



PELASTUSOPISTO

Palokuntalaisten altistuminen

Juha Laitinen, erikoistutkija

Pelastusopisto

Tutkimus-, kehittämis- ja
innovaatiopalvelut



EDUSKUNTA
RIKSDAGEN

PSR

PALOSUOJELURAHASTO

PELASTUSOPISