



Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström, Tuomas Paloposki, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa

Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2

Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi

Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2

Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi

Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström
& Tuomas Paloposki

VTT

Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa
Työterveyslaitos



ISBN 978-951-38-7540-4 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, 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

Toimitus Mirjami Pullinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström, Tuomas Paloposki, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2. Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi [Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety, part 2. Fire tests, case studies and evaluation of exposure]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2512. 59 s.

Avainsanat protection, fire restoration, residential fire, fire, exposure, smoke, soot, occupational safety

Tiivistelmä

VTT ja Työterveyslaitos toteuttivat vuosina 2007–2009 kaksiosaisen hankekokonaisuuden ”Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen”. Hankekokonaisuudessa tutkittiin asuntopalokohteissa palon jälkeen työskentelevien ihmisten altistumista terveydelle haitallisille yhdisteille ja etsittiin tarkoituksenmukaisia keinoja altistumiselta suojautumiseen. Tulosten perusteella on kehitetty suojavaatetusta ja -varustusta koskeva ohjeistus.

Hankekokonaisuuden ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin palosaneeraajien altistumista ja suojautumiskeinoja laboratorioskokeissa. Ensimmäisen vaiheen tulokset on julkaistu erillisessä raportissa (Tillander et al. 2008).

Tässä raportissa kuvataan hankekokonaisuuden jälkimmäinen vaihe, jossa suoritettiin kaksi täyden mittakaavan palokoetta laboratorio-olosuhteissa sekä kaksi case-tutkimusta. Laboratorioskokeiden tarkoituksena oli arvioida palokohteessa ennen saneeraustyötä vierailevien ihmisten altistumista ja suojautumiskeinoja. Case-tutkimukset toteutettiin todellisten tulipalojen jälkisaneeraustyömailla. Case-tutkimusten tavoitteena oli todentaa hankekokonaisuuden ensimmäisessä vaiheessa suoritettujen laboratorioskokeiden tuloksia käytännön olosuhteissa ja tarkistaa ensimmäisen vaiheen perusteella annettun suojautumissuosituksen tarkoituksenmukaisuus.

Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström, Tuomas Paloposki, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2. Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi. [Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety, part 2. Fire tests, case studies and evaluation of exposure]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2512. 59 p.

Keywords protection, fire restoration, residential fire, fire, exposure, smoke, soot, occupational safety

Abstract

VTT and Finnish Institute of Occupational Health carried out a research program named “Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety” in 2007–2009. The objective of the program was to evaluate the exposure of people working in fire sites to harmful chemical compounds and to evaluate the effectiveness of protective measures. The results have been used to develop guidelines regarding protective clothing and equipment.

During the first phase of the research program, the main focus was on the exposure and protection of fire restoration workers. Two full-scale laboratory experiments were carried out. The results of the first phase have been published in a separate report (Tillander et al. 2008).

This report describes the second phase of the research program. In the second phase, the main focus was on fire investigators and other people working in fire sites before fire restoration. Two full-scale laboratory experiments were performed. In addition, two case studies were carried out during fire restoration of real fire sites in order to verify the results of the first phase laboratory experiments.

Alkusanat

Hankkeen rahoittivat Työsuojelurahasto (hanke nro 108074), 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, If Vahinkovakuutusyhtiö Oy, Pohjola Vakuutus Oy, Keskinäinen Vakuutusyhtiö Tapiola, Suomen Kiinteistöliitto ry, Suomen Terveystalo Oy, sekä VTT. Yhteistyöstä kokeiden toteutuksessa kiitämme Lassila & Tikanoja Oyj:tä, Munters Oy:tä, A. Seppälä Total Quality Oy:tä ja Helsingin Pelastuskoulua.

Haluamme esittää kiitoksemme kaikille hankkeen osapuolille koskien sekä kokeiden ja case-tutkimusten suunnittelua ja toteutusta että tulosten jalostamista käytännön johtopäätöksiksi ja suojautumissuosituksiksi. Erityiskiitoksemme hankkeeseen osallistuneille vapaaehtoisille koehenkilöille.

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat.....	5
Lyhenneluettelo.....	9
1. Johdanto.....	10
1.1 Tausta	10
1.2 Tavoite.....	10
1.3 Toteutus	10
2. Laboratoriokokeet	12
2.1 Koejärjestelyt.....	12
2.1.1 Yleistä	12
2.1.2 Koetila.....	12
2.1.3 Koetilan rakenteet.....	14
2.1.4 Koetilan irtaimisto.....	14
2.1.5 Palotekniset mittaukset	17
2.1.6 Kokeiden aikataulu.....	20
2.2 Palokokeet.....	21
2.2.1 Yleistä	21
2.2.2 Sytytys	21
2.2.3 Kokeiden kulku.....	23
2.2.4 Paloteknisten mittausten tulokset.....	25
2.2.4.1 Lämpötilat	25
2.2.4.2 O ₂ -, CO ₂ - ja CO-pitoisuudet	26
2.2.5 Koetila palokokeiden jälkeen	29
2.3 Altistumismittaukset.....	30
2.3.1 Koehenkilöiden käyttämä suojavarustus.....	30
2.3.2 Koehenkilöiden toiminta koetilassa.....	32
2.3.3 Mittausmenetelmät ja mitatut suureet	33
2.3.3.1 Sisäilmamittaukset	33
2.3.3.2 Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) hengitysvyöhykkeellä	34
2.3.3.3 PAH-yhdisteet iholla.....	34
2.3.3.4 PAH-yhdisteiden ja bentseenin aineenvaihduntatuotteet virtsassa.....	34

2.3.4	Näytteenottoajankohdat	35
2.3.4.1	Sisäilmamittaukset	35
2.3.4.2	Koehenkilöiden altistumismittaukset	35
2.3.5	Mittaustulokset	35
2.3.5.1	Sisäilmamittaus	35
2.3.5.2	Hengitystiealtistuminen	36
2.3.5.3	Ihoaltistuminen	37
2.3.5.4	Kokonaisaltistuminen	37
3.	Case-tutkimukset	39
3.1	Koehenkilöt	39
3.2	Case A	39
3.2.1	Suojavarustus	39
3.2.2	Kohteen kuvaus	40
3.2.3	Mittaukset	41
3.2.3.1	Sisäilma	41
3.2.3.2	Altistuminen	41
3.2.4	Tulokset	42
3.2.4.1	Sisäilma	42
3.2.4.2	Altistuminen	43
3.3	Case B	44
3.3.1	Suojavarustus	45
3.3.2	Kohteen kuvaus	45
3.3.3	Mittaukset	46
3.3.3.1	Sisäilma	46
3.3.3.2	Altistuminen	47
3.3.4	Tulokset	47
3.3.4.1	Sisäilma	47
3.3.4.2	Altistuminen	49
4.	Tulosten vertailu	50
4.1	Vaiheen 2 laboratorikokeet – palontutkijoiden altistuminen	50
4.1.1	Palokokeet	50
4.1.2	Sisäilmamittaukset	50
4.1.3	Altistuminen haitallisille yhdisteille	50
4.1.3.1	Hengitystiealtistuminen	50
4.1.3.2	Koko kehon altistuminen	51
4.1.3.3	Käsien kautta altistuminen	51
4.1.3.4	Kokonaisaltistuminen	51
4.2	Case-tutkimukset – palosaneeraajien altistuminen	52
4.2.1	Case A:n ja case B:n vertailu	52
4.2.1.1	Sisäilmamittaukset	52
4.2.1.2	Altistuminen haitallisille yhdisteille	52
4.2.2	Case-tutkimukset verrattuna vaiheen 1 laboratorikokeisiin	54
4.2.2.1	Sisäilmamittaukset	54
4.2.2.2	Altistuminen haitallisille yhdisteille	54
5.	Yhteenveto	55
5.1	Palokokeet ja sisäilmamittaukset	55

5.2	Case-tutkimukset.....	55
5.3	Altistuminen.....	56
5.3.1	Yleistä.....	56
5.3.2	Palontutkijat.....	56
5.3.3	Palosaneeraajat – case-tutkimukset.....	57
5.4	Suojautumissuositus.....	57
5.4.1	Palosaneeraajat.....	57
5.4.2	Palontutkijat.....	57
5.4.3	Vahinkotarkastajat ja kiinteistön edustajat.....	58
5.5	Altistumisen seuraaminen.....	58
	Lähdeluettelo.....	59

Lyhenneluettelo

JVT jälkivahinkojen torjunta

PAH *polycyclic aromatic hydrocarbons*, suom. polysykliset 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. Aluksi yhdisteille altistuu sammutushenkilöstö, sen jälkeen muun muassa palontutkijat, vahinkotarkastajat ja kiinteistön edustajat (mm. isännöitsijät ja kiinteistöhoitajat) ja lopuksi jälkisaneraustyötä tekevät henkilöt. Jälkisaneraustyön yhtenä tavoitteena on puhdistaa palokohde niin perusteellisesti, että kohteessa myöhemmin vierailevien ja oleskelevien ihmisten altistuminen pysyy hyväksyttävällä tasolla.

Suomessa on viime vuosina ollut vuosittain yli 4 000 rakennuspaloa. 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 oli selvittää palopaikoilla esiintyvät terveydelle haitalliset yhdisteet eri olomuodoissaan, palopaikoilla työskentelevien ja vierailevien ihmisten altistuminen näille yhdisteille, altistumisen aiheuttaman terveysriskin suuruus sekä se, miten näiltä yhdisteiltä tulisi suojautua.

1.3 Toteutus

Tutkimushanke toteutettiin kaksivaiheisena. Tässä raportissa kuvataan vuosina 2008–2009 toteutetun vaiheen 2 sisältö ja tulokset. Vaiheessa 2 kiinnitettiin päähuomio palontutkijoiden ja vahinkotarkastajien altistumiseen savu-, noki- ja kemikaalijäämille. Palontutkijoilla tarkoitetaan tässä yleisesti palontutkintatyötä tekeviä henkilöitä, jotka voivat olla pelastusviranomaisia, poliisiviranomaisia tai vakuutusalan palontutkijoita. Vaihetta 2 edelsi vuosina 2007–2008 toteutettu vaihe 1, jossa tutkimus kohdistui jälkisaneraustyöhön. Vaiheen 1 sisältö ja tulokset on raportoitu aiemmin (Tillander et al. 2008).

Vaiheessa 2 toteutettiin kaksi täyden mittakaavan palokoetta laboratorio-olosuhteissa. Kokeissa jäljiteltiin asuntopaloja sekä palavien materiaalien että palo-olosuhteiden kannalta. Koetulipalojen jälkeen kaksi vapaaehtoista tupakoimatonta koehenkilöä työskenteli palokohteessa tehden palontutkijoiden ja vahinkotarkastajien työhön normaalisti kuuluvia töitä. Ensimmäisen palokokeen jälkeisen työskentelyjakson aikana koehenkilöt olivat suojautuneet ko. työssä nykyisin tyypillisesti käytettävällä suojaruustuksella, joka käsitti pitkähihaisen ja -lahkeisen suojahaalarin, nahkakäsineet ja kypärän. Toisen palokokeen jälkeisen työskentelyjakson aikana koehenkilöiden suojaruustusta tehostettiin noudattamalla suojautumissuosituksia, jota ehdotettiin palosaneeraajille hankkeen ensimmäisen vaiheen kokeiden perusteella.

Vaiheessa 2 toteutettiin myös kaksi case-tutkimusta, joissa tutkittiin palosaneeraajien altistumista todellisissa asuntopalokohteissa. Case-tutkimuksessa A koehenkilöt käyttivät suojaruustusta, jota suositeltiin palosaneeraajille hankkeen ensimmäisen vaiheen kokeiden perusteella. Case-tutkimukseen B suojautumista kevennettiin luopumalla lyhytaikaahaalarin käytöstä.

Taulukkoon 1 on koottu yhteenveto hankkeen aikana toteutetuista laboratoriokokeista ja case-tutkimuksista. Tässä raportissa kuvataan vaihetta 2, mutta vaiheeseen 1 viitataan joissain yhteyksissä. Vaihe 1 on kuvattu yksityiskohtaisesti omassa raportissaan (Tillander et al. 2008).

Tutkimuksen tuloksena kehitetään myös suojautumisopas, jonka kohderyhmänä ovat palokohteissa palon sammutuksen jälkeen työskentelevät ja vierailevat ihmiset. Eri alojen toimijat (mm. pelastuslaitokset, jälkivahinkojen torjuntatyötä tekevät yritykset, vahinkotarkastajat, kiinteistöalan työntekijät, työterveysorganisaatiot) voivat hyödyntää opasta omassa toiminnassaan.

Taulukko 1. Hankkeen aikana toteutetut laboratoriokokeet ja case-tutkimukset. Tässä raportissa kuvataan vaiheessa 2 toteutetut case-tutkimukset ja kokeet.

		Poltto/tulipalo	Altistumismittaus	Tutkittava henkilöstöryhmä
Vaihe 1	Koe 1	21.1.2008	24.1.2008	Palosaneeraajat
-”-	Koe 2	10.3.2008	13.3.2008	-”-
Vaihe 2	Case A	Tammikuu	18 päivää palon jälkeen	-”-
-”-	Case B	Toukokuu 2009	18 päivää palon jälkeen	-”-
-”-	Koe 1	10.3.2009	11.3.2009	Palontutkijat, vahinkotarkastajat
-”-	Koe 2	18.3.2009	19.3.2009	-”-

2. Laboratoriokokeet

2.1 Koejärjestelyt

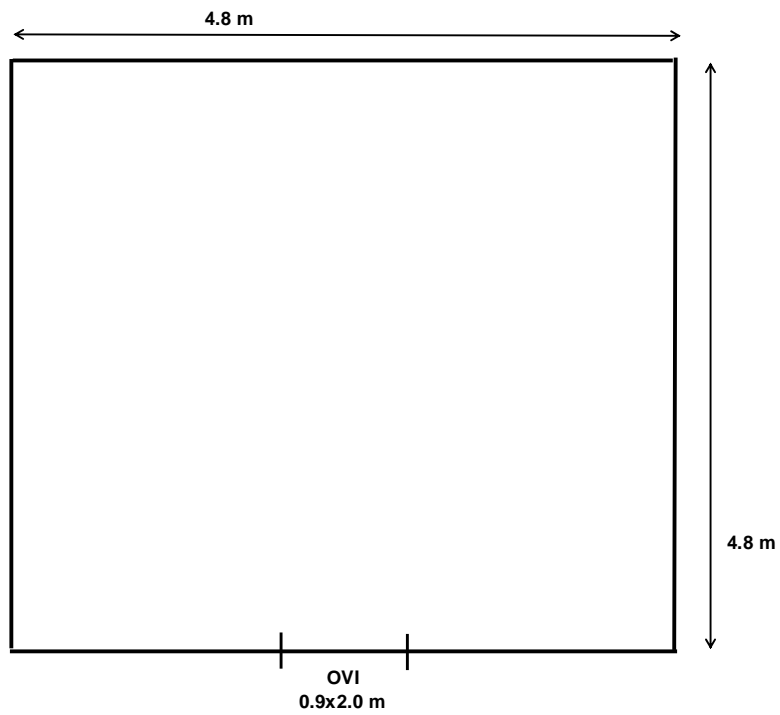
2.1.1 Yleistä

Hankkeen vaihe 2 sisälsi kaksi täyden mittakaavan palokoetta, jotka toteutettiin VTT:n laboratoriotiloissa Espoossa maaliskuussa 2009. Kokeiden tavoitteena oli jäljitellä asuntopaloa sekä palavien materiaalien että palo-olosuhteiden kannalta. Kokeet pyrittiin järjestämään keskenään mahdollisimman samanlaisiksi. Olosuhteiden samanlaisuus todennettiin kokeiden aikana tehdyillä lämpötilamittauksilla ja savukaasujen kemiallisilla analyyseillä.

Kumpaankin palokokeeseen liittyi palon jälkeisenä päivänä toteutettu altistumismittaus, jossa tutkittiin kahden vapaaehtoisen tupakoimattoman koehenkilön altistumista haitallisille yhdisteille. Koehenkilöt olivat samat kummassakin kokeessa. Altistumismittauksen aikana koehenkilöt työskentelivät palokohteessa kolmen tunnin ajan tehden palontutkijan ja vahinkotarkastajan työhön normaalisti kuuluvia toimenpiteitä. Kokeen 1 jälkeisessä altistumismittauksessa koehenkilöt olivat suojautuneet ko. työssä nykyisin tyypillisesti käytettävällä suojavarustuksella, joka käsitti pitkähihaisen ja -lahkeisen suojahaalarin, nahkakäsineet ja kypärän. Toisen palokokeen jälkeisen työskentelyjakson aikana koehenkilöiden suojavarustusta tehostettiin noudattamalla suojautumissuositusta, joka annettiin palo-saneeraajille hankkeen ensimmäisen vaiheen kokeiden perusteella.

2.1.2 Koetila

Kokeita varten rakennettiin VTT:n sammutushalliin kipsilevyrakenteinen koetila, joka sisustettiin asuntoa muistuttavaksi. Koetila oli pinta-alaltaan n. 4,8 m × 4,8 m ja sisäkorkeudeltaan noin 2,5 m. Koetilan pohjakuva esitetään kuvassa 1 ja valokuva ulkoa päin kuvassa 2.



Kuva 1. Koetilan pohjakuva.



Kuva 2. Valokuva VTT:n sammutushalliin rakennetusta koetilasta.

