

Palomiesten altistuminen bentseenille ja PAH- yhdisteille – biomonitoroinnin tulokset ja altistumisen terveysriskit

Lääketieteen koulutusohjelma
Lisensiaatintutkielma

Laatija:
Jussi Saarikkomäki

3.10.2025
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Lisensiaatintutkielma

Oppiaine: Lääketieteen koulutusohjelma

Tekijä: LK Jussi Saarikkomäki

Otsikko: Palomiesten altistuminen bentseenille ja PAH-yhdisteille – biomonitoinnin tulokset ja altistumisen terveystriskit

Ohjaajat: professori Juha Liira (Turun yliopisto), LT Aki Vuokko (Työterveyslaitos), FT Simo Porras (Työterveyslaitos)

Sivumäärä: 24 sivua

Päivämäärä: 23.10.2025

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin suomalaisten palomiesten altistumista bentseenille ja polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH) biomonitoinnin altistumismittauksen rekisteritietojen avulla. PAH-yhdisteitä ja bentseeneitä on savukaasussa, jota muodostuu tulipaloissa. Palomiehet altistuvat näille yhdisteille sammutustehtävissä, etenkin sisätiloissa suoritettavissa savusukelluksissa. Tutkimusaineisto koostui vuosina 2001–2025 Työterveyslaitokselle lähetetyistä virtsanäytteistä, joista analysoitiin PAH-yhdisteiden metaboliitteja (1-pyrenoli ja 2-naftoli) sekä bentseenialtistumisen biomarkkeria S-fenyylimerkaptuurihappoa (SPMA). Kohderyhminä olivat pelastusalan oppilaitosten kouluttajat ja pelastuslaitosten operatiivisen työn palomiehet, joiden altistumisarvoja vertailtiin viiterajoihin. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin terveystieteiden työntekijöiden altistumistietoja. Aiemman tutkimusnäytön perusteella palomiesten altistuminen bentseeneille ja PAH-yhdisteille voi olla merkittävää erityisesti ihon kautta, esimerkiksi kaulan alueella, sekä hengitysteitse ja myös ruoansulatuskanavan kautta. Biomonitointitutkimuksen perusteella havaittiin, että palomiehet altistuvat bentseenille ja PAH-yhdisteille. Altistumattomien viiterajat ylittyivät sekä savusukelluskouluttajien että pelastuslaitosten operatiivisten palomiesten ryhmissä. Erityisesti naftaleenialtistumisessa yli puolet ei tupakoivien näytteistä ylitti altistumattomien viiterajan. Altistumisen vähentämiseksi tarvitaan järjestelmällisiä toimia, kuten puhtaan paloaseman toimintamallin käyttöönottoa sekä altistumisketjun nopeaa katkaisemista. Savusukelluksen koulutuspaikoilla on hyvät mahdollisuudet testata, arvioida ja ottaa käyttöön uusia altistumista vähentäviä toimintamalleja.

Avainsanat: palomies, bentseeni, PAH, biomonitointi, syöpä, altistumisen ehkäisy

Abstract

This study examined the exposure of Finnish firefighters to benzene and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using biomonitoring exposure measurement register data methods. PAH compounds and benzenes are present in the smoke produced during fires. Firefighters are exposed to these compounds during firefighting operations, especially during smoke diving carried out indoors. The research data consisted of urine samples sent to the Finnish Institute of Occupational Health between 2001 and 2025, analysed for PAH metabolites (1-pyrenol and 2-naphthol) and the benzene exposure biomarker S-phenylmercapturic acid (SPMA). The target groups were instructors at the rescue training institutions and operational firefighters at municipal fire departments, whose exposure values were compared to reference limits. In addition, the study used exposure data from steel workers. Previous research has shown that firefighters' exposure to benzenes and PAHs can be significant, particularly via dermal routes — for example, in the neck area — as well as through inhalation, but also through digestive system. Based on the biomonitoring study, it was observed that firefighters are exposed to benzene and PAHs. The reference limits for non-exposed populations were exceeded in both groups: instructors at the Emergency Services Academy and operational firefighters at municipal fire departments. Particularly in the case of naphthalene exposure, more than half of the

non-smoking samples exceeded the non-exposed reference limits. To reduce exposure, systematic measures are needed, such as the implementation of the clean fire station model and the rapid interruption of exposure pathways. Smoke diving training site have good opportunities to test, evaluate and implement new operating models that reduce exposure.

Keywords: firefighter, benzene, PAH, biomonitoring, cancer, exposure prevention.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	5
2	PALOMIESTEN ALTISTUMINEN HAITALLISILLE YHDISTEILLE	6
2.1	Palomiehen ammatti ja syöpäriski	6
2.2	Altistuminen haitallisille yhdisteille ja sen ehkäisy	8
2.3	Palomiesten biomonitorointitutkimus	9
2.4	Tutkimuksen tavoitteet ja kysymykset	10
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	12
3.1	Käsitteet	13
4	TULOKSET	14
5	POHDINTA	20
	LÄHTEET	22

1 Johdanto

Bentseeni ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) ovat tunnettuja karsinogeneenejä. Palomiehet altistuvat näille yhdisteille erityisesti savusukelluksen ja sammutustehtävien yhteydessä. Suomessa Työterveyslaitoksen biologiseen altistumismittausten rekisteriin on kertynyt palomiesten altistumistietoa kahdessa eri ryhmässä: Pelastusalan oppilaitosten kouluttajilla sekä pelastuslaitosten operatiivisen työn palomiehillä.

Pelastusalan oppilaitosten opettajat kouluttavat sammuttamista, tulipalojen kehittymistä ja savusukellusta kontrolloiduissa olosuhteissa, joissa altistumista pyritään aktiivisesti vähentämään muun muassa käyttämällä puhtaampia ja ennalta valittuja polttomateriaaleja. Sen sijaan operatiiviset palomiehet työskentelevät vaihtelevissa ja usein ennakoimattomissa olosuhteissa, joissa altistuminen voi liittyä monimuotoisiin palavien materiaalien yhdistelmiin, kuten huonekaluihin, muoveihin, ajoneuvoihin, elektroniikkaan tai maastoon. Hälytystehtävillä palomiehet altistuvat sammutustehtävissä, kuten savusukelluksissa huoneistopaloihin. Lisäksi altistumista tapahtuu pitkäkestoisemmin varsinaisen palon sammuttamisen jälkeen tapahtuvassa jälkiraivaustyössä, jossa varmistetaan palon sammuminen ja leviämisen estäminen rakenteita purkamalla. Altistumisketju jatkuu, kunnes palomies pääsee tehtävältä huoltamaan varusteensa sekä itsensä paloasemalla.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa uutta tietoa palomiesten altistumisesta bentseenille ja PAH-yhdisteille biomonitoinnin avulla sekä arvioida altistumisen mahdollisia terveysvaikutuksia. Lisäksi tutkimuksessa pyritään selvittämään, poikkeavatko pelastusalan oppilaitosten kouluttajina työskentelevien biomonitoititulokset operatiivisessa kenttätyössä toimivien palomiesten tuloksista. Tuloksia verrataan myös terästeollisuuden työntekijöihin, joiden altistumisprofiili tarjoaa vertailupohjan kemiallisesti kuormittuneessa työympäristössä työskenteleville.

