



PELASTUSOPISTO

Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa

Juha Laitinen, Marko Hassinen, Kalle Kiviranta, Pekka Toivanen, Ismo Huttu, Raimo Savola, Viivi Ahonen ja Jarno Ruusunen, Pelastusopisto

Sirkka Rissanen, Työterveyslaitos

Arja Uusitalo, Helsingin Urheilulääkäriasema



B

TUTKIMUSRAPORTTI



PELASTUSOPISTO

Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa

Juha Laitinen, Marko Hassinen, Kalle Kiviranta, Pekka Toivanen, Ismo Huttu, Raimo Savola, Viivi Ahonen ja Jarno Ruusunen, Pelastusopisto

Sirkka Rissanen, Työterveyslaitos

Arja Uusitalo, Helsingin Urheilulääkäriasema



PELASTUSOPISTO

Pelastusopisto

PL 1122

70821 Kuopio

www.pelastusopisto.fi

B-sarja: Tutkimusraportti

1/2022

ISBN 978-952-7217-56-6

ISSN 2342-9313



Pelastusopisto

Juha Laitinen, Marko Hassinen, Kalle Kiviranta, Pekka Toivanen, Ismo Huttu, Raimo Savola, Viivi Ahonen, Jarno Ruusunen, Sirkka Rissanen, Arja Uusitalo

Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa

Tutkimusraportti, 108 s., 1 liite (2 s.)

Maaliskuu 2022

Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli kartoittaa käytössä olevia pelastajien työvälineitä ja suojarusteita metsäpaloissa. Mitata sammuttajien lämpökuormittumista erilaisilla palopukukokonaisuuksilla laboratoriossa, simuloimalla metsäpalojen sammutusta metsänhoidollisissa kuloutuksissa ja Pelastusopiston metsäpaloradalla. Lämpökuormitusta mitattiin sammuttajan ihon lämpötilan, syvälämpötilan, hikoilun määrän, vaatteisiin sitoutuneen kosteuden määrän, syketaajuuden sekä lämpö-, rasittavuus- ja käytettävyytstuntemusten avulla.

Sammuttajien altistumista mitattiin myös simulaatioiden aikana kuloutuksissa syntyville kemiallisille yhdisteille. Sammuttajien hengitystiealtistumista mitattiin suoraan osoittavilla ja keräävillä mittalaitteilla heidän hengitysvyöhykkeeltä. Ihoaltistumista puolestaan mitattiin niskasta, selästä, rinnasta, reidestä ja säärestä sekä kokonaisaltistumista verestä, virtsasta ja uloshengitysilmaasta.

Suorituskykytesteissä testattiin erilaisten työvälineiden toimivuutta metsäpaloradalla, kemiallisen rajoitusaineen ja koehenkilöiden paikannuslaitteistojen toimivuutta kulotusten yhteydessä, metsäpalopukujen näkyvyyttä ilmasta ja tekoälyn opettamista savuhavaintojen tekemiseen sekä tilannekuvan kehittämistä nelikoptereiden avulla Pelastusopiston harjoitusalueella.

Tulokset osoittivat, että nyt laajalti käytössä olevat huoneistopaloihin tarkoitetut palopuvut eivät sovellu metsäpalojen sammutukseen niiden liiallisen lämpökuormittavuuden johdosta, sen sijaan metsäpalopukujen lämpökuormitus oli merkittävästi pienempi. Myös lyhyet alusvaatteet todettiin huonoiksi ihoaltistumisen torjunnassa. Metsäpalopuvun alla käytetyt pitkähihaiset ja lahkeiset tekniset alusasut vähensivät ihoaltistumista merkittävästi. Sammuttajat altistuivat hengitysteitse liiallisesti hengittävälle pölylle, formaldehydille, akroleiinille ja hiilimonoksidille.

Lämpökuormittumisen, kemiallisen altistumisen, silmien suojaamisen ja työn suuren fyysisen kuormituksen vuoksi ainoaksi käyttökelpoiseksi hengityksensuojaimeksi metsäpaloihin arvioitiin puhallinavusteinen hengityksensuojain, joka oli varustettu yhdistelmäsuodattimella A2B2E2K2-P3 ja silmät suojaavalla maskilla. Muista työvarusteista kevyet pelastuskypärät, nahkaiset työkäsiineet aluskäsiineillä ja varsikengät olivat suositeltavimpia suojarusteita.

Sammuttajien paikannuksesta, reaaliaikaisista altistumistiedoista, ja toimintakykyä mittaavista antureista saatiin lupaavia kokemuksia. Laitteisto toimi matkapuhelinverkossa erittäin hyvin, myös syrjäseuduilla ja saariolosuhteissa. Kemiallisista rajoitusaineista saatiin myös kulotusten yhteydessä lupaavia kokemuksia samoin kuin moottoriavusteisesta letkuselvityksestä harjoitusalueella.



Metsäpalopukujen näkyvyys todettiin varsin huonoksi ilmasta käsin, mutta värikkäillä kypärillä tilannetta voitiin parantaa.

Suurien metsäpalojen sammuttaminen vaatii saumatonta yhteistyötä useiden tahojen kanssa. Metsäpalojen havainnointi ja niiden ennakointi satelliittien, reittilentojen ja tähystyslentojen avulla on merkittävässä roolissa, kuten myös Pelastuslaitosten varautuminen metsäpaloihin. Torjuntasuunnitelman tulisi sisältää valmiuden nostamisen metsäpalokaudella, tiedotuksen lisäämisen metsäpalovaarasta ja sen vaatimista varoituksista, sekä tarvittavien metsäpalotoimintojen harjoittelun, kuten muissakin operatiivisissa pelastustehtävissä. Metsäpalon sattuessa hyvin torjuntasuunnitelman tehneellä pelastuslaitoksella on jo käytettävissä ennusteet metsäpaloalueen palon leviämisestä erilaisilla tuuliolosuhteilla, jos palo on tunnistetuilla riskialueella.

Yhtä tärkeässä roolissa on reaaliaikaisen oikean tilannekuvan muodostaminen palopaikalta ja säätietojen sekä leviämismallinnusten yhdistäminen siihen. Kun nämä tiedot ovat käytettävissä, on paremmat mahdollisuudet tehdä parempi arvio tarvittavista evakuoinneista, resursseista ja avuntarpeesta. Oikea tilannekuva mahdollistaa myös joukkojen ja kaluston sijoittamisen oikein, palon rajoittamisen ja sen kärjen katkaisun tehokkaammin. Samalla vähennetään työn rasittavuutta, altistumista ja lisätään kaikkien työturvallisuutta.

Viestintäliikenteen toimiminen ja sammuttajien paikallistaminen ovat tärkeitä turvallisuuselementtejä, joihin tulevaisuudessa tulisi kiinnittää entistä parempaa huomiota. Huollon tärkeyttä sammutusveden, polttoaineen, sammutuskaluston, viestintävälineiden ja etenkin miehistön osalta ei sovi vähätellä. Pidempikestoissa metsäpaloissa miehistön huollon merkitys korostuu työn suuren lämpökuormittavuuden ja rasittavuuden johdosta, jolloin heidän neste- ja ruokahuoltojen on toimittava. Lisäksi peseytymismahdollisuudet ja puhtaat varusteet on oltava saatavilla, jotta ihoaltistumisen riskiä voidaan vähentää. Mahdollisten työtapaturmien sattumisen varalta metsäpaloissa on oltava myös ensihoitoyksikkö mukana.

Sammuttajien varustukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Vähemmän kuormittavat metsäpalopuvut, joiden alla on pitkähihaiset ja -lahkeiset tekniset alusvaatteet toimivat mittauksen mukaan metsäpaloissa hyvin, niin lämpökuormittavuuden kuin ihon suojauksen osalta. Suojavarusteiden lisäksi tarvitaan puhallinavusteinen hengityksensuojain varustettuna yhdistelmäsuodattimella ja silmät suojaavalla kasvo-osalla, joka poisti hengitysilmaasta hiukkasten lisäksi myös syöpävaarallisen formaldehydin ja akroleiinin. Lisäksi kasvo-osa suojasi koehenkilöiden silmiä ärsyttäviltä kaasuilta ja puhallin vähensi hengityksensuojaimen hengitysvastusta verrattuna suodattavaan suojaimeen.

Valitettavasti yhdistelmäsuodatinkaan ei poista hengitysilmaasta hiilimonoksidia, joten hiilimonoksidi-ilmaisimen käyttö on suositeltavaa, joka varoittaa sammuttajaa liian korkeista hiilimonoksidipitoisuuksista. Kevyt pelastuskypärä vähentää niskan rasitusta ja varsikengät puolestaan vähentävät nilkannyrjähdysriskiä. Nahkaisilla työkäsiineillä vähennetään käsien kautta tulevaa altistumista. Käsiineiden alla olevia aluskäsiineitä on hyvä vaihtaa aina tarvittaessa.

Työn rasittavuutta voidaan vähentää edelleen letkujen selvityksessä käyttäen esimerkiksi telamönkijää tai työjohtona pienenpää, läpimitaltaan 25 mm:n johtoa. Rajoituslinjojen teossa voi hyödyntää miehittämättömiä sadetin, reikäliitin tai reikäletku mahdollisuuksia. Maaperän niin salliessa myös kemialliset rajoitusaineet tarjoavat hyvän mahdollisuuden rajoituslinjan tekemiseen. Mikäli tarvitaan poistaa pintamaata ja tehdä aukkoja metsään, tarjoavat kaivinkoneet ja metsäkoneet



helpotusta tähän. Itse manuaalinen sammutustyö kannattaa tehdä aina tuulen yläpuolelta, kun se on mahdollista. Palon kärkeä katkaistaessa usein kuitenkin joudutaan toimimaan tuulen alapuolella, jolloin on ehdottomasti käytettävä paineilmahengityksensuojaimia. Kärjen katkaisussa kannattaa myös hyödyntää ilmasammutusta, modifioituja metsäkoneita ja sammutusperävaunuja. Jälkimmäisissä on oltava myös ohjaamon raitisilmasuodattimet kunnossa ja tarvittaessa myös paineilmahengityksensuojain kuljettajalle.

Avainsanat: Metsäpalo, varautuminen, tilannekuva, työturvallisuus ja huolto.



Emergency Services Academy Finland

Juha Laitinen, Marko Hassinen, Kalle Kiviranta, Pekka Toivanen, Ismo Huttu, Raimo Savola, Viivi Ahonen, Jarno Ruusunen, Sirkka Rissanen, Arja Uusitalo

Firefighters' tools and personal protective equipment in forest fires

Research report, 108 p., 1 appendix (2 p.)

March 2022

Abstract

The aim of the project was to find out the best firefighting tools and personal protective equipment for firefighters in forest fires. Firefighters' tools were tested and firefighters' heat load and exposure to chemical were measured. Testing and measurements were carried out in the laboratory simulations, in forest management burnings and at the forest fire training track. Different garments and personal protection levels were used in these tests. Heat load was measured by recording firefighters' skin and core temperatures, weight loss and amount of absorbed moisture to clothing, heart rates, and their perceived sensation of the heat, strain, and usability of the suits. Their chemical exposure was measured from their breathing zone by direct reading instruments, and passive and active air samplers. Firefighters' dermal exposure was measured from their neck, back, chest, thigh and lower leg by dermal exposure samplers. Total exposure was followed by biomonitoring from their blood, urine and exhaled air samples. The functionality of chemical fire retardant on the restriction line, were also tested. The usability of devices which allows firefighters to be located and their exposure evaluated online, were tested in forestry management burnings. The visibility of forest fire suits from the air was also tested. The early detection of forest fires by teaching an artificial intelligence system to make smoke observations, were also evaluated in the forest fire training ground.

The results showed that widely used fire garments designed for structural fires are not suitable for extinguishing work in forest fires due to their excessive heat load. The heat load of the tested forest fire garments was significantly lower. Short underwear was also found to be poor in combating against skin exposure. Instead, long-sleeved and -legged technical underwear used under the forest fire garment, significantly decreased firefighters' skin exposure. According to the occupational measurements firefighters were exposed to excessive concentrations of inhalable dust, formaldehyde, acrolein and carbon monoxide. Due to thermal load, chemical exposure, necessary eye protection, and high physical strain on the work, the best respirator for forest fires was found to be fan-assisted respirator equipped with a combination filter A2B2E2K2-P3 and face mask or helmet. In addition, we recommended to use light rescue helmet, leather gloves with under gloves, and combat boots for firefighting in forest fires. To be able to improve work safety in forest fires, promising experiences were also gained with a device, which enable to monitor firefighters' location, exposure and performance to work by the person in charge of the situation. The equipment worked very well in the mobile phone network in rural and island conditions. Promising experiences with chemical fire retardant, were also gained during forestry management burnings, as well as the use of tracked ATV or forest tractor in laying hoses in the forest fire training track. The visibility of the forest fire garment was found to be poor from the air, but with colorful helmet the visibility could be improved.



Extinguishing large forest fires requires seamless cooperation with several parties. The detection and prediction of forest fires by means of satellites, scheduled flights and reconnaissance flights play an important role, as does the preparation of rescue services for forest fires. In their forest fire response plan departments should include raising preparedness during the forest fire season, raising awareness of the risk of forest fires and the warnings required for them, as well as training in the necessary forest fire operations. In the event of a forest fire, the rescue service which has made a good response plan, already has predictions of the possible spreading of the forest fire in different wind conditions, if the fire is located in identified forest fire risk area. Equally important is to create a real-time situational picture and the integration of weather data and fire spread models into it. When this information is available, there is a better chance of making a better estimate of the evacuations, needed resources, and assistance. A correct situational picture also allows firefighters and firefighting equipment to be positioned correctly, to limit the fire and to cut off its tip more effectively. At the same time, the workload and exposure are decreased, and everyone's occupational safety is increased.

The operation of communications and the managements of the location of firefighters are important security elements that should be paid more attention on in the future. Equally, the importance of the rest and recovery of firefighters and maintenance in terms of extinguishing water, and extinguishing equipment should not be underestimated. In the case of long-lasting forest fires, the importance of firefighters' rest and recovery is even more important due to the high heat- and workload. In addition, washing facilities and clean equipment must be available to reduce firefighters' skin exposure. The risk of an accident in a forest fire is also high, which justifies the presence of a first aid unit at the fire site.

Special attention must be paid to the firefighters' personal protective equipment. Forest fire suits with long-sleeved and legged technical underwear worked well in forestry managements burnings, both in terms of thermal load and skin protection. In addition of that, a fan-assisted respirator equipped with combination filter is needed to remove particles and carcinogenic formaldehyde and acrolein from the breathing air. The facemask of the respirator protects firefighters' eyes from irritating gases, and the fan-assisted respirator reduce their respiratory resistance. Unfortunately, the combination filter does not remove carbon monoxide from the breathing air, so the use of a carbon monoxide detector is recommended to warn the firefighters too high carbon monoxide concentrations. The light rescue helmet reduce strain on the neck and the combat boots reduce ankle sprains. Leather gloves reduce dermal exposure through the hands.

The workload can be further reduced, for example by assisting the laying of the hoses by tracked ATV or using lighter 25 mm diameter hoses. Unmanned sprinkler, hole connector or hole-hose punctured hoses options can be used to make the restriction lines. When the soil allows it, chemical fire retardant agents also provide a good opportunity to make a restriction line. If it is necessary to remove topsoil and make openings in the forest, excavators and forestry machines offer relief for this. The manual extinguishing work itself should always be done upwind whenever possible. However, when cutting the tip of a fire, it is often necessary to work under the wind, in which case it is necessary to use compressed air breathing apparatus. It is also worth using aircraft or helicopter extinguishing, modified forest machines and fire extinguishing trailers to cut off the tip of fire. The latter must also be equipped with fresh air filters of the cab or with drivers' compressed air breathing apparatus.

Keywords: Forest fire, preparedness, situational picture, occupational safety and maintenance



Alkusanat

Tutkimusryhmä kiittää Tornator Oyj:tä erinomaisesta yhteistyöstä kulotusalueiden tarjoamisessa tutkimuskäyttöön ja Suonenjoen palokuntakerhoa kulotusalueiden sammutus- ja jälkivartioinnista. Erityiskiitos menee Metsähallituksen Rauli Perkiölle, joka toimi tutkimusryhmämme neuvonantajana kulotusten järjestämisessä. Kiitokset menevät myös palopäällikkö Mika Viertolalle, joka järjesti neljännen kulotuskohteen ja sen jälkivartioinnin. Lisäksi kiitämme hankkeessamme mukana olleita yrityksiä, jotka mahdollistivat erilaisten tuotteiden kokeilun hankkeen testeissä. Kiitokset menevät myös mukana olleille koehenkilöille, joita ilman mittauksia ei olisi saatu järjestettyä. Työterveyslaitoksen ja Säteilyturvakeskuksen laboratorioita kiitämme tarvitsemistamme analyyseistä.

Hankkeen Eduskunnan rahoituksen saamisesta kiitämme Suomen Pelastusalan ammattilaisten toimitusjohtaja Kim Nikulaa, jonka panos oli merkittävä rahoituksen saannissa. Lisäksi kiitämme Palosuojelurahastoa hankkeen lisärahoituksesta.

Kuopiossa 3.3.2022

Tutkimusryhmän puolesta

Marko Hassinen

Projektipäällikkö



Sisällys

1 Tausta.....	3
2 Varautuminen pelastuslaitoksilla.....	5
3 Työvälineet ja -menetelmät.....	7
3.1 Käsityökalut.....	7
3.1.1 Kuokat, kirveet ja lapiot.....	8
3.1.2 Reppuruiskut.....	8
3.2 Rajoitusmenetelmät.....	9
3.2.1 Perinteinen rajoituslinja.....	9
3.2.2 Miehittämätön rajoituslinja.....	9
3.2.3 Kemialliset rajoitusaineet.....	11
3.3 Kevyet työkoneet metsäpalojen torjunnassa.....	12
3.4 Lentosammutus Suomessa.....	13
3.5 Vaihtoehtoiset sammutusmenetelmät.....	15
3.6 Raskaat työkoneet metsäpalojen torjunnassa.....	15
3.6.1.Traktori ja lietevaunu.....	15
3.6.2 Traktori ja metsäperävaunu.....	15
3.6.3 Modifioitu kuormatraktori.....	16
3.6.4 Letkujen huollossa tarvittavat koneet.....	18
4 Tilannekuva.....	19
5 Henkilökohtaiset suojaimet.....	22
6 Sammuttajien altistumisen ja lämpökuorman haittavaikutukset.....	25
6.1 Altistuminen ja sen vaikutukset.....	25
6.2 Lämpökuormittuminen ja sen vaikutukset.....	27
6.3 Sammutustyön rasittavuus verrattuna muihin ammatteihin.....	28
7 Tutkimuksen tavoitteet.....	29
8 Tutkimusasetelma, aineisto, menetelmät ja eettiset kysymykset.....	30
8.1 Asetelma.....	30
8.2 Aineisto.....	30
8.3 Menetelmät.....	31
8.3.1 Työvälineiden ja suojavarusteiden sekä altistumisen haittavaikutusten kartoitus.....	31
8.3.2 Palopukujen lämpökuormittavuus laboratoriossa.....	31
8.3.3 Sammuttajien altistuminen kulotuksissa Pieksämäellä ja Kuhmossa.....	34
8.3.4 Parannetun ja perinteisen suojauksen vertailu metsäpaloradalla.....	35



8.3.5 Sammuttajien online-tiedon merkitys tilannetietoisuuden lisäämisessä	36
8.3.6 Suorituskykytestit letkuselvityksessä	37
8.3.7 Vaihtoehtoiset tekniikat rajoituslinjojen tekoon	38
8.3.8 Palon varhainen havaitseminen	40
8.3.9 Eettiset kysymykset	41
9 Tulokset	42
9.1 Käytössä olevat työvälineet ja suojavarusteet Suomen metsä- ja maastopaloissa	42
9.1.1 Työvälineet	42
9.1.2 Suojavarusteet	42
9.2 Laboratoriotestit	44
9.2.1 Lämpökuormittavuus	45
9.2.2 Lämpö-, kuormittuneisuus- ja käytettävyyystuntemukset	48
9.3 Lämpökuormittumis- ja altistumismittaukset metsänkulutuksessa	48
9.3.1 Lämpökuormittuminen	49
9.3.2 Lämpö- ja kuormittuneisuus- ja käytettävyyystuntemukset	51
9.3.3 Altistuminen kemiallisille aineille	52
9.4 Perinteisen ja parannetun suojauksen vertailu metsäpaloradalla	59
9.4.1 Lämpökuormittuminen	59
9.4.2 Lämpö-, kuormittuneisuus- ja käytettävyyystuntemukset	61
9.4.3 Hengitystiealtistuminen	62
9.4.4 Ihoaltistuminen	62
9.4.5 Kokonaisaltistuminen	63
9.5 Suorituskykymittaukset letkunselvitys	63
9.5.1 Nopeus, lämpökuormitus ja rasittavuus	63
9.5.2 Letkun halkaisija ja sammuttajan näkyvyys ilmasta	65
9.6 Tilannekuva	66
10 Tulosten tarkastelu	73
10.1 Sammuttajan lämpökuormittuminen	73
10.2 Sammuttajan altistuminen	74
10.3 Keinot sammuttajan lämpökuormittumisen ja altistumisen vähentämiseen	78
10.4 Suositukset työvälineistä ja työtaktiikoista metsäpalojen sammutukseen	80
10.5 Runkolinjan selvittäminen henkilötyönä	82
11 Johtopäätökset	84
12 Suositukset	96
Kirjallisuuslähteet	98



1 Tausta

Kasvihuoneilmiön seurauksena metsät kasvavat nopeammin ja paloainesta kertyy metsiin kiihtyvällä vauhdilla (Stephens ja Ruth, 2005; Keywood ym., 2013 ja Liu ym., 2013; Bedia ym., 2014). Myös sateettomien kausien on sanottu pidentyneen, josta varoittava esimerkki löytyy vuodelta 2018, joka lisäsi metsäpaloja ja niiden aiheuttamia tuhoja etenkin Ruotsissa (Haverinen, 2018; Sisäministeriö, 2018). Se että suurmetsäpaloja ei Suomessa ole juurikaan esiintynyt, väitetään johtuvan erilaisesta puustosta ja pohjakasvillisuudesta verrattuna Ruotsiin. Lisäksi Suomessa on enemmän paloja rajaavia luonnonesteitä ja useiden vesistöjen ansioista myös sammutusvettä on paremmin saatavilla kuin Ruotsissa. Suomen kattavamman metsäautoteiden verkoston on myös mainittu helpottavan tulipalojen saavutettavuutta ja niiden sammutustöitä. Eräänä merkittävänä tekijänä palojen torjunnassa on myös nostettu esiin Suomen sopimuspalokuntien suurempi määrä Ruotsiin verrattuna (Hakkarainen, 2018; Ruuska 2020). Kesä 2021 kuitenkin muistutti, että suurpalon mahdollisuus on Suomessakin olemassa. Tuulivoimaloiden työmaan ympäristössä syttynyt metsäpalo poltti Rautiolla 227 hehtaarin alueen. Paloa oli sammuttamassa kahden viikon aikana yhteensä 1500 henkilöä ja sammutustöihin osallistuivat kaikki pelastuslaitokset. Oli myös erittäin lähellä, että lentosammutuskalustoa olisi pyydetty myös Ruotsista. Entä kuinka olisi käynyt jos useita suurmetsäpaloja olisi syttynyt samanaikaisesti eri puolilla Suomea? Kuinka olisi priorisoitu Suomen käytettävissä oleva ilmasammutuskalusto ja kuka päätökset olisi tehnyt?

Ruotsin suurten metsäpalojen jälkeen on myös Suomessa pohdittu metsäpaloihin varautumista (Maa- ja metsätalousministeriö, Sisäministeriö 2019). Jarno Soisalon diplomityössä on mietitty, kuinka metsäpalot saadaan tunnistettua paremmin kehittämällä lentotähystämistä tai vaihtoehtoisia menetelmiä, kuten miehittämättömiä aluksia, kamerateknologiaa ja satelliitteja (Soisalo, 2021). Lisäksi on pohdittu radiolinkkien hyödyntämistä kameravalvontaan, josta tekoäly pystyisi tunnistamaan metsäpalot ja määrittämään niiden sijainnin (Telia, 2021). Suomessa on tutkittu metsävaratiedon parempaa hyödyntämistä ja maastopalojen leviämismallien käyttöä Pohjois-Karjalassa "Metsäpalon leviämisen ennustamisväline -Mellevä" -hankkeessa (Kolstela, 2019; Metsäkeskus, 2019). Hankkeissa on luotu staattisia paloherkkyyskartastoja sekä demonstroitu kanadalaista Prometheus-mallia Pohjois-Karjalan pelastuslaitoksen alueella. Maastopalon leviämistä mallintavia ohjelmia ei sensijaan ole käytetty pelastustoiminnassa Suomessa. Pelastusopistolla Mast-hankkeessa on kehitetty pelastustoimeen johtamisen avuksi metsäpalojen simulointiohjelmaa maastopaloihin (Metsäkeskus, 2021). Ohjelma hyödyntää mm. reaaliaikaisia säätietoja, metsäkeskuksen luomaa metsävaratietoa ja erikseen laadittuja paloherkkyyskarttoja. Ohjelma pohjautuu maailmalla tutkittuun ja tunnustettuun Kanadalaiseen Prometheus ohjelmistoon. Hanke on toteutettu yhteistyössä Pelastusopiston, Metsäkeskuksen, Ilmatieteenlaitoksen ja Arbonautin kanssa. Pelastusopiston Mariska hankkeessa on laadittu Staattisia palokarttoja ja kartat tullaan ottamaan käyttöön eri pelastuslaitosten tueksi 2022 (Metsäkeskus, 2022).

Metsäpalot ovat luonteeltaan pitkäkestoisia, jonka vuoksi ne sitovat pelastuslaitosten henkilö- ja sammutusresursseja pitkäksi aikaa. Lisäksi työ on fyysisesti raskasta ja aiheuttaa työntekijöille merkittävän lämpökuorman. Metsäpaloissa syntyvä savu on myös sammuttajan terveydelle vaarallista, joten heidän hengitystie-, iho- ja kokonaisaltistumisen vähentäminen on erittäin tärkeää. Lämpökuormittumisen aiheuttama hikoilu ja ihon kostuminen entisestään lisäävät ihoaltistumista ja työn fyysinen raskaus puolestaan hengitystiealtistumista. Näin ollen keveämpien työmenetelmien ja



vähemmän altistavien sammutustekniikoiden kehittäminen on tärkeää, etenkin kun maasto- ja metsäpalojen sammuttamisen luonne ei ole juurikaan muuttunut viimeisten vuosikymmenten aikana (Holm, 2015; Pirkanmaan Pelastuslaitos, 2018). Valitettavasti varusteissakaan ei ole saavutettu edistymistä, valtaosalla on edelleen käytössä rakennuspaloihin suunnitellut palopuvut, raskaat palokypärät, palosaappaat ja hengityksensuojaimet, jotka on kehitetty huoneistopalojen näkökulmasta ja sopivat erittäin huonosti maasto- ja metsäpaloihin (SPEK, 2021). Huoneistopaloihin suunnitellut palopuvut ovat hyvin lämpökuormittavia, raskaat palokypärät eivät sovellu useiden päivien yhtäjaksoiseen työskentelyyn, palosaappaat toimivat huonosti vaikeakulkuisessa maastossa ja paineilmahengityksensuojaimen toiminta-aika on aivan liian lyhyt maastopaloissa käytettäväksi. Kun lisäksi kertakäyttöiset hengityksensuojaimet ovat hankalia käyttää, niin niitäkin käytetään hyvin vähän (SPEK, 2021).

Maastopalojen määrän on ennustettu lisääntyvän, joten on myös oletettavaa, että ne pitkäkestoisina tehtävinä lisäävät pelastushenkilöstön altistumiskuormaa tulevaisuudessa. Palomiehet altistuvat sammutustöissä hapenkuljetusta estäville kemiallisille yhdisteille (Materna ym., 1992; Reinhardt and Ottmar, 2004), ärsyttäville kaasuille (Bolstad-Johnson ym., 2000; De Vos ym., 2006; Laitinen ym., 2016) ja pitkäaikaisvaikutuksia aiheuttaville aineille, kuten syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille (Caux ym., 2002; Reinhardt and Ottmar, 2004; Laitinen ym., 2010). Aineiden vaikutuksista palomiesten terveyteen on saatu viitteitä mm. pohjoismaisessa syöpätutkimuksessa, jossa palomiehillä todettiin vähintään kaksinkertainen eturauhassyövän, keuhkojen adenokarsinooman ja asbestin aiheuttaman keuhkopussisyövän ilmaantuvuus verrattuna muuhun väestöön verrattuna (Pukkala ym., 2014). Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös muissa tutkimuksissa (Lemaster ym., 2006; IARC, 2010; Daniels ym., 2014; Straif ym., 2015). Epäpuhtaudet kulkeutuvat palomiesten elimistöön hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta (Swiston ym., 2008; Laitinen ym., 2012; Fent ym., 2013; Fent ym., 2014; Laitinen ym. 2016). Etenkin metsäpaloissa palomiesten altistuminen kaikkien altistumisreittien kautta on todellisuutta. Lisäksi metsäpalojen pitkät sammutusajat ja haasteet miehistön sekä varusteiden peseytymisen osalta, entisestään lisäävät palomiesten altistumista (Swedish Civil Contingencies Agency, 2015; Domitrovich ym., 2017; Instituut Fysieke Veiligheid, 2018).

Hankkeemme päätavoiteena oli löytää metsäpaloihin vähemmän fyysisesti rasittavat sammutustaktiikat ja -tekniikat sekä palomiehille tarkoituksenmukaisimmat suojaruuvit metsäpaloissa syntyviä epäpuhtauksia ja lämpökuormaa vastaan. Tavoitteenamme oli löytää asukokonaisuus, joka suojaisi ihoaltistumiselta, mutta olisi kuitenkin niin hengittävä ettei sammuttaja uupuisi lämpökuorman alla. Tastasimme hankkeessa puhallinavusteisen hengityksensuojaimen toimivuutta metsäpalo sammutuksessa. Samalla kokeilemme sammuttajille uusimpia viestintä- ja paikannusvälineitä, jotta sammuttajien paikantaminen ja työturvallisuus sammutustöissä olisi taattu myös muuttuvissa tuuliolosuhteissa. Reaaliaikaisella altistumismittauksella/kommunikaatiolla pyrimme rakentamaan lisäksi toimintamallin, jolla palomiehet pystyivät väistämään pahimpia altistumistilanteita. Miehistämättömiä ilma-aluksia kokeiltiin tilannekuvan parantamisessa. Tavoitteena oli myös kartoittaa nykyaikaisia sammutustekniikoita, kuten modifioitujen traktoreiden ja metsäkoneiden hyödyntämistä kaikkein raskaammassa sammutusolosuhteissa. Lisäksi kokeilemme paloaehkäiseviä aineita rajoituslinjojen tekemisessä. Nämä kaikki tutkimussuunnat tähtäsivät sammuttajien työn rasittavuuden, lämpökuormittavuuden ja altistumisen vähentämiseen sekä heidän työturvallisuuden lisäämiseen.

2 Varautuminen pelastuslaitoksilla

Pelastuslaitosten toiminta on suunnitelmallista. Pelastuslaitokset tekevät suunnitelmat toimintaa ja erityistilanteiden johtamista varten. Erityistilanteiden suunnittelu pitää tehdä yhdessä pelastustoimen yleisjärjestelyiden kanssa. Suunnitelma pitää sisällään toimintaohjeet pelastustoimen johtamisesta, kuten tilannekeskuksen ja johtokeskuksen hälyttämisestä, perustamisesta sekä niiden toiminnasta. Lisäksi suunnitelma ohjeistaa yhteistoimintatilanteiden johtamista, viestintää ja väestön varoittamiseen liittyvistä asioista suuronnettomuuksissa ja vaativissa tilanteissa. Lisäksi edellisiä ohjeita täydentää onnettomuustyyppi- ja tilannekohtaiset ja muut erityissuunnitelmat. Suunnitelmassa käydään läpi myös perustuslain 38 §:ssä tarkoitetun kansainvälisen tuen vastaanottamisen järjestelyt ja poikkeustoiminnan poikkeusolojen toimintavaltuuksien käyttöön liittyvät toimintaohjeet sekä toimintamalleista ja voimavaroista, jotka poikkeavat normaalitason toiminnasta (Sisäministeriö, 2018).

Yhtenä erityissuunnitelmana osa pelastuslaitoksista on tehnyt metsäpalojen torjuntasuunnitelman, joka täydentää laitosten erityissuunnitelmia. Metsäpalojen torjuntasuunnitelmassa asiat on todettu yleisellä ja periaatteellisella tasolla (Pirkanmaan pelastuslaitos, 2018; Sisäministeriö, 2018). Suunnitelmassa käydään perustasolla läpi mitä maastopaloilla ja metsäpaloilla tarkoitetaan. Suunnitelman on tarkoitus helpottaa pelastuslaitoksen varautumista maasto- ja metsäpalojen torjuntaan, selventää metsien ja metsäpalojen termistöä, selventää eri johtamistasojen sekä viranomaisten välisiä tehtäväjakoja ja yhteistoimintaa sekä antaa perusteet henkilöstön kouluttamiseen paloasemilla. Suunnitelmassa käydään perustasolla läpi metsäpalotyyppit, riskit ja sammutustoiminnan erityispiirteet. Suunnitelmaa pidetään yllä vuosittain päivittämällä yhteystiedot ja muutokset, josta yksikön palopäällikkö on vastuussa.

Metsäpaloindeksien tarkoitus on antaa tietoa alueella vallitsevasta palon syttymisherkkyydestä ja jos palo syttyy, sen voimakkuudesta. Metsäpaloindeksitietoa hyödynnetään kansalaisten varoittamiseksi sekä kehotuksena pelastuslaitoksille varautumisen aloittamisesta mahdollisiin maasto- tai metsäpaloihin. Eri puolilla maailmaa metsäpalovaroituksista tiedottaminen hoidetaan eri tavoin. Suomessa Ilmatieteen laitos vastaa metsäpaloindeksien laskennasta sekä metsäpalovaarasta tiedottamisesta (Kolstela, 2020).

2.1 Metsäpalojen havainnointi

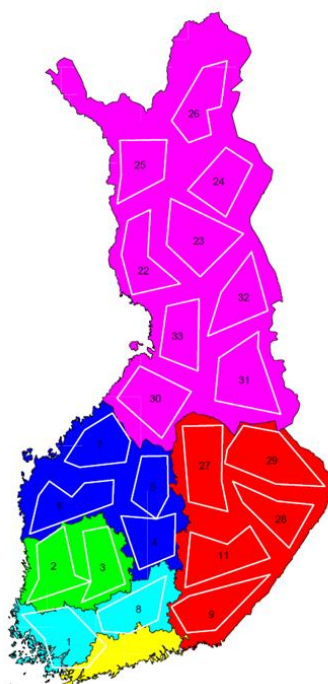
Aluehallintoviraston on järjestettävä pelastuslain (379/2011) 31 §:n mukaan harvaan asutulla seudulla riittävän tehokas metsäpalojen tähyystys, jos metsäpalon vaara on ilmeinen. Tähyystystehtävä on valtioneuvoston asetuksen (906/2009) 12 §:n mukaan keskitetty valtakunnallisesti Pohjois-Suomen aluehallintovirastolle. Tähyystäminen tuotetaan lentokoneilla ja koulutetulla henkilöstöllä ennalta suunnitelluilla reiteillä Ilmatieteenlaitoksen metsäpaloindeksiin perustuen tai alueen pelastusviranomaisen pyynnöstä. Lentotehtävät ovat pelastustoimen tehtäviä (Pelastuslaki (379/2011) 31 §) ja valtion ilmailua (Ilmailulaki (864/2014) 2 §). Metsäpalojen lentotähyystys on lentokoneilla tapahtuvaa säännöllistä valvontaa maastopalojen havaitsemiseksi. Toiminta kattaa koko Suomen ja tähyystamisellä pyritään ehkäisemään maastopalojen leviäminen suureksi, havaitsemalla ne ajoissa (Kurvinen 2021).



Vuonna 2021 lentotähystys toimintaa suoritettiin 22 eri reitillä, 17 eri lentokerhon tai toimijan toteuttamana. Metsäpalojen tähystystoimintaan ja sen varautumisesta aiheutuviin kustannuksiin sisäministeriö osoitti 1,2 milj. euroa. Kustannuksista korvataan metsäpalojen tähystyslennot ja savuhavainnon tarkastuslennot. Lisäksi korvataan myös erikseen hyväksyttyjä pelastuslaitosten ja palvelutuottajien yhteistoimintaan liittyviä muita lentoja tai harjoituksia. Lisäksi määrärahasta korvataan lentopalvelun hankintoihin, viranomaistoiminnan vaatiman viestiliikennevälineistön ja kuvanvälitysjärjestelmän ylläpitoon ja niiden hankintoihin sekä teknisiin ratkaisuihin, joilla välitetään lentotehtäviä palvelutuottajille. Lisäksi toiminnan hallinnoinnista aiheutuvia kuluja voi korvata määrärahasta, mutta ei palkkakustannuksia.

Lentotähystystä suoritetaan 22 reitillä, yleensä paikallisen ilmailukerhon tai ilmailualan yrityksen toteuttamana. Sisäministeriön toimintaan osoittamasta määrärahasta korvataan metsäpaloindeksiin perustuvat oma-aloitteiset lennot (H371), alueen pelastusviranomaisen erikseen pyytämät savuhavainnon tarkastuslennot (H372) sekä pelastuslaitosten ja palvelutuottajien yhteistoimintaan liittyvät harjoituslennot (H373). Lisäksi määrärahaa käytetään lentopalvelun hankintoihin, viranomaistoiminnan vaatiman viestiliikennevälineistön ja kuvanvälitysjärjestelmän ylläpitoon/hankintoihin sekä muihin teknisiin ratkaisuihin (Kurvinen, 2021a).

Vuonna 2021 lentoja (H371/372) suoritettiin 891 kpl ja niillä havaittiin maasto- ja muita paloja 234 kertaa. Palohavaintoja tehtiin noin joka neljännellä lennolla ja pelastustoimen yksiköitä opastettiin kohteeseen 53 kertaa. Ensimmäiset metsäpaloindekseihin perustuvat lennot (H371) suoritettiin poikkeuksellisesti kesäkuun alussa Lapin pelastuslaitoksen alueella olevilla reiteillä 22 - 25. Eniten yksittäisiä lentoja aiheutti Kalajoen maastopalo, jonka ympäröivää aluetta valvottiin tehostetusti palon leviämisympäristössä (Kurvinen, 2021b). Maastopalojen havainnointi tapahtuu tämän raportin kirjoitushetkellä pääsääntöisesti tähystyslentojen avulla. Kuvassa 1 on esitetty lentoreitit ja hätäkeskusalueet (AVI 2021).



Kuva 1. Metsäpalotähystyslentojen reitit ja hätäkeskusalueet (AVI 2021).



3 Työvälineet ja -menetelmät

3.1 Käsityökalut

Palomiehen tärkeimmät työvälineet maasto- ja metsäpalotehtävällä ovat moottorisaha, kirves ja pistolapio. Kaikki nämä työvälineet löytyvät normaalisti sammutusautosta (kuva 2). Rajoituslinjan teko ja puiden kaato onnistuu moottorisahalla. Kirveellä katkotaan juurakoita ja tehdään rajoituslinjaa, pistolapiolla työestetään rajoituslinjaa, käännetään palavia mättäitä ja taputellaan kyteviä paloja. Kirveellä katkaistaan nuori kuusipuu, josta tehdään hosa sammutustyöhön. Hosan tarkoitus on kytevien palojen hillitseminen ja palon rajoittaminen, silloin kun palo antaa myöten. Kaupallisia hosa löytyy myös tilaamalla palotarvikeliikkeistä. Halvimmillaan hosa maksaa 15 - 50 €, mutta kalleimmillaan useita satoja euroja. Hosan käyttö Suomen metsätyypeissä ei vastaa käyttöä esimerkiksi Kalifornian tai Indonesian metsätyyppien sammutustöissä, joissa se on hyvinkin suosittu työkalu. Sammale- ja turvepohjaisen -metsätyypin palon sammuttamiseen hosa soveltuu huonosti, tällaiseen maastoon pistolapio soveltuu parhaiten.



Kuva 2. Paloauton käsityökalusto



3.1.1 Kuokat, kirveet ja lapiot

Näitä työkaluja käytetään metsäpalon sammutustyössä ja rajaamisessa paljon. Näitä työkaluja löytyy yksittäisinä ja niiden yhdistelmätyökaluina, jota kutsutaan Fire Rakeksi (kuva 3). Tämä työkalu soveltuu juurakoiden, ohuiden puiden katkomiseen ja rajoituslinjan avaamiseen harava osan avulla. Terä on tarpeeksi painava, jotta siihen saa hyvän lyöntivoiman ja varsi jäykkä. Kuokkamaisella osalla voidaan kaivaa ja aukaista vaikka kyteviä pesäkkeitä. Terän materiaalina tulisi olla työkaluteräksestä, joka kestää paremmin iskuja ja kolhuja (esim. Hardox), sekä varren tulisi olla koivua tai vastaavaa lyöntiä kestävä materiaalia.

Perinteinen pistolapio on työkaluna tuttu ja pitää sisällään paljon samoja ominaisuuksia kuin Fire Rake. Mutta useimmin on paljon kevyempi, mutta soveltuu kaivamiseen ja raivaamiseen, sekä hosan tavoin kytevien palojen sammuttamiseen. Hinnat pistolapioilla ovat 40 - 100 € ja Fire Raket maksavat 100 - 200 €.



Kuva 3. Pelastusopistolla tehty Fire Rake prototyyppi

3.1.2 Reppuruiskut

Reppumalliset sammuttimet tai ruiskut soveltuvat pienten palojen rajoittamiseen tai sammuttamiseen, heitepalojen sammuttamiseen tai rajoitusaineen levittämiseen. Sammutustehoa voidaan tehostaa lisäämällä veteen vähän mäntysaippuaa. Vaatimuksina reppuruiskulle ovat hyvät kantovaljaat, riittävä vesimäärä, suuri täyttöaukko varustettuna sihdillä ja säädettävällä suuttimella. Reppuruiskuja on markkinoilla kovalla säiliöllä kuva 4 tai reppumaisena reppuna kuva 4. Molemmilla on hyvät omat piirteensä, mutta reppumaisena se vie vähemmän tilaa. Kovamuovisia reppuruiskuja on saatavilla useimmista puutarhatarvike- tai maatalouskaupoista, koska ovat hyvin paljolti käytetty maataloudessa tai puutarhanhoidossa lannoittamisessa ja kasviensuojelussa. Reppumalliset löytyvät paloalan verkkokaupoista tilaamalla. Hinnat ovat 25 € - 350 € välillä.



Kuva 4. Kovamuovinen reppuruisku (IKH) ja reppumallinen VallFrestin reppu.

3.1.2 Sammutus suihkuputkella

Suomessa maastopalot sammutetaan pääasiassa vedellä. Käytössä on työjohtona läpimitaltaan 39 ja 42 letkuja. Runkovesilinjassa käytetään läpimitaltaan 76 mm ja myös 110 mm letkuja. Letkut ovat normaalisti 20 metrin mittaisia ja niiden päässä on liitin, johon voidaan liittää toinen letku, jakoliitin tai suihkuputki. Letkujen pääasiallinen käyttö on siirtää vettä samuttajille, jotka kastelevat maastoa ja samuttavat palopesäkkeitä (SPEK, 2021).

3.2 Rajoitusmenetelmät

3.2.1 Perinteinen rajoituslinja

Rajoituslinjan tehtävänä on estää tulen leviäminen maapalona. Sen sijoittelussa tulee huomioida jo olemassa olevat maaston esteet, kuten tiet, vesistöt ja kosteikot. Myös maaston muodoilla on merkitystä samoin kuin metsikön rakenteella, paloaineksen määrällä ja laadulla. Myös tuulen nopeus, samoin rinteiden jyrkkyys ja myös vuorokauden aika määrittelevät rajoituslinjan mahdollisuutta katkaista palo (Pirkanmaan pelastuslaitos, 2018; Metsäkeskus, 2020). Rajoituslinjaa kaivettaessa maaperä paljastetaan kokonaan kivennäismaahan asti vähintään 4 - 5 metrin leveydeltä ja sen toimivuutta voidaan lisätä kastelemalla linjaa molemmin puolin.

3.2.2 Miehittämätön rajoituslinja

Reikäletkut

Edullinen tapa tehdä miehittämätön rajoituslinja on käyttää itsetehtyjä vuotavia letkuja (kuva 5). Vuotava letkulinja selvitetään palorintaman etupuolelle, etenkin tuulen alapuolelle, missä työskentely on savunmuodostuksenjohdosta hankalaa. Letkulinja on miehittämätön rajoituslinja, joka pysäyttää



maapalon etenemisen muutaman minuutin päästä kastelun aloittamisesta. Vuotava letku on helppo tehdä itse. Käytöstä poistettuun työletkuun tehdään reikiä kuumennetulla 5 cm pitkällä hakaneulalla polttamalla. Reikien tekoa helpottaa, jos letku täytetään paineilmalla (vedellä täytettyyn letkuun ei tule hyviä reikiä neulan jäähtymisen takia). Reikiä tehdään letkun kolmelle sivulle noin 80 cm välein. Kyseessä olevalla reikäkoolla ja reikävälillä saadaan kattava sumusuihku letkulinjan kohdalle. Sumusuihkun halkaisija on noin 120 cm. Edellä mainitun letkun vedenkulutus on noin 37 litraa minuutissa.



Kuva 5. Miehittämätön rajoituslinja reikäletkulla

Reikäliittimet

Paloletkujen väliin asennettava reikäliitin (kuva 6) muodostaa letkujen ympäristöön vesipaineesta riippuen noin 10 - 15 m leveän märkäalueen ja 5 - 10 m korkean sadeverhon. Letkuliittimen toimintaa ei testattu maasto-olosuhteissa. Reikäliittimen prototyyppi on valmistettu 3D tulostamalla, joka mahdollistaa testaamisen tuotteelle ennen lopullista materiaalivalmistusta.

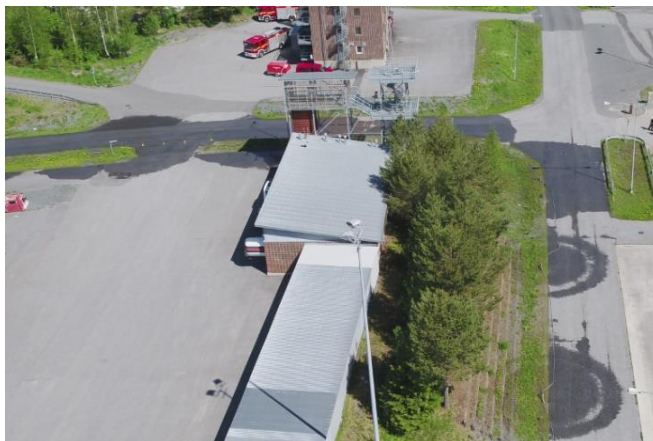


Kuva 6. Reikäliitin läheltä ja toiminnassa



Sadettimet

Rajoituslinja voidaan rakentaa myös liittämällä sadetin letkujen väliin (Peltaco Oy, kuva 7). Sadetin tuottaa ympyrän muotoisen ja 10 metrin halkaisijan muotoisen kastellun alueen. Pumpusta ja maaston muodosta riippuen tämän tyyppinen letkulinjajärjestelmä toimii riittävästi sammutuslinjana vielä 12 letkun matkallakin.



Kuva 7. Sadetin kuvattuna läheltä ja rajoituslinjan muodostuminen ilmasta kuvattuna.

3.2.3 Kemialliset rajoitusaineet

Rajoituslinjoja voidaan tehdä myös kemiallisilla rajoitusaineilla, kuten esimerkiksi Bonsoguard Prefirex (X-pyro) tai X-Fog (X-fire AB) tuotteilla. Rajoitusaine nimensä mukaan rajoittaa paloa tai katkaisee palon etenemisen luonnollisissa maasto- ja metsäolosuhteissa. Molemmissa valmisteissa käytetään ammoniumpohjaisia kemiallisia aineita.

Bonsoguard Prefirex on valmis tuote, jonka ominaisuudet syntyvät valmistusprosessissa. Sitä ei siis sekoiteta veteen, kuten yleensä muita käytettyjä lisäaineita. Tuote sisältää sokeriruokoa, joka muuttaa nesteen viskositeettiä. Sakeuttamisen tarkoituksena on saada aine pysymään kasvustossa valumatta alempiin maakerroksiin ja näin tuotteella olisi parempi sammutusvaikutus. Testierässä oli myös punaista elintarvikeväriä helpottamaan sen havaitseminen maastoon levitettäessä. Riittävästi kuivuessaan aine muuttuu vaaleaksi ja on helposti maastosta erotettavissa.

x-Fog rajoitusainetta käytetään 1 % sekoitussuhteella sammutusvedessä. Se soveltuu käytettäväksi myös pelastuslaitosten pumppujärjestelmissä. Ainetta on käytetty mm. Västmanlandin metsäpaloissa, joissa on todettu aineen tehostunut sammutusvaikutus ja parempi työympäristö jälkisammutuksessa vähentyneen savunmuodostuksen takia. Joutuessaan tekemisiin palon kanssa, se tuottaa pieniä määriä ammoniakkia ilmaan valmistajan mukaan.



3.3 Kevyet työkoneet metsäpalojen torjunnassa

Mönkijät

Lähes kaikilla pelastuslaitoksilla on käytössään yksi tai useampia maastokelpoisia mönkijöitä varusteltuna perävaunulla. Pääasiallinen tarkoitus näillä on tavarankuljetus maastotehtävissä tai varusteltuna toimia pienissä maasto- tai metsäpalosammutustöissä, kuten tämä metsäpalovaunu (Disainin, kuva 8). Vaunu soveltuu pienten maastopalojen sammuttamiseen, jälkisammutukseen ja palon kärjen rajoittamiseen. Vaunussa on oma aggregaatti, työ- ja hälytysvalot, 250/500 litran kuminen vesipussi, pumppu ja 20 metrin paloletku sammutustyötä varten. Tällaisen yhdistelmän hinta-arvio on noin 20 000 €.



Kuva 8. Lapin pelastuslaitoksen mönkijän perään laitettava metsäpalon sammutusvaunu

Mönkijät ovat kuitenkin hyvin onnettomuusherkkiä tilanteissa, joissa täytyy liikkua tarpeellisen ripeästi huonossa epätasaisessa maastossa. Kuorman sidontaan ja lastaamiseen tulee kiinnittää huomiota, jotta kuorma ei kaadu tai irtoa ajaessa. Kuskin ajotaidot vaikuttavat merkittävästi, kuinka hän ennakoii oikean reittivalinnan ja nopeuden tehtävällä. Reitinvalinnalla kantojen ja pahimpien paikkojen ohittamisella voidaan vaikuttaa ajon sujuvuuteen ja myös kuljettajan fyysiseen kuormittavuuteen.

Metsätyöskentelyn aikaisina riskitekijöinä ovat tunnistettu seuraavat tekijät: Kulkuväylän epätasaisuus, esteet ja kaltevuus. Kiinnijääminen, äkkipysähdys, väärin lastattu kuorma tai liian painavan kuorman lastaus etenkin vaikeakulkuisessa maastossa. Muita inhimillisiä riskitekijöitä ovat ajovirheet, kuljettajan puutteelliset taidot tai turvallisuudesta piittaamaton asenne. Ahtaat kulkuväylät etenkin metsässä hidastavat toimintaa ja toisaalta liiallinen kiire suhteessa ajo-olosuhteisiin aiheuttavat onnettomuuksia. Myös kuorman irtoaminen on mahdollista liiallisessa nopeudessa (Työturvallisuuskeskus 2018).



Minimetsäkoneet

Vaihtoehtoisena työkoneena metsäpalotyöskentelyyn löytyy ”mini” metsäkoneita tai vastaavia telakäyttöisiä koneita. Koneet soveltuisivat maastokykyisenä ja hyvinkin muuntautumiskykyisinä vaihtoehtoina metsäpalojen avustaviin työtehtäviin. Yksi tällainen on Jarcrac Multi, joka soveltuu hyvin karuun maastoon, pehmeille soille ja ojitetuille alueille (kuva 9). Pitkä alusta ja sen keinutelirakenne mahdollistavat sujuvan työskentelyn epätasaisessakin maastossa. Lisävarustemahdollisuudet ovat erittäin monipuoliset. Kone voidaan varustaa esimerkiksi kolmepistenostolaitteella, kuormalavalla ja voiman ulosotolla, mikä mahdollistaa monenlaisen työvälinevalikoiman. Sähköyhtiöillä koneet kuljettavat vaikeassa maastossa työvälineitä. Itse koneen kuljettaminen onnistuu pakettiauton jarrullisella perävaunulla. Hinta tällaiselle peruskoneelle varustettuna kuljetuslavalla on alle 50 000 €.



Kuva 9. Jarcrac Multi letkunselvityksessä

Avustava pienmetsäkone on turvallisempi letkunselvityksessä kuin mönkijän kärry, joka saattaa aiheuttaa takana kulkevalle sammuttajalle yllätyksen liikkeessään hallitsemattomasti epätasaisessa maastossa.

3.4 Lentosammutus Suomessa

Suomessa maasto- ja metsäpalojen sammuttamiseen käytetään puolustusvoimien ja rajavartiolaitoksen helikoptereiden ilmatukea. Helikopterin avulla pyritään kuitenkin vain rajaamaan palon leviämistä ja varsinainen sammuttaminen tapahtuu pääsääntöisesti maassa toimivien palomiesten voimin (Rajamedia 2021). Kun pelastustoimi tarvitsee virka-apua, helikopterista tehdään pyyntö rajavartiolaitoksen meripelastuskeskukselle (MRCC), joka koordinoi viranomaiskoptereita. Pelastustoimi käyttää ensisijaisesti rajavartiolaitoksen helikoptereita, mutta jos ne ovat varattuina tai muuten estyneitä MRCC hälyttää Puolustusvoimien NH90-kopterit ohjeistuksen mukaisesti. Rajavartiolaitoksen vartiolentolaivue ylläpitää jatkuvaa valmiutta kolmella helikopterilla Turussa, Helsingissä ja Rovaniemellä. Vartiolentolaivueella on käytössään kaikkiaan 12 helikopteria, jotka ovat tyyppeinä; H215 Super Puma, AB/B 412 ja AW 119 ke Koala (Purtonen 2021).



Helikopterit ovat kantokyvystä riippuen varustettu 1 - 2 m³ sammutusvesisäiliöllä (Bambi bucket), jolla käydään noutamassa vesilähteestä sammutusvesi kohteeseen. Taulukossa 1 esitellään rajavartiolaitoksen Super Puma helikopterin ja puolustusvoimien NH90 -helikopterien tärkeimmät ominaisuudet.

Taulukko 1. Super Puma- ja NH90 -helikopterien teknisiä tietoja

	Super Puma	NH90
Miehistön kuljetuskyky	15 henkilöä	16 henkilöä
Lentoaika yhdellä tankkauksella	4 tuntia	riippuu lastista
Maksimi toimintanopeus	260 km/tunnissa	305 km/tunnissa
Suurin lentoonlätöpaino	9150 kg	11000 kg
Oma paino	4660 kg	6900 kg

Ruotsissa käytetään helikoptereiden lisäksi sammuttamiseen suunniteltuja sammutuslentokoneita. Korkean metsäpaloindeksin aikaan Ruotsissa sammutuskoneita siirretään lähelle korkean indeksin alueita, jotta ne ovat nopeammin otettavissa käyttöön.

Yhdysvalloissa Caylym niminen yritys on kehittänyt The Guardian lentosammutusjärjestelmän kuution muotoisesta pahvilaatikosta (kuva 10). Laatikossa on pussi, joka on täytetty vedellä ja asetettu pahvilaatikon sisään lavan tai vastaavan tasaisen alustan päälle. Laatikko on siirrettävissä trukilla tai vastaavalla kalustolla kuljetuslentokoneen sisään. Kuljetuskoneeseen mahtuu koneen koosta riippuen 30–40 laatikkoa ja koneeseen ei tarvitse tehdä mitään erityisiä muutoksia tätä järjestelmää varten. Guardian on valmistettu 100 % kierrätettävästä ja 90 % biohajoavasta materiaalista. Maasta Guardian modulit sekä komponentit ovat kytketty toisiinsa ja ovat siten helposti kerättävissä



Kuva 10. Sammutuskuutio metsäpalojen sammutukseen (Caylym)

Tämä järjestelmä voisi soveltua myös Suomeen, jossa omaa sammutuskalustoa, ei helikoptereiden lisäksi ole. Rahtikuljetuslentokoneet olisivat helposti varusteltavissa tällaisilla sammutusjärjestelmällä, ilman kalliita muutosinvestointeja. Tähän tarvittavia koneita löytyy Puolustusvoimilta.



3.5 Vaihtoehtoiset sammutusmenetelmät

Etelä-Amerikassa on tutkittu räjähdepanosten käyttöä maastopalojen sammuttamiseen. Alun perin tällaista menetelmää on käytetty öljykeitin tulipalojen sammuttamiseen. Menetelmä perustuu siihen, että äkillinen paineen vaihtelu ja ilmavirtaus työntävät liekit pois palavasta materiaalista. Menetelmän ongelmana on liekkipalon jälkeen jäävä hehkupalo. Menetelmää on tutkittu useassa muussakin maassa Irakin lisäksi. Ruotsissa on kokeiltu sammutusefektiä hävittäjän ohjuksella tarkkaan suunnattuun paikkaan, ampumaharjoitusalueella syttyneessä metsäpalossa. On olemassa myös putkityylisiä räjähteitä, joissa on hapen syrjäyttävään kemikaaliin yhdistetty paineaallon voima (Benitez 2018).

Vaihtoehtoisena ensisammutusmenetelmänä maasto- ja metsäpalotehtävällä reppuruiskun ja sammutussangon lisäksi, erityisesti pienien heitepalojen sammutukseen, on mahdollista käyttää myös perinteistä vaahto- tai nestesammutinta.

3.6 Raskaat työkoneet metsäpalojen torjunnassa

3.6.1. Traktori ja lietevaunu

Rajoitusaineiden levittämisessä saatetaan tarvita normaalin pelastuslaitoksen pumppukaluston lisäksi tavallista traktorikalustoa ja lietevaunuja. Jos tuote on kovin viskoottista, voi se aiheuttaa ongelmia pelastustoimen käyttämissä pumpuissa. Lietevaunujen käyttöönottamista puoltaa myös se, traktoreiden ja lietevaunujen saatavuus ympäri Suomen on hyvä, ja niitä on helposti otettavissa käyttöön suurien turvetuotantoalueiden tai metsä- ja maastopalojen yhteydessä. Vaunussa on imupumppu, joka mahdollistaa vaunun täyttämisen toisesta säiliöstä, IBC-kontista tai vaikka luonnonvesilähteestä. Lietevaunu on sopiva väline rajoitusaineen levitykseen metsäautoteiden tai vastaavien kantavuudeltaan riittävien teiden reunoille. Lietevaunussa ei ole vetäviä akseleita ja se on suunniteltu tasaisille pelloille, joten maasto-ominaisuudet eivät mahdollista varsinaisesti metsässä tai hakkuuaukealla liikkumista. Hankalampiin maastoihin voidaan vaunun purkuputkeen tehdä adapteri, jolla siihen saatiin liitettyä myös työjohto. Itse vaunun pumppu tuottaa ainoastaan yhden barin paineen, joten sen käytöllä sammutustehtäviin on rajallinen toimintaetäisyys.

3.6.2 Traktori ja metsäperävaunu

Suomalaisten yritysten konsortion (Agco Suomi, Arctic Machine ja Kesla) yhteistyöllä kehittämää metsäpalovaunua (kuva 11) on ollut myös Pelastusopiston metsäpalohankkeen työryhmä ideoimassa. Keslalla on ollut tuote, josta on lähdetty jalostamaan metsä- ja maastopalojen sammutukseen sopivaa vaunua. Ideana on ollut, että perusvaunu pysyy vakiona, jonka päälle voidaan integroida palontorjuntasäiliö. Periaatteessa minkä tahansa perusvaunu 144 mallisen metsäperävaunun päälle voidaan asentaa säiliö, mutta käytännössä tuote markkinoidaan kokonaisena pakettina.



Kuva 11. Sammutusperävaunu

Vaunu on kokonaispainoltaan 17 000 kiloa ja kantavuus on 10 000 kiloa. Paino sisältää kuormaimen, tukijalat ja hydrauliiikan. Kahden etuosassa sijaitsevan työkalu- ja varustelaatikon tilavuus on yhteensä 480 litraa. Säiliö koostuu viidestä 2,1 m³ säiliömoduulista ja kokonaistilavuus on 10,5 m³. Vaunussa on kaksi vesitykkiä, toinen säiliön päällä ja toinen kuormaajassa kiinni. Säiliön päällä oleva vesitykki kääntyy portaattomasti ja puomissa oleva vesitykki kääntyy puomin mukana, joten vesisuihku saadaan kohdistettua suoraan palopesäkkeisiin. Ohjaamosta käytettävällä hydraulisella 3-tieventtiilillä voidaan valita, kummalle tykille vettä ajetaan. Vesipumppu tuottaa kahdeksan barin paineen ja tuotto on 1 000 litraa minuutissa kantaman ollessa jopa 30 metriä. Vaunun leveys on vajaa 2,5 metriä ja pituutta 7,4 metriä. Sen maavara on 630 mm ja vaunun hydraulisesti ohjattava vetoaisa mahdollistaa sujuvan liikkumisen metsässä. Vaunun oma hydraulikkayksikkö sijaitsee vaunun sermin ja tukijalkapaketin välissä, ja vesisäiliön täyttö- ja tyhjennyspumppu sekä vesitykin ohjaus saavat voiman tästä hydraulikkayksiköstä. Näin vaunu on kytkettävissä lähes kaikkien traktoreiden perään.

Täyttöpumppuna käytetään Mäki-Reini 1R uppopumppua, jonka tuotto on 3 m³ minuutissa ja maksimi nostokorkeus 10 metriä. Säiliö mahdollistaa myös täyttämisen kunnallisesta verkosta. Tyhjennyspumppu on Veljekset Kulmala ESA-T HDR, jonka tuotto on 1 m³ minuutissa ja paine 8 baaria. Pumppua voidaan käyttää myös imupumppuna. Säiliön toimintoja ohjataan traktorin ohjaamosta, joten erillistä henkilöä ei tarvita ohjaamaan vesitykkeitä.

3.6.3 Modifioitu kuormatraktori

Ponsse on tuonut markkinoille kuormatraktorin kuormatilaan asennettavan palonsammutuslaitteiston maastopalojen sammutuksiin (kuva 12). Möröksi nimettyä laitetta on ennätetty käyttää tositoimissa jo Taipalsaarella turvetuotantoalueen- ja Kalajoella metsäpalossa.



Kuva 12. Modifioitu metsätraktori "Mörkö" tositoimissa

Hanke on saanut alkunsa Etelä-Savon pelastuslaitokselta ja hankkeeseen on pyydetty mukaan vieremäläinen metsäkoneita valmistava yritys, Ponsse. Lisäksi uuden järjestelmän kehitystyössä on ollut mukana useita yrityksiä. Säiliövalmistajana on Rst-Lapit Oy ja Ekin Muovi Oy Pieksämäen Virtasalmelta. Mäki-Reini Oy Isostakyröstä on toimittanut pumppukaluston ja Veljekset Hokkanen Oy kuormatraktorin testiin. Etelä-Savon ammattiopisto ESEDU on ollut mukana hankkeessa tarjoamalla koulutusta ja testialueita. Myös MetsäGroup on tarjonnut asiantuntemusta aiheen ympärillä.

Metsäkone kuljettajineen tulevat metsäpalopaikalle metsäkoneyrittäjän ja pelastuslaitoksen etukäteen tekemän sopimuksen perusteella. Säiliölaitteisto tuodaan palopaikalle yhtenä pakettina, kytketään metsäkoneen hydraulikkaan ja laitteisto on valmis käyttöön. Etelä-Savossa toimivien metsäoppilaitosten (ESEDU ja SAMIEDU) kanssa on sopimukset ajokoneiden käytöstä ja kesäaikana valmiudessa pitämisestä. Koneet ovat metsäoppilaitosten omaisuutta. Sammutussäiliöitä on kaksi, prototyyppi ja Ponssen tuotantoversio, jotka ovat sijoitettu Mikkeliin ja Savonlinnaan. Myös kangasniemeläisen Veljekset Hokkanen Oy:n kanssa on sopimus ja yksi heidän kuormatraktori on varustettu säiliövalmiudella.

EU: pelastuspalvelumekanismin myötä Etelä-Savon pelastuslaitoksen aikomuksena on hankkia neljän muun Itä- ja Kaakkois- Suomen pelastuslaitoksen kanssa omaan omistukseen yksi metsäkone ja kuljetuslavetti. Tällä järjestelyllä yksi Mörkö olisi välittömässä valmiudessa jatkuvasti.

Tavoitteena on rakentaa sopimusyrittäjien kanssa valtakunnallinen verkko, jossa olisi tietty määrä metsäkoneita varustettuna sammutuslaitteistovalmiuksilla. MetsäGroup on luvannut olla mukana rakentamassa verkkoa, jossa tietty määrä metsäkoneita varustettaisiin sammutuskalustolla. Sopimusyrittäjäverkostossa on viisisataa hakkuu- ja ajokonetta, joita voidaan käyttää esimerkiksi myrskytuhojen korjaamiseen. Samalla periaatteella koneita voidaan ohjata myös metsä- ja



maastopalojen sammutukseen. Sopimusyrittäjiä on ympäri maan ja heidän kanssaan voidaan sopia järjestelystä. MetsäGroupin mukaan tärkeintä on kansallisen metsäomaisuuden suojeleminen metsäpaloissa, mutta Metsä Group aikoo hyödyntää laitteistoa myös kulutusalueiden ennakkokastelussa ja jälkisammutuksessa.

Palonsammutuslaitteiston 10 m³ vesitankin voi täyttää omalla pumpulla luonnonvesilähteestä tai paloauton säiliöstä. Vesitykin kantama on 47 metriä ja toimintasäde 360°. Palonsammutuslaitteisto on saatavana PONSSE Buffalo ja PONSSE Elephant kuormatraktorimalleihin. Kuormainvaatimus on minimissään PONSSE K90+. Vesisäiliö kestää erilaisten sammutusveteen sekoitettavien kemikaalien käytön ja meriveden, sekä on riittävän kevyt metsäkoneen kuormatilaan. Langattomalla kauko-ohjaimella säädetään vesisuihkun suuntausta pysty- ja vaakasuunnassa sekä suihkun muotoa. Sammutustyön turvallisuudesta vastaa koulutuksen saanut pelastushenkilö. Pelastushenkilö käyttää sammutuslaitteistoa ja ohjeistaa sekä ohjaa metsätraktorin kuljettajan toimia sammutustyöskentelyn aikana.

3.6.4 Letkujen huollossa tarvittavat koneet

Maastopalojen jälkeinen kaluston huolto on aina resursseja vievä operaatio. Huollot suoritetaan pääasiassa omilla asemilla, mutta likaiset letkut kuljetetaan pieniltä asemilta pääpaloasemille huollettaviksi. Kotimainen EsteriGroup Oy on valmistanut täysin automaattisen letkunpesukoneen. Liikuteltava yksikkö on siirrettävissä toiselle asemalle tai suoraan maastopalo paikalle. Laitteisto on jo ollut käytössä Jokilaaksojen pelastuslaitoksella Kalajoen maastopalojen jälkeisissä huolloissa.

Yksikkö pystyy käsittelemään tällä hetkellä 3 - 30 m / 25 mm - 75 mm - 110 mm letkuja. Liikuteltavassa yksikössä on oma kompressor ja voidaan varustaa vesisäiliöllä. Letkunhuoltolaitteisto suorittaa letkun pesun harjoilla ja korkeapainesuuttimilla. Laite tekee myös koeponnistuksen, merkitsee virheet, kuivaa, sekä kelaa ja kiepittää letkut. Järjestelmä tarvitsee ainoastaan yhden henkilön työvoiman koko prosessin aikana. Likaisten paloletkujen pesu- ja koeponnistusprosessi, sekä letkun rullaus tapahtuu integroituna laitteeseen laitteen rakenteiden sisällä ja ovin suljetussa tilassa. Laitteen koeponnistuspaine on 8 - 12 - 16 bar. Optiona on saatavissa paineet 20 - 25 - 30 bar. Koeponnistus toteutetaan osissa ja menetelmä havaitsee heikot kohdat letkussa, sidoksissa ja liittimissä. Laitteiston kapasiteetti on 20 letkua tunnissa (42 mm/76 mm). Paloletkun pesun ja koeponnistuksen vedenkulutus per 1000 letkua on 6200 litraa. Laitteistossa on jatkuva veden- ja sähkönkulutuksen mittausta, mutta pesuvesi on mahdollista myös kierrättää. Laitteiston sähkönkulutus per 1000 käsiteltä letkua on 85 kWh.



4 Tilannekuva

Nykyinen tilannekuvan muodostamismalli

Metsäpaloissa ajantasaisen tilannekuvan merkitys kasvaa, kun sammuttajien määrä tai tilanteen haasteellisuus kasvaa. Pienet palot hoituvat arkirutiinilla, mutta laajat palot tai vaikeat olosuhteet tuovat johtamiseen lisähaasteita, joiden hoitamisessa tarkka ja ajantasainen tilannekuva on tärkeää.

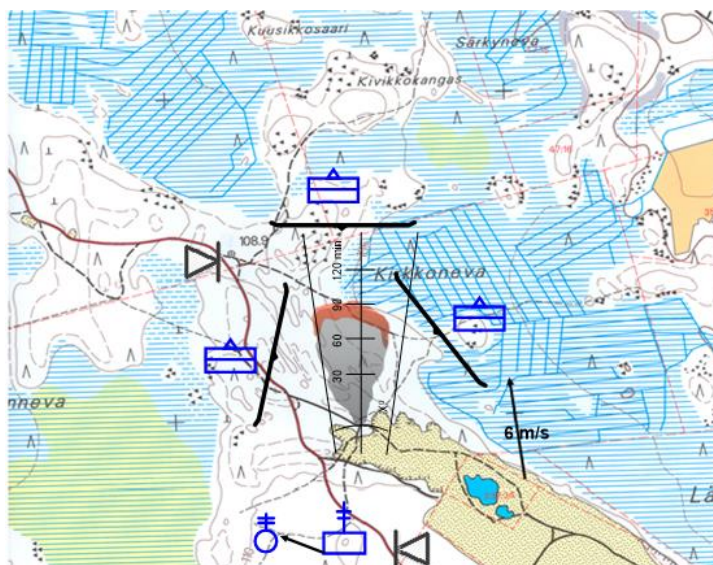
Erityisesti pitkäkestoiset maastopalot, joissa on paljon sammutushenkilöstöä vaativat erityistä tilannekuvan ylläpitoa ja henkilöstön seuranta. Esimerkiksi työvuorosuunnittelun sekä yleisen työturvallisuuden varmistamiseksi. Työturvallisuuden tärkeä tekijä on toimiva viestintä, jotta tilannekuvaa pystytään tarvittavassa määrin jakamaan sammutustyötä tekeville henkilöille.

Luotettavan tilannekuvan muodostaminen perusteellisen tiedustelun avulla on metsäpalon hallinnassa tärkeimpiä alkuvaiheen toimia, johon tulee käyttää riittävästi aikaa ja resursseja, jotta sammutustyö osataan organisoida ja aloittaa tilanteeseen sopivimmalla tavalla. Paloalueen laajuus, palon leviämisenopeus, sammutusveden saatavuus, maaston laatu ja muoto sekä resurssien tarkoituksenmukainen käyttö ovat palon hallinnan kannalta kriittisimpiä tekijöitä. Uhkaako leviävä palo ihmisiä ja omaisuutta?

Tiedustelu alkaa pelastusryhmän saapuessa toiminta-alueelle. Jalkautunut pelastusryhmä alkaa tiedustelemaan, kerää ja välittää tietoa palon laajuudesta, palorintaman leveydestä, sijainnista, etenemissuunnasta ja -nopeudesta sekä lähistön vedenottopaikoista. Samoin tärkeää on myös selvittää, onko rakennuksia tai jotain erityisvaaraa aiheuttavia kohteita paloalueen läheisyydessä. Jos heti huomataan, että omat voimavarat eivät riitä on tarpeen pyytää hätäkeskusta nostamaan vastetta.

Kun vasteessa pelastusjoukkue tai suurempi muodostelma, määritetään muodostelmalle sisääntulokohta tai sisääntulokohtia. Sisääntulokohdat voivat olla aikaan tai paikkaan sidottuja. Tiedusteluun valjastetaan useampi pelastusryhmä paloalueen eri puolille. Jos välittömästi on käytössä miehitettyjä tai miehittämättömiä ilma-aluksia, voidaan tiedustelu tehdä ilmaitse, jonka jälkeen jalkautetaan tarvittaessa voimia maastotiedusteluun, jos ilmasta saatu informaatio ei riitä sammutustyön organisoimiseen.

Ajantasaista tilannekuvaa ylläpidetään toiminnan edetessä. Leviämismallit sekä maasto- ja puustotietokanta auttavat ennakoimaan ja ennustamaan tapahtumien kulkua. Tilannekuvassa pyritään ajantasaiseen tietoisuuteen metsäpalon laajuudesta, palorintaman sijainnista ja sen etenemisestä (suunta ja nopeus), vallitsevista olosuhteista (tärkeimpänä tuulitieto) sekä sammuttajien sijoittumisesta ja vastuualueista (kuva 13).



Kuva 13. Tilannekuva kartalle piirrettynä (kuva Matti Honkanen)

RPAS kyvykkyyden huomioiminen maastopaloissa

RPAS toiminta on tullut pelastustoimen johtamisen apuvälineeksi ja toimintamalleja on kehitetty muun muassa Pelastusopiston ”Miehittämättömät ilma-alukset pelastustoimessa (RPAS)” -hankkeessa. Hankkeessa tutkittiin RPAS toiminnasta saatavaa hyötyä erilaisissa pelastustoimen tehtävissä. Yhteiseksi nimittäjäksi nousi tilanteen kokoluokka, joka vaikuttaa siihen, minkä verran RPAS laitteen käytöstä koetaan olevan hyötyä tilanteen johtamisessa ja tilannekuvan muodostamisessa. Selkein hyöty koettiin suurissa ja keskisuurissa tehtävissä, erityisesti maastopaloissa. Ilmasta käsin saatava kokonaiskuva helpottaa tilanteen seuranta ja ajantasaisen tilannekuvan muodostamista, kuten paloalueen koko ja palon leviämisseuunta maastopaloissa (Pudas ja Laitinen 2018). Maastopaloissa RPAS on havaittu erinomaisen hyödylliseksi laitteeksi alkuvaiheen tiedustelussa palopaikan paikallistamisessa ja letkuselytysten reittivalinnoissa sekä oman kaluston sijoittelussa. Pelastustoiminnan RPAS hyödyntämistä helpottamaan on määritelty perusoperaatiomalleja, joiden avulla tehtävänanto RPAS yksikölle onnistuu samaan tapaan kuin muissakin tavanomaisissa tehtävissä (Hassinen ym., 2018).

RPAS toiminnassa on toki myös tunnistettu haasteita, joista osa liittyy RPAS toimintaan yleisesti ja toisaalta maastopalojen tilannekuvan muodostamiseen liittyy myös tehtävätyypille ominaisia haasteita. Kaikissa tehtävissä nykyisellä menettelyllä RPAS toiminta sitoo henkilöresurssia, mistä syystä pienillä tehtävillä RPAS kyvykkyydestä ei välttämättä saada sidottua resurssia vastaavaa hyötyä. Myös sääolosuhteet ja muu ilmaliiikenne rajoittavat RPAS toimintaa. Tästä omakohtaista kokemusta saatiin Suonenjoen Isonen turvetuotantoalueen palossa kesällä 2021, jossa kova tuuli paitsi levitti paloa erityisen tehokkaasti, myös esti RPAS laitteiden käytön.

RPAS laitteiden käyttösaada ja -aika ovat luonnollisesti suhteellisen rajallisia. Erityisesti kova tuuli vaikuttaa paljon RPAS laitteen käyttöaikaan, kun laite joutuu käyttämään ison osan tehostaan tuulen



vaikutuksen voittamiseen. Kalajoella 2021 paloalueen koko oli niin suuri, että RPAS tiedustelun kyvykkyys koettiin riittämättömäksi (SPEK 2021).

Perinteisesti RPAS toiminta tuottaa tilannekuvaa ylläpitävää tietoa valokuvien ja videokuvan muodossa. Maastopalossa savun muodostus huomattavasti vaikeuttaa olennaisen tilannetiedon, eli palorintaman sijainnin ja etenemisen havainnointia. Sensoritekniikan kehittyessä saataneen menetelmiä, joilla palorintaman eteneminen ja sijainti saadaan selvitettyä ilmasta käsin savusta huolimatta (Charland 2012).

RPAS toimintaa on myös pyritty valjastamaan sammutuskäyttöön, mutta kantokyvyn rajallisuudesta johtuen on vaikea kuvitella, että mitään sammutetta pystyttäisiin siirtämään sellaista määrää RPAS laitteella, että sillä olisi metsäpalon sammuttamisessa merkitystä. RPAS laitteita on kuitenkin käytetty menestyksellisesti palojen sytyttämisessä maailmalla yleisessä metsäpalon sammutusmenetelmässä, jossa paloa hillitään sytyttämällä vastapaloja (Patterson 2021).



5 Henkilökohtaiset suojaimet

Huoneistopaloihin suunniteltujen palopukujen tulee täyttää eurooppalaiset suojainstandardit EN 469:2005+A1:2006, joihin sisältyy standardi EN ISO 15025:2002. Puvulla täytyy olla riittävä kemikaalien (40 % natriumhydroksidi, 36 % kloorivety, 30 % sulfoksyylihappo ja 100 % o-ksyleeni) eristävyys (ISO 6530:2005). Niiden on kestettävä myös lämpösäteilyä siten, että 40 kW/m^2 intensiteetillä tehtävässä testissä puvun on suojattava toisen asteen palovammalta luokassa A1 vähintään yhdeksän sekuntia ja luokassa A2 13 sekuntia. Ensimmäisen ja toisen asteen palovamman syntymiseen tarvittavien aikojen ero luokassa A1 pitää olla vähintään kolme sekuntia ja luokassa A2 neljä sekuntia (ISO 6942:2015). Vesihöyrytiiviuden tulee olla luokassa A1 suurempi kuin $30 \text{ m}^2 \text{ Pa/W}$ ja luokassa A2 pienempi kuin $30 \text{ m}^2 \text{ Pa/W}$, tarkoittaen että luokan A2 puku on paljon hengittävämpi. Jos puvussa ei ole vesikalvoa sen vesihöyrykestävyys on alle $10 \text{ m}^2 \text{ Pa/W}$ (ISO 11092:2014). Mekaanisista kriteereistä palopuvun uloimman kerroksen vetolujuus täytyy olla suurempi kuin 450N (ISO 13934-1:2018) ja repeytymiseen vaadittava voima enemmän kuin 25 N (ISO 13937-2:2000). Lisäksi palopuvuissa on oltava tietty määrä heijastimia, joiden väri voi olla keltainen oranssi tai punainen. Jos puvussa käytetään fluoresoivaa materiaalia, joka reagoi UV-valoon, on sitä oltava parhaimmassa $0,8 \text{ m}^2$ luokassa kolme, $0,50 \text{ m}^2$ luokassa kaksi, ja $0,14 \text{ m}^2$ luokassa yksi. Fluoresoiva heijastin on ongelmallinen yöaikaan, koska UV-valoa ei ole saatavilla. Jos käytetään takaisinheijastavaa materiaalia, tulee sitä olla puvussa $0,20 \text{ m}^2$ luokassa kolme, $0,13 \text{ m}^2$ luokassa kaksi, ja $0,10 \text{ m}^2$ luokassa yksi (ISO 20471:2018).

Metsäpalopukujen on täytettävä eurooppalainen suojainstandardit ISO 15384:2021. Standardissa sanotaan, että pukujen suunnittelussa on huomioitava housujen ja saappaiden rajakohtien ja hihansuiden kiinnitysjärjestelmät, jotka ehkäisevät palokaasujen ja noen pääsyä puvun sisään. Puvun kauluksen on pysyttävä pystyssä ja puvun hihansuut eivät saa olla trikoota. Metsäpalopuvuille tehdään säteilytesti 20 KW/m^2 intensiteetillä. Toisen asteen palovamman aiheuttavan lämpötilan saavuttamiseen on mentävä vähintään 11 sekuntia. Ensimmäisen ja toisen asteen palovamman syntymiseen vaadittavien aikojen ero on oltava vähintään neljä sekuntia (ISO 6942:2015). Kiinnitysjärjestelmien on kestettävä 180°C lämpötilaa vähintään 5 minuuttia ja niiden ompeleet eivät saa sulaa 260°C asteen lämpötilassakaan (ISO 17493:2021). Mekaanisista kriteereistä metsäpalopuvun uloimman kerroksen vetolujuus täytyy olla suurempi kuin 600 N (ISO 13934-1:2018) ja repeytymiseen vaadittava voima enemmän kuin 25 N (ISO 13937-2:2000). Puvun pääsaumojen on kestettävä vähintään 300 N vastus (ISO 13935-2:2020). Jotta puku olisi riittävän hengittävä puvun vesihöyrykestävyys on oltava pienempi kuin $10 \text{ m}^2 \text{ Pa/W}$ (ISO 11092:2014). Metsäpalopuvuissa täytyy olla takaisin heijastavaa pintaa vähintään $0,13 \text{ m}^2$ niiden näkyvyyden varmistamiseksi, täyttäen standardin luokan kaksi (ISO 20471:2018).

Suodattavien puolinaamarien eli FFP-luokan hengityksensuojaimien on täytettävä standardin EN 149:2001+A1:2009 vaatimukset. Standardissa annetaan suojaimelle suurin sallittu kokonaisvuoto käyttäjän yllä. Kokonaisvuodolla tarkoitetaan suodattimen läpi ja suodattimen reunoilta tulevaa hiukkasten vuotoa maskin sisään, kun maski on testissä käyttäjän yllä. Huonoimmalle luokalle FFP1 sallittu ohivuoto on pienempi tai yhtä suuri kuin 25 %, luokalle FFP2 11 % ja luokalle FFP3 5 %. Ohivuoto tarkoittaa sitä, että suojain pudottaa sisäänhengitysilmassa epäpuhtauspitoisuuden luokassa yksi neljanteen osaa, luokassa kaksi kymmenenteen osaan ja luokassa kolme 20 osaan



alkuperäisestä. Suodattavien puolinaamarien käyttömukavuuteen vaikuttaa merkittävästi onko naamarissa uloshengitysventtiiliä. Mikäli näin on, helpottaa se merkittävästi uloshengittämistä ja vähentää maskin kustumista. Suodatinsuojaimia ei kuitenkaan saa käyttää kahta tuntia pidempään yhtäjaksoisesti ilman 30 minuutin taukoa (Jussila ym. 2020). Jos työ on rasittavaa, on suojain vaihdettava useammin sen vettymisen vuoksi, (SFS-EN 149:2001). Paremmiin kasvoille istuva vaihtoehto on erillisen **puolinaamarin ja hiukkassuodattimen (P3) yhdistelmä**, jonka tulee pudottaa epäpuhtauspitoisuus sisäänhengitysilmassa 20 osaan alkuperäisestä. **Erillisellä silmät suojaavalla kokonaamarilla ja hiukkassuodattimella (P3) varustetun yhdistelmän** on puolestaan pudotettava sisään hengitettävän ilman epäpuhtauspitoisuus 500 osaan (Jussila ym. 2020). Nämä hengityksensuojaimet aiheuttavat hengityksenvastusta, kuormittavat käyttäjän niskoja ja rajoittavat näkökenttää. **Puhallinavusteisissa hengityksensuojaimissa** ei ole hengitysvastusta, joten ne sopivat paremmin raskaisiin työtehtäviin. Lisäksi sisään puhallettava ilma jäädyttää kuumissa olosuhteissa. Osaan näistä malleista on tarjolla myös teollisuuskypärä integroituna suojaimeen, tällöin suojainten yhteensopivuus on taattu. Puhallinavusteiset hengityksensuojaimet jaetaan kahteen suojainluokkaan (TH- ja TM-luokat), nämä molemmat jakaantuvat vielä kolmeen eri luokkaan suojaustehokkuuden mukaan. **TH-luokan suojain on varustettu kypärällä, hupulla tai visiirillä**. TH1-luokassa epäpuhtauspitoisuuden on standardin mukaan pudottava viidenteen, TH2-luokassa 20 osaan ja TH3-luokassa 200 osaan sisäänhengitysilmassa. **TM-luokassa kasvo-osana on kokonaamari** ja epäpuhtauspitoisuuden on pudottava TM1 luokassa 10 osaan, TM2-luokassa 100 osaan ja TM3-luokassa 1000 osaan alkuperäisestä (Jussila ym. 2020; SFS-EN 136). Vaativimmissa olosuhteissa tarvitaan **paineilmahengityksensuojainta**, jonka on pudotettava epäpuhtauspitoisuudet yli 1000 osaan alkuperäisestä sisäänhengitysilmassa (SFS-EN 137). Lisäksi paineilmahengityksensuojain poistaa kaikkia epäpuhtaudet sisäänhengitysilmaasta mukaan lukien hiilen ja typen oksidit, joihin suodattavat hengityksensuojaimet eivät pysty.

Huoneistopaloihin suunnitellun **raskaan palokypärän** (SFS-EN 443:2008) tulee suojata iskuilta, lämmöltä, kuumuudelta, liekiltä, sulalta metallilta, kiinteiltä kuumilta esineiltä ja mahdollisesti myös nestemäisiltä kemikaaleilta (Ala-Kokko, 2021). Tekniseen pelastamiseen ja metsäpaloihin on olemassa myös **kevyitä pelastuskypäriä**, jotka täyttävät standardit EN 16471:2015 ja EN 16473:2015. Tarjolla on myös **teollisuuskypärän ja kiipeilykypärän yhdistelmä**, joka täyttää standardit EN 397 ja EN 12492. Tämän mallin etuna on 4-piste leukahihna ja monipuolisempi kokovalikoima, pienipäisillekin löytyy näistä malli, jolloin kypärä pysyy päässä vaativissakin olosuhteissa. **Korkeasuorituskykyisen teollisuuskypärän** standardin EN 14052 täyttävät kypärät puolestaan antavat vielä paremman suojan myös sivuilta tulevilta iskuilta. Vähimmäisvaatimus metsäpalojen sammutukseen on vähintään **teollisuuskypärästandardi** EN 397 täyttävät kypärät. Tärkeässä roolissa on kypärän käytettävyyden, sen keveys, säädettävyyden, silmien/kasvojen suojaus ja lampun sekä kuulosuojainten integroitavuus.

Palomiehen turvajalkine SFS- EN 15090:2012 suojaa kuumuudelta, koska päällinen on kuumuutta ja tulta kestävä materiaalia sekä niissä on varvas- ja naulaan astumissuoja (Ala-Kokko, 2021). Tyypin 1 palojalkineet (F1PA) soveltuvat tavallisiin pelastustehtäviin, palon sammuttamiseen ja maastopalojen sammutustehtäviin, joissa palava aine on kasvisperäistä esimerkiksi metsää, peltoa, istutuksia, ruuhon tai viljelysmaata (Ala-Kokko, 2021). Perinteisen palosaappaan lisäksi



varsikenkämaiset palojalkineet ovat yleistyneet ja niiden istuvuutta pystytään säätämään nauhoituksella, jolloin ne vähentävät nilkkojen nyrjähdyksiä metsäpaloissa,

Rakennuspaloihin suunniteltujen **palokäsineiden** (SFS-EN 659 + A1) tulee kestää hankausta, viiltoja, liekkejä, sekä säteily- ja kosketuslämpöä. Metsäpaloissa on myös tärkeää suojata kädet riittävän pitkällä suojakäsineillä, jotka kuumuutta, mutta myös epäpuhtauksia varten. Nykyään on tarjolla myös kankaasta valmistettuja palokäsineitä, keveämpiä nahkaisten työkäsineiden ohella. Palokäsineiden alla on ihoaltistumisen edelleen vähentämiseksi pidettävä aluskäsineitä (Ala-Kokko, 2021).

Mikäli hengityksensuojainta ei ole varustettu silmät suojaavalla maskilla, **erilliset silmäsuojaimet** suojaavat silmiä lentäviltä tikuilta, kipinöiltä, ärsyttäviltä kaasuilta sekä UV- ja IR-säteilyltä. Kaasuilta suojautuminen vaatii naamiomallisia suojalaseja ja säteilyltä suojautuminen puolestaan laseilta tiettyjä optisia ominaisuuksia (SFS- EN 166, EN 167).

Erityisesti ulkomailla on metsäpalosammuttajilla suojavausteiden lisäksi myös **pelastautumissuojia**, jonne metsäpalon yllättäessä sammuttaja voi käpertyä kärventävältä kuumuudelta lyhyeksi ajaksi. Nämä soveltuvat vain hetkelliseen suojautumiseen nopeasti yli menevässä ruohikkopalossa (Wikipedia 2022).



6 Sammuttajien altistumisen ja lämpökuorman haittavaikutukset

6.1 Altistuminen ja sen vaikutukset

Sammuttajien ja metsäpalojen vaikutuspiirissä asuvien altistumista metsäpaloista vapautuville haitallisille yhdisteille on tutkittu vähän. Valtaosa tutkimuksista on keskittynyt hiukkasmaisten epäpuhtauksien aiheuttamiin vaikutuksiin ja vain muutama muiden savussa esiintyvien kuten esimerkiksi polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen, aldehydien ja metallien vaikutuksiin. Metsäpalojen päästöt ovat riippuvaisia palamisolosuhteista, mitkä puolestaan ovat riippuvaisia ilmakehän ja sään eri tekijöistä. Myös etäisyydellä palorintamasta on merkittävä vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin, tästä johtuen sammuttavien palomiesten altistumistasot ovat selvästi lähellä paloaluetta asuvaa väestöä suuremmat.

Metsäpalon savu sisältää satoja erilaisia hiukkasmaisia, höyrymäisiä ja kaasumaisia yhdisteitä. Savun koostumukseen vaikuttaa palon intensiteetti. Syntyvät palokaasut ovat myös riippuvaisia palavan materiaalin kemiallisesta rakenteesta, tiheydestä, kosteudesta ja miten materiaali on sijoittunut metsään (Alves ym., 2010b; Burling ym., 2010; Urbanski, 2014). Metsäpalojen hiilipäästöistä noin 95 %, selittyy hiilidioksidilla, hiilimonoksidilla ja metaanilla (Urbanski 2014). Lisäksi metsäpalot ovat suurin hiilipitoisten pienhiukkasten lähde ilmakehässä (Akagi ym., 2013). Esimerkiksi USA:ssa on laskettu metsäpalojen olevan vastuussa 29 % hiilipitoisten pienhiukkasten kokonaisemissioista, kun vastaava luku liikenteen osalta on 9,2 % (Aurell and Gullett, 2013). Metsäpalon savusta on löydetty myös ympäristössä erittäin hyvin pysyviä dioksiineja ja furaaneja, polykloorattuja bifenyylejä, torjunta-aineita ja radioaktiivisia aineita (Black ym. 2011; Commandore ym., 2012). Kuitenkin tärkeimpinä seurattavina altisteina, niin palomiesten kuin väestönkin altistumisen osalta, pidetään pienhiukkasia, akroleiinia, hiilimonoksidia, typpidioksidia, bentseeniä ja formaldehydiä (Adetona ym., 2016). Taulukossa 2 on esitetty palomiehiltä mitattuja keskimääräisiä ja hetkellisiä altistumistasoja heidän sammuttaessaan metsäpaloja.

Taulukko 2. Palomiesten mitattuja keskimääräisiä ja suurimpia hetkellisiä altistumistasoja heidän sammuttaessaan metsäpaloja eri puolilla maailmaa. Niitä on verrattu Suomessa sovellettaviin kahdeksan tunnin ja viidentoista minuutin haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin (STM 2020).

Altiste	Keski-arvo	Raja-arvo	Hetkel-linen	Raja-arvo	Yksik-kö	Viite
Hiukkaset	11	5	13	10	mg/m ³	Reinhardt and Ottmar, 2004, Alves ym. 2010a
Hiilimonoksidi	58	20	1100	75	ppm	Reinhardt and Ottmar, 2004; Reisen ym. 2011
Typpidioksidi	2,5	0,5	7	1	ppm	Miranda ym. 2012
Formaldehydi	0,72	0,37	1,8	1,2	mg/m ³	Reinhardt and Ottmar, 2004
Akroleiini	0,38	0,05	0,33	0,12	mg/m ³	De Vos ym. 2006; Reinhardt and Ottmar, 2004
Bentseeni	1,2	3,25	55	ei olemassa	mg/m ³	Barboni ym., 2010; Reinhardt and Ottmar, 2004



Eniten tutkittujen altisteiden, pienhiukkasten, määrittävinä tekijöinä niiden haitallisuuden määräytymisessä ovat hiukkasten koko ja koostumus (Bolling ym., 2009). Metsäpalossa syntyvät hiukkaset noudattavat uni- tai biomodaalista hiukkaskokojakaumaa ja eniten hiukkasia on havaittu syntyvän hiukkaskokoluokassa 0,1 - 2 μm , jotka pääsevät syvälle hengityselimistöön aivan alveolitasolle asti (Barregard ym., 2006; Chakrabarty ym., 2006). Tutkijat ovatkin verranneet metsäpaloissa syntyviä hiukkasia kokonsa puolesta liikenteestä tai muusta poltosta peräisin oleviin hiukkasiin. Metsäpaloissa syntyvien hiukkasten on todettu sisältävän vesiliukoisia yhdisteitä ja metalleja, joten niiden uskotaan aiheuttavan keuhko- ja systeemisiä vaikutuksia pienemmillä pitoisuuksille, kuin haitallisten raja-arvojen määrittelyssä käytetyt hiukkaset (Naeher ym., 2007). Hiukkaset sisältävät hiiltä, josta 50 % on orgaanista, 10 % epäorgaanista ja osa on myös ns. mustaa nokea, jonka erityisesti on havaittu liittyvän altistuneiden sydän- ja verisuoni- sekä keuhko-oireisiin (Jansen ym., 2005; Nichols ym., 2013). Hiukkasissa on myös kasvibiomassan selluloosan palamistuotteita, kuten levoglukosaania, ligniinin palamistuotteita kuten steroleja, metoksifenolia ja suoraketjuisia hapettuneita hiilivetyjä sekä PAH- ja hapettuneita PAH-yhdisteitä (Lee ym., 2005b; Fine ym., 2004 ab). Suurimmat mitatut hiukkasten keskimääräiset pitoisuudet metsäpaloissa ovat olleet 11 mg/m^3 ja hetkelliset pitoisuudet 13 mg/m^3 (Alves ym., 2010 ab; Reinhardt ja Ottmar 2004), joiden tiedetään jo aiheuttavan erilaisia vakavia terveysvaikutuksia (Delfino ym., 2008). Suomessa orgaanisen hengittävän pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 5 mg/m^3 ja viidentoista minuutin 10 mg/m^3 (STM 2020).

Hiilimonoksidin haittavaikutukset liittyvät sen kykyyn sitoa 240 kertaa tehokkaammin hemoglobiinia ja näin vähentää veren hapenkuljetuskapasiteettia aiheuttaen lopulta kudoksissa hapenpuutetta. Jos karboksihemoglobiinipitoisuus nousee yli 2 % on se todettu aiheuttavan oireita henkilöille, joilla on sydän- ja verisuonielimistön kanssa ongelmia. Yli 5 % vaikuttaa jo työntekijän kykyyn tehdä sammutustyötä. Muita hiilimonoksidialtistumisen vaikutuksia ovat päänsärky, huimaus, heikkous, sekavuus ja vaikeudet päätöksentekokykyssä (Raub 1999; Raub ym., 2000). Keskimäärin palomiehiltä mitattu karboksihemoglobiinipitoisuus on ollut metsäpaloissa alle 5 %. Itse metsäpalon lisäksi pelastustilanteessa on muitakin hiilimonoksidialtistumisen lähteitä, kuten esimerkiksi vesipumput, generaattorit ja itse paloautot (Gaskill ym., 2010).