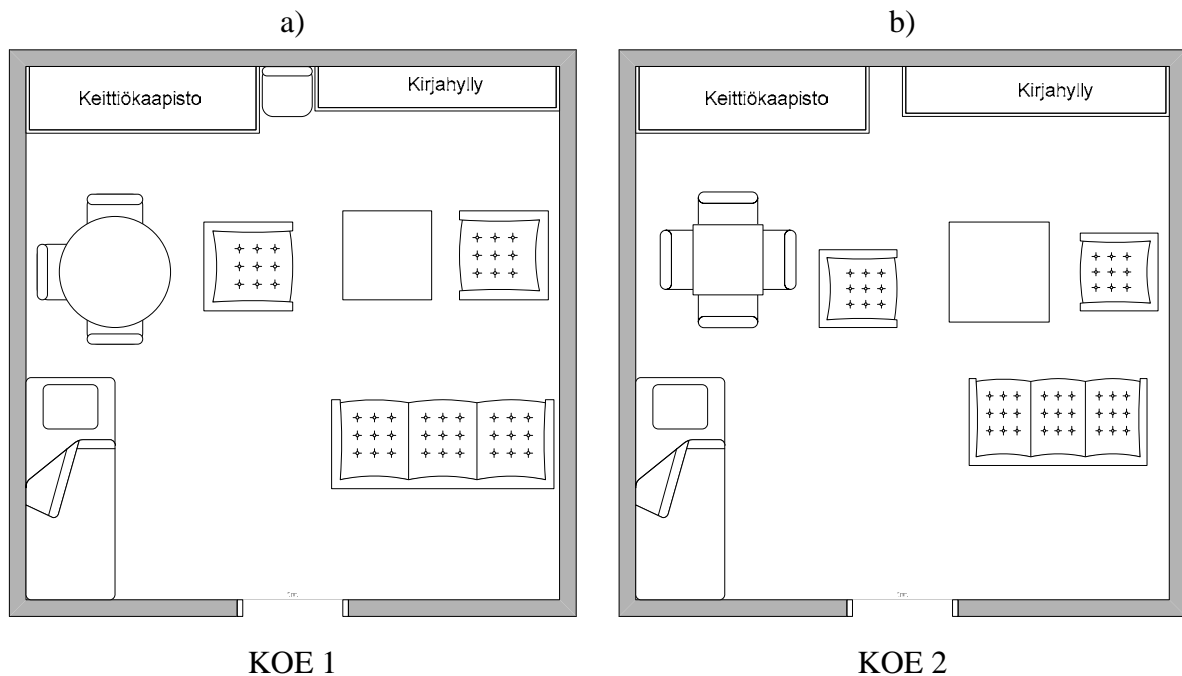
2. Laboratoriokokeet

2.1.3 Koetilan rakenteet

Koetila toteutettiin VTT:n sammutushalliin väliaikaisrakentein. Seinät ja katto tehtiin normaalista kipsilevystä (13 mm), jonka pinta jätettiin käsittelemättömäksi. Lattiamateriaalina oli 12 mm:n paksuinen lastulevy, jonka päälle kiinnitettiin niittaamalla asuinkäyttöön tarkoitettu joustovinyylimatto (Miljö Comfort 2,9 mm).

2.1.4 Koetilan irtaimisto

Koetila pyrittiin sisustamaan normaalia asuntoa vastaavaksi. Kaaviokuva irtaimiston sijoittelusta on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kaaviokuvat irtaimiston sijoittelusta kokeissa 1 ja 2.

Kokeissa käytetty irtaimisto sisälsi keittiökaapiston, keittiön pöydän tuoleineen (4 kpl) (kuva 4), sänky (kuva 5), kirjahyllyn (kuva 7), sohvan, sohvapöydän ja kaksi nojatuolia (kuva 6). Käytettyjen huonekalujen koot kokeissa 1 ja 2 esitetään taulukossa 2. Huonekalujen lisäksi koetilan kattoon ripustettiin kaksi lampua (kuva 8) sekä verhot molemmille sivuseinille (kuvat 4 ja 6).

Taulukko 2. Koetilan sisustukseen käytettyjen huonekalujen kokoja kokeissa 1 ja 2.

Irtaimisto	Koko (leveys × syvyys × korkeus)	
	KOE 1	KOE 2
Keittiökaapisto	210 × 60 × 240 cm	210 × 60 × 240 cm
Keittiön pöytä	Halk. 105 cm (pyöreä)	105 × 105 × 100 cm
Kirjahylly	220 × 40 × 180 cm	240 × 45 × 160 cm
Sohvapöytä	80 × 80 × 50 cm	90 × 90 × 45 cm
Nojatuoli	80 × 80 × 75 cm	72 × 72 × 100 cm
Sänky	90 × 200 × 90 cm (päätylevyn kork.)	80 × 200 × 55 cm
Sohva	200 × 80 × 90 cm	159 × 83 × 75 cm

a)



KOE 1

b)

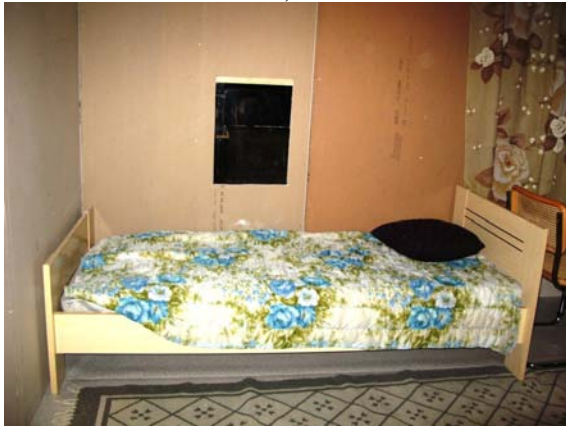


KOE 2

Kuva 4. Näkymä keittiönurkkauksesta a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

2. Laboratoriokokeet

a)



KOE 1

b)



KOE 2

Kuva 5. Koetilan nurkkaan sijoitettu sänky a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

a)



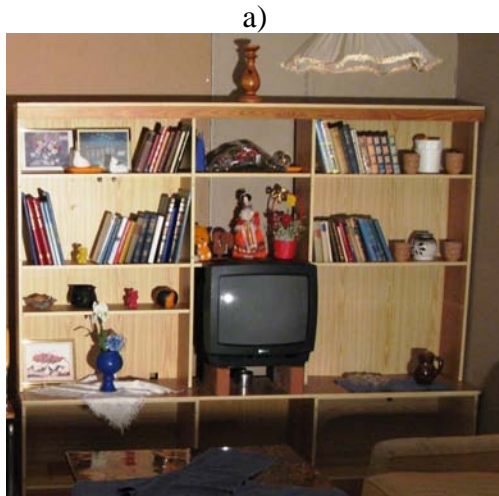
KOE 1

b)

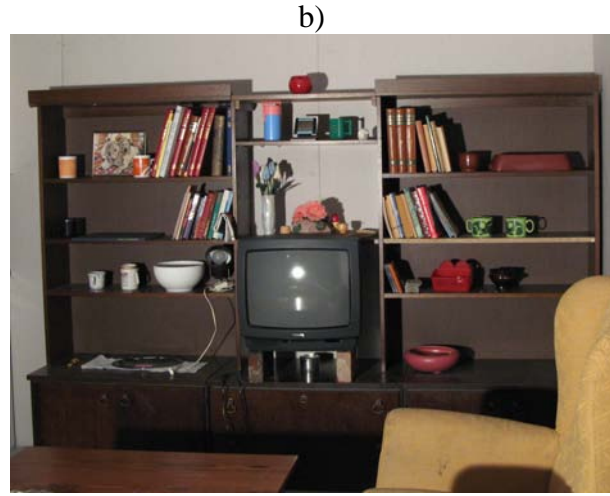


KOE 2

Kuva 6. Näkymä olohuonenuurkkauksesta a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

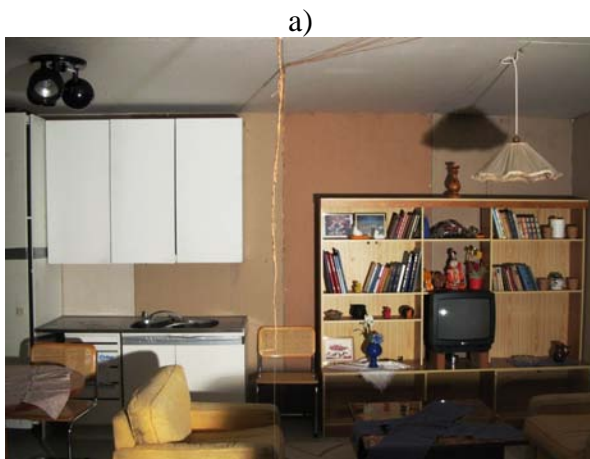


KOE 1

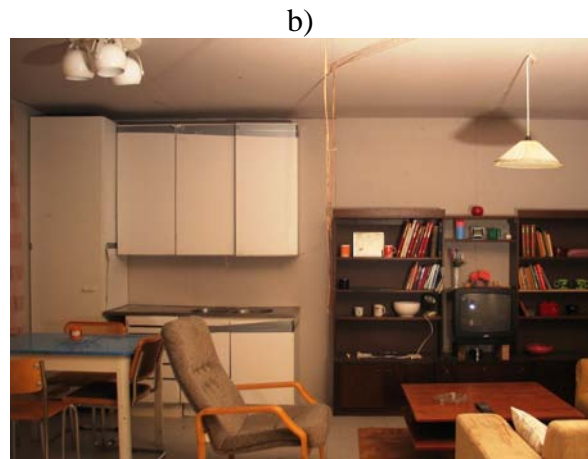


KOE 2

Kuva 7. Kirjahylly a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.



KOE 1



KOE 2

Kuva 8. Yleiskuvista näkyvät myös kattoon asennetut lamput a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

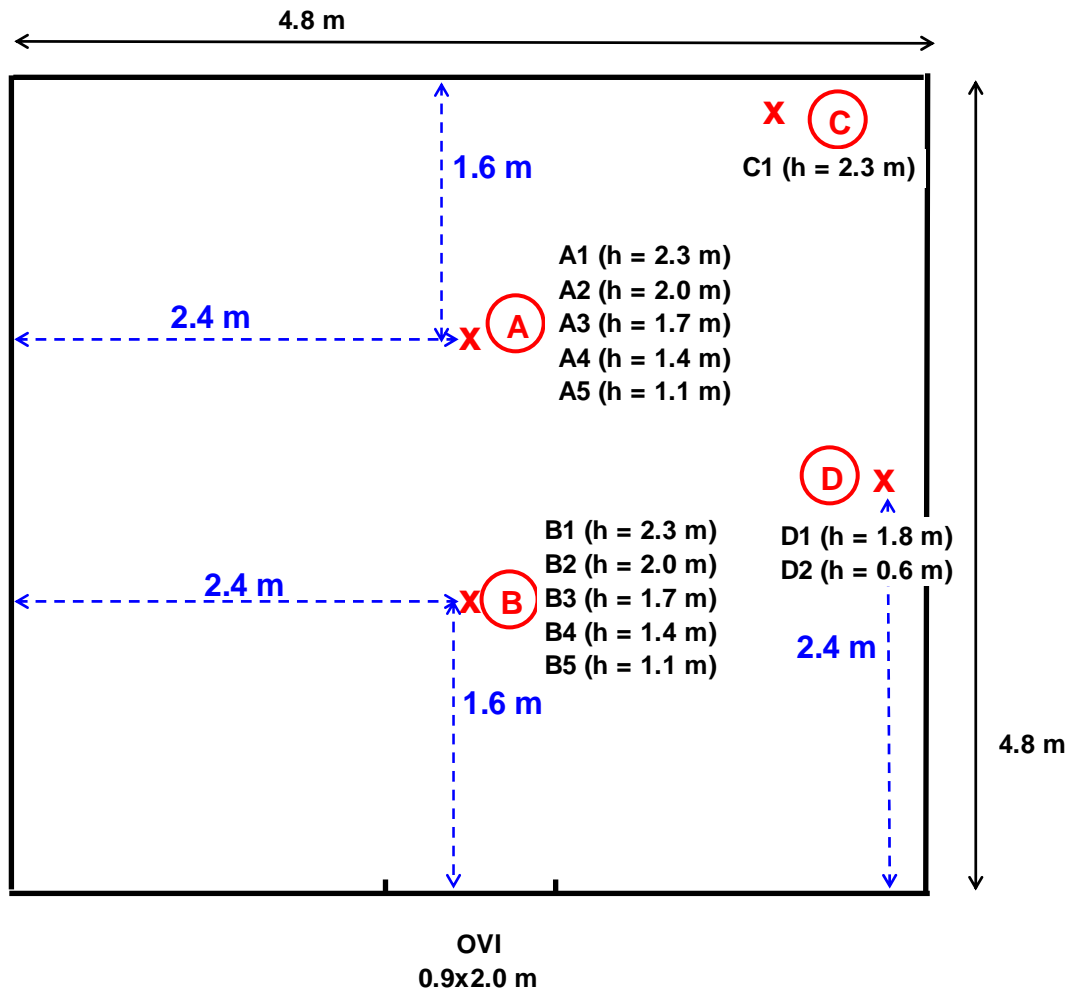
2.1.5 Palotekniset mittaukset

Kokeiden aikana mitattiin lämpötiloja 13 eri mittauspisteestä. Mittauspisteiden paikat on esitetty kuvissa 9 ja 10. Mittauspisteiden etäisyydet lattiatasosta esitetään kaaviokuvassa 9.

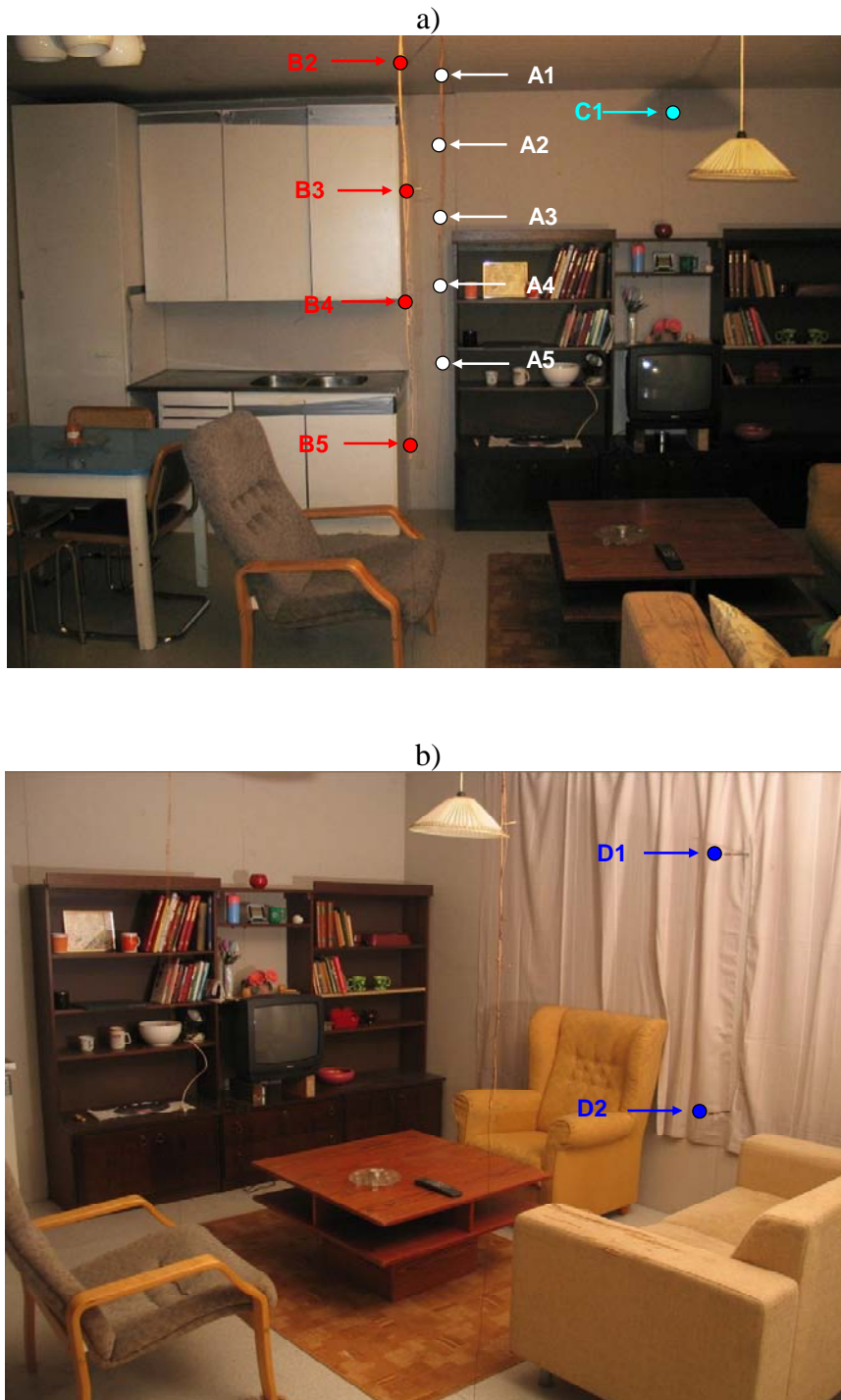
Lämpötilamittausten lisäksi tilasta mitattiin kaasupitoisuuksia palon aikana. Kaasunäytteet otettiin mittauspisteestä D (kuva 9 ja 10b) 1,8 ja 0,6 m:n korkeudelta lattiatasosta. Näytteenottoputket tuotiin koetilaan seinän läpi (kuva 11). Molemmilta korkeuksilta mitattiin happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet, minkä lisäksi alemmalta tasolta ($h = 0,6$ m) mitattiin myös syaanivetyypitoisuus. Hiilimonoksidipitoisuuden mittauksessa analysaattorin mittausalueen yläraja oli 1,8 m:n korkeudella tehdyissä mittauksissa

2. Laboratoriokokeet

5 000 ppm ja 0,6 m:n korkeudella tehdyissä mittauksissa 10 000 ppm. Nämä ylärajat ylittyivät ajoittain kokeiden aikana, kuten on nähtävissä kuvissa 15 ja 16. Syaanivetypitoisuuden mittauksessa analysaattorin mittausalueen yläraja oli 50 ppm, joka sekin ylittyi ajoittain kokeiden aikana.