2 Palomiesten altistuminen haitallisille yhdisteille

2.1 Palomiehen ammatti ja syöpäriski

Suomessa työskentelee noin 3400 päätoimista pelastusalan ammattilaista palomiehen tehtävissä (Juutinen ym. 2024) sekä noin 450 alipääallystään kuuluvaa paloiesimiestä (Sohlman 2020). Lisäksi pelastustoimintaan osallistuu noin 15000 hälytyskelpoista sopimuspalokuntalaista, mukaan lukien laitos-, teollisuus- ja sotilas- sekä vapaaehtoispalokunnat. Palomiehen ammatti on useissa kansainvälisissä tutkimuksissa luokiteltu korkean riskin ammatiksi. Työtehtäviensä aikana palomiehet altistuvat monenlaisille orgaanisille yhdisteille ja kemikaaleille, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittoja, kuten hengityselinten sekä sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia. Osa näistä yhdisteistä on luokiteltu syöpävaarallisiksi eli karsinogeenisiksi aineiksi. Tällaisia yhdisteitä ovat muun muassa bentseeni, dioksiinit ja PAH-yhdisteet. Palomiestyön katsotaan lisäävän syöpäriskiä ja tutkimuksissa on havaittu riskin lisääntymistä tiettyihin syöpämuotoihin. Näitä ovat esimerkiksi mesoteliooma ja virtsarakkosyöpä. Lisäksi tutkimuksia on altistumisen ja seuraavien syöpätyyppien välisistä mahdollisista yhteyksistä: keskushermostosyövät, non-Hodgkinin lymfooma sekä ihon melanooma. Lisäksi lisääntynyttä tai mahdollista yhteyttä on havaittu paksu- ja peräsuolen, eturauhasen sekä kivesten syöpien osalta. (Soteriades ym. 2019)

Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (International Agency for Research on Cancer, IARC) päivitti vuonna 2022 arviotaan palomiehen ammatin syöpävaarallisuudesta. Uuden luokituksen mukaan palomiehen ammatti kuuluu ryhmään 1, eli se on syöpävaarallinen ihmiselle (Jahnke ym. 2024). Aiemmin vuonna 2010 palomiehen ammatti oli luokiteltu ryhmään 2B, eli mahdollisesti syöpävaarallinen ihmiselle (Wingfors ym. 2018). Luokituksen muutos perustuu useisiin tutkimuksiin, joissa on havaittu kohonnut riski sairastua mesotelioomaan eli keuhkopussin pahanlaatuiseen kasvaimen sekä virtsarakkosyöpään (Demers ym. 2022). Lisäksi biomonitorointitutkimuksissa on havaittu, että palomiesten elimistössä tapahtuu altistumisen seurauksena sekä geneettisiä että epigeneettisiä muutoksia (Fent ym. 2022).

Altistavien kemikaaliyhdisteiden määrä ja laatu voivat vaihdella merkittävästi esimerkiksi tulipalon tyyppin mukaan. Tyypillisiä palotilanteita ovat rakennus-, ajoneuvo- ja maastopalot.

Näissä tulipaloissa syntyvä savukaasu sisältää monimutkaisen seoksen syöpävaarallisia yhdisteitä, kuten bentseeniä, formaldehydiä ja polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (Kang ja Lui 2025). Vaikka rakennuspalojen määrä on viime vuosikymmeninä vähentynyt, palavien materiaalien koostumukset ovat myös muuttuneet. On arvioitu, että nykyaikaiset synteettiset materiaalit voivat tuottaa palaessaan enemmän PAH-yhdisteistä verrattuna perinteisiin rakennusmateriaaleihin (Hwang ym. 2021). Altistumisen on havaittu olevan suurempaa erityisesti huoneistopaloissa verrattuna ulkona tapahtuviin sammutustehtäviin, kuten ajoneuvo- tai maastopaloihin. Toisaalta Teixeira ym. (2024) ja Fent ym. (2017) raportoivat, että vaikka maastopaloissa PAH-altistumisen määrä ei aina ylitä Yhdysvaltain työturvallisuusviranomaisen OSHA:n määrittämiä raja-arvoja, altistustasot voivat silti olla jopa 15-kertaiset verrattuna kontrolliryhmiin. Lisäksi on havaittu, että maastopalojen savulle altistuminen on yhteydessä lisääntyneeseen riskiin hengityselinsairauksille, kuten astmalle ja krooniselle keuhkohtaumataudille (COPD) (Navarro ym. 2018). Suomessa koulutusolosuhteissa tehdyssä tutkimuksessa on havaittu perinteisessä savusukellussimulaattorissa tehdyssä harjoituksessa altistumisen olleen suurempaa verrattuna nykyaikaiseen. Perinteisessä simulaattorissa polttomateriaalina käytettiin lastulevyä, havupuuvaneria tai puhdasta kuusipuuta ja nykyaikaisessa simulaattorissa propaanikaasua (Laitinen ym., 2012).

Pohjoismaissa syöpärekisterien avulla tehdyssä tutkimuksessa palomiehillä todettiin syöpätapauksia useammin verrattuna samanikäiseen miesväestöön keskimäärin. Tutkimukseen kuului 16422 pohjoismaista palomiestä, joista 4740 oli suomalaisia. Tavanomaista suurempia syöpämääriä havaittiin alle 50-vuotiaiden eturauhassyövässä ja ihomelanoomassa sekä yli 70-vuotiaiden palomiesten mesotelioomassa (Pukkala ym. 2014). IARC on arvioinut, että palomiestyö ja eturauhassyövän välillä on positiivinen yhteys, mutta tätä yhteyttä ei ole arvioitu vahvaksi. Palomiehillä havaittu kohonnut eturauhassyövän esiintyvyys on arvioitu johtuvan osittain lisääntyneestä seurannasta verrattuna muuhun väestöön, eli ns. havaitsemisharhasta. Melanooman osalta IARC on arvioinut myös, että vaikka positiivinen yhteys palomiehen ammatillisen altistumisen ja melanooman esiintyvyyden välillä on mahdollinen, seurantatarhaa ja sekoittavia tekijöitä ei voida sulkea pois (IARC, 2023).

2.2 Altistuminen haitallisille yhdisteille ja sen ehkäisy

Palomiehet altistuvat haitallisille yhdisteille pääasiallisesti kahta eri reittiä, ihon ja hengitysteiden kautta. Merkittävä osa altistumisesta tapahtuu ihon kautta, kun taas hengitysilman mukana kulkevat kaasut ja hiukkaset muodostavat vähäisemmän osuuden. Lisäksi pieni osa altistumisesta voi tapahtua ruoansulatuskanavan kautta esimerkiksi käsien epäpuhtauksien välityksellä (Taeger ym. 2023, Fent ym. 2017).

Altistumista voidaan Taeger ym. (2023) mukaan ensisijaisesti ehkäistä henkilökohtaisilla suojaruuvareilla, joihin kuuluvat paloasu, palokäsineet, palohuppu ja kasvo-osallinen paineilmalaitte. Altistumisen määrään voidaan vaikuttaa myös kolmikerrospukeutumisella, jolloin paloasu, väliasu ja alusasu muodostavat tehokkaan suojakokonaisuuden (Horn ym. 2022). Paineilmalaitte tarjoaa tehokkaan suojan hengityselimistöille, mutta suoja on riippuvainen siitä, että laitetta käytetään asianmukaisesti koko altistumisvaaran ajan. Hengitystiealtistumista voi tapahtua ennen laitteen käyttöä, sen riisumisen jälkeen sekä huoltotilanteissa, joissa kontaminoituneet suojaruuvareet jatkavat epäpuhtauksien vapauttamista hengitysilmaan. Ihon kautta tapahtuva altistuminen johtuu joko siitä, että epäpuhtaudet läpäisevät paloasun materiaalin tai pääsevät kontaktiin niillä ihoalueilla, joita suojaruuvareet eivät kata kunnolla. Suurimpia altistumisepitoisuuksia on mitattu kaulan alueelta, jota suojaa palohuppu, sekä käsien alueelta, joilla käytetään palokäsineitä (Taeger ym. 2023, Fent ym. 2017).

Palohupun suojausteho on rajallinen ja kaulan alue onkin osoittautunut merkittäväksi ihon kautta tapahtuvan altistumisen kohdaksi. Imeytyminen ihon läpi on nopeinta ohuilla ihoalueilla, kuten päänahassa, kainaloissa, otsassa, korvien takana ja leukaperissä. Esimerkiksi kämmenten paksumpi iho toimii tehokkaampana fysikaalisena esteenä ja tarjoaa siten parempaa suojausta kemiallisilta altisteilta. Stec ym. (2018) osoittivat tutkimuksessaan, että perustuen 1:100000 syöpäriskin arviointimalliin, suurin riski aiheutuu nimenomaan ihon kautta tapahtuvasta altistuksesta. Heidän arvionsa mukaan jopa 350 palomiestä voisi sairastua työuransa aikana syöpään pelkästään vaatteista mitattujen PAH-yhdisteiden perusteella.

Hälytystehtävillä altistumista voidaan vähentää taktisilla toimenpiteillä kohteessa. Näitä ovat esimerkiksi työskentelyalueiden määrittely eri alueisiin, kuten pelastustoiminta-alue, vaara-alue ja välittömän vaaran alue. Eri alueille voidaan määrittää eri henkilökohtaisen suojautumisen tasot ja kulkeminen näille alueille on rajoitettua. Tulipaloissa henkilöstön sekä ajoneuvojen sijoittaminen tuulen yläpuolelle ja riittävän etäälle tulipalosta vähentää

altistumista. Kokonaisaltistumista voidaan vähentää rakennuspaloissa valitsemalla siihen sopiva sammutustaktiikka. Sammutustaktiikat on jaettu nelikenttämallissa neljään eri vaihtoehtoon: sisältä – ulkoa sekä puolustava – hyökkäävä -käsitteiden avulla. (Sisäministeriö, 2023).

Haitallisille yhdisteille altistumista voidaan ehkäistä oikeaoppisen henkilökohtaisen suojaruustuksen käytön lisäksi myös vähentämällä kontaminoituneiden varusteiden käyttöaika tilanteissa, joissa palomies pitää niitä yllään esimerkiksi savusukellustehtävän jälkeen. Toinen merkittävä altistumista vähentävä tekijä on tapa, jolla kontaminoituneita varusteita käsitellään hälytystehtävän päätyttyä (Wingfors ym. 2018). Paloasemilla hälytystehtävien jälkeen altistumisaika voi pidentyä kontaminoituneiden varusteiden käsittelyssä ja huoltotoimenpiteiden välityksellä. Epäpuhtauksien on todettu kulkeutuvan tulipalopaikalta asemaympäristöön suojaamattomien tai riittämättömästi puhdistettujen varusteiden mukana. Tutkimuksissa on havaittu, että paloasemilta kerätyssä ilmassa ja pölyssä esiintyy kohonneita pitoisuuksia muun muassa PAH-yhdisteitä (Wolffe ym. 2023).

2.3 Palomiesten biomonitorointitutkimus

Biomonitorointia käytetään työkaluna kemikaalialtistumisen sekä terveystarkkailun arviointiin ja seurantaan. Mittaukset tehdään biologisesta näytteestä, yleensä verestä tai virtsasta.

Biomonitorointianalyyseissä mitataan näytteestä tiettyä kemikaalia, kemikaalin metaboliittia tai sen biologista vaikutusta. Analyysissä tutkittavia kemiallisia aineita tai niiden metaboliitteja kutsutaan altistumisen biomarkkereiksi (TTL, 2023).

Wingforsin ym. (2018) mukaan 1-pyrenolia (pyreenin metaboliitti) on pidetty käytännöllisimpänä biomarkkerina arvioitaessa altistumista PAH-yhdisteille. PAH-yhdisteet ovat keskeisiä syöpävaarallisia yhdisteitä, joita syntyy epätäydellisen palamisen seurauksena. Ne ovat myös hyvin dokumentoituja altisteita, joita esiintyy sekä hälytystehtävien että harjoitusten yhteydessä ilmassa (Hwang ym. 2021). Savusukellukseen osallistuneiden palomiesten virtsasta on havaittu aineenvaihduntamuutoksia verrattuna ennen altistusta otettuihin näytteisiin. Näissä muutoksissa on raportoitu vaihteluita muun muassa hormoneissa ja aminohapoissa (Furlong ym. 2023).

PAH-yhdisteille altistuminen voi tapahtua ihon, hengitysteiden ja ruoansulatuskanavan kautta. Virtsasta mitattavat hydroksyloidut PAH-metaboliitit ovat tehokkain tapa selvittää PAH-yhdisteille altistumista. Biomonitorointi on keskeinen työkalu ammatillisen altistumisen

kartoittamisessa, sillä imeytyttyään elimistöön PAH-yhdisteet kulkeutuvat imusolmukkeisiin ja edelleen verenkiertoon, missä ne metaboloituvat maksassa ja munuaisissa. Valtaosa PAH-yhdisteistä erittyy elimistöstä sapon ja virtsan mukana konjugoituneina vesiliukoisiin yhdisteisiin, kuten glukuronihappoon ja sulfaattiin (Hwang ym. 2022). S-fenyylimerkaptuurihappoa (SPMA) pidetään nykyään spesifisimpänä bentseenialtistumisen biomarkkerina (Boogaard, 2022). Fentin ym. (2022) mukaan bentseenialtistumista voidaan arvioida myös uloshengitysilman analyysillä luoden vaihtoehtoisen tai täydentävän menetelmän biomonitoroinnille.

