaleen FM1 emissioista tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat pääosin terpeeniyhdisteitä. Tämä selittää koekappaleen makean hajun kuvaksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,75.

**Menetelmä 2:** Koekappaleen FM2 hajua kuvattiin käsittelyn jälkeen heikoksi ja hieman kirpeäksi. Se sai hyväksyttävyyssarvon +0,95. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli pudonnut arvoon 806 µg/m<sup>2</sup>h, ja koekappaleen emissioista tunnistettiin pääosin silyyliyhdisteitä.

**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmä 3 teki koekappaleesta FM3 hajuttoman, ja se sai hajun hyväksyttävyyssarvioksi täysin hyväksytyyn eli +1,0. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kasvanut hieman tasolle 1 800 µg/m<sup>2</sup>h. Koekappaleen emissioista tunnistettiin hiilivetyjä ja alkyylibentseeneitä.

**Menetelmä 4:** Hiilivetyjen ja naftaleeniyhdisteiden emissiot tekivät koekappaleeseen FM4 heikon kemiallisen hajun. Hajulle saatiin hyväksyttävyyssarvo +0,45, ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli lähes 25 000 µg/m<sup>2</sup>h käytetyn hajunpoistokäsittelyn takia.

**Menetelmä 5:** Hajunpoistomenetelmä 5 jätti koekappaleeseen FM5 suuren määrän propyleeniglykolia, ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio olikin 33 092 µg/m<sup>2</sup>h. Koekappaleen hajua kuvattiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen voimakkaaksi ja kemialliseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,1.

**Menetelmä 6:** Koekappale FM6 haisi hajunpoistokäsittelyn jälkeen edelleen savulle (hyväksyttävyyssarvo +0,2). Tämä selittyy fenolisilla yhdisteillä, joita tunnistettiin koekappaleen emissioista. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 1 852 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 tuotti koekappaleeseen FM7 pesuainemaisen hajun hyväksyttävyyssarvion jäädessä ei-hyväksytyksi arvolla -0,4. Koekappaleen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli tasolla 32 300 µg/m<sup>2</sup>h, ja sen emissioista tunnistettiin propyleeniglykolia ja furfuraalisia yhdisteitä.

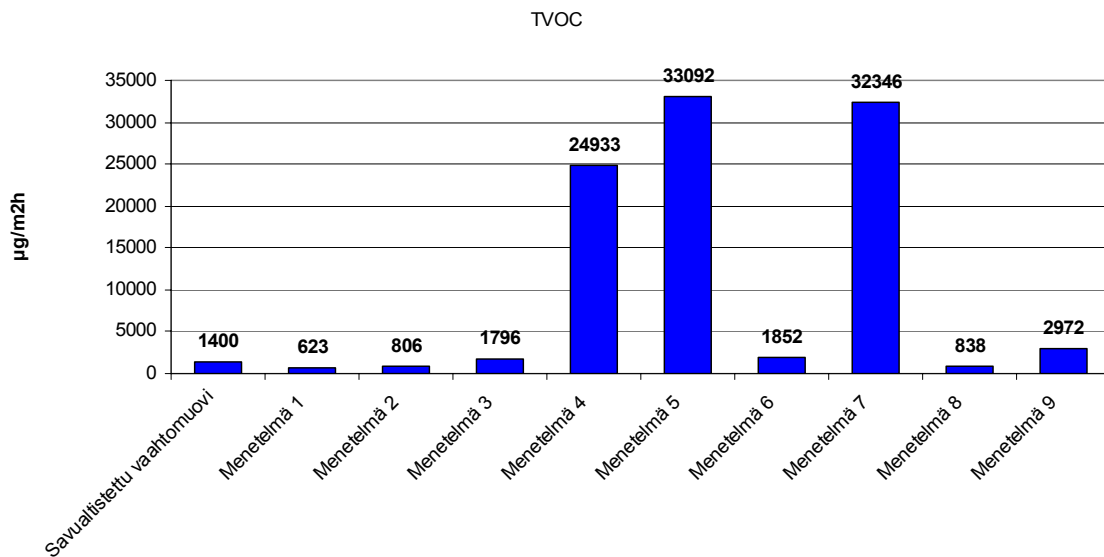
**Menetelmä 8:** Koekappaleen FM8 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hajunpoistokäsittelyn jälkeen laskenut hieman arvoon 838 µg/m<sup>2</sup>h, mutta koekappaleeseen jääneet yksittäiset yhdisteet (oksoyhdisteet, ketonit) saivat aikaan savumaisen hajun. Siten hajun hyväksyttävyyssarvio jäi ei-hyväksyttäväksi arvolla -0,1.

**Menetelmä 9:** Koekappaleen FM9 emissioista tunnistettiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen terpeeniyhdisteitä, mikä aiheutti pesuainemaisen (ei pistävä) hajun. Koekappaleen hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,6, ja sen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 2 972 µg/m<sup>2</sup>h.

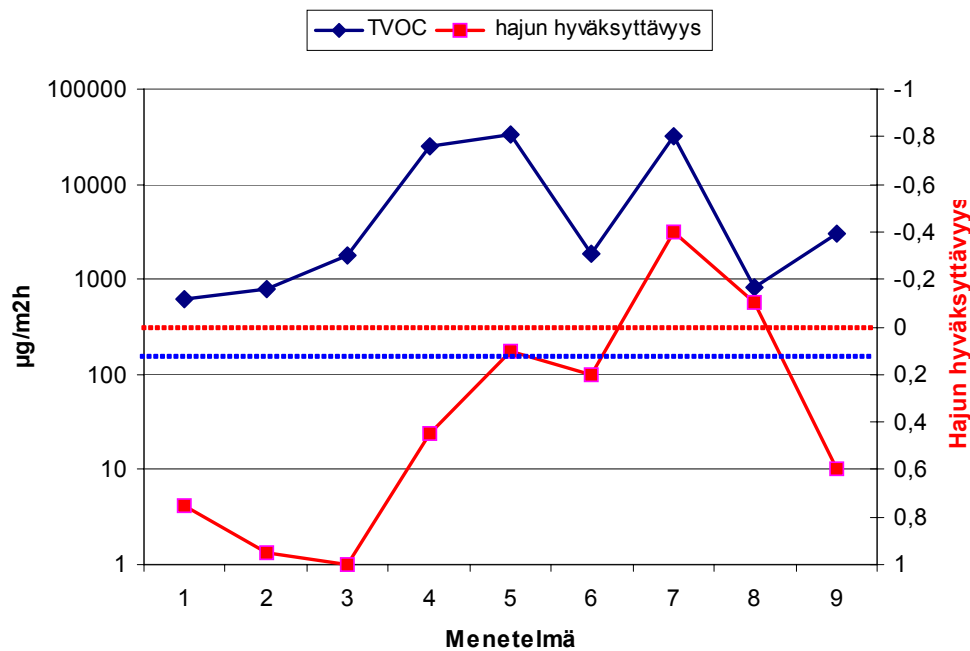
Taulukossa 14 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 38 ja 39 on esitetty hajunpoistokäsitteltyjen, muovimaton savulle altistettujen vaahtomuovikoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

Taulukko 14. Yhteenvedo FM-näytteiden analyysituloksista.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Makea	0,75	623	Terpeenejä
2.	Heikko, hieman kirpeä	0,95	806	Silyyliyhdisteitä
3.	Hajuton	1	1 796	Hiilivetyjä, alkyylibentseenejä
4.	Heikko kemiallinen	0,45	24 933	Hiilivetyjä, naftaleeniyhdisteitä
5.	Voimakas kemiallinen	0,1	33 092	Propyleeniglykolia
6.	Heikko savu	0,2	1 852	Fenolisia yhdisteitä
7.	Pesuaine	- 0,4	32 346	Propyleeniglykolia, furfuraalisia yhdisteitä
8.	Savu	-0,1	838	Oksoyhdisteitä, ketoneja
9.	Pesuaine, ei pistävä	0,6	2 972	Terpeenejä



Kuva 38. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän muovimaton poltossa syntyvälle savulle altistetun vaahtomuovikappaleen kokonaisemissiota.



Kuva 39. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan muovimaton poltossa syntyneelle savulle altistetuissa vaahtomuovinäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyksrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-rajaa-arvoa.

#### 3.6.4.12 Kanamunan savulle altistettu vaahtomuovi

Vaahtomuovikappaleet altistettiin kananmunan poltossa syntyvälle savulle. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli ennen hajunpoistokäsittelyä 137 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 1:** Hajunpoistomenetelmän 1 ansiosta koekappaleen FK1 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio laski huomattavasti arvoon 93 µg/m<sup>2</sup>h. Koekappaleen hajua kuvattiin heikoksi ja pesuainemaiseksi. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,7.

**Menetelmä 2:** Hajunpoistomenetelmä 2 laski koekappaleen FK2 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emission samalle tasolle kuin menetelmä 1, ja hajun hyväksyttävyyssarvo oli myös samalla tasolla, +0,5. Koekappaleen emissioista tunnistetut haihtuvat orgaaniset yhdisteet olivat hiilivetyjä ja terpeenejä.

**Menetelmä 3:** Hajunpoistomenetelmä 3 teki koekappaleesta FK3 hajuttoman hyväksyttävyyssarvion ollessa lähes täysin hyväksytty arvolla +0,9. Myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio laski tasolle 717 µg/m<sup>2</sup>h käytetyn menetelmän ansiosta. Koekappaleen emissioista tunnistetut yksittäiset yhdisteet olivat alifaattisia hiilivetyjä.

**Menetelmä 4:** Hajunpoistomenetelmä 4 jätti koekappaleeseen FK4 makeahkon ja kemiallisen hajun, joka jäi juuri ja juuri ei-hyväksyttävän puolelle arvolla -0,05. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 14 000 µg/m<sup>2</sup>h, ja yksittäisistä emissioista tunnistettiin hiilivetyjä, naftaleeneja ja alkyylibentseeneitä.

**Menetelmä 5:** Koekappaleen FK5 kokonaisemissio kasvoi huomattavasti arvoon 32 000 µg/m<sup>2</sup>h käytetyn hajunpoistokäsittelyn takia. Kokonaisemissiosta 85 % aiheutti propyleeniglykoli. Lisäksi koekappaleen emissioista tunnistettiin estereitä ja karboksyylihappoja, jotka saivat aikaan koekappaleen pistävän hajun. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli -0,15.

**Menetelmä 6:** Hajunpoistomenetelmä 6 sopi kananmunan savulle altistetun vaahtomuovin käsittelyyn, sillä koekappaleessa FK6 havaittiin vain heikko haju, joka sai hyväksyttävyyssarvon +0,4. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli vain 91 µg/m<sup>2</sup>h. Yksittäiset tunnistetut yhdisteet olivat hiilivetyjä.

**Menetelmä 7:** Hajunpoistomenetelmä 7 aiheutti koekappaleeseen FK7 pesuainemaisen hajun (hyväksyttävyyssarvo +0,35). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiosta 1 858 µg/m<sup>2</sup>h tunnistettiin pääosin hiilivetyjä ja estereitä.

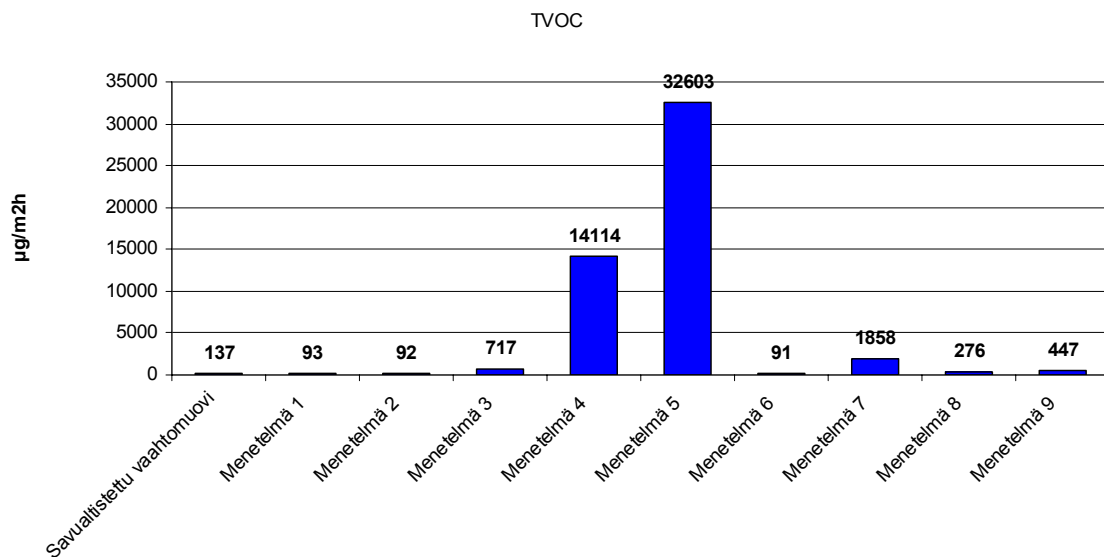
**Menetelmä 8:** Koekappale FK8 haisi hajunpoistokäsittelyn jälkeen puhtaalle, tosin osittain hieman pistävälle. Hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,25. Koekappaleen emissioista tunnistettiin käytetylle menetelmälle tyypillisiä oksoyhdisteitä. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli 276 µg/m<sup>2</sup>h.

**Menetelmä 9:** Esterit ja hajusteille tyypilliset yhdisteet saivat aikaan pyykinpesuainemaisen hajun koekappaleeseen FK9. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio koekappaleessa oli 447 µg/m<sup>2</sup>h, ja hajun hyväksyttävyyssarvo oli +0,2.

Taulukossa 15 esitetään yhteenveto (aistinvaraisen arvioinnin tulos, hajunkuvaus sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot ja emissioista tunnistetut tyypillisimmät yhdisteet) eri menetelmillä käsitellyistä kappaleista. Kuvissa 40 ja 41 on esitetty hajunpoistokäsiteltyjen, kananmunan savulle altistettujen vaahtomuovikoekappaleiden haihtuvien yhdisteiden kokonaisemissiot ja aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

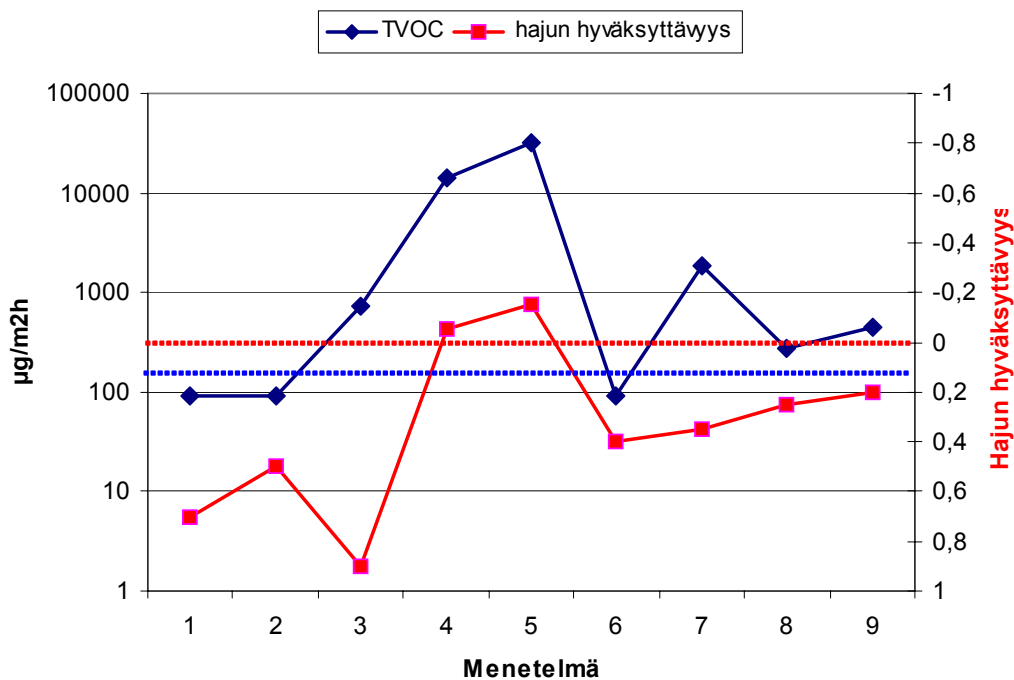
Taulukko 15. Yhteenveto FK-näytteistä eri hajunpoistomenetelmien jälkeen.

Menetelmä	Hajunkuvaus	Hajun hyväksyttävyyys	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Tyypilliset yhdisteet
1.	Heikko pesuaine	0,7	93	Etikkahappo
2.	Pesuaine	0,5	92	Hiilivetyjä, terpeenejä
3.	Hajuton	0,9	717	Alifaattisia hiilivetyjä
4.	Makeahko, kemiallinen	-0,05	14 114	Hiilivetyjä, naftaleenia, alkyylibentseenit
5.	Puhdistusaine, pistävä	-0,15	32 603	Propyleeniglykolia 85 %, estereitä, happoja
6.	Heikko haju	0,4	91	Hiilivetyjä
7.	Pesuaine	0,35	1 858	Hiilivetyjä, estereitä
8.	Puhdas, hieman pistävä	0,25	276	Oksoyhdisteitä
9.	Pyykinpesuaine	0,2	447	Estereitä, hajusteita



Kuva 40. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot hajunpoistokäsitellyissä koekappaleissa. Vasemmanpuolimmainen pylväs kuvaa käsittelemättömän kananmunan poltossa syntyvälle savulle altistetun vaahtomuovikappaleen kokonaisemissiota.