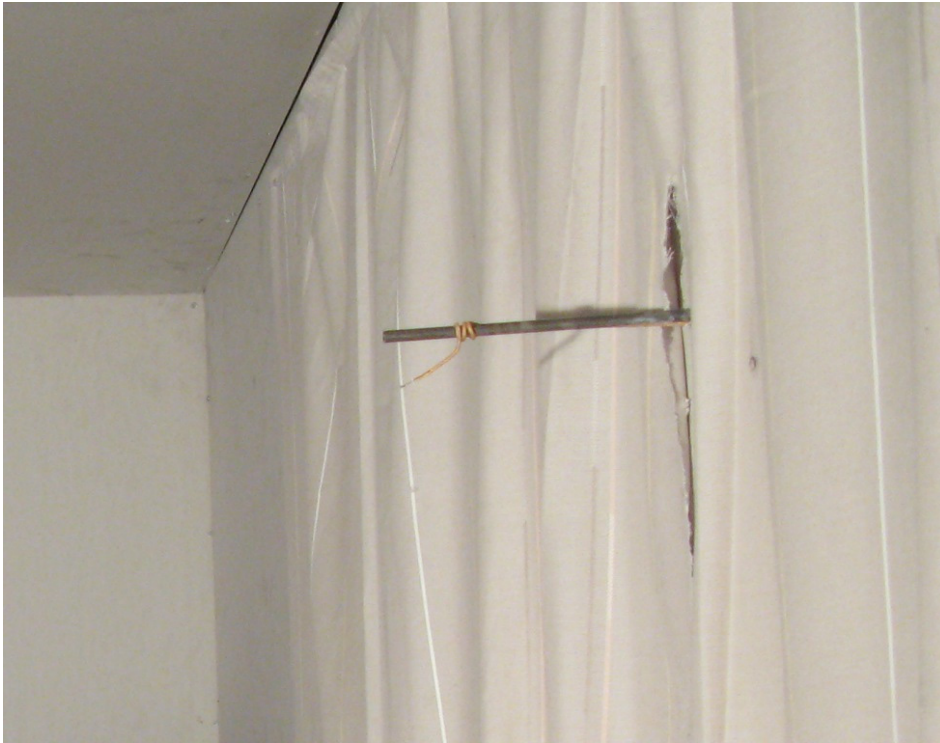


Kuva 9. Kaaviokuva mittauspisteiden paikoista. Lämpötilat mitattiin pisteistä A–D ja kaasupitoisuudet pisteestä D. Mittauspiste C on suoraan sytytyskohdan yläpuolella. Mittauspisteiden etäisyydet lattia-tasosta on merkitty kuvaan.



Kuva 10. a) Mittauspisteet A, B ja C. (Mittauspiste B1 on 20 cm kuvan ulkopuolella, 20 cm:n etäisyydellä katosta), b) Mittauspiste D.

2. Laboratoriokokeet



Kuva 11. Kaasunäytteenottopiste D1.

2.1.6 Kokeiden aikataulu

	KOE 1	KOE 2
Palokohteen rakenteiden pystyttäminen	ti-to 3.–5.3.2009	pe 13.3.2009, ma 16.3.2009
Irtaimiston sijoittelu ja instrumentointi paloteknisiä mittauksia varten	pe 6.3.2009, ma 9.3.2009	ma-ti 16.–17.3.2009
Poltto	ti 10.3.2009	ke 18.3.2009
Altistumismittaukset ja sisäilmamittaus	ke 11.3.2009	to 19.3.2009
Koerakennelman purku	to 12.3.2009	pe 20.3.2009

2.2 Palokokeet

2.2.1 Yleistä

Palokokeiden tavoitteena oli jäljitellä ”tavanomaista” asuntopaloa. Tarkoituksena oli tuottaa mahdollisimman paljon savua mutta pitää palotilan lämpötila kuitenkin alhaisena ja estää siten tilan lieskahtaminen (yleissyttyminen).

2.2.2 Sytytys

Kokeissa pyrittiin jäljittelemään televisiosta syttyvää asuntopaloa. Syttymislähteenä käytetty televisio oli molemmissa kokeissa samanlainen (Philips Model 20PT 1552/11). Television muovikuoren materiaali oli iskunkestävä polystyreeni (HIPS), jonka paloluokitus standardin UL 94 mukaan oli HB. Television riittävän nopean syttymisen takaamiseksi sen muovikuoren takaosaan porattiin useita reikiä (kuva 12b).

Televisio sijoitettiin kirjahyllyyn tiiliskivien päälle 14 cm:n korkeudelle hyllytasosta. Television sytytykseen käytettiin 50 ml nestemäistä Sinolia, joka asetettiin metallipurkissa (halk. 8,5 cm, korkeus 5,2 cm) television alle (kuva 12a). Sinol-kupin yläreunan etäisyys television pohjasta oli noin 9 cm. Television syvyys oli 42 cm, ja Sinol-kupin keskikohta asetettiin syvyysuunnassa 29 cm:n etäisyydelle television etureunasta ja sivusuunnassa television keskelle.

2. Laboratoriokoheet

a)



b)



Kuva 12. a) Sytytykseen käytetty televisio ja sen alle asetettu Sinol-purkki. b) Television muovikuoreen poratut reiät.

2.2.3 Kokeiden kulku

Kokeiden aikana oviaukon yläosa oli kiinni siten, että oviaukon suuruus oli molemmissa kokeissa koko kokeen ajan 90×100 cm. Televisio syttyi melko pian Sinol-nesteen sytyttämisen jälkeen. Jo minuutin kuluttua sytytyksestä oli havaittavissa sulaneen television muovikuoren putoilemista sekä voimakasta savunmuodostusta. Palo levisi kirjahyllyyn molemmissa kokeissa noin 2,5 minuutin kuluttua sytytyksestä. Palon annettiin levitä vapaasti noin 9 minuuttia, minkä jälkeen palotilaa alettiin jäähdyttää vedellä yleissytyttymisen estämiseksi. Palon rajoittamisesta ja sammuttamisesta huolehti Helsingin pelastuskoulu. Kokeen 1 palo sammutettiin 13 minuutin kuluttua ja kokeen 2 palo 11 minuutin 40 sekunnin kuluttua sytytyksestä. Kokeiden kulku on koottu taulukoihin 3 ja 4. Kuvasarja kokeesta 2 esitetään kuvassa 13.

Taulukko 3. Kokeen 1 kulku.

Tapahtuma	Aika [mm:ss]
Sytytys	0:00
Palo levinnyt kirjahyllyyn	2:20
Palotilan jäähdytys	8:45
Palotilan jäähdytys	9:15
Palotilan jäähdytys	9:50
Palotilan jäähdytys	10:30
Palotilan jäähdytys	11:13
Palotilan jäähdytys	12:08
Palotilan jäähdytys	12:40
Sammutus	13:00

Taulukko 4. Kokeen 2 kulku.

Tapahtuma	Aika [mm:ss]
Sytytys	0:00
TV palaa, savuraja n. 1 m katosta	2:00
Palo levinnyt kirjahyllyyn	2:30
Palotilan jäähdytys	8:49
Palotilan jäähdytys	9:19
Palotilan jäähdytys	11:25
Sammutus	11:40

2. Laboratoriokokeet



a) noin 50 s sytytyksestä



b) noin 2 min sytytyksestä



c) noin 2,5 min sytytyksestä



d) noin 3 min sytytyksestä



e) noin 3,5 min sytytyksestä



f) noin 9,5 min sytytyksestä



g) noin 10 min sytytyksestä

h) noin 11,5 min sytytyksestä

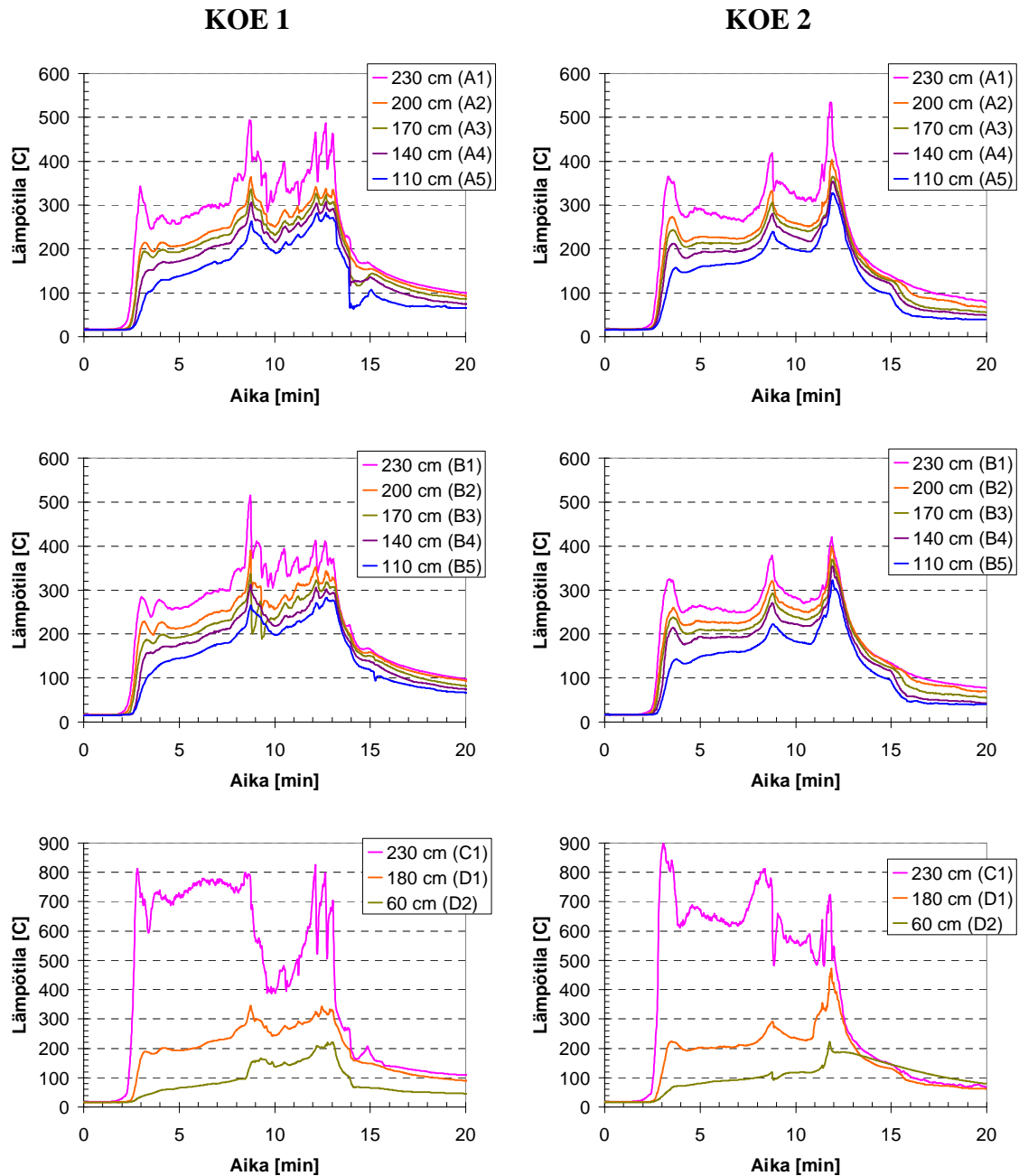
Kuva 13. Kuvasarja kokeesta 2.

2.2.4 Paloteknisten mittausten tulokset

2.2.4.1 Lämpötilat

Kokeiden 1 ja 2 aikana tehtyjen lämpötilamittausten tulokset on esitetty kuvassa 14. Aikakselilla sytytyshetki on $t = 0:00$ ja sammutushetki kokeessa 1 $t = 13:00$ ja kokeessa 2 $t = 11:40$.

2. Laboratoriokokeet



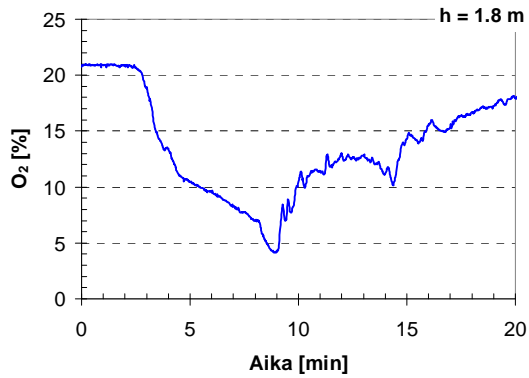
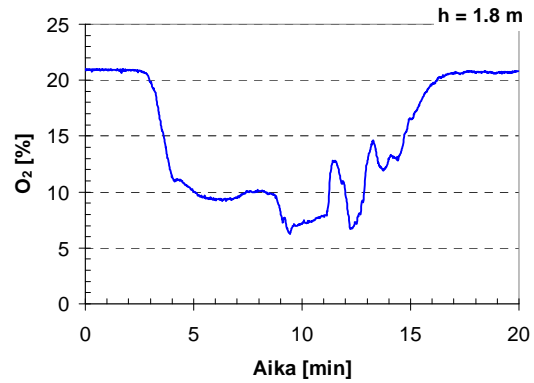
Kuva 14. Lämpötilat pisteissä A–D kokeissa 1 ja 2 (mittauspisteiden paikat: ks. kuva 9).

2.2.4.2 O₂-, CO₂- ja CO-pitoisuudet

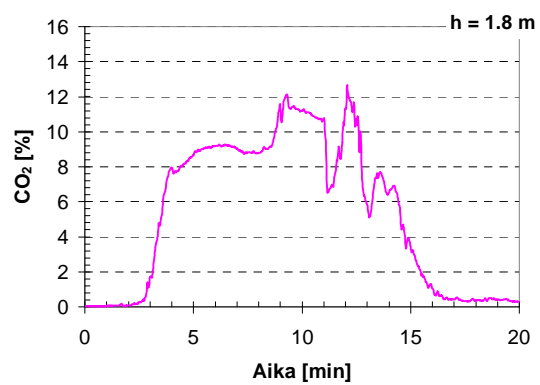
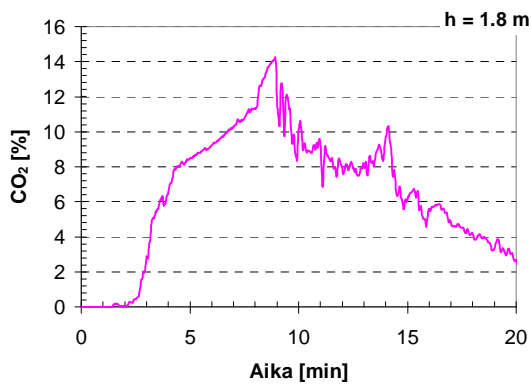
Tilan sisältä pisteestä D mitattiin kokeen aikana happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet kahdelta korkeudelta, 1,8 metristä ja 0,6 metristä. Lisäksi 0,6 metrin korkeudelta mitattiin syaanivety-pitoisuus. Tulokset on esitetty kuvissa 15 ja 16.

KOE 1

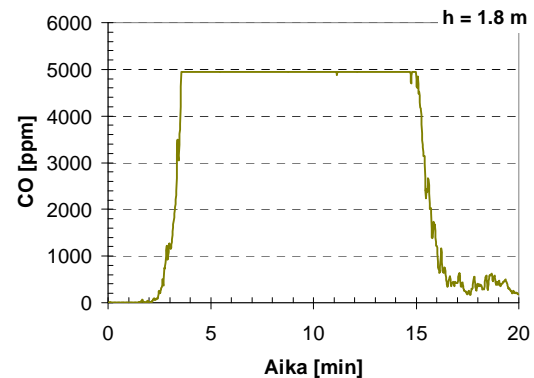
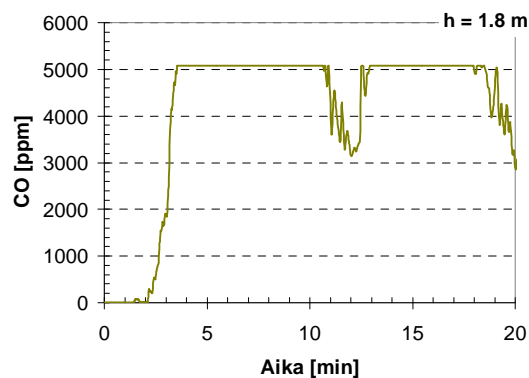
a)

**KOE 2**

b)

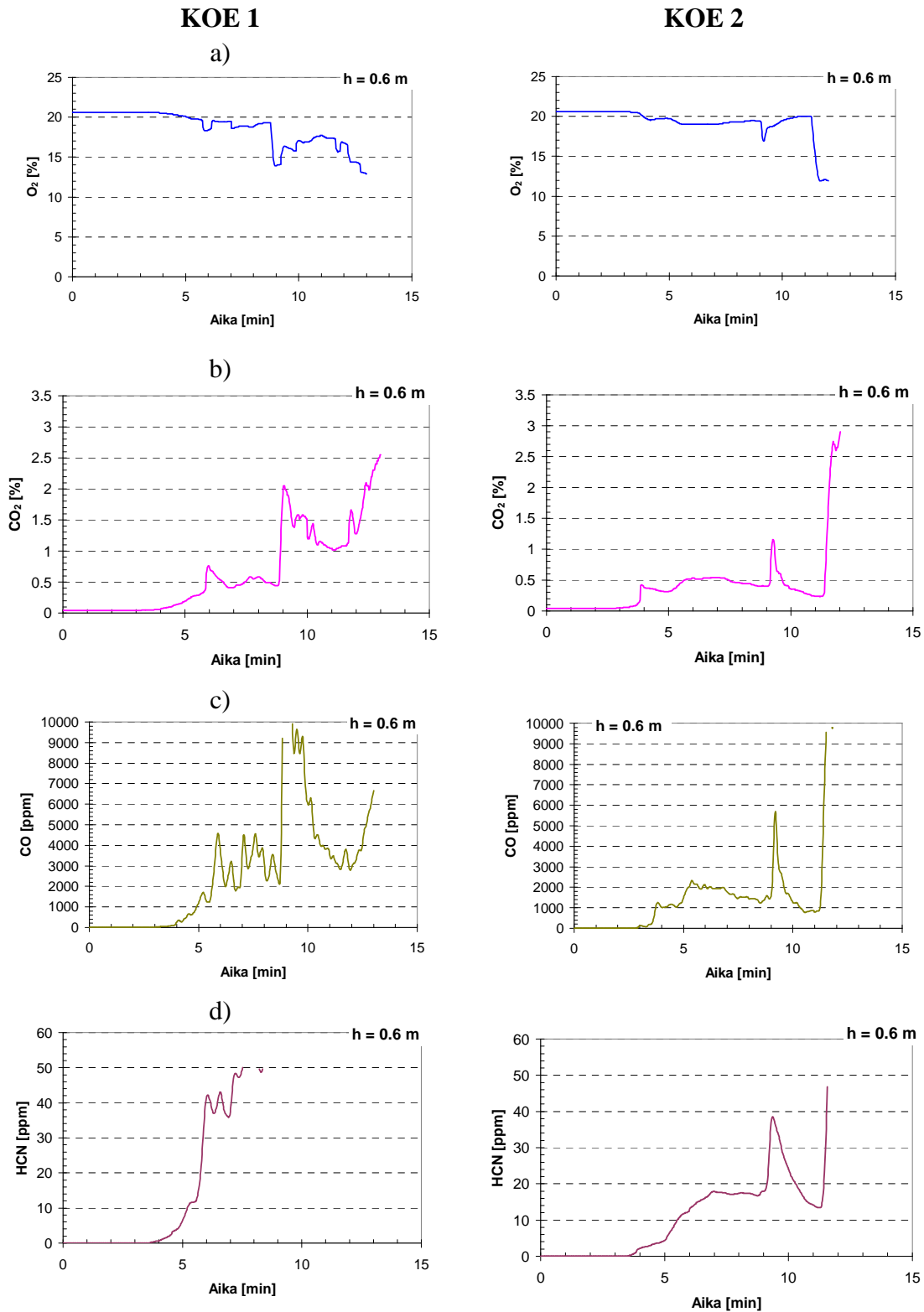


c)



Kuva 15. a) Happi- (O_2), b) hiilidioksidi- (CO_2) sekä c) hiilimonoksidipitoisuudet (CO) pisteessä D korkeudella $h = 1,8$ m (ks. kuva 9) kokeissa 1 ja 2. Kummassakin kokeessa CO-pitoisuus ylitti analysaattorin mitta-alueen ylärajan noin 3 minuutin kuluttua kokeen alusta.