2.4 Tutkimuksen tavoitteet ja kysymykset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa palomiesten altistumisesta bentseenille ja PAH-yhdisteille sekä arvioida sen kliinistä merkitystä. Tarkoituksena on:

[1] Selvittää, onko operatiivisen työhön tai sen kouluttamiseen osallistuneilla palomiehillä havaittavissa bentseenille ja/tai PAH-yhdisteille altistumista biomonitorointirekisterin tietojen perusteella.

* Mitkä ovat biomarkkereiden pitoisuustasot kahdessa palomiesten ryhmässä: 1) Pelastusalan oppilaitosten kouluttajien ja 2) pelastuslaitosten operatiivisen työn palomiehet.

* Eroavatko pelastusalan oppilaitosten kouluttajien biomonitoroinnin tulokset operatiivisen työn palomiesten tuloksista?

[2] Tutkia ja arvioida biomonitorointitulosten merkitystä terveysriskeihin.

* Miten biomonitoroinnin tulokset vertautuvat olemassa olevaan tutkimustietoon työperäisestä altistumisesta, esimerkiksi ylittävätkö 1- pyrenolin ja 2- naftolin arvot kansalliset viitearvot?

[3] Verrata pelastushenkilöstön altistumista bentseeneille ja PAH-yhdisteille muihin altisteisten alojen ammattiryhmiin, kuten terästeollisuuden työntekijöihin.

*Miten kahden palomiesten ryhmän altistuminen bentseeneille ja PAH-yhdisteille vertautuu muihin altisteisiin ammattiryhmiin, kuten terästeollisuuden työntekijöiden altistumiseen?

[4] Arvioida biomonitorointitulosten vaikutusta ja hyödyntämistä työpaikan ohjeistuksissa biomonitoroinnista.

3 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineisto koostuu virtsanäytteistä, joista on analysoitu seuraavat altistumisen biomarkkerit: S-fenyylimerkaptuurihappo (SPMA) (bentseenialtistuksen biomarkkeri) sekä 1-pyrenoli ja 2-naftoli (PAH-yhdisteiden metaboliitteja).

SPMA:n altistumisdata on kerätty ajanjaksolta 09/2018–01/2025; altistumattomien viiteraja on 0,5 mikrog/g kreatiniinia (tupakoimattomat) ja toimenpideraja on 4 mikrog/g kreatiniinia. Ennen 09/2018 Työterveyslaitoksella käytettiin bentseenialtistumisen biomarkkerina mukonihappoa. PAH-yhdisteisiin sisältyvän pyreenialtistumisen biomarkkerina toimii virtsan 1-pyrenoli. Tämä altistumisdata on kerätty ajanjaksolta 04/2001–04/2025; altistumattomien viiteraja on 0,8 mikrog/l (vuodesta 2012) ja toimenpideraja on 2,6 mikrog/l (vuodesta 2012). PAH-yhdisteisiin kuuluvasta naftaleenialtistumisen biomarkkerina toimii virtsan 2-naftoli. Tämä altistumisdata on kerätty ajanjaksolta 2011–04/2025; altistumattomien viiteraja on 7 mikrog/l (ei tupakoivat) ja 30 mikrog/l (tupakoivat) (vuodesta 2012). Toimenpiderajaa ei ole määritetty 2-naftolille. Ennen vuotta 2011 Työterveyslaitoksella käytettiin naftaleenialtistumisen biomarkkerina 1-naftolia.

Biomonitoroinnin virtsanäytteet on ohjeistettu otettavaksi heti altistavan työvaiheen tai työvuoron päätyttyä ja altistumisjakson loppupuolella. Mitattu tulos kuvastaa lähinnä samana päivänä tapahtunutta altistumista.

Näytteet on kerätty kahdesta kohderyhmästä: Pelastusalan oppilaitosten kouluttajilta ja pelastuslaitosten operatiivisen työn palomiehiltä. Vertailuna käytettiin teräksen valmistuksessa toimivien työntekijöiden mittaustuloksia, jotka altistuivat myös bentseenille ja PAH-yhdisteille. Kaikkien työntekijäryhmien tuloksia verrattiin käytössä oleviin viiterajoihin. Tupakointitiedot on otettu huomioon aineistossa.

Virtsanäytteiden väkevyys eli liuenneiden aineiden ja veden suhde vaihtelee suhteessa elimistön nestetilanteeseen. Virtsan väkevyydestä johtuva vaihtelu voidaan korjata esim. normalisoimalla mittaustulos virtsan suhteelliseen tiheyteen tai korjaamalla se elimistön kreatiniinieritykseen. Tässä tutkimuksessa virtsan PAH-metaboliittien tulokset on normalisoitu suomalaisten työntekijöiden virtsan suhteellisen tiheyden mediaaniin (vuodesta 2008 alkaen 1,021; aikaisempina vuosina 1,024). Virtsan SPMA-tulokset on korjattu kreatiniiniin.

Tilastolliset parametrit laskettiin Microsoft 365 Excel -ohjelmalla (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Yhdysvallat). Toisistaan riippumattomien (independent) ryhmien tulosten tilastolliset vertailut tehtiin ei parametrisella (non-parametric) Mann-Whitney U-testillä. Vertailtavien datajoukkujen jakaumien normaalisuutta testattiin Shapiro-Wilk-testillä. Datajoukot eivät olleet normaalisti jakautuneita ($p < 0,05$). Tilastolliset vertailut tehtiin IBM SPSS Statistic-ohjelmalla (versio 30)(IBM, Armonk, New York, Yhdysvallat).

Aineisto on saatu Työterveyslaitoksen ylläpitämästä Biologisten altistumismittausten rekisteristä. Työterveyslaitoksella on lakisääteinen lupa käyttää rekisterin tuloksia tieteellisissä julkaisuissa ja yhteenvedoissa. Näin ollen mitään erillistä eettistä lausuntoa ei ole tarpeen hakea. Tutkimusaineisto on käsitelty koodattuna ilman tunnistetietoja.

3.1 Käsitteet

Määrittärajana (engl. limit of quantification) on alin pitoisuus, joka voidaan luotettavasti määrittää.

P95 ja 95-prosenttipiste tarkoittavat arvoa, jonka alle sijoittuu 95% havaintoaineistosta

Maksimi on ryhmä yksittäisen datan suurin arvo.