Kuva 41. Menetelmien 1–9 vertailu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hajun aistinvaraisen arvion mukaan kananmunan poltossa syntyneelle savulle altistetuissa vaahtomuovinäytteissä. Punainen katkoviiva kuvaa hajun hyväksyttävyyksrajaa ja sininen katkoviiva Rakennusmateriaaliluokituksen M1-rajaa-arvoa.

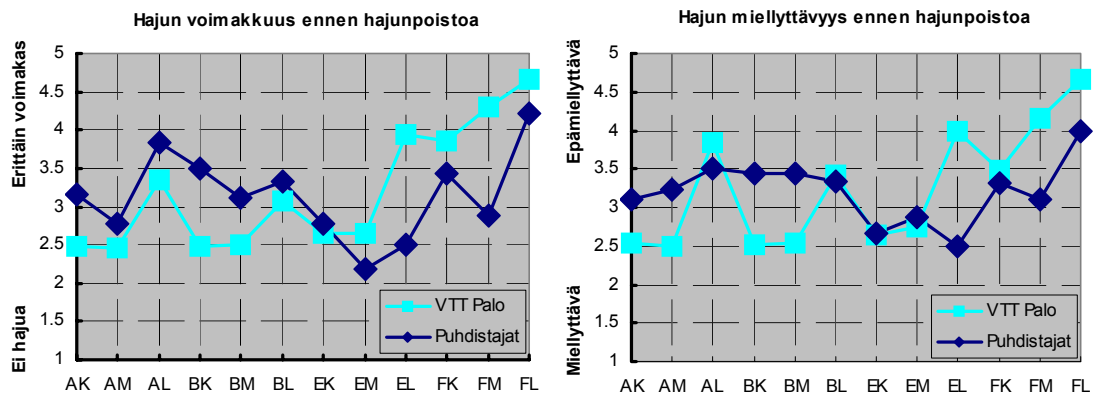
### 3.6.5 Aistinvarainen arviointi (VTT Palo)

Hajunpoiston ohessa puhdistajia pyydettiin tekemään aistinvarainen arviointi käsittelemistään kappaleista ennen käsittelyä ja sen jälkeen. Tämän aistinvaraisen arvioinnin lisäksi kappaleille tullaan tekemään myös asiantuntijoiden suorittama aistinvarainen arviointi. Myös kolme VTT:n paloturvallisuusryhmän (VTT Palo) työntekijää arvioi puhdistajien käsittelemät kappaleet. Heidän arvionsa ovat rinnastettavissa amatöörien arvioihin kappaleiden hajuista.

Aistinvarainen arviointi osoitti, että kohdekappaleisiin oli selvästi tarttunut savun hajua sekä puhdistajien että VTT Palon mielestä. Lisäksi aistinvaraisen tutkimuksen nojalla voidaan todeta, että ennen hajunpoistoa VTT Palon ja puhdistajien arvioinnit kappaleiden hajusta olivat melko yhtenevät, tai ainakaan systemaattisia poikkeamia ei havaittu, kuten kuva 42 osoittaa. Muovimaton savulle altistettu vaahtomuovikappale FM ja lastulevyn savulle altistettu kipsilevy EL ovat kuitenkin olleet VTT Palon mielestä keskimäärin selvästi voimakkaamman hajuisia kuin puhdistajien mielestä. Toisaalta puhdistajat ovat kokeneet kananmunan savulle altistetun vuorivillan voimakkaamman hajuisena kuin VTT Palo. Tässä on syytä muistuttaa lukijaa siitä, että tähän aistinvaraiseen arviointiin osallis-

tuneet VTT Palon työntekijät eivät ole minkään hajupaneelin jäseniä ja heidän mielipiteensä on siten vain heidän mielipiteensä ja rinnastettavissa esimerkiksi jälkisaneerausyrityksen asiakkaiden arvioihin. Tässä yhteydessä esitettävät aistinvaraisen arvioinnin tulokset ovat suuntaa antavia ja niistä tehtävät johtopäätökset eivät ole kattavia.

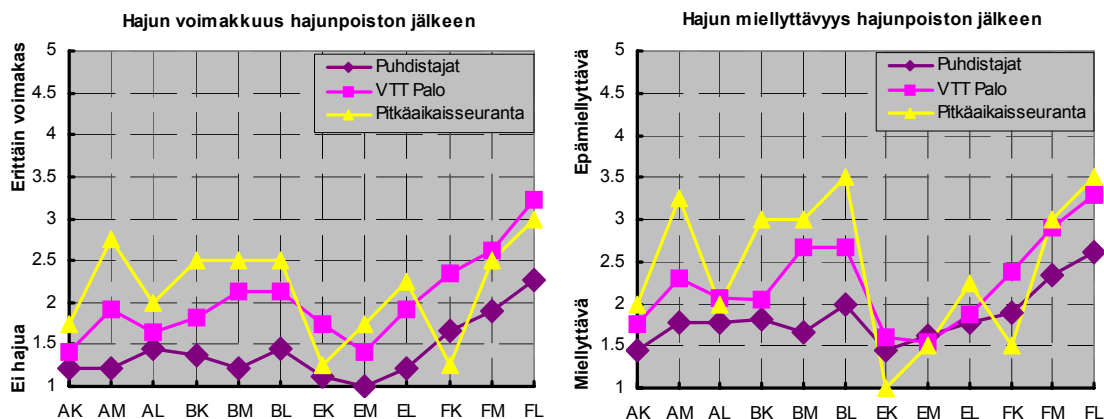
Myöskään hajun miellyttävyydessä ei havaittu mitään systemaattista eroa puhdistajien ja VTT Palon välillä. On kuitenkin muistettava, että puhdistajat ovat tottuneet kyseisiin hajuihin, kun taas VTT Palon työntekijät eivät. Tämä voi olla syynä siihen, että puhdistajien käyrä on melko tasainen, kun taas VTT Palon käyrässä on enemmän vaihteluja.



Kuva 42. Hajun voimakkuus ja miellyttävyys ennen hajunpoistoa.

Kun koekappaleet oli käsitelty ja niiden hajua arvioitiin uudelleen, systemaattisiakin eroja tuli esille. Selvästi VTT Palon työntekijät kokivat kappaleissa edelleen mahdollisesti olevan hajun sekä voimakkaammaksi että epämiellyttävämmäksi kuin puhdistajat. Tämä näkyy kuvassa 43. Kuvaan 43 on piirretty myös käyrä, joka kuvaa VTT Palon aistinvaraista arviointia koekappaleille, joita ei hajunpoistokäsitelty ollenkaan, vaan jotka olivat altistuksen jälkeen vapaassa tilassa koskemattomina 34 vuorokautta. Voidaan todeta, että reilussa kuukaudessa kappaleiden hajua on muuttunut sekä miedommaksi että vähemmän epämiellyttäväksi, mutta niiden hajua on kuitenkin suurimmassa osassa tapauksista pahempi, kuin puhdistajien käsittelemissä kappaleissa. Poikkeuksena olivat pitkäaikaisseurannassa olleet EK- ja FK-kappaleet, jotka on arvioitu keskimäärin selvästi sekä heikomman että miellyttävämmän hajuisiksi kuin vastaavat hajunpoistokäsitellyt kappaleet.

Täytyy myös muistaa, että kappaleet eivät ole täysin vertailukelpoisia hajunpoiston jälkeen, koska niihin sovelletut menetelmät olivat erilaisia. Kuitenkin voidaan sanoa, ettei koesarjojen joukosta löytynyt yhtään sellaista sarjaa, jonka VTT Palo olisi arvioinut hajultaan heikommaksi kuin puhdistaja itse. Sama päti pääpiirteittäin myös hajun miellyttävyyteen, mutta hajontaa esiintyi enemmän ja erot arvioissa olivat hieman pienemmät. Löytyi yksi sellainen koekappalesarja, jonka hajua VTT Palo oli arvioinut miellyttävämmäksi kuin kyseisen sarjan puhdistaja.



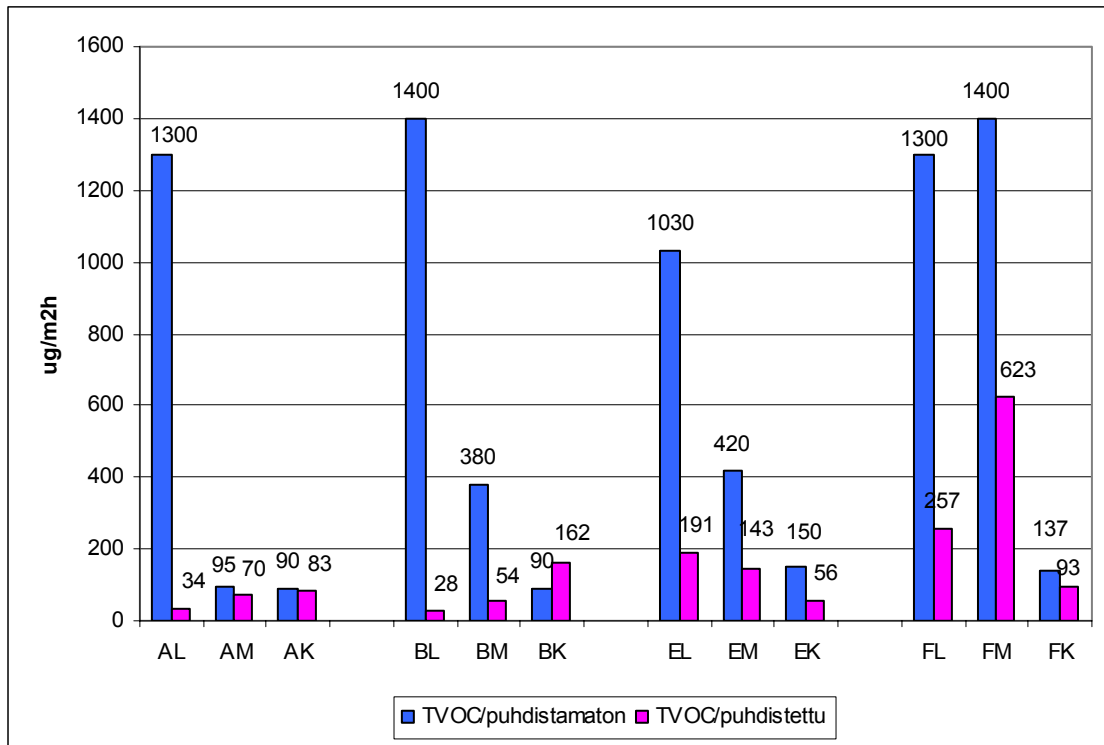
Kuva 43. Hajun voimakkuus ja miellyttävyys sekä puhdistajien että VTT Palon työntekijöiden arvioimana hajunpoiston jälkeen. Keskimäärin VTT:n paloturvallisuusryhmän työntekijät ovat kokeneet havaitsemansa hajun voimakkaampana kuin puhdistajat. Tätä kuvaa katsottaessa tulee muistaa, että kappaleisiin sovellettiin erilaisia hajunpoistomenetelmiä. Keltaisella on esitetty VTT Palon työntekijöiden arvio pitkäaikaisseurannasta olleista kappaleista. Lukijaa pyydetään huomaamaan, että pitkäaikaisseurannassa olleita koekappaleita ei hajunpoistokäsitelty.

### 3.7 Laboratoriokokeiden tulokset menetelmittain

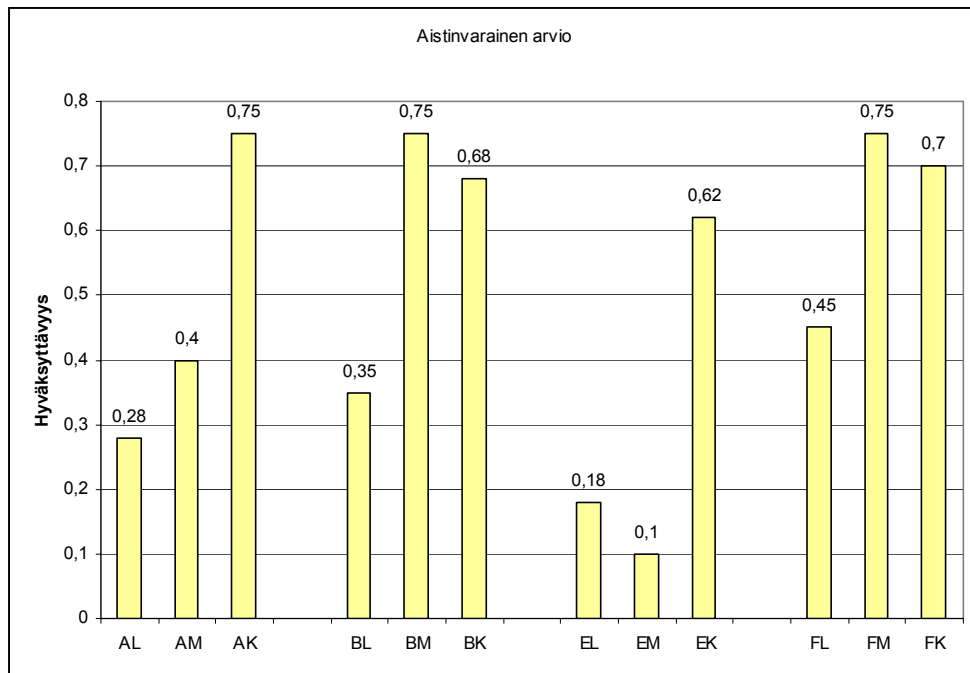
#### 3.7.1 Menetelmä 1 (kemiallinen)

Hajunpoistomenetelmän 1 huomataan vähentävän emissioita käsittelemättömiin koekappaleisiin verrattuna lähes kaikissa tapauksissa, ks. kuva 44. Selkein emissioiden väheneminen huomataan tapauksissa, joissa lasivilla- (A), vuorivilla- (B) tai kipsilevykappale (E) on altistettu lastulevyn savulle. Kanamunan savulle altistetun vuorivillanäytteen BK kokonaisemissio kasvoi hieman hajunpoistokäsittelyn seurauksena. Vaahtomuovikappaleen kohdalla hajunpoistomenetelmä oli erityisen tehokas kanamunan poltossa syntyneiden yhdisteiden emissioiden pienentämisessä.

Kuvasta 45 nähdään menetelmän 1 vaikutus koekappaleiden aistinvaraisen arvioinnin tulokseen. Erityisesti vaahtomuovikappaleet (F) olivat tämän käsittelyn jälkeen hajunsa puolesta lähes täysin hyväksyttäviä samoin kuin vuorivillakappaleet (B). Alhaisin hyväksyttävyyssarvo, kuitenkin positiivinen +0,1, oli muovimaton savulle altistetulla kipsilevyllä (EM).



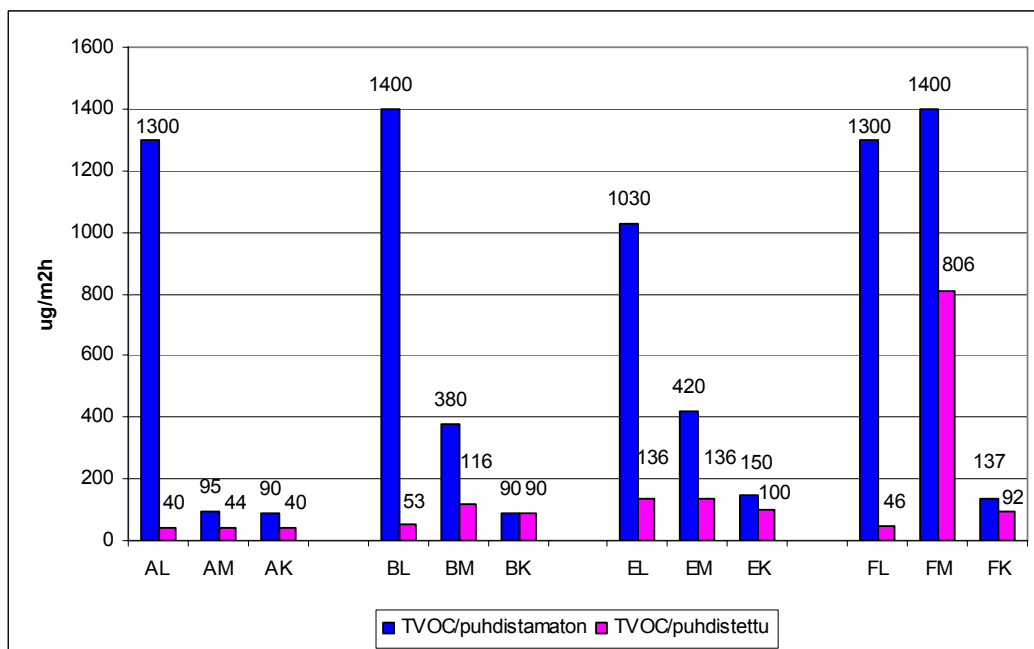
Kuva 44. Kemiallisen hajunpoistokäsittelyn 1 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.