Suomessa altistumattoman väestön viiteraja karboksihemoglobiinipitoisuudelle on 1,5 %, jonka ylittäminen tarkoittaa työperäistä altistumista tapahtuneen. Toimepideraja on asetettu tasolle 4 %, jonka ylittämisen jälkeen on työnantaja välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi (Valtioneuvoston asetus 715/2001, kemiallisista tekijöistä työssä). Kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 20 ppm ja vastaava viidentoista minuutin arvo, jonka saa ylittää vain kerran tunnissa, on 75 ppm (STM, 2020).

Hengityselimistöä eli nenää ja keuhkoja ärsyttäviä yhdisteitä metsäpaloissa ovat mahdollisesti syöpää aiheuttava akroleiini ja syöpää aiheuttava formaldehydi. Näistä kahdesta akroleiini on ärsyttävämpi ja suuremmissa pitoisuuksissa se voi aiheuttaa keuhkovaurion (Bein ja Leikauf, 2011). Akroleiinin haitalliseksi tunnettua pitoisuutta pudotettiin muutama vuosi sitten, jolloin aiemmin raja-arvoja pienemmät keskimääräiset metsäpaloissa mitatut pitoisuudet ovatkin nyt voimassa olevia raja-arvoja suurempia. Myös formaldehydin vastaavat pitoisuudet ovat olleet keskimäärin nykyisiä raja-arvoja suurempia tai hyvin lähellä niitä (De Vos ym., 2006; Reinhardt and Ottmar, 2004). Formaldehydialtistumisen on todettu lisäävän metsäpalosammuttajien syöpärisiä yli hyväksyttävän tason, kun altistumisten kestot, niiden yleisyys ja työuran pituus huomioidaan (Booze ym., 2004).



Tutkijat ovat myös ehdottaneet, että sammuttajien altistumisenarvioinneissa on ärsyttävien aineiden yhteisvaikutusta arvioitava ja yhden vaihtoehdon tähän tarjoaa Hazard Index Method (Laitinen ym., 2012). Suomessa formaldehydin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on $0,37 \text{ mg/m}^3$ ja viidentoista minuutin vastaava $1,2 \text{ mg/m}^3$. Akroleiinin vastaavat ovat $0,05 \text{ mg/m}^3$ ja $0,12 \text{ mg/m}^3$ (STM 2020).

Syöpävaarallisen bentseenin pitoisuudet ovat keskimäärin olleet alle sen haitalliseksi tunnetun pitoisuuden metsäpaloissa (Reinhardt and Ottmar, 2004; Barboni ym., 2010; Barboni ja Chiaramonti, 2010; Evtugina ym., 2013). Bentseenilla on syöpävaaran lisäksi hematologisia, neurologisia ja immunologisia vaikutuksia, mutta raportoidut keskimääräiset pitoisuustasot metsäpaloissa ovat olleet alle näitä oireita aiheuttavien pitoisuuksien (Gist ja Burg ym., 1997; Galbraith ym., 2010). Sen sijaan hetkellisiä korkeita bentseenipitoisuuksia on myös metsäpaloissa mitattu (Barboni ym., 2010). Suomessa bentseenille on annettu kahdeksan tunnin sitova raja-arvo $3,25 \text{ mg/m}^3$, jota ei saa ylittää mittausjakson aikana (STM, 2020).

Typpidioksidi aiheuttaa keuhkotoimintojen heikkenemistä, ilmäteiden ylireaktiivisuutta ja keuhkoputkien supistelua (WHO, 2006). Sen lisäksi typpidioksidin on todettu liittyvän hengitystiedien sekä sydän ja verenkiertoelimistön sairauksista kärsivien poliklinikkakäyntien ja kuolleisuuden lisääntymiseen (Samoli ym., 2006). Lisäksi herkkät yksilöt, joilla on astmaa tai kroonista keuhkojen ahtaumatautia ovat erityisen herkkiä typpidioksidille. Oireilu näyttäisi olevan enemmän riippuvainen pitoisuudesta kuin altistumisen kestosta. Tämän vuoksi lyhytaikaisetkin suuret pitoisuudet ovat erityisen tärkeitä huomioida arvioitaessa typpidioksidin haittavaikutuksia (Miranda ym., 2012; WHO, 2006). Keskimääräiset typpidioksidipitoisuudet metsäpaloissa ovat olleet korkeita nykyisin voimassa oleviin haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin verrattuna (Miranda ym., 2012). Suomessa kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on $0,5 \text{ ppm}$ ja viidentoista minuutin vastaava arvo 1 ppm (STM, 2020).

6.2 Lämpökuormittuminen ja sen vaikutukset

Pelastustehtävissä sammuttajien **ihon lämpötila** pysyy yleensä alle 38°C , mutta yhdessä kohonneen kehon **syvälämpötilan** kanssa sekin tuntuu jo epämiellyttävältä (Rissanen, 2020). Ihmisen normaali perussyvälämpötila on $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ja siedettävä taso $38,0 - 38,3^\circ\text{C}$. Tuntemus muuttuu kuormittavaksi $38,4 - 38,8^\circ\text{C}$ lämpötiloissa ja on ylikuormittava ja terveydelle haitallinen lämpötila-alueella $38,9 - 39,2^\circ\text{C}$. Mentäessä yli lämpötilan $39,2^\circ\text{C}$ sammuttajalla on jo lämpöhalvauksen vaara (Rissanen, 2020). Toistuvan lämpösäteilyn, ihon lämpötilan nousun ja palovammojen vaikutuksesta voi syntyä ihomuutoksia. Toistuva pitkään jatkunut ihon altistuminen kuumuudelle voi johtaa erythema ab igne -ihomuutoksen kehittymiseen ja edelleen jatkuessaan myös pahanlaatuisiin ihomuutoksiin (Rissanen, 2020).

Hientuotanto on voimakasta kuumissa olosuhteissa ja se vaikeuttaa elimistön suola -ja nestetasapainon ylläpitämistä. Jos menetettyä nestettä ei korvata juomalla elimistö kuivuu, joka puolestaan kuormittaa verenkiertoa, heikentää hikoilukapasiteettia, nostaa sisäelinten lämpötiloja ja lisää äkillisten lämpösairauksien riskiä. Nestevajaus, joka laskee kehon painoa yli 3% heikentää suorituksia, joissa tarvitaan keskittymiskykyä, tarkkaavaisuutta ja lihasvoimaa. Jos paino laskee yli 6% on henkeä uhkaavan lämpöhalvauksen riski suuri (Rissanen, 2020). Ongelmana nestetankkauksessa on, että elimistöön imeytyy enimmillään 800 grammaa tunnissa nestettä korvaamaan menetettyä



nestettä, joten jos hikoilu on tätä suurempaa, on seurauksena väistämättä kuivuminen (Ilmarinen ym., 1994).

Sammuttajan kuumansietokyky heikkenee myös, mikäli hän on väsynyt, janoinen, nälkäinen, huonokuntoinen, ylipainoinen tai jos hän on sairastanut lämpösairauden. Myös sammuttajan ikä, sairaudet ja lääkitys vaikuttavat lämmönsietokykyyn (Ilmarinen, 1994; Vuokko 2020).

6.3 Sammutustyön rasittavuus verrattuna muihin ammatteihin

Metsäpalojen sammutustyö on fyysisesti erittäin rasittavaa ja sammuttajan kuormittuneisuustaso vaihtelee arviolta 9 - 13 välillä MET yksikköä eli perusaineenvaihdunnan kerrannaisia (1 MET = 3,5 ml/min/kg hapenkulutustaso) vastaten hapenkulutuksena 31,5 - 45,5 ml/min/kg tasoa. Suurimmat kuormittuneisuustasot on mitattu alkusammutusvaiheessa, etenkin letkuja selvitettäessä. Pelastusopistoon pelastajan kursseille päästäkseen tulee läpäistä 2800 metrin Cooperin testi, joka vastaa kuormittuneisuustasoa 14 MET ja sen minimihuippusuoritustaso suorassa hapenkulutuksen mittauksessa on 36 ml/min/kg. Lähimpänä sammuttajan työn kuormittavuuden tasoja työssänsä ovat metsurit noin 9 tasolla. Myös puolustusvoimissa esim. hävittäjälentäjät ovat g voimien vuoksi vaatimuksiltaan raskaassa työssä. Samoin kuin rakennustyössä on vaihteita, joissa kannetaan taakkoja ja tehdään fyysisesti raskaita vaihteita ja esimerkiksi kiivetään nosturiin, joka voi vastata noin 8 MET:n raskautta. Metsäpaloissa työn rasittavuuden lisäksi on huomioitava myös suojarusteiden ja ympäristön säteilylämpötilan aiheuttama lisäkuormitus. Näin ollen, vaikka fyysinen toiminta olisi metsurin ammatin tasolla, on kokonaiskuormittavuus selvästi suurempi. Jo pelkästään palopuvut aiheuttavat 17 % laskun maksimihapenkulutukseen (Lindholm, 2010; Pullinen ym., 2017; Ainsworth ym., 2000).



7 Tutkimuksen tavoitteet

1. Kartoittaa metsäpaloissa käytettäviä työmenetelmiä ja -välineitä Suomessa.
2. Kartoittaa metsäpaloissa käytettäviä henkilökohtaisia suojarusteita Suomessa ja selvittää kirjallisuuden avulla altistumisen ja lämpökuormittumisen sammuttajille aiheuttamia haittavaikutuksia
3. Mitata metsäpalopukujen ja teknisten alusasujen lämpökuormittavuutta laboratorio-, kulutus – ja metsäpalorata testeissä.
4. Mitata sammuttajien altistumista metsänhoidollisissa kulotuksissa ja testata reaaliaikaisen tilannekuvan hyödyntämistä sammuttajien altistumisen vähentämisessä.
5. Antaa suositus sammuttajan tarvitsemista suojarusteista, heidän lämpökuormituksen ja altistumisen vähentämisestä sekä huollon järjestämisestä metsäpaloissa.
6. Tuottaa suositus pelastuslaitosten varautumisesta, avun vastaanottamisesta, metsäpaloissa käytettävistä sammutustekniikoista ja työvälineistä.



8 Tutkimusasetelma, aineisto, menetelmät ja eettiset kysymykset

8.1 Asetelma

Tutkimuksella kartoitettiin käytössä olevia työvälineitä ja suojavarusteita metsäpaloissa. Näistä lupaavimpia testattiin laboratorio- ja kenttäolosuhteissa varmistaaksemme välineiden toimivuus käytännön olosuhteissa. Tutkimukseen perustuen tuotimme tietoa sammuttajien lämpökuormittumisesta ja altistumisesta metsäpaloissa sekä suositukset tulevaisuuden uusista turvallisista suojavarusteista ja työmenetelmistä metsäpaloissa.

8.2 Aineisto

Ensimmäisessä mittauksessa neljän palopuvun lämpökuormittavuutta testattiin Pelastusopiston laboratoriossa metsäpaloradalla. Testiin valittiin neljä miespuolista vapaaehtoista koehenkilöä, joilla kaikilla oli palomiestausta ja he olivat työsuhteessa Pelastusopistoon. Neljä koehenkilöä testasi neljässä eri testissä neljää erilaista palopukua eli yhteensä tehtiin 16 testiä.

Toisessa kenttätestissä metsänhoidollisissa kuloutuksissa Pieksämäellä ja Kuhmossa oli mukana neljä vapaaehtoista koehenkilöä, joilla kaikilla oli palomiestausta ja he olivat työsuhteessa Pelastusopistolle. Neljä koehenkilöä testasi neljässä eri testissä neljää erilaista palopukua eli yhteensä tehtiin 16 testiä, joista 12 tehtiin Pieksämäellä ja neljä Kuhmossa. Kenttätestissä palopukujen lämpökuormittavuuden lisäksi mitattiin niiden suojaavuutta ihoaltistumiselta vastaan. Lisäksi mitattiin koehenkilöiden altistumista hengitysteiden ja ihon kautta.

Kolmannessa kenttätestissä Pelastusopiston harjoitusalueelle tehtiin metsäpalorata. Radalle oli tuotu siirtovarvikko Suomussalmelta. Testiin osallistui neljä vapaaehtoista sammutusparia, joilla kaikilla oli palomiestausta ja he olivat työsuhteessa Pelastusopistoon. Kenttätestissä palopukujen lämpökuormittavuuden lisäksi mitattiin niiden suojaavuutta ihoaltistumista vastaan. Lisäksi mitattiin koehenkilöiden altistumista hengityksen kautta. Testin ensimmäisessä vaiheessa sammutusparista toinen käytti perinteistä suojausta ja toinen parannettua suojausta. Osat vaihtuivat seuraavassa testissä. Kaiken kaikkiaan tehtiin 16 testiä.

Neljännessä suorituskykytestissä kokeiltiin letkunselvitystä kahdessa eri testissä. Mukana oli neljä vapaaehtoista koehenkilöä, joilla kaikilla oli palomiestausta ja he olivat työsuhteessa Pelastusopistolle. Ensimmäisenä testipäivänä testattiin telamönkijää ja sähköavusteista kottikärryä. Toisena päivänä testeissä oli pienoismetsäkone ja manuaalinen letkunselvitys. Koehenkilöiden lämpökuormittumista ja työn nopeutta mitattiin tehdyllä metsäpaloradalla.



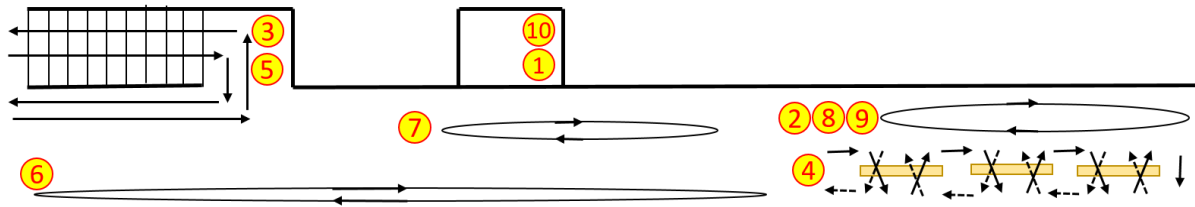
8.3 Menetelmät

8.3.1 Työvälineiden ja suojarusteiden sekä altistumisen haittavaikutusten kartoitus

Suomessa metsäpaloissa käytössä olevien työvälineiden ja -menetelmien sekä suojarusteiden kirjoa selvitettiin kyselyn avulla Kalajoen metsäpalon analyysin yhteydessä (SPEK 2021). Tämän lisäksi kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella selvitettiin markkinoilla olemassa olevat palomiesten työ- ja suojavälineet metsäpalojen sammutukseen. Myös tietoa metsäpaloissa syntyvistä altisteista ja niiden terveysvaikutuksista kartoitettiin kirjallisuuskatsauksen avulla.

8.3.2 Palopukujen lämpökuormittavuus laboratoriossa

Ensimmäiseen palopukujen lämpökuormittavuusmittaukseen rakennettiin metsäpalorata, jossa simuloitiin 64 minuutin mittaisena testijaksona metsäpalon sammutusta. 2) Tiedustelua helppossa maastossa 0 - 8 minuuttia, 3) tiedustelua vaikeassa maastossa 9 - 16 minuuttia, 4) letkukehikoiden kantaminen helppossa maastossa 17 - 24 minuuttia, 5) letkukehikoiden kantaminen vaikeassa maastossa 25 - 32 minuuttia, 6) letkunveto (traktorin rengas letkun päässä) 33 - 40 minuuttia, 7) kaluston keräys letkuja rullaamalla 41 - 48 minuuttia, 8) kaluston kanto letkurullat kainalossa 49 - 56 minuuttia, ja 9) lopputiedustelu 57 - 64 minuuttia. Numerot 1 ja 10 tarkoittavat alkumittauksia (kuva 14).



Kuva 14. Metsäpalorata lämpökuormittavuuslaboratoriossa

Testiradan kuormittavuus säädettiin neljälle testihenkilölle metsäpalon sammuttamista vastaavalle tasolle esitestien avulla. Kullakin testihenkilöllä oli oma määrä toistoja radan eri osissa, jotka he suorittivat täsmälleen samalla tavalla neljässä rinnakkaisessa testissä (27.1.2020, 29.1.2020, 31.1.2020 ja 3.2.2020). Etukäteisharjoittelun avulla poistettiin oppimisen aiheuttama virhe mittaustuloksiin. Neljän testattavan palopuvun testausjärjestys suunniteltiin siten, että kutakin testattiin yhtä monta kertaa ensimmäisenä, toisena, kolmantena ja neljäntenä testipäivänä. Testausta tehtiin rakennuspaloihin suunnitellulla Vikingin palopuvulla (EN 469), ja kolmella kevyellä (kumottu EN 15614:2007, voimassa oleva ISO 15384:2021) metsäpaloihin suunnitelluilla palopuvuilla (S-GARD Ranger 2.0, Rosenbauer THL D, ja Texport Wildland) (kuva 15). Testihenkilöiden muu varustus oli tekninen alusasu (pitkähihainen ja -lahkeinen), kevyt pelastuskypärä, keveät työkalut ja varsikengät (EN 15090).



Kuva 15. Testattavat palopuvut, ylhäällä Viking ja S-Gard, alhaalla Rosenbauer ja Texport

Testattavien palopukujen tarkempi tekninen erittely on taulukossa 3.



Taulukko 3. Yksikerroksisten metsäpalopukujen ja kolmikerroksisen huoneistopaloon tarkoitetun palopuvun materiaalit.

	Rosenbauer	Texport	S-Gard	Viking
Meta-aramidi (Nomex)	35 %	66 %	60 %	93
Para-aramidi (Kevlar)	-	4 %	-	5
Palosuojattu viskoosi	65 %	14 %	40 %	
Villa	-	14 %	-	
Antistaattinen kuitu	-	2 %	-	2
Kankaan paino (g/m ²)	310	240	300	1900
Standardi ja luokitus	EN 15614: A1	EN 15614: A1	EN 15614: A1, A2	EN 469, X _{f2} , X _{r2} , Y ₂ , Z ₂

Lämpökuormittumisen arvioimiseksi mittasimme iholämpötilaa kiinnittämällä neljällä lämpötila-anturilla (DS 1923, iButton), jotka kiinnitettiin rintaan, selkään, olkavarteen ja reiteen hengittävällä kangasteipillä (kuva 16) (van Marken Lichtenbelt ym. 2006). Kehon syvälämpötilaa mitattiin nielaistavan lämpötilakapselin avulla. Kapseli kulkeutui ruoansulatuskanavan läpi ja tallensi lämpötilaa koko testin ajan. Koehenkilöt ottivat kapselin aamulla noin 1-3 tuntia ennen radan suorittamista. Kapseli lähetti lämpötila-arvot tiedonkeräysyksikköön, jota pidettiin lähellä kehoa taskuun sijoitettuna (Towey ym., 2017). Vaatekerrosten välistä suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mitattiin paidan etu- ja selkäpuolelta (DS 1923, iButton).

Sydämen sykettä mitattiin koehenkilön rintakehälle sijoitettavalla vyöanturilla ja urheilukellolla (Polar Advantage). Lisäksi kysyimme 10 min välein testihenkilön arviota lämpötuntemuksista, ihon kosteudesta ja työn rasittavuudesta (liite 1). Hikoilun määrää sekä vaatetukseen kerääntyneen kosteuden ja kehosta haihtuneen kosteuden määrää, arvioitiin punnitsemalla koehenkilö ja varusteet ennen testiä ja sen jälkeen (Borg 1998; ISO 1992; ISO 1995). Nautitun juoman määrä kirjattiin ylös.



Kuva 16. Ihon lämpötila-anturit

Laboratorion lämpöolot mitattiin lämpörasituslaitteella (QUESTemp° 36, Quest® Technologies, USA), joka mittasi märkä-, kuiva- (=ilman) ja säteilylämpötilaa, ja laski myös WBGT-indeksiin. Märkälämpötila kuvasi lämpötilaa, joka tunnettiin kostealla iholla ilman virratessa sen ohi. WBGT-indeksi eli lämpökuorman tasoindeksistä voitiin arvioida suositeltavat työajat ko. lämpötiloissa, kun huomioidaan työn taso ja työvaatetus. Lisäksi koehenkilön varusteisiin kiinnitettiin pieni ympäristön lämpötilaa ja kosteutta mittaava laite (Kestrel Drop D2) (ISO 1989).

8.3.3 Sammuttajien altistuminen kulotuksissa Pieksämäellä ja Kuhmossa

Toisessa tutkimusvaiheessa tutkittiin erityisesti sammuttajien altistumista ja lämpökuormittumista kulotuksissa simuloiden metsäpalon sammutuksen työvaiheita: tiedustelua sekä sammutusta hosalla, letkuilla ja reppuruiskuilla (jälkisammutus). Testejä teki neljä koehenkilöä neljällä eri palopuvulla neljän testin aikana eli yhteensä testejä tehtiin 16 kpl. Kukin testi kesti noin neljä tuntia. Käytetyt palopuvut olivat samat kuin laboratoriotesteissä ja testihenkilöiden muu varustus myös. Poikkeuksena oli koehenkilö, joka käytti Vikingin palopukua. Hänen lämpökuormittumista vähennettiin lyhyillä alushousuilla ja t-paidalla, eikä hänen tarvinnut käyttää palotakkia. Tämä muutos tehtiin sen vuoksi, että koehenkilö selviäisi testin läpi samalla tavalla kuin muutkin. Lisänä jokaisella koehenkilöllä oli puhallinavusteinen hengityksensuojain, joka on varustettu kasvo-osalla sekä A2B2E2K2-P3 - yhdistelmäsuodattimella. Lisäksi koehenkilöllä oli henkilökohtainen hiilimonoksidi-ilmaisim, jotta he pystyivät varomaan tilanteita, joissa hiilimonoksidipitoisuudet olivat liian korkeita.

Koehenkilöiden lämpökuormittumistestit toistettiin samalla tavalla kuin laboratorioskokeissakin. Heidän potentiaalista hengitystiealtistumista mitattiin kasvomaskin ulkopuolelta haihtuville orgaanisille yhdisteille 3520-diffuusiokeräimellä (3M), jotka analysoitiin kaasukromatografisesti (ISO 2004) sekä aldehydeille UMEX-100 diffuusiokeräimellä (SKC), joka puolestaan analysoitiin nestekromatografisesti. Sammuttajien hengitystiealtistumista hiukkasmaisille ja kaasumaisille PAH-yhdisteille mitattiin aktiivisella keräyksellä ja näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti massaselektiivisellä detektorilla (Laitinen ym., 2010). Sammuttajien altistumista hengittyvälle pölylle mitattiin IOM-keräimellä ja se analysoitiin gravimetrisesti. Pölynäytteistä analysoitiin myös niiden radioaktiivisuus gammaspektrometrisesti. Sen jälkeen määritettiin vielä pölyn sisältämät 36 alkuainetta ICP-tekniikalla. Koehenkilöiden hiilimonoksidialtistumista mitattiin suoraanosoittavalla PAC6500 mittarilla.



Koehenkilöiden ihoaltistumista mitattiin ihokeräimien avulla rinnasta, selästä, jaloista ja niskasta (Laitinen ym., 2010; Hakkarainen ym. 2010; Laitinen ym. 2016). Näytteistä analysoitiin polysykliset aromaattiset hiilivedyt GC/MS -tekniikalla (kuva 17).



Kuva 17. Ihoaltistumiskeräimet

Koehenkilöiden kokonaisaltistumista PAH-yhdisteille arvioitiin virtsan 2-naftolin (naftaleenin merkkiaine) ja 1-pyrenolin (pyreenien merkkiaine) avulla, jotka analysoitiin HPLC/FLD -tekniikalla (Jongeneelen ym., 1987; Pavanello, ym. 1992; Bouchard & Viau, 1999; Laitinen ym., 2010). 2-Naftoli- ja 1-pyrenolinäytteet kerättiin ennen altistumista, tunnin sisällä altistumisen päättymisestä ja kuusi tuntia altistumisen päättymisestä (Laitinen ym., 2016). Bentseenille altistumista mitattiin virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon avulla. Näytteet otettiin heti altistumisen jälkeen ja ne analysoitiin nestekromatografisesti (Mendes ym., 2017). Hiilimonoksidille altistumista mitattiin koehenkilöiden veren häkähemoglobiinin ja uloshengitysilman avulla. Veren häkähemoglobiini mitattiin tunnin sisällä altistumisen päättymisestä ja verinäyte analysoitiin spektrofotometrisesti (Touger ym., 2010). Uloshengitysilman hiilimonoksidipitoisuus määritettiin sähkökemiallisella kennolla PAC6500 (Dräger) heti altistumisen jälkeen (Burgess ym., 1999). Koehenkilö puhalsi mittariin asennettuun adapteripuhallusputkeen 30 sekunnin tasaisen puhalluksen, jonka jälkeen mittarin lukema luettiin.

8.3.4 Parannetun ja perinteisen suojauksen vertailu metsäpaloradalla

Kolmannessa tutkimusvaiheessa mitattiin kahdeksan koehenkilön lämpökuormittumista ja altistumista parannetulla ja perinteisellä suojauksella kahden tunnin metsäpaloradalla, jonne poltettava siirtovarvikko oli tuotu Suomussalmelta. Rata sisälsi tiedustelua 20 minuuttia, letkukehikkojen kantoa 20 minuuttia, letkun vetoa 20 minuuttia, hosalla sammuttamista 20 minuuttia, reppuruiskulla sammuttamista 20 minuuttia ja letkujen rullausta 20 minuuttia. Kunkin tehtävän jälkeen kysyttiin koehenkilön lämpö- ja kuormittavuustuntemukset (liite 1). Tämä toistettiin kahteen kertaan, ensin toinen parista käytti parannettua ja toinen perinteistä suojausta. Sitten varusteet vaihdettiin toiseen testiin, näin henkilökohtaisen toiminnan vaikutus minimoitiin vertailutuloksiin. Lämpökuormitusmittaukset ja altistumismittaukset tehtiin kuten tutkimusvaiheessa kaksi, yhteensä 16 koehenkilölle.



8.3.5 Sammuttajien online-tiedon merkitys tilannetietoisuuden lisäämisessä

Sammuttajien turvallisuudesta huolehtiminen metsäpalossa ja reaaliaikaisen tilannetietoisuuden säilyttäminen ovat tärkeitä, niin tilannetta johtavan, kuin myös sammuttajan näkökulmasta. Hankkeessa kokeiltiin järjestelmiä, jotka paikallistivat sammuttajat kartalle sekä kertoivat heidän altistumistilanteesta sekä kuinka toimintakykyisiä sammuttajat olivat. Lisäksi järjestelmät mahdollistivat kaksisuuntaisen kommunikaation sammuttajan ja tilannetta johtavan välillä. Harjoitustilanteessa kokeiltiin myös ilma-alusten käyttämistä metsäpalossa, jotta tilannetta johtavalle saataisiin parempi tilanteen kokonaiskuva palon kehittymisestä ja sen viestimisestä sammuttajille. Tavoitteena sammuttajien työturvallisuuden parantaminen ja tehokkaampi sammutusresurssien käyttö pelastustilanteessa.

Metsäpaloissa ajantasaisen tilannekuvan merkitys kasvaa, kun sammuttajien määrä tai tilanteen haasteellisuus kasvaa. Pienet palot hoituvat arkirutiinilla, mutta laajat palot tai vaikeat olosuhteet tuovat johtamiseen lisähaasteita, joiden selättämisessä tarkka ja ajantasainen tilannekuva on tärkeää.

Erityisesti palot, joissa on paljon sammutushenkilöstöä ja pitkä kesto vaativat erityistä tilannekuvan ylläpitoa ja henkilöstön seuranta, esimerkiksi työn tauottamisen sekä yleisen työturvallisuuden varmistamiseksi. Työturvallisuuden kantava rakenne on toimiva kommunikointi, jotta tilannekuvaa pystytään tarvittavassa määrin jakamaan sammutustyötä tekeville henkilöille.

Blackline G7C

Testeissä käytettiin kahta menetelmää, joista ensimmäinen oli G7C -laitteisto (Blackline Safety), joka mahdollisti sammuttajan reaaliaikaisesti paikantamisen sekä hänen hiilimonoksidialtistumisen ja työkykyisyyden seuraamisen tietokoneen näytöltä tai tabletilla (kuva 18). Laitteessa on kiihtyvyyssanturi, joka hälyttää sammuttajan kaatuessa (man-down) tai jos sammuttaja ei liiku lainkaan. Laitteisto mahdollistaa myös kahdensuuntaisen viestiliikenteen ja se toimii matkapuhelinverkossa. Laitetta kokeiltiin Mataramäessä Pieksämäellä ja Tunkiosaassa Kuhmossa kahdella koehenkilöllä.



Kuva 18. G7C -laitteisto (Blackline Safety).



Airbus Defence and Space Oy

Toinen tilannekuvaa parantava ja sammuttajan työturvallisuutta lisäävän laitteiston toimittaja oli Airbus Defencen ja Space Oy. Tässä kehityshankkeessa tehtiin tilannekuvaan liittyvää vaatimusmäärittelyä ja käytiin läpi soveltuvia tapoja parantaa tämän hetken käytössä olevia menetelmiä sekä tuoda uusi mahdollisuuksia aiempaa parempaan tilannekuvan luomiseen teknologian suomin mahdollisuuksin.

Hanke partneroitui tilannekuvan luomisessa AIRBUS Defence and Space Oy:n kanssa. Yhteisessä tuotekehitys- ja testaushankkeessa Pelastusopiston rooli oli määritellä olemassa olevia tarpeita ja AIRBUS toteutti tarvittavan järjestelmän. Osa vaatimuksista tuli yleisesti metsäpalojen tilannekuvaa tukevan informaation tuottamisesta ja osa hankkeessa tehdyn muun tutkimuksen (lähinnä altistumisen) mukanaan tuomista tarpeista.

8.3.6 Suorituskykytestit letkuselvityksessä

Letkunselvitystä testattiin kolmella eri tekniikalla. Ensiksi kokeiltiin letkujen selvittämisen avustamista pelastusopiston telamönkijällä ja seuraavaksi pienmetsäkoneella (Jarcrac Forest Finland Oy) (kuva 19).



Kuva 19. Telamönkijä ja pienmetsäkone avustamassa letkuselvityksessä

Mukana testeissä oli kaksi sammutusparia, joilla kaikilla oli palomiestausta ja olivat työsuhteessa Pelastusopistolle. Molemmat parit harjoittelivat telamönkijän ja pienmetsäkoneen käyttöä ennen testien aloittamista. Ensimmäisenä testipäivänä 14.5.2021 molemmat parit tekivät letkuselvityksen telamönkijällä. Toisena mittauspäivänä 17.5.2021 molemmat pareista tekivät letkuselvityksen ensin manuaalisesti aamupäivällä ja toinen pari teki vielä letkuselvityksen pienmetsäkoneella iltapäivällä. Metsäpalorata oli 619 metriä pitkä ja siinä oli nousua 25 metriä. Koehenkilöiltä mitattiin testin aikana sydämen sykintänopeus, painon pudotus, vaatteisiin absorboitunut hiki ja rataa käytetty aika. Lopuksi samassa testissä kokeiltiin myös kemikaalisukelluksissa käytettävää suihkua sammuttajien puhdistautumiseen metsäpalon jälkeen.

Läpimitaltaan pienempien työjohtojen hyötyjä ja haittoja arvioitiin testeissä samaisella metsäpaloradalla. Testissä käytettiin perinteistä 42 mm työjohtoa ja läpimitaltaan pienempää 25 mm



työjohtoa. Testissä mitattiin letkujen vedentuottoa ja painetta Pelastusopiston harjoitusalueella. Lisäksi kyseltiin käyttäjien kokemuksia niiden kuormittavuudesta.

Sammuttajien näkyvyyttä ilmasta testattiin pelastusopiston harjoitusalueella lentämällä nelikopterilla 50 metrin korkeudella, kun sammuttajat käyttivät sinistä puuvillahaalaria ja Rosenbauerin ja Texportin metsäpalopukuja valkealla kypärällä ja ilman.

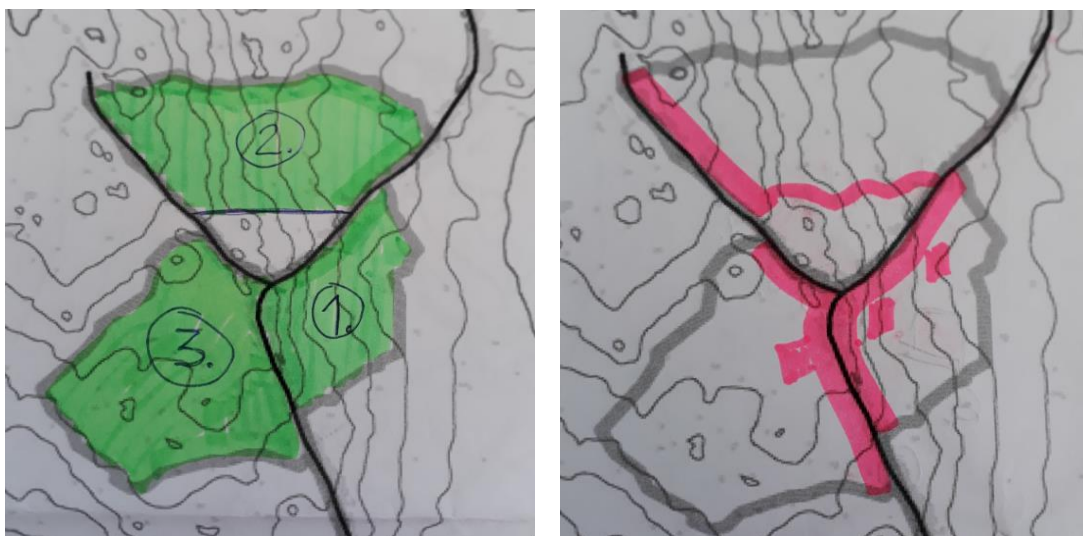
8.3.7 Vaihtoehtoiset tekniikat rajoituslinjojen tekoon

Bonsoguard Prefirex

Kemiallisen rajoitusaineen käyttöä esitestattiin Pelastusopiston harjoitusalueella Korvahajussa. Testialustana toimi kesällä kerätty siirtovarvikko, johon rajattiin ennaltaehkäisyaineella käsitelty alue. Myöhemmin ainetta testattiin aidossa ympäristössä Mataramäessä Pieksämäellä kolmessa erillisessä kulotuksessa. Tarkoituksena oli selvittää, toimiiko ennaltaehkäisyaine toivotulla tavalla eli rajoittaako se paloa ja katkaiseeko se palon etenemisen luonnollisissa maasto- ja metsäolosuhteissa. Aineen käyttö lupa haettiin metsänomistajalta ja Tornatorin ympäristövastaavalta, joka arvioi tuotteen riskit valmistajan toimittaman selvityksen perusteella.

Varsinainen testaus toteutettiin Pieksämäen Mataramäessä päätehakkuuaukealla, johon oli jätetty säästöpuuryhmiä. Pääosin aineella tehtiin rajoituslinjoja kulotettavien alueiden rajaamien teiden varsille, 100 - 150 cm leveydelle (kuva 20). Yksi rajoituslinja tehtiin kulotettavan- ja laikutetun alueen rajalle, yhden metrin levyisenä kaistaleena. Maastoon levitettiin ennaltaehkäisyainetta kolme litraa neliömetrille, joka oli todettu riittäväksi sekä yrityksen omissa-, että Pelastusopiston esitesteissä. Lisäksi ainetta levitettiin hieman suurempia määriä kolmeen kohteeseen säästöpuuryhmissä, jossa oli suuria havu- ja lehtipuita, sekä hakkuujätekasoja.

Testaus jaettiin kolmelle eri päivälle (kuva 20). Kaikki ennaltaehkäisyaine levitettiin ensimmäisenä testipäivänä, jotta saatiin testattua aineen toimivuutta erimittaisilla kuivumisajoilla. Valmistajan mukaan tuotteen vaikutus maastossa kestää pitkään, mikäli ei tule rankkoja sateita, jotka huuhtovat aineen maaperään.



Kuva 20. Kulotettavat alueet ja ennaltaehkäisyaineen levityssuunnitelma.



Ensimmäisen kulotuksen alkaessa oli kulunut kuusi tuntia aineen levittämisestä. Kulotus aloitettiin läheltä käsiteltyä aluetta.

Toisessa testikohteessa pääpaino oli noin metrin levyinen käsitelty alue kulotusalueen ja laikutetun alueen välissä. Aine oli levitty kaksi päivää aikaisemmin, joten aineessa olevan veden oletettiin haihtuneen kokonaan pois. Kosteutta ei mitattu, vaan havainnot tehtiin ainoastaan visuaalisesti ja tunnustelemalla käsiteltyä aluetta. Käsitelty alue oli kahdella sivulla kulotusaluetta.

Kolmannessa testissä ennaltaehkäisyaine oli ennättänyt kuivua viisi vuorokautta. Testialueelle oli kerätty hakkuujätettä, joten palokuormaa oli runsaasti. Tässä osiossa oli käsitelty yksi metsäautotiehen rajoittuva reuna, sekä yksi suuri hakkuujätekasa.

Rajoitusaine levitettiin maastoon lietevaunulla (Joskin Modulo 2 12000 MEB). Lietevaunu valikoitui käytettäväksi välineeksi tuotteen viskositeetin takia. Vaunussa oli imupumppu, joka mahdollisti vaunun täyttämisen toisesta säiliöstä, IBC-kontista tai vaikka luonnonvesilähteestä. Lietevaunulla rajoitusaine levitettiin metsäautoteiden tai vastaavien kantavuudeltaan riittävien teiden reunoille. Lietevaunussa ei ollut vetäviä akseleita ja se oli suunniteltu tasaisille pelloille, joten maasto-ominaisuudet eivät mahdollistaneet metsässä tai hakkuuaukealla liikkumista. Esitestauksessa pumpun tuoton perusteella määriteltiin ajonopeus, jolla päästiin tavoitteeseen, 3 litraa neliömetrille. Samalla selvitettiin paras levitystekniikka (kuva 21).



Kuva 21. Lietevaunun imupumppu, levitysmäärän esitestaus, levitys metsäautotien viereen ja hakkuujätekasaan.

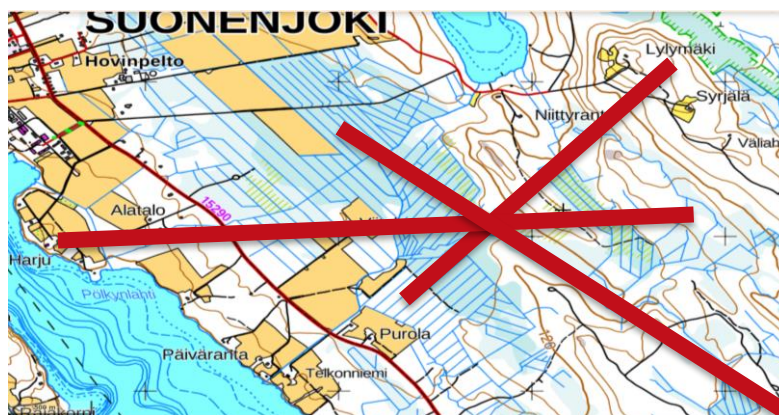


Sadettimet ja reikäliittimet

Muita vaihtoehtoisia tekniikoita rajoituslinjojen tekemiseen testattiin Pelastusopiston harjoitusalueella sadettimien ja kalustohallin pihalla reikäliittimien avulla.

8.3.8 Palon varhainen havaitseminen

Hankkeessa kokeiltiin yhdessä matkapuhelinoperaattori Telian kanssa myös uudenlaista mallia, jolla voitaisiin täydentää nykyistä mallia havainnoida maastopaloja. Perusajatus on ajalta, jolloin paloja tähystettiin miehitetyistä valvontatorneista. Tavoitteena oli rakentaa kamerajärjestelmä, jonka avulla tekoälysovellus pystyy havaitsemaan maastopalon savun muodostuksen perusteella. Useamman havaintopisteen avulla voidaan saada myös verraten tarkka sijainti savuhavainnolle (Kuva 22).



Kuva 22. Useampi havaintopiste mahdollistaa palon paikallistamisen kolmiomittausperiaatteen mukaisesti

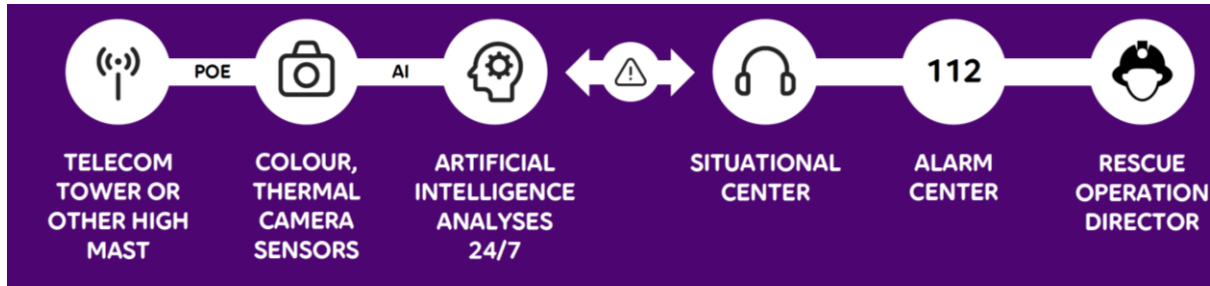
Pelastusopiston harjoitusalueen maastoon asennettiin kamera havainnointijärjestelmän kehittämistä ja testaamista varten. Koska alueella on savun tuottoa säännöllisesti, saatiin testiaikana paljon havaintoja tekoälyn opettamista varten. Järjestelmän toimintamallissa kamera kuvaa ympäristöä jatkuvasti ja tekoälyalgoritmi analysoi saatua kuvamateriaalia. Kun tekoäly havaitsee kuvasta savuksi tulkitsemansa muodon, se laskee havainnon oikeellisuuden todennäköisyyksiä (kuva 23).



Kuva 23. Kameran kuvaamaa materiaalia ja tekoälyn päätelmiä metsäpaloön liittyvän savuntuotannon todennäköisyydestä (Kuva Telia).



Mikäli algoritmi pääättelee, että kyseessä on riittävällä todennäköisyydellä maastopalon tuottama savu, se ilmaisee tämän sähköpostilla esimerkiksi tilannekeskukseen (Kuva 24), jossa asiantuntija voi analysoida ja varmentaa havainnon. Mikäli havainto osoittautuu maastopaloksi, hälytetään paikalle palokunta ja tilanteen tiedot voidaan välittää tilannepaikan johtajalle.



Kuva 24. Kameran ja tekoälyn savuhavainnon varmistaminen ja hälytysketju (kuva Telia).

8.3.9 Eettiset kysymykset

Tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista. Tutkimukseen rekrytoitaville annettiin tiedote heille tehtävistä tutkimuksista ja heidän oikeuksistaan tutkimuksen aikana, johon he tutustuivat ennen suostumista koehenkilöksi. Ennen kenttä- ja laboratoriotutkimuksien alkamista kultakin koehenkilöltä pyydettiin kirjallinen suostumus, jossa vielä selvitettiin mihin tarkoitukseen tuloksia käytetään. Tutkimuksen eettisyydestä pyydettiin lausunto Pohjois-Savon Sairaanhoidopiiriin koordinoivalta eettiseltä toimikunnalta. Toimikunnalta saatiin myöntävä vastaus lausuntopyyntöön 138/2020 28.1.2020.

Hankkeessa altistumis- ja lämpökuormittavuustutkimuksien vastaava henkilö on kliinisen fysiologian ja liikuntalääketieteen erikoislääkäri, lääketieteen tohtori dosentti Arja Uusitalo. Häntä tukivat hankkeen lämpökuormittavuusmittauksista vastaava erikoistutkija filosofian tohtori ja dosentti Sirkka Rissanen ja altistumismittauksista vastaava tutkija filosofian tohtori ja dosentti Juha Laitinen.



9 Tulokset

9.1 Käytössä olevat työvälineet ja suojarusteet Suomen metsä- ja maastopaloissa

9.1.1 Työvälineet

Metsäpalojen tärkeimpänä sammutteena Suomessa toimii vesi. Yksikön saapuessa kohteeseen aloitetaan tilannearvion jälkeen vetämään runkolinjaa ja työjohtoja, aloitetaan sammuttaminen ja rajoitustoimet. Tiedustelijat tekevät samalla arvioita palon leviämisestä. Palon reunoja pyritään kaventamaan ja palon kärki katkaisemaan oikeilla rajoitustoimenpiteillä. Turve- ja kunttapohjaisissa maastopaloissa rajoituslinjan pinta pitää saada kaivettua auki palon pysäyttämiseksi. Turvepaloissa palaminen voi tapahtua hyvinkin hitaasti kytämällä pinnan alemmissa kerroksissa. Tähän sammutustyöhön kuokat, talikot ja pistolapiot ovat tärkeimmät työvälineet veden lisäksi. Nämä työkalut kuluvat paloautojen perusvarustukseen valtaosassa pelastuslaitoksia. Pelastuslaitoksilla on käytössään maastokelpoisia mönkijöitä, joilla tehdään tavaran kuljetusta palopaikalla, letkun selvitystä maastoon ja palon jälkeen letkujen poiskeräämistä maastosta. Suurista työkoneista yhteistyö koneyrityksien kanssa on tärkeää, jotta kaivureita ja metsäkoneita on mahdollista saada rajoituslinjojen tekoon ja järeämpään sammutukseen. Hyviä kokemuksia on saatu Etelä-Savon Metsäpalon sammutusyksiköstä, joka liikkuu pyynnöstä läpi Suomen ja toimii jälkisarvutus ja rajoitustyössä metsäpalopaikoilla (SPEK 2021).

Suuremmissa metsäpaloissa kannattaa tukeutua rajavartiolaitoksen ja puolustusvoimien helikoptereiden ilmasammutusavustukseen ja reaaliaikaisen tilannekuvan ylläpitämiseen muiden tähystyslentojen lisäksi. Tilannekuvan muodostamiseen on myös käytössä RPAS kalustoa, jota monella pelastuslaitoksella operoi siihen erikoistunut sopimuspalokunta.

9.1.2 Suojarusteet

Sammuttajien tämänhetkistä suojarusteiden kirjoa selvitettiin Raution metsäpalossa, jossa työskenteli sammuttajia kaikista pelastuslaitoksista. Suomen pelastusalan keskusjärjestö teki kyselyn aiheesta, johon liitettiin Pelastusopiston osuus suojarusteista. Palon taltuttamiseen erilaisissa työtehtävissä mukaan lukien huolto ja muut avustavat tehtävät, osallistui 1500 henkilöä kahden viikon aikana ja kyselyyn vastasi 674 henkilöä. Valtaosa (79 %) kaikista kyselyyn vastanneista oli sammutusmiehistä, joten keskimääräiset vastaukset antoivat hyvän kuvan sammuttajien nykyisin käyttämästä suojarustuksesta. He olivat myös kokeneita. Vastaajista 52 % oli osallistunut tätä ennen yli 20 metsäpalon sammuttamiseen (SPEK 2021).

Tyypillinen sammuttaja (23 % vastaajista) käytti huoneistopaloihin suunnitellun palopuvun palohousuja, joihin oli yhdistetty vartalon yläosan suojaksi joko t-paita tai väliasun takki. Tämän lisäksi 13 % vastaajista käytti huoneistopaloihin suunniteltua paloasua kokonaisuudessaan eli yhteensä 36 %:lla oli käytössä huoneistopaloihin suunniteltu paloasu jossakin muodossa. Vastaajista 59 % käytti alusvaatteina t-paitaa ja lyhyitä alushousuja. Kevyttä pelastuskypärää käytti 47 % vastaajista ja 75 % vastaajista käytti puolestaan palosaappaita suojajalkineena. Suojakäsineinä ohuita työkäsineitä käytti

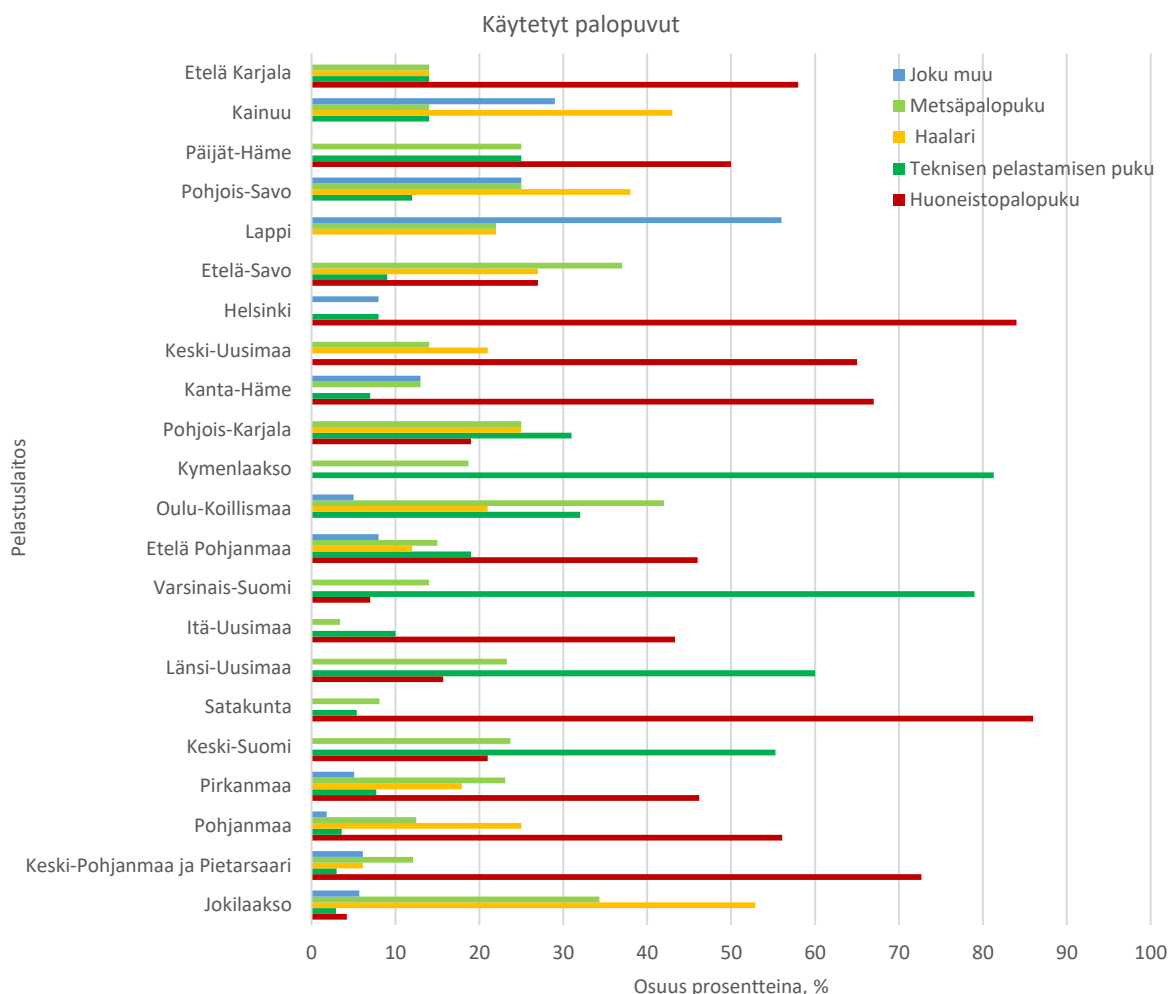


71 % vastaajista ja suurimmalla osalla (77 %) silmäsuojaimia ei ollut käytössä ja aluskäsineet puuttuivat 95 %:lta vastaajista. Vastaajista 53 % ei käyttänyt minkäänlaista hengityksensuojainta (SPEK 2021).

Suojavarusteiden eroja sopimuspalokuntalaisten ja virassaan olevien välillä tarkasteltiin myös. Virassa olevat käyttivät vähemmän huoneistopaloihin tarkoitettuja sammutusasuja kuin sopimuspalokuntalaiset. Huoneistopaloihin tarkoitetut sammutusasut oli korvattu virassaan olevilla puuvilla- tai hitsaushaalareilla tai tekniseen pelastamiseen tarkoitetulla palopuvulla. Sen sijaan sopimuspalokuntalaisilla oli enemmän metsäpalopukuja vastausten mukaan. Virassa olevat käyttivät myös vähemmän raskasta palokypärää ja palosaappaita kuin sopimuspalokuntalaiset. Raskas palokypärä oli korvattu kevyellä pelastuskypärällä ja palosaappaat varsikengillä. Palokäsinettä käyttivät virassaan olevat myös vähemmän, mutta sen sijaan viiltosuojakäsineiden käyttö oli heillä yleisempää kuin sopimuspalokuntalaisilla. Hengityksensuojainten, aluskäsineiden tai silmäsuojaimien käytössä ei näiden ryhmien välillä ollut eroja. Virassa olevilla oli käytössä hieman enemmän puhallinavusteisia yhdistelmäsuodattimella varustettuja hengityksensuojaimia, mutta niiden määrä oli pieni. Molemmat ryhmät joutuivat tiukoissa paikoissa käyttämään paineilmahengityksensuojaimia yhtä useasti eli noin 6 % vastaajista (SPEK, 2021).

Molemmat ryhmät arvioivat omaa suojautumistaan asteikolla 1 - 5. Sopimuspalokuntalaiset arvioivat oman suojautumisensa tasolle 3,6 kun viranhaltijat antoivat itselleen arvosanaksi 3,3. Molemmissa ryhmissä hengityksen- ja silmäsuojaimet aiheuttivat eniten huolta alusasujen lisäksi. Virassaan olevilla oli tarjolla puhdas paloasu seuraavaan vuoroon useammin kuin sopimuspalokuntalaisilla, mutta likaisten varusteiden kuljetus palopaikalta oli paremmin järjestetty sopimuspalokuntalaisilla.

Kuvassa 25 on Raution metsäpaloosallistuneiden eri Pelastuslaitosten sammuttajien käyttämät palopuvut vastausten mukaan. Kuvassa on nähtävissä, että Kainuun, Pohjois-Savon, Lapin, Kymenlaakson ja Oulu-Koillismaan mukana olleilla ryhmillä oli käytössään keveämmät palopuvut. Sen sijaan Satakunnan, Helsingin, Keski-Pohjanmaan ja Pietarsaaren, Keski-Uudenmaan ja Kanta-Hämeen pelastuslaitokset luottivat edelleen huoneistopalopukuun. Yli 60 % heidän käyttämistään palopuvuista sisälsi tavalla tai toisella huoneistopalopuvun tai sen osan.



Kuva 25. Palopukujen variaatiot pelastuslaitoksilla Raution metsäpalon sammutuksessa (SPEK 2021).

9.2 Laboratoriotestit

Testilaboratorion ilman lämpötila oli testin aikana 21 - 23 °C ja suhteellinen kosteus noin 15 %. Koehenkilöiden asukokonaaisuudet punnittiin ennen jokaista testiä ja taulukossa 4 on esitetty asukokonaisuuksien keskimääräiset painot ennen testiä ilman kenkiä ja kypärää. Kaikki käyttivät kokonaista metsäpalopukua sekä pitkälahkeisia ja -hihaisia alusasuja.

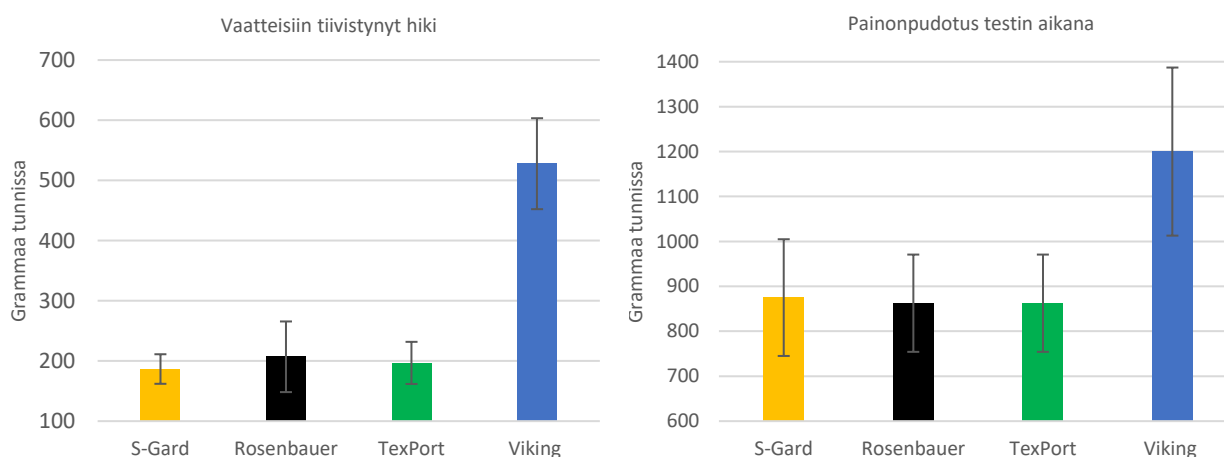


Taulukko 4. Asukokonaisuuksien painot ilman kenkiä ja kypärää.

Palopuku	Kokonaispaino, g
Viking	3893
S-Gard Ranger 2.0	2382
Texport Wildland	2221
Rosenbauer THK D	2261

9.2.1 Lämpökuormittavuus

Koehenkilöiden painon alenema lämpökuormittavuustestissä laboratoriossa oli keskimäärin 860–1200 grammaa tunnissa (kuva 26). Hikoilusta vaatetukseen tiivistyi kosteutta huoneistopaloon suunniteltuun palopukuun noin kaksin- tai kolminkertainen määrä verrattuna metsäpalopukuihin (kuva 26).

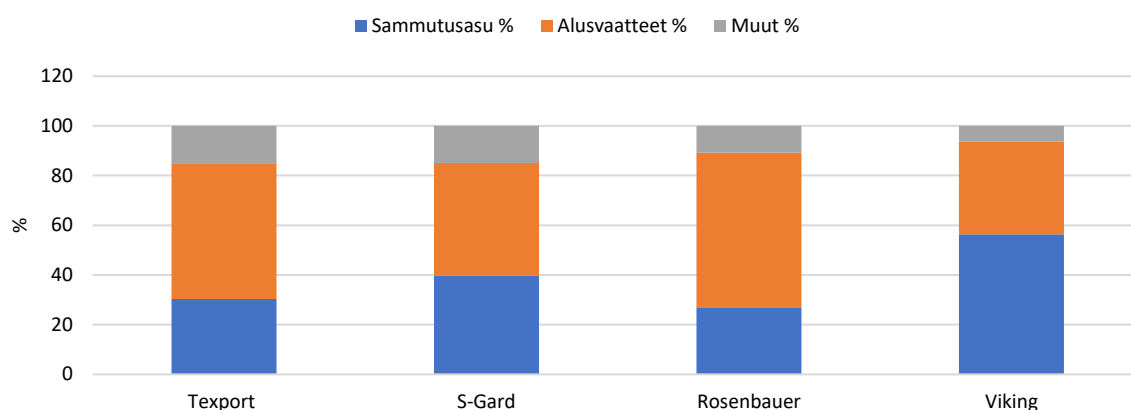


Kuva 26. Vaatteisiin tiivistynyt hiki ja koehenkilöiden painonpudotus testin aikana

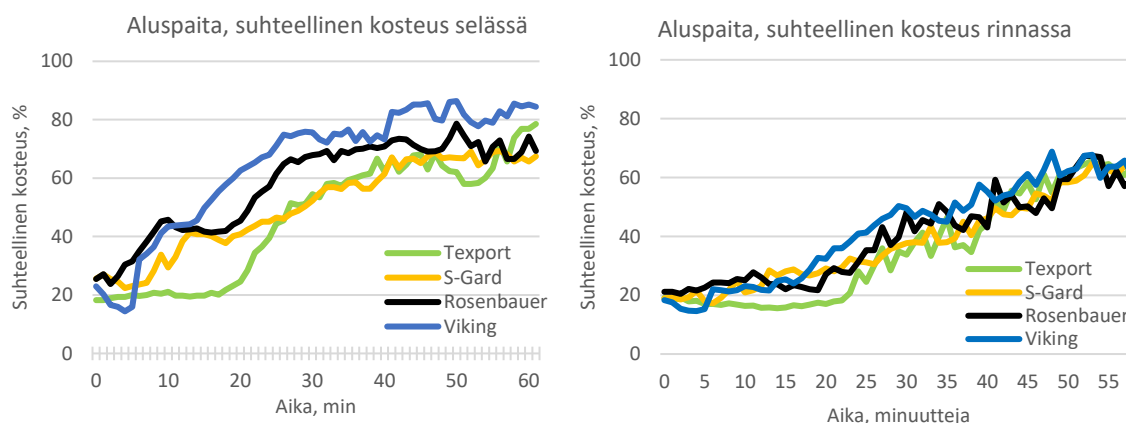
Koehenkilöiden kehosta vapautunut hiki kerääntyi 56 prosenttisesti palopukuun ja 37 prosenttisesti alusvaatteisiin käytettäessä huoneistopaloihin suunniteltua pukua (kuva 27). Metsäpalopuvuissa vastaavat osuudet olivat 27 - 40 % ja 45 - 62 %.



Kosteuden jakautuminen eri vaatekerroksiin

**Kuva 27.** Kosteuden jakautuminen vaatekerroksiin.

Keskimääräinen suhteellinen kosteus vaatekerrosten välissä lisääntyi tehtäväradan suorituksen aikana (kuva 28). Texportin metsäpalopukua käytettäessä selän puolella aluspaidan keskimääräinen suhteellinen kosteus ylitti 40 % rajan 25 minuutin kohdalla. S-Gard ylitti rajan 11, Viking 9 ja Rosenbauer 8 minuutin kohdalla (kuva 28). Vastaavat luvut rinnassa olivat Viking 24, Rosenbauer 26, Texport 31 ja S-Gard 32 minuuttia (kuva 28).

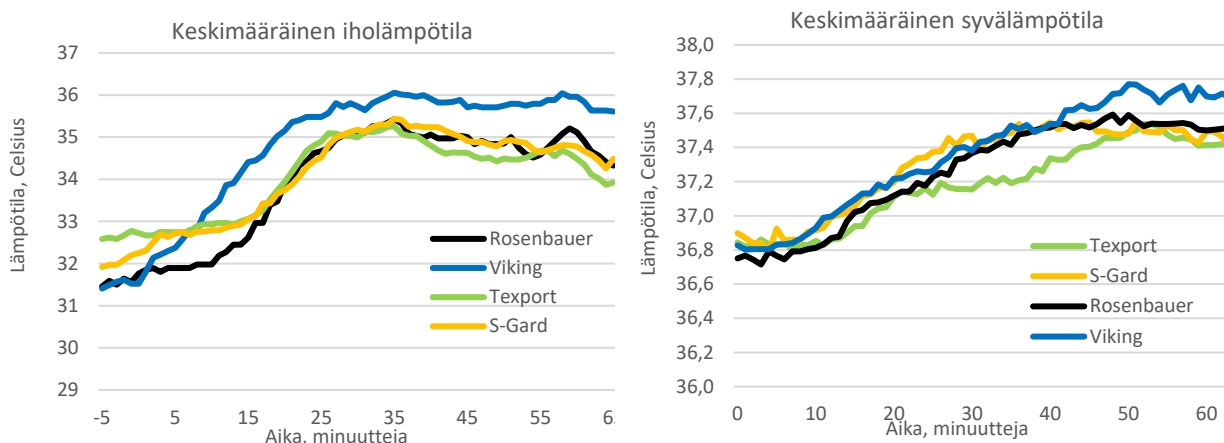
**Kuva 28.** Suhteellisen kosteuden vaihtelu vaatekerrosten välissä tehtäväradan suorittamisen aikana.

Paikallisista iholämpötiloista laskettu keskimääräinen iholämpötila nousi 35 minuutin työn jälkeen 35,4 °C:seen metsäpalopuvuissa ja 36,1 °C:seen huoneistopaloihin suunnitellussa palopuvussa (kuva 29). Metsäpalopukujen välillä eroa ei ollut.

Koehenkilöiden elimistön syvälämpötila saavutti keskimäärin 37,5° C:n lämpötilan noin 35 minuutissa huoneistopaloihin suunnitellussa Vikingin palopuvussa ja metsäpaloihin suunnitelluissa S-Gardin ja Rosenbauerin puvuissa. Texportin pukua käytettäessä aikaa kului tuohon lämpötilaan keskimäärin 50

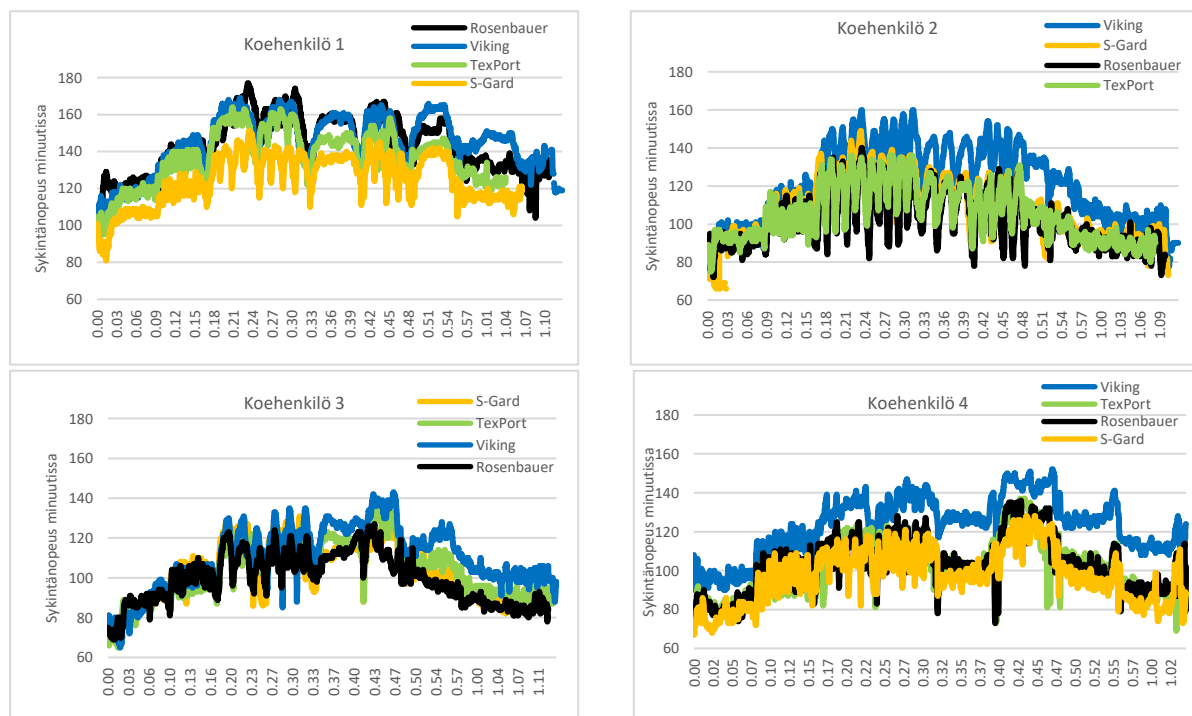


minuuttia (kuva 29). Syvälämpötila nousi huoneistopaloihin suunnitellussa puvussa keskimäärin 0,25 °C korkeammalle kuin metsäpaloihin suunnitelluissa puvuissa.



Kuva 29. Keskimääräisen ihon lämpötilan ja syvälämpötilan vaihtelu testin aikana

Koehenkilöiden sydän ja verenkiertoelimistön kuormittumista mitattiin sydämen sykintänopeutta monitoroimalla. Kuvassa 30 on esitetty kunkin koehenkilön sydämen sykintänopeudet heidän käyttäessään erilaisia palopukuja testin aikana. Huoneistopaloihin suunniteltu Vikingin palopuku kuormitti eniten koehenkilöitä.

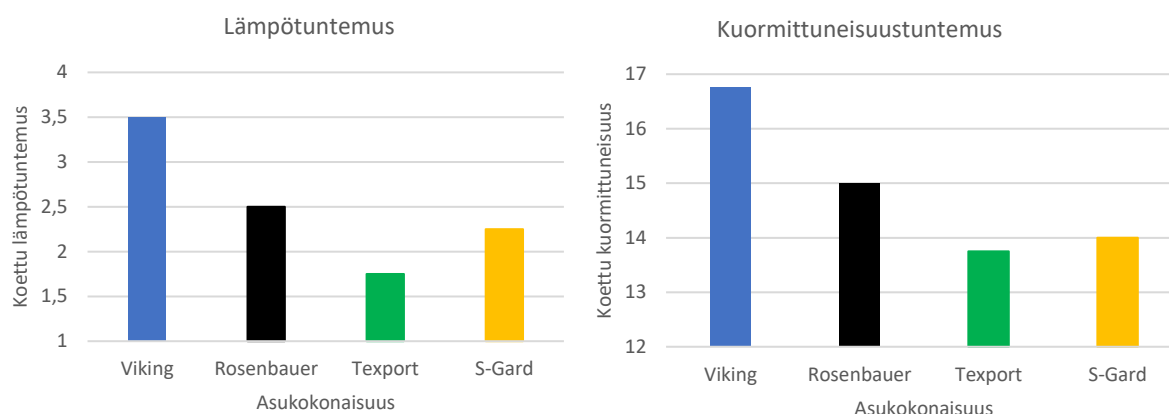


Kuva 30. Koehenkilöiden sydämen sykintänopeudet käytettäessä eri palopukuja

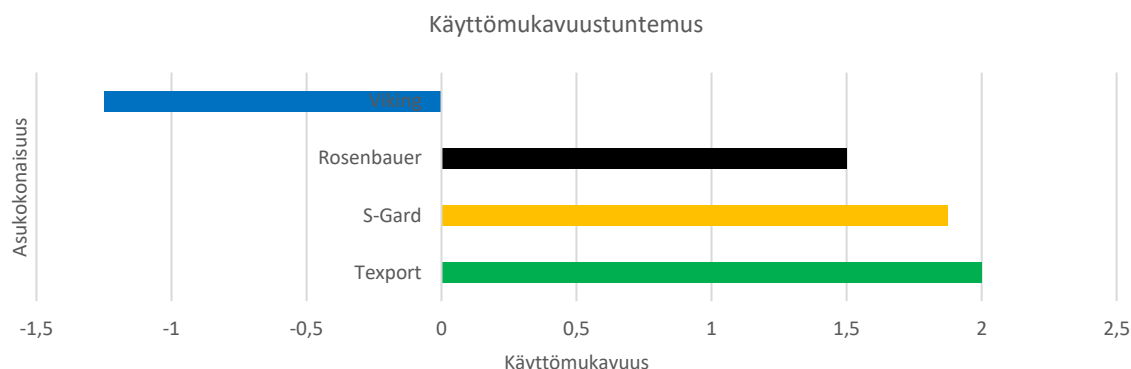


9.2.2 Lämpö-, kuormittuneisuus- ja käytettävyydestuntemukset

Keskimääräinen koettu lämpö- ja kuormittuneisuustuntemus oli tehtävien aikana korkein Vikingin paloasussa ja matalin Texportin metsäpalopuvulla (kuva 31). Sammutusasujen käyttömukavuus tehtäväradalla koettiin huonoimmaksi huoneistopaloihin suunnitellussa Vikingin palopuvussa. Käyttömukavimmat olivat koehenkilöiden mielestä Texportin ja S-Gardin metsäpalopuvut (kuva 32).



Kuva 31. Koehenkilöiden keskimääräinen lämpötuntemus eri asuilla (n=4). (0 = neutraali, 1 = hieman lämmin, 2 = lämmin, 3 = kuuma, 4 = hyvin kuuma). Koehenkilöiden kuormittuneisuustuntemus eri asuilla (liite 1).



Kuva 32. Koehenkilöiden keskimääräinen käyttömukavuustuntemus eri asuilla (n=4). Asun käyttömukavuus 0 = neutraali, 3 = hyvin helppo liikkua tai miellyttävä, -3 = hyvin vaikea liikkua tai epämiellyttävä

9.3 Lämpökuormittumis- ja altistumismittaukset metsänkulutuksessa

Taulukossa 5 on esitetty asukokonaisuuksien painot metsänkulutustehtävän aikana. Huoneistopalopuvussa työskentelevällä oli palopuvun housut, lyhyet alushousut ja t-paita. Muut käyttivät kokonaista metsäpalopukua sekä pitkälahkeisia ja -hihaisia alusasuja.

**Taulukko 5.** Vaatepainot (ilman kenkiä ja kypärää)

Palopuku	Asukokonaisuus	Kokonaispaino, g
Viking	t-paita, sammutushousut	1827,4
S-Gard	aluskerrasto, maastosammutusasu	2480,6
Texport	aluskerrasto, maastosammutusasu	2345,6
Rosenbauer	aluskerrasto, maastosammutusasu	2364,4

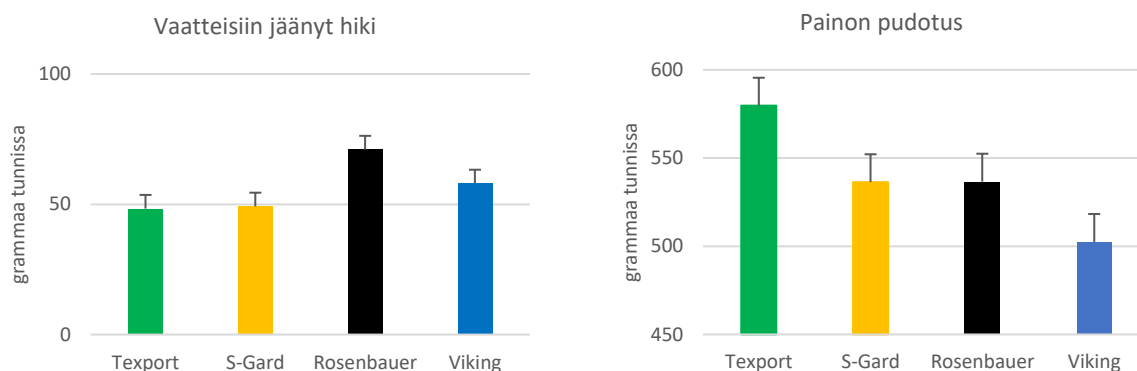
Taulukossa 6 on esitetty ilman lämpötilan ja kosteuden vaihtelu testien aikana. Suuret lämpötilavaihtelut päivän aikana johtuivat mittausajankohdasta (iltapäivä ja myöhäinen ilta).

Taulukko 6. Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja tuuli. Tuulitiedot saatiin Varkauden sääasemalta ensimmäisen, toisen ja kolmannen testipäivän osalta ja Lieksan sääasemalta neljännen osalta.

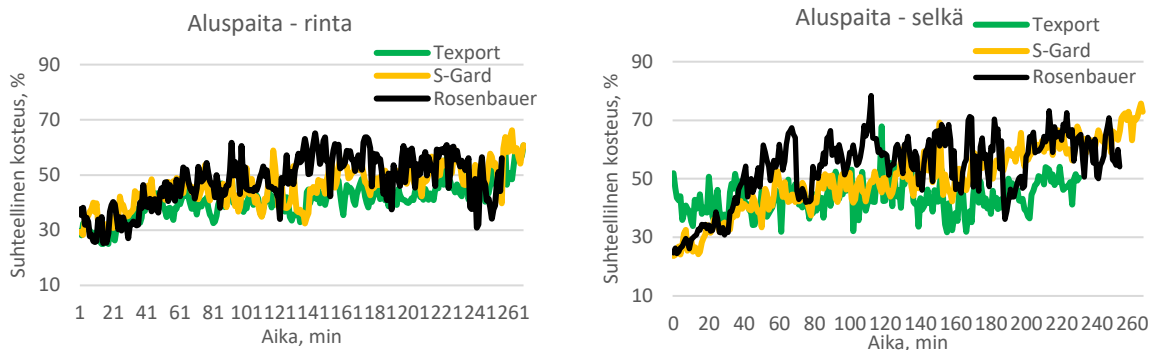
pv	lämpötila, °C	suhteellinen kosteus, %	tuuli (puuska), m/s	mittauksen kesto, h
1.	6 - 20	24 - 34	4 - 6 (6 - 8)	4
2.	17,6 - 18,9	36 - 40	2 - 6 (5 - 8)	4
3.	10 - 20,3	22 - 60	1,2 - 3,5 (4 - 8)	5
4.	20,3 - 24,6	17 - 36	1,2 - 4,3 (5 - 7)	4

9.3.1 Lämpökuormittuminen

Koehenkilöiden paino putosi 502 - 580 grammaa tunnissa (kuva 33) ja tulokset on korjattu koehenkilöiden juomalla nestemäärällä 1 - 2,3 litraa testin aikana. Koehenkilöiden juomat nestemäärät eri vaatetuksilla olivat $0,370 \pm 0,068$ (Viking), $0,279 \pm 0,036$ (Rosenbauer), $0,309 \pm 0,031$ (S-GARD) ja $0,336 \pm 0,052$ (Texport) litraa tunnissa (keskiarvo $\pm$ keskihajonta). Vaatetukseen tiivistyi kosteutta 48 - 71 grammaa tunnissa (kuva 33). Kulutuksen kesto oli 4 - 5 tuntia.

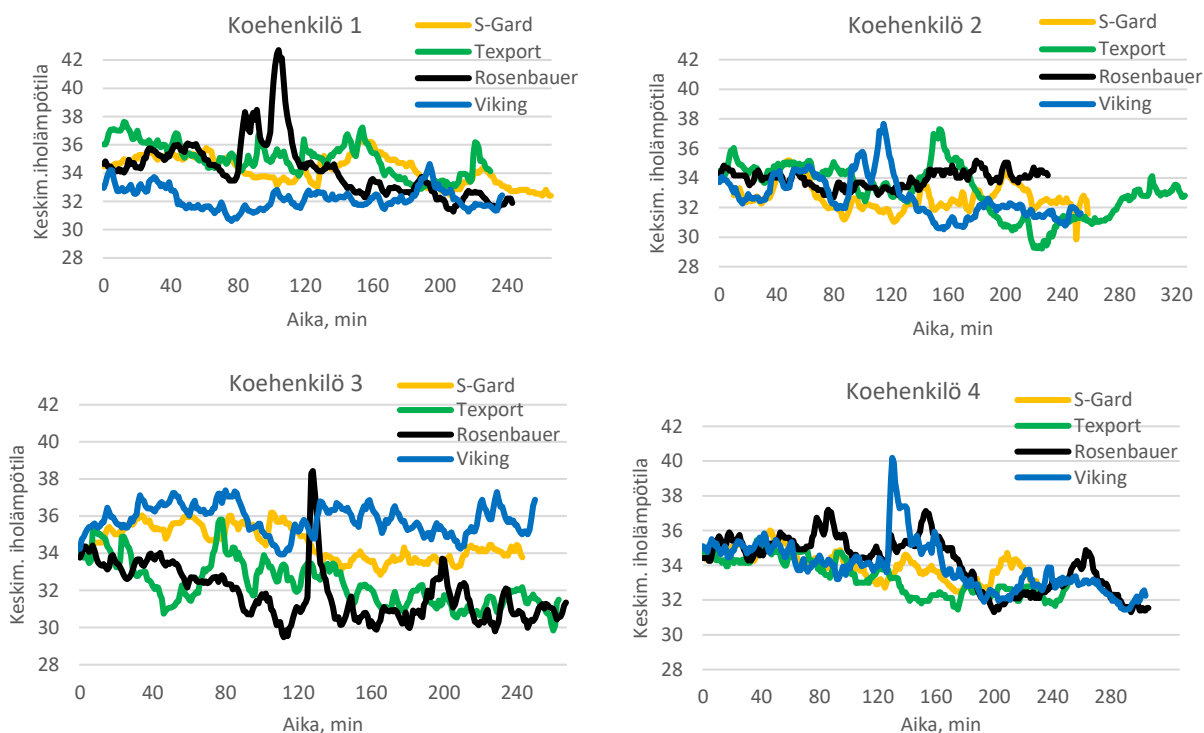
**Kuva 33.** Keskimääräinen vaatteisiin sitoutunut hiki ja painon pudotus testin aikana. Jälkimmäisessä on huomioitu juominen

Metsäpalopuvun alla olevan vaatetuksen kosteus ajan funktiona on esitetty kuvassa 34. Etenkin selässä kosteus vaihteli hientuotannon mukaan. Texportin metsäpaloasussa hien kuivumista oli havaittavissa eniten.



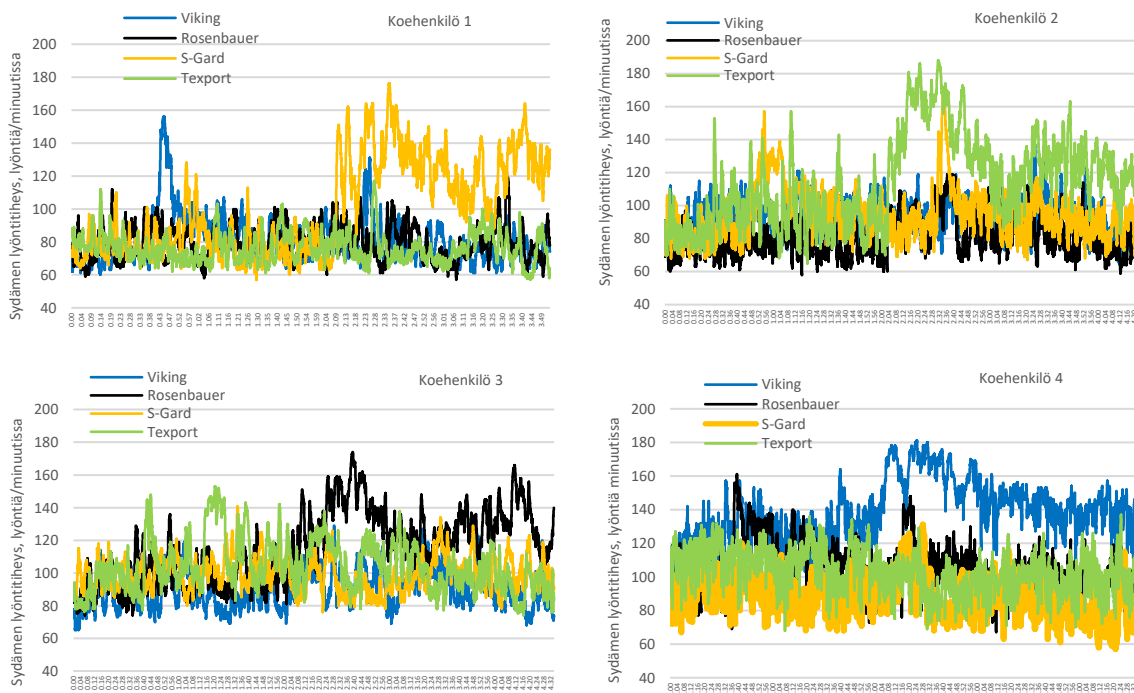
Kuva 34. Suhteellisen kosteuden vaihtelu koehenkilön rinnassa ja selässä testin aikana. Vikingin tulokset puuttuvat, koska koehenkilöillä ei ollut palotakkia.

Keskimääräiset iholämpötilat koehenkilöittäin neljänä eri päivänä on esitetty kuvassa 35. Lämpötilat on esitetty koehenkilöittäin kulloiseenkin asukokonaisuuteen pukeutuneena. Koska eri testaustilanteiden välisiä muuttujia oli paljon, testit eivät olleet vertailukelpoisia keskenään.



Kuva 35. Keskimääräinen iholämpötila koehenkilöittäin eri asukokonaisuuksilla (n=4)

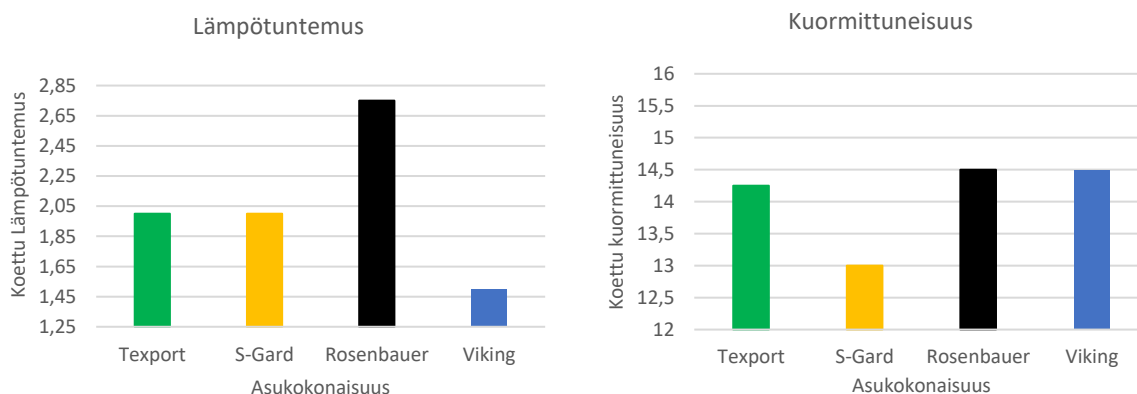
Koehenkilöiden sydän ja verenkiertoelimistön kuormittuminen testien aikana on esitetty kuvassa 36, josta selviää myös se, että testipäivät eivät olleet vertailukelpoisia keskenään.



Kuva 36. Koehenkilöiden sydän- ja verisuoniston kuormittuminen kulotustesteissä eri palopuvuilla

9.3.2 Lämpö- ja kuormittuneisuus- ja käytettävyydstuntemukset

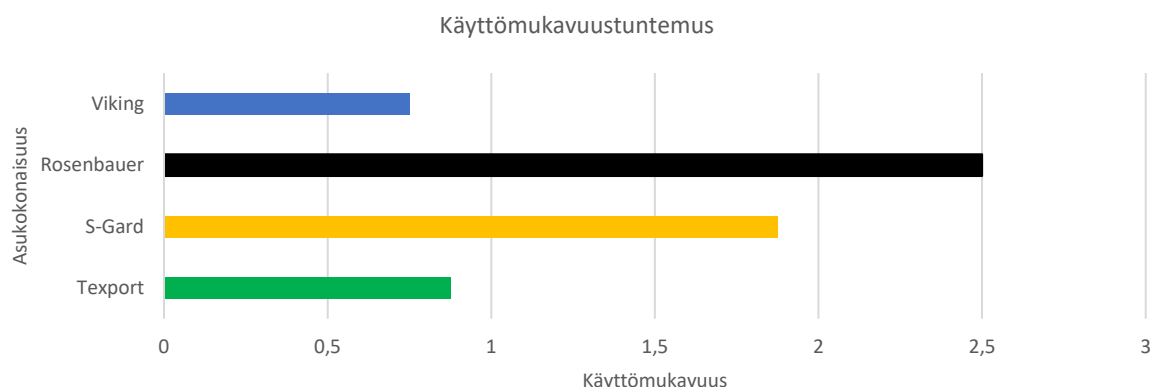
Koehenkilöiden lämpö- ja kuormittuneisuustuntemukset on esitetty kuvassa 37. Huoneistopaloihin suunnitellussa palopuvussa oli vähemmän vaatetusta kuin muissa, mikä näkyi alempina lämpötuntemuksina, mutta sen kuormittavuus nousi silti korkeimmaksi Rosenbauerin ohella.



Kuva 37. Koehenkilöiden keskimääräiset lämpö- ja kuormittuneisuustuntemukset (n=4)



Asujen käyttömukavuus metsäntulotuksen aikana on esitetty kuvassa 38. Parhaat arviot saivat S-Gardin ja Rosenbauerin metsäpalopuvut.



Kuva 38. Koehenkilöiden keskimääräinen käyttömukavuustuntemus eri asuilla metsäntulotuksen aikana. 0 = neutraali, 3 = hyvin helppo liikkua tai miellyttävä, -3 = hyvin vaikea liikkua tai epämiellyttävä.

9.3.3 Altistuminen kemiallisille aineille

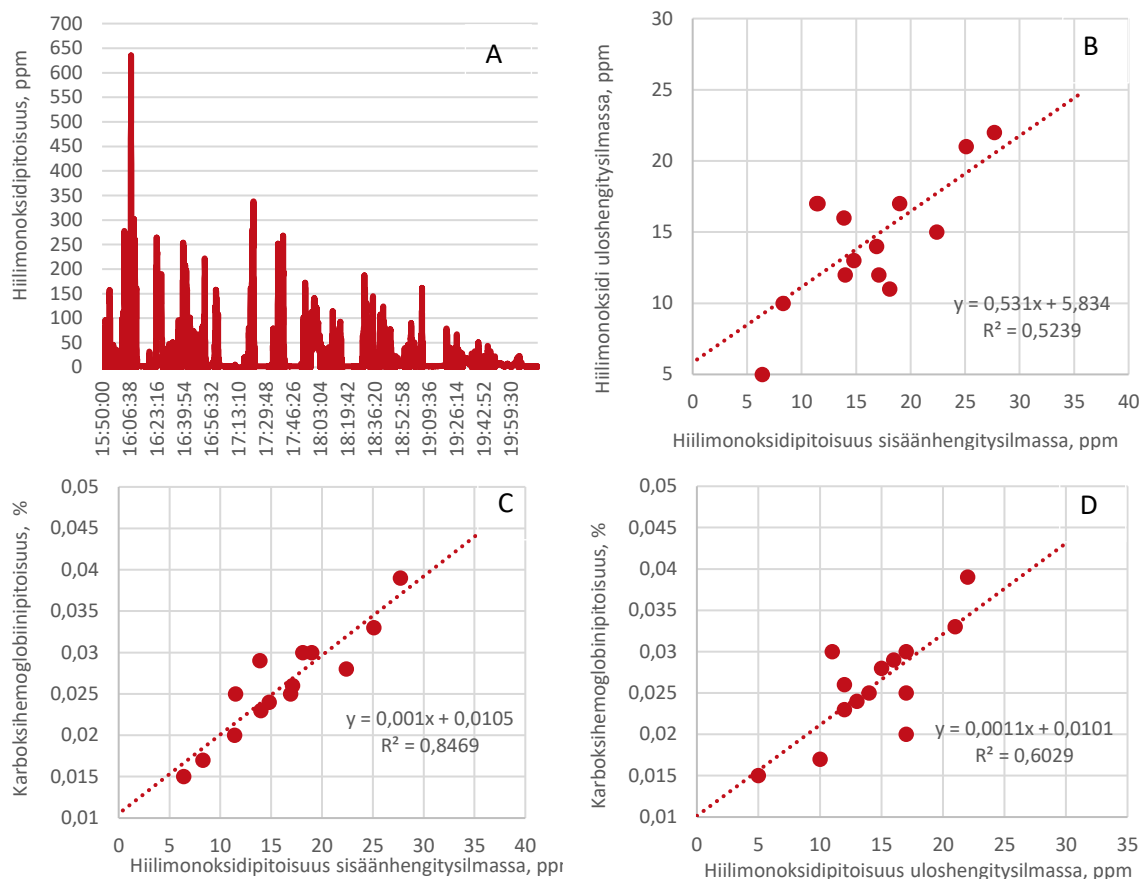
Hiilimonoksidi hengitysvyöhykkeellä ja uloshengitysilmassa sekä sen merkkiaineen pitoisuus veressä

Sammuttajien keskimääräinen altistuminen hiilimonoksidille oli $16 \pm 6,0$ ppm ($n=15$, koehenkilöiden lukumäärä), joka on 80 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta 20 ppm (STM 2020). Tulos osoittaa sammuttajien merkittävää altistumista hiilimonoksidille. Vaihteluväli mitatuissa tuloksissa oli 6,4 - 28 ppm. Hiilimonoksidille on annettu myös viidentoista minuutin raja-arvo 75 ppm, jota ei saa ylittää tunnin aikana kuin kerran (STM, 2020). Kuvassa 39A on erään koehenkilön hiilimonoksidipitoisuuden vaihtelu neljän tunnin testijakson aikana. Kuvaaja osoittaa, että jo ensimmäisen tunnin aikana sammuttaja hengitysvyöhykkeellä pitoisuudet kävivät useita kymmeniä kertoja yli 75 ppm:n, osoittaen sammuttajan liiallista altistumista hiilimonoksidille.

Sammuttajan uloshengitysilmaasta heti altistumisen jälkeen mitattu keskimääräinen hiilimonoksidipitoisuus oli $15 \pm 4,4$ ppm ($n=16$), joka on 75 % hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (kuva 39B). Uloshengitysilmaasta mitatut pitoisuudet korreloivat hyvin hengitysvyöhykkeeltä mitatun keskimääräisen pitoisuuden kanssa ($r^2=0,5239$).

Verestä heti altistumisen jälkeen mitatut veren karboksihemoglobiinipitoisuudet olivat $0,025 \pm 0,007$ % ($n=16$). Mitattujen pitoisuuksien vaihteluväli oli 0,015 - 0,039 %. Kaikki mitatut pitoisuudet saavuttivat tai olivat yli altistumattoman väestön viiterajan 0,015 %, osoittaen altistumista tapahtuneen. Suurimmat pitoisuudet olivat lähellä toimenpiderajaa, jolloin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi. Keskimääräinen koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattu hiilimonoksidipitoisuus korreloi erittäin hyvin ($r^2=0,8469$) verestä mitattuun karboksihemoglobiinipitoisuuteen (kuva 39C).

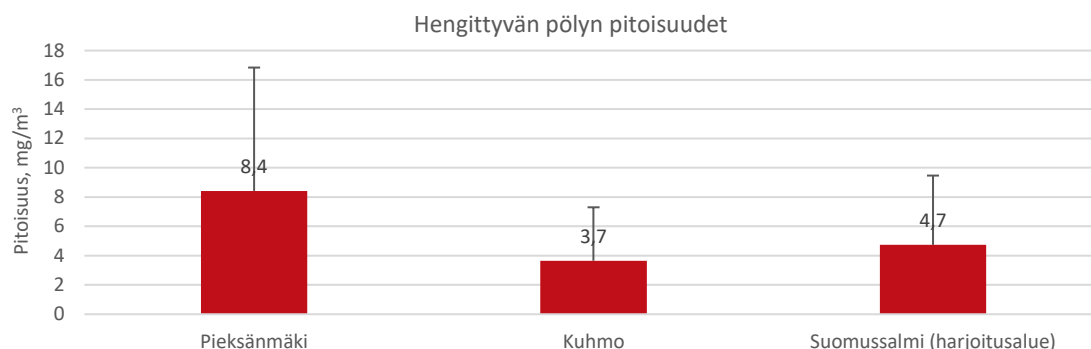
Myös uloshengitysilman hiilimonoksidipitoisuuden ja veren karboksihemoglobiinipitoisuuden välillä oli hyvä korrelaatio ($r^2=0,6029$), osoittaen että uloshengitysilman pitoisuus mitattuna heti altistumisen jälkeen kuvastaa hyvin sammuttajien saamaan keskimääräistä altistumista viimeisen neljän tunnin aikana (kuva 39D).



Kuva 39. Hiilimonoksidipitoisuuden vaihtelu sammuttajan hengitysvyöhykkeellä (A). Keskimääräisen hiilimonoksidipitoisuuden ja verestä uloshengitysilmaasta heti altistumisen jälkeen mitatun hiilimonoksidipitoisuuden korrelaatio (B). Keskimääräisen hiilimonoksidipitoisuuden ja verestä mitatun karboksihemoglobiinipitoisuuden korrelaatio (C). Uloshengitysilman hiilimonoksidipitoisuuden ja veren karboksihemoglobiinipitoisuuden korrelaatio (D).

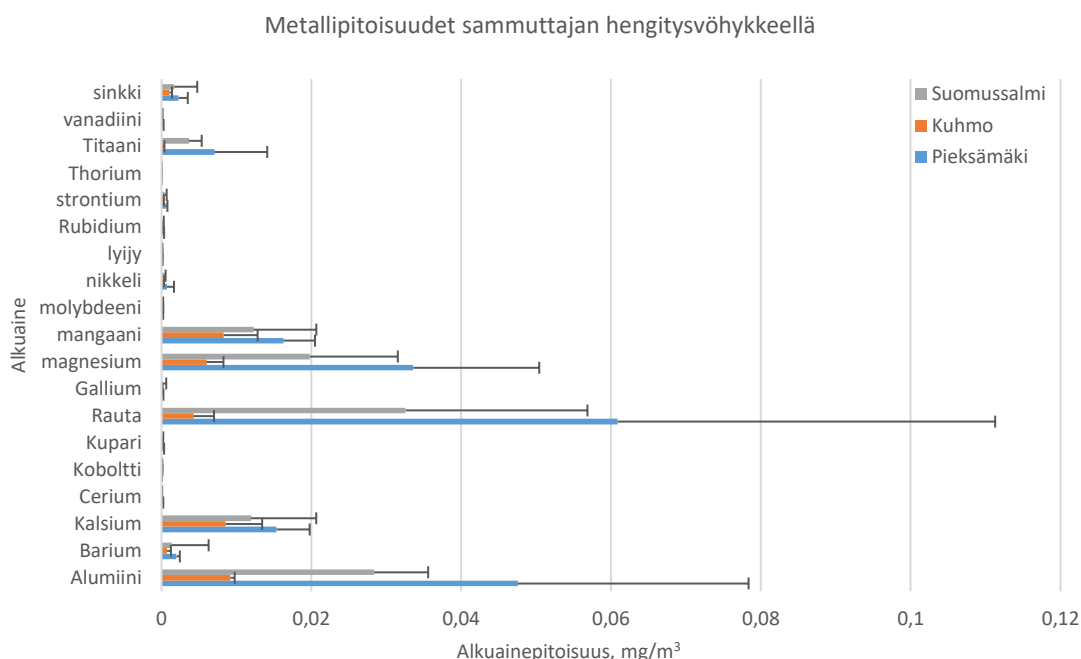
Hengittyvä pöly ja sen sisältämät alkuaineet ja radioaktiivisuus hengitysvyöhykkeellä

Kuvassa 40 on esitetty hengittyvän pölyn pitoisuudet eri testauspaikoilla. Tulokset ($n=10$) olivat keskimäärin yli hengittyvän pölyn haitalliseksi tunnetun pitoisuuden 5 mg/m^3 , osoittaen liiallista altistumista.



Kuva 40. Keskimääräiset hengittyvän pölyn pitoisuudet sammuttajan hengitysvyöhykkeellä (n=10) eri testeissä.

Pölystä mitattiin myös sen sisältämät alkuainepitoisuudet 36 eri alkuainetta. Kuvassa 41 on esitetty tärkeimmät (n=19) keskimääräiset alkuainepitoisuudet eri testeissä. Merkittävimmät olivat mangaanipitoisuudet, jotka olivat keskimäärin 10 % sen kahdeksan tunnin hengittyvän pölyn haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (STM, 2020).

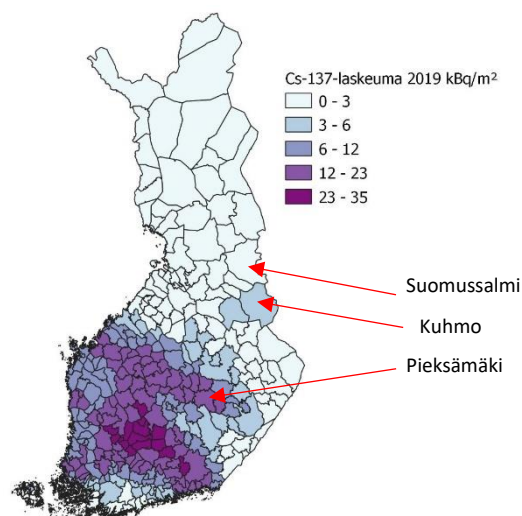


Kuva 41. Yhdeksäntoista tärkeintä keskimääräistä alkuainepitoisuutta sammuttajan hengitysvyöhykkeellä hengittyvässä pölyssä

Sammuttajan hengitysvyöhykkeeltä kerätyistä pölynäytteistä määritettiin myös Tšernobylin ydinreaktorionnettomuudesta peräisin olevan Cesium 137:n aiheuttama radioaktiivisuus. Suomi sai

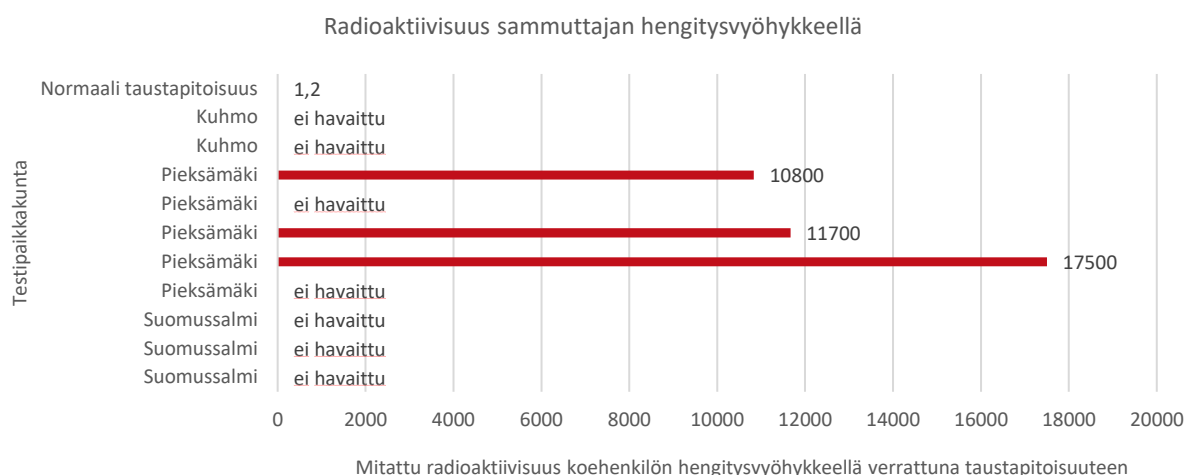


vaihtelevan laskeuman radioaktiivisuutta ja kuvassa 42 on esitetty testipaikkakuntien saamat laskeumat.



Kuva 42. Radioaktiivisen laskeuman jakautuminen Suomeen Tšernobylin onnettomuudessa

Kuvassa 43 on esitetty mitatut radioaktiivisuudet pölynäytteissä (n=10) eri testauspaikkakunnilla verrattuna taustapitoisuuteen Itä-Suomessa. Suurimmat mitatut pitoisuudet olivat 10800 - 17500 - kertaisia taustapitoisuuteen nähden ja ne mitattiin Pieksämäeltä. Muilla paikkakunnilla radioaktiivisuus oli alle havaintokynnyksen. Suurin mitattu pitoisuus oli 0,002 % säteilyonnettomuuksissa käytetystä radioaktiivisuuden alemmasta toimenpiderajasta eli pitoisuudet olivat terveysnäkökulmasta pieniä, mutta metsäpalo selvästi nosti normaalia radioaktiivisuuden taustapitoisuutta alueilla, jotka olivat saaneet enemmän laskeumaa.

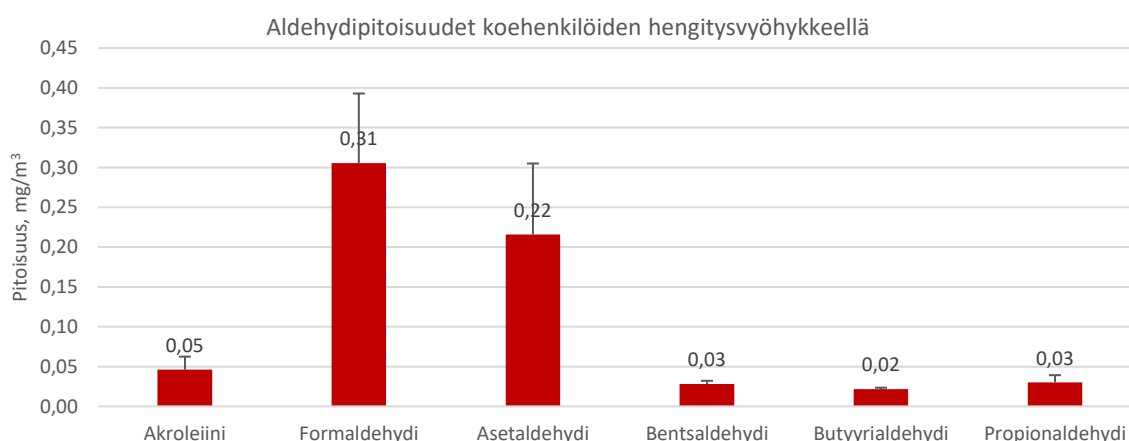


Kuva 43. Mitatut radioaktiivisuudet testipaikoilla sammuttajan hengitysvyöhykenäytteissä (n=10).



Aldehydit hengitysvyöhykkeellä

Altistumismittauksissa kulotusten yhteydessä seurattiin kuutta erilaista aldehydiä: akroleiinia, formaldehydiä, asetaldehydiä, bentsaldehydiä, butyyrialdehydiä ja propionaldehydiä. Akroleiinin keskimääräinen pitoisuus koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä oli $0,046 \pm 0,016 \text{ mg/m}^3$ ($n=16$), joka 92 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $0,05 \text{ mg/m}^3$ (STM 2020). Keskimääräiset formaldehydipitoisuudet olivat $0,31 \pm 0,09 \text{ mg/m}^3$, joka on 83 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $0,37 \text{ mg/m}^3$ (STM, 2020). Muiden mitattujen aldehydien pitoisuudet olivat pieniä. Yhteenlaskettu aldehydien haitalliseksi tunnettu yhteispitoisuus oli 1,8-kertainen verrattuna niiden haitalliseksi tunnettuun yhteispitoisuuteen. Kuvassa 44 on esitetty aldehydien keskimääräiset pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä.

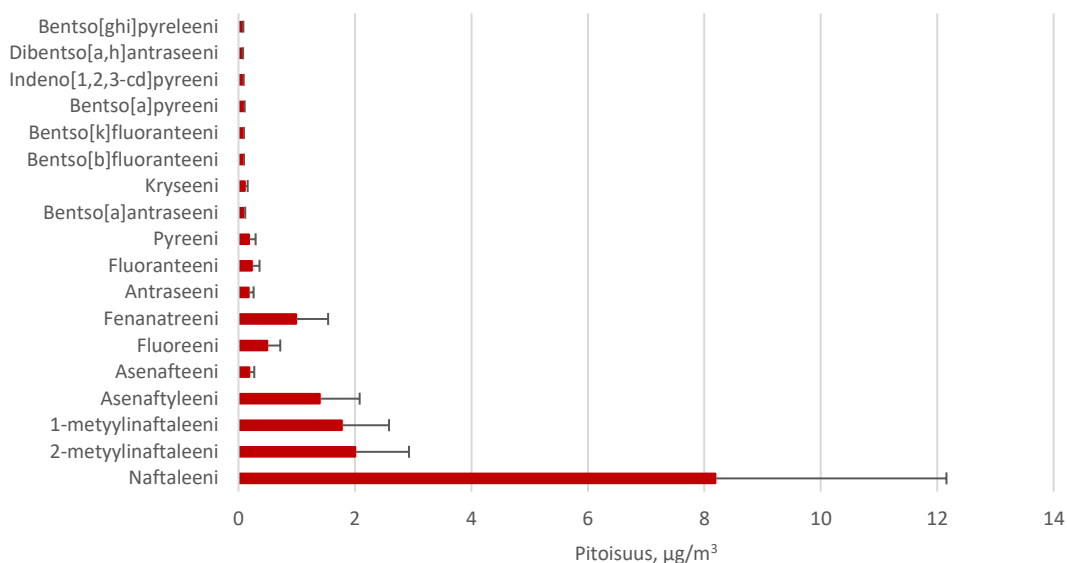


Kuva 44. Aldehydien keskimääräiset pitoisuudet sammuttajien hengitysvyöhykkeellä ($n=16$)

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt hengitysvyöhykkeellä

Kuvassa 45 on esitetty polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen keskimääräiset pitoisuudet sammuttajan hengitysvyöhykkeellä ($n=16$). Mitatusta PAH-yhdisteistä haitallisimman bentso[a]pyreenin keskimääräinen pitoisuus oli 0,8 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (STM, 2020). Yksinkertaisimpien ja haihtuvimpien PAH-yhdisteiden naftaleenin ja metyyli-naftaleenin keskimääräinen pitoisuus oli 0,2 % naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (STM, 2020).

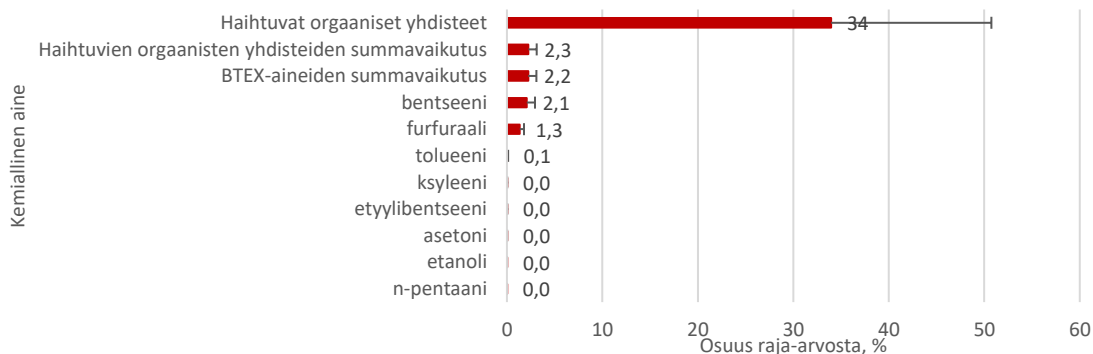
PAH-yhdisteiden pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä


Kuva 44. Keskimääräiset PAH-yhdisteiden pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet hengitysvyöhykkeellä

Kuvassa 45 on esitetty keskimääräiset haihtuvien orgaanisten aineiden yhdisteiden pitoisuudet sammuttajan hengitysvyöhykkeellä niiden haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli 34 % teollisuudelle annetusta TVOC-viitearvosta (TTL 2012). Yksittäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden yhteispitoisuus oli 2,3 % niiden haitalliseksi tunnetusta yhteispitoisuudesta. BTEX-aineiden (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleenit) pitoisuudet olivat 2,2 % niiden haitalliseksi tunnetusta yhteispitoisuudesta. Erittäin syöpävaarallisen bentseenin keskimääräinen pitoisuus sammuttajien hengitysvyöhykkeellä oli 2,1 % sen haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta 3,25 mg/m³ (STM 2020).

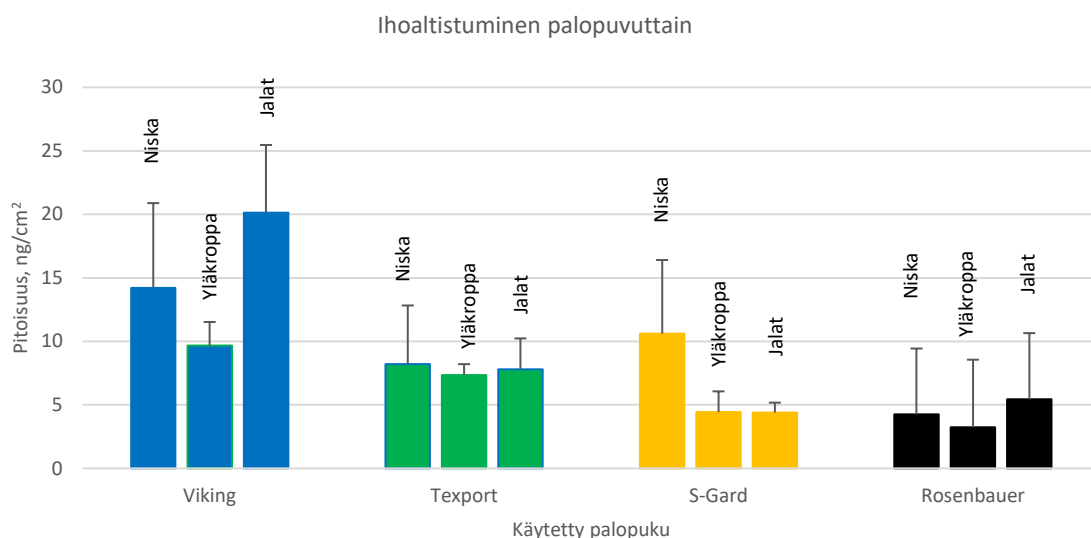
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet koehenkilön hengitysvyöhykkeellä


Kuva 45. Keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä



PAH-yhdisteet iholla

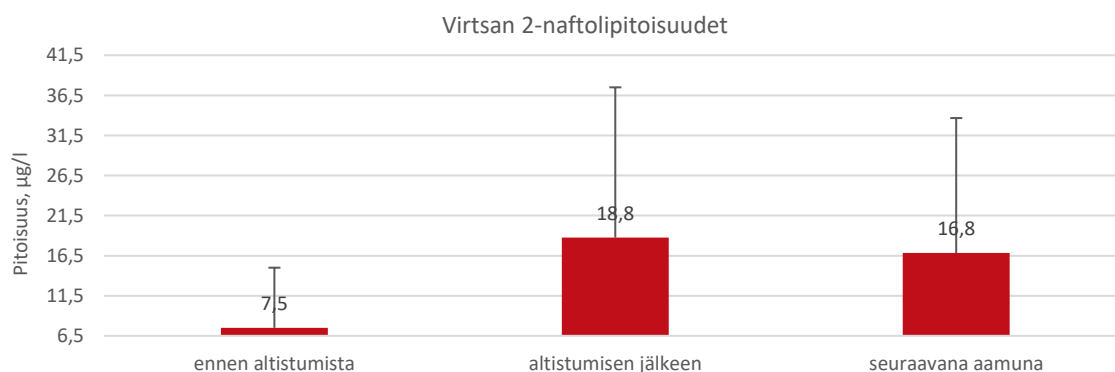
Kuvassa 46 on esitetty keskimääräinen ihoaltistuminen kehon eri osissa käytettäessä erilaisia palopukuja. Suurimmat keskimääräiset pitoisuudet mitattiin koehenkilöiden iholta, jotka käyttivät huoneistopaloihin suunniteltua palopukua ilman takkia ja palopuvun alla lyhyitä alusvaatteita.



Kuva 46. Koehenkilöiden keskimääräinen ihoaltistuminen käytettäessä erilaisia palopukuja

Naftaleenien, pyreenien ja bentseenin merkkiaineiden pitoisuudet virtsassa

Kuvassa 47 on esitetty sammuttajien (n=16) keskimääräiset 2-naftolipitoisuudet (kuvastaa altistumista naftaleeneille) ennen altistumista $7,5 \pm 1,7 \mu\text{g/l}$ (vaihteluväli 7 - 13 $\mu\text{g/l}$), heti altistumisen jälkeen $19 \pm 13 \mu\text{g/l}$ (9 - 59 $\mu\text{g/l}$) ja 6 tuntia sen päättymisestä $17 \pm 11 \mu\text{g/l}$ (7 - 44 $\mu\text{g/l}$). Ennen altistumista keskimääräiset pitoisuudet olivat altistumattoman väestön viitearvon tuntumassa 7 $\mu\text{g/l}$. Heti altistumisen jälkeen keskimääräinen 2-naftolipitoisuus oli 2,7- kertainen ja 6 tuntia altistumisen päättymisen jälkeen vielä 2,4 -kertainen altistumattoman väestön viitearvoon verrattuna, osoittaen altistumista tapahtuneen.



Kuva 47. Koehenkilöiden keskimääräinen 2-naftolipitoisuus ennen altistumista, heti sen jälkeen ja kuusi tuntia sen päättymisestä



Koehenkilöiltä mitattiin myös ennen altistumista ja heti sen jälkeen virtsan S-fenyylimerkaptuurihappopitoisuudet, jotka kuvastavat altistumista bentseenille. Sammuttajien keskimääräinen pitoisuus ei ylittänyt sen altistumattoman väestön viitearvoa, jolloin altistuminen bentseenille oli vähäistä sammutuksen aikana (TTL 2021). Myös pyreeneille altistumista kuvaava virtsan 2-pyrenolipitoisuus olivat keskimäärin alle altistumattoman väestön viitearvon, joka osoittaa sammuttajien vähäistä altistumista pyreeneille (TTL 2021).

9.4 Perinteisen ja parannetun suojauksen vertailu metsäpaloradalla

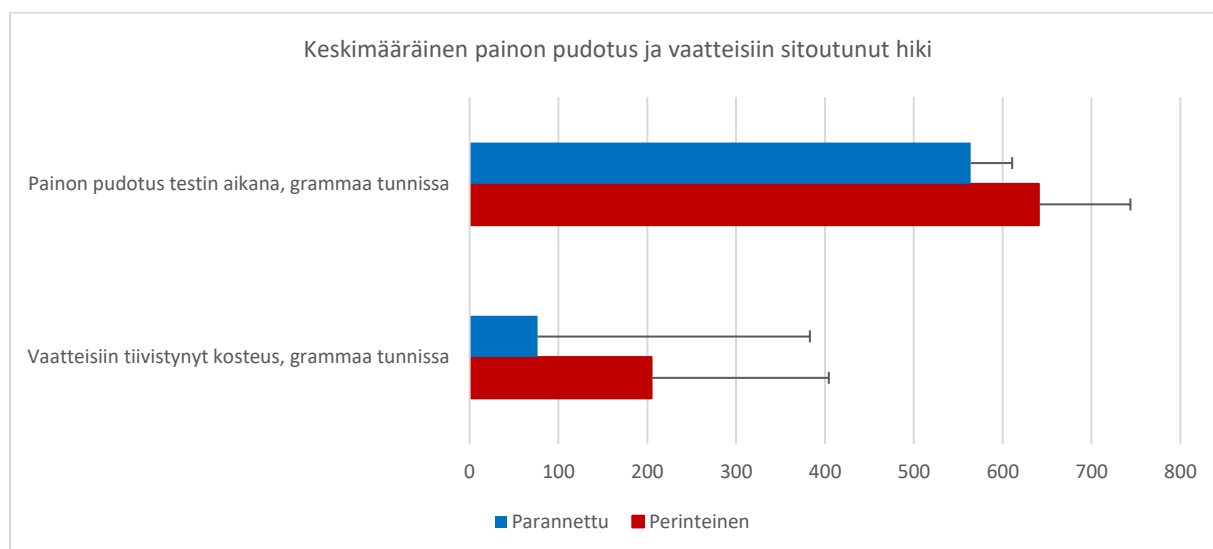
Taulukossa 7 on esitetty metsäpaloradalla pelastusopiston harjoitusalueella tehtyjen testien aikaiset olosuhteet. Testien ajankohta oli syyskuussa klo 18 - 22.

Taulukko 7. Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja tuuli.

pvm	lämpötila, °C	suhteellinen kosteus, %	tuuli m/s	mittauksen kesto, h
1.	14 - 6	65 - 100	<1,5	2
2.	15,5 - 5	80 - 100	<1,4	2

9.4.1 Lämpökuormittuminen

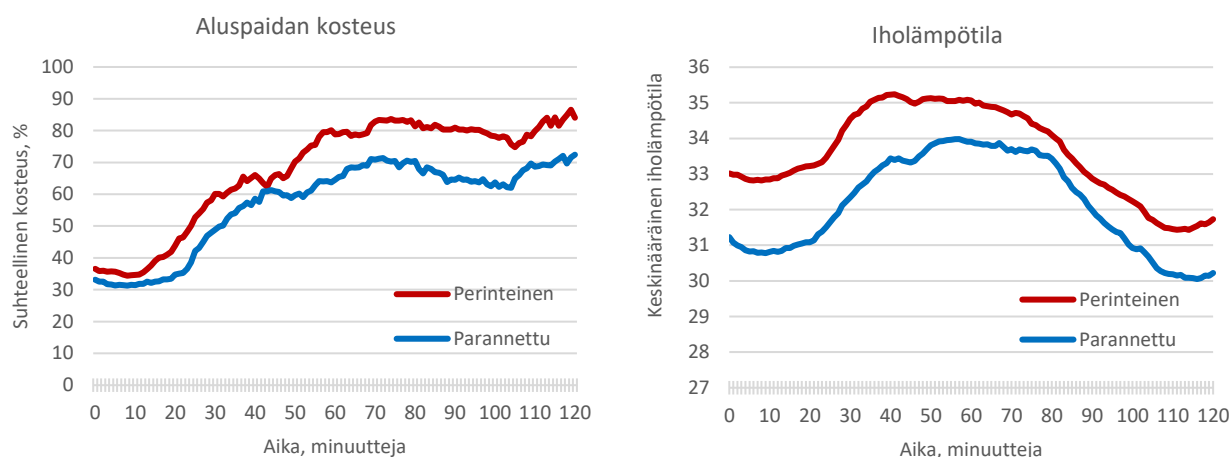
Painon alenema keskimäärin testin aikana oli 560 grammaa tunnissa käytettäessä parannettua suojausta ja 640 grammaa tunnissa käytettäessä perinteistä suojausta (kuva 48). Vaatetukseen tiivistyi eniten hikeä perinteistä suojausta käytettäessä 200 grammaa tunnissa, kun parannetulla suojauksella määrä oli alle 76 grammaa tunnissa. Juotu nestemäärä oli $0,419 \pm 0,125$ käytettäessä perinteistä ja $0,325 \pm 0,190$ litraa tunnissa käytettäessä parannettua suojausta. Testiradan kesto oli kaksi tuntia.



Kuva 48. Keskimääräinen painon pudotus ja hien tiivistyminen vaatteisiin käytettäessä perinteistä ja parannettua suojausta (n=8) kulotusradalla

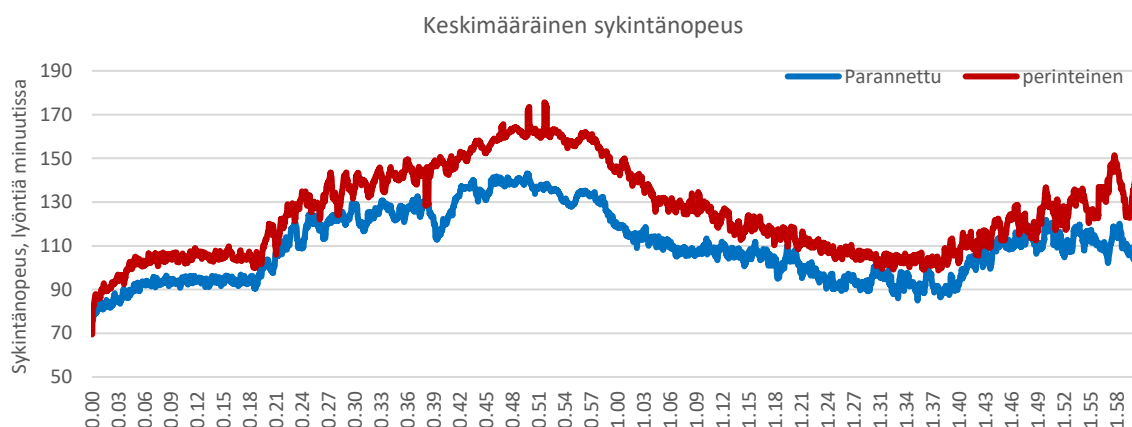


Iholämpötila oli ennen radan suoritusta noin kaksi astetta korkeampi perinteisessä suojauksessa kuin parannetussa suojauksessa (kuva 49). Jäähtymistä radan kevyemmissä tehtävissä tapahtui nopeammin perinteisessä suojauksessa, koska aluskerrasto puuttui. Lämpötilaero pysyi kuitenkin parannettuun suojaukseen verrattuna.



Kuva 49. Keskimääräinen suhteellisen kosteuden muutos aluspaidan ja takin välikerroksessa ja keskimääräisen iholämpötilan muutos ajan suhteen kulotusradalla.

Sydän ja verenkiertoelimistön kuormittumista osoittava keskimääräinen koehenkilöiden sydämen sykintänopeus testin eri vaiheiden aikana käytettäessä perinteistä ja parannettua suojausta on esitetty kuvassa 50. Perinteinen suojaus kuormitti keskimäärin enemmän koehenkilöä kuin parannettu suojaus.

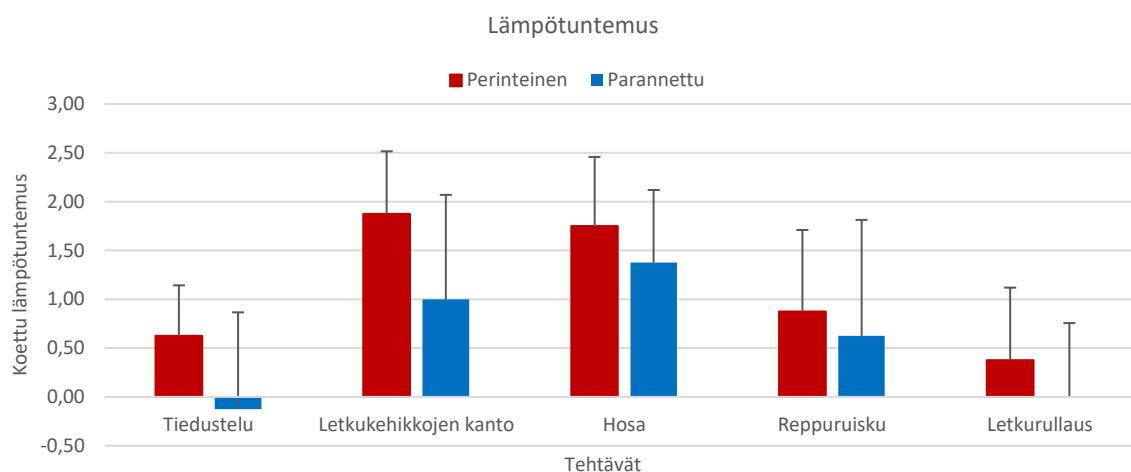


Kuva 50. Keskimääräinen koehenkilöiden sydämen sykintänopeus (n=8) testin eri vaiheissa parannetulla ja perinteisellä suojauksella

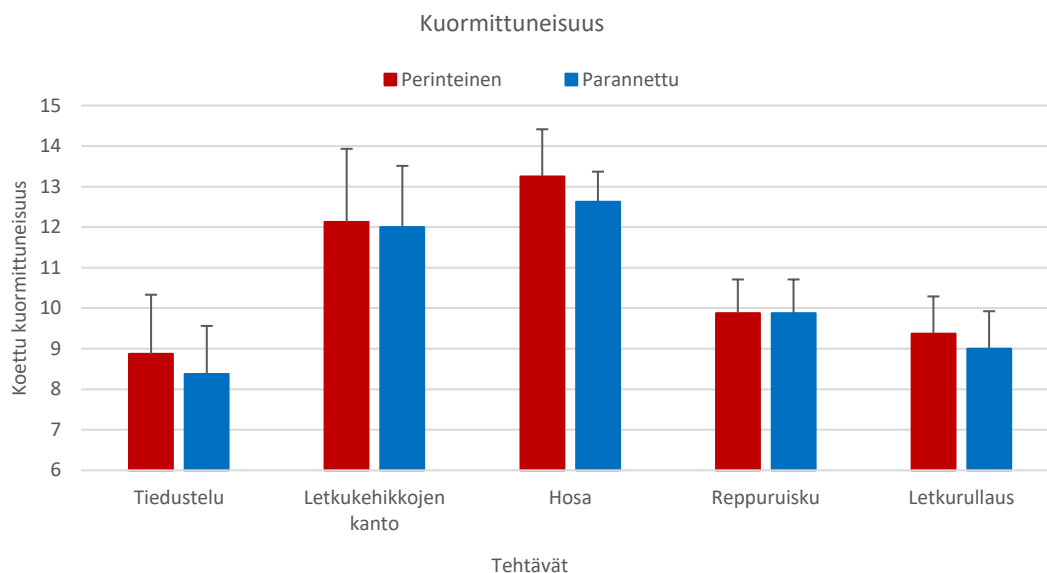


9.4.2 Lämpö-, kuormittuneisuus- ja käytettävyystuntemukset

Radalla oli viisi eri tehtävää, joiden kunkin jälkeen kysyttiin koehenkilöiden sillä hetkellä kokema lämpötuntemus ja fyysinen kuormittavuus (kuvat 51 ja 52). Lämpötuntemukset olivat korkeampia kaikissa tehtävissä käytettäessä perinteistä suojausta. Koetussa kuormittuneisuudessa sen sijaan ei ollut eroja suojausten välillä (kuva 52).



Kuva 51. Koehenkilöiden kokema keskimääräinen lämpötuntemus metsäpaloradan eri tehtävien jälkeen. (Tuntemus: 0 neutraali, -1 hieman viileä, 1 hieman lämmin ja 2 lämmin).

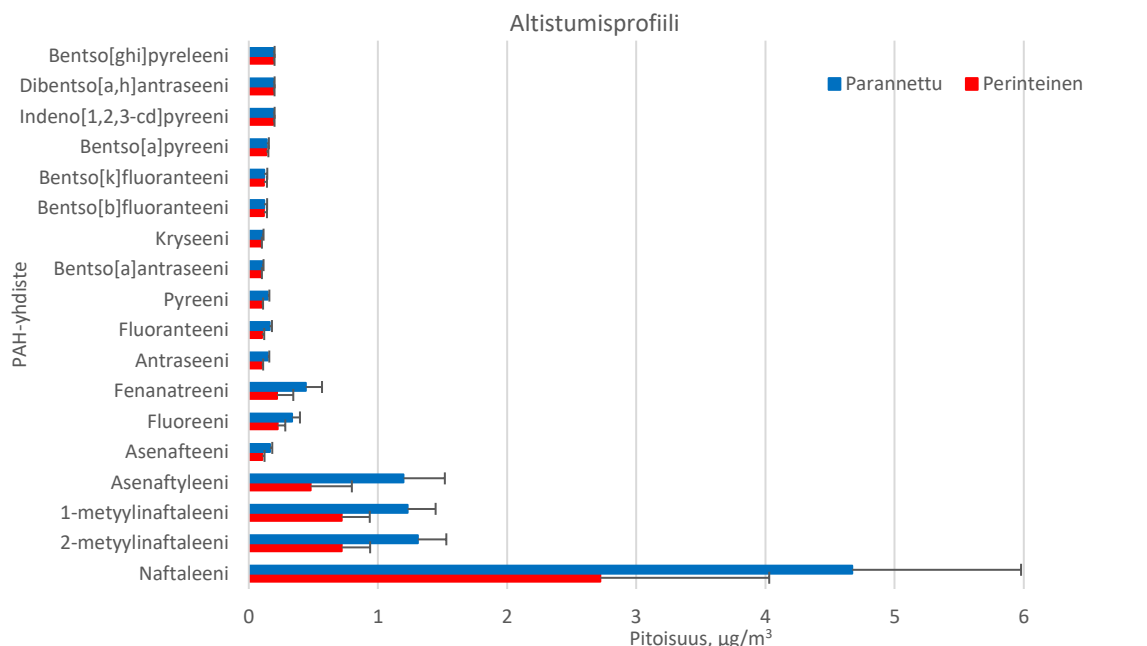


Kuva 52. testihenkilöiden koettu kuormittavuus metsäpaloradalla tehtävien eri vaiheissa. (6 = ei kuormittava, 9 = hyvin kevyt, 11 = kevyt, 13 = hieman rasittava)



9.4.3 Hengitystiealtistuminen

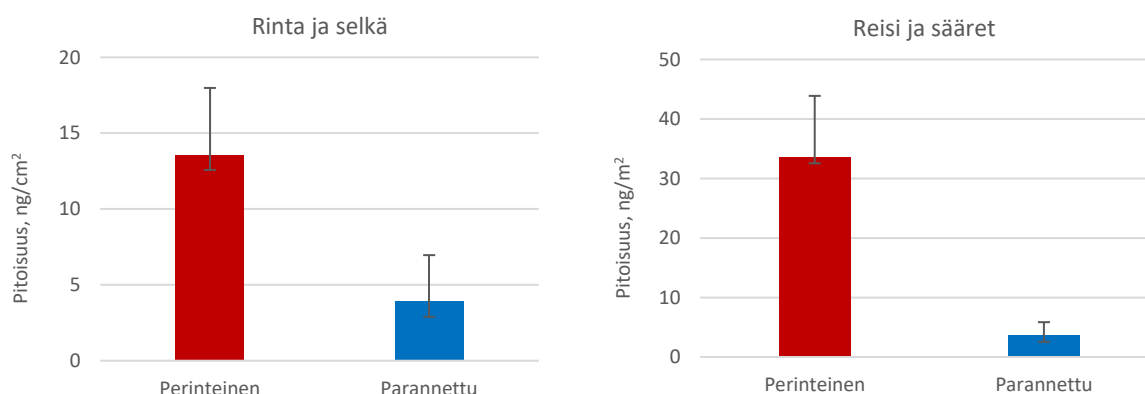
Kuvassa 53 on esitetty koehenkilöiden keskimääräinen hengitystiealtistuminen heidän käyttäessään perinteistä ja parannettua suojausta. Mitatusta PAH-yhdisteistä haitallisimman bentso[a]pyreenin keskimääräinen pitoisuus oli molemmissa ryhmissä 1,4 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (STM, 2020). Yksinkertaisimpien ja haihtuvimpien PAH-yhdisteiden naftaleenin ja metyyli-naftaleenin keskimääräinen pitoisuus oli molemmissa ryhmissä 0,1 % naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (STM, 2020).



Kuva 53. Koehenkilöiden keskimääräinen hengitystiealtistuminen PAH-yhdisteille käyttäessään parannettua ja perinteistä suojausta.

9.4.4 Ihoaltistuminen

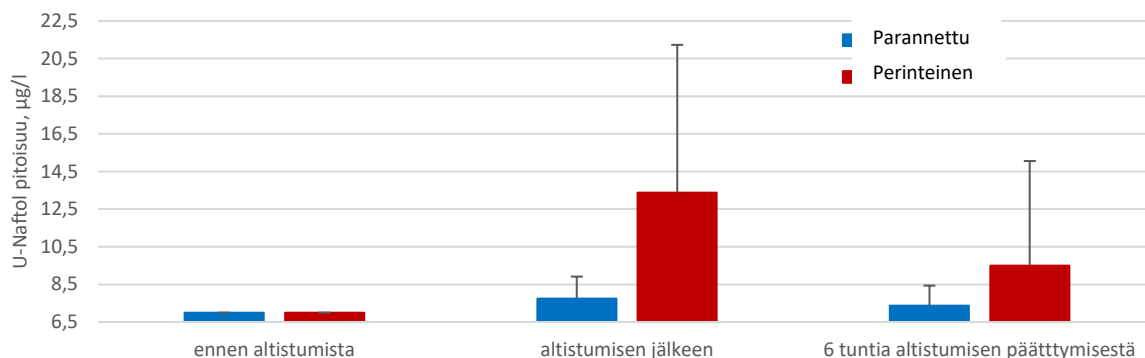
Kuvassa 54 on esitetty koehenkilöiden keskimääräinen ihoaltistuminen käytettäessä perinteistä ja parannettua suojausta. Parannettu suojaus vähensi alavartalon altistumista 90 % ja ylävartalon 71 %.



Kuva 54. Sammuttajien ihoaltistuminen parannetulla ja perinteisellä suojauksella

9.4.5 Kokonaisaltistuminen

Kuvassa 55 on esitetty koehenkilöiden kokonaisaltistuminen naftaleenille, mitattuna virtsan 2-naftolipitoisuutena. Yhdistelmäsuodatinta käyttäneen sammuttajan 2-naftolipitoisuudet heti altistumisen jälkeen ja 6 tuntia altistumisen jälkeen olivat 1,1 -kertaisia altistumattoman väestön raja-arvoon verrattuna. Ilman hengityksensuojainta toimineiden sammuttajien keskimääräiset vastaavat pitoisuudet olivat 1,9 heti altistumisen jälkeen ja 1,4-kertaisia kuusi tuntia altistumisen päättymisen jälkeen. Yhdistelmäsuodatin vähensi hengitystiealtistumista merkittäväällä tavalla.

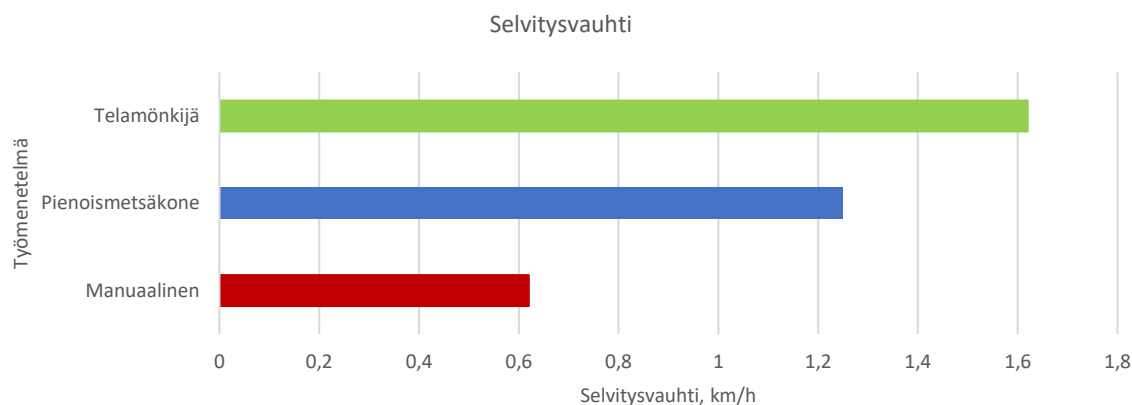


Kuva 55. Koehenkilöiden keskimääräinen virtsan 2-naftolipitoisuus ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen ja 6 tuntia altistumisen päättymisestä. Altistumattoman väestön viitearvo on 7 µg litrassa.

9.5 Suorituskykyymittaukset letkunselvitys

9.5.1 Nopeus, lämpökuormitus ja rasittavuus

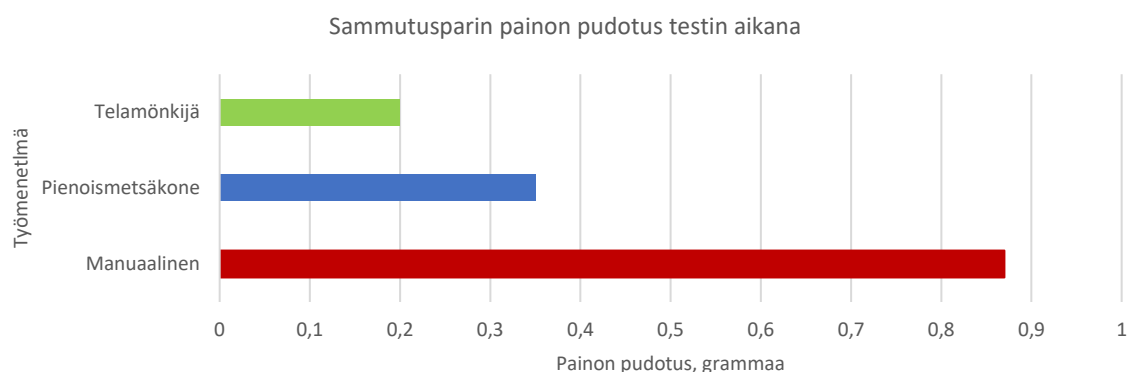
Kuvassa 56 on esitetty letkunselvitysvauhti telamönkijällä, pienoismetsäkoneella ja perinteisesti miesvoimin eli manuaalisesti. Selvitysnopeus oli selvästi nopein 1,6 kilometriä tunnissa käytettäessä telamönkijää, seuraavaksi nopein käytettäessä pienoismetsäkonetta 1,3 kilometriä tunnissa ja hitain manuaalisesti 0,62 kilometriä tunnissa.



Kuva 56. Letkujen selvitysvauhti eri tekniikoilla

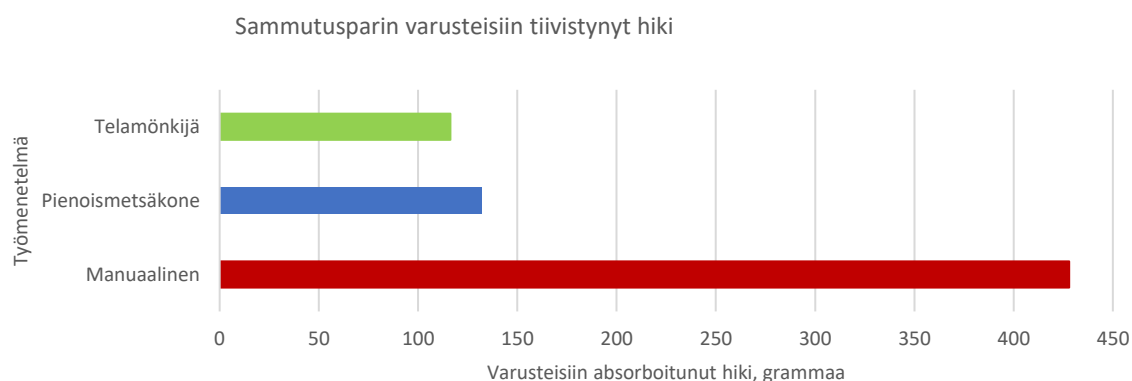


Kuvassa 57 on esitetty koehenkilöiden painon pudotus testin aikana. Sammutusparin keskimääräinen paino putosi eniten manuaalisen selvityksen aikana 870 grammaa. Pienoismetsäkoneella painonpudotus oli 350 grammaa ja telamönkijällä 200 grammaa.



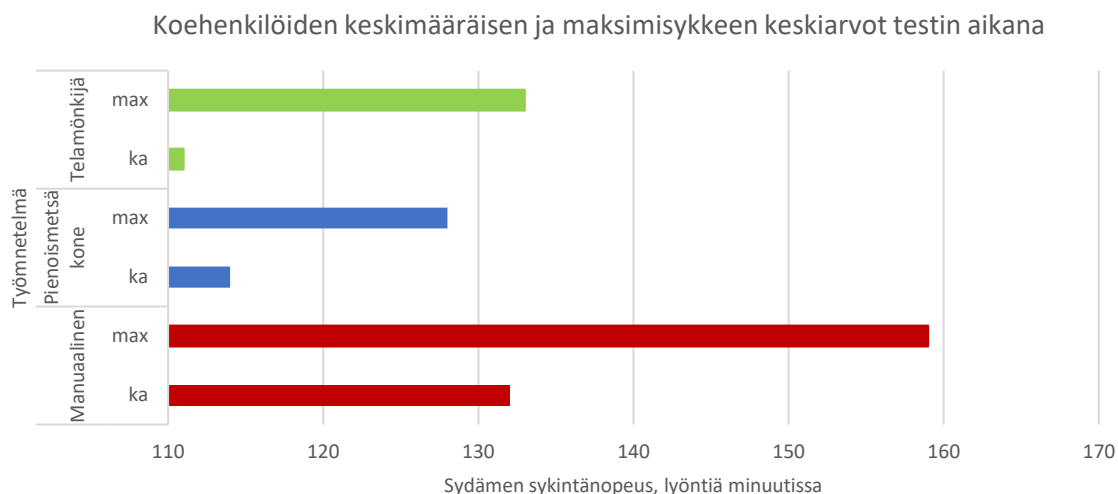
Kuva 57. Koehenkilöiden painoputoaminen testin aikana.

Kuvassa 58 on esitetty sammutusparin varusteisiin tiivistynyt hiki testin aikana. Sammutusparin vaatteisiin tiivistyi keskimääräinen eniten hikeä manuaalisen selvityksen aikana 430 grammaa, pienoismetsäkoneella 130 grammaa ja telamönkijällä 120 grammaa.



Kuva 58. Sammutusparin varusteisiin tiivistynyt hiki

Kuvassa 59 on esitetty sammutusparin keskimääräiset ja maksimisykkeet eri selvitysten aikana. Manuaalinen letkuselvitys kuormitti koehenkilöiden sydäntä ja verenkiertoelimistöä selvästi eniten, mutta muut tekniikat kuormittivat koehenkilöitä selvästi vähemmän.



Kuva 59. Koehenkilöiden maksimi- ja keskimääräisten sykkeiden keskiarvot testin aikana

9.5.2 Letkun halkaisija ja sammuttajan näkyvyys ilmasta

Työjohdoista 25 mm letku oli keveämpi käsitellä työjohtona kuin 42 mm vastaava työjohto. Pienempi läpimittainen letku vaati erillisen letkujen kantotelineen, koska sen laskostus oli hankalaa 42 mm letkuille tarkoitettuun kehikkoon ja lisäksi se ei purkautunut siitä helposti. Veden virtaus 25 mm letkulla oli 7 baarin paineella 180 litraa minuutissa ja 42 mm letkulla 300 litraa minuutissa 8 baarin paineella.

Käyttämällä vaaleita asusteita tummien pukujen sijaan, näkymistä maastossa on mahdollista parantaa. Myös valkean kypärän merkitys huomattiin testauksessa, joka tehtiin kuvaamalla nelikopterilla 50 metrin korkeudesta sammuttajien näkyvyyttä tehtäessä ilmasammutusta. Kahdessa ensimmäisessä kuvassa testihenkilöillä on vaatetuksen lisäksi valkea kevytkypärä, mutta viimeisessä kuvassa kypärä on jätetty pois (kuva 60). Pimeällä ja hämärällä sammutushenkilöstön tulisi käyttää myös heijastimia ja valoja (SPEK 2021).

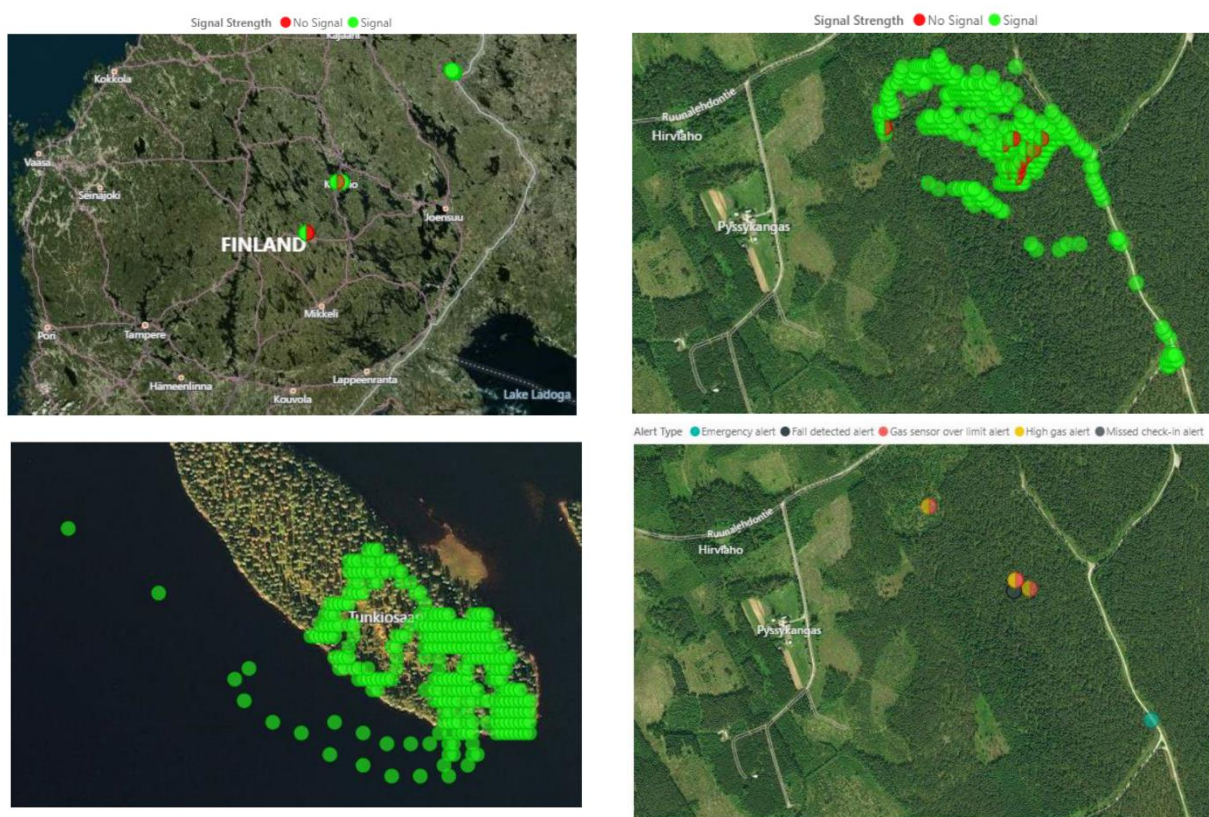


Kuva 60. Kaksi ensimmäistä kuvaa sammuttajalla on kypärä päässä ja kolmannessa ilman



9.6 Tilannekuva

G7C (Blackline Safety) reaaliaikainen sammuttajan paikannus-, altistumis-, hälytys- ja viestijärjestelmä osoitti Pieksämäen ja Kuhmon kulutusmittauksissa toimivuutensa. Matkapuhelinverkon signaalin kattavuus laitteistolla oli lähes 99 %, vaikka toinen testauspaikka sijaitsi aivan Venäjän rajan tuntumassa Kuhmossa (kuva 61). Kulotustestin aikana kokeiltiin laitteen kyvykkyyttä lähettää tilannetta johtavalle automaattisia hälytyksiä tai hätäkutsua. Testattuja hälytyksiä olivat; hätäkutsu (sammuttaja itse kutsuu tilannetta johtavaa, vihreä), kaatuminen (kiihtyvyyssanturin toiminta, musta), pitoisuus yli raja-arvon (mittalaitteen toiminta, punainen) ja hyvin korkea pitoisuus (mittalaitteen toiminta, keltainen). Kuvassa 61 on esitetty yhteenveto Pieksämäen testin aikana niistä sijainneista, joista hälytykset tulivat.

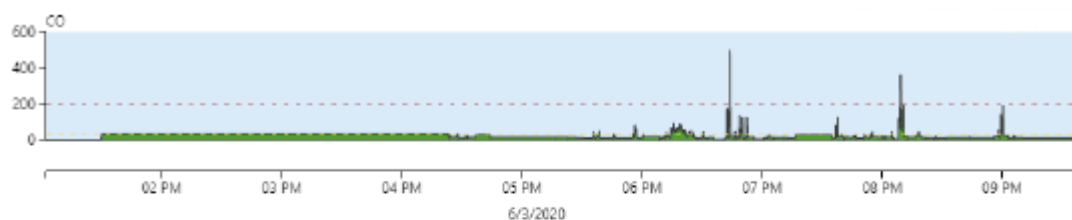


Kuva 61. Testialueet ja signaalin voimakkuus eri alueilla, ylhäällä oikealla Pieksämäki ja alhaalla vasemmalla Kuhmo. Oikealla alhaalla on eri hälytysten rekisteröity sijainnit.

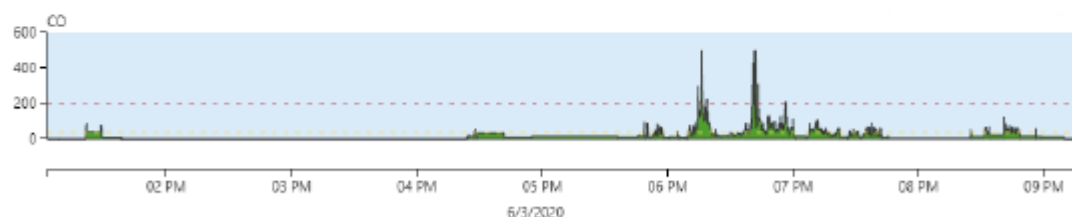
Laitteisto tallensi myös tiedot eri altistumisista ja missä sijainnissa suurin altistuminen oli rekisteröity. Alla olevassa kuvassa 62 on neljän eri altistumismittauksen tulokset. Tulokset olivat hyvin linjassa hankkeessa tehtyjen muiden hiilimonoksidimittausten kanssa ja osoittivat hyvin korkeita hiilimonoksidipitoisuuksia, joista laitteisto varoitti itse sammuttajaa, mutta myös tilannetta johtavaa henkilöä. Laitteisto tarjosi myös hyvän työkalun itse sammuttajalle oman hiilimonoksidialtistumisen arviointiin ja toi turvaa tilanteessa, jos hän sattui kaatumaan tai satuttamaan itsensä. Noissa tilanteissa sammuttaja on helposti metsästä löydettävissä. Laite toi myös turvaa tilannetta johtavalle, kun hän oli tietoinen missä sammuttajat liikkuvat ja, että he olivat helposti tavoitettavissa, jos tuuli yllättäen



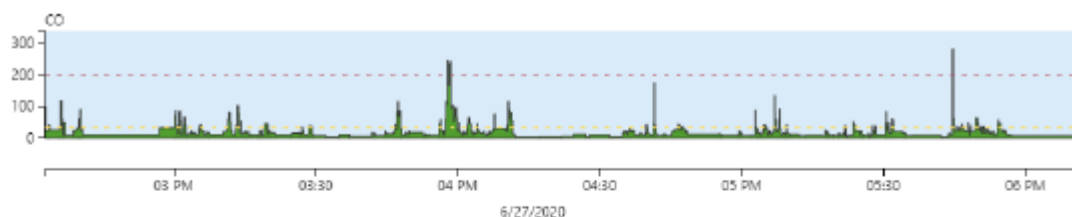
kääntäisikin. Laite antoi myös mahdollisuuksia altistumisen arviointiin eri tilanteissa, koska altistumis- ja paikannustiedot ovat yhdistettävissä.



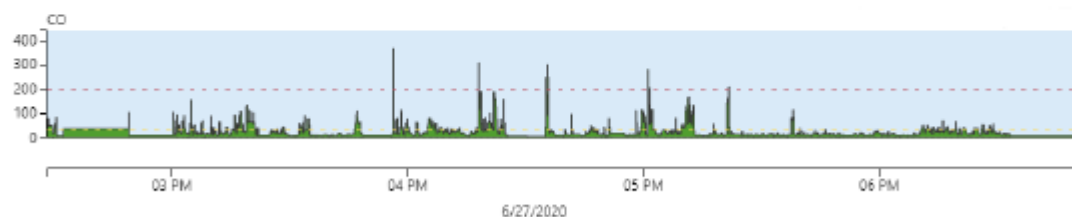
Gas Sensor Readings for Test 1 on 3 June 2020 – Device 1 – 3569000649



Gas Sensor Readings for Test 1 on 3 June 2020 – Device 2 – 3569004455



Gas Sensor Readings for Test 2 on 27 June 2020 – Device 1 – 3569000649



Gas Sensor Readings for Test 2 on 27 June 2020 – Device 2 – 3569004455

Kuva 62. Hiilimonoksidialtistumisten rekisteröinnit neljässä eri testissä.

Airbus Defence and Space Oy

Pelastusopiston tekemä selvitys tunnistetuista vaatimuksista metsäpalojen tilannekuvan parantamiseksi tuottivat seuraavia parametreja: sammuttajan sijaintitieto, sammuttajan kuormittuneisuus, sammuttajan työympäristön häikäpitoisuus, Man down, eli kaatuminen tai pitkä passiivisuus. Näistä vaatimuksista kaikilla on olennainen osa työturvallisuuden seurannassa, toki sijaintitieto on olennainen tieto myös sammutuskyvykkyyden järjestelyssä. Vaativammaksi



ratkaistavaksi ongelmaksi osoittautui häikäpitoisuuden mittaaminen siten, että pitoisuus saadaan kaikilta sammuttajilta koostettua reaaliaikaisesti. Häikäpitoisuus on erityisen olennainen parametri, kun käytetään hankkeessa hyväksi havaittuja puhallinavusteisia hengityksen suojaimia, koska hyvällä suodatintekniikalla päästään tilanteeseen, jossa häikä on ainoa suodattimen läpi pääsevä haitta-aine. Tällöin sammuttaja saattaa työskennellä hyvinkin savuisessa ja samalla häikäpitoisessa ympäristössä ilman, että savu pakottaa siirtymään raittiimpaan ilmaan.

Häikämittauksessa mitattiin sekä yksittäisiä huippuarvoja, että laskennallista kumulatiivista pitoisuutta. Mittaus suoritettiin iot (internet of things) ratkaisulla, jossa käyttäjä kantoi mukanaan sensoria ja sensorin mitaamat arvot välitettiin mukana olleen älypuhelimien sovelluksen kautta taustajärjestelmään (Kuva 63).



Kuva 63. Tilannekuvajärjestelmään iot-tekniikan avulla liitetty häikäsensori sammutusasuihin kiinnitettynä A, Sammuttajan sykkettä ja häikäpitoisuuksia mittaavat laitteet sekä taustajärjestelmään yhteydessä oleva älypuhelin B, Tilanteen seuranta johtoautossa C. (kuvat Jouni Kemppainen)

Sammuttajakohtainen tieto kerättiin taustajärjestelmään, josta se saatiin analysoinnin kautta tilannepaikan johtajan käyttöön. Järjestelmä voisi tulla käyttöön vaikkapa tilannekeskuksessa. Järjestelmän aktiivinen seuranta tilannepaikalla (Kuva 63) on haasteellista muun johtamisen ohella, mutta sen luomat hälytykset voivat auttaa tilanteen seurannassa. Järjestelmästä tulee hälytys, jos häikäaltistus nousee liian korkeaksi, -sammuttaja kaatuu ja sammuttaja on liian pitkään täysin paikallaan. Tilannekuvaa täydennettiin helikopterikuvalla (Kuva C), jonka avulla saadaan hyvä



yleiskuva paloalueesta ja toisaalta voidaan tarkistaa valittuja kohteita. Nelikopterikuva välittyi saman järjestelmän kautta, joten sitä voitiin tarkastella myös esimerkiksi tilannekeskuksessa.

Kommunikaatio järjestelmässä hoidettiin Erillisverkot Oy:n 5G verkossa, joka on kaupallisen 5G verkon päälle rakennettu verkkototeutus. Verkko on varattu viranomaistoimintaan ja viranomaisliikenteellä on muuta liikennettä korkeampi prioriteetti, jolloin muu liikenne ei juurikaan rajoita verkon käyttäjien kapasiteettia.

9.7 Rajoituslinjan tekeminen

Bonsoguard Prefirex

Kemiallisen rajoitusaineen testauksissa ensimmäisen kulotuksen alkaessa oli kulunut kuusi tuntia aineen levittämisestä. Kulotus aloitettiin läheltä käsiteltyä aluetta, mutta myöhemmässä vaiheessa palo eteni myös voimakkaampana kohti reunoja. Palon eteneminen käsitellylle alueelle oli helposti havaittavissa (kuva 64).

Toisessa testikohteessa pääpaino oli noin metrin levyinen käsitelty alue kulotusalueen ja laikutetun alueen välissä. Aine oli levitty kaksi päivää aikaisemmin, joten aineessa olevan veden oletettiin haihtuneen kokonaan pois. Kosteutta ei mitattu, vaan havainnot tehtiin ainoastaan visuaalisesti ja tunnustelemalla käsiteltyä aluetta. Käsitelty alue oli kahdella sivulla kulotusaluetta. Molemmissa havaittiin palon etenemisen pysähtyminen käsitellyn alueen reunaan. Huomioitavaa on kuitenkin tuulen voimakkuus, joka saattaa viedä palavia heitteitä rajoituslinjan yli. Testin aikana vallinneissa tuuliolosuhteissa jopa metrin levyinen käsitelty kaistale riitti pysäyttämään palon etenemisen, sivutuulen ollessa kyseessä. Täysin myötätuulella heitteitä meni sekä käsitellyn alueen, että tien yli.

Kolmannessa testissä ennaltaehkäisyaine oli ennättänyt kuivua n. viisi vuorokautta. Testialueelle oli kerätty hakkuujätettä, joten palokuormaa oli runsaasti. Tässä osiossa oli käsitelty yksi metsäautotiehen rajoittuva reuna, sekä yksi suuri hakkuujätekasa. Matalassa varvikossa aine toimi aikaisempien testien kaltaisesti pysäyttäen maastopalon etenemisen. Käsitellyssä hakkuujätekasassa palo eteni hitaammin muihin kasoihin verrattuna, mutta palokuormaa oli kuitenkin niin paljon, että kasa paloi lopulta kokonaan.



Kuva 64. Rajoitusaineen tehokkuus eri kulotuksissa, alueiden kulotusjärjestys merkitty kuvaan



Kuva 65. Hieman punertavana näkyvä kaistale ennaltaehkäisyainetta kulotusalueella 1 (A). Noin metrin levyinen käsitelty kaistale kulotusalueella 2 (Aine muuttui kuivueessaan vaaleaksi) (B). Rajoituslinjana tie sekä käsitelty alue sekä linjan yli lentäneen heitteen aiheuttama palo kulotusalueella 3. (C) Ennaltaehkäisyaineella käsitelty hakkuujätekas kulotusalueella 3 (D).

Koneella levitettäessä ainetta levisi noin puolentoistametrin leveydelle. Tämä oli pääsääntöisesti riittävä leveys, mutta puuskaisen tuulen johdosta palavia heitteitä lensi käsitellyn alueen yli (65C).

Jokaisessa testikohteessa maasto/metsäpalon annettiin levitä käsitellylle alueelle, jolloin voitiin todeta aineen toimivuus palon etenemisen pysähtyessä. Tulen saavuttaessa käsitellyn alueen, eteneminen loppui ja palo hiipui. Voimakkaassa metsäpalossa palon edetessä latvapaloksi oli havaittavissa, että käsitellyt puiden alaosat olivat säästyneet. Suotuisan tuulensuunnan vallitessa jopa metrin levyinen kaistale käsiteltyä aluetta riitti rajoittamaan maastopaloa ja estämään palon leviäminen. Käsitellyn alueen ja maastopalon raja on nähtävissä selkeästi jälkikäteen (kuva 65). Kaikissa testeissä voitiin havaita aineen toimivuus- ja tehokkuus maastopalojen rajoittamisessa (kuva 65).

Vastaavanlaisia testauksia on tehty myös puolustusvoimissa, jossa testit käynnistettiin syksyllä 2018 Karjalan prikaatin sotilaspalokunnan sekä XPyro Oy:n kahdenvälisenä toimintana. Alkuvuonna 2020 Pääesikunnan operatiivinen osasto päätti laajentaa testauksia puolustusvoimissa laajempien kokemusten saamiseksi. Testaukset päätettiin toteuttaa kahdessa vaiheessa siten, että vuonna 2020 tehtäisiin alustavia testejä sekä vuonna 2021 laajempaa testausta sekä muita selvityksiä. Vuoden 2020 testaukset toteutettiin Karjalan prikaatissa sekä Porin prikaatissa. Vuonna 2021 testauksia on toteutettu Kainuun prikaatin toimesta Rovajärvellä sekä Karjalan prikaatin toimesta Pahkajärvellä sotilaallisten harjoitusten yhteydessä. Tutkimuskysymyksinä työssä ovat olleet seuraavat



kokonaisuudet: aineen teho eri maastotyypeissä, aineen levittäminen, aineen maastokuljetus, kuinka aineesta saataisiin hyötyä maastoharjoituksissa sekä käyttökulut. Lisäksi tavoitteena on ollut analysoida aineesta saatavat hyödyt sekä haitat verrattuna normaaleihin sammutusmenetelmiin Puolustusvoimien toimintaympäristössä erityisesti ampuma-alueilla (Kainuun Prikaati 2021).

Puolustusvoimien omissa testauksissa on saatu saman tyyppiset tulokset Prefirex aineen palonehkäisytehosta, kuin Pelastusopistollakin (Kainuun Prikaati 2021). Aineen käyttöön liittyy kaksi eri toteutusmallia. Ainetta voidaan levittää riskialttiisiin paikkoihin tai niiden ympäristöön etukäteen, jolloin palon syttyminen estyy tai sen leviäminen syttymiskohdasta laajemmalle voidaan estää. Tässä toimintamallissa on kyse paikallisesta suojaamisesta, jossa levitettävä ainemäärä saadaan pidettyä kohtuullisena sekä toiminta voidaan suunnitella etukäteen ja toteuttaa kiireettä. Toisaalta Prefirex-aineella voidaan tehdä laajemmalle levinneen palon rajoittamiseen ja sammuttamiseen tarkoitettuja rajoituslinjoja. Rajoituslinjojen tekeminen on tällöin yksi osa palon sammuttamisen kokonaisuutta. Todellisissa maastopalotilanteissa Prefirex-aineen käyttö vaatii ennakkointia palon leviämiseen liittyen. Tarvittavia sammutustaktiikoiden menetelmiä ei ole kirjattuna mihinkään toiminnallisiin ohjeisiin. Jonkinlaiset peruseriaatteet tulisi olla kirjattuna, jotta aineen käytöstä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty. Prefirex -aineen ominaisuuksiin on havaittu liittyvän sakkaantumista sekä kiteytymistä säilytyksen aikana. Kyseiset ominaisuudet vaikeuttavat aineen pumppaamista sekä levittämistä. Lisäksi käytettävät välineet on huuhdeltava välittömästi käytön jälkeen tukkeutumisen estämiseksi. Prefirex-aine toimitetaan valmiina sekoituksena. Maastopalotilanteessa aineiden logistiikan suunnittelusta sekä järjestämisestä tulee käytännössä oma toimintonsa, joka sitoo henkilö- ja kalustoresursseja. Aineiden kuljettaminen tiivisteinä olisi maastopalotilanteessa kustannustehokkaampaa sekä logistisesti helpompaa. On erittäin hankala määrittää panos-tuotos suhde sille, kannattaako Prefirex ainetta levittää ennakoon riskialttiille paikalle. Aineen levittäminen ennakoon voisi tulla kyseeseen erittäin kuivana aikana, jolloin maastopalon syttymisen riski on kohonnut. Toisaalta erittäin kuivana aikana joudutaan joka tapauksessa analysoimaan riski siitä, voidaanko ylipäättään tehdä toimintaa, josta on maastopalon syttymisen riski. Alueiden kastelulla vedellä tai erilaisilla kemikaaleilla ei voida missään tapauksessa ohittaa pelastuslain 379/2010 6§:n kieltoa avotulen tekemisestä ruohikkopalo- tai metsäpalovaroituksen aikana. Mönkijällä sekä telakuorma-autolla voidaan yksinkertaisilla kalustojärjestelyillä toteuttaa pienten alueiden ennaltaehkäisevää käsittelyä em. aineilla. Helpossa maastossa on Prefirex-aineella mahdollista saada rajoituslinjaa nopeasti aikaiseksi. Paikkoja ja toimintoja, joissa maastopalon leviämisen riskiä voitaisiin Prefirex-aineella pienentää, voisivat olla esimerkiksi ampumarjoitusten ohjusasemaalien alueet erityisesti taustat, raketinheittimen tuliasemat, tulenkuvauksenttien alueet/ympäristöt sekä sellaisten yksittäisten maalilaitteiden taustat, joihin ammutaan valokuovapatruunoilla. Prefirex aineella voisi periaatteessa tehdä myös taistelijaparin poteron ympäristöön suojaavan vyöhykkeen (Kainuun Prikaati 2021).

Reikäletku, reikäliitin ja sadetin

Reikäliittimen ja reikäletkun toimivuus korkeassa heinikossa saattaa olla haasteellista. Reikäletku kuitenkin suojaa itseään, jos palo tulee linjan läheisyyteen. Reikäliittimissä sen sijaan sitä suojaa ei ole. Sadettimen toimivuus on parempi korkeassa heinikossa ja sillä saadaan leveämpi rajoituslinja.



10 Tulosten tarkastelu

10.1 Sammuttajan lämpökuormittuminen

Laboratorio

Laboratoriossa tehdyt lämpökuormittavuustestit eri palopuvuilla käytettäessä pitkiä alusvaatteita todistivat selkeästi, että rakennuspaloihin suunniteltu palopuku ei sovellu metsäpalojen sammutukseen sen liiallisen lämpökuormittavuuden vuoksi. Palopuvun paino oli 75 % korkeampi keveimpään metsäpalopukuun verrattuna, koehenkilöiden paino putosi testin aikana lähes 40 % enemmän ja hikeä kertyi varusteisiin 1,8-kertainen määrä keveimpään metsäpalopukuun verrattuna. Suuremmasta hikoilusta johtuen myös vaatekerrosten välissä keskimääräinen suhteellinen kosteus oli suurempi. Myös koehenkilöiden iholämpötila oli 1,5 °C korkeampi ja syvälämpötila 0,25 °C korkeampi sekä sydämen sykintänopeus osoitti kaikilla koehenkilöillä suurinta rasitusta heidän käyttäessään rakennuspaloihin suunniteltua palopukua. Koehenkilöiden lämpö- ja kuormittuneisuustuntemukset osoittivat huoneistopaloihin suunnitellun puvun myös selkeästi huonoimmaksi. Myös käyttömukavuustulokset olivat erityisen huonot.

Kulotusmittaukset

Kulotusten yhteydessä testattiin koehenkilöiden lämpökuormitusta heidän käyttäessään rakennuspaloihin suunnitellun palopuvun housuja ilman palotakkia ja alusvaatteinaan heillä oli lyhyet alushousut ja t-paita. Tätä asukokonaisuutta verrattiin metsäpalopukuihin, joissa alusvaatteina käytettiin pitkiä teknisiä alusvaatteita. Kevennetty rakennuspaloihin suunniteltu asukokonaisuus painoi 22 % vähemmän kuin kevein metsäpalopuku. Valitettavasti kulotusten yhteydessä testiolosuhteiden hallinta oli lähes mahdotonta, joten vertailujen luotettava tekeminen oli vaikeaa. Sen sijaan saimme testeistä keskimääräistä tietoa koehenkilöiden lämpökuormituksesta metsäpaloissa. Kevennetyn rakennuspaloihin suunnitellun sammutusasun aiheuttama painon pudotus ja hien tiivistyminen vaatteisiin putosi samalle tasolle metsäpalopukujen kanssa. Ihon lämpötila ja sydämen sykintänopeusmittauksissa näimme testiolosuhteiden vaihtelua testien välillä ja vertailua ei pystytty näiden osalta tekemään. Lämpötuntemuksissa rakennuspaloihin suunniteltu puku ilman palotakkia koettiin parhaimmaksi, mutta rasittavuudeltaan se oli kuitenkin huonoimpien metsäpalopukujen tasolla. Käytettävyydessä huoneistopaloihin suunniteltu palopuku koettiin parhaimmaksi, mutta se ei suojannut ylävartaloa kuumuutta vastaan.

Perinteisen ja parannetun suojauksen vertailu

Vertailutestissä testasimme perinteistä ja parannettua tapaa suojautua. Perinteinen tapa käsitti huoneistopaloihin suunnitellun palopuvun kokonaisuudessaan ja lyhyet alusasut. Parannetussa suojauksessa käytettiin metsäpalopukua ja pitkiä teknisiä alusvaatteita. Testit tehtiin metsäpaloradalla ja altistumistilanne ja tekeminen metsäpaloradalla olivat hyvin kontrolloitu. Koehenkilöiden paino putosi testin aikana perinteisellä suojauksella keskimäärin 13 % enemmän ja hikeä kertyi varusteisiin 1,7-kertainen määrä parannettuun suojaukseen verrattuna. Suuremmasta



hikoilusta johtuen myös vaatekerrosten välissä suhteellinen kosteus oli 15 % ja koehenkilöiden iholämpötila 2,0 °C korkeampia. Mitattu sydämen sykintänopeus osoitti koehenkilöillä keskimäärin suurempaa räsitystä sydän ja verenkiertoelimistölle heidän käyttäessään perinteistä kuin parannettua suojausta. Koehenkilöiden lämpötuntemukset osoittivat perinteisen suojautumisen huonommaksi kuin parannetun suojauksen, mutta rasittavuustuntemuksissa eri suojausten välillä ei ollut eroja. Työtehtävistä sydämen sykintänopeus, lämpö- ja rasittavuustuntemukset osoittivat, että letkukehikkojen kanto ja sammuttaminen hosalla olivat testatuista metsäpalotyövaiheista rankimmat.

10.2 Sammuttajan altistuminen

Hiilimonoksidi

Kulotusmittauksissa koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin keskimääräinen hiilimonoksidipitoisuus 16 ppm, joka on 80 % hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (STM 2020), osoittaen koehenkilöiden merkittävää altistumista. Tulosten (n=15) keskihajonta oli 6,0 ppm ja vaihteluväli 6,4 - 28 ppm. Suurimmat pitoisuudet ylittivät hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden, osoittaen koehenkilöiden liiallista altistumista. Tällöin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi.

Koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin myös hiilimonoksidipitoisuuksien vaihtelua suoraan osoittavalla menetelmällä neljän tunnin kulotusmittausten aikana. Hiilimonoksidille on annettu viidentoista minuutin raja-arvo 75 ppm, jota ei saa ylittää kuin kerran tunnin aikana (STM, 2020). Mitatut tulokset osoittivat, että pitoisuus ylittyi useita kymmeniä kertoja tunnin sisällä, osoittaen koehenkilöiden liiallista altistumista myös hetkellisille suurille pitoisuuksille. Tällöin työnantajan on myös välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi.

Koehenkilöiden altistumista hiilimonoksidille mitattiin myös heidän uloshengitysilmaasta heti altistumisen jälkeen kulotusmittauksissa, nähdäksemme voimmeko heti altistumisen jälkeen arvioida uloshengitysilmanäytteen avulla sammuttajan keskimääräistä altistumista metsäpalon sammutuksen aikana. Mittaukset tehtiin hiilimonoksidivapaassa ympäristössä väriiden positiivisten tulosten välttämiseksi. Heti altistumisen jälkeen mitattu keskimääräinen hiilimonoksidipitoisuus oli 15 ppm, joka on 75 % hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (STM, 2020), osoittaen merkittävää altistumista. Tulosten (n=16) keskihajonta oli 4,4 ppm ja vaihteluväli 5,0 ppm-22 ppm, suurimmat altistumiset osoittivat liiallista altistumista. Tällöin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi. Uloshengitysilmaasta heti altistumisen päätyttyä mitatut pitoisuudet korreloivat hyvin hengitysvyöhykkeeltä testijakson aikana mitatun keskimääräisen pitoisuuden kanssa ($r^2=0,5239$). Näin ollen heti altistumisen jälkeen mitattuja uloshengitysilman pitoisuuksia voidaan käyttää sammuttajien nopeaan altistumisen arviointiin.

Altistumistulokset varmistettiin vielä koehenkilöiden verinäytteistä, jotka otettiin heti altistumisen jälkeen. Näytteistä analysoitiin veren karboksihemoglobiinipitoisuudet. Koehenkilöiltä mitattu keskimääräinen pitoisuus oli 0,025 % ja tulosten (n =16) keskihajonta oli 0,007 %. Tulosten vaihteluväli oli 0,015 %:sta 0,039 %:iin. Kaikki mitatut pitoisuudet saavuttivat tai olivat yli altistumattoman väestön viiterajan 0,015 %, osoittaen altistumista hiilimonoksidille tapahtuneen. Suurimmat pitoisuudet olivat lähellä toimenpiderajaa 0,040 %, jolloin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin



altistumisen vähentämiseksi. Keskimääräinen koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä testiajanjakson aikana mitattu hiilimonoksidipitoisuus korreloi erittäin hyvin ($r^2=0,8469$) verestä heti altistumisen jälkeen mitattuun karboksihemoglobiinipitoisuuteen. Myös uloshengitysilman hiilimonoksidipitoisuuden ja veren karboksihemoglobiinipitoisuuden välillä oli hyvä korrelaatio ($r^2=0,6029$), todistaen uloshengitysilman pitoisuusmittauksen toimivuutta sammuttajien altistumisenarvioinnissa. Lisäksi se todisti, että mittaus heti altistumisen jälkeen kuvastaa hyvin sammuttajien saamaan keskimääräistä altistumista viimeisen neljän tunnin aikana.

Aldehydit

Kulotusmittauksissa syöpävaarallisen ja hyvin ärsyttävän formaldehydin keskimääräiset pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä olivat $0,31 \text{ mg/m}^3$, joka on 83 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta, $0,37 \text{ mg/m}^3$, osoittaen merkittävää altistumista (STM, 2020). Tulosten ($n=16$) keskihajonta oli $0,09 \text{ mg/m}^3$ ja tulokset vaihtelivat $0,17 \text{ mg/m}^3$ ja $0,50 \text{ mg/m}^3$ välillä. Suurimmat mitatut tulokset olivat yli sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden, jolloin työnantajan on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi.

Mahdollisesti syöpävaarallisen akroleiinin keskimääräinen pitoisuus koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä kulotusmittauksissa oli $0,046 \text{ mg/m}^3$, joka on 92 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $0,050 \text{ mg/m}^3$, osoittaen merkittävää altistumista (STM, 2020). Tulosten ($n=16$) keskihajonta oli $0,016 \text{ mg/m}^3$ ja tulokset vaihtelivat $0,025 \text{ mg/m}^3$ ja $0,066 \text{ mg/m}^3$ välillä. Suurimmat mitatut tulokset olivat yli sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden, osoittaen liiallista altistumista, jolloin työnantajan on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi.

Koehenkilöt altistuivat keskimäärin formaldehydille ja akroleiinille merkittävästi kulotusmittauksissa. Muille mitatuille aset-, bents-, butyyri- ja propionaldehydeille altistuminen oli vähäistä. Yhteenlaskettu aldehydien haitalliseksi tunnettu yhteispitoisuus oli 1,8-kertainen verrattuna niiden haitalliseksi tunnettuun yhteispitoisuuteen verrattuna, osoittaen liiallista altistumista aldehydeille. Tällöin työnantajan on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi.

Hengittyvä pöly

Suurimmat hengittyvän pölyn pitoisuudet mitattiin Pieksämäen kulotusmittauksissa, joissa tulosten ($n=5$) keskiarvo oli $8,4 \text{ mg/m}^3$, joka on 1,7 kertainen orgaanisen hengittyvän pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen, 5 mg/m^3 , verrattuna. Tulosten keskihajonta oli $7,2 \text{ mg/m}^3$ ja vaihteluväli $5,5 \text{ mg/m}^3$ - 15 mg/m^3 , joten suurimmat pitoisuudet olivat kolminkertaisia kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna, osoittaen liiallista altistumista. Tällöin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työtekijöidensä altistumisen vähentämiseksi.

Kuhmon kulotustesteissä mitattujen pitoisuuksien ($n=2$) keskiarvo oli $3,7 \text{ mg/m}^3$, joka on 74 % orgaanisen hengittyvän pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna, osoittaen merkittävää altistumista. Tulosten keskihajonta oli $0,5 \text{ mg/m}^3$ ja vaihteluväli $3,3 \text{ mg/m}^3$ - 4 mg/m^3 . Suurin mitattu pitoisuus oli 80 % hengittyvän orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta, osoittaen merkittävää altistumista.



Suomussalmelta tuodulla siirtovarvikolla tehdyissä testeissä Pelastusopiston metsäpaloharjoitusradalla mitattujen pitoisuuksien ($n=3$) keskiarvo oli $4,7 \text{ mg/m}^3$, joka on 94 % hengittyvän orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna, osoittaen merkittävää altistumista. Tulosten keskihajonta oli $1,7 \text{ mg/m}^3$ ja vaihteluväli oli $3,2 \text{ mg/m}^3$ - $6,6 \text{ mg/m}^3$. Suurin mitattu pitoisuus oli 1,3-kertainen hengittyvän orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna, osoittaen liiallista altistumista. Tällöin työnantajan on välittömästi tehtävä toimenpiteitä työntekijän altistumisen vähentämiseksi.

Hengittyvästä pölystä analysoitiin myös eri alkuaineiden pitoisuuksia ja niitä verrattiin niiden haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin. Suurin mangaanipitoisuus oli 11 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta hengittyvän pölyn pitoisuudesta, osoittaen kohtalaista altistumista. Mitattu suurin rautapitoisuus oli 3 %, sinkkipitoisuus 0,9 %, kobolttipitoisuus 0,6 %, kromipitoisuus (II, III-arvoiset) 0,3 % ja lyijypitoisuus 0,2 % niiden kahdeksan tunnin haitallisiksi tunnetuista hengittyvän pölyn pitoisuuksista (STM, 2020), osoittaen vähäistä altistumista.

Hengittyvän pölyn näytteiden radioaktiivisuudet analysoitiin ja tavoitteenamme oli selvittää löydämmekö Tsernobylin ydinvoimalaonnettomuuden aikaisen laskeuman radioaktiivisuutta sammuttajien hengitysvyöhykkeeltä ja nostaako kulotus laskeuman saaneiden alueiden taustan radioaktiivisuutta. Tutkitut näytteet osoittivat, että suurimman laskeuman saaneella Pieksämäen kulotusalueella mitatut radioaktiivisuudet olivat suurimmillaan 18000-kertaisia paikalliseen normaaliin taustapitoisuuteen nähden. Radioaktiivisuudet olivat säteilyonnettomuuksissa käytetystä alemmasta toimenpiderajasta 0,002 %, joten ne eivät aiheuttaneet vaaraa sammuttajille tai alueen väestölle. Muilta testausalueilta, jotka olivat saaneet merkittävästi vähemmän laskeumaa ei radioaktiivisuutta pölynäytteissä havaittu.

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet)

Kulotusmittauksissa PAH-yhdisteistä haitallisimman bentso[a]pyreenin keskimääräinen pitoisuus koehenkilöiden ($n=16$) hengitysvyöhykkeellä oli 0,8 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (STM 2020), osoittaen vähäistä altistumista. Yksinkertaisimpien ja haihtuvimpien PAH-yhdisteiden naftaleenin ja metyylnaftaleenien keskimääräinen pitoisuus oli 0,2 % naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (STM 2020), osoittaen myös vähäistä altistumista.

PAH-yhdisteet iholla osoittivat kevennetyn huoneistopaloihin suunnitellun asukokonaisuuden (huoneistopaloihin suunniteltu metsäpalopuku, lyhyet alushousut ja t-paita) heikkouden ihon suojauksen kannalta. Parhaimmassa metsäpalopuvussa PAH-pitoisuudet olivat keskimäärin niskassa 70 %, selässä 67 % ja jaloissa 78 % pienemmät kuin kevennetyssä huoneistopaloihin suunnitellussa palopuvussa. Suurimmat PAH-pitoisuudet mitattiin metsäpalopuvuissa sammuttajan niskasta.

Koehenkilöiden ($n=16$) virtsassa naftaleenille altistumista kuvaavan 2-naftolin keskimääräiset pitoisuudet ennen altistumista olivat $7,5 \text{ } \mu\text{g/l}$, altistumattoman väestön viiteraja on $7 \text{ } \mu\text{g}$ litrassa. Tulosten keskihajonta oli $1,7 \text{ } \mu\text{g/litrassa}$ ja vaihteluväli $7 \text{ } \mu\text{g/l}$ - $13 \text{ } \mu\text{g/l}$. Heti altistumisen jälkeen keskimääräinen pitoisuus oli $19 \text{ } \mu\text{g/litrassa}$. Tulosten keskihajonta oli $13 \text{ } \mu\text{g/litrassa}$ ja tulosten vaihteluväli oli $9 \text{ } \mu\text{g/l}$ - $59 \text{ } \mu\text{g/l}$. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 2,7-kertaisia ja suurimmat pitoisuudet olivat 8,4 -kertaisia altistumattoman väestön raja-arvoihin verrattuna ja lisäksi ne olivat



lähes kaksinkertaisia tupakoitsijoilta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Kuusi tuntia altistumisen päättymisestä keskimääräiset pitoisuudet olivat 17 µg/litrassa. Tulosten keskihajonta oli 11 µg/litrassa ja vaihteluväli 7 µg/l - 44 µg/l. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 2,4-kertaisia ja suurimmat 6,3 - kertaisia altistumattoman väestön raja-arvoihin verrattuna ja lisäksi ne olivat 1,5-kertaisia tupakoitsijoilta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna.

Kaikki mitatut 1-hydroksipyreenipitoisuudet koehenkilöiltä olivat alle altistumattoman väestön viitearvon, osoittaen koehenkilöiden vähäistä altistumista pyreeneille. Tämä tulos tukee ilmasta mitattuja pyreenipitoisuuksia.

Perinteisen ja parannetun suojauksen vertailussa PAH-yhdisteistä haitallisimman bentso[a]pyreenin keskimääräinen pitoisuus oli molemmissa ryhmissä 1,4 % sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta 10 µg/m³ (STM 2020), osoittaen vähäistä altistumista. Yksinkertaisimpien ja haihtuvimpien PAH-yhdisteiden naftaleenin ja metyylnaftaleenien keskimääräinen pitoisuus oli molemmissa ryhmissä 0,1 % naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta 5000 µg/m³ (STM 2020), osoittaen vähäistä altistumista. Koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattujen eri PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin samanlaisia kulotusmittauksissa ja kulotusradalla eri suojaustasoilla.

Koehenkilöiden ihoaltistuminen PAH-yhdisteille käytettäessä parannettua suojausta oli keskimäärin alavartalossa 90 % ja ylävartalossa 71 % pienempi verrattuna perinteiseen tapaan toimia. Alavartalosta mitatut pitoisuudet olivat suurempia Pelastusopiston metsäpaloradalla kuin kulotustestauksissa. Metsäpaloradalla suurimmat pitoisuudet mitattiin alavartalosta käytettäessä perinteistä suojausta, kuten kulotusmittauksissakin ilman palotakkia. Näin ollen perinteinen suojaautuminen altisti enemmän kaikkia kehon kohtia, kuin metsäpalopukuasukokonaisuus, mutta altistuminen painottui alavartaloon. Metsäpalopuvussa sen sijaan keskimäärin suurimmat pitoisuudet mitattiin niskasta, kuten kulotusmittauksissakin.

Koehenkilöiden, jotka käyttivät yhdistelmäsuodattimella varustettua puhallinavusteista hengityksensuojainta, 2-naftolipitoisuudet olivat heti ja kuusi tuntia altistumisen jälkeen 1,1-kertaisia altistumattoman väestön viitearvoon verrattuna. Ilman hengityksensuojainta toimineiden sammuttajien keskimääräiset vastaavat pitoisuudet olivat 1,9- ja 1,4-kertaisia. Näin ollen hengityksensuojain vähensi koehenkilön hengitystiealtistumista PAH-yhdisteille.

Kaikki mitatut 1-hydroksipyreenipitoisuudet koehenkilöiltä olivat alle altistumattoman väestön viitearvon, osoittaen koehenkilöiden vähäistä altistumista pyreeneille. Tämä tulos tukee koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattuja pyreenipitoisuuksia.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Kulotusmittauksissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus oli keskimäärin 34 % teollisuudelle annetusta hyvän teollisuusilman TVOC-viitearvosta (TTL, 2012). Tämä arvo ei ole täysin vertailukelpoinen käytettyyn mittaamenetelmään, mutta se antaa suunnan mitattujen kokonaispitoisuuksien tasosta. Yksittäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden yhteispitoisuus oli 2,3 % niiden haitalliseksi tunnetusta yhteispitoisuudesta. Yhteispitoisuus on laskettu suhteuttamalla mitattu pitoisuus kunkin aineen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen ja laskemalla osuudet yhteen. Osuuksien yhteispitoisuus ei saa ylittää 100 %.



Aromaattisten BTEX-aineiden (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleenit) pitoisuudet olivat 2,2 % niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta yhteispitoisuudesta. Syöpävaarallisen bentseenin keskimääräinen pitoisuus sammuttajien hengitysvyöhykkeellä oli 2,1 % sen haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta 3,25 mg/m³ (STM, 2020). Koehenkilöiltä mitattiin heti altistumisen jälkeen virtsan S-fenyylimerkaptuurihappopitoisuudet, jotka kuvastavat kokonaisaltistumista bentseenille. Altistumista bentseenille vähensivät koehenkilöillä käytössä olleet hengityksensuojaimet, jotka poistivat bentseenin sisäänhengitysilmaasta. Näin ollen myöskään virtsassa ei nähty merkkejä altistumista bentseenille, kaikki mitatut pitoisuudet olivat alle altistumattoman väestön viitearvon eli kokonaisaltistuminen bentseenille oli ollut vähäistä.

10.3 Keinot sammuttajan lämpökuormittumisen ja altistumisen vähentämiseen

Sammuttajan lämpökuormittumisen hallinnassa tärkeässä roolissa ovat palopuvut, joiden tulee suojata tulta ja altistavia kemikaaleja vastaan. Samalla niiden tulee kuitenkin hengittää, jotta sammuttajan iho- ja syvälämpötilat eivät nousisi liian korkeiksi ja sammuttajien hikoilu pysyisi kohtuullisissa rajoissa. Puvun tulisi myös suojata ihoa palossa syntyvältä noelta. Metsäpaloihin on suunniteltu entisen standardin EN 15614 ja päivitetyn ISO 15384:2021 mukaisia metsäpalopukuja, jotka lämpökuormittavat selvästi vähemmän kuin rakennuspaloihin suunnitellut palopuvut (EN 469). Jotta sammuttajien ihoaltistumista saataisiin entisestään vähennettyä, pitkähihaisen ja -lahkeisen teknisen alusasun käyttämisestä metsäpalopuvun kanssa on saatu hyviä kokemuksia. Lisäksi tekninen alusasu siirtää hikeä ihon pinnasta pois. jolloin ihon kostumisesta ja ihon lämpenemistä johtuvaa kemikaalien ihonläpi imeytymisen tehostumista voidaan samalla vähentää. Kevennetyn rakennuspaloihin suunnitellun palopuvun käyttöä emme myöskään voi suositella lisääntyneen ylävartalon ihoaltistumisen ja palovammariskin vuoksi. Lisäksi PAH-yhdisteillä likaantunut iho ja auringon valo muodostavat yhdistelmän, joka lisää ihosyövän riskiä. **Metsäpalopuku (kumottu EN 15614 ja voimassa oleva ISO 15384:2021) yhdistettynä tekniseen pitkälahkeiseen ja -hihaiseen alusasuun on suositeltavin vaihtoehto.**

Metsäpalon savu ja sen sisältämät pienhiukkaset, ärsyttävät kaasut ja syöpävaaralliset aineet muodostavat terveysriskin sammuttajalle. Joissakin tapauksissa se voi olla jopa akuutisti hengenvaarallista. Metsäpaloissa hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja pienhiukkaset kuormittavat fyysisen rasituksen ja lämpörasituksen ohella sammuttajien sydän ja verenkiertoelimistöä. Korkeille hiilidioksidipitoisuuksille altistuminen nostaa veren hiilidioksidiosapainetta, joka rekisteröidään aivoissa, josta annetaan signaalia lisätä hengitystiheyttä ja laajentaa verisuonia korjatakseen elimistön happitilanne normaaliksi. Pienhiukkasilla on verisuoniin päinvastainen vaikutus, ne heikentävät verisuonien seinämien joustavuutta, jolloin elimistö ei pysty vastaamaan aivojen käskyn hankkia lisää happea. Tähän kun lisätään altistuminen hiilimonoksidille, joka vie veressä hapenkuljetuskapasiteettia niin olemme tilanteessa, jossa useat altisteet vaikuttavat haitalliseen suuntaa sammuttajan elimistössä. Onkin erittäin tärkeää arvioida reaaliaikaisesti sammuttajien toimintakykyä ja altistumista. **Sammuttajien joutumista liian altistaviin tilanteisiin on mahdollista ehkäistä hiilimonoksidi-ilmaisimien avulla, jotka hälyttävät liian korkeista pitoisuuksista sammuttajaa. Moderneimmat ratkaisut, kuten esimerkiksi Blackline Safetyn ja Airbusin sovellukset, mahdollistavat tilannetta johtavan seurata sammuttajien sijaintia, kuntoisuutta ja altistumista.** Samalla laitteisto mahdollistaa kaksisuuntaisen viestiliikenteen johdon ja sammuttajien välillä. Hankalimmissa altistumistilanteissa voidaan ohjeistaa sammuttajaa käyttämään paineilmalaitteita tai



jopa perääntymään vaaran uhatessa. Jos sammuttajalle sattuu jotakin, laitteen kiihtyvyyssanturit ilmoittavat tilannetta johtavalle sammuttajan onnettomuudesta ja loukkaantunut sammuttaja on helposti paikannettavissa laitteiston avulla. Laitteisto parantaa sammuttajan työturvallisuutta merkittävästi, lisää mahdollisuuksia hahmottaa tilannekuvaa ja parantaa viestintää. **Suosittellemme vähintään hiilimonoksidi-ilmaisimen käyttöä metsäpaloissa**, koska puhallinavusteinen hengityksensuojain yhdistelmäsuodattimella varustettuna ei poista hengitysilmaasta hiilimonoksidia. Hiilimonoksidi-ilmaisinta on mahdollista myös käyttää sammuttajien altistumisenarvointiin heidän uloshengitysilman mittauksissa heti altistumisen jälkeen.