2. Laboratoriokokeet



Kuva 16. a) Happi- (O₂), b) hiilidioksidi- (CO₂), c) hiilimonoksidi- (CO) sekä syaanivety- (HCN) pitoisuudet pisteessä D korkeudella $h=0,6 \text{ m}$ (ks. kuva 9) kokeissa 1 ja 2. Kummassakin kokeessa CO- ja HCN-pitoisuudet ylittivät ajoittain analysaattorin mittausalueen ylärajan.

2.2.5 Koetila palokokeiden jälkeen

Palokokeiden jälkeen koetilan ovi suljettiin. Koetilaa ei alipaineistettu kummankaan kokeen jälkeen eikä siellä tehty muitakaan saneeraustoimenpiteitä lukuun ottamatta sitä, että ensimmäisen palokokeen jälkeen kattoa jouduttiin paikkaamaan villalevyllä, koska osa katon kipsilevyistä oli romahtanut alas sammutuksen yhteydessä.

Kuvasarja keittiö- ja olohuonenuurkkauksista sekä kirjahyllystä kokeiden 1 ja 2 jälkeen on esitetty kuvissa 17–19.



Kuva 17. Näkymä keittiönurkkauksesta kokeen jälkeen a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.



Kuva 18. Näkymä olohuonenuurkkauksesta kokeen jälkeen a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

2. Laboratoriokokeet



KOE 1
KOE 2
Kuva 19. Kirjahylly kokeen jälkeen a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

2.3 Altistumismittaukset

2.3.1 Koehenkilöiden käyttämä suojavarustus

Ensimmäisen palokokeen jälkeisessä altistumismittauksessa koehenkilöt työskentelivät koetilassa käyttäen palontutkijoiden ja vahinkotarkastajien työssä tyypillistä suojavarustusta, joka käsitti

- pitkähihaisen ja -lahkeisen suojahaalarin
- nahkakäsineet
- kypärän.

Koehenkilöt eivät käyttäneet hengityksensuojainta. Kokeessa 1 käytetty suojautuminen näkyy kuvasta 20a.

Toisen palokokeen jälkeisessä altistumismittauksessa koehenkilöiden suojavarustusta tehostettiin noudattamalla suojautumissuosituksia, joka annettiin jälkisaneraustyöntekijöille hankkeen ensimmäisen vaiheen kokeiden perusteella (Tillander et al. 2008). Käytetyt suojavarusteet sisälsivät

- SCOTT Autoflow 120L -puhallinyksikön A2/P3-suodattimilla sekä Automask-kasvosuojan
- lyhytaikahaalarin (Protec Cat III type 5 & 6)
- pitkähihaisen ja -lahkeisen vaatetuksen suojahaalarin alla
- saappaansuojat (Heavy Duty)
- kemikaalisuojakäsineet (Guide 4011)
- kypärän.

Kuvassa 20b ovat koehenkilöt puettuina suojavarustukseen. Kuvassa 21 on nähtävissä kokeessa 2 käytettyjä suojavarusteita.

a)



KOE 1

b)



KOE 2

Kuva 20. Suojautuminen altistumismittausten aikana a) kokeessa 1 ja b) kokeessa 2.

a)



SCOTT Autoflow 120L -puhallinyksikkö

b)



SCOTT Automask -kasvonsuoja

c)



Suodatin A2-P3

d)



Lyhytaikahaalari L.BRADOR DC 20

2. Laboratoriokokeet



Kengän- ja saappaansuojat Heavy Duty

Käsineet: Guide 4011, kemikaalisuojakäsine

Kuva 21. Kokeessa 2 käytettyjä suojavarusteita.

2.3.2 Koehenkilöiden toiminta koetilassa

Kun palo oli sammutettu, tilan ovi suljettiin. Ovi avattiin jälleen kokeen jälkeisenä aamuna, kun koehenkilöt menivät palotilaan. Altistumiskokeen aikana palotilan ovi pidettiin auki. Koehenkilöt suorittivat palontutkijoille tyypillistä työtä tilassa kolmen tunnin ajan. Koehenkilöt raivasivat ja liikuttelivat palojätettä kolmen tunnin aikana noin 1 h 10 min–1 h 15 min (taulukko 5). Loppuajan koehenkilöt oleskelivat palotilassa ja tekivät tehtäviä, jotka eivät olleet fyysisesti kuormittavia. Kuvia koehenkilöistä altistumiskokeen aikana on kuvassa 22.

Taulukko 5. Koehenkilöiden suorittama toiminta palotilassa altistumiskokeen aikana.

Koehenkilöiden toiminta	KOE 1	KOE 2
Palojätteiden raivaus ja liikuttelu, näytteiden otto	1 h 10 min	1 h 15 min
Valokuvaus, oleskelu palotilassa	1 h 50 min	1 h 45 min
Oleskeluaika yhteensä	3 h	3 h

KOE 1**KOE 2**

Kuva 22. Koehenkilöt altistumiskokeen aikana a) ja b) kokeessa 1, c) ja d) kokeessa 2.

2.3.3 Mittausmenetelmät ja mitatut suureet**2.3.3.1 Sisäilmamittaukset**

Sisäilmasta mitattiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC-yhdisteet) pitoisuudet mukaan lukien bentseeni. VOC-yhdisteet kerättiin nk. Tenax-adsorbenttiin, josta ne analysoitiin kaasukromatografilla termodesorption jälkeen. Yhdisteet tunnistettiin massaspektrometridetektorilla ja kvantitoitiin liekki-ionisaatiodetektorilta. Bentseenin pitoisuus määritettiin tolueeniekvivalentina. VOC-yhdisteiden kokonaissumma, TVOC, määritettiin tolueeniekvivalentina FID-kromatogrammin kokonaispinta-alasta väliltä heksaani–heksadekaani. VOC-yhdisteiden keräysnopeus oli 100 ml/min ja määrittäysraja välillä

2. Laboratoriokokeet

0,5–5 µg/m³. Käytetty adsorbentti (keräysaine), ilmanäytteiden keräysnopeudet, tilavuudet sekä analysointimenetelmät vastasivat vaiheessa 1 tehtyjä kokeita. Kuva 23 esittää sisäilmamittauslaitteistoa altistumiskokeen aikana.



Kuva 23. Sisäilmamittaus altistumiskokeen aikana.

2.3.3.2 Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) hengitysvyöhykkeellä

Laboratoriokokeissa mitattiin PAH-pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä. Hiukkasmaiset PAH-yhdisteet kerättiin kalvosuodattimelle ja höyrymäiset XAD-adsorptioputkiin. Näytteet analysoitiin nestekromatografisesti Työterveyslaitoksen Helsingin toimipisteessä. Näytteistä katsottiin viisitoista erilaista PAH-yhdistettä (Mäkelä ja Pyy, 1995).

2.3.3.3 PAH-yhdisteet iholla

Koko kehon ihoaltistumista kuvaavat näytteet kerättiin koko altistumisjakson ajalta ihoaltistumiskeräimillä suojavaatetuksen alta koehenkilöiden rinnasta ja selästä. Käsiin joutuneet PAH-yhdisteet mitattiin pesemällä koehenkilöiden kädet auringonkukkaöljyllä ennen ruokataukoa ja työpäivän jälkeen. Kaikki ihoaltistumisnäytteet analysoitiin nestekromatografisesti Työterveyslaitoksen Helsingin toimipisteessä. Näytteistä katsottiin viisitoista erilaista PAH-yhdistettä (Mäkelä ja Pyy, 1995).

2.3.3.4 PAH-yhdisteiden ja bentseenin aineenvaihduntatuotteet virtsassa

Virtsanäytteillä selvitettiin koehenkilöiden kokonaisaltistumista naftaleenille, pyreneille ja bentseenille. Kokonaisaltistumista ihon, ruuansulatuskanavan ja hengitysteiden kautta mitattiin virtsan naftolin (U-Naftol), pyrenolin (U-Pyr) ja mukonihapon (U-Mukon) avulla. Naftoli- ja mukonihappo-

näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti (Keiming ja Morgan 1986, Ducos et al. 1990) ja pyrenoli-näytteet (U-Pyr) nestekromatografisesti (Jongeneelen et al. 1987). Analyysit tehtiin Työterveyslaitoksen Helsingin toimipisteessä.

2.3.4 Näytteenottoajankohdat

2.3.4.1 Sisäilmamittaukset

Altistumiskokeiden 11.3.2009 ja 19.3.2009 aikana sisäilmasta otettiin kaksi puolen tunnin pituista VOC-näytettä kello 10–11 välillä. Myös koetilan ulkopuolelta (sammutushallista) otettiin samana ajankohtana VOC-näytteet taustapitoisuuden määrittämiseksi.

2.3.4.2 Koehenkilöiden altistumismittaukset

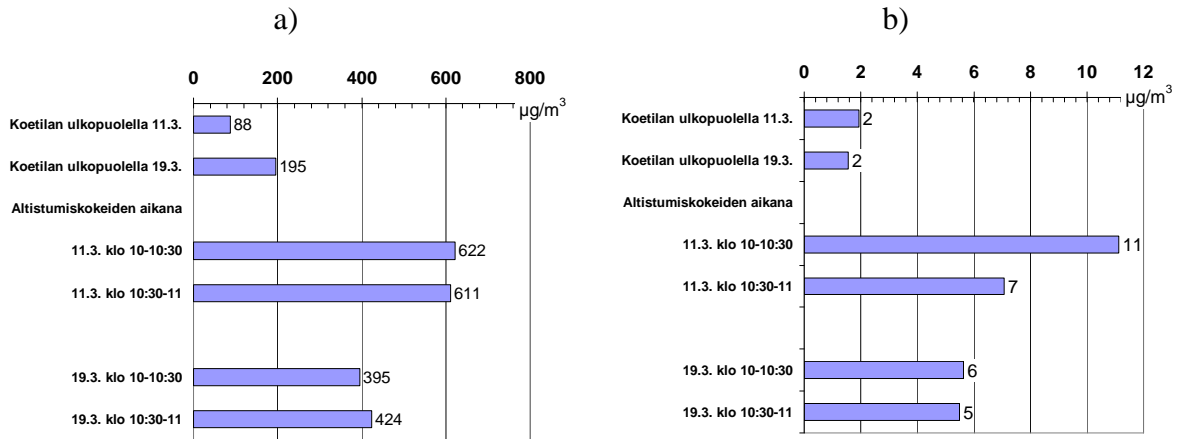
Koko kehon ihoaltistumista PAH-yhdisteille kuvaavat näytteet kerättiin koko altistumisjakson ajalta ihoaltistumiskeräimillä suojavaatetuksen alta koehenkilöiden rinnasta ja selästä. Käsiin joutuneet PAH-yhdisteet mitattiin pesemällä koehenkilöiden kädet auringonkukkaöljyllä ennen ruokataukoa ja altistumiskokeen päätyttyä. Koehenkilöt antoivat ensimmäisen virtsanäytteen ennen altistumista, toisen heti altistumisen päätyttyä, kolmannen kuusi tuntia altistumisen päättymisestä ja neljännen seuraavana aamuna.

2.3.5 Mittaustulokset

2.3.5.1 Sisäilmamittaus

Sisäilman VOC-yhdisteiden kokonaismäärä, nk. TVOC-pitoisuus, oli ensimmäisessä altistumiskokeessa 11.3.2009 välillä 611–622 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kuva 24a). Toisessa altistumiskokeessa 19.3.2009 pitoisuus oli jonkin verran alhaisempi, välillä 395–424 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Koetilan ulkopuolella (sammutushallissa) mitattu TVOC-pitoisuus oli tasolla $< 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bentseenin pitoisuus oli välillä 7–11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ensimmäisessä altistumiskokeessa ja välillä 5–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ toisessa altistumiskokeessa (Kuva 24b). Hallin taustapitoisuus bentseenin suhteen oli 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

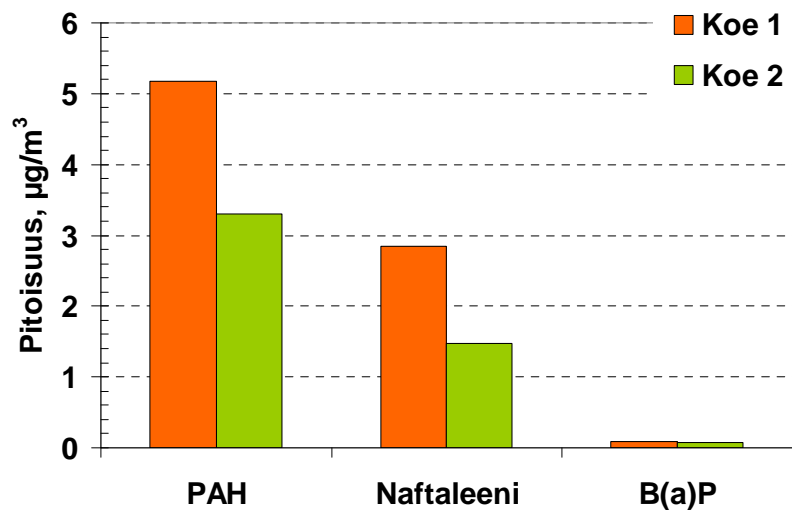
2. Laboratoriokokeet



Kuva 24. a) TVOC- pitoisuus ja b) bentseenin pitoisuus koetilan ulkopuolella (sammutushalli) ja altistumiskokeiden aikana.

2.3.5.2 Hengitystiealtistuminen

Kuvassa 25 on esitetty keskimääräinen PAH-yhdisteiden yhteispitoisuus sekä naftaleenin ja bentso[a]pyreenin pitoisuus koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä ensimmäisessä ja toisessa altistumiskokeessa. Mitatut pitoisuudet olivat 0,1 % naftaleenin ja 0,9 % bentso[a]pyreenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista eli pitoisuudet olivat pieniä (STM 2009). Pitoisuustasot olivat hyvin samanlaisia, mikä vahvisti koetilan ilman epäpuhtauksien altistaneen koehenkilöitä hyvin samalla tavalla molemmissa kokeissa.

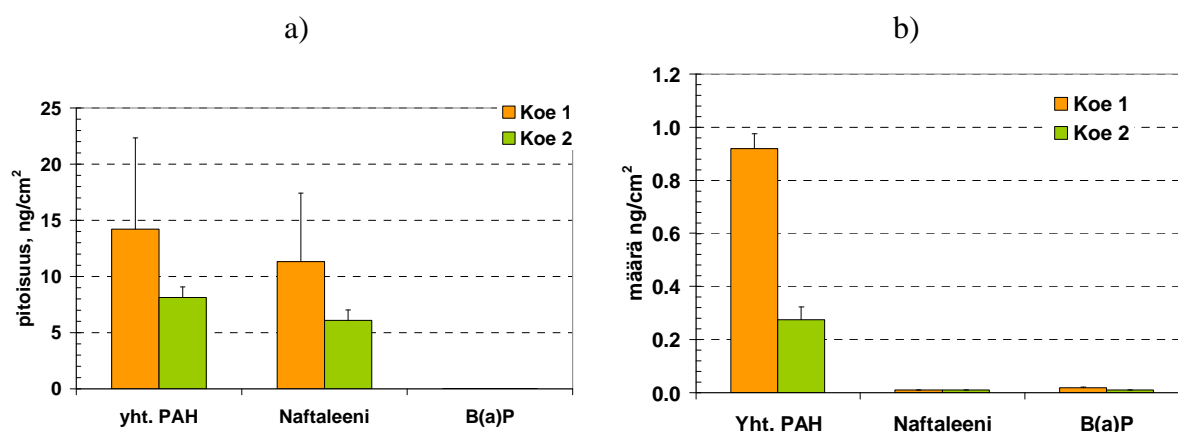


Kuva 25. Keskimääräiset hiukasmaisten ja höyrymäisten PAH-yhdisteiden yhteispitoisuudet (µg/m³) koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä altistumiskokeissa.

2.3.5.3 Ihoaltistuminen

Kuvassa 26a on esitetty keskimääräiset PAH-yhdisteiden, naftaleenin ja bentso[a]pyreenin määrät koehenkilöiden selässä sekä rinnassa ensimmäisessä ja toisessa altistumiskokeessa. Suojavaatetuksen alta mitattu PAH-yhdisteiden määrä oli pienempi parannetulla suojautumisella (koe 2) kuin normaalilla suojautumisella (koe 1). Parannettua suojautumista käytettäessä PAH-yhdisteiden pitoisuus ihon pinnalla oli 43 % pienempi ja naftaleenin määrä 46 % pienempi kuin normaalia suojautumista käytettäessä.

Kuvassa 26b on esitetty keskimääräiset PAH-yhdisteiden, naftaleenin ja bentso[a]pyreenin määrät koehenkilöiden käsissä ensimmäisessä ja toisessa altistumiskokeessa. Mitattu PAH-yhdisteiden yhteismäärä oli koehenkilöiden käsissä 69 % pienempi käytettäessä kemikaalisuojakäsineitä nahkaisten suojakäsineiden sijasta.



Kuva 26. Keskimääräiset PAH-yhdisteiden, naftaleenin ja bentso[a]pyreenin määrät (ng/cm²) koehenkilöiden ihon pinnalla a) selässä ja rinnassa ja b) käsissä altistumiskokeissa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa bentso[a]pyreenin määrät olivat 0,01 ng/cm² kummassakin kokeessa, joten pylväät eivät näy kuvassa.