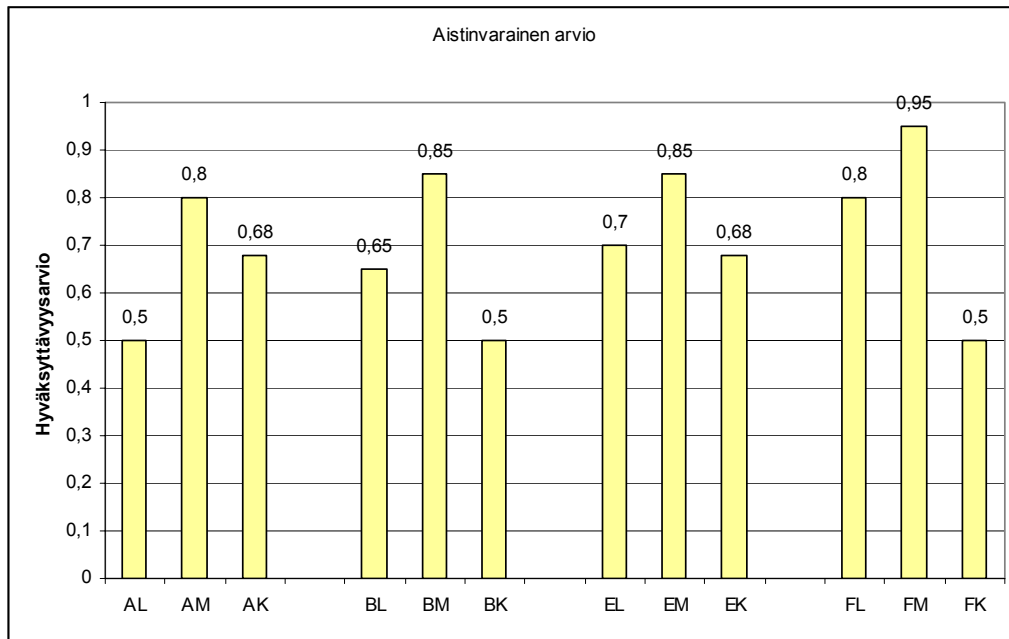
Kuva 45. Hajunpoistomenetelmän 1 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.2 Menetelmä 2 (kemiallinen)

Käytetty kemiallinen hajunpoisto vähensi erityisesti lastulevyn savun aiheuttamia emissioita kaikissa altistetuissa koekappaleissa, ks. kuva 46. Vähiten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot vähenivät kananmunan savulle altistetusta vuorivillakappaleesta BK. Aistinvaraiset arviot olivat kaikille koekappaleille hajunpoistokäsittelyn jälkeen hyväksyttäviä vähintään arvolla +0,5, mikä vastaa jo melko korkeaa hajun hyväksyttävyyttä. Kyseinen hajunpoistomenetelmä sopi hajun vähenemisen puolesta erityisesti muovimaton savulle altistetuille koekappaleille (AM, BM, EM, FM). Näistä vaahtomuovikappale oli käsittelyn jälkeen lähes hajuton, ja hajun hyväksyttävyyсарvio oli lähes täysin hyväksytty.



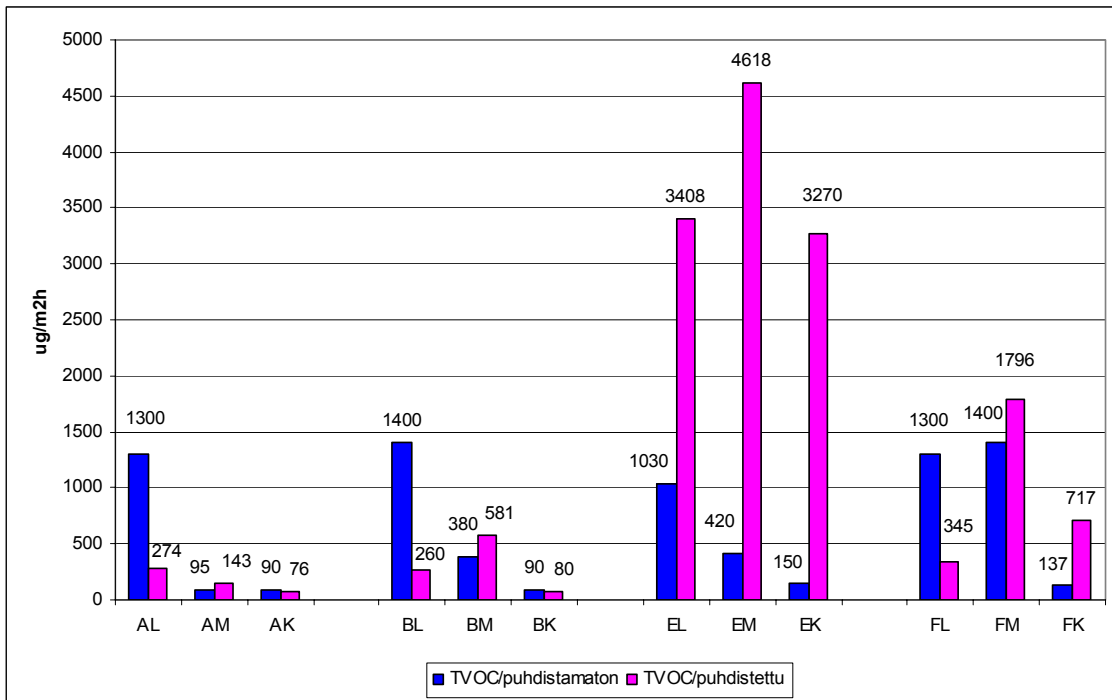
Kuva 46. Kemiallisen hajunpoistomenetelmän 2 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.



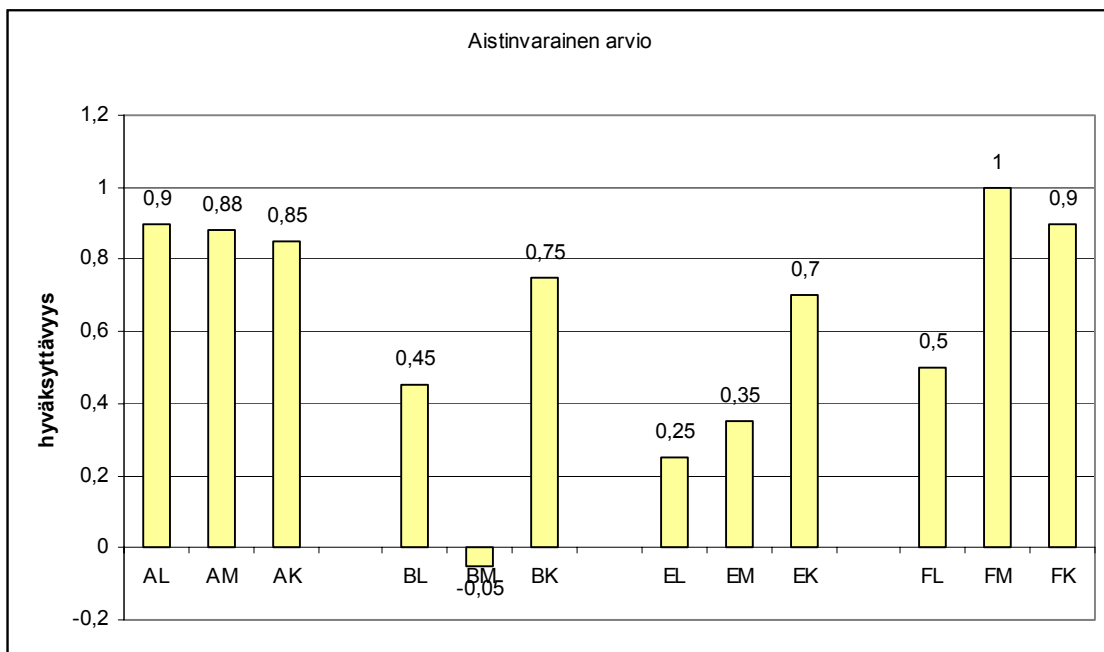
Kuva 47. Hajunpoistomenetelmän 2 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.3 Menetelmä 3 (lämmitys ja tuuletus)

Kuvista 48 ja 49 nähdään, että käytettäessä lämmitystä ja tuuletusta hajunpoistomenetelmänä erityisesti lasivillakappaleet (AL, AM, AK) ja vaahtomuovikappaleet (FL, FM, FK) olivat käsittelyn jälkeen aistinvaraisen arvioinnin mukaan erittäin vähän haisevia. Huomattavaa on muovimaton savulle altistetun vaahtomuovikappaleen FM täysin hyväksyttävä hajun hyväksyttävyyssarvio (+1,0). Katsottaessa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisuusmittausta huomataan, että ne ovat kasvaneet erityisesti kipsilevykappaleiden (EL, EM, EK) kohdalla. Kuitenkin näidenkin kappaleiden hajun hyväksyttävyyssarvot ovat olleet hyväksyttävällä asteikolla. Lämmitys ja tuuletus -hajunpoistokäsittelyn jäljiltä ainoastaan muovimaton savulle altistettu vuorivillakappale BM sai ei-hyväksyttävän aistinvaraisen arvion.



Kuva 48. Hajunpoistomenetelmän 3 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.

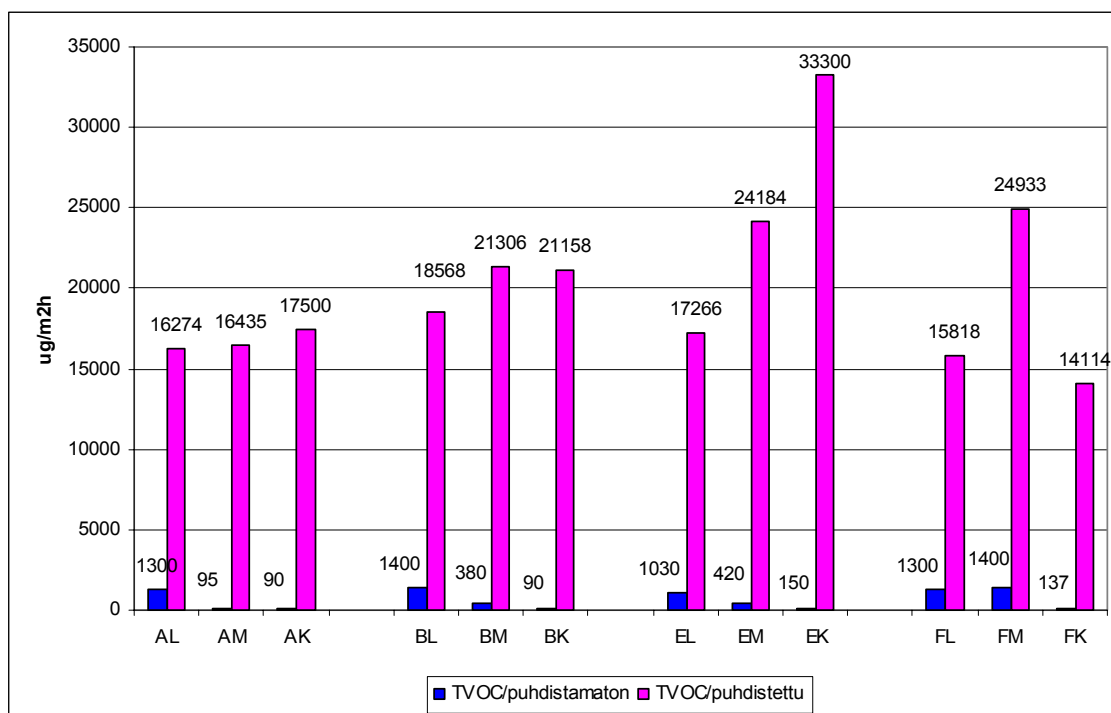


Kuva 49. Puhdistusmenetelmän 3 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.4 Menetelmä 4 (kemiallinen)

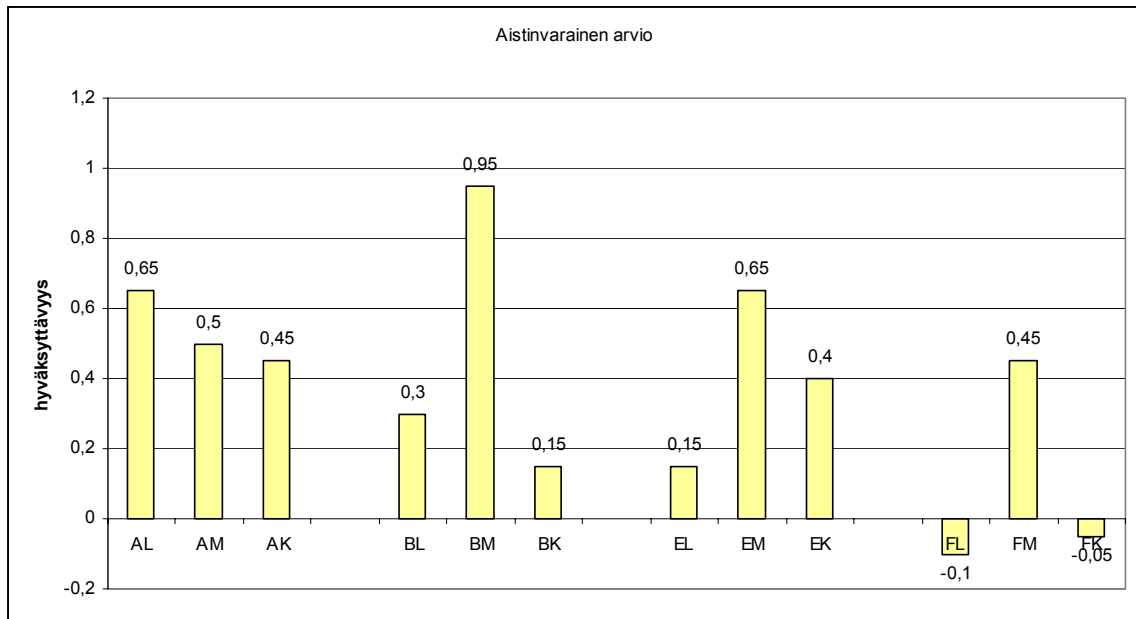
Käytetty hajunpoistomenetelmä nosti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission kaikissa käsitellyissä koekappaleissa vähintään tasolle 14 000 µg/m<sup>2</sup>h, ks. kuva 50. Vaikka haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli huomattavan suuri, se ei vaikuttanut hyväksyttävyyssarvioon negatiivisesti kaikkien koekappaleiden osalta, kuten kuvasta 51 näkyy. Syynä tähän oli se, että suurin osa emissioista tunnistetuista yhdisteistä oli alifaattisia hiilivetyjä (hajunpoistomenetelmästä peräisin), joiden tiedetään olevan yleensä vähiten hajuhaittaa aiheuttavia yhdisteitä.

Aistinvaraisen arvioinnin tulosten mukaan kyseinen menetelmä vähensi hajuja vähiten vaahtomuovikappaleissa, joista lastulevyn savulle (FL) ja kananmunan savulle (FK) altistetut koekappaleet jäivät vielä käsittelyn jälkeenkin ei-hyväksyttäviin hajuarvioihin. Näissä kappaleissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiot olivat kuitenkin koko joukon alimmat. Syynä huonoon tulokseen olivat naftaleeniset yhdisteet, joita menetelmä ei täysin poistanut/peittänyt vaahtomuovin ollessa kyseessä.



Kuva 50. Kemiallisen hajunpoistokäsittelyn 4 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.

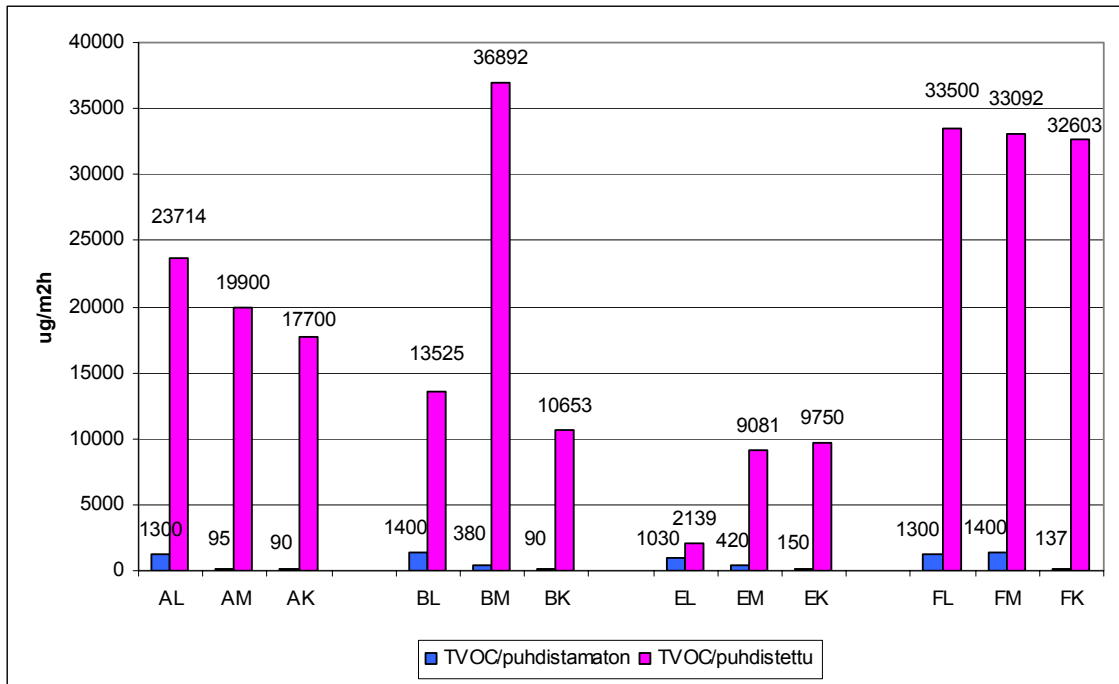




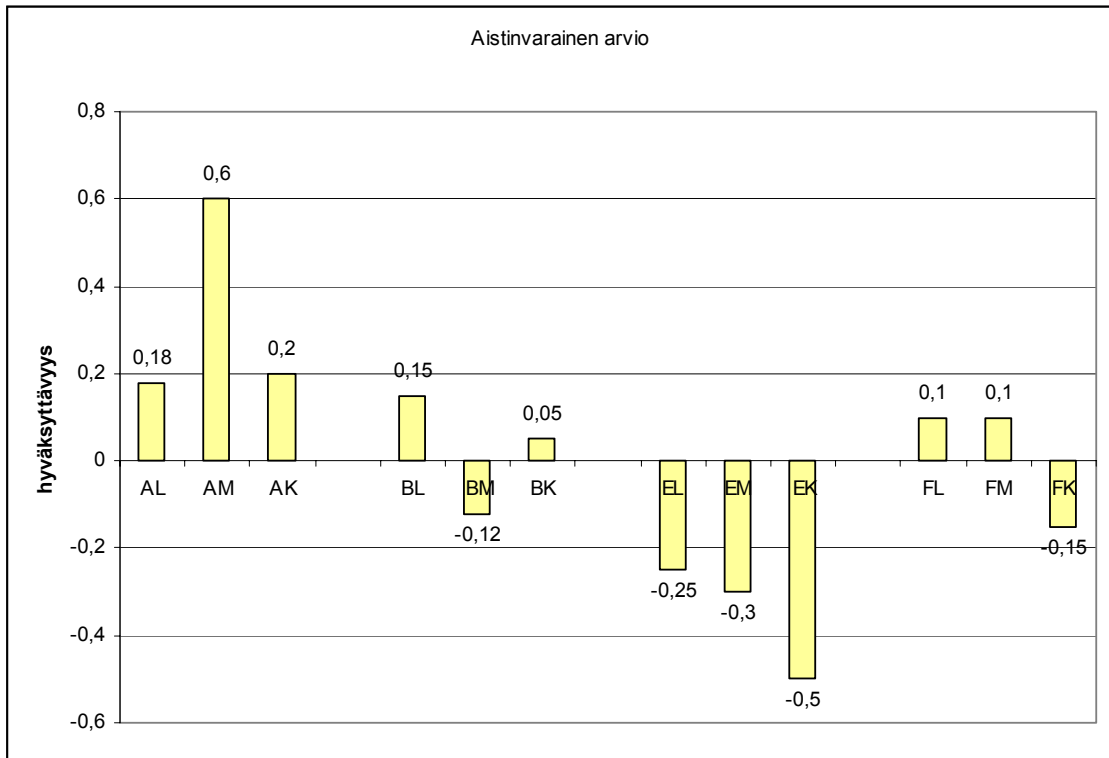
Kuva 51. Hajunpoistokäsittelyn 4 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.5 Menetelmä 5 (kemiallinen)

Hajunpoistomenetelmä 5 lisäsi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota kaikissa koekappaleissa. Erityisesti vaahtomuovikappaleiden (FL, FM ja FK) kokonaisemissiot olivat tasolla 33 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Kokonaisemissiot on esitetty kuvassa 52. Käsitelyn jälkeen emissiot olivat matalimmat kipsilevykappaleissa (EL, EM ja EK). Syynä yleisesti korkeisiin emissioihin oli propyleeniglykoli, jota käsiteltyjen kappaleiden emissioista tunnistettiin yli 85 %. Mielenkiintoista on todeta, että kun propyleeniglykolin määrä oli pienin (E-kappaleet), niin aistinvaraisen arvioinnin tulos oli ei-hyväksyttävä, ks. kuva 53.



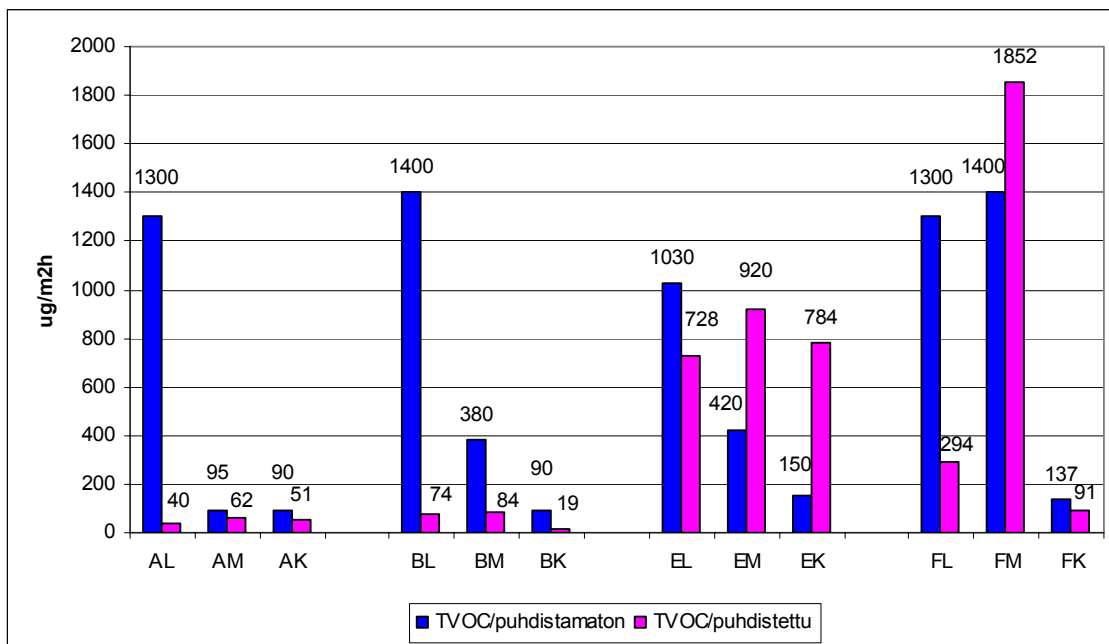
Kuva 52. Kemiällisen hajunpoistokäsittelyn 5 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.



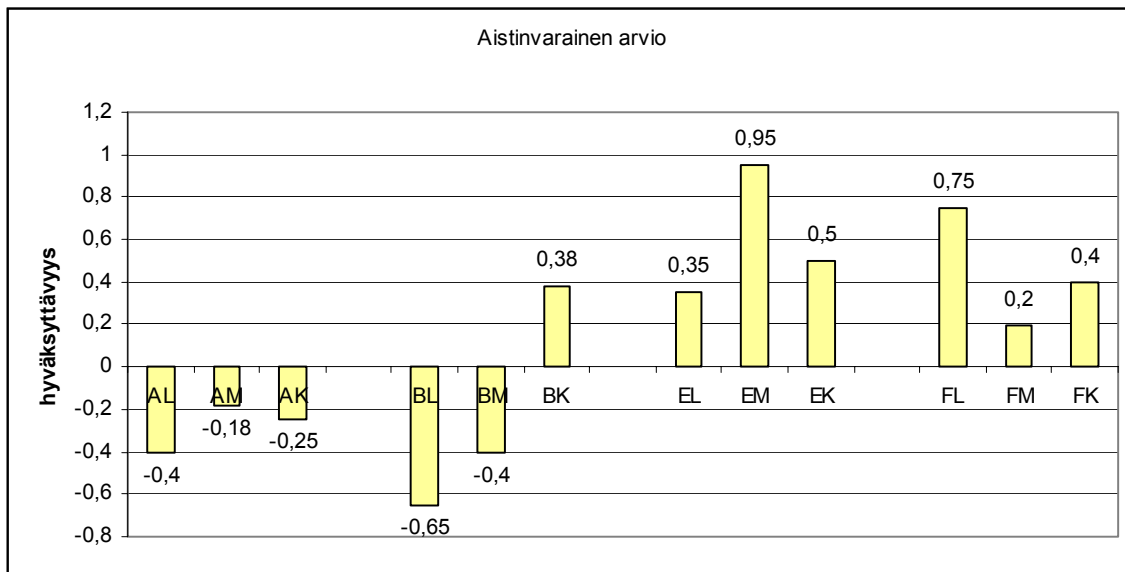
Kuva 53. Hajunpoistomenetelmän 5 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.6 Menetelmä 6 (ionisaattori)

Hajunpoistomenetelmä 6, eli ionisaattori, tehoi erityisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta lasivillakappaleisiin (AL, AM, AK) ja vuorivillakappaleisiin (BL, BM, BK) ja näistä parhaiten lastulevyn savulle altistettuihin kappaleisiin. Kipsilevykappaleiden kohdalla muovimaton savulle (EM) ja kanamunan savulle (EK) sekä vaahtomuovikappaleista muovimaton savulle (FM) altistetuilla kappaleilla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio kasvoi käsittelyn seurauksena. Käsiteltyjen kappaleiden kokonaisemissiot on esitetty kuvassa 54. Kuitenkin edellä mainittujen kappaleiden käsittelyn jälkeisen hajun hyväksyttävyyden oli melko korkea, kun taas päinvastoin kappaleissa, joissa oli ionisoinnin jälkeen pienimmät emissiot, oli hajun hyväksyttävyyden arvio jäänyt ei-hyväksyttävälle asteikolle. Ionisointi ei siis ollut poistanut kappaleista savun hajua aiheuttavia yhdisteitä. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset on esitetty kuvassa 55.



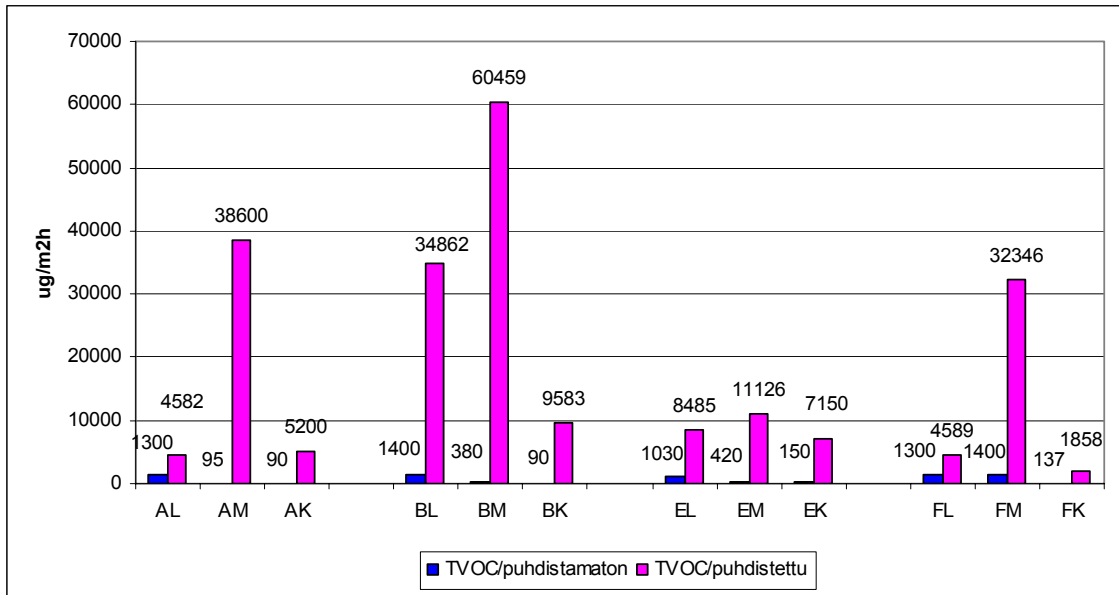
Kuva 54. Ionisaattorin vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.



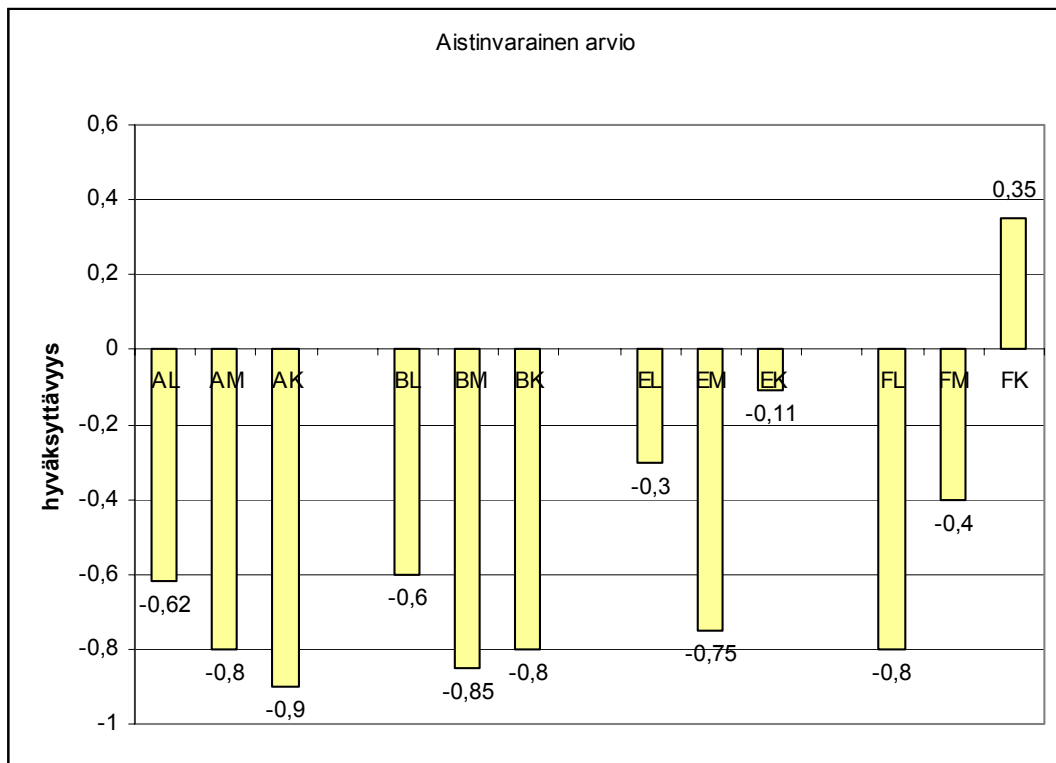
Kuva 55. Hajunpoistomenetelmän 6 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.7 Menetelmä 7 (kemiallinen)

Tämä hajunpoistomenetelmä kasvatti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiota huomattavasti kaikissa tutkittavana olleissa kappaleissa, ks. kuva 56. Esimerkiksi muovimaton savulle altistetussa vuorivillakappaleessa BM kokonaisemissio oli yli 60 000  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Muovimaton savulle altistettuihin kappaleisiin (AM, BM, EM, FM) käsittely aiheutti suurimmat emissiot. Tämä menetelmä tuotti pienimmät emissiot kipsilevykappaleisiin (EL, EM, EK). Aistinvaraisen arvioinnin tulokset olivat kaikille kappaleille negatiivisia ja siis ei-hyväksyttäviä lukuun ottamatta kananmunan savulle altistettua vaahtomuovikappaletta FK, jossa aistinvaraisen arvioinnin tulos oli hyväksyttävä arvolla +0,35. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset on esitetty kuvassa 57. Osassa kappaleita hajunkuvaukset olivat erittäin pahoja ja voimakkaita, vaikka varsinainen savun haju olikin hävinnyt.



Kuva 56. Kemiallisen menetelmän 7 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.

