



Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen Polttokokeet ja altistumisen arviointi

Kati Tillander, Helena Järnström & Tuula Hakkarainen
VTT

Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa
Työterveyslaitos

ISBN 978-951-38-7164-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2008

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7001

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 7001

VTT, Kivimiehentie 4, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4815

VTT, Stenkarlsvägen 4, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4815

VTT Technical Research Centre of Finland, Kivimiehentie 4, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4815

Tekijä(t) Tillander, Kati, Järnström, Helena, Hakkarainen, Tuula, Laitinen, Juha, Mäkelä, Mauri & Oksa, Panu		
Nimeke Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen Polttokokeet ja altistumisen arviointi		
Tiivistelmä Työssä tutkittiin palosaneeraajien altistumista terveydelle haitallisille yhdisteille. Laboratorio-olosuhteissa toteutettiin kaksi mahdollisimman samankaltaista asuntopaloa jäljittelevää palokoetta, joiden jälkeen poltetut tilat saneerattiin normaaleja palosaneerausmenetelmiä käyttäen. Ensimmäinen palo jälkisiivottiin hankkeessa mukana olevien palosaneerausyritysten normaalia suojautumistasoa käyttäen. Toisen palon jälkisiivouksessa käytettiin parannettua, työsuorituksen kannalta tarkoituksenmukaista suojautumistekniikkaa. Saneeraustyön aikana suoritettiin hengitystie-, iho- ja kokonaisaltistumismittauksia. Tutkimustulokset osoittivat, että palon jälkeen palokohteessa työskentelevät ja vierailevat ihmiset voivat altistua syöpävaarallisille PAH-yhdisteille, vaikka huoneistossa olisi suoritettu asianmukainen jälkituuletus. Mitä aiemmin palon jälkeen kohteeseen mennään, sitä tärkeämpää on hengityksensuojaimen käyttö. Hiukkas- ja höyrymäisten PAH-yhdisteiden havaittiin altistavan myös ihon kautta. Käsien kautta tulevan altistumisen vähentämiseksi suojakäsineiden käyttö saneeraustyössä on ehdottoman tarpeellista. Tämän lisäksi käsien pesulla voidaan vähentää altistumista ja käsien kautta välittyvää kontaminaatiota. Lyhytaikahaalarin käytön ei näissä kokeissa havaittu vähentävän koko kehon kautta tapahtuvaa ihoaltistumista, mutta sillä voidaan estää vaatteiden nokeentuminen. Vaatteissa siirtyvien epäpuhtauksien kontaminaatiovaikutukselle voivat altistua paitsi saneeraajat itse myös ulkopuoliset. Tulosten perusteella saneeraajille suositellaan puhaltimella varustettua hengityksensuojainta, jossa on A2P3-luokan suodatin. Keho tulee suojata vähintään puuvillaisella pitkähihaisella ja -lahkeisella suojahaalarilla tai lyhytaikahaalarilla kontaminaatoriskin vähentämiseksi. Korvien suojaamiseksi hengityksensuojaimen kasvonsuojaimessa tai haalarissa tulisi olla huppu. Kädet on syytä suojata kuivatyövaiheessa tiiviillä käsineillä, jotka estävät noen pääsyn käsineiden sisään, ja märkätyövaiheessa kemikaalikäsineillä, jotka suojaavat pesuaineilta ja pesuveteen liuenneilta epäpuhtauksilta.		
ISBN 978-951-38-7164-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 21239
Julkaisu-aika Elokuu 2008	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 67 s.
Projektin nimi Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen	Toimeksiantaja(t) Työsuojelurahasto, VTT, Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry, Vakuutusalan tekniset tarkastajat ry, PS-Palosaneeraus Oy, Skydda Suomi Oy, Munters Oy, Lassila & Tikanoja Oyj, JVT- ja Pesutekniikka Oy, ISS Palvelut Oy Vahinkosaneeraus	
Avainsanat protection, fire after-cleaning, residential fire, fire, exposure, smoke, soot, occupational safety	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 7001	



Series title, number and
report code of publication

VTT Working Papers 103
VTT-WORK-103

Author(s) Tillander, Kati, Järnström, Helena, Hakkarainen, Tuula, Laitinen, Juha, Mäkelä, Mauri & Oksa, Panu		
Title Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety Fire tests and exposure evaluation		
Abstract <p>The exposure of fire after-cleaning personnel on compounds detrimental to health was studied. Two replicate fire tests imitating residential fires were performed. After the fire tests, the fire compartments were cleaned using normal practices of fire after-cleaning. During the cleaning of the first fire compartment, the workers wore normal protective equipment used by the after-cleaning companies involved in the project. In the after-cleaning of the second fire compartment, improved but practicable protective equipment were used. Measurements of respiratory, skin and total exposure were performed during the after-cleaning work.</p> <p>The results indicated that people visiting or working at fire sites after fire can be exposed to carcinogenic PAH compounds, even though appropriate smoke extraction has been performed. The earlier they enter the site, the more important it is to use a respirator mask.</p> <p>Particulate and vaporous PAH compounds were seen to affect also by skin exposure. The use of protective gloves in fire after-cleaning is essential to reduce the exposure through hands. Exposure and further contamination can additionally be reduced by hand washing. In these tests, the use of light protective overalls did not reduce skin exposure through the whole body. However, it can prevent the underlying clothing to become sooty. In addition to cleaning workers, the contamination effects of sooty clothing can affect other people.</p> <p>The use of a respirator mask with a blower unit and a class A2P3 filter is recommended for fire after-cleaning workers. The body should be protected at least by cotton overalls with long sleeves and legs, or light protective overalls to reduce contamination risks. The respirator mask or the overalls should include a hood in order to protect ears. In dry working phases, hands should be protected by gloves preventing the penetration of soot. In wet working phases, chemical protective gloves are needed to protect hands from detergents and dissolved impurities.</p>		
ISBN 978-951-38-7164-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 21239
Date August 2008	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 67 p.
Name of project Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety	Commissioned by The Finnish Work Environment Fund, VTT Technical Research Centre of Finland, Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry, Vakuutusalan tekniset tarkastajat ry, PS-Palosaneraus Oy, Skydda Suomi Oy, Munters Oy, Lassila & Tikanoja Oyj, JVT- ja Pesutekniikka Oy, ISS Palvelut Oy Vahinkosaneraus	
Keywords protection, fire after-cleaning, residential fire, fire, exposure, smoke, soot, occupational safety	Publisher VTT P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 7001	

Alkusanat

VTT:n ja Työterveyslaitoksen toteuttamassa ”Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen” -tutkimushankkeessa on selvitty palopaikoilla esiintyviä terveydelle haitallisia yhdisteitä eri olomuodoissaan, palosaneeraustyötä tekevien ihmisten altistumista näille yhdisteille ja tarkoituksenmukaista suojautumista altistumisen välttämiseksi.

Hankkeen rahoittivat Työsuojelurahasto (hanke nro 107094), Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry, Vakuutusalan tekniset tarkastajat ry, PS-Palosaneeraus Oy, Skydda Suomi Oy, Munters Oy, Lassila & Tikanoja Oyj, JVT- ja Pesutekniikka Oy, ISS Palvelut Oy Vahinkosaneeraus sekä VTT. Yhteistyöstä kokeiden toteutuksessa kiitämme Lassila & Tikanoja Oyj:tä, Munters Oy:tä, A. Seppälä Total Quality Oy:tä ja Helsingin Pelastuskoulua.

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
Lyhenneluettelo	8
1. Johdanto	9
1.1 Tausta	9
1.2 Tavoite.....	9
1.3 Toteutus.....	9
2. Koejärjestelyt	11
2.1 Yleistä.....	11
2.2 Koepaikka.....	11
2.3 Koekohteen rakenteet, materiaalit ja irtaimisto.....	12
2.3.1 Rakenteet ja materiaalit kokeissa 1 ja 2	12
2.3.2 Irtaimisto kokeessa 1.....	12
2.3.2.1 Yleistä	12
2.3.2.2 Keittiön irtaimisto	13
2.3.2.3 Olohuone.....	15
2.3.3 Irtaimisto kokeessa 2.....	17
2.3.3.1 Yleistä	17
2.3.3.2 Keittiön irtaimisto	17
2.3.3.3 Olohuone.....	19
2.4 Palotekniset mittaukset.....	21
2.5 Aikataulu	24
2.5.1 Koe 1	24
2.5.2 Koe 2	24
3. Polttokokeet	25
3.1 Yleistä.....	25
3.2 Sytytys.....	25
3.3 Koe 1	26
3.3.1 Kokeen 1 kulku	26
3.3.2 Paloteknisten mittausten tulokset.....	30
3.3.2.1 Lämpötilat	30
3.3.2.2 O ₂ -, CO ₂ - ja CO-pitoisuudet	30
3.3.3 Kokeen 1 jälkeinen tilanne.....	32
3.3.3.1 Keittiö.....	32
3.3.3.2 Olohuone.....	33
3.4 Koe 2	34

3.4.1	Kokeen 2 kulku	34
3.4.2	Paloteknisten mittausten tulokset	37
3.4.2.1	Lämpötilat	37
3.4.2.2	O ₂ -, CO ₂ - ja CO-pitoisuudet	37
3.4.3	Kokeen 2 jälkeinen tilanne	38
3.4.3.1	Keittiö	38
3.4.3.2	Olohuone	40
4.	Koetilan saneeraus polton jälkeen	41
4.1	Alipaineistus	41
4.2	Saneeraustyön kulku	42
4.2.1	Koe 1	42
4.2.2	Koe 2	43
5.	Sisäilmamittaukset	44
5.1	Näytteenottoajankohdat	44
5.2	Näytteenotto- ja analyysimenetelmät	46
5.3	Tulokset	46
6.	Palokohteen saneeraajien altistumisen arviointi	53
6.1	Mittausmenetelmät ja mitatut suureet	53
6.1.1	Sykliset polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) hengitysvyöhykkeellä	53
6.1.2	PAH-yhdisteet iholla	54
6.1.3	PAH-yhdisteiden ja bentseenin aineenvaihduntatuotteet virtsassa	55
6.2	Saneeraajien suojautuminen	55
6.2.1	Suojautuminen kokeessa 1	55
6.2.2	Suojautuminen kokeessa 2	56
6.3	Altistumismittaukset ja tulosten tarkastelu	59
6.3.1	Hengitystiealtistuminen	59
6.3.2	Ihoaltistuminen	59
6.3.3	Kokonaisaltistuminen	61
7.	Yhteenveto	64
7.1	Palokokeet ja sisäilmamittaukset	64
7.2	Altistuminen saneeraustyössä	64
7.3	Suojautumissuositus	65
7.4	Altistumisen seuraaminen ja työterveystarkastukset	66
	Lähdeluettelo	67

Lyhenneluettelo

GC/MSD = gas chromatograph – mass sensitive detector, suom. kaasukromatografi – massaselektiivinen detektori

HPLC = high performance liquid chromatograph, suom. korkean erotuskyvyn nestekromatografi

LOD = limit of detection, suom. määritysraja

PAH = polycyclic aromatic hydrocarbons, suom. polisykliset aromaattiset hiilivedyt

TTL = Työterveyslaitos

TVOC = total volatile organic compounds, suom. orgaanisten haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärä

VOC = volatile organic compounds, suom. orgaaniset haihtuvat yhdisteet

VTT = Valtion teknillinen tutkimuskeskus

1. Johdanto

1.1 Tausta

Tulipalon aikana palamisreaktioissa syntyy haitallisia yhdisteitä, joista osa päätyy palokohteen pinnoille. Palon jälkeen näitä yhdisteitä vapautuu pinnoilta palokohteen sisäilmaan. Näille yhdisteille altistuvat aluksi sammutushenkilöstö ja myöhemmin palonsyöntutkijat, vakuutusyhtiöiden tarkastajat ja jälkisaneraustyötä tekevät henkilöt. Jälkisaneraustyön yhtenä tavoitteena on puhdistaa palokohde niin perusteellisesti, että kohteessa myöhemmin vierailevien ja oleskelevien ihmisten altistuminen pysyy hyväksyttävällä tasolla.

Rakennuspalojen vuotuinen määrä Suomessa vaihtelee kolmen ja neljän tuhannen välillä. Noin puolet rakennuspaloista tapahtuu asuinrakennuksissa. Toisin kuin esimerkiksi teollisuuspalojen yhteydessä, asuntopalojen yhteydessä ei aina riittävän selvästi ymmärretä palopaikkavierailujen ja jälkisaneraustyön aikaista suojautumistarvetta. Asuntopaloihin ja niiden jälkisaneraukseen liittyy tämän vuoksi merkittävä altistumisen vaara.

1.2 Tavoite

VTT:n ja Työterveyslaitoksen toteuttaman ”Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen” -tutkimushankkeen tavoitteena on selvittää palopaikoilla esiintyvät terveydelle haitalliset yhdisteet eri olomuodoissaan, palopaikoilla työskentelevien ja vierailevien ihmisten altistuminen niille, näiden yhdisteiden aiheuttaman terveysriskin suuruus ja miten eri tahojen tulisi suojautua näiltä yhdisteiltä.

1.3 Toteutus

Tässä julkaisussa kuvataan kaksivaiheiseksi suunnitellun tutkimushankkeen ensimmäisen vaiheen tulokset. Ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin palosaneeraustyötä tekevien ihmisten altistumista savu-, noki- ja kemikaalijäämille. Hankkeen toinen vaihe keskittyy ajankohtaan ennen saneerausta, jolloin palopaikalla työskentelevät mm. pelastusviranomaiset, palonsyöntutkijat ja vakuutustarkastajat.

Työssä toteutettiin kaksi täyden mittakaavan palokoetta. Kokeissa jäljiteltiin asuntopaloja sekä palavien materiaalien että palo-olosuhteiden kannalta. Palokuorma valittiin yleisimmin asuntopaloissa esiintyvien tapausten mukaan. Tavoitteena oli tuottaa paljon savua ja pitää palotilan lämpötilat kuitenkin suhteellisen alhaisina ja estää tilan lieskahtaminen.

Palokokeiden jälkeen vapaaehtoiset koehenkilöt saneerasivat poltetut tilat normaaleja palosaneerausmenetelmiä käyttäen. Saneeraustyön yhteydessä määritettiin mittausten avulla heidän altistumistaan haitallisille yhdisteille. Ensimmäinen palo jälkisiivottiin käyttäen hankkeessa mukana olevien JVT-yritysten normaalia suojautumistasoa. Toisen palon jälkisiivouksessa käytettiin parannettua, työsuorituksen kannalta tarkoituksenmukaista suojautumistekniikkaa sekä ihon kautta tulevaa että hengitystiealtistumista vastaan.

2. Koejärjestelyt

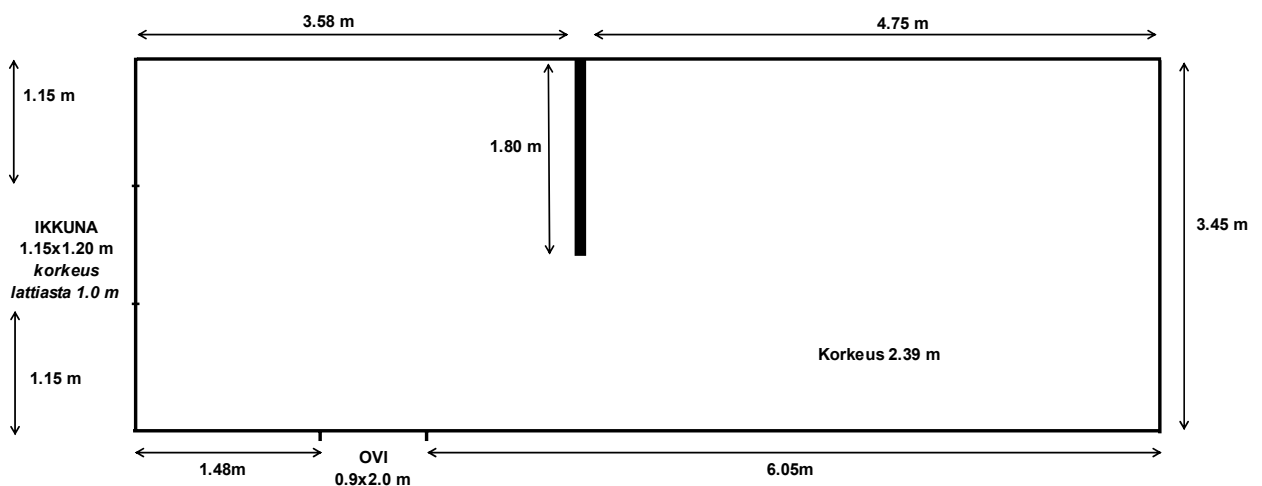
2.1 Yleistä

Hankkeen aikana toteutettu koesarja sisälsi kaksi suuren mittakaavan polttokoetta. Kokeiden tavoitteena oli jäljitellä asuntopaloa sekä palavien materiaalien että palo-olosuhteiden kannalta. Palo-olosuhteet ja paloissa syntyvät yhdisteet dokumentoitiin mittauksin ja kemiallisin analyysin.

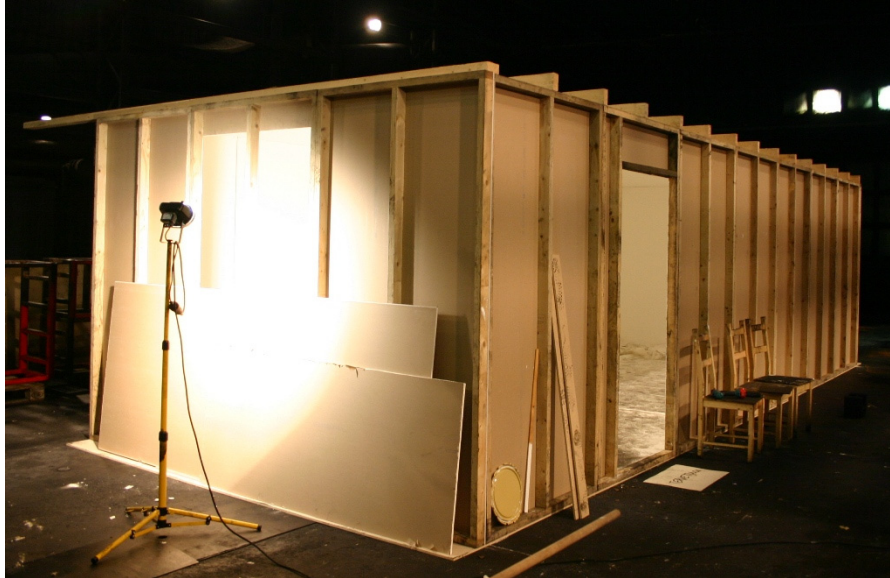
Rinnakkaisia polttokokeita tehtiin kaksi. Molempien kokeiden jälkeen tutkimushankkeessa mukana olevat JVT-alan yritykset saneerasivat palokohteen käyttäen normaaleja palosaneerausmenetelmiä. Työn aikana mitattiin saneeraushenkilöstön altistumista haitallisille yhdisteille. Kokeiden jälkeisessä saneeraustyössä käytettiin erityyppistä suojaruustusta kokeissa 1 ja 2. Muilta osin kokeet pyrittiin pitämään samankaltaisina, jolloin pystyttiin vertailemaan käytettyjen suojaruusteiden tehokkuutta.

2.2 Koepaikka

Palokokeet toteutettiin VTT:n laboratoriotiloissa Espoossa 14.–25.1.2008 ja 3.–14.3.2008. Kokeita varten rakennettiin VTT:n sammutushalliin kipsilevyrakenteinen n. 3,6 m × 8,5 m × 2,5 m:n suuruinen tila, joka sisustettiin asuntoa muistuttavaksi. Koerakennelman pohjakuva esitetään kuvassa 1 ja valokuva koetilasta kuvassa 2.



Kuva 1. Koerakennelman pohjakuva.



Kuva 2. Valokuva VTT:n sammutushalliin rakennetusta koetilasta.

2.3 Koekohteen rakenteet, materiaalit ja irtaimisto

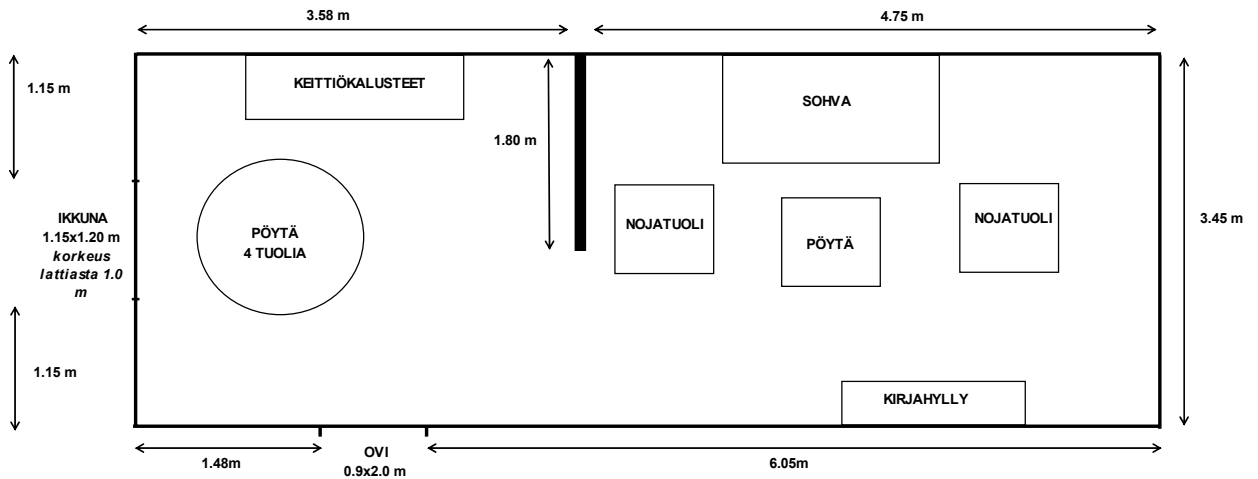
2.3.1 Rakenteet ja materiaalit kokeissa 1 ja 2

Koetila toteutettiin VTT:n sammutushalliin väliaikaisrakentein. Seinät ja katto tehtiin normaalista kipsilevystä (13 mm) ja maalattiin kahteen kertaan vesiohenteisella sisämaalilla (Siroplast 7). Lattiamateriaalina toimi 12 mm:n paksuinen lastulevy, jonka päälle kiinnitettiin niittaamalla asuinkäyttöön tarkoitettu joustovinyylimatto (Orient Occident Primo 2.2). Kevyt väliseinä oli villoitettu (50 mm:n kivivilla) puurunkoinen molemmilta puolilta levytetty kipsilevyseinä.

2.3.2 Irtaimisto kokeessa 1

2.3.2.1 Yleistä

Rakennettu huoneisto pyrittiin sisustamaan normaalia asuntoa vastaavaksi. Kevyt väliseinä jakoi tilan keittiöön (kuvassa 3 vasemmalla) ja olohuoneeseen (kuvassa 3 oikealla). Kaaviokuva irtaimiston sijoittelusta on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Irtaimiston sijoittelu.

2.3.2.2 Keittiön irtaimisto

Keittiön takaseinään asennettiin kaapisto (180 cm × 60 cm × 225 cm), joka koostui korkeasta kaapista, kolmesta yläkaapista sekä kahdesta alakaapista ja laatikostosta (kuva 4). Polton aikana alakaappien sisällä oli kaksi ämpäriä ja kahdessa alalaatikoston laatikossa normaalia keittiötavaraa (kuva 5). Kahden oikeanpuolimmaisena yläkaapin irtaimisto koostui erilaisista lasi- ja posliiniastioista. Vasemmanpuoleisin yläkaappi sisälsi noin 3 kg erilaisia muoviasioita (kuva 5). Korkean kaapin ylä- ja alakaapit olivat tyhjiä, keski-osaan sijoitettiin muutamia esineitä (kuva 5).

Kaapiston lisäksi keittiöön sijoitettiin maalattu puinen pyöreä pöytä (halkaisija 105 cm) sekä neljä pehmustettua tuolia (kuva 6). Tämän lisäksi seinälle ripustettiin lyhyet verhot (kuva 6).



Kuva 4. Yleisnäkymä keittiöstä kokeessa 1.



Kuva 5. Keittiön kaapistojen irtaimistoa kokeessa 1.



Kuva 6. Keittiön pöytä, tuolit ja verhot kokeessa 1.

2.3.2.3 Olohuone

Olohuoneen sisustus koostui kirjahyllystä, sohvaryhmästä ja sohvapöydästä (kuva 7). Olohuoneen kirjahyllyyn (lev. 155 cm) sijoitettiin televisio, noin 34 kg kirjoja ja muutamia sisustusesineitä (kuva 8). Sohvaryhmä koostui kolmenistuttavasta sohvasta (lev. 180 cm), kahdesta nojatuolista (lev. 85 cm) ja sohvapöydästä (lev. 80 cm) (kuva 9).



Kuva 7. Yleisnäkömää olohuoneesta kokeessa 1.



Kuva 8. Olohuoneeseen sijoitettu kirjahylly kokeessa 1.



Kuva 9. Olohuoneen sohvaryhmä kokeessa 1.

2.3.3 Irtaimisto kokeessa 2

2.3.3.1 Yleistä

Kokeessa 2 käytetty irtaimisto pyrittiin sijoittelemaan samalla tavoin kuin kokeessa 1 (ks. kuva 3). Huonekalut valittiin siten, että ne olisivat mahdollisimman samankaltaiset kuin kokeessa 1 käytetyt.

2.3.3.2 Keittiön irtaimisto

Keittiön kaapisto oli samanlainen kuin kokeessa 1 (ks. kpl 2.3.2.2 ja kuva 10). Polton aikana alakaapissa oli muoviämpäri sekä kahdessa alalaatikoston laatikossa normaalia keittiötavaraa (kuva 11). Kahden oikeanpuolimmaisesta yläkaapin irtaimisto koostui erilaisista lasi- ja posliiniastioista. Vasemmanpuoleisin yläkaappi sisälsi noin 3 kg erilaisia muoviastioita (kuva 11). Korkean kaapin ylä- ja alakaapit olivat tyhjiä, keskiosaan sijoitettiin muutamia esineitä (kuva 11).

Kaapiston lisäksi keittiöön sijoitettiin maalattu puinen pyöreä pöytä (halkaisija 109 cm) sekä neljä pehmustettua tuolia (kuva 12). Tämän lisäksi seinälle ripustettiin lyhyet verhot (kuva 12).



Kuva 10. Yleisnäkymä keittiöstä kokeessa 2.



Kuva 11. Keittiön kaapistojen irtaimistoa kokeessa 2.



Kuva 12. Keittiön pöytä, tuolit ja verhot kokeessa 2.

2.3.3.3 Olohuone

Olohuoneen sisustus koostui kirjahyllystä, sohvaryhmästä ja sohvapöydästä (kuva 13). Olohuoneen kirjahyllyyn (lev. 160 cm) sijoitettiin televisio, kirjoja ja muutamia sisustusesineitä (kuva 14). Sohvaryhmä koostui kolmenistuttavasta sohvasta (lev. 200 cm), kahdesta nojatuolista (lev. 65 cm) ja sohvapöydästä (lev. 80 cm) (kuva 15).



Kuva 13. Yleisnäkymä olohuoneesta kokeessa 2.



Kuva 14. Olohuoneeseen sijoitettu kirjahylly kokeessa 2.



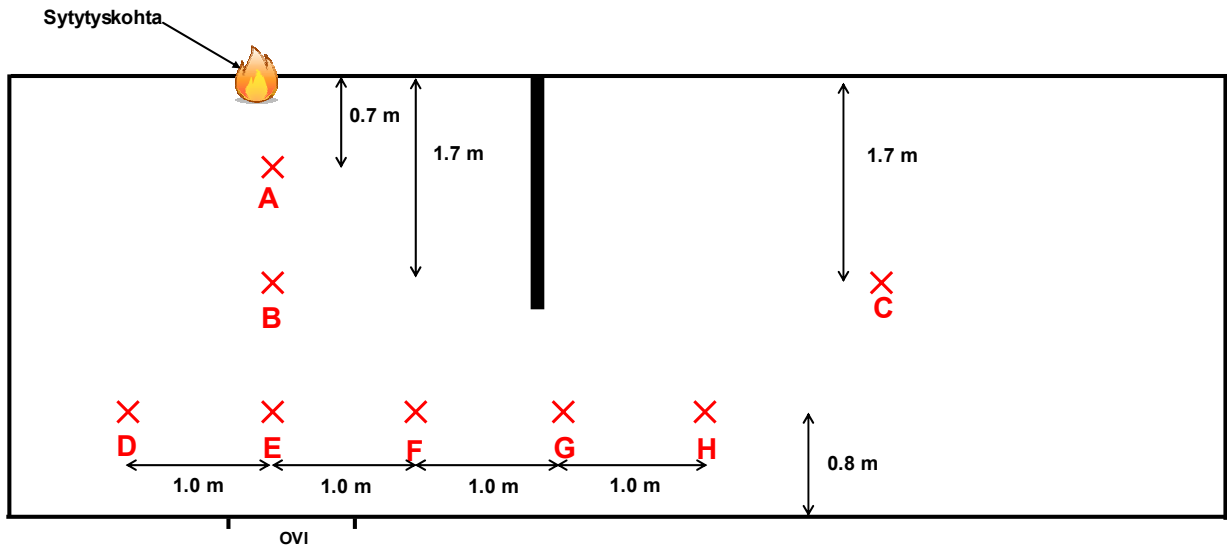
Kuva 15. Olohuoneen sohvaryhmä kokeessa 2.

2.4 Palotekniset mittaukset

Kokeiden aikana koetilasta mitattiin lämpötiloja 20 eri mittauspisteestä, joiden sijainnit on esitetty kuvissa 16 ja 17. Mittauspisteet olivat samat kokeissa 1 ja 2.

Mittauspisteissä A, B ja C lämpötiloja mitattiin viideltä eri korkeudelta, kun taas pisteissä D, E, F, G ja H mittausantureita oli vain yksi. Kunkin mittauspisteen korkeus lattiatasosta on esitetty taulukossa 1.

Lämpötilojen lisäksi tilasta mitattiin happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet palon aikana. Näytteet otettiin mittauspisteestä G (kuva 16) 2,0 m:n korkeudelta lattiatasosta. Näytteenottoputki tuotiin koetilaan seinän läpi (kuva 18).



Kuva 16. Kaaviokuva mittauspisteiden paikoista.

Taulukko 1. Mittauspisteiden etäisyydet lattiatasosta.

<i>Tunniste</i>	<i>Etäisyys lattiatasosta</i>
<i>A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1, H1</i>	<i>2,3 m</i>
<i>A2, B2, C2</i>	<i>2,0 m</i>
<i>A3, B3, C3</i>	<i>1,7 m</i>
<i>A4, B4, C4</i>	<i>1,4 m</i>
<i>A5, B5, C5</i>	<i>1,1 m</i>



Kuva 17. Mittauspisteet A, B ja C.



Kuva 18. Kaasunäytteenottoputki.

2.5 Aikataulu

2.5.1 Koe 1

	<u>VKO 1</u>
Palokohteen rakenteiden pystyttäminen	ma–ti 14.–15.1.2008
Sisäseinien maalaus	ke 16.1.2008
Irtaimiston sijoittelu	to 17.1.2008
Instrumentointi paloteknisiä mittauksia varten	to 17.1.2008
Sisäilmamittaus (taso ennen koetta)	pe 18.1.2008
	<u>VKO 2</u>
Poltto	ma 21.1.2008
Alipaineistus	ti 22.1.2008
Sisäilmamittaus (taso polton ja alipaineistuksen jälkeen)	ke 23.1.2008
Saneeraus	to 24.1.2008
Sisäilmamittaus (taso saneerauksen aikana)	to 24.1.2008
Koerakennelman purku	pe 25.1.2008

2.5.2 Koe 2

	<u>VKO 1</u>
Palokohteen rakenteiden pystyttäminen	ma–ti 3.–4.3.2008
Sisäseinien maalaus	ti–ke 4–5.3.2008
Irtaimiston sijoittelu	to 6.3.2008
Instrumentointi paloteknisiä mittauksia varten	to 6.3.2008
Sisäilmamittaus (taso ennen koetta)	pe 7.3.2008
	<u>VKO 2</u>
Poltto	ma 10.3.2008
Alipaineistus	ti 11.3.2008
Sisäilmamittaus (taso polton ja alipaineistuksen jälkeen)	ke 12.3.2008
Saneeraus	to 13.3.2008
Sisäilmamittaus (taso saneerauksen aikana)	to 13.3.2008
Koerakennelman purku	pe 14.3.2008

3. Polttokokeet

3.1 Yleistä

Polttokokeiden tavoitteena oli jäljitellä ”tavanomaista” asuntopaloa. Tarkoituksena oli tuottaa mahdollisimman paljon savua pitäen palotilan lämpötilat kuitenkin alhaisina ja estäen tilan lieskahtaminen (yleissyttyminen).

3.2 Sytytys

Kokeissa pyrittiin jäljittelemään tilannetta, jossa palo syttyy keittiöön sijoitetusta kahvinkeitimestä.

Sytytykseen käytettiin kuvassa 19 esitettyä käyttämätöntä kahvinkeitintä. Keitin asetettiin keittiön tiskipöydälle tiiliskivien päälle, noin 5 cm:n korkeudelle pöytätasosta. Keittimen sytytykseen käytettiin 50 ml nestemäistä Sinolia, joka asetettiin metallipurkissa (halk. 8,5 cm) keittimen alle. Metallipurkki näkyy keittimen alla vasemmalla kuvassa 19. Kahvinkeitimen sijoittelu keittiökalustukseen nähden näkyy kuvassa 20, joka on otettu kokeessa 1 juuri ennen sytytyshetkeä.



Kuva 19. Sytytykseen käytetty kahvinkeitin.



Kuva 20. Kahvinkeitin juuri ennen sytytystä kokeessa 1.

3.3 Koe 1

3.3.1 Kokeen 1 kulku

Kokeen 1 alussa ilmansaantia oli rajoitettu siten, että oviaukon koko oli noin 90 cm × 150 cm (kuva 21). Noin 16 minuutin kuluttua sytytyksestä oviaukon korkeutta pienennettiin vielä noin 50 cm (kuva 22).

Syttymislähteenä toiminut kahvinkeitin oli sijoitettu siten, että se syttyessään levittäisi palon yläpuolella oleviin keittiökaappeihin. Noin 10 min kuluttua sytytyshetkestä näin tapahtuikin. Palon leviämisen edistämiseksi kahvinkeitin yläpuolella olevan muoviestioita sisältävän yläkaapin ovi oli jätetty raolleen. Palon annettiin kehittyä ja levitä noin 15 minuuttiin asti vapaasti, jonka jälkeen palotilaa alettiin jäähdyttää vedellä. Palon rajoittamisesta ja sammuttamisesta huolehtivat Helsingin Pelastuskoulun sammuttajat. Ensimmäisen kerran palokaasuja jäähdytettiin noin 15 minuutin kuluttua kokeen alusta kattolämpötilojen nousun rajoittamiseksi. Sammuttajat jäähdyttivät tämän jälkeen palotilaa, kunnes suorittivat loppusammutuksen 20 minuutin kuluttua kokeen alusta.

Kokeen 1 kulku ja tehdyt havainnot on koottu taulukkoon 2.



Kuva 21. Kokeen 1 alussa oviaukon koko oli n. 90 cm × 150 cm.



Kuva 22. N. 16 min kuluttua sytytyksestä oviaukon korkeutta pienennettiin n. 50 cm.

Taulukko 2. Kokeen 1 kulku.

<i>Tapahtuma</i>	<i>Ajanhetki [mm:ss]</i>
<i>Sytytys</i>	<i>t = 0:00</i>
<i>Kuva 23a)</i>	<i>t = 0:54</i>
<i>Kahvinkeitin takaosa syttyi</i>	<i>t = 3:18</i>
<i>Kahvinkeitin sulin taittua kahtia</i>	<i>t = 5:25</i>
<i>Kuva 23b)</i>	<i>t = 6:18</i>
<i>Yläkaapin ovi syttyi</i>	<i>t = 10:11</i>
<i>Kuva 23c)</i>	<i>t = 10:45</i>
<i>Kuva 23d)</i>	<i>t = 11:28</i>
<i>Kaapistojen välinen takaseinä (maalattu kipsilevy) syttyi</i>	<i>t = 11:42</i>
<i>Astiakaapin astiat putosivat alas</i>	<i>t = 11:52</i>
<i>Sammuttajat aloittivat tilan jäähdytyksen</i>	<i>t = 14:41</i>
<i>Oviaukkoa pienennettiin 50 cm:n lisälevyllä</i>	<i>t = 16:14 (kuva 22)</i>
<i>Palo sammutettiin</i>	<i>t = 20:01</i>



a) Tilanne n. 1 min kuluttua sytytyksestä.



b) Tilanne n. 6 min kuluttua sytytyksestä.



c) Tilanne n. 10 min 45 s kuluttua sytytyksestä.



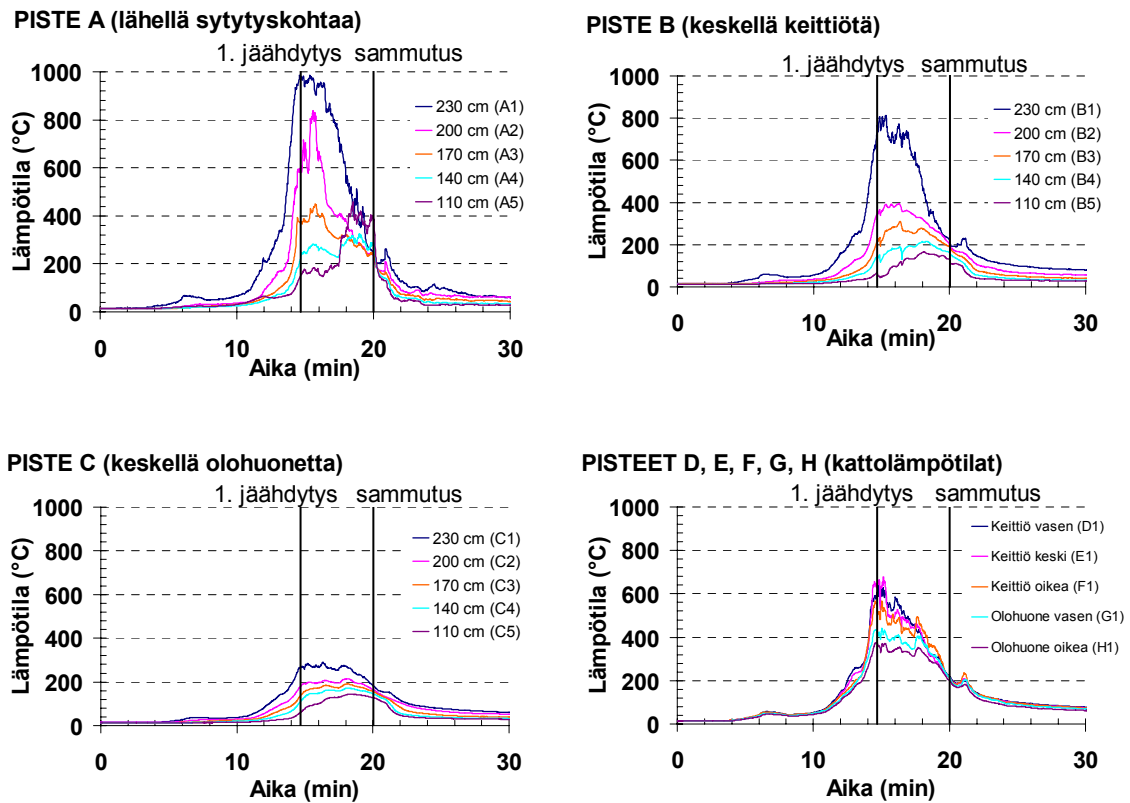
d) Tilanne n. 11,5 min kuluttua sytytyksestä.

Kuva 23. Kuvasarja kokeesta 1.

3.3.2 Paloteknisten mittausten tulokset

3.3.2.1 Lämpötilat

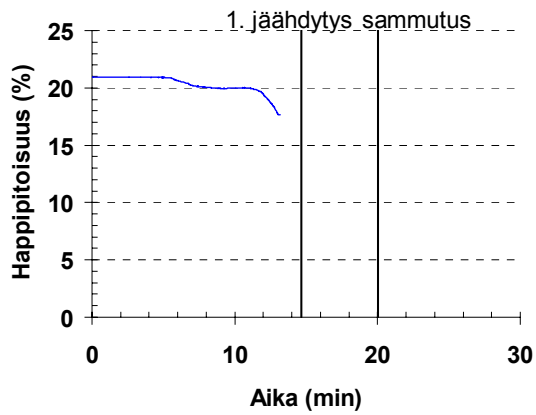
Kokeen 1 aikana tehtyjen lämpötilamittausten tulokset (kuvaus kappaleessa 2.4) on esitetty kuvassa 24.



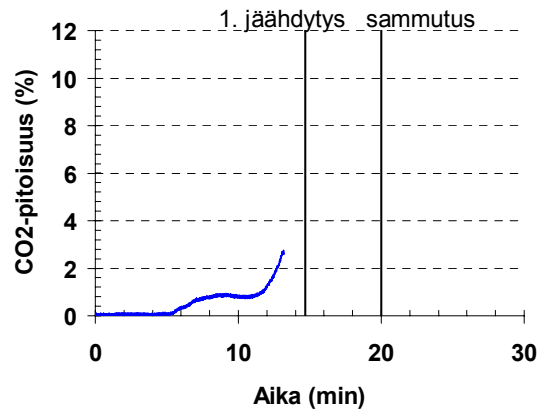
Kuva 24. Koe 1, lämpötilat pisteissä A–H (ks. kuva 16).

3.3.2.2 O₂-, CO₂- ja CO-pitoisuudet

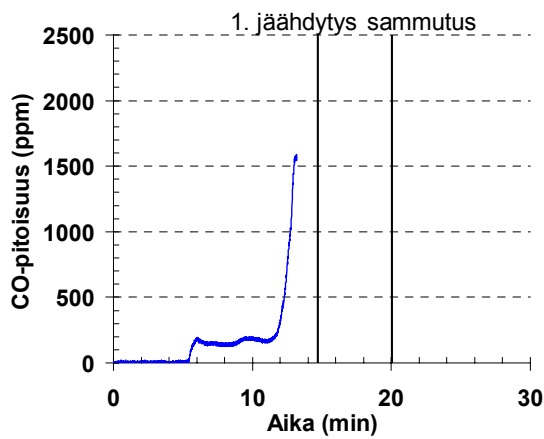
Tilan sisältä pisteestä G (kuva 16) 2,0 m:n korkeudelta mitattiin kokeen aikana myös happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet. Yksi kaasunäytteenottolinjan letkuisista kuitenkin irtosi noin 13 minuutin kuluttua kokeen 1 alusta, ilmeisesti näytteenotto-putken tukkeutumisen takia. Tämän vuoksi tuloksia kaasupitoisuuksista saatiin kokeessa 1 vain ensimmäisten 13 min ajalta. Letkun irrotessa happipitoisuus oli voimakkaassa laskussa ja CO₂- ja CO-pitoisuudet voimakkaassa nousussa. Tulokset on esitetty kuvassa 25.



a)



b)



c)

Kuva 25. a) Happi- (O_2), b) hiilidioksidi- (CO_2) sekä c) hiilimonoksidi- (CO) pitoisuudet pisteessä G korkeudella $h=2,0$ m (ks. kuva 16) kokeessa 1.

3.3.3 Kokeen 1 jälkeinen tilanne

3.3.3.1 Keittiö

Kuvasarja keittiöstä kokeen 1 polton jälkeen on esitetty kuvissa 26a)–c).



a) Yleisnäkymä keittiöstä polton jälkeen.



b) Keittiön pöytä, tuolit ja verhot polton jälkeen.



c) Keittiön kaapisto polton jälkeen.

Kuva 26. Kuvia keittiöstä kokeen 1 jälkeen.

3.3.3.2 Olohuone

Kuvasarja olohuoneesta kokeen 1 polton jälkeen on esitetty kuvissa 27a)–c).



a) Yleisnäkymä olohuoneesta polton jälkeen.



b) Olohuoneeseen sijoitettu kirjahylly polton jälkeen.



c) Olohuoneen sohvaryhmä polton jälkeen.

Kuva 27. Kuvia olohuoneesta kokeen 1 jälkeen.

3.4 Koe 2

3.4.1 Kokeen 2 kulku

Palo sytytettiin samoin kuin kokeessa 1.

Kokeen 2 alussa ilmansaantia rajoitettiin siten, että oviaukon koko oli noin 90 cm × 150 cm. Noin 13 minuutin kuluttua sytytyksestä oviaukon korkeutta pienennettiin vielä noin 50 cm.

Koska n. 6,5 min kuluttua sytytyksestä alkupalon liekit olivat melko matalia, palon etenemistä päätettiin nopeuttaa sivelemällä Sinol-geeliä yläkaapiston oveen. Noin 8 min kuluttua sytyttämisestä alkupaloon (kahvinkeitin) lisättiin vielä Sinol-geelillä kostutettu pienehkö kangaspala. Tämän jälkeen noin 11 minuuttia sytytyshetkestä palo levisi yläkaapistoon, ja palotilan lämpötilat lähtivät nousuun. Palon annettiin kehittyä ja levitä noin 13–14 minuuttiin asti vapaasti, jonka jälkeen palotilaa alettiin jäähdyttää vedellä. Palon rajoittamisesta ja sammuttamisesta huolehtivat Helsingin Pelastuskoulun sammuttajat. Ensimmäisen kerran palokaasuja jäähdytettiin vajaan 14 minuutin kuluttua kokeen alusta kattolämpötilojen nousun rajoittamiseksi. Sammuttajat jäähdyttivät tämän jälkeen palotilaa, kunnes suorittivat loppusammutuksen 20 minuutin kuluttua kokeen alusta. Kuvasarja kokeesta 2 on esitetty kuvassa 28.

Kokeen 2 kulku ja tehdyt havainnot on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Kokeen 2 kulku.

<i>Tapahtuma</i>	<i>Ajanhetki [mm:ss]</i>
<i>Sytytys</i>	<i>t = 0:00</i>
<i>Kahvinkeitin alaosa syttyi</i>	<i>t = 2:52</i>
<i>Kuva 28a)</i>	<i>t = 4:25</i>
<i>Seinään kiinnitetty pyyhe syttyi</i>	<i>t = 5:15</i>
<i>Kuva 28b)</i>	<i>t = 5:25</i>
<i>Kahvinkeitin suodatinosa sulii ja putosi</i>	<i>t = 5:47</i>
<i>Kuva 28c)</i>	<i>t = 6:30</i>
<i>Sinol-geeliä siveltiin yläkaapin oveen</i>	<i>t = 6:34</i>
<i>Sinol-geelillä kasteltu kangaspala tiskipöydälle</i>	<i>t = 7:59</i>
<i>Yläkaapin alaosa syttyi</i>	<i>t = 11:08</i>
<i>Kuva 28d)</i>	<i>t = 11:30</i>
<i>Astiakaapin astiat putosivat alas</i>	<i>t = 11:44</i>
<i>Yläkaapin alareuna palaa</i>	<i>t = 12:06</i>
<i>Oviaukkoa pienennettiin 50 cm:n lisälevyllä</i>	<i>t = 13:11</i>
<i>Sammuttajat aloittivat tilan jäähdytyksen</i>	<i>t = 13:40</i>
<i>Palo sammutettiin</i>	<i>t = 20:05</i>



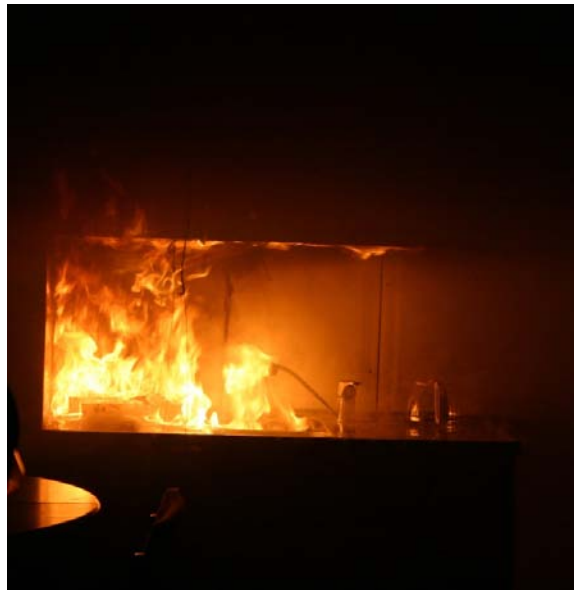
a) Tilanne n. 4 min 25 s kuluttua sytytyksestä.



b) Tilanne n. 5 min 25 s kuluttua sytytyksestä.



c) Sinolin lisäys n. 6,5 min sytytyksestä.



d) Tilanne n. 11,5 min kuluttua sytytyksestä.

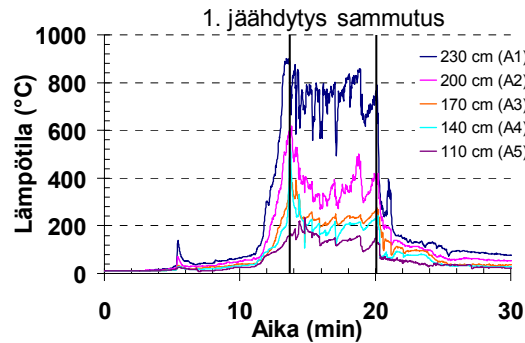
Kuva 28. Kuvasarja kokeesta 2.

3.4.2 Paloteknisten mittausten tulokset

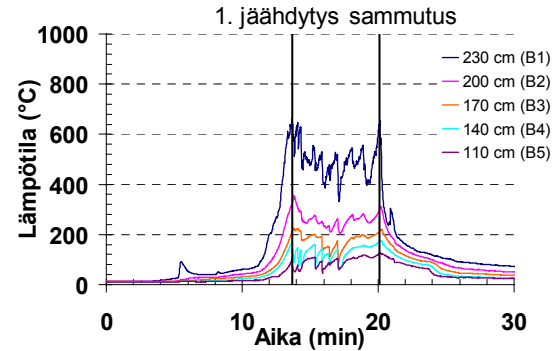
3.4.2.1 Lämpötilat

Kokeen 2 aikana tehtyjen lämpötilamittausten tulokset (kuvaus kappaleessa 2.4) on esitetty kuvassa 29.

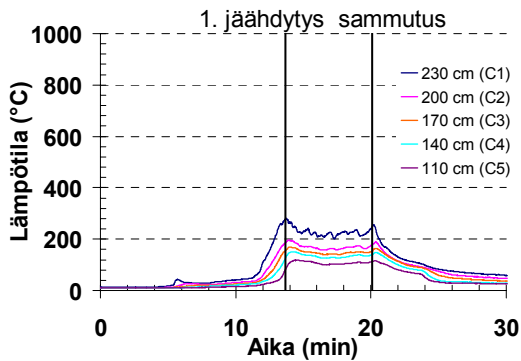
PISTE A (lähellä sytytyskohtaa)



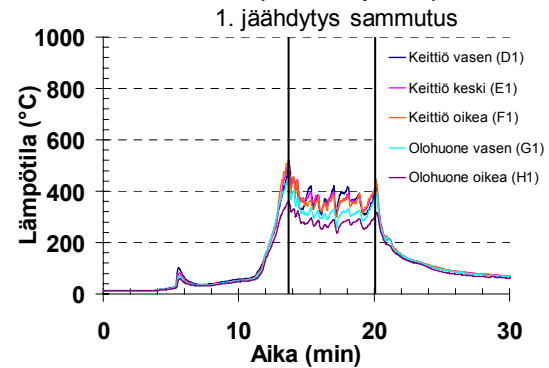
PISTE B (keskellä keittiötä)



PISTE C (keskellä olohuonetta)



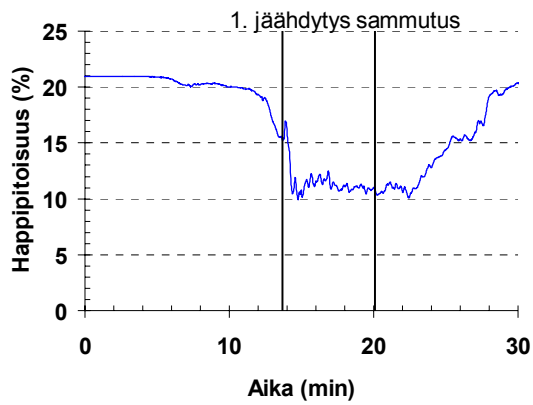
PISTEET D, E, F, G, H (kattolämpötilat)



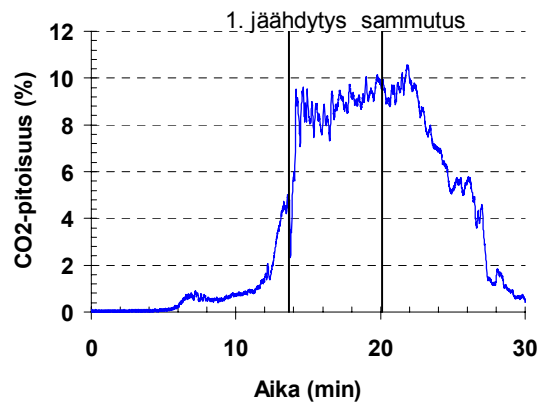
Kuva 29. Koe 2, lämpötilat pisteissä A–H (ks. kuva 16).

3.4.2.2 O₂-, CO₂- ja CO-pitoisuudet

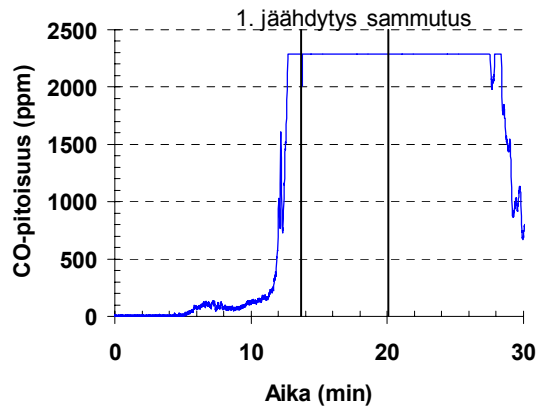
Tilan sisältä pisteestä G (kuva 16) 2,0 m:n korkeudelta mitattiin kokeen 2 aikana myös happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet. Tulokset on esitetty kuvassa 30. Hiilimonoksidipitoisuus ylitti analysaattorin mittausalueen noin 13 minuutin kuluttua kokeen alusta, mikä nähdään saturoituneena signaalina kuvassa 30c).



a)



b)



c)

Kuva 30. a) Happi- (O_2), b) hiilidioksidi- (CO_2) sekä c) hiilimonoksidi- (CO) pitoisuu-
det pisteessä G korkeudella $h = 2,0\text{ m}$ (ks. kuva 16) kokeessa 2.

3.4.3 Kokeen 2 jälkeinen tilanne

3.4.3.1 Keittiö

Kuvasarja keittiöstä kokeen 2 polton jälkeen on esitetty kuvissa 31a)–c).



a) Yleisnäkymä keittiöstä polton jälkeen. b) Keittiön pöytä, tuolit ja verhot polton jälkeen.



c) Keittiön kaapisto polton jälkeen.

Kuva 31. Kuvia keittiöstä kokeen 2 jälkeen.

3.4.3.2 Olohuone

Kuvasarja olohuoneesta kokeen 2 polton jälkeen on esitetty kuvissa 32a)–c).



a) Yleisnäkymä olohuoneesta polton jälkeen.



b) Olohuoneeseen sijoitettu kirjahylly polton jälkeen.



c) Olohuoneen sohvaryhmä polton jälkeen.

Kuva 32. Kuvia olohuoneesta kokeen 2 jälkeen.

4. Koetilan saneeraus polton jälkeen

4.1 Alipaineistus

Palokohteen jälkituuletuksessa tila alipaineistetaan ja estetään siten hajun ja nokihiukkasten leviäminen puhtaisiin tiloihin. Lisäksi purku- ja saneerausvaiheen työskentelyolosuhteet paranevat.

Kokeen jälkeisenä päivänä palosaneeraajat asensivat tilaan laitteet alipaineistusta varten. Tilasta imettiin ilmaa HEPA-suodattimella varustetulla puhaltimella (kuva 33a) samalla kun tilaan tuotiin puhdasta ilmaa kanavapuhaltimella (kuva 33b). Puhdas ilma tuotiin sammutushalliin johtavasta käytävästä (sisätila).



a)



b)

Kuva 33. a) Tilasta imettävän ilman poisto. b) Kanavapuhallin.

4.2 Saneeraustyön kulku

4.2.1 Koe 1

Saneeraustyön työvaiheet ja niihin kulunut aika esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Saneeraustyön kulku kokeen 1 jälkeen.

<i>Työvaihe</i>	<i>Kohde</i>	<i>Suoritusajanjakso [hh:mm-hh:mm]</i>	<i>Kesto</i>
<i>Säkitys</i>	<i>Keittiökaappien sisältö + palojäte</i>	<i>9:00–9:20</i>	<i>20 min</i>
<i>Purku</i>	<i>Keittiökaapit</i>	<i>9:20–9:40</i>	<i>20 min</i>
<i>Purku</i>	<i>Väliseinä</i>	<i>9:30–9:45</i>	<i>15 min</i>
<i>Säkitys ja purku</i>	<i>Kirjahylly tavaroineen</i>	<i>9:45–10:00</i>	<i>15 min</i>
<i>Siirto (halliin)</i>	<i>Purkujäte</i>	<i>10:00–10:15</i>	<i>15 min</i>
<i>Siirto (halliin)</i>	<i>Irtaimisto</i>	<i>10:15–10:30</i>	<i>15 min</i>
<i>Lakaisu ja imurointi</i>	<i>Lattia</i>	<i>10:30–10:45</i>	<i>15 min</i>
<i>Siirto (lavalle)</i>	<i>Purkujäte + irtaimisto</i>	<i>11:00–11:15</i>	<i>15 min</i>
<i>Pesu</i>	<i>Seinät + katto</i>	<i>12:20–13:20</i>	<i>60 min</i>
<i>Purku</i>	<i>Seinä- + kattolevyt</i>	<i>13:20–15:00</i>	<i>100 min</i>

4.2.2 Koe 2

Saneeraustyön työvaiheet ja niihin kulunut aika esitetään taulukossa 5. Kokeen 2 saneerausessa koehenkilöt jakoivat työtä siten, että ajoittain suoritettiin samanaikaisesti useampaa kuin yhtä työvaihetta.

Taulukko 5. Saneeraustyön kulku kokeen 2 jälkeen.

<i>Työvaihe</i>	<i>Kohde</i>	<i>Suoritusajanjakso [hh:mm-hh:mm]</i>	<i>Kesto</i>
<i>Säkitys</i>	<i>Keittiökaappien sisältö + palojäte</i>	<i>10:00–10:30</i>	<i>30 min</i>
<i>Purku</i>	<i>Keittiökaapit</i>	<i>10:15–10:45</i>	<i>30 min</i>
<i>Purku</i>	<i>Väliseinä</i>	<i>10:30–11:00</i>	<i>30 min</i>
<i>Säkitys ja purku</i>	<i>Kirjahylly tavaroineen</i>	<i>10:30–11:00</i>	<i>30 min</i>
<i>Siirto (halliin)</i>	<i>Purkujäte</i>	<i>10:45–11:00</i>	<i>15 min</i>
<i>Siirto (halliin)</i>	<i>Irtaimisto</i>	<i>11:00–11:15</i>	<i>15 min</i>
<i>Lakaisu</i>	<i>Lattia</i>	<i>10:45–11:00</i>	<i>15 min</i>
<i>Purku ja poisto</i>	<i>Lattiamatto</i>	<i>11:00–11:15</i>	<i>15 min</i>
<i>Siirto (lavalle)</i>	<i>Purkujäte + irtaimisto</i>	<i>11:15–12:00</i>	<i>45 min</i>
<i>Pesu</i>	<i>Seinät + katto</i>	<i>13:25–14:25</i>	<i>60 min</i>
<i>Purku</i>	<i>Seinä- + kattolevyt</i>	<i>14:30–15:30</i>	<i>60 min</i>

5. Sisäilmamittaukset

5.1 Näytteenottoajankohdat

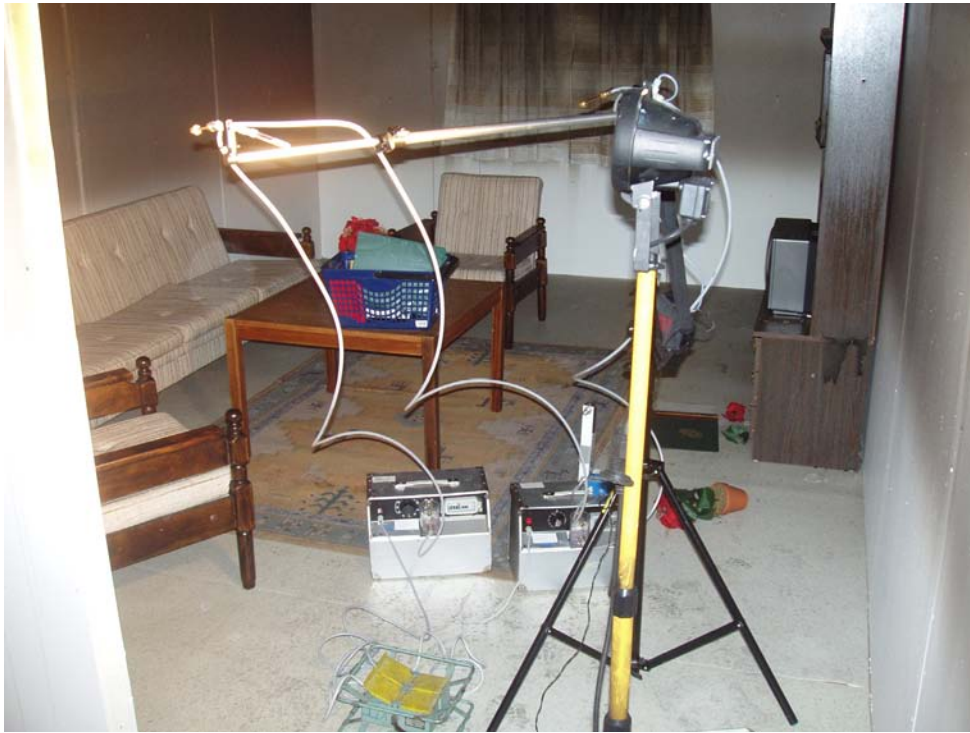
Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC-yhdisteet, sis. bentseenin) sekä PAH-yhdisteiden pitoisuudet määritettiin ennen palokoetta sekä palokokeen ja jälkituuletuksen jälkeen. Tämän lisäksi sisäilmanäytteet otettiin myös saneerauksen aikana. Koetilan lisäksi määritettiin pitoisuus sammutushallista, johon koetila oli rakennettu. Näytteenottojen yhteydessä otettiin myös nollanäytteet (näyteputket käsiteltiin muutoin kuten itse näytteet mutta niiden läpi ei johdettu ilmaa). Sisäilmanäytteenoton järjestelyt koetilassa ja hallissa ennen palokokeita esitetään kuvissa 34–36.

Mittausajankohdat olivat seuraavat:

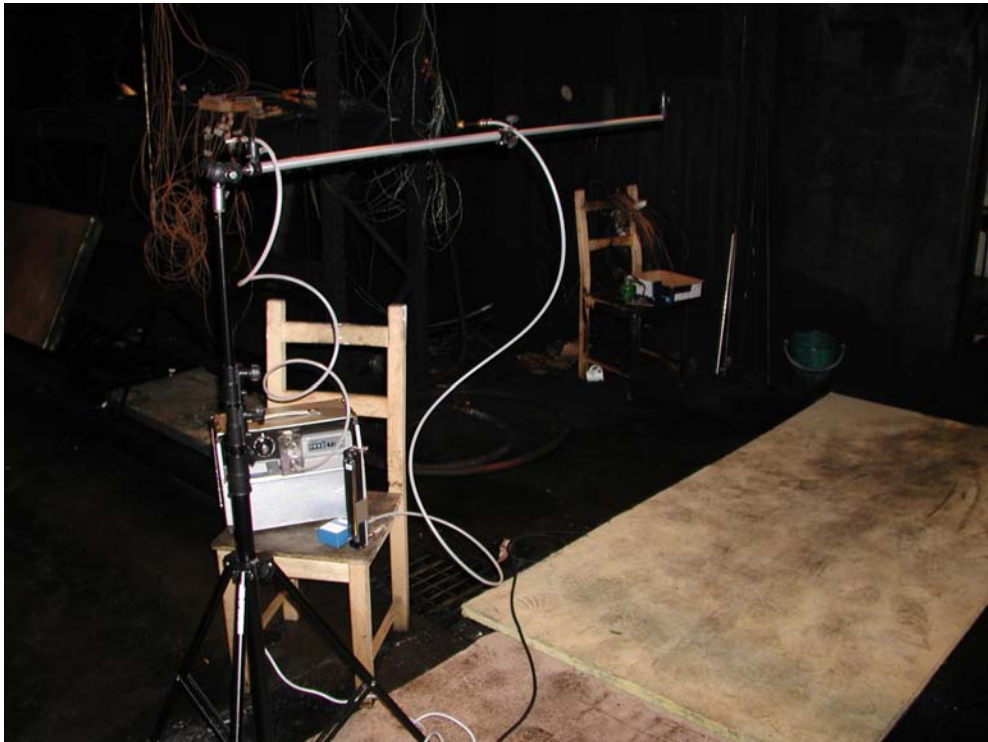
1. Ennen palokoetta: 18.1.2008 ja 7.3.2008
2. Palokokeen jälkeen juuri ennen saneeraustöiden aloitusta, siinä vaiheessa kun jälkituuletus oli jo suoritettu: 23.1.2008 ja 11.3.2008
3. Saneeraustyön aikana: 24.1.2008 ja 12.3.2008



Kuva 34. Sisäilmanäytteenotto koetilassa ennen palokoetta 1.



Kuva 35. Sisäilmanäytteenotto koetilassa ennen palokoetta 2.



Kuva 36. Sisäilmanäytteenotto hallissa ennen palokoetta 1.

5.2 Näytteenotto- ja analyysimenetelmät

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli nk. VOC-yhdisteet kerättiin nk. Tenax-adsorbenttiin, josta ne analysoitiin kaasukromatografisesti termodesorption jälkeen. Yhdisteet tunnistettiin massaspektrometridetektorilla ja kvantitoitiin liekki-ionisaatiodetektorilla. VOC-yhdisteiden pitoisuudet laskettiin tolueeniekvivalenttina. VOC-yhdisteiden kokonaissumma, TVOC, määritettiin tolueeniekvivalenttina FID-kromatogrammin kokonaispinta-alasta väliltä heksaani–heksadekaani. PAH-yhdisteet kerättiin XAD-adsorbenttiin, josta ne uutettiin ja analysoitiin nestekromatografilla, jossa oli fluoresenssi-ilmaisim. Taulukossa 6 on esitetty näytteenotossa käytetyt adsorbentit (keräysaineet) sekä ilma-näytteen keräysajat, tilavuudet ja analyysimenetelmät.

Taulukko 6. Sisäilmanäytteenoton parametrit.

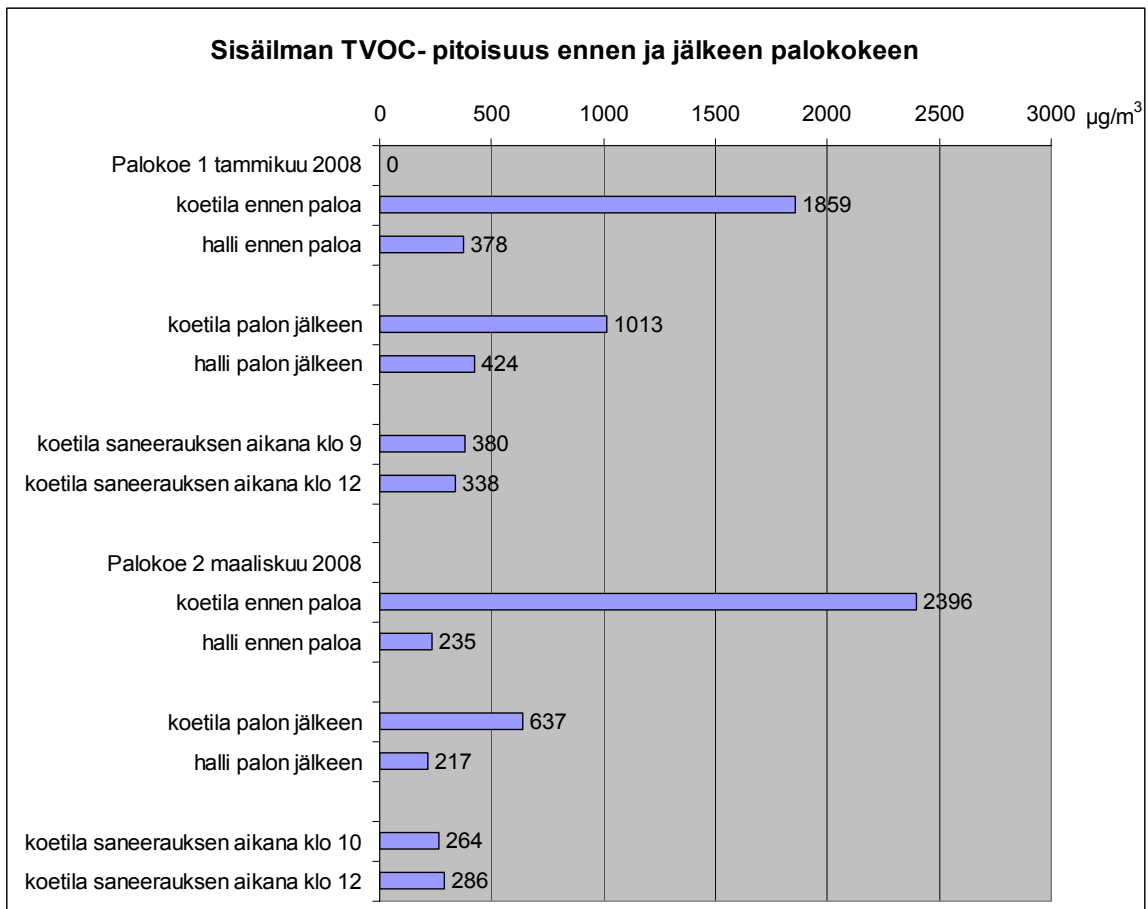
Yhdiste	Keräysaine	Keräysnopeus, -aika ja tilavuus	Analyysi (VTT ja TTL)
VOC-yhdisteet, Kp: ~50–260 °C (TVOC), sis. bentseeni	Tenax TA	100 ml/min, 20–40 min, 2–5 l	GC-MSD, LOD 0,5–5 µg/m ³
PAH-yhdisteet, sis. bentso [a] pyreeni	XAD suodatin (hiukkas- faasi)	1–2 l/min, 4–8 tuntia, 100–1000 l	HPLC, LOD 0,001 µg/m ³

5.3 Tulokset

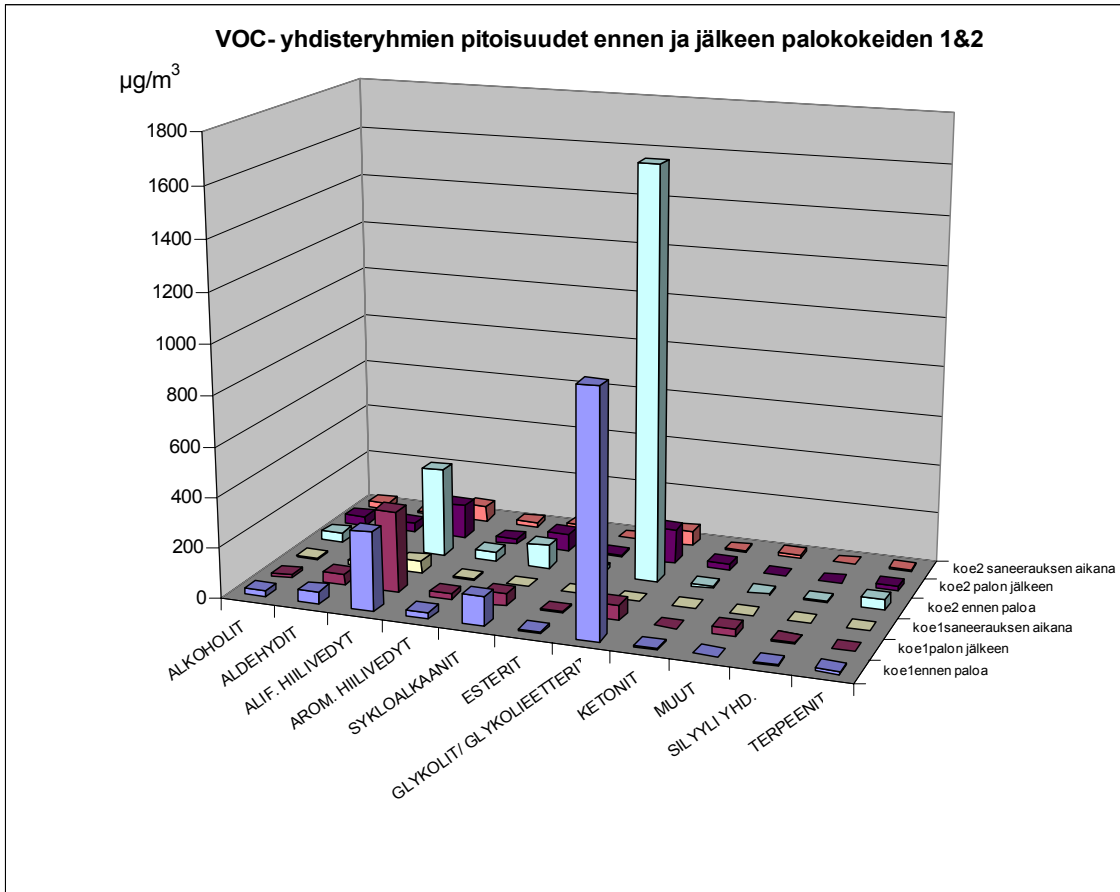
Koetilan TVOC-pitoisuus (orgaanisten VOC-yhdisteiden kokonaismäärä) oli välillä ~1900–2400 µg/m³ ennen paloa. Palon ja jälkituuletuksen jälkeen pitoisuudet olivat laskeneet tasolle ~640–1000 µg/m³. Seuraavana päivänä saneerauksen aikana mitatut pitoisuudet laskivat edelleen ja vastasivat hallin pitoisuustasoa ~220–380 µg/m³. Korkeimpina pitoisuuksina mitattiin glykoleja ja glykolieettereitä (1,2-propaanidolia, 2-etoksi-etoksi-etanolia). Nämä ovat mm. maaleille tyypillisiä yhdisteitä, ja niiden pitoisuudet olivat jopa 1650 µg/m³ ennen paloa. Palon jälkeen pitoisuudet olivat laskeneet tasolle 60–140 µg/m³.

Kuva 37 esittää sisäilman TVOC-pitoisuuksia eri tilanteissa palokokeiden 1 ja 2 yhteydessä. Kuvassa 38 on esitetty kahdessa eri palokokeessa tunnistetut VOC-yhdisteet yhdisteryhmittäin. Glykolin lisäksi tunnistettiin suurimpina pitoisuuksina alifaattisia hiilivetyjä sekä sykloalkaaneja. Nämä ovat tyypillisiä uusista rakennusmateriaaleista haihtuvia yhdisteitä. Kuvassa 39 on esitetty kaasukromatografilta saatu grammi VOC-

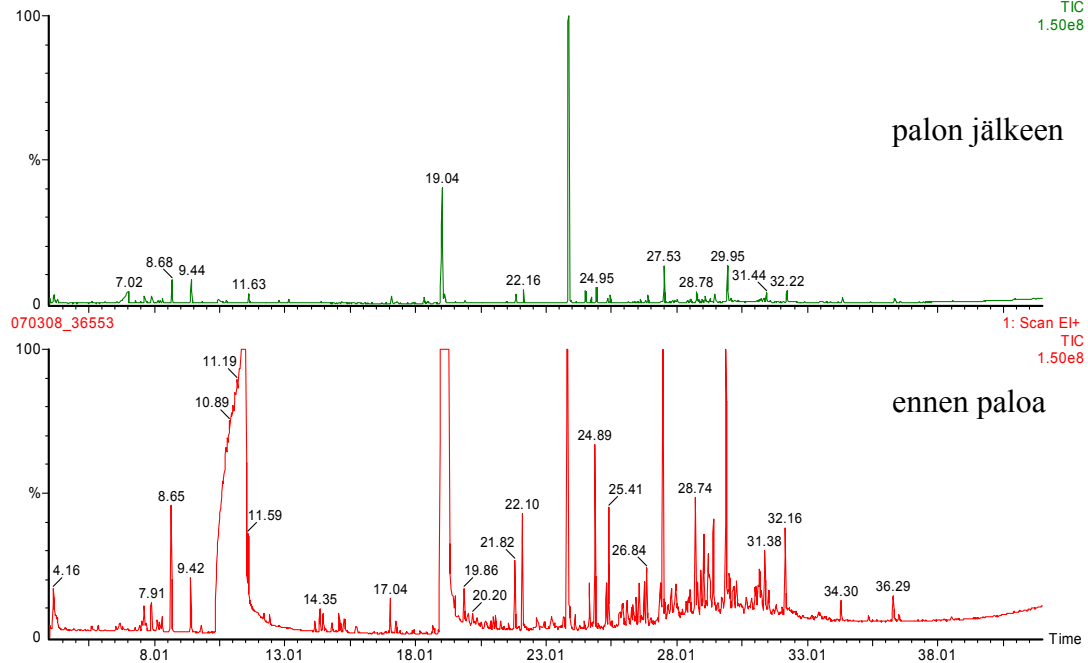
näytteistä ennen ja jälkeen palokokeen 2. Glykoliyhdisteet ovat nähtävissä retentioajalla ~10–11 minuuttia sekä ~19 minuuttia.



Kuva 37. Sisäilman TVOC-pitoisuus ennen ja jälkeen palokokeiden 1 ja 2.



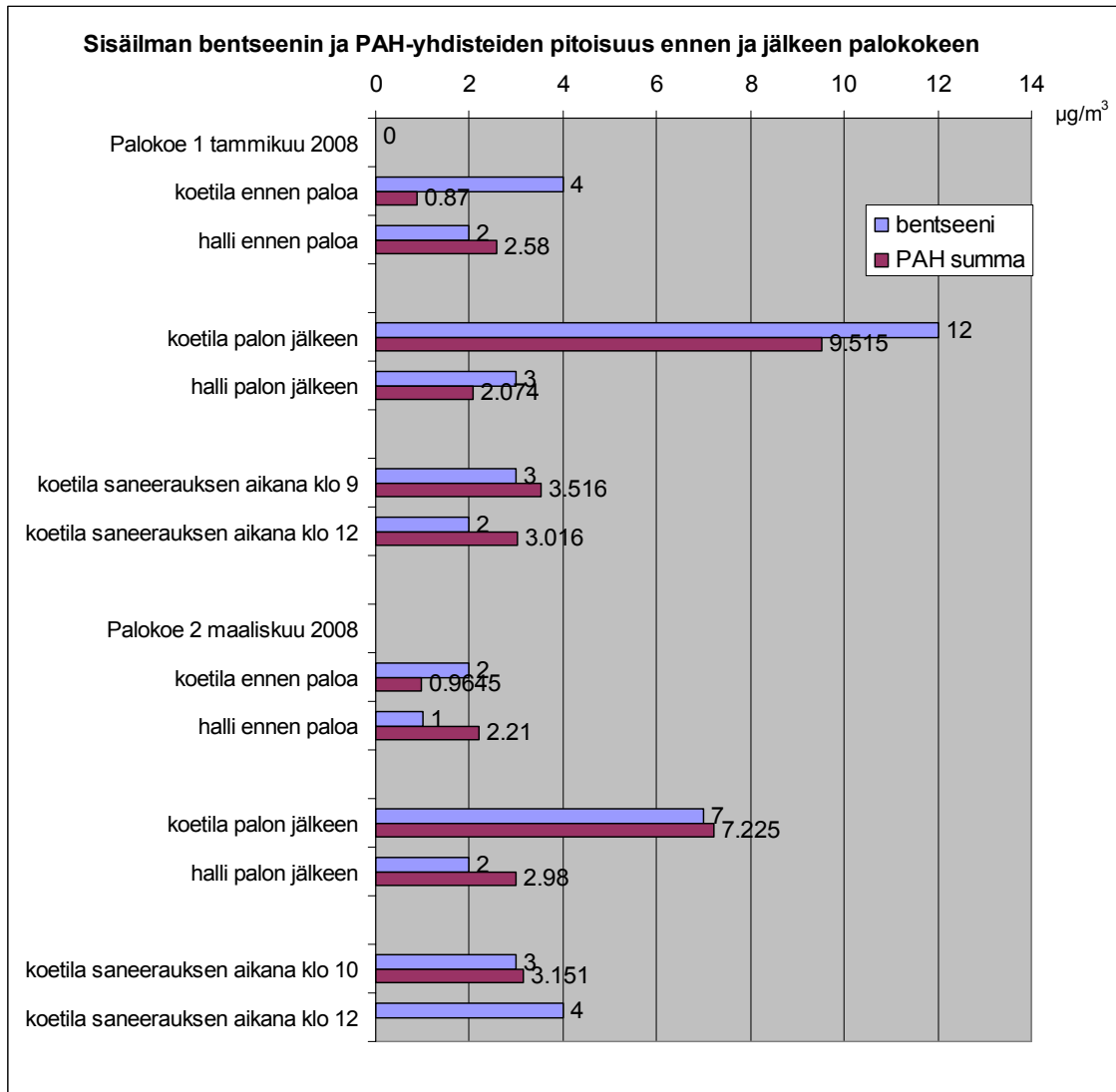
Kuva 38. VOC-yhdisteryhmien pitoisuudet ennen ja jälkeen palokokeiden 1 ja 2.



Kuva 39. VOC-yhdisteiden GC/MSD-tulos ennen ja jälkeen palokokeen 2.

Koetilan bentseeni- ja PAH-pitoisuudet olivat 2–4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä $\sim 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ennen paloa (kuva 40). Palon ja jälkituuletuksen jälkeen mitatut bentseenipitoisuudet olivat 7–12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja PAH-pitoisuudet 7–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Saneerauksen aikana bentseenin ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet laskivat tasolle 2–4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ eli ne vastasivat tutkimushallin tasoa. Koetilan ovi oli koko ajan auki saneerauksen aikana, mikä selittää pitoisuuksien laskun. Bentso[a]pyreenin pitoisuus ei ylittänyt missään näytteessä määrittärajaa $< 0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet. Suodatinkeräimestä analysoidujen PAH-yhdisteiden pitoisuus (hiukkasfaasissa) ei myöskään ylittänyt määrittärajaa $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sisäilman pitoisuudet olivat hyvin samankaltaiset kahdessa eri palokokeessa ottaen huomioon sen, että määrittävarmuus sisäilmanäytteenotolle on yleensä $\pm 20\text{--}30\%$. Sisäilman pitoisuuteen todennäköisesti eniten vaikuttavat tekijä on ollut jälkituuletukseen käytetty aika sekä ilmanvaihtuvuus jälkituuletuksen aikana.



Kuva 40. Sisäilman bentseenin sekä PAH-yhdisteiden pitoisuus ennen ja jälkeen palokokeiden 1 ja 2.

Taulukko 7. PAH-yhdisteiden pitoisuudet palokokeessa 1.

Näyte	Koetila ennen paloa		Koetila palon jälkeen		Koetila saneerausajan aikana		Halli ennen paloa		Halli palon jälkeen
	Ilmamäärä (litraa, dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (litraa, dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (litraa, dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (litraa, dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (litraa, dm ³)
	446 lit	958 lit	424 lit	802 lit	367 lit	670 lit	117	557 lit	1109 lit
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m	µg/m ³	µg/m ³
Naftaleeni	0,5	0,5	8,8	7,1	2,6	2,2	1,1	4,8	0,83
Asenaftteeni	0,077	0,076	0,31	0,22	0,14	0,061	0,14	0,35	0,049
Fluoreeni	0,079	0,11	0,5	0,47	0,26	0,25	0,32	2	0,29
Fenantreeni	0,14	0,21	0,66	0,6	0,42	0,42	0,86	5,2	0,74
Antraseeni	0,001	0,014	0,14	0,12	0,06	0,049	0,062	0,37	0,058
Fluoranteeni	0,011	0,011	0,031	0,054	0,018	0,017	0,059	0,41	0,057
Pyreeni	0,001	0,012	0,028	0,033	0,018	0,019	0,039	0,29	0,05
Bentso[a]antraseeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Kryseeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bentso[b]fluoranteeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bentso[k]fluoranteeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bentso[a]pyreeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Dibent-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bentso[ghi]peryleeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Indenopyreeni	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Summa	0,817	0,941	10,477	8,605	3,524	3,024	2,588	13,428	2,082

Taulukko 8. PAH-yhdisteiden pitoisuudet palokokeessa 2.

Näyte	Koetila ennen paloa		Koetila palon jälkeen		Koetila saneerausajan aikana		Halli ennen paloa	Halli palon jälkeen
	Ilmamäärä (dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (dm ³)	Yhdiste	Ilmamäärä (dm ³)	Yhdiste
	484 lit	967 lit	424 lit	1215	240 lit	895 lit	1811 lit	1000 lit
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Naftaleeni	0,57	0,46	6	5,9	2,4	1,6	0,37	1,1
Asenaftteeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Fluoreeni	0,18	0,17	0,5	0,53	0,39	0,37	0,48	0,53
Fenantreeni	0,27	0,22	0,63	0,64	0,66	0,69	1,2	1,2
Antraseeni	0,033	0,026	0,12	0,13	0,096	0,096	0,16	0,15
Fluoranteeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Pyreeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Bentso[a]antraseeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Kryseeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Bentso[b]fluoranteeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Bentso[k]fluoranteeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Bentso[a]pyreeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Dibent-	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Bentso[ghi]peryleeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Indenopyreeni	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Summa	1,053	0,876	7,25	7,2	3,546	2,756	2,21	2,98

6. Palokohteen saneeraajien altistumisen arviointi

Altistumismittaustutkimus toteutettiin laboratoriossa hallituissa olosuhteissa. Laboratoriossa tuotettiin kaksi edellä kuvattua samankaltaista huoneistopaloa, jotka altistivat koehenkilöitä molemmissa kokeissa samalla tavalla. Töiden samankaltaisuus varmistettiin kirjaamalla muistiin kronologisessa järjestyksessä ensimmäisessä palossa tehdyt siivoustoimenpiteet ja niiden kestot. Tehdyn listauksen avulla toisessa palossa toimittiin samalla tavalla. Koehenkilöiden altistumisaika oli kokeissa 4,3–5,1 tuntia.

Altistumismittauksiin osallistui kolme henkilöä, joista yksi oli nainen ja kaksi miestä. Koehenkilöiksi kelpuutettiin vain tupakoimattomia saneeraustyöntekijöitä eivätkä he saaneet altistua koetta edeltävinä päivinä savulle. Tämä tarkoitti esimerkiksi altistumista pakokaasuille tai muille savuille. Ennen altistumismittauksia, mittausten aikana ja vuorokausi niiden jälkeen koehenkilöt eivät saaneet nauttia savustettuja ruokia ja heidän tuli välttää sorbiinihappoa (lisäaine E200) sisältäviä tuotteita (esim. lakassa luontaisesti ja makeissa virvoitusjuomissa lisättynä). Näiden lisäksi alkoholista tuli pidättäytyä vuorokausi ennen testiä ja vuorokausi testin jälkeen.

6.1 Mittausmenetelmät ja mitatut suureet

6.1.1 Sykliset polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) hengitysvyöhykkeellä

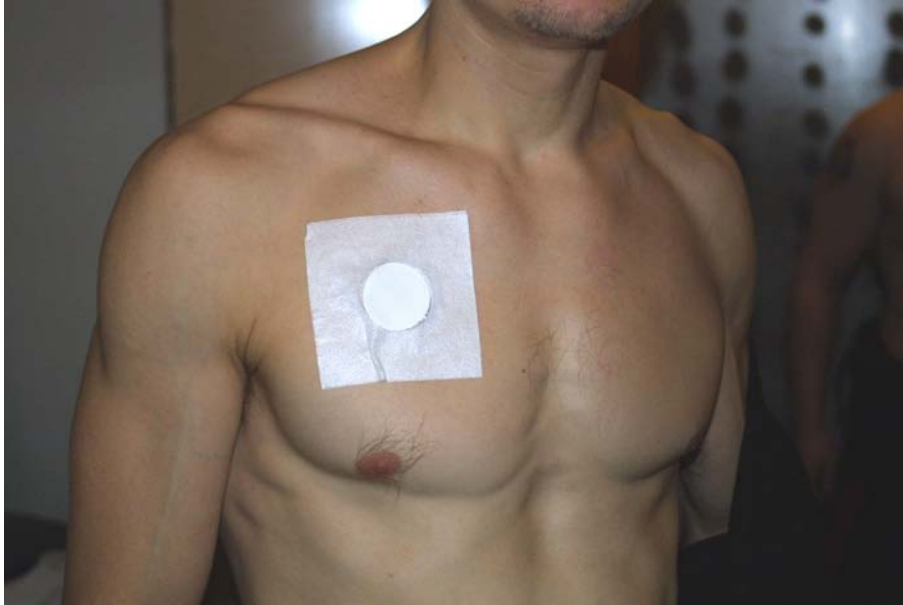
Koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin ilman PAH-pitoisuudet. Mittaukseen käytetty laitteisto esitetään kuvassa 41. Hiukkasmaiset PAH-yhdisteet kerättiin kalvosuodattimelle ja höyrymäiset XAD-adsorptioputkiin. Näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen Oulun toimipisteessä nestekromatografisesti. Näytteistä katsottiin 15 erilaista PAH-yhdistettä (Mäkelä ja Pyy, 1995).



Kuva 41. Hengitystiealtistumisen mittauslaitteisto. Kuvassa näkyy myös kokeessa 1 käytettyä suojavarustusta.

6.1.2 PAH-yhdisteet iholla

Koko kehon ihoaltistumista kuvaavat näytteet kerättiin koko altistumisjakson ajan ihoaltistumiskeräimillä (ks. kuva 42) suojavaatetuksen alta saneeraajien rinnasta ja selästä. Työntekijöiden käsiin joutuneet PAH-yhdisteet mitattiin pesemällä saneeraajien kädet auringonkukkaöljyllä ennen ruokataukoa ja työpäivän jälkeen. Korviin joutuvaa PAH-yhdisteiden määrää arvioitiin pyyhkäisynäytteiden avulla kokeessa 2. Saneeraajan kaulalta pyyhittiin 10 cm × 10 cm:n alue auringonkukkaöljyllä kostutetulla liinalla. Kaikki ihoaltistumisnäytteet analysoitiin nestekromatografisesti Työterveyslaitoksen Oulun toimipisteessä. Näytteistä analysoitiin 15 erilaista syklistä polyaromaattista hiilivetyä (Mäkelä ja Pyy, 1995).



Kuva 42. Ihoaltistumiskeräin.

6.1.3 PAH-yhdisteiden ja bentseenin aineenvaihduntatuotteet virtsassa

Saneeraajien kokonaisaltistumista naftaleenille, pyreeneille ja bentseenille ihon, ruuan-sulatuskanavan ja hengitysteiden kautta mitattiin virtsan naftolin (U-Naftol), pyrenolin (U-Pyr) ja mukonihapon (U-Mukon) avulla. Ensimmäiset näytteet otettiin ennen altistumista, toiset heti altistumisen päätyttyä, kolmannet kuusi tuntia altistumisen päättymisen jälkeen ja neljännet seuraavana aamuna. Naftoli- ja mukonihaponnäytteet analysoitiin kaasukromatografisesti (Keiming ja Morgan 1986, Ducos ym. 1990) Työterveyslaitoksen Helsingin toimipisteessä. Pyrenolinäytteet (U-Pyr) analysoitiin nestekromatografisesti Työterveyslaitoksen Oulun toimipisteessä (Jongeneelen ym. 1987).

6.2 Saneeraajien suojautuminen

6.2.1 Suojautuminen kokeessa 1

Tutkimuksen ensimmäisessä kokeessa koehenkilöt saneerasivat kohdetta normaalisti JVT-työssä käytössä olevan suojautumistavan mukaisesti. Kuivatyövaiheessa käytettiin nahkakäsineitä (Guide 761, Skydda/ASTQ). Märkätyövaiheessa kaksi koehenkilöä käytti nukattuja luonnonkumikäsineitä (Famona 712) ja yksi koehenkilö nitrilisuojakäsineitä (Nitrile 5500, Eurotechnique). Hengityksensuojaimena käytettiin suodattavaa ulospuhallusventtiilillä varustettua puolinaamaria, suojauskerroin 20 (ACE FFP3, Skydda/ASTQ; vastaa EN 149:2001 vaatimuksia). Se suojaa esimerkiksi hienojakoiselta,

terveydelle vaaralliselta pölyltä. Koehenkilöt käyttivät pitkähihaisia ja -lahkeisia suojavaatteita sekä suojakenkiä. Saneeraajien suojaruustus kokeessa 1 näkyy kuvassa 43.



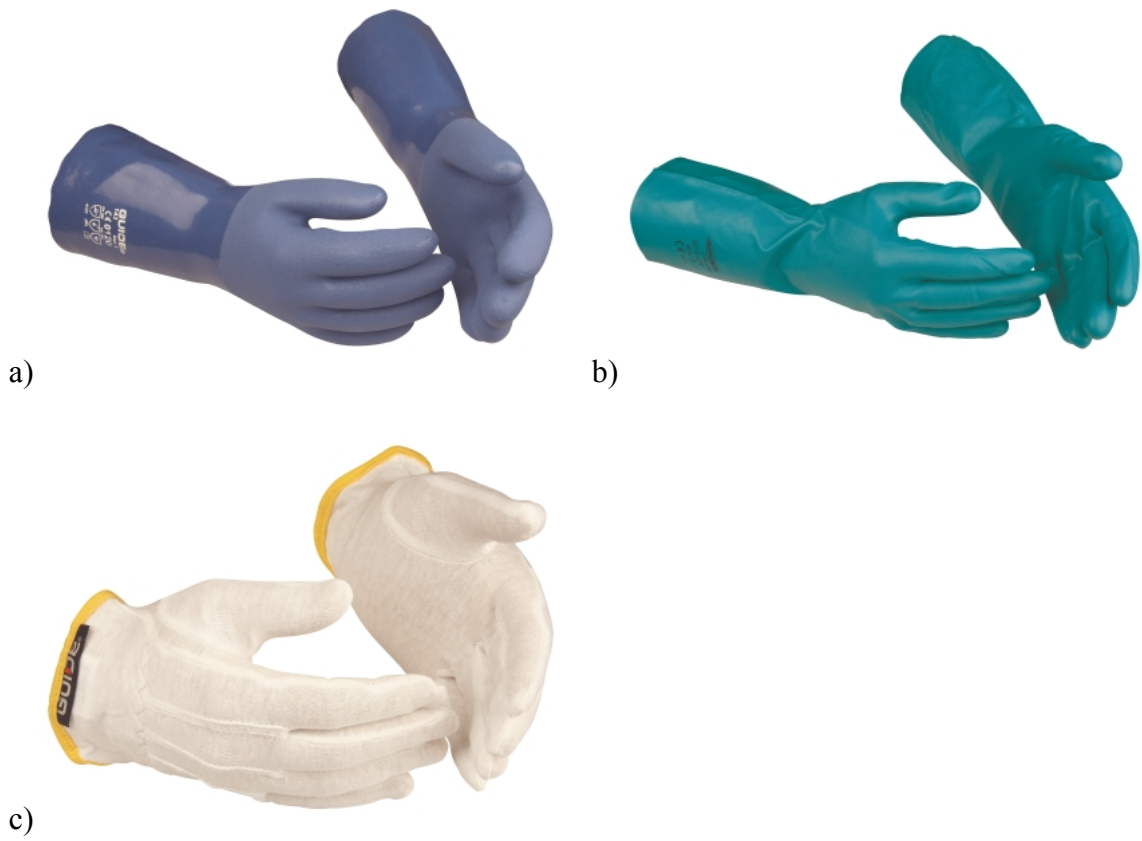
Kuva 43. Koehenkilöiden suojautuminen kokeen 1 saneeraustyössä. Saneeraajien selästä ja olkapäillä näkyvät laitteet liittyvät hengitystiealtistuksen mittaukseen.

6.2.2 Suojautuminen kokeessa 2

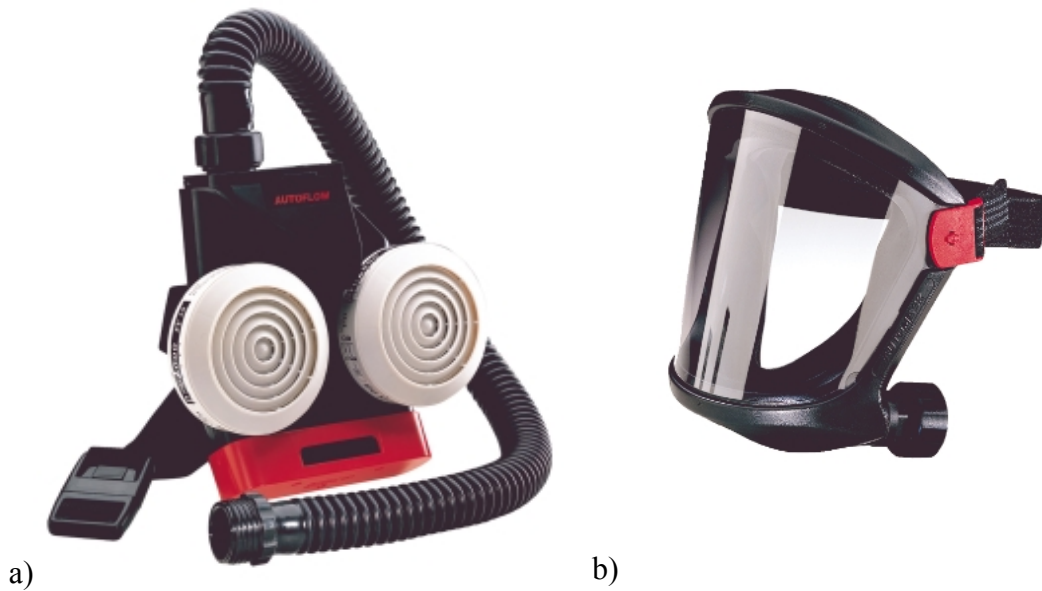
Tutkimuksen toisessa kokeessa kuivatyövaiheessa käytettiin kemikaalilta suojaavia viinyylikäsineitä (Guide 143, Skydda/ASTQ; vastaa EN 374/388 - 4121, kategoria 3, vaatimuksia). Märkätyövaiheessa käytettiin nitrilisuojakäsineitä (Guide 4011, Skydda/ASTQ; vastaa EN 374/388 - 4101, kategoria 3, vaatimuksia). Sekä kuiva- että märkätyövaiheessa suojakäsineiden alla käytettiin puuvillaisia aluskäsineitä (Guide 548 Trikoo Valkoinen, Skydda/ASTQ; vastaa EN 420, kategoria 1, vaatimuksia). Kokeessa 2 käytetyt käsineet on esitetty kuvassa 44.

Koko kehoa suojattiin pitkähihaisella ja -lahkeisella suojavaatetuksella, jonka päällä oli lyhytaikahaalari (Multi-Tec CE 0516, kategoria 3, suojaustasot 5 (hiukkaset) ja 6 (rajaattu roiskesuojaus), ASTQ). Hengityksensuojaimena käytettiin puhaltimella varustettua hengityksensuojainta, suojauskerroin 200 (Scott Autoflow 120L -puhallinyksikkö ja Automask-kasvosuoja + 2 kpl yhdistelmäsuodatin Scott CF22 A2P3, kaasu/hiukkassuodatin, Skydda/ASTQ; järjestelmä täyttää EN 146:n, EN 147:n, EN 136-10:n ja EN 143:n vaatimukset). Hengityksensuojain on esitetty kuvassa 45.

Saneeraajien suojaruustekokonaisuus kokeessa 2 näkyy kuvissa 46 ja 47.



Kuva 44. Kokeessa 2 käytetyt käsineet: a) kuivatyövaiheen vinylikäsineet, b) märkätyövaiheen nitrilikäsineet ja c) aluskäsineet.



Kuva 45. Kokeessa 2 käytetty hengityksensuojain: a) puhallinyksikkö ja suodattimet, b) kasvonsuojain.



Kuva 46. Koehenkilöiden suojautuminen kokeen 2 saneeraustyössä.

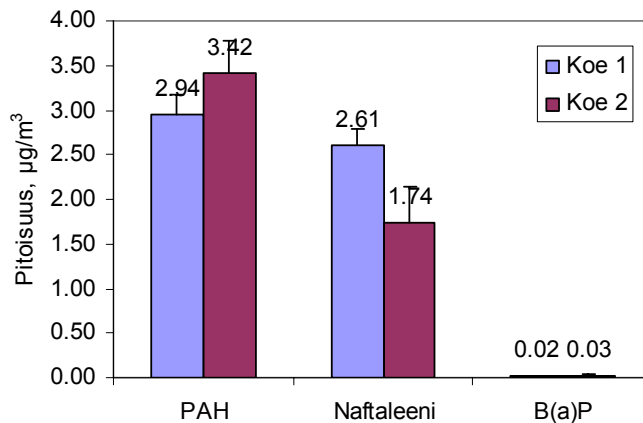


Kuva 47. Hengityksensuojaimen kasvonsuojain ja muuta suojavaarustusta kokeessa 2.

6.3 Altistumismittaukset ja tulosten tarkastelu

6.3.1 Hengitystiealtistuminen

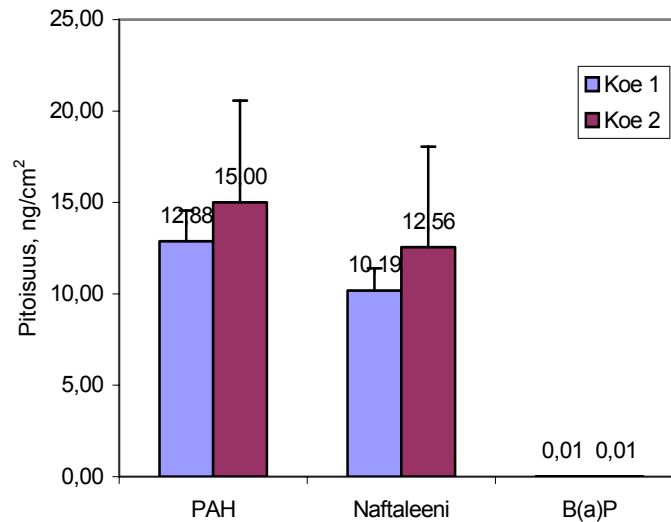
Kuvassa 48 on esitetty keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso(a)pyreenin pitoisuus saneeraajien hengitysvyöhykkeellä ensimmäisen ja toisen polttokokeen saneeraustyössä. Mitatut pitoisuudet työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä olivat alle 0,1 % naftaleenin ja alle 0,2 % bentso(a)pyreenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Pitoisuudet olivat pieniä verrattuna edellä mainittujen yhdisteiden haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, 2007). Pitoisuustasot olivat hyvin samanlaisia molemmissa polttokokeissa, mikä vahvisti kokeiden altistaneen työntekijöitä hyvin samalla tavalla.



Kuva 48. Keskimääräinen hiukasmaisten ja höyrymäisten PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) saneeraajien hengitysvyöhykkeellä.

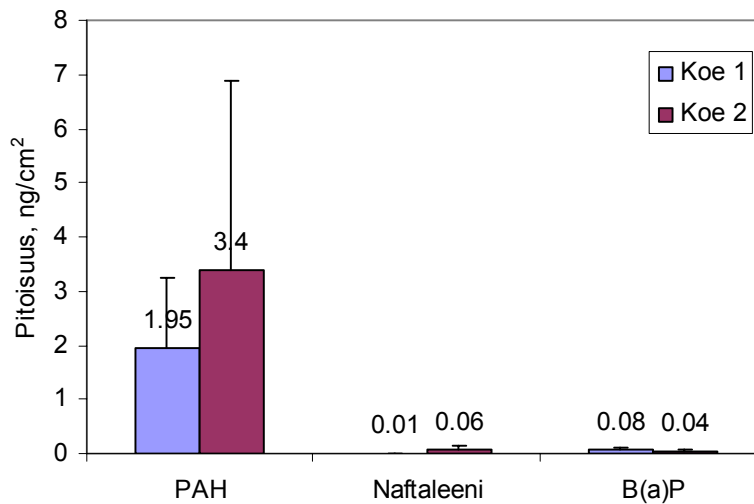
6.3.2 Ihoaltistuminen

Kuvassa 49 on esitetty keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet saneeraajien selässä ja rinnassa ensimmäisen ja toisen polttokokeen saneeraustyössä. Suojavaatetuksen alta mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin samanlaisia molemmissa kokeissa.



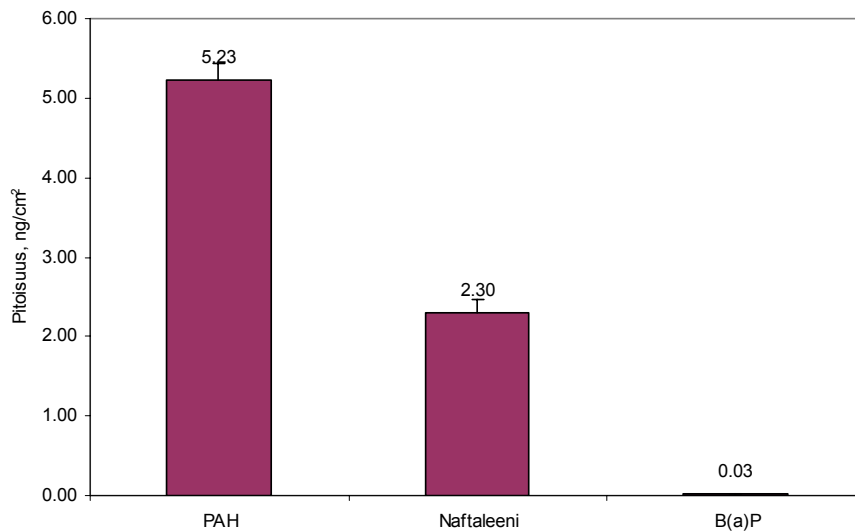
Kuva 49. Keskimääräinen koko kehon altistuminen PAH-yhdisteille, ng/cm².

Kuvassa 50 on esitetty keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet saneeraajien käsissä ensimmäisen ja toisen polttokokeen saneeraustyössä. Mitatut PAH-pitoisuudet saneeraajien käsissä olivat hyvin samanlaisia molemmissa kokeissa.



Kuva 50. Keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet saneeraajien käsissä.

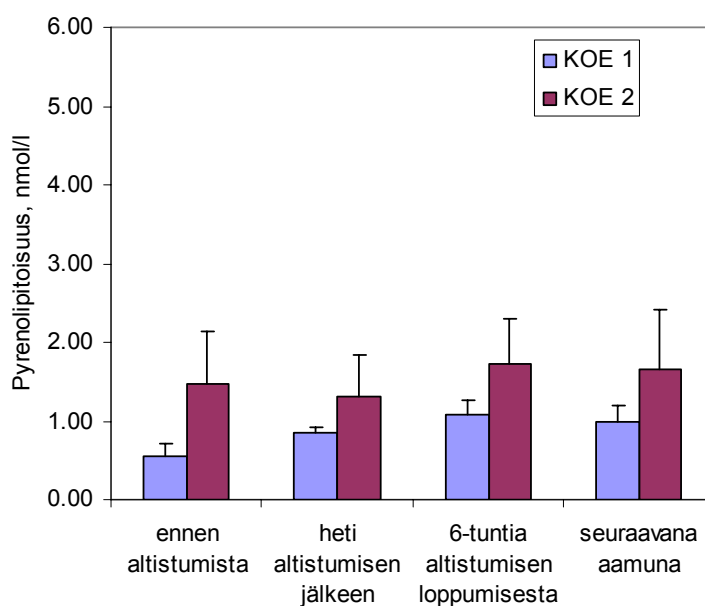
Kuvassa 51 on esitetty keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet saneeraajien kaulassa korvan alapuolella toisen polttokokeen saneeraustyössä. Pitoisuudet olivat 1,5-kertaisia työntekijöiden käsistä mitattuihin pitoisuuksiin nähden.



Kuva 51. Keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet (ng/cm²) saneeraajien kaulalla korvan alapuolella toisen polttokokeen saneeraustyössä.

6.3.3 Kokonaisaltistuminen

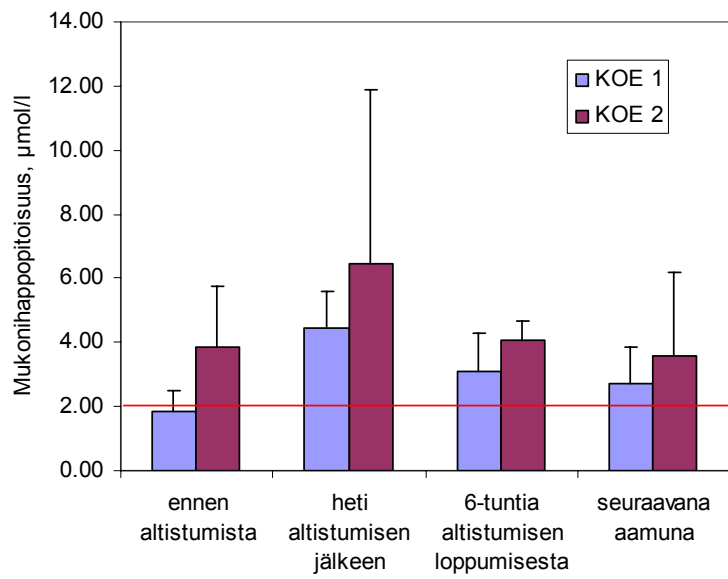
Kuvassa 52 on esitetty keskimääräinen saneeraajien pyrenolieritys (U-Pyr) ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen, 6 tuntia altistumisen päättymisestä ja seuraavana aamuna ensimmäisen ja toisen saneerauksen jälkeen. Ensimmäisen polttokokeen jälkeen oli saneeraajien pyrenolierityksessä havaittavissa lievä nousu heti altistumisen jälkeen mitatuissa näytteissä. Toisessa polttokokeessa ei samanlaista nousua saneeraajien pyrenolierityksessä havaittu. Muutokset olivat molemmissa kokeissa pieniä, ja mitatut pitoisuudet eivät ylittäneet virtsan pyrenolin altistumattomien viiterajaa 3 nmol/l. Näin ollen saneeraajien altistuminen pyreneille oli vähäistä. Tulos tuki saneeraajien iholta ja hengitysvyöhykkeeltä mitattujen pitoisuuksien antamaa kuvaa altistumisen tasosta pyreneille.



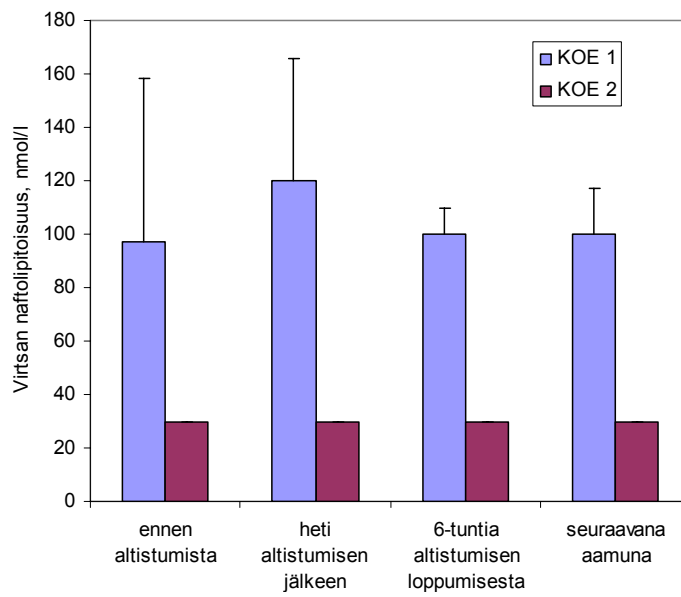
Kuva 52. Saneeraajien keskimääräiset virtsan pyrenolipitoisuudet (nmol/l) neljässä aikapisteessä.

Kuvassa 53 on esitetty keskimääräinen saneeraajien mukonihappopitoisuus (U-Mukon) ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen, 6 tuntia altistumisen päättymisestä ja seuraavana aamuna ensimmäisen sekä toisen polttokokeen jälkeen. Altistumisen jälkeen mukonihappopitoisuudet ylittivät altistumattomien viiterajan 2 $\mu\text{mol/l}$, mikä osoitti altistumista tapahtuneen. Molemmissa polttokokeissa saneeraajien mukonihappoeritykset nousivat keskimäärin 2,6 $\mu\text{mol/l}$ mitattuna heti altistumisen jälkeen verrattuna tasoon ennen altistumista. Mitatut pitoisuudet osoittivat bentseenialtistumista tapahtuneen.

Kuvassa 54 on esitetty keskimääräinen saneeraajien virtsan naftolipitoisuus (U-Naftol) ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen, 6 tuntia altistumisen päättymisestä ja seuraavana aamuna ensimmäisen ja toisen polttokokeen jälkeen. Ensimmäisessä polttokokeessa naftolipitoisuudet osoittivat lievää nousua heti altistumisen jälkeen mitattuna. Toisessa polttokokeessa saneeraajien virtsan naftolitasot eivät ylittäneet tupakoimattomien altistumattomien viiterajaa 30 nmol/l. Ensimmäisen kokeen tulokset osoittivat lievää altistumista naftaleenille, mutta toisen polttokokeen tulokset osoittivat vähäistä altistumista naftaleenille.



Kuva 53. Saneeraajien virtsan mukonihappopitoisuudet (U-Mukon) neljässä aikapisteessä.



Kuva 54. Keskimääräinen saneeraajien virtsan naftolipitoisuus (U-Naftol) neljässä aikapisteessä.

7. Yhteenveto

7.1 Palokokeet ja sisäilmamittaukset

Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen -tutkimushankkeen ensimmäisessä osassa toteutettiin kaksi täyden mittakaavan palokoe laboratorio-olosuhteissa. Palokokeissa jäljiteltiin asuntopaloja sekä palavien materiaalien että palo-olosuhteiden kannalta. Tavoitteena oli tuottaa paljon savua pitäen palotilan lämpötilat kuitenkin suhteellisen alhaisina ja estäen tilan lieskahtaminen. Palokokeita varten rakennettiin pinta-alaltaan n. 30 m²:n suuruinen kipsilevyrakenteinen tila, joka sisustettiin asuntoa muistuttavaksi.

Koetilan poltto pyrittiin toteuttamaan molemmissa kokeissa mahdollisimman samanlaisena, jotta olosuhteet saneeraustyön aikana olisivat toistettavat. Lämpötila- ja sisäilmamittausten tulosten perusteella tämä tavoite saavutettiin suhteellisen hyvin, joten haitallisten yhdisteiden pitoisuuksien saneerauskohteessa voidaan olettaa olleen samankaltaiset molemmissa altistumiskokeissa.

7.2 Altistuminen saneeraustyössä

Mittaukset osoittivat, että palon jälkeen palokohteessa työskentelevät ja vierailevat ihmiset voivat altistua syöpävaarallisille PAH-yhdisteille, vaikka huoneistoa olisi asianmukaisesti tuuletettu. Palavat materiaalit ja palo-olosuhteet vaikuttavat merkittävästi syntyneisiin epäpuhtauspitoisuuksiin, joten pitoisuudet voivat tietyissä olosuhteissa olla suurempiakin kuin koepalossa mitatut pitoisuudet. Altistumisriski höyrymäisille PAH-yhdisteille vähenee koko ajan tuuletuksen edetessä, mutta sitä vastoin hiukkasmaiset PAH-yhdisteet pysyvät pinnoilla pidempään ja altistavat sen vuoksi useiden viikkojen jälkeen. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä aiemmin kohteeseen palon jälkeen mennään, sitä tärkeämpää olisi käyttää hengityksensuojainta, joka on varustettu vähintään A2-luokan kaasusuodattimella ja P3-luokan hiukkassuodattimella.

Tulokset osoittivat, että hiukkasmaiset ja höyrymäiset PAH-yhdisteet altistivat myös ihon kautta. Huolimatta saneeraajien käsien suojauksesta pieniä määriä PAH-yhdisteitä joutui heidän käsiinsä. Käsien kautta tulevan altistumisen vähentämiseksi suojakäsineiden käyttö on saneeraustyössä ehdottoman tarpeellista. Kuivatyövaiheen aikana suosittelemme käsien suojaukseen tiiviitä suojakäsineitä, jotka eivät päästä nokea iholle. Märkätyövaiheen aikana on käytettävä parempia kemikaalityöhön tarkoitettuja suojakäsineitä, jotka suojaavat puhdistuskemikaaleilta ja pesuveteen liuenneilta palossa syntyneiltä yhdisteiltä. Toinen tärkeä tekijä käsien kautta tulevan altistumisen vähentämiseksi ja käsien kautta välittyvän kontaminaation välttämiseksi on henkilökohtainen hygienia.

Käsien pesulla vähennetään merkittävästi käsien kautta välittyvää altistumista ja myös kontaminaatiota. Mittaustulosten mukaan aluskäsineiden käytöllä kemikaalisuojakäsineiden alla ei saavutettu näissä mittauksissa merkittävää hyötyä verrattuna tilanteeseen, jossa olivat käytössä vain nahkakäsineet kuivatyövaiheessa ja kemikaalikäsineet märkätyövaiheessa. Savusukellustyössä aluskäsineiden hyödyt olivat kiistattomat, mutta ero johtunee saneeraustyössä käytetyistä erilaisista suojakäsineistä verrattuna savusukeltajien sammutuskintaisiin (Laitinen 2005). Toinen selitys on höyrymäisten PAH-yhdisteiden suuri osuus, jota vastaan aluskäsineet ovat voimattomia. Vaikka mittausten mukaan varsinaista hyötyä aluskäsineistä ei osoitettukaan, niiden käyttö ei suojausta huononna. Lisäksi ne saattavat pelastaa saneeraajan kädet varsinaisen suojakäsineen aiheuttamilta iho-oireilta.

Koko kehon ihoaltistuminen oli toisessa polttokokeessa samansuuruinen ensimmäiseen kokeeseen verrattuna, vaikka koehenkilöillä oli toisessa kokeessa käytössä Multi-Tec-lyhytaikahaalari. Tulosta selittää se, että käytetty suojahaalari ei suojaa höyrymäisiltä PAH-yhdisteiltä, joiden osuus mitatuista PAH-yhdisteistä oli merkittävä huonosti haihtuviin PAH-yhdisteisiin verrattuna. Lisäksi haalareissa esiintyvä pumppausvaikutus voi lisätä koko kehon altistumista. Erityisen altis tälle vaikutukselle on juuri rinta, josta näytteitä otettiin. Lyhytaikahaalarin käyttöä ei voi perustella mittaustulosten avulla, mutta sillä voidaan estää päällysvaatteiden nokeentuminen, joista noki voi edelleen siirtyä henkilön mukana ja altistaa tarpeettomasti myös ulkopuolisia henkilöitä.

Korvien todettiin myös joutuvan alttiiksi saneeraustyössä esiintyvälle pölylle. Korvien suojaaminen olisi mahdollista puhaltimella varustetulla hengityksensuojaimella, jossa kasvonsuojain sisältää hupun, tai hupullisella haalarilla.

7.3 Suojautumissuositus

Suosittelemme saneeraajille puhaltimella varustettua hengityksensuojainta (suojauskerroin 200), jossa on A2-luokan kaasusuodatin ja P3-luokan hiukkassuodatin. Korvien suojaamiseksi suosittelemme hengityksensuojainta, jonka kasvonsuojain sisältää hupun ja suojaa näin myös korvat. Koko keho tulee suojata niin, että käytetään vähintään puuvillaisia pitkähihaisia ja -lahkeisia suojahaalareita tai lyhytaikahaalaria. Hupullinen haalari suojaa myös korvia. Kuivatyövaiheessa kädet tulee suojata tiiviillä käsineillä, joissa on tiivis resori ranteessa, tai käsineillä, jotka muutoin estävät noen pääsyn käsineisiin. Myös purku- ja raivaustyössä esiintyvät terävien esineiden aiheuttamat riskit on otettava huomioon käsineitä valittaessa. Märkätyövaiheessa on ehdottomasti käytettävä kemikaalikäsineitä, jotka suojaavat pesuaineilta ja pesuveteen liuenneilta epäpuhtauksilta.

Saneeraustyössä suoritettujen altistumiskokeiden perusteella vakuutustarkastajien, kiinteistöhoitajien, isännöitsijöiden ja muiden palopaikalla vierailevien henkilöiden tulisi

käyttää vähintään A2P3-luokan suodattimella varustettua puolinaamaria, käsineitä ja lyhytaikahaalaria käydessään palokohteessa tarpeettoman henkilökohtaisen altistumisen ehkäisemiseksi. Samalla ehkäistään myös ulkopuolisten henkilöiden altistuminen estämällä epäpuhtauksien siirtyminen vaatteiden mukana muihin tiloihin. Tämän suosituksen tarkentaminen edellyttää kuitenkin jatkotutkimuksia.

7.4 Altistumisen seuraaminen ja työterveystarkastukset

Suosittellemme saneeraajien altistumisenarviointiin virtsan pyrenolia (U-Pyr), naftolia (U-Naftol) ja mukonihappoa (U-Mukon). Näytteiden oton tarpeenarvointi, näytteiden ottotiheys ja -ajankohta kannattaa suunnitella yhdessä työsuojelu- ja työterveyshuoltohenkilöstön kanssa.

Saneeraajat altistuvat työssään syöpävaarallisille aineille, joten heidän terveydentilaansa tulee seurata tehostetusti. Mikäli he altistuvat työssään vähintään 20 päivänä vuodessa noelle, joka sisältää PAH-yhdisteitä ja bentseeniä, heidät on ilmoitettava ASA-rekisteriin.

Työterveyshuollon on työntekijöiden työhöntulo- ja määräaikaistarkastuksissa annettava tietoa kemikaaliriskeistä. Lisäksi työterveyshuollon on kiinnitettävä huomiota muihin tekijöihin, jotka lisäävät työntekijän altistumista esimerkiksi PAH-yhdisteille ja bentseenille. Määräaikaistarkastuksissa kannattaa huomioida myös PAH-yhdisteiden merkitys ateroskleroosin synnyssä.

Raskaana olevat työntekijät eivät saa tehdä työtä, jossa altistutaan syöpävaarallisille aineille. Heidät on siirrettävä muihin tehtäviin, joissa ei altistuta syöpävaarallisille aineille. Mikäli työnantajalla ei ole tällaista työtä tarjolla, on työntekijällä mahdollisuus hakea erityisäitiyspäivärahaa ja jäädä kotiin.

Lähdeluettelo

Ducos, P., Gaudin, R., Robert, A., Francin, J.M. & Maire, C. 1990. Improvement in HPLC analysis of urinary trans, trans-muconic acid, a promising substitute for phenol in the assessment of benzene exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 62, No. 7, s. 529–534.

Jongeneelen, F.J., Anzion, R.B.M. & Henderson, P.Th. 1987. Determination of hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine. *Journal of Chromatography*, Vol. 413, s. 227–232.

Keiming, S.D. & Morgan, D.P. 1986. Urinary 1-naphtol as a biological indicator of naphthalene exposure. *Applied Industrial Hygiene*, Vol. 1, s. 61–65.

Laitinen, J. 2005. Savusukellusopettajat altistuivat syöpävaarallisille aineille palotalo-harjoituksissa. *Pelastustieto*, 5, s. 54–55.

Mäkelä, M. & Pyy, L.J. 1995. Effect of temperature on retention time reproducibility and on the use of programmable fluorescence detection of fifteen polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Chromatography A*, Vol. 699, s. 49–57.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2007. HTP-arvot 2007. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö. 71 s. (Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2007:4.)

VTT Working Papers

- 84 Nokelainen, Arto & Ruutikainen, Pentti. Vyöhyketerminaali. 2007. 41 s.
- 85 Hostikka, Simo, Paloposki, Tuomas, Rinne, Tuomo, Saari, Juha-Matti, Korhonen, Timo & Heiliövaara, Simo. Experimental observations of evacuation situations. 2007. 52 p.
- 86 Räsänen, Jukka, Järvi, Tuuli, Estlander, Katja, Eckhard, Jenni & Hiljanen, Harri. Matka.fi-palvelun vaikutusten arviointi. 2007. 30 s. + liitt. 38 s.
- 87 Lahdenperä, Pertti. Innovaatioita edistämässä. Lähtökohtia ja ajatuksia rakennus- ja infra-alan hankintamallien kehittämiseen. 2007. 74 s.
- 88 Leicht, Robert, Fox, Stephen, Mäkeläinen, Tarja & Messner, John. Building information models, display media, and team performance. An exploratory study. 47 p. + app. 22 p.
- 89 Sääski, Juha, Salonen, Tapio & Liinasuo, Marja. Kuution kokoaminen AR-tekniikan avulla. 2007. 27 s. + liitt. 1 s.
- 90 Kyrki-Rajamäki, Riitta, Heikinheimo, Liisa, Hyvärinen, Juhani, Vuori, Seppo, Salomaa, Rainer & Auterinen, Iiro (eds.). Finnish research network for generation four nuclear energy systems. 2008. 64 s. + liitt. 46 s.
- 91 Takalo, Juha, Kääriäinen, Jukka, Parviainen, Päivi & Ihme, Tuomas. Challenges of software-hardware co-design. Prestudy in TWINS project. 2008. 45 p. + app. 2 p.
- 92 Leden, Lars. Safe and joyful cycling for senior citizens. 2008. 59 p. + app. 15 p.
- 93 Valkonen, Janne, Pettersson, Ville, Björkman, Kim, Holmberg, Jan-Erik, Koskimies, Matti, Heljanko, Keijo & Niemelä, Ilkka. Model-Based Analysis of an Arc Protection and an Emergency Cooling System. MODSAFE 2007 Work Report. 2008. 13 p. + app. 38 p.
- 94 Valkonen, Janne, Karanta, Ilkka, Koskimies, Matti, Heljanko, Keijo, Niemelä, Ilkka, Sheridan, Dan & Bloomfield, Robin E. NPP Safety Automation Systems Analysis. State of the Art. 2008. 62 p.
- 95 Välisalo, Tero. Verkosto-RCM. Vesi- ja viemäriverkostojen kunnossapitotarpeen arviointi- ja suunnittelutyökalu. 2008. 20 s. + liitt. 5 s.
- 96 Ekholm, Tommi, Lehtilä, Antti & Savolainen, Ilkka. EU:n yksipuolinen päästöjen rajoittaminen ja kehittyneiden maiden yhteinen päästöjen rajoittaminen. Vaikutukset Suomeen arvioituna TIMES-mallilla. 2008. 57 s.
- 97 Mononen, Petri. 511 Service in USA and in San Francisco Bay Area. Service Model, Benefits and Beneficiaries. 2008. 50 p.
- 98 Välisalo, Tero, Riihimäki, Markku, Lehtinen, Erkki & Kupi, Eija. Vesihuoltolaitosten. Toimintamallin kuvaus Total Management Planning -ohjeistuksen pohjalta. 2008. 61 s. + liitt. 9 s.
- 99 Könnölä, Totti, van der Have, Robert & Carrillo-Hermosilla, Javier. System Transition Concepts and Framework for Analysing Nordic Energy System Research and Governance. 2008. 42 p.
- 100 Ebersberger, Bernd & Lehtoranta, Olavi. Effects of Public R&D Funding. 27 p. + app. 1 p.
- 101 Fox, Stephen, Ehlen, Patrick, Purver, Matthew, Bratt, Elizabeth, Frampton, Matthew, Kobayashi, Ichiro, Jones, Bevan, Monroe, Rob & Peters, Stanley. Applying computational semantics to the real-time communication of skill knowledge. 85 p.
- 102 Fox, Stephen. Ontological uncertainty and semantic uncertainty in global network organizations. 122 p.
- 103 Tillander, Kati, Järnström, Helena, Hakkarainen, Tuula, Laitinen, Juha, Mäkelä, Mauri & Oksa, Panu. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen. Polttokeet ja altistumisen arviointi. 67 s.