Altistumattomien viiteraja merkitsee tasoa, joka alittuu 95 prosentilla suomalaisesta työikäisestä väestöstä, joka ei altistu työssään. On kuitenkin huomioitava, että viiteraja on asetettu siten, että se ylittyy viidellä prosentilla väestöstä (johtuen ympäristöperäisestä tausta-altistumisesta). Altistumattomien viiteraja ei ole terveysperusteinen, vaan se lasketaan työssään altistumattoman väestön mittaustulosten 95-prosenttipisteestä.

Toimenpideraja-arvo on Työterveyslaitoksen asiantuntijoiden määrittelemä arvo, jonka ylittyä olisi syytä harkita toimenpiteitä altistumisen vähentämiseksi. Toimenpiderajat ovat pääasiassa terveysperusteisia.

Ohjeraja-arvo. Biologisten näytteiden ohjeraja-arvot asetetaan säännöllisesti Sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetuksella (STM, 55/2025). Ne eivät ole työnantajaa sitovia, mutta työnantajan on otettava ne huomioon työolosuhteita, työntekijöiden altistumista ja biologisten altistumismittauksien tuloksia arvioidessaan (Vna, 715/2001). Bentseenialtistumiselle on asetettu STM:n ohjeraja-arvo 4 mikrog SPMA/g kreatiniinia. Se on sama kuin Työterveyslaitoksen toimenpideraja. 1-Pyrenolille ja 2-naftolille ei ole asetettu ohjeraja-arvoja.

4 Tulokset

Taulukot 1-4 sisältävät tietoa bentseenialtistumisesta koskien altistumisen SPMA-biomarkkeria.

Taulukko 1. Virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon (SPMA) -tulokset kaikki työntekijät. Yksikkö mikrog/g kreatiinia.

Työntekijät	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat	224	146	65	0,26	0,26	1,75	3,02	58	26	0	0
Pelastuslaitokset/operatiiviset palomiehet	16	2	13	<MR	<MR	-	1,01	1	6	0	0
Terästeollisuuden työntekijät	414	314	76	0,48	0,47	5,10	14,02	202	49	31	7

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili. - = ei voi laskea koska n on pieni.

Taulukko 2. Pelastusalan oppilaitosten kouluttajien virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon (SPMA)-tulokset tupakointiedon mukaan. Yksikkö mikrog/g kreatiinia

Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Ei tupakoivat	199	131	66	0,26	0,26	1,46	2,63	54	27	0	0
Tupakoivat	18	13	72	0,39	0,31	-	3,02	5	28	0	0
Ei tupakointitietoa	8	3	38	<MR	<MR	-	0,48	0	0	0	0

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili. - = ei voi laskea koska n on pieni.

Taulukko 3. Pelastuslaitosten/operatiivisten palomiesten virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon (SPMA)-tulokset tupakointiedon mukaan. Yksikkö mikrog/g kreatiinia

Pelastuslaitosten/operatiiviset palomiehet	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Ei tupakoivat	14	1	7	<MR	<MR	-	0,29	0	0	0	0
Tupakoivat	2	1	50	0,46	0,6	-	1,01	1	50	0	0
Ei tupakointitietoa	0										

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili. - = ei voi laskea koska n on pieni.

Taulukko 4. Terästeollisuuden työntekijöiden virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon (SPMA)-tulokset tupakointiedon mukaan. Yksikkö mikrog/g kreatiinia.

Terästeollisuuden työntekijät	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Ei tupakoivat	306	217	71	0,33	0,32	2,14	8,68	116	38	6	2
Tupakoivat	94	84	89	1,61	2,24	9,78	14,02	79	84	24	26
Ei tupakointitietoa	15	13	87	0,58	0,48	-	7,05	7	47	1	7

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili. - = ei voi laskea koska n on pieni.

Taulukot 5-8 sisältävät tietoa PAH-yhdisteisiin kuuluvasta pyreenialtistumisesta.

Taulukko 5. Virtsan 1-pyrenoli-tulokset kaikki työntekijät. Yksikkö: mikrog/l

Työntekijät	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat	275	147	53	0,245	0,0195	1,828	3,267	41	15	3	1
Pelastuslaitokset/operatiiviset palomiehet	244	111	45	0,298	0,250	2,107	6,987	37	15	8	3
Terästeollisuuden työntekijät	635	440	69	0,313	0,306	1,469	4,511	104	16	11	2

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili.

Taulukko 6. Pelastusalan oppilaitosten kouluttajien virtsan 1-pyrenoli-tulokset tupakointitiedon mukaan. Yksikkö mikrog/l

Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Ei tupakoivat	186	106	57	0,237	0,188	1,798	3,267	25	13	2	1
Tupakoivat	16	13	81	0,509	0,468	-	2,931	6	38	1	6
Ei tupakointitietoa	73	28	38	0,227	0,180(<MR)	2,047	2,355	10	14	0	0

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili. - = ei voi laskea, koska n on pieni.

Taulukko 7. Pelastuslaitosten/operatiivisten palomiesten virtsan 1-pyrenoli-tulokset tupakointitiedon mukaan. Yksikkö mikrog/l

Pelastuslaitosten/ operatiiviset palomiehet	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Ei tupakoivat	188	78	41	0,276	0,229(<MR)	2,037	6,987	22	12	6	3
Tupakoivat	15	9	60	0,490	0,525	-	3,554	4	27	1	7
Ei tupakointitietoa	41	24	59	0,347	0,315	2,120	2,756	11	27	1	2

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persenttiili. - = ei voi laskea, koska n on pieni.

Taulukko 8. Terästeollisuuden työntekijöiden virtsan 1-pyrenoli-tulokset tupakointiedon mukaan. Yksikkö mikrog/l

Terästeollisuuden työntekijät	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan		>Toimenpiderajan	
		n	%					n	%	n	%
Ei tupakoivat	453	306	68	0,279	0,270	1,404	3,778	57	13	4	1
Tupakoivat	159	122	77	0,458	0,502	1,807	4,511	46	29	6	4
Ei tupakointitietoa	23	12	52	0,220	0,174	2,528	2,986	1	4	1	4

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persentiili.

Taulukot 9-12 sisältävät tietoa PAH-yhdisteisiin kuuluvasta naftaleenille altistumisesta.

Taulukko 9. Virtsan 2-naftoli-tulokset kaikki työntekijät. Yksikkö: mikrog/l

Työntekijät	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.
		n	%				
Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat	376	338	90	8,53	9,18	45,56	121,3
Pelastuslaitokset/operatiiviset palomiehet	215	168	78	8,63	8,49	64,04	141,7
Terästeollisuuden työntekijät	114	101	89	4,69	4,41	25,71	40,41

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persentiili.

Taulukko 10. Pelastusalan oppilaitosten kouluttajien virtsan 2-naftoli-tulokset tupakointiedon mukaan. Yksikkö: mikrog/l

Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan	
		n	%					n	%
Ei tupakoivat	320	289	90	8,57	9,31	48,70	121,3	195	61
Tupakoivat	35	32	91	9,04	8,15	48,53	62,45	7	20
Ei tupakointitietoa	21	17	81	7,25	6,39	42,22	43,74	9	43

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persentiili.

Taulukko 11. Pelastuslaitosten/operatiivisten palomiesten virtsan 2-naftoli-tulokset tupakointiedon mukaan. Yksikkö: mikrog/l

Pelastuslaitosten/operatiiviset palomiehet	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan	
		n	%					n	%
Ei tupakoivat	176	133	76	8,21	8,58	44,33	118,2	98	56
Tupakoivat	12	10	83	15,86	17,25	-	141,7	5	42

Pelastuslaitosten/ operatiiviset palomiehet	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan	
		n	%					n	%
Ei tupakointitietoa	27	25	93	9,10	5,99	87,52	100,3	12	44

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persentiili. - = ei voi laskea, koska n on pieni.

Taulukko 12. Terästeollisuuden työntekijöiden virtsan 2-naftoli-tulokset tupakointiedon mukaan.
Yksikkö: mikrog/l

Terästeollisuuden työntekijät	n	>MR		GM	Mediaani	P95	Maks.	>Alt. viiterajan	
		n	%					n	%
Ei tupakoivat	82	69	84	3,05	3,00	11,44	36,61	13	16
Tupakoivat	31	31	100	14,54	16,17	36,16	40,41	2	6
Ei tupakointitietoa	1	1	100	-	-	-	5,03	0	0

MR, määrittäysraja; GM, geometrinen keskiarvo; P95, 95. persentiili. - = ei voi laskea, koska n on pieni.

Kuten taulukkojen mediaaneista ja keskiarvoista nähdään, tupakointi vaikuttaa mittaustuloksiin. Erityisen selvästi se näkyy virtsan 1-pyrenoli-tuloksissa. Näin ollen tässä yhteydessä käsitellään ei tupakoivien henkilöiden mittaustuloksia. Näytteiden määrät vaihtelivat riippuen altistumisen biomarkkerista.

Bentseenille altistumisen biomarkkerin SPMA:n osalta voidaan huomata pelastusalan oppilaitosten kouluttajien osalta ei tupakoivilla, että 27% (54/199) näytteistä ylitti altistumattomien viiterajan. Tästä voidaan päätellä, että työperäistä altistumista bentseeneille tapahtuu pelastusalan oppilaitosten kouluttajilla. Sen sijaan pelastuslaitoksen operatiivisen työn ei tupakoivilla työntekijöillä SPMA:n altistumattomien viiteraja ei ylittynyt.

Terästeollisuuden ei tupakoivilla työntekijöillä 38%:lla (116/307) ylittyi altistumattomien viiteraja, ja tämän lisäksi 2 %:lla (6/307) ylittyi toimenpideraja.

Pyreenialtistumisen 1-pyrenoli biomarkkeri näytteitä on saatu kerättyä sekä pelastusalan oppilaitosten kouluttajilta n=275 sekä pelastuslaitosten operatiiviselta henkilöstöltä n=244. Ei tupakoivilla altistumisen viiteraja ylittyi 15%:lla (27/186) pelastusalan kouluttajista, 14 %:lla (26/188/ operatiivisilla palomiehillä ja 15 %:lla (67/456) terästehtaan työntekijällä. Vastaavat luvut toimenpidearvojen ylityksistä ovat seuraavat: 2 % (3/186), 3 % (6/188) ja 2 % (7/456)

PAH-yhdisteen 2-naftoli biomarkkerin osalta ei tupakoivien näytteitä kerättiin pelastusalan oppilaitosten kouluttajilta n=320 ja pelastuslaitosten operatiivisilta työntekijöiltä n=176. Ei

tupakoivilla altistumisen viiteraja ylittyi 61 % :lla (195/320) pelastusalan kouluttajista, 56 %:lla (98/176) operatiivisilla palomiehillä ja 16 %:lla (13/82) terästehtaan työntekijällä. Tästä voidaan päätellä, että sekä kouluttajilla että operatiivisilla työntekijöillä tapahtuu työperäistä altistumista PAH-yhdisteille.

Tilastolliset vertailut eri ryhmien välillä ei tupakoivien näytteiden osalta.

Taulukko 13. P-arvot* virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon (SPMA)-tuloksille.

	Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat (n=199)	Pelastuslaitokset/palomiehet (n=14)	Terästeollisuuden työntekijät (n=306)
Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat (n=199)	-	p=0,013	p=0,026
Pelastuslaitokset/palomiehet (n=14)	0,013	-	p=0,001
Terästeollisuuden työntekijät (n=306)	p=0,026	p=0,001	-

*asymptoottinen merkitsevyys (asymptotic significance); kaksisuuntainen (2-tailed).

Bentseenialtistuminen oli korkeampaa pelastusalan oppilaitosten kouluttajilla kuin pelastuslaitosten operatiivisilla palomiehillä. Tosin jälkimmäisessä tapauksessa mittauksia oli hyvin vähän. Terästeollisuuden työntekijät altistuivat enemmän verrattuna pelastusalan oppilaitosten kouluttajiin ja pelastuslaitosten palomiehiin.

Taulukko 14. P-arvot* virtsan 1-pyrenoli-tuloksille.

	Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat (n=186)	Pelastuslaitokset/palomiehet (n=188)	Terästeollisuuden työntekijät (n=453)
Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat (n=186)	-	p=0,104	p=0,011
Pelastuslaitokset/palomiehet (n=188)	p=0,104	-	p=0,380
Terästeollisuuden työntekijät (n=453)	p=0,011	p=0,380	-

*asymptoottinen merkitsevyys (asymptotic significance); kaksisuuntainen (2-tailed).

Jos kaksisuuntaisen testin p-arvo on $<0,05$, se viittaa tilastollisesti merkittävään eroon kahden ryhmän välillä. Ainoastaan pelastusalan oppilaitosten kouluttajien ja terästeollisuuden työntekijöiden tulokset eroavat tilastollisesti merkittävästi toisistaan ($p=0,011$). P-arvo ei

kuitenkaan kerro, kumman ryhmän tulokset ovat tilastollisesti korkeampia, vaan se katsotaan keskiarvosijoituksista. Pyreentialtistuminen oli korkeampaa terästeollisuuden työntekijöillä kuin pelastusalan oppilaitosten kouluttajilla. Muiden ryhmien tuloksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Taulukko 15. P-arvot* virtsan 2-naftoli-tuloksille.

	Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat (n=320)	Pelastuslaitokset/palomiehet (n=176)	Terästeollisuuden työntekijät (n=82)
Pelastusalan oppilaitosten kouluttajat (n=320)	-	p=0,650	p<0,001
Pelastuslaitokset/palomiehet (n=176)	p=0,650	-	p<0,001
Terästeollisuuden työntekijät (n=82)	p<0,001	p<0,001	-

*asymptoottinen merkitsevyys (asymptotic significance); kaksisuuntainen (2-tailed).

Jos kaksisuuntaisen testin p-arvo on <0,05, se viittaa tilastollisesti merkitsevään eroon. Pelastusalan oppilaitosten kouluttajien ja pelastuslaitosten/palomiesten mittaustulokset eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Sen sijaan terästeollisuuden työntekijöiden tulokset eroavat kahden muun ryhmän tuloksista (molemmissa tapauksissa p<0,001). P-arvo ei kuitenkaan kerro, kumman ryhmän tulokset ovat tilastollisesti korkeampia. Se voidaan katsoa keskiarvosijoituksista.

2-Naftolin osalta sekä pelastusalan oppilaitosten kouluttajien että pelastuslaitosten/palomiesten mittaustulokset ovat korkeampia kuin terästeollisuuden työntekijöiden. Naftaleenialtistuminen on hyvin samaa luokkaa sekä kouluttajilla että palomiehillä. On huomioitava, että terästeollisuuden työntekijät eivät ole vertailuryhmä, vaan ovat myös työperäisesti altistuneiden ryhmä.

5 Pohdinta

Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että palomiehet altistuvat bentseenille ja PAH-yhdisteille sekä operatiivisissa sammutustehtävissä että pelastusalan oppilaitosten koulutuksissa. Vaikka altistumisen ehkäisyyn on viime vuosina panostettu aiempaa enemmän, biomonitoroinnin perusteella voidaan todeta, ettei altistumista voida täysin poistaa. Tulokset tukevat aiempaa tutkimusnäyttöä siitä, että palomiehen työ sisältää altistusriskin syöpävaarallisille yhdisteille (Stec ym., 2018). Havaitut biomarkeripitoisuudet vahvistavat käsitystä, että sekä kouluttaja että operatiiviset palomiehet altistuvat työssään tasolla, joka ylittää osittain altistumattomien viiterajat. Tämä osoittaa, että altistuminen on työperäistä, eikä selity pelkästään ympäristö- tai elämäntapatekijöillä, kuten tupakoinnilla.

Tuloksiin saattaa liittyä virhelähteitä, jotka on huomioitava altistumisen arvioinnissa. Osa biomonitorointinäytteistä on kerätty pitkän aikavälin kuluessa, jopa useiden vuosikymmenten ajalta, minkä seurauksena näytteenotto-ohjeet ja -käytännöt ovat voineet muuttua. Tämän tutkimuksen näytteiden kokonaismäärä (n-määrä) on jäänyt vähäiseksi, mikä rajoittaa tulosten yleistettävyyttä ja tilastollista luotettavuutta. Lisäksi näytteitä ei ole voitu aina kohdentaa tarkasti tiettyihin työtehtäviin, mikä vaikeuttaa altistumisen ja operatiivisen työn luonteen välistä yhteyden arviota.

Altistumisen tasoon vaikuttavat useat tekijät, kuten sammutustehtävän aikaiset työtehtävät sekä palavien materiaalien laatu ja määrä. Operatiivisten palomiesten työtilanteet vaihtelevat huomattavasti, mikä vaikeuttaa altistuksen vertailua ja standardoitujen mittauskäytäntöjen soveltamista. Harjoituksissa käytetty polttomateriaali vaikuttaa merkittävästi syntyvien yhdisteiden määrään: esimerkiksi lastulevy ja muut liimapitoiset materiaalit tuottavat enemmän PAH-yhdisteitä kuin puhdas puu tai kaasu (Hwang ym., 2021). Operatiivisissa tehtävissä altistumisen hallinta on puolestaan haastavampaa, sillä palavien materiaalien koostumus vaihtelee arvaamattomasti ja tilanteet voivat pitkittyä jälkiraivauksen myötä. Näin ollen kouluttajien ja operatiivisten palomiesten altistumistasot voivat poiketa toisistaan, vaikka altistumista tapahtuu molemmissa ryhmissä toistuvasti ja kumulatiivisesti. Biomonitorointimenetelmät voivat tuottaa toisistaan poikkeavia tuloksia riippuen näytteenottoajankohdasta ja merkkiaineiden puoliintumisajoista. Kineettisiin virhelähteisiin sisältyy muun muassa näytteenottoajankohdan virhe. Lisäksi mahdollisia virhelähteitä ovat näytteiden kuljetus- ja säilytysvirheet sekä ympäristöperäiset tekijät, kuten grillatun ruoan syöminen, joka voi nostaa mitattuja PAH-pitoisuuksia. Fysiologisiin virhelähteisiin vaikuttaa

esimerkiksi virtsan laimentuminen suurten nestemäärien nauttimisen seurauksena. Tämä on kuitenkin huomioitu, sillä mittaustulokset on normalisoitu joko virtsan suhteelliseen tiheyteen tai korjattu kreatiniinierityksen perusteella. Edellä mainittujen tekijöiden vuoksi biomonitorointituloksia tulkittaessa on tärkeää huomioida näytteenoton ajallinen vaihtelu sekä operatiivisten ja harjoitusolosuhteiden erot. Jotta altistumisen arviointi olisi vertailukelpoista ja luotettavaa, on tarpeen kehittää yhtenäiset ohjeet ja käytännöt, jotka määrittävät selkeästi, missä tilanteissa ja milloin biomonitorointinäytteet kerätään.

Henkilökohtaisen suojautumisen ja altistumista vähentävien toimintatapojen ohella keskeinen keino altistumisen vähentämisessä on puhdas paloasema -malli, jossa paloaseman tilat on jaettu eri puhtausvyöhykkeisiin, ja näin estetään kontaminaation leviäminen hälytystehtäviltä asemaympäristöön. Tämä malli on jo laajasti käytössä Ruotsissa ja myös Suomessa se on yleistymässä uusien paloasemien suunnittelun yhteydessä. Lisäksi vanhoilla paloasemilla voidaan tehdä muutostöitä kohti puhdas paloasema -mallia. Sen avulla voidaan vähentää sekundaarista altistumista, joka liittyy varusteiden käsittelyyn ja säilyttämiseen.

Jatkotutkimuksen tarve voidaan pitää perusteltuna, sillä pelastusalan ammattilaisten altistumiseen liittyy edelleen useita avoimia kysymyksiä. Pelastusalan oppilaitoksilla on keskeinen rooli ennaltaehkäisevien toimintatapojen ja turvallisuuskulttuurin kehittämisessä, sillä niissä koulutautuu vuosittain merkittävä määrä alan tulevia ammattilaisia.

Oppilaitosympäristö tarjoaa myös erinomaiset mahdollisuudet tutkia altistumista hallituissa harjoittelutilanteissa, joissa olosuhteita voidaan seurata ja säädellä tarkasti. Tarkempi tieto altistumisen tasoista auttaisi kehittämään entistä tehokkaampia toimintamalleja altistumisketjun katkaisemiseksi. Lisäksi olisi tarpeen vertailla erilaisia käytäntöjä ja arvioida uusien menetelmien vaikutusta altistumisen vähentämiseen. Tällainen tutkimus tukisi sekä ennaltaehkäisevien toimintatapojen juurtumista koulutukseen ja sitä kautta työelämään, että tarjoaisi arvokasta tietoa siitä, millaisin konkreettisin keinoin pelastusalan työntekijöiden terveysriskejä voidaan pienentää ja työuran aikainen kumulatiivinen altistuminen minimoida.

Lähteet

- Boogaard, P. J. (2022). Human biomonitoring of low-level benzene exposures. Teoksessa *Critical Reviews in Toxicology* (Vsk. 52, Numero 10, ss. 799–810). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.1080/10408444.2023.2175642>
- Demers, P. A., DeMarini, D. M., Fent, K. W., Glass, D. C., Hansen, J., Adetona, O., Andersen, M. H., Freeman, L. E. B., Caban-Martinez, A. J., Daniels, R. D., Driscoll, T. R., Goodrich, J. M., Graber, J. M., Kirkham, T. L., Kjaerheim, K., Kriebel, D., Long, A. S., Main, L. C., Oliveira, M., ... Schubauer-Berigan, M. K. (2022). Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter. *The Lancet. Oncology*, 23(8), 985–986. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00390-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00390-4)
- Fent, K. W., Alexander, B., Roberts, J., Robertson, S., Toennis, C., Sammons, D., Bertke, S., Kerber, S., Smith, D., & Horn, G. (2017). Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(10), 801–814. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1334904>
- Fent, K. W., Mayer, A. C., Toennis, C., Sammons, D., Robertson, S., Chen, I. C., Bhandari, D., Blount, B. C., Kerber, S., Smith, D. L., & Horn, G. P. (2022). Firefighters' urinary concentrations of VOC metabolites after controlled-residential and training fire responses. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 242.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113969>
- Furlong, M. A., Liu, T., Snider, J. M., Tfailly, M. M., Itson, C., Beitel, S., Parsawar, K., Keck, K., Galligan, J., Walker, D. I., Gulotta, J. J., & Burgess, J. L. (2023). Evaluating changes in firefighter urinary metabolomes after structural fires: an untargeted, high resolution approach. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47799-x>
- Helsinki, S. (2023). *Ohje pelastustoimen sukellus- ja pintapelastustoimintaan*.
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-324-964-6>
- Horn, G. P., Fent, K. W., Kerber, S., & Smith, D. L. (2022). Hierarchy of contamination control in the fire service: Review of exposure control options to reduce cancer risk. Teoksessa *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* (Vsk. 19, Numero 9, ss. 538–557). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/15459624.2022.2100406>
- Hwang, J., Xu, C., Agnew, R. J., Clifton, S., Malone, T. R., & Otero, M. (2021). Health Risks of Structural Firefighters from Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Public Health*, 18, 4209. <https://doi.org/10.3390/ijerph1808>
- Hwang, J., Xu, C., Grunsted, P., Agnew, R. J., Malone, T. R., Clifton, S., Thompson, K., & Xu, X. (2022). Urinary Metabolites of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Firefighters: A Systematic Review and Meta-Analysis. Teoksessa *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vsk. 19, Numero 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148475>

- Jahnke, S. A., Jitnarin, N., Haddock, C. K., Kaipust, C., Carlos Poston, W. S., Hollerbach, B. S., Crisp, C., & Metoyer, B. N. (2024). Meta-Analysis of Incidence and Mortality of Firefighter Cancer: An Update on Emerging Science. *Teoksessa Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* (Vsk. 25, Numero 3, ss. 801–811). Asian Pacific Organization for Cancer Prevention. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2024.25.3.801>
- Juutinen, M., Silfverhuth, I., Nygren, H., & Tolvanen, M. (2024). *Pelastajatarve 2024-2032 Perustuen pelastajatarvekyselyyn ja eläköitymisennusteeseen*.
- Kang, A. W., & Lui, N. S. (2025). Factors associated with lung cancer among firefighters: a systematic literature review. *BMC public health*, 25(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21432-0>
- Laitinen, J., Mäkelä, M., Mikkola, J., & Huttu, I. (2012). Firefighters' multiple exposure assessments in practice. *Toxicology Letters*, 213(1), 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.06.005>
- Navarro, K. M., Schweizer, D., Balmes, J. R., & Cisneros, R. (2018). A review of community smoke exposure from wildfire compared to prescribed fire in the United States. *Teoksessa Atmosphere* (Vsk. 9, Numero 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/atmos9050185>
- OCCUPATIONAL EXPOSURE AS A FIREFIGHTER VOLUME 132 IARC MONOGRAPHS ON THE IDENTIFICATION OF CARCINOGENIC HAZARDS TO HUMANS*. (2023).
- Sohlman, P. (ei pvm.). *Tilastotietoa palomiehistä 2000-2020*.
- Soteriades, E. S., Kim, J., Christophi, C. A., & Kales, S. N. (2019). Cancer incidence and mortality in firefighters: A state-of-the-art review and meta-analysis. *Teoksessa Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* (Vsk. 20, Numero 11, ss. 3221–3231). Asian Pacific Organization for Cancer Prevention. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2019.20.11.3221>
- Stec, A. A., Dickens, K. E., Salden, M., Hewitt, F. E., Watts, D. P., Houldsworth, P. E., & Martin, F. L. (2018). Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20616-6>
- Taeger, D., Koslitz, S., Käfferlein, H. U., 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114110>
- Teixeira, J., Bessa, M. J., Delerue-Matos, C., Sarmiento, B., Santos-Silva, A., Rodrigues, F., & Oliveira, M. (2024). Firefighters' personal exposure to gaseous PAHs during controlled forest fires: A case study with estimation of respiratory health risks and in vitro toxicity. *Science of the Total Environment*, 908. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168364>
- Wingfors, H., Nyholm, J. R., Magnusson, R., & Wijkmark, C. H. (2018). Impact of fire suit ensembles on firefighter pah exposures as assessed by skin deposition and urinary biomarkers. *Annals of Work Exposures and Health*, 62(2), 221–231. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx097>

Wolffe, T. A. M., Clinton, A., Robinson, A., Turrell, L., & Stec, A. A. (2023). Contamination of UK firefighters personal protective equipment and workplaces. *Scientific Reports*, 13(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-25741-x>