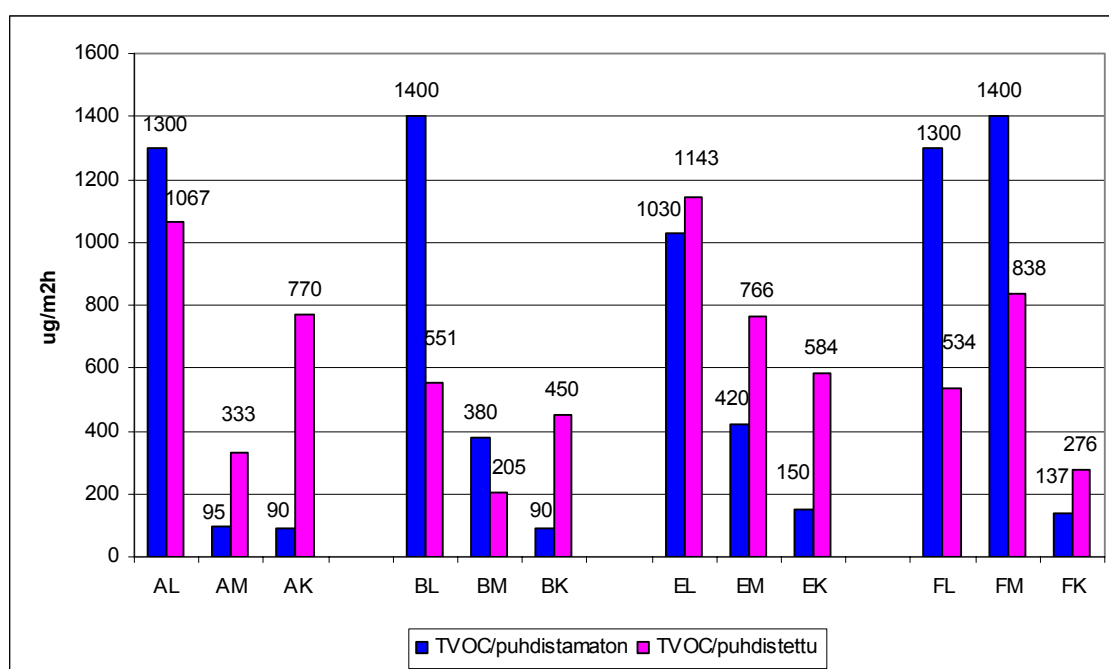


Kuva 57. Hajunpoistomenetelmän 7 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

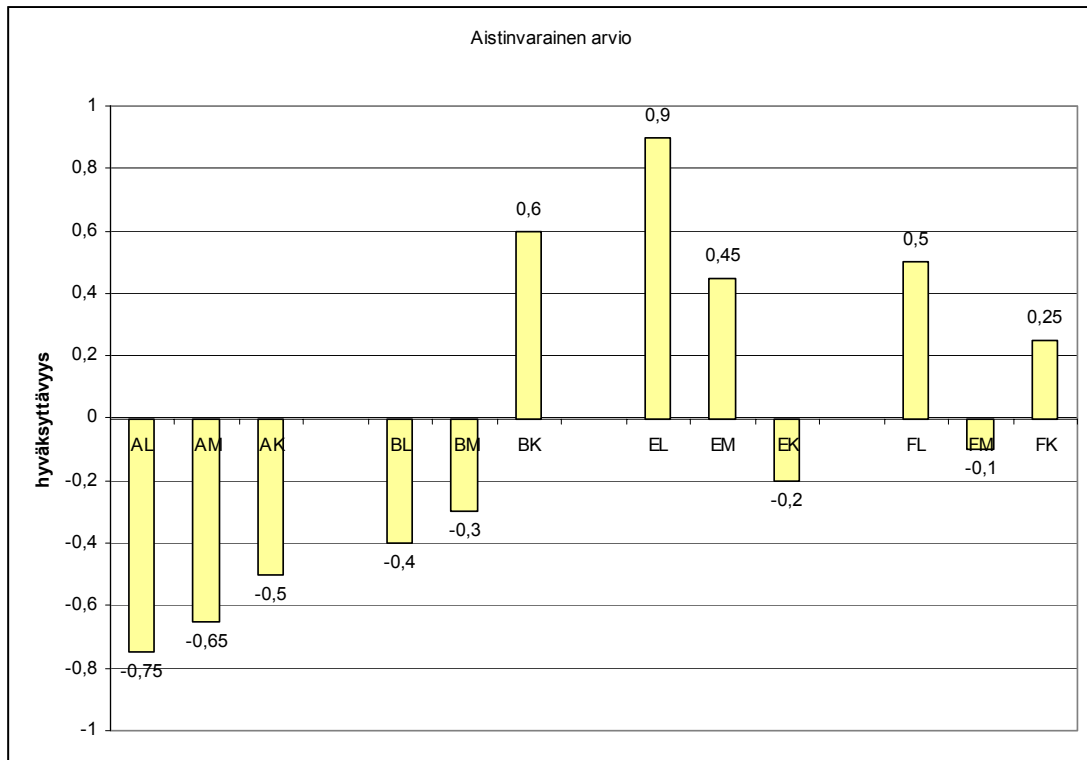
### 3.7.8 Menetelmä 8 (otsonaattori)

Otsonaattorin vaikutus savulle altistettuihin koekappaleisiin näkyy haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemission vähenemisessä erityisesti vaahtomuovikappaleiden kohdalla (FL, FM, FK). Kipsilevykappaleiden (EL, EM, EK) kohdalla otsonaattorin vaikutus on päinvastainen; haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio kasvoi käsittelyn vaikutuksesta samoin kuin lasivillakappaleiden AM ja AK kohdalla. Lastulevyn savulle altistetun vuorivillakappaleen BL ja lasivillakappaleen AL kohdalla otsonaattorikäsittely laski haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioita. Kokonaisemissiöt on esitetty kuvassa 58.

Aistinvaraisessa arvioinnissa lasivillakappaleiden (AL, AM, AK) hajun hyväksyttävyyssarvio otsonoinnin jälkeen oli ei-hyväksyttävä eli negatiivinen. Vuorivillakappaleiden kohdalla haju oli käsittelyn jälkeen epämiellyttävä lastulevyn savulle ja muovimaton savulle altistetuissa kappaleissa BL ja BM. Kipsilevykappaleista lastulevyn savulle altistettu kappale EL oli hajun suhteen lähes täysin hyväksyttävä hyväksyttävyyssarvolla +0,9. Kokonaisuudessaan otsonointi auttoi eniten hajun hyväksyttävyyden kannalta kipsilevykappaleiden EL ja EM ja vaahtomuovikappaleiden FL ja FK tapauksissa. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset on esitetty kuvassa 59.



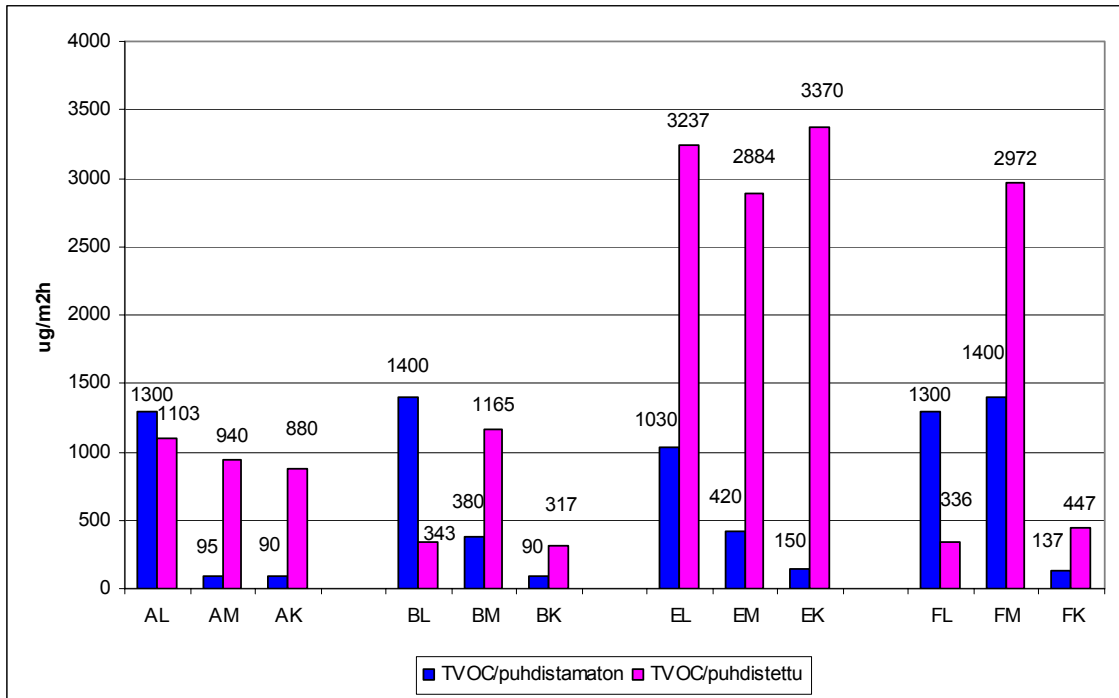
Kuva 58. Otsonaattorin vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.



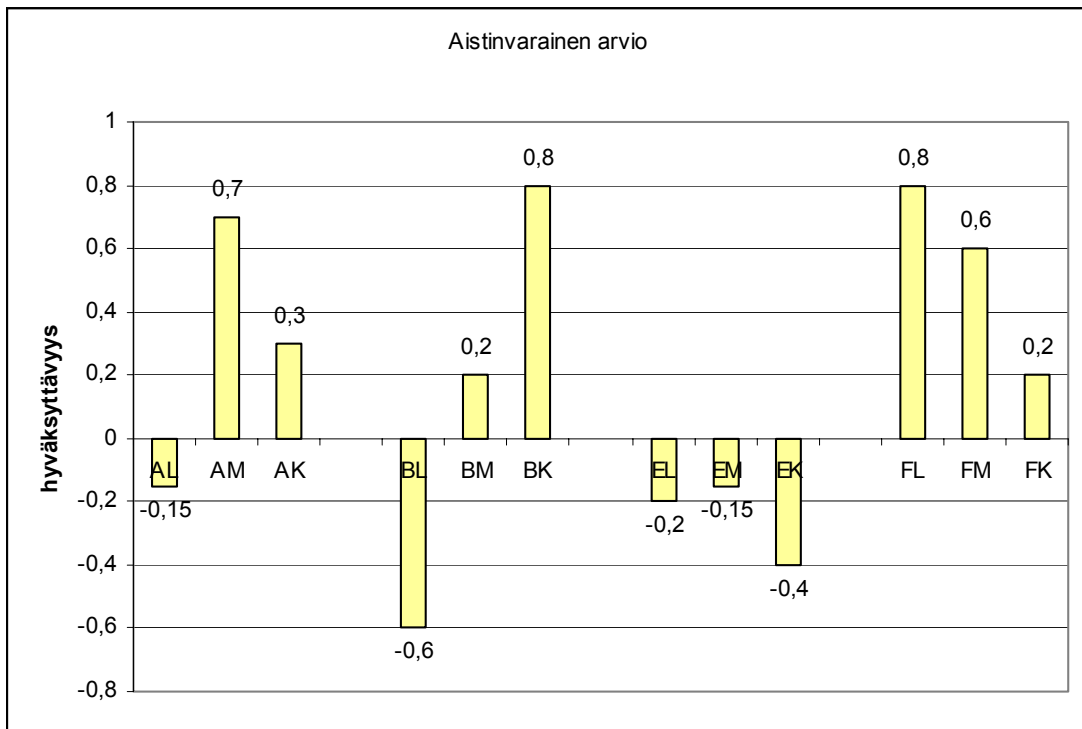
Kuva 59. Hajunpoistomenetelmän 8 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

### 3.7.9 Menetelmä 9 (kemiallinen)

Menetelmä 9 lisäsi erityisesti eri savuille altistettujen kipsilevykappaleiden (EL, EM, EK) emissioita, ks. kuva 60. Myös näiden näytteiden aistinvaraisen arvioinnin tulos oli selkeästi ei-hyväksyttävä, ks. kuva 61. Aistinvaraisesti arvioiden käytetty hajunpoistotekniikka oli hyödyksi erityisesti vaahтомуovikappaleiden kohdalla; aistinvaraiset arviot olivat kaikille niille hyväksyttäviä.



Kuva 60. Menetelmän 9 vaikutus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissioihin.



Kuva 61. Hajunpoistomenetelmän 9 aistinvaraisen arvioinnin tulokset.

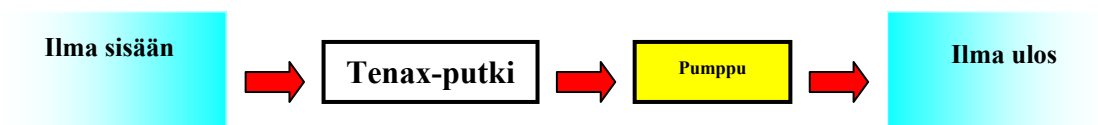


## 4. Kenttäkokeet

### 4.1 Käytetyt arviointimenetelmät

#### 4.1.1 Kenttämittaukset

Kenttämittauksissa (todellinen palokohde ja suuren mittakaavan koe) näytteet kerättiin sekä sisäilmasta että huoneen pinnoista (seinä, lattia, katto). Pintojen mittaukset tehtiin FLEC-tekniikalla, jota on käsitelty tarkemmin luvussa 3.5.2.1. Sisäilman haihtuvat orgaaniset yhdisteet adsorboitiin Tenax TA ja Tenax GR -adsorbentteihin. Menetelmän periaate on esitetty kuvassa 62. Lisäksi sisäilmasta määritettiin ammoniakki-, formaldehydi ja PAH-pitoisuudet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt).



Kuva 62. VOC-mittausten periaate.

#### 4.1.2 Ammoniakki

Sisäilman ammoniakkipitoisuus määritettiin VTT:n menetelmäohjeen mukaisesti (VTT:n menetelmäohje). Menetelmä on akkreditoitu. Käytetty näytteenottomenetelmä perustuu ammoniakin absorptioon laimeaan rikkihappoon. Liuoksesta ammoniakki analysoidaan ammoniakkipesifisellä elektrodilla. Menetelmän määrittelyherkkyys on 0,005 mg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3 Formaldehydi

Sisäilman formaldehydi adsorboitiin laimeaan rikkihappoon kuplitusmenetelmää käyttäen. Formaldehydi analysoitiin näytteistä spektrofotometrisesti asetyyliasetoni-menetelmällä. Menetelmän määrittelyherkkyys formaldehydille on 0,01 mg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.4 Muut menetelmät

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi kenttäkohteista mitattiin myös VOC- ja PAH-pitoisuudet sekä otettiin FLEC-näytteitä käyttäen menetelmiä, jotka on kuvattu luvuissa 3.5.2.1, 3.5.2.2 ja 3.5.2.3.

## 4.2 Suuren mittakaavan koe

Suuren mittakaavan kokeen tarkoituksena oli arvioida laboratoriokokeiden tulosten paikkansapitävyyttä tositilanteessa. Suuren mittakaavan kokeena suoritettiin osittainen televisiopalo, joka rajoittui yhteen huoneeseen ja jossa varsinaiset palovahingot jäivät pieniksi. Koe järjestettiin 6.10.2005 yhteistyössä Lohjan Pelastuslaitoksen kanssa, jonka harjoituskohteeksi saatiin projektin käyttöön ennen varsinaista harjoituspolttoa. Kohde oli Lohjan Muijalassa sijaitseva vanha pienekö omakotitalo, joka näkyy kuvassa 63. Kohdeessa suoritettiin sisäilmamittaukset välittömästi ennen polttokoetta, heti polttokokeen jälkeen ja yksi vuorokausi puhdistuksen ja hajunpoiston jälkeen.



*Kuva 63. Rakennus, jossa suuren mittakaavan koe suoritettiin.*

### 4.2.1 Valmistelut

Suuren mittakaavan kokeen valmistelu aloitettiin vierailulla koerakennukseen. Vierailun aikana päätettiin suorittaa koe huoneessa, jonka ikkuna näkyy kuvassa 63. Palohuone mitattiin ja sovittiin palon jälkeisistä puhdistus- ja hajunpoistotoimenpiteistä.

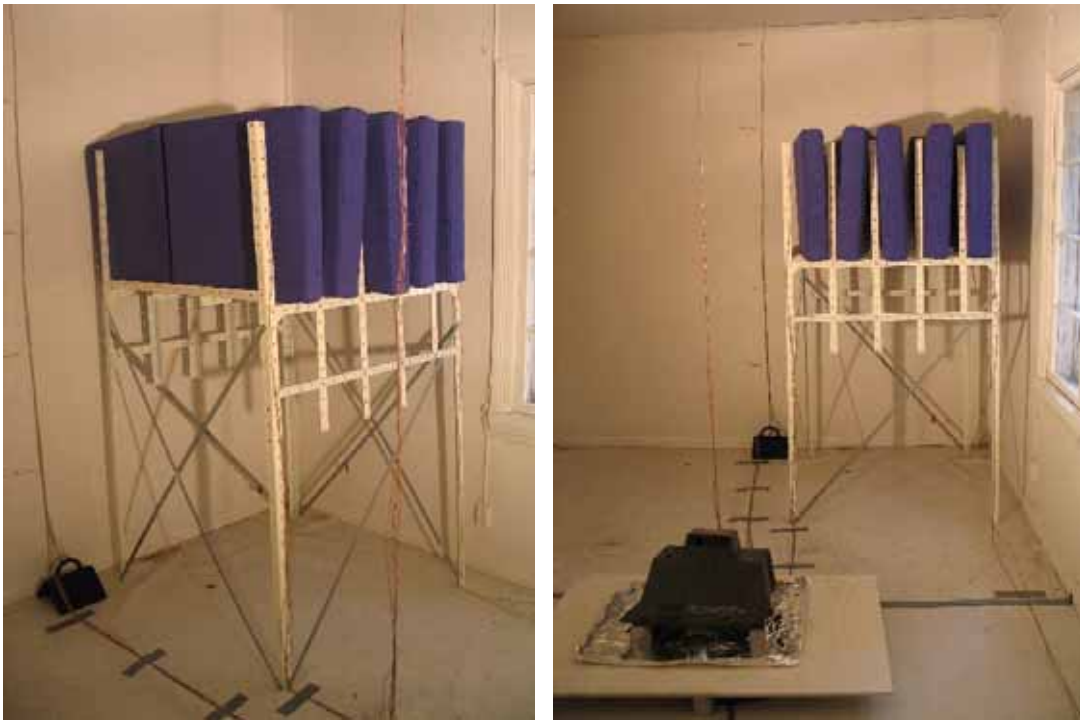
Koska talo oli ollut kauan tyhjillään, päätettiin tilanteen todenmukaistamiseksi palohuone lämmittää ennen kokeen suorittamista. Lämmitin tuotiin palohuoneeseen 5.10. ja huoneen ovet suljettiin. Koepäivään mennessä koehuoneen lämpötila oli nostettu noin 20 asteeseen.

Itse palohuoneen lisäksi savulle altistettiin myös sohvatyynyjä, jotka saatiin lahjoituksena Suomi-Soffalta. Sohvatyynyjä varten rakennettiin teline, joka on esitetty kuvassa 64. Telineen korkeus oli noin 185 cm ja tyynyjen alalaita oli 130 cm:n korkeudella lattiasta.

Tyynyjen materiaalitiedot on esitetty taulukossa 16. Tyynyjen hajunpoistokäsittely ja sen onnistumisen arviointi jouduttiin kuitenkin lopuksi jättämään projektin ulkopuolelle.

*Taulukko 16. Sohvatyynyjen materiaalitiedot.*

<b>Sohvatyynyt 60cm x 60cm x 10cm (Suomi-Soffa)</b>	
<b>Päällinen</b>	Lyhytnukkainen polyesteripinta, puuvillapohja
<b>Sisus</b>	Vaahtomuovi 35 kg/m <sup>3</sup>



*Kuva 64. Sohvatyynyt (10 kpl) telineessään ja palomateriaali alustallaan. Katosta roikuvat langat ovat termoelementtipylväitä.*

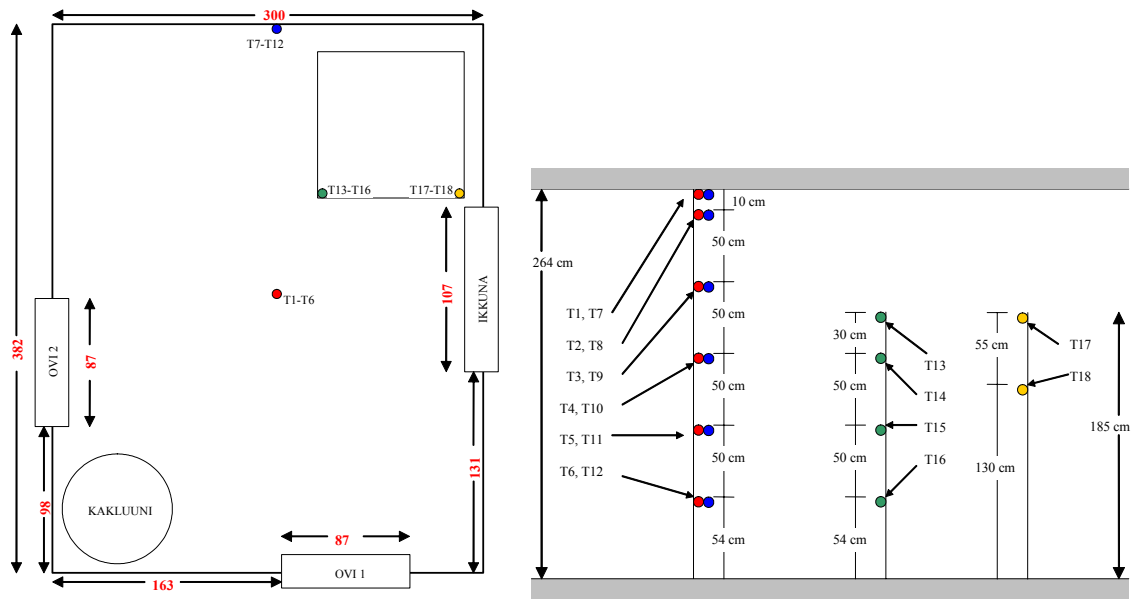
Kokeen kulun seuraamiseksi paikalle tuotiin Solartron-tiedonkeruujärjestelmä, jonka avulla voitiin seurata kokeen aikaisia lämpötiloja koehuoneessa ja sen ympäristössä. Tätä varten palohuoneeseen asennettiin termoelementtejä pylväiksi, jotka sijoitettiin kuvan 66 kaavioiden mukaisella tavalla. Pylväät rakennettiin siten, että termoelementit T1–T6 kiinnitettiin katosta lattiaan ulottuvaan rautalankaan, termoelementit T7–T12 huoneen takaseinään ja termoelementit T13–T18 tyynytelineeseen. Termoelementtien johtoja varten oveen 1 porattiin kuvassa 65 esitetty aukko. Samaan oveen tehtiin reikä myös videokameraa varten. Termoelementti T19 kiinnitettiin oveen 1 poratun aukon

viereen 6 cm:n korkeudelle lattiasta ja termoelementti T20 talon ulkoseinään 155 cm:n korkeudelle ja 120 cm:n etäisyydelle ulko-ovesta. Tämä mittauspiste ei ollut ikkunan läheisyydessä.



*Kuva 65. Termoelementtien johtoja varten oveen 1 porattu aukko.*

Tyynytelineen ja termoelementtien asentamisen lisäksi valmistettiin television taustalevylle sopiva paloalusta. Paloalustaksi valittiin palamaton levy, joka nostettiin 10 cm:n korkeudelle lattiasta betonikuutioiden avulla kuvassa 64 näkyvällä tavalla. Palomateriaaliksi valittu television taustalevy asetettiin folioastiaan ja nostettiin irti foliosta samoilla betonikuutioilla. Television taustalevy paikallaan näkyy kuvassa 67.



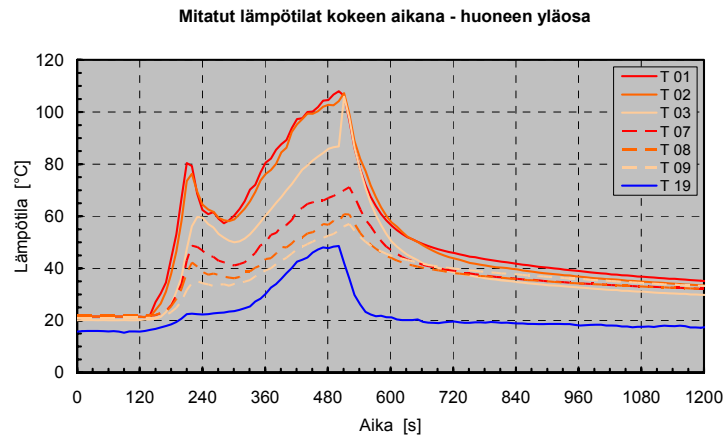
Kuva 66. Vasemmalla koehuoneen pohjapiirros mittoineen (cm), johon on erivärisillä palloilla merkitty termoelementtitylväiden sijainnit ja pylväisiin sijoitetut termoelementit T1–T18. Pohjapiirroksen oikeassa yläkulmassa oleva neliö kuvaa tyynytelinettä. Oikealla termoelementtitylväiden mitat.

#### 4.2.2 Kokeen kulku

Ennen kokeen alkua valmistettiin sytytysliuos, 2 cl Sinolia ja 0,5 cl vettä, peltiseen purkkiin, joka asetettiin taustalevyn alle kuvan 67 osoittamalla tavalla. Peltipurkin halkaisija oli 85 mm. Koe alkoi tiedonkeruun käynnistämällä. Lämpötiladataa kerättiin 2 minuutin ajan ennen liuoksen sytyttämistä. Liuoksen sytyttämisen jälkeen television taustalevy syttyi nopeasti ja alkoi heti tuottaa runsaasti mustaa savua. Myös lämpötila huoneessa kohosi nopeasti kuten on nähtävissä kuvassa 68, mutta kääntyi kuitenkin laskuun jo noin 1,5 minuutin kuluttua sytytyksestä. Noin neljän minuutin kuluttua taustalevyn syttymisestä huone oli täynnä savua noin 60 cm:n korkeuteen lattiasta. Tässä vaiheessa tuli oli jo hiipunut, mutta ei täysin sammunut. Huoneen lämpötila lähti uudelleen nousuun noin 3 minuutin kuluttua sytytyksestä. Kun lämpötila huoneessa jatkoi nousuaan, tuli päätettiin sammuttaa rakenteiden vaurioitumisen välttämiseksi. Tulen sammutti yksi palomies sankoruiskulla noin 6 minuutin kuluttua sytytyksestä. Sammutuksen jälkeen savun annettiin virrata huoneesta ulos avoimen oven ja ikkunan kautta noin 5 minuutin ajan, jonka jälkeen savun poistumista palohuoneesta nopeutettiin tuulettimella. Kokeen eteneminen näkyy kuvassa 69. Koko kokeen kulku videona saadaan nähtäville oheisesta linkistä: [suuren mittakaavan koe VIDEO](#).



*Kuva 67. Palomateriaali ja sytytysastia.*



*Kuva 68. Palohuoneen yläosasta kokeen aikana mitatut lämpötilat. Yhtenäiset viivat kuvaavat lämpötiloja huoneen keskiosassa. Termoelementti T01 on huoneen katossa, T02 10 cm katonrajan alapuolella ja T03 60 cm katonrajan alapuolella. Katkoviivat kuvaavat lämpötiloja huoneen takaseinällä. Merkityt termoelementit olivat samoilla korkeuksilla kuin T01–T03. Sininen viiva kuvaa lämpötilaa lattianrajassa.*



*Kuva 69. Kuvia suuren mittakaavan kokeesta.*



*Kuva 69. Kuvia suuren mittakaavan kokeesta.*



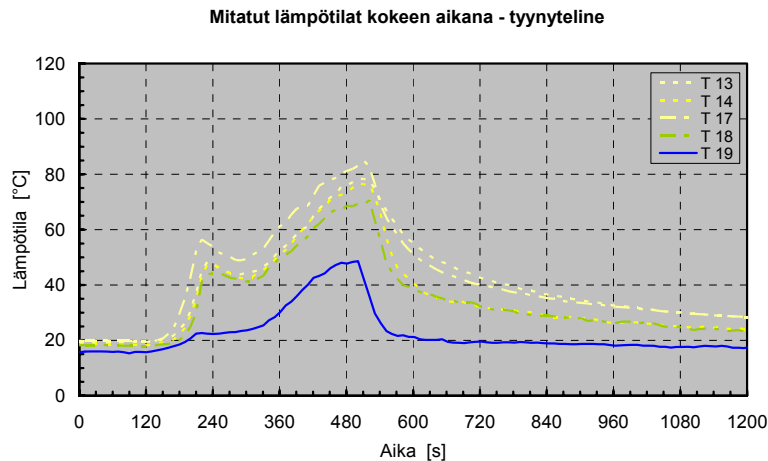


*Kuva 69. Kuvia suuren mittakaavan kokeesta.*



*Kuva 69. Kuvia suuren mittakaavan kokeesta.*

Lämpötilaa, jossa sohvatyynyt altistuivat savulle, seurattiin tyynytelineeseen kiinnitettyjen termoelementtien avulla. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 70. Lämpötila on tyynyjen läheisyydessä käyttäytynyt hyvin samalla tavalla kuin huoneen katonrajassa. Heti sytytyksen jälkeen lämpötila on noussut rajusti, jonka jälkeen se on kääntynyt laskuun. Lämpötila on kuitenkin lähtenyt uuteen nousuun, ja paikallisesti tyynyt ovat olleet jopa 80 asteen kuumuudessa. Ulkoilman lämpötila ei kokeen aikana vaihdellut merkittävästi vaan pysyi 12 ja 13 asteen välillä.



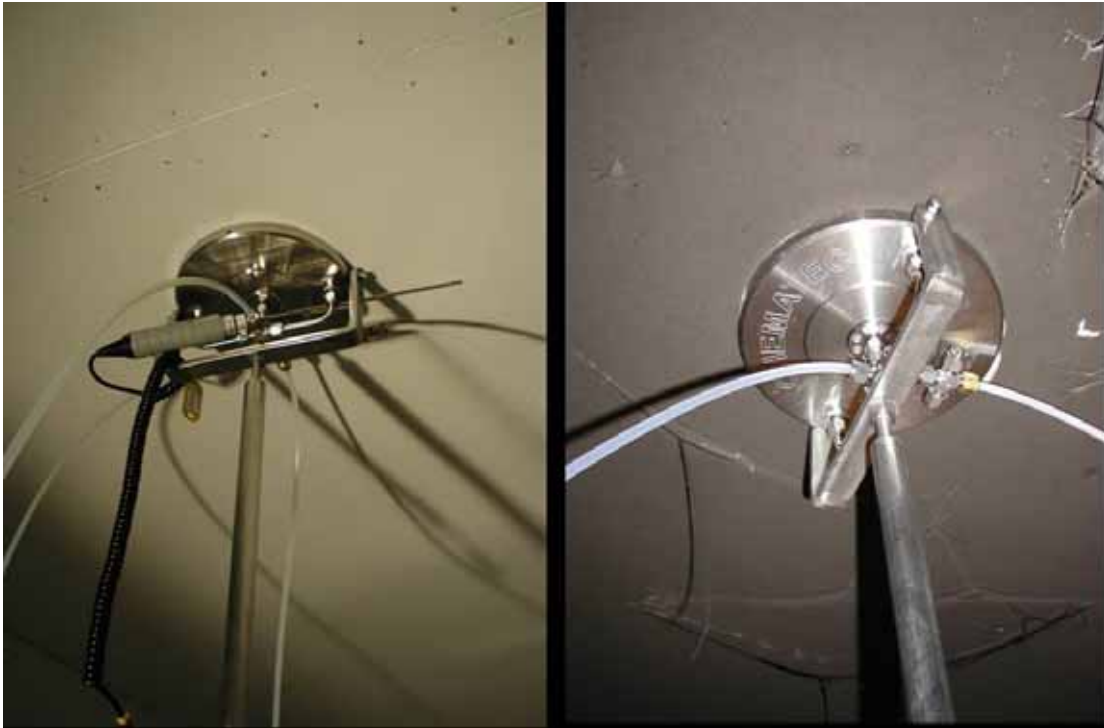
Kuva 70. Lämpötilat kokeen aikana savulle altistettujen sohvatyynyjen ympäristössä. Sininen viiva kuvaa lämpötilaa lattianrajassa.

### 4.2.3 Palohuoneen hajunpoistokäsittely

Puhdistus- ja hajunpoistotyöt kohteessa aloitettiin 10.10. eli neljä päivää koepolton jälkeen. Hajunpoisto suoritettiin siten, että käsiteltäviin pintoihin (katto ja seinät) märkäsumentettiin hajunmuokkauskemikaalia puhdistuksen yhteydessä. Yhteensä tätä seosta sumutettiin noin 1,5 litraa huoneen katto- ja seinäpinnoille. Tilaan jätettiin lämpöpuhallin, jonka eteen asetettiin kaksi hajunmuokkauskemikaalia luovuttavaa hajunpoistotyynyä kontrolloimaan sisäilman mahdollisia hajuja.

### 4.2.4 Palohuoneen sisäilman laatu ja kattopinnan emissiot

Lohjan palokohteessa sisäilma- ja kattopinnan mittaukset suoritettiin ennen polttoa, välittömästi polton jälkeen (6.10.2005) sekä hajunpoiston jälkeen (11.10.2005). Oheisissa kuvissa 71, 72, 73 ja 74 on esitetty mittausjärjestelyjä sisäilma- ja pintamittauksista.



*Kuva 71. Lohjan polttokohde: kattopinnan emissioiden määrittäminen ennen palotapahtumaa ja sen jälkeen.*



*Kuva 72. Lohjan polttokohde: sisäilmamittaus ennen polttoa.*



*Kuva 73. Lohjan polttokohde: sisäilmamittaus heti polton jälkeen. Huom. pintojen nokeentuminen näkyy selvästi kuvassa.*



*Kuva 74. Lohjan polttokohde: sisäilmamittaus hajunpoistokäsittelyn jälkeen. Kuvassa näkyy puhdistuskäsittelyn vaikutus pintoihin verrattuna edelliseen kuvaan.*

Taulukoissa 17 ja 18 esitetään sisäilman TVOC-pitoisuudet ja kattopinnan TVOC-emissiot sekä PAH-yhdisteiden pitoisuudet/emissiot.

*Taulukko 17. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet sisäilmanäytteissä ja emissiot kattopinnassa ennen polttokoetta, välittömästi polton jälkeen sekä hajunpoiston jälkeen.*

Mittaukset	TVOC		
	ennen polttoa	palon jälkeen	hajunpoiston jälkeen
Sisäilma [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	110	850	2 550
Katto [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]	2	700	2 290

**Ennen polttokoetta:** Mittauksen kohteena olevan huoneen sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat ennen polttoa  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ja kattopinnan emissiot olivat  $2 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ .

**Palon jälkeen ennen hajunpoistoa:** Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus palon jälkeen oli noussut tasolle  $850 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja suurin osa tunnistetuista yhdisteistä oli PAH-yhdisteitä. Määrällisesti suurin yksittäinen yhdiste oli televisiopaloille tyypillinen styreeni, jonka pitoisuus sisäilmassa oli  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeessa ilmoitettu styreenin enimmäispitoisuus sisäilmassa on  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

Kattopinnan kokonaisemissio oli  $700 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja emissioista tunnistettiin melko suuria määriä styreeniä, naftaleenia ja muita PAH-yhdisteitä (mm. azuleeni, metyylinaftaleeni, bifenylyli, metyylibifenylyli).

