



PELASTUSOPISTO

Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke)

Riikka Salmi ja Juha Laitinen



B

TUTKIMUSRAPORTTI



PELASTUSOPISTO

Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke)

Riikka Salmi ja Juha Laitinen



PELASTUSOPISTO

Pelastusopisto

PL 1122

70821 Kuopio

www.pelastusopisto.fi

Pelastusopiston julkaisu

B-sarja: Tutkimusraportit

1/2024

ISBN 978-952-7217-70-2

ISSN 2342-9313



Pelastusopisto

Riikka Salmi ja Juha Laitinen

Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke)

Tutkimusraportti

Tammikuu 2024

Tiivistelmä

Hanke koostui neljästä työpaketista, joista ensimmäisessä haastattelututkimuksella kartoitettiin pelastuslaitoksien nykyisiä suoja- ja sammutusvarusteiden puhdistuskäytäntöjä. Toisessa työpaketissa mittasimme käytännön savusukellusharjoituksissa altistettujen suoja- ja sammutusvarusteiden puhdistumista erilaisilla pesutekniikoilla. Testattavat varusteet altistettiin savusukelluksen aikana savusukellussimulaattorissa.

Suojavarusteista palotakkien puhdistustehokkuutta mitattiin ensin erilaisissa vesipesuohjelmissa yhdistettynä eri kuivausmenetelmiin. Toisessa vaiheessa vesipesuun yhdistettiin kahden tunnin otsonointi- tai vetyperoksidilisäkäsittely. Täysin omina pesutekniikkoinaan mitattiin nestemäistä hiilidioksidikäsittelyä (LCO₂) ja nestemäistä otsonointia (LO₃), joita käytettiin myös palotakkien puhdistamiseen. Palotakkien lisäksi tutkittiin paineilmahengityslaitteiden kasvo-osien ja lämpökameroiden puhdistumista.

Menetelmien puhdistustehokkuuksia arvioitiin ottamalla lappunäytteitä palotakkien eri kerroksista altistuksen ja eri käsittelyjen jälkeen. Näytteistä analysoitiin polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) ja osasta myös oksi-PAH-yhdisteet. Lisäksi mitattiin palotakkien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC-yhdisteet) pintaemissionopeutta 60 °C vesipesun ja rumpukuivauksen sekä otsonointi- ja vetyperoksidikäsittelyjen jälkeen. Kasvo-osista ja lämpökameroista otettiin pintapyyhintänäytteet altistuksen ja eri käsittelyiden jälkeen, ja näytteistä analysoitiin PAH-yhdisteet. Lisäksi mitattiin lämpökameroiden VOC-yhdisteiden pintaemissionopeutta pintapyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen.

Työpaketissa kolme arvioitiin puhdistusmenetelmien pelastuslaitoksille aiheutuvia kustannuksia erilaisilla puhdistustekniikoilla. Saatujen tulosten perusteella annettiin suosituksia palopukujen ja varusteiden tulevaisuuden pesutekniikoista tähdäten pelastajien altistumisen minimointiin. Työpaketissa neljä koottiin testien antamat tulokset käytössä olevien menetelmien konkreettisesta toimivuudesta.

19 pelastuslaitokselta saadut haastattelututkimustulokset osoittavat, että pelastuslaitoksilla on ohjeistus altistumisen minimoimiseksi. Useimmat laitokset noudattavat Puhdas paloasema -hankkeen periaatteita erottamalla likaiset ja puhtaat tilat. Lisäksi monet laitokset ohjeistavat paloasujen ja varusteiden oikeanlaisesta riisumisesta ja käsittelystä. Altistuneet varusteet kuljetetaan eristetyissä säkeissä, yleisimmin erillisellä peräkärryllä tai kalustotilassa. Pesukäytännöt, erityisesti palopukujen pesu, ovat yhdenmukaisia ja ne noudattavat nykysuosituksia. Pääsääntöisesti palopuvut pestään 60 °C:ssa, väliautot sekä siviilivaatteet pestään eri koneissa ja putoamissuojaimet irrotetaan ennen pesua. Vaikka monet laitokset voivat käyttää otsonointikäsittelyä epämiellyttävien hajujen poistamiseen, sen käyttö on satunnaista.



Pesutekniikkojen puhdistustehokkuusmittauksissa havaittiin, että palotakeissa selvästi suurimmat PAH-yhdisteiden pitoisuudet altistuksen jälkeen mitattiin palotakin keskikerroksista, joissa keskimääräiset yhteispitoisuudet olivat 230–1800 ng/cm². Toiseksi suurimmat yhteispitoisuudet mitattiin selän ja rinnan ulommista kerroksista ja niskan sisäkerroksesta, joissa yhteispitoisuudet olivat keskimäärin 55–470 ng/cm². Takin sisäpuolelta mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin 4–190 ng/cm².

EU-komission asettama raja-arvo PAH-yhdisteiden yhteispitoisuudelle on 10 mg/kg. Palotakkien altistuksen jälkeen suurimmat selän keskikerroksessa mitatut yhteispitoisuudet olivat 3500 ng/cm², mikä vastaa 13-kertaista pitoisuutta raja-arvoon nähden. Fenantreeni, fluorantreeni ja pyreeni olivat merkittävimmät yksittäiset PAH-yhdisteet, mutta useiden mitattujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet ylittivät EU-komission raja-arvon 1 mg/kg. Vesipesun jälkeen PAH-yhdisteiden profiili säilyi samana, ja useiden yhdisteiden pitoisuudet ylittivät raja-arvon pesusta huolimatta. Osasta näytteitä analysoitiin myös oksi-PAH-yhdisteitä, joiden suurimmat pitoisuudet olivat keskikerroksissa noin 10 % vastaavien PAH-yhdisteiden pitoisuuksista.

Vesipesun keskimääräinen puhdistustehokkuus palopuvun ulommissa kerroksissa ja niskan sisäkerroksessa oli keskimäärin 56 %. Pestyille takeille tehty lisävetyperoksidikäsittely antoi keskimäärin 61 % ja lisäotsonointikäsittely puolestaan keskimäärin 84 % yhteispuhdistustuloksen vesipesun kanssa. Nestemäisellä hiilidioksidiksi tehty pesu antoi keskimääräiseksi puhdistustulokseksi 74 % ja nestemäisellä otsonilla toteutettu vesipesu 71 % tuloksen. Tarkasteltaessa keskikerrosten pesutulosta, nestemäisen hiilidioksidipesun puhdistustehokkuus oli 84 % ja muiden tekniikkojen enintään 31 %.

LCO₂-tekniikalla saavutettiin keskimäärin 90 % puhdistustehokkuus oksi-PAH-yhdisteille. Vesipesu antoi 16 % ja vesipesu yhdessä otsonoinnin kanssa 26 % puhdistustuloksen. Nestemäinen otsonointi tuotti vain 2 % puhdistustehokkuuden, ja vetyperoksidikäsittely näytti lisäävän oksi-PAH-yhdisteitä palopukuun. Myös vesipesun ja otsonoinnin huonommat oksi-PAH-yhdisteiden puhdistustehokkuudet PAH-yhdisteisiin verrattuna, voivat viitata oksi-PAH-yhdisteiden syntymiseen näiden pesuprosessien aikana.

Palopukujen pintaemissionopeusmittauksissa VOC-yhdisteiden puhdistumistehokkuudet vetyperoksidikäsittelyn jälkeen olivat alkoholiseosten osalta 94 %, bentsyylialkoholin 74 %, bentsaldehydin 65 % ja 1-butoksi-2-propanolin 54 %. Otsonointikäsittelyssä puhdistustehokkuudet olivat 2,6-dimetyyli-7-okteeni-2-olille 59 %, asetonille 50 % ja undekaanille 50 %. Lämpökameroiden osalta vetyperoksidikäsittely näytti myös puhdistavan mitattuja VOC-yhdisteitä.

Paineilmahengityslaitteiden maskiosien rumpupesun puhdistustehokkuus oli 94 %, käsinpesun 85 % ja ruiskupesun 75 %. Yksistään pintapyyhinnän vaikutus lämpökameroiden puhdistumiseen oli vähäinen, mutta yhdistelmäkäsitely vetyperoksidilla vähensi PAH-yhdisteitä 60 % ja vastaavasti pyyhintä yhdistettynä lämpökameroiden suojaussien rumpupesupesukoneessa antoi puhdistustuloksen 91 %.

Palopuvun vesipesun hinnaksi pelastuslaitoksella muodostui 2,6 €, kun pestään vähintään yksi palopuku päivässä ja jaetaan kiinteät kulut per puku. Vastaavasti vesipesun ja otsonointikäsittelyn yhteishinnaksi muodostui 4,1 €. Palopuvun vetyperoksidikäsittelyn ostohinta puolestaan on 63 € per puku. Nestemäisen otsonoinnin ostohinta palopuvulle oli 16–20 €. Palopukujen LCO₂- käsittelyn ostopalvelun hinta on 68 € per palopuku sisältäen puvun tarkistuksen.

Suosittellemme palopukujen pesemistä välittömästi likaantumisen jälkeen, jotta palamistuotteet eivät kiinnittyisi niihin. Ensisijaisesti tulisi käyttää vesipesutekniikkaa 40 °C pesulämpötilassa, puvun kuivausta kuivaushuoneessa ja palopukujen pesemistä yksitellen. Lisätekniikoista otsonointia ja



vesipesun otsonointia suosittelemme varauksella mahdollisten oksi-PAH-yhdisteiden syntymisen vuoksi. Vetyperoksidia emme suosittele lainkaan PAH-yhdisteiden puhdistamiseen palopuvuista käsittelyssä syntyvien oksi-PAH-yhdisteiden vuoksi.

Turvallisimpana uutena tekniikkana suosittelemme palopukujen puhdistamista LCO₂-tekniikalla vähintään kerran vuodessa. Menetelmä puhdistaa myös puvun keskikerrokset ja samalla puhdistaa myös puvuissa esiintyvät oksi-PAH-yhdisteet. Lisäksi menetelmä desinfioi ja on hellävarainen palopuvuille, jolloin ne kestävät pidempään. Keskikerrosten puhdistumisen myötä on oletettavaa, että palopuku toimii teknisesti paremmin lämpö- ja kosteuskalvojen puhdistumisen myötä.

Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien puhdistamiseen suosittelemme ensisijaisesti manuaalista käsinpesua, mutta kasvo-osien puhdistaminen rumpupesulla vähintäänkin osana säännöllistä vuosihoitoa on suositeltavaa. Ruiskupesua voidaan käyttää myös tarvittaessa.

Lämpökameroiden puhdistamiseen suosittelemme pintapyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn tai pintapyyhinnän ja lämpökameroiden suojapussin rumpuvesipesun yhdistämistä hyvän puhdistustehokkuuden varmistamiseksi.

Avainsanat: Vesipesu, LCO₂, vetyperoksidikäsittely, otsonointi, LO₃, ruisku- ja rumpupesu

Emergency Services Academy Finland

Riikka Salmi ja Juha Laitinen

Evaluation and development of the decontamination methods for firefighters' PPEs and thermal camera (SAVE-project)

Research project

January 2024

Abstract

The project consisted of four work packages (WP). In the WP 1 the status of decontamination methods and firefighter personal protective equipment (PPE) practices in Finland were investigated using an interview survey. In the WP 2, using various washing techniques, we measured the cleaning efficiency of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and volatile organic compounds (VOCs) from equipment exposed during smoke-diving exercises. Tested equipment was exposed during smoke diving in a smoke diving simulator.

The cleaning efficiency of the fire jackets was measured with different washing methods combined with various drying methods. In the second phase, water washing was combined with a two-hour ozone or hydrogen peroxide treatment. Liquid carbon dioxide treatment (LCO₂) and liquid ozone treatment (LO₃) were used as an independent cleaning method. In addition, the cleaning efficiency of face parts of self-contained breathing apparatus (SCBA) and thermal cameras was investigated.

The cleaning efficiencies were measured by taking samples from different layers of the fire jackets after exposure and various treatments. The samples were analyzed for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH compounds) and some samples were also analyzed for oxygenated PAH compounds. The surface emission rate of volatile organic compounds (VOC compounds) from fire jackets was measured after 60°C washing and tumble drying as well as after ozone and hydrogen peroxide treatments. Wipe samples were taken from mask parts and thermal cameras after exposure and various treatments and PAH compounds were analyzed. In addition, the surface emission rate of VOC compounds from thermal cameras was measured after wiping and hydrogen peroxide treatment.

In WP3 the costs of different cleaning methods were evaluated. Based on the results, recommendations were provided for future cleaning techniques to minimize rescuers' exposure. In WP4, the test results were compiled to assess the effectiveness of the existing methods.

Interview results from 19 fire departments indicate that the departments have guidelines to minimize exposure. Most departments follow the guidelines of the "Clean Fire Station" model by separating dirty and clean areas. Departments have the guidelines for the proper maintenance of firefighting suits and equipment. Exposed equipment is transported in isolated bags, commonly in a separate trailer or equipment compartment. Washing practices follow to current recommendations. Generally, firefighting suits are washed at 60 °C, undergarments and civilian clothing are washed in separate machines and rescue harness are removed before washing. Many departments may use ozone treatment to eliminate unpleasant odors, but usage is occasional.

In measurements of cleaning efficiency, it was observed that in fire jackets, the highest total concentrations of PAHs after exposure were measured in the middle layers, concentrations averaging 230–1800 ng/cm². The second-highest total concentrations were measured in the outer layers of the back and chest, as well as in the inner layer of the neck, concentrations averaging 98–470 ng/cm². Concentrations measured on the inside of the jacket, averaging 4–190 ng/cm².

EU Commission has set a limit for new garments: 10 mg/kg, total concentration of PAHs. After exposure, the highest concentrations measured in the middle back layer of the jackets were 3500 ng/cm², which corresponds to a 13-fold total concentration compared to the limit. Phenanthrene, fluoranthene and pyrene were the most significant individual PAHs, but the concentrations of several measured PAHs exceeded the EU Commission limit of 1 mg/kg. After water washing, the profile of PAHs remained unchanged, and the concentrations of several compounds still exceeded the limit. Some samples were also analyzed for oxygenated PAHs, the highest concentrations in the middle layers being approximately 10% of the corresponding PAH concentrations.

The average cleaning efficiency of the water washing for the outer layers of the chest and back and inner layer of the neck was 55%. Additional hydrogen peroxide treatment after water washing gave 61% average cleaning efficiency and additional ozone treatment gave an average of 84% cleaning efficiency. Washing with liquid carbon dioxide (LCO₂) resulted in an average cleaning efficiency of 74% and washing with liquid ozone (LO₃) achieved 71% result. When examining the cleaning result for the middle layers, the cleaning efficiency of LCO₂ was 84%, while other techniques reached a maximum efficiency 31%.

The LCO₂ technique achieved an average cleaning efficiency of 90% for oxygenated PAH compounds. Cleaning efficiency result with water washing was 16% and washing with water combined with ozone treatment 26%. LO₃ technique produced only a 2% cleaning efficiency, and hydrogen peroxide treatment appeared to increase the presence of oxygenated PAHs in the firefighting suit. The poor cleaning efficiency of combined ozone treatment and water washing for oxygenated PAH compounds compared to PAH compounds may also indicate the generation of oxygenated PAHs during these washing processes.

In surface emission rate measurements of firefighting suits, the cleaning efficiencies of VOC compounds after hydrogen peroxide treatment were 94% for alcohol mixtures, 74% for benzyl alcohol, 65% for benzaldehyde, and 54% for 1-butoxy-2-propanol, respectively. In ozone treatment, the cleaning efficiencies were 59% for 2,6-dimethyl-7-octen-2-ol, 50% for acetone, and 50% for undecane, respectively. For thermal cameras, hydrogen peroxide treatment appeared to clean measured VOCs.

The cleaning efficiency of drum washing for the mask parts of the SCBA was 94%, handwashing 85%, and spray washing 75%. For thermal cameras, the impact of surface wiping alone was minimal, but a combined treatment with hydrogen peroxide reduced PAH compounds by 60% and wiping combined with drum washing of thermal camera covers in a washing machine 91%.

The cost of washing a firefighting suit with water at the fire department was 2.6 € when washing at least one suit individually per day and allocating fixed costs per suit. Similarly, the combined cost of water washing and ozone treatment was 4.1 €. The purchase price for hydrogen peroxide treatment of the firefighting suit is 63 € per suit. The purchase price for LO₃ treatment for the firefighting suit ranged from 16 € to 20 €. The purchase service cost for LCO₂ treatment was 68 € per firefighting suit.



We recommend washing firefighting suits immediately after decontamination to prevent contaminants adhering to them. Primary we recommend using a washing technique at 40°C, drying the suit in a drying room and washing suits individually. Additional techniques such as ozone treatment and liquid ozone treatment are cautiously recommended due to the potential formation of oxygenated PAHs. Hydrogen peroxide is not recommended at all due to the formation of oxygenated PAHs during the process.

As the safest new technique, we recommend cleaning firefighting suits using the LCO₂ method at least once a year. This method also cleans the middle layers of the suit and removes oxygenated PAHs. Additionally, the method disinfects and is gentle on firefighting suits, prolonging their lifespan. With the cleaning of middle layers, it is anticipated that the firefighting suit will function more effectively, especially with the cleaning of heat and moisture membranes.

For cleaning mask parts of breathing apparatuses, we recommend manual handwashing as the primary method, but drum washing as part of regular annual maintenance is also advisable. Spray washing can also be used when needed. For cleaning thermal cameras, we recommend combining surface wiping with hydrogen peroxide treatment or surface wiping with drum washing of thermal camera covers to ensure good cleaning efficiency.

Keywords: Water washing, LCO₂, hydrogen peroxide treatment, ozonation, LO₃, spray and drum washing



Alkusanat

Tutkimusryhmä kiittää erityisesti Kangasalan ja Hervannan paloasemia, joissa saimme tehdä merkittävän osan hankkeen pesutesteistä. Kiitokset menevät myös yrityskumppaneillemme Diversey Suomelle, X-home Oy:lle, Hygio Oy:lle, Laatusesulle ja Decontex Benelux NV:lle. Ilman heidän tukeaan tämä hanke ei olisi ollut mahdollinen. Myös Itä-Suomen Pesulan työpanos hankkeen loppupuolella seurantaryhmältä saadun nopean toimeksiannon toteuttamiseksi ansaitsee ison kiitoksen.

Kiitokset menevät myös Työterveyslaitokselle, joka laadukkaasti vastasi hankkeen näytteiden analysoinnista. Myös VTT:n Tampereen osastolle kiitos mittalaitteiden lainasta.

Suurimmat kiitokset menevät hankkeen päärahoittajalle Palosuojelurahastolle, joka on merkittävästi tukenut hanketta ja ymmärtäväisesti suhtautunut hankkeen haasteisiin. Lisäksi Pelastusopiston henkilökunta ja erityisesti Kari Kovakoski ansaitsevat kiitokset hyvästä yhteistyöstä.

Kuopiossa 29.1.2024

A handwritten signature in blue ink, reading "Juha Laitinen".

Juha Laitinen

erikoistutkija, projektipäällikkö



Sisällys

1	Johdanto	7
2	Kemiallinen altistuminen ja syöpäriski	8
3	Keinot kemiallisen altistumisen vähentämiseen	9
4	Puhdistusmenetelmät.....	12
4.1	Vesipesu	12
4.2	Otsonointi	12
4.3	Vetyperoksidikäsittely.....	13
4.4	Nestemäinen hiilidioksidi	13
4.5	Otsonivesipesu	14
4.6	PAH-yhdisteiden raja-arvot tekstiileissä	14
4.7	Oksi-PAH-yhdisteet	15
5	Hankkeen tavoitteet	16
6	Aineisto ja menetelmät	17
6.1	Haastattelututkimus.....	17
6.2	Varusteiden altistaminen	17
6.3	Näytteiden otto ja analysointi.....	18
6.4	Vesipesut.....	20
6.5	Otsonointikäsittely.....	21
6.6	Vetyperoksidikäsittely.....	22
6.7	Nestemäinen hiilidioksidi	23
6.8	Otsonivesipesu	24
6.9	Muut varusteet	24
7	Tulokset	27
7.1	Haastattelututkimuksen tulokset.....	27
7.2	Palotakkien pesutulokset	39
7.3	Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien puhdistustulokset.....	48
7.4	Lämpökameroiden puhdistustulokset	49
8	Pesumenetelmien kustannustehokkuudet.....	52
9	Tulosten tarkastelu	53
10	Suositukset.....	60



1 Johdanto

Pelastajien kemiallisille aineille altistumisen vähentämisessä suoja- ja sammutusvarusteiden puhdistustehokkuus on erittäin tärkeää. Suoja- ja sammutusvarusteiden pitkät elinkaaret mahdollistavat kemiallisten epäpuhtauksien kertymisen niihin, mikäli pesutekniikat, pesukäytänteet ja varusteiden käyttäjien asenteet eivät ole kunnossa (Institut Fysieke Veiligheit, 2018; Stec ym., 2020; Wolffe ym., 2023). Erityisen hankalia ovat palopukujen keskikerrokset, joihin epäpuhtaudet keräytyvät huonontaen palopuvun hengittävyyttä (Swedish Civil Contingencies Agency, 2015; Laitinen ym., 2016; Fent ym., 2019). Sammutusvarusteista etenkin lämpökameroiden puhdistaminen on myös koettu haasteelliseksi varustehuolloissa niihin absorboituneiden palojäämien vuoksi.

Aiemmassa tutkimuksessa todettiin puhtaampien palopukujen likaantuvan pesuprosessissa, kun ne pestiin samanaikaisesti likaisimpien palopukujen kanssa. Tämän vuoksi likaiset palopuvut ohjeistettiin pesemään yksistään. Vähemmän likaantuneet väliasut ja alusasut sekä erityisesti siviiliasut ohjeistettiin pesemään erillään sammutustehtävissä eniten likaantuneista varusteista (Institut Fysieke Veiligheit, 2018). Samaisessa tutkimuksessa palopukujen vesipesulla päästiin parhaimmillaan kaikkien kerrosten osalta keskimäärin 40 % pesutehokkuuteen, joten vesipesun ja vaihtoehtoisten pesumenetelmien kehittämiseksi nähtiin edelleen suurta tarvetta (Instituut Fysieke Veiligheit, 2018; Szmytke ym., 2022). Operatiivisessa työssä tehdyssä selvityksessä todettiin pelastajien kokonaisaltistumisesta merkittävän osan tulevan savusukelluksen ja raivauksen lisäksi myös varustehuollosta (Swedish Civil Contingencies Agency, 2015; Laitinen ym., 2016; Fent ym., 2019). Tähän kun lisätään hyvin syöpävaarallisten aineiden, kuten asbestikuitujen aiheuttavat haasteet työturvallisuudelle pesuprosessin aikana, voidaan sanoa koko pesuprosessin kaipaavan ohjeistusta (Laitinen, ym. 2019).

Uusista tekniikoista esimerkiksi nestemäisestä hiilidioksidista on aikaisemmissa tutkimuksissa saatu lupaavia tuloksia (Fijan, ym., 2011; Madsen ym., 2014; Szmytke ym., 2022). Puolalaisen tutkimusryhmä havaitsi, että pesu nestemäisellä hiilidioksidilla vähensi palopukujen PAH-yhdisteiden pitoisuuksia vesipesua paremmin. Tutkimuksessa suositeltiin, että palopuvut kannattaisi pestä tällä menetelmällä vähintään kerran tai kaksi vuodessa kemiallisten aineiden kumuloitumisen estämiseksi (Szmytke ym., 2022). Vetyperoksidi- ja otsonilisäkäsitelyjen tehokkuutta sen sijaan on arvioitu erityisesti biologisten tekijöiden tuhoamisessa (Barbut ym., 2009; ECDC, 2020). Mutta myös hajujen poistamiseen likaantuneista materiaaleista on olemassa lupaavia tuloksia (Timo Jaatinen, henkilökohtainen tiedonanto, Hygio Oy).

Raportoitavassa hankkeessa etsittiin tehokkaita ja ympäristöystävällisiä puhdistusmenetelmiä syöpävaarallisten aineiden puhdistamiseen suoja- ja sammutusvarusteista. Hankkeessa testattiin perinteistä vesipesua ja sen yhdistämistä vetyperoksidi- sekä otsonointikäsitelyyn. Lisäksi kokeiltiin nestemäisen otsonoinnin (LO_3) ja hiilidioksidin (LCO_2) tehokkuutta omina menetelminään. Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osille testattiin ruisku- ja rumputekniikoiden toimivuutta verrattuna perinteiseen käsinpesuun. Lämpökameroille puolestaan testattiin pyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn tai pyyhinnän ja kamerapussien rumpupesun yhdistelmiä. Varusteista otettiin näytteitä altistumisen, pesujen ja lisäkäsitelyjen jälkeen arvioiden tulosten perusteella pesujen tehokkuutta. Lisäksi arvioitiin pesumenetelmien kustannustehokkuutta ja kemiallisten aineiden muuttumisesta pesuprosessissa käytettyjen käsittelyjen seurauksena.



2 Kemiallinen altistuminen ja syöpäriski

Palopaikalla esiintyy lukemattomia kemiallisia aineita, jotka esiintyvät eri olomuodoissa: hiukkasina, kaasuina, höyryinä ja aerosoleina. Syntyvien kemiallisten aineiden myrkyllisyyteen vaikuttavat ensisijaisesti palavat materiaalit, palon käytettävissä oleva happipitoisuus ja palamislämpötila (LeMasters ym., 2006; IARC, 2010; IARC, 2023). Työn raskaus lisää pelastajien hengitysvolyymia, joka samalla lisää altistumista hengitysteitse. Fyysisen kuormituksen ja ulkoisen lämpökuormituksen seurauksena myös ihohuokoset avautuvat ja ihon pinta kostuu hiestä, jolloin ihoaltistuminen entisestään lisääntyy (Everaert ym., 2023). Lisäksi kemiallisilla aineilla voi olla haitallisia yhteisvaikutuksia samaan kohde-elimeen, jotka voivat olla yhteenlaskettavia eli additiivisiä tai jopa toisiaan vahvistavia eli synergisiä (Laitinen ym., 2012; IARC, 2023).

Palamisessa syntyy kemiallisia aineita, jotka vaikuttavat pelastajien terveyteen monilla eri tavoin. Palokaasuissa on hapenkuljetuksen estäjiä, kuten hiilimonoksidia, syaanivetyä ja rikkivetyä, jotka vaikeuttavat solujen hapensaantia (Savolainen ja Kirchner, 1998; Reinhardt and Ottmar, 2004; Varone ym., 2006). Lisäksi savu sisältää ärsyttäviä aineita, kuten formaldehydiä, typen ja rikin oksideja sekä kloori- ja fluorivetyhappoa, jotka voivat aiheuttaa tulehdustilan keuhkoihin (Bolstad-Johnson ym., 2000; Posniak, 2000; Swiston ym., 2008; Laitinen ym., 2015). Edellä mainitut kemialliset aineet aiheuttavat välittömiä oireita, mutta osa altisteista aiheuttaa myös pitkäaikaisvaikutuksia. Näitä ovat esimerkiksi bentseeni, polysykliset aromaattiset hiilivedyt, asbesti, perfluoratut ja -klooratut yhdisteet (Edelman ym., 2003; Laitinen ym., 2014; Laitinen ym., 2019; IARC, 2023). Osa pitkäaikaisista vaikutuksista aiheuttavista aineista ovat herkistäviä, syöpävaaraa aiheuttavia sekä perimälle ja keskushermostolle myrkyllisiä. Lisäksi savu koostuu pienhiukkasista, jotka pystyvät etenemään keuhkoissa aina keuhkorakkulatasolle asti ja voivat aiheuttaa muutoksia verenkiertoelimistössä ja sydämessä (IARC, 2010).

Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (IARC) yhdisti laajoja kansainvälisiä palomiesten syöpätutkimuksia saadakseen paremman kokonaiskuvan palomiesten syövän ilmaantuvuudesta eri puolilla maailmaa. Yhteenvedon myötä vuonna 2022 palomiesten työn syöpävaarallisuusluokitus nostettiin korkeimpaan luokkaan ryhmään 1, tarkoittaen yhteyden palomiesten altistumisen ja sen aiheuttaman syöpään sairastumisen välillä olevan olemassa. Syöpätyypeistä riittävän näytön sai keuhkopussin ja virtsarakon syövät. Ensiksi mainitun on todettu aiheutuvan hengitetyistä asbestikuiduista ja jälkimmäisen altistumisesta PAH-yhdisteille (Laitinen ym., 2019; Demers ym., 2022; IARC, 2023; Taeger ym., 2023). Yhteispohjoismaisen palomiesten syöpien ilmaantuvuutta selvittäneessä NOCCA-tutkimuksessa todettiin, että 30–49-vuotiailla palomiehillä oli 2,6-kertainen eturauhassyövän riski ja yli 70-vuotiailla palomiehillä 1,9-kertainen keuhkojen adenokarsinooman ja 2,6-kertainen keuhkopussisyövän riski muuhun väestöön verrattuna (Pukkala ym. 2014).

Epäpuhtaudet kulkeutuvat palomiesten elimistöön hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta (Laitinen ym., 2012; Fent ym., 2013; Fent ym., 2014; Laitinen ym. 2016). Kahden viimeisen altistumisreitin kautta tapahtuvan altistumisen torjunnassa erityisesti suoja- ja sammutusvarusteiden huolellisella puhdistamisella on mahdollista vähentää palomiesten tarpeetonta altistumista, joihin keskitytään raportoitavassa hankkeessa.



3 Keinot kemiallisen altistumisen vähentämiseen

Hengitysteiden kautta tulevaa altistumista voidaan parhaiten vähentää suosimalla sammuttamista ulkoapäin savusukeltamisen sijasta. Mikäli savusukellus on ainoa mahdollisuus, on huolehdittava siitä, että savusukellusvarusteet ovat moitteettomassa kunnossa kasvo-osan tiiviystestausta myöten. Savuisissa olosuhteissa työskentelyä ilman hengityksensuojaimia on vältettävä (De Vos ym., 2006). Mikäli paineilmahengityslaitetta ei käytetä jälkiraivauksessa, on se korvattava puhallinavusteisella hengityksensuojaimella, joka on varustettu A2B2E2K2-P3-yhdistelmäsuodattimella. Lämpökuormitusta vähentävien savusukellustaukojen aikana on palotakki riisuttava ja se on siirrettävä toiseen tilaan taukopaikasta, jotta takista vapautuvat palohöyryt eivät joutuisi pelastajan hengitysvyöhykkeelle. Savusukelluksen päätyttyä riisutaan palotakki ja -housut, palokäsineet, kypärät, väli- ja alusasut jo palopaikalla ja paketoidaan ne omiin itsesulaviin pesusakkeihin ja kuljetetaan ne paloasemalle, erillään miehistönkuljetustilasta (Laitinen ym., 2010; Swedish Civil Contingencies Agency, 2015; Laitinen ym., 2016). Paloasemalla hyvin suojautunut kalustonhuoltaja laittaa varusteet itsesulavissa pusseissa suoraan pesukoneeseen. Jos epäillään varusteiden likaantuneen esimerkiksi asbestikuiduilla, tulee niiden pesuun käyttää siihen erikoistunutta pesulaa (Laitinen ym., 2019).

Savusukellusharjoituksissa altistumista voidaan vähentää moderneilla savusukellussimulaattoreilla. Käytettäessä perinteistä savusukellussimulaattoria kannattaa valita mahdollisimman vähäpäästöiset polttomateriaalit harjoitusta varten, kuten esimerkiksi puhdas puu ja vähäaromaattinen sytytysneste (Laitinen ym., 2010). Savusukeltajien hengitystiealtistumista voidaan tarkkailla mm. uloshengitysilman hiilimonoksidin mittauksen avulla heti savusukelluksen jälkeen, hiilimonoksidivapaassa ympäristössä toteutettuna (Burgess ym., 1999).

Koko kehon ihoaltistumista voidaan vähentää parhaiten suojaamalla iho pitkähihaisella ja -lahkeisella alusvaatekerrastolla. Käsien kautta tulevaa altistumista vähennetään suojaamalla kädet kaikissa tilanteissa, joko alus- tai työkäsineellä (Laitinen ym., 2010). Alusvaatteiden tarkoituksena on vähentää ihoaltistumista palotakin ja -housujen alle pääsystä epäpuhtautta vastaan. Lisäksi se muodostaa suojakerroksen ihon ja palotakin sekä -housujen välille. Alusvaatteet on pestävä erillään likaisista palotakeista ja -housuista, jotta ristiin likaantumista ei tapahtuisi. Näin varmistetaan se, että ihoa vasten on aina puhdas vaate, joka ei aiheuta ihoaltistumista. Toinen tärkeä toimenpide ihoaltistumisen vähentämiseksi on peseytyä mahdollisimman nopeasti savusukelluksen jälkeen. Ihoaltistuminen ei lopu savusukelluksen loppuessa vaan vasta sitten, kun epäpuhtaudet on pesty ihon pinnalta pois. Savusukelluksessa käytetään ainoastaan nahkaisia tai puuvillaisia aluskäsineitä. Savusukeltajan käsien kautta tulevaa ihoaltistumista voidaan mitata käsiä pesunäyttein tai koko kehon ihoaltistumista iholle asennettavilla keräimillä (Laitinen ym., 2016).

Ruuansulatuskanavan kautta tulevaa altistumista voidaan vähentää pitämällä kädet puhtaana, jolloin epäpuhtauksien siirtymisreitti kädestä suuhun estyy. Lisäksi altistumista voidaan vähentää välttämällä ruuan- ja juoman nauttimista alueilla, jossa esiintyy palokaasuja ja savua. Jälkimmäinen torjuntakeino on mainittu valtioneuvoston asetuksessa työhön liittyvän syöpävaaran torjunnassa (A 1267/2019). Lisäksi hyvä hengityksensuojaus vähentää myös altistumista ruuansulatuskanavan kautta.



Pelastuslaitoksilla on nykyään hyvä tietotaso siitä, että varusteista ja työtehtävistä tapahtuva altistuminen on merkittävä terveysriski, mutta monelle pelastuslaitoksella työskentelevälle altistavat aineet ja niiden riskit voivat olla vieraita. Moni ymmärtää altistumisen riskit operatiivisilla tehtävillä, mutta varusteiden kautta tulevaa altistumista ei ole aina otettu kovin vakavasti. Palomiesten altistuminen ei lopu palopaikalta lähdettäessä. Esimerkiksi sammutusyksikön sisällä ja normaalin asemapalvelun aikana lähes kaikista paloaseman tiloista lukuun ottamatta puhtaita miehistötiloja on löydetty palopaikalta tulleita kemiallisia aineita. Näin ollen matalatasoinen altistuminen palossa syntyville aineille on vielä mahdollista tehtävän jälkeenkin erityisesti paloaseman likaisella puolella. Operatiivisessa työssä tehdyssä selvityksessä todettiin palomiesten kokonaisaltistumisesta merkittävän osan tulevan juuri varustehuollosta (Laitinen ym., 2016.) Altistumista on pyritty nykyisin vähentämään kehittämällä mm. varustehuoltoa siten, että epäpuhtauksien kulkeutuminen likaisista tiloista puhtaisiin on estetty ja henkilökohtaiseen suojautumiseen on kiinnitetty erityistä huomiota huollon aikana. Altistuttaessa asbestille varustehuollosta vaaditaan erityisen tarkkaa toimintamallia, jotta turhilta altistumisilta ja epäpuhtauksien leviämiseltä välttyttäisiin (Grosse ym., 1998; HSL, 2002; Laitinen ym., 2019). Myös perfluoratuille sammutusvaahdoille altistuttaessa välitön palopukujen pesu on tärkeää heti pelastustehtävän jälkeen (Laitinen ym., 2014).

Ruotsissa kehitetyssä Skellefteå -mallissa on nostettu esiin kolme tärkeää tekijää, jotka vähentävät palomiesten altistumista. Ensiksikin organisaation on tunnistettava altistuminen, toiseksi heillä on oltava selkeät toimintaohjeet sen vähentämiseksi ja kolmanneksi tarvitaan oikeat työ- ja suojavälineet, joilla altistuminen pidetään mahdollisimman vähäisenä. Näin palomiesten työterveyttä on mahdollista ylläpitää kaikissa altistumistilanteissa (Swedish Civil Contingencies Agency, 2015). Moni pelastuslaitos Suomessa on ottanut käytäntöön Skellefteå-mallin pohjalta niin sanotun Puhdas paloasema -toimintamallin, jossa korostetaan altistumisen vähentämistä puhtaan ja likaisen tilan eriyttämisellä. Tutkijat vertasivat Skellefteå-mallia noudattavan Keski-Suomen pelastuslaitoksen työntekijöiden altistumista perinteisesti toimivilla asemilla altistuviin työntekijöihin. Palomiesten kokonaisaltistuminen polysyklisille aromaattisille hiilivedyille todettiin erittäin korkeaksi perinteistä toimintamallia noudattavilla. Skellefteå-mallin mukaisesti toimivilla palomiehillä kokonaisaltistuminen ja käsien kautta tuleva altistuminen oli pienempi kuin perinteistä mallia noudattavilla palomiehillä (Laitinen ym., 2016.)

Yhtenä haasteena paloasemilla on edelleen myös palopukujen huonot pesutulokset (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018). Puhtaat palopuvut saattavat likaantua, jos samanaikaisesti se pestään likaisen palopuvun kanssa. Tämän lisäksi palopuvun kosteutta ja lämpöä eristäviin kerroksiin on todettu jäävän merkittävästi epäpuhtauksia, huonontaen kerrosten hengittävyyttä ja koko puvun toimivuutta sammutustilanteessa (Instituut Fysieke Veiligheid 2018.) Amerikkalaisessa standardissa on asetettu kolme tasoa suojavarusteiden puhdistukselle. Rutiininomainen altistumisen jälkeinen puhdistusmenetelmä on pääsääntöisesti vesipesu, joka tulisi tehdä aina altistumisen jälkeen. Kuitenkin standardin mukaan, suojavarusteet tulisi puhdistaa kerran tai kaksi vuodessa edistysellisemmällä puhdistusmenetelmällä, ja kolmanneksi erityistä käsittelyä tulisi käyttää kemiallisten ja biologisten aineiden poistamiseksi (NFPA, 2020). Kuitenkin monet lisäkäsittelyt voivat vaurioittaa pukuja. Tästä syystä onkin todettu, että olisi tärkeää jatkokehittää suojavarusteiden pesumenetelmiä (Lucena, 2021.)

Jotta palomiesten varusteiden kautta tulevaa kemiallista altistumista saataisiin edelleen vähennettyä, tarvitaan parempia pesutaktiikoita, jotta perinteisestäkin vesipesusta saataisiin kaikki mahdollinen



hyöty irti. Lisäksi tarvitaan kokemusta uusista tekniikoista, joilla pesutehokkuutta voitaisiin edelleen parantaa. Tulevaisuudessa uusien menetelmien tulee myös täyttää kiristyneet vaatimukset puhdistustehokkuudelle sekä ympäristöasioille. Näitä ympäristölle merkittäviä seikkoja ovat muun muassa vähentää myrkyllisten pesuvesien pääsy viemäriin, energian ja veden kulutuksen p. Nestemäinen hiilidioksidipesu (LCO_2) on yksi uusista lupaavimmista tekniikoista, jota on käytetty mm. astronauttien varustehuollossa. Nestemäisen hiilidioksidin pesuteho perustuu sen matalaan viskositeettiin ja pintajännitykseen, jolloin sen mahdollisuudet puhdistaa myös kalvollisia palopukuja ovat paremmat. Lisäksi sillä on korkea tiheys ja vahvat liuotinominaisuudet (Madsen ym., 2014). Menetelmällä palopuvuista vapautuvat syöpävaaralliset aineet saadaan kerättyä talteen ja pesussa käytettävä nestemäinen hiilidioksidi voidaan suodatuksen jälkeen käyttää uudelleen (Fijan ym., 2011; Madsen ym., 2014). Menetelmä poistaa palopuvuista myös mikrobiologisia vaaratekijöitä, jotka muutoin tarvitsisivat 90 asteen lämpötilan normaalissa vesipesussa (Fijan ym., 2011). Käytännössä tätä ei voida koskaan tehdä palopuvuille normaalissa vesipesussa, koska puvut eivät näin korkeita lämpötiloja sietäisi.

Otsonointia on käytetty jo nyt savuhajujen poistamiseen ja otsonointikaappeja on paloasemilla osana pelastuslaitosten varustehuoltoa. Vetyperoksidikäsitelyä on puolestaan käytetty hajujen poistoon sekä varusteiden dekontaminointiin.

Palopukujen lisäksi muiden henkilökohtaisten suojavausteiden, kuten suojahuppujen, alusvaatteiden, paineilmalaitteiden, kypäröiden ja muiden tarvittavien työvälineiden puhtaan paloaseman mukaisesti huoltokonsepteihin tarvitaan uusia tekniikoita. Vesipesun sietävien varusteiden lisäksi on lukuisa määrä elektronisia varusteita, kuten Virve-puhelimet, lämpökamerat ja muut kommunikaatiovälineet, joita tulee puhdistaa niiden rajoitukset huomioiden. Toisaalta on muistettava, että liian voimakkaasti hapettavien menetelmien käyttö voi aiheuttaa varusteiden herkkien materiaalien ja siten myös niiden suojausominaisuuksien heikkenemistä. Näin ollen raportoitavalla tutkimuksella haettiin tekniikoita, joilla on hyvä puhdistuskyky ja jonka materiaalit sietävät, mutta niiden kustannukset eivät nousisi liian korkeiksi.



4 Puhdistusmenetelmät

4.1 Vesipesu

Vesipesu on palopukujen pääsääntöinen puhdistusmenetelmä, koska se on helposti järjestettävissä lähes jokaiselle paloasemalle. Palopukujen ja pesuaineiden valmistajat ovat antaneet omat ohjeistuksen ja minimivaatimuksensa, jotka vesipesumenetelmän on täytettävä. Osalla pesuainevalmistajista on omat ohjelmat palopuvuille, kuten esimerkiksi Diversey Suomella. Kyseistä pesuainevalmistajan ohjelmaa käytettiin raportoitavassa tutkimuksessa.

Amerikkalaisessa standardissa ohjeistetaan, että palopuvut tulee pestä mahdollisimman nopeasti niiden likaantumisen jälkeen. Lisäksi siinä kehoitetaan pesemään puvut väljässä vedessä ja pesukoneen ylitäyttöä tulee välttää. Irtoavat suojaimet ja muut osat tulee irrottaa ennen pesua ja vetoketjut on suljettava sekä neulemansetit käännettävä hihoihin. Standardi antaa myös omat suositukset pesuaineille ja niiden ominaisuuksille sekä esimerkiksi ulkopuolisten pesulapalveluiden laatuvaatimuksille (Freeman, 2015; NFPA, 2020.) Standardia vastaavia suosituksia on käytetty myös valmistajien, kuten Vikingin ja Lionin palopukujen pesuohjeissa.

Vesipesun hyvään lopputulokseen vaikuttavia seikkoja on tutkittu myös suomalaisissa tutkimuksissa. Tutkimustulosten perusteella on suositeltu tehokasta esipesua, jotta itsesulavat pussit aukeavat ja sen lisäksi on suositeltu vähintään kolmea pääpesua hyvän puhdistumistuloksen saavuttamiseksi (Laitinen ym., 2019). Lisäksi varusteiden kuivausprosesseihin on kiinnitettävä huomiota, erityisesti asbestille altistuneiden varusteiden kuivatuksessa. Tietty rumpukuivauslinja tulisi varata vain asbestipyykille, kuivaimen poistoilma on suodatettava ja ilman poistoilmaelimen purkautumiskohta ulkoilmaan on sijoitettava kauas pesulan raittiinilmanotosta. Rummun nukkasihdit tulee puhdistaa asbestipitoisen pyykin kuivauksen jälkeen ja kerätty nukka on toimitettava ongelmajätteisiin (Laitinen ym., 2019).

4.2 Otsonointi

Otsoni (O_3) on hapen allotrooppinen muoto, ja koska se on pysymätön kaasu, se on valmistettava paikan päällä. Otsoni on hyvin voimakas ja myrkyllinen hapetin. Otsoni valmistetaan yleensä koronapurkausmenetelmällä, jossa kuivattu ilma tai happi johdetaan suurjännitteisten elektrodien välille. Pieniä määriä voidaan valmistaa myös UV-säteilytyksellä (Sallanko, 2003). Otsonin desinfioiva vaikutus perustuu sen erittäin voimakkaaseen hapetuskykyyn. Hankkeen tutkimuksissa käytetyssä otsonointikaapissa otsoni valmistettiin sähköpurkauksen avulla (Hygio, 2023).

Koska otsoni on kaasumaisessa muodossa, se läpäisee tehokkaasti huokoiset materiaalit. Menetelmä toimiiikin siksi erinomaisesti erilaisten tekstiilien desinfiointiin ja raikastamiseen, mutta näkyvää likaa se ei puhdistaa. Otsonimolekyylillä on pysymätön ja hajoaa helposti takaisin hapeksi. Otsonointikaapeissa otsoni hajotetaan nopeutetusti hapeksi, jonka vuoksi erityisiä poistokanavia tai varoikoja ei tarvita ja tavarat ovat heti käyttövalmiita ohjelman lopuksi (Hygio, 2023).

Otsonointikaappeihin liittyy turvallisuusseikkoja, jotka käyttäjän on tiedostettava ja otettava huomioon. Otsonointikaapin käyttöön on tärkeä perehtyä. Kaappi tulee asentaa suoraan pystyasentoon kuivaan sisätilaan, jossa on normaali huonelämpötila. Otsonikaappiin muodostuu prosessin aikana huomattavan korkeita otsonipitoisuuksia. Tämän vuoksi kaappiin on rakennettu



sähköinen aikalukko, joka estää kaapin avaamisen käytön aikana. Otsoni muodostaa veden kanssa happamia ja syövyttäviä aineita, jonka takia kaappia ei tule käyttää kosteassa tilassa. Tämän lisäksi on ehdottoman tärkeää, että käsiteltävät varusteet ovat varmasti kuivia. Pestyt palopuvut tulee siis kuivattaa huolellisesti ennen otsonointikäsitelyä. Luonnonkumisia varusteita ei voida otsonoida, koska otsoni hajottaa luonnonkumia (Hygio, 2021.)

4.3 Vetyperoksidikäsitely

Höyrymuotoinen vetyperoksidi (H_2O_2) on laajasti käytetty desinfektioaine (Maunu, 2019). Höyrystynyt H_2O_2 pääsee hankalasti saavutettaviin ja ahtaisiin paikkoihin, ja se on tehokas aine jo 100–700 ppm pitoisuuksissa (Cleamix, 2022). Höyrystyneellä vetyperoksidilla on useita etuja verrattuna muihin yleisesti käytettyihin sterilointiaineisiin, kuten klooridioksidiin, formaldehydiin ja etyleenioksidiin. Sitä voi käyttää matalissa lämpötiloissa, ja se on yhteensopiva lukuisten materiaalien kanssa (Vaisala, 2020). Tarkan dekontaminaatiosyklin hallinnan avulla H_2O_2 voi tuhota kaikki biologiset epäpuhtaudet, koska se pystyy hapettamaan DNA:ta, proteiineja ja kalvolipidejä. Vetyperoksidin toinen etu on, että se hajoaa vedeksi (H_2O) ja hapeksi (O_2). Höyrystynyt vetyperoksidi on myös turvallinen menetelmä käsiteltävien varusteiden käyttäjille. Kun biodekontaminaation ilmastusvaihe on valmis, dekontaminaatioalueella ei ole enää myrkyllisiä yhdisteitä eikä pinnoilla ole kemiallisia jäämiä (Vaisala, 2020). Höyrystyneellä vetyperoksidilla käsitellyt tilat voidaan ottaa käyttöön, kun pitoisuus ilmassa laskee alle 1 ppm. Vetyperoksidin pitoisuuden laskua voidaan nopeuttaa tuulettamalla tai katalyyteillä (Cleamix, 2022).

Vedellä (H_2O) ja vetyperoksidilla (H_2O_2) on samankaltainen molekyyli rakenne, ja ne molemmat vaikuttavat ilman kosteuteen ja saturaatiopisteeseen. Suhteellinen kosteus (RH) on parametri, joka ilmaisee vain ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhteessa lämpötilaan. Jos ilmassa on paljon vetyperoksidihöyryä, tiivistymistä tapahtuu ennen kuin suhteellinen kosteus on 100 %. Vesihöyryn ja vetyperoksidin yhdistelmä määrittävät suhteellisen saturaation (RS). Suhteellinen saturaatio riippuu veden ja vetyperoksidihöyryn pitoisuudesta sekä ilman lämpötilasta. Mitä korkeampi lämpötila on, sitä enemmän vettä ja vetyperoksidihöyryä voi olla ilmassa. Mitä alhaisempi kosteustaso on, sitä enemmän H_2O - ja H_2O_2 -molekyylejä voidaan lisätä, ennen kuin tiivistymistä tapahtuu (Vaisala, 2020.)

4.4 Nestemäinen hiilidioksidi

Nestemäinen hiilidioksidi (LCO_2) on luonnollinen hajuton, mauton ja väritön aine. Nestemäistä hiilidioksidia saadaan esimerkiksi teollisuuden sivutuotteena, ja se pureutuu helposti vaatteiden kankaisiin ja muiden henkilökohtaisten suojarusteiden pintamateriaaliin. Nestemäinen hiilidioksidi tehoaa monenlaisiin epäpuhtauksiin, kuten bakteereihin ja viruksiin sekä asbestiin. Lisäksi se tehoaa moniin veteen liukenemattomiin aineisiin, kuten PAH-yhdisteisiin (Decontex, 2022.)

Pesuprosessissa kaasumainen hiilidioksidi puristetaan kovassa paineessa nestemäiseksi ja tällöin sitä voidaan käyttää pesutarkoitukseen. Nestemäisellä hiilidioksidilla on matala viskositeetti ja pintajännitys, joka mahdollistaa aineen tunkeutumisen esimerkiksi kangaskuitujen väliin ja näin ollen toimii tehokkaasti puhdistustarkoituksiin. Pesuprosessin jälkeen paine lasketaan normaaliksi, nestemäinen hiilidioksidi palautuu kaasumaiseen muotoon ja erillistä kuivausvaihetta ei tarvita. Kaasumainen hiilidioksidi kerätään talteen, suodatetaan ja tislataan ja sen jälkeen se on valmista



uudelleen käytettäväksi (Emerging technologies, 2022.) Nestemäisen hiilidioksidin etuna on myös se, että se on hellävarainen pestäville materiaaleille. Se ei esimerkiksi kutista vaatetta eikä vaikuta vaateen muihin ominaisuuksiin. Nestemäinen hiilidioksidi ei myöskään ole haitallinen terveydelle eikä ärsytä ihoa (Decontext, 2022.) Lisäksi erityisenä etuna voidaan pitää sen ympäristöystävällisyyttä ja luonnonvarojen kuten veden kulutuksen vähäisyyttä. Pesu nestemäisellä hiilidioksidilla pidentää myös vaatteiden elinikää koska pesuprosessissa ei tarvita korkeita lämpötiloja (Emerging technologies, 2022.)

4.5 Otsonivesipesu

Otsonivesipesu on menetelmä, jossa otsoni tuotetaan pesuveteen yleensä pyykinpesukoneeseen liitetyn otsonointilaitteen avulla. Menetelmä nestemäisellä otsonilla perustuu käytännössä kahteen reaktiomekanismiin: suoraan ja epäsuoraan. Suora mekanismi tarkoittaa sitä, että otsoni toimii itse hapettimena katkaisten kemiallisia sidoksia. Epäsuorassa menetelmässä otsoni reagoi ensin veden kanssa tuottaen OH-radikaaleja, minkä jälkeen OH-radikaalit hapettavat kemiallisia sidoksia. Kun otsoni- ja OH-radikaalit joutuvat kosketuksiin erilaisten tahrojen kanssa, ne auttavat rikkomaan tahrojen kemiallisia sidoksia, jolloin tahra irtaantuu (Weeter, 2017.)

Mitä korkeampi pH ja lämpötila, sitä enemmän OH-radikaaleja tuotetaan. Vaikka OH-radikaaleilla on suurempi hapetusvoima kuin otsonilla, ne ovat liuoksessa hyvin lyhytikäisiä. Otsoni poistaa tahrat pyykin tahoista hapetusmekanismin avulla, jolloin otsoni ja OH-radikaali (otsonin ja kylmän veden hajoamistuote) voivat molemmat toimia hapettimina. Otsoni on huomattavasti tehokkaampi alhaisemmissa veden lämpötiloissa, kuten kylmässä vedessä. Mitä kylmempi vesi, sitä vakaampi otsoni on ja sitä kauemmin se vedessä kestää (Weeter, 2017.)

Otsonivesipesun etuina on esimerkiksi sen ympäristöystävällisyys. Otsonivesipesu vähentää energiankulutusta, vähentää pesukemikaalien tarvetta ja pienentää hiilijalanjälkeä. Pesuprosessista ei jää otsonijäämiä, koska otsoni hajoaa pesuprosessin lopuksi. Lisäksi otsoni puree moniin bakteereihin ja viruksiin (Ozone Technologies, 2021.)

4.6 PAH-yhdisteiden raja-arvot tekstiileissä

EU:n komissio on antanut asetuksen N:o 1272/2013 PAH-pitoisuuksista erilaisissa uusissa myytävissä tuotteissa. Kuluttajien terveyden suojelemiseksi PAH-yhdisteille altistumisesta aiheutuville riskeille altistumisesta on tuotteiden sisältämille PAH-yhdisteille annettu pitoisuusraja-arvot. Tuotteet, jotka sisältävät mitä tahansa PAH-yhdistettä yli 1 mg/kg pitoisuuksina on vedettävä pois markkinoilta. Tätä rajoitusta tulisi soveltaa niihin materiaaleihin, jotka joutuvat suoraan sekä pitkäaikaiseen tai lyhytaikaiseen toistuvaan kosketukseen ihmisen ihon kanssa, kuten esimerkiksi vaatteisiin. Seuraavat PAH-yhdisteet on otettu huomioon tätä rajoitusta laadittaessa: bentso[a]pyreeni, bentso[e]pyreeni, bentso[a]antraseeni, kryseeni, bentso[b]fluoranteeni, bentso[j]fluoranteeni, bentso[k]fluoranteeni ja dibentso[a,h]antraseeni (EU komissio, 2013).

Myös saksalainen GS-Mark on myös vahvistanut edellä mainituille PAH-yhdisteille tiukemman raja-arvon 0,5 mg/kg. Ne ovat myös antaneet raja-arvon 10 mg/kg luokkaan 2 kuuluvien 18 PAH:n summalle. Tämä luokka on tarkoitettu materiaalille, jonka ennakoitavissa oleva ihokosketus kestää yli 30 sekuntia (pitkäaikainen ihokosketus) (Intertek, 2014).



OEKO-TEX® STANDARD 100 on kansainvälisesti tunnettu sertifikaatti ja maailman johtava terveysmerkintä tekstiileille. OEKO-TEX®-merkintä tarkoittaa, että tuotteet on testattu ja hyväksytty sen osalta, etteivät ne sisällä terveydelle haitallisia tai oletettavasti terveydelle haitallisia kemikaaleja ja väriaineita. OEKO-TEX® on myös vahvistanut edellä mainituille PAH-yhdisteille raja-arvon 1,0 mg/kg. He ovat myös antaneet raja-arvon 10 mg/kg luokkaan 2 kuuluvien 18 PAH:n summalle. Tämä luokka on tarkoitettu materiaalille, jonka ennakoitavissa oleva ihokosketus kestää yli 30 sekuntia (pitkäaikainen ihokosketus) (OEKO-TEX, 2021).

4.7 Oksi-PAH-yhdisteet

Yhdysvaltain ympäristöjärjestö (EPA) on julkaissut luettelon 16 edustavasta polysyklisestä aromaattisesta hiilivedyistä (PAHs), joita on käytetty arvioitaessa PAH-yhdisteille altistumista (Andersson ja Achten, 2015). Viime vuosina on kuitenkin kyseenalaistettu näiden yhdisteiden edustavuus arvioitaessa PAH-yhdisteiden toksikologisia yhteisvaikutuksia. Onkin epäilty, että esimerkiksi myrkyllisempien hapetettujen PAH-yhdisteiden (oksi-PAH) puutuminen listoilta on aiheuttanut merkittäviä PAH-yhdisteiden toksikologisten vaikutusten aliarviointeja (Wang ym., 2011; Andersson ja Achten, 2015; Witter ja Nguyen, 2016). Oksi-PAH yhdisteet on nostettu entistä tärkeämmäksi niiden myrkyllisyyden, pysyvyyden, ja vesiliukoisuuden ansiosta. Myös niiden elektronegatiivisten atomien läsnäolo tekee niistä reaktiivisempia ja kuin homosykliset alkuperäiset PAH-yhdisteet (Achten ja Andersson, 2015). Esimerkiksi oksi-PAH-yhdisteet eivät vaadi entsyymaattista aktivaatiota aiheuttaakseen myrkyllisiä vaikutuksia, kuten vastaavat homosykliset PAH-yhdisteet. Lisäksi heterosykliset PAH-yhdisteet, jotka sisältävät typpi-, rikki- ja happiatomeja aromaattisissa renkaissa on osoitettu olevan tehokkaita hormonitoimintaa häiritseviä aineita, pääasiassa niiden estrogeenisen toiminnan kautta (Idowu ym. 2019).

Hapettavien menetelmien käyttöä, kuten otsonointia ja vetyperoksidia on myös tutkittu PAH-yhdisteiden puhdistamisessa. Niissä on todettu, että hapettavat prosessit hajottavat vain osittain PAH-yhdisteet tuottaen puhdistettavaan kohteeseen haitallisempia oksi-PAH yhdisteitä (Lucena ym. 2021).



5 Hankkeen tavoitteet

Hankkeen tavoitteet olivat:

Työpaketti 1

Selvittää haastattelututkimuksen avulla pesutekniikoiden nykytila erilaisille suoja- ja sammutusvarusteille Pelastuslaitoksilla. Samalla selvitetiin, kuinka altistuneiden varusteiden kanssa on ohjeistettu toimimaan.

Työpaketti 2

2.1. Etsiä keinoja vesipesun tehokkuuden parantamiseksi kokeilemalla erilaisia pesuohjelmia (lämpötila 40°C ja 60°C) ja kuivaustekniikoita (rumpu- ja kaappikuivaus) sekä sitä, kuinka uuden tekniikan (vetyperoksidi ja otsoni) liittäminen vesipesuun parantaisi puhdistustehokkuutta.

2.2 Tutkia kokeellisesti nestemäisen hiilidioksidin (LCO₂) ja vesipesuun lisätyn otsonin (LO₃) puhdistustehokkuutta palopuvuille.

2.3 Vertailla perinteisen käsinpesun ja ruiskupesun sekä pyykinpesukoneen rumpupesun puhdistustehokkuutta paineilmaohengityksensuojaimen kasvo-osille.

2.4 Vertailla perinteisen pintapyyhinnän ja pintapyyhintään yhdistetyn vetyperoksidikäsittelyn puhdistustehokkuutta lämpökameroille verrattuna pintapyyhinnän ja tähän yhdistetyn lämpökameroiden suojapussien rumpuvesipesun puhdistustehokkuutta.

Työpaketti 3

Tarkastella varustehuollon kustannustehokkuutta edellä mainituilla pesumenetelmillä.

Työpaketti 4

Tuottaa pelastuslaitoksille ja Pelastusopistolle konkreettista tietoa käytettävien pesutekniikoiden toimivuudesta sekä koulutusmateriaalia toimivimmista ja kustannustehokkaimmista huoltokonsepteista käytännön työhön.



6 Aineisto ja menetelmät

6.1 Haastattelututkimus

Hankkeen yhtenä osana oli selvittää pelastuslaitosten tämänhetkiset palopukujen, paineilmahengityksensuojainten ja elektronisten laitteiden pesutekniikat sekä huoltokonseptit. Selvitys tehtiin haastattelututkimuksen avulla. Tutkimuslupapyyntö ja haastattelurunko (liitteet 1 ja 2) lähetettiin kaikille 22 pelastuslaitoksille syksyllä 2021. Haastattelut toteutettiin Teams -kokouksina tai puhelimitse, koska koronapandemian takia vierailut ja live-haastattelut eivät olleet pelastuslaitoksilla mahdollisia. Pääsääntöisesti vastaajat työskentelivät varustehuollossa tai vastasivat laitosten varustehuollosta. Kaikki haastatellut henkilöt olivat kokeneita kalustohuollon asiantuntijoita. Haastatteluihin osallistui 19 pelastuslaitosta, eli vastausprosentti kyselyyn oli hyvä ja vastauksista saatiin yleiskäsitys vallitsevista käytänteistä pelastuslaitoksilla.

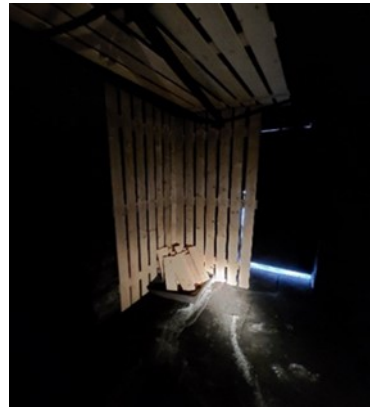
Haastattelututkimukseen laadittiin haastattelurunko, ja kysymykset valittiin siten, että niillä saatiin keskimääräinen näkemys palopaikalla toimimisesta, likaisten palopukujen käsittelystä ja pesukäytännöistä sekä muiden varusteiden, kuten lämpökameroiden ja letkujen puhdistamisesta. Samalla selvitettiin paloautojen ja ambulanssien desinfioimiskäytännöt. Joillakin pelastuslaitoksilla oli käytössä monia erilaisia toimintamalleja, joten osaan kysymyksistä tuli samalta haastateltavalta useita eri vaihtoehtoja.

6.2 Varusteiden altistaminen

Tutkimuksessa käytimme Pelastusopiston käytöstä poistettuja palotakkeja. Lion VCF141101_FS (LHD Group) ja Viking Model 8066088J (Viking) palotakit olivat saavuttaneet käytössä viiden vuoden tai 50 pesun rajan. Takkeja oli käytetty Pelastusopiston opiskelijoiden harjoituksissa, ja takit olivat altistuneet vuosien saatossa erilaisille savukaasuille. Paineilmahengityksensuojaimen kasvo-osat (FPS 7000, Dräger) ja lämpökamerat Tic 4 (Leader) varustettuina aramidi-suojapusseilla olivat Pelastusopiston opiskelijoiden aktiivisessa käytössä olevia.

Palotakit, lämpökamerat sekä paineilmahengityksensuojainten kasvo-osat altistettiin savukaasuille Pelastusopiston harjoitusalueen kuumasavusukellusharjoituksissa palotalossa ja sisäpalosimulaattorissa. Palotalolla sisäpalosimulaatiossa poltettiin puhdasta puuta eli puuklapeja sekä laudoista tehtyjä lavoja (kuva 1). Sisäpalosimulaattorissa polttomateriaalina oli lastulevy (kuva 2). Sytytykseen käytettiin vähäaromaattista sytytysnestettä NESSOL LIAV 200 (Neste Oy). Varusteiden testin kulku kronologisesti on nähtävissä liitteessä 3.

Altistettavat varusteet jaettiin opiskelijoille, ja he altistivat niitä yhden savusukelluksen ajan noin 20 minuuttia.



Kuva 1. Palotalosimulaattori ja sen polttomateriaali (puhdas puu)



Kuva 2. Sisäpalosimulaattori ja sen polttomateriaali (lastulevy)

6.3 Näytteiden otto ja analysointi

Palotakkien pesumenetelmien puhdistustehokkuutta arvioitiin lappunäytteillä ottamalla 22 mm reikämeistillä näytteitä takin sisäkerroksesta niskasta sekä selästä ja rinnasta takin kaikista kerroksista (ulko-, keski- ja sisäkerros) eli yhteensä 7 näytettä palopuvustaan altistuksen ja käsittelyjen jälkeen (kuva 3). Yhden näytteen pinta-ala oli 3,8 cm². Näytteet siirrettiin koeputkiin ja lähetettiin laboratorioon Työterveyslaitokselle analysoitavaksi. Näytteistä analysoitiin polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) ja osasta myös oksi-PAH-yhdisteet käyttäen GC-MS-tekniikkaa (kaasukromatografi/massaspektrometri). 60 °C lämpötilassa pestyistä ja rummussa kuivatuista sekä otsonointi- ja vetyperoksidikäsittelyissä käyneistä palotakeista analysoitiin lisäksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pintaemissionopeutta Työterveyslaitoksen ympäristölaboratorion emissiokammiossa Helsingissä. Emissiokammiotestissä Tenax-putkeen keräytyneet VOC-yhdisteet vapautettiin termodesorptiolla ja ne analysoitiin GC-MS-tekniikalla (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018).



Kuva 3. Näytteet LION-palopuvun niskasta, selästä sekä rinnasta. Selän kuvissa merkitty palopuvun eri kerrokset: Ulkokerros, kosteudelta ja lämmöltä suojaavat keskikerrokset sekä sisäkerros.

Paineilmahengityksensuojaimen kasvo-osista Dräger FPS 7000 (Dräger) näytteet otettiin pyyhintämenetelmällä ennen puhdistusta ja sen jälkeen. Näytteet otettiin kasvo-osan visiiriosasta pyyhkimällä niitä etanoliin kostutetulla vanutupolla. Kasvo-osan visiiriosa jaettiin kahteen osaan (150 cm² alue) ja toinen puolisko pyyhittiin altistuksen ja toinen puolisko puhdistusten jälkeen (Kuva 4). Näytteet lähetettiin Työterveyslaitoksen ympäristölaboratorioon ja ne uutettiin dikloorimetaanilla ja niistä analysoitiin PAH-yhdisteet GC-MS-tekniikalla (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018).



Kuva 4. Paineilmahengityksensuojaimen kasvo-osa, lämpökamera ja sen aramidi-suojapussi

Ensimmäisessä vaiheessa **lämpökameroista** Tic 4 (Leader) otettiin pintapyyhintänäytteet altistuksen, puhdistuspyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen. Ensimmäisessä vaiheessa käytettiin Loctite 7852 (Loctite) puhdistuspyyhintäliinaa. Toisessa vaiheessa käytettiin puhdistuspyyhintäliinaa Equipment Wipes (De-Wipe) ja vetyperoksidikäsittelyn paikalla oli aramidi-suojapussien rumpuvesipesu. Näytteet otettiin lämpökameroiden näytön lasilta pyyhkimällä kolmesta eri kohtaa 70 cm² alue etanolilla kostutetulla vanutupolla; ensimmäiseltä alueelta altistuksen jälkeen, toiselta puhdistuspyyhinnän jälkeen sekä kolmannelta vetyperoksidi- tai rumpuvesipesukäsittelyn jälkeen. Puhdistus tehtiin mukailen tavanomaista pintapyyhintäpuhdistusta Pelastusopistolla. Näytteet



lähetettiin Työterveyslaitoksen ympäristölaboratorioon. Ne uutettiin dikloorimetaanilla ja niistä analysoitiin PAH-yhdisteet GC-MS-tekniikalla (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018). Hajujen poistumista lämpökameroista mitattiin emissiokammiotestoin mittaamalla kameroista emittoituvat VOC-yhdisteet ensimmäisen vaiheen pintapuhdistuspyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen. Emissiokammiotestissä Tenax-putkeen keräytyneet VOC-yhdisteet vapautettiin termodesorptiolla ja ne analysoitiin GC-MS-tekniikalla (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018).

6.4 Vesipesut

Ensimmäinen 15 altistetun palotakin sarja pestiin Kangasalan paloasemalla. Pesuista vastasi Diversey Suomi Oy. Takit pestiin pesukoneissa Electrolux W5130H (Electrolux) yksi kerrallaan (kuva 5). Ensimmäiset viisi takkia pestiin 60 °C lämpötilassa ja rumpukuivattiin rumpukuivaimessa Electrolux T5190LE (Electrolux). Toiset viisi palotakkia pestiin 60 °C lämpötilassa ja kolmannet viisi 40 °C lämpötilassa. Viimeiset 10 takkia lämpökuivattiin lämpökaapissa (useita erilaisia). Lämpökaappikuivaus tehtiin Hervannan paloaseman tiloissa.

Kuvassa 6 on esitetty käytetty pesujärjestys ensimmäisen 15 takin pesusta. 40 °C lämpötilassa käytettiin esipesussa Clax 100 Color (Diversey) ja Clax plus (Diversey) pesuaineita ja esipesun lämpötila oli 30 °C astetta. Ohjelmassa oli kaksi pääpesua, joiden lämpötila oli 40 °C astetta ja ne kestivät yhteensä 15 minuuttia. Pesuaineena oli käytössä samat pesuaineet niin pää- kuin esipesussakin. 60 °C lämpötilaohjelma oli muuten samanlainen, mutta esipesun lämpötila oli 35 °C astetta ja pääpesun lämpötila 60 °C astetta.

Toinen viiden altistetun palotakin sarja pestiin 60 °C lämpötilassa ja rumpukuivattiin.

Kolmas kymmenen altistetun palotakin sarjasta puolet pestiin 40 °C ja puolet 60 °C lämpötilassa vuorotellen eri koneissa, koneesta johtuvien vaihtelutekijöiden minimoimiseksi. Pestyt takit kuivattiin Hervannan paloasemalle lämpökaappikuivauksella.



Kuva 5. Kangasalan pesukoneet ja rumpukuivuri sekä Hervannan paloaseman lämpökuivauskaappi

Electrolux W5130H		Sammutasasujen pesutestit 10.09.2021				
Jacket no.	washer 1	washer 2	Temp °C	tumble-dryer	cabin dryer	Notes
1	x		60	x		
3		x	60	x		
4	x		60	x		
5		x	60	x		
6	x		60		x	washmonitor 39128
7		x	60	x		
8	x		60		x	
9		x	60		x	washmonitor 39129
10	x		60		x	
11		x	60		x	
12	x		40		x	
15	x		40		x	
16		x	40		x	washmonitor 39130
18		x	40		x	washmonitor 39131
19		x	40		x	

Dryer temperature mild (Electrolux T5190LE).Cabinet dryer (Hervanta station)

Laundry:	Fire Fighting Uniforms				
Contact:	Mika Jukantupa mika.jukantupa@diversey.com				
Date of visit:	10 syyskuuta 2021				
Classification nr:					
Classification:	Fire Fighting Uniforms				
Machine:	Electrolux W5130H				
Load Factor & Load [kg]:	40°C / 60°C	5kg			
Step	Time [min]	Water level	Temp [°C]	Product CLAX	Dosage [g/kg]
Prewash	4	L	30/35	Clax 100Color	3,0
				Clax Plus	12,0
Prewash	4	M	30/35		
Drain	1				
Mainwash	10	L	40/60	Clax 100Color	4,0
				Clax Plus	10,0
Mainwash	5	M	40/60		
Drain	1				
Rinse 1	3	H	Cold		
Drain	1				
Rinse 2	3	H	Cold		
Drain	1				
Rinse 3	4	H	Cold		
Final extraction	6				
Total process time:	43	[min]			

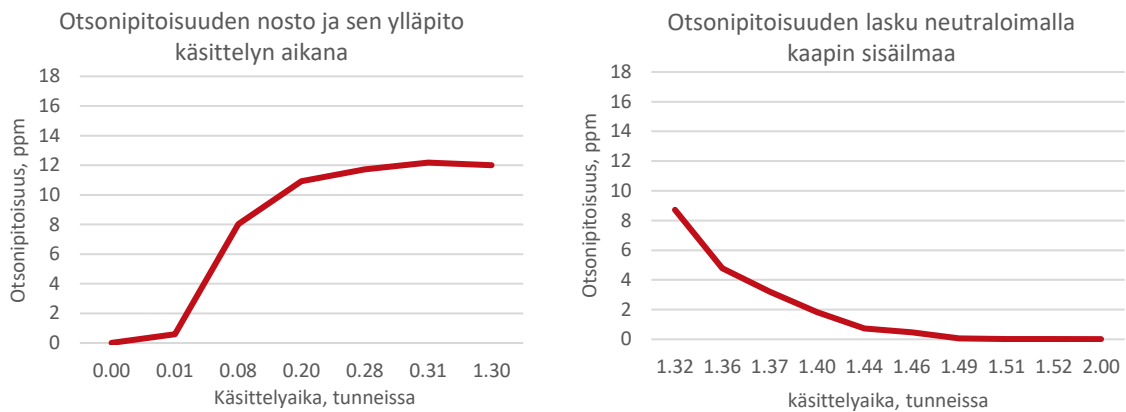
Kuva 6. Takkien pesuraportti ensimmäisen 15 takin sarjasta ja testeissä käytetyt pesuohjelmat

6.5 Otsonointikäsittely

Emissiokammioimittausten jälkeen neljä 60 °C asteessa pestyä ja rumpukuivattua palotakkia vietiin Hygio Oy:lle Saloon otsonointikäsitteilyyn. Takit käsiteltiin yksi kerrallaan otsonointikaapissa Hygio a40 Medi (Hygio Oy) kahden tunnin Power-ohjelmalla (kuva 7). Kaapista mitattiin testin aikana otsonipitoisuuden vaihtelua kahdella otsonianalysaattorilla O₃ 41 M (Environnement s. a.) sekä Hygio Oy:n omalla otsonianalysaattorilla Model 465L Ozone Monitor (Teledyne API) (kuva 7). Otsonointiohjelmassa oli varsinainen pitoisuuden nosto, sen pitäminen tasaisena itse käsittelyn aikana ja pitoisuuden lasku neutraloimalla kaapin sisäilma. Nämä vaiheet on esitetty kuvassa 8.



Kuva 7. Otsonointikaappi ja otsonianalysaattorit



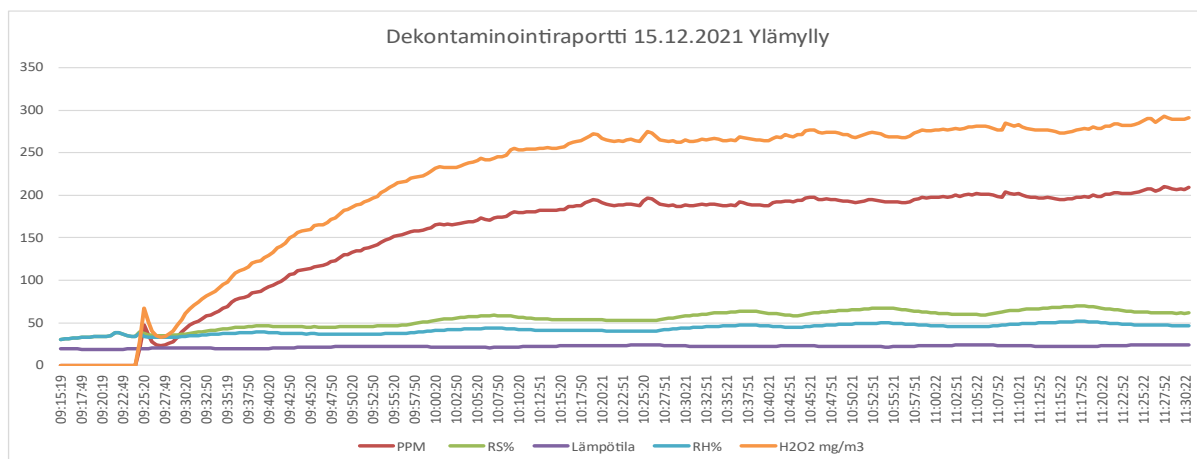
Kuva 8. Otsonointikäsittelyn vaiheet

6.6 Vetyperoksidikäsittely

Neljälle 60° lämpötilassa vesipestyle ja rummussa kuivatuille palopuvuille tehtiin vetyperoksidikäsittely XHomen kaasutuslinjastolla Ylämyllyllä (kuva 9). Vetyperoksidi tuotettiin Cleamix VCS-100M (Cleamix) laitteella ja vetyperoksidipitoisuutta seurattiin jatkuvatoimisesti HPP271 (Vaisala Oy). Kahden tunnin käsittelyn aikana vetyperoksidin keskimääräinen pitoisuus (PPM) asettui noin 200 ppm, suhteellinen kosteus (RH %) 50 % ja suhteellinen saturaatio (RS %) noin 70 %. Lämpötilan keskiarvo käsittelytilassa oli 22 °C (kuva 10).



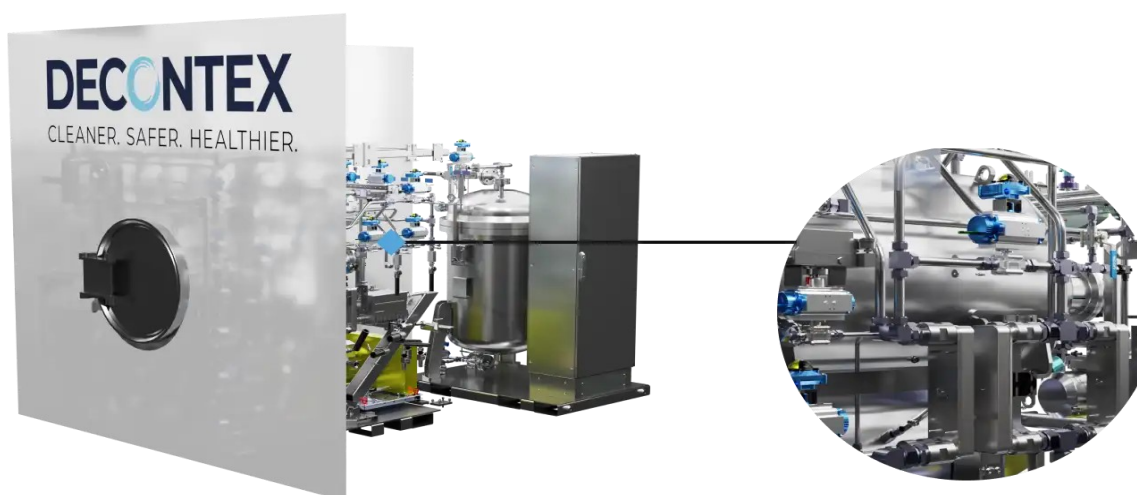
Kuva 9. Vetyperoksidikaasutuslinjasto, käsiteltävät palopuvut ja vetyperoksidimittausanalysaattori



Kuva 10. Olosuhteet kaasutuslinjastolla vetyperoksidikäsittelyn aikana

6.7 Nestemäinen hiilidioksidi

Viidelle palotakille tehtiin dekontaminaatiokäsittely nestemäisellä hiilidioksidilla Belgiassa Decontex Benelux NV:lla. Palopuvut dekontaminoitiin DCX MF-DECO2N 450L -pesukoneella (Electrolux). Paine pesun aikana 43 baaria ja koneen rummun kierrosnopeus oli 12 kierrosta minuutissa. Pesussa käytettiin detergenttinä Sultrex CO₂ (Chemcoo chemistry). Käsittelyn kesto oli 27 minuuttia (kuvat 11 ja 12). Koronatilanteen takia, emme päässeet seuraamaan dekontaminointia paikan päälle, mutta kävimme tutustumassa Belgian dekontaminaatiolaitokseen hankkeemme loppupuolella. Sen sijaan altistetut palotakit lähetettiin postitse Belgiaan käsiteltäväksi.



Kuva 11. Nestemäinen hiilidioksidikäsittelylaitteisto (LCO₂)

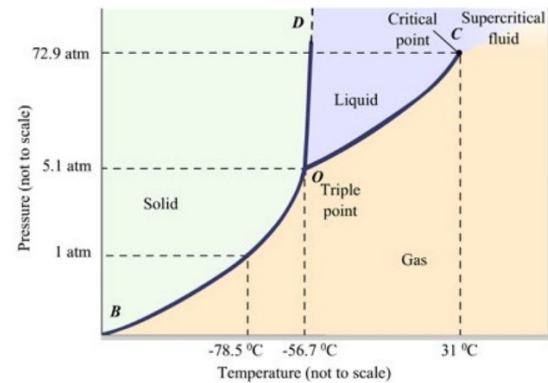


DCX DECON PROCES



DECO₂FIRE STANDARD DECON PROCES

- Time : 27min
- Pressure : 43bar - liquid CO₂
- Drumspeed : 12rpm
- Detergens : 48ml chemcoo® chemistry



Kuva 12. Pesuprosessi nestemäisellä hiilidioksidilla

6.8 Otsonivesipesu

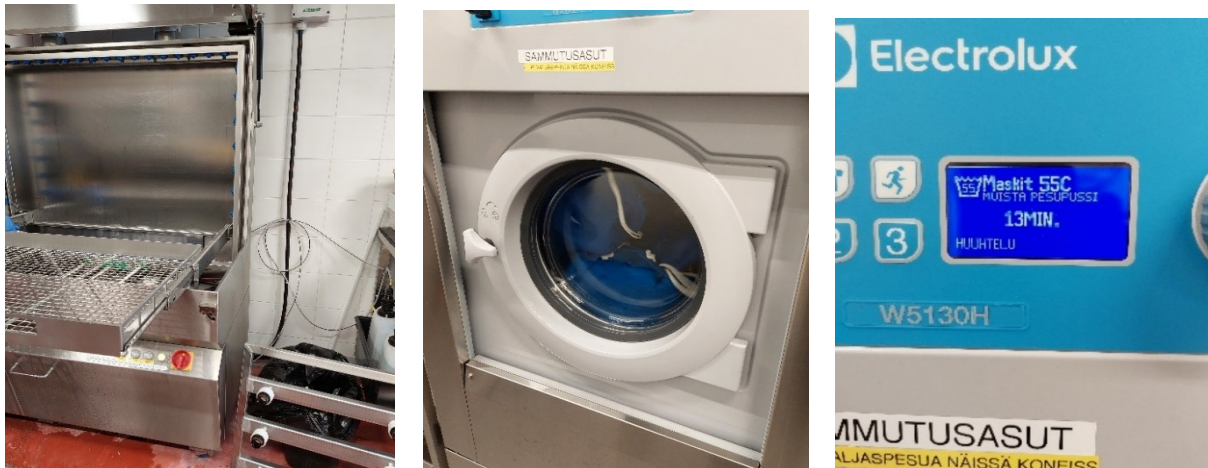
Viidelle altistetulle palotakille teimme otsonivesipesut. Pesut suoritti Itä-Suomen tekstiilihuolto Oy Kiteellä. Otsonivesipesussa pyykinpesukoneeseen HS-6040 IC-V TILT (GIRBAU) oli liitetty otsonointilaitteyksikkö OT0313001, (Ozone Technologies), joka tuotti otsonia pesuveteen koko pesuprosessin ajan. Pesuprosessi kesti 35 minuuttia, pesu-, huuhtelu- sekä linkousajat mukaan lukien. Pesuohjelman oli ”erittäin likainen, työasut, 60/60”. Ohjelmassa on 2 x 8 minuutin pesu 60° lämpötilassa sekä 3 huuhtelua (1+3+3 minuuttia) sekä välilinkoukset. Pesuprosessin kokonaisaikaan ei ole laskettu väliaikoja, jolloin kone esim. valmistelee linkousta tai täyttää vettä pesua ja huuhtelua varten. Otsonointi toimii koko pesuprosessin ajan tuottaen otsonia 0,20 ppm (ilmassa) eli laite syöttää otsonia eri pesu- tai odotusvaiheista riippumatta. Vaikutusajasta on laskettu pois aika, jolloin lämpötila oli yli 20 ° C, koska silloin otsoni hajoaa.

6.9 Muut varusteet

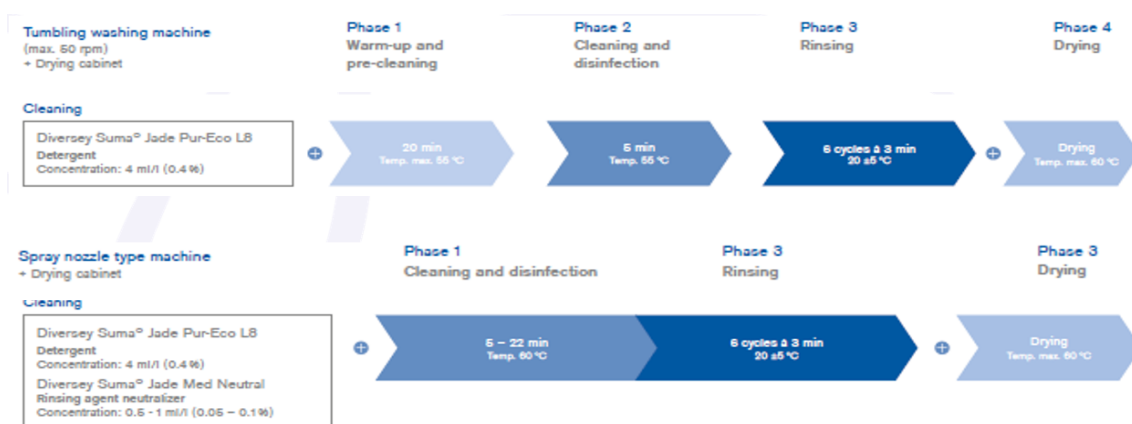
Kymmenen altistettua paineilmahengityksensuojaimen kasvo-osaa FPS 7000 (Dräger) pestiin Kangasalan paloasemalla. Ensimmäiselle viidelle kasvo-osalle tehtiin ruiskupesu pesemällä maskit Harstra ruiskupesulaitteella (Dräger), pesuaineena käytettiin Suma Jade PurEco L8 (Diversey) ja Suma Jade Med Neutral (Diversey). Toiselle viidelle kasvo-osalle tehtiin rumpupesu erillisissä pesupusseissa W5130H (Electrolux) pyykinpesukoneessa, jonka kapasiteetti oli 13 kg (kuva 13). Pesuaineina käytettiin Suma Jade PurEco L8 (Diversey). Rumpu- ja ruiskupesujen eri pesuvaiheet ovat nähtävissä kuvasta 14.



Toinen viiden altistetun kasvo-osan sarja pestiin perinteisellä käsinpesumenetelmällä Pelastusopiston huoltotilassa. Pesuaineena käytettiin 1,5 % Sekuseptiä (Ecolab Oy).



Kuva 13. Ruiskupesukone ja rumpupesuhjelma pyykinpesukoneessa



Kuva 14. Rumpupesukoneen ja ruiskupesukoneen pesun vaiheet

Ensimmäiselle neljän altistetun Leader lämpökameran sarjalle tehtiin puhdistuspyyhintä pyyhkeillä Loctite 7852 (Loctite) ja sen jälkeen lisäkäsittely vetyperoksidilla XHomen Ylämyllyn kaasutuslinjastolla (kuva 15). Kahden tunnin käsittely tehtiin kammiossa ja käsittely noudatti samaan kaavaa kuin palopuvuillakin.

Toiselle viiden lämpökameran sarjalle tehtiin puhdistuspyyhintä pyyhkeillä Equipment Wipes (De-Wipe) ja lisäkäsittelynä pesimme kameroiden suojapussit pyykinpesukoneessa Electrolux Washcator (Electrolux). Pesuaineena oli Brilliant Color (Omo) ja ne pestiin hienopesuhjelmalla 60 °C (kuva 16).



Kuva 15. Loctite puhdistusliinat, lämpökamera ja sen aramidi-suojapussi.



Kuva 16. De-Wipe puhdistusliinat ja pesukone lämpökameran pusseille



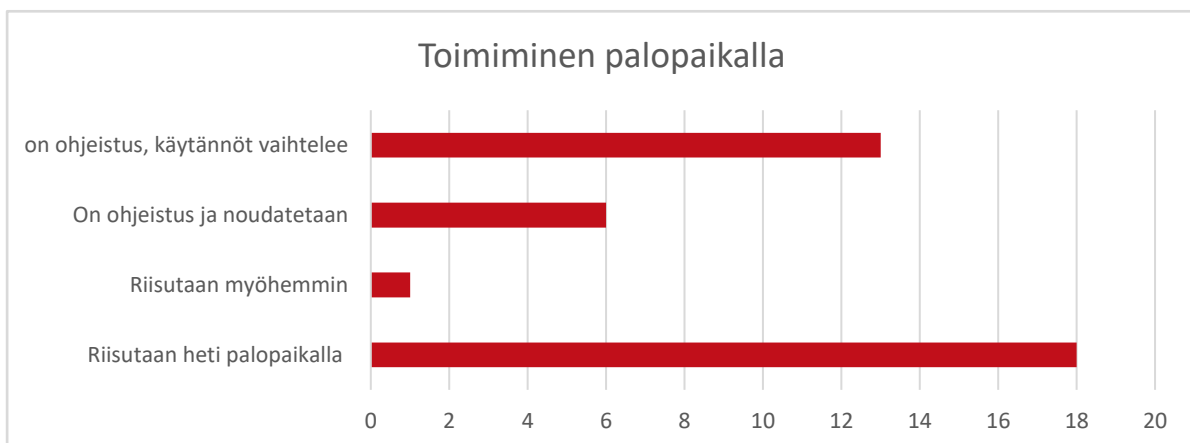
7 Tulokset

7.1 Haastattelututkimuksen tulokset

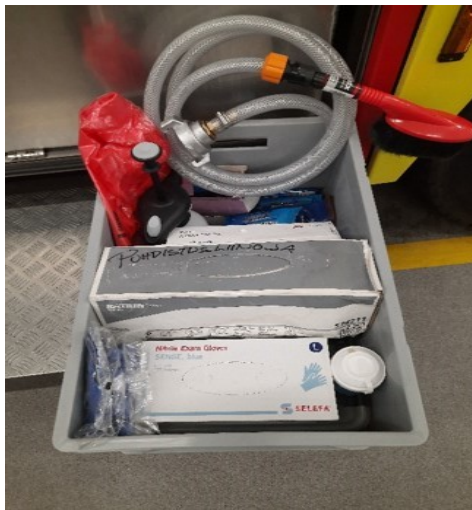
Altistuneiden palopukujen puhdistuskäytännöt

Pääsääntöisesti kaikki haastatellut pelastuslaitokset olivat ohjeistaneet savulle altistuneiden palopukujen riisumiskäytännöt (kuva 17). Vastaajien mukaan käytännöt olivat kuitenkin ohjeistuksesta huolimatta usein kirjava. Altistuneet sammutusasut riisutaan lähes poikkeuksetta heti palopaikalla (18/19), jolloin epäpuhtauksien leviäminen kulkuvälineisiin ja puvuista vapautuville palojäämille altistuminen saadaan estettyä. Eräs laitos oli perustanut niin sanotun vaihtopistekäytännön, eli erillisessä säkissä oli pressut likaisten varusteiden riisumista ja puhtaiden pukemista varten. 12 haastatelluista pelastuslaitoksista kertoi, että miehistöä varten on puhtaita vaihtovarusteita aina paloautossa. Yhdellä pelastuslaitoksella on käytössä niin sanottu altistumislaitos, josta tilannepaikalla on helposti saatavissa suojaimia ja pesupyyhkeitä ja muuta altistumista vähentävää varustetta (kuva 18). Kuitenkin pienillä laitoksilla saatettiin palata myös suoraan asemalle riisumatta palopukuja kentällä. Myös työntekijöiden asenteessa on huomattu olevan parantamisen varaa, ja sen vuoksi toiminta palopaikalla ei ollut ohjeistuksen mukaista.

Kaikki ne pelastuslaitokset, jotka huolehtivat asujen riisumisesta palopaikalla, eristivät likaiset palopuvut pääsääntöisesti. Käytössä olivat jätesäkit, kemikaalipussit ja pesukoneessa sulavat pesupussit. Yleisimmin käytössä olivat sulavat pesupussit (14/19) ja toisiksi jätesäkit (11/19). Sulavista pusseista oli vaihtelevia kokemuksia. Moni mainitsi, että kosteat asut sulattivat pusseja ennen aikojaan ja pesukoneet tukkeutuivat niistä. Myös pussien saatavuudessa on ollut ongelmia. Osalla laitoksia myös altistuneet paineilmalaitteet ja Virve-puhelimet pakattiin erillisiin säkkeihin. Yhdellä laitoksella oli käytössä erillinen pressusäkki mihin likaiset varusteet pakattiin.

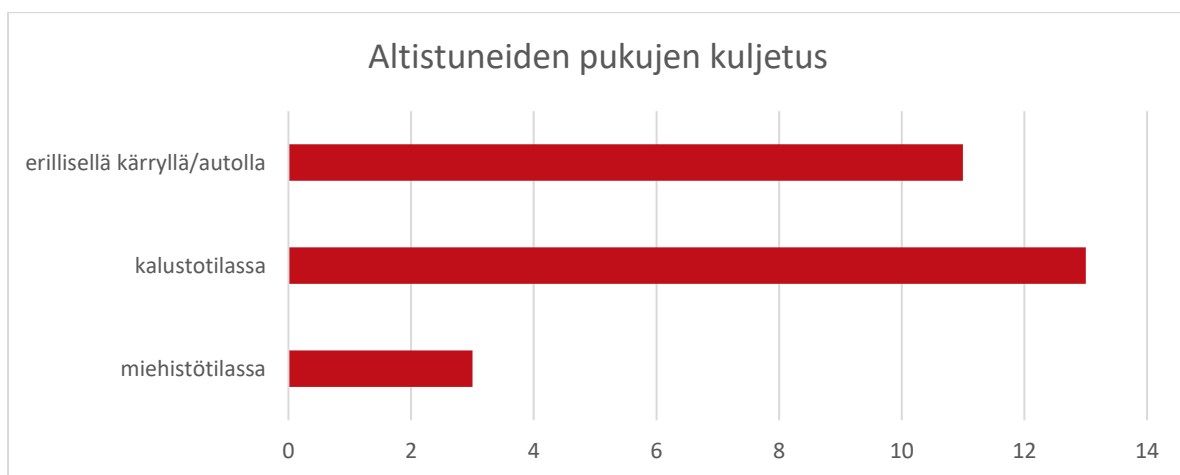


Kuva 17. Toimiminen palopaikalla



Kuva 18. Altistumislaatikko

Palotilanteessa altistuneiden sammutusasujen kuljetuskäytännöt vaihtelivat haastatelluilla pelastuslaitoksilla monesti jopa asemittain (kuva 19). Pääsääntöisesti altistumisasia oli huomioitu, mutta esimerkiksi pienet vahvuudet vaikuttivat siihen, että erillisellä yksiköllä hakeminen ei ollut mahdollista. Muutama asu saadaan pakattua sammutusauton kalustokaappeihin, mutta joskus asut oli pakko kuljettaa säkeissä miehistötilassa.



Kuva 19. Altistuneiden palopukujen kuljetus

Suojautuminen altistuneiden varusteiden käsittelyssä

Käytännössä kaikki haastatellut pelastuslaitokset pitivät suojaimia palopaikalla altistuneiden varusteiden riisumisen aikana. Osalla laitoksia paineilmalaitteet oli ohjeistettu pitämään yllä mahdollisimman pitkään tai käyttämään vähintäänkin hengityssuojaimia sekä hansikkaita.



Suurimmalla osalla (17/19) haastatelluista pelastuslaitoksista ei ollut mitään erityistä ohjeistusta mahdollisen asbestille altistumisen varalle. Asbestin olemassaoloa sammutettavassa kohteessa on vaikea etukäteen tietää, ja aika usein sille altistutaan tietämättään. Pelastuslaitokset pääsääntöisesti kokivat, että samat altistumisoheistukset (suojaimien käyttö) olivat suhteellisen riittävät myös asbestin varalle, jos niitä vain noudatettiin. Käytännössä vain kolmella haastatelluista laitoksista tämä asia oli erillisesti ohjeistettu, eli asbestille varmasti altistuneet asut vietiin suoraan ulkopuoliseen erikoispesulaan.

Haastattelussa kysyttiin suojainten käytöstä ja saatavuudesta pyykin- ja letkujenpesupaikalla. Vastauksissa oli hyvin paljon vaihtelua (kuva 20). Käytännössä vähintäänkin kertakäyttöhansikkaita tai paksumpia nitrilihansikkaita oli kuitenkin aina saatavilla. Vain yksi laitos totesi, ettei suojaimia juurikaan ollut tarjolla. Suojainten käyttö jäi käyttäjän omaan harkintaan. Osalla laitoksia, joissa käytössä olivat esimerkiksi sulavat pesupussit, ajateltiin, ettei altistumista enää tapahdu pesutilanteessa, koska asut menevät suoraan koneeseen pussissa. Osassa laitoksia myös ajateltiin, että koska asut kipataan suoraan jätesäkistä koneeseen, ei erillisiä suojaimia enää ole välttämätöntä pitää.

Letkujen pesupisteellä oli pääsääntöisesti aina suojaimia tarjolla kumi- tai kemikaalihansikkaista essuihin ja suojaviisireihin. Täysautomaattilaitteissa koneet hoitavat kaiken pesusta kuivaukseen ja käytännössä altistumista tapahtuu letkujen siirtojen ja liotuksen yhteydessä. Vain yksi vastaaja sanoi, ettei ainakaan heidän asemallaan käytetty oikein mitään suojaimia letkujen käsittelyn tai paljuluotuksen yhteydessä.



Kuva 20. Suojaimet pesupaikoilla

Kaikilla pelastuslaitoksella oli pyritty mahdollisuuksien mukaan ns. Puhdas paloasema -hankkeen mukaiseen malliin pesukäytäntöjen osalta. Eli mahdollisuuksien mukaan altistuneiden varusteiden pesuun oli likainen puoli ja muiden vaatteiden pesuun puhdas puoli. Kuitenkin monella pelastuslaitoksella ainakin osa asemista oli hyvin vanhoja, ja tätä käytäntöä ei voitu täysin toteuttaa. Osalla asemia tämä oli ratkaistu siten, että likaisten palopukujen pesukone oli esimerkiksi kalustohallin puolella. Osalla taas altistuneet palopuvut kuljetettiin suljetuissa säkeissä puhtaiden tilojen läpi pesutuvalle. Ainakin yhdellä asemalla pesukone oli asetettu tilojen väliin siten, että täyttö tapahtui

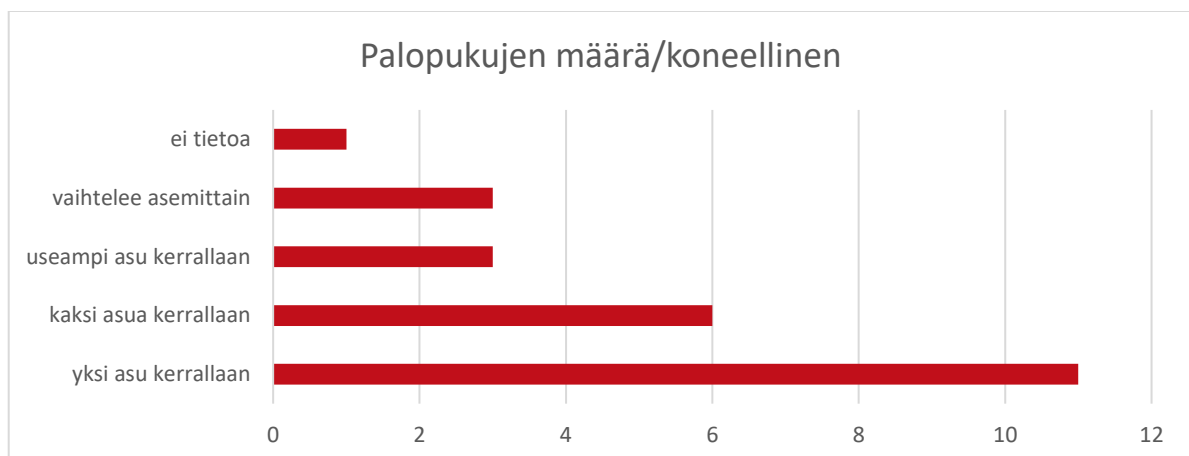


likaiselta puolelta ja tyhjentäminen puhtaalta puolelta. Yhdellä asemalla likaantuneita palopukuja säilytettiin tarvittaessa ulkona olevassa kontissa.

Asujen pesukäytännöt

Käytännössä kaikkien haastateltujen pelastuslaitoksien asemilla oli omat pyykinpesumahdollisuudet. Vain yksi haastateltava vastasi, että ainakin heidän alueellaan pesutoiminnot on keskitetty. Joillain pelastuslaitoksilla oli käytäntönä, että erittäin likaiset asut oli mahdollista viedä pesetettäväksi ulkopuoliselle pesulapalvelulle. Lisäksi ainakin yhdellä laitoksella oli päätetty, että konttiharjoituksien jälkeen käytetään ulkoista pesulapalvelua. Vapaapalokunnat tai jotkut pienemmät päiväasemat käyttivät monesti päätoimisten paloasemien pesukoneita.

Suurta vaihtelua oli käytänteissä, kuinka monta asua pelastuslaitoksissa oli ohjeistettu pesemään kerrallaan. Osalla asemia koneet olivat todella suuria, eli käytännössä se olisi mahdollistanut useamman asun pesemisen. Pääsääntöisesti kaikki laitokset olivat kuitenkin ohjeistaneet pesemään maksimissaan kaksi asua kerrallaan, ja käytännössä suurin osa pesi vain yhden asun kerrallaan (kuva 21). Joillain asemilla oli suositeltu pesemään jopa housut ja takki erikseen. Osalla laitoksia käytännöt vaihtelivat ja pesutoimet olivat jokaisen omassa harkinnassa.



Kuva 21. Palopukujen määrä pesukoneessa

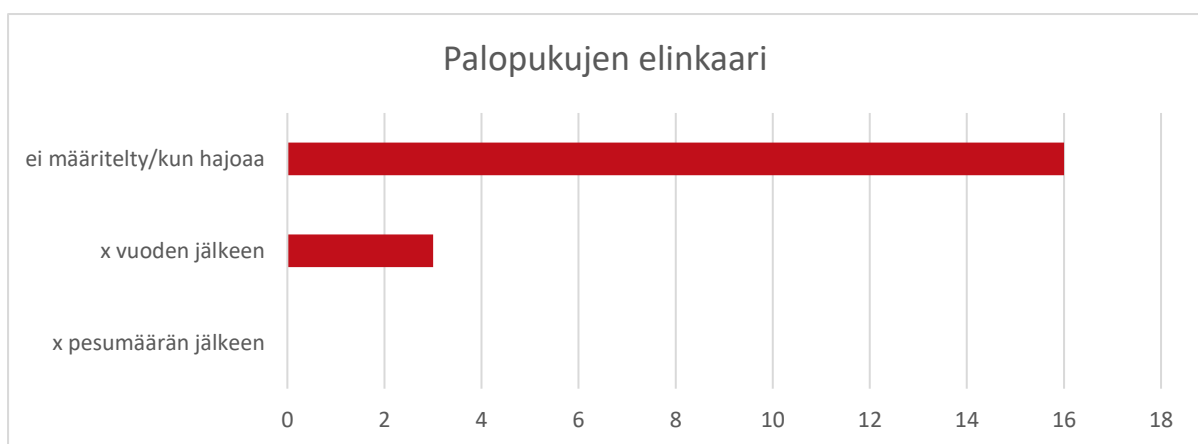
Sammutustehtävillä palopuvut voivat likaantua hyvin eri tavoin. Pääsääntöisesti mitään erillistä ohjeistusta palopukujen lajittelulle niiden likaantumisen mukaan ei ollut. Toisaalta pääsääntöisesti asut pestiin, joko asu tai maksimissaan kaksi kerrallaan.

Käytännössä kaikilla pelastuslaitoksilla esimerkiksi asemapalvelusvaatteille ja väliasuille oli varattu eri pesukoneet kuin palopuvuille. Yksi vastaaja mainitsi, että koska palopuvuille tarkoitettu kone oli paljon parempi ja nopeampi, asiassa tapahtui herkästi lipsumista. Eli käytännössä kaikki vaatteet pestiin herkästi samassa koneessa. Osa haastatelluista sanoi, että käytännöt vaihtelevat pelastuslaitoksen eri asemien välillä. Pääsääntöisesti palopuvut pestiin aina altistumisen jälkeen. Rutiininomaista pesukäytäntöä joka käytön jälkeen ei oikeastaan kukaan toteuttanut. Monesti asujen pesemisen



sanottiin olevan henkilökohtaisessa harkinnassa. Toiset pesivät asuja myös normaalin hikoilun jäljiltä, mutta mahdollisesti miedommalla lämpötilalla. Osalla laitoksia pohdittiin sitä, että asut kuluvat turhasta pesemisestä.

Palopukujen elinkaarelle ei käytännössä yhdelläkään laitoksella ollut mitään täysin ehdotonta mittaria (kuva 22). Pääsääntöisesti asut menevät vaihtoon värimuutosten ja rikkoontumisten takia. Tosilla asemilla asujen elinkaareksi oli määritelty neljästä kuuteen vuoteen, mutta sekään ei ollut ehdoton mittari. Monella laitoksilla asujen kierto oli nopeaa ja uusia asuja tuli säännöllisesti ja niihin oli budjetoitu rahaa tietyllä aikavälillä. Näissä tapauksissa asujen elinkaari oli yleisesti suhteellisen lyhyt, maksimissaan kolmesta neljään vuoteen. Pesumäärää ei kukaan käytännössä käyttänyt mittarina, eikä haastatteluissa ilmennyt, että juuri millään asemalla olisi pidetty pesupäiväkirjaa asuista.

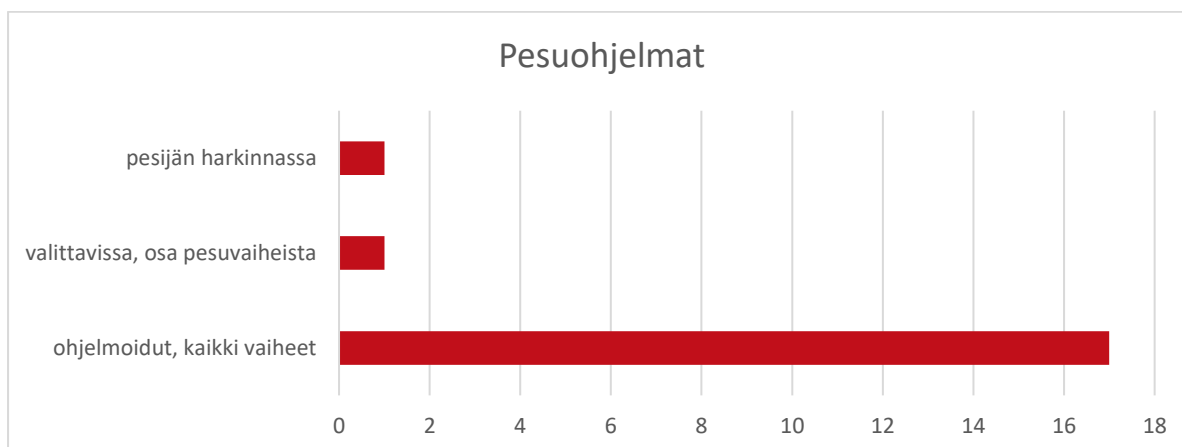


Kuva 22. Palopukujen päätyminen poistoon

Pesuprosessi

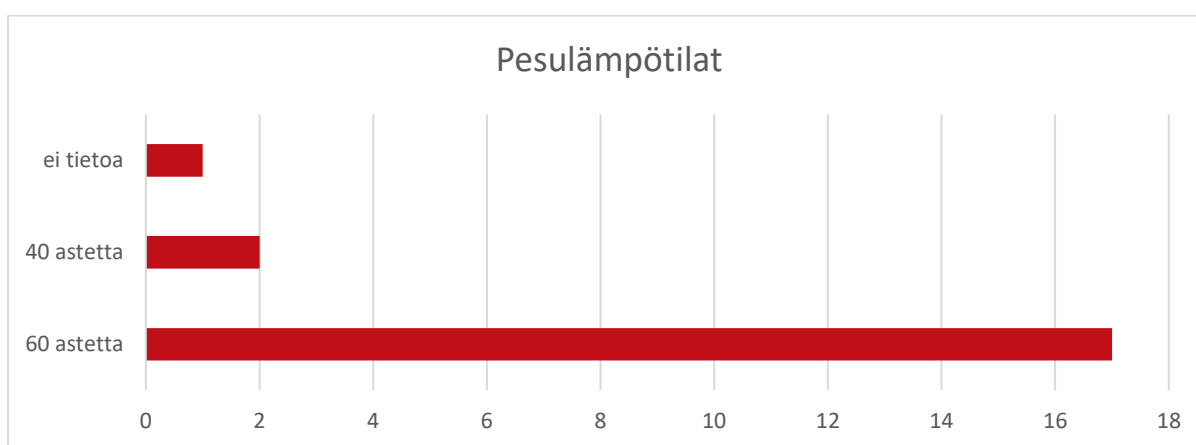
Käytännössä kaikilla haastatelluilla pelastuslaitoksilla oli palopuvuille käytössä teollisuuspesukoneet. Tavallisille kuluttajille suunnattuja koneita oli käytössä lähinnä sisä- ja urheiluvaatteille. Lisäksi niitä löytyi vapaapalokuntien asemilta sekä pieniltä paloasemilta. Jollakin asemalla oli käytössä niin sanottu kiinteistöpesukone, joka on hieman teollisuuskonetta pienempi. Teollisuuspesukoneet ovat yleensä suuria, esimerkiksi 18–36 kg koneita. Näissä asut peseytyivät hyvin väljässä vedessä, ja niihin on yleensä ohjelmoitavissa räätälöidyt pesuohjelmat.