Hankkeessa todettiin sammuttajan hengitysvyöhykkeellä korkeita ärsyttävien ja syöpävaarallisten yhdisteiden pitoisuuksia. Jos Sosiaali- ja Terveysministeriön asettamat haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ylittyvät, on työnantajan välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijän altistumisen vähentämiseksi. Suurin osa kyseisistä aineista voidaan poistaa sisäänhengitysilmaasta käyttämällä puhallinavusteista hengityksensuojainta, joka on varustettu yhdistelmäsuodattimella A2B2E2K2-P3 tai vastaavilla, joka sisältää kaasu- ja hiukkassuodattimen. Puhallinavusteinen on ainoa oikea vaihtoehto työssä, jossa joudutaan työskentelemään kuumissa olosuhteissa ja tekemään fyysisesti raskaita työvaiheita. Hengityksensuojain on myös varustettava silmät suojaavalla kypäräosalla tai maskilla, suositeltavimmat hengityksensuojainluokat ovat TH-3 tai TM-3. Nämä suojaavat myös sammuttajan silmiä ärsyttäviltä kaasuilta, kipinöiltä ja osaan on saatavilla myös suojat haitallisia UV- ja IR-säteilyjä vastaan. Hengityksensuojaimien maskeihin on saatavilla myös integroituna teollisuuskypärästandardin täyttävä kypärä (EN 397), jolloin hengityksensuojaimen maskin ja kypärän sopiminen toisiinsa on varmistettu. Suositeltavin malli on sellainen, että puhaltimen ja suodattimen paino jakaantuu tasaisesti eikä ne kuormita sammuttajan niska. **Suosittellemme sammuttajille puhallinavusteisia hengityksensuojaimia (TH-3, TM-2 tai TM-3), jotka on varustettu yhdistelmäsuodattimilla A2B2E2K2-P3 tai vastaavilla ja silmät suojaavalla maskilla, siten että niiden paino jakaantuu muualle kuin niskan kannateltavaksi.**

Sammuttajan muussakin suojavaarustuksessa tulee huomioida varustuksen keventäminen. **Kypärä on metsäpaloissa välttämätön varuste ja vähimmäisvaatimus on teollisuuskypärästandardin täytyminen (EN 397).** Toivottavaa kuitenkin olisi, että käytettäisiin kevyttä pelastuskypärää, joka soveltuu tekniseen pelastamiseen ja metsäpaloihin (EN 16471/EN 16473). Sammutusjalkineeksi suositellaan keveämpiä varsikenkiä (EN 15090), jotka antavat paremman suojan nilkalle hankalassa maastossa liikuttaessa. Huonempi vaihtoehto on sammutussaapas (EN 15090), mutta sitä käytettäessä riski nilkan nyrjähdykseen kasvaa merkittävästi. Palokäsineiksi suosittelemme vähintään nahkaisia työkäsiineitä, joiden alla on aluskäsineet, joita vaihdetaan tarvittaessa.

Sammuttajien altistumisen vähentämisessä huollolla on suuri merkitys. Ihoaltistuminen loppuu vasta, kun iho pestään puhtaaksi ja päälle vaihdetaan puhtaat vaatteet. Huonoin vaihtoehto on siirtyminen nukkumaan likaisissa palovarusteissa ilman peseytymistä. Tämä mahdollistaa ihoaltistumisen lisäksi puhtaiden nukkumatilojen likaantumisen ja varusteista vapautuville palokaasuille altistumisen. Näiden lisäksi likaisista varusteista epäpuhtaudet kulkeutuvat käsiin ja niistä ruokailun kautta myös ruuansulatuselimistöön. Näin ollen peseytymisellä on tärkeä rooli myös altistumisen vähentämisessä. Moderneimpia kansainvälisiä ratkaisumalleja huoltoon ovat tilannepaikalle ajattavat **dekontaminaatiorekat**. Rekan toisesta päästä mennään likaisena sisään ja toisesta päästä tullaan peseytyneenä ja puhtaissa varusteissa ulos. Keveämpiä vaihtoehtoja ovat paloautoihin liitettävät **kemikaalisuihkut**, joilla voidaan peseytyä lämpimissä kesäkeleissä tilannepaikalla.



Kuivapesuvaihtoehtona on olemassa **dekontaminaatiopyyhkeitä**, joilla voidaan pyyhkiä pahimmat epäpuhtaudet ihon pinnasta pois, jos muita vaihtoehtoja ei ole tarjolla.

Sammutustyön tehokkuutta voidaan lisätä merkittävästi pelastuslaitosten oman alueensa **metsäpalojen torjuntasuunnitelmillä**. Niissä on mahdollista selvittää riskialttiimmat metsäpaloalueet, mallintaa niissä palon leviämistä ja selvittää alueen vesivarannot. Tähän yhdistettynä **reaaliaikainen ja viimeisimmät säätiedot sekä ennusteet sisältävä tilannekuva palon leviämisen nusteineen**, antaa merkittävästi paremmat mahdollisuudet onnistua miehistön ryhmittämisessä, runkovesilinjan selvittämisessä maastoon sopivimmilla työmenetelmillä ja tarvittavien lisäresurssien arviointia. Tehokkuuden lisäyksellä voidaan nopeuttaa sammutustyötä, joka yleensä vähentää tehtävään käytettävää aikaa, parempi tilannekuva ehkäisee joutumista hankaliin tilanteisiin ja työn rasittavuus ja altistuminen vähenevät samalla kuin työturvallisuus paranee. Esimerkiksi telamönkijän avulla tehty letkuselvytys mahdollistaa lähes kolme kertaa nopeamman selvityksen kuin manuaalisesti ja lisäksi selvitystyön rasittavuus merkittävästi vähenee, jolloin sammuttajille jää enemmän voimia myös sammutustyöhön. Läpimitaltaan pienemmillä 25 mm työhödoilla rasiusta voidaan edelleen keventää. Rajoituslinjojen teossa konevoimasta, kuten kaivinkoneista, traktoreista ja metsäkoneista on suuri apu. Myös kemialliset rajoitusaineet, levitetynä lietevaunuilla, sammutusperävaunuilla tai modifioituilla metsäkoneilla keventävät sammuttajien rasiusta. Taktiikoista palon kärjen katkaisu ja paloalueen kaventaminen sivulta vähentävät altistumista, varsinkin jos paloalueen sisäosan annetaan palaa ja pyritään estämään vain palon leviäminen. Sammuttamista tuulen yläpuolelta on altistumisen vähentämiseksi suositava. Palon rajaamisessa on mahdollista käyttää myös miehittämättömiä rajoituslinjaratkaisuja, kuten esimerkiksi reikäletkuja, sadettimia ja reikäliittimiä, jolloin ei tarvitse olla savussa tarpeettomasti altistumassa. Metsäpalorintaman kärjen katkaisussa on altistumisen näkökulmasta järkevää käyttää ilmasammutusta, rakentaa rajoituslinjoja kaivinkoneilla tai levittämällä kemiallista rajoitusainetta alueille, joissa alueen pohjavedet antavan siihen mahdollisuuden. Lisäksi modifioituja metsäkoneita ja sammutusperävaunuja voidaan käyttää sammutuksessa, mutta niissä on syytä olla myös ohjaamon raitisilmasuodattimet kunnossa tai kuljettajalla paineilmaahengityksensuojain.

Työskenneltäessä tuulen alapuolella, on sammuttajien ehdottomasti käytettävä paineilmalaitteita ja sammuttajien ja tilanteen johdon välillä on oltava saumaton viestintäyhteys työturvallisuuden takaamiseksi. Metsäpalosammutusvarusteiden pesussa tulee myös huomioida henkilökohtaiset suojaruusteet ja käyttää uusinta tekniikkaa esimerkiksi letkujen pesussa, tarpeettoman altistumisen vähentämiseksi.

10.4 Suositukset työvälineistä ja työtaktiikoista metsäpalojen sammutukseen

Metsäpalojen sammuttaminen edellyttää hyvää fyysistä kuntoa. Näin ollen ikääntyvien pelastustoimen viranhaltijoiden lisäksi tarvitaan lisää nuoria palokuntatyöstä kiinnostuneita sammutustoihin mukaan. Tätä varten tarvitaan uusia keinoja rekrytoida ja kouluttaa uusia tulevaisuuden sammuttajia. Pelastuslaitosten varautumisessa tulisi huomioida kaikkien henkilöiden työvälinetarpeet, jotta moottorisahoja, kirveitä ja pistolapioita löytyy kaikille niistä tarvitseville. Metsäpalotilanteita varten pelastuslaitoksilla olisi oltava varattuna varusteita sisältäviä kontteja, jotka ylläpidetään ja huolletaan kuten muukin operatiivinen kalusto. Metsäpalojen sammutusta on myös harjoiteltava, jotta sammutukseen tarvittavia välineitä osataan käyttää.



Tilastoista voidaan nähdä, että maasto- ja metsäpalojen pinta-alat ovat Suomessa suhteellisen pieniä. Mutta kuivina ja lämpiminä kesinä maasto- ja metsäpalotehtävien määrä on suurempi ja sateisina pienempi. Suomi on pitkä maa, joten Suomessa voi samanaikaisesti olla pohjoisessa vielä lunta ja etelässä jo ruohikkovaroitus. Lumirajan siirtyessä pohjoisemmaksi ajanjakso, jolloin maasto- ja metsäpalot ovat mahdollisia, ovat pidempiä. Lämpötilojen kasvaessa ja kuivien jaksojen pidentyessä metsäpaloista voi tulla rajumpia.

Metsäpaloja varten sammuttajilla tulisi olla vähintään perustiedot maasto- ja metsäpalojen sammuttamisesta. Koska metsäpalot ovat hyvin arvaamattomia, sammuttajat tarvitsevat tiedot metsäpalojen suojavarusteista, työvälineistä, sammuttamistekniikoista ja -taktiikoista. Vain riittävät perustiedot takaavat turvallisen työskentelyn metsäpaloissa.

Pelastuslaitosten tulisi varautua metsäpalojen varautumissuunnitelmalla oman alueensa kriittisimpiin metsäpalokohteisiin. Suunnitelma sisältää mm. kriittisten metsäpalokohteiden kartoittamisen, vesivarantojen selvittämisen ja mahdolliset metsäpalon leviämisarviot eri tuulilla kriittisissä kohteissa. Etukäteen tehty suunnitelma metsäpalon sammuttamiseksi tekisi toiminnasta tehokasta ja ennakointi olisi nopeampaa. Parhaimmillaan kriittisten alueiden kulotukset, etukäteen tehdyt rajoitustoimet ja metsänhoidolliset toimenpiteet rajoittaisivat palon leviämistä.

Metsäpalon sattuessa ennakkovarautumisen yhdistäminen ajantasaisiin sääolosuhteisiin, staattisten paloainekarttojen ja maastonmuotojen tuntemukseen parantaa entisestään ennakoidun palon ennustettavuutta, jolloin sammutustoimet osataan kohdentaa oikein. Yksiköiden ja tilannepaikan johtajan saapuessa paikalle tiedustelijat jalkautuvat maastoon ja nelikoptereilla tai lentokoneilla haetaan parempaa kokonaiskuvaa palotilanteesta. Kun tilannearvio on tehty, voidaan tehdä suunnitelma palon sammuttamiseksi, jota päivitetään tilanteen edetessä. Suunnitelmassa arvioidaan sää- ja maastotyyppiin parhaiten soveltuva sammutustaktiikka, vedenottoaikat ja mahdolliset rajoituslinjat. Tavoite on kaventaa palavaa aluetta ja pyrkiä katkaisemaan palolta kärki.

Staattisten paloainekarttojen mukaan voidaan tehdä taktiikkamuutoksia, jos nähdään, että palo etenee latvapalona ennakoidun maapalon sijaan. Sääolosuhteet ilmoittavat tuulen voimakkuuden ja mahdollisesti tulevat puskaist tulet, jotka vaikeuttavat sammutusta. Jos alue on hyvinkin haastava ja tulen voimakkuus suuri, onko oikea ratkaisu pyrkiä tekemään rajoittavia toimenpiteitä palon etenemisen katkaisemiseksi. Näiden karttojen myötä tulevaisuudessa tuleva simulointiohjelma pelastustoimessa antaa myös reaaliaikaisen sääolosuhdetiedon yhdistettynä paloainekarttoihin työkalun, jota pelastustoimen tilannejohtaja tai palopäällikkö osaa tehdä simulaation palon leviämisestä. Tämän simulaation myötä suunnitellaan hyökkäys ja yksiköiden tarvittava määrä palon tehokkaalle sammuttamiselle.

Avun pyytämiseen on tehtävä päätös hyvin aikaisessa vaiheessa, koska raskaiden metsäpalosammutuskoneiden ja muiden työkonoiden saapuminen kohteeseen kestää. Myös ilmasammutuksen tilaaminen kestää rajavartiolaituksen meripelastukselta. Kansainväliseen avun pyyntöön on myös varauduttava. Näiden kaikkien toimijoiden yhteystiedot on hyvä kirjata pelastuslaitosten varautumissuunnitelmiin ja tiedot on päivitettävä säännöllisesti.



10.5 Runkolinjan selvittäminen henkilötyönä

Testissä mitattiin runkolinjan (76 mm pääjohto) selvittämistä keskivaikeassa metsämaastossa konevoimin sekä henkilötyönä. Koneselvitys etenee vakionopeutta maaston vaikeusasteen säilyessä samana niin kauan, kun koneessa riittää letkua.

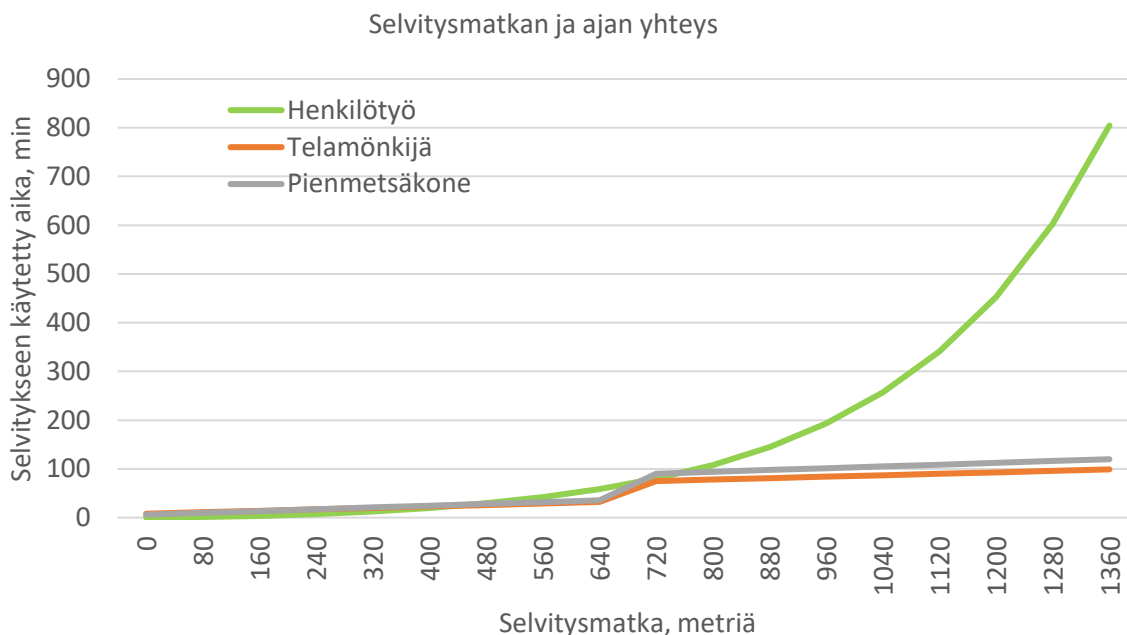
Tehtyjen kokeiden perusteella saatuja havaintoja sovitettiin matemaattisesti käsiteltävään muotoon. Henkilötyönä selvittäessä runkolinjan pituuden kasvaessa selvitysaika T pitenee selvitysmatkan funktiona seuraavasti:

$$T = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{i=1}^{\left\lceil \frac{m}{n} \right\rceil} i \cdot t, \quad k \leq \left\lceil \frac{m}{n} \right\rceil$$

missä T on selvitykseen kuluva aika, m on selvittävä määrä metreinä, n on yhden henkilön kerrallaan selvittämä letkumitta ja t kerralla selvittävien letkujen selvittämiseen kuluva aika. Kokeellisesti tehdyn selvityksen perusteella keskivaikeassa maastossa t arvoksi tuli 3,34 minuuttia, kun henkilöllä oli kerrallaan mukanaan kaksi pääjohtokehikkoa, yhteensä 4 letkua (80 m) ja selvittäjiä (k) oli kaksi. Selvitysmatkan pituuden kasvaessa selvittämiseen tarvittava aika pitenee nopeammin kuin lineaarisesti, koska letkun kantamiseen ja paluumatkaan tarvittava aika pitenee. Mallissa ei oteta huomioon luonnollista väsymistä letkuja kannettaessa, vaikka lienee selvää, että työteho heikkenee rasituksen kumuloituessa. Soveltuvan arvon löytämiseksi konsultoitiin kirjallisuutta ja alan huippututkijoita, mutta matemaattisesti sovellettavaa tapaa mallintaa väsymistä tällaisessa raskaassa fyysisessä työssä ei löydetty.

Oletusarvoisesti jokainen kahden kehikon, eli neljän letkun (80 m) selvittäminen pudottaa suorituskykyä (nopeutta) aiemmasta. Tämä väsymiskerroin on kuitenkin matemaattisesti varsin monimutkainen arvioitava, joten sitä ei hankkeen testien laajuudessa pystytty verifioimaan. Luonnollisesti väsyminen on henkilökohtainen ominaisuus johon vaikuttaa koehenkilön fyysinen kunto. Tarkemman arvion määrittäminen vaatisi varsin laajan koesarjan.

Rajoite $k \leq \left\lceil \frac{m}{n} \right\rceil$ tarkoittaa sitä, että selvittäjiä ei voi olla enempää kuin selvitettäviä osuuksia. Kaaviossa 1 on laskettu selvitysaikoja (pystyakselilla minuutteina) erilaisille selvitysmatkoille (metreinä vaaka-akselilla). Samaan kaavioon on tuotu myös telamönkijän ja pienmetsäkoneen selvitysaikoja. Näissä on huomioitava, että todellisuudessa yhteen kuormaan ei mahdu niin paljoa letkua, että letkua voidaan selvittää kilometrin verran. Testeissä testiradan reilun 600 metrin matka saatiin mahtumaan molemmissa yhteen kuormaan. Kuormauksen ollessa 17 kehikkoa (680 metriä) jonka jälkeen kone on käytävä kuormaamassa, hidastuu selvitys merkittävästi. Kuormauksen määrä luonnollisesti vaihtelee koneiden malleista riippuen.



Kuva 66. Selvitysmatkan ja selvitykseen käytetyn ajan välinen riippuvuus kolmella eri selvitystavalla: Henkilötyö, telamönkijä ja pienmetsäkone

Kirjallisuudesta ei löydetty juurikaan tutkimuksia, joissa pidempiä letkuselvityksiä olisi tutkittu käyttäen samanlaista selvitystekniikkaa kuin Suomessa. Selvitystekniikoiden erot tekevät tulokset varsin vaikeiksi vertailla ja löydetyt selvitysaikoihin liittyvät tutkimukset käsittelevät lähes yksinomaan lyhyitä selvityksiä rakennetussa ympäristössä. Saadut tulokset olivat kuitenkin varsin samansuuntaisia kuin suurpalojen simulointia varten tehdyissä mittauksissa (Hostikka ym. 2012).

Käytännössä letkulinjan rakentaminen on siinä määrin raskasta työtä, että sitä voi järkevästi ajatella tekevänsä tunnin verran, jonka jälkeen työteho laskee merkittävästi. Yli puolen kilometrin runkolinjaselvitys on jo siinä määrin työläs, että sen rakentamiseen kannattaa pyrkiä saamaan konevoimaa, vaikka tähän kuluisi jonkin verran aikaa.

Suosittellemmekin, että henkilötyönä vedettävän runkolinjan maksimipituus tulisi olla enintään 500 metriä. Konevoiman käyttöä tulee harkita aina, kun linjan pituus ylittää 300 metriä.



11 Johtopäätökset

Vastaus tavoitteeseen 1:

Kartoittaa metsäpaloissa käytettäviä työmenetelmiä ja -välineitä sekä selvittää metsäpaloissa yleisimmin käytettävät työvälineet- ja -menetelmät Suomessa.

Yleisin sammute maasto- ja metsäpaloissa on vesi. Letkulla sammutuksen lisäksi käytetään erilaisia käsityökaluja kuten kirveitä, pistolapiota, talikoita, moottorisahoa yms. sammuttamista tukevana työkaluina ja tulen leviämistä rajoittavien katkojen tekemiseksi. Lisäksi käytetään reppuruiskuja tai haravia/hosia heitepalojen ja pienien sammutusten työvälineinä. Pienillä työkoneilla kuten mönkijöillä avustetaan letkunvetoa ja tavarantoimitusta maasto- ja metsäpalojen sammutuksessa. Maastotyypeistä riippuen valinnat työvälineistä tehdään kohteeseen lähtiessä. Tästä syystä ennakkosuunnittelu olisi tärkeää sammutustyön oikeaoppiseen sammuttamiseen ja riittävän tehokkaiden työvälineiden yhdistettynä oikeisiin tekniikoihin. Pelastuslaitoksista riippuen osalla on hyvinkin paljon erilaista teknistä kalustoa maasto- ja metsäpalojen sammutukseen ja näitä käytetään paljon. Esimerkiksi Pohjois-Karjalan Mika Viertola on kerännyt kalustoa metsäpalojen sammuttamiseen ja kehittänyt niitä itse. Tästä esimerkkinä on reikäletkulla rajoituslinjan tekeminen. Isoille koneille eri maastotyyppit voivat olla hyvinkin haastavia. Markkinoilla on eri koko luokassa olevia metsäkoneita, jotka soveltuvat metsäpalojen sammuttamiseen tai avustaviin työkoneisiin. tai vaihtoehtoisesti sammutusvaunuja, jotka toimivat yhteistyössä esim. maastokelpoisen traktorin kanssa. Kokemuksena kesältä 2021 metsäsammutuskone Mörölle oli myös hyvin haastavaa liikua ja operoida Kalajoen tapaisen metsäpalon maastossa (SPEK2021), joten paljon sammutustyötä jouduttiin tekemään Sammuttaja vetoisesti.

Vastaus tavoitteeseen 2:

Kartoittaa yleisimmin metsäpaloissa käytettävät suojavarusteet Suomessa ja selvittää altistumisen ja lämpökuormittumisen sammuttajille aiheuttamia haittavaikutuksia kirjallisuuden perusteella

Yleisimmin käytössä olevat suojavarusteet

Suomessa käytetään metsäpaloissa huoneistopaloihin suunniteltuja palopukuja joko kokonaisuudessaan tai puvun palohousuihin on yhdistetty vartalon yläosan suojaksi t-paita tai väliasun takki (36 %). Alusvaatteina palopuvun alla on useimmiten t-paita ja lyhyet alushousut (59 %). Lähes puolet sammuttajista (47 %) käyttää suojakypäränä kevyttä pelastuskypärää. Sen sijaan suojajalkineissa luotetaan edelleen palosaappaisiin (75 %). Varsinaiset palokäsineet ovat korvautuneet työkäsinä, joita käyttää 71 % sammuttajista. Huonoiten käytetään silmäsuojaimia (23 %), aluskäsineitä (5 %) ja 53 % ei käyttänyt hengityksensuojainta. Sammuttajilta kysyttäessä missä suojavarusteissa heidän mielestään olisi parantamisen varaan, niin kolmen kärjessä olivat hengityksensuojaimet, silmäsuojaimet ja alusvaatteet.



Altistuminen metsäpaloissa kirjallisuuden mukaan

Metsäpalon savu sisältää satoja erilaisia hiukkasmaisia, höyrymäisiä ja kaasumaisia yhdisteitä. Näistä sammuttajan terveyden kannalta tärkeimmät haitallisimmat ovat pienhiukkaset, akroleiini, hiilimonoksidi, typpidioksidi, bentseeni ja formaldehydi.

Metsäpaloissa syntyvien hiukkasten on todettu sisältävän vesiliukoisia yhdisteitä ja metalleja, jotka lisäävät niiden keuhkovaikutuksia ja systeemisiä vaikutuksia. Erityisesti niiden sisältämän nokimustan on havaittu liittyvän altistuneiden sydän- ja verisuoni- sekä keuhko-oireiden esiintyvyyteen. Mitatut keskimääräiset hiukkaspitoisuudet sammuttajien hengitysvyöhykkeellä metsäpalojen etulinjassa ovat olleet moninkertaisia pienhiukkasten haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin verrattuna.

Epätäydellisessä palamisessa syntyvä hiilimonoksidi häiritsee altistuneen hapenkuljetusta. Työperäisesti altistuneeksi katsotaan tupakoimaton henkilö, jonka karboksihemoglobiinipitoisuus on 1,5 % tai enemmän. Jos altistuneen karboksihemoglobiinipitoisuus on noussut 2 %, on sen todettu jo aiheuttavan oireita henkilöille, joilla on jo ennestään sydän- ja verisuonielimistön sairauksia. Pitoisuuden noustessa 4 % on työnantajan välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin hiilimonoksidialtistumisen vähentämiseksi. Jos sammuttajan karboksihemoglobiinipitoisuus veressä nousee 5 %:iin, on sillä merkittävä vaikutus hänen työkykyyn. Muita hiilimonoksidialtistumisen oireita ovat päänsärky, huimaus, heikkous, sekavuus ja vaikeudet päätöksentekokyvyssä. Mitatut hetkelliset ja keskimääräiset hiilimonoksidipitoisuudet ovat olleet hyvin korkeita metsäpaloissa verrattuna hiilimonoksidin raja-arvoihin.

Limakalvoja ärsyttävät yhdisteet akroleiini ja syöpää aiheuttava formaldehydi voivat aiheuttaa tulehdustilan altistuneen keuhkoissa. Näistä kahdesta akroleiini on ärsyttävämpi ja suuremmissa pitoisuuksissa se on aiheuttanut altistuneilla jopa keuhkovaurioita. Formaldehydialtistumisen on puolestaan todettu lisäävän metsäpalosammuttajien syöpäriskiä, kun altistumisten kestot, niiden yleisyys ja työuran pituus huomioidaan. Metsäpaloissa näiden aineiden mitatut pitoisuudet ovat tulleet entistä merkittävimiksi ollen moninkertaisia altisteiden nykyisiin raja-arvoihin verrattuna.

Syöpävaarallisen bentseenin pitoisuudet ovat keskimäärin olleet alle sen haitalliseksi tunnetun pitoisuuden metsäpaloissa. Bentseenillä on syöpävaaran lisäksi hematologisia, neurologisia ja immunologisia vaikutuksia. Raportoidut keskimääräiset pitoisuustasot metsäpaloissa ovat olleet alle näitä oireita aiheuttavien pitoisuuksien, mutta hetkellisiä raja-arvojen ylittäviä bentseenipitoisuuksia on mitattu.

Typpidioksidi aiheuttaa keuhkotoimintojen heikkenemistä, ilmäteiden ylireaktiivisuutta ja keuhkoputkien supistelua. Sen lisäksi typpidioksidin on todettu liittyvän hengitysteiden sekä sydän ja verenkiertoelimistön sairauksista kärsivien poliklinikkakäyntien ja kuolleisuuden lisääntymiseen. Lisäksi herkat yksilöt, joilla on astmaa tai kroonista keuhkojen ahtaumatautia ovat erityisen herkkiä typpidioksidille. Oireilu näyttäisi olevan enemmän riippuvainen pitoisuudesta kuin altistumisen kestosta. Tämän vuoksi hetkelliset suuret pitoisuudet ovat tärkeitä huomioida arvioitaessa typpidioksidin haittavaikutuksia sammuttajiin. Keskimääräiset mitatut korkeat typpidioksidipitoisuudet metsäpaloissa ovat tulleet entistä merkittävimiksi pudonneiden raja-arvojen johdosta.



Lämpökuormitus metsäpaloissa

Pelastustehtävissä sammuttajien ihon lämpötila pysyy yleensä alle 38 °C, mutta yhdistettäessä se 38 °C syvälämpötilaan, olo alkaa tuntua epämiellyttävältä. Mentäessä yli 39,2 °C syvälämpötilan sammuttajalla on jo lämpöhalvauksen vaara. Toistuvan lämpösäteilyn, ihon lämpötilan nousun ja palovammojen vaikutuksesta voi syntyä ihomuutoksia. Toistuva pitkään jatkunut ihon altistuminen kuumuudelle voi johtaa erythema ab igne -ihomuutoksen kehittymiseen ja edelleen jatkuessaan myös pahanlaatuisiin ihomuutoksiin.

Hientuotanto on voimakasta kuumissa olosuhteissa ja se vaikeuttaa elimistön suola -ja nestetasapainon ylläpitämistä. Jos menetettyä nestettä ei korvata juomalla elimistö kuivuu, joka puolestaan kuormittaa verenkiertoa, heikentää hikoilukapasiteettia, nostaa sisäelinten lämpötiloja ja lisää äkillisten lämpösairauksien riskiä. Nestevajaus, joka laskee kehon painoa yli 3 % heikentää suorituksia, joissa tarvitaan keskittymiskykyä, tarkkaavaisuutta ja lihasvoimaa. Jos paino laskee yli 6 % on henkeä uhkaavan lämpöhalvauksen riski suuri. Ongelmana nestetankkauksessa on se, että elimistöön imeytyy enimmillään 800 grammaa tunnissa nestettä korvaamaan menetettyä nestettä, joten jos hikoilu on tätä suurempaa, on seurauksena kuivuminen. Tämän vuoksi sammuttajan suojaruustuksen lämpökuormittavuuteen ja työn rasitusta vähentäviin toimenpiteisiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Sammuttajan kuumansietokyky heikkenee myös, mikäli hän on väsynyt, janoisin, nälkäinen, huonokuntoinen, ylipainoinen tai jos hän on sairastanut lämpösairauden. Myös sammuttajan ikä, sairaudet ja lääkitys vaikuttavat lämmönsietokykyyn.

Vastaus tavoitteeseen 3.

Mitata metsäpalopukujen ja teknisten alusasujen lämpökuormittavuutta laboratorio- ja kulotustesteissä sekä metsäpaloradalla.

Lämpökuormitus laboriotesteissä

Laboratoriossa tehdyt lämpökuormittavuustestit eri palopuvuilla käytettäessä pitkiä alusvaatteita todistivat selkeästi, että rakennuspaloihin suunniteltu palopuku ei sovellu metsäpalojen sammutukseen sen liiallisen lämpökuormittavuuden vuoksi. Palopuvun paino oli 75 % korkeampi keveimpään metsäpalopukuun verrattuna, koehenkilöiden paino putosi testin aikana lähes 40 % enemmän ja hikeä kertyi varusteisiin 1,8-kertainen määrä keveimpään metsäpalopukuun verrattuna. Suuremmasta hikoilusta johtuen myös vaatekerrosten välissä keskimääräinen suhteellinen kosteus oli suurempi. Myös koehenkilöiden iholämpötila oli 1,5 °C korkeampi ja syvälämpötila 0,25 °C korkeampi sekä sydämen sykintänopeus osoitti kaikilla koehenkilöillä suurinta rasitusta heidän käyttäessään rakennuspaloihin suunniteltua palopukua. Koehenkilöiden lämpö- ja kuormittuneisuustuntemukset osoittivat huoneistopaloihin suunnitellun puvun myös selkeästi huonoimmaksi. Myös käyttömukavuustulokset olivat erityisen huonot.



Lämpökuormitus kulotustesteissä

Rakennuspaloihin suunnitellun palopuvun lämpökuormittavuutta pudotettiin kulotusmittauksissa sallimalla koehenkilölle lyhyet alushousut ja t-paita ja hän työskenteli ilman palotakkia. Kevennetyn rakennuspaloihin suunnitellun sammutusasun aiheuttama painon pudotus ja hien tiivistyminen vaatteisiin putosi samalle tasolle metsäpalopukujen kanssa. Lämpötuntemuksissa rakennuspaloihin suunniteltu puku ilman palotakkia koettiin parhaimmaksi, mutta rasittavuudeltaan se oli kuitenkin huonoimpien metsäpalopukujen tasolla. Käytettävyydessä huoneistopaloihin suunniteltu palopuku koettiin parhaimmaksi, mutta se ei suojannut ylävartaloa kuumuutta eikä ihoaltistumista vastaan.

Lämpökuormitus metsäpaloradalla

Viimeisessä vertailutestissä testasimme perinteistä ja parannettua tapaa suojautua. Perinteinen tapa käsitti huoneistopaloihin suunnitellun palopuvun kokonaisuudessaan ja lyhyet alusosat. Parannetussa suojauksessa käytettiin metsäpalopukua ja pitkiä teknisiä alusvaatteita. Koehenkilöiden paino putosi testin aikana perinteisellä suojauksella keskimäärin 13 % enemmän ja hikeä kertyi varusteisiin 1,7-kertainen määrä parannettuun suojaukseen verrattuna. Suuremmasta hikoilusta johtuen myös vaatekerrosten välissä suhteellinen kosteus oli 15 % ja koehenkilöiden iholämpötila 2,0 °C korkeampia. Mitattu sydämen sykintänopeus osoitti koehenkilöillä keskimäärin suurempaa rasitusta sydän ja verenkiertoelimistölle heidän käyttäessään perinteistä kuin parannettua suojausta. Koehenkilöiden lämpötuntemukset osoittivat perinteisen suojautumisen huonommaksi kuin parannetun suojauksen, mutta rasittavuustuntemuksissa eri suojausten välillä ei ollut eroja.

Vastaus tavoitteeseen 4.

Mitata sammuttajien altistumista metsänhoidollisissa kulotuksissa ja testata reaaliaikaisen tilannekuvan hyödyntämistä sammuttajien altistumisen vähentämiseksi.

Altistuminen hiilimonoksidille

Kulotusmittauksissa koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin keskimääräinen hiilimonoksidipitoisuus 16 ppm, osoittaen koehenkilöiden merkittävää altistumista. Suurimmat mitatut pitoisuudet ylittivät hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden, osoittaen jopa koehenkilöiden liiallista altistumista. Koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin myös hiilimonoksidipitoisuuksien vaihtelua suoraan osoittavalla. Mitatut tulokset osoittivat, että pitoisuus ylittyi useita kymmeniä kertoja tunnin sisällä, osoittaen koehenkilöiden liiallista altistumista myös hetkellisille suurille pitoisuuksille. Mitatut tulokset osoittivat, että työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi.

Koehenkilöiden altistumista hiilimonoksidille mitattiin myös heidän uloshengitysilmaasta heti altistumisen jälkeen. Kulotusmittauksissa, nähdäksemme voimmeko heti altistumisen jälkeen arvioida uloshengitysilmanäytteen avulla sammuttajan keskimääräistä altistumista metsäpalon sammutuksen aikana. Keskimääräinen hiilimonoksidipitoisuus oli 15 ppm, mutta suurimmat altistumiset osoittivat liiallista altistumista. Tällöin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijöiden



altistumisen vähentämiseksi. Uloshengitysilmaasta heti altistumisen päätyttyä mitatut pitoisuudet korreloivat hyvin hengitysvyöhykkeeltä testijakson aikana mitatun keskimääräisen pitoisuuden kanssa. Näin ollen heti altistumisen jälkeen mitattuja uloshengitysilman pitoisuuksia voidaan käyttää sammuttajien nopeaan altistumisen arviointiin.

Altistumistulokset varmistettiin vielä koehenkilöiden verinäytteistä, jotka otettiin heti altistumisen jälkeen. Näytteistä analysoitiin veren karboksihemoglobiinipitoisuudet. Kaikki mitatut pitoisuudet saavuttivat tai olivat yli altistumattoman väestön viiterajan 0,015 %, osoittaen altistumista hiilimonoksidille tapahtuneen. Suurimmat pitoisuudet olivat lähellä toimenpiderajaa 0,040 %, jolloin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi. Keskimääräinen koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä testiajanjakson aikana mitattu hiilimonoksidipitoisuus korreloi erittäin hyvin verestä heti altistumisen jälkeen mitattuun karboksihemoglobiinipitoisuuteen. Myös uloshengitysilman hiilimonoksidipitoisuuden ja veren karboksihemoglobiinipitoisuuden välillä oli hyvä korrelaatio, todistaen uloshengitysilman pitoisuusmittauksen toimivuutta sammuttajien altistumisenarvioinnissa. Lisäksi se todisti, että mittaus heti altistumisen jälkeen kuvastaa hyvin sammuttajien saamaan keskimääräistä altistumista viimeisen neljän tunnin aikana.

Altistuminen aldehydeille

Syöpävaarallisen ja hyvin ärsyttävän formaldehydin keskimääräiset pitoisuudet koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä, osoittivat merkittävää altistumista. Suurimmat mitatut tulokset olivat yli sen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetun pitoisuuden, jolloin työnantajan on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi. Vielä ärsyttävämmän ja mahdollisesti syöpävaarallisen akroleiinin keskimääräinen pitoisuus koehenkilöiden hengitysvyöhykkeellä osoitti merkittävää altistumista, suurimmat mitatut tulokset osoittivat liiallista altistumista, jolloin työnantajan on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi. Muille mitatuille aset-, bents-, butyyri- ja propionaldehydeille altistuminen oli vähäistä. Yhteenlaskettu aldehydien haitalliseksi tunnettu yhteispitoisuus oli 1,8-kertainen verrattuna niiden haitalliseksi tunnettuun yhteispitoisuuteen verrattuna, osoittaen liiallista altistumista aldehydeille. Tällöin työnantajan on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi.

Altistuminen hengittyvälle pölylle ja sen sisältämille alkuaineille sekä radioaktiivisuudelle (Ce-137)

Suurimmat hengittyvän pölyn pitoisuudet mitattiin Pieksämäen kulotusmittauksissa, joissa tulosten keskiarvo osoitti liiallista altistumista, jolloin työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi. Kuhmon kulotustesteissä mitattujen pitoisuuksien keskiarvo osoitti merkittävää altistumista. Suomussalmelta tuodulla siirtovarvikolla tehdyissä testeissä Pelastusopiston metsäpaloharjoitusradalla mitattujen pitoisuuksien keskiarvo osoitti myös merkittävää altistumista. Hengittyvästä pölystä analysoitiin myös eri alkuaineiden pitoisuuksia ja niitä verrattiin niiden haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin. Suurin mangaanipitoisuus oli 11 % osoittaen kohtalaista altistumista. Mitattu suurin rautapitoisuus oli 3 %, sinkkipitoisuus 0,9 %, kobolttipitoisuus 0,6 %, kromipitoisuus (II, III-arvoiset) 0,3 % ja lyijypitoisuus 0,2 % niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetuista hengittyvän pölyn pitoisuuksista, osoittaen vähäistä altistumista. Hengittyvän pölyn näytteiden radioaktiivisuudet analysoitiin ja suurimman Tsernobylin laskeuman saaneella Pieksämäen



kulotusalueella mitatut radioaktiivisuudet olivat suurimmillaan 18000-kertaisia paikalliseen normaaliin taustapitoisuuteen nähden. Radioaktiivisuudet olivat säteilyonnettomuuksissa käytetystä alemmasta toimenpiderajasta 0,002 %, joten ne eivät aiheuttaneet vaaraa sammuttajille tai alueen väestölle, mutta todistivat metsäpalon nostavan alueen taustaradioaktiivisuutta. Muilta testausalueilta, jotka olivat saaneet merkittävästi vähemmän laskeumaa ei radioaktiivisuutta pölynäytteissä havaittu.

Altistuminen polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH)

PAH-yhdisteistä haitallisimman bentso[a]pyreenin keskimääräinen pitoisuus osoittaen vähäistä altistumista. Yksinkertaisimpien ja haihtuvimpien PAH-yhdisteiden naftaleenin ja metyyli-naftaleenin keskimääräinen pitoisuus osoitti myös vähäistä altistumista. PAH-yhdisteet iholla osoittivat kevennetyn huoneistopaloihin suunnitellun asukokonaisuuden (huoneistopaloihin suunniteltu metsäpalopuku, lyhyet alushousut ja t-paita) heikkouden ihon suojauksen kannalta. Parhaimmassa metsäpalopuvussa PAH-pitoisuudet olivat keskimäärin niskassa 70 %, selässä 67 % ja jaloissa 78 % pienemmät kuin kevennetyssä huoneistopaloihin suunnitellussa palopuvussa. Suurimmat PAH-pitoisuudet mitattiin metsäpalopuvuissa sammuttajan niskasta. Koehenkilöiden virtsassa naftaleenille altistumista kuvaavan 2-naftolin keskimääräiset pitoisuudet ennen altistumista olivat 7,5 µg/l, altistumattoman väestön viiterajan ollessa 7 µg/litrassa. Heti altistumisen jälkeen keskimääräinen pitoisuus oli 19 µg/litrassa. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 2,7-kertaisia ja suurimmat pitoisuudet olivat 8,4-kertaisia altistumattoman väestön raja-arvoihin verrattuna ja lisäksi ne olivat lähes kaksinkertaisia tupakoitsijoilta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Kuusi tuntia altistumisen päättymisestä keskimääräiset pitoisuudet olivat 17 µg/litrassa. Keskimääräiset pitoisuudet olivat 2,4-kertaisia ja suurimmat 6,3-kertaisia altistumattoman väestön raja-arvoihin verrattuna ja lisäksi ne olivat 1,5-kertaisia tupakoitsijoilta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Kaikki mitatut 1-hydroksipyreenipitoisuudet koehenkilöiltä olivat alle altistumattoman väestön viitearvon, osoittaen koehenkilöiden vähäistä altistumista pyreeneille. Koehenkilöiden ihoaltistuminen PAH-yhdisteille käytettäessä parannettua suojausta oli keskimäärin alavartalossa 90 % ja ylävartalossa 71 % pienempi verrattuna perinteiseen tapaan toimia. Metsäpaloradalla suurimmat pitoisuudet mitattiin alavartalosta käytettäessä perinteistä suojausta, kuten kulotusmittauksissakin ilman palotakkia. Näin ollen perinteinen suojautuminen altisti enemmän kaikkia kehon kohtia, kuin metsäpalopukuasukokonaisuus, mutta perinteisellä suojauksella altistuminen painottui alavartaloon. Metsäpalopuvussa sen sijaan keskimäärin suurimmat pitoisuudet mitattiin niskasta, kuten kulotusmittauksissakin. Koehenkilöiden, jotka käyttivät yhdistelmäsuodattimella varustettua puhallinavusteista hengityksensuojainta, 2-naftolipitoisuudet olivat heti ja kuusi tuntia altistumisen jälkeen 1,1-kertaisia altistumattoman väestön viitearvoon verrattuna. Ilman hengityksensuojainta toimineiden sammuttajien keskimääräiset vastaavat pitoisuudet olivat 1,9- ja 1,4-kertaisia. Näin ollen hengityksensuojain vähensi koehenkilön hengitystiealtistumista PAH-yhdisteille. Kaikki mitatut 1-hydroksipyreenipitoisuudet koehenkilöiltä olivat alle altistumattoman väestön viitearvon, osoittaen koehenkilöiden vähäistä altistumista pyreeneille. Tämä tulos tukee koehenkilöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattuja pyreenipitoisuuksia.



Altistuminen haihtuville orgaanisille yhdisteille

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus osoitti kohtalaista altistumista. Yksittäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden yhteispitoisuus puolestaan osoitti vähäistä altistumista. Aromaattisten BTEX-aineiden (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleenit) pitoisuudet olivat 2,2 % niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta yhteispitoisuudesta, osoittaen vähäistä altistumista. Koehenkilöiltä mitattiin heti altistumisen jälkeen virtsan S-fenyylimerkaptuurihappopitoisuudet, jotka kuvastavat kokonaisaltistumista bentseenille. Altistumista bentseenille vähensivät koehenkilöillä käytössä olleet hengityksensuojaimet, jotka poistivat bentseenin sisäänhengitysilmaasta. Näin ollen myöskään virtsassa ei nähty merkkejä altistumista bentseenille, kaikki mitatut pitoisuudet olivat alle altistumattoman väestön viitearvon eli kokonaisaltistuminen bentseenille oli ollut myös vähäistä.

Reaaliaikaisen tilannekuvan hyödyntäminen altistumisen vähentämisessä

Testattu reaaliaikainen sammuttajan paikannus-, altistumis-, hälytys- ja viestijärjestelmä G7C (Blackline Safety) osoitti toimivuutensa kulotuksissa tehdyissä metsäpalosimulaatioissa. Matkapuhelinverkon signaalin kattavuus laitteistolla oli lähes 99 % ja testien aikana koetellut laitteen kyvykkyudet toimivat hyvin. Laitteisto tallensi myös tiedot eri altistumisista ja missä sijainnissa suurin altistuminen oli rekisteröity. Tulokset olivat hyvin linjassa hankkeessa tehtyjen muiden hiilimonoksidimittausten kanssa ja laitteisto varoitti itse sammuttajaa ja tilannetta johtavaa henkilöä liian korkeista hiilimonoksidipitoisuuksista. Laitteisto tarjosi myös turvaa loukkaantumis- tai sairaskohtaustilanteissa, koska laite paikansi apua tarvitsevan sammuttajan ja ilmoitti onnettomuudesta. Laite toi myös selkeyttä tilannetta johtavalle, koska hän oli tietoinen missä sammuttajat liikkuvat, ja että he olivat helposti tavoitettavissa varsinkin, jos tuuli yllättäen kääntyi. Laite antoi myös mahdollisuuksia altistumisen arviointiin eri tilanteissa, koska altistumis- ja paikannustiedot ovat yhdistettävissä.

Vastaavanlaisia kyvykkyyskysymyksiä testattiin myös Airbus Defence and Space Oy laitteistolla, jossa sammuttajakohtainen tieto kerättiin taustajärjestelmään, josta se saatiin analysoinnin kautta tilannepaikan johtajan käyttöön. Järjestelmä voi olla käytössä myös tilannekeskuksessa. Järjestelmän aktiivinen seuranta tilannepaikalla on haasteellista muun johtamisen ohella, mutta sen luomat hälytykset voivat auttaa tilanteen seurannassa. Järjestelmästä tulee esimerkiksi hälytys, jos hiilimonoksidipitoisuus nousee liian korkeaksi, sammuttaja kaatuu tai on liian pitkään paikallaan. Tilannekuvaa täydennettiin nelikopterikuvalla, jonka avulla saatiin hyvä yleiskuva paloalueesta ja toisaalta voitiin tarkistaa valittuja kohteita. Nelikopterikuva välittyi saman järjestelmän kautta, joten sitä voitiin tarkastella myös esimerkiksi tilannekeskuksessa. Kommunikaatio järjestelmässä hoidettiin Erillisverkot Oy:n 5G verkossa, joka on kaupallisen 5G verkon päälle rakennettu verkkototeutus. Verkko on varattu viranomaistoimintaan ja viranomaisliikenteellä on muuta liikennettä korkeampi prioriteetti, jolloin muu liikenne ei juurikaan rajoita verkon käyttäjien kapasiteettia.