2.3.5.4 Kokonaisaltistuminen

Kuvassa 27a on esitetty koehenkilöiden keskimääräinen virtsan mukonihappoeritys (U-Mukon) ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen, kuusi tuntia altistumisen päättymisestä ja seuraavana aamuna molemmissa altistumiskokeissa. Kaikki mitatut tulokset olivat alle altistumattomien viiterajan 2 µmol/l, mikä osoitti, että altistuminen bentseenille oli ollut vähäistä.

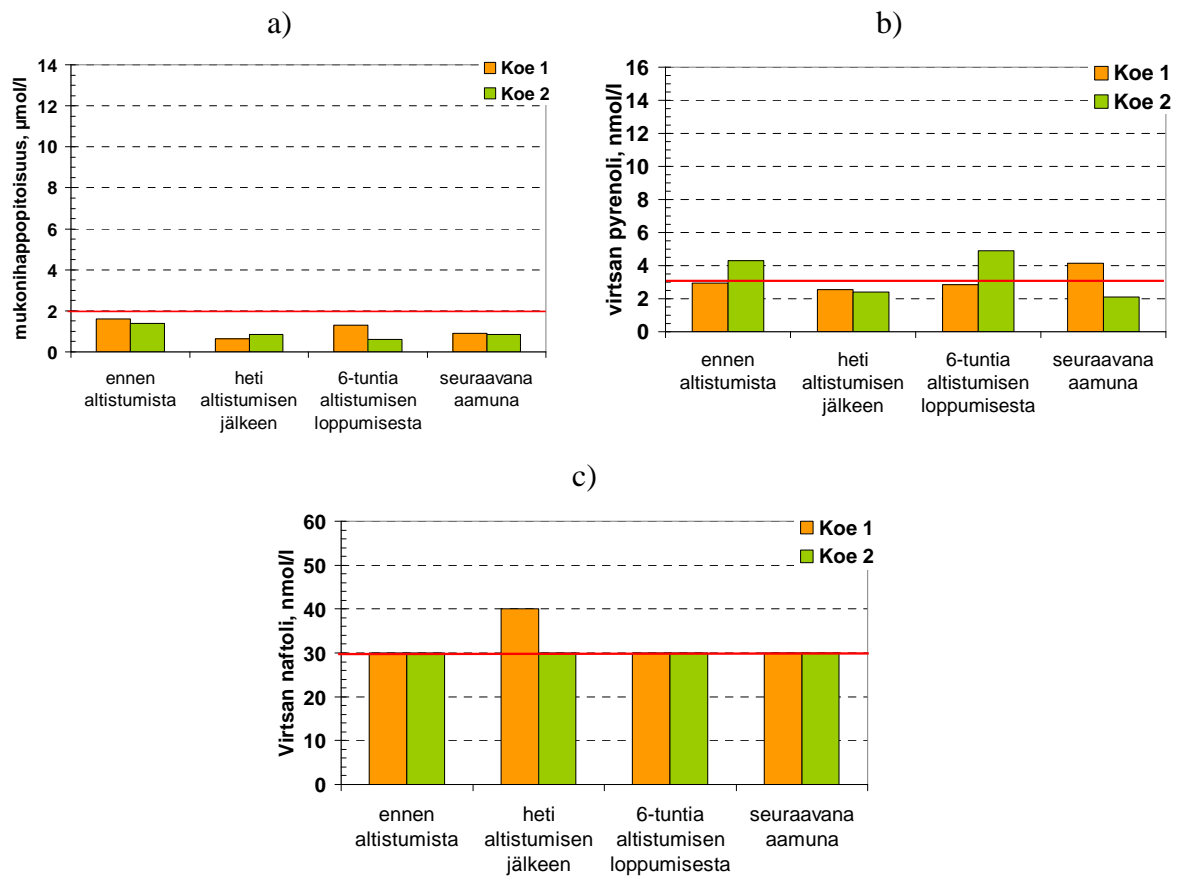
Kuvassa 27b on esitetty koehenkilöiden keskimääräiset virtsan pyrenolieritykset (U-Pyr) ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen, kuusi tuntia altistumisen päättymisestä ja seuraavana aamuna molemmissa kokeissa.

Ensimmäisen laboratoriokokeen jälkeen, jossa koehenkilöt käyttivät normaalia suojautumista, pyrenolierityksessä ei havaittu altistumattomien viiterajaa 3 nmol/l ylittäviä keskipitoisuuksia ennen kuin kokeen jälkeisenä aamuna. Vastaava ilmiö havaittiin myös työskenneltäessä parannetulla suojautumisella, jolloin suurin keskimääräinen erityy tapahtui kuusi tuntia altistumisen jälkeen. Hengitysteitse tapahtuva

2. Laboratoriokokeet

altistuminen pyreeneille havaitaan yleensä heti altistumisen jälkeen otetussa näytteessä. Viivästynyt erityis viittaa yleensä ihoaltistumiseen. Koehenkilöiden pyrenolieritykset olivat molemmissa kokeissa pieniä, mikä osoittaa altistumisen pyreenille ja bentso[a]pyreenille olleen vähäistä.

Kuvassa 27c on esitetty koehenkilöiden keskimääräinen virtsan naftolieritys (U-Naftol) ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen, kuusi tuntia altistumisen päättymisestä ja seuraavana aamuna molemmissa kokeissa. Ensimmäisessä laboratoriokokeessa naftolieritykset osoittivat lievää nousua heti altistumisen jälkeen. Toisessa kokeessa naftolieritykset eivät ylittäneet tupakoimattomien altistumat-
tomien viiterajaa 30 nmol/l. Ensimmäisen kokeen tulokset osoittivat vähäistä altistumista naftaleenille, mutta toisen kokeen tulokset enintään lievää altistumista naftaleenille.



Kuva 27. Koehenkilöiden keskimääräiset virtsan a) mukonihappoeritykset (U-Mukon), b) pyrenolieritykset (nmol/l) sekä c) naftolieritykset (U-Naftol) neljässä aikapisteessä altistumiskokeissa.

3. Case-tutkimukset

Tutkimushankkeen vaiheeseen 2 sisältyi kaksi case-tutkimusta todellisissa asuntopalokohteissa. Näiden case-tutkimusten tavoitteena oli todentaa vaiheen 1 laboratoriokokeiden tuloksia käytännön työolosuhteissa ja tarkistaa palosaneeraajille annetun suojautumissuosituksen riittävyys ja asianmukaisuus.

3.1 Koehenkilöt

Case-tutkimukseen osallistui kolme vapaaehtoista koehenkilöä. Koehenkilö 1 työskenteli molemmissa case-tutkimuksissa ja oli osallistunut myös vaiheen 1 laboratoriokokeisiin. Koehenkilö 2 osallistui ainoastaan case-tutkimukseen A ja koehenkilö 3 ainoastaan case-tutkimukseen B. Koehenkilöt 1 ja 2 olivat tupakoimattomia. Koehenkilö 3 tupakoi satunnaisesti, ”baareissa”, ja oli ennen case-tutkimusta B tupakoinut edellisen kerran noin puolitoista viikkoa aikaisemmin.

3.2 Case A

Case-tutkimuksessa A kaksi vapaaehtoista tupakoimatonta koehenkilöä suoritti normaalia palosaneeraustyötä todellisessa asuntopalokohteessa suojautuneina tutkimuksen vaiheessa 1 annetun suojautumissuosituksen mukaisesti.

3.2.1 Suojavarustus

Koehenkilöiden suojavarustus case A:ssa oli seuraava (ks. kuva 28):

- pitkähihainen ja pitkälahkeinen vaatetus
- vaatetuksen päällä lyhytaikahaalari Multi-Tec CE 0516, kategoria 3, suojaustasot 5 (hiukkaset) ja 6 (rajattu roiskesuojaus)
- saneerauksessa normaalisti käytettävät jalkineet
- hengityksensuojain: Scott Autoflow 120A-puhallinyksikkö ja Automask-kasvonsuoja + 2 kpl yhdistelmäsuodattimia Pro 2000 CF32 A2-P3
- vinylykäsineet (Guide 143) + puuvillaiset aluskäsineet
- kypärä.

3. Case-tutkimukset

Sisällä saneerauskohteessa käytettiin näitä suojaimia. Kun koehenkilöt poistuivat asunnosta viedäkseen tavaraa roskalavalle, he riisuivat kypärän, hengityksensuojaimen ja vinyylikäsineet. Lyhytaika-haalarin huppu ei ollut koehenkilöillä päässä, joten korvat ja niska jäivät paljaiksi.



Kuva 28. Koehenkilöiden suojavarustus case-tutkimuksessa A.

3.2.2 Kohteen kuvaus

Case A:n saneerauskohde oli n. 24 m²:n suuruinen kerrostaloyksio, jossa oli asuinhuone, keittosyvenys, eteinen ja kylpyhuone. Asunnossa oli sattunut tulipalo 18 päivää ennen case-tutkimusta. Palo oli todennäköisesti saanut alkunsa tupakasta, joka oli sytyttänyt patjan. Asuinhuoneessa oli lattialla palojälkiä, mutta muuten palo ei juuri ollut levinnyt. Savuntuotto oli ilmeisesti ollut voimakasta, koska asunnon kaikkien tilojen seinillä oli alas asti savujälkiä.

Tulipalon jälkeen JVT-yritys ei ollut tehnyt asunnossa mitään saneeraustoimenpiteitä ennen koepäivää. Koehenkilöinä toimineet JVT-työntekijät käynnistivät alipaineistuksen palosaneeraustyön alkaessa. Koehenkilöt tekivät kohteessa normaalia palosaneeraustyötä siten, että altistumisaika oli noin 4 tuntia 40 minuuttia. Työpäivän aikana he poistuivat asunnosta viedäkseen tavaraa roskalavalle ja pitääkseen lounastauon, jonka aikana he eivät altistuneet. Altistumiskoe suoritettiin palosaneeraustyön alkuvaiheessa, joten sen aikana asennettiin ja käynnistettiin alipaineistus, raivattiin ja tyhjennettiin huoneistoa sekä purettiin kaapistoja ja listoja. Työ oli pääosin fyysisesti kuormittavaa. Kuva 29 esittää palosaneeraustyön raivausvaihetta.



Kuva 29. Valokuvia case A:n palosaneeraustyön raivausvaiheesta.

3.2.3 Mittaukset

3.2.3.1 Sisäilma

Case A:n palokohteen sisäilmasta otettiin kaksi puolen tunnin mittaista VOC-näytettä kello 10–11 välillä ja PAH-näyte kello 9:30–12 välillä. VOC-yhdisteiden näytteenotto- ja analyysimenetelmät on esitetty kappaleessa 2.3.3.1. PAH-yhdisteet kerättiin XAD-adsorbenttiin, josta ne uutettiin ja analysoitiin nestekromatografilla, jossa oli fluoresenssi-ilmaisim. PAH-näytteiden keräysnopeus oli 1–2 l/min ja määrittäysraja välillä 0,01–0,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2.3.2 Altistuminen

Koehenkilöiden kokonaisaltistuminen arvioitiin virtsanäyttein, kuten on kuvattu kappaleessa 2.3.3.4. Koehenkilöt antoivat ensimmäisen näytteen ennen altistumista, toisen heti altistumisen päätyttyä, kolmannen kuusi tuntia altistumisen päättymisestä ja neljännen seuraavana aamuna.

3. Case-tutkimukset

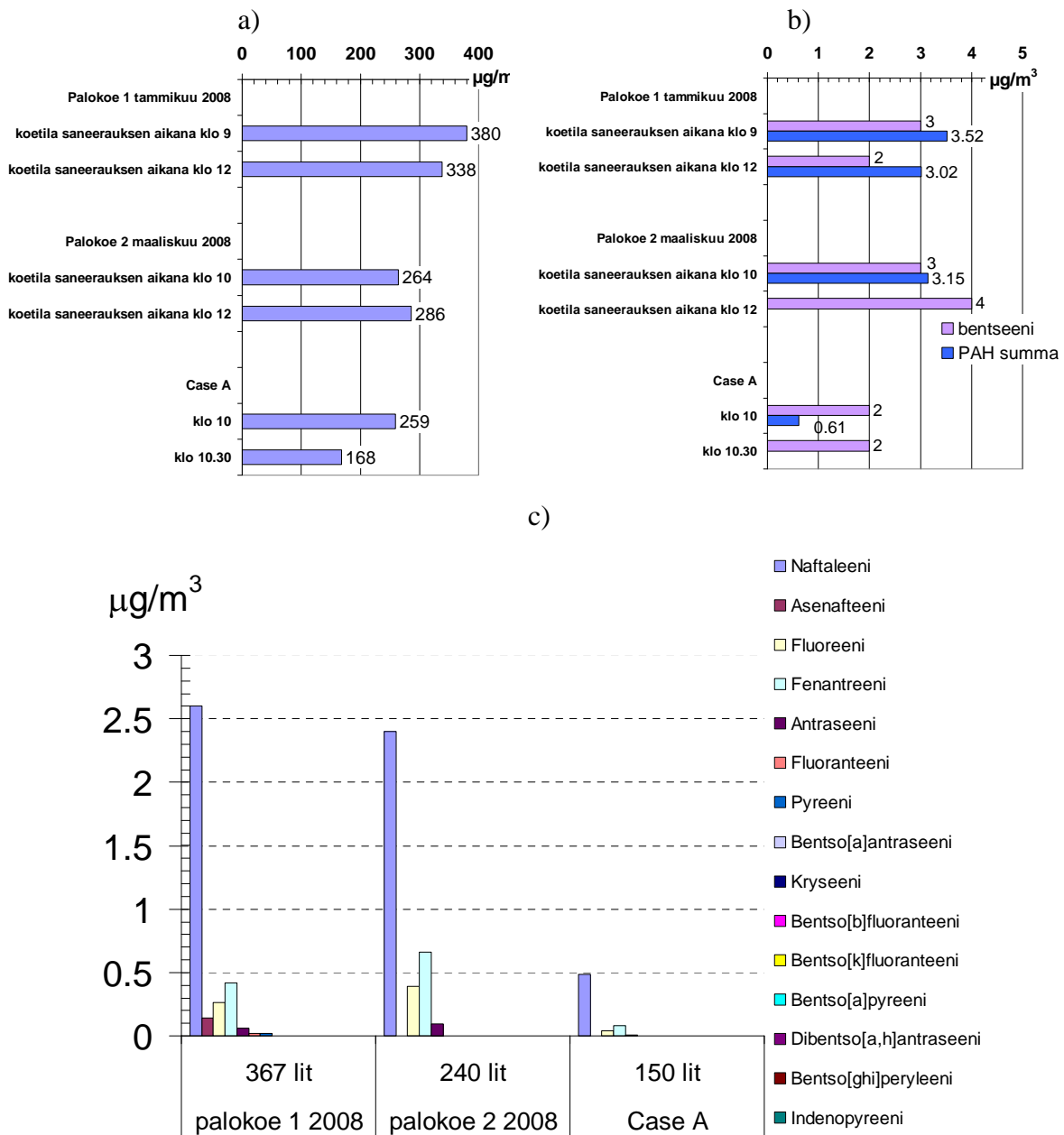
3.2.4 Tulokset

3.2.4.1 Sisäilma

Sisäilman TVOC-pitoisuus oli case A:n mittauksessa välillä 168–259 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 30a). Bentseenin pitoisuus oli 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus 0,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 30b). Pitoisuustasot olivat alhaisemmat kuin vaiheen 1 palokokeissa vuonna 2008. PAH-yhdisteistä naftaleenin pitoisuus oli suurin (0,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bentso[a]pyreenin pitoisuus ei ylittänyt määrittärajaa 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 30c, taulukko 6).

Taulukko 6. Sisäilmassa esiintyvien yksittäisen PAH-yhdisteiden pitoisuudet case A:ssa.

PAH-yhdiste	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Naftaleeni	0,49
Fluoreeni	0,04
Fenantreeni	0,08
Antraseeni	0,01
Asenafteeni	< 0,13
Fluoranteeni	< 0,03
Pyreeni	< 0,03
Bentso[a]antraseeni	< 0,03
Kryseeni	< 0,01
Bentso[b]fluoranteeni	< 0,03
Bentso[k]fluoranteeni	< 0,01
Bentso[a]pyreeni	< 0,01
Dibentso[a,h]antraseeni	< 0,03
Bentso[ghi]peryleeni	< 0,03
Indeno[1,2,3-cd]pyreeni	< 0,07
PAH yhteensä	0,61



Kuva 30. Sisäilman a) TVOC-pitoisuus, b) bentseenin ja PAH-yhdisteiden (summa)pitoisuus ja c) PAH-yhdisteiden pitoisuudet palokokeissa vuonna 2008 ja case A:ssa.

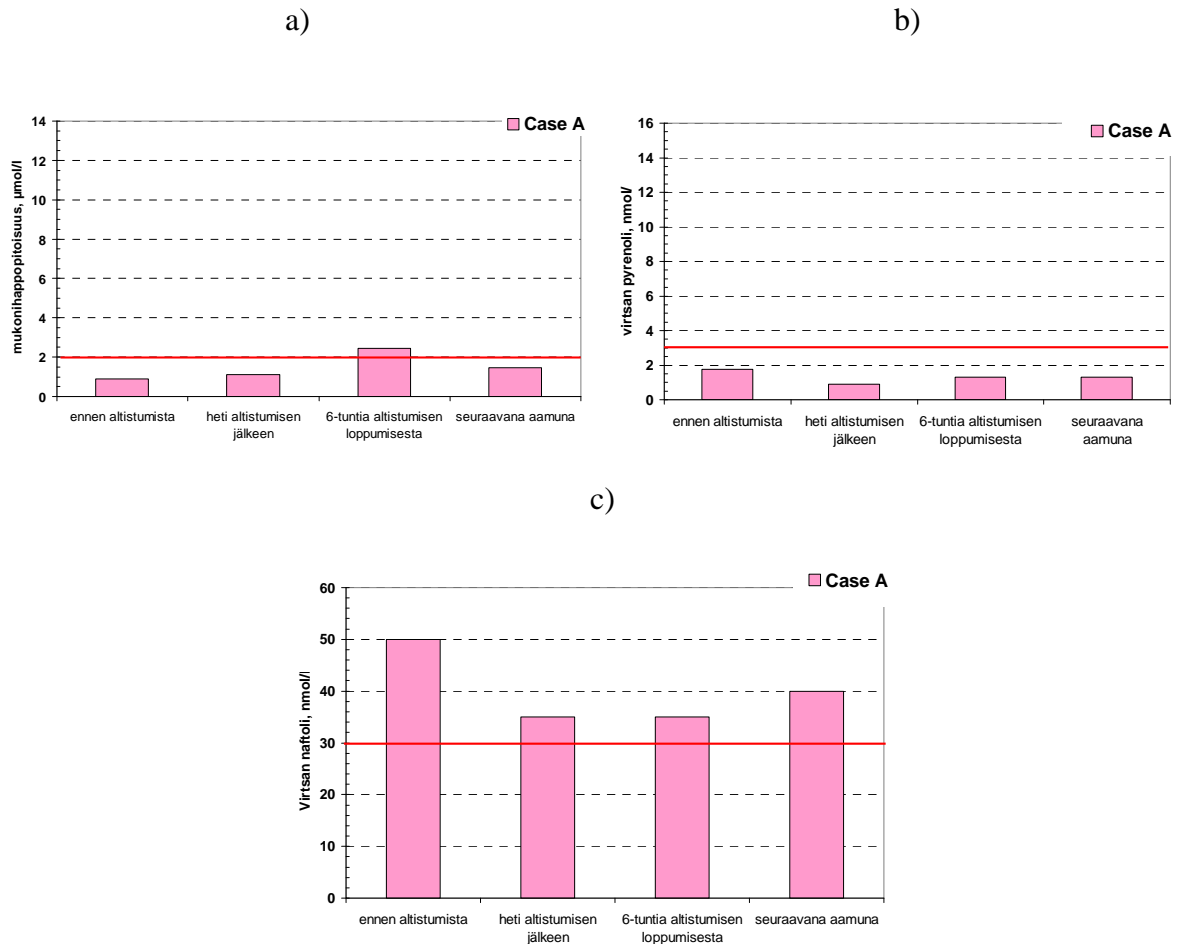
3.2.4.2 Altistuminen

Kuvassa 31a on esitetty saneeraajien keskimääräiset mukonihappoeritykset case A:ssa. Lähes kaikki mukonihappoeritykset olivat alle altistumattomien viiterajan tai lievästi sen yli, mikä osoittaa, että bentseenialtistuminen jäi käytetyllä suojaruustuksella vähäiseksi.

3. Case-tutkimukset

Kuvassa 31b on esitetty saneeraajien keskimääräiset pyrenolieritykset case A:ssa. Käytetyllä suojava-
rustuksella ei havaittu tuloksia, jotka olisivat ylittäneet altistumattomien viiterajan.

Kuvassa 31c on esitetty saneeraajien keskimääräiset naftolieritykset case A:ssa. Käytetyllä suojava-
rustuksella naftolieritykset laskivat työpäivän aikana.



Kuva 31. Koehenkilöiden keskimääräiset virtsan a) mukonihappoeritykset (U-Mukon), b) pyrenolieritykset (U-Pyr) sekä c) naftolieritykset (U-Naftol) neljässä aikapisteessä case-tutkimuksessa A.

3.3 Case B

Case-tutkimuksessa B kaksi vapaaehtoista koehenkilöä teki normaalia palosaneeraustyötä todellisessa asuntopalokohteessa. Toinen koehenkilöistä oli tupakoimaton, toinen tupakoi satunnaisesti, ”baareissa” (edellisestä tupakoinnista aikaa puolitoista viikkoa). Koehenkilöiden suojava-
rustus oli tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa annetun suojautumissuosituksen mukainen lukuun ottamatta sitä, että lyhyt-
aikaahalaria ei käytetty.

3.3.1 Suojavarustus

Koehenkilöiden suojavarustus case B:ssä oli seuraava (ks. kuva 32):

- pitkähihainen ja -lahkeinen vaateus
- saneerauksessa normaalisti käytettävät jalkineet
- hengityksensuojain: toisella koehenkilöllä Scott Autoflow 120 A -puhallinyksikkö ja Automask-kasvonsuoja + 2 kpl yhdistelmäsuodattimia CF22 A2-P3 R D, toisella koehenkilöllä Compact Air CE 0434 -puhallinyksikkö ja Automask-kasvonsuoja + 3 kpl yhdistelmäsuodattimia CF22 A2-P3 R D
- vinyylikäsiineet (Guide 143) + puuvillaiset aluskäsiineet
- kypärä.

Sisällä asunnossa käytettiin koko ajan tätä suojavarustusta. Suojavarustus case B:ssä oli siis sama kuin case A:ssa lukuun ottamatta lyhytaikahaalaria, jota käytettiin ainoastaan case A:ssa.



Kuva 32. Koehenkilöiden suojavarustus ennen kohteeseen menoa case-tutkimuksessa B.

3.3.2 Kohteen kuvaus

Case B:n saneerauskohde oli noin 58 m²:n suuruinen kerrostalokaksio. Asunnossa oli ollut erittäin raju tulipalo 18 päivää ennen case-tutkimusta. Tulipalo oli edennyt täyden palon vaiheeseen palokunnan saapuessa paikalle. Palo sammutettiin työsuihkulla, ja arvio sammutusveden määrästä oli noin 500 litraa. Asunnon sisäosat olivat tuhoutuneet palossa käytännössä täysin. Asunto alipaineistettiin heti palon jälkeisenä päivänä.

3. Case-tutkimukset

Case-tutkimusta suoritettaessa asunnon palosaneeraus oli jo pitkällä. Palojäte oli jo pääosin siivottu, irtaimisto viety pois, väliseinät purettu ja pintakerrokset suurelta osin purettu. Palaneita ja nokisia pintoja oli kuitenkin jäljellä muun muassa katossa, lattiassa, seinissä ja ikkunankehkeissä. Case-tutkimuksen aikana koehenkilöt pääasiassa irrottivat muovimattoa lattiasta ja tasoitusmassaa katosta sekä purkivat ikkunoiden sisäruutuja ja ilmanvaihtokanavien villaeristystä (kuva 33). Työ oli fyysisesti kuormittavaa.



Kuva 33. Palosaneeraustyötä case-tutkimuksessa B.

3.3.3 Mittaukset

3.3.3.1 Sisäilma

Case B:n palokohteen sisäilmasta otettiin neljä puolen tunnin mittaista VOC-näytettä kello 10.20–12.30 välillä ja PAH-näyte kello 10.15–12.40 välillä. Näytteenotto- ja analyysimenetelmät on esitetty kappaleissa 2.3.3.1 ja 3.2.3.1.

3.3.3.2 Altistuminen

Koehenkilöiden kokonaisaltistuminen arvioitiin virtsanäyttein, kuten on kuvattu kappaleessa 2.3.3.4. Koehenkilöt antoivat ensimmäisen näytteen ennen altistumista, toisen heti altistumisen päätyttyä, kolmannen kuusi tuntia altistumisen päättymisestä ja neljännen seuraavana aamuna.

3.3.4 Tulokset

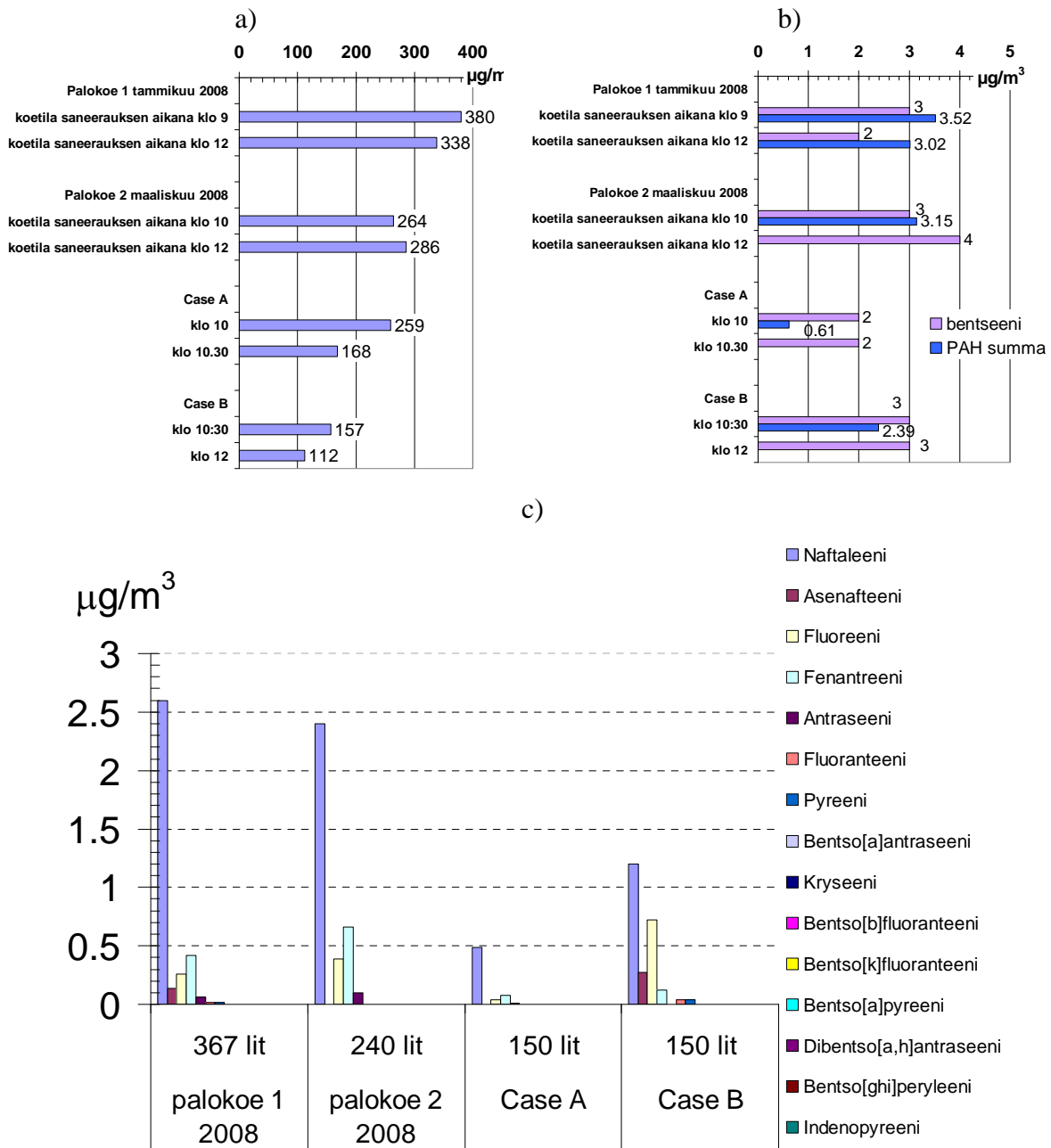
3.3.4.1 Sisäilma

Sisäilman TVOC-pitoisuus oli case B:n mittauksessa välillä 112–157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 34a). TVOC-pitoisuudet olivat selkeästi alhaisemmat kuin vaiheen 1 palokokeissa vuonna 2008 sekä hieman alhaisemmat kuin case A:ssa mitatut. Bentseenin pitoisuus oli 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus 2,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä on selvästi suurempi kuin case A:n mittauksessa (kuva 34b). Kuten myös aiemmissa mittauksissa, PAH-yhdisteistä naftaleenin pitoisuus oli suurin (1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bentso[a]pyreenin pitoisuus ei ylittänyt määrittäysrajaa 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 34c, taulukko 7).

Taulukko 7. Sisäilmassa esiintyvien yksittäisten PAH- yhdisteiden pitoisuudet case B:ssä.

PAH-yhdiste	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Naftaleeni	1,20
Fluoreeni	0,27
Fenantreeni	0,72
Antraseeni	0,12
Asenafteeni	< 0,07
Fluoranteeni	0,04
Pyreeni	0,04
Benso[a]antraseeni	< 0,01
Kryseeni	< 0,01
Benso[b]fluoranteeni	< 0,01
Benso[k]fluoranteeni	< 0,01
Benso[a]pyreeni	< 0,01
Dibenso[a,h]antraseeni	< 0,01
Benso[ghi]peryleeni	< 0,01
Indeno[1,2,3-cd]pyreeni	< 0,01
PAH yhteensä	2,39

3. Case-tutkimukset



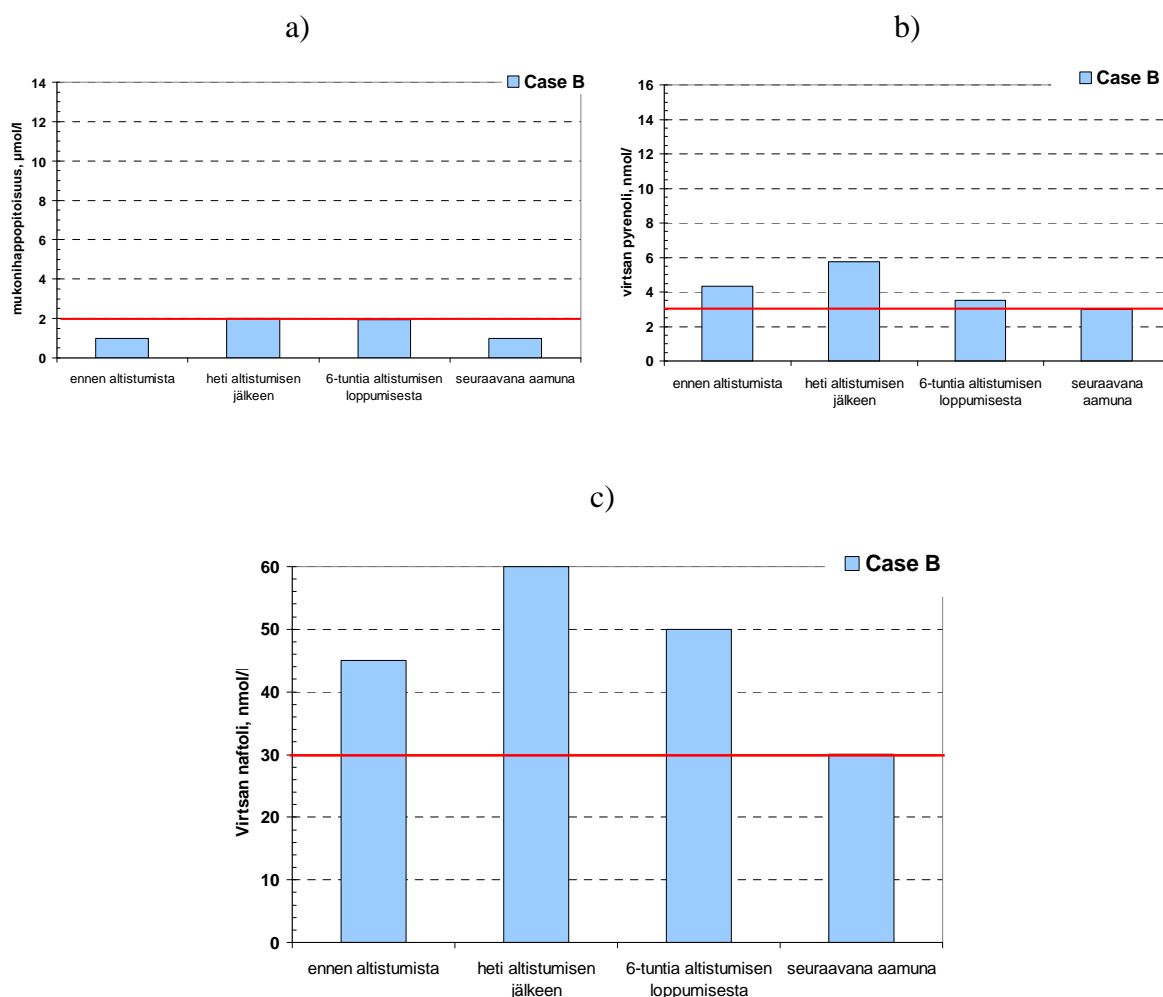
Kuva 34. Sisäilman a) TVOC-pitoisuus, b) bentseenin ja PAH-yhdisteiden (summa)pitoisuus ja c) PAH-yhdisteiden pitoisuudet palokokeissa 2008, case A:ssa ja case B:ssä.

3.3.4.2 Altistuminen

Kuvassa 35a on esitetty saneeraajien mukonihappoeritys case B:ssä, jossa koehenkilöt olivat suojautuneet hieman kevyemmin kuin case A:ssa. Lähes kaikki mukonihappoeritykset olivat alle altistumattomien viiterajan tai lähellä sitä, mikä osoittaa bentseenialtistumisen vähäiseksi.

Kuvassa 35b on esitetty saneeraajien pyrenolieritys case-tutkimuksessa B. Käytettäessä kevennettyä suojavarustusta pyrenolieritys lisääntyi työpäivän aikana, mikä osoitti, että altistumista pyreneille ja bentso[a]pyreenille oli tapahtunut.

Kuvassa 35c on esitetty saneeraajien keskimääräiset naftolieritykset case-tutkimuksessa B. Case A:ssa naftolieritykset vähenivät työpäivän aikana, mutta case B:ssä, käytettäessä kevennettyä suojautumista, naftolieritykset lisääntyivät. Havaittu muutos viittaa siihen, että altistumista oli tapahtunut enemmän case B:ssä (kevennetyllä suojautumisella) kuin case A:ssa.



Kuva 35. Koehenkilöiden keskimääräiset virtsan a) mukonihappoeritykset (U-Mukon), b) pyrenolieritykset (U-Pyr) sekä c) naftolieritykset (U-Naftol) neljässä aikapisteessä case- tutkimuksessa B.

4. Tulosten vertailu

4.1 Vaiheen 2 laboratorioskokeet – palontutkijoiden altistuminen

4.1.1 Palokokeet

Koetilan rakenteet, irtaimisto ja palokokeet pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman samanlaisina, jotta olosuhteet altistumiskokeiden aikana olisivat toistettavat. Koetilaan valittu irtaimisto oli molemmissa kokeissa mahdollisimman samankaltainen, ja sytytyslähteenä olleet televisiot olivat identtisiä. Tavoitteena oli pitää lämpötilat kokeen aikana riittävän alhaisina ja estää näin koetilan lieskahtaminen. Lämpötiloja seurattiin koko kokeen ajan ja savukaasuja jäähdytettiin tarpeen mukaan.