Koska käytännössä suurella osaa pelastuslaitoksia ja paloasemia käytössä olivat teollisuuskoneet, myös pesuohjelmat olivat ns. automaattisesti niihin ohjelmoituja (kuva 23). Osassa koneita pesuohjelma oli räätälöity nimenomaan palopuvuille. Automaattiohjelmissa oli käytössä pääsääntöisesti kaikki pesuvaiheet. Toiset teollisuuskoneet olivat enemmän manuaalisia, ja niihin ohjelma asetettiin käyttäjän toimesta. Tällöin ohjelmien sisällöt saattoivat hieman vaihdella, ja esimerkiksi kiire saattoi vaikuttaa siihen, että koneesta valittiin lyhyempi ohjelma. Monesti tilanne on se, että koneiden ominaisuudet vaihtelevat hyvin pitkälti asemien välillä.



Kuva 23. Pesukoneessa käytetty pesuohjelma

Suurin osa pelastuslaitoksia on ohjeistanut pesemään altistuneet palopuvut 60 °C lämpötilassa (kuva 24). Vain yhdellä laitoksia oli selkeästi ohjeena, että asut pestään aina 40 °C lämpötilassa, koska käytössä oli integroidut putoamissuojaimet. Vastauksiin vaikutti hieman myös se, että osalla laitoksia oli myös ohjeena pestä vähemmän likaantuneet 40 °C lämpötilassa.



Kuva 24. Palopukujen pesulämpötila

Pääsääntöisesti haastateltujen pelastuslaitosten teollisuuskoneissa käytettiin teollisia tai koneille suositeltuja pesuaineita (12/19). Osalla laitoksia käytössä olivat normaalit kuluttajapesuaineet. Osa vastaajista ei ollut täysin varma laitoksella käytetyistä pesuaineista.

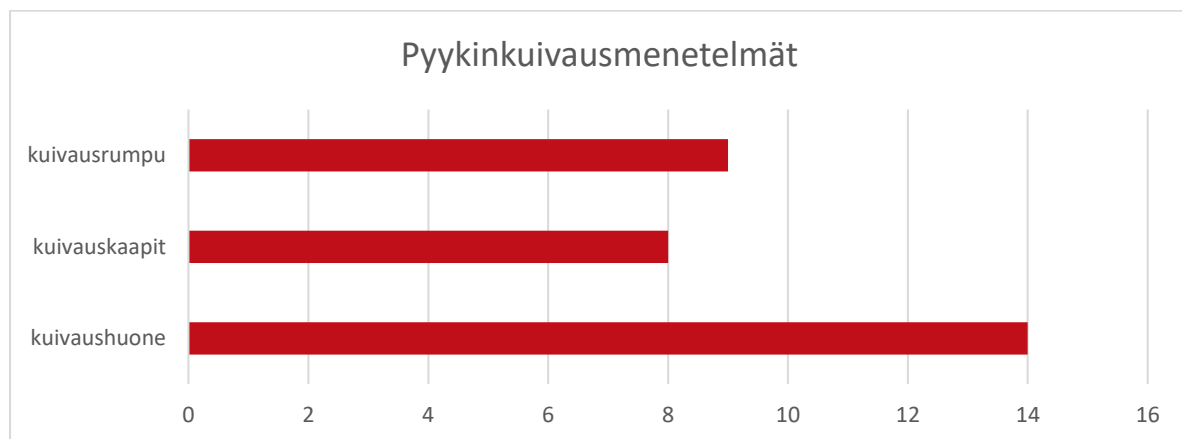
Koska pesukoneet olivat pääsääntöisesti teollisuuspesukoneita, suurimmassa osassa näitä koneita pesuaineen annostelu tapahtui koneen automaattisella annostelutoiminnolla pesuainesäiliöstä. Osa teollisuuskoneista ja kaikkiin ns. kuluttajapesukoneisiin pesuaineet annosteltiin itse.



Kaikilla haastatelluilla pelastuslaitoksilla putoamissuojainten rajoitukset pesukäytännöissä olivat tiedossa. Suurimmalla osalla laitoksia oli ohjeistus, että suojaimet tulee irrottaa ennen pesua (17/19). Osassa housumalleja putoamissuojaimet olivat sellaiset, että ne olivat hankalasti irrotettavissa, ja riskiä siihen, että ne laitettaisiin väärin, pidettiin liian suurena. Näin ollen ne pestiin herkästi irrottamatta niitä. Yhdellä laitoksella vaatteet oli suositeltu pestäväksi 40 °C lämpötilassa, ja näin ollen suojaimia ei tarvinnut irrottaa erikseen ja jollain laitoksella putoamissuojaimet pestiin 30 °C lämpötilassa. Myös valmistajien ohjeistukset vaikuttivat hieman käytäntöihin. Ilmeni, että suojaimet aiheuttivat jossain määrin kysymysmerkkejä, koska valmistajien ohjeistukset ja päätetyt käytännöt saattoivat vaihdella. Joillain laitoksilla oli käytänteenä pestä suojaimet erillisissä pesupusseissa.

Kuivausmenetelmät ja lisäkäsittelyt

Kuivausmenetelmät vaihtelivat pelastuslaitosten sisällä suuresti. On luonnollista, että eri asemilla on hieman eri kuivausmenetelmät. Kuivaushuone oli kaikista yleisin (kuva 25.). Monesti asemilla oli useampi menetelmä käytössä eli asemalla saattoi olla sekä rumpu että kuivaushuone tai sekä kuivaushuone että kuivauskaappi. Kohdepoistosta kysyttäessä vastaajat eivät aina olleet täysin varmoja asemien rakenteellisista ratkaisuista. Kuivaushuoneista oli pääsääntöisesti kuitenkin lähes aina erillinen ilmanvaihto joko suoraan ulos tai esimerkiksi kalustotilaan. Osassa ilmanvaihto oli yhteydessä talon omaan ilmanvaihtoon. Ilmanvaihto oli olemassa pääsääntöisesti kosteuden poiston takia. Varsinaisia kohdepoistoja ei ollut tai niistä ei tiedetty.

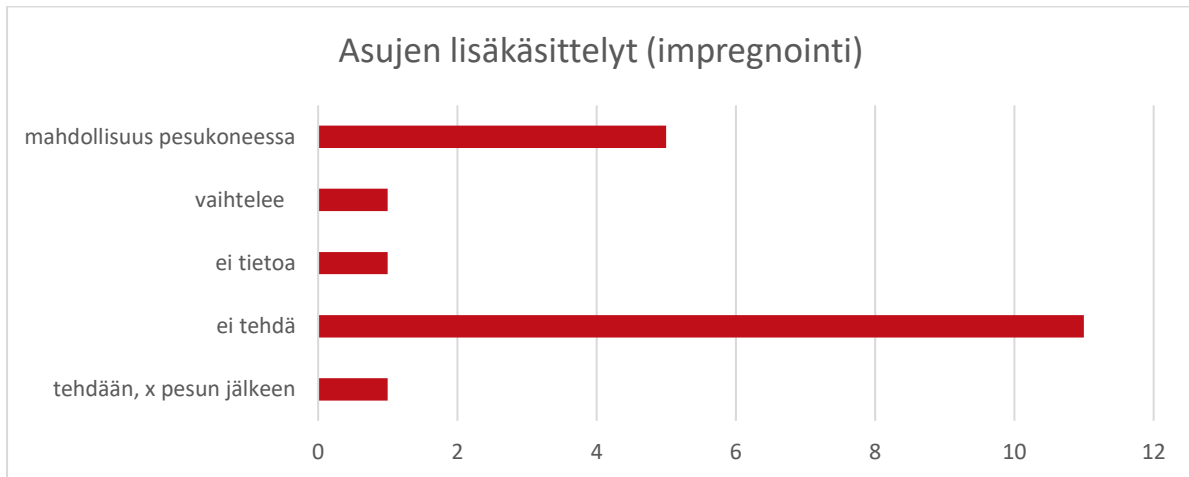


Kuva 25. Käytetty kuivausmenetelmä

Palopuvut on erikoiskäsitelty veden läpäisyn estämiseksi. Tästä syystä puvut tulisi impregnoida aika ajoin uudelleen. Haastattelun perusteella lisäkäsittelyjen tekeminen oli kirjavaa ja yhdenmukaista ohjeistusta ei tuntunut oikein olevan. Käsittelyjä ei pääsääntöisesti tehty käytännön syistä, valmistaja ei suositellut sitä tai vastaajalla ei ollut asiasta tietoa (kuva 26). Moni vastaaja kuitenkin mainitsi, että mahdollisuus lisäkäsittelyn tekemiseen oli valmiina teollisuuspesukoneissa tai ainakin keskitetyssä varustehuollossa. Lisäksi mikäli puvut pestiin ulkopuolisessa pesulassa, käsittelyjä mahdollisesti

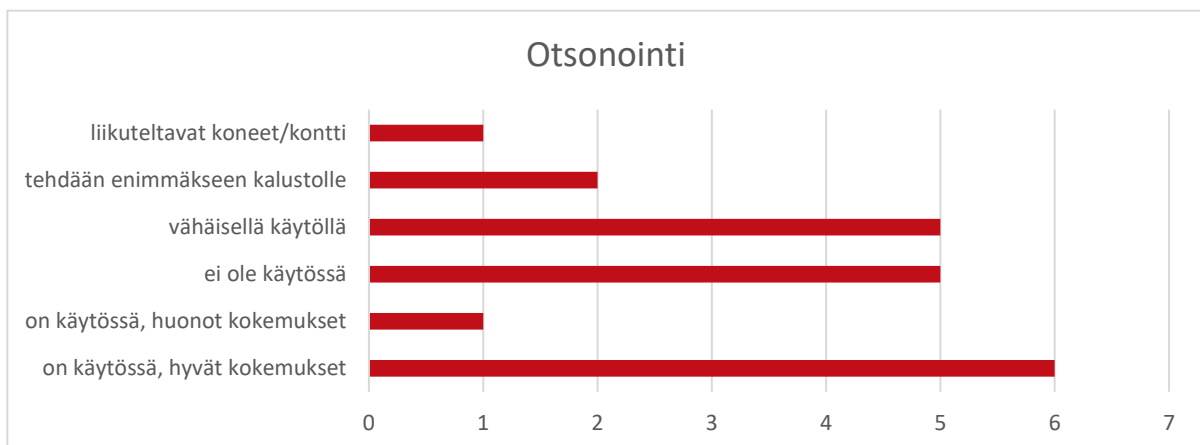


tehtiin. Joku mainitsi, että valmistaja oli ohjeistanut käsittelyt, joka 30:s pesu, ja näin ollen tätä ohjeistusta oli noudatettu.



Kuva 26. Asujen lisäkäsittelyt

Otsonointia käytetään pelastuslaitoksilla vaihtelevasti. Monella laitoksella oli mahdollisuus käyttää otsonointikaappeja palopuvuille. Lisäksi osalta laitoksia löytyi liikuteltavia otsonointilaitteita esimerkiksi paloautojen tai ambulanssien desinfiointiin. Kaappien käyttö oli vaihtelevaa (kuva 27). Osa laitoksista käytti otsonointia tarpeen mukaan hajuhaittojen poistamiseen esimerkiksi pienten huoneistopalojen tai sikalakäyntien jälkeen. Yhdellä pelastuslaitoksella otsonointi oli kirjattu ohjeistukseen osana normaalia altistuneiden palopukujen pesukäytäntöä. Kokemukset olivat pääsääntöisesti positiivisia. Yhdellä pelastuslaitoksella pohdittiin, onko otsonoinnista haittaa palopukujen ja kaluston materiaaleille. Materiaalien valmistajien ohjeistukset vaikuttivat siihen, miten aktiivisesti otsonointia käytettiin tietyille materiaaleille.



Kuva 27. Otsonoinnin käyttö pelastuslaitoksille

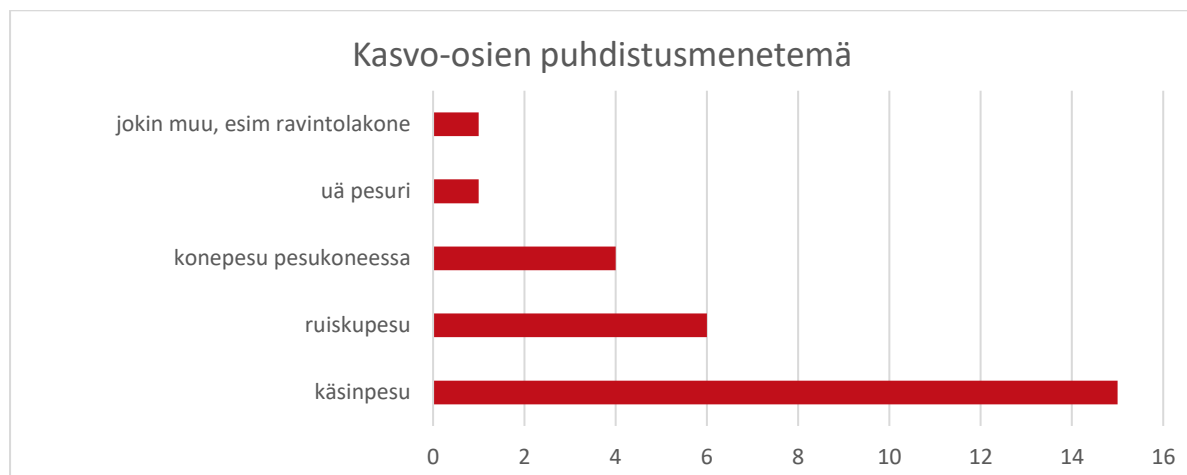


Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien puhdistusmenetelmät ja käytetyt pesuaineet

Paineilmahengityksensuojainten puhdistuskäytännöt olivat melko yhtenevät pelastuslaitoksista toiseen. Pääsääntöisesti laitteiden kasvo-osat pestin käsin, ja itse laitteisto ja teline koneessa tai käsin (kuva 28). Usein likaantuneet pullot ja telineet esipestiin esimerkiksi harjalla ja vedellä. Joillain asemilla oli käytössä Drägerin ruiskupesukone ja osalla myös kuivauskaappi. Osalla oli mahdollisuus pestä kasvo-osat ja jopa teline pyykinpesukoneessa erillisessä pussissa omalla pesuohjelmallaan. Tätä mahdollisuutta käytettiin vaihtelevasti. Lisäksi osalla oli käytössä järjestely, jossa peruspesut tehtiin asemilla ja vuosihoolto keskitetysti käyttäen tehokkaampaa pesua. Yhden pelastuslaitoksen asemalla oli otettu käyttöön niin sanottu ravintolapesukone, jossa laitteet pystyivät kätevästi ja nopeasti pesemään ja desinfioimaan.

Jokainen pelastuslaitos oli ohjeistanut pesemään paineilmahengityksensuojainten kasvo-osat jokaisen käytön jälkeen ja käytännössä tämä tuntui myös toteutuvan. Joku mainitsi, että pesut ovat kuitenkin loppujen lopuksi jokaisen omalla vastuulla, joten asiasta ei aina ole varmuutta. Konsensus oli kuitenkin se, että pesut kuitenkin pääsääntöisesti toteutuvat.

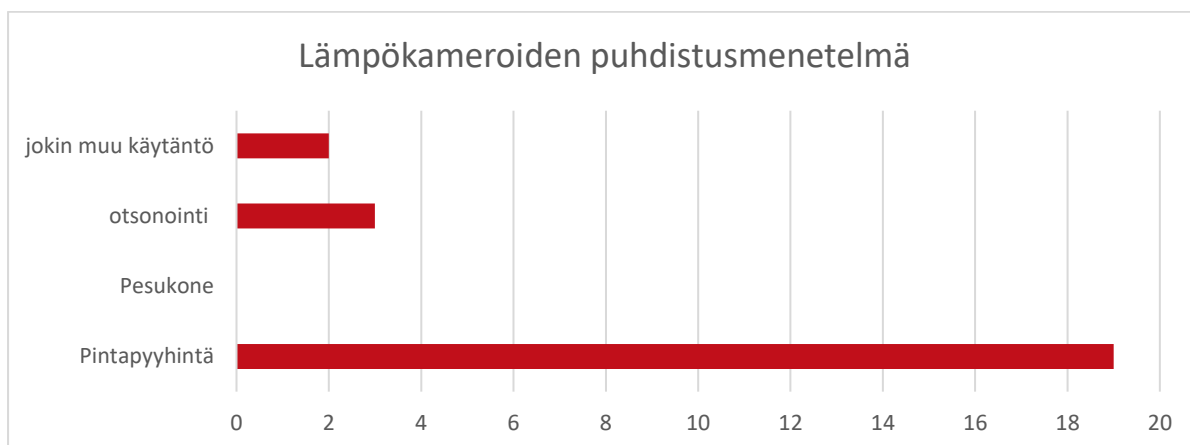
Paineilmalaitteille ja kasvo-osille oli käytännössä kaikilla laitoksilla käytössä erilliset pesuaineet, jotka olivat joko pesukoneille tarkoitettuja tai valmistajan muuten hyväksymiä. Vain yksi pelastuslaitos totesi, että kasvo-osat pestään Fairyllä tai vastaavalla kuluttajille tarkoitettulla käsinpesuaineella.



Kuva 28. Kasvo-osien puhdistusmenetelmä

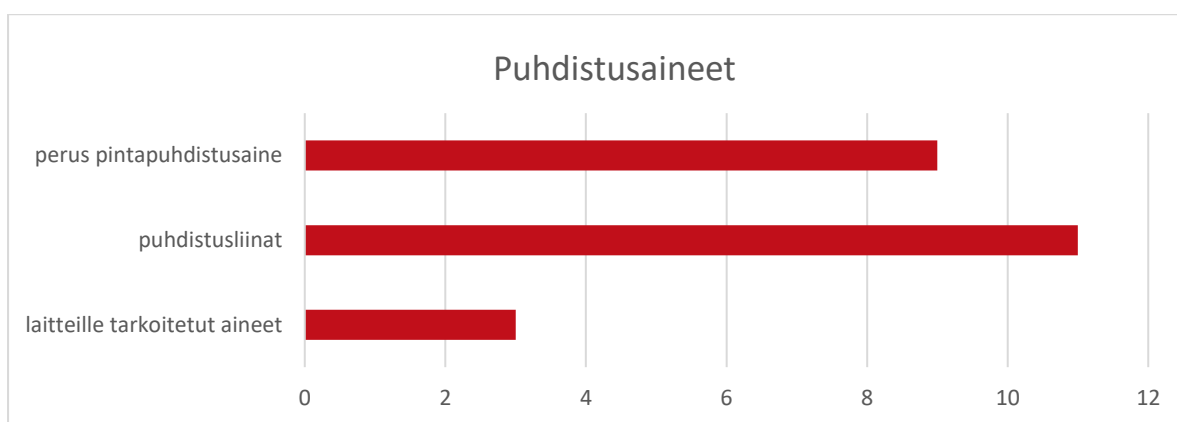
Lämpökameroiden puhdistusmenetelmät ja käytetyt pesuaineet

Lämpökamerat puhdistetaan käytännössä aina pintapuhdistuspyyhinnällä joko valmiilla liinoilla tai pintapuhdistusaineella (Kuva 29.). Kahdella laitoksella mainittiin, että pahasti likaantuneet kamerat pestään lisäksi harjapesulla ja pesuaineella. Kaksi laitosta mainitsi, että otsonointi on ollut lisäksi käytössä hajuhaittojen poistamiseen. Yhdellä laitokselta tätä asiaa oli harkittu, mutta pohdittiin, kestäkö lämpökameroiden materiaalit otsonointia.



Kuva 29. Lämpökameroiden puhdistusmenetelmä

Suurin osa laitoksista käytti lämpökameroiden pintapuhdistukseen kaupallisia puhdistusliinoja, jotka oli tarkoitettu pintojen puhdistukseen (kuva 30). Osa laitoksista käytti lisäksi tai pelkästään perus pintapuhdistusainetta, jolla laitteet pyyhittiin. Yksi laitos sanoi käyttävänsä erityisesti laitteistoille tarkoitettua pesuainetta, jota käytetään myös esimerkiksi paineilmahengityksensuojainten kasvosien pesussa.



Kuva 30. Lämpökameroiden puhdistusaineet

Letkujen pesumenetelmät

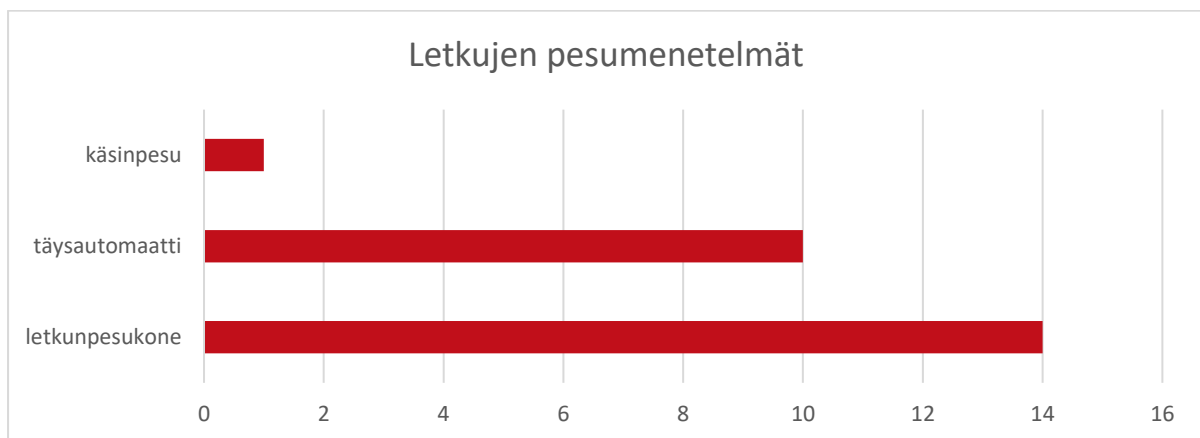
Letkun pesua varten on olemassa erilaisia laitteistoja ja menetelmiä. Letkut jokainen haastateltu pelastuslaitos pesi jokaisen käytön jälkeen. Vanhin pesumenetelmä on täysin käsinpesumenetelmä, jossa letkut vedetään mekaanisesti harjakoneen läpi. Lisäksi on olemassa puoliautomaattisia letkunpesukoneita, jossa kone vetää itse letkut sisäänsä liittimien avulla, suorittaa pesun ja siitä letkut menevät joko automaattisesti esimerkiksi tornikuivaukseen tai sitten ne viedään ihmisvoimin torniin. Täysautomaattikoneet suorittavat kaiken pesusta ja koeponnistuksesta kuivaukseen, joka tehdään paineilmalla.



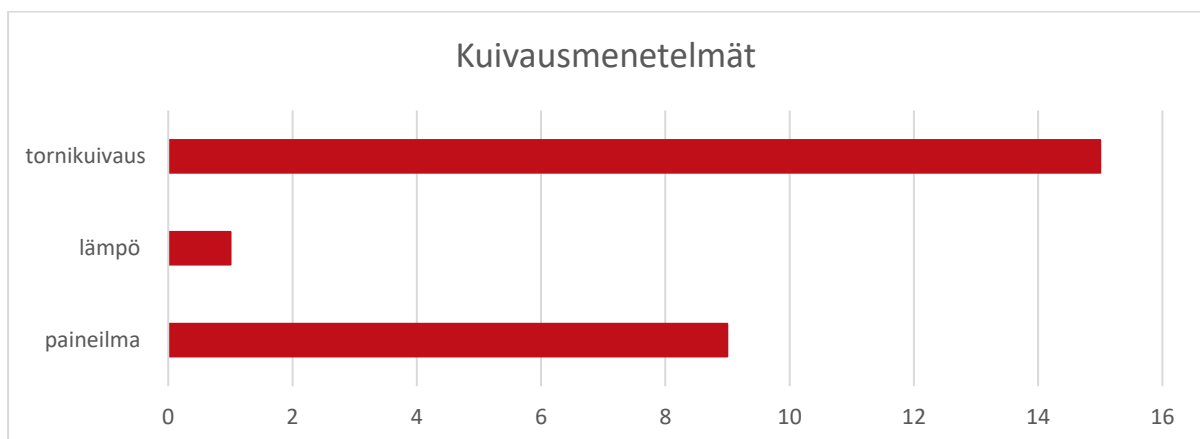
Pesumenetelmät vaihtelivat niin pelastuslaitoksittain kuin asemittain laitosten sisällä. Paloaseman ikä vaikutti luonnollisesti osittain pesutekniikkaan. Vanhat käsinpesumenetelmät olivat käytännössä väistymässä ja suurin osa pesusta tapahtui niin sanotulla puoliautomaattisella pesumenetelmällä (kuva 31).

Kaikki laitokset esipesivät letkut etenkin raskaiden sammutustehtävien jäljiltä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että letkut laitetaan likoamaan paljuun päiväksi tai kahdeksi. Osa laitoksista käyttää paljussa myös pesuainetta, kuten mäntysuopaa tai vastaavaa. Yksikään pelastuslaitos ei sanonut, että letkuja ei tarvittaessa tai lähes aina esipestäisi.

Letkujen kuivausmenetelmään vaikuttaa luonnollisesti se, mikä pesumenetelmä oli käytössä. Mikäli käytössä oli täysautomaattinen pesukone, letkujen kuivausmenetelmä oli paineilma. Yleisin kuivausmenetelmistä haastatelluilla pelastuslaitoksilla oli edelleen tornikuivaus (kuva 32). Toisilla asemilla torneissa oli lisäksi lämpö- tai ilmapuhallin nopeuttamassa kuivumista.



Kuva 31. Letkujen pesumenetelmät



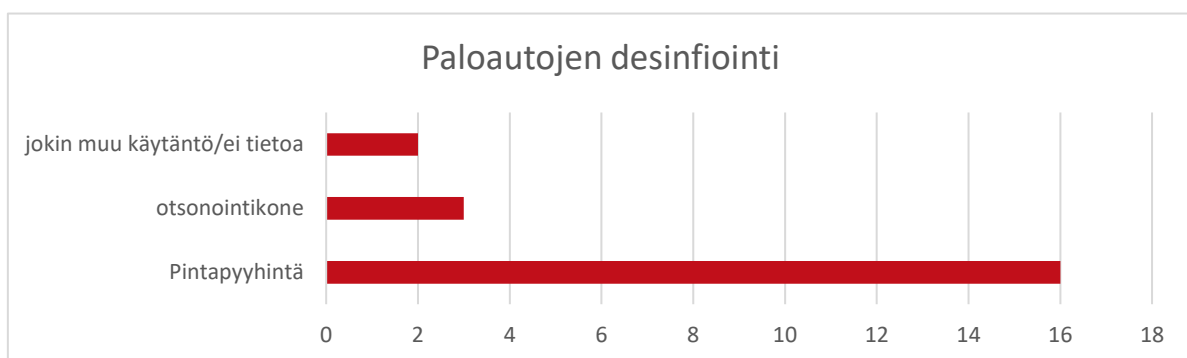
Kuva 32. Letkujen kuivausmenetelmät



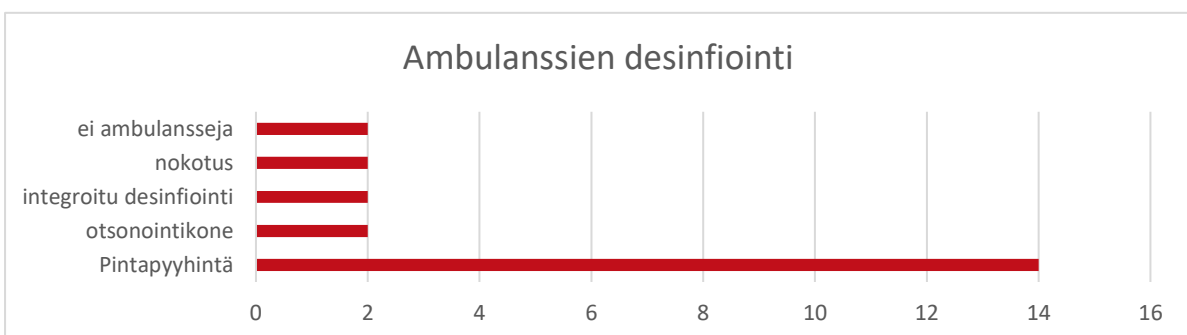
Paloautojen ja ambulanssien desinfiointi

Suurimmaksi osaksi paloautot desinfioidaan pintapyyhinnä erilaisilla desinfiointiaineilla (kuva 33). Osa laitoksista käytti ainakin ajoittain siirrettäviä otsonointilaitteita desinfiointiin. Yksi laitoksista mainitsi, että heillä oli kokeilussa TECCARE elektrostaattinen sumutusmenetelmä ja Teccare contror desinfiointiaine. Sumutinta oli alettu käyttämään syksyllä 2021, joten kokemuksia oli vielä hyvin vähän. Sumuttimia löytyi ainakin vakinaisilta asemilta.

Ambulanssien desinfiointimenetelmät vaihtelivat hieman sen mukaan, oliko pelastuslaitoksilla millaisia ambulansseja käytössä. Kahdella pelastuslaitoksella ei ambulansseja ollut vaan sairaanhoitopiiri huolehtii ensihoidon järjestämisestä. Moni vastaaja ei ollut täysin varma oman laitoksen ambulanssien desinfiointimenetelmistä. Yleisin tapa desinfioida ambulansseja oli kuitenkin peruspintapyyhinta desinfiointiaineilla (kuva 34). Osalla laitoksia käytössä oli uusia ambulansseja, joissa on integroituna desinfiointijärjestelmä, DecoEco. Integroiduissa DecoEco järjestelmissä tehoaineena ovat natriumkloridi, hypokloorihappo sekä natriumkloraatti. Jotkut laitokset käyttivät myös niin sanottua liikuteltavaa laitetta, jossa käytettiin Nocosprayta. Nocosprayssa tehoaineena on vetyperoksidi. Yhdellä pelastuslaitoksella laitteistoa käytettiin tietyin väliajoin, mutta heilläkin ambulanssitoiminta oli siirtymässä pois pelastuslaitokselta. Myös siirrettävä otsonointilaitte oli osalla laitoksia. Yhdellä pelastuslaitoksella ambulanssit oli rakennettu siten, että pintapyyhinnän lisäksi ne tarvittaessa pystyttiin pesemään painepesurilla sisältä ja pesuvesi valui ulos.



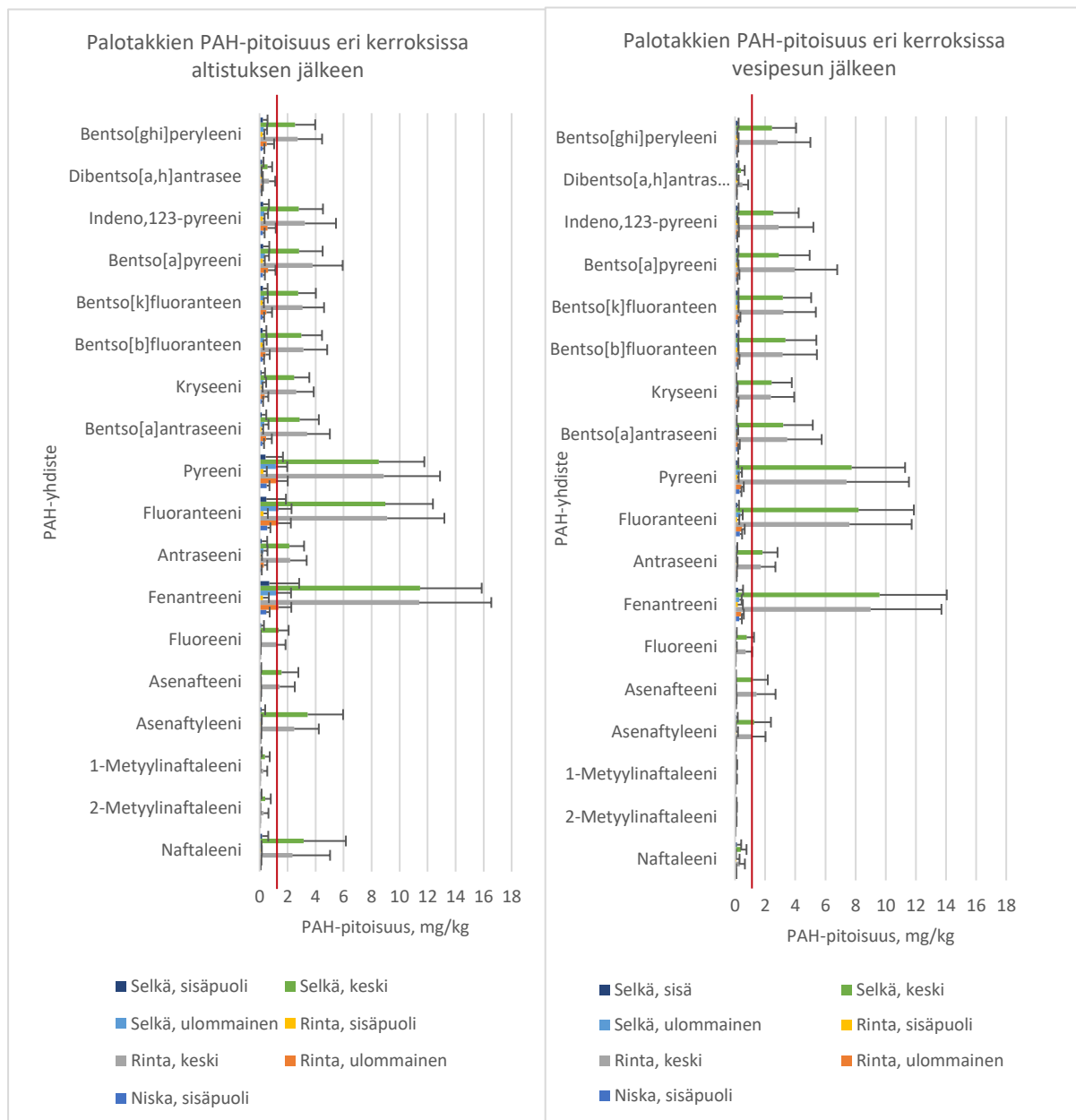
Kuva 33. Paloautojen desinfiointimenetelmät



Kuva 34. Ambulanssien desinfiointimenetelmät

7.2 Palotakkien pesutulokset

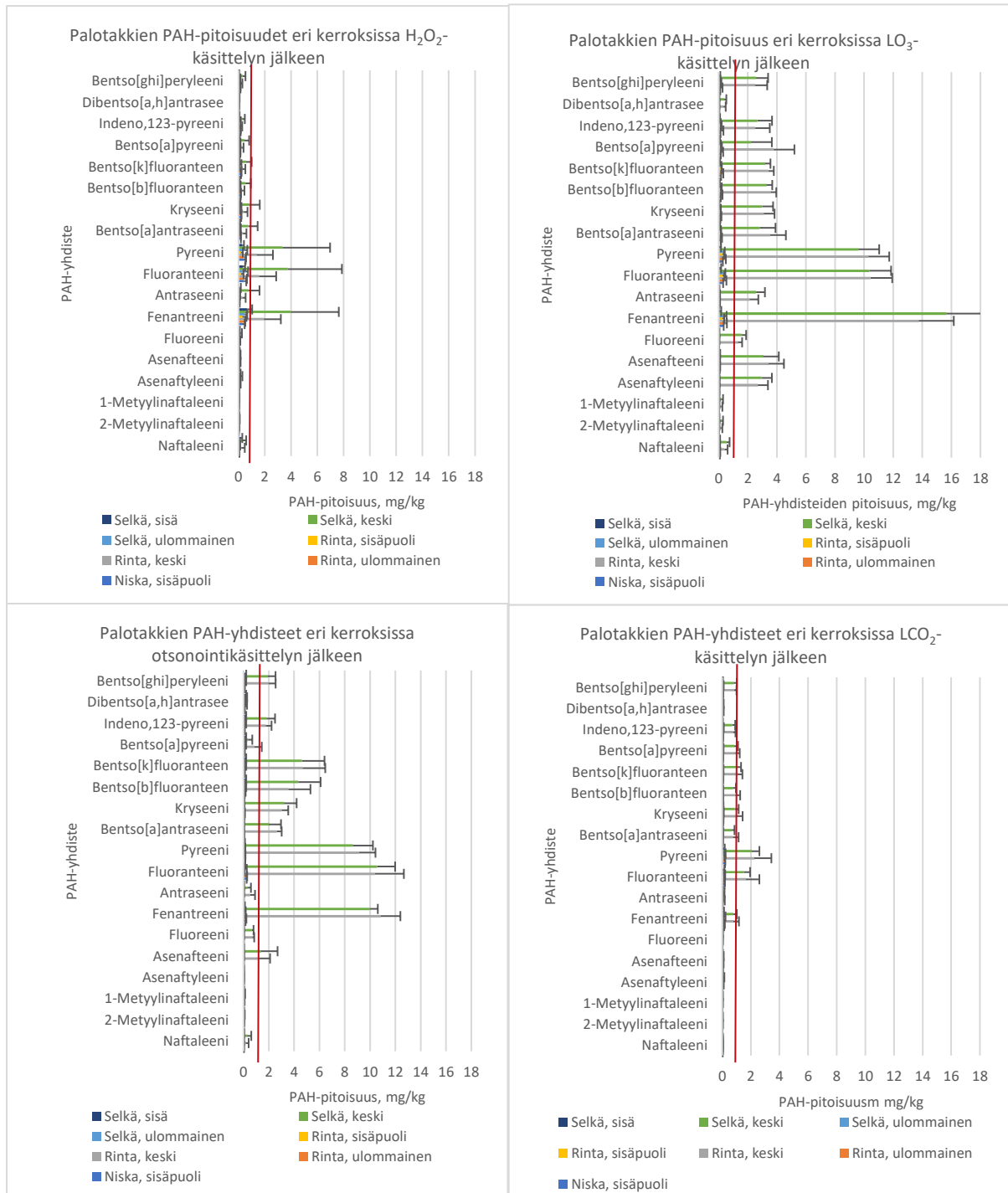
Altistuksen jälkeen otetuissa näytteissä PAH-yhdisteitä oli eri palopuvun kerroksissa vaihtelevia määriä. Kuvassa 35 on esitetty PAH-yhdisteiden profiili altistuksen ja vesipesujen jälkeen. Tarkemmat kuvat ovat liitteessä 4. Pitoisuudeltaan suurimmat yksittäiset PAH-yhdisteet olivat fenantreeni, fluoranteeni ja pyreeni. Lähes jokaisen PAH-yhdisteen pitoisuus ylitti EU-komission uusille tuotteille asetetun raja-arvon 1 mg/kg altistuksen jälkeen. Suurimmat pitoisuudet mitattiin palotakin keskikerroksista, joissa ne olivat 12–17-kertaisia raja-arvoon verrattuna. Vesipesun jälkeen PAH-yhdisteiden profiili pysyi samanlaisena ja usean PAH-yhdisteen pitoisuus edelleen ylitti EU-komission raja-arvon.



Kuva 35. Yksittäisten PAH-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (+SD) altistamisen ja vesipesun jälkeen palotakin eri kerroksissa. Punainen viiva EU-komission raja-arvo yksittäisille PAH-yhdisteille.



Kuvassa 36 on esitetty PAH-yhdisteiden profiili yhdistetyn vesipesun ja vetyperoksidikäsittelyn, nestemäisen otsonoinnin (LO_3), vesipesun ja otsonoinnin sekä nestemäisen hiilidioksidin (LCO_2) jälkeen. Tarkemmat kuvat ovat liitteessä 4.

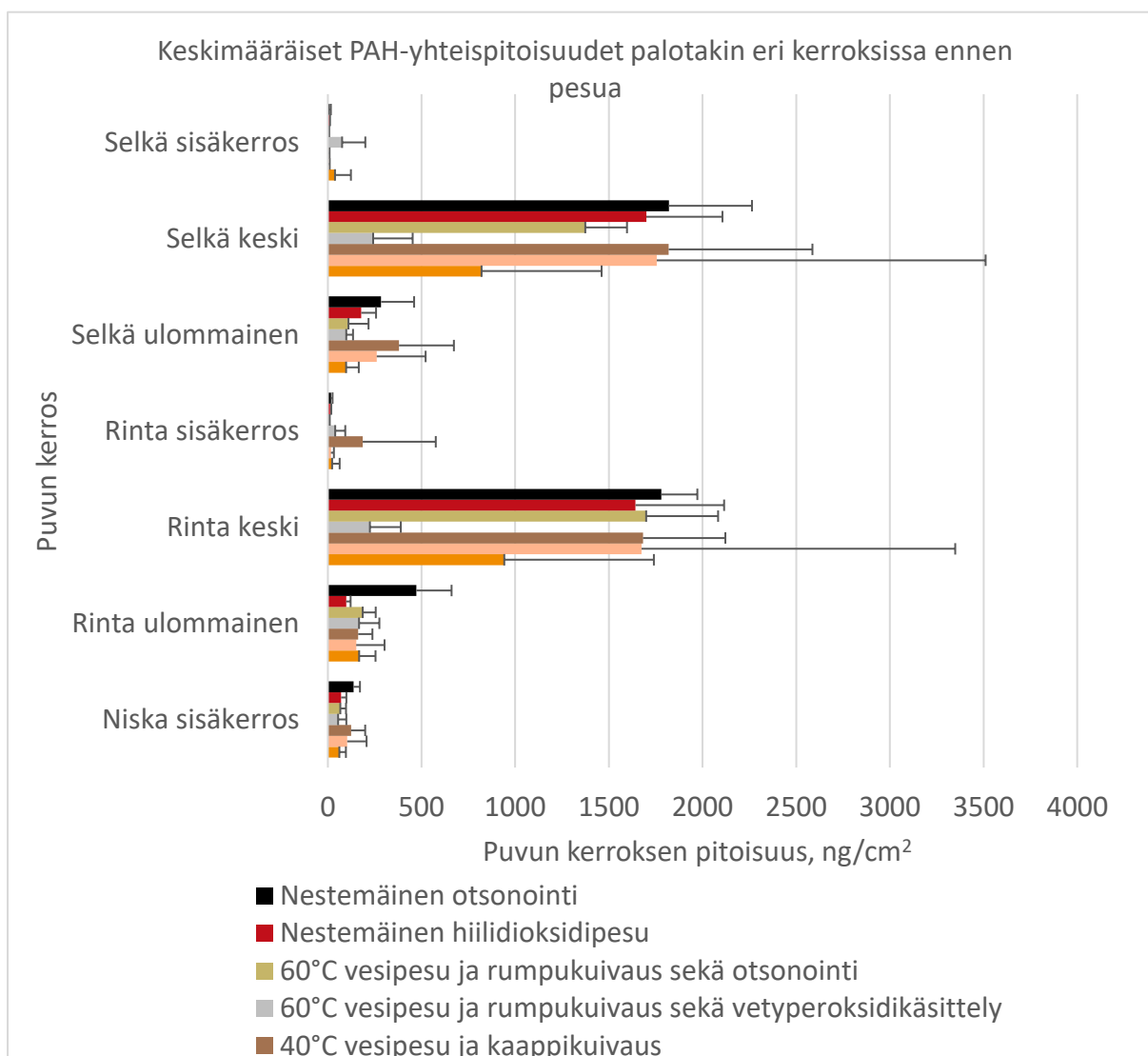


Kuva 36. PAH-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (+SD) vesipesun ja vetyperoksidin, nestemäisen otsonoinnin (LO_3), vesipesun ja otsonoinnin sekä nestemäisen hiilidioksidin (LCO_2) käsittelyiden jälkeen palotakin eri kerroksissa. Punainen viiva EU-komission raja-arvo yksittäisille PAH-yhdisteille.



Myös muiden käsittelyiden jälkeen PAH-yhdisteiden profiili pysyi samanlaisena, mutta LCO₂-käsittely leikkasi tehokkaimmin suurimpia PAH-pitoisuuksia ollen näin lähimpänä EU-komission tavoitetta puhtaasta palotakista.

Palopukujen kosteus- ja lämpötilaerityskerrokseen kertyy vuosien saatossa epäpuhtauksia, joita on käytännössä mahdotonta puhdistaa perinteisin vesipesumenetelmin. Puvut on tehty suojaamaan pelastajaa hyvin tehokkaasti, ja näin ollen pukujen ihoa vasten olevissa sisäkerroksissa PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat altistuksen jälkeen luonnollisesti pienempiä. Kuvassa 37 on esitetty PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet altistuksen jälkeen palotakin eri kerroksissa altistumisen jälkeen. EU-komission raja-arvo PAH-kokonaispitoisuuksille on 10 mg/kg. Suurimmat yhteispitoisuudet mitattiin selän keskikerroksesta, jossa ne olivat 3500 ng/cm², joka on 13,4-kertainen raja-arvoon nähden.

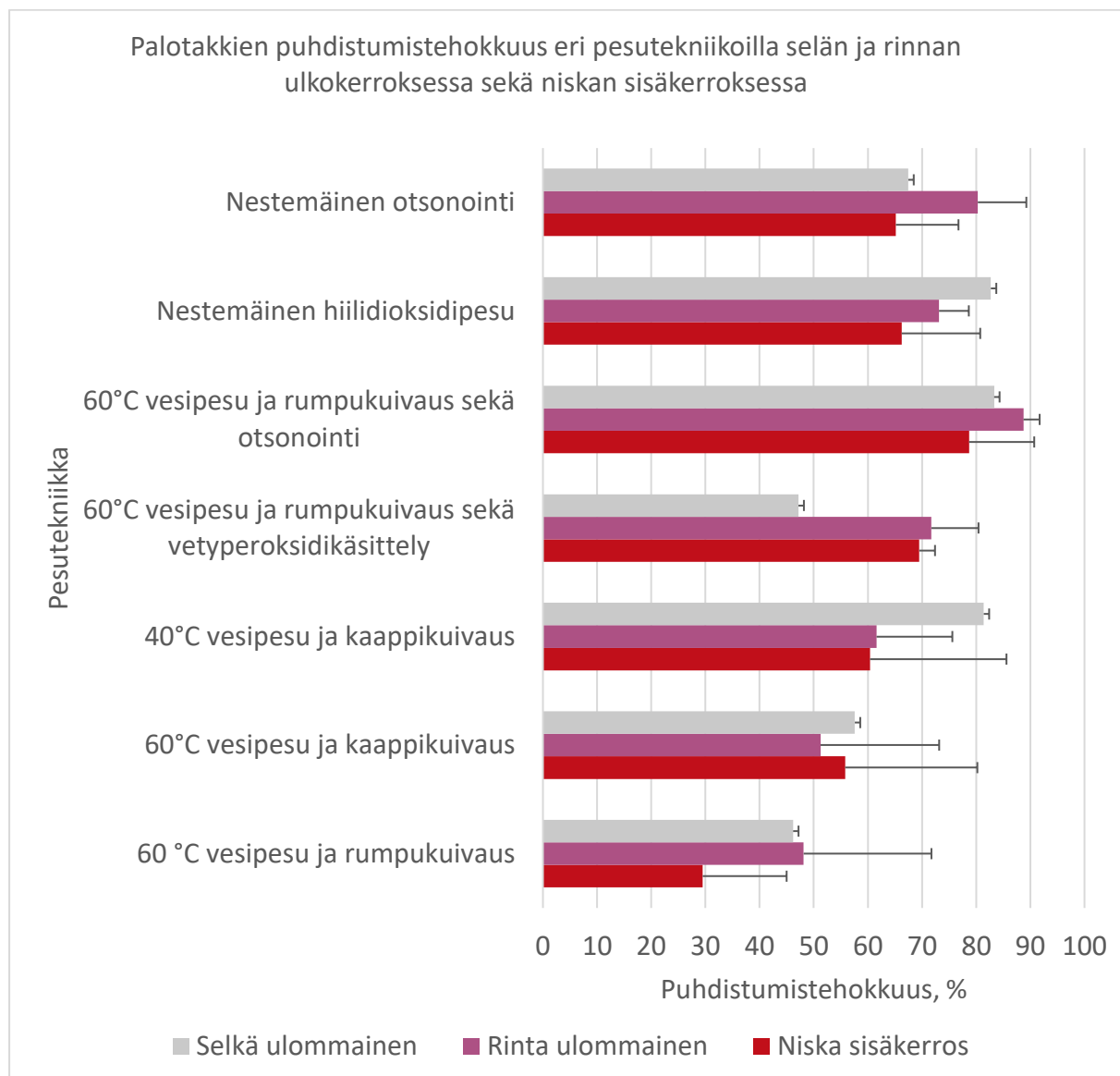


Kuva 37. PAH-yhdisteiden keskimääräiset yhteispitoisuudet (+SD) altistamisen jälkeen eri palotakin kerroksissa eri testeissä



Kuvassa 38 on esitetty palotakkien puhdistustehokkuudet prosentteina eri pesutekniikoilla selän ja rinnan ulommissa kerroksissa ja niskan sisäkerroksessa.

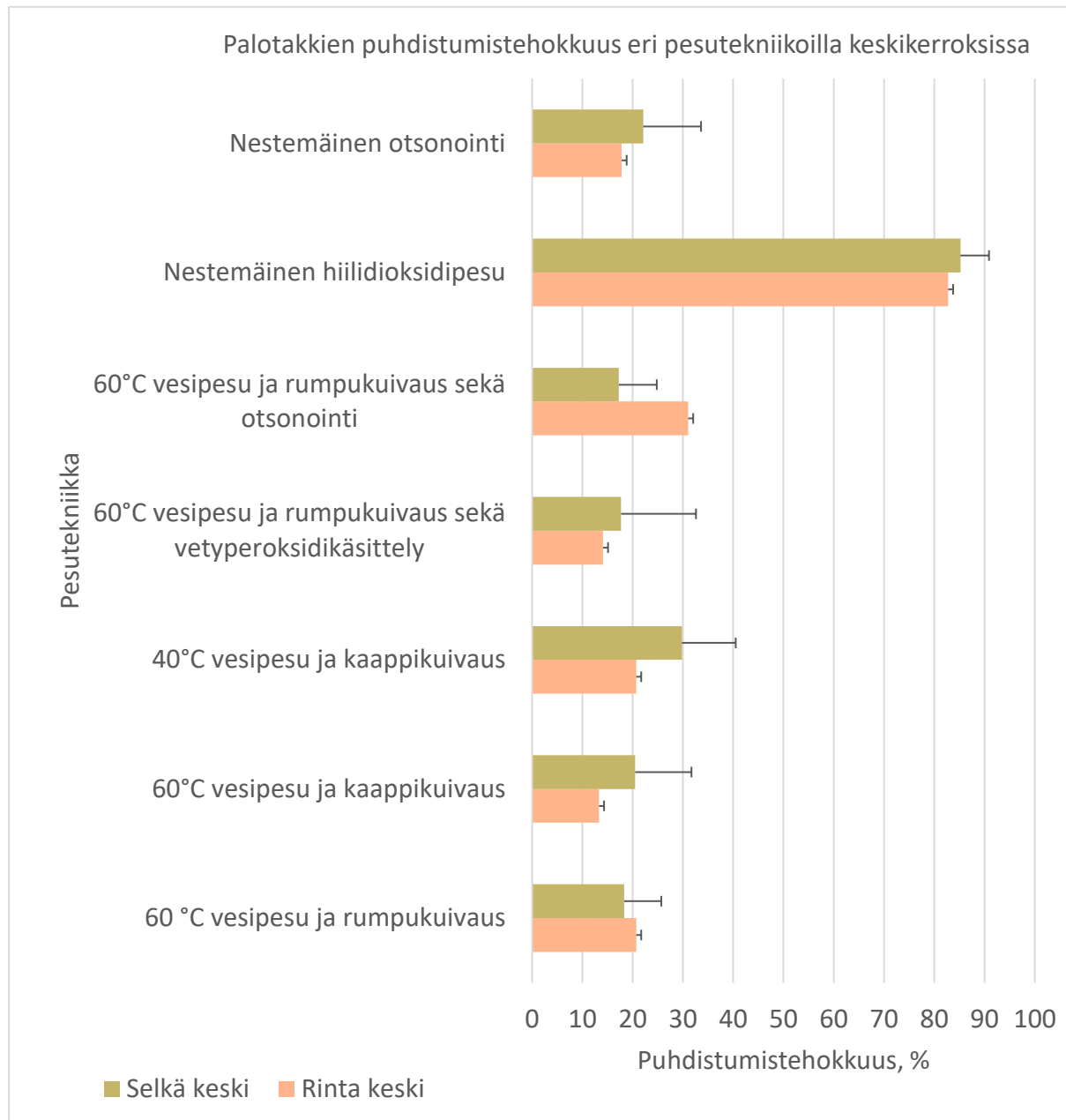
Palotakin selän ja rinnan ulompiin ja niskan sisimpään kerrokseen vesipesun keskimääräinen puhdistustehokkuus 40 °C ja 60 °C lämpötiloissa käytettäessä kaappikuivausta oli 68 % ja 55 %. Vastaavasti 60 °C lämpötilassa ja rumpukuivauksella pesutehokkuus oli 42 %. Vesipesu ja vetyperoksidilisäksittely yhdessä antoivat 61 % keskimääräisen pesutehokkuuden Nestemäisen otsonoinnin keskimääräinen tulos oli vastaavasti 71 % ja nestemäisen hiilidioksidin keskimäärin 74 %. Vesipesun ja otsonoinnin yhdistelmällä päästiin 84 % tulokseen.



Kuva 38. Palotakkien keskimääräiset puhdistustehokkuudet (+SD) eri pesutekniikoilla selän ja rinnan ulommaisissa kerroksissa ja niskan sisäkerroksessa.

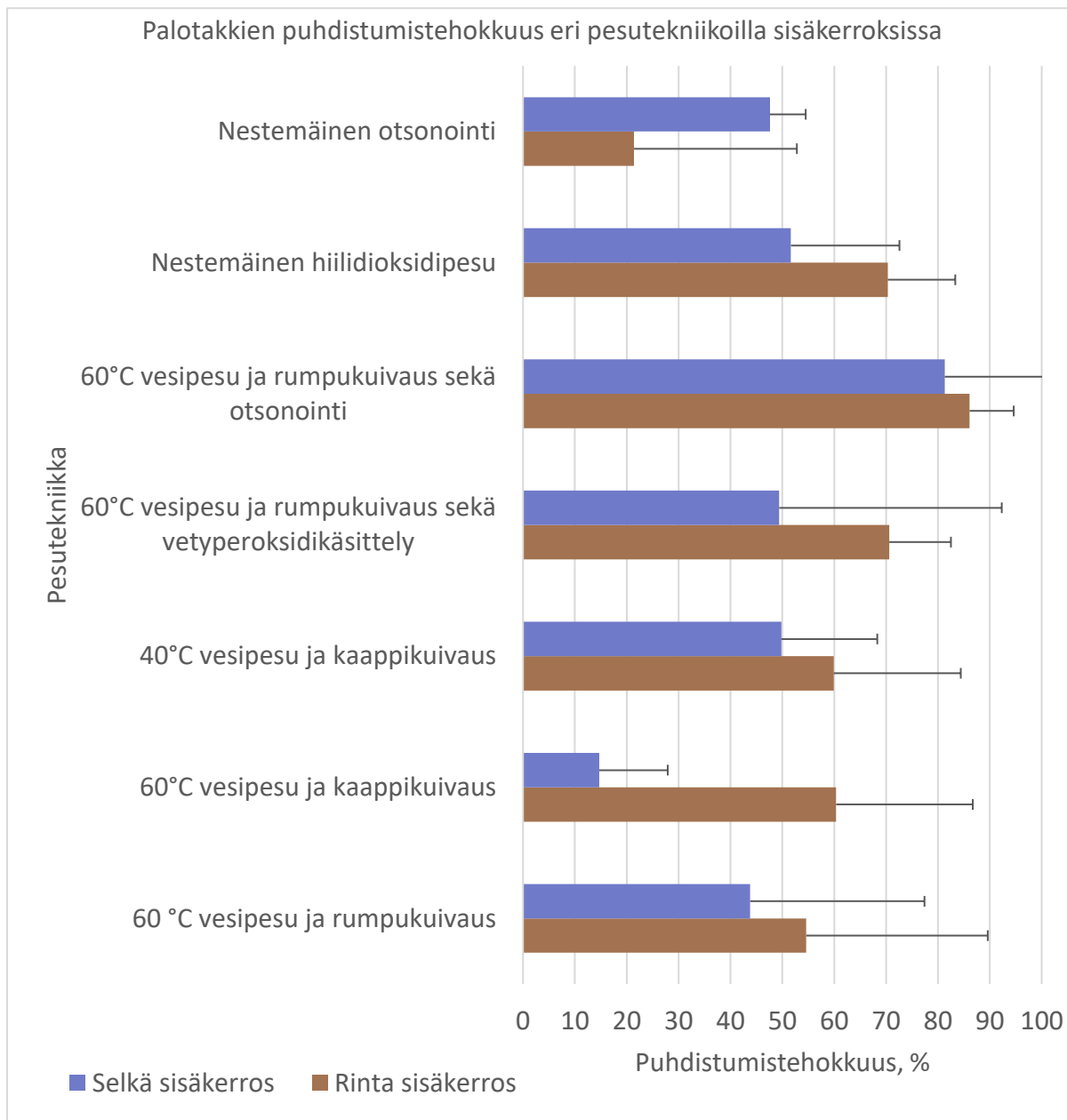


Kuvassa 39 on esitetty palotakkien keskimääräiset puhdistustehokkuudet (+SD) eri pesutekniikoilla selän ja rinnan keskikerroksissa. Keskimääräiset kerrokset puhdisti parhaiten nestemäinen hiilidioksidikäsittely, jonka puhdistustehokkuus oli 84 %. Seuraavaksi parhaimpien tekniikojen puhdistustehokkuus jäi noin 30 %.



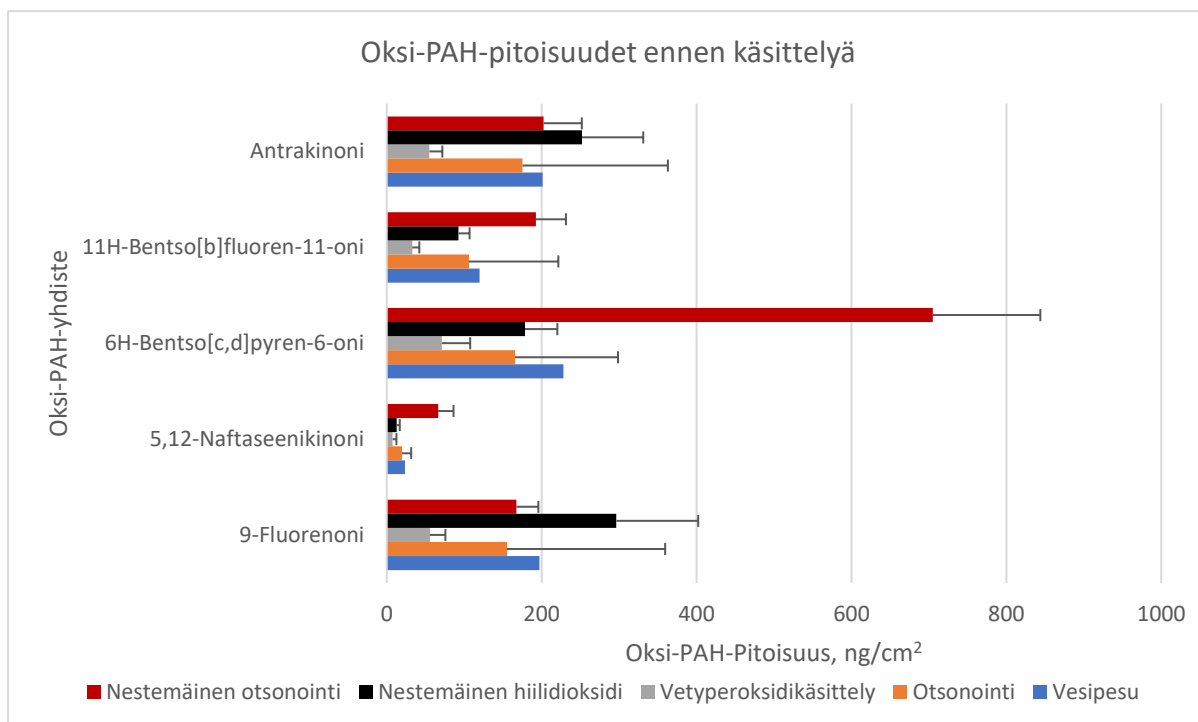
Kuva 39. Palotakkien keskimääräiset puhdistustehokkuudet (+SD) eri pesutekniikoilla selän ja rinnan keskimmäisissä kerroksissa.

Kuvassa 40 on esitetty palotakkien keskimääräiset puhdistustehokkuudet (+SD) eri pesutekniikoilla selän ja rinnan sisäkerroksissa. Sisäkerrosten tulokset noudattivat uloimpien kerrosten pesutuloksia, vaikka sisäkerrosten PAH-pitoisuudet pesutehokkuustestin kannalta olivat liian pieniä.

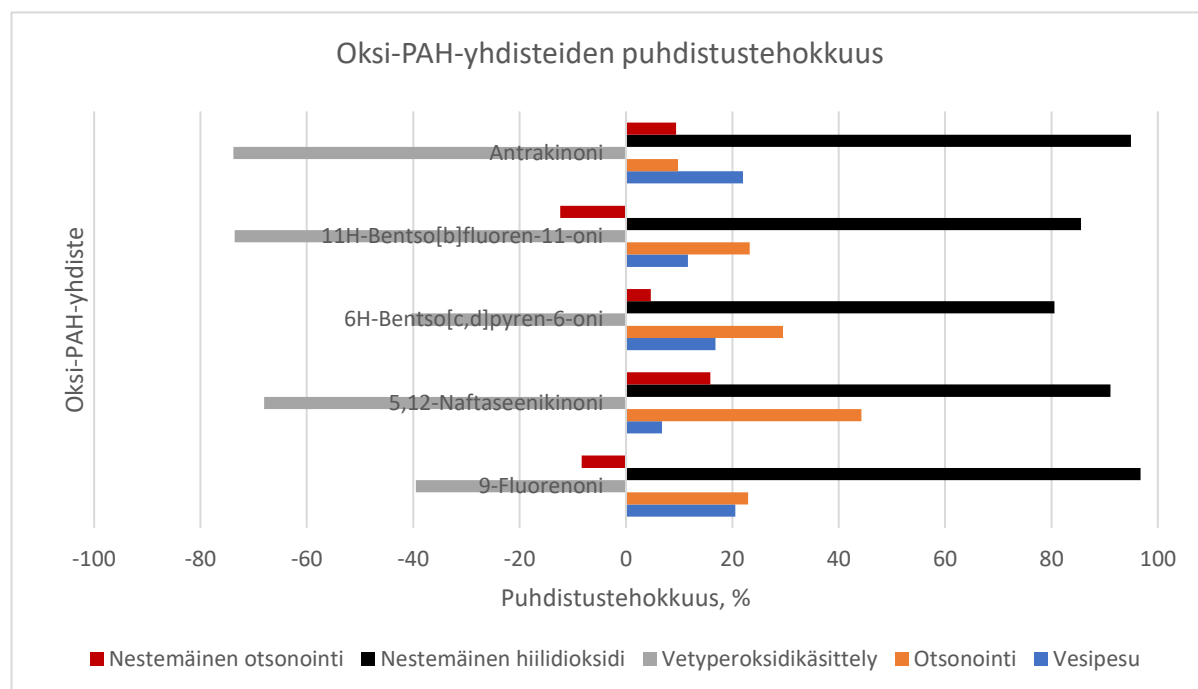


Kuva 40. Palotakkien puhdistustehokkuudet eri pesutekniikoilla selän ja rinnan sisimmäisissä kerroksissa.

Hankkeessa selvittelimme myös okso-PAH-yhdisteiden esiintymistä palopuvuissa ja niiden mahdollista lisääntymistä hapettavissa käsittelyissä (otsonointi ja vetyperoksidi). Kuvassa 41 on esitetty okso-PAH-yhdisteiden pitoisuuksia palotakeissa niiden kaikkien likaantuneimmista kerroksista eli keskikerroksista. Kuvassa 42 on esitetty kyseisten yhdisteiden puhdistumistuloksia eri käsittelyissä.



Kuva 41. Oksi-PAH-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (+SD) altistamisen jälkeen palotakin keskimmaisissa ja uloimmissa kerroksissa eri testeissä

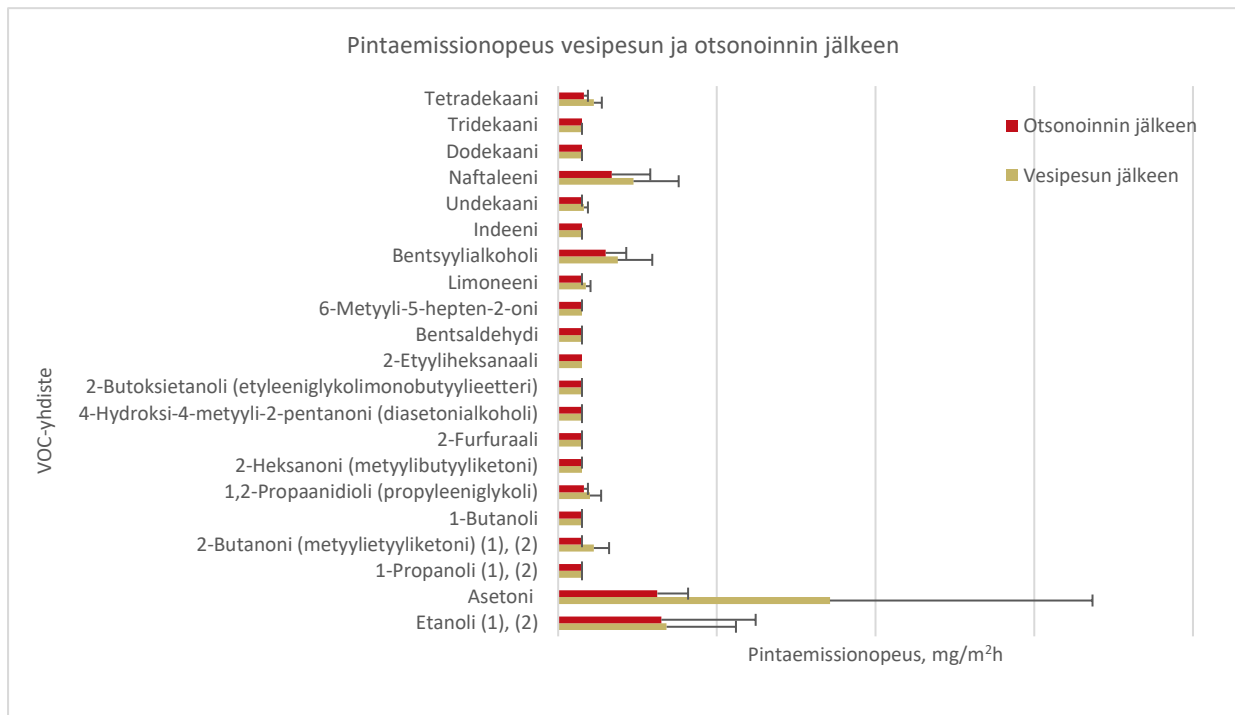


Kuva 42. Palotakkien keskimääräiset puhdistustehokkuudet (+SD) eri pesutekniikoilla selän ja rinnan keskimmaisissa ja uloimmissa kerroksissa.

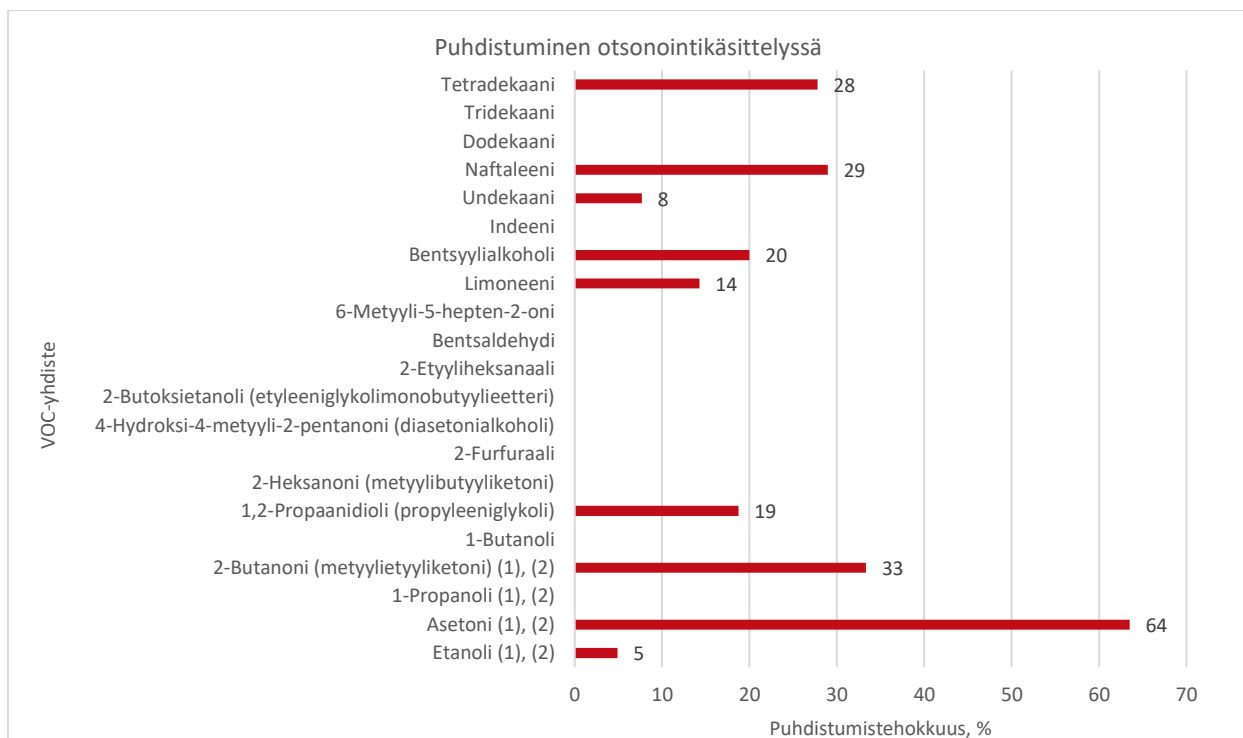
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) analysoitiin palotakeista emissiokammiossa. Analyysit tehtiin sekä vesipesun että otsonoinnin jälkeen. Kuviissa 43 ja 44 on esitelty VOC-yhdisteiden pintaemissionopeuksia vesipesun ja siihen yhdistetyn otsonointikäsittelyn jälkeen. Vastaavasti kuviissa



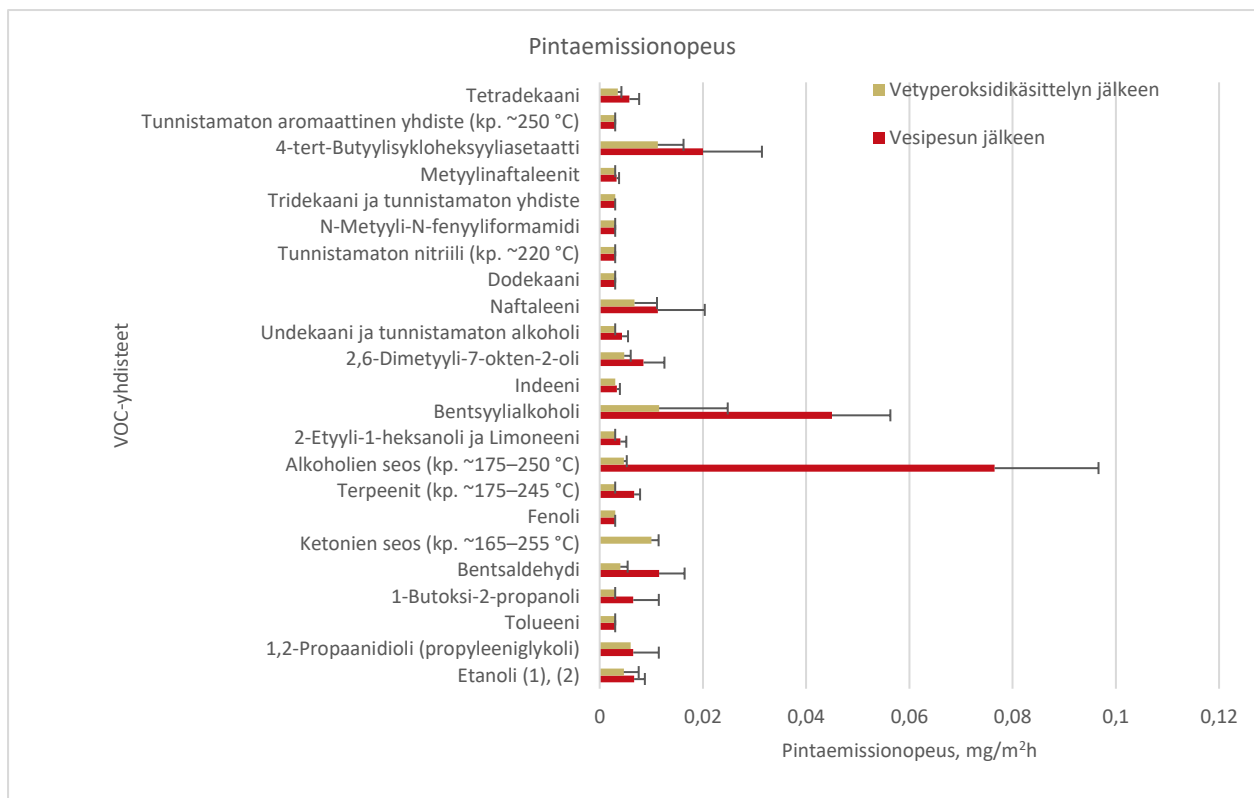
45 ja 46 esitetään kyseisten aineiden pintaemissionopeuksia vesipesun ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen sekä VOC-yhdisteiden puhdistumista vetyperoksidikäsittelyssä.



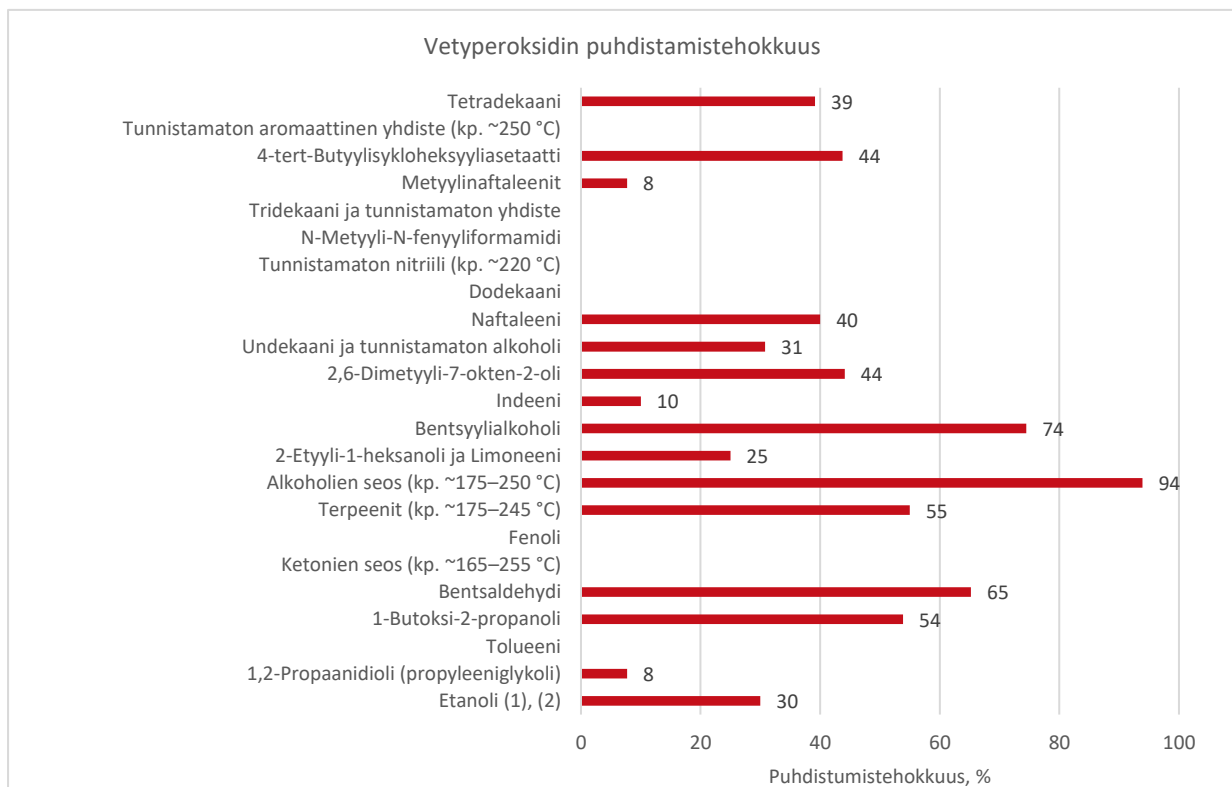
Kuva 43. Palotakkien VOC-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (+SD) ennen ja jälkeen otsonointikäsittelyn



Kaavio 44. Palotakkien VOC-yhdisteiden keskimääräinen puhdistumistehokkuus otsonointikäsittelyssä



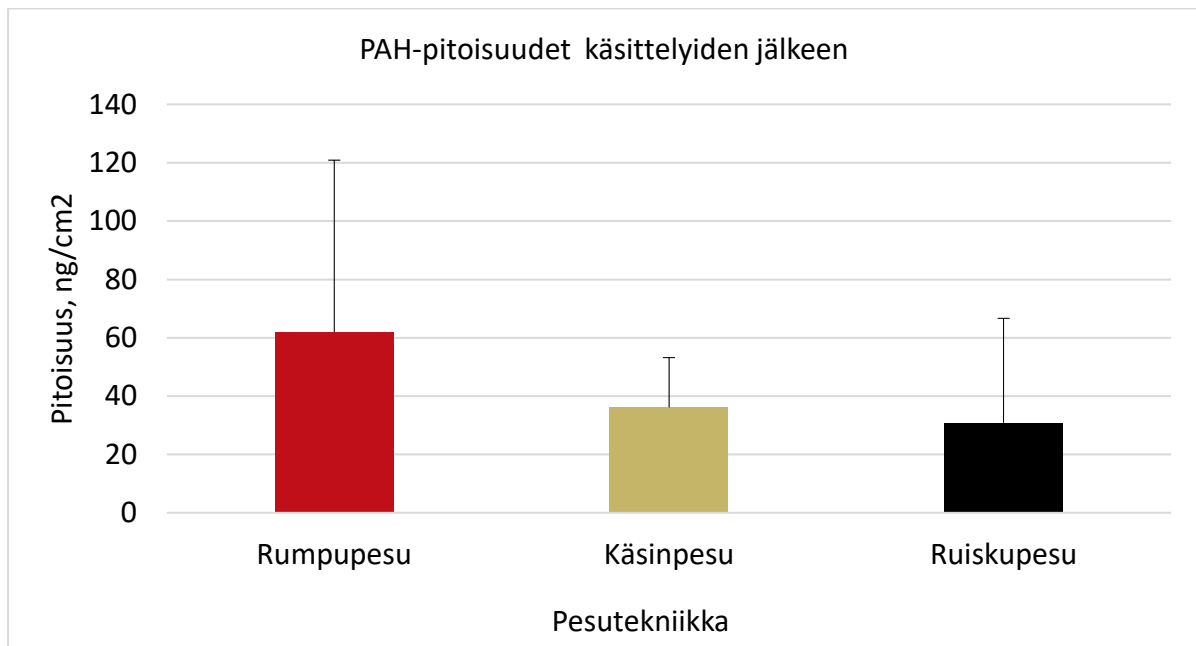
Kuva 45. Palotakkien VOC-yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet (+SD) ennen ja jälkeen vetyperoksidikäsittelyn



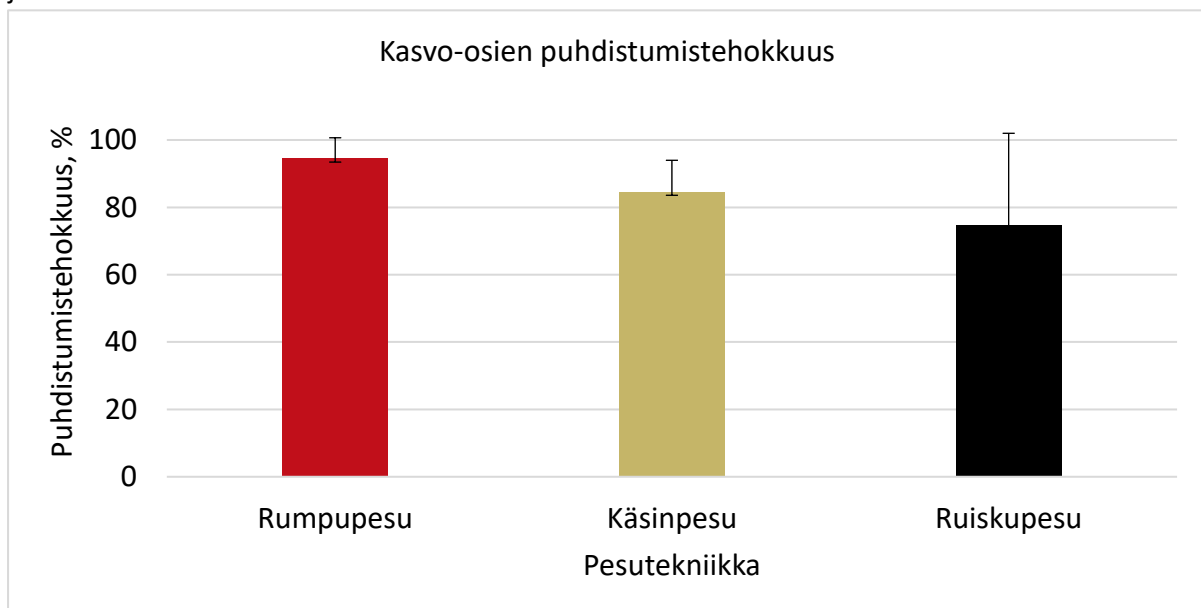
Kuva 46. Palotakkien VOC-yhdisteiden keskimääräiset puhdistumistehokkuudet vetyperoksidikäsittelyn jälkeen

7.3 Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien puhdistustulokset

Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osat eli maskit puhdistettiin Drägerin ruiskupesukoneella sekä pesemällä ne tarkoitusta varten olevissa pesupusseissa Electroluxin pesukoneessa maskinpesuohjelmalla. Kuvassa 47 on esitetty maskien keskimääräiset PAH-pitoisuudet eri pesujen jälkeen. Kuvassa 48 on esitetty rumpu-, käsin- ja ruiskupesujen keskimääräinen puhdistustehokkuus (+SD).



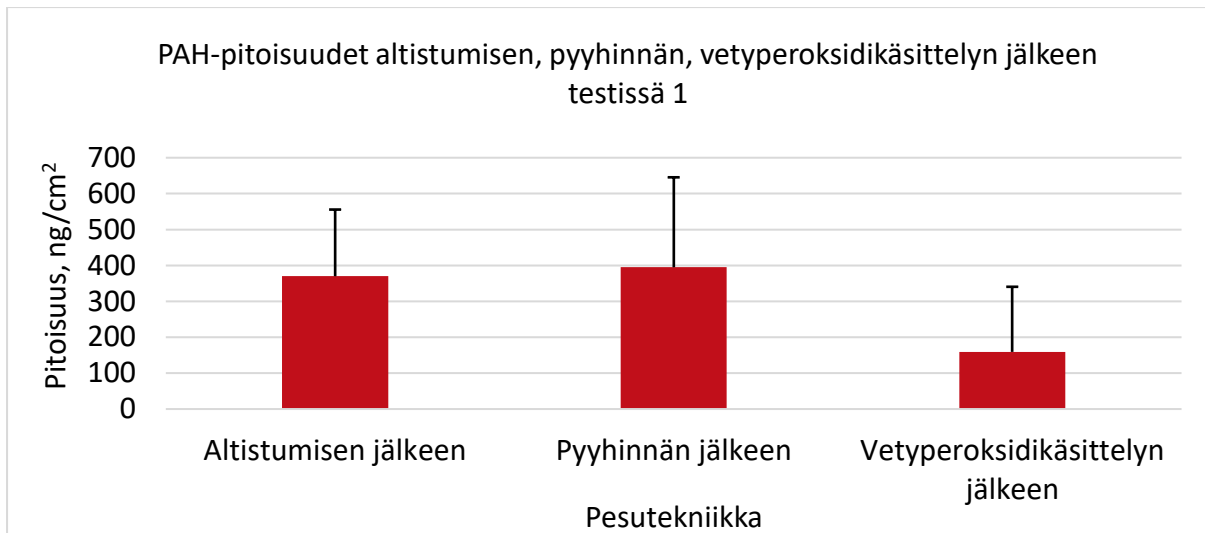
Kuva 47. Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien keskimääräiset pitoisuudet (+SD) pesujen jälkeen



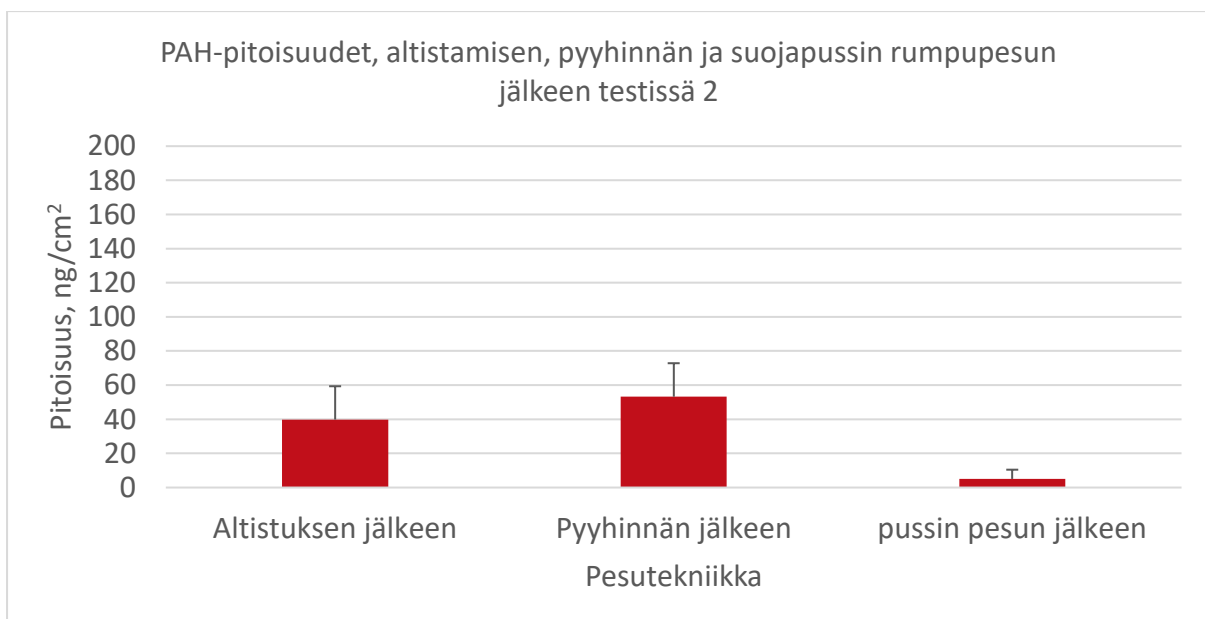
Kuva 48. Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien keskimääräiset puhdistumistehokkuudet (+SD) pesujen jälkeen

7.4 Lämpökameroiden puhdistustulokset

Ensimmäinen viiden lämpökameran sarja altistettiin ja puhdistettiin sen jälkeen pintapyyhintäliinoilla (Loctite). Liinalla pyyhityt kamerat käsiteltiin lisäksi vetyperoksidilla (kuva 49). Toinen viiden sarja lämpökameroita puhdistettiin pintapyyhintäliinoilla (De-Wipe) ja niiden suojaussit pestiin rumpupesussa (kuva 50). Tulokset osoittivat, että pintapyyhintä ei puhdistanut PAH-yhdisteitä, mutta yhdistämällä ne vetyperoksidikäsittelyn tai suojaussin rumpupesun kanssa puhdistustehokkuudet olivat 60 % ja 91 %.



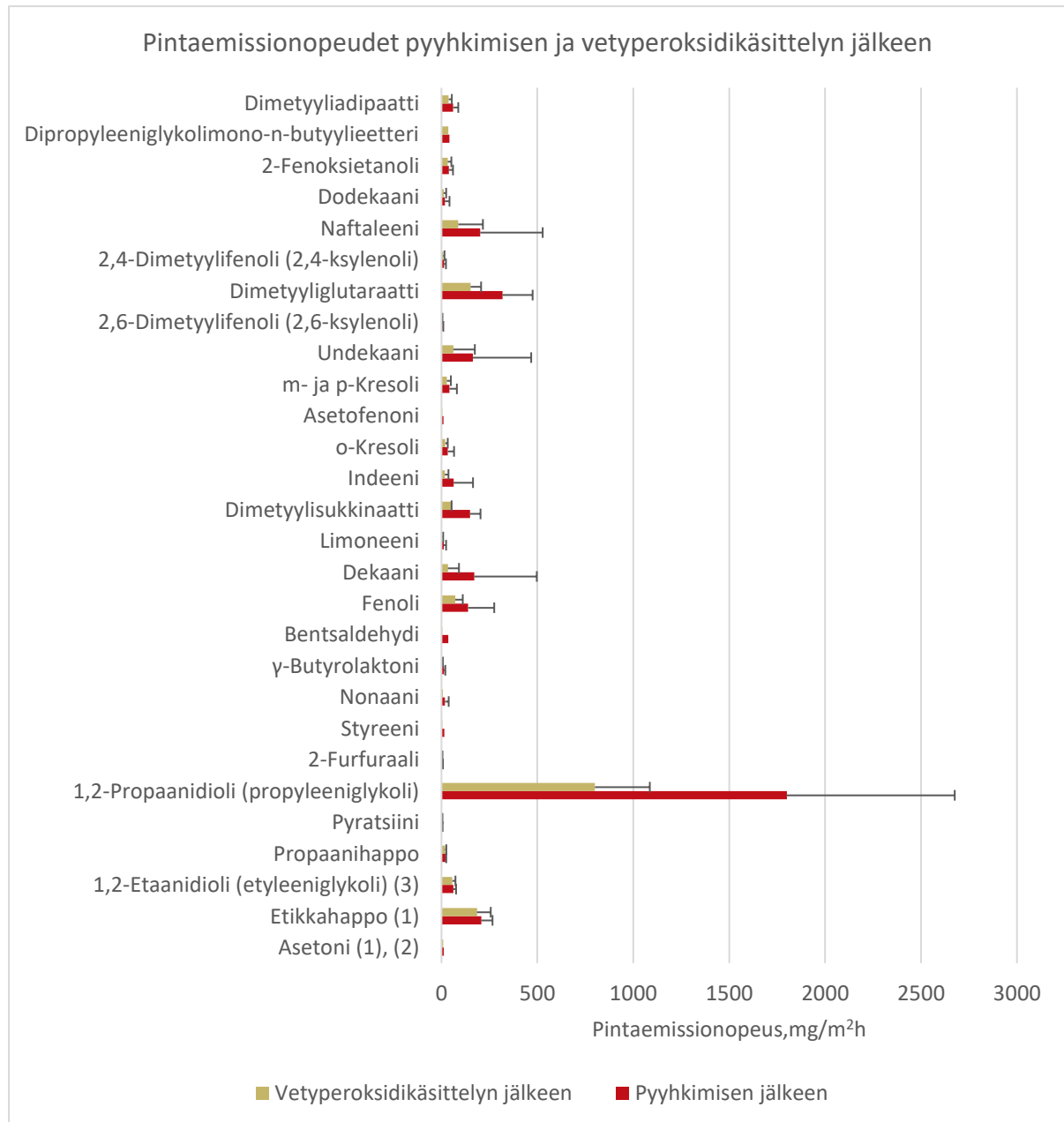
Kuva 49. Keskimääräiset PAH-pitoisuudet (+SD) altistamisen, pyyhinnän (Loctite) ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen



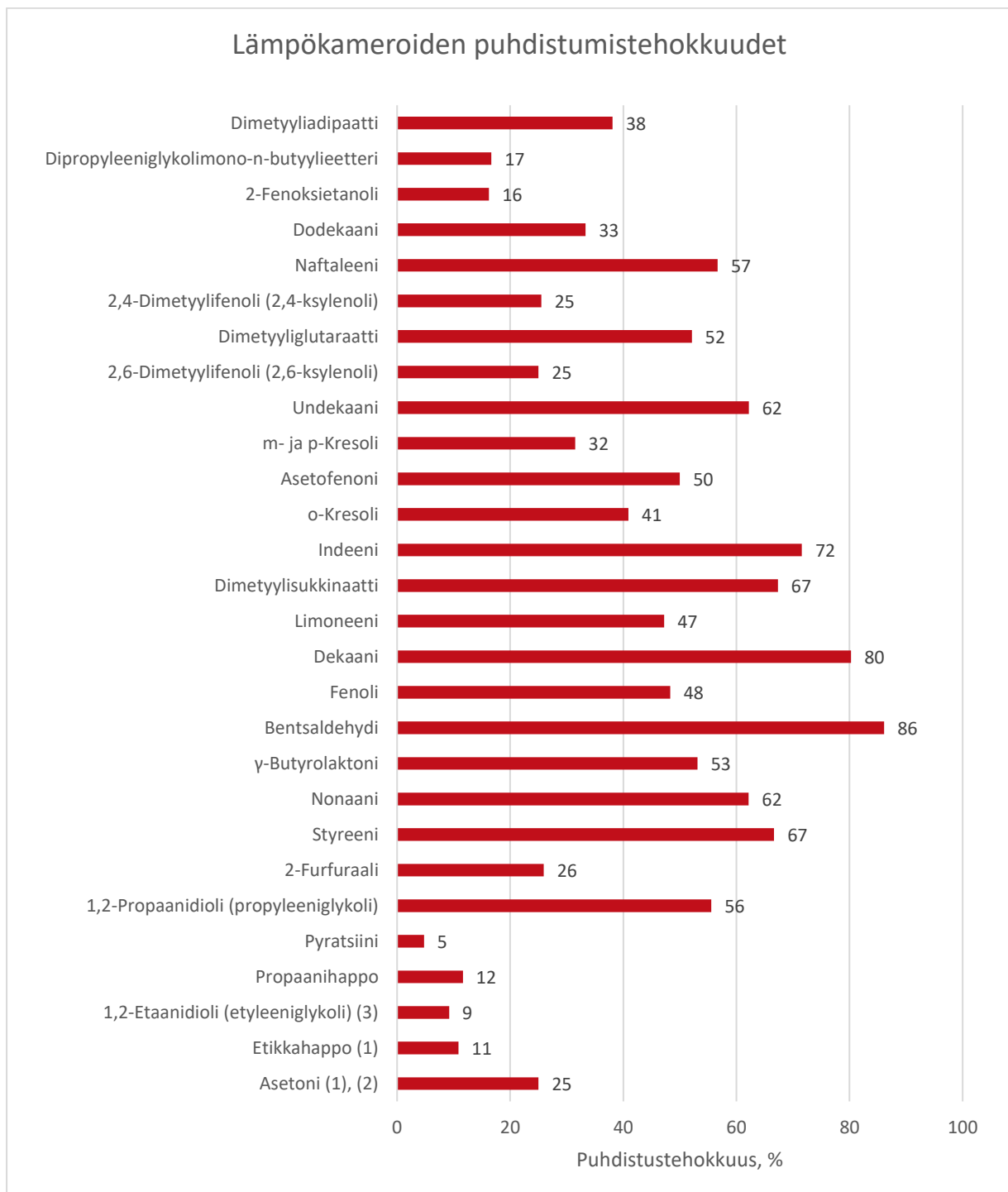
Kuva 50. Keskimääräiset puhdistustehokkuudet (+SD) pyyhinnän (De-Wipe) ja suojaussien pesun jälkeen



Kuvassa 51 on esitetty VOC-yhdisteiden keskimääräiset pintaemissionopeudet (+SD) pyyhkimisen ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen. Kuvassa 52. on esitetty kyseisten aineiden keskimääräiset puhdistumistehokkuudet vetyperoksidikäsittelyn jälkeen.



Kuva 51. Lämpökameroiden VOC-yhdisteiden keskimääräiset (+SD) pintaemissionopeudet



Kuva 52. VOC-yhdisteiden keskimääräiset puhdistumistehokkuudet lämpökameroista



8 Pesumenetelmien kustannustehokkuudet

Vesipesussa käytimme 13 kg teollisuuspesukonetta Electrolux W5130H. Pesukoneen 60 °C ohjelmalle valmistaja antaa energian kokonaiskulutukseksi 2,35 kWh (moottori, lämmitys, lämmin vesi). Tässä tutkimuksessa laskimme kustannukset 10 senttiä/kWh keskihinnalla eli kokonaiskustannus sähkön osalta on 0,24 euroa pesua kohti. Veden kulutukseksi valmistaja antaa yhtä pesua kohti 90 + 22 litraa eli 112 litraa vettä. Veden hinnaksi tässä tutkimuksessa laskimme 4,95 euroa kuutiolta (Kuopion vesi hinnasto). Näin ollen veden hinnaksi muodostuu 0,55 euroa pesua kohti. Pesuaineen hinnaksi yhtä pesua kohti Diversey antaa 0,4 euroa. Jos huomioimme myös pesukoneen vuosihuollon (500 €/v) ja pesemme yhden palopuvun yksistään, joka päivä, niin yhden pesukoneellisen kokonaiskustannukseksi muodostuu 2,6 euroa.

Otsonikäsittelyn kustannuksiin vaikuttaa käytännössä eniten vuosihuollon hinta. Hygion otsonikaapin keskimääräinen tehonkulutus ohjelman aikana on n. 15W, eli 0,015 kW. Kahden tunnin ohjelman energian kulutus on siis n. 0,03 kWh, joten sähkönhinnan vaikutus on kokonaiskustannuksissa hyvin pieni. Käyttökustannukset ovat siis yhtä kuin vuosihuollon kustannus. Keskimääräinen ylläpitosopimuksen hinta on vuodessa 550 euroa. Jos yksi sammutusasua käsitellään yksitellen joka päivä vuoden ajan, on yhden sammutusasun kustannus 1,50 euroa.

Vetyperoksidikäsittelyä ei ainakaan toistaiseksi voi suorittaa itsenäisesti pelastuslaitoksilla, vaan asut pitää lähettää käsittelyyn kyseistä palvelua antavaan yritykseen. Xhome on määrittänyt käsittelyn hinnan ostopalveluna. Sammutuspuvun puhdistus, niin että puku käännetään ja käsitellään molemmin puolin, on 63 euroa/kpl. Hinta muovautuu luonnollisesti hieman edullisemmaksi, mikäli kerralla puhdistukseen tulevien pukujen määrä on suurempi.

Pukujen pesua **nestemäisellä hiilidioksidilla** ei ainakaan toistaiseksi ole Suomessa saatavilla, mutta Euroopan alueella on useampi laitos, joka tekee pesuja ostopalveluna. Testeissä käytimme belgialaisen Decontex Benelux NV:n pesupalvelua. Puvut on mahdollista lähettää postitse ja puhtaat puvut tulevat takaisin noin viikossa. Decontex määrittelee pesuhinnaksi noin 68 euroa/asukokonaisuus eli samaan hintaan pesula käsittelee tarvittaessa puvun lisäksi myös koko muun varustesetin ja hintaan kuuluu myös puvun toimivuuden tarkastus.

Palopukujen pesu **nestemäisellä otsonoinnilla** maksaa palvelun tarjoajan mukaan sammutustakin ja housujen osalta 8–10 euroa/kpl eli 16–20 euroa asukokonaisuutta kohden. Luonnollisesti tarkempi hinta määräytyy pestävien asujen määrän ja neuvotellun hinnan mukaan.



9 Tulosten tarkastelu

Työpaketti 1

Työpaketissa 1 selvitettiin haastattelututkimuksen avulla pesutekniikoiden nykytilaa erilaisille suoja- ja sammutusvarusteille Pelastuslaitoksilla. Samalla selvitettiin, kuinka likaantuneiden varusteiden kanssa oli ohjeistettu toimimaan.

Haastattelututkimuksemme osoitti, että pelastuslaitoksilla oltiin tietoisia likaantuneiden varusteiden syöpävaarallisista aineista, tarvittavista suojauskäytänteistä toimittaessa likaantuneiden varusteiden kanssa ja osin myös puhdistusmenetelmistä. Aiemmin tehdyssä kyselytutkimuksessa arvioitiin pelastuslaitosten tietoisuutta syöpävaarallisille aineille altistumisesta pelastajan työssä ja tuossa hankkeessa tunnistettiin edelleen tarvetta tietoisuuden nostamiselle (Peltola 2022). Vastaavanlaiseen arvioon päädyttiin myös hankkeessamme, kun tarkastelimme pelastuslaitosten pesu- ja puhdistuskäytäntöjen ohjeistuksen ja varsinaisen toiminnan yhdenmukaisuutta. Skellefteå -mallin mukaisesti altistuneet asut tulisi riisua mahdollisimman nopeasti altistumisen jälkeen ja riisumistilanteessa hengityksensuojaimia tulisi pitää mahdollisimman pitkään. Käytännössä nämä suositukset pääsääntöisesti haastattelun perusteella toteutuivat. Malli suosittaa myös pakkaamaan altistuneet paloasut tiiviisti säilötyynä ja kuljettamaan ne erillään miehistötilasta (Laitinen ym., 2016.) Kuten haastattelututkimuksemme vastauksista oli nähtävissä, lähes kaikki eristivät likaiset sammutusasut joko sulaviin pesupusseihin tai jätösäkkeihin. Mallin mukaan liukenevat pesupussit ovat suositelluin vaihtoehto altistamisen minimoimiseksi, mutta niiden käyttö oli haastattelun perusteella vaihtelevaa. Myös altistuneiden asujen kuljettaminen palopaikalta oli vaihtelevaa. Pieni määrä asuja saatiin kuljetettua kalustotilassa, mutta useilla pelastuslaitoksilla varusteet kuljetettiin erillisellä peräkärryllä. Kolme vastaajaa 19:sta vastasi, että säkit pakattiin tehtävän jälkeen miehistötilaan. Vielä 10 vuotta sitten haastattelututkimustuloksessa suomalaisilla paloasemilla työskennelleistä palomiehistä 95 % vastasi, että likaiset sammutusvarusteet kuljetaan samassa tilassa miehistön kanssa paloasemalle tehtävän jälkeen (Lamminpää, 2012). Tekemämme haastattelun perusteella tilanne on siis merkittävästi parantunut.

Sisäilman säilyminen puhtaana edellyttää paloaseman tilojen jakamista puhtaisiin ja likaisiin tiloihin. Haastattelun perusteella tämä toteutui niin hyvin, kuin se teknisesti ja rakenteellisesti oli mahdollista. Vanhaa rakennuskantaa oli muutettu niin, että tämä suositus toteutui ja uudisrakentamisessa puhtaan ja likaisen tilan erillisyyks oli otettu hyvin huomioon.

Pelastusopisto yhdessä Työterveyslaitoksen kanssa suosittelee, että sammutusasuille käytetään omia teollisuuspesukoneita, joissa ei pestä siviilivaatteita. Sammutusasusta vapautuu pesukoneisiin syöpävaarallisia aineita ja pahimmassa tapauksessa myös esimerkiksi asbestikuituja. Näiden siirtyminen siviilivaatteisiin ei ole toivottavaa (Laitinen ym., 2016.; Laitinen ym., 2019) Haastattelun perusteella tämä suositus toteutui kohtuullisen hyvin. Pääsääntöisesti haastatelluilla pelastuslaitoksilla oli omat koneet palopuvuille ja muut vaatteet, kuten asemapalvelusvaatteet ja siviilivaatteet pestiin erillisellä pesukoneella. Joissain tilanteissa tämä ohjeistus ei aina toteutunut esimerkiksi siitä syystä, että palopuvuille varattu kone koettiin paremmaksi ja kätevämmäksi pesukoneeksi myös muiden vaatteiden pesussa. Palopuvut olisi hyvä pestä siten, että niiden likaantumistaso huomioidaan välttääksemme pukujen ristiin likaantumista. Tavoitteena on pestä hyvin likaantuneet palopuvut erikseen vähemmän likaantuneista. Tämä suositus toteutui



pääsääntöisesti käytännössä jo siinä, että palopukuja pestiin keskimäärin vain 1–2 kerrallaan. Pelastusopiston mallissa eri käyttötarkoitusta varten olevat altistuneet savusukellusvarusteet lajitellaan harjoitusalueella eri värisiin jätessäkkeihin. Sammutusasun takki ja housut pakataan mustaan jätessäkkiin ja väliasu, päänsuojus sekä muut varusteet oranssiin jätessäkkiin.

Haastattelututkimuksemme perusteella pelastuslaitoksilla ei ollut mitään virallista määritelmää palopukujen elinkaarelle. Suurin osa laitoksista arvioi pukujen kunnon ja poistoon päätyksen silmämääräisesti. Yleisimmin poistoon päätyi vaurioituneet tai värimuutoksia saaneet puvut. Pelastusopiston varustehuolto noudattaa vuonna 2014 annettua sisäistä ohjeistusta, jossa palopuku päättyy poistoon, kun se saavuttaa 5 vuoden iän tai 50 pesukertaa tulee täyteen. Sammutusasujen ja väliasujen pesukertoja seurataan RFID-tunnisteiden avulla. Pesulasta saadaan vuosittain, tai pyydetessä, listaus kaikista yksilöidyistä vaateartikkeleista ja niiden pesukerroista. Asujen tietoihin on myös merkitty myös käyttönoton ajankohta. Haastattelututkimuksemme perusteella pelastuslaitokset eivät juurikaan pidä mitään säännönmukaista kirjanpitoa varusteiden pesumääristä tai muista käsittelyistä. Amerikkalainen standardi (NFPA 1851) määrittelee palopukujen maksimi käyttöajaksi 10 vuotta valmistuspäivästä lukien. Heijastimet tulee kuitenkin vaihtaa viimeistään 5 vuoden välein ja pukujen kuntoa tarkistella säännöllisesti. Lisäksi hävitykseen ohjeistuksen mukaan tulee laittaa haitallisille kemikaaleille ja CBRN tehtävillä altistuneet puvut, joita ei voi puhdistaa erikoispesuilla. On kuitenkin tärkeä huomioida, että pukujen kerroksiin kertyy vuosien saatossa epäpuhtauksia, joita on hankala poistaa. Toisekseen toistuvien pesukertojen on todettu heikentävän kankaiden ominaisuuksia ajan saatossa. Kolmanneksi visuaalinen tarkastelu ei välttämättä kerro kaikkea puvun käyttökunnosta. Standardin suosituksista muun muassa pukujen elinkaaren pituudelle onkin käyty keskusteluja uusien päivityksien yhteydestä ja pohdittu tulisiko niitä jotenkin muuttaa (Stull ja Stull, 2022; Hogue ja Dolez, 2023.)

Valmistajat (Viking ja Lion) ohjeistavat pesemään palopuvut maksimissaan 60 °C lämpötilassa ja irrottamaan putoamissuojaimet. Pesuohjeissa sallitaan rumpukuivaus. Amerikkalainen standardi (NFPA 1851) puolestaan ohjeistaa pesemään asut maksimissaan 40 °C lämpötilassa ja sen lisäksi kuivausrummulle asetetaan omat kriteerinsä esimerkiksi G-voimien osalta. Haastattelututkimuksemme perusteella oli nähtävissä, että suurin osa laitoksista on ohjeistanut pesemään puvut 60 °C lämpötilassa. Ne laitokset, mitkä ohjeistivat olemaan irrottamatta integroituja putoamissuojaimia, pesivät paloasut 40 °C lämpötilassa. Haastattelututkimuksemme mukaan uudelleenkyllästystä teki vain harva vastanneista pelastuslaitoksista. Tällöinkin käsittely tehtiin esimerkiksi joka 30:s pesu. Palopuvut on erikoiskäsitelty veden läpäisyn estämiseksi. Tämän vuoksi valmistajista ainakin Viking ja Lion ohjeistavat uudelleenkyllästämään vaatteet uudelleen viiden pesun välein, jotta hyväksytty suojaustaso pysyy yllä.

Muiden välineiden osalta haastattelututkimuksen mukaan paineilmalaitteiden kasvo-osien käsinpesu on ylivoimaisesti yleisin pesumenetelmä, ja ruiskupesua käytettiin harvakseltaan lähinnä perusteellisemman vuosihuollon yhteydessä. Koska kasvo-osat tulee olla nopeasti käytettävissä uudelleen pesun jälkeen, käsinpesu tarjoaa tähän nopeimman ratkaisun. Lisäksi rumpu- ja ruiskupesumenetelmää ei ole järkevää käyttää yksittäisten kasvo-osien puhdistukseen. Lämpökamerat puolestaan puhdistetaan haastattelututkimuksen mukaan yleisimmin pintapyyhintänä, joko pintapuhdistusaineella tai valmiilla puhdistusliinoilla. Lämpökameravalmistaja Leader ohjeistaa puhdistamaan kamerat vedellä tai miedolla pesuaineella ja liinalla sekä välttämään happamia puhdistusaineita.



Työpaketti 2.

Osatyöpaketissa 2.1. mitattiin vesipesun tehokkuutta erilaisilla pesuohjelmilla (lämpötila 40°C ja 60°C) ja kuivaustekniikoilla (rumpu- ja kaappikuivaus) sekä siihen liitetyillä lisäkäsittelyillä vetyperoksidilla tai otsonilla.

Kokeellisessa osassa tutkimme palopukujen puhdistustehokkuutta vesipesussa. Pukujen altistamisen jälkeen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat korkeimmat pukujen keski- ja ulkokerroksissa. Tulokset olivat yhteneviä aikaisempien tutkimustuloksien kanssa (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018). Koska testaamamme puvut olivat käytettyjä ja poistoon päätyneitä, keskikerrokseen oli ajan saatossa kertynyt korkeimmat pitoisuudet, koska vesipesu ei puhdistanut niitä (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018). Keskikerrosten pitoisuudet altistamissamme palotakeissa olivat keskimäärin 230–1800 ng/cm². Verrattaessa tuota pitoisuutta sallittuun EU-komission uusille puvuille antamaan PAH-yhdisteiden sallittuun yhteispitoisuusraja-arvoon 10 mg/kg olivat yksittäiset yhteispitoisuudet jopa 13-kertaisia siihen verrattuna (EU-komissio, 2013). Määrällisesti tärkeimmät yksittäiset PAH-yhdisteet olivat fluoranteeni, fenantreeni ja pyreeni. Yksittäisille yhdisteille annettu raja-arvo 1 mg/kg puolestaan ylittyi keskimäärin muilla paitsi hyvin haihtuvilla metyyli-naftaleeneilla. Toiseksi suurimmat pitoisuudet mitattiin selän ja rinnan ulommista kerroksista ja niskan sisäkerroksesta, joissa pitoisuudet olivat keskimäärin 55–470 ng/cm². Takin sisäpuolelta mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin 4–190 ng/cm². Sisäpuolen matalat pitoisuudet osoittavat toisaalta sen, että käytetyt takit suojasivat edelleen käyttäjänsä erittäin hyvin PAH-yhdisteilta ja mitatut PAH-pitoisuudet täyttivät EU-komission raja-arvovaatimuksen puhtaalle sammutusasulle.

Tarkasteltaessa palotakin ulompia kerroksia selässä ja rinnassa sekä niskan sisäkerrosta niiden keskimääräinen puhdistustehokkuus oli 56 % vesipesussa. Tulos on hyvin linjassa aikaisemman tutkimuksen kanssa, jossa kaikkien kerrosten puhdistustehokkuus oli 40 % (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018). Lisänä aikaisempaan tutkimukseen vertasimme puhdistustehokkuutta 40 °C ja 60 °C lämpötiloissa sekä käytettäessä rumpu- tai kaappikuivausta. Puhdistustehokkuus 40 °C ja 60 °C lämpötiloissa käytettäessä kaappikuivausta oli 68 % ja 55 %. Vastaavasti 60 °C lämpötilassa ja rumpukuivauksella pesutehokkuus oli 42 %. Tuloksista nähdään, ettei lämpötilan nostaminen ollut ainut puhdistustehokkuuteen vaikuttava tekijä. Tulosta voi selittää se, että nykyaikaiset pesuaineet pesevät pyykin erittäin tehokkaasti myös matalissa lämpötiloissa. Toisaalta pesuraportista oli nähtävissä, että pesuvien lämpötila on tavoitearvossa vain 15 minuutin ajan koko pesuohjelman aikana. Pesukoneista johtuva vaikutus poistettiin pesemällä palotakkeja molemmilla koneilla eri lämpötiloilla. Rumpukuivauksen käyttäminen kuivausmenetelmänä ei myöskään lisännyt puhdistustehokkuutta, pikemminkin huononsi sitä. Yksi selitys tälle voisi olla se, että kuivausrumpuun kerääntyy ajan saatossa epäpuhtauksia, jotka vapautuessaan likaavat kuivatettavat vaatteet. Vastaavanlaisessa amerikkalaisessa tutkimuksessa testattavat kangaskappaleet altistettiin keinotekoisesti PAH-yhdisteille ja kangaspalat pestiin 40 °C vesipesussa. Pesun puhdistustehokkuus oli 69 %, joka on hyvin lähellä saamaamme tulosta (Girase ym., 2022).

Tutkimuksessa halusimme verrata vetyperoksidi- ja otsonointikäsittelyn vaikutusta palopukujen puhdistustehokkuuteen. Vesipesu vetyperoksidilisäkäsittelyllä antoi keskimäärin 61 % puhdistustehokkuuden ja otsonointikäsittelyllä vastaavasti 84 %. Vetyperoksidi lisäsi vesipesun puhdistustehokkuutta vain vähän, mutta otsonointikäsittelyllä vaikutus oli suurempi. Aikaisemmissa



tutkimuksissa otsonoinnin ja vetyperoksidikäsittelyn on todettu hajottavan PAH-yhdisteitä vain osittain ja osasta osittain hajonneista PAH-yhdisteistä syntyi vesiliukoisimpia oksi-PAH-yhdisteitä (Lucena ym., 2021). Oksi-PAH yhdisteiden pitoisuudet kohosivat selvästi vetyperoksidikäsittelyn jälkeen ja hieman nestemäisen otsonoinnin jälkeen. Otsonoinnin ja vesipesun pesutehokkuus oli huomompi oksi-PAH-yhdisteille kuin vastaaville PAH-yhdisteille, mikä saattaa myös viitata oksi-PAH-yhdisteiden syntyyn. PAH-yhdisteiden hajoamisprosessia voidaan parantaa pidemmällä käsittelyllä, jolloin ne eivät jää oksi-PAH-muotoon, vaan hajoavat pidemmälle (Lucena ym. 2021).

Kuten aikaisemmassa tutkimuksessa todettiin, pukujen keskikerrokset puhdistuvat huonosti PAH-yhdisteistä perinteisellä vesipesulla (Instituut Fysieke Veiligheid, 2018). Valitettavasti nyt testatuilla vesipesulla ja sen lisäkäsittelyillä päästiin parhaimmillaankin vain 30 % puhdistustehokkuuteen.

Määritimme PAH-yhdisteiden lisäksi palotakkien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ennen ja jälkeen otsonointikäsittelyn pintaemissionopeuksina ja laskimme myös niiden puhdistustehokkuudet. Parhaimmat puhdistustehokkuudet palopukujen otsonointikäsittelyn jälkeen olivat 2,6-dimetyyli-7-okteeni-2-olille 59 %, asetonille 50 % ja undekaanille 50 %. Muiden yhdisteiden puhdistustehokkuudet olivat huomattavasti huonommat tai käsittely ei purrut niihin laisinkaan. Vetyperoksidikäsittelyn puhdistustehokkuus oli parhaimmillaan alkoholiseosten (kp. 175–250 °C) osalta 94 %, bentsyylialkoholin 74 %, bentsaldehydin 65 % ja 1-butoksi-2-propanolin 54 %. Tulosten mukaan vetyperoksidikäsittely näyttäisi puhdistavani VOC-yhdisteitä palotakeista hieman otsonointia paremmin.

Osatyöpaketissa 2.2. mitattiin nestemäisen hiilidioksidin (LCO₂) ja otsonin (LO₃) puhdistustehokkuutta palopuvuille.

Tutkimuksessamme testasimme nestemäisen hiilidioksidin puhdistustehokkuutta omana menetelmänään. Nestemäisen hiilidioksidin keskimääräinen puhdistustehokkuus palotakin ulommille kerroksille ja niskan sisäkerrokselle oli keskimäärin 74 % ja pesutulokset olivat hyvin tasaisia, mikä viittasi tasaisen hyvään pesutulokseen. Vaikeasti puhdistettavien keskikerrosten puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille oli keskimäärin 84 %. Jos verrataan tuloksia muiden tutkimusryhmien tuloksiin niin amerikkalaisessa tutkimuksessa testattavat kangaskappaleet altistettiin keinotekoisesti PAH-yhdisteille ja ne puhdistettiin LCO₂-tekniikalla. Puhdistustehokkuudeksi saatiin 95 % (Girase ym., 2022). Myös puolalaisessa tutkimuksessa mitattiin puolalaisten palomiesten säännöllisesti tehtävillä käyttämien palotakkien PAH-yhdisteiden pitoisuuksia vesipesun ja nestemäisen hiilidioksidikäsittelyn jälkeen. Tutkimuksessa todettiin, että nestemäisen hiilidioksidin puhdistavan palotakit tehokkaammin verrattuna vesipesuun. Heidän saamiensa tulosten perusteella nestemäisellä hiilidioksidilla yksittäisten PAH yhdisteiden pitoisuudet olivat alle 20 % EU-komission raja-arvosta sallitulle PAH-yhdistepitoisuudelle 1 mg/kg (Szmytke ym., 2022).

Tutkimuksessamme nestemäinen hiilidioksidikäsittely osoitti myös oksi-PAH yhdisteille keskimääräistä 90 % puhdistustehokkuutta, joka oli merkittävästi parempi kuin millään muulla tekniikalla. Lisäksi nestemäisen hiilidioksidikäsittelyyn ei ole yhdistetty riskiä yhdisteiden puutteellisesta hajoamisesta käsittelyn aikana, joka voisi johtaa heterosyklisten PAH-yhdisteiden syntyyn.



Tutkimuksessa testasimme myös nestemäisen otsonoinnin puhdistustehokkuutta omana menetelmänään. Nestemäisen otsonoinnin puhdistustehokkuus oli keskimäärin 71 %. Vaikeasti puhdistettavien palopuvun keskikerrosten PAH-pitoisuuksien puhdistustehokkuus oli enimmillään 20 %. Oksi-PAH-yhdisteiden puhdistustehokkuus sen sijaan oli keskimäärin 2 %, joka oli huonompi kuin vastaaville PAH-yhdisteille. Tämä voi myös viitata oksi-PAH-yhdisteiden syntyyn pesuprosessissa.

Osatyöpaketissa 2.3 mitattiin ruiskupesun ja pyykinpesukoneessa tehdyn rumpupesun puhdistustehokkuutta paineilmahengityksensuojainten maskeille.

Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien pesumenetelmistä niiden puhdistustehokkuutta verrattiin rumpu-, ruisku- ja käsinpesun osalta. Tulokset osoittivat, että PAH-yhdisteiden puhdistustehokkuus rumpupesun jälkeen oli 94 %, käsinpesun 85 % ja ruiskupesun 75 %. Maininnan arvoista oli myös, että rumpupesukoneen pesutulos oli hyvin tasainen ja siinä ei ollut vaihtelua. Rumpupesumenetelmä tarjoaa uuden mahdollisuuden kasvo-osien puhdistamiseen, koska lähes jokaisella pelastuslaitoksella on jo teollisuuspesukoneet olemassa, joihin on mahdollista ohjelmoida rumpupesuohjelman.

Osatyöpaketissa 2.4 mitattiin pintapyyhinnän ja pintapyyhintään yhdistetyn vetyperoksidikäsittelyn tai suojapussien rumpuvesipesun puhdistustehokkuutta lämpökameroille.

Lämpökameroiden ja niiden suojapussien osalta testasimme ensimmäisessä kokeessa pintapyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn vaikutusta niiden puhdistumiseen. Pintapyyhinnän puhdistusteho oli vähäinen Loctiten pintapyyhintäliinalla, ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet eivät vähentyneet lämpökameran pinnalla. Pyyhinnän jälkeen tehty vetyperoksidikäsittely nosti yhteispuhdistustehokkuuden 60 %. Vetyperoksidikäsittelystä määritettiin myös VOC-yhdisteiden puhdistustehokkuudet. Vetyperoksidikäsittely näytti puhdistavan tehokkaasti mitattuja VOC-yhdisteitä.

Toisessa testissä testasimme pintapyyhinnän ja lämpökameran suojapussin rumpuvesipesun vaikutusta lämpökameroiden puhdistumiseen. Pintapyyhinnän puhdistusteho oli vähäinen De-Wipen pintapyyhintäliinalla, ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet eivät vähentyneet lämpökameran pinnalla. Pyyhinnän ja kameran suojapussin rumpuvesipesu yhdessä nostivat pesutehokkuuden 91 %.

Työpaketti 3.

Arvioitiin varustehuollon kustannustehokkuutta edellä testatuilla puhdistusmenetelmillä:

Vesipesun kustannukset syntyvät käytetyn veden (5 €/m³), pesuaineiden (0,4 €/pesu), sähkön (10 senttiä/kWh) ja vuosihuollon (500 €/v) kokonaisuudesta. Jos vuodessa pestään vähintään yksi sammutusasu per päivä ja jokainen niistä erikseen, maksaa vesipesu noin 2,6 euroa per palopuku.

Otsonikäsittelyn kustannuksiin vaikuttavat sen sähkönkulutus (0,03 kWh per käsittely) ja vuosihuolto (550 €/v). Jos kaapilla otsonoidaan vähintään yksi sammutusasu per päivä ja jokainen niistä erikseen, maksaa yhden palopuvun käsittely 1,5 euroa. Tähän on lisättävä tarvittava vesipesu ja kuivaus kuivaushuoneessa ennen otsonointikäsittelyä. Näin ollen yhden sammutusasan käsittelyhinaksi vesipesun ja otsonoinnin jälkeen tulee 4,1 euroa per puku.



Vetyperoksidikäsittelyä ei ainakaan toistaiseksi voi suorittaa itsenäisesti pelastuslaitoksilla, vaan asut lähetetään palvelua tarjoavaan Xhome -yhtymään, joka määritteli käsittelyn hinnan ostopalveluna. Yhden palopuvun puhdistus molemmiin puolin on 63 € per palopuku. Käsittelyyn mahtuu useampia palopukuja samanaikaisesti, jonka vuoksi hinta muovautuu luonnollisesti hieman edullisemmaksi, mikäli samalla kerralla puhdistukseen tulevien pukujen määrä on suurempi.

Pukujen pesua **nestemäisellä hiilidioksidilla** ei ainakaan toistaiseksi ole Suomessa saatavilla, mutta Euroopan alueella on useampi laitos, joka tekee pesuja ostopalveluna. Testeissä käytimme belgialaisen Decontex Benelux NV:n pesupalvelua. Puvut on mahdollista lähettää postitse ja puhtaat puvut tulevat takaisin noin viikossa. Decontex määrittelee pesuhinnaksi noin 68 € per asukokonaisuus eli samaan hintaan pesula käsittelee tarvittaessa puvun lisäksi myös koko muun varustesetin hanskoista kypäriin sisältäen puvun tarkistuksen.

Nestemäisen otsonipesua ei ainakaan toistaiseksi voi suorittaa itsenäisesti pelastuslaitoksilla, vaan asut lähetetään palvelua tarjoavaan Itä-Suomen tekstiilihuoltoon, joka määritteli käsittelyn hinnan ostopalveluna. Yhden palopuvun puhdistus on 16–20 € per palopuku, jos ne pestään koneessa yksitellen.

Työpaketti 4.

Hankkeessa tuotetaan pelastuslaitoksille ja Pelastusopistolle konkreettista tietoa käytettävien pesutekniikoiden toimivuudesta sekä koulutusmateriaalia toimivimmista ja kustannustehokkaimmista huoltokonsepteista käytännön työhön.

Varusteiden puhdistamisprosessit alkavat jo palopaikalta, jossa likaantuneet varusteet pussitetaan itsesulaviin pusseihin niiden likaantumistasen ja niiden tarvitsemien pesumenetelmien mukaisesti. Erikoistapauksissa, kuten esimerkiksi asbestialtistumisepäilyissä varusteet toimitetaan asbestivarusteiden pesuun perehtyneisiin tekstiililiiton alaisiin pesuloihin asbestitarralla merkattuna. Muut varusteet kuljetetaan paloasemalle huoltoon erillään miehistötilasta ja pelastajat vaihtavat puhtaat varusteet paluumatkalle jo tilannepaikalla. Itsesulavat pussit siirretään suoraan pesukoneisiin. Likaiset palopuvut pestään yksi kerrallaan pesukoneessa, jossa on esipesuohjelma viritettynä siten, että itsesulavat pussit sulavat esipesussa ja varsinainen pesu käynnistyy mahdollisimman nopeasti. Pesemällä palopuvut yksi kerrallaan, estetään varusteiden ristiin likaantuminen pesun aikana. Putoamissuojaimet tulee olla poistettu tilannepaikalla palopuvusta, jotta varmistetaan mahdollisimman hyvä pesutehokkuus. Käytetyn pesukoneen pesuaineiden annostelulaitteistot on huollettava säännöllisesti pesun onnistumisen varmistamiseksi. Lisäksi itse koneen vuosihuollosta on huolehdittava.

Palotakkien ulompien kerrosten vesipesun puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille oli keskimäärin 56 %, mutta keskikerroksissa se putosi enintään 30 %. Sen lisäksi tulokset osoittivat vesipesun toimivan huominkin oksi-PAH yhdisteille takin keskikerroksissa, joka voi viitata pesukäsittelyn tuottavan niitä lisää hapettavan pesuainekäsittelyn seurauksena.

Lisäkäsittelyistä vetyperoksidi paransi vain hieman vesipesun tulosta yhteisen puhdistustehokkuuden ollessa 61 % palopuvun ulommille kerroksille ja niskan sisäkerrokselle. Sen sijaan keskimmäisten kerrosten osalta puhdistustehokkuus oli enintään 18 %. Tulosten mukaan vetyperoksidikäsittely myös lisäsi oksi-PAH yhdisteitä käsittelyn jälkeen.



Toisessa vesipesun lisäkäsittelyssä otsonointi osoitti merkittävästi vähentävän palotakin ulompien kerrosten PAH-yhdisteitä yhteisen pesutehokkuuden ollessa 84 %. Keskipölykerroksissa sen sijaan jäätettiin enimmillään 31 % puhdistustehokkuuksiin. Oksi-PAH-yhdisteiden osalta päästiin palotakin ulko- ja keskipölykerroksissa puhdistustehokkuuksissa enimmillään 43 %, joka oli merkittävästi huonompi kuin varsinaisille PAH-yhdisteille. Tämä saattaa viitata myös siihen, että oksi-PAH yhdisteitä muodostuu jonkin verran myös otsonoinnissa.

Nestemäisen hiilidioksidikäsittelyn puhdistustulos palotakin ulommissa kerroksissa ja niskan sisimmässä kerroksessa oli 74 %. Sen sijaan keskipölykerroksissa päästiin 85 % puhdistustulokseen, joka oli ylivoimainen muihin menetelmiin verrattuna. Pesutulokset olivat myös hyvin tasaisia eri kerroksissa. Lisäksi keskimääräinen oksi-PAH yhdisteiden puhdistustehokkuus oli 90 % palotakin keskipölykerroksista, joka myös oli merkittävästi parempi muihin tekniikoihin verrattuna.

Nestemäisen otsonoinnin pesutehokkuus palotakin uloimpiin kerroksiin oli 71 %, mutta keskipölykerroksissa jäätettiin enimmillään 20 % puhdistustehokkuuksiin. Oksi-PAH-yhdisteiden puhdistustehokkuus sen sijaan oli keskimäärin 2 % eli merkittävästi huonompi kuin vastaaville PAH-yhdisteille, joka voi viitata oksi-PAH-yhdisteiden syntymiseen pesuprosessin aikana.

Hengityssuojaimien kasvo-osien pesutesteissä tehokkaimmaksi osoittautui rumpupesä 94 %, seuraavaksi käsinpesä 85 % ja kolmanneksi tuli ruiskupesä 75 % puhdistustehokkuudella.

Lämpökameroiden osalta parhaiten puhdisti pyyhinnän (De-Wipe) ja suojapussin rumpupesä yhteistulos, jolloin yhteinen pesutehokkuus oli 91 %. Toisessa testissä pyyhinnän (Loctite) ja vetyperoksidikäsittelyn yhteistulos oli 60 %. Pelkällä pyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi molemmissa tapauksissa, koska suojapussin materiaali oli niin huokoinen. Rumpupesä ja pintapyyhinnän (De-Wipe) yhteistulos 91 % osoitti kuitenkin, että pintapyyhinta toimi hyvin kameran näytön puhdistuksessa.

Hankkeessa tuotettiin myös koulutuspaketit suomeksi ja ruotsiksi pelastuslaitoksille ja Pelastusopistolle. Hankkeessa tuotettiin myös posterit hankkeen tulosten esittelyn tueksi.



10 Suositukset

1. Likaantuneet varusteet ja putoamissuojaimet on riisuttava jo tilannepaikalla sekä paketoitava mielellään itsesulaviin pusseihin. Varusteet kuljetetaan varustehuoltoon erillään miehistötilasta ja ne tulisi siirtää pesukoneisiin itsesulavissa pesupusseissa. Varusteet on pestävä mahdollisimman nopeasti niiden likaannuttua, jolloin voidaan vähentää epäpuhtauksien pinttymistä varusteisiin.
2. Hyvä pesutehokkuus edellyttää pesukoneiden säännöllistä huoltoa niin koneen kuin sen pesuaineiden annostelulaitteenkin osalta. Esipesuohjelma on tärkeä itsesulavien pussien avautumisen varmistajana, jotta varsinainen pesu pääsee nopeasti käyntiin. Ristiin likaantumisen ehkäisemiseksi suosittelemme pesemään yhden palopuvun kerrallaan ja lajittelemaan pyykin sen likaisuuden perusteella. Palopuvut, väliasut ja alusasut pestään eri pesuissa.
3. Vesipesu on tärkein pesuteknikka varusteiden puhdistuksessa, mutta testeissä sen puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille ulommissa palopuvun kerroksissa oli keskimäärin 56 %. Testien mukaan suurempi 60 °C lämpötila ei lisännyt pesutehokkuutta, kuten ei rumpukuivauskaan. Vesipesu ei puhdistanut palopuvun keskikerroksia. Sen pesutehokkuus oksi-PAH yhdisteille oli huonompi kuin vastaaville PAH-yhdisteille, joka viittaa oksi-PAH-yhdisteiden muodostumiseen hapettavan pesutapahtuman aikana. Tulosten perusteella vesipesussa 40 °C pesulämpötila riittää ja kuivauksessa lämpökaappikuivaus tai kuivaushuone toimivat hyvin.
4. Lisäkäsittelyistä vetyperoksidin lisävaikutus palotakin ulompien kerrosten puhdistustehokkuuteen oli noin 12 %. Sen pesutehokkuus palopuvun keskikerrokseen oli huono ja käsittely tuotti varusteisiin lisää oksi-PAH-yhdisteitä. Emme suosittele vetyperoksidikäsittelyä palopuvuille PAH-yhdisteiden puhdistamiseen.
5. Lisäkäsittelyistä otsonointi lisäsi vesipesun puhdistustehokkuutta palotakin ulkokerroksissa merkittävästi noin 40 %. Sen sijaan otsonoinnin ja vesipesun yhteispuhdistustehokkuus oli enintään 31 % palopuvun keskikerroksissa. Myös oksi-PAH-yhdisteiden puhdistustehokkuus 26 % palotakin ulommista ja keskikerroksista oli keskimäärin selvästi pienempi kuin vastaaville PAH-yhdisteille. Tämä viittaisi myös mahdolliseen oksi-PAH yhdisteiden muodostumiseen otsonointikäsittelyssä, jonka vuoksi käsittelyn on oltava riittävän pitkä PAH-yhdisteiden kemialliselle hajoamisprosessille. Lisäksi varusteet on tuuletettava otsonikäsittelyn jälkeen hyvin. Ei toivottujen reaktioiden estämiseksi palopukujen on oltava ennen otsonointikäsittelyä myös erittäin kuivia. Suosittelemme varauksella otsonikäsittelyä käsittelyssä mahdollisesti syntyvien oksi-PAH-yhdisteiden muodostumisen vuoksi.
6. Palopukujen puhdistaminen LCO₂-tekniikalla osoitti 74 % puhdistustehokkuutta ulommille kerroksille, mutta erityisen hyvin se puhdisti palopuvun keskikerroksen saavuttaen enimmillään 85 % puhdistustehokkuuden. Lisäksi sen oksi-PAH yhdisteiden puhdistustehokkuus palopuvun keskikerroksista oli 90 %. Jotta pukujen ominaisuudet



säilyisivät ja niiden käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä, suosittelimme nestemäistä hiilidioksidikäsittelyä vähintään kerran vuodessa palopuvun sisäkerrosten puhdistumisen ja toimivuuden varmistamiseksi. Tehostettua pesua suositellaan myös NFPA 1851 standardissa puolen vuoden välein tai erityisen haastaville kemikaaleille altistuneille palopuvuille.

7. Nestemäisen otsonoinnin puhdistustehokkuus palopuvun ulommille kerroksille oli 71 % ja keskikerroksissa se oli keskimäärin 20 %. Oksi-PAH-yhdisteiden puhdistustehokkuus palopuvun keskikerroksista oli myös huonompi kuin vastaaville PAH-yhdisteille, joka viittaisi myös mahdolliseen oksi-PAH yhdisteiden muodostumiseen otsonointikäsittelyssä. Suosittelemme varauksella otsonikäsittelyä käsittelyssä mahdollisesti syntyvien oksi-PAH-yhdisteiden muodostumisen vuoksi.
8. NFPA 1851 standardi määrittelee palopuvun elinkaareksi maksimissaan 10 vuotta valmistuspäivästä lukien. Kuitenkin esimerkiksi heijastavat pinnat tulisi vaihtaa viimeistään 5 vuoden kuluttua ja lisäksi palopukujen kunto on säännöllisesti tarkastettava.
9. Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien ylivoimaisesti yleisin puhdistustapa on käsin puhdistus, joka osoitti 85 % puhdistustehokkuutta. Tehokkain tapa oli rumpuvesipesu teollisuuspesukoneessa osoittaen 94 % puhdistustehokkuutta. Ruiskupesulla päästiin myös 75 % pesutehokkuuteen. Suosittelemme ensisijaisesti käsinpesua ja rumpupesua kasvo-osien puhdistamiseen.
10. Lämpökameroiden ja niiden suojapussien puhdistamiseen kokeilimme ensimmäisessä testissä Loctiten pintapuhdistusliinaa ja yhdistimme siihen vetyperoksidikäsittelyn. Yhdistelmän puhdistustehokkuus oli 60 %. Myös VOC-yhdisteiden häviäminen vetyperoksidikäsittelyssä osoitti menetelmän olevan hyvä poistamaan myös palossa tulleita palojämiä. Pelkällä pintapyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi. Suosittelemme kyseistä yhdistelmäpuhdistusta lämpökameroiden ja niiden suojapussien puhdistamiseen.
11. Lämpökameroiden ja suojapussien puhdistamiseen kokeilimme toisessa testissä De-Wipen pintapuhdistusliinaa ja yhdistimme käsittelyyn lämpökameran suojapussin rumpuvesipesun. Yhdistelmän puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille oli 91 %. Pelkällä pintapyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi. Suosittelemme kyseistä yhdistelmäpuhdistusta lämpökameroiden puhdistamiseen.

Lähteet

Andersson, J. and Achten, C. (2015). Time to Say Goodbye to the 16EPA PAHs? Toward an Up-to-Date Use of PACs for Environmental Purposes. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 35:330–354. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/10406638.2014.991042?src=getfttr>

Barbut, F., Menuet, D., Verachten, M., and Girou, E. (2009). Comparison of the efficacy of a hydrogen peroxide dry-mist disinfection system and sodium hypochlorite solution for eradication of clostridium difficile spores. *Infection Control & Hospital Epidemiology* 30, 6:507-514. <https://www.cambridge.org/core/journals/infection-control-and-hospital-epidemiology/article/comparison-of-the-efficacy-of-a-hydrogen-peroxide-drymist-disinfection-system-and-sodium-hypochlorite-solution-for-eradication-of-clostridium-difficile-spores/4F68A8E7D7376EB3675DDECA5CA8AA5E>

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*. 1999;159:119-24.

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.

Cleamix. (2022). User Manual VCS-20M Decontamination Unit. <https://cleamix.com/wp-content/uploads/2020/10/User-Manual-for-VCS-20M-sw-Mi-2.6-vs-1.0.pdf>

Decontex. (2022). <https://decontex.com/deco2fire/>

Demers, P.A., et al., (2022). Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter. *Lancet Oncol*. S1470–2045 (22) [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00390-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00390-4), 00390-00394

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.

ECDC Technical Report (2020). Infection prevention and control for COVID-19 in healthcare settings - first update. 12th March 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/COVID-19-infection-prevention-and-control-healthcare-settings-march-2020.pdf>

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. *Environ. Health Perspect.* 111, 1906–1911

Emerging technologies. (2023). Commercial CO2 Washing Machines. Washington state university. <http://e3tnw.org/ItemDetail.aspx?id=512>

EU Komissio. (2013) Asetus 1272/2013, kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1907/2006 (REACH) liitteen XVII muuttamisesta polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen osalta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1272>

Everaert S, Schoeters G, Claes K, Raquez J-M, Buffel B, Vanhaecke T., Moens J., Laitinen J., Van Larebeke N, and Godderis L. (2023). Balancing Acute and Chronic Occupational Risks: The Use of Nitrile Butadiene Rubber Undergloves by Firefighters to Reduce Exposure to Toxic Contaminants. *Toxics* 11(6), 534; <https://doi.org/10.3390/toxics11060534>

Fent, KW., Eisenberg J., Evans, D., Sammons D., Robertson, S., 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.

Fent, KW., Toennis, C., Sammons, D., Robertson, S., Bertke, S., Calafat, AM., Pleil, JD., Geer Wallace, AM., Keber, S., Smith, D., Horn, GP. (2019). Firefighters' absorption of PAHs and VOCs during controlled residential fires by job assignment and fire attack tactic. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology.* <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0145-2>

Fijan S., Skerget M., Knez Z., Sostar-Turk S., Neral, B. (2011) Determination the disinfection of textiles in compressed carbon dioxide using various indicator microbes. *Journal of Applied Microbiology* 112, 475- 484.

Freeman, P. (2015). How do I clean my protective coat and trouser? NVFC. <https://fasny.com/resources/wellness/articles/clean-protective-coat-trouser/>

Girase, A., Thompson, D., Ormond, R. (2022) Comparative analysis of the liquid CO₂ washing with conventional wash on firefighters' personal protective equipment (PPE).

Grosse I, Huetter B, Hartmann I, Binde G, Gruber H, Kurz G, (1998). Asbestos on textile: Is there an endangering during washing and wearing? *Journal of Hazardous Materials*, A:63:119-130. [Textiles | Free Full-Text | Comparative Analysis of the Liquid CO₂ Washing with Conventional Wash on Firefighters' Personal Protective Equipment \(PPE\) \(mdpi.com\)](#)

Health & Safety Laboratory (2002). Investigation into the effective laundering of Towels and coveralls used for asbestos work. Environmental Measurement Group HSL/2002/22, Sheffield. http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=16&ved=2ahUKEwix7-LJIHgAhVDfiwKHbEtBF4QFjAPegQIBhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.hse.gov.uk%2Fresearch%2Fhsl_pdf%2F2002%2Fhsl02-22.pdf&usg=AOvVaw370RvZvDT4YWtlx_b74j1t

Hoque, S., Dolez, P. (2023). Aging of high-performance fibers used in firefighters' protective clothing: State of the knowledge and path forward. *Journal of applied polymer science.* 140 (32) <https://doi.org/10.1002/app.54255>

Hygio Oy. (2023). <https://hygio.fi/desinfiointiteknologia/>

Hygio Oy. Käyttöohje a40 Medi. (2021). <https://hygio.fi/wp-content/uploads/2021/03/Hygio-a40-Medi-Kayttoohje-3-21-FIN.pdf>

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

IARC (2022). IARC monographs evaluate the carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter. 1 July 2022. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-evaluate-the-carcinogenicity-of-occupational-exposure-as-a-firefighter/>

Idowu, A., Semple, K., Ramadass, K., O'Connor, W., Hansbro, P., Thavamani P. (2019). Beyond the obvious: Environmental health implications of polar polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environment International* 12:543-557. [Beyond the obvious Environmental health implications of polar polycyclic aromatic hydrocarbons \(sciencedirectassets.com\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167636919300011)

Instituut Fysieke Veiligheid (2018). Exposure to smoke. An overview report of the studies to the exposure routes, contamination and cleaning of the turn-out gear and the skin barrier function. Report to Brandweer Nederland from the Instituut Fysieke Veiligheid, Zoetermeer. [20180821-IFV-Exposure-to-smoke.pdf \(nipv.nl\)](https://www.nipv.nl/publicaties/20180821-IFV-Exposure-to-smoke.pdf)

Intertek. (2014). Germany – New PAHs Requirement for Products with German GS Mark. <https://www.intertek.com/consumer/insight-bulletins/new-pahs-requirements-for-gs-mark-products/>

Laitinen, J., Mäkelä, M., Mikkola, J., Huttu, I. (2010). Firefighting 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. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=112091#materials>

Laitinen J, Lindholm H, Aatamila M, Hyttinen S, Karisola P. (2016) Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa toiminnassa. Raportti Palosuojelurahastolle ja Työsuojelurahastolle. Tietoa Työstä –sarja, Työterveyslaitos Helsinki. ISBN 978-952-261- 644-9 (pdf), ISBN 978-952-261-645-6. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=113080#materials>

Laitinen J., Lindström A., Jumpponen, M., Lallukka, H., Hassinen, M. (2019). Asbestille altistuneiden työvaatteiden varustehuollon toimivuuden testaaminen. Raportti Työsuojelurahastolle. Tietoa työstä -sarja. Työterveyslaitos Helsinki. ISBN 978-952-261-857-3 (pdf), ISBN 978-952-261-856-6. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=117083#materials>

Lamminpää, J. (2012). Pelastushenkilöstön altistusten vähentäminen haitallisille aineille. Opinnäytetyö. Pelastusopisto. https://pelastustieto.fi/wpcontent/uploads/2015/05/Lamminpaa_altistuminen_AP34_2012.pdf

LeMasters, G.K., Genaidy, A.M., Succop, P., Deddens, J., Sobehi, T., Barriera-Viruet, H., Dunning, K., Lockett, J. (2006). Cancer risk among firefighters: a review and meta-analysis of 32 studies. *Journal of occupational and Environmental Medicine* 48 (11), 1189–1202

Lioninternational. Lion care instructions.
https://www.lioninternational.com/fileadmin/LION/Downloads/Care_instructions_EN.pdf

Lucena, M., Zapata, F., Mauricio, F., Ortega-Ojeda F., Quintanilla-López, F., Weber, I., Montalvo, G. (2021). Evaluation of an Ozone Chamber as a Routine Method to Decontaminate Firefighters' PPE. International Journal of environmental Research and Public Health. 18(20): 10587.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8536115/>

Madsen S., Normile-Elzinga E., Kinsman R. (2014). CO₂ - Based cleaning of commercial textiles. The World's First CO₂ Solution for Cleanroom Textiles. Final report for California Energy Commission from CO₂Nexus Inc. March 2014 CEC-500-2014-083. <https://ww2.energy.ca.gov/2014publications/CEC-500-2014-083/CEC-500-2014-083.pdf>

Maunu, P. (2019). The Future of Bio-decontamination & Sterilization. Blogi kirjoitus. Vaisala <https://www.vaisala.com/en/blog/2022-12/vaporized-hydrogen-peroxide-h2o2-vs-vaporized-ethylene-oxide-eto>

NFPA 1851 (2020): Standard on Selection, Care, and Maintenance of Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting. NFPA

OEKO-TEX. (2021). Limit values and fastness parts 1-5 in Annexes 4 and 5. https://www.oeko-tex.com/importedmedia/downloadfiles/STANDARD_100_by_OEKO-TEX_R_-_Limit_Values_and_Individual_Substances_According_to_Appendices_4_5_en.pdf

Ozone Technologies (2021) <https://www.ozonetechnologies.com.au/>

Peltola, L. (2022). Pelastustoimen haasteet ASA-rekisteröinnissä. Työn syöpävaarallisuus koskettaa myös pelastustoimea, miksi heidän ASA-rekisteröintinsä ei etene? Poliisiammattikorkeakoulun opinnäytetyö/AMK, Pelastusalan päällystötutkinto 11/2022. [Pelastustoimen haasteet ASA-rekisteröinnissä \(theseus.fi\)](https://pelastustoimen-haasteet-asa-rekisteroinnissa.theseus.fi)

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/oemed-2013-101803.

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

Sallanko, J. (2003). Otsoni ja vetyperoksidi pohjaveden puhdistuksessa. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio. Oulun yliopisto. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514270487.pdf>

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

Stull, J., Stull, G. (2022) Your questions answered: Gear Up for Changes – What's Ahead for NFPA 1971. <https://www.ppe101.com/2022/12/your-questions-answered-gear-up-for-changes-whats-ahead-for-nfpa-1971/>

Szmytko, E., Brzezinska, D., Machnowski, W., Kokot, S. (2022). Firefighters' protective clothing – water cleaning method vs liquid CO2 method in aspect of efficiency. *Architecture civil engineering environment*. 2/2022.

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

Taeger D, Koslitz S, Käfferlein H, Pelzl T, Heinrich B, Breuer D, Weiss T, Harth V, Behrens T, Brüning T. (2023) Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons assessed by biomonitoring of firefighters during fire operations in Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 248, 114110

Vaisala. (2020). Kosteusmittaukset höyrystynyttä vetyperoksidia käyttävissä biodekontaminaatio-ovelluksissa. Sovelluskuvaus.

<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-GLO-EN-H2O2-Humidity-measurements-and-hydrogen-peroxide-B212110FI.pdf>

Wang, W., Jariyasopit, N., Schrlau, J., Jia, Y., Tao, S., Yu, T.W., Dashwood, R., Zhang, W., Wang X., and Simonich, S. (2011) Concentration and Photochemistry of PAHs, NPAHs, and OPAHs and Toxicity of PM2.5 during the Beijing Olympic Games. *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 16, 6887–6895.

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>

Viking-Life. Viking fire-käyttöopas. [https://mediacache4.viking-life.com/fe/da/1d60-15f7-4dd3-9524-913277ed7cbe/viking%20ps10_62_66_70_80_84%20\(1066623%200117\).pdf](https://mediacache4.viking-life.com/fe/da/1d60-15f7-4dd3-9524-913277ed7cbe/viking%20ps10_62_66_70_80_84%20(1066623%200117).pdf)

VNa 1267/2019. (2019) Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191267>

Weeter, D. (2017). The science of ozone laundry systems. *Water conditioning & purification international magazine*. <https://wcponline.com/2017/08/15/science-ozone-laundry-systems/>

Witter, A. ja Nguyen, M. (2016). Determination of oxygen, nitrogen, and sulfur-containing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban stream sediments. *Environmental Pollution*, 209:186-196.



Liitteet

Liite 1: Tiedote tutkimuksesta ja suostumus aineiston keräämiseen

Tutkija Juha Laitinen
Pelastusopisto
+358 50 3089 302
juha.laitinen@pelastusopisto.fi

Pelastusjohtaja xxx
xxx pelastuslaitos

TIEDOTE TUTKIMUKSESTA

Pelastusopiston tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiopalvelut koordinoi **SAVE -Varusteiden ja kaluston puhdistus- ja desinfiointimenetelmien arviointi ja kehittäminen – tutkimushanketta**. Palomiehet altistuvat savusukelluksessa, sammutustyössä, tulipalojen raivaustöissä sekä harjoituksissa kemiallisille yhdisteille, ärsyttävillä kaasuilla sekä pitkäaikaisvaikutuksia aiheuttaville aineille, kuten syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille. Lisäksi palomiehet voivat altistua myös biologisille altisteille; kuten viruksille, bakteereille ja sienille. Etenkin COVID-19 pandemian aikana biologisten haittatekijöiden hallinta on noussut entistä tärkeämpään rooliin kaluston ja varusteiden huollossa.

Hankkeessa tarkastellaan perinteisen vesipesun tehokkuuden parantamista pesu- ja kuivausohjelmia optimoimalla ja lisäämällä prosessiin mahdollisesti uusia tekniikkoja, kuten vetyperoksidi- ja otsonointikäsittelyä. Aivan uusista puhdistusmenetelmistä tarkastellaan nestemäisen hiilidioksidin käyttökelpoisuutta sammutusasujen puhdistuksessa. Menetelmien puhdistus- ja desinfiointitehokkuuden lisäksi tarkastelemme niiden kustannustehokkuutta.

Yksi osa tätä tutkimushanketta on selvittää pelastuslaitosten tämänhetkiset sammutusasujen, paineilmalaitteiden, elektronisten laitteiden pesutekniikat, huoltokonseptit sekä desinfiointikäytännöt haastattelututkimuksella.

Haluaisimme haastatella pelastuslaitoksen varusteiden huollosta vastaavaa henkilöä. Haastattelu on yksinkertainen strukturoitu haastattelu, ja vastausten pohjalta tuotetaan yhteenvedon kysytyistä asioista. Haastattelut käsitellään luottamuksellisesti. Haastattelut toteutetaan Teams-kokouksena tai vaihtoehtoisesti puhelimitse. Tallennettuja haastatteluja käytetään vain tähän tutkimukseen, ja niitä käsittelee vain haastattelija (tutkimusapulainen) sekä tutkijat, eikä niitä luovuteta muille osapuolille. Haastattelut poistetaan analysoinnin jälkeen. Henkilötietoja ei kerätä.

Hankkeen vastuullisena johtajana toimii tutkimusjohtaja Jarno Ruusunen, projektipäällikkönä tutkija Juha Laitinen. Tutkijana toimivat Juha Laitinen ja erikoistutkija Marko Hassinen sekä tutkimusapulaisena Riikka Salmi. Tutkimuksen rahoittaa Palonsuojelurahasto.



Pyydämme teiltä tutkimuslupaa ja suostumusta aineiston keruuta varten ja liitteenä on haastattelussa läpikäytävä haastattelurunko.

Yhteistyöterveisin,

Juha Laitinen
Tutkija
+358 50 3089 302
juha.laitinen@pelastusopisto.fi

Riikka Salmi
Tutkimusapulainen
+358 50 567 6830
riikka.salmi@pelastusopisto.fi

Liite 1. Haastattelurunko

SUOSTUMUS AINEISTON KERÄÄMISEEN xxx PELASTUSLAITOKSELLA SAVE - Varusteiden ja kaluston puhdistus- ja desinfiointimenetelmien arviointi ja kehittäminen -tutkimushankkeelle.

Olen lukenut ja ymmärtänyt saamani kirjallisen tutkimustiedotteen. Tiedotteesta olen saanut riittävän selvityksen tutkimuksesta ja sen yhteydessä suoritettavasta tietojen keräämisestä, käsittelystä ja luovuttamisesta. Tiedotteen sisältö on kerrottu minulle myös suullisesti, minulla on ollut mahdollisuus esittää kysymyksiä ja olen saanut riittävän vastauksen kaikkiin tutkimusta koskeviin kysymyksiini.

Suostumme siihen, että tutkimusryhmä haastattelee pelastuslaitoksemme puhdistusmenetelmistä vastaavaa henkilöä tämänhetkistä sammutusasujen, paineilmalaitteiden ja elektronisten laitteiden huoltokonsepteista sekä desinfiointikäytännöistä.

Allekirjoituksellani vahvistan osallistumisemme tähän tutkimukseen

Pelastuslaitoksen edustaja

Pelastuslaitos

Titteli ja nimi



Liite 2. Haastattelurunko

SAVE- TUTKIMUS, HAASTATTELURUNKO

1. KÄYTÄNNÖT

- Kuinka sammutusasu vaihdetaan/riisutaan palopaikalla?
- Kuinka käytetty sammutusasu eristetään, paketoitako vai pakataanko esimerkiksi sulavaan pesupussiin?
- Kuinka käytetyt sammutusasut kuljetetaan palopaikalta, kuljetetaanko se pakattuna erillisessä tilassa vai miehistötilassa?
- Jos tehtävällä on altistuttu asbestille, kuinka varusteiden kanssa toimitaan? Kuinka vaatteet eristetään? Pestäänkö vaatteet vai kuinka niiden kanssa menetellään?

2. PESUKÄYTÄNNÖT

- Millaisia suojaimia käytetään sammutusasujen, letkujen ym. pesussa? Essut, hanskat, hengityssuojaimet?
- Onko käytössä teollisuuspesukone, niin sanottu kiinteistöpesukone vai tavallinen kuluttajamalli?
- Pestäänkö sammutusasut joka asemalla vai onko pesetys keskitetty yhdelle asemalle? Käytetäänkö ulkopuolisia pesupalveluja?
- Pestäänkö asu kerrallaan vai ns. täysi koneellinen?
- Kuinka eritavoin ja eriasteisesti likaantuneet asut pestään? Laitetaanko kaikista vähiten/eniten likaantuneet samaan koneeseen?
- Pestäänkö eri käyttötarkoitusta olevat asut samassa koneessa vai erikseen (esim. alusasut, sammutusasut, hanskat jne.)?
- Käsitelläänkö samassa tilassa sekä puhtaita että likaisia vaatteita?
- Kuinka usein asut pestään? Millä kriteereillä pesuväli on määritelty?
- Mikä on sammutusasujen ”elinkaari”? Missä kohtaa/monenko pesun jälkeen sammutusasu päättyy hävitykseen?

3. PESUOHJELMAT

- Mikä pesuohjelma on käytössä? Tehdäänkö esipesu? Millainen huuhtelu? Varsinainen pesu?
- Missä lämpötilassa sammutusasut pestään? 40 vai 60 °C vai joku muu, mikä?
- Mikä pesuaine käytössä, annostellaanko itse vai onko automaattinen annostelija?
- Irrutetaanko putoamissuojaimet ennen pesua? (eivät kestä kuumia pesulämpötiloja) Pestäänkö samassa vai erikseen?
- Millä menetelmällä asut kuivataan? Tunnelikuivaus, kuivaushuone, rumpukuivaus?
- Onko kuivausrummusta kohdepoistoa pölyn osalta (esim. asbesti tms.)?
- Tehdäänkö asuille muita käsittelyjä, esimerkiksi impregnointi? Jos niin millä aineilla?
- Onko otsonointia käytössä? Millaisia kokemuksia?



4. MUUT LAITTEET (PAINEILMALAITE/KASVO-OSA, LÄMPÖKAMERA, LETKUT)

- Kuinka paineilmalaitteen kasvo-osa pestään, ruiskupesu, rumpupesu vai käsinpesu?
- Kuinka usein? Joka tehtävän jälkeen? Jos muu väli, kuinka määritelty?
- Mikä pesuaine käytössä?

- Millä pesutekniikalla kamera pestään?
- Mikä pesuaine käytössä?

- Millä pesutekniikalla letkut pestään?
- Käsitelläänkö letkut ennen pesua jotenkin?
- Kuinka usein pestään? Millä pesuväli määritelty?
- Millä menetelmällä letkut kuivataan?

5. KALUSTON DESINFIOINTI

- Mikä tekniikka paloautojen/ambulanssien desinfiointiin?
- Mikä aine käytössä?



Liite 3. Altistus ja käsittelypäiväkirja

15 takkia Altistus 30.8.2021

Näytteet (PAH) 31.8.2021

Pesu Kangasala 1.9.2021 (5 kpl 60 astetta ja rumpu, 5 kpl 60 astetta ja kaappi, 5 kpl 40 astetta ja kaappi)

Näytteet (PAH) 2.9.2021

4 takkia (60 astetta & rumpu) VOC emissiokammio 13.-14.9.2021

4 takkia (60 astetta & rumpu) otsonointi 13.-14.9.2021

Näytteet (PAH) 14.9.2021

4 takkia (60 astetta & rumpu) VOC emissiokammio 14.-18.9.2021

10 takkia altistus 7.12.2021

Näytteet (PAH) 7.12.2021

Pesu Kangasala 8.12.2021 (60 ja rumpu)

Näytteet (PAH) 9.12.2021

4 takkia (60 ja rumpu) VOC emissiokammio 10.-13.12.2021

4 takkia (60 ja rumpu) vetyperoksidi 15.12.2021

Näytteet (PAH) 15.12.2021

4 takkia (60 ja rumpu) VOC emissiokammio 17.-21.12.2021.

5 takkia (60 ja rumpu) Nestemäinen hiilidioksidi 17.-21.12.2021

Näytteet (PAH) 29.12.2021

10 paineilmalaitteen maskiosaa altistus 7.12.2021

Näytteet (PAH) 7.12.2021

Pesu Kangasala 8.12.2021 (5 ruiskupesä, 5 rumpupesä)

Näytteet (PAH) 8.12.2021

4 lämpökameraa altistus 4.2.2022

Näytteet (PAH) 4.2.2022

Pintapyyhintä 4.2.2022

Näytteet (PAH) 4.2.2022

Vetyperoksidikäsittely 11.2.2022

Näytteet (PAH) 11.2.2022

10 takkia altistus 22.9.2022

Näytteet (PAH) 22.9.2022

Pesu Kangasala 23.9.2022 (60 ja kaappi, 40 ja kaappi)

Näytteet (PAH) 26.9.2022



5 lämpökameraa altistus 23.5.2023

Näytteet (PAH) 23.5.2023

Pintapyyhintä 23.5.2023

Näytteet (PAH) 23.5.2023

Vesipesu suojausseinälle 23.5.2023

Näytteet (PAH) 24.5.2023

5 paineilmalaitteen maskiosaa altistus 23.5.2023

Näytteet (PAH) 24.5.2023

Käsinpesu Pelastusopisto 24.5.2023

Näytteet (PAH) 24.5.2023

5 takkia altistus 29.5.2023

Näytteet (PAH) 29.5.2023

Otsonivesipesu 9.6.2023

Näytteet (PAH) 16.6.2023

5 lämpökameraa altistus 30.8.2023

Näytteet (PAH) 30.8.2023

Pintapyyhintä 30.8.2023

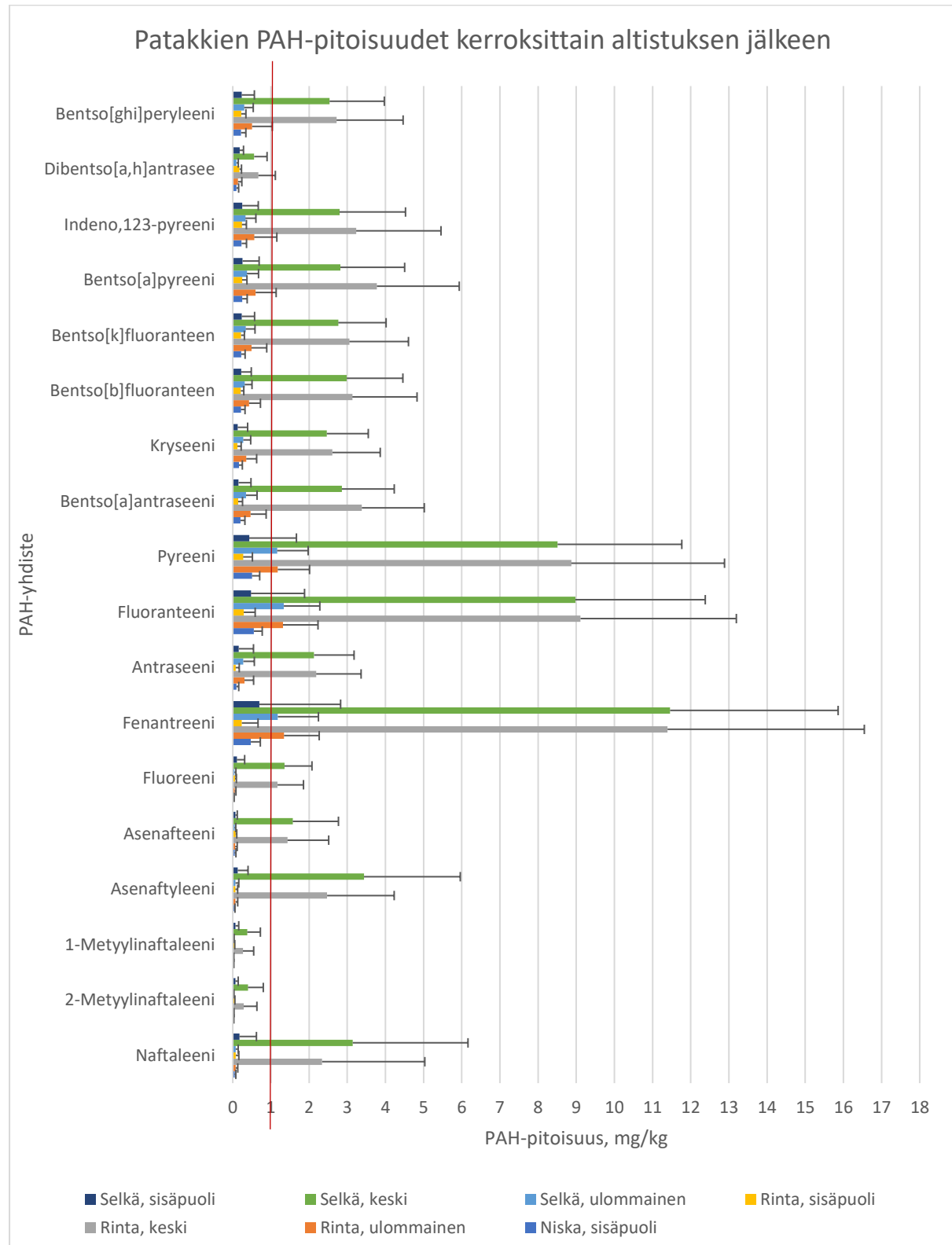
Näytteet (PAH) 30.8.2023

Vesipesu suojausseinälle 30.8.2023

Näytteet (PAH) 31.8.2023

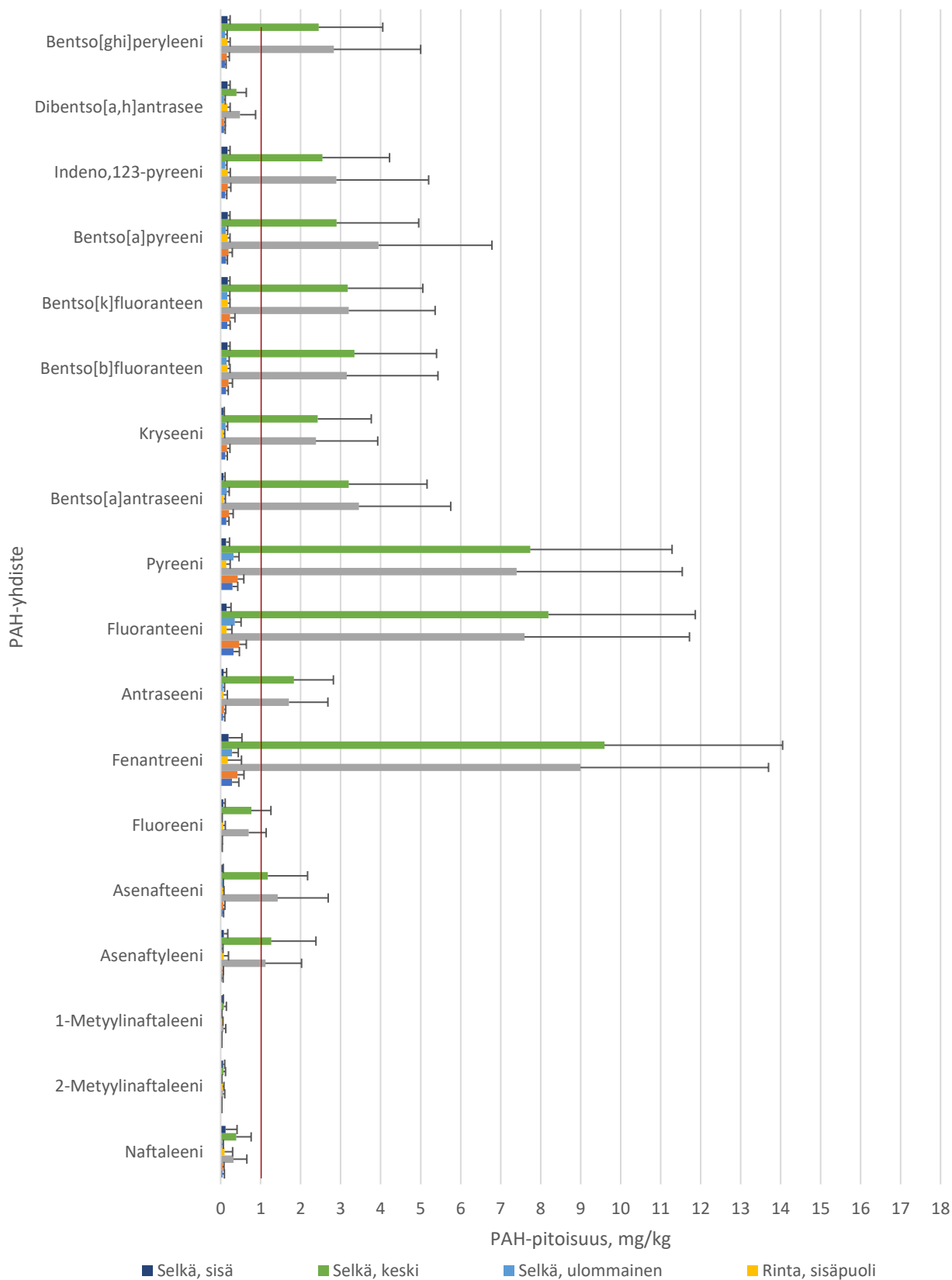


Liite 4. Yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet käsittelyjen jälkeen suhteessa EU-komission raja-arvoon 1 mg/kg.



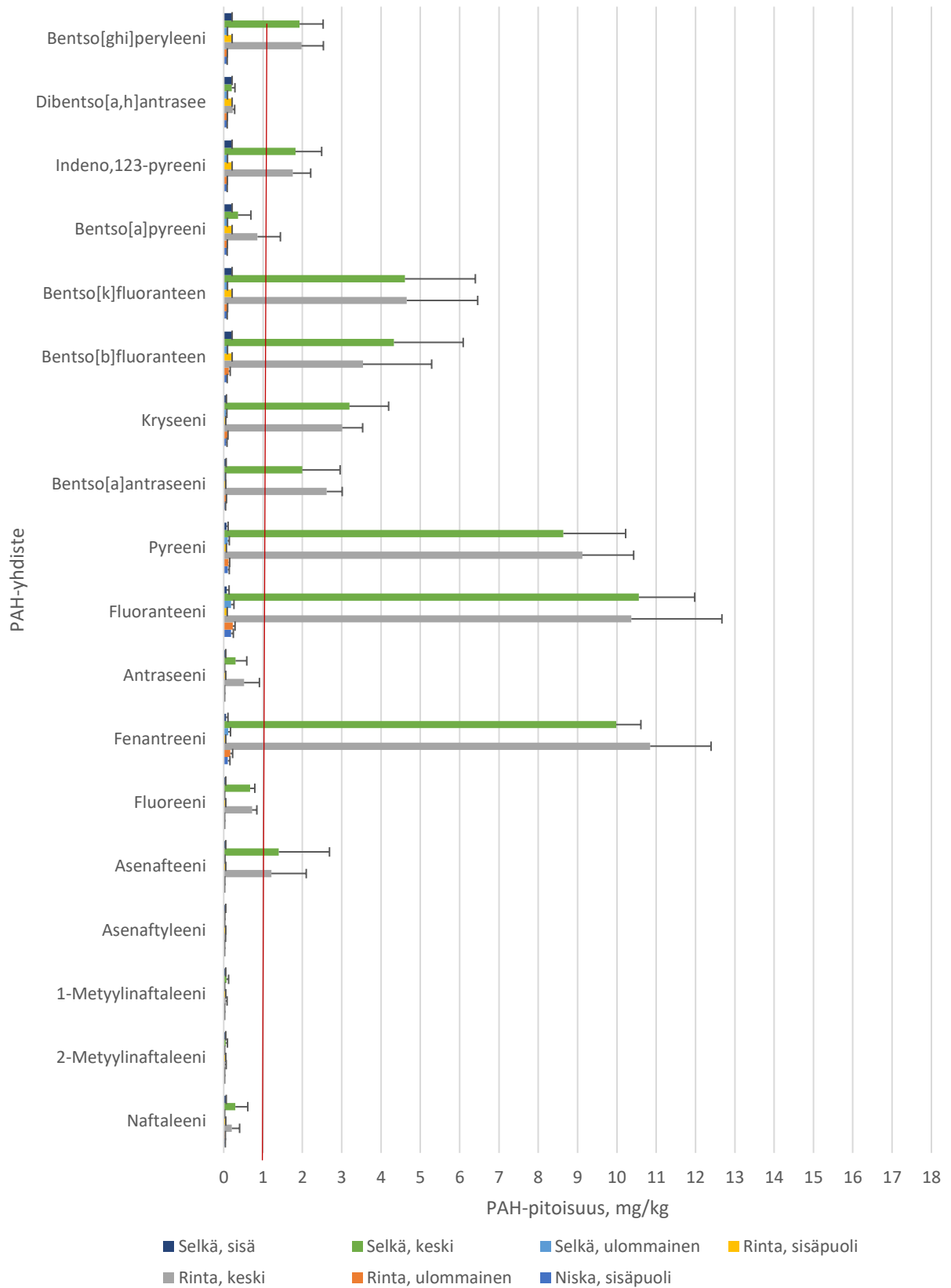


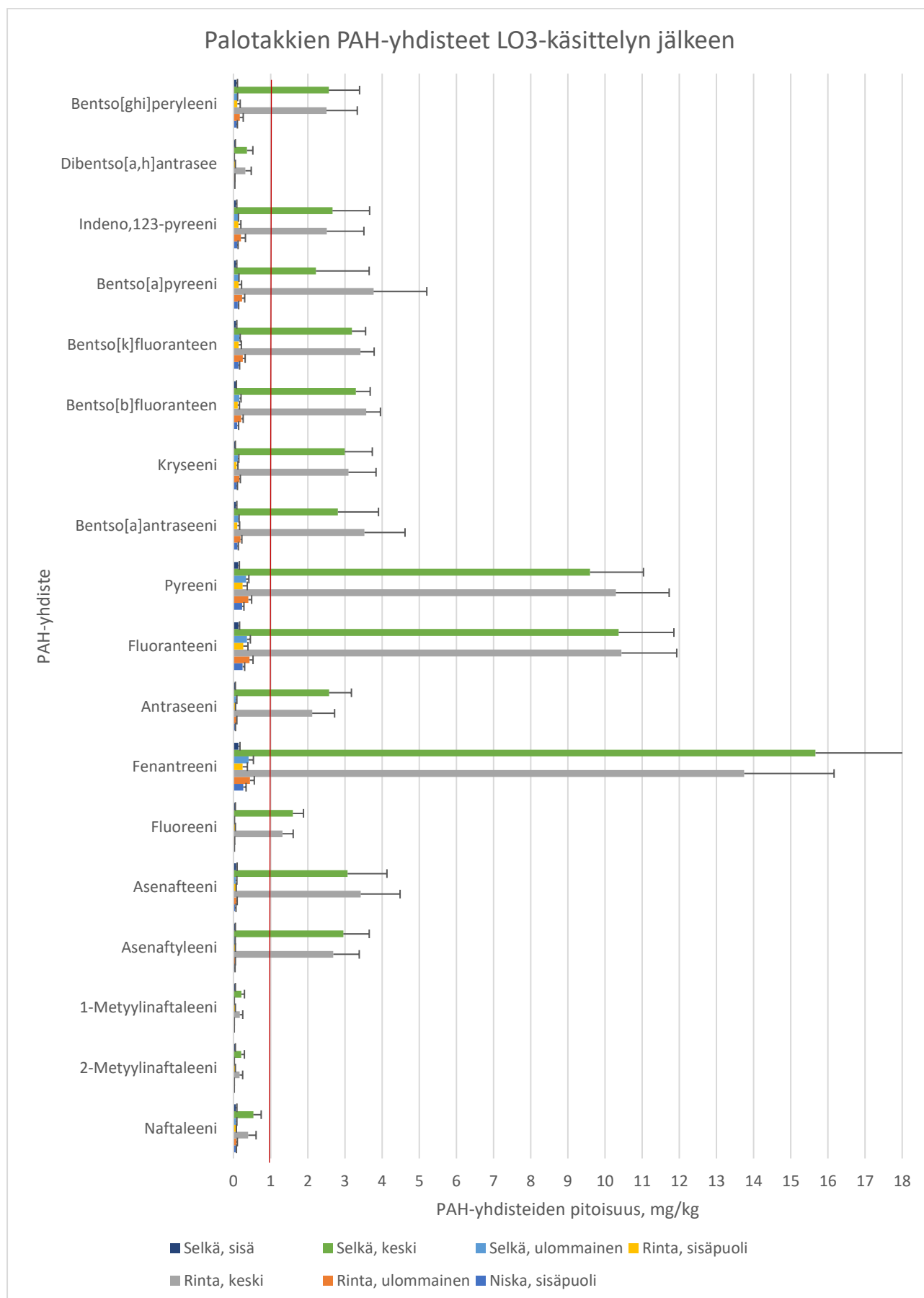
Palotakkien PAH-pitoisuudet kerroksittain vesipesun jälkeen

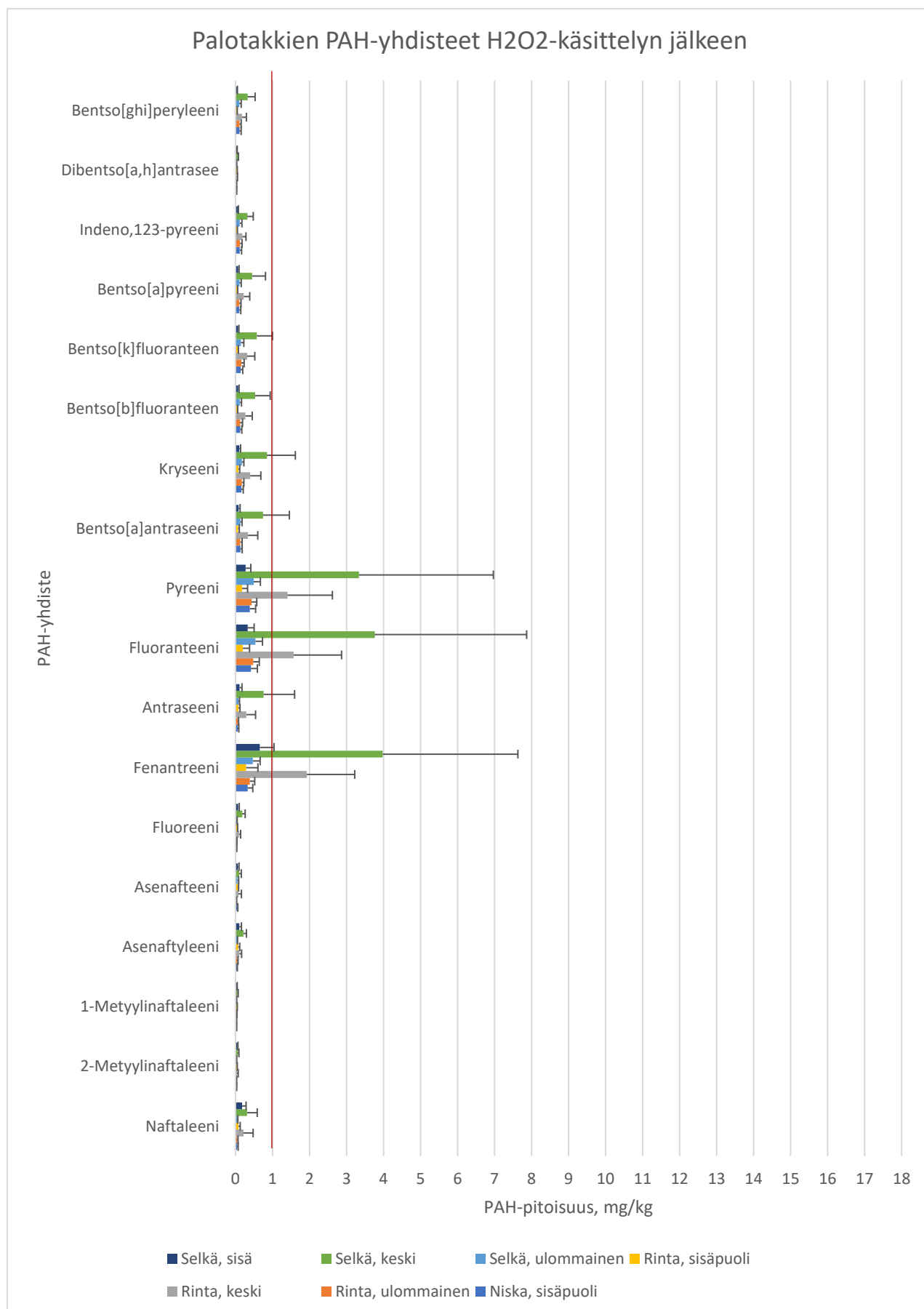


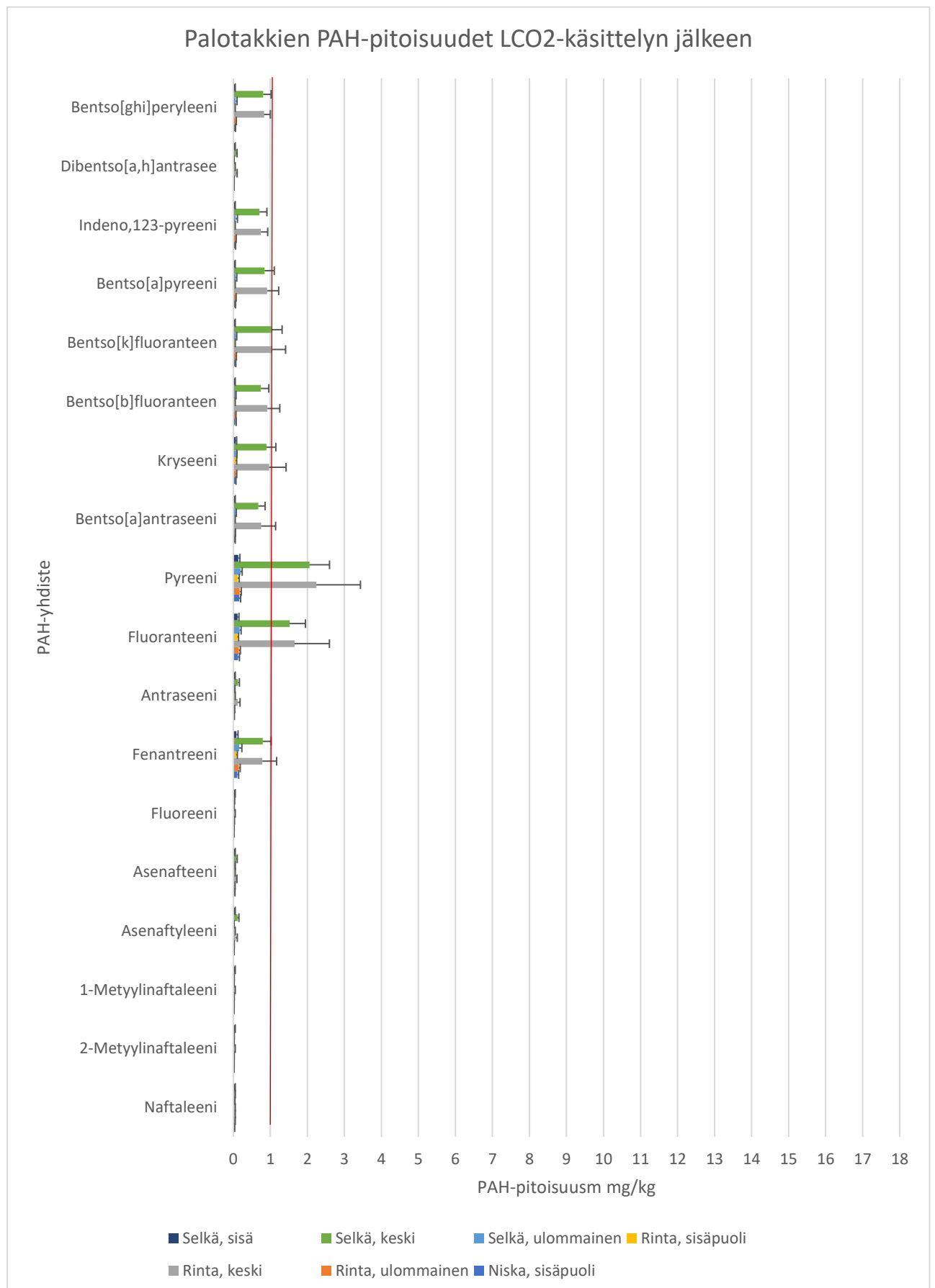


Palotakkien PAH-yhdisteet otsonointikäsittelyn jälkeen











PELASTUSOPISTO