**Hajunpoiston jälkeen:** Hajunpoiston jälkeen mittauksen kohteena olevassa huoneessa havaittiin imelä haju, ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli  $2 550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Suurin sisäilmanäytteestä tunnistettu yhdiste oli glykolyhdiste, joka yhdistetään huoneessa aistittuun hajuun. Lisäksi sisäilmanäytteestä tunnistettiin hajusteille ja pesuaineille tyypillisiä terpeeniyhdisteitä ja esteriyhdisteitä sekä pieniä määriä naftaleenia ja muita PAH-yhdisteitä; yhteensä  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ks. seuraava taulukko). Styreeniä ei hajunpoiston jälkeen tunnistettu sisäilmanäytteessä. Kattopinnan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hajunpoistokäsittelyn jälkeen  $2 290 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja tästä määrästä tunnistettiin  $1 800 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  samaa glykolyhdistettä kuin sisäilmanäytteessä. Naftaleeniyhdisteitä tunnistettiin pieniä määriä edelleen kattopinnan emissioissa.

Taulukko 18. Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet sisäilmanäyt-teissä ennen polttokoetta, välittömästi polton jälkeen sekä hajunpoiston jälkeen. a.m = alle määrittämysrajan.

Yhdiste	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	ennen polttoa	palon jälkeen	hajunpoiston jälkeen
naftaleeni	0	61	4
2-metyyli-naftaleeni	1	9	1
1-metyyli-naftaleeni	0	8	1
bifenyyl	0	33	1
asenaftyyli	a.m	a.m	a.m
asenafteni	a.m	a.m	a.m
fluoreeni	0	8	1
3-metyylibifenyyl	0	5	0
dibentsofuraani	1	3	2
dibentsofiofeeni	a.m	a.m	a.m
fenantreeni	a.m	a.m	a.m
antraseeni	a.m	a.m	a.m
2-metyylisantraseeni	a.m	a.m	a.m
1-metyylifenantreeni	a.m	a.m	a.m
2-fenyli-naftaleeni	0	1	0
fluoranteeni	a.m	a.m	a.m
pyreeni	a.m	a.m	a.m
bentso(a)fluoreeni	a.m	a.m	a.m
bentso(b)fluoreeni	a.m	a.m	a.m
bentso(b)nafto(2,1-d)tiofeeni	a.m	a.m	a.m
bentso(b)nafto(1,2-d)tiofeeni	a.m	a.m	a.m
bentso(a)antraseeni	a.m	a.m	a.m
kryseeni/trifenyleeni	a.m	a.m	a.m
bentso(b)fluoranteeni	a.m	a.m	a.m
bentso(k)fluoranteeni	a.m	a.m	a.m
bentso(e)pyreeni	a.m	a.m	a.m
bentso(a)pyreeni	a.m	a.m	a.m
peryleeni	a.m	a.m	a.m
indeno(1,2,3-cd)pyreeni	a.m	a.m	a.m
bentso(g,h,i)peryleeni	a.m	a.m	a.m
dibentso(a,h)antraseeni	a.m	a.m	a.m
koroneeni	a.m	a.m	a.m
SUMMA	2	139	10

Sisäilmatulosten tulkinnassa voidaan käyttää yksittäisille yhdisteille erilaisia olemassa olevia standardeja ja ohjearvoja, referenssiarvoja, alalla vallitsevia konsensusarvoja tai tutkivan laboratorion omia referenssiarvoja. Näistä viranomaisohjeena tunnetaan Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohje, jossa annetaan enimmäispitoisuuksille ohjearvoja (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Myös HTP-arvot (haitalliseksi tunnetut pitoisuudet) työpaikan ilman epäpuhtauksille on yksi Sosiaali- ja terveysministeriön oppaista, jota voidaan käyttää arvioinnissa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2005).

Asumisterveysohjeen mukaan WHO:n julkaisemia sisäilman kemiallisia aineita koskevia enimmäispitoisuussuosituksia voidaan tarvittaessa käyttää arvioitaessa mitatun aineen pitoisuuden haitallisuutta ihmisen terveydelle. PAH-yhdisteiden kokonaismäärälle ei WHO:n kemiallisia aineita koskevissa enimmäispitoisuussuosituksissa ole ilmoitettu turvallista pitoisuusrajaa johtuen bentso(a)pyreenistä (BaP), joka luetaan todennäköisesti syöpää aiheuttavaksi yhdisteeksi. Kyseisellä yhdisteellä on PAH-yhdisteistä matalin HTP-arvo (10 µg/m<sup>3</sup> 8 h). Todellisen palokohteen ja suuren mittakaavan kokeessa käytetyn talon sisäilmamittauksissa ei kuitenkaan tunnistettu kyseistä bentso(a)pyreeniä sisäilma- eikä pintojen emissionäyhteissä.

Suuren mittakaavan koetalon mittauksissa heti polton jälkeen tunnistettiin suurimmat yksittäisten yhdisteiden sisäilmapitoisuudet. Näistä styreenille on asumisterveysohjeessa annettu enimmäispitoisuus 40 µg/m<sup>3</sup> kun sisäilmanäytteessä pitoisuus oli heti palon jälkeen mitattuna 180 µg/m<sup>3</sup>.

## **4.3 Todellinen palokohde**

### **4.3.1 Yleiskuvaus**

Todellisena palokohteenä oli kohde Tuusulassa. Kyseessä oli 2-kerroksinen vuonna 1971 rakennettu rivitalo, jossa oli 7.9.2005 tapahtunut palovahinko yläkerran keittiössä (liesi). Kuvassa 75 näkyy keittiö palovahingon jälkeen. Savunhaju oli levinnyt asuntoon, nokilaskeuma oli pääosin yläkerrassa. Palavana materiaalina oli ruokaa ja osittain kalusterakenteita ja sähkölaitteita.

Kohteessa suoritettiin VTT:n toimesta sisäilman laadun selvitys ja pintojen emissioiden määrittäminen 9.9.2005 ja uusintamittaukset 19.9.2005 palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen.





*Kuva 75. Case-tapaus. Ruokapalo keittiössä.*

### **4.3.2 Puhdistus ja hajunpoistokäsittely**

Palaneesta keittiötilasta poistettiin kaikki kaapistot. Myös lattiapinnoitteet poistettiin ja katto sekä osa seinää jyrättiin. Muissa yläkerran tiloissa riitti pesu, puhdistus ja kapselointimaaus. Purkutyön ajan tila oli alipaineistettu. Hajunpoisto suoritettiin ionisaattorilla, jota käytettiin täydellä teholla 4 päivää. Tämän jälkeen tilaa tuuletettiin koneellisesti 3 tuntia.

### **4.3.3 Sisäilman laatu ja pintojen emissiot**

Sisäilmamittaukset suoritettiin toisen kerroksen työhuoneessa ja olohuoneessa ja pintojen (seinä, katto, lattia) emissiomittaukset suoritettiin työhuoneen pinnoista. Työhuoneen seinäpinta oli tapetoitu (betoniseinä), lattiamateriaalina oli lautaparketti ja katto oli tasoitettu. Sisäilmamittausten alkaessa 9.9.2005 kohteessa oli jo suoritettu tuuletusta/siivousta, joka aistittiin raittiina ilmaa ja pesuaineen hajuna. Huoneessa aistittiin lisäksi selkeä savun haju. Ennen mittauksen alkamista mitattavan huoneen ikkuna ja ovet suljettiin. Sisäilma- ja pintamittausten jälkeen kohteessa jatkettiin palosiivousta/hajunpoistoa.

VTT suoritti palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen uusintamittauksen 19.9.2005. Mittaus-  
hetkellä aistittiin sisäilmassa imelä, pesuainemainen haju. Savun hajua ei aistittu. Si-  
säilma- ja pintamittaukset suoritettiin samoista pisteistä kuin ennen palosiivousta/  
hajunpoistoa.

Taulukoissa 19, 20 ja 21 esitetään sisäilman laadun tulokset ennen ja jälkeen hajunpoiston.

*Taulukko 19. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, ammoniakkin, formaldehydin ja poly-  
syklisten aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet sisäilmanäytteissä ennen palosiivous-  
ta/hajunpoistoa (9.9.) ja palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen (19.9.).*

Mittauspiste	$\mu\text{g}/\text{m}^3$							
	TVOC		NH <sub>3</sub>		FA		PAH	
	9.9.	19.9.	9.9.	19.9.	9.9.	19.9.	9.9.	19.9.
Olohuone	126	950	-	-	-	-	-	-
Työhuone	480	1185	24	38	25	22	2	5

Taulukko 20. Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet sisäilmanäytteissä ennen palosiivousta/hajunpoistoa (9.9.) ja palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen (19.9.). Lyhenteellä a.m tarkoitetaan sitä, että pitoisuus oli alle määritysrajan.

Yhdiste	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	sisäilma 9.9.	sisäilma 19.9.
naftaleeni	3	0
2-metyyli-naftaleeni	0	0
1-metyyli-naftaleeni	0	0
bifenyylit	0	1
asenaftyyli	a.m	a.m
asenafteni	a.m	a.m
fluoreeni	a.m	a.m
3-metyylibifenyylit	a.m	5
dibentsofuraani	0	0
dibentsotiofeeni	a.m	a.m
fenantreeni	0	a.m
antraseeni	a.m	a.m
2-metyyli-antraseeni	a.m	a.m
1-metyylifenantreeni	a.m	a.m
2-fenyylinaftaleeni	0	0
fluoranteeni	a.m	a.m
pyreeni	a.m	a.m
bentso(a)fluoreeni	a.m	a.m
bentso(b)fluoreeni	a.m	a.m
bentso(b)nafto(2,1-d)tiofeeni	a.m	a.m
bentso(b)nafto(1,2-d)tiofeeni	a.m	a.m
bentso(a)antraseeni	a.m	a.m
kryseeni/trifenyleeni	a.m	a.m
bentso(b)fluoranteeni	a.m	a.m
bentso(k)fluoranteeni	a.m	a.m
bentso(e)pyreeni	a.m	a.m
bentso(a)pyreeni	a.m	a.m
peryleeni	a.m	a.m
indeno(1,2,3-cd)pyreeni	a.m	a.m
bentso(g,h,i)peryleeni	a.m	a.m
dibentso(a,h)antraseeni	a.m	a.m
koroneeni	a.m	a.m
<b>SUMMA</b>	<b>2</b>	<b>5</b>

Taulukko 21. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiot kohteen seinä-, katto- ja lattiapintojen emisioissa.

Emissio- mittaukset	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	
	TVOC	
	9.9.	19.9.
Seinä	22	40
Katto	110	480
Lattia	10	30

**Sisäilma:** Palon jälkeen 9.9.2005 suoritetussa mittauksessa työhuoneen sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli  $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sisäilmanäytteestä tunnistettiin useita erilaisissa hajusteissa käytettyjä terpeeniyhdisteitä, runsaimpana näistä hajusteille tyypillinen limoneeni. Lisäksi sisäilmanäytteestä tunnistettiin indoliiniyhdiste, joka tunnistettiin laboratorioskokeissa eloperäistä materiaalia (kananmuna) poltettaessa ja savunhajulle tyypillinen naftaleeni. Hajunpoiston jälkeen suoritetun sisäilmamittauksen tuloksena sisäilmapitoisuus oli noussut ja oli  $1\,185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sisäilmanäytteestä tunnistettiin nyt  $625 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hajunpoistomenetelmille tyypillisiä hiilivety-yhdisteitä. Lisäksi sisäilmanäytteestä tunnistettiin alkyylibentseeniyhdisteitä. Naftaleenia ei sisäilmasta enää tunnistettu. Sisäilman ammoniakkipitoisuus oli palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen hieman normaaliksi koettua keskimääräistä sisäilmapitoisuutta suurempi. Sisäilman formaldehydipitoisuus oli normaaliksi koetulla tasolla.

Yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat erittäin pieniä: kokonaispitoisuus työhuoneen sisäilmassa oli  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  heti palon jälkeen ja  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hajunpoiston jälkeen. Palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen hieman kohonnut kokonaispitoisuus johtunee molekyylipainoltaan raskaampien PAH-yhdisteiden hitaammasta haihtumisesta sisäilmaan.

Olohuoneen sisäilmanäytteestä tunnistettiin samoja yhdisteitä, mutta huomattavasti pienempiä pitoisuuksia, ja indoliiniyhdistettä ei esiintynyt olohuoneen sisäilmanäytteessä. Hajunpoiston jälkeen olohuoneen sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli noussut pitoisuustasolle  $950 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , josta  $740 \mu\text{g}/\text{m}^3$  oli hajunpoistomenetelmille tyypillisiä hiilivety-yhdisteitä.

**Seinäpinta:** Seinäpinnan kokonaisemissio oli heti palon jälkeen mitattuna  $22 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja seinäpinnan emissioista ei tunnistettu savuun viittaavia yhdisteitä kuten fenolisia tai naftaleenisiä yhdisteitä. Hajunpoistomenetelmille tyypillisiä yhdisteitä tunnistettiin seinäpinnasta (limoneeni) heti ensimmäisessä mittauksessa johtuen jo aloitetusta palosiivouksesta.

vouksesta/hajunpoistosta. Muuten seinäpinnan emissioista tunnistetut yhdisteet olivat tyypillisiä tapetoidun seinäpinnan emissioille. Palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen suoritettussa seinäpinnan mittauksessa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli hieman kasvanut ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) ja aiemmassa mittauksessa (9.9.) sisäilmanäytteestä tunnistettu eloperäisen materiaalin palamiselle tyypillinen indoliiniyhdiste tunnistettiin nyt seinäpinnan emissioista.

**Kattopinta:** Kattopinnan emissio oli heti palon jälkeen  $110 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja pinnan emissioista tunnistetut yhdisteet olivat terpeenyhdisteitä, savulle tyypillinen naftaleeni ja lisäksi tunnistettiin esteriyhdisteitä. Palosiivouksen/hajunpoiston jälkeen suoritettussa pintamittauksessa kattopinnan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $480 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Suurin osa pinnan emissioista ( $320 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ) oli hiilivety-yhdisteitä eikä naftaleeniyhdisteitä enää hajunpoiston jälkeen suoritettussa mittauksessa tunnistettu kattopinnasta.

**Lattiapinta:** Lattiapinnan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli  $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , ja lattiapinnan emissioista ei tunnistettu palolle/savulle tyypillisiä yhdisteitä. Tunnistetut yhdisteet olivat normaalisti vastaavanlaisessa lattiamateriaalissa esiintyviä yhdisteitä. Myös lattiapinnan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio oli kasvanut hajunpoiston myötä, mutta palolle/savulle tyypillisiä yhdisteitä ei lattiapinnan emissioista tunnistettu.

## 5. Yhteenveto ja johtopäätökset

### 5.1 Työn tausta ja sisältö

Tulipalojen yhteydessä syntyy suuri määrä erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joista monet ovat epämiellyttävän hajuisia ja/tai terveydelle haitallisia. Nämä yhdisteet kulkeutuvat savun mukana palavan rakennuksen sisällä ja takertuvat sekä itse rakennukseen että siellä olevaan irtaimistoon. Vaikka savu tuuletetaan tulipalon sammutuksen jälkeen pois rakennuksesta, saattaa rakennuksen sisäpintoista ja irtaimistosta sisäilmaan vapautuvien yhdisteiden haju aiheuttaa merkittävän viihtyvyshaitan. Kyseisten yhdisteiden pitoisuudet voivat myös olla terveydelle vaarallisia.

Tässä työssä tutkittiin kokeellisesti tulipalon jälkihajujen poistamista rakennusmateriaaleista ja sisäilmasta. Valtaosa kokeista tehtiin laboratorio-olosuhteissa pienessä mittakaavassa. Laboratoriokokeiden etuna on se, että koeolosuhteet ovat hyvin hallittavissa ja koetilanne voidaan toistaa vertailukelpoisena niin monta kertaa kuin tarve vaatii. Laboratoriokokeet ovat myös kustannusten ja aikataulujen hallinnan kannalta edullisia.

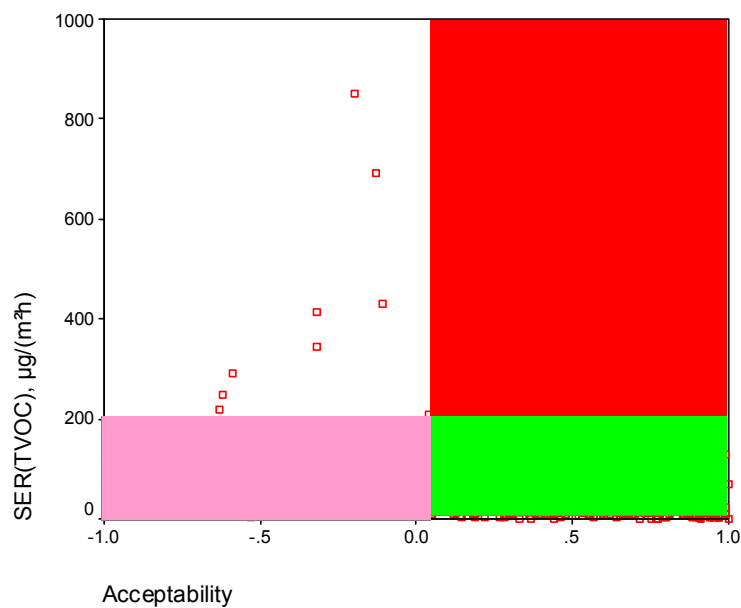
Valitut rakennusmateriaalit altistettiin laboratoriokokeissa savulle, minkä jälkeen ne puhdistettiin ja niille suoritettiin hajunpoisto erilaisilla menetelmillä. Savua tuotettiin kolmea eri palomateriaalia käyttäen; nämä olivat lastulevy, muovimatto ja kananmunat. Hajunpoiston onnistumista arvioitiin sekä aistinvaraisesti että mittaamalla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiot materiaaleista sisäilmaan.