**Vastaus tavoitteeseen 5.****5. Antaa suositus sammuttajan tarvitsemista suojarusteista, heidän lämpökuormituksen ja altistumisen vähentämisestä sekä huollon järjestämisestä metsäpaloissa.****Suositus henkilökohtaisista suojarusteista metsäpaloihin**

Sammuttajan lämpökuormittumisen hallinnassa tärkeässä roolissa ovat palopuvut, joiden tulee suojata tulta ja altistavia kemikaaleja vastaan. Samalla niiden tulee kuitenkin hengittää, jotta sammuttajan iho- ja syvälämpötilat eivät nousisi liian korkeiksi ja sammuttajien hikoilu pysyisi kohtuullisissa rajoissa. Puvun tulisi myös suojata ihoa palossa syntyvältä noelta. Jotta sammuttajien ihoaltistumista saataisiin edelleen vähennettyä, pitkähihaisen ja -lahkeisen teknisen alusasun käyttäminen metsäpalopuvun alla on toimiva ratkaisu. Teknisen alusasun tehtävänä on myös siirtää hikeä ihon pinnasta pois, jolloin ihon kostumisesta ja ihon lämpenemistä johtuvaa kemikaalien ihonläpi imeytymistä voidaan vähentää. Näin ollen suositeltavin asukokonaisuus metsäpaloihin on metsäpalopuku (kumottu EN 15614:2007 ja päivitetty ISO 15384:2021) yhdistettynä tekniseen pitkälahkeiseen ja -hihaiseen alusasuun. Kevennetynkään rakennuspaloihin suunnitellun palopuvun käyttöä emme voi suositella, lisääntyneen ylävartalon palovammariskin ja ihoaltistumisen vuoksi. Usein toistuvat palovammat lisäävät haitallisten ihomuutosten riskiä ja polysyklisillä aromaattisilla hiilivedyillä likaantunut iho ja auringon valo muodostavat yhdistelmän, joka lisää ihosyövän riskiä.

Hankkeessa todettiin sammuttajan hengitysvyöhykkeellä korkeita ärsyttävien ja syöpävaarallisten yhdisteiden pitoisuuksia. Jos Sosiaali- ja Terveysministeriön asettamat haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ylittyvät, on työnantajan välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin työntekijän altistumisen vähentämiseksi. Valtaosa haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ylittäneistä altisteista voidaan poistaa sisäänhengitysilmaasta, käyttämällä puhallinavusteista hengityksensuojainta, joka on varustettu yhdistelmäsuodattimella A2B2E2K2-P3 tai vastaavalla. Fyysisessä työssä, jossa joudutaan työskentelemään kuumissa olosuhteissa, puhallinavusteinen hengityksensuojain on ainoa oikea vaihtoehto. Ärsyttävät kaasut ärsyttävät myös silmiä, jonka vuoksi hengityksensuojain on varustettava silmät suojaavalla kypäräosalla tai maskilla. Maski suojaa silmiä myös kipinöiltä ja osaan niistä on saatavilla myös suojat haitallisia UV- ja IR-säteilyjä vastaan. Hengityksensuojaimien maskeihin on saatavilla myös integroituna teollisuuskypärästandardin täyttävä kypärä (EN 397), jolloin hengityksensuojaimen maskin ja kypärän sopiminen toisiinsa on varmistettu. Suosittelemme sammuttajille puhallinavusteisia hengityksensuojaimia (luokat TH-3, TM-2 tai TM-3), jotka on varustettu yhdistelmäsuodattimilla A2B2E2K2-P3 tai vastaavilla ja silmät suojaavalla maskilla, siten että niiden paino jakaantuu muualle kuin niskan kannateltavaksi. Varoituksena on sanottava, että hengityksensuojain poistaa hengitysilmaasta ärsyttävät kaasut ja syöpävaaralliset aineet, joten savun varoittava haju poistuu hengityksensuojainta käytettäessä. Näin ollen hengityksensuojain antaa sammuttajalle vääränlaisen turvallisuudentunteen edetä metsäpaloalueelle, jossa voi olla edelleen korkeita hiilimonoksidipitoisuuksia. Valitettavasti hajutonta ja mautonta hiilimonoksidia ja keuhkoja ärsyttävää typpidioksidia ei yhdistelmäsuodatinkaan poista sisäänhengitysilmaasta. Tämän vuoksi suosittelemme sammuttajalle hiilimonoksidi-ilmaisimen käyttöä metsäpaloissa, joka varoittaa sammuttajaa korkeista hiilimonoksidipitoisuuksista.

Turhaa rasitusta välttääkseen sammuttajan muussakin suojarustuksessa tulee huomioida varustuksen keventäminen. Kypärä on metsäpaloissa välttämätön varuste ja vähimmäisvaatimus on



teollisuuskypärästandardin täytyminen (EN 397). Toivottavaa kuitenkin olisi, että käytettäisiin kevyttä pelastuskypärää, joka soveltuu tekniseen pelastamiseen ja metsäpaloihin (EN 16471/EN 16473). Sammutusjalkineeksi suositellaan keveämpiä varsikenkiä (EN 15090), jotka antavat paremman suojan nilkalle hankalassa maastossa liikuttaessa. Huonompi vaihtoehto on sammutussaapas (EN 15090) ja sitä käytettäessä riski nilkan nyrjähdykseen kasvaa sen huonomman nilkan tuen ansiosta. Palokäsineiksi suosittelemme vähintään nahkaisia työkäsineitä, joiden alla on aluskäsineet, joita vaihdetaan tarvittaessa.

Suositus lämpökuormituksen ja altistuminen vähentämisestä

Sammuttajan altistumisen ja lämpökuormittumisen vähentämistä voidaan tehdä monella eri tasolla. Tehokkaimmat keinot ovat ne, joilla vähennetään metsäpaloja ennen kuin ne ovat syttyneet tai ehtineet levitä laajoiksi. Metsäpalojen ennaltaehkäisytyö tarkoittaa väestön valistustyötä, kuinka esimerkiksi turvallisesti käsitellään avotulta, tiedottamista miten avotulen tekoon täytyy suhtautua metsäpalovaroituksen aikana ja kuinka tulee toimia, jos tuli riistäytyy käsistä. Palojen nopealla havaitsemisella voidaan sen laajentumiseen vaikuttaa merkittävästi, joka puolestaan vähentää altistumisaikaa itse sammutustyössä. Mikäli pelastuslaitoksilla on tehty oman alueensa ennakkovarautumissuunnitelma metsäpalojen varalle, on niissä mahdollista selvittää etukäteen riskialttiimmat metsäpaloalueet, mallintaa niissä palon leviämistä vallitsevilla tuulilla ja selvittää alueen vesivarannot. Yksi tärkeimmistä asioista metsäpalon sammutuksessa on reaaliaikaisen hyvän tilannekuvan saaminen, siten että se on helposti karttapohjaan linkitettyä ja siten hyvin tilannetta johtavien ymmärrettävissä. Tähän yhdistettynä viimeisimmät säätiedot, niiden ennusteet, alueen metsänhoidon ammattilaisen tiedot kasvillisuudesta ja palon leviämisenennuste niitä käyttäen, antavat merkittävästi paremmat mahdollisuudet onnistua miehistön ryhmittämisessä ja runkovesilinjan selvittämisessä maastoon sopivimmilla työmenetelmillä sekä arvioinneissa tarvittavista lisäresursseista. Vaikka hyvän tilannekuvan saaminen vie aikaa, vähentää se vääriä päätöksiä, nopeuttaa sammutustyötä ja ehkäisee joutumista hankaliin tilanteisiin, jotka vähentävät altistumista, työn rasittavuutta ja lisäävät työturvallisuutta. Hyvän tilannekuvan ansiosta parhaimman letkunselvitystekniikan valitseminen maaston muotoihin sopivalla tekniikalla, voi säästää merkittävästi aikaa ja miehistön voimavaroja. Myös maaston muotojen hyödyntäminen rajoituslinjojen teossa vähentää merkittävästi työn rasittavuutta, varsinkin jos tarvittavan rajoituslinjan sijainti pystytään hyvissä ajoin määrittelemään, ja siihen saadaan tarvittava apu lähiyrittäjiltä varautumissuunnitelmassa sovittujen sopimusehtojen mukaisesti. Konevoimalla tehty rajoituslinja maan pintakerrokset poistamalla, puusto kaatamalla ja miehittämättömillä kastelutekniikoilla tehostettuna, ovat suositeltavimpia vaihtoehtoja. Myös kemiallisia rajoitusaineita voidaan käyttää, mikäli alueen pohjavedet antavat siihen mahdollisuuden. Taktiikoista palon kärjen katkaisu ilmasammutusta hyödyntäen on sammuttajien altistumisen kannalta turvallisin vaihtoehto. Lisäksi paloalueen kaventaminen sivulta, sammuttaen tuulen yläpuolelta, vähentää sammuttajien turhaa altistumista. Lisäksi paloalueen sisäosan sammuttamista kannattaa välttää, ensisijaisesti pyritään estämään vain palon leviäminen. Palon rajaamisessa on mahdollista käyttää myös miehittämättömiä rajoituslinjaratkaisuja, jolloin ei tarvitse olla savussa tarpeettomasti altistumassa. Jos kärjen katkaisussa tai muutoin joudutaan työskentelemään tuulen alapuolella, on sammuttajien ehdottomasti käytettävä paineilmahengityksensuojaimia ja sammuttajien ja tilanteen johdon välillä on oltava saumaton viestintäyhteys sammuttajien työturvallisuuden takaamiseksi. Suurissa



metsäpaloissa jokaisella joukkueella on oltava oma työturvallisuusvastaava, jolla on viimeisin tieto palon ja säätilanteen kehittymisestä, joukkojen sijoittelusta, toimivat viestintäyhteydet oman joukkueen sammutusmiehistöön ja perätymissuunnitelmat tilanteen äkillisen muuttumisen varalle. Hän on täysin keskittynyt hoitamaan vain tätä tehtävää ja hänellä on vastuulla sammutustoiminnan työturvallisuus joukkueetasolla.

Sammuttajien huolto

Toinen ehdottoman tärkeä osa metsäpalojen sammuttamista on miehistön ja kaluston huolto. Miehistön toimintakyvyn säilyttämiseksi neste- ja ruokahuolto on elintärkeää ja sen toimimisesta on huolehdittava. Jos vesihuolto ei toimi miehistön kuivuminen johtaa toimintakyvyn menetykseen ja lopulta lämpöuupumuksen, nälkä puolestaan vähentää lihasvoimaa ja heikentää kuumen sietokykyä. Huoltoon täytyy sisältyä myös suojavarusteiden korjaukset tai huollot, kuten mahdolliset varasuojavarusteet rikkoutuneiden tilalle, akkujen lataamiset hengityksensuojaimiin, viestintävälineisiin ja GPS-paikantimiin. Tämä on erittäin tärkeää altistumisen torjumiseksi ja viestintäyhteyksien ylläpitämiseksi, joka on vaihtuvissa olosuhteissa työturvallisuuden kannalta elintärkeää. Ensihoitoyksikkö tarvitaan myös mahdollisten tapaturmien ja sairaskohtauksien varalta.

Metsäpalon savu ja sen sisältämät pienhiukkaset, ärsyttävät kaasut ja syöpävaaralliset aineet muodostavat terveysriskin sammuttajalle. Joissakin tapauksissa altistuminen voi olla jopa akuutisti hengenvaarallista. Sen vuoksi tätä päivää ovat sammuttajien biometrisia-, altistumis- ja paikannustietoja valvovat järjestelmät, jotka automaattisesti ilmoittavat sammuttajien vaaratilanteista. Lisäksi kaksisuuntainen viestiliikenne mahdollistaa sammuttajien yhteisen perääntymiskäskyn antamisen. Laitteistot antavat mahdollisuuden valvoa sammuttajien altistumista ja turvallisuutta reaaliaikaisesti ja mahdollistavat työturvallisuusvastaavan hallita joukkojaan paremmin.

Sammuttajien altistumisen vähentämisessä myös peseytymisellä ja puhtailla varusteilla on suuri merkitys. On muistettava, että sammuttajan ihoaltistuminen loppuu vasta, kun iho pestään puhtaaksi ja vaihdetaan puhtaat vaatteet ylle. Huonoin vaihtoehto on siirtyä nukkumaan likaisissa palovarusteissa ilman peseytymistä. Tämä aiheuttaa ihoaltistumisen lisäksi, nukkumatilojen likaantumisen ja varusteista vapautuville palokaasuille altistumisen myös hengityksen kautta. Näiden lisäksi likaisista varusteista epäpuhtaudet kulkeutuvat käsiin ja niistä ruokailun kautta myös ruuansulatuselimistöön. Moderneimpia kansainvälisiä ratkaisumalleja metsäpalojen sammuttajien puhdistautumiseen ovat tilannepaikalle ajettavat täysperävaunurekat. Rekoissa on suihkut, säiliöt likaisille varusteille ja niiden tilalle suihkun jälkeen puhtaat varusteet. Ne toimivat siten, että rekan toisesta päästä mennään likaisena sisään likaisissa varusteissa ja toisesta päästä tullaan peseytyneenä ulos, puhtaissa varusteissa. Keveämpiä peseytymisvaihtoehtoja ovat paloautoihin liitettävät kemikaalisuihkut, joilla voidaan peseytyä lämpimissä kesäkeleissä jo tilannepaikalla. Kuivapesuvaihtoehtona on olemassa kertakäyttökosteuspyyhkeitä, joilla voidaan pyyhkiä pahimmat epäpuhtaudet ihon pinnasta pois jo tilannepaikalla, jos muita vaihtoehtoja ei ole tarjolla.

Metsäpalojen jälkeen on usein pestävänä kilometreittäin työ- ja runkolinjaa. Lisäksi on huollettavana pumppuja ja liittimiä sekä muita metsäpaloissa käytettäviä varusteita. Metsäpalosammutusvarusteiden pesussa ja huollossa tulee myös huomioida henkilökohtaiset



suojavarusteet ja käyttää uusinta tekniikkaa letkujenpesussa, tarpeettoman altistumisen vähentämiseksi.

Vastaus tavoitteeseen 6.

Tuottaa suositus pelastuslaitosten varautumisesta, avun vastaanottamisesta, metsäpaloissa käytettävistä sammutustekniikoista ja työvälineistä.

Kesän 2021 suuri maastopalo Kalajoella osoitti, että maassamme voi hyvin syttyä maastopaloja, joissa alueen pelastustoimen resurssit eivät riitä palon sammuttamiseen, vaan apua tarvitaan muilta pelastuslaitoksilta. Kyseisessä palossa apua myös saatiin ja palo saatiin sammutettua, mutta sen jälkikäteinen tarkastelu on osoittanut, että resurssit olivat tiukalla (SSPL, 2020). Tulevaisuudessa on varauduttava vastaavaan maastopaloaktiivisuuteen ja siihen, että syttyy usea isompi maastopalo yhtä aikaa.

Suomen Sopimuspalokuntien Liiton Sopimuspalokuntabarometrissa kysymykseen "Saadaanko palokuntiin tulevaisuudessa riittävästi hälytyskelpoisia jäseniä?" vain 26,9 prosenttia vastanneista vastasi myönteisesti ja luku oli yli kaksi prosenttiyksikköä pienempi kuin aiempi vuoden 2017 vastaava luku (SSPL, 2020). Samainen barometri kertoi vastaajista lähes puolen olleen mukana toiminnassa yli 20 vuotta, mikä kyllä kuvastaa myös ikäjakaumaa ja kielii tekijöiden ikääntymisestä. Sopimushenkilöstön ikääntyminen samoin kuin palokuntalaisten määrän väheneminen etenkin pienillä paikkakunnilla on todettu myös muun muassa Sisäministeriön raportissa (Sisäministeriö 2021). Henkilöstön riittävyys suurissa maastopaloissa on haaste, jossa sopimuspalokuntalaisilla on erityisen suuri rooli. Usean yhdenaikaisen suuren maastopalon skenaariossa resurssipula tulee korostumaan ja on varauduttava tilanteisiin, joissa henkilöstöä ei ole riittävästi saatavilla.

Suomessa tehdään vuosittain jokin verran metsänhoidollisia kulutuksia, joiden tavoitteena on sekä metsän uudistaminen, että luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen. Kulutusmääriä ja sen vuoksi myös kulutusosaamista on viime aikoina pyritty lisäämään Metsäkeskuksen kulotuskoululla (Metsäkeskus, 2022).

Useissa maissa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa kulutuksia tehdään myös maastopalojen ennalta ehkäisemisen vuoksi. Tällaisten kulotusten tavoitteena on vähentää riskialueiden palokuormaa. Hyviä kokemuksia ennalta ehkäisevistä poltoista on saatu myös Norjassa tehdyssä Dynamic hankkeessa (Gjedrem ja Log, 2020).

Suomessa tällaisten paloja ehkäisevien kulotusten tekeminen metsien määrä huomioiden vaikuttaa mahdottomalta, mutta voi olla harkitsemisen arvoista joissain erityiskohteissa. Suuremman hyödyn kulutusosaamisesta voisi saada tulen käytön valjastamisesta palojen sammutustoiminnan osana. Muun muassa Pohjois-Amerikassa hallittu polttaminen on olennainen osa palojen sammuttamista sekä palon hallintaa (CTIF, 2019). Polttolinjoja on tehty jopa tarkoitusta varten kehitetyllä RPAS kalustolla (Patterson, 2021).

Tilanteissa, joissa sammuttaminen ei ole mahdollista, voi harkita hallitun vastatulen käyttöä. Tekniikasta on kokemuksia metsänhoidollisista kulutuksista ja sitä voidaan samassa yhteydessä myös harjoitella. Kulotustekniikka on kehittynyt aiemmin käytetystä hevosenkenkämallista rintamasytytystekniikkaan, jossa tulen annetaan levitä hallitusti vastatuuleen tai alamäkeen. Samaa



mallia voitaisiin harkita käytettävän maastopalojen yhteydessä. Luonnollisesti tämä vaatisi menetelmän kehittämistä ja siihen liittyvän koulutuksen tuomista osaksi pelastustoimen koulutusta.



12 Suositukset

1. Pelastuslaitoksilla täytyy olla torjuntasuunnitelma oman alueensa riskialttiimpiin metsäpalokohteisiin.

2. Metsäpalojen torjuntaa on säännöllisesti harjoitettava. Harjoitusten on katettava työturvallisuuden, kaluston, maastonluvun, tilannekuvan selvittämisen, avun vastaanoton, erilaisten sammutustaktiikkojen ja -tekniikkojen sekä huollon opetusta ja kertausta.

3. Sammuttajille suosittelemme vähemmän lämpökuormittavia ja paremmin ihoaltistumiselta suojaavia metsäpalopukuja, joiden alla on pitkähihaiset ja -lahkeiset tekniset alusvaatteet. Suojavarusteet täydennetään puhallinavusteisilla hengityksensuojaimilla, jotka ovat varustettu yhdistelmäsuodattimella ja silmät suojaavalla kasvo-osalla. Koska yhdistelmäsuodatinkaan ei poista hengitysilmaasta hiilimonoksidia on hiilimonoksidi-ilmaisimen käyttö suositeltavaa, joka varoittaa sammuttajaa liian korkeista hiilimonoksidipitoisuuksista. Kevyt pelastuskypärä vähentää niskan rasitusta ja varsikengät puolestaan vähentävät nilkannyrjähdyksiä. Nahkaisilla työkasineillä vähennetään käsien kautta tulevaa altistumista.

4. Sammuttajien toimintakyvyn ja työturvallisuuden varmistamiseksi on järjestettävä riittävä miehistön ja suojavarusteiden huolto. Miehistön toimintakyvyn säilyttämiseksi neste- ja ruokahuolto on elintärkeä. Huoltoon täytyy sisältyä myös suojavarusteiden korjaukset tai huollot, kuten varasuojavarusteet, akkujen lataamiset hengityksensuojaimiin, viestintävälineisiin ja GPS-paikantimiin. Ensihoitoyksikkö tarvitaan myös mahdollisten tapaturmien ja sairaskohtauksien varalta. Sammuttajien altistumisen vähentämisessä myös peseytymisellä ja puhtailla varusteilla on suuri merkitys. On muistettava, että sammuttajan ihoaltistuminen loppuu vasta, kun iho pestään puhtaaksi ja vaihdetaan puhtaat vaatteet ylle. Moderneimpia kansainvälisiä ratkaisumalleja metsäpalojen sammuttajien puhdistautumiseen ovat tilannepaikalle ajettavat täysperävaunurekat. Keveämpiä peseytymisvaihtoehtoja ovat paloautoihin liitettävät kemikaalisuihkut. Kuivapesuvaihtoehtona on olemassa kertakäyttökosteuspyyhkeitä, joilla voidaan pyyhkiä pahimmat epäpuhtaudet ihon pinnasta pois jo tilannepaikalla, jos muita vaihtoehtoja ei ole tarjolla.

5. Sammuttajien työkykyisyyden, altistumisen ja sijainnin seurantaan kannattaa myös panostaa. Vaarallinen sammutustyö ja palon savu ja sen sisältämät pienhiukkaset, ärsyttävät kaasut ja syöpävaaralliset aineet muodostavat työterveysriskejä sammuttajalle. Joissakin tapauksissa kaatuminen, pyörtyminen tai altistuminen voi olla jopa akuutisti hengenvaarallista. Sen vuoksi sammuttajille tarvitaan biometrisia-, altistumis- ja paikannustietoja valvovia järjestelmiä, jotka automaattisesti ilmoittavat sammuttajien vaaratilanteista. Lisäksi kaksisuuntainen viestiliikenne mahdollistaa sammuttajien yhteisen perääntymiskäskyn antamisen. Laitteistot antavat



mahdollisuuden valvoa sammuttajien altistumista ja turvallisuutta reaaliaikaisesti ja mahdollistavat työturvallisuusvastaavan hallita joukkojaan paremmin.

6. Suositeltavimmat työvälineet- ja työtekniikat määräytyvät tilanteen mukaan. Reaaliaikainen ja viimeisimmät säätiedot sekä ennusteet sisältävä tilannekuva palon leviämisen ennustamiseen, antaa merkittävästi paremmat mahdollisuudet onnistua miehistön ryhmittämisessä, runkovesilinjan selvittämisessä maastoon sopivimmilla työmenetelmillä ja tarvittavien lisäresurssien arviointia. Tehokkuuden lisäyksellä voidaan nopeuttaa sammutustyötä, joka yleensä vähentää tehtävään käytettävää aikaa, parempi tilannekuva ehkäisee joutumista hankaliin tilanteisiin ja työn rasittavuus ja altistuminen vähenevät samalla kuin työturvallisuus paranee. Rajoituslinjojen teossa konevoimasta, kuten kaivinkoneista, traktoreista ja metsäkoneista on suuri apu. Myös kemialliset rajoitusaineet, levitettyinä lietevaunuilla, sammutusperävaunuilla tai modifioituilla metsäkoneilla keventävät sammuttajien rasitusta. Taktiikoista palon kärjen katkaisu ja paloalueen kaventaminen sivulta vähentävät altistumista, varsinkin jos paloalueen sisäosan annetaan palaa ja pyritään estämään vain palon leviäminen. Sammuttamista tuulen yläpuolelta on altistumisen vähentämiseksi suosittava. Palon rajaamisessa on mahdollista käyttää myös miehittämättömiä rajoituslinjaratkaisuja. Metsäpalorintaman kärjen katkaisussa on altistumisen näkökulmasta järkevää käyttää ilmasammutusta, rakentaa rajoituslinjoja kaivinkoneilla tai levittämällä kemiallista rajoitusainetta alueille, joissa alueen pohjavedet antavan siihen mahdollisuuden. Lisäksi modifioituja metsäkoneita ja sammutusperävaunuja voidaan käyttää sammutuksessa, mutta niissä on syytä olla myös ohjaamon raitisilmasuodattimet kunnossa tai kuljettajalla paineilma hengityksensuojain. Työskenneltäessä tuulen alapuolella, on sammuttajien ehdottomasti käytettävä paineilmalaitteita ja sammuttajien ja tilanteen johdon välillä on oltava saumaton viestintäyhteys työturvallisuuden takaamiseksi. Metsäpalosammutusvarusteiden pesussa tulee myös huomioida henkilökohtaiset suojavarusteet ja käyttää uusinta tekniikkaa esimerkiksi letkujen pesussa automaattipesureita, tarpeettoman altistumisen vähentämiseksi.



Kirjallisuuslähteet

Adetona O., Reinhardt T., Domitrovich J., Broyles G., Adetona A., Kleinman M., Ottmar r., Naeher L. (2016). Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhal Toxicol* 28(3):95-139.

Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whitt, M.C., Irwin, M.L., Swartz, A.N., Strath S.J., O'Brien, W.L., Bassett, D.R., Schmitz, K.H., Emplaincourt, P.O., Jacobs, D.R. & Leon, A.S. (2000). Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*.

Akagi s., Yokelson R.J., Burling I.R., ym. (2013) Measurement of reaktive trace gases and variable of formation rates in some South Caroline biomass burning plumes. *Atmosph Chem Phys* 13:1141-65.

Alakokko V. (2021). Savusukellusopas. Pelastusopisto, Oppimateriaali A. 2. uudistettu painos. ISBN 978-952-7217-43-6 (nid.) ISBN 978-952-7217-44-3 (pdf). ISSN 1795-9152 (nid.) ISSN 2343-435X (pdf). Pelastusopisto. 124 sivua

Alves C., Goncalves C., Evtyugina M., ym. (2010a). Particulate organic compounds emitted from experimentel wildland fires in a Mediterranean ecosystem. *Atmos Environ* 44:2750-9.

Alves C., Concalves C., Pio C ym. (2010b). Smoke emissions from biomass burning in a Mediterranean shrubland. *Atmos Environ* 44:3024-3033.

Aurell MA., and Gullett BK. (2013). Emission factors from aerial and ground measurement of field and laboratory forest burns in the southeastern US:PM2,5, black and brown carbon, voc, and pcdd/pcdf. *Environ Sci Technol* 47:8443-52.

AVI (2022). Lentotähystys <https://avi.fi/asioi/yritys-tai-yhteiso/ohjaus-ja-neuvonta/metsapalojen-lentotahystys>

Barboni T., Cannac M., Pasqualini V., ym. (2010). Volatile and semi-volatile organic compounds in smoke exposure of firefighters during prescribed burning in the Mediterranean region, *Int J Wildland Fire* 19:606-12.

Barboni T., ja Chiaramonti N. (2010). BTEX emissions during prescribed burning in factions of combustion stage and distance from flame front. *Combust Sci Technol* 182:1193-200.

Barregard L., Sällsten G., Gustafson P., ym. (2006). Experimental exposure to wood-smoke particles in healthy humans: effects on markers of inflammation, coagulation, and lipid peroxidation. *Inhal Toxicol* 18:845-53.

Bein K., Leikauf GD. (2011). Acrolein- a pulmonary hazard. *Mol nutr Food Res* 55:1342-60.

Bedia, J., Herrera, S., Camia, A., ym. (2014). Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Clim Change* 122:186-199.

Benitez M. (2018). Shocking wildfires into submission: A proposal. Texas National Security Review. <https://warontherocks.com/2018/08/shocking-wildfires-into-submission-a-proposal/>



Bieniek, G. (1997). Urinary naphthols as an indicator of exposure to naphthalene. *Scand. Journal of Work Environment and Health* 23, 414–420.

Black RR., Meyer CP., Touati A., ym. (2011). Emission of PCDD and PCDF from combustion of forest fuels and sugarcane: a comparison between field measurements and simulation in a laboratory burn facility. *Chemosphere* 83:1331-8.

Bolling AK., Pagels J., Yttri KE., ym. (2009). Health effects of residential wood smoke particle properties. *Part Fibre Toxicol* 6:20.

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.

Booze TF., Reinhardt TE., Quiring SJ., Ottmar RD. (2004). A screening-level assessment of the health risks of chronic smoke exposure for wildland firefighters. *J Occup Environ Hyg.* 1:296-305.

Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales, Human Kinetics, Champaign IL, USA. 1998.

Bouchard, M., Viau, C., 1999. Urinary 1-hydroxypyrene as a biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Biological monitoring strategies and methodology for determining biological exposure indices for various work environments. *Biomarkers* 4 (3), 159–187.

Burgess JL, Brodtkin CA, Daniell WE, Pappas GP, Keifer MC, Stover BD, Edland SD, Barnhart S. 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.

Burling I., Yokelson RJ., Griffith DW, ym. (2010). Laboratory measurement of trace gas emissions from biomass burning of fuel types from the southeastern and southwestern United states. *Atmosph Chem Phys* 10:11115-30.

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

Chakrabarty RK., Moosmyller H., Garro MA., ym. (2006). Emissions from the laboratory combustion of wildland fuels: particle morphology and size. *J Geophys Res: Atmospheres* 111:D07204

Charland AM. (2012). Doppler Wind Lidar Observations of a Wildland Fire Plume. Master's Theses and Graduate Research. San Jose State University. https://scholarworks.sjsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=7737&context=etd_theses

Commandore AA., Jannik GT., Eddy TP., ym. (2012). Radioactivity in smoke particles from prescribed burns at the Savannah River Site and at selected southeastern US forests. *Atmos Environ* 54:643-56.

CTIF (2019). Prevention & Control: Using back fire to combat wildfire. <https://www.ctif.org/news/prevention-control-using-back-fire-combat-wildfire>



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.

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

Delfino RJ., Brummel s., Wu J., ym. (2008). The relationship pf respiratory and cardiovascular hospital admissions to the southern California Wildfires of 2003. *Occup Environ med.* 66:189-97.

Domitrovich J., Broyles GA., Ottmar RD., Reinhardt TE, Naeher LP, Kleinman MT, Navarro KM, Mackay CE, Adetona O. (2017). Wildland fire smoke health effects on wildland firefighters and the public. Final Report JFSP Project ID:13-1-02.14, June 2017. <https://wildfiretoday.com/documents/FirefighterSmokeHealthRisk.pdf>

EN 167:2001 Personal eye-protection - Optical test methods

EN 397+A1:2012 Industrial safety helmets

EN 12492 Mountaineering equipment - Helmets for mountaineers - Safety requirements and test methods

EN 14052+A1:2012 High performance industrial helmets

EN 15614:2007 Olennaiset suojausvaatimukset tulelta ja kuumuudelta maasto- ja metsäpalojen sammutuksessa

EN 16471:2015 - Firefighters helmets - Helmets for wildland fire fighting

EN 16473:2015 Firefighters helmets - Helmets for technical rescue

Evtugina M., Calvo Al., Nunes T., ym. (2013). VOC emissions of smouldering combustion from Mediterranean wildfires in central Portugal. *Atmos Environ* 64:339-48.

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

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

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



Fine PM., Cass GR., Simoneit BR. (2004a) Chemical characterization of fine particles emissions from the fireplace combustion of wood types grow in the midwestern and western United States. *Environ Eng Sci* 21:387-409.

Fine PM., Cass GR., Simoneit BR. (2004b) Chemical characterization of fine particles emissions from the wood stove combustion of prevalent United States tree species. *Environ Eng Sci* 21:705-21.

Galbraith d., Gross SA., Paustembach D. (2010). Benzene and human health: a historical review and appraisal of associations with various diseases. *Crit Rev Toxicol* 40:1-46.

Gaskill SE., Fascm PC., Spear A., ym. (2010). Carboxyhemoglobin values in wildland firefighters. *Med Sci Sports Exerc* 52:769.

Gist GL., ja Burg JR. (1997). Benzene- a review of the literature from a health effects perspective. *Toxicol Ind health* 13:661-714.

Gjedrem AM., ja Log T. (2020). Study of Heathland Succession, Prescribed Burning, and Future Perspectives at Kringsjå, Norway. *Land*, 9(12), 485:1-28. <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/12/485/pdf>

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

Hakkarainen P. (2018). Metsäautotiet, metsänhoitotapa ja palolennot- siinä syitä Suomen maltillisiin metsäpaloihin. Kotimaa 20.11.2018. <https://www.kaleva.fi/uutiset/kotimaa/metsaautotiet-metsanhoitotapa-ja-palolennot-siina-syita-suomen-maltillisiin-metsapaloihin/810593/#anchor-for-comments>

Hassinen M., Jäntti J., Veneskari T. (2018). Perusoperaatiomallit pelastustoiminnan rps operaatioihin. <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/PERUSOPERAATIOMALLIT-PELASTUSTOIMINNAN-RPAS-OPERAATIOIHIN.pdf>

Haverinen M. (2018) Ruotsin metsäpalot. Kokemuksia kesän 2018 "Ruotsin keikasta" ja mitä opittiin? Oulu-Koillismaan Pelastuslaitos. 23.11.2018. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=2ahUKEwjw-dWTxcvmAhULy6YKHf2XAZ4QFjAJegQIChAC&url=http%3A%2F%2Fwww.pelastustoimi.fi%2Fdownload%2F76637_8_Mita_opittiin_Haverinen.pptx%3Fc2612b096e54d688&usg=AOvVaw2HKmPXmUKQq8tePRMID6hb

Holm S. (2015). Opinnäytetyö: Maastopaloissa käytettävä kalusto. Palopäällystön koulutusohjelma Savonia Ammattikorkeakoulu Tekniikka, Kuopio 10.5.2015.

Hostikka S., Kling T., Vaari J., Rinne T., Ketola J. (2012) Pelastustoimen vasteen simulointi suurpalossa. Sireeni-projektin tulokset. Rinne & Johannes Ketola. Espoo 2012. VTT Technology 61. 77 s. + liitteet 13 s. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T61.pdf>

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



Ilmarinen R., Järvenpää M., Korhonen O., Lindholm H., Lindqvist-Virkamäki S., Louhevaara V. & Mäkinen H. (1994). Palomies kuumassa. Työterveyslaitoksen koulutusjulkaisu. Painotalo Miktor, Helsinki.

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.
<https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20180821-IFV-Exposure-to-smoke.pdf>

ISO 6530 (2005). Protective clothing — Protection against liquid chemicals — Test method for resistance of materials to penetration by liquids

ISO 6942 (2015). Protective clothing — Protection against heat and fire — Method of test: Evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat

ISO 7243, 1989. Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature), Geneva. International Standards Organisation

ISO 9886. (1992). Evaluation of thermal strain by physiological measurements.

ISO 10551 (1995) Ergonomics of the thermal environment. Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. International Organization for Standardization.

ISO 11092 (2014) Textiles — Physiological effects — Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)

ISO 13934 (2018) Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method

ISO 13935-2 (2020) Textiles — Seam tensile properties of fabrics and made-up textile articles — Part 2: Determination of maximum force to seam rupture using the grab method

ISO 13937-2 (2017). Textiles — Tear properties of fabrics — Part 2: Determination of tear force of trouser-shaped test specimens (Single tear method)

ISO 15384:2018/AMD1:2021 Protective clothing for firefighters — Laboratory test methods and performance requirements for wildland firefighting clothing

ISO 16000-6 (2004) Standard Indoor air — Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID.

ISO 17493 (2016) Clothing and equipment for protection against heat — Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven.

ISO 20471 (2018). High visibility clothing — Test methods and requirements

Jansen KL., Larson TV, Koenig JQ., ym. (2005). Associations between health effects and particulate matter and black carbon in subjects with respiratory disease. Environ Health Perspect 113:1741-6.



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

Jussila K, Laitinen S, Mäkelä E. (2020). Henkilösuojainten ja suojavaatteiden valinta. Kirjassa Vuokko, A., Punakallio, A., Paajanen, T., Lusa, S. (2020) Pelastusalan työterveysseuranta -yhteistyö ja käytännöt. ISBN 978-952-261-862-7 (pdf). Työterveyslaitos, Helsinki. s. 173-186.

Kainuun Prikaati (2021). Selvitys Bonsoguard sammutuskemikaalien ominaisuuksista ja käytettävyydestä (MR24197). Kainuun Prikaatin Esikunta, Kajaani 2.12.2021.

Keyword, M., Kanakidou, M., Stohl, A., ym. (2013). Fire in the air: biomass burning impacts in a changing climate. *Crit Rev Environ Sci Technol* 43:40-83.

Kolstela J. (2020). Metsäpalon leviämisen mallintaminen Suomessa. ItäSuomen yliopisto, Historia- ja maantieteiden laitos. Pro Gradu tutkielma. Huhtikuu 2020.: https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/22919/urn_nbn_fi_uef-20200874.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

Kurvinen, M. (2021a). Metsäpalojen lentotähystys ohje 2021, Pohjois-Suomen aluehallintovirasto. 4.2.2021.

Kurvinen, M. (2021b). Metsäpalojen lentotähystys raportti 2021, Pohjois-Suomen aluehallintovirasto. 29.10.2021.

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

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

Laitinen, J., 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>

Lee S., Baumann K., Schauer JJ., ym. (2005). Gaseous and particulate emissions from prescribed burning in Georgia. *Environ Sci Technol* 39:9049-56.

LeMasters, G.K., Genaidy, A.M., Succop, P., Deddens, J., Sobeih, 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

Lindberg H., Heikkilä T.V., Vanha-Majamaa I. (2011). Suomen metsien paloainekset-kohti parempaa tulen hallintaa. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. <https://www.metsakeskus.fi/sv/node/3923>



Lindholm, H. 2010. Fyysisen työ- ja toimintakyvyn arviointi menetelmä työterveyshuollossa. <https://docplayer.fi/17639450-Fyysisen-tyo-ja-toimintakyvyn-arviointimenetelmat-tyoterveyshuollossa-harri-lindholm-erikoislaakari-tyoterveyslaitos.html>

Liu Y., Goodrick SL, Stanturf JA (2013). Future US wildland potential trends projected using adynamically downscaled climate change scenario. *Fores Ecol Manage* 294:120-135.

Maa- ja metsätalousministeriö, Sisäministeriö (2019). Tiedote 27.3.2019. Varautumista metsäpaloihin tehostetaan. https://intermin.fi/artikkeli/-/asset_publisher/1410837/varautumista-metsapaloihin-tehostetaan

Materna, B.L., Jones, J.R., Sutton, P.M., Rothman, N., Harrison, R.J. (1992). Occupational exposures in California wildland fire fighting. *American Industrial Hygiene Association Journal* 53 (1), 69–76.

Mendes M, Silveira J, Andre L. (2017). An efficient analytical method for determination of S-phenylmercapturic acid in urine by HPLC fluorimetric detector to assessing benzene exposure. *Journal of Chromatography B. Vol 1063*:136-140.

Metsäkeskus (2019). Metsäpalojen leviämisen ennustamisväline -Mellvä. <https://www.metsakeskus.fi/sv/node/3923>

Metsäkeskus 2020. Kulutusopas. ISBN 978-952-283-072-2, nid.2. painos, iPrint Seinäjoki, 2020.

Metsäkeskus (2021). Maastopalojen leviämismallit ja jalostettu metsävaratieto osana pelastustoimen tilannekuvan muodostamista – MAST. <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/mast>

Metsäkeskus (2022). Kulotuskoulu. <https://www.metsakeskus.fi/en/node/1047>

Metsäkeskus (2022). Maastopalojen riski- ja torjuntakarttojen skaalaus- MARISKA. <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/mariska>

Miranda AI., Martins V., Cascao P., ym. (2012). Wildland smoke exposure values and exhaled breath indicators in firefighters. *J Toxicol Environ Health Part A* 75:451-9.

Naeher LP., Brauer M., Lipsett M., ym. (2007). Woodsmoke health effects: a review. *Inhal Toxicol* 19:67-106.

Nichols JL., Owens EO., Dutton SJ., Luben TJ. (2013). Systematic review of the effects of carbon on cardiovascular disease among individuals with pre-existing disease. *Int J Public health* 58:707-24.

Pavanello, S., Genova, A., Foa, V., Clonfero, E., 2000. Assessment of occupational exposure to aromatic polycyclic hydrocarbons determining urinary levels 1-pyrenol. *La Medicina del Lavoro* 91 (3), 192–205.

Patterson T. (2021). Drones Take Their Place on the Cutting Edge of Wildfire Fighting. <https://www.flyingmag.com/drones-wildfire-fighting/>

Pirkanmaan Pelastuslaitos (2018). Metsäpalojen torjuntasuunnitelma, Pirkanmaan Pelastuslaitos. <http://tampere.cloudnc.fi/download/noname/%7B19142730-3552-41eb-9b2d-121d2c111b62%7D/2465898>



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.

Pudas E., ja Laitinen S. (2018). RPAS-laitteiden käyttömahdollisuudet pelastustoiminnassa. <https://www.theseus.fi/handle/10024/153815>

Pullinen P., Heiskanen J., Siekkinen K. (2017). Liikkuva koulu, kestävyyskunto, terveys ja työkyky. https://liikkuvakoulu.fi/sites/default/files/kestavyyskunto_terveys_tyokyky_0.pdf

Purtonen H. (2021). Varaudutaan siihen, mitä vielä ei tunneta. <https://www.valtiolla.fi/varaudutaan-siihen-mita-viela-ei-tunneta/>

Pyy, L., Mäkelä, M., Hakala, E., Kakko, K., Lapinlampi, T., Lisko, A., Yrjänheikki, E., Vähäkangas, K., 1997. Ambient and biological monitoring of exposure polycyclic aromatic hydrocarbons at a cooking plant. *Science of the Total Environment* 199, 151–158.

Rajamedia (2021). Tulimyrskyn silmässä- Rajan kopterit tukevat metsäpalojen sammutustöitä. <https://rajamedia.raja.fi/-/tulimyrskyn-silmassa-rajan-kopterit-tukevat-metsapalojen-sammutustoita>

Raub J. (1999). Carbon monoxide. Geneva, Switzerland: World health Organization.

Raub JA., Mathieu-Nolf M., Hampson NB., Thom SR. (2000). Carbon monoxide poisoning. a public health perspective. *Toxicology* 145:1-14.

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

Reisen F., Hansen D., Meyer CM., (2011). Exposure to bushfire smoke during prescribed burns and wildfires: firefighters' exposure risks and options. *Environ Int* 37:314-21.

Rissanen S. (2020). Poikkeavat lämpöolot. Kirjassa Vuokko, A., Punakallio, A., Paaanen, T., Lusa, S. (2020) Pelastusalan työterveysseuranta -yhteistyö ja käytännöt. ISBN 978-952-261-862-7 (pdf). Työterveyslaitos, Helsinki. s. 36-46.

Ruuska R. (2020). Suomen Maasto- ja metsäpalojen torjuntajärjestelmän kehittäminen. Case vertailu Suomen ja Ruotsin järjestelmistä. Diplomityö. Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto LUT. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161949/Diplomity%C3%B6%20\(Ruuska%202020\).pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161949/Diplomity%C3%B6%20(Ruuska%202020).pdf?sequence=1)

Samoli E., Aga E., Touloumi G., ym. (2006). Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Eur Respir J* 27:1129-38.

SFS-EN 136 + AC:1998. Respiratory protective devices. Full face masks. Requirements, testing, marking.

SFS-EN 137:2007. Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask. Requirements, testing, marking.



SFS-EN 149 + A1:2009. Hengityksensuojaimet. Hiukkasilta suojaavat suodattavat puolinaamarit. Vaatimukset, testaus, merkintä

SFS-EN 166 Henkilökohtainen silmiensuojaus. Vaatimukset.

SFS-EN 443:2008. Helmets for firefighting in buildings and other structures.

SFS-EN 469:2006. Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighting.

SFS-EN 659 + A1:2008. Protective gloves for firefighters.

SFS-EN 15025:2000. Suojavaatteet- Suojaus lämpöä ja liekkiä vastaan. Testimenetelmä liekin leviämisen rajoittamiseksi.

SFS-EN 15090:2012. Footwear for firefighters.

SSPL (2020). Sopimuspalokuntabarometri 2020. Suomen Sopimuspalokuntien Liiton julkaisusarja, sarja B:7/2021. https://sspl.fi/images/OPASPANKKI/2021/SSPL_barometri_2020_small.pdf

STM (2020). HTP-arvot 2020, haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2020:24. Sosiaali- ja terveysministeriö 2020, Helsinki.

Sisäministeriö (2018). Tiedote 86/2018 Suomi lähettää noin 30 henkilöä ja kalustoa avuksi Ruotsin metsäpalojen sammuttamiseen. 27.7.2018. https://intermin.fi/artikkeli/-/asset_publisher/suomi-lahettaa-noin-30-henkiloa-ja-kalustoa-avuksi-ruotsin-metsapalojen-sammuttamiseen

Sisäministeriö (2018). Sisäministeriön asetus 1363/2018 pelastustoimen suunnitelmista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181363>

Sisäministeriö (2021). Sopimuspalomiehen loukkaantuminen rakennuspalossa Kerimäellä 1.5.2021 Tutkintalautakunnanraportti. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163708/SM_2021_41.pdf

Soisalo J. (2021). Metsäpalojen tähyystoiminnan arviointi ja kehittäminen. Diplomityö Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta.

SPEK (2021). Kalajoen metsäpalokysely. <https://www.palokuntaan.fi/uutiset/kalajoen-maastopalosta-kerataan-oppeja-tulevaan>

Stephens SL, Ruth LW. (2005). Federal forest-fire policy in the United States. Ecol Appl 15:532-542.

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

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



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

Telia (2021). Telia ja pelastusopisto valjastivat 5G:n metsäpalojen torjuntaan. <https://www.telia.fi/telia-yrityksena/medialle/epress?articleId=1a1e5703-7658-4b47-86cf-342f5dd07980>

Touger M., Birnbaum A., Wang J., Chou K., Pearson D., Bijur P. (2010) Performance of the RAD-57 Pulse Co-Oximeter Compared with Standard Laboratory Carboxyhemoglobin measurements. *Annals of Emergency Medicine*. 56(4):382-388.

Towey C., Easton C., Simpson R., Pedlar C. (2017) Conventional and novel body temperature measurement during rest and exercise induced hyperthermia. *J Therm Biol*. 63:124-130. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.11.010.

TTL (2021). Biomonitorointipalvelut Työterveyslaitoksella, Näytteenotto-ohjeet ja tulosten tulkinta. <https://www.ttl.fi/palvelut/laboratoriopalvelut/naytteenotto-ohjeet?ss=&category=1644>

Tuomi T. (2012). haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten ympäristöjen yleisilmassa. Työterveyslaitos, Helsinki. <https://docplayer.fi/7375149-Haihtuvien-orgaanisten-yhdisteiden-kokonaispitoisuuden-tvoc-tavoitetasot-teollisten-tyoymparistojen-yleisilmassa.html>

Työturvallisuuskeskus (2018). Ajettavien pienkoneiden turvallisuusisija: Työturvallisuuskeskus, ISBN 978-951-810-665-7 (nid.), ISBN 978-951-810-666-4 (pdf). https://ttk.fi/files/6371/Ajettavien_pientyokoneiden_turvallisuus_201801.pdf

Urbanski S. (2014). Wildland fire emissions, carbon, and climate: emission factors. *For Ecol Manage* 317:51-60.

van Marken Lichtenbelt WD, Daanen HA, Wouters L, Fronczek R, Raymann RJ, Severens NM, Van Someren EJ. (2006) Evaluation of wireless determination of skin temperature using iButtons. *Physiol Behav*. 30;88(4-5):489-97.

Wikipedia (2022). Fire Shelter. https://en.wikipedia.org/wiki/Fire_shelter

WHO. (2006). Air quality guidelines: Global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide. Geneva: World Health Organization

Vuokko A., Punakallio A., Paaanen T., Lusa S. (2020). Pelastusalan työterveysseuranta -yhteistyö ja käytännöt. ISBN 978-952-261-862-7 (pdf). Työterveyslaitos, Helsinki. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/140128/TTL_978-952-261-862-7.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Liitteet

Liite 1. Lämpö-, rasittuneisuus- ja käyttömukavuuskyselytaulukot



Liite 1. (1/2) Lämpö-, rasittuneisuus- ja käyttömukavuuskyselytaulukot

Lämpötuntemus

4	HYVIN KUUMA
3	KUUMA
2	LÄMMIN
1	HIEMAN LÄMMIN
0	NEUTRAALI
-1	HIEMAN VIILEÄ
-2	VIILEÄ
-3	KYLMÄ

Kuormittuneisuus RPE

6	EI RASITUSTA
7	ERITTÄIN KEVYT
8	
9	HYVIN KEVYT
10	
11	KEVYT
12	
13	HIEMAN RASITTAVA
14	
15	RASITTAVA
16	
17	HYVIN RASITTAVA
18	
19	ERITTÄIN RASITTAVA
20	MAKSIMAALINEN RASITUS



Liite 1. (2/2) Lämpö-, rasittuneisuus- ja käyttömukavuuskyselytaulukot

Käyttömukavuus

3	Hyvin helppo liikkua tai miellyttävä
2	
1	
0	Neutraali
-1	
-2	
-3	Hyvin vaikea liikkua tai epämiellyttävä



PELASTUSOPISTO