



**Työterveyslaitos**

## Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa työssä



Juha Laitinen, Harri Lindholm, Marjaleena Aatamila, Sirpa Hyttinen ja  
Pii Karisola

Työterveyslaitos

Helsinki 2016

Työterveyslaitos

Topeliuksenkatu 41 a A

00250 Helsinki

[www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)

Valokuvat: Juha Laitinen ja Marjaleena Aatamila

Kansi: Mainostoimisto Albert Hall Finland Oy Ltd

© 2016 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston ja Palosuojelurahaston tuella

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-644-9 (pdf)

ISBN 978-952-261-645-6 (nid)

JUVENES PRINT –SUOMEN YLIOPISTOPAINO OY 2016

## ESIPUHE

Tämä tutkimus sai alkunsa Palomiesliiton, Palopäälystöliiton, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön ja Pelastusopiston yhdistettyä voimansa hankkeen taakse. Näiden toimijoiden tuen lisäksi tutkimusryhmä haluaa kiittää myös hankkeen johtoryhmän jäseniä: Palomiesliiton Kim Nikulaa, Pasi Jaakkolaa ja Anne Lindbergiä, Palopäälystöliiton Ari Keijosta, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön Petri Jaatista ja Pelastusopiston Ismo Huttua. Kiitokset ansaitsevat myös hankkeessa mukana olevia Pelastuslaitoksia johtoryhmässä edustaneet Pohjois-Savon Pelastuslaitoksen Paavo Tiitta ja Jukka Koponen, Keski-Suomen Pelastuslaitoksen Jarkke Lahti ja Miika Kuivalainen, Keski-Uudenmaan Pelastuslaitoksen Jyrki Landstedt, Pekka Väskä ja Juha Höök sekä Helsingin Pelastuslaitoksen Taisto Hakala, Jorma Lilja ja Mikko Laine. Ilman heidän arvokkaita kommenttejaan ei hankkeesta olisi tullut näin kattava kuin se nyt on. Kiitos kuuluu myös Työsuojelurahaston puolesta hanketta valvoneelle Anne-Marie Kurkalle. Haluamme myös kiittää paloasemien yhteyshenkilöitä, jotka välittävät tietoa tutkimusryhmän ja koehenkilöiden välillä hankkeen onnistumiseksi.

Tutkimuksen mittausosuus toteutettiin Pohjois-Savon Pelastuslaitoksen Neulamäen paloasemalla, Keski-Suomen Pelastuslaitoksen pääpaloasemalla ja Seppälän sekä Vaajakosken paloasemilla, Keski-Uudenmaan Pelastuslaitoksen Havukosken paloasemalla ja Helsingin Pelastuslaitoksen Malmin pelastusasemalla. Tutkimusta rahoittivat Palosuojelurahasto, Työsuojelurahasto ja Työterveyslaitos sekä kaikki mukana olevat pelastuslaitokset omalla resurssipanostuksellaan. Hankkeen saamasta rahallisesta tuesta haluamme kiittää lämpimästi kaikkia mukana olleita rahoittajia.

Suurimmat kiitokset haluamme osoittaa kaikille tutkimukseen osallistuneille koehenkilöille, ilman teitä tätä tutkimusta ei olisi ollut mahdollista tehdä. Haluamme kiittää myös erityisasiantuntija Maria Hirvosta tilastollisista ajoista ja kemian laboratorion henkilökuntaa lukuisista kemiallisista analyyseistä.

Kuopiossa 22.5.2016

Tutkimusryhmä

## TIIVISTELMÄ

”Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa toiminnassa” -hankkeessa selvitettiin palomiesten altistumista kemiallisille aineille eri altistumisreittien kautta. Lisäksi siinä etsittiin tekijöitä, jotka lisäävät palomiesten kokonaisaltistumista ja kuinka heidän elimistö reagoi ärsyttäviin kemiallisiin altisteisiin ja fyysiseen stressiin sammutustehtävän aikana ja sen jälkeen. Hankkeessa pyrittiin myös arvioimaan täyttyvätkö kriteerit operatiivisessa työssä palomiesten ilmoittamiselle syöpävaarallisille aineille työssään altistuvien rekisteriin (ASA-rekisteri). Näiden lisäksi savusukeltajien potentiaalista hengitystiealtistumista mitattiin savusukelluksen aikana, paloautosta palattaessa paloasemalle ja sammutusajun säilytystilasta hälytyksen jälkeen. Palosta peräisin olevien kemiallisten aineiden leviämistä paloasemalla arvioitiin sisäilmamittausten avulla normaalin asemapalvelun aikana.

Vapaaehtoisina koehenkilöinä hankkeessa toimivat mukana olleiden paloasemien päivystävät savusukellusparit. Mittaukset toteutettiin Pohjois-Savon, Keski-Suomen, Keski-Uudenmaan ja Helsingin Pelastuslaitoksilla, yhteensä kuudella paloasemalla. Hankkeessa tutkittavat sammutustehtävät oli rajattu huoneistopaloihin, joissa sammutus oli viivästynyt ja osin rakenteita oli jo tuhoutunut. Hankkeen tavoitteena oli myös arvioida, vähentääkö Skellefteå-mallin noudattaminen palomiesten altistumista operatiivisessa työssä perinteiseen toimintamalliin verrattuna. Tellervonkadun tapauksessa arvioitiin myös muidenkin sammutustehtävään osallistuvien kuin savusukeltajien riskiä saada altistumisen aiheuttamia oireita ja muutoksia keuhko- ja tulehdusvasteissa huoneistopalon jälkeen. Samalla tuotettiin tietoa kuinka sammutusajut puhdistuivat normaalissa teollisuuspesukoneessa normaalia sammutuspuvun pesuohjetta noudattaen.

Palopaikalta mitatut akroleiinin, bentseenin, formaldehydin ja furfuraalin pitoisuudet olivat korkeita ja vastasivat savusukelluksen aikana perinteisestä savusukellussimulaattorista mitattuja pitoisuuksia. Formaldehydin pitoisuudet operatiivisessa toiminnassa olivat jopa hieman korkeammat kuin harjoituksissa. Paloautossa ja paloasemien sisäilmassa oli hälytyksen jälkeen havaittavissa palossa syntyviä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Hyvän teollisuusilman tavoitearvot ylittyivät normaalin asemapalvelun aikana paloautossa ja paineilmalaitteiden huollossa. Palosta peräisin olevien kemiallisten aineiden pitoisuudet vähenivät menettäessä kohti puhtaampia tiloja ja miehistötiloissa pitoisuudet täyttivät puhtaan sisäilman viitearvon haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta. Palomiesten kokonaisaltistuminen polysyklisille aromaattisille hiilivedyille oli erittäin korkea. Jo 21 - 60 minuuttia savusukelta-neilla perinteistä toimintamallia noudattavilta koehenkilöillä, keskimääräinen naftaleenialtistuminen oli suurempi kuin suurin mitattu 2-naftolipitoisuus vuoden 2012 biomonitoroin-

titilaston mukaan huomioiden kaikki työalat. Pitoisuudet nousivat entisestään yli tunnin savusukeltaneiden joukossa, joiden naftaleenialtistuminen oli keskimäärin 3,9 –kertainen suurimpaan mitattuun pitoisuuteen nähden. Suurimmat pyreeni- ja bentseenialtistumiset ylittivät toimenpiderajan, joka tarkoittaa että työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijän altistumisen vähentämiseksi. Altistumisen lisäksi palomiehiltä mitattiin tulehdusvasteita, jotka osoittivat että pidempään savusukellusaikaan liittyi voimakkaampi suojaavien ja mahdollisesti pitkäaikaisvaikutuksia aiheuttavien tulehdusvasteiden nousu. Bentseenialtistumisen lisääntyessä todettiin myös fyysistä stressiä kuvaavien stressihormonitasojen nousseen.

Palomiesten kokonaisaltistumiseen vaikuttavia tekijöitä huoneistopaloissa olivat savusukellusaika, raivausaika, tilanteen kokonaiskesto, sammutusasun pitoaika ja kalustonhuolto. Näin ollen palomiesten kokonaisaltistumisen vähentämisessä tulee tulevaisuudessa erityisesti kiinnittää huomiota palomiesten altistumisen vähentämiseen sammutustehtävässä ja myös kalustonhuollossa.

Skellefteå-mallin mukaisesti toimivilla palomiehillä kokonaisaltistuminen ja käsien kautta tuleva altistuminen polysyklisille aromaattisille yhdisteille oli pienempi. Tulokset osoittivat Skellefteå-mallin sopivan uusien altistumista vähentävien toimintaohjeiden pohjaksi, mutta mallia täytyy päivittää tutkimuksessa nousseiden tarpeiden mukaan. Huoneistopalojen sammutustilanteisiin kaivataan myös kemikaalipaloista tuttua suojavyöhykejattelua, jolloin pelastustoiminnan johtaja määrittelee heti vaarallisen, vaarallisen ja suoja-alueen kohteen ympärille. Vyöhykkeille on määritelty suojautumistasot ja niillä sallittu toiminta. Kalustonhuolto nousi yhtenä tilastollisesti merkittävänä kokonaisaltistumiseen vaikuttavana tekijänä esiin, joten suojautumiseen kyseissä työvaiheessa tulee kiinnittää tulevaisuudessa enemmän huomiota. Kalustonhuollossa tarvittavat suojautumis- ja puhdistustehokkuusosuusositukset suosittelemme liitettäväksi paloluokkaan, missä huollettavat ja puhdistettavat varusteet ovat kontaminoituneet. Mitä likaisemmasta luokasta on kysymys, sitä parempaa suojausta ja tehokkaampaa puhdistustekniikkaa kalustonhuollossa tulee noudattaa.

Palomiehet altistuvat syöpävaarallisille aineille työssään, jonka vuoksi heidän altistumista ja terveydentilaa on seurattava tehostetusti. Altistumisen seurannan ensimmäisiä askeleita ovat operatiivisessa kenttätoiminnassa vaikuttavien palomiesten ilmoittaminen ASA-rekisteriin ja heidän altistumisen rekisteröinti yksilötasolla yhteiseen sovittuun tietokantaan kaikkien altistavien työvaiheiden osalta. Näin olisi mahdollista päästä kiinni palomiesten todellisiin altistumistunteihin savusukellusaikojen lisäksi, kuten liikennevahinkojen, metsäpalojen ja vaarallisten aineiden onnettomuuksien sekä kalustolle ja sammutusasusteille tehtävien huoltojen osalta. Palomiehen tehostettu terveydentilan seurannan tulee sisältää mm. enemmän ennaltaehkäisevää työtä, kuten aktiivista informointia palomiesten terveyttä uh-

kaavista vaaroista operatiivisessa työssä sekä myös heidän elintapojen merkityksestä kokonaisaltistumisen hallinnassa. Tehostetun seurannan yksi tärkeimmistä tavoitteista on parantaa mahdollisen syöpätapauksen nopeampaa toteamista ja siten myös parantaa toipumisennustetta. Mikäli sammutustehtävän aikana palomies altistuu ja saa oireita suosittelemme hänen altistumisen arviointia virtsan 2-naftoli- ja 1-pyrenolimääritysten avulla heti altistumisen jälkeen. Hänen oireilua tulee seurata oirekyselyin ja keuhkofunktiomittauksin, mutta mikäli hänen oireet ei helpota viikon aikana, tulee hänet siirtää jatkoselvityksiin.

Tellervonkadun tapaus todisti suojavyöhykejattelun tarpeellisuuden myös huoneistopaloissa. Sammutustehtävässä savusukeltajia huonommin suojautuneilla palomiehillä muutokset keuhkojen toiminnassa ja tulehdusvasteissa olivat merkittävämmät kuin savusukeltajilla. Osa palomiehistä hakeutui sairaalahoitoon altistumisen seurauksena palopaikalta ja osa heistä sai vakavia oireita huoltaessaan varusteita. Näin ollen varusteiden huollossa tarvittavan suojaustason liittäminen varusteita altistaneeseen paloluokkaan parantaa altistumisen hallintaa erilaisissa huoltotilanteissa. Varusteiden puhdistus erikseen sammutusasusteille varatuissa pesukoneissa oli erityisen tärkeää tässä tapauksessa, jolloin varusteisiin tarttunutta epäpuhtautta ei enää siirretty eteenpäin. Tämä on myös erittäin tärkeää altistuttaessa pelastustehtävässä esimerkiksi asbestille. Sammutusasuille tarkoitettussa pesussa sammutusasut puhdistuivat hyvin vesiliukoisten kemikaalien ja kohtalaisesti myös rasvaliukoisten kemikaalien osalta.

## ABSTRACT

The project “Can the Skellefteå model reduce firefighters’ exposure to chemical agents in operative work?” analysed firefighters’ exposure to chemical agents through different exposure routes. In addition to this, factors that increased firefighters’ total exposure were evaluated, as well as how chemical exposure affected firefighters’ inflammation and stress markers after firefighting tasks. Because firefighters might also be exposed to carcinogenic agents during their work tasks, the project assessed whether the criteria were fulfilled to register firefighters to the ASA registry for workers whose health must be monitored more precisely due to increased risk of cancer. Smoke divers’ potential inhalation exposure was measured during smoke diving, during their return to the fire station from the fire truck and in the room where they store their firefighting garments. The spreading risk of chemical agents from the dirty area to the clean area at the fire station was evaluated during normal fire station service.

Smoke divers from the rescue departments of North-Savo, Middle-Finland, West-Uusimaa and Helsinki served as volunteer test subjects. In this project, all fires studied were limited to residential fires, where structures were already damaged. One of the aims of the study was to evaluate whether the Skellefteå model could reduce firefighters’ exposure compared to the conventional model. The sub-project “case Tellervonkatu” also analysed the symptoms of other firefighters than smoke divers after the extinguishing task in a residential fire. At the same time, the project produced information about the cleaning performance of washing machines when washing firefighting garments using the normal washing program.

The measured air concentrations of acrolein, benzene, formaldehyde and furfural during smoke diving were high in operative work and corresponded to the measured level from conventional smoke diving simulators during trainings. With regard to formaldehyde, air concentrations in operative work were higher than in training conditions. In fire trucks and fire stations after tasks, a significant amount of chemical agents from the fire was found. The target value for good industrial air, established by the Finnish Institute of Occupational Health, was exceeded inside cleaned fire truck as well as in the maintenance room for compressed air equipment during normal fire station service. The amounts of chemicals from fire decreased while entering the clean area from the dirty area at the fire station. The reference value for indoor air was achieved in all clean areas at all measured fire stations. Firefighters’ total exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon was high. Firefighters who smoke dived for 21–60 minutes showed higher average urinary metabolite concentrations of naphthalene than the highest result from all industries according to the statistic of Finnish Institute of Occupational Health from 2012. Those who smoke dived for longer than 60 minutes showed a 3,9-fold higher urinary excretion on average than the highest result from

all industries in Finland. The highest metabolite concentrations of pyrenes and benzene exceeded the action limit value, which means that employers must immediately make improvements to decrease workers' exposure to carcinogenic agents. In addition, firefighters' inflammation markers were measured and the increased levels of protective and long-term effects causing markers seemed to correlate with smoke diving times. Firefighters' benzene exposure correlated with the increase of physical stress as indicated by stress hormones.

Factors increasing firefighters' total exposure were smoke diving time, clearing time, duration of the whole situation, time spent wearing the firefighting garment and maintenance of firefighting equipment. Hence, firefighters must pay attention to their exposure during the firefighting task and maintenance of firefighting equipment if they want to decrease their total exposure in future.

The tested firefighters who followed the Skellefteå model in their work tasks had lower total exposure and hand exposure to the polycyclic aromatic hydrocarbons than firefighters who followed the conventional model. Hence, the Skellefteå model seems suitable as a basis for the new directives to reduce firefighters' exposure, but the model must be updated according to the needs of Finnish rescue departments. For example, for the residential fires, a "protection zone" way of thinking is required, as is the case in chemical fires. The firefighter in charge of the fire situation defines three areas around the fire: immediately dangerous, dangerous and protection zones. For each areas, the protection levels for workers are defined, as well as the activities allowed in the area. Fire equipment maintenance was one important factor affecting firefighters' total exposure. For this reason, more attention must be paid to firefighters' exposure during maintenance tasks. Recommendations for the protection level and cleaning technology used for the fire equipment must be linked to the fire class in which the equipment has been contaminated before maintenance activities. The more contaminant-heavy class, the better protection and more efficient cleaning technology must be followed in equipment maintenance.

Firefighters are exposed to carcinogenic substances at work and for this reason, their exposure and health condition are monitored intensively. The first step of exposure monitoring is to register firefighters who work actively in the operative field operations in the ASA registry. Their individual exposure must also be registered in the database covering all stages of exposure. This way, it will be possible to monitor firefighters' real exposure times during residential fires, traffic accidents, forest fires, accidents involving hazardous materials and maintenance of firefighting equipment. Enhanced monitoring of firefighters' health status includes an active discussion about firefighters' health risks in operative work with occupational health doctors and nurses, as well as the importance of firefighters' lifestyle in managing the total body burden of carcinogenic agents. Enhanced follow-up also means faster detection of potential cancer cases and the consequent better prognosis for recovery.



If a firefighter is exposed heavily during a firefighting task and shows symptoms, our recommendation is to measure his/her urinary 2-naphthol and 1-pyrenol concentrations immediately after exposure. The symptoms should be monitored using a symptom questionnaire and lung function measurements. If the symptoms do not improve in a week, the firefighter must undergo further investigations.

The Tellervonkatu case proved the necessity of the “protection zone” way of thinking also in residential fires. During the firefighting task, the worst protected firefighters showed the worst symptoms and their inflammatory responses were higher than those of the better protected smoke divers after their mission. Some of the firefighters went into hospital as a result of exposure at the fire site and some of them suffered severe symptoms during maintenance of fire equipment. Thus, connecting the protection level and cleaning technology to the fire class in which equipment are contaminated would improve the management of exposure in various maintenance situations. Transportation of contaminated firefighting garments in self-melting bags would have prevented firefighters’ exposure during maintenance, because they would have been able to transfer the closed bags directly to the machine without opening them. In this case, a washing machine reserved only for firefighting garments was particularly important, because the chemicals causing an adverse effect should not be spread further. The washing program intended for firefighting garments showed good cleaning results for water-soluble agents and moderate results for solvent-soluble chemical agents from fire.

# SISÄLLYS

1	Tutkimuksen tausta .....	13
2	Tutkimuksen tavoitteet .....	18
3	Aineisto ja menetelmät .....	19
3.1	Aineisto .....	19
3.1.1	Näytteenoton organisointi.....	19
3.1.2	Tutkittujen tulipalojen ominaispiirteet .....	19
3.1.3	Altistumiseen vaikuttavat taustatiedot .....	19
3.1.4	Kenttämittaukset .....	20
3.1.5	Paloasemien ja paloautojen sisäilmamittaukset .....	21
3.1.6	Tellervonkadun tapaus.....	21
3.2	Menetelmät.....	22
3.2.1	Taustatietokysely tutkittaville palomiehille ja paloesimiehille.....	22
3.2.2	Materiaalinäytteet .....	22
3.2.3	Ilmanäytteet ja pyyhintänäytteet.....	22
3.2.4	Ihoaltistumismittaukset ja pyyhintänäytteet .....	23
3.2.5	Kokonaisaltistumisen arviointi .....	23
3.2.6	Altistumisen vaikutusten arviointi.....	24
3.2.7	Tellervonkadun tapaus.....	24
3.2.8	Tilastolliset ajot.....	25
4	Tulokset.....	26
4.1	Materiaalinäytteet .....	26
4.2	Kenttämittaukset .....	27

4.3	Tutkittujen palomiesten luokittelu .....	28
4.4	Ihoaltistuminen.....	29
4.5	Kokonaisaltistuminen.....	30
4.5.1	Virtsan 2-naftoli ja 1-pyrenoli.....	30
4.5.2	Virtsan mukonihappo.....	31
4.5.3	Virtsan metallipitoisuudet .....	32
4.5.4	Veren metallipitoisuudet.....	33
4.5.5	Virtsan tiosityanaattipitoisuudet.....	33
4.6	Altistumisen vaikutukset.....	33
4.7	Paloasemien ja palo-autojen sisäilman laatu .....	35
4.8	Tellervonkadun tapaus.....	36
4.8.1	Oirekysely .....	36
4.8.1	Keuhkovasteet.....	37
4.8.2	Sammutuspuvun puhdistumistesti .....	39
5	Tulosten tarkastelu .....	40
5.1	Kemialliset altisteet kenttämittauksissa.....	40
5.1.1	Materiaalinäytteet .....	40
5.1.2	Ilman laatu savusukelluksessa .....	40
5.1.3	Paloauton ja sammutusasujen säilytystilan ilman laatu.....	43
5.2	Kokonaisaltistumiseen vaikuttavat tekijät.....	43
5.3	Tutkittujen palomiesten luokittelu .....	44
5.4	Ihoaltistuminen.....	45
5.4.1	Käsien kautta tuleva altistuminen .....	45
5.4.2	Sammutuspuvun alta iholta mitatut pitoisuudet .....	48
5.5	Palomiesten kokonaisaltistuminen.....	49
5.5.1	Virtsan 2-naftoli .....	49
5.5.2	Virtsan 1-pyrenoli.....	50

5.5.3	Virtsan mukonihappo.....	51
5.5.4	Virtsan ja veren metallit .....	51
5.5.5	Virtsan tiosyanaatti.....	52
5.6	Tellervonkadun tapaus.....	52
5.7	Paloasemien ja paloautojen sisäilman laatu .....	53
5.8	Altistumisen vaikutukset.....	54
5.9	Kemiallista altistumista vähentävät hyvät käytännöt palomiehen työssä.....	56
5.9.1	Skellefteå-mallin soveltaminen .....	56
5.9.2	Pelastustoiminnan toimintamallin kehittäminen altistavissa tehtävissä .....	59
5.9.3	Varusteiden huoltokäytäntöjen ohjeistus suojautumisen osalta .....	61
5.9.4	Ohjeistus vakavien altistumistilanteiden varalle .....	63
6	Yhteenveto .....	65
	Parannusehdotusten tärkeysjärjestys.....	72
	Lisätutkimustarpeet .....	73
	Lähteet.....	74

Liitteet:

Liite 1: Koehenkilöiden taustatietolomake

Liite 2: Paloasemien taustatietolomake

Liite 3: Tellervonkadun tapauksen oirekysely

Liite 4: Tuhka- ja nokinäytteiden kaikki tulokset

Liite 5: Paloaseman ja puhdistettujen paloautojen sisäilmatulokset

Liite 6: Keski-Suomen pelastuslaitoksen toimintaohje altistuneille palomiehille

# 1 TUTKIMUKSEN TAUSTA

Pelastustoimi on jaettu 22 pelastuslaitokseen, joissa on 366 palokuntaa, 522 sopimuspalokuntaa ja 108 tehdas- ja laitospalokuntaa. Pelastuslaitosten vakinaisesta henkilökunnasta pelastustoiminnassa on mukana 3518 ja ensihoidossa 844 henkilöä. Sopimuspalokuntien hälytysosastojen henkilöstömäärä on 13367 (Pelastusopisto 2014).

Suomessa oli vuonna 2013 tulipaloja 13421, joista rakennuspaloja 5727, rakennuspalovaa-roja 3386, liikennevälinepaloja 2335, maastopalvoja 2764 ja muita paloja 2595. Näiden lisäksi palomiehet osallistuivat liikenneonnettomuuksien (13140), öljyvahinkojen (2330) ja vaarallisten aineiden onnettomuuksien (344) pelastustöihin altistuen potentiaalisesti kemiallisille aineille työssään (Pelastusopisto 2014). Kaikkiaan vuoden aikana kemikaaleille mahdollisesti altistavia tehtäviä oli 29235, joihin lähdettiin keskimäärin viiden palomiehen voimin. Muita palomiehen kemiallista altistumista lisääviä työtehtäviä ovat kaluston puhdistus ja huolto. Sen lisäksi operatiivisen toiminnan eri osa-alueita on harjoitettava säännöllisesti ja esimerkiksi savusukelluslenssien vaatimat kuumasavusukellusharjoituspäivät lisäävät palomiesten altistumista kemiallisille aineille (Laitinen ym., 2015). Kemikaaleille altistavien hälytysten määrässä eri paloasemien välillä on suuria eroja (Pelastusopisto, 2014). Tämä tarkoittaa käytännössä tarkoittaa sitä, että altistumisajat kemikaaleille sisältäen savusukellusajat, varustehuollot ja kuumasavusukellusharjoitukset, eroavat palomiehillä toisistaan merkittävästi.

Tiedoissa olevista kemikaaliriskeistä huolimatta, altistumistietoa palomiesten altistumista-soista operatiivisessa toiminnassa on kirjallisuudessa vähän. Syitä tutkimustiedon vähyyteen on useita, mutta palomiesten työn luonne nopeine hälytystehtävineen ja altistumista-sojen nopeine vaihteluineen ovat asettaneet suuria haasteita altistumistasojen ja niiden vaikutusten mittaamiselle. Tehdyissä selvityksissä on kuitenkin todettu palomiesten altistuvan hapen kuljetuksen estäjille kuten hiilimonoksidille ja syaanivedylle (Materna ym., 1992; Savolainen ja Kirchner, 1998; Reinhardt and Ottmar, 2004) ja ärsyttävälle kemikaaleille kuten vetykloridille, typen oksideille ja rikkidioksidille (Bolstad-Johnson ym., 2000; Posniak, 2000). Lisäksi tietoa on kertynyt pitkäaikaisia vaikutuksia aiheuttaville aineille altistumisesta, kuten syöpävaarallisille akroleiinille, asbestille, bentseenille, polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH-yhdisteet), formaldehydille ja 1,3-butadienille (Feunekes ym., 1997; Bolstad-Johnson ym., 2000; Caux ym. 2002; Reinhardt and Ottmar 2004; De Vos ym., 2006). Palomiesten altistumista supermyrkyille, kuten dioksiineille (esimerkiksi 2,3,7,8-tetraklooridibentso-p-dioksiini ja 2,3,4,7,8-pentaklooridibentsodioksiini) ja furaaneille (esimerkiksi oktabromodibentsofuraani), sekä niiden vaikutuksista heidän elimistönsä (Shaw ym., 2014; Chernyak ym., 2016). Lisäksi palamisessa syntyy pienhiukkasia, joiden yhteyksistä sydän ja verisuonisairauksiin ja jopa keuhkosyöpiin on esitetty arvioita (Edelman ym.,

2003; Swiston ym., 2008; IARC, 2010; Ward ym., 2010). Monialtistumisen lisäksi, palomiesten altistuminen eri altistumisreittien kautta samanaikaisesti on tuonut uuden näkökulman palomiesten altistumisen tutkimiseen (Laitinen ym., 2012; Fent ym., 2013; Fent ym., 2014). Erityisesti palomiesten ihoaltistuminen ja sen vähentäminen on nostettu entistä tärkeämmäksi tutkimuskohteeksi. Myös palomiesten altistumista lisäävistä tekijöistä, kuten fyysisestä työkuormituksesta ja osin siihen liittyvästä lämpökuormituksesta on alettu puhua palomiehen kokonaisaltistumista arvioitaessa (Laitinen ym., 2012; Fent ym., 2013; Fent ym., 2014). Jotta palomiesten altistumisen vaikutuksia eri altistumisreittien kautta voidaan todella arvioida, täytyy tietää kemiallisten altisteiden summautuvat ja synergiset vaikutukset ja joidenkin kuten esimerkiksi perfluorattujen yhdisteiden ja dioksiinien osalta myös niiden kumuloituminen elimistöön (Laitinen ym. 2012; Laitinen ym., 2014; Chernyak ym., 2016). Palomiesten uusien altisteiden tunnistaminen on edelleen tärkeää, koska huoneistopaloissa palavat materiaalit erityisesti erilaiset polymeerit muuttuvat jatkuvasti entistä vaarallisemmiksi ja materiaaleissa käytetään hyvin moninaisia syttymistä hillitseviä aineita, kuten esimerkiksi bromattuja yhdisteitä (Sorensen 2015). Kemiallisten altisteiden lisäksi palomiesten työ sisältää työtehtäviä mm. ensihoitotehtäviä, joissa palomies voi kemiallisten altisteiden lisäksi altistua myös tartuntavaarallisille, biologisille, fysikaalisille ja mekaanisille tekijöille. Sen lisäksi pelastajan työ on ennalta arvaamatonta, jonka vuoksi psyykinen stressi on palomiehen työn yksi isoimmista kuormittavista tekijöistä, samoin kuin työssä koetut traumaattiset tilanteet. Palomiesten työnimua käsitelleessä väitöskirjatyössä todettiin työn ja yksilön voimavarojen sekä työn vaatimusten erityisesti vaikuttavat palomiesten hyvinvointiin pitkällä aikavälillä (Airila 2015). Nyt raportoitavassa hankkeessa keskityttiin palomiehen kemialliseen altistumiseen, siihen vaikuttaviin tekijöihin ja siitä aiheutuvien vaikutusten tutkimiseen.

Tietoa palomiesten kemiallisten altisteiden kirjosta on hyvin saatavilla, mutta kuinka aineet joutuvat elimistöön ja mitkä todelliset altistumistasot operatiivisessa toiminnassa ovat, on ollut palomiesten altistumistutkimuksen akilleen kantapää. Suomessa on aiemmin tutkittu Palo-opiston opettajien altistumista kuumasavusukellusharjoituksissa (Laitinen ym., 2010), arvioitu savusukellusharjoituksissa aiheutuneen kemikaalialtistumisen yhteisvaikutuksia (Laitinen ym., 2012), mitattu palosaneeraajien ja palotutkijoiden altistumista TSR:n rahoittamissa hankkeissa 107094 ja 108074 (Tillander ym., 2008; Tillander ym., 2009; Laitinen ym., 2010; Hakkarainen ym., 2010) sekä selvitetty palomiesten altistumista perfluoratuille yhdisteille nestepalojen sammutuksessa (VTSR:n hankkeessa VM 10/37/2009, Palomiesten altistuminen sammutusvaahtojen haitallisille kemikaaleille nestepaloissa). Näiden lisäksi on selvitetty aiheuttavatko savusukellusharjoitukset palomiehillä haitallisia keuhko- ja verisuonivaikutuksia (Laitinen ym. 2015). Lisäksi muilta toimialoilta on saatu viitteitä, että palomiehet voivat altistua myös tuhkassa oleville raskasmetalleille (Jumpponen ym. 2011).

Altistumisen vaikutusten tutkiminen palomiesten työtehtävissä on erittäin haastavaa, jossa esiintyy monialtistumista, altistumista eri altistumisreittien kautta ja lisäksi altistumistasot vaihtelevat rajusti. Kansainvälisen syövän tutkimusjärjestön IARC:n raportin ja usean muun tutkimusryhmän loppupäätelmien mukaan palomiesten syöpätapausten taustalla on todennäköisimmin monialtistumisen yhteisvaikutus ja hetkelliset suuret altistumiset enemmän kuin jonkin yksittäisen altisteen aiheuttama kuorma (Kirchner ja Savolainen, 1998; LeMasters ym., 2006; Golga ja Weistenhofer, 2008; IARC, 2010). Altistumisen aiheuttamia pitkäaikaisia vaikutuksia omaavien, kuten syöpävaarallisten aineiden vaikutuksia, on arvioitu vertaamalla palomiesten syöpien ilmaantuvuutta tavalliseen väestöön nähden. Kansainvälisen syövätutkimuslaitoksen IARC:n mukaan palomiehillä on suurempi riski sairastua kivies- ja eturauhasen syöpään sekä Non-Hodginsin lymfoomaan kuin tavallisella väestöllä (IARC 2010). Pohjoismainen syöpätutkimus on todennut 30-49 vuotiailla palomiehillä olevan kohonnut eturauhassyövän ja melanooman riski sekä yli 70 vuotiailla palomiehillä kohonnut riski sairastua myeloomaan, keuhkosityöpään (adenokarsinoma) ja mesotelioomaan verrattuna muuhun väestöön (Pukkala ym., 2014). Uutena huolestuttavana löydöksenä havaittiin palomiesten mesotelioomariskin kasvaminen liittyen asbestialtistumiseen, joka on myös havaittu myös USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa paljon suuremmalla aineistolla (Daniels ym., 2014).

Pitkäaikaisia vaikutuksia aiheuttavien kemikaalien tutkimuksen lisäksi tarvitaan tietoa altistumisen aiheuttamista palautuvista muutoksista. Tämän vuoksi samaan suuntaan vaikuttavien altisteiden vaikutuksia on kyettävä mittaamaan elimistön biomarkkereiden avulla. Palomiesten työhön liittyvien terveystarkkailujen yksi keskeinen selittävä mekanismi on ärsyttävien altisteiden käynnistämä elimistön tulehdusreaktio (Burgess ym., 1999; Straif ym., 2007; Greven 2011). Elimistön tulehdusvasteita heijastavat sytokiinit. Sytokiineilla puolestaan voi olla sekä tulehdusreaktiota aktivoivia että sitä hillitseviä vaikutuksia. Normaalisissa elimistöissä ulkoinen ärsytys aiheuttaa aluksi tulehdusreaktion aktivoitumisen, johon liittyy suojareaktioista aiheutuvia oireita. Ärsytysyskä, limaneritys, lämmön nousu ja muut lyhytaikaiset oireet kertovat suojamekanismien aktivoitumisesta. Jos ne pitkittyvät ja mukaan tulee voimakkaita yleisoireita, eivät elimistön omat suojamekanismit ole saaneet hillittyä reaktioita. Sytokiinit, kuten interleukiinit (IL) ja tuumorinekroositekijä (tumor necrosing factor, TNF) toimivat vuovovaikutteisena verkostona elimistöissä ja niistä tulehduksen kannalta merkityksellisimpiä on mitattu palomiesten verestä ja syljestä (Greven ym. 2012, Burgess, 2002). IL-6:tta syntyy akuutin faasin aikana esimerkiksi palovamman tai kudosaaurion seurauksena ja sitä kutsutaan myös pyrogeeniksi, sillä se säätelee kehon lämpötilaa ja pystyy täten nostamaan kuumeen. TNF and IL-1 $\beta$  ovat elimistön tärkeimpiä ja voimakasvaikutteisia tulehdusvälittäjäaineita, joiden tuotanto on elimistöissä tarkasti säädeltyä. Elimistön ollessa uhattuna näitä syntyy nopeasti ja ne aktivoivat välittömät immuunivasteet, joiden tarkoituksena on palauttaa tasapaino elimistöön. IL-8 kutsuu tulehduspai-

kalle syöjäsoluja, jotka pystyvät poistamaan vieraita partikkeleita, bakteereita, sekä kuollutta kudosta ja soluja. Viimeinen mitatuista välittäjäaineista on IL-10, jolla on monenlaisia säätelytehtäviä elimistössä, se hillitsee vieraitten antigeenien esittelyä, sytokiinin tuotantoa ja toisaalta tehostaa immunologisen muistin kehittymistä.

Tavallisimpia sytokiineja, kuten interleukiineja (IL) ja tuumorinekroositekijöitä (tumor necrosing factor, TNF) on mitattu myös palomiesten verestä ja syljestä (Greven ym. 2012, Burgess, 2002). World Trade Centerin tuhon pelastustöihin osallistuneilla, voimakkaasti altistuneilla todettiin suojaavien interleukiinien tason kohoamisen vähentäneen ja haitallisten sytokiinin pitkittyneen koholla olon lisänneen tulehduksellisten hengitystieoireiden riskiä (Cho ym. , 2014). Unen puute, stressi, fyysinen rasitus sekä lämpökuormitus muuttavat tulehdusreaktioita (Takala ym., 2004; Takala ym., 2006; Green ja Nicholson, 2008; Takala ym., 2009, Wolkov ym., 2015). Myös perinnölliset tekijät voivat vaikuttaa palomiehen riskiin saada esimerkiksi tulehdusreaktioihin liittyviä keuhkotoiminnan muutoksia (Yucesoy ym., 2008).

Tehdyt kansalliset ja kansainväliset tutkimukset ovat herättäneet tarpeen ajatella palomiesten kokonaisaltistumista suuren kuvan kautta. Nykyisin ymmärretään, että altistumisen estäminen ja sen hallinnan määrittely on tehtävä integroituneena ratkaisuna eri pelastustehdävytyyppien johtamiseen. Ruotsissa tutkittiin palomiesten altistumista hankkeessa "Friska Brändmän", jonka tavoitteena oli vaikuttaa palomiesten asenteisiin, rutiineihin ja työmenetelmiin, jotta heidän työ olisi turvallisempaa ja terveellisempää (Swedish Civil Contingencies Agency 2015). Hankkeessa tutkittiin kattavasti erilaisia työtehtäviä Skellefteån pelastuslaitoksella normaalien hälytysten ja harjoitusten aikana, sisältäen kaluston huollon, korjauksen ja puhdistuksen. Hanke toteutettiin riskinarviointimenetelmin, jossa ensin havainnointiin mahdolliset altistumiset eri työtehtävissä. Seuranta-osiossa kehitettiin rutiineja ja toimintamalleja, joiden avulla palomies voi ennaltaehkäistä joutumista turhaan altistaviin työvaiheisiin ja minimoida kontaktit kontaminoituneisiin materiaaleihin (Swedish Civil Contingencies Agency 2015). Hankkeeseen kuului myös palomiesten kouluttaminen uusiin toimintatapoihin ja menetelmiin. Hankkeen lopputuloksena todettiin uusien rutiinien vähentäneen joutumista turhaan altistaviin tilanteisiin ja kontaktit kontaminoituneisiin materiaaleihin vähenivät. Omaksutut turvallisemmat ja terveellisemmät rutiinit paransivat työilmapiiriä ja mahdollistivat tehokkaamman kaluston ja henkilöstön käytön. Lisäksi henkilöstö suhtautui entistä rakentavammin potentiaalisten riskitekijöiden kartoittamiseen ja niiden seurantaan (Swedish Civil Contingencies Agency 2015). Kehitetty malli on saanut hyvän vastaanoton kansainvälisestikin ja mm. Suomessa Keski-Suomen Pelastuslaitos on ottanut sen käyttöön soveltuvien osien (Lahti, 2014; Rinne 2014).

Raportoitavalla tutkimuksella arvioitiin konkreettisten mittausten avulla vähentääkö Skellefteå-malli savusukeltajien kemiallista altistumista huoneistopaloissa operatiivisessa työssä



perinteiseen toimintamalliin verrattuna ja mitkä tekijät vaikuttavat palomiesten kokonaisaltistumiseen. Hankkeen tarkoituksena oli myös hakea lisätietoa savusukeltajien altistumisesta syöpävaarallisille aineille operatiivisessa työssä ja arvioida sen perusteella työnantajan tarvetta ilmoittaa heidät työssään syöpävaarallisille aineille altistuneiden rekisteriin (ASA-rekisteri). Savusukeltajien altistumisen aiheuttamia vaikutuksia arvoitiin seerumista ja uutena menetelmänä myös sylkinäytteistä interleukiinien (IL) ja tuumorinekroositekijöiden (TNF) sekä stressihormonien kuten kortisolin, amylaasi-aktiivisuuden ja dehydroepiandrosteronipitoisuuksien (DHEA) avulla (Takala ym., 2004; Takala ym., 2006; Green ja Nicholson, 2008; Takala ym., 2009; Pfaffe ym., 2011). Tulehdusmerkkiaineiden ja altistumista mittaavien biomonitorointinäytteiden avulla saatiin tietoa altistumisen osuudesta tulehdusvasteiden synnyssä. Hankkeeseen oli mukana myös Tellervonkadun tapaus, jossa oli mahdollista arvioida oirekyselyn sekä keuhko- ja tulehdusvasteiden avulla myös muidenkin kuin savusukeltajien altistumista sammutustilanteessa. Tätä pidettiin tärkeänä selvittää myös IARC:n raportissa, jossa todettiin kokonaistehävän hoitamisessa tarvittavan erilaisia pelastusalan ammattilaisia, joiden altistumistasoissa ja suojautumisessa oli suuria eroja (IARC, 2010). Näin ollen on myös oletettavaa, että myös altistumisen vaikutukset ovat eri ryhmillä erilaiset. Tellervonkadun tapauksessa arvioitiin myös kuinka palomiesten sammutusasut puhdistuivat normaalissa pesussa kyseisen huoneistopalon jälkeen. Tämä tieto oli tärkeä kaikkia toimintatapoja noudattaville asemille heidän arvioidessaan sammutusajien mahdollisuutta altistaa seuraavan tehtävän aikana ilman että edes oli altistuttu varsinaisen tehtävän aiheuttaville palokaasuille.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

1. Mitata savusukeltajien potentiaalista hengitystiealtistumista, aktuaalista käsien ja koko kehon kautta tulevaa ihoaltistumista sekä kokonaisaltistumista savusukellustehtävän aikana. Lisäksi arvioida tarvitseeko työnantajan ilmoittaa palomiehet työssään syöpävaarallisuille aineille altistuneiden ASA-rekisteriin saatujen tulosten perusteella.

2. Arvioida savusukeltajien kokonaisaltistumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä altistumisen vaikutuksia palomiesten stressihormoni- ja tulehdusvastetasoihin.

3. Arvioida vähentääkö Skellefteå-mallin noudattaminen savusukeltajien altistumista huoneistopaloissa ja asemapalvelussa perinteiseen malliin verrattuna.

## 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 3.1 Aineisto

#### 3.1.1 Näytteenoton organisointi

Mukana hankkeessa olivat Pohjois-Savon Pelastuslaitokselta Kuopion Neulamäen paloasema, Keski-Suomen Pelastuslaitokselta keskuspaloasema, Seppälän ja Vaajakosken paloasemat, Keski-Uudenmaan Pelastuslaitokselta Havukosken paloasema ja Helsingin Pelastuslaitokselta Malmin pelastusasema. Koehenkilöt rekrytoitiin koulutuskiertueen avulla, jossa heille kerrottiin tutkimuksen sisältö ja tutkimuksesta heille mahdollisesti aiheutuva haitta ja hyöty. Hankkeen eettisyyden varmistamiseksi tutkijat saivat puoltavan lausunnon Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin koordinoivalta eettiseltä toimikunnalta tutkimuksessa käytetyistä menetelmistä, niiden toteuttamisesta ja tulosten rekisteröinnistä. Vapaaehtoiset tupakoimattomat koehenkilöt kirjoittivat suostumuskaavakkeen, jossa antoivat luvan tutkijoille ottaa heistä näytteitä ja analysoida niitä. Palomiehet ja paloesimiehet koulutettiin ottamaan hälytystehtävän aikana materiaali-, ilma-, iho-, käsienpesu- ja biomonitorointinäytteitä. Lisäksi koehenkilöt kävivät antamassa hälytystehtävän jälkeen veri- ja sylkinäytteet alueensa 24/7-päivystävässä laboratoriossa. Kuopiossa päivystys oli järjestetty ISLAB:n, Keski-Suomessa BiomedLab SC:ssa ja Keski-Uudellamaalla sekä Helsingissä HUSLAB:ssa.

#### 3.1.2 Tutkittujen tulipalojen ominaispiirteet

Mitatut koehenkilöt altistuivat 13 eri huoneistopaloissa, joista kahdessa oli mukana muitakin materiaaleja kuin normaaleissa huoneistopaloissa yleensä palaa. Toisessa näistä huoneistopaloista oli palanut myös typpihappoa ja magnesiumia sekä toisessa pulverimaalauksen jäämiä (paloluokka 4, Laitinen ym., 2010a). Seitsemän tutkituista tulipaloista oli sellaisia, joissa tulipalo oli jo kehittynyt täyden palamisen vaiheeseen ja levinnyt useampaan huoneeseen, rakenteita oli jo tuhoutunut ja savuvahingot olivat mittavia (paloluokka 3). Neljässä kohteessa tuli oli rajoittunut vain yhteen huoneeseen, mutta savuvahinkoja oli eri puolilla huoneistoa (paloluokka 2).

#### 3.1.3 Altistumiseen vaikuttavat taustatiedot

Näytteitä saatiin 24 koehenkilöltä, joiden keskimääräinen työhistorian pituus oli  $9,4 \pm 8,4$  vuotta (keskiarvo  $\pm$  keski poikkema). Keskimääräinen savusukellustehtävän kesto oli  $43 \pm 34$  minuuttia ja työaika savusukelluksen ja raivauksen kanssa yhteensä oli  $63 \pm 56$  minuuttia, käytettäessä paineilmalaitteita. Tehtävän kesto kokonaisuudessaan palopaikalla oli 165

$\pm 83$  minuuttia ja aika hälytyksestä puhtaiden vaatteiden vaihtamiseen pesun jälkeen oli  $243 \pm 80$  minuuttia.

Koehenkilöistä 63 % ilmoitti taustakyselyssä pukeutuneen juuri pesusta tulleeseen sammutusasuun ja 21 % oli pukeutunut sammutusasuun, jota ei oltu pesty edellisen hälytyksen jälkeen. Kaikki raivaustöihin osallistuneet koehenkilöt olivat käyttäneet paineilmalaitteita raivauksen aikana. Sammutuskäsineitä pidettiin hälytyksen aikana  $103 \pm 88$  minuuttia ja 29 % koehenkilöistä ilmoitti käyttäneensä myös aluskäsineitä. Sammutustakin riisui 75 % koehenkilöistä jo palopaikalla, mutta koko sammutusasun vaihto enää 38 % koehenkilöistä. Sammutusasua pidettiin päällä keskimäärin  $147 \pm 89$  minuuttia. Koehenkilöistä 42 % pakkasi sammutusasun tiiviiseen säiliöön tai pussiin sen kuljetuksen ajaksi palopaikalta paloasemalle. Tutkittujen palomiesten kontaminoituneista sammutusasusta matkasi 38 % erillisessä kuljetuksessa takaisin paloasemalle. Puolet tutkituista koehenkilöistä ilmoitti tehneensä varustehuollon ennen kuin antoi käsienpesunäytteen. Koehenkilöistä kukaan ei tupakoinut, mutta 29 % ilmoitti käyttävänsä nuuskaa.

Paloesimiehet vastasivat myös taustakyselyyn paloasemien varustuksesta. Paloasemilla oli erikseen likaiset tilat paloautojen, letkujen ja sammutusasuken huoltoon 42 %:lla koehenkilöistä. Koehenkilöistä 63 % ilmoitti heidän käytössään olevan erillisen pesukoneen sammutusasuken ja siviilivaatteiden pesuun. Tutkituista palomiehistä 83 %:lla oli varasammutusasuja käytössään niitä tarvittaessa. Kalustonhuollon aikana puolet koehenkilöistä käytti vähintään suojakäsineitä.

#### 3.1.4 Kenttämittaukset

Hankkeessa kerättiin 10 henkilökohtaisia biomonitorointi-, tulehdusvaste- ja stressihormoninäytettä Skellefteå-mallin mukaan toimivilta koehenkilöltä ja 14 näytettä perinteistä mallia noudattavilta koehenkilöiltä. Testiin osallistui kustakin paloasemalta vuorossa oleva savusukelluspari, joka vuoroon tullessaan antoi taustavirtsanäytteen. Mikäli työvuoroon sattui savusukellustehtävä huoneistopalokohteeseen jossa rakenteita oli selkeästi palanut, savusukeltajat ottivat hälytystehtävään lähtiessään ihokeräimet sammutuspuvun alle rintaan ja selkään. Näitä näytteitä saatiin yhdeksältä palomieheltä. Ennen savusukellusta savusukeltajille kiinnitettiin sammutusasuun paloesimiehen toimesta passiivikeräimet tulipalossa syntyvien haitallisten aineiden määrittämiseksi. Kyseisiä näytteitä saatiin seitsemästä savusukelluksesta. Savusukelluksen ja raivauksen jälkeen passiivikeräimet suljettiin. Matkalla paloasemalle palo-autoon asennettiin passiivikeräimet 4 tunniksi mittaamaan paloauton sisätilasta palosta vaatteisiin ja kuljetusvälineisiin kulkeutuneita palohöyryjä. Näitä näytteitä saatiin kolme kappaletta. Heti hälytyksen jälkeen mitattiin passiivikeräimillä neljä tuntia paloasemalta sammutusasusteiden säilytystilasta asusteista ilmaan vapautuneita palohöyryjä.

Näitä näytteitä saatiin viisi kappaletta. Saavuttuaan paloasemalle palomiehet huoltivat varusteensa ja antoivat käsienpesunäytteet sekä ottivat koko kehon ihokeräimet pois. Sen jälkeen he peseytyivät ja antoivat toiset virtsanäytteet. Virtsanäytteiden jälkeen he lähtivät laboratorioon veri- ja sylkinäytteiden antamista varten. Kolmannet virtsanäytteet annettiin kuusi tuntia altistumisen päättymisestä. Kukin koehenkilö täytti taustatietolomakkeet, jossa he kuvasivat hälytystehtävänsä etenemistä. Paloesimiehet täyttivät oman taustatietolomakkeensa, jossa kysyttiin paloaseman varustuksesta ja tulipalon erityispiirteistä. Paloesimiehen tehtävänä oli myös ottaa materiaalinäytteitä palopaikan tuhkasta kolmesta kohtaa. Näitä näytteitä saatiin yhdeksästä tulipalosta.

### 3.1.5 Paloasemien ja paloautojen sisäilmamittaukset

Jokaiselta paloasemalta otettiin myös sisäilmanäytteitä normaalin asemapalvelun aikana selvittääksemme palossa syntyvien epäpuhtauksien kulkeutumista paloasemalla liikaisista tiloista puhtaisiin tiloihin. Näytteenottokohteita olivat puhdas miehistötila, sammutusasusteiden säilytystila, varusteiden pesutila, PI-laitteiden huolto ja sammutusauto puhdistuksen jälkeen. Näiden lisäksi otettiin pyyhintänäytteet (6 kpl) viideltä paloasemalta kuljettajan puolelta sammutusauton kojelaudalta.

### 3.1.6 Tellervonkadun tapaus

Jyväskylässä Tellervonkadulla syttyneessä tulipalossa 24.09.14 palomiehet altistuivat poikkeuksellisen korkeille typpihappo- ja typenoksidipitoisuuksille. Molemmat vapautuneet yhdisteet ovat hyvin ärsyttäviä ja aiheuttivat voimakkaita ärsytysoireita osalle palomiehistä itse palopaikalla ja osalle heidän aloittaessa huoltamaan varusteita. Osa palomiehistä haikutui oireiden vuoksi sairaalahoitoon. Tässä tapausselostuksessa seurattiin 24 palomiehen toipumista tilanteesta altistumisen jälkeen tehtyjen oirekyselyjen, spirometristen mittaus-ten ja keuhkojen ärsytystilaa kuvaavien tulehdusmerkkiaineiden avulla (Työterveyslaitos 2015).

Tulipalotilanteessa palomiehet saivat päälleen myös typpihapporoiskeita, joiden poistumista pelastushenkilöstön sammutusasusta seurattiin ottamalla näytepaloja sammutusasusta ennen pesua ja sen jälkeen normaalin konepesun tehokkuuden arvioimiseksi. Pesun tehokkuutta arvioitiin palomiehiä altistaneilla vesiliukoisella typpihapolla ja rasvaliukoisilla polyyksyklisillä aromaattisilla hiilivedyillä havaitun puhdistumistehokkuuden avulla (Työterveyslaitos, 2015).

## 3.2 Menetelmät

Työterveyslaitoksen laboratoriotoiminta on akkreditoitu testauslaboratorio T013 (FINAS-akkreditointipalvelut, EN ISO/IEC 17025). Ilmanäytteenottomenetelmistä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaaminen on akkreditoitu. Ilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja aldehydien analysointimenetelmät ovat myös akkreditoituja. Biomonitorointinäytteistä virtsan 2-naftolin, 1-pyrenolin, mukonihapon, ja virtsan kadmiumin, sinkin, lyijyn ja mangaanin menetelmät ovat akkreditoituja. Veren kadmiumin ja lyijyn menetelmät ovat myös akkreditoituja. Virtsan tiösyanatin määrittäminen ei kuulunut akkreditoinnin piiriin.

Palopaikoilta kerätyt tuhkanäytteet analysoitiin Labtium Oy:ssä, joka on akkreditoitu testauslaboratorio T025 (FINAS-akkreditointipalvelut, EN ISO/IEC 17025). Kyseiset analyysit ja mitatut alkuaineet kuuluvat Labtium Oy:ssä akkreditoinnin piiriin.

### 3.2.1 Taustatietokysely tutkittaville palomiehille ja paloesimiehille

Selvittääksemme jokaisen hälytystehtävän erityispiirteitä, koehenkilöille ja hälytystä johtaville paloesimiehille tehtiin kyselyt. Koehenkilöiden taustatietokyselykaavake on esitetty liitteessä 1 ja paloesimiehien liitteessä 2.

### 3.2.2 Materiaalinäytteet

Selvittääksemme millaisille alkuaineille palomiehet voivat altistua hälytystehtävän aikana otimme palopaikan tuhkasta materiaalinäytteitä. Palopaikkojen materiaalinäytteiden tuhka-analyysien monialkuainemääritykset (33 alku-ainetta) tehtiin ICP-MS ja ICP-OES tekniikoilla.

### 3.2.3 Ilmanäytteet ja pyyhintänäytteet

Selvittääksemme millaisille palosta vapautuville höyryille palomiehet olisivat voineet altistua hälytystehtävänsä aikana, otettiin ilmanäytteitä hälytystehtävän eri vaiheista. Asemapalvelun aikana arvioitiin palosta peräisin olevien kemiallisten aineiden leviämistä likaiselta puolelta paloaseman puhtaisiin miehistötiloihin.

Palomiesten hengitysvyöhykkeeltä suojaimen ulkopuolelta savusukelluksen aikana, sammutuspukujen säilytysilasta ja paloasutosta hälytystehtävän jälkeen mitatut haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin 3520 diffuusiokeräimeen (3M) työohjeen AR2303-TY-004

mukaisesti ja analysoitiin työohjetta AR2303-TY-031 noudattaen. Vastaavasti aldehydit kerättiin Umex-100 diffuusikeräimellä (SKC) ja ne analysoitiin nestekromatografisesti työohjeen AR2303-TY-011 mukaisesti.

Normaalin asemapalvelun aikana paloasemilta ilman haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin aktiivisella näytteenottotekniikalla TENAX TA -adsorptiopotkeen työohjeen AR2303-TY-004 mukaisesti ja näytteet analysoitiin työohjetta AR2303-TY-031 noudattaen.

Sammutusautojen kojelaudalta otettiin pyyhintänäytteet etanoliin kostutetulta pumpulilla 10 cm kertaa 10 cm alueelta selvittääksemme palo-autojen sisätilojen puhtautta. Näytteiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet analysoitiin työohjeen AR2303-TY-045 mukaisesti.

### 3.2.4 Ihoaltistumismittaukset ja pyyhintänäytteet

Palomiesten käsien kautta tulevaa altistumista arvioitiin käsiopesunäytteiden avulla. Palomiehet pesivät kätensä halytystehtävän jälkeen paloasemalla kolmella millilitralla auringonkukkaöljyä ja pyyhkivät kätensä selluloosa-asetaatti käsienvyyhkeisiin, jotka pakattiin säilytysastiaan. Pyyhkeistä analysoitiin PAH-yhdisteet työohjeen AR2303-TY-051 mukaisesti.

Heidän kokokehon altistumista arvoitiin rintaan ja selkään sammutuspuvun alle ihon pintaan kiinnitettyjen ihokeräinten avulla, joiden pinta-ala on 45 cm<sup>2</sup>. Keräimistä analysoitiin PAH-yhdisteet työohjeen AR2303-TY-051 mukaisesti.

### 3.2.5 Kokonaisaltistumisen arviointi

Palomiesten kokonaisaltistumista eri altistumisreittien, kuten ihon, hengitysteiden ja ruuansulatuskanavan kautta, arvoitiin biomonitorointinäytteiden avulla.

Palomiesten altistumista naftaleenille ja pyreeneille arvoitiin virtsan 2-naftolin ja 1-pyrenolin avulla. Virtsan 2-naftoli ja 1-pyrenoli määritettiin HPLC/FLD-tekniikalla työohjeen AR2301-TY-046 mukaisesti. Näytteitä otettiin ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen ja 1-pyrenolin tapauksessa vielä 6 tuntia altistumisen päättymisestä. Viimeinen näyte otettiin arvioidaksemme erityisesti ihoaltistumisen merkitystä.

Palomiesten altistumista bentseenille arvoitiin virtsan mukonihapon avulla. Virtsan mukonihappo määritettiin HPLC-UV -tekniikalla työohjeen AR2301-TY-303 mukaisesti. Näytteitä otettiin ennen altistumista ja heti altistumisjakson jälkeen.

Palomiesten virtsan metallipitoisuutta analysoitiin heti työvuoron ja peseutumisen jälkeen otetulla virtsanäytteellä. Virtsan sinkki, mangaani, kadmium ja lyijy määritettiin ICP-MS -tekniikan avulla työohjeen AR2301-TY-130 mukaisesti. Metallipitoisuuksia mitattiin myös kymmenestä ensimmäisestä koehenkilöstä ja tavoitteena oli arvoida vereen kasautuvien

metallien, kadmiumin ja lyijyn pitoisuuksia. Näytteet annettiin heti hälytystehtävän jälkeen ja näytteet analysoitiin ICP-MS –tekniikan avulla työohjeen AR2301-TY-132 mukaisesti.

Palomiesten altistumista syanideille ja syaanivedylle arvoitiin virtsan tiösyaanaattipitoisuuden avulla. Näytteitä otettiin ennen altistumista ja altistumisen jälkeen. Näytteet analysoitiin työohjeen AR1202-TY-104 mukaisesti.

### 3.2.6 Altistumisen vaikutusten arviointi

Syljen kortisoli määritettiin luminesenssi kitillä (IBL International, Cortisol Saliva Luminescence Immunoassay, RE62111). Sen mittausalue on 0,4 – 88 nmol/L, toistettavuus mitaussarjan sisällä 2,9 – 5,0 % ja sarjojen välillä 2,2 – 3,3 % (CV %) riippuen konsentraatiosta.

Syljen amylaasiaktiivisuus mitattiin  $\alpha$ -amylaasin aktiivisuuden mittaukseen kehitetyllä validoidulla kitillä (Salimetrics, Salivary  $\alpha$ -Amylase Kinetic enzyme Assay Kit, 1-1902). Sen mittausalue on 0,01 – 400 U/L. Mittaussarjan sisäinen toistettavuus on 2,5 – 7,2 % ja sarjojen välinen 3,6 – 5,8 % (CV %) riippuen konsentraatiosta.

Syljen dehydroepiandrosteroni (DHEA) määritettiin ELISA-kitillä (IBL International, DHEA Saliva ELISA, RE52651). Sen mittausalue on 69 – 7500 pmol/L ja sarjan sisäinen toistettavuus on 2,8 – 7,5 % sekä sarjojen välinen 5,5 – 8,7 % (CV%) riippuen konsentraatiosta.

Seerumin ja syljen tulehdusvastemääritykset tehtiin virtausytometriaan perustuvalla LUMINEX-laitteella, jossa käytettiin Milliplex Human High Sensitivity T Cell Magnetic Bead Panel-kittiä. Kitti on kehitetty seerumin, plasman ja kudosisäilytysnäytteiden tulehdusvastemäärityksiin. Sylkinäytteet määritettiin kuten seeruminäytteetkin. IL-10 mittausalue oli 1,5 – 6000 pg/ml, sarjan sisäinen toistettavuus < 5 % ja sarjojen välinen < 20 %. IL-1 $\beta$  mittausalue oli 0,5 – 2000 pg/ml, sarjan sisäinen toistettavuus < 5 % ja sarjojen välinen < 15 %. IL-6 mittausalue oli 0,2 – 750 pg/ml, sarjan sisäinen toistettavuus < 5 % ja sarjojen välinen < 20 %. IL-8 mittausalue oli 0,3 – 1300 pg/ml, sarjan sisäinen toistettavuus < 5 % ja sarjojen välinen toistettavuus < 15 %. TNF- $\alpha$  mittausalue oli 0,4 – 1800 pg/ml, sarjojen sisäinen toistettavuus < 5 % ja sarjojen välinen toistettavuus < 15 %.

### 3.2.7 Tellervonkadun tapaus

Palomiesten oireita kartoitettiin erillisellä kyselylomakkeella (liite 4) noin yhden viikon kuluessa tapahtumasta. Kyselyssä palomiehet raportoivat sekä sen hetkisiä oireita että arvioivat välittömästi altistumisen jälkeen tuntemiaan oireita.



Palomiesten keuhkofunktio mittaukset (spirometria) toteutettiin Keski-Suomen Pelastuslaitoksen ja Ilmasotakoulun sammutusyksiköiden omissa työterveyshuolloissa noin yhden viikon ja noin kolmen kuukauden päästä altistumistilanteesta. Saatuja tuloksia verrattiin viimeimpään altistumattoman jakson jälkeen kontrollipuhalluksissa saatuihin arvoihin

Tulehdusvasteiden määrittämistä varten palomiehiltä otettiin ensimmäiset verinäytteet noin viikon jälkeen altistumisesta ja toiset näytteet noin kaksi viikkoa altistumisesta BioMedLab Sc:n toimesta. Näytteet toimitettiin analyysiin Työterveyslaitokselle.

Yhdelle pelastuslaitoksen käytössä olleelle sammutuspuvulle tehtiin puhdistustehokkuustesti. Tellervonkadun palossa käytetty sammutuspuku (Bristol, Gore-Tex) säilytettiin muovisäkkiin suljettuna näytteenottoon asti. Ennen näytteiden ottoa tarkistettiin varusteiden viilekkeiden ja vyön sekä niiden muodostamien poimujen sijoittuminen takissa, jotta näytteitä ei otettaisi niiden kohdilta. Kaikki näytteenottokohdat (3 kpl) valittiin takin tasaisesti likaantuneilta näyttäviltä alueilta leikkaamalla mattoveitsellä 2 cm x 2 cm palasia sammutuspuvun takin pintakankaasta. Tämän jälkeen takki pesiin normaaliin tapaan (60 °C, 90 min, pesuaine Ecobrite Detergent M, tehostin Ecobrite Alca) ja kuivattiin rumpukuivauksella (90 min). Sen jälkeen sitä säilytettiin muovipussiin suljettuna toisten näytteiden ottoon saakka. Pesun jälkeiset näytteet leikattiin vastaavasti jo otettujen näytteiden vierestä. Epäorgaaniset hapot uutettiin sammutuspuvusta otetuista näytepalloista (3 kpl) ennen pesua ja pesun jälkeen 10 millilitralla tislattua vettä ja uuttoluoksesta analysoitiin typpihappo ionikromatografisesti työhöjeen AR2303-TY-007 mukaan. Vastaavalla tavalla polysykliset aromaattiset hiilivedyt uutettiin sammutuspuvusta otetuista näytepalloista (3 kpl) dikloorimetaanilla ja uuttoluoksesta analysoitiin PAH-yhdisteet kaasukromatografi-massaspektrometri-laitteistolla työhöjeen AR2303-TY-045 mukaisesti.

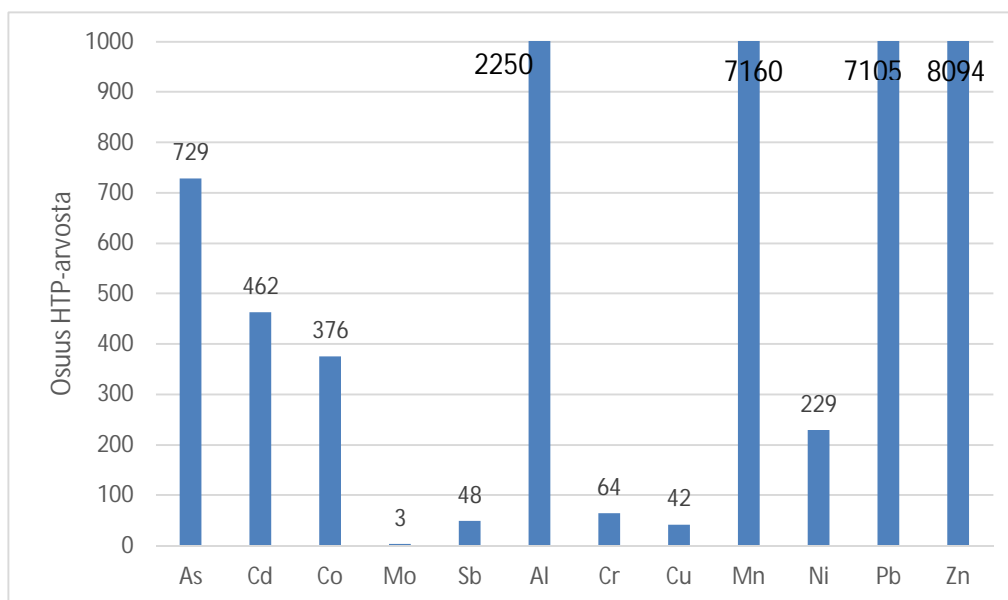
### 3.2.8 Tilastolliset ajot

Pearsonin korrelaatiokerrointa käytettiin välimatka-asteikollisissa muuttujissa ja Spearmanin korrelaatiokerrointa järjestysasteikollisissa muuttujissa. Tilastollisessa analyysissä kun p:n arvo oli alle 0,05 havainto oli tilastollisesti melkein merkittävä, alle 0,01 havainto oli merkitsevä ja alle 0,001 havainto oli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Materiaalinäytteet

Liitteessä 3 on esitetty tutkittujen tuhka- ja nokinäytteiden (n=9) tarkat alkuainekoostumukset. Kuvassa 1 on esitetty palopaikan tuhkan työhygieenisesti tärkeimpien metallipitoisuuksien keskimääräiset laskennalliset osuudet niiden HTP-arvoista, jos oletetaan palopaikalla oltavan tasolla 10 % epäorgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (10 mg/m<sup>3</sup>), esimerkiksi raivauksen aikana.



Kuva 1. Keskimääräiset laskennalliset metallipitoisuuksien osuudet niiden HTP-arvoista 10 % tasolla epäorgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta.

Näiden tulosten perusteella palopaikan ilmassa voi jo 1 mg/m<sup>3</sup> hengittyvän epäorgaanisen pölyn pitoisuustasolla altistua kahdeksan kertaiselle sinkkipitoisuudelle sekä seitsämänkertaisille mangaani- ja lyijypitoisuuksille verrattuna niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin. Neljänneksi suurimmat laskennalliset arvot todettiin alumiinipitoisuuksissa, jotka olivat 2,3-kertaiset alumiinin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna. Näiden tulosten perusteella valittiin palomiesten virtsanäytteistä heti työvuoron jälkeen mitattavaksi mangaani, lyijy, sinkki ja kadmium.

## 4.2 Kenttämittaukset

Taulukoissa 1-3 on esitetty mitattuja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja aldehydien pitoisuuksien keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot hälytystehävän aikana savusukelluksessa ja raivauksessa sekä palo-autossa ja sammutusasujen säilytystilassa hälytyksen jälkeen. Lisäksi taulukoissa on esitetty mitattujen kemiallisten aineiden haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP<sub>8h</sub>-arvo) (Sosiaali ja terveysministeriö, 2014)

Taulukko 1. Mitattujen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien (mg/m<sup>3</sup>) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot savusukeltajan hengitysvyöhykkeellä suojaimen ulkopuolella savusukelluksen aikana

Mitattu altiste	Savusukellus (n=3)				Savusukellus ja raivaus (n=4)				HTP <sub>8h</sub> -arvo
	ka	SD	min.	maks	ka	SD	min.	maks.	
Furfuraali	13	15	2,7	30	5,3	6,5	1,6	15	8
2-Metyylifuraani	4,3	4,2	1,3	9,1	1,8	1,9	0,4	4,7	-
Bentseeni	13	11	3,5	25	11	15	1,0	33	3,25
Styreeni	2,3	-	2,3	2,3	4,7	5,4	1,2	11	86
Tolueeni	4,9	5,2	1,2	8,6	3,0	4,0	0,5	9,0	81
TVOC	104	105	30	224	59	77	7,2	174	3*

\*Työterveyslaitoksen viitearvo hyvälle teollisuusilmalle (Tuomi ym., 2012)

Taulukko 2. Aldehydien keskimääräiset pitoisuudet (mg/m<sup>3</sup>), tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot savusukeltajan hengitysvyöhykkeellä suojaimen ulkopuolella savusukelluksen aikana

Mitattu altiste	Savusukellus (n=3)				Savusukellus ja raivaus (n=4)				HTP <sub>8h</sub> -arvo
	ka	SD	min.	maks	ka	SD	min.	maks.	
Akroleiini	4,8	6,3	0,4	9,3	2,3	1,0	1,5	3,4	0,23*
Asetaldehydi	17	3,5	14	19	2,0	1,5	0,7	3,6	46
Bentsaldehydi	11	11	3,3	19	1,1	0,8	0,5	1,6	4,4
Formaldehydi	22	26	0,9	51	4,9	3,5	1,2	8,8	0,37
Propionaldehydi	8,7	-	8,7	8,7	0,7	0,5	0,1	1,2	4,4

\*viidentoista minuutin HTP-arvo (Sosiaali ja terveysministeriö, 2014)

Taulukko 3. Mitattujen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja aldehydien pitoisuuksien (mg/m<sup>3</sup>) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot palo-autossa ja sammutusasujen säilytystilassa hälytyksen jälkeen

Mitattu altiste	Palo-auto (n=4)				Sammutusasujen säilytystila (n=4)				
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.	HTP <sub>8h</sub> -arvo
Akroleiini	0,170	-	0,170	0,170	0,027	-	0,027	0,027	0,230
Formaldehydi	0,021	0,011	0,013	0,038	0,015	0,004	0,013	0,020	0,370
TVOC	0,900	0,780	0,400	1,800	0,960	0,620	0,300	1,800	0,300*

\*Työterveyslaitoksen tavoitearvo hyvälle teollisuusilmalle (Tuomi ym., 2012)

### 4.3 Tutkittujen palomiesten luokittelu

Jotta vertailu Skellefteå- mallin mukaista käytäntöä ja perinteistä mallia soveltavien koehenkilöiden välillä olisi paremmin mahdollista, koehenkilöt luokiteltiin altistumisajan mukaan. Mikäli koehenkilö ilmoitti käyttäneensä paineilmalaitteita myös raivauksessa, vaihtoi sammutusasun ja muut suojavaarusteet jo palopaikalla ja hänen varusteet kuljetettiin suljetussa säilytysastiassa palo-asemalle, hänet luokiteltiin myös Skellefteå- mallin mukaan toimivaksi vaikka hän olisi edustanut perinteisesti toimivaa pelastuslaitosta. Koehenkilöt jaettiin altistumisajan mukaan ja jaottelu tehtiin siten, että varsinaista savusukellusaikaa (ei raivauksen aikaista) pidettiin muuttujana. Ensimmäiseen ryhmään kuuluivat koehenkilöt jotka sukelsivat 20 minuuttia tai vähemmän. Toiseen ryhmään kuuluivat koehenkilöt, jotka savusukelsivat 21-60 minuuttia ja kolmanteen ryhmään kuuluivat koehenkilöt, jotka savusukelsivat enemmän kuin 60 minuuttia. Taulukossa 4 on esitetty koehenkilöiden työskentelyaikojen (minuutteja) ja työhistorian (vuosia) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot Skellefteå (n=10) ja perinteistä mallia (n=14) noudattavilla pelastuslaitoksilla. Taulukossa 5 on esitetty eri työskentelytapojen yleisyys perinteistä ja Skellefteå-mallia noudattavilla koehenkilöillä. Taulukossa 6 on esitetty koehenkilöiden lukumäärät eri luokissa yllä esitettyä jakoa käyttäen.

Taulukko 4. Koehenkilöiden työskentelyaikojen (minutteja) ja työhistoria (vuosia) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot

Luokat	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks.	ka.	SD.	min.	maks.
Savusukellusaika	40	22	20	80	51	39	20	130
Savusukellus+raivaus	45	27	20	100	82	64	21	210
Koko tilanteen kesto	164	103	83	350	170	55	118	236
Aika hälytyksestä peseytymiseen	258	84	191	404	229	73	158	345
Koehenkilön työhistoria	7	7	2	24	11	9	2	29

Taulukko 5. Työskentelymenetelmien yleisyys ja nuuskan käyttö koehenkilöillä

Luokat	Skellefteå-malli	Perinteinen malli
PI-käyttö raivauksessa	80 %	71 %
Aluskäsine käytössä	60 %	0 %
Sammutustakki pois palopaikalla	90 %	64 %
Muut likaantuneet varusteet pois palopaikalla	90 %	0 %
Varusteiden kuljetus tiiviissä kuljetusastiassa	100 %	0 %
Varusteet kuljetetaan erillään	90 %	0 %
Varusteiden huolto ennen käsienpesunäytettä	30 %	64 %
Nuuskan käyttö	50 %	14 %

Taulukko 6. Koehenkilöiden jakaantuminen eri luokkiin

Luokat	Skellefteå- malli	Perinteinen malli
Savusukelluksen kesto alle 21	1	2
Savusukelluksen kesto 21-60 minuuttia	6	8
Savusukelluksen kesto yli 60 minuuttia	3	4

## 4.4 Ihoaltistuminen

Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty palomiesten käsien ja koko kehon kautta tuleva ihoaltistumisen keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot luokiteltuna

Taulukko 7. Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen pitoisuuksien (ng/cm<sup>2</sup>) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot palomiesten (n=21) käsissä hälytyksen jälkeen

Savusukellus- aika, minuitteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	0,005	-	0,005	0,005	0,028	0,032	0,005	0,050
21-60	0,065	0,086	0,005	0,228	0,058	0,068	0,005	0,067
yli 60	0,038	0,046	0,005	0,070	0,167	0,228	0,005	0,328

Taulukko 8. Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen pitoisuuden (ng/cm<sup>2</sup>) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot palomiesten sammutuspuvun alla (n=9) hälytyksen jälkeen

Savusukellus- aika, minuitteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	31	-	31	31	-	-	-	-
21-60	130	120	40	310	220	150	110	320
yli 60	5700	-	5700	5700	4300	-	4300	4300

## 4.5 Kokonaisaltistuminen

### 4.5.1 Virtsan 2-naftoli ja 1-pyrenoli

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty palomiesten naftaleenileenialtistumista kuvastavan virtsan 2-naftolin ja pyreenialtistumista kuvastavan 1-pyrenolin pitoisuuksien keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot heti työvuoron jälkeen savusukellusajan suhteen luokiteltuna. Koehenkilöiltä mitatut taustavirtsanäytteiden tulokset ennen altistumista olivat alle altistumattoman väestön viiterajojen. Näin ollen tausta-altistumista näiden kemikaalien osalta koehenkilöillä ei ollut ennen sammutustehtävää. Koehenkilöiden pyreenien aineenvaihduntatuotteen 1-pyrenolin pitoisuutta seurattiin vielä 6 tuntia altistumisen päättymisen jälkeen ja todettiin, että neljällä koehenkilöllä yhdeksästätoista pitoisuudet olivat vielä yli altistumattoman väestön viiterajan. Yhdellä koehenkilöllä pitoisuus oli korkeampi kuin heti altistumisen jälkeen mitattu pitoisuus, viitaten muita korkeampaan ihoaltistumisen osuuteen.

Taulukko 9. Palomiesten (n=19) virtsan 2-naftolipitoisuuden (µg/l) keskiarvo, tulosten keskiarvo, sekä minimi- ja maksimiarvot heti savusukellustehtävän jälkeen (altistumattoman väestön viiteraja 7 µg/l, toimenpiderajaa ei asetettu)

Savusukellus- aika, minuutteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	7,0	-	7,0	7,0	8,0	1,4	7,0	9,0
21-60	13	6,1	7,0	21	32	37	7,0	80
yli 60	32	13	23	41	110	46	77	142

Taulukko 10. Palomiesten (n=19) virtsan 1-pyrenolipitoisuuksien (µg/l) keskiarvo, tulosten keskiarvo, sekä minimi- ja maksimiarvot heti savusukellustehtävän jälkeen (altistumattoman väestön viiteraja 0,8 µg/l ja toimenpideraja 2,6 µg/l)

Savusukellus- aika, minuutteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	0,8	-	0,8	0,8	0,8	-	0,8	0,8
21-60	0,8	-	0,8	0,8	1,0	0,4	0,8	1,9
yli 60	0,8	-	0,8	0,8	4,1	0,6	3,6	4,5

#### 4.5.2 Virtsan mukonihappo

Taulukossa 11 on esitetty palomiesten bentseenialtistumista kuvastavan virtsan mukonihapon pitoisuuden keskiarvo, tulosten keskiarvo, sekä minimi- ja maksimiarvot heti työvuoron jälkeen savusukellusajan suhteen luokiteltuna. Mukonihapon taustapitoisuudet ennen altistumista olivat kaikilla koehenkilöillä alle tai lievästi yli altistumattoman väestön viiterajan. Tämä osoittaa tausta-altistumisen bentseenille olleen vähäistä ennen altistumista.

Taulukko 11. Palomiesten (n=19) virtsan mukonipitoisuuden (µmol/l) keskiarvo, tulosten keskiarvo, sekä minimi- ja maksimiarvot heti savusukellustehtävän jälkeen (altistumattomien viiteraja 2 µmol/l ja toimenpideraja 14 µmol/l)

Savusukellus- aika, minuutteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	7,2	-	7,2	7,2	0,7	0,3	0,5	0,9
21-60	3,5	6,5	0,5	17	3,5	3,1	0,8	8,6
yli 60	4,7	3,4	2,3	7,1	2,4	0,6	2,0	2,8

### 4.5.3 Virtsan metallipitoisuudet

Taulukoissa 12, 13 ja 14 on esitetty palomiesten virtsan kadmium, lyijy- ja sinkkipitoisuuksien ( $\mu\text{g/l}$ ) keskiarvot, tulosten keskipoikkeamat sekä minimi- ja maksimiarvot mitattuna heti altistavan tehtävän jälkeen. Kaikki mitatut virtsan mangaanipitoisuudet olivat alle 10 nmol/l.

Taulukko 12. Palomiesten virtsan ( $n=19$ ) kadmiumpitoisuuksien (nmol/l) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot heti savusukellustehtävän jälkeen (altistumattoman väestön raja-arvo 5 nmol/l ja toimenpideraja 20 nmol/l)

Savusukellus- aika, minuutteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	1,0	-	1,0	1,0	1,0	-	0,1	0,1
21-60	2,5	2,7	1,0	8,0	1,5	0,8	1,0	3,0
yli 60	1,0	-	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0

Taulukko 13. Palomiesten virtsan ( $n=19$ ) lyijypitoisuuksien ( $\mu\text{mol/l}$ ) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot heti savusukellustehtävän jälkeen (virtsan lyijylle altistumattoman väestön viiteraja on 0,008  $\mu\text{mol/l}$  ja toimenpideraja 0,1  $\mu\text{mol/l}$ ).

Savusukellus- aika, minuutteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	0,024	-	0,024	0,024	0,003	0,001	0,002	0,004
21-60	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,001	0,002	0,005
yli 60	0,012	0,013	0,002	0,021	0,003	-	0,003	0,003

Taulukko 14. Palomiesten virtsan ( $n=19$ ) sinkkipitoisuuksien ( $\mu\text{mol/l}$ ) keskiarvo, tulosten keskipoikkeama sekä minimi- ja maksimiarvot heti savusukellustehtävän jälkeen (virtsalta sinkille on annettu vain altistumattoman väestön viiteraja 12  $\mu\text{mol/l}$ )

Savusukellus- aika, minuutteja	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
alle 21	4,0	-	4,0	4,0	6,5	5,0	3,0	10
21-60	5,7	1,9	4,0	9,0	5,5	3,9	1,0	11
yli 60	3,7	1,4	2,0	4,0	7,5	4,9	4,0	11



#### 4.5.4 Veren metallipitoisuudet

Verestä mitatut lyijy- (n=11) ja kadmiumpitoisuudet (n=8) kuvastavat pidempiaikaista altistumista epäorgaaniselle lyijylle ja kadmiumille. Kaikki mitatut veren lyjiypitoisuudet yhtä koehenkilöä lukuunottamatta olivat alle altistumattoman väestön viite-arvon, joka on 0,09  $\mu\text{mol/l}$ . Yhden koehenkilön tulos oli 25 % veren lyijyn toimenpiderajasta (1,4  $\mu\text{mol/l}$ ), mikä osoitti koehenkilön lievästi altistuneen lyijylle.

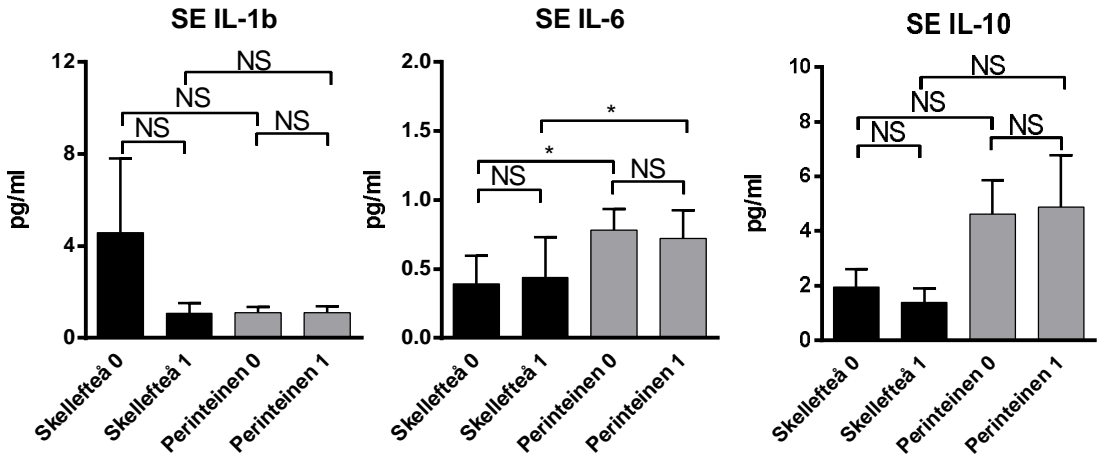
Kaikki veren kadmiumtulokset (n=8) olivat alle altistumattoman väestön viiterajan 5 nmol/l.

#### 4.5.5 Virtsan tiosyanaattipitoisuudet

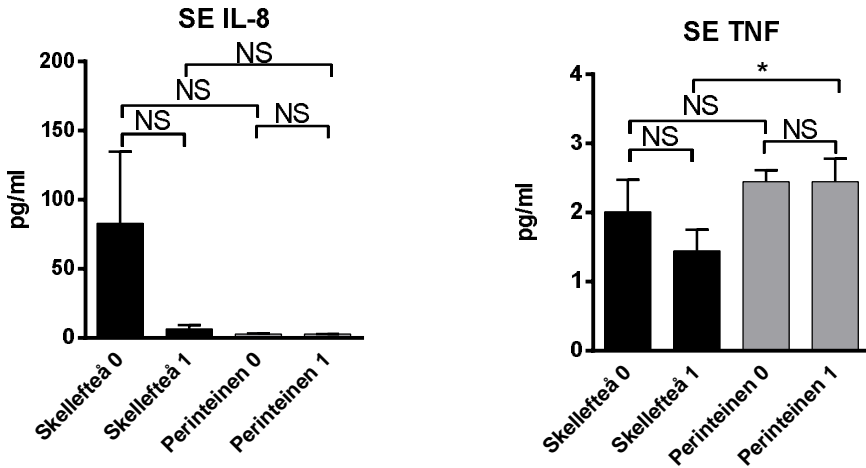
Kaikki virtsasta mitatut syaanivety- ja syanidialtistumista kuvastavat (n=19) altistumista syaanivedylly ja syanideille. Tiosyanaattipitoisuudet ennen altistumista ja altistumisen jälkeen olivat yhtä koehenkilöä lukuunottamatta alle altistumattoman väestön viite-arvon (140  $\mu\text{mol/l}$ ). Yhden koehenkilön tulos ylitti lievästi altistumattoman väestön viiterajan, joka osoitti lievää altistumista syänivedyllylle tai syanideille.

## 4.6 Altistumisen vaikutukset

Seeruminäytteissä IL-6:n pitoisuudet olivat tilastollisesti mahdollisesti merkittävästi korkeammalla loman ja myös altistumisen jälkeen perinteistä mallia noudattaneilla palomiehillä verrattuna Skellefteå-mallia noudattaneisiin palomiehiin (kuva 2). Myös seerumin TNF- $\alpha$ :n pitoisuudet altistumisen jälkeen olivat tilastollisesti mahdollisesti merkittävästi korkeammalla altistumisen jälkeen perinteistä mallia noudattavilla palomiehillä kuin Skellefteå-mallia noudattavilla (kuva 3). Sylkinäytteissä ei interleukiinien välillä ollut eroja eikä myöskään syljen stressimerkkiaineissa eri toimintamallia noudattaneiden koehenkilöiden välisissä keskiarvoissa.



Kuva 2. Seerumin (SE) ensisijaisesti suojaavien interleukiinien konsentraatiot loman jälkeen (0) ja altistumisen jälkeen (1) Skellefteå-mallia ja perinteistä toimintamallia noudattaneilla palomiehillä. \* p-arvo alle 0,05



Kuva 3. Seerumin mahdollisesti pitkäaikaishaittoihin liittyvien sytokiinien tasot loman jälkeen (0) ja altistumisen jälkeen (1) Skellefteå-mallia ja perinteistä toimintamallia noudattaneilla palomiehillä. \*p-arvo alle 0,05

## 4.7 Paloasemien ja palo-autojen sisäilman laatu

Taulukossa 15 on esitetty haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet normaalin asemalpalvelun aikana.

Taulukko 15. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksien ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) keskiarvo, tulosten keskiarvo ja sekä minimi- ja maksimiarvot paloaseman eri osissa normaalin asemalpalvelun aikana Skellefteå- (n=3) ja perinteistä mallia (n=3) noudattavilla asemilla. Työterveyslaitoksen suosittelema tavoite-arvo hyvälle teollisuusilmalle on  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja hyvälle sisäilmalle  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Salonen ym., 2009; Tuomi ym., 2012).

Mittauspaikka	Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
	ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
Palo-auto puhdistettu	250	220	100	500	120	7,1	120	130
PI-laitteiden huolto	260	200	80	470	140	170	30	340
Varusteiden säilytys	140	110	70	270	120	130	30	120
Varusteiden pesu	97	65	30	160	77	51	20	120
Letkujen pesu	50		50	50	180		180	180
Miehistötöila	17	5,8	10	20	10	-	10	10

Liitteessä 5 on esitetty yksittäiset mitatut yhdisteet eri paloaseman osissa sekä niiden yleisyys (%) kyseisissä mittauspaikoissa.

Taulukossa 16 on esitetty kunkin paloaseman sammutusyksikön kojelaudalta otettujen pyyhintänäytteiden ( $\text{ng}/\text{cm}^2$ ) keskiarvo, tulosten keskiarvo ja sekä minimi- ja maksimiarvot. Näytteistä on analysoitu polysykliset aromaattiset hiilivedyt.

Taulukko 16. Paloautojen kojelaudan polysyklisten aromaattisten yhdisteiden pitoisuuden ( $\text{ng}/\text{cm}^2$ ) keskiarvo, tulosten keskiarvo ja sekä minimi- ja maksimiarvot puhdistuksen jälkeen Skellefteå- (n=3) ja perinteistä (n=3) mallia noudattavilla asemilla

Skellefteå-malli				Perinteinen malli			
ka.	SD.	min.	maks	ka.	SD.	min.	maks.
0,7	0,1	0,6	0,9	0,4	0,2	0,2	0,6

## 4.8 Tellervonkadun tapaus

### 4.8.1 Oirekysely

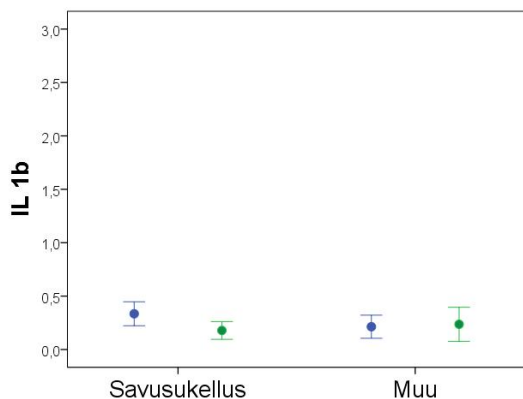
Taulukossa 17 on esitetty 24 palomiehellä esiintyneiden oireiden yleisyys heti altistumisen jälkeen ja viikko altistumisesta (Työterveyslaitos 2015).

Taulukko 17. Tavallisimpien, välittömästi onnettomuustilanteen jälkeen raportoitujen oireiden yleisyys (prosenttiosuus) altistuneella pelastushenkilöstöllä (N=24).

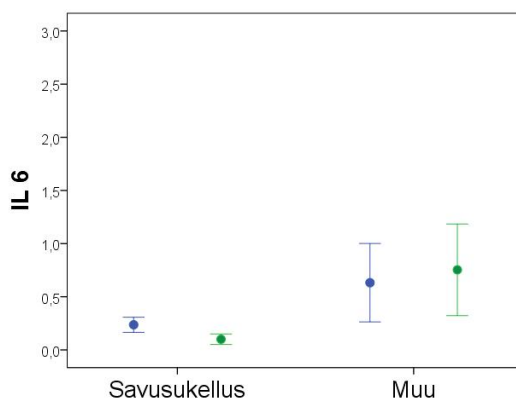
Oire	Heti altistumisen jälkeen	Viikko altistumisesta
Limannousu	54	17
Hengenahdistuksen tunne	46	0
Nuha	46	29
Kurkkukipu	42	0
Yskä	42	4
Päänsärky	33	0

### 4.8.2 Tulehdusvasteet

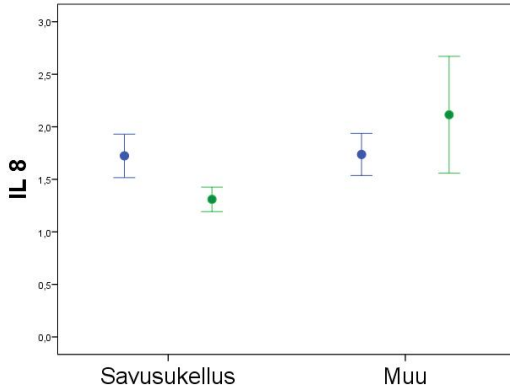
Kuvissa 4- 8 on esitetty analysoitujen sytokiinitasojen keskiarvot ensimmäisessä noin viikon altistumisen jälkeen otetussa näytteessä ja siitä viikon kuluttua otetuissa näytteissä savusukeltaneilla (n=14) ja muissa tehtävissä toimineilla henkilöillä (Työterveyslaitos 2015) .



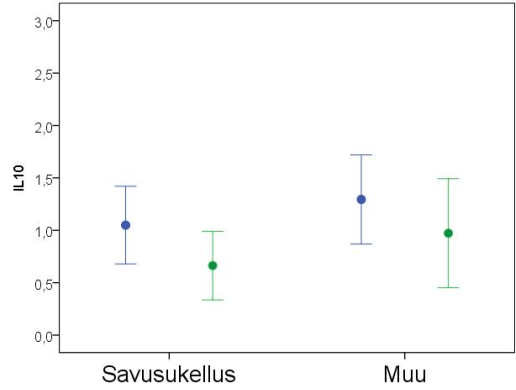
Kuva 4. Interleukiini 1b (pg/ml) tasot



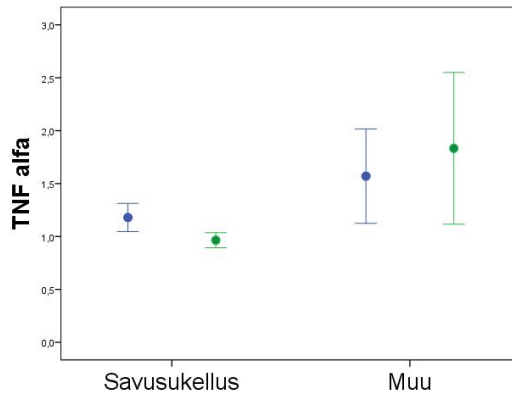
Kuva 5. Interleukiini 6:n (pg/ml) tasot



Kuva 6. Interleukiini 8:n (pg/ml) tasot



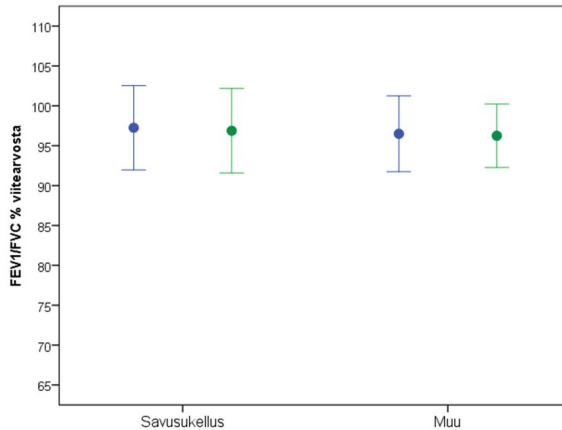
Kuva 7. Interleukiini 10:n (pg/ml) tasot



Kuva 8. Sytokiini TNF-a:n (pg/ml) tasot

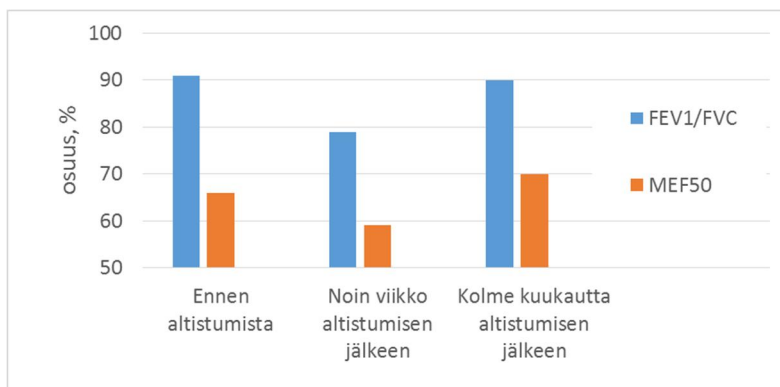
#### 4.8.1 Keuhkovasteet

Noin viikko altistumisen jälkeen tehtiin spirometriatutkimus 20 henkilölle ja noin kolme kuukautta altistumisen päättymisen jälkeen 9 henkilölle. Viikko altistumisen jälkeen mitatuissa spirometrioissa keuhkoputkien supistumislöydös oli 20 %:lla mitatuista. muutokset olivat lieväasteisia. Suurimmalla osalla keuhkofunktio oli normaali (kuva 9) (Työterveyslaitos 2015).



Kuva 9. Spirometriassa mitatun keskeisen obstruktiota osoittavan muuttujan (FEV1/FVC, sekuntivirtauksen suhde kokonaistilavuuteen) keskiarvot noin viikko altistumisen jälkeen ja kolmen kuukauden kuluttua. Tulos on suhteutettu iänmukaisiin viitearvoihin ja poikkeava arvo on alle 88 %.

Osalla palomiehistä oli käytettävissä myös spirometriatulos ennen altistumista. Palomiehen terveystarkastuksissa otettava spirometria antaa merkittävää tietoa, kun voidaan verrata mahdollisen tapaturmaisen altistumisen vaikutuksia ja siitä toipumista (kuva 10). Esimerkistapauksessa todetaan lievä sekä suurten (FEV1/FVC) että pienten hengitysteiden virtausalenema (MEF50) altistumisen jälkeen. Se kuitenkin korjaantui seurannassa (Työterveyslaitos 2015).



Kuva 10. Esimerkki välittömästi yskää ja nieluoireita raportoineen palomiehen keuhkofunktiotuloksista. Tulokset on ilmoitettu suhteena viitearvoihin ja kyseisen ikäisellä palomiehellä normaalitasot ovat: FEV1/VC > 88 % viitearvosta ja MEF50 > 63 % viitearvosta.

#### 4.8.2 Sammutuspuvun puhdistumistesti

Taulukoissa 18 ja 19 on esitetty sammutuspuvun puhdistuminen typpihapon ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen osalta tehdyssä pesutestissä (Työterveyslaitos 2015).

Taulukko 18. Sammutuspuvusta analysoidut typpihappopitoisuudet ennen ja jälkeen pesun.

Näytteenotto kohta	Ennen pesua, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Pesun jälkeen, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Pesun jälkeen, %	Pesu puhdisti %
Oikea rintatasku	232	alle 6,4	2,8	97,2
Vetoketjulistan keskiosa	212	alle 6,4	3,0	97,0
Vetoketjulistan alaosa	308	6,4	2,1	97,9
Keskiarvo	251	6,4	2,6	97,4

Taulukko 19. Sammutuspuvusta analysoidut PAH-yhdisteet ( $\text{ng}/\text{cm}^2$ ) ennen ja jälkeen pesun sekä puhdistumistehokkuus %

Yhdiste	Ennen pesua	Pesun jälkeen	Pesu puhdisti, %
Naftaleeni	1,5 – 4,7	< 2,5	87,8 – 93,6
Asenaftyleeni	2,9 – 8,0	< 2,5	81,4 – 85,0
Asenafteeni	< 2,5	< 2,5	-
Fluoreeni	1,6 – 4,3	< 2,5	92,1
Fenantreeni	38 – 60	3,9 - 10	83,3 – 89,7
Antraseeni	6,2 – 12	< 2,5	80,2 – 84,2
Fluoranteeni	38 – 64	2,1 – 8,0	85,8 – 94,5
Pyreeni	30 – 60	1,9 – 6,6	88,1 – 93,7
Bentso(a)antraseeni	13 – 59	1,5 – 6,3	88,5 – 90,7
Kryseeni	16 – 70	2,1 – 8,1	86,9 – 89,7
Bentso(b)fluoranteeni	10 – 47	< 2,5 – 6,3	86,2 – 86,6
Bentso(k)fluoranteeni	8,4 – 41	< 2,5 – 5,7	86,1 – 90,0
Bentso(a)pyreeni	8,9 – 43	< 2,5 – 7,1	83,5 – 84,0
Indeno(123-cd)pyreeni	7,2 – 37	< 2,5 – 6,1	83,5 – 88,8
Dibentso(a,h)antraseeni	1,5 – 9,7	< 2,5	85,6
Bentso(ghi)peryleeni	5,6 – 30	< 2,5 – 4,0	86,7 – 92,1

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Kemiaalliset altisteet kenttämittauksissa

#### 5.1.1 Materiaalinäytteet

Palomiehet altistuvat työssään useille eri olomuodoissa oleville kemiallisille aineille samanaikaisesti usean eri altistumisreitoin kautta (Laitinen ym., 2014; Fent ym., 2014). Vähemmän tutkittu alue on heidän raskasmetallialtistuminen. Muilta toimialoilta tiedetään, että tuhkalle altistuvat työntekijät voivat altistua samanaikaisesti useille raskasmetalleille. Tällaisia työntekijöitä ovat esimerkiksi lämpövoimaloiden käyttömiehet, korjaajat, tuhkan puhdistajat, tuhkan kuljettajat, kattilan tarkistajat ja nuohoojat (Jumpponen ym., 2011). Edellä mainittujen työntekijöiden altistumisen arvioinnin kannalta pellettilaitoksissa tuhkan puhdistamisessa ja korjaustöissä tärkein yksittäinen tuhkan alkuaine oli mangaani. Puuta polttavissa laitoksissa työntekijöiden altistumisen kannalta tärkeimmät olivat alumiini ja mangaani ja turvetta polttavissa laitoksissa alumiini, arseeni ja mangaani. Kierrätyspolttoainetta polttavassa laitoksessa tuhkan puhdistamisessa ja korjaustöissä nousivat esille myös lyijy, mutta myös alumiini, arseeni ja mangaani (Jumpponen ym., 2011).

Palomiesten mahdollista riskiä altistua raskasmetalleille arvioitiin palopaikalta kerättyjen tuhka- ja nokinäyteiden avulla. Näytteistä analysoitiin 33 alkuainetta (liite 3), joista työhygienisesti tärkeimmiksi metalleiksi arvioitiin laskennallisesti mangaani, lyijy, sinkki ja alumiini, joiden laskennalliset pitoisuudet palopaikan ilmassa 10 % tasolla epäorgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta vaihtelivat 2,3 -8,1 -kertaiseen niiden HTP<sub>8h</sub>-arvoista. Myös arseenin, kadmiumin, koboltin ja nikkelin pitoisuudet olivat merkittävän korkeita ollen 23-73 % niiden HTP<sub>8h</sub>-arvoista (kuva 1).

#### 5.1.2 Ilman laatu savusukelluksessa

Savusukellusvaiheessa kerättiin tietoa tärkeimmistä savusukeltajaa altistavista höyrymäisistä kemiallisista aineista. Mitatut pitoisuudet jaettiin kahteen pelkästään savusukelluksen aikana mitattuihin tuloksiin ja savusukelluksen ja raivauksen aikana mitattuihin keskimääräisiin pitoisuuksiin. Suurimmat bentseenipitoisuudet pelkästään savusukelluksen aikana olivat 7,7- sekä savusukelluksen ja raivauksen aikana 10-kertaisia bentseenin kahdeksan tunnin HTP-arvoon verrattuna. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 3,4-4 -kertaisia bentseenin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna näissä työvaiheissa (taulukko 1). Kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa vastaavat pitoisuudet ovat olleet 23 - kertaisia bentseenin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna ja modernissa savusukellussimulaattorissa 62



% bentseenin kahdeksan tunnin sitovasta raja-arvosta (Laitinen ym. 2015). USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa palomiesten (n=96) keskimääräinen altistuminen bentseenille oli 1,2 mg/m<sup>3</sup> ja suurimmat mitatut pitoisuudet olivat 6,5 mg/m<sup>3</sup> eli noin kaksinkertaisia Suomen HTP<sub>8h</sub>-arvoon nähden (Bolstad-Johanson ym., 2000). Kuten virheellisesti luullaan myös metsäpaloissa palomiehet voivat altistua syöpävaarallisille aineille. Palomiesten (n=329) altistumisesta bentseenille metsäpaloissa on USA:ssa tehty tutkimus ja niiden tulosten perusteella altistumistasot ovat olleet suurimmillaan 0,1-1,3 mg/m<sup>3</sup> eli 3-40 % bentseenin HTP<sub>8h</sub>-arvosta (Reinhardt and Ottmar, 2004).

Suurimmat furfuraalipitoisuudet pelkästään savusukelluksen aikana olivat 3,8- sekä savusukelluksen ja raivauksen aikana 1,9 -kertaisia sen kahdeksan tunnin HTP-arvoon verrattuna. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 0,7-1,6 -kertaisia furfuraalin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna näissä työvaiheissa (taulukko 1). Kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa vastaavat pitoisuudet ovat olleet 4,1 -kertaisia furfuraalin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna (Laitinen ym., 2015).

Suurimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet pelkästään savusukelluksen aikana olivat 75- sekä savusukelluksen ja raivauksen aikana 58 -kertaisia Työterveyslaitoksen ehdottoman hyvän teollisuusilman viitearvoon verrattuna. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 20-35 -kertaisia Työterveyslaitoksen ehdottoman hyvän teollisuusilman viitearvoon verrattuna (taulukko 1). Kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa vastaavat pitoisuudet ovat olleet 433- ja modernissa savusukellussimulaattorissa 15-kertaisia Työterveyslaitoksen ehdottoman hyvän teollisuusilman viitearvoon verrattuna (Laitinen ym. 2015).

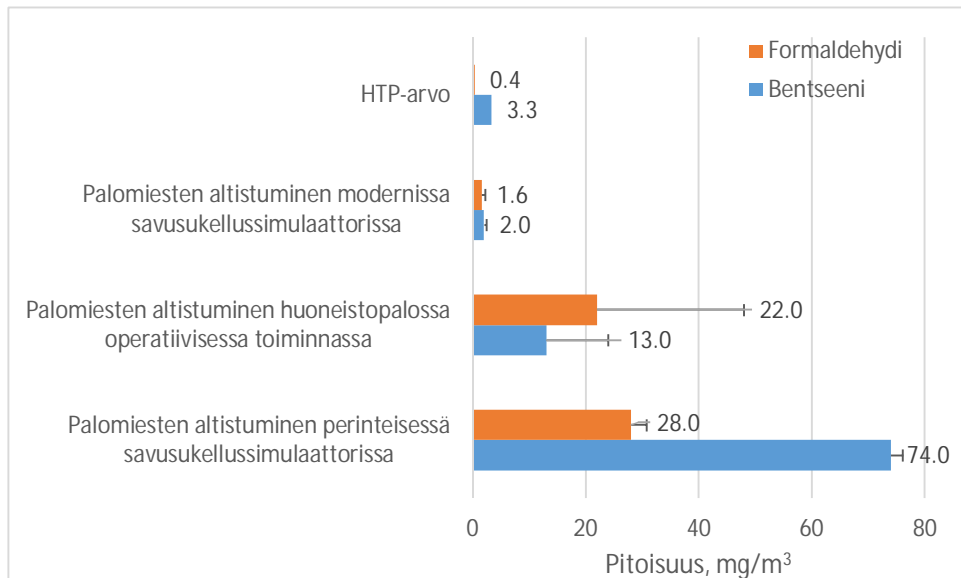
Suurimmat akroleiinipitoisuudet pelkästään savusukelluksen aikana olivat 40- sekä savusukelluksen ja raivauksen aikana 15-kertaisia sen kahdeksan tunnin HTP-arvoon verrattuna. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 10-21 -kertaisia akroleiinin HTP<sub>15min</sub>-arvoon verrattuna näissä työvaiheissa (taulukko 2). USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa palomiesten (n=96) keskimääräinen altistuminen akroleiinille oli 0,8 mg/m<sup>3</sup> ja suurimmat mitatut pitoisuudet olivat 4,0 mg/m<sup>3</sup> eli noin 18-kertaisia Suomen HTP<sub>15min</sub>-arvoon nähden (Bolstad-Johanson ym., 2000). Metsäpaloissa suurimmat mitatut pitoisuudet (n=329) ovat olleet 0,04-0,23 mg/m<sup>3</sup> ollen noin 17-100 % akroleiinin HTP<sub>15min</sub>-arvosta (Reinhardt and Ottmar, 2004).

Suurimmat bentsaldehydipitoisuudet pelkästään savusukelluksen aikana olivat 4,3- sekä savusukelluksen ja raivauksen aikana 0,4 -kertaisia sen kahdeksan tunnin HTP-arvoon verrattuna. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 0,3-2,5 -kertaisia bentsaldehydin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna näissä työvaiheissa (taulukko 2). Kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa vastaavat pitoisuudet ovat olleet 91 % ja modernissa savusukellussimulaattorissa 2 % bentsaldehydin HTP<sub>8h</sub>-arvoon verrattuna (Laitinen ym. 2015). USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa palomiesten (n=96) keskimääräinen altistuminen

bentsaldehydille oli  $0,2 \text{ mg/m}^3$  ja suurimmat mitatut pitoisuudet olivat  $0,5 \text{ mg/m}^3$  eli noin 12 % Suomen  $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvoon nähden (Bolstad-Johanson ym., 2000).

Suurimmat formaldehydipitoisuudet pelkästään savusukelluksen aikana olivat 140- sekä savusukelluksen ja raivauksen aikana 24 -kertaisia sen kahdeksan tunnin  $\text{HTP}$ -arvoon verrattuna. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 13-59 -kertaisia formaldehydin  $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvoon verrattuna näissä työvaiheissa (taulukko 2). Kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa vastaavat pitoisuudet ovat olleet 76 - ja modernissa savusukellussimulaattorissa 4,3-kertaisia formaldehydin  $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvoon verrattuna (Laitinen ym. 2015). USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa palomiesten keskimääräinen altistuminen formaldehydille ( $n=96$ ) oli  $0,3 \text{ mg/m}^3$  ja suurimmat mitatut pitoisuudet olivat  $1,4 \text{ mg/m}^3$  eli noin 3,8-kertaisia Suomen  $\text{HTP}_{15\text{min}}$ -arvoon nähden (Bolstad-Johanson ym., 2000). Metsäpaloissa suurimmat mitatut pitoisuudet ( $n=329$ ) ovat olleet  $0,1\text{-}0,7 \text{ mg/m}^3$  ollen noin 27-190 % formaldehydin  $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvosta (Reinhardt and Ottmar, 2004).

Kuvaan 11 on koottu vertailua erilaisissa savusukellustehtävissä havaittuja altistumisia bentseenille ja formaldehydille.



Kuva 11. Palomiesten keskimääräinen potentiaalinen hengitystiealtistuminen (keskiarvo $\pm$ standardipoikkeama) bentseenille ja formaldehydille erilaisissa savusukellusolosuhteissa (Laitinen ym., 2015)

### 5.1.3 Paloauton ja sammutusasujen säilytystilan ilman laatu

Hälytyksen jälkeen palo-auton sisätiloista ja sammutusasujen säilytystilasta mitattiin aldehydipitoisuuksia ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksia. Suurimmat akroleiinipitoisuudet palo-auton sisätiloissa olivat 74 % ja sammutusasujen säilytystilassa 12 % sen viidentoista minuutin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Vastaavasti suurimmat formaldehydipitoisuudet paloautossa olivat 10 % ja sammutusasujen säilytystilassa 5,4 % akroleiinin viidentoista minuutin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Suurin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus paloauton sisällä ja sammutusasujen säilytystilassa oli 60 % hyvän teollisuusilman viitearvosta (taulukko 3).

## 5.2 Kokonaisaltistumiseen vaikuttavat tekijät

Koehenkilöiden altistavan työvuoron aikaisia altistumiseen vaikuttavia työskentelymenetelmiä ja -aikoja kysyttiin kyselykaavakkeella, joka on liitteenä 1. Koehenkilön vastauksia verrattiin heidän altistumiseen ja arvoitiin mitkä tekijät näyttäisivät myötävaikuttavan altistumisen lisääntymiseen. Taulukossa 20 on esitetty korrelaatiokerroimet (r) sekä p-arvo tärkeimpien tekijöiden merkittävyydestä altistumisen kannalta.

Taulukko 20. Altistumiseen vaikuttavat tekijät

Altistumiseen vaikuttava tekijä	korrelaatiokerroin	p-arvo
<u>Naftaleenialtistuminen</u>		
Savusukelluksen kesto	0,63727	0,0033**
Savusukelluksen ja raivauksen kesto	0,59465	0,0072**
Koko tehtävän kesto palopaikalla	0,46892	0,0428*
Savusukellusasun pitoaika	0,48516	0,0352*
<u>Pyreenialtistuminen</u>		
Savusukelluksen kesto	0,81724	<0,0001***
Savusukelluksen ja raivauksen kesto	0,82660	<0,0001***
Savusukellusasun pitoaika	0,52995	0,0287*
Varusteiden huolto (ei 0, kyllä 1)	0,70159	0,0008***
<u>Bentseenialtistuminen</u>		
Koko tehtävän kesto palopaikalla	0,45030	0,0530

Tulokset osoittavat että altistumisaika eri muodoissaan vaikuttaa palomiehen kokonaisaltistumiseen. Tilastollisesti erittäin merkittäviä tekijöitä (p-arvo alle 0,001) kokonaisaltistumisen syntymiselle näyttäisi olevan savusukelluksen kesto ilman raivausta ja savuskellus

sekä raivaus yhdistettynä suhteessa pyreenialtistumiseen. Kolmantena erittäin merkittävänä altistumista lisäävänä tekijänä oli varustehuolto. Vastaavat tekijät suhteessa naftaleenialtistumiseen osoittivat tilastollisesti merkittävää vaikutusta ( $p$ -arvo alle 0,01). Taulukossa muiden mukana olleiden tekijöiden osalta voidaan todeta, että ne ovat mahdollisesti merkittäviä ( $p$ -arvo alle 0,05) tekijöitä altistumisen suhteen. Huomion arvoista oli, että ainoastaan tehtävän kesto korreloi bentseenialtistumiseen, mutta sekään ei saavuttanut mahdollisesti merkittävää statusta ( $p$ -arvo alle 0,05). Näiden tulosten perusteella päädyttiin käyttämään savusukelluksen kestoa luokittelevana tekijänä.

### 5.3 Tutkittujen palomiesten luokittelu

Hankkeen tavoitteena oli luokitella koehenkilöt Skellefteå-mallia ja perinteistä mallia noudattaviin. Koska altistumisaika korreloi merkittävästi tai erittäin merkittävästi kokonaisaltistumiseen luokittelimme aineiston sen mukaan. Skellefteå-mallin mukaiseksi toiminnaksi katsoimme myös muutamat perinteistä mallia noudattaneet koehenkilöt, jotka olivat toimineet tehtävänsä aikana pääosin Skellefteå-mallin mukaisesti.

Koehenkilöiden altistumisaikaa katsottaessa savusukellusajat täsmäsivät Skellefteå ja perinteistä mallia noudattavien osalta hyvin ollen  $40 \pm 22$  ja  $51 \pm 39$  minuuttia. Suurempi ero nähtiin laskettaessa yhteen savusukellus- ja raivausajat, jolloin Skellefteå-mallia noudattavilla koehenkilöillä raivaus- ja savusukellusaika oli selvästi lyhempi kuin perinteisistä mallia soveltavilla ollen  $45 \pm 27$  ja  $82 \pm 64$  minuuttia. Tilanteen kokonaiskestossa sen sijaan ei ollut merkittäviä eroja samoin kuin ajoissa hälytyksen alusta peseytymiseen. Perinteistä mallia noudattavilla asemilla koehenkilöiden työkokemus oli lievästi pidempi kuin Skellefteå-mallia noudattavilla, ollen  $11 \pm 9$  ja  $7 \pm 7$  vuotta (taulukko 4).

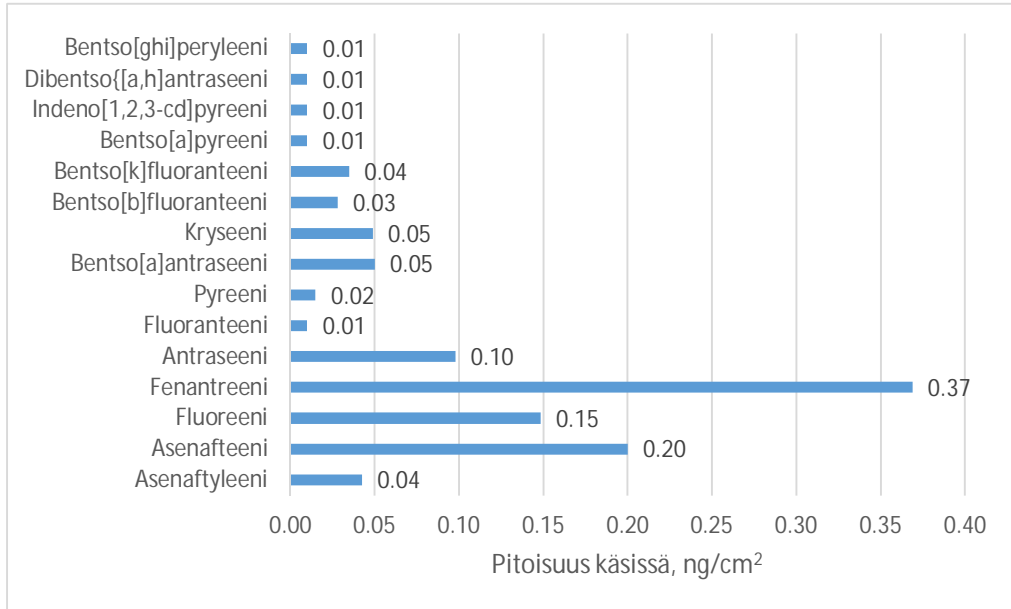
Työskentelytavoissa oli eroa erityisesti Skellefteå-mallin eduksi aluskäsineiden käytössä, sammutustakin riisumisessa palopaikalla, kaikkien likaisten varusteiden riisumisessa palopaikalla, likaisten varusteiden kuljetuksessa palopaikalle tiiviissä kuljetusastiassa/pussissa ja likaisten varusteiden kuljetuksessa paloasemalle erillään miehistöstä. Sen sijaan PI-laitteita käyttivät kaikki koehenkilöt raivauksen aikana mikäli raivausta tarvittiin tehdä. Varusteiden huolto kuului tutkimuspäivään sisältöön useammin perinteistä mallia noudattavilla koehenkilöillä. Skellefteå-mallia noudattavilla asemilla puolet koehenkilöistä ilmoitti vähintään silloin tällöin käyttävän nuuskaa, sama luku perinteisillä asemilla oli 14 % (taulukko 5). Kaikki koehenkilöt olivat tupakoimattomia, mikä tulosten arvioinnin kannalta oli erinomainen asia. Kaiken kaikkiaan tutkittavia koehenkilöitä oli 24 kappaletta, jotka jakautuivat edellä mainittujen kriteerien mukaan kolmeen luokkaa savusukellusajan ja toimintamallin mukaisesti (taulukko 6).

## 5.4 Ihoaltistuminen

Palomiesten ihoaltistumisen osuus kokonaisaltistumisesta on entisestään lisääntynyt hengityksensuojainten parantuessa, jolloin puolestaan hengityksen kautta kulkevien altisteiden määrää on pystytty aiemmasta vähentämään (Fent ym., 2013; Fent ym., 2014). Aineiden absorptioon ihon läpi vaikuttavat esimerkiksi altistavan kemikaalin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä ihon kunto ja sen pintakerroksen paksuus. Kehon haavoittuvimpia alueita ovat ne, joissa epidermis on ohuimmillaan, kuten pää, genitaalialue ja korvakäytävä (EPA 1992). Ihoaltistumisen vähentämiseksi palomiesten suojarusteiden kehitystyöhön on panostettu ja heidän hyvää henkilökohtaisen hygienian merkitystä ruuansulatuskanavan kautta tulevan altistumisen vähentämiseksi on myös korostettu. Lisäksi suojarusteiden puhtauteen, suojavatteiden konepesun tehokkuuteen ja sammutusvarusteiden huoltoon on kiinnitetty entistä enemmän huomiota (Fent ym., 2014; Laitinen ym., 2014; Työterveyslaitos, 2015; Lahti, 2016). Nyt tehdyssä tutkimuksessa seurattiin palomiesten käsien ja koko kehon kautta tulevaa altistumista. Erityisesti sammutuspuvun alle laitettavien ihokeräinten käyttö osoittautui haasteelliseksi ja näytteitä saatiin kerättyä varsin vähän. Sen sijaan käsienpesunäytteitä saatiin lähes kaikilta koehenkilöiltä.

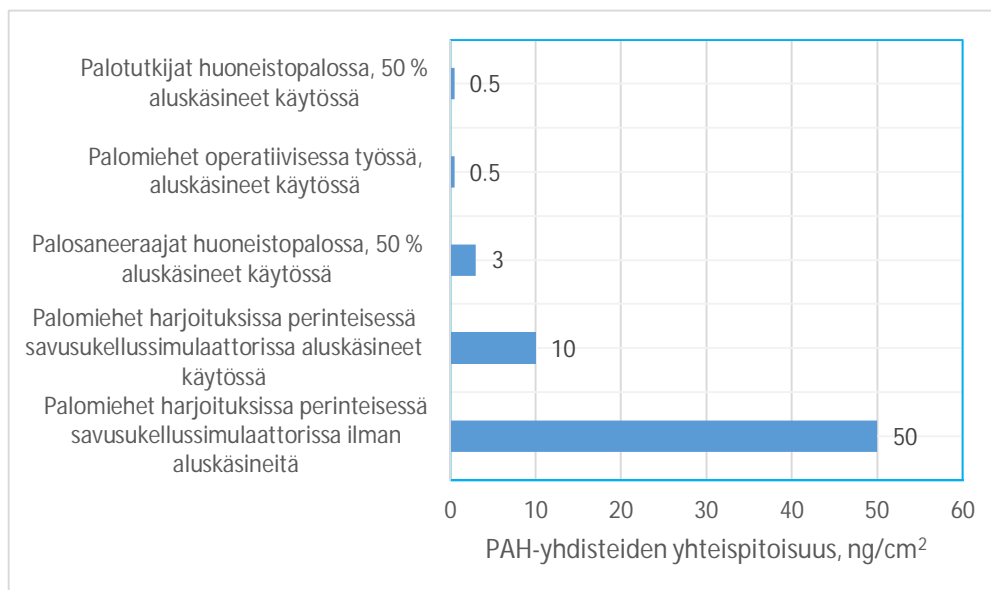
### 5.4.1 Käsien kautta tuleva altistuminen

Perinteistä mallia noudattavilla asemilla ei käytetty aluskäsineitä ja se näkyi hyvin heidän käsien kautta tulevaa altistumista kuvaavassa taulukossa 7. Käsien kautta tuleva altistuminen lisääntyi koehenkilöillä savusukellusajan lisääntyessä. Verrattaessa perinteistä mallia noudattavien koehenkilöiden tuloksia Skellefteå-mallia noudattaviin koehenkilöihin, havaitut määritysrajan ylittävät polysyklisten aromaattisten yhdisteiden yhteispitoisuudet perinteistä mallia noudattavilla olivat 21 minuuttia tai alle sukeltaneilla 5,6 –kertaisia ja yli 60 minuuttia sukeltaneilla 4,4 –kertaisia. Keskimmaisessä ryhmässä käsien kautta tulevassa altistumisessa ei havaittu eroja (taulukko 7). Kuvassa 12 on esitetty koehenkilöiden käsistä mitattujen PAH-yhdisteiden summaprofiili määritysrajan ylittävältä osalta. Merkittävin löydetty PAH-yhdiste palomiesten käsistä oli fenantreeni, seuraavina olivat asenafteni ja fluoreeni.



Kuva 12. Koehenkilöiden käsistä mitattujen PAH-yhdisteiden summaprofiili

Kuvassa 13 on esitelty eri työntekijäryhmien käsien kautta tulevaa keskimääräistä altistumista erilaisissa työtehtävissä (Laitinen ym., 2010; Tillander ym., 2008; Tillander ym., 2009). Vertailu muiden työntekijöiden käsien kautta tulevaan altistumiseen osoittaa, että palomiesten käsien kautta tuleva altistuminen ei noussut kovin suureksi. Tuloksia on todennäköisesti pienentänyt se, että käsienpesu tehtiin vasta paloasemalla hälytystehtävän jälkeen, jolloin osa epäpuhtauksista oli jo siirtynyt käsistä erilaisille pinoille, joita kosketeltiin ennen asemalle tuloa. Kuvassa 13 näkyvissä tutkimuksissa käsien pesut tehtiin välittömästi altistumisen päättymisen jälkeen ennen kuin epäpuhtaudet olivat kerinneet siirtyä kosketeltuihin pintoihin (Laitinen ym., 2010; Tillander ym., 2008; Tillander ym., 2009).



Kuva 13. Eri työntekijäryhmien käsien kautta tuleva keskimääräinen PAH-altistuminen

Taulukossa 20 on esitetty aluskäsineiden vaikutusta mitattuihin pitoisuuksiin käsistä. Vaurusteiden huolto todettiin tilastollisesti merkitseväksi kokonaisaltistumisen kannalta ja jos koehenkilö käytti aluskäsineitä huollon aikana pitoisuuksia käsissä pystyttiin pienentämään. Vaikka huoltoa ei olisi edes tehty, silloinkin aluskäsineistä oli hyötyä käsien kautta tulevan altistumisen vähentämisessä. Erityisesti aluskäsineiden käyttö leikkasi mitattuja maksimipitoisuuksia.

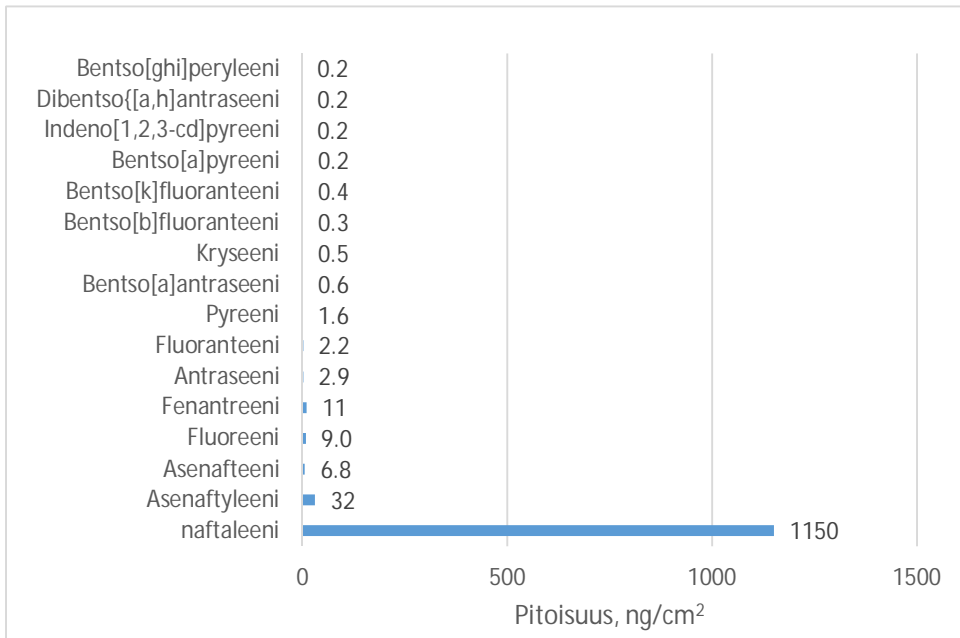
Taulukko 20. Aluskäsineiden vaikutus käsistä analysoitujen määrittämissä ylittäneiden PAH-yhdisteiden yhteispitoisuuden (ng/cm<sup>2</sup>) keskiarvoon, tulosten keskipoikkeamaan sekä minimi- ja maksimiarvoihin

Toiminta	keskiarvo	SD	min	maksimi	n
Huolto, ei aluskäsineitä	0,075	0,117	0,010	0,328	7
Huolto, aluskäsineet	0,065	0,109	0,010	0,228	4
Ei huoltoa, ei aluskäsineitä	0,058	0,067	0,010	0,170	5
Ei huoltoa, aluskäsineet	0,030	0,035	0,010	0,070	3

#### 5.4.2 Sammutuspuvun alta iholta mitatut pitoisuudet

Sammutuspuvun alta mitatut PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet suurenevät sammutusajan lisääntyessä ja mitatut tasot olivat hyvin samanlaisia molemmissa toimintamalleissa eri altistumisryhmissä (taulukko 8). Tulos oli odotettu, koska molempien toimintamallien koehenkilöt käyttivät suojaavuudeltaan samanlaisia sammutusasuja.

Kuvassa 12 on esitetty koehenkilöiden sammutuspuvun alta ihon pinnalta mitattujen PAH-yhdisteiden keskimääräisten pitoisuuksien profiili. Merkittävimmät löydetyt PAH-yhdisteet olivat naftaleeni, asenaftyleeni ja fenantreeni.

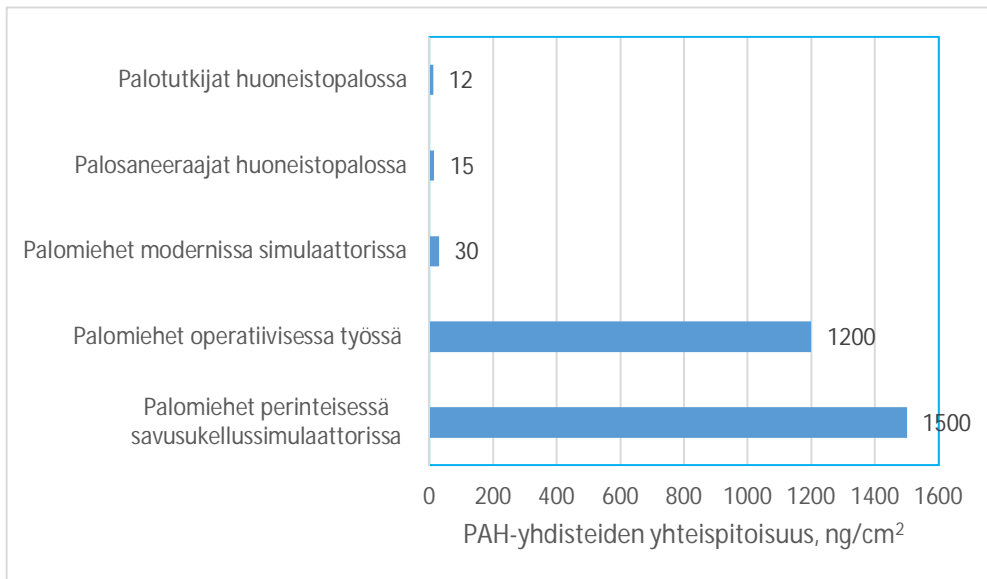


Kuva 14. Koehenkilöiden ihon pinnalta mitattujen PAH-yhdisteiden keskimääräisten pitoisuuksien profiili

Kuvassa 15 on esitelty eri työntekijäryhmien suoja-asusteen tai sammutuspuvun alta ihon pinnalta rinnasta ja selästä mitattu keskimääräistä PAH-altistumista kuvaava pitoisuus (n=9) erilaisissa työtehtävissä (Laitinen ym., 2010; Tillander ym., 2008; Tillander ym., 2009). Vertailu muiden työntekijöiden vastaavaan altistumiseen osoittaa, että palomiesten pitoisuudet operatiivisessä toiminnassa olivat keskimäärin lähes samaa luokkaa kuin savusukellusopettajilla perinteisissä savusukellussimulaattoriharjoituksissa. Fent tutkimusryhmineen on todennut palomiesten ihoaltistumisen olevan merkittävässä roolissa PAH-yhdisteiden kokonaisaltistumisesta. Todennäköisimpänä ihoaltistumiskohtana tutkimusryhmä



piti päättä ja erityisesti palomiesten niskaa, jota testeissä käytetyt suojahuput eivät tutkijoiden mukaan suojanneet riittävästi (Fent ym., 2014). Tämä sopii hyvin aiempiin käsityksiin suurimmasta ihoaltistumisriskistä alueilla, joissa ihon pintakerroksen paksuus on pienempi ja sen syystä kemikaalien absorptio suurempaa (EPA, 1992).



Kuva 15. Eri työntekijäryhmien keskimääräiset PAH-yhdisteiden yhteispitoisuudet suoja-asun tai sammutuspuvun alla ihon pinnalla työtehtävän jälkeen

## 5.5 Palomiesten kokonaisaltistuminen

Mitatuista palomiesten kokonaisaltistumisen mittareista parhaiten savusukellusaikaan koreloivat virtsan 2-naftoli ja 1-pyrenoli, jotka kuvastavat palomiesten kokonaisaltistumista naftaleenille ja pyreeneille. Nämä molemmat biomonitorointimenetelmät ovat useissa tutkimuksissa havaittu erinomaisiksi indikaattoriaineiksi PAH-altistumiselle (Feunekes ym., 1997; Caux ym., 2002; Laitinen ym., 2010).

### 5.5.1 Virtsan 2-naftoli

Molemmissa toimintamalleissa alle 21 minuutin savusukelluksen aikana pysyttiin keskimäärin altistumattoman väestön viitearvossa mitattuna heti altistumisen jälkeen. Savusukellettaessa enemmän kuin 21 minuuttia, mutta vähemmän kuin tunnin, pitoisuudet Skellefteå-

mallia noudattavilla koehenkilöillä nousivat 1,9 -kertaisiksi ja perinteistä mallia noudattavilla koehenkilöillä 4,6 -kertaisiksi altistumattoman väestön viitearvoon nähden. Savusukellettaessa yli tunnin pitoisuudet nousivat Skellefteå-mallia noudattavilla 4,5 -kertaisiksi ja perinteistä mallia noudattavilla 16 -kertaisiksi altistumattoman väestön viitearvoon verrattuna (taulukko 9). Työterveyslaitoksen viimeksi julkaiseman biomonitoroinnin vuositilaston mukaan vuonna 2012 kaikilta toimialoilta tulleiden tupakoimattomien koehenkilöiden 2-naftolinäytteiden 95 % persenttili oli 18 µg/l, joka tarkoittaa että vain viisi prosenttia kaikista analysoiduista tuloksista oli suurempia kuin kyseinen arvo. Vuoden 2012 tilastossa suurin tupakoimattomilta koehenkilöiltä mitattu pitoisuus oli 28 µg/l. Näin ollen perinteisessä mallissa jo 21-60 minuuttia savusukeltaneiden ryhmä ja molemmissa toimintamalleissa yli tunnin savusukeltaneet koehenkilöt kuuluivat 5 % eniten altistuneiden työntekijöiden joukkoon Suomessa kaikki toimialat huomioiden (Kiilunen 2013). Pelastusopiston kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa poltettaessa puhdasta puuta altistuneelta savusukellusopettajalta mitattu suurin 1-naftolipitoisuus oli 29 µg/l mitattuna heti altistumisen jälkeen ja keskimääräiset pitoisuudet olivat 19 µg/l (Laitinen ym., 2010). Näiden tulosten perusteella palomiesten altistuminen naftaleenille operatiivisessa toiminnassa oli kaikkiin toimialoihin verrattuna omassa luokassaan. Naftaleenialtistumisen osalta Skellefteå-mallia noudattaneiden tulokset olivat pienempiä eri savusukellusluokissa, mutta koska perinteistä mallia noudattavilla koehenkilöillä oli enemmän raivaustyötä ero saattaa osin selittyä sillä. Toisaalta tilanteen keskimääräinen kestoaika toimintamallien välillä oli sama, joten toiminnassa ja ihoaltistumisessa saattaa olla eroja toimintamallien välillä.

### 5.5.2 Virtsan 1-pyrenoli

1-Pyrenolipitoisuudet Skellefteå-mallia noudattavilla koehenkilöillä pysyivät alle altistumattoman väestön viitearvon kaikissa savusukellusaikaluokissa. Sen sijaan perinteistä mallia soveltavilla koehenkilöillä pitoisuudet nousivat tasaisesti savusukellusajan lisääntyessä (taulukko 10). Alle 21 minuuttia savusukeltaneilla ei vielä altistumattoman väestön viitearvoa ylitetty, mutta 21-60 minuuttia savusukeltaneilla päästiin keskimääräisissä pitoisuuksissa tupakoimattomien koehenkilöiden kaikilta toimialoilta kerättyjen tulosten keskiarvoon (Kiilunen 2013). Yli tunnin savusukeltaneiden ryhmässä maksimipitoisuudet ylittivät 1-pyrenolin toimenpiderajan 2,6 µg/l, joka tarkoittaa että työnantajan on ryhdyttävä välittömiin toimiin työntekijän altistumisen vähentämiseksi. Skellefteå-mallia noudattavilla pitoisuudet olivat pienempiä kuin perinteistä mallia noudattavilla, mutta raivaustyön osuus oli edelleen perinteistä mallia noudattavilla suurempi (taulukko 10). Caux ja kumppanit ovat selvittäneet palomiesten altistumista sammutustehtävissä ja suurimmat heti altistumisen jälkeen mitatut pitoisuudet ovat olleet 7,3 µg/l, kun kreatiniinikorjatuista tuloksista muunnettaessa tulokset yksikköön µg/l on käytetty kreatiniinieritystä 9,35 mmol/l. Kaikista mitatuista tu-

loksista 38 % ylitti altistumattoman väestön raja-arvon 0,7 µg/l (Caux ym., 2002). Pelastusopiston kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa altistuneelta savusukellusopettajalta mitattu suurin 1-pyrenolipitoisuus oli 3,7 µg/l mitattuna 6 tuntia altistumisen päättymisen jälkeen ja keskimääräiset pitoisuudet olivat 2,0 µg/l. Heti altistumisen jälkeen mitattu suurin pitoisuus oli 1,9 µg/l ja keskimääräinen pitoisuus 1,1 µg/l (Laitinen ym., 2010).

### 5.5.3 Virtsan mukonihappo

Virtsan mukonihappo kuvastaa palomiesten altistumista bentseenille. Mukonihappo ei korreloinut savusukellusaikaan, mutta tilanteen kokonaiskeston suhteen sen p-arvo oli 0,05 ollen lähellä mahdollisesti merkittävää korrelaatiota (taulukko 20). Tuloksista nähdään, että vain perinteistä toimintamallia noudattavilla koehenkilöillä, jotka altistuivat vähemmän kuin 21 minuuttia, pitoisuudet pysyivät alle altistumattoman väestön viiterajan. Kaikissa muissa savusukellusaikaryhmissä altistumattoman väestön viiteraja ylittyi jo keskimääräisissä pitoisuuksissa. Maksimipitoisuuksista nähdään, että yhden koehenkilön tapauksessa ylittyi myös mukonihapon toimenpideraja, jonka jälkeen työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimiin altistumisen vähentämiseksi (taulukko 11). Caux ja kumppanit ovat selvittäneet palomiesten altistumista sammutustehtävissä ja 14 % heti altistumisen jälkeen mitatuista pitoisuuksista ylitti arvon 10,3 µmol/l, kun kreatiniinikorjatuista tuloksista muunnettaessa tulokset yksikköön µmol/l on käytetty kreatiniinieritystä 9,35 mmol/l. Kaikista mitatuista tuloksista 81 % oli alle menetelmän määritysrajan (Caux ym., 2002). Pelastusopiston kuumasavusukellusharjoituksissa perinteisessä savusukellussimulaattorissa altistuneilta opettajilta heti altistumisen jälkeen suurin mitattu mukonihappopitoisuus oli 1,8 µmol/l ja keskimääräiset pitoisuudet olivat 1,5 µmol/l (Laitinen ym., 2010).

### 5.5.4 Virtsan ja veren metallit

Materiaalinäytteistä mitatut metallipitoisuudet olivat korkeita ja laskennalliset pitoisuudet osoittivat, että palopaikan ilmassa on mahdollista altistua korkeille metallipitoisuuksille jos hengityksensuojaus ei ole kunnossa (kuva 1). Palomiesten virtsasta ja verestä mitatut pitoisuudet olivat pieniä lukuunottamatta yhtä koehenkilöä, jolla oli lievästi kohonnut veren ja virtsan lyijypitoisuus ja virtsan kadmiumpitoisuus (taulukot 12-14). Näin ollen tulokset osoittivat, että palopaikalla on potentiaalinen riski altistua metalleille, mutta hyvällä suojauksella se voidaan ehkäistä. Muilta toimialoilta, joissa on mahdollisuus altistua tuhkalle, kuten biopolttoainetta hyödyntävien lämpövoimalaitosten kattiloiden puhdistus- ja korjaustöissä, on mitattu työntekijöiltä altistumattomaan väestöön verrattuna kohonneita virtsan arseeni-, lyijy-, mangaani-, alumiinipitoisuuksia (Jumpponen ym., 2015).

### 5.5.5 Virtsan tiosityanaatti

Koehenkilöiden virtsan tiosityanaattipitoisuudet kuvastavat altistumista syaanivedylle ja syanideille. Mitatut pitoisuudet osoittivat vain yhdellä koehenkilöllä lievästi altistumattoman väestön viitearvon ylittävän tuloksen. Näin ollen palomiesten altistuminen syaanivedylle ja syanideille tutkituissa huoneistopaloissa oli vähäistä. Tulokset olivat hyvin yhteneväiset Pelastusopiston savusukellusharjoituksissa perinteissä savusukellussimulaattorissa harjoitteleilta opettajilta mitattuihin pitoisuuksiin nähden (Kuopion aluetyöterveyslaitos 2004). Sen sijaan simulaattorin ilmasta löydettiin syaanivetypitoisuuksia, jotka pienenivät vähennettäessä muovin polttamista harjoitusolosuhteissa (Laitinen ym., 2010). Vaikka raportoitavassa tutkimuksessa syaanivetyaltistumisia ei havaittu, niin huoneistopaloissa joissa palaa poikkeuksellisesti paljon muoveja, kuten akryylinitriilibutadienistyreeniä (ABS) ja polyakryylinitriiliä (PAN) tai kumia ja asfalttia, on olemassa mahdollisuus altistua poikkeuksellisen korkeille syaanivetypitoisuuksille, joiden pahimpana lopputuloksena saattaa olla palomiehen syaanivetymyrkytys (Varone ym., 2006).

## 5.6 Tellervonkadun tapaus

Tellervonkadun tapauksessa altistuneiden palomiesten oireiden yleisyydessä ei oirekyselytutkimuksen mukaan ollut eroa savusukeltaneiden ja muissa tehtävissä olleiden välillä. Heti altistumisen jälkeen oireita raportoitiin yli puolet ja noin viikon kuluttua 33 % (taulukko 17). Heti altistumisen jälkeen raportoitiin hengitysteihin painottuvia ärsytysoireita. Noin viikko altistumisen jälkeen yleisimpiä myöhäisoireita olivat limaneritys ja nuha. Näiden lisäksi myös pitkittynyttä yskää raportoitiin vielä muutama henkilö (taulukko 17).

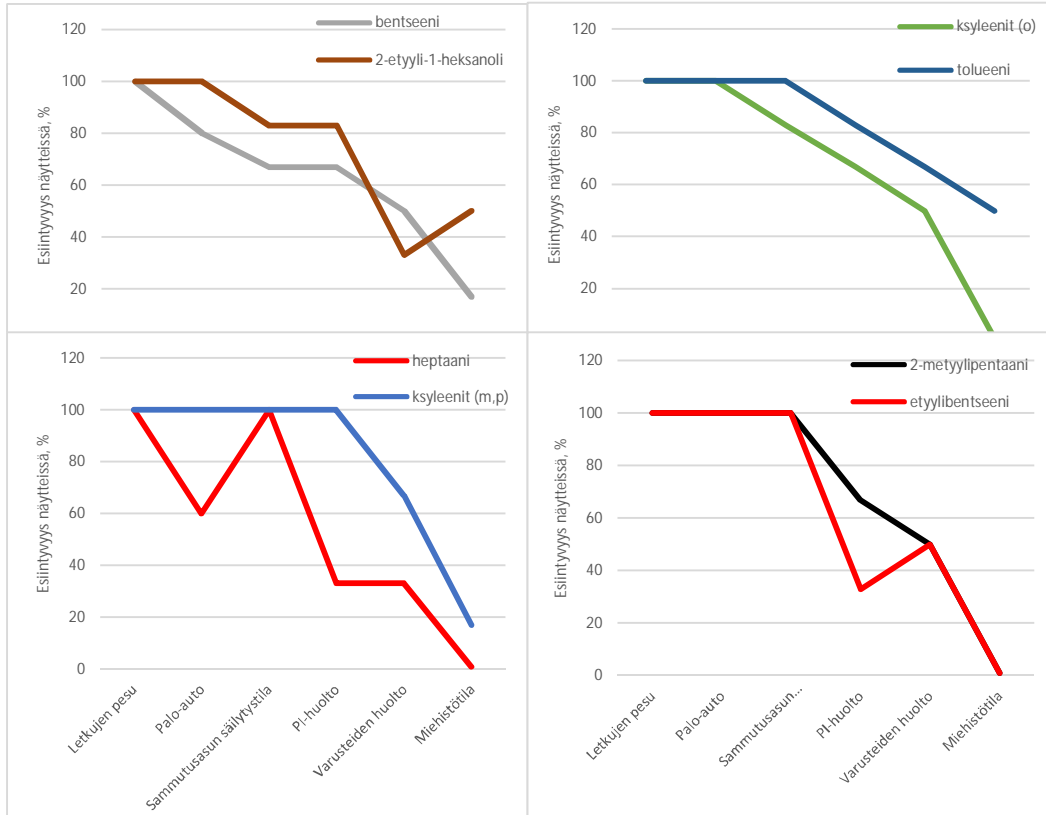
Keuhko- ja tulehdusvastetulokset osoittivat, että hengitysteiden altistuminen oli muilla palomiehillä suurempi kuin savusukeltaneilla kollegoilla (kuvat 4-9). Tämä ilmeni spirometriarvoissa ja tulehduksen suojareaktion aktiivisuudessa. Löydösten perusteella on syytä uskoa, että kevyemmin suojautuvat palomiehet sammutustilanteessa ovat erityisvaarassa varsinkin jos kohteessa ilmenee epätavallisia määriä poikkeuksellisia altisteita, kuten tässä tapauksessa typpihappoa ja typen oksideja. Tämän vuoksi myös muiden kuin savusukeltavien on huolehdittava riittävästä suojautumisesta huomioiden tulipalojen ennalta arvaamattomuus. Kemikaalionnettomuuksista tutuilla suojaetäisyyksien soveltamisella olisi kyseissä tilenteissa vältetty useimpia altistumisia (Työterveyslaitos 2015).

Sammutuspuvun pesutesteissä pesutulos vesiliukoisen typpihapon osalta oli hyvä ja myös rasvaliukoiset PAH-yhdisteet puhdistuivat sammutusasusta kohtalaisen hyvin (taulukot 18 ja 19). Tämä tarkoittaa sitä, että palomiehen sammutusasun peseminen

teollisuuspesukoneessa valmistajan ohjeiden mukaisesti riittää useimmissa altistumistapauksissa puhtaan lopputuloksen saamiseksi. Erityisen tärkeäksi nousi tässäkin tapauksessa Skellefteå-mallin mukainen toiminta palopaikalla. Kontaminoitunut sammutuspuku tulee riisua mahdollisimman nopeasti pois. Riisumisvaiheessa on kädet suojattava hyvin ja mikäli mahdollista tulisi käyttää kemikaalisuojakäsineitä, jolloin iho pystytään suojaamaan sammutuspuvusta mahdollisesti tulevia epäpuhtauksia vastaan. Hengitystiealtistumiselta välttyminen edellyttäisi hengitysmaskin riisumista viimeisenä, kunnes saastuneet kampeet on pakattu itseliukeneviin tiiviisiin pesupusseihin pesulaan kuljetusta varten. Itseliukenevien pesupussien ansiosta välistä jäisi pois vaatteiden siirtovaihe pusseista/säiliöistä pesukoneeseen, jolloin altistumisriskiä pystyttäisiin vähentämään. Vastaavasti myös paineilmalaitteille voi hyödyntää samaa taktiikkaa ketjun alkuvaiheessa, mutta huollon aikana on käytettävä kemikaalisuojakäsineitä ja hengityksensuojaimia altistumisen vähentämiseksi. Huoltokäytäntöjen logistiikan miettiminen ja huoltoa tekevien suojautumisen tarkentaminen on tärkeää edellä mainittujen ongelmien välttämiseksi (Työterveyslaitos 2015).

## 5.7 Paloasemien ja paloautojen sisäilman laatu

Kaikki paloaseman likaiselta puolelta eli tiloista joissa käsitellään tulipalossa olleita varusteita tai kalustoa mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden yhteispitoisuudet täyttivät Työterveyslaitoksen ehdottaman hyvän teollisuusilman viitearvon  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mutta hyvän teollisuusilman tavoitearvosta  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jäätiin puhdistetun paloauton sisällä ja PI-laitteiden huoltotilassa. Miehistötilassa ns. puhtaalla puolella kaikki mitatut pitoisuudet täyttivät Työterveyslaitoksen puhtaan sisäilmaston tavoitearvon  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (taulukko 15). Yleisimmät yksittäiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet mitatuissa tiloissa olivat tolueeni, ksyleenit (p, m), 2-metyylipentaani, ksyleenit (o), etyylibentseeni ja bentseeni. Näiden aineiden leviämistä palopaikoilta, paloautoihin, sammutusasujen säilytystilaan, varusteiden huoltoon, letkujen huoltoon ja miehistön puhtaisiin tiloihin on havainnollistettu kuvassa 16.



Kuva 16. Yleisimpien palossa esiintyvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden esiintyminen (%) paloaseman eri osista mitatuissa näytteissä (n=6, letkujen pesussa n=2).

Tuloksista nähdään, että aromaattiset hiilivedyt ovat paloaseman ilmassa eniten esiintyviä yhdisteitä. Positiivinen havainto oli se, että ne vähenivät varusteiden ja kaluston puhdistusprosessin aikana. Kuitenkin esimerkiksi syöpävaarallista bentseeniä havaittiin jopa miehistötiloissa asti, joka kuvaa epäpuhtauksien hienoista leviämistä aina puhtaisiin tiloihin asti. Tästä syystä puhtaiden ja likaisten tilojen väliset väliovet on pidettävä kiinni epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi. Lisäksi likaisilla varusteilla ei ole miehistötiloihin asiaa.

## 5.8 Altistumisen vaikutukset

Altistumisen vaikutusten mittauksissa nähtiin, että pidempään savusukeltaneilla oli voimakkaampi sekä suojaavien että mahdollisesti pitkäaikaishaittoja aiheuttavien sytokiinien tasojen nousu sekä sylkinäytteissä että seeruminäytteissä. Bentseenialtistumisen yhteydessä

kuomittavan fyysisen stressin merkkiaineet olivat yhteydessä altistumisen voimakkuuteen. Muiden altisteiden kohdalla vastaavaa yhteyttä ei havaittu. Taulukossa 21 on esitetty tilastollisesti merkitsevät muutokset mitatuissa altistumisen vaikutusta mittaavissa vasteissa suhteessa savusukellusajan ja altistumisen lisääntymiseen.

Erittäin merkitseviä muutoksia ( $p$ -arvo vähemmän kuin 0,001) olivat seerumin IL-1 $\beta$ :n, IL-6 ja syljen amylaasin (Sa-Amyl) vasteiden kasvun muutos heti altistumisen jälkeen mitattuna tasoista verrattuna lepojaksion jälkeen mitattuihin tasoihin suhteessa bentseenialtistumiseen (taulukko 21). Merkittävänä muutoksena ( $p$ -arvo alle 0,01) havaittiin myös syljen TNF- $\alpha$ :n pitoisuuden nousu verrattuna luokiteltuun pyreenialtistumiseen heti altistumisen jälkeen mitattuna (taulukko 21).

Mahdollisesti merkittävänä ( $p$ -arvo alle 0,05) muutoksina olivat syljen IL-6 lisääntyminen suhteessa savusukellusaikaan heti altistumisen jälkeen mitattuna. Yhtälailla mahdollisesti merkitseviä olivat syljen TNF- $\alpha$  pitoisuuden kasvu suhteessa naftaleenialtistumiseen heti altistumisen jälkeen mitattuna. Myös syljen IL-6 lisääntyä pyreenialtistumisen lisääntyessä heti altistumisen jälkeen mitattaessa. Yhtälailla nähtiin seerumin S-IL-8 ja syljen DHEA:n tasojen muutokset heti altistumisen ja lepotauon jälkeen mitattujen tasojen välillä suhteessa bentseenialtistumiseen.

Taulukko 21. Altistumisen aiheuttamat muutokset

Altistumiseen vaikuttava tekijä	Korrelaatiokerroin	p-arvo
<u>Savusukellusaika</u>		
Sa-IL-6	0,53537	0,0326*
<u>Naftaleenialtistuminen</u>		
Sa-TNF- $\alpha$	0,61198	0,0262*
<u>Pyreenialtistuminen</u>		
Sa-IL-6	0,55475	0,0491*
Sa-TNF- $\alpha$ (luokiteltu)	0,75020	0,0031**
<u>Bentseenialtistuminen</u>		
S-IL-1 $\beta$ (muutos)	0,73683	0,0003***
S-IL-6 (muutos)	0,71755	0,0005***
S-IL-8 (muutos)	0,54928	0,0149*
Sa-DHEA (muutos)	0,61934	0,0138*
Sa-Amyl (muutos)	0,71030	0,0007***

## 5.9 Kemiallista altistumista vähentävät hyvät käytännöt palomiehen työssä

### 5.9.1 Skellefteå-mallin soveltaminen

Skellefteån paloasemalla toteutettu riskienarviointihanke poiki lukuisan määrän erilaisia parannusehdotuksia, joiden tavoitteena oli palomiesten altistumisen vähentäminen ja työturvallisuuden parantaminen operatiivisessa työssä. Hankkeen tuloksena palomiesten asenteet muuttuivat myönteisimmäksi työturvallisuusasioita kohtaan, muuttuneet rutiinit ja työmenetelmät vähensivät palomiesten riskiä joutua altistaviin työtilanteisiin ja kontakteja kontaminoituneisiin varusteisiin (Swedish Civil Contingencies Agency, 2015).