Laboratoriokokeiden lisäksi tutkittiin tulipalon jälkihajujen poistoa kenttäolosuhteissa. Toinen kohteista oli rivitaloasunto, jonka keittiössä oli ollut todellinen tulipalo; toinen oli purettava omakotitalo, jonka yhdessä huoneessa poltettiin hallitusti muovinen television taustalevy. Näissä tapauksissa hajunpoiston onnistumista arvioitiin mittaamalla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, polyaromaattisten yhdisteiden, ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuudet sisäilmassa sekä emissiot sisäpintojen materiaaleista sisäilmaan. Aistinvaraista arviointia sisäilman laadusta ja pintamateriaalien emissioista ei tehty.

### 5.2 Päätulokset

Laboratoriokokeissa havaittiin palomateriaalien tuottaman savun sisältävän runsaasti sellaisia yhdisteitä, joiden tiedetään olevan epämiellyttävän hajuisia ja/tai epäterveellisiä. Havaitut yhdisteet ja niiden määrät vaihtelivat sen mukaan, mitkä aineet osallistuivat palamisreaktioihin. Savulle altistetuista koekappaleista emittoituvat yhdisteet olivat osittain samoja kuin savussakin havaitut, ja ne olivat osittain jo muuntuneita. Aistinvaraisessa arvioinnissa todettiin savulle altistettujen koekappaleiden hajut voimakkaiksi ja epämiellyttäväiksi.

Laboratoriokokeissa ei havaittu selkeää yhteyttä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissioiden ja hajuaistimuksen välillä. Joissain tapauksissa emissiot olivat korkeat, mutta aistittu haju koettiin silti hyväksyttäväksi, osassa tapauksista jopa miellyttäväksi. Näissä tapauksissa korkeat emissiot liittyivät hajunpoistokemikaaleille ja puhdistusaineille tyypillisiin yhdisteisiin. Toisissa tapauksissa emissiotasot olivat alhaisia, mutta aistittu haju ei siltikään ollut hyväksyttävä. Selitys näihin havaintoihin löytyi kuitenkin lähes aina näytteen emissioista tunnistetuista yksittäisistä yhdisteistä. Vaikka emissiot olivat näissä näytteissä pienet, olivat nämä tunnistetut yhdisteet tunnettuja hajuhaitta-aineita tai yhdisteitä, joilla oli erittäin matala hajukynnys (= pienin pitoisuus, jossa kyseisen yhdisteen haju tunnistetaan). Hajunpoiston tuloksellisuutta arvioitaessa tulee kiinnittää huomiota sekä mitattuun emissiotasoon, emittoituihin yhdisteisiin ja niiden terveellisyyteen, sekä aistittuun hajuun ja sen hyväksyttävyyteen. Kuvassa 76 on esitetty, kuinka näytteen kokonaisemissiokerroin ja näytteen hajun hyväksyttävyys korreloivat toisiinsa. Osoitus on VTT:n aiempien tutkimushankkeitten yhteydessä suorittamista materiaaliemissiomittauksista.



Kuva 76. Aistinvaraisen arvioinnin ja hajun hyväksyttävyyden välinen suhde VTT:n suorittamissa aiemmissa materiaaliemissiomittauksissa.

Laboratoriokokeissa tutkituista hajunpoistomenetelmistä osa saavutti suhteellisen hyvät tulokset kaikissa tapauksissa, mutta osa soveltui toisiin tapauksiin selkeästi paremmin kuin toisiin. Eräänä huomiona voidaan mainita, että jo pelkkä säilytys huoneenlämpötilassa ilman mitään hajunpoistokäsittelyä vaikutti koekappaleisiin edullisesti. Kuukauden säilytyksen jälkeen oli erityisesti kipsilevy- ja vaahtomuovikoekappaleiden haju selvästi miedompaa ja vähemmän epämiellyttävää kuin välittömästi savuaaltistuksen jälkeen. Lämönäeristevilloissa muutokset olivat pienempiä.

Vertailtaessa eri menetelmillä saavutettuja tuloksia on tärkeää verrata myös käsittelyaikaa ja sen suhdetta saavutettuihin tuloksiin. Todellisessa tilanteessa hajunpoistotyö joudutaan yleensä tekemään tiukalla aikataululla, ja menetelmävalinnassa etsitään hyvää kompromissia tulosten ja käsittelyajan välillä. Tässä työssä tehtyjen havaintojen valossa näyttää siltä, että käytännössä parhaat tulokset ja nopein käsittelyaika saavutetaan yhdistämällä tuuletukseen lämmitys sekä käyttämällä lisäksi hajunpoistokemikaaleja ja/tai hajunpoistoon tarkoitettuja laitteita.

Yksityiskohtaiset arviot eri menetelmillä saavutetuista tuloksista sekä menetelmien soveltuvuudesta eri tapauksiin annetaan kohdissa 3.6 ja 3.7.

Kenttämittauksissa havaittiin hajunpoistokäsittelyn jälkeen korkeampia haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissioita kuin ennen käsittelyä. Kyse oli pesu- ja desinfiointiaineille tyypillisistä yhdisteistä. Tulipalon yhteydessä syntyneiden yhdisteiden pitoisuudet olivat laskeneet merkittävästi hajunpoistokäsittelyn jälkeen. Mm. suuren mittakaavan kokeen jälkeen mitattu styreenin pitoisuus omakotitalon sisäilmassa oli heti kokeen jälkeen  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kun sosiaali- ja terveysministeriön antamassa Asumisterveysohjeessa styreenin enimmäispitoisuudeksi on annettu  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Puhdistuksen ja hajunpoistokäsittelyn jälkeen styreeniä ei havaittu sisäilmassa. Tämän-tyyppisiä vertailuja voitaisiin periaatteessa tehdä muillekin tässä tutkimuksessa havaituille yhdisteille, mutta ongelmaksi muodostuu se, että palamisreaktioissa syntyy paljon sellaisia yhdisteitä, joille ei ole teollista käyttöä eikä tämän vuoksi myöskään määritelty pitoisuusrajoja tai -ohjeita.

Tässä työssä tehdyt mittaukset tukevat sitä johtopäätöstä, että jälkisaneraustyön yhteydessä on tärkeää suojautua mahdollisimman hyvin sekä hengitysteitse että ihon kautta tapahtuvaa altistumista vastaan. Myös jälkisanerauskohdetta ympäröivien tilojen ja niissä oleskelevien henkilöiden suojaus kohteen alipaineistuksella ja osastoinnilla on tärkeää.

### **5.3 Jatkotutkimustarpeet**

Hankkeen aikana esiin nousseet jatkotutkimustarpeet voidaan jaotella neljään osakokonaisuuteen.

Nyt päättyneen hankkeen tuloksia pitäisi jatkojalostaa seuraavilla tavoilla:

- Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksista on saatu runsaasti yksityiskohtaista tietoa. Tätä aineistoa voitaisiin seuloa tarkemmin kuin nyt päättyvässä hankkeessa oli mahdollista, jotta saataisiin selville eri yhdisteiden yhteydet aistinvaraisen arvioinnin tuloksiin.



- Laboratoriokokeiden yhteydessä hajunpoistokäsitellyt koekappaleet ovat edelleen olemassa, ja niiden pitkäaikaisseuranta voisi antaa uutta tietoa mm. hajunpoiston lopputulosten pysyvyydestä. Tämä olisi erityisen mielenkiintoista niissä tapauksissa, joissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden emissiot nousivat hajunpoistokäsittelyn seurauksena.
- Myös todellisen palokohteen pitkäaikaisseuranta on ainakin periaatteessa mahdollista. Suuren mittakaavan polttokokeen pitkäaikaisseuranta ei ole mahdollista, sillä ko. rakennus tullaan polttamaan palokunnan harjoitusten yhteydessä.

Tässä työssä sovellettuja koetekniikoita voidaan käyttää laajemman koesarjan tekemiseen:

- Voidaan kokeilla sellaisia hajunpoistokäsittelyjä, jotka eivät olleet mukana nyt päättyvässä hankkeessa.
- Voidaan kokeilla sellaisia savunhajua aiheuttavia materiaaleja, jotka eivät olleet mukana nyt päättyvässä hankkeessa. Näitä voisivat olla esim. muutkin muovit kuin nyt käytetty muovimatto, tai muutkin ruoka-aineet kuin nyt käytetyt kananmunat.
- Voidaan kokeilla sellaisia rakennusmateriaaleja ja irtaimiston materiaaleja, jotka eivät olleet mukana nyt päättyvässä hankkeessa. Erityisen kiinnostavia olisivat rakennusmateriaalit, jotka pintakäsiteltäisiin todellisuutta vastaaviksi (esim. maalaamalla tai tapetoimalla).

Uusia koetekniikoita voidaan kehittää:

- Savunhajua aiheuttavia yhdisteitä voidaan etsiä analyysitekniikoilla, jotka eivät nyt olleet käytössä. Tässä voitaisiin tarkastella esim. yhdisteitä, jotka ovat normaalilämpötilassa kiinteitä tai nestemäisiä, mutta jotka haihtuvat herkemmin kuin nyt tarkastellut haihtuvat orgaaniset yhdisteet.
- Koekappaleita voitaisiin pitkäaikaiskäyttää hallituissa olosuhteissa (ilman lämpötila, kosteus) niiden pitkäaikaiskäyttämisen selvittämiseksi.
- Terveysvaikutuksia voidaan pyrkiä selvittämään myös tekemällä mittauksia ihmisten altistumisesta esim. henkilökohtaisilla keräimillä. Näin voidaan vertailla erilaisten suojausten ja suojavaatetusten toimivuutta.

Hajun tarttumista materiaaleihin ja hajunpoistoa voidaan mallintaa matemaattisesti:

- Savun ja hajua aiheuttavien yhdisteiden kulkeutuminen rakennuksessa tulipalon yhteydessä, mukaan lukien myös hajua aiheuttavien yhdisteiden tunkeutuminen materiaalien huokosten sisään.
- Hajun takertuminen pintoihin.

- Hajun vapautuminen pinnoista ja emissiot sisäilmaan.
- Puhdistusprosessien matemaattinen mallintaminen.

Tämän vaihtoehdon tutkiminen edellyttää varsin nopeasti myös matemaattisten teorioiden testaamista laboratoriokokeilla.

## Lähdeluettelo

- Anon. 2005a. Kansainväliset kemikaalikortit. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/>.
- Anon. 2005b. Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozonegen.html>
- Berry, Y. 1998. Odor Modification. Encyclopedia of Chemical Technology. 4th Ed. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-52704-1.
- Dunston, N. C. & Spivak, S. M. 1996–1997. A Preliminary Investigation of the Effects of Ozone on Post-Fire Volatile Organic Compounds. Journal of Applied Fire Science 6(3), s. 231–242.
- Goldberg, J., Montgomery, G. & Pines, M. 1995. Seeing, Hearing, and Smelling the World. A report from the Howard Hughes Medical Institute.
- King, M. L. 2003. NIDR Guidelines for Fire and Smoke Damage Repair. United Kingdom Edition. ASCR International.
- Light, E., King, M. & Armstrong, M. 1999. Restoring Indoor Air Quality After Building Fires. Proc. of the 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 3. S. 25–30.
- Morikawa, T., Yanai, E. & Nishina, T. 1987. Toxicity Evaluation of Fire Effluent Gases from Experimental Fires in a Building. Journal of Fire Sciences 5, s. 248–271.
- Rakennustietosäätiö. 2005. <http://www.rts.fi>
- Rothweiler, H. & Schlatter, C. 1993. Human Exposure to Volatile Organic-Compounds in Indoor Air – a Health Risk. Toxicological and Environmental Chemistry 40(1–4), s. 93–102.
- Ruokojärvi, P., Aatamila, M. & Ruuskanen, J. 2000. Toxic Chlorinated and Polyaromatic Hydrocarbons in Simulated House Fires. Chemosphere 41, s. 825–828.
- Savolainen, H. & Kirchner, N. 1998. Toxicological Mechanisms of Fire Smoke. The Internet Journal of Rescue and Disaster Medicine. ISSN 1531-2992.
- Shochat, G. & Lucchesi, M. 2004. Toxicity, Carbon Monoxide. <http://ww.emedicine.com>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. ISBN 952-00-1301-6.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2005. Oppaita 2005:10 HTP-arvot 2005.

Tsuchiya, Y. 1992. Air Quality Problems Inside a House Following a Fire. *Journal of Firesciences* 10(1), s. 58–71. ISSN 0734-9041.

U.S. EPA. 1999. Ozone and Your Health. EPA-452/F-99-003.

VTT:n menetelmäohje. Ammoniakkipitoisuuden määrittäminen.

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

Väinölä, M. 2005. Tulipalovahinkojen korjaustoimenpiteet. *Palvelutyytyväisyys*. PS-Palosaneeraus Oy. S. 13–60.

## VTT WORKING PAPERS

### VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 4 Hietaniemi, Jukka, Hostikka, Simo & Vaari, Jukka. FDS simulation of fire spread – comparison of model results with experimental data. 2004. 46 p. + app. 6 p.
- 6 Viitanen, Hannu. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. 2004. 25 s.
- 7 Gerlander, Riitta & Koivu, Tapio. Asiantuntijapalvelu yritysten innovaatiojohtamisen kehittämiseksi Piilaakson osaamiseen tukeutuen. IMIT SV -hankkeen loppuraportti. 2004. 25 s. + liitt. 11 s.
- 11 Lakka, Antti. Rakennustyömaan tuottavuus. 2004. 26 s. + liitt. 15 s.
- 14 Koivu, Tapio, Tukiainen, Sampo, Nummelin, Johanna, Atkin, Brian & Tainio, Risto. Institutional complexity affecting the outcomes of global projects. 2004. 59 p. + app. 2 p.
- 15 Rönty, Vesa, Keski-Rahkonen, Olavi & Hassinen, Jukka-Pekka. Reliability of sprinkler systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2004. 89 p. + app. 9 p.
- 18 Nyysönen, Teemu, Rajakko, Jaana & Keski-Rahkonen, Olavi. On the reliability of fire detection and alarm systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2005. 62 p. + app. 6 p.
- 19 Tillander, Kati, Korhonen, Timo & Keski-Rahkonen, Olavi. Pelastustoimen määräiset seurantamittarit. 2005. 123 s. + liitt. 5 s.
- 20 Simo Hostikka & Johan Mangs. MASIFIRE – Map Based Simulation of Fires in Forest-Urban Interface. Reference and user's guide for version 1.0. 2005. 52 p. + app. 2 p.
- 21 Korttesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari. Massiivipuu maalarakentamisessa. Suunnitteluohje. 2005. 76 s. + liitt. 6 s.
- 22 Ojanen, Tuomo & Ahonen, Jarkko. Moisture performance properties of exterior sheathing products made of spruce plywood or OSB. 2005. 52 p. + app. 12 p.
- 27 Kevarinmäki, Ari. Konenaulojen ulosvetolujuus. 2005. 24 s. + liitt. 12 s.
- 29 Oksanen, Tuuli, Kevarinmäki, Ari, Yli-Koski, Rainer & Kaitila, Olli. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten palonkestävyys. 2005. 104 s. + liitt. 108 s.
- 31 Hietaniemi, Jukka. A Probabilistic Approach to Wood Charring Rate. 2005. 53 p.
- 32 Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Fire Safety of Wooden Façades in Residential Suburb Multi-Storey Buildings. 2005. 66 p. + app. 40 p.
- 37 Hietaniemi, Jukka & Rinne, Tuomo. Tulipalojen yksittäispäästöt ilmaan: laskennallinen lähestymistapa. 2005. 78 s.
- 38 Kevarinmäki, Ari, Oksanen, Tuuli & Yli-Koski, Rainer. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten suunnittelu. Yleiset ohjeet ja palomitoitus. 2005. 51 s. + liitt. 12 s.
- 39 Mroz, Arkadiusz & Kärnä, Tuomo. Mitigation of ice loading. Feasibility study of semi-active solution. 2005. 34 p.
- 40 Paloposki, Tuomas, Tillander, Kati, Virolainen, Kimmo, Nissilä, Minna & Survo, Kyösti. Sammutus-jätevedet ja ympäristö. 2005. 75 s. + liitt. 10 s.
- 41 Hietaniemi, Jukka. Probabilistic simulation of glass fracture and fallout in fire. 2005. 88 p. + app. 33 p.
- 42 Belloni, Kaisa, Villberg, Kirsi, Tillander, Kati, Saarela, Kristina & Paloposki, Tuomas. Tulipalon jälkihajujen poisto. 2005. 124 s.