Kokeiden samankaltaisuuden todentamiseksi koetilasta mitattiin lämpötilat kolmestatoista ja kaasupitoisuudet kahdesta eri mittauspisteestä. Lämpötila- ja kaasumittausten perusteella koetilan olosuhteet palokokeiden aikana olivat hyvin samankaltaiset.

4.1.2 Sisäilmamittaukset

Vaiheen 2 laboratorioskokeessa 1 mitattiin keskimäärin 1,5 kertaa korkeammat TVOC- ja bentseenipitoisuudet kuin vaiheen 2 kokeessa 2. Bentseenin pitoisuustasolla (alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ero ei kuitenkaan ole merkittävä mittausepävarmuus huomioiden. VOC-profiilit olivat samankaltaiset eri kokeissa. Suurimpina pitoisuuksina mitattiin puutuotteille tyypillisiä terpeeniyhdisteitä sekä aldehydejä.

4.1.3 Altistuminen haitallisille yhdisteille

4.1.3.1 Hengitystiealtistuminen

Ensimmäisessä altistumiskokeessa koehenkilöt eivät käyttäneet hengityksensuojainta. Toisessa altistumiskokeessa oli käytössä moottoroitu hengityksensuojain. Kokonaisaltistumista kuvaavista mittauksista palossa syntyville altisteille herkin mittari, virtsan naftolipitoisuus (U-Naftol), reagoi tähän muutokseen. Koehenkilöiden keskimääräisissä naftolierityksissä havaittiin muutos heti työpäivän jälkeen otetussa näytteessä, kun he eivät käyttäneet hengityksensuojainta (kuva 27c). Vastaavaa nousua ei havaittu, kun koehenkilöt käyttivät moottoroitua hengityksensuojainta. On myös huomattava, että tilassa

aistinvaraisesti tunnettu palaneen hajun voimakkuus ei välttämättä ole suorassa suhteessa PAH-yhdisteiden, bentseenin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuksien kanssa. Poltetussa tilassa oli palontutkijoiden mukaan keskimääräistä palokohdetta miedompi savun haju. Työskennellessään ilman hengityksensuojainta palontutkijat valittelivat, että savu maistui suussa ja aiheutti huonoa oloa. Työskenneltäessä hengityksensuojaimen kanssa näitä ongelmia ei ollut, mikä on merkittävä seikka työn terveellisyyden ja mielekkyyden sekä työssä jaksamisen kannalta. Savun haju muodostuu sekoituksesta useita eri kemikaaleja, joiden yhteisvaikutusta on mahdotonta arvioida. Näin ollen ainoa viisas ratkaisu on mahdollisimman hyvä suojautuminen.

4.1.3.2 Koko kehon altistuminen

Koehenkilöiden käyttäessä lyhytaikahaalaria PAH-yhdisteiden määrä ihon pinnalla väheni verrattuna tilanteeseen, jossa lyhytaikahaalari ei ollut käytössä (kuva 26a). PAH-yhdisteiden määrä oli 43 % ja naftaleenin 46 % pienempi kuin ilman lyhytaikahaalaria. Lyhytaikahaalari näyttää siis suojanneen paremmin koehenkilöinä toimineita palontutkijoita koko kehon kautta altistavilta syöpävaarallisilta aineilta kuin puuvillainen suojahaalari. Sen lisäksi lyhytaikahaalari estää alla olevien vaatteiden nokeentumista, jolloin syöpävaarallisen noen siirtyminen henkilön mukana esimerkiksi ajoneuvoon, työpaikalle ja edelleen kotiin estyy ja muiden ulkopuolisten ihmisten tarpeeton altistumisriski pienenee.

4.1.3.3 Käsien kautta altistuminen

Tulokset osoittivat, että hiukkasmaiset ja höyrymäiset PAH-yhdisteet altistivat koehenkilöitä ihon kautta enemmän, jos käytettiin pelkästään nahkasuojakäsineitä. Käytettäessä kemikaalisuojakäsineitä käsien pinnalta mitattiin lähes 70 % pienempi määrä PAH-yhdisteitä kuin käytettäessä nahkasuojakäsineitä (kuva 26b). Näin ollen suosittelomme palontutkijoille myös kuiviin olosuhteisiin tiiviitä suojakäsineitä, jotka eivät päästä nokea iholle. Tämä tarve korostuu entisestään, mikäli tutkittava kohde on märkä.

Motivaatiotekijät ovat tärkeitä perusteltaessa suojavälineiden käytön tuomaa lisäarvoa erilaisissa työtehtävissä. Suojakäsineiden miellyttävyyttä voidaan lisätä aluskäsineiden avulla, jotka voivat paitsi entisestään vähentää altistumista myös suojata varsinaisen suojakäsineen aiheuttamilta iho-oireilta. Toinen tärkeä asia käsien kautta tulevan altistumisen vähentämiseksi ja käsien kautta välittyvän kontaminaation välttämiseksi on henkilökohtainen hygienia. Peseytyminen heti altistumisen jälkeen vähentää merkittävästi ihoaltistumisen kautta tulevaa altistumiskuormaa ja ehkäisee noen siirtymisen esimerkiksi käsien kautta ruokaan tai savukkeisiin.

4.1.3.4 Kokonaisaltistuminen

Altistumiskokeissa koehenkilöiden kokonaisaltistuminen oli hieman pienempää käytettäessä parannettua suojautumista. Suurimmat pyrenolieritykset mitattiin kuusi tuntia altistumisen päättymisestä tai jopa myöhemmin, mikä yleensä viittaa altistumiseen ihon kautta (kuva 27a). Virtsan mukonihappoeritysten mukaan koehenkilöiden bentseenialtistuminen oli vähäistä: kaikki mitatut eritykset olivat alle altistumattomien viiterajan (kuva 27b). Koehenkilöiden naftolieritys heti kokeen jälkeen oli pienempi käytettäessä parannettua suojautumista kuin normaalilla suojautumisella (kuva 27c), mikä viittaisi

4. Tulosten vertailu

siihen, että altistuminen oli vähäisempää parannetulla suojautumisella. Kokonaisuudessaan palontutkijoiden altistuminen mitatuille altisteille oli enintään lievää. Palontutkijoiden kokonaisaltistumisen vähäisyyteen verrattuna palosaneeraajien altistumiseen vaikuttaa varmasti töiden erilaisuus: palosaneeraajien työ on fyysisesti rankempaa. Rankemmassa työssä työntekijä hengittää enemmän, minkä vuoksi epäpuhtauksiakin joutuu elimistöön enemmän. Näin ollen altistuminen samalle pitoisuudelle fyysisesti raskaassa työssä tuottaa suuremman kokonaisaltistumisen kuin fyysisesti kevyemmässä työssä.

4.2 Case-tutkimukset – palosaneeraajien altistuminen

4.2.1 Case A:n ja case B:n vertailu

4.2.1.1 Sisäilmamittaukset

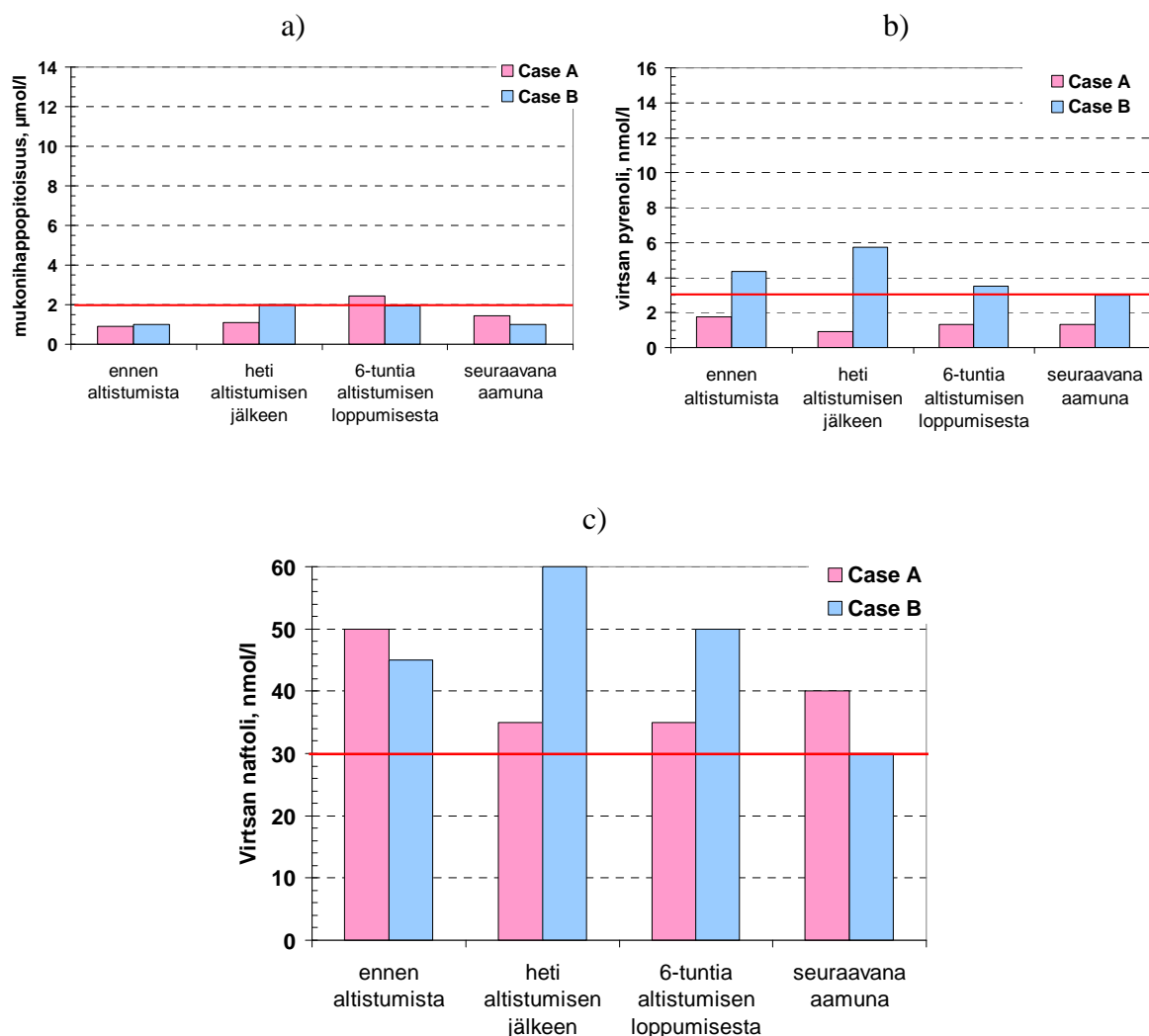
Case A:ssa mitattiin noin 1,5 kertaa suurempi TVOC-pitoisuus kuin case B:ssä. TVOC-arvoon sisältyvät yksittäiset VOC-yhdisteet erosivat eri case-tutkimusten välillä. Case A:ssa mitattiin alifaattisten hiilivetyjen lisäksi suurimpana pitoisuutena pineeniä, joka on puutuotteille tyypillinen yhdiste. Case B:ssä butanolin, styreenin ja 2-etyyliheksanolin pitoisuudet olivat suurimmat. Kyseiset yhdisteet ovat tyypillisiä rakennustuotteille, muun muassa eristeille ja PVC-pinnoitteille tai -liimoille. Bentseenipitoisuus oli molemmissa case-tutkimuksissa lähes samalla tasolla määrätysepävarmuus huomioiden. Sen sijaan case B:ssä mitattiin lähes neljä kertaa suurempi PAH-pitoisuus kuin case A:ssa.

4.2.1.2 Altistuminen haitallisille yhdisteille

Kuvassa 36a on esitetty palosaneeraajien keskimääräiset mukonihappoeritykset case-tutkimuksissa aiemmin esitetyn suosituksen (Tillander et al. 2008) mukaisella suojautumisella (case A) ja hieman suositusta kevyemmällä suojautumisella ilman lyhytaikahaalaria (case B). Lähes kaikki mukonihappoeritykset olivat alle altistumattomien viiterajan tai lievästi sen yli, mikä osoittaa bentseenialtistumisen vähäiseksi käytetyillä suojavarusteilla.

Kuvassa 36b on esitetty palosaneeraajien keskimääräiset pyrenolieritykset case-tutkimuksissa. Suosituksen mukaisella suojautumisella (case A) ei havaittu altistumattomien viiterajan ylittäviä tuloksia. Käytettäessä kevennettyä suojavarustusta (case B) pyrenolieritys lisääntyi työpäivän aikana, mikä osoittaa altistumista pyreneille tai bentso[a]pyreenille tapahtuneen.

Kuvassa 36c on esitetty palosaneeraajien keskimääräiset naftolieritykset case-tutkimuksissa. Suosituksen mukaisella suojautumisella (case A) naftolieritys väheni työpäivän aikana, mutta kevennetyllä suojautumisella (case B) se lisääntyi. Havaittu muutos viittaa siihen, että altistumista naftaleenille on tapahtunut enemmän kevennetyllä suojautumisella (case B).



Kuva 36. Koehenkilöiden keskimääräiset virtsan a) mukonihappoeritykset (U-Mukon), b) pyrenolieritykset (U-Pyr) sekä c) naftolieritykset (U-Naftol) neljässä aikapisteessä case-tutkimuksissa.

Palosaneeraajien kokonaisaltistuminen pyreneille case-tutkimuksissa oli suurempi käytettäessä suosittuun kevennettyä suojavarustusta (case B) kuin suositeltua suojavarustusta (case A) (kuva 36a). Samansuuntaiset tulokset olivat nähtävissä myös naftolierityksen osalta, joissa kevennetty suojautuminen (case B) aiheutti myös suuremmat naftolieritykset (U-Naftol) (kuva 36c). Mukonihappoerityksissä ei suojautumisen muuttaminen aiheuttanut muutoksia kokonaisaltistumisessa bentseenille (kuva 36b).

Yhteenvedona lyhytaikahaalari näyttäisi vähentävän myös saneeraajien kokonaisaltistumista PAH-yhdisteille. Vastaava havainto tehtiin myös palontutkijoiden koko kehon ihoaltistumistutkimuksissa (kuva 26a).

4. Tulosten vertailu

4.2.2 Case-tutkimukset verrattuna vaiheen 1 laboratorikokeisiin

4.2.2.1 Sisäilmamittaukset

Case-tutkimuksissa mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC-pitoisuudet) olivat noin 20–60 % pienemmät kuin vaiheen 1 laboratorikokeissa. Bentseenin pitoisuudet olivat käytännössä samat (määritysepävarmuus huomioiden) laboratorikokeissa ja case-tutkimuksissa. Case A:ssa mitattiin selkeästi alhaisin PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus, joka oli noin 20 % vaiheen 1 laboratorikokeissa mitatuista pitoisuuksista. Case B:n PAH-pitoisuus oli hieman alhaisempi kuin laboratorikokeissa.

4.2.2.2 Altistuminen haitallisille yhdisteille

Vaiheen 1 laboratorikokeissa havaittiin, että koehenkilöiden virtsan mukonihappopitoisuuden keskiarvo nousi kummassakin kokeessa. Tämä osoittaa, että bentseenialtistumista on tapahtunut. Mukonihappopitoisuuden nousu oli suurin heti altistumisen jälkeen otetuissa näytteissä. Myöhemmin otetuissa näytteissä mukonihappopitoisuudet olivat palaamassa kohti ennen altistumista mitattuja arvoja. Virtsan naftolipitoisuuden keskiarvo nousi vaiheen 1 laboratorikokeessa 1, jossa käytettiin kevyempää suojavarustusta, mutta ei kokeessa 2, jossa käytettiin tehostettua suojavarustusta. Kokeen 1 tulos osoittaa altistumista naftaleenille.

Kokeessa 1 havaittu naftolipitoisuuden nousu oli suurin heti altistumisen jälkeen otetuissa näytteissä. Myöhemmin otetuissa näytteissä pitoisuudet palasivat ennen altistumista mitattuihin arvoihin. Virtsan pyrenolipitoisuuden keskiarvo nousi vaiheen 1 molemmissa kokeissa. Tulos osoittaa altistumista pyreneille ja bentso[a]pyreenille.

Kokeessa 1 havaittiin pyrenolipitoisuuden nousseen jo näytteissä, jotka otettiin heti altistumisen jälkeen. Vielä voimakkaampi pitoisuuden nousu havaittiin kuusi tuntia altistumisen päättymisestä otetuissa näytteissä. Kokeessa 2 pitoisuus kasvoi vähemmän, ja sitä havaittiin ainoastaan näytteissä, jotka otettiin kuusi tuntia altistumisen päättymisen jälkeen. Tämä tulos viittaa siihen, että kokeessa 2 käytetty tehostettu suojavarustus on vähentänyt erityisesti hengitysteitse tapahtuvaa altistumista. Seuraavana aamuna otetuissa näytteissä pyrenolipitoisuudet olivat jo pienemässä.

Case A:ssa palosaneeraajat käyttivät vaiheen 1 tuloksena annetun suosituksen mukaista suojautumista. Tällöin virtsan pyrenoli- ja naftolipitoisuuksien keskiarvot eivät kohonneet lainkaan. Mukonihappopitoisuuksien keskiarvo oli hieman noussut näytteessä, joka otettiin kuusi tuntia altistumisen päättymisen jälkeen. Case B:ssä palosaneeraajat eivät käyttäneet lyhytaikahaalaria. Muilta osin suojautuminen oli samanlainen kuin case A:ssa. Case B:ssä sekä pyrenoli- että naftolipitoisuuksien keskiarvot nousivat altistumisen aikana. Mukonihappopitoisuudessa tapahtuneet muutokset eivät poikenneet case A:ssa havaituista muutoksista.

5. Yhteenveto

5.1 Palokokeet ja sisäilmamittaukset

Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuden -tutkimushankkeen toisessa osassa toteutettiin kaksi täysimittaista palokoetta laboratorioolosuhteissa. Palokokeissa jäljiteltiin todellisia asuntopaloja sekä palavien materiaalien että palo-olosuhteiden kannalta. Palokokeita varten rakennettiin noin 24 m²:n suuruinen kipsilevyrakenteinen koetila, joka sisustettiin asuntoa vastaavaksi. Polttokokeet pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman samanlaisina. Lämpötila- ja sisäilmamittausten perusteella tämä tavoite saavutettiin suhteellisen hyvin.

Koetilassa ei palon jälkeen suoritettu saneeraustoimenpiteitä. Kokeen jälkeisenä päivänä koetilassa oleskeli kaksi vapaaehtoista koehenkilöä, jotka suorittivat normaaleja palontutkijan työtehtäviä. Ympäröiviä olosuhteita altistumiskokeen aikana tutkittiin sisäilmanäytteiden ja koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä tehtyjen mittausten avulla. Koehenkilöiden altistumista arvioitiin ihoaltistumis-, käsienpesu- sekä virtsanäytteitä analysoimalla.

5.2 Case-tutkimukset

Tutkimushankkeen vaiheeseen 2 sisältyi kaksi case-tutkimusta todellisissa asuntopalokohteissa. Näiden case-tutkimusten tavoitteena oli todentaa vaiheen 1 (Tillander et al. 2008) laboratorio-kokeiden tuloksia käytännön olosuhteissa ja tarkistaa palosaneeraajille annetun suojautumissuosituksen riittävyys ja asianmukaisuus.

Case-tutkimuksissa kaksi vapaaehtoista koehenkilöä teki normaalia palosaneeraustyötä todellisessa asuntopalokohteessa. Ensimmäisessä case-tutkimuksessa koehenkilöt olivat suojautuneet vaiheen 1 loppuraportissa (Tillander et al. 2008) annettua suojautumissuositusta noudattaen. Jälkimmäisessä casessa suojautumista kevennettiin luopumalla lyhytaikaahaalarin käytöstä. Ympäröiviä olosuhteita saneeraustyön aikana tutkittiin sisäilmanäyttein ja koehenkilöiden altistumista virtsanäytteillä.

5.3 Altistuminen

5.3.1 Yleistä

Palavat materiaalit ja palo-olosuhteet vaikuttavat merkittävästi palossa syntyviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Näin ollen pitoisuudet voivat tietyissä olosuhteissa olla suurempiakin kuin tässä tutkimuksessa mukana olleissa autenttisissa tulipalokohteissa ja erityisesti laboratoriokokeissa. Altistumisriski höyrymäisille PAH-yhdisteille pienenee koko ajan kohteen jälkituuletuksen edetessä. Sitä vastoin hiukkasmaiset PAH-yhdisteet pysyvät pinnoilla pidempään ja altistavat useiden viikkojenkin jälkeen. Mitä aiemmin kohteeseen palon jälkeen siis mennään, sitä tärkeämpää on suojautua.

Työntekijöiden kokonaisaltistumiseen vaikuttavat merkittävästi suojainten lisäksi työntekijän käyttäytyminen työkohteessa ja käytetyt työmenetelmät. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset pohjautuvat varsin pieneen otokseen palosaneeraajista ja palontutkijoista, joten edellä mainittujen tekijöiden merkitystä kokonaisaltistumiseen ei ollut tällä kertaa mahdollista selvittää.

5.3.2 Palontutkijat

Palontutkijoiden hengitystiealtistumista tarkasteltaessa havaittiin, että altistumiskokeessa, jossa koehenkilöt eivät käyttäneet hengityksensuojainta, koehenkilöiden naftolieritykset keskimääräisesti nousivat (heti työpäivän jälkeen otetussa näytteessä). Vastaavaa nousua ei havaittu kokeessa, jossa koehenkilöt käyttivät moottoroitua hengityksensuojainta. Palontutkijat kokivat moottoridun hengityksensuojaimen myös miellyttäväksi käyttäen.

Koehenkilöiden käyttäessä lyhytaikahaalaria PAH-yhdisteiden määrä ihon pinnalla väheni verrattuna tilanteeseen, jossa lyhytaikahaalari ei ollut käytössä. Lyhytaikahaalari pitkähihaisten ja -lahkeisten työvaatteiden päällä suojasi siis paremmin koko kehon kautta altistavilta PAH-yhdisteilä kuin puuvillahaalari. Lyhytaikahaalari estää myös alla olevan vaatetuksen nokeentumista, jolloin syöpävaarallisen noen siirtyminen henkilön mukana palokohteen ulkopuolelle estyy ja ulkopuolisten ihmisten altistumisriski pienenee.

Tutkimuksessa tuli selvästi esille käytettyjen käsineiden vaikutus altistumiseen. Kun koehenkilöt käyttivät nahkakäsineiden sijaan kemikaalisuojakäsineitä, käsien pinnalta mitattujen PAH-yhdisteiden määrä oli lähes 70 % pienempi. Näin ollen palontutkijoille suositellaan sekä kuiviin että märkiin olosuhteisiin tiiviitä suojakäsineitä, jotka eivät päästä nokea iholle. Suojakäsineiden miellyttävyyttä voidaan lisätä aluskäsineiden avulla, jotka voivat paitsi entisestään vähentää altistumista myös suojata varsinaisen suojakäsineen aiheuttamilta iho-oireilta. Toinen tärkeä asia käsien kautta tulevan altistumisen vähentämiseksi ja käsien kautta välittyvän kontaminaation välttämiseksi on henkilökohtainen hygienia. Peseytyminen heti altistumisen jälkeen vähentää merkittävästi ihoaltistumisen kautta tulevaa altistumiskuormaa.

Koehenkilöiden kokonaisaltistuminen oli hieman pienempää suojauduttaessa paremmin. Suurimmat naftolieritykset mitattiin kuusi tuntia altistumisen päättymisestä tai jopa myöhemmin, mikä yleensä viittaa altistumiseen ihon kautta. Virtsan mukonihappoeritysten mukaan koehenki-

löiden bentseenialtistuminen oli vähäistä: kaikki mitatut eritykset olivat alle altistumattomien viiterajan.

Kokonaisuudessaan palontutkijoiden altistuminen mitatuille altisteille oli enintään lievää. Palontutkijoiden kokonaisaltistumisen vähäisyyteen palosaneeraajien altistumiseen verrattuna vaikuttaa varmasti töiden erilaisuus: palosaneeraajien työ on fyysisesti rankempaa. Rankassa palosaneeraustyössä työntekijä hengittää tiheämmin ja joutuu myös enemmän kosketuksiin likaantuneiden pintojen kanssa, minkä vuoksi epäpuhtauksia joutuu elimistöön enemmän. Näin ollen altistuminen samalle pitoisuudelle fyysisesti raskaassa työssä tuottaa suuremman kokonaisaltistumisen kuin fyysisesti kevyemmässä työssä.

5.3.3 Palosaneeraajat – case-tutkimukset

Palosaneeraajien kokonaisaltistuminen pyreeneille case-tutkimuksissa oli suurempi käytettäessä kevennettyä suojarustusta (case B) kuin suositeltua suojarustusta (case A). Tulokset olivat samansuuntaiset myös naftolierityksen osalta. Mukonihappoerityksissä ei nähty suojautumisen keventämisen aiheuttavan muutoksia kokonaisaltistumisessa bentseenille. Yhteenvetona lyhytaikahaalari näyttäisi vähentävän myös palosaneeraajien kokonaisaltistumista PAH-yhdisteille. Vastaava havainto tehtiin palontutkijoiden koko kehon ihoaltistumistutkimuksissa.

5.4 Suojautumissuositus

5.4.1 Palosaneeraajat

Palosaneeraajille suosittelemme vähintään tutkimuksemme vaiheessa 1 suositeltua suojautumista. Uusien tulosten perusteella näyttää siltä, että lyhytaikahaalarin lisääminen suojarustukseen antaa vielä paremman suojauksen. Kemikaalisuojakäsineiden käyttö myös kuivatyövaiheessa vähentää käsien kautta tapahtuvaa altistumista. Työntekijöiden korvien suojaukseen ilman epäpuhtauksilta suosittelemme joko lyhytaikahaalarin huppua tai kuulosuojaintulppia. Hupun käytöstä on seurauksena suurempi lämpökuormitus, joten käytännöllisempi vaihtoehto on korvatulpat.

5.4.2 Palontutkijat

Suositlemme palontutkijoille moottoroituja hengityksensuojaimia, joissa on vähintään A2-luokan kaasusuodatin ja P3-luokan hiukkassuodatin. Koko keho tulee suojata vähintään puuvillaisella pitkähihaisella ja -lahkeisella suojahaalarilla sekä lyhytaikahaalarilla. Lämpökuorman vähentämiseksi lämpimissä olosuhteissa lyhytaikahaalareiden alla voi käyttää myös pelkästään urheilukerrastoa. Kuivatyövaiheessa kädet tulee suojata tiiviillä kemikaalikäsineillä, joissa on tiivis resori ranteessa tai noen pääsy käsineen sisään muutoin estetty. Kemikaalikäsineiden tarve korostuu, kun työskentelykohde on märkä.

5. Yhteenveto

5.4.3 Vahinkotarkastajat ja kiinteistön edustajat

Vahinkotarkastajien ja kiinteistön edustajien tulisi käyttää vähintään hengityksensuojainta, joka on varustettu puolinaamarilla ja A2P3-luokan yhdistelmäsuodattimella, sekä käsineitä ja lyhytaikahaalaria vieraillessaan palokohteessa tarpeettoman henkilökohtaisen altistumisen ehkäisemiseksi.

5.5 Altistumisen seuraaminen

Suosittelimme palosaneeraajien altistumisen rutiiniarviointiin virtsan pyrenolia (U-Pyr), naftolia (U-Naftol) ja mukonihappoa (U-Mukon). Ennen varsinaista altistumista otetaan ns. nollanäyte tausta-altistumisen (koti, työmatka, harrasteet, tupakointi) selvittämiseksi. Mikäli epäillään altistumisen tapahtuvan erityisesti hengitysteitse, paras näytteenottoaika toiselle pyrenoli- ja naftolinäytteelle on heti altistumisen jälkeen. Mikäli epäillään, että myös ihoaltistuminen on mahdollista, suosittelemme vielä kolmannen näytteen antamista joko kuusi tuntia altistumisen jälkeen tai seuraavana aamuna. Selvitettäessä bentseenialtistumista näyte ennen altistumista ja heti altistumisen jälkeen riittää.

Saneeraajat altistuvat työssään syöpävaarallisille aineille, joten heidän terveydentilaansa tulee seurata tehostetusti. Mikäli he altistuvat työssään noelle vähintään 20 päivänä vuodessa, heidän on ilmoitettava ASA-rekisteriin.

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

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. *Int Arch Occup Environ Health* 62: 529–534.
- Jongeneelen F. J., Anzion R. B. M. & Henderson P. 1987. The determination of hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine. *J. Chromatogr.* 413: 227–232.
- Keiming S. D. & Morgan D. P. 1986. Urinary 1-naphthol as a biological indicator of naphthalene exposure. *Appl. Ind Hyg.* 1: 61–65.
- 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. *J. Chromatogr. A*; 699: 49–57.
- STM 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö. HTP-arvot 2009. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2009:11. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.
- Tillander, K., Järnström, H., Hakkarainen, T., Laitinen, J., Mäkelä, M. & Oksa, P. 2008. Palokoh-teiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen. Poltto-kokeet ja altistumisen arviointi. Espoo, VTT. 67 s. VTT Working Papers; 103. ISBN 978-951-38-7164-2. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2008/W103.pdf>.



Julkaisun sarja, numero ja
raporttikoodi

VTT Tiedotteita 2512
VTT-TIED-2512

Tekijä(t) Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Tuomas Paloposki, Helena Järnström, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa		
Nimeke Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2 Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi		
Tiivistelmä VTT ja Työterveyslaitos toteuttivat vuosina 2007–2009 kaksiosaisen hankekokonaisuuden ”Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen”. Hankekokonaisuudessa tutkittiin asutopalokohteissa palon jälkeen työskentelevien ihmisten altistumista terveydelle haitallisille yhdisteille ja etsittiin tarkoituksenmukaisia keinoja altistumiselta suojautumiseen. Tulosten perusteella on kehitetty suojavaatetusta ja -varustusta koskeva ohjeistus. Hankekokonaisuuden ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin palosaneeraajien altistumista ja suojautumiskeinoja laboratorioskokeissa. Ensimmäisen vaiheen tulokset on julkaistu erillisessä raportissa. Tässä raportissa kuvataan hankekokonaisuuden jälkimmäinen vaihe, jossa suoritettiin kaksi täyden mittakaavan palokoetta laboratorio-olosuhteissa sekä kaksi case-tutkimusta. Laboratorioskokeiden tarkoituksena oli arvioida palokohteessa ennen saneeraustyötä vierailevien ihmisten altistumista ja suojautumiskeinoja. Case-tutkimukset toteutettiin todellisten tulipalojen jälkisaneeraustyömailla. Case-tutkimusten tavoitteena oli todentaa hankekokonaisuuden ensimmäisessä vaiheessa suoritettujen laboratorioskokeiden tuloksia käytännön olosuhteissa ja tarkistaa ensimmäisen vaiheen perusteella annetun suojautumissuosituksen tarkoituksenmukaisuus.		
ISBN 978-951-38-7540-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 24391
Julkaisuaika Joulukuu 2009	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 59 s.
Projektin nimi Palosavu ja työturvallisuus 2		Toimeksiantaja(t) Työsuojelurahasto, Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry, Vakuutusalojen tekniset tarkastajat ry, PS-Palosaneeraus Oy, Skydda Suomi Oy, Munters Oy, Lassila & Tikanoja Oyj, JVT- ja Pesutekniikka Oy, ISS Palvelut Oy Vahinkosaneeraus, If Vahinkovakuutusyhtiö Oy, Pohjola Vakuutus Oy, Keskinäinen Vakuutusyhtiö Tapiola, Suomen Kiinteistöliitto ry, Suomen Terveystalo Oy, VTT
Avainsanat Protection, fire restoration, residential fire, fire, exposure, smoke, soot, occupational safety		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2512
VTT-TIED-2512

Author(s) Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström, Tuomas Paloposki, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa		
Title Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety, part 2 Fire tests, case studies and evaluation of exposure		
Abstract VTT and Finnish Institute of Occupational Health carried out a research program named "Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety" in 2007–2009. The objective of the program was to evaluate the exposure of people working in fire sites to harmful chemical compounds and to evaluate the effectiveness of protective measures. The results have been used to develop guidelines regarding protective clothing and equipment. During the first phase of the research program, the main focus was on the exposure and protection of fire restoration workers. Two full-scale laboratory experiments were carried out. The results of the first phase have been published in a separate report. This report describes the second phase of the research program. In the second phase, the main focus was on fire investigators and other people working in fire sites before fire restoration. Two full-scale laboratory experiments were performed. In addition, two case studies were carried out during fire restoration of real fire sites in order to verify the results of the first phase laboratory experiments.		
ISBN 978-951-38-7540-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 24391
Date December 2009	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 59 p.
Name of project Smoke, soot and chemical contamination of fire sites and their effects on occupational safety, part 2	Commissioned by The Finnish Work Environment Fund, 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, If Vahinkovakuutusyhtiö Oy, Pohjola Vakuutus Oy, Keskinäinen Vakuutusyhtiö Tapiola, Suomen Kiinteistöliitto ry, Suomen Terveystalo Oy, VTT Technical Research Centre of Finland	
Keywords Protection, fire restoration, residential fire, fire, exposure, smoke, soot, occupational safety	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374	

VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2499 Kirsi Korpijärvi, Ulla-Maija Mroueh, Elina Merta, Jutta Laine-Ylijoki, Harri Kivikoski, Eliisa Järvelä, Margareta Wahlström & Esa Mäkelä. Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. 2009. 75 s. + liitt. 19 s.
- 2500 Esa Sipilä, Jürgen Vehlow, Pasi Vainikka, Carl Wilén & Kai Sipilä. 2009. Market potential of high efficiency CHP and waste based ethanol in European pulp and paper industry. 2009. 73 p.
- 2501 Jari Konttinen, Nina Suvinen & Mika Nieminen. Välittäjäorganisaatiot tutkimuslähtöisen yritystoiminnan edistäjänä. 2009. 74 s.
- 2502 Tommi Kaartinen, Paula Eskola, Elina Vestola, Elina Merta & Ulla-Maija Mroueh. Uudet jätteenkäsittely-keskusten vesienhallintatekniikat. 2009. 94 s. + liitt. 11 s.
- 2503 Sebastian Teir, Eemeli Tsupari, Tiina Koljonen, Toni Pikkarainen, Lauri Kujanpää, Antti Arasto, Antti Tourunen, Janne Kärki, Matti Nieminen & Soile Aatos. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS). 2009. 61 s.
- 2504 Sirkku Kivisaari, Lauri Kokkinen, Juhani Lehto & Eveliina Saari. Sosiaali- ja terveydenhuollon systeemisen innovaation johtaminen – kahden tapaustutkimuksen opetuksia. 2009. 69 s. + liitt. 16 s.
- 2505 Annele Eerola & Torsti Loikkanen. Governance and Research of Nordic Energy System Transition. Summary Report of the GoReNEST project. 2009. 45 p. + app. 3 p.
- 2506 Pertti Koukkari (ed.). Advanced Gibbs Energy Methods for Functional Materials and Processes. ChemSheet 1999–2009. 2009. 145 p.
- 2507 Kati Koponen, Sampo Soimakallio & Esa Sipilä. Assessing the greenhouse gas emissions of waste-derived ethanol in accordance with the EU RED methodology for biofuels. 2009. 42 p. + app. 7 p.
- 2508 Pentti Vähä, Jari Kettunen, Tapani Ryyänen, Minna Halonen, Jouko Myllyoja, Matti Kokkala, Maria Antikainen & Jari Kaikkonen. Palvelut muokkaavat kaikkia toimialoja. Palveluliiketoiminnan toimialakohtaiset tiekartat. 2009. 128 s.
- 2509 Maija Ruska & Göran Koreneff. Ydinvoimalaitoshankkeiden vaikutukset kilpailuun sähkömarkkinoilla. 2009. 57 s. + liitt. 12 s.
- 2510 Jyrki Poikkimäki, Katri Valkokari & Juha-Pekka Anttila. Teräspalvelutoiminnan tulevaisuus Suomessa. 2009. 48 s. + liitt. 21 s.
- 2511 Minna Kurkela (ed.). Advanced Biomass Gasification for High-Efficiency Power. Publishable Final Activity Report of BiGPower Project. 2009. 53 p.
- 2512 Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström, Tuomas Paloposki, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2. Polttokokeet, case-tapaukset tutkimukset ja altistumisen arviointi. 2009. 59 s.
- 2513 Krzysztof Klobut, Jorma Heikkinen, Jari Shemeikka, Ari Laitinen, Miika Rämä & Kari Sipilä. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. 2009. 68 s.