Raportoitavassa hankkeessa verrokkiasemana mukana ollut Keski-Suomen pelastuslaitos on adoptoinut Skellefteå-mallista puhdas paloasema –toimintaan parhaimmat rutiinit ja jalostanut niitä edelleen Suomen käytäntöihin sopiviksi. Tavoitteena puhdas paloasema -ajattelussa on terve palomies ja samalla puhdas paloasema (Rinne 2014). Vähemmän altistavien operatiivisten toimintamallien lisäksi paloaseman puhdas sisäilma on myös tärkeää, koska palomiesten toimenkuvaan kuuluu päivystysluontoinen toiminta ympäri vuorokauden, josta valtaosa tapahtuu juuri paloasemilla. Näin ollen myös paloaseman sisäilman laatu on merkittävässä osassa palomiehen työhyvinvointia ajatellen.

Raportoitavassa hankkeessa merkittäviä eroja perinteisen ja Skellefteå-mallia noudattavien asemien sisäilman laadun välillä normaalin toiminnan aikana ei havaittu, arvioitaessa sisäilman laatua haihtuvien orgaanisten yhdisteiden avulla. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet pysyivät alle Työterveyslaitoksen teollisuusilman tavoitearvon 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tuomi ym., 2012) kaikissa muissa tiloissa paitsi palo-auton sisällä ja PI-huollossa. Miehistötiloissa pysyttiin Työterveyslaitoksen sisäilman viitesarvon 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Salonen ym., 2009) alapuolella kaikilla mitatuilla asemilla (taulukko 15). Paloautoissa ja kalustonhuollossa esiintyneitä yksittäisiä aromaattisia hiilivetyjä, esimerkiksi syöpövaarallista bentseeniä, löytyi selvästi vähemmän sisäilmanäytteissä kaluston puhdistuessa ja siirryttäessä kohti puhtaampia miehistötiloja (kuva 16). Seuratut yhdisteet edustivat palopaikoilta yleisesti tunnistettuja yhdisteitä (IARC, 2010).

Sisäilman säilyminen puhtaana edellyttää paloaseman tilojen jakamista puhtaisiin ja likaisiin tiloihin. Tiloja erottavat väliovet ja toiminnan logistiikka on ajateltu siten, että likaisten tilojen käyttäminen onnistuu ilman että on poikettava esimerkiksi kaluston huollon aikana likaisilla varusteilla puhtaalle puolelle ja päinvastoin. Skellefteå-mallin mukaisesti paloaseman ilmanvaihto onkin järjestettävä siten, että ilma virtaa puhtaammasta likaiseen päin, silloin epäpuhtaudet pysyvät siellä missä niiden tulisikin olla (Swedish Civil Contingencies Agency, 2015). Palomiesten kunnon ylläpitämiseksi useilla paloasemilla on esimerkiksi kun-



tosali, jonka sijoitus olisi ehdottomasti oltava puhtaalla puolella eikä esimerkiksi kalustohallissa. Tämä on erittäin tärkeää, koska fyysisesti ponnisteltaessa hengitysilman määrä lisääntyy, jolloin myös kokonaisaltistuminen tilassa esiintyville altisteille on moninkertainen (Laitinen ym., 2006).

Koko puhtas paloasema -ajattelu lähtee puhtaista varusteista, joilla kalustetaan sammuksyksikkö ja suojataan palomiehet. Raportoitavassa tutkimuksessa 63 % koehenkilöistä ilmoitti pukeutuneensa juuri pesusta tulleeeseen sammutusasuun ja 83 %:lla oli käytössään varasammutusasu sitä tarvittaessa. Saadut tulokset ovat selvästi korkeammat kuin vuonna 2012 tehdyssä opinnäytetyössä saadut tulokset. Niissä todettiin että vain 10 % pesi sammutusvarusteensa säännöllisesti aina kun olivat käyttäneet paineilmalaitetta kasvo-osan kanssa. Lisäksi 70 % koehenkilöistä ilmoitti, että heillä ei ollut käytössään varasammutusasuja (Lamminpää 2012). Aiempiin tuloksiin verrattuna, raportoitavassa tutkimuksessa mukana olleilta asemilta saadut tulokset osoittaisivat tilanteen kalustopuolella parantuneen neljän vuoden takaisesta tilanteesta.

Eri toimintamallista huolimatta suurimmat altistumiset tapahtuvat savusukellus- ja sammuksustilanteissa jatkuen edelleen raivaukseen ja JVT-toimintaan. Omaan erikoisalueena ovat metsä-, jäte-, kaatopaikkapalot sekä teolliseen toimintaan liittyvät palot ja kemikaalionnettomuudet.

Skellefteå-mallin mukaisesti onnettomuuspaikalle tullessa on tarkkailtava mahdollisuuksia valita sammutusyksiköille sopivin sijoituspaikka, mutta se edellyttää altistumisriskin tunnistamista ja altistumisepitoisuuksien arviointia. Tämän jälkeen voidaan tehdä päätöksiä lähestymissuunnasta, sisääntulokohdasta ja sijoittumisesta. Jotta myös ensihoidon ja poliisin turvallinen toiminta sammutustilanteessa olisi mahdollista turvata, tarvitaan myös huoneisto-paloihin suoja-aluekäytäntöä, kuten kemikaalionnettomuuksissakin. Tästä tarkemmin kappaleessa 5.9.2. Näin voidaan vähentää huonommin suojautuneiden tilanteessa toimivien yksiköiden altistumista. Sammutus- ja pelastusmenetelmien valinnalla ja tilanteeseen sopivimpien välineiden valinnalla on mahdollista torjua uhkaava tilanne tehokkaasti ja samalla vähentää palomiesten altistumisaikaa tarpeettomia riskejä välttämällä. Mikäli savusukelluksella ei nähdä saatavan merkittävää hyötyä tilanteessa, pyritään turhaa savusukellusta välttämään ja pyritään sammuttamaan tai rajaamaan palo ulkoapäin ympäristöä suojellen (IARC, 2012; Swedish Civil Contingencies Agency, 2015).

Palomiesten paras henkivakuutus on tilanteeseen sopivat suoja-asusteet, joiden toimivuus ja soveltuvuus eri tilanteisiin tulee varmistaa riittävällä taloudellisella resurssoinnilla. Palomiesten suojautumiseen kuuluvat sammutusasu, väliasu ja alusasu, sammutuskypärä, alushuppu, sammutuskengät, PI-laitteet, sammutuskintaat ja aluskäsineet. PI-laitteita käytetään savusukelluksen lisäksi pääsääntöisesti myös raivaustilanteessa, mutta JVT-toiminnassa käytetään tarkoituksenmukaisinta suojausta tilanteet huomioiden. Palomiehet

joutuvat toimimaan hyvin erilaisissa olosuhteissa, jonka vuoksi joissakin palolaitoksissa olevat kevytsuoja-asut ovat saaneet suosiota osakseen. Sen lisäksi, että kevyt suoja-asuilla vähennetään palomiesten lämpökuormitusta, voidaan samalla säästää varsinaista sammu-  
tusasua järeämpiin enemmän altistaviin tehtäviin, jolloin sammutusasut kestävät myös pi-  
dempään ja samalla saavutetaan järkevää säästöä. Kevyt sammutuspukujen kehittämis-  
työtä on tehty mm. yhteistyössä Työterveyslaitoksen ja Länsi-Uudenmaan pelastuslaitok-  
sen kanssa (Mäkinen ym., 2007).

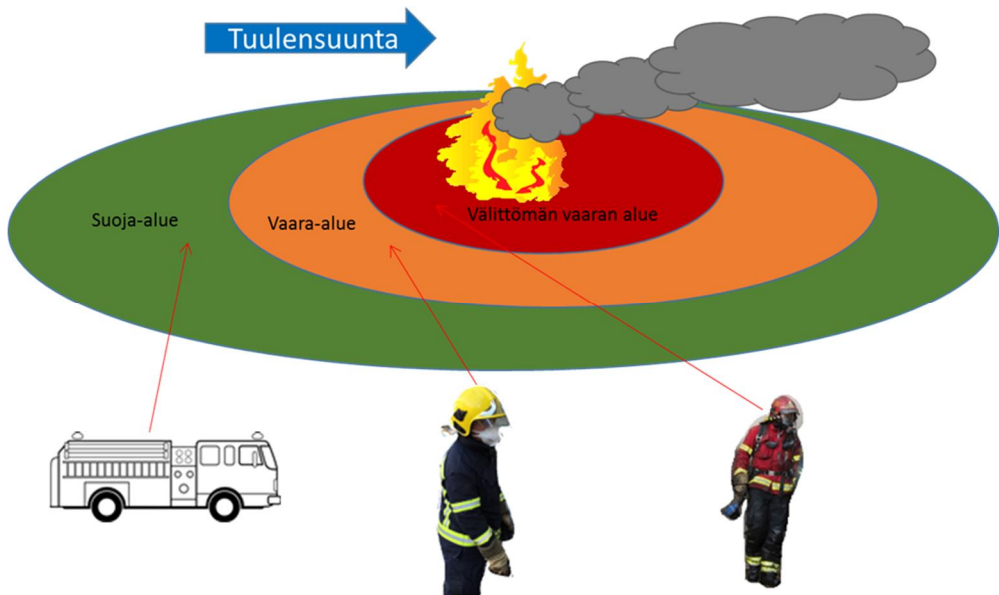
Skellefteå-mallin yksi tärkeimmistä ohjeistetuista toimintatavoista on toiminta sammutus-  
tehtävän jälkeen palopaikalla. Kontaminoituneet sammutusasut ja PI-laitteet riisutaan pois  
ja sammutuskengät pestään puhtaksi. Sammutusasut paketoidaan tiiviisiin säiliöihin kulje-  
tusta varten ja kuljetetaan miehistöstä erillään paloasemalle. Näin varmistetaan, että pa-  
lohöyryjen ja kiinteiden nokihiukkasten pitoisuudet palo-autossa palattaessa takaisin palo-  
asemalle olisivat pienemmät ja riski palomiesten hengitysteiden kautta tulevalle altistumi-  
selle vähenisi. Sen lisäksi myös ihoaltistumista voidaan laskea, koska likaiset varusteet eivät  
enää ole kosketuksessa ihon kanssa. Raportoitavassa tutkimuksessa hälytyksen jälkeen  
paloautoista mitatut suurimmat syöpävaarallisen akroleiinin pitoisuudet olivat 74 % sen vii-  
dentoista minuutin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta osoittaen merkittävää altistumis-  
riskiä. Suurin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden yhteispitoisuus oli kuusikertainen Työter-  
veyslaitoksen hyvän teollisuusilman tavoitearvoon nähden (taulukko 3). Aiemmassa kyse-  
lytutkimuksessa saatiin murskaava tulos suomalaisilla paloasemilla työskennelleitä palo-  
miehiltä, joista 95 % vastasi että likaiset sammutusvarusteet kuljetaan samassa tilassa  
miehistön kanssa paloasemalle tehtävän jälkeen (Lamminpää, 2012). Mikäli näin toimitaan  
palomiesten altistuminen sammutusasusta vapautuville palokaasuille, mahdollisille asbes-  
tikuiduille ja syöpävaarallisille hiukkasille jatkuu edelleen heidän palatessa palopaikalta pa-  
loasemalle.

Kaluston huollon merkitys palomiesten altistumiseen on viime vuosina ymmärretty parem-  
min ja tätä tärkeyttä tukee myös raportoitavassa hankkeessa havaittu kaluston huollon  
merkittävyys palomiesten kokonaisaltistumiseen vaikuttavista tekijöistä (taulukko 20). Tä-  
män vuoksi kappaleessa 5.9.3 on aihetta käsitelty laajemmin ja yksityiskohtaisemmin. Saa-  
dut tulokset palomiesten kokonaisaltistumisen osalta savusukellusajan suhteen osoittivat,  
että altistumiset naftaleenille ja pyreneille oli suurempia perinteistä kuin Skellefteå-mallia  
noudattavilla asemilla. Tosin tässä täytyy huomioida perinteisen toiminnan korkeampi rai-  
vausaika, mutta toisaalta tilanteen kestoissa palopaikoilla ei ollut merkittävää eroa toimin-  
tamallien välillä (taulukot 9 ja 10). Käsien kautta tulevaa altistumista voitiin Skellefteå-mal-  
lin mukaisella aluskäsineiden käytöllä vähentää ja erityisesti aluskäsineiden käyttö leikkasi  
suurimpia altistumisia (taulukko 20). Käsien kautta tulevan altistumisen on todettu vähen-  
tyneen yli 80 % perinteisissä savusukellusharjoituksissa käytettäessä aluskäsineitä sam-

mutuskintaiden alla, verrattuna tilanteeseen jossa aluskäsineitä ei käytetty lainkaan (Kuopion aluettyöterveyslaitos 2004). Perinteistä mallia noudattavat koehenkilöt eivät käyttäneet lainkaan aluskäsineitä.

### 5.9.2 Pelastustoiminnan toimintamallin kehittäminen altistavissa tehtävissä

Tellervonkadun tapaus todisti, että muut sammutustilanteessa toimivat henkilöt saivat enemmän keuhko- ja tulehdusvasteoireita kuin savusukeltajat (kuvat 4-9). Tämän seurauksena tuli tarpeelliseksi pohtia tarvitaanko kemikaalivahingoista tuttuja suoja-alueita myös sammutustehtävissä. Opetuksena Tellervonkadun tapauksesta Keski-Suomen pelastuslaitoksella otettiin käyttöön vaarallisten aineiden torjunnassa käytetty vaara-aluemäärittely myös sammutustehtävään ryhmittäytymisessä. Vaara-aluemäärittely poikkeaa kuitenkin vaarallisten aineiden vaara-alueen määrittelystä, lisäksi yhden alueen lisää. Onnettomuuspaikka jaetaan välittömän vaaran alueeseen, vaara-alueeseen sekä suoja-alueeseen (kuva 17).



Kuva 17. Vaara-alueet sammutustyössä (Lahti. 2016)

Suoja-alueiden määrittäminen tehdään aina, kun altistuminen on ilmeistä. Tällaisia tehtäviä ovat mm. rakennus-, ajoneuvo-, jäteastia- ja avopalot kuten kaatopaikkapalot. Maastopaloissa vaara-alueiden määrittäminen on hankalaa, mutta suojautumisesta tulee kuitenkin huolehtia myös näissä tilanteissa. Alueiden määrittämisen tekee pelastustoiminnan johtaja (Lahti 2016). Vastaavanlaista toimintamallia on esittänyt myös Palopäällikkö Mika Eilola Länsi-Uudenmaan pelastuslaitokselta Palopäällystöliiton järjestämässä pelastusalan työturvallisuusseminaarissa Finnsec-messuilla Helsingissä 19.11.2015 (Eilola, 2015).

Välittömän vaaran alue on alue tai tila, johon on levinnyt terveydelle tai ympäristölle vaarallista tai syttymisvaarallista ainetta tai jossa ilman happipitoisuus on alentunut alle 18 % tai hiilimonoksidipitoisuus on yli 30 ppm. Välittömän vaaran alueeksi katsotaan myös alue tai tila, jonka epäillään olevan vaarallinen tai joka voi muuttua vaaralliseksi. Sammutustyössä välittömän vaaran alue määritellään alkuvaiheessa vähintään 10 metrin säteelle onnettomuuspaikan ympärille. Välittömän vaaran alueeksi määritellään alue, jossa on tarkoituksenmukaista työskennellä vain paineilmalaitteissa. Suojaustasoksi määritellään sammutusasu ja paineilmalaitte. Alueella työskennellään vaaditussa suojaustasossa niin kauan, kun pelastustoiminnan johtaja katsoo tarpeelliseksi. Määrittelyssä otetaan huomioon näkyvä savu, alentunut happipitoisuus, kohonnut hiilimonoksidipitoisuus sekä mahdolliset muut vaaralliset altisteet. Kaasumaisten vaarallisten altisteiden pitoisuus on tarvittaessa mitattava suoraanosoittavilla mittalaitteilla. Paineilmalaitteen kasvo-osa on laitettava riittävän ajoissa välittömän vaaran alueelle mentäessä. Jos suojapariksi määrätty sammutuspari joutuu työskentelemään vaara-alueella, on suojaparin ilman riittävydestä huolehdittava koko tehtävän ajan. Tällä järjestelyllä mahdollistetaan suojaparin kykeneminen varsinaiseen tehtäväänsä (Lahti 2016).

Vaara-alue on alue tai tila, jossa voidaan myös altistua terveydelle vaarallisille aineille. Tällaisia tiloja ovat sivutilat, joissa ei havaita savua, alentunutta happipitoisuutta tai muita vaarallisia kemikaaleja esimerkiksi hiilimonoksidia, jotka vaativat suojautumista paineilmalaitteella. Sammutustyössä vaara-alueeksi määritellään välittömän vaaran alueen ympärillä oleva vähintään 10 metrin alue. Vaara-alueeksi on kuitenkin tarkoituksenmukaista määrittää alue, jossa työskennellään sammutusasussa tai kevytasussa ja hengityksensuojainta (Lahti 2016). Työterveyslaitos suosittelee, että vaara-alueella käytettäisiin puhallinavusteista hengityksensuojainta, joka on varustettu silmät suojaavalla maskiosalla ja siinä on yhdistelmäsuodatin A2B2E2K2-P3 täyttäen kokonaisuutena vähintään suojausluokituksen TH3. Maastopalossa vaara-alueeksi määritellään alue, jossa työskennellään savuisella alueella.

Suoja-alue on välittömästi vaara-alueita ympäröivä alue, joka eristetään. Suoja-alueelle ei päästetä sivullisia. Suoja-alueella ei lähtökohtaisesti ole tarvetta määrittää suojaustasoa. Pelastustoiminnan johtajan on kuitenkin katsottava että alueella työskentely on altistumisen suhteen turvallista. Sammutus-, ensihoito ja poliisiyksiköt tulee sijoittaa tuulen yläpuolelle

suoja-alueelle, kuten myös sammutusyksiköt (Lahti 2016). Sammutusyksikön ovet pidetään kiinni ja raitisilmapuhaltimen sisäilmakierto laitetaan päälle, jotta palossa syntyviä epäpuhtauksia ei pääse sammutusyksikön sisään. Sammutusyksiköiden sisälle ei saa tuoda liikaantuneita varusteita ja jos sammutusyksiköstä vastuussa olevan henkilön varusteet liikaantuvat tulee ne huoltaa erillisessä huoltopisteessä, ei sammutusyksikössä (Eilola 2015). Myös huoltopaikat tulee järjestää suoja-alueelle tai sen ulkopuolelle. Huoltopaikka jaetaan likaiseen ja puhtaaseen puoleen. Likaiselle puolelle jätetään likaiset sammutusasut, paineilmalaitteet ja muu käytetty kalusto ja huolletaan tarvittaessa paineilmalaitteita ja vaihdetaan puhtaisiin suojavarusteisiin. Puhtaalla puolella pidetään taukoa ja ruokaillaan. Huoltopaikka voidaan järjestää myös sisätiloihin etenkin talviaikaan, jos se on mahdollista, tai huoltotilana voidaan käyttää myös huoltokonttia. Tauon jälkeen palataan likaiselle puolelle, jossa puetaan sammutusvarusteet takaisin ja palataan sammutustehtävään (Lahti 2016).

### 5.9.3 Varusteiden huoltokäytäntöjen ohjeistus suojautumisen osalta

Tulipalot ovat liikaavuudeltaan erilaisia, jonka vuoksi kuljetuskalusto, henkilökohtaiset varusteet, PI-ilmalaitteet, letkut ja työkalut tarvitsevat aina tilanteen mukaisen huollon. Lisäksi liikaantumisen aste määrittää osin myös kalustohuoltajan suojautumistarpeen. Jotta ohjeistus olisi selkeä on Keski-Suomen pelastuslaitoksella rakennettu ja testattu toimintaohjetta, jossa palot on luokittelu neljään kategoriaan Työterveyslaitoksen ja VTT:n yhdessä lanseeraaman jaottelun mukaisesti. Luokittelu perustuu tulipalon liikaavuusasteeseen ja sen ympäristöön päästämään haitta-ainekuormitukseen (Laitinen ym. 2010a). Toimintaohje otetaan käyttöön myöhemmin ilmoitettavana aikana.

Paloluokka 1 on määritelty lieviä nokivahinkoja aiheuttaneeksi kytöpaloksi, joka ei ole levinnyt syttymiskohdastaan. Likaantuminen ja haitta-ainekuormitus ovat erittäin vähäistä. Pinnat ovat puhdistettavissa ilman pinnoitteiden uusimista ja kohteessa on vain pienehköjä haju- ja savuhaittoja. Tyypillinen paloluokan 1 palo on sammunut itsestään tai sammutettu ilman pelastuslaitoksen apua. Paloluokassa 2 huoneistopalo on levinnyt syttymiskohdastaan mutta rajoittunut osaan syttymishuonetta. Huoneiston muut tilat ovat kärsineet korkeintaan noki- ja savuvahinkoja ja niiden pinnat ovat puhdistettavissa ilman pinnoitteiden uusimista. Paloluokkaan 2 kuuluu valtaosa nopeasti sammutetuista huoneistopaloista: Esimerkiksi TV- kylmälaite- tai kahvinkeitinpalo, jonka pelastuslaitos on sammuttanut (Laitinen ym., 2010a).

Paloluokkien 1-2 jälkeen varusteiden ja kaluston käsittelyssä suojaudutaan todetun tarpeen mukaan. Tällöin varusteissa ei ole välttämättä kuin hajuhaittaa, josta ei ole käyttäjälleen vaaraa. Näissä paloluokissa kaluston huollossa tulisi käyttää vähintään FFP3- luokan hengi-

tyksensuojainta ja nahka- tai näppylikäsineitä. Mikäli huollettava kohde on märkä, suositellaan käytettäväksi kemikaalisuojakäsineitä (kat. 3.). Tämän lisäksi ihokontaktin välttämiseksi iho tulisi suojata pitkähihaisella ja –lahkeisella suojavaatteella (Lahti, 2016).

Paloluokassa 3 huoneistopalo on aiheuttanut koko syttymishuoneen tuhoutumisen ja levinnyt mahdollisesti sen ulkopuolelle. Sellainen on esimerkiksi lieskahtanut palo, mutta myös muu huomattavia vahinkoja aiheuttanut palo. Likaantumisasaste ja haitta-ainekuormitus ovat korkeat. Lisäksi rakenteita ja kalustoa joudutaan purkamaan ja pinnoitteita uusimaan. Tyyppillinen paloluokan 3 palo on esimerkiksi huoneistopalo, jonka sammutus on viivästynyt. Paloluokassa 4 on kyseessä teollisuuspalo, jossa todennäköisesti on vapautunut myrkyllisiä ja haitallisia aineita erilaisista kemikaaleista ja/tai materiaaleista. Tässä paloluokassa on aina tehtävä vaarallisten aineiden kartoitus suojaustarvetta mietittäessä (Laitinen ym., 2010a). Paloluokkien 3 ja 4 sammutustehtävien jälkeen varusteiden riisumiseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Paras suoja hengitystiealtistumisen kannalta saadaan riisumalla paineilmalaitteiden kasvo-osa viimeisenä (Lahti, 2016). Näissä paloluokissa kaluston huollossa Työterveyslaitos suosittelee ensisijaisesti TH3-luokan suojainluokalla varustettua puhallinavusteista hengityksensuojainta, jossa on A2B2E2K2-P3 -yhdistelmäsuodatin sekä silmät suojaava kasvo-osa. Mikäli puhallinavusteista suojainta ei ole tarjolla, myös kokonaamarilla ja edellä mainitulla yhdistelmäsuodattimella varustettu suodattava suojain on toinen mahdollinen vaihtoehto. Sitä ei kuitenkaan saa käyttää 2 tuntia pidempään ilman taukoa. Korkean haitta-aine kuormituksen vuoksi suositellaan koko ajan käytettäväksi kemikaalisuojakäsineitä (kat. 3.). Tämän lisäksi ihokontaktin välttämiseksi iho tulisi suojata pitkähihaisella ja –lahkeisella suojavaatteella. Mikäli varusteet on kontaminoituneita tunnettulla kemikaalilla, tulee se ottaa huomioon suojautumista ja myös pesua mietittäessä (Lahti, 2016). Apua hankalampien kemikaalien tapauksessa on mahdollista pyytää C-päivystäjältä.

Varusteet ja työvälineet kuljetetaan paloasemalle suojattuna kuljetuspusseissa, jättesäkeissä tai tarvittaessa kuljetusastioissa miehistöstä erillään. Armatuurikalusto, lapiot ja kirveet pyritään pesemään jo tilannepaikalla. Jos tähän ei ole mahdollisuutta, käytetään kuljetukseen kuljetuspusseja tai jättesäkkejä. Mikäli varusteet pestään pesukoneissa, kuten sammutusasut, huollossa pystytään vähentämään altistumista pakkaamalla asusteet itseliukeneviin pesupusseihin jo palopaikalla. Tämä on suositeltavin vaihtoehto kaikista vaihtoehdoista. Varusteet huolletaan annettujen ohjeiden mukaan. Tärkeää on huolehtia koko ketjun toimivuudesta ja huoltohenkilöstöä on informoitava erityisvaaroista ja suojautumisen tarpeesta huoltojen aikana (Lahti, 2016). Työterveyslaitos suosittelee sammutusasuille omia teollisuuspesukoneita, joissa ei pestä siviilivaatteita. Tämä siitä syystä, koska sammutusasusta vapautuu pesukoneisiin syöpävaarallisia aineita ja pahimmassa tapauksessa myös asbestikuituja. Näiden siirtyminen siviilivaatteisiin ei ole toivottavaa.

#### 5.9.4 Ohjeistus vakavien altistumistilanteiden varalle

Keski-Suomen pelastuslaitos on yhteistyössä työterveyshuollon ja Työterveyslaitoksen kanssa rakentanut toimintaohjetta menettelystä jos palomies altistuu työssään voimakkaasti saaden välittömiä tai viivästyneitä oireita (liite 6). Toimintaohje on koekäytössä ja se otetaan käyttöön myöhemmin ilmoitettavana aikana.

Ohjeessa tilanteet on jaettu kolmeen altistumisluokkaan, joista ensimmäisessä palomies on saanut vakavia oireita ja tarvitsee välitöntä hoitoa. Oireita saanut palomies saa akuutin hoidon paikallisessa keskussairaalassa tai työterveyshuollossa. Akuutin hoidon jälkeen työntekijältä mitataan keuhkofunktiot (spirometria) ja mittaukset uusitaan 3-7 vuorokauden päästä altistumisen loppumisesta. Lisäksi hänelle tehdään oirekyselyt heti altistumisen jälkeen, yhden vuorokauden jälkeen altistumisesta, kolme vuorokautta altistumisesta ja seitsemän vuorokautta altistumisesta. Oirekyselynä voi toimia esimerkiksi raportin liitteenä 3 oleva kysely. Mikäli oireet eivät ole helpottaneet viikon seurannan jälkeen palomies lähetetään jatkotutkimuksiin.

Toisessa altistumisluokassa, johon katsotaan kuuluvan lievästi altistuneet, joilla on esimerkiksi kurkun karheutta/kipua, satunnaista yskää ja suun limakalvo-oireita, tehdään myös spirometriakokeet mahdollisimman heti altistumisen päättymisen jälkeen ja uusintamittaukset 3-7 vuorokauden sisällä altistumisen loppumisesta. Samalla tehdään oirekyselyt altistumisluokan 1 mukaisesti. Mikäli oireet eivät ole helpottaneet viikon seurannan jälkeen palomies lähetetään jatkotutkimuksiin.

Altistumisluokkaan kolme kuuluvat oireettomat palomiehet, joille kuitenkin tehdään oirekysely heti altistumisen jälkeen ja vuorokausi altistumisen päättymisestä. Tämä toimenpide tehdään sen vuoksi, koska tiettyjen altisteiden kohdalla oireilu voi alkaa vasta 12 tuntia altistumisen päättymisestä, kuten esimerkiksi Tellervonkadun tapauksessa. Mikäli oireilua alkaa ilmenemään 12 tunnin jälkeen altistumisen päättymisestä palomiesten oireilua hoidetaan viivästyneinä oireina ja tarvittaessa heidät lähetetään jatkotutkimuksiin.

Pelastuslaitoksen osuus toiminnassa on se, että esimiehet huolehtivat oirekyselyjen teettämisestä altistuneilla ja sopivat työterveyshuollon kanssa jatkotoimenpiteistä. Samalla he informoivat altistuneita palomiehiä tarvittavista toimenpiteistä työterveyshuollossa. Esimiehen tehtävänä on myös vastata siitä että henkilökunnan suojautuminen palopaikalla on riittävä sammutustilanne huomioiden.

Voimakkaan altistumisen jälkeen palomiesten elimistö on haavoittuvassa tilassa, jolloin infektiot iskevät helposti. Spirometria on tärkeä palomiehen terveystutkimuksen mittaus, koska vertailu omiin altistumattoman ajanjakson jälkeen tehtyihin puhalluskokeisiin voi olla paljastavampi kuin yksittäiset mittaustulokset. Voimakkaan altistumisen jälkeen on suositeltavaa myös tehdä altistumismittaukset heti altistumisen jälkeen ja siihen suosittelemme

virtsan 2-naftolia ja 1-pyrenolia normaaleissa huoneistopaloissa. Kemikaalionnettomuuk-  
sissa kannattaa kääntyä Työterveyslaitoksen puoleen mietittäessä tarvittavaa altistumis-  
mittausta. Toinen vaihtoehto on kääntyä C-päivystäjän puoleen.



## 6 YHTEENVETO

*Tavoite 1: Mitata savusukeltajien potentiaalista hengitystiealtistumista, aktuaalista käsien ja koko kehon kautta tulevaa ihoaltistumista sekä kokonaisaltistumista savusukellustehtävän aikana. Arvioida tarvitseeko työnantajan ilmoittaa palomiehet työssään syöpävaarallisille aineille altistuneiden ASA-rekisteriin saatujen tulosten perusteella.*

Savusukeltajien potentiaalinen hengitystiealtistuminen operatiivisessa toiminnassa savusukelluksen aikana oli mittausten mukaan bentseenipitoisuuksien osalta suurimmillaan 7,7-10-kertainen ja suurimmat furfuraalipitoisuudet olivat 1,9 - 3,8 -kertaisia niiden kahdeksan tunnin HTP-arvoihin verrattuna. Suurimmat akroleiinipitoisuudet ja formaldehydipitoisuudet olivat 15-40 ja 24-140 -kertaisia niiden sen viidentoista minuutin ja kahdeksan tunnin HTP-arvoihin verrattuna. Verrattaessa tuloksia kuumasavusukellusharjoituksiin, operatiivisessa toiminnassa keskimääräiset bentseenialtistumiset ovat hieman matalampia, mutta formaldehydipitoisuudet jopa osin korkeampia. Palomiesten potentiaalista riskiä altistua raskasmetalleille arvioitiin palopaikalta kerättyjen tuhka- ja nokinäyteiden avulla. Palomiehiä todennäköisimmin altistavia raskasmetalleja olivat mangaani, lyijy, sinkki ja alumiini.

Palomiesten altistuminen ei loppunut palopaikalta lähdettäessä, vaan sammutusyksikön sisällä kuljetuksen aikana, suurimmat syöpävaarallisen akroleiinin pitoisuudet olivat vielä 74 % ja sammutusasujen säilytystilassa 12 % sen viidentoista minuutin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Palopaikalta tulleita kemiallisia aineita löydettiin normaalin asemapalvelun aikana lähes kaikista paloaseman tiloista lukuunottamatta puhtaita miehistötiloja. Näin ollen matalatasoinen altistuminen palossa syntyville aineille on vielä mahdollista erityisesti paloaseman likaisella puolella tehtävän jälkeenkin.

Savusukeltajien ihoaltistuminen käsien kautta polysyklisille aromattisille hiilivedyille oli keskimäärin samalla tasolla kuin palotutkijoilta mitatut pitoisuudet. Mitatut pitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin palosaneeraajilta ja kuumasavusukellussimulaattorissa opettaneiden opettajan käsistä savusukelluksen jälkeen mitatut pitoisuudet. Tulokset operatiivisesta työstä saattavat olla liian hyvät johtuen siitä, että käsiä ei pystytty pesemään heti savusukelluksen jälkeen ja sen vuoksi osa epäpuhtauksista oli jo ehtinyt ennen käsien pesua siirtyä kosketeltuihin pintoihin. Sammutuspuvun alta operatiivisessa toiminnassa mitatut polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin palotutkijoilta ja palosaneeraajilta mitatut vastaavat tulokset. Verrattaessa tuloksia Pelastusopiston savusukellusopettajien vastaaviin tuloksiin, mitattuna perinteisessä savusukellussimulaattorissa tehdyn harjoituksen jälkeen, tulokset operatiivisessa toiminnassa olivat keskimäärin noin 80 % niistä tuloksista.

Savusukeltajien keskimääräinen kokonaisaltistuminen naftaleenille osoitti, että alle 21 minuutin savusukelluksen aikana on mahdollista vielä pysyä keskimäärin altistumattoman väestön viitearvossa mitattuna heti altistumisen jälkeen. Perinteisessä mallissa jo 21-60 minuuttia savusukeltaneiden ryhmä ja molemmissa toimintamalleissa yli tunnin savusukelta- neet koehenkilöt kuuluivat Suomessa eniten altistuneiden työntekijöiden joukkoon kaikki toimialat Suomessa huomioiden. Keskimääräinen kokonaisaltistuminen pyreneille Skellefteå-mallia noudattavilla koehenkilöillä pysyi alle altistumattoman väestön viitearvon kaikissa savusukellusaikaluokissa. Sen sijaan perinteistä mallia soveltavilla koehenkilöillä pitoisuudet nousivat tasaisesti savusukellusajan lisääntyessä. Vähintään 21 minuuttia, mutta alle tunnin savusukeltaneiden ryhmässä keskimääräiset 1-pyrenolipitoisuudet saavuttivat muilta toimialoilta kerättyjen tulosten keskiarvon. Yli tunnin savusukeltaneiden ryhmässä keskimääräiset pitoisuudet ylittivät 1-pyrenolin toimenpiderajan 2,6 µg/l, joka tarkoittaa että työnantajan on ryhdyttävä välittömiin toimiin työntekijän altistumisen vähentämiseksi.

Keskimääräinen kokonaisaltistuminen bentseenille osoittivat että vain perinteistä toimintamallia noudattavilla koehenkilöillä, jotka altistuivat vähemmän kuin 21 minuuttia, pitoisuudet pysyivät alle altistumattoman väestön viiterajan. Kaikissa muissa savusukellusaikaryhmissä altistumattoman väestön viiteraja ylittyi keskimääräisissä pitoisuuksissa. Maksimipitoisuuksista nähdään, että yhden koehenkilön tapauksessa ylittyi myös mukonihapon toimenpideraja, jonka jälkeen työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimiin altistumisen vähentämiseksi. Kysymyksiä herättää miksi bentseenialtistuminen ei korreloinut savusukellusaikaan vaan ainoastaan tilanteen kokonaiskestoon. Syynä voi olla se, että bentseenialtistumista oli tapahtunut muistakin lähteistä kuin tutkitusta huoneistopalosta, esimerkiksi pakokaasusta tai polttoaineesta.

Vaikka materiaalinäytteistä mitatut metallipitoisuudet olivat korkeita ja laskennalliset pitoisuudet osoittivat, että palopaikan ilmassa on mahdollista altistua korkeille metallipitoisuuksille, ei palomiesten virtsasta ja verestä mitatut keskimääräiset kokonaisaltistumiset nousseet korkeiksi. Näin ollen tulokset osoittivat, että vaikka palopaikalla oli potentiaalinen riski altistua metalleille, niin hyvällä henkilökohtaisella suojauksella se voitiin ehkäistä.

Koehenkilöiden virtsasta mitatut tiosyanaattipitoisuudet kuvastavat kokonaisaltistumista syaanivedylle ja syanideille. Mitatut pitoisuudet osoittivat vain yhden koehenkilön lievästi altistuneen syaanivedylle tutkituissa huoneistopaloissa. Näin ollen palomiesten keskimääräinen altistuminen syaanivedylle ja syanideille oli vähäistä.

Kokonaisuutena mitatut tulokset osoittivat palomiesten altistuvan potentiaalisesti useille syöpävaarallisille aineille, kuten esimerkiksi akroleiinille, bentseenille, formaldehydille, arseenille, lyijylle, kadmiumille ja polysyklisille aromaattisille yhdisteille. Potentiaalinen altistuminen muuttui todelliseksi altistumiseksi palomiesten virtsasta ja verestä tehtyjen biomonitorointinäytteiden tulosten jälkeen. Savusukeltajien altistuminen oli omassa luokas-

saan polysyklisiin aromaattisiin hiilivetyihin kuuluvalle naftaleenille verrattuna muilta toimialoilta Suomessa mitattuihin pitoisuuksiin nähden. Polysyklisiin aromaattisiin hiilivetyihin kuuluva kokonaispyreenialtistuminen osoitti yli tunnin savusukeltaneilla keskimääräistä pitoisuutta, joka ylitti 1-pyrenolin toimenpidearvon, joka tarkoittaa että työnantajan on välittömästi tehtävä toimenpiteitä altistumisen vähentämiseksi. Myös bentseenialtistumista kuvaavan mukonihapon suurimmat pitoisuudet ylittivät sen toimenpiderajan. Tulosten mukaan myös muut työvaiheet savusukelluksen lisäksi, kuten matkustaminen palopaikalta paolasemalle, sammutusyksiköistä huolehtiminen ja henkilökohtaisten varusteiden huolto voi altistaa palomiehä operatiivisessa työssä. Sen lisäksi myös muu toiminta palopaikalla savusukeltamisen lisäksi voi olla altistavaa palomiehille, joissakin tapauksissa se saattaa aiheuttaa jopa suurempia altistumisia kuin savusukeltaminen.

Lain mukaan työnantajan on ilmoitettava työssään syöpävaarallisille aineille altistuneet työntekijät (Valtioneuvoston asetus 716/2000 ja laki 717/2001) syöpävaarallisille aineille altistuvien rekisteriin (ASA-rekisteri). Altistuneiksi katsotaan henkilöt, jotka ovat käsitelleet syöpävaarallista ainetta tai muutoin altistuneet sille vähintään 20 työpäivänä vuodessa. Yhdeksi työpäiväksi katsotaan 2–4 tunnin altistuminen, jota sovelletaan kahdeksan tunnin työvuoroihin. Tässä tutkimuksessa tutkitut keskimääräiset tehtävät voidaan katsoa yhdeksi altistumistyöpäiväksi. Jos tehtäviä sattuu 24 tunnin vuoron aikana kaksi, niin silloin altistumistyöpäiviä tulee kirjata kaksi. Myös henkilöt, jotka onnettomuuden, tuotantohäiriön, poikkeuksellisen työvaiheen tai muun vastaavan syyn vuoksi hetkellisestikin altistuvat poikkeuksellisen suurelle ASA-ainepitoisuudelle, tulee ilmoittaa rekisteriin. Työministeriö on antanut syöpäsairauden vaaraa aiheuttavista tekijöistä päätöksen, jossa luetellaan syöpäsairauden vaaraa aiheuttavat työmenetelmät ja aineet (838/1993 ja sen muutosasetukset 858/1998, 1232/2000 ja 1014/2003). Työntekijät katsotaan altistuneiksi, mikäli virtsasta mitattu pitoisuus ylittää altistumattoman väestön viiterajan. Raportoitavassa hankkeessa mitatuista altisteista näin tarkasteltuna, rajan ylittää polysykliset aromaattiset hiilivedyt ja bentseeni, joiden osalta työnantajan ilmoitusvelvoite täyttyy. Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen osalta perinteistä mallia noudattaneilla palomiehillä keskimääräiset 2-naftolipitoisuudet olivat jo 21 minuuttia tai yli savusukeltaneilla suurempia kuin muilta toimialoilta mitatut pitoisuudet. Yli tunnin savusukeltaneilla pitoisuudet olivat niin korkeita, että niihin voisi soveltaa poikkeuksellisen suurta altistumispykälää, jolloin yksikin altistuminen riittää ilmoitusvelvollisuuteen. Näiden lukujen valossa pelastustoiminnassa aktiivisesti mukana olevat palomiehet tulisi ilmoittaa ASA-rekisteriin ja heidän terveydentilaa tulisi seurata säännöllisesti työhön liittyvän syöpärisikin vuoksi. Pelastuslaitosten työterveyshuolloilla on tärkeä rooli informoida palomiehä heidän työnsä riskeistä ja pitää yllä palomiesten perusterveydentilaa kuvaavia parametrejä esimerkiksi spirometriatuloksia, joihin voidaan verrata palomiesten palautumista altistavien työtehtävien jälkeen. Tämän lisäksi työterveyshuollon tulee kannustaa palomiehä terveelliseen

elämäntapaan ja erityisesti tupakoinnin lopettamiseen, koska tupakointi lisää heidän syöpäsairauden vaaraa merkittävästi huomioiden jo heidän altistekuorman yllä mainituille syöpävaarallisille aineille. Koska mitattu savusukellusaika korreloi voimakkaasti edellä mainittujen altistumismittausten tuloksiin, suosittelemme palomiesten altistumisaikojen yhteisestä kirjausta ja niiden tallentamista yhteiseen tietopankkiin, jota ylläpitää yhteisesti sovittu taho. Palomiesten altistumisten kirjaamiseen on tulossa mobiilisovelluksia, joita on mahdollista käyttää älypuhelimella. Tällaisia kehitysprojekteja on meneillään eri tahoilla, mutta yksi sellainen on esimerkiksi Rescuebase (<http://www.exitwire.com/>). Tulosten kirjaaminen organisoidusti mahdollistaisi palomiesten paremman altistumisen seuraamisen ja liiallisiin altistumisiin puuttumisen sekä tarvittavan erikoisseurannan, mikäli palomiehelle olisi sattunut lyhyen aikavälin aikana useita hyvin altistavia pelastustehtäviä. Järjestelmä antaisi myös mahdollisuuksia palomiehen toimintakyvyn palautumisen seurantaan ja siitä vedettäviin johtopäätöksiin.

*Tavoite 2. Arvioida savusukeltajien kokonaisaltistumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä altistumisen vaikutuksia palomiesten stressihormoni ja tulehdusvastetasoihin*

Tulokset osoittivat että altistumisaika eri muodoissaan vaikuttaa palomiehen kokonaisaltistumiseen. Tilastollisesti erittäin merkittäviä tekijöitä kokonaisaltistumisen syntymiselle näyttäisi olevan savusukelluksen kesto, raivausaika ja varustehuolto suhteessa pyreenialtistumiseen. Merkittäviä tekijöitä suhteessa naftaleenin kokonaisaltistumiseen olivat savusukelluksen kesto ja raivausaika. Lisäksi mahdollisesti merkittäviä tekijöitä naftaleenin kokonaisaltistumisen suhteen olivat koko tehtävän kesto palopaikalla ja savusukellusasun pitoaika. Huomion arvoista oli, että ainoastaan tehtävän kesto korreloi bentseenialtistumiseen, mutta sekään ei saavuttanut mahdollisesti merkittävää statusta. Tähän lienee syynä se, että koehenkilöt ovat altistuneet muista kuin palosta peräisin olevalle bentseenille kuten esimerkiksi pakokaasuille ja polttoaineille.

Tarkasteltaessa altistumisen vaikutuksia havaittiin että sammutustehtävä aiheutti ensisijaisesti suojaavien (IL-1 $\beta$ , IL-6 ja IL-10), mutta myös pitkäaikaisvaikutuksia ja tulehdusta liisäävien sytokiiniin (IL-8 ja TNF- $\alpha$ ) pitoisuuksien nousua. Suojaavien interleukiiniin yleistyminen verenkierrassa kertoi tutkittavien immuunipuolituksen toimineen tehokkaasti ja pyrkineen suojaamaan elimistöä toimintahäiriöiltä. Kuitenkin TNF- $\alpha$ :n nousu eräiden altisteiden yhteydessä viittaa siihen, että altistumisiin voi liittyä myös haitallisten pitkäaikaisaltistumisten riskiä. Tässä hankkeessa ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta mitata altistuneiden fyysistä kuormituksen ja esim. lämpökuormituksen tasoa. Terveyshaittojen kannalta tärkeää tulehdusreaktion vaiheittaista kulkua, ei päästy tässä tutkimuksessa myöskään analysoimaan. Perinteistä toimintamallia noudattaneilla kuitenkin tulehdustekijöiden pitoisuudet olivat jo

perustasolla keskimäärin korkeammat kuin Skellefteå-mallia noudattaneilla. Savusukelluksen kestäessä pitempään sekä suojaavien että mahdollisesti terveyshaittojen riskiä lisäävien tulehdustekijöiden tasojen nousu oli voimakkaampaa. Terveyshaittoja pääsee syntymään, jos suojaavien mekanismien korjaava vaikutus ei pysty palauttamaan immuunijärjestelmän tasapainoa. Hengitysteiden kroonistuvien toimintahäiriöiden lisäksi, kroonisten tulehdussairauksien ja jopa syöpäriski saattaa olla lisääntynyt.

Raportoitavassa tutkimuksessa havaittiin eroja stressivasteissa. Palomiestyölle on tyypillistä monen tekijän samanaikainen vaikutus elimistön toimintaan. Kemiallisten aineiden aiheuttamiin reaktioihin vaikuttavat ikä, fyysinen kunto, tupakointi, ylipaino ja geneettiset tekijätkin. Fyysinen ja henkinen stressi muovaavat myös tulehdusvasteita. Tässä hankkeessa oli mahdollisuuksia mitata tulehdus- ja stressivasteita kahden mittausajankohdan perusteella. Huomattavaa lisätietoa olisi saatu ajallisesti useammasta seurantapistestä. Tutkittavien määrän lisäämisellä olisi voitu saada lisämahdollisuuksia taustatekijöiden huomioon ottamiseksi ja monialtistumisen vaikutuksien arviointia varten.

Altistumistilanteet voivat olla yllättäviä ja voimakkaita. Tellervonkadun onnettomuus toimi esimerkkinä tilanteesta, jossa ennakoarvio altistumisesta ja todellinen altistuminen, mitattavana keuhkofunttioiden ja tulehdusvasteiden muutoksina, poikkesivat toisistaan. Lisäksi pelastustöihin osallistui henkilöitä, jotka altistuivat haitallisille aineille savusukellustehtävien ulkopuolella. Heidän suojautumisen ei ollut riittävä. Voimakas altistuminen aiheutti paljon ohimeneviä ärsytysoireita, jotka ovat merkki toimivasta puolustusjärjestelmästä. Osalla kuitenkin todettiin myös esim. keuhkotoiminnan laskua. Kaikki kuitenkin toipuivat tämän tutkimuksen mahdollistaman seurannan aikana.

Pelastustyöhön liittyy tulehdusjärjestelmän reaktioita, joista osa voi altistaa terveyshaitoille. Lisätutkimusta tarvitaan eri mekanismien välisen tasapainon palautumisen arvioimiseksi esimerkiksi tulehduksellisten sairauksien ja karsinogeenisuuden riskin osalta. Tutkimuksessa tulee selvittää lisää myös suojautumismallien ja pelastussukellustehtävien keston vaikutuksia reaktioihin. Palomiesten määräaikaistarkastuksissa tulee kiinnittää huomiota puolustusjärjestelmää heikentävien elintapojen haittojen vähentämiseen (tupakointi, liikunta, ylipaino). Määräaikaistarkastuksissa kannattaa säilyttää edelleen keuhkofunktion mittaus, jotta käytettävissä olisi vertailutietoa äkillisten altistumisten aiheuttamien muutosten arviointia varten. Iän vaikutusta sopeutumisen ja palautumiseen tulee tutkia lisää. Skellefteå-mallia tai sen suomalaista sovellusta suositellaan otettavaksi käyttöön pelastusalalla myös tulehdusvaste ja stressihormonien antamien tulosten perusteella.

Tavoite 3: *Arvioida vähentääkö Skellefteå-mallin noudattaminen savusukeltajien ja muiden palomiesten altistumista huoneistopaloissa ja asemapalvelussa perinteiseen malliin verrattuna*

Savusukeltajien työskentelytavoissa oli eroa Skellefteå-mallin eduksi aluskäsineiden käytössä, sammutustakin riisumisessa palopaikalla, muiden likaisten varusteiden riisumisessa palopaikalla, likaisten varusteiden kuljetuksessa palopaikalta tiiviissä kuljetusastiassa/pussissa ja likaisten varusteiden kuljetuksessa paloasemalle erillään miehistöstä. Näiden avulla Skellefteå-mallia noudattavat palomiehet pystyivät vähentämään käsien kautta tulevaa altistumista aluskäsineiden avulla. Lisäksi he pystyivät kotimatallaan palo-autossa paloasemalle vähentämään hengitystiealtistumista riisumalla likaiset sammutusasusteet jo palopaikalla ja kuljettamalla ne erillisillä kuljetuksella takaisin paloasemalle. Ne jotka pakkasivat varusteet itsesulaviin pesupusseihin vähensivät samalla altistumistaan jo tulevassa varustehuollossa. Erityisen tärkeää tämä olisi ollut Telervonkadun tapauksessa, jossa likaisten varusteiden käsittely sai palomiehet uudelleen oireilemaan päälleroiskuneesta typpihaposta käsitellessään niitä varustehuollossa. Puhdas paloasema ajattelun mukaisilla toimintatavoilla pystyttiin näin vaikuttamaan palomiesten altistumiseen monessa operatiivisen toiminnan vaiheessa. Tellervonkadun tapaus paljasti kuitenkin puutteita muiden kuin savusukeltajien suojautumisessa. Ryhmään muut kuuluvat henkilöt olivat sammutusyksiköitä hoitavien palomiesten ja ensihoidon lisäksi myös poliisit ja tilannetta seuraamaan tullut yleisö. Tilanteeseen on reagoitu kemikaalionnettomuuksista tutulla suoja-alue -ajattelulla, jonka käyttöä ollaan nyt testaamassa myös huoneistopaloihin. Toimintaohje aiheesta otetaan käyttöön myöhemmin ilmoitettavana ajankohtana Keski-Suomen pelastuslaitoksella. Suoja-alue -ajattelun ansiosta eri suoja-alueella tarvittava suojautuminen on uudessa toimintaohjeessa paremmin ohjeistettu ja samoin sammutus-, ensihoito-, poliisi- ja huoltoyksiköiden sijainti. Suoja-alueiden määrittely tapahtuu pelastustoiminnan johtajan toimesta ja siinä voidaan käyttää apuna suoraanosoittavia mittalaitteita esimerkiksi hapen ja hiilimonoksidin pitoisuuksien varmistamiseksi. Huollon merkityksestä kokonaisaltistumisen kannalta saatiin viitteitä arvoitaessa eri operatiivisen toiminnan tekijöiden merkitystä palomiesten kokonaisaltistumiseen. Varustehuolto oli yksi tilastollisesti erittäin merkitsevä tekijä kopalomiehen konaisaltistumisen synnyssä. Tämän vuoksi myös kalustonhuollossa ollaan siirtymässä suojausluokitukseen, joka on riippuvainen paloluokasta, missä varusteet ovat likaantuneet. Toimintaohje on testausvaiheessa Keski-Suomen pelastuslaitoksella ja sen käyttöönotosta ilmoitetaan myöhemmin.

Mittausten mukaan perinteistä mallia noudattavien koehenkilöiden käsien kautta tuleva altistuminen lisääntyi savusukellusajan lisääntyessä ja heidän pitoisuudet olivat korkeempia vähiten ja eniten savusukeltaneiden ryhmissä verrattuna Skellefteå-mallia noudattaneisiin.

Käsien kautta tulevan altistumisen määrää, erityisesti suurimpien altistumisien osalta pystyttiin leikkaamaan aluskäsineiden avulla.

Savusukelluspuvun alta ihon pinnalta mitatuissa PAH-yhdisteiden pitoisuuksissa ei havaittu eroja eri toimintamallien välillä, mutta tähän on selityksenä molempien toimintamallien käyttämät suojaavuudeltaan hyvin samanlaiset sammutusasut.

Savusukeltajien kokonaisaltistuminen naftaleenille ja pyreeneille oli Skellefteå-mallia noudattavilla koehenkilöillä vähäisempi kuin perinteistä mallia noudattavilla koehenkilöillä vaikka tilanteiden kesto aika palopaikalla oli hyvin samanlainen molemmilla ryhmillä.

Tarkasteltaessa altistumisen vaikutuksia ensisijaisesti suojaaviin interleukiineihin havaittiin seerumin IL-10:n pitoisuuksien olevan mahdollisesti merkittävästi korkeammalla loman ja myös altistumisen jälkeen perinteistä mallia noudattaneilla palomiehillä verrattuna Skellefteå-mallia noudattaneisiin palomiehiin. Koehenkilöiden mitattu altistuminen ei korreloinut IL-10 tuotantoon tutkitulla aikajänteellä. Myös pitkäaikaisia haittavaikutuksia kuvaavan seerumin TNF-a:n pitoisuudet olivat perinteistä mallia noudattavilla palomiehillä mahdollisesti merkittävästi korkeampia kuin Skellefteå-mallia noudattavilla palomiehillä. Sylkinäytteissä ei ollut eroja, eikä myöskään syljen stressimerkkiaineissa Skellefteå- ja perinteistä mallia noudattavien palomiesten välillä.

Paloaseman ja palo-autojen sisäilman mittausten perusteella paloaseman normaalin normaalin toiminnan aikana ei sisäilman laadussa havaittu eroja eri toimintamallien välillä. Mitatut tulokset olivat rohkaisevia ja viittasivat erityisesti puhtaalla puolella olevien miehistötilojen pysyvän palosta peräisin olevista kemiallisista aineista puhtaana. Sen sijaan kaikissa muissa mitatuissa kohteissa pystyttiin osoittamaan palosta peräisin olevien kemikaalien läsnäolo. Suurimmat pitoisuudet mitattiin paineilmalaitteiden huollossa ja paloautoissa.

Tulosten perusteella näyttää siltä, että Skellefteå-mallia noudattavat koehenkilöt joutuivat palosta peräisin olevien yhdisteiden kanssa harvemmin kontaktiin turvallisimpien toimintamallien vuoksi ja heidän ihoaltistumisensa käsien kautta oli vähäisempää kuin perinteistä mallia noudattavien. Lisäksi Skellefteå-mallia noudattavien koehenkilöiden kokonaisaltistuminen naftaleenille ja pyreeneille oli pienempi kuin perinteistä mallia noudattavilla vaikka tilanteen kesto palopaikalla oli molemmilla ryhmillä lähes sama. Tulokset kokonaisuutena osoittavat Skellefteå-mallin vähentävän palomiesten altistumista operatiivisessa toiminnassa. Suosittelemme Skellefteå-mallia uusien altistumista vähentävien toimintaohjeiden pohjaksi, mutta malli kaipaa päivitystä suoja-alue -ajatteluun, tarkennusta kalustonhuoltoon erilaisten pelastustehtävien jälkeen ja palomiesten terveydestä huolehtimiseen jos palomies on altistunut tehtävässään. Tulevaisuudessa on tavoitteena oltava malli, jossa altistumisen estämiseen ja sen hallintaan luodaan ratkaisu, joka on integroituneena eri pelastustehtävätyyppien johtamiseen, taktiikkaan, tekniikkaan ja huoltoon.

## PARANNUSEHDOTUSTEN TÄRKEYSJÄRJESTYS

- 1) Ottaa käyttöön päivitetty Skellefteå-mallin mukainen toimintatapa parannettuna suoja-  
vyöhykejattelulla, kalustohuollon suojautumis- ja pesutehokkuussuositusten kytkemisellä  
varusteita altistaneeseen paloluokkaan ja palomiehen hyvinvoinnista huolehtimisella altis-  
tavan tehtävän jälkeen.
  
- 2) Ilmoittaa aktiivisessa pelastustyössä olevat palomiehet ASA-rekisteriin, johon on lisäksi  
kytketty työterveyshuollon aktiivisempi rooli palomiestä työssään altistavien syöpävaaral-  
listen aineille altistumisesta tiedottamisessa.
  
- 3) Lisäksi työterveyshuollon tulee informoida palomiehiä terveellisistä elämäntavoista ja eri-  
tyisesti tupakan aiheuttamista synergisistä vaaroista altistuttaessa työssään syöpävaaralli-  
sille aineille. Palomiesten tehostettu terveydentilan seuranta kuuluu olennaisena osana eri-  
tyistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä (VnA 1485/2001). Äkillisiä pokkeuksellisia  
altistumistilanteita varten on syytä laatia paikalliset hoito- ja seurantamahdollisuudet huo-  
mioon ottava työterveyshuollon toimintaohje.
  
- 4) Löytää yhteinen järjestelmä ja taho, jolla ylläpidetään palomiesten henkilökohtaisesta  
altistumisesta kirjanpitoa.
  
- 5) Yhdistää altistumisen ehkäiseminen ja hallinnan määrittely eri pelastustehtävätyyppien  
johtamiseen, taktiikkaan, tekniikkaan ja huoltoon
  
- 6) Jatkaa edelleen olemassa olevien riskinarviointimenetelmien (esim. PERA) hyödyntä-  
mistä alati muuttuvassa pelastusalan toimintaympäristössä ja kehittäen palomiesten työ-  
turvallisuskortin (Mikkonen 2015) tavoin uusien työntekijöiden perehtymistä työn vaaroi-  
hin



## LISÄTUTKIMUSTARPEET

- 1) Selvittää elimistöön kertyvien altisteiden pitoisuuksia
  
- 2) Selvittää asbestille altistumista ja sammutuspukujen puhdistumista asbestille altistavan tehtävän jälkeen
  
- 3) Arvioida terveyshaittojen kannalta tärkeää tulehdusreaktion vaiheittaista etenemistä ja siitä palautumista
  
- 4) Testata uusia vähemmän altistavia sammutusmenetelmiä
  
- 5) Kehittää palomiesten sammutus- ja alusasuja
  
- 6) Arvioida robotiikan ja digitalisaation hyödyntämisen mahdollisuuksia pelastustilanteessa ja sen johtamisessa

## LÄHTEET

Airila, A. (2015). Work characteristics, personal resources, and employee well-being: A longitudinal study among Finnish firefighters. Doctoral dissertation (article-based). University of Helsinki, Faculty of Social Sciences, Department of Social Studies. URN: ISBN:978-952-261-526-8. <http://hdl.handle.net/10138/153495>

Bolstad-Johnson, D.M., Burgess, J.L., Grutchfield, C.D., Storment, S., Gerkin, R., Wilson, J.R. (2000). Characterization of firefighters exposures during fire overhaul. *American Industrial Hygiene Association Journal* 61 (5), 636–641.

Burgess JL, Brodtkin CA, Daniell WE, Pappas GP, Keifer MC, Stover BD, Edland SD, Barnhart S. (1999) Longitudinal decline in measured firefighter single-breath diffusing capacity of carbon monoxide values. A respiratory surveillance dilemma. *Am J Respir Crit Care Med.* 159:119-24.

Burgess JL, Nanson CJ, Hysong TA, Gerkin R, Witten ML, Lantz RC. (2002) Rapid decline in sputum IL-10 concentration following occupational smoke exposure. *Inhal Toxicol.* 14:133-140.

Caux, C., O'Brien, C., Viau, C. (2002). Determination of firefighter exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and benzene during fire fighting using measurement of biological indicators. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 17 (5), 379–386.

Chernyak, Y., Merinova, A., Shelepchikov, A., Kolesnikov, S., Grassman, J. (2016) Impact of dioxins on antipyrine metabolism in firefighters. *Toxicology Letters* 250–251:35–41

Cho SJ, Echevarria GC, Kwon S, Naveed B, Schenck EJ, Tsukiji J, Rom WN, Prezant DJ, Nolan A, Weiden MD. (2014) One airway: Biomarkers of protection from upper and lower airway injury after World Trade Center exposure. *Respir Med.* 108:162-170.

Daniels RD1, Kubale TL, Yiin JH, Dahm MM, Hales TR, Baris D, Zahm SH, Beaumont JJ, Waters KM, Pinkerton LE. (2014). Mortality and cancer incidence in a pooled cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950-2009)*Occup Environ Med.* 71(6):388-97. doi: 10.1136/oemed-2013-101662.

De Vos, A.J., Cook, A., Devine, B., Thompson, P.J., Weinstein, P., (2006). Effect of protective filters on fire fighter respiratory health during simulated bushfire smoke exposure. *American Journal of Industrial Medicine* 49 (9), 740–750.

Edelman, P., Osterloh, J., Pirkle, J., (2003). Biomonitoring of chemical exposure among New York City firefighters responding to the World Trade Center fire and collapse. *Environmental Health Perspectives* 111, 1906–1911.

Eilola, M. (2015). Altistumisen ehkäisy pelastuslaitoksen arjessa. Työturvallisuusseminaari. Finsec-messut 19.11.2015, Messukeskus, Vantaa. [http://www.sppl.fi/koulutus\\_ja\\_tapahtumat/menneiden\\_tapahtumien\\_materiaalit/tyoturvallisuusseminaari.1396.news](http://www.sppl.fi/koulutus_ja_tapahtumat/menneiden_tapahtumien_materiaalit/tyoturvallisuusseminaari.1396.news)

EPA (1992). Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications. United States Environmental Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment. Washington, DC 20460. EPA/600/8-91/011B, January 1992. Interim Report. [https://rais.ornl.gov/documents/DERM\\_EXP.PDF](https://rais.ornl.gov/documents/DERM_EXP.PDF)

Fent, KW., Eisenberg J., Evans, D., Sammons D., Robertson, S., and et al. (2013). Evaluation of Dermal Exposure to Polycyclic. Aromatic Hydrocarbons in Fire Fighters. Report No. 2010-0156-3196 Summary. December 2013. CDC NIOSH.

Fent, KW., Eisenberg, J., Snawder, J., Sammons, D., Pleil, JD., Stiegel, MA., Mueller, C., Horn, GP., Dalton, J. (2014) Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires. *Ann Occup Hyg.* 58(7):830-45. doi:10.1093/annhyg/meu036.

Feunekes, F.D., Jongeneelen, F.J., vd Laan, H., Schoonhof, F.H. (1997). Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons among trainers in a fire-fighting training facility. *American Industrial Hygiene Association Journal* 58 (1), 23–28.

Golga, K., Weistenhofer, W. (2008). Fire fighters, combustion products, and urothelial cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews* 11(1): 32–44.

Green CR, Nicholson LF. (2008) Interrupting the inflammatory cycle in chronic diseases--do gap junctions provide the answer? *Cell Biol Int.* ; 32:1578-83. Review

Greven F. (2011) Respiratory effects of fire smoke exposure in firefighters and the general population. Thesis. Utrecht University.

Greven FE, Krop EJ, Spithoven JJ, Burger N, Rooyackers JM, Kerstjens HA, van der Heide S, Heederik DJ. (2012) Acute respiratory effects in firefighters. *Am J Ind Med.* 55: 54-62.

Hakkarainen, T., Tillander, K., Järnström, H., Paloposki, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P. (2010) Chemical exposure and protection of fire site workers. *Interflam 2010. Proceedings of the twelfth international conference.* Interscience Communications Ltd. London (2010), 937-948.

IARC. (2010). Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. Painting, Firefighting, and Shiftwork. *Firefighting* 98, 397–451.

Jumpponen, M., Rönkkömäki H., Tuomi T., Santonen T. ja Laitinen J. (2011). Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit -Altistuminen ja torjunta. Työterveyslaitoksen loppuraportti Työsuojelurahastolle (hanke nro 109140)

Jumpponen, M., Heikkinen, P., Rönkkömäki, H., Laitinen, J. (2015). Workers' dermal and total exposure to metals in biomass-fired power plants. *Biomonitoring 2*: 1–15.

Kiilunen, M. (2013). Biologisen monitoroinnin vuositilasto 2012. Tietoa työstä. SBN 978-952-261-355-4 (pdf), ISBN 978-952-261-356-1 (nidos). Työterveyslaitos Helsinki

Kuopion aluetyöterveyslaitos (2004). Lausunto L417: Työhygieeniset mittaukset Pelastusopiston kuumasavusukellusharjoituksissa syksyllä 2004. 20.12.2004 Kuopion aluetyöterveyslaitos.

Kuopion aluetyöterveyslaitos (2006). Lausunto L478: Savusukellusopettajien altistuminen savusukellusharjoituksissa syksyllä 2005 ja keväällä 2006. 25.9.2006 Kuopion aluetyöterveyslaitos.

Lahti J. (2014). Keski-Suomen Pelastuslaitoksen toimintaohje: Altistumisen vähentäminen tehtävän jälkeen (Puhdas paloasema). 7.2.2014 Keski-Suomen pelastuslaitos

Lahti J. (2016) Keski-Suomen Pelastuslaitoksen valmisteilla oleva toimintaohje: Altistumisen vähentäminen sammutustehtävässä ja kalustonhuollossa (Puhdas paloasema). Keski-Suomen pelastuslaitos

Laitinen, J., Liesivuori, J., Harvima, R. (2006) Evaluation of exposure to 1-alkoxy-2-propanols and 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-2-propanol by the analysis of the parent compounds in urine. *Toxicology Letters* 162: 186–194

Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., Hakkarainen, T., Tillander K., Paloposki, T. (2010a) Kemikaalialtistumisen vähentäminen palokohteissa. VTT TIEDOTTEITA 2531

Laitinen, J., Mäkelä, M., Mikkola, J., Huttu, I. (2010). Fire fighting trainers' exposure carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicology Letters* 192, 61–65.

Laitinen J., Mäkelä M., Mikkola J., Huttu I. (2012). Firefighters' multiple exposure assessments in practice. *Toxicology Letters* 213:129–133

- Laitinen J., Koponen J., Koikkalainen J., Kiviranta H. (2014) Firefighters' exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in firefighting foams. *Toxicology Letters*, 231: 227–232
- Laitinen, J., Jumpponen, M., Heikkinen, P., Lindholm, H., Lindholm, T., Sistonen, H., Halonen, J. (2015). Tehostesavujen haitalliset keuhko- ja verisuonivaikutukset ja niiden torjunta. Raportti Työsuojelurahastolle, Palosuojelurahastolle ja Valtiokonttorille. Huhtikuu 2015, Työterveyslaitos.
- LeMasters, G.K., Genaidy, A.M., Succop, P., Deddens, J., Sobeih, T., Barriera-Viruet, H., Dunning, K., Lockey, J. (2006). Cancer risk among firefighters: a review and meta-analysis of 32 studies. *Journal of occupational and Environmental Medicine* 48 (11), 1189–1202
- Mikkonen, J. (2015). Pelastusalan työturvallisuuskoulutus. Työturvallisuusseminaari. Finsec-messut 19.11.2015, Messukeskus, Vantaa. [http://www.sppl.fi/koulutus\\_ja\\_tapahtumat/menneiden\\_tapahtumien\\_materiaalit/tyoturvallisuusseminaari.1396.news](http://www.sppl.fi/koulutus_ja_tapahtumat/menneiden_tapahtumien_materiaalit/tyoturvallisuusseminaari.1396.news)
- Materna, B.L., Jones, J.R., Sutton, P.M., Rothman, N., Harrison, R.J. (1992). Occupational exposures in California wildland fire fighting. *American Industrial Hygiene Association Journal* 53 (1), 69–76.
- Mäkinen, H., Ilmarinen, R., Punakallio, A., Lindholm, H., Kervinen, H., Mäki S. (2007). Palomiehen täsmäsuojaus ja sen fysiologiset vaikutukset. Loppuraportti palosuojelurahastolle. Hankepäätös SM-2004-3326/Tu-394
- Nolan A, Naveed B, Comfort AL, Ferrier N, Hall CB, Kwon S, Kasturiarachchi KJ, Cohen HW, Zeig-Owens R, Glaser MS, Webber MP, Aldrich TK, Rom WN, Kelly K, Prezant DJ, Weiden MD. (2012) Inflammatory biomarkers predict airflow obstruction after exposure to World Trade Center dust. *Chest*.142:412-418.
- Pfaffe T, Cooper-White J, Beyerlein P, Kostner K, Punyadeera C. (2011) Diagnostic potential of saliva: current state and future applications. *Clin Chem*. 57: 675-687.
- Pavanello, S., Genova, A., Foa, V., Clonfero, E. (2000). Assessment of occupational exposure to aromatic polycyclic hydrocarbons determining urinary levels 1-pyrenol. *La Medicina del Lavoro* 91 (3), 192–205.
- Posniak, M. (2000). Chemical hazards in fire-fighting environments. *Medycyna Pracy* 51 (4), 335–344.

Pukkala E., Martinsen J., Weiderpass E., Kjaerheim, K., Lynge, E., Tryggvadottir, L., Sparén, P., Demers, P. (2014). Cancer incidence among firefighters: 45 years of follow-up in five Nordic countries. *Occup Environ Med.* 71(6):398-404. doi: 10.1136/occup-2013-101803.

Pelastusopisto. (2014). Pelastustoimen taskutilasto 2009-2013. Pelastusopiston julkaisu D-sarja: Muut 1/2014, ISBN:978-952-5905-41-0 (pdf), ISBN:978-952-5905-43-4 (nidos).

Reinhardt, T., and Ottmar R. (2004) Baseline Measurements of Smoke Exposure Among Wildland Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1: 593–606 ISSN: 1545-9624 print / 1545-9632 online DOI: 10.1080/15459620490490101

Rinne, M., (2014). Tavoitteena terveempi palomies. *Pelastustieto* 4:12-13.

Salonen, H., Pasanen, AL., Lappalainen, S., Riuttala, H., Tuomi, T., Pasanen, P., Bäck, B., Reijula, K. (2009). Airborne concentrations of volatile organic compounds, formaldehyde and ammonia in Finnish office buildings with suspected indoor air problems. *J Occup Env Hyg*, 6:200-9.

Savolainen, H., and Kirchner, N. (1998). Toxicological mechanism of fire smoke. *The International Journal of Rescue and Disaster Medicine* 1 (1).

Shaw, S.D., Berger, M.L., Harris, J.H., Yun, S.H., Wu, Q., Liao, C., Blum, A., Stefani, A., Kannan, K. (2013). Persistent organic pollutants including polychlorinated and polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in firefighters from Northern California. *Chemosphere* 91, 1386–1394.

Sorensen L. (2015). Fire development and fire chemistry. Conference about cancer among firefighters. Christiansborg 23.10.2015, Danmark Copenhagen

Sosiaali- ja terveysministeriö (2014). HTP-arvot 2014. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. *Julkaisu* 2014:2. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.

Straif K, Baan R, Grosse Y, Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Altieri A, Benbrahim-Tallaa L, Coglianò V. (2015). Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* 8:1065-6.

Swedish Civil Contingencies Agency. (2015). Healthy firefighters-the skellefteå Mode improves the work environment. June 2015, ISBN:978-91-7383-570-1.

Swiston, J.R., Davidson, W., Attridge, S., Li, G.T., Brauer, M., van Eeden, S.F. (2008). Wood smoke exposure induces a pulmonary and systemic inflammatory response in firefighters. *European Respiratory Journal* 32 (1), 129–138.

Takala RSK, Soukka HR, Salo MS, Kirvelä OA, Kääpä PO, Rajamäki AA, Riutta A, Aantaa RE. (2004) Inflammatory mediators after sevoflurane and thiopentone anaesthesia in pigs. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 48: 40–45.

Takala RSK, Soukka H, Salo MS, Kirvelä O, Kääpä P, Aantaa R. (2006) Gene expression of pulmonary cytokines after sevoflurane or thiopentone anaesthesia in pigs. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica* 50: 163–167.

Takala RSK, Karjalainen V-M, Salo MS, Kirvelä O, Kääpä P, Riutta A, Aantaa R. (2009) Pulmonary inflammatory mediators after sevoflurane anaesthesia in tobacco smoking and non-smoking patients. *The Open Inflammation Journal*; 2: 1–8.

Tillander, K., Järnström, H., Hakkarainen, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P. (2008) Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen. Polttokokeet ja altistumisen arviointi. VTT Working Papers 103.

Tillander, K., Järnström, H., Hakkarainen, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P. (2009) Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2 Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi. VTT TIEDOTTEITA 2512.

Tuomi, T., Lappalainen, L., Laaja, T., Hovi, H., Svinhuvud, J. (2012). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Perustelumuistio. Työterveyslaitos, Helsinki

Työterveyslaitos. (2015). Palomiesten oireet, keuhkovasteet ja tulehdusmarkkiaineet sekä sammutusasuhen pesutestit Tellervonkadulla 24.9.2014 tapahtuneen tulipalon jälkeen. Työterveyslaitoksen lausunto Keski-Suomen pelastuslaitokselle. Lausunto AR2303-2015-319153, 16.10.2015.

Wolkow A, Ferguson SA, Vincent GE, Larsen B, Aisbett B, Main LC. (2015) The impact of sleep restriction and simulated physical firefighting work on acute inflammatory stress responses. *PLoS One*. 10:e0138128.

Yucesoy B, Kurzius-Spencer M, Johnson VJ, Fluharty K, Kashon ML, Guerra S, Luster MI, Burgess JL. (2008) Association of cytokine gene polymorphisms with rate of decline in lung function. *Occup Environ Med*. 50(6):642-648.

Ward, E.M., Schulte, P.A., Straif, K., Hopf, N.B., Caldwell, J.C., Carreon, T., et al. (2010). Research recommendations for selected IARC-classified agents. *Environmental Health Perspectives* 118 (10), 1355–1362.

Varone, C., Jutras, K., Molis, J. (2006). Report of the Investigation Committee into the Cyanide Poisoning of Providence Firefighters. <http://www.waterburyfire.org/Docs/providence.pdf>





LIITE 1 (1/1)

Palomies-hanke

TUTKIMUSHENKILÖN TAUSTATIETOLOMAKE

KOODI: \_\_\_\_\_ PÄIVÄMÄÄRÄ \_\_\_/\_\_\_20\_\_\_

- 1) Hälytys alkoi klo \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 2) Otitko käyttöön puhtaan (=edellisen käytön jälkeen pestyn) sammutus-  
asun?
- 3) Palopaikalle saavuttiin klo \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 4) Savusukelluksen ajankohta \_\_\_\_: \_\_\_\_ - \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 5) Raivauksen/siivouksen ajankohta \_\_\_\_: \_\_\_\_ - \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 6) Käytitkö raivauksen/siivouksen aikana paineilmalaitetta?
- 7) Käytitkö raivauksen/siivouksen aikana suodattavaa hengityksen suojainta?
- 8) Milloin riisuit sammutuskäsineet? \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 9) Käytitkö sammutuskäsineiden alla aluskäsineitä?
- 10) Milloin riisuit aluskäsineet? \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 11) Riisuitko savusukellusasun takin jo palopaikalla?
- 12) Riisuitko koko savusukellusasun ja muut likaantuneet varusteet jo palopai-  
kalla?
- 13) Savusukellusasun riisumisen ajankohta \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 14) Käytitkö riisumisen/pakkaamisen aikana henkilökohtaisia suojaimia? Jos,  
niin mitä?

---

---

- 15) Pakattiinko likaantuneet asut ja varusteet säiliöihin tai säkkeihin kuljetuksen  
ajaksi?
- 16) Kuljetettiinko likaantuneet asut ja varusteet erillään miehistötilasta paloase-  
malle?
- 17) Milloin saavuitte paloasemalle? \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 18) Menivätkö likaantuneet asut ja varusteet suoraan pestäviksi?
- 19) Teitkö henkilökohtaisten varusteiden huollon ennen käsien öljy pesua?
- 20) Milloin peseydyit ja vaihdoit vaatteet asemalla? \_\_\_\_: \_\_\_\_
- 21) Millainen savusukellusasua oli käytössä (merkki, onko kalvallinen)?

---

- 22) Kuinka monta vuotta olet toiminut palomiehen ammatissa? \_\_\_\_\_v



LIITE 2 (1/1)

Palomies-hanke

PALOESI MIEHEN TAUSTATIETOLOMAKE

PALOASEMA \_\_\_\_\_

TULI PALON PÄIVÄMÄÄRÄ \_\_\_/\_\_\_20\_\_\_ JA AIKA \_\_\_:\_\_\_ - \_\_\_:\_\_\_

23) Kuvaile tulipaloa (palokohde: rakennustyyppi, palaneet materiaalit, miten palanut, onko rakenteita tuhoutunut, savuvahinkojen laajuus)

---

---

24) Onko asemalla erikseen likaiset tilat ajoneuvojen puhdistukseen, letkujen pesuun ja sammutusasuhuoltoon?

25) Pestäänkö kontaminoituneet asut ja varusteet eri pesukoneilla kuin muu pyykki?

26) Käytetäänkö henkilökohtaisten sammutusvarusteiden puhdistamisen ja huollon aikana suojavaatteita tai henkilökohtaisia suojaimeja? Jos käytetään, niin mitä ja missä vaiheissa?

---

27) Käytetäänkö sammutusautojen ja sammutusvarusteiden puhdistamisen ja huollon aikana suojavaatteita tai henkilökohtaisia suojaimeja? Jos käytetään, niin mitä ja missä vaiheissa?

---

28) Onko asemalla vaihtopaineilmalaitteita?

29) Onko käytössä vaihtosammutusasuja?

30) Millaisia suodattavia hengityksensuojaimia asemalla on käytössä?



## LIITE 3 (1/2)

Materiaalinäytteiden alkuainepitoisuudet (mg/kg).

	Ag	As	Be	Bi	Cd	Co
ka	0.182292	7.286311	0.089923	3.017562	9.249544	7.512433
mediaani	0.143	2.563	0.06805	0.3597	0.4932	4.831
sd	0.181689	11.06782	0.059765	4.697615	17.20869	10.63898
minimi	0.01	0.1825	0.04	0.04306	0.01	0.6391
maksimi	0.5507	34.01	0.2088	13.5	48.69	34.73

	Mo	Sb	Se	Sn	Th	U
ka	1.456896	24.20511	0.071657	50.13111	0.429433	0.1904
mediaani	0.7668	11.46	0.04	4.5	0.2907	0.1549
sd	2.355301	28.70655	0.046432	101.3993	0.386964	0.156926
minimi	0.01	1.349	0.04	1.18	0.04	0.04
maksimi	7.522	89.49	0.1769	310	1.273	0.5593

	W	Al	B	Ba	Ca	Cr
ka	0.176688	4498.889	169.2178	789.7667	71482.22	32.06444
mediaani	0.1402	2380	27.4	694	65100	12.1
sd	0.173867	4923.66	413.3954	804.0869	77868.1	44.80271
minimi	0.04015	596	6.35	26	840	1.01
maksimi	0.5183	13900	1270	2630	245000	132



LIITE 3 (2/2)

	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na
ka	41.54778	2430.333	788.2222	5808.144	143.2289	1268.889
mediaani	16.2	1730	694	2910	143	1020
sd	73.39754	2474.309	583.8632	7710.963	121.907	1155.142
minimi	3.81	241	100	96.3	8.36	178
maksimi	235	7140	1720	25200	414	3480

	Ni	P	Pb	S	Sr	Ti
ka	11.44222	717.8444	710.5	1008.844	78.37778	346.43
mediaani	4.67	283	96.4	1000	76.7	220
sd	21.2955	1452.022	1309.255	1106.118	51.75414	395.5066
minimi	2	50	5	47.2	5.59	5.47
maksimi	67.9	4570	3860	3670	162	1260

	V	Zn
ka	5.417778	16188.34
mediaani	1.15	1350
sd	11.22614	33801.81
minimi	1	3.64
maksimi	35.2	99400



LIITE 4 (1/3)

Nimi:

Henkilötunnus:

Päivämäärä:

Ympyröi oikea vaihtoehto. Altistumisella tarkoitetaan viikolla 39 tapahtunutta palokaasujen tai kemikaalien hengittämistä.

1. Onko lääkäri todennut sinulla olevan astmaa? Ei            Kyllä
  - a. Jos vastasit kyllä, milloin astma on todettu?\_\_\_\_\_
  - b. Onko lääkäri todennut sinulla olevan keuhkohtaumatautia tai keuhkolaajentumaa?  
Ei            Kyllä
  
2. Onko lääkäri todennut sinulla olevan allergista nuhaa? Ei            Kyllä
  
3. Oletko tupakoitsija? Ei            Kyllä
  
4. Oliko käytössäsi astmalääkitystä altistumisen aikana? Ei            Kyllä
  
5. Kävitkö altistumisen jälkeen välittömästi lääkärissä? Ei            Kyllä
6. Saitko lääkitystä altistumisen aiheuttamiin oireisiin? Ei            Kyllä
  
7. Mitä lääkitystä?  

---
  
8. Tunsitko altistumiseen liittyen seuraavia oireita? Kirjoita numero jokaisen oireen kohdalle. Arvioi oireilua vuorokauden sisällä altistumisen jälkeen.



LIITE 4 (2/3)

En lain- kaan	Vain vä- häisiä	Kohtalaisen voimakkaita	Hyvin voimak- kaita
1	2	3	4

hengenhahdistusta

pitkittynyttä yskää tai yskänpuuskia

vinkuvaa hengitystä

lisääntynyttä limaneritystä keuh-  
koista

voimakasta nuhaa tai nenän tukkoi-  
suutta

kurkkukipua tai kurkun kirvelyä

rintakipua

sydämen rytmihäiriöitä

lihaskipuja

lihaskivon heikkenemistä

keskittymiskyvyn heikkenemistä

suun kuivumista

päänsärkyä

pahoinvointia tai oksennusta

epätavallisen voimakasta väsymyk-  
sen tunnetta

heikotusta, huimausta tai pyörri-  
tystä

silmien kirvelyä

9. Tunsitko altistumiseen liittyen seuraavia oireita? Kirjoita numero jo-  
kaisen oireen kohdalle. Arvioi oireilun tämänhetkistä tilannetta.



LIITE 4 (3/3)

En lain-kaan	Vain vähäi-siä	Kohta-laisen voi-mak-kaita	Hyvin voimak-kaita
1	2	3	4

hengenahdistusta

pitkittänyttä yskää tai yskänpuuskia

vinkuvaa hengitystä

lisääntynyttä limaneritystä keuhkoista

voimakasta nuhaa tai nenän tukkoisuutta

kurkkukipua tai kurkun kirvelyä

rintakipua

sydämen rytmihäiriöitä

lihaskipuja

lihasvoiman heikkenemistä

keskittymiskyvyn heikkenemistä

suun kuivumista

päänsärkyä

pahoinvointia tai oksennusta

epätavallisen voimakasta väsymyksen tunnetta

heikotusta, huimausta tai pyörrytystä

silmien kirvelyä

iho-oireita

Tähän ja kääntöpuolelle voit kuvata myös omin sanoin havaintojasi:

---

Taulukko 1. Yksittäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja esiintyvyys paloaseman eri osissa normaalin toiminnan aikana otetuissa näytteissä

	Palo-auto	%	PI- huolto	%	Varuste- varasto	%	Varuste- huolto	%	Letkujen pesu	%	Mie- histö-tila	%
<b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b>												
C8H18-hiilivety**	5.7	40	2,0	50	7,3	50	3,0	17	4,0	50		
Dekaani	0.8	40	0,7	33	0,8	50	3,3	33	1,0	100		
Dodekaani	0.8	40	0,5	17	1,9	33	0,8	67	1,0	50		
Heksadekaani			0,7	17	1,0	17						
Heptaani	1.2	60	0,9	33	0,9	100	1,0	33	2,5	100		
2-Metyylibutaani**	4.6	60	2,3	50	6,3	50						
2-Metyylipentaani	2.5	100	1,2	67	3,5	100	3,3	50	3,0	100		
Metyylisyklopentaani	0.9	40	0,9	17	1,5	50	1,5	33	3,0	50		
Nonaani	1.0	40	2,0	17	1,0	50	1,4	33	1,0	50		
Oktaani	0.6	20			0,5	17	0,5	17	2,0	50		
Pentadekaani	0.7	20			2,0	17						
Sykloheksaani	1.0	20										
Tetradekaani	0.7	60	1,4	33	1,5	33	0,6	33	0,6	50		
Tridekaani	0.8	60	1,4	33	2,0	33	0,5	17	0,7	50		
2,3,3-Trimetyylipentaani	1.7	60	0,9	17	2,3	50			1,0	50		
2,3,4-Trimetyylipentaani	2.7	60	2,0	17	3,3	50			2,0	50		
Undekaani	1.0	40			1,1	50	2,7	50	2,0	50		
<b>AROMAATTISET HIILIVEDYT</b>												
Bentseeni	1.2	80	0,7	67	1,2	67	1,2	50	0,9	100	0,5	17
C3-alkyylibentseeni**	3.0	20			2,0	17	2,0	17	7,0	50		
C4-alkyylibentseeni**									12	50		
Etylibentseeni	2.1	100	4,9	33	2,2	100	2,3	50	3,0	100		
1-Etyyli-2-metyylibentseeni	0.9	20			0,5	17	0,6	17	3,0	50		
Ksyleenit (p,m)	7.2	100	7,0	100	8,2	100	6,3	67	11	100	0,8	17
Ksyleeni (o)	2.4	100	3,6	67	3,0	83	3,0	50	5,0	100		
Naftaleeni	0.6	20										
Propyylibentseeni	1.0	20			0,6	17	0,6	17	0,8	50		
Styreeni			15	17					1,0	50		
Toluenei	9,4	100	3,2	83	7,7	100	6,8	67	10	100	0,8	50



	Palo-auto	%	PI- huolto	%	Varuste- varasto	%	Varuste- huolto	%	Letkujen pesu	%	Mie- histö-tila	%
1,2,3-Trimetyyllibentseeni	1.0	20			0,6	17	0,7	17	3,0	50		
1,2,4-Trimetyyllibentseeni	2.3	60	1,0	17	1,2	67	1,6	50	6,5	100		
1,3,5-Trimetyyllibentseeni	1.0	20			0,5	17	0,6		3,0	50		
<b>TERPEENIT</b>												
α-pineeni											1,0	17
Limoneeni	0.8	20	0,8	17			0,8	33	0,7	50	3,0	17
<b>HIILIVETYSEOKSET</b>												
Hiilivetyseos**	176.3	60	200	50	127	33						
<b>YKSIARVOISET ALKOHOLIT</b>												
Bentsyylialkoholi	1.5	80	18	50	6.6	50	58	50	3,0	50	4,0	17
1-Butanoli	2.0	20	0,7	33							0,8	33
2-Etyyli-1-heksanoli	4.2	100	2,4	83	3,5	83	11	33	1,0	100	0,9	50
2-Propanoli	14.3	60	8,0	17	1,5	33	14	83			3,0	17
<b>MONIARVOISET ALKOHOLIT</b>												
1,2-Etaanidioli	21.5	40			3,0	17						
1,2-Propanidioli	7.7	60	6	33	10	33	4,0	33	4,0	50		
<b>EETTERIT</b>												
Dibutoksimetaani**	4.0	20	16	17	1,0	17			30	50		
<b>ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT</b>												
2-(Butoksi)etanoli	1.4	40										
2-2-(butoksietoksi)etanoli					8,0	17						
2-2-(etoksietoksi)etanoli							4,0	17				
2-Fenoksietanoli	1.0	20	2	17			2,9	33			0,7	33
1-metoksi-2-propanoli							7,0	17				
<b>ALDEHYDIT</b>												
Bentsaldehydi	1.0	40	2,7	50	2,5	33	4,8	67	2,0	50	2,0	17
Dekanaali	3.8	60	3,0	50	1,7	67	2,6	83			1,8	83
2-Furfuraali											0,6	17
heksanaali	1.4	40	0,9	33	0,6	17	1,0	17			0,8	67

	Palo-auto	%	PI- huolto	%	Varuste- varasto	%	Varuste- huolto	%	Letkujen pesu	%	Miehis- tötilä	%
heptanaali	0.8	20	2,0	33								
Nonanaali	4.3	60	2,0	33	2,0	17	4,3	50			2,5	67
Oktanaali	1.0	40	0,6	17	0,7	33	0,9	33			0,8	33
<b>KETONIT</b>												
Asetoni							52	33				
Asetofenoni	1.0	20	0,5	17	0,8	50	0,8	33	1,0	50	0,9	33
2-Butanoni	6.0	40	4,5	33	4,0	33	3,0	33				
4-Metyyli-2-pentanoni	1.3	100	1,0	17	1,0	17	0,9	17	0.9	50		
sykloheksanoni	0.6	20										
<b>FOSFORIYHDISTEET</b>												
Trietyylifosfaatti**	4.0	20										
<b>ESTERIT JA LAKTONIT</b>												
Etyyliasettaatti	1.4	40	1,0	17			1,3	33				
<b>HALOGEENIYHDISTEET</b>												
Dikloorimetaani			1,0	17								
<b>PIIYHDISTEET</b>												
Dekametyylisyklopentasiloksaani	0.8	60			0,8	50	0,8	50			0,8	50
<b>HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET</b>	200		210		130		84		115		14	

## Toimintaohje työntekijöiden poikkeuksellisissa altistumistilanteissa terveydelle vaarallisille aineille Keski-Suomen Pelastuslaitos

OIREILEVIEN AKUUTTI HOITO (ALTISTUSLUOKKA 1) TAPAHTUU KESKI-SUOMEN KESKUSSAIRAALASSA

### PELASTUSLAITOS

Esimies huolehtii, että työntekijät tekevät oirekyselyn altistusluokkien mukaisesti.

- Esimies ilmoittaa työterveyshuoltoon vastuutyöterveyshoitajalle altistuneet työntekijät ja samalla sovitaan spirometriatutkimusten aikataulu.
- Esimies informoi altistuneita työntekijöitä työterveyshuollossa tapahtuvista spirometriamittauksen aikataulusta.
- Skellefteå-mallin mukainen toiminta palopaikalla.

### TYÖTERVEYSHUOLTO

**ALTISTUSLUOKKA 1** (vakavat oireet, välitöntä hoitoa tarvitsevat)  
Akuuttihoidossa käyneiden jatkohoito keskussairaalaossa tai työterveyshuollossa.

- Spirometria-mittaus akuutti hoidon jälkeen, sekä uusintamittaus 3-7 vrk:n kuluttua.
- Oirekyselyt 0 vrk, 1vrk, 3 vrk ja 7 vrk tapahtuneesta altistuksesta.
- Jatkotutkimukset tarvittaessa mikäli oireet eivät ole helpottaneet viikon seurannan jälkeen.

**ALTISTUSLUOKKA 2** (Lievästi altistuneille (kurkun karheus/kipu, satunnainen yskä, suun limakalvo-oireet )

- Spirometria-mittaus mahdollisimman nopeasti tapahtuneesta, sekä uusintamittaus 3-7 vrk:n kuluttua.
- Oirekyselyt 0 vrk, 1 vrk, 3 vrk ja 7 vrk tapahtuneesta altistuksesta.
- Jatkotutkimukset tarvittaessa mikäli oireet eivät ole helpottaneet viikon seurannan jälkeen.

**ALTISTUSLUOKKA 3, Oireettomat**

- Oirekysely 0 vrk ja 1 vrk tapahtuneesta
- Jatkotutkimukset tarvittaessa mikäli oireilua alkaa ilmenemään 12 tuntia altistumisen päättymisen jälkeen.

Yhteistyö Pelastuslaitoksen, työterveyshuollon ja tarvittaessa työterveyslaitoksen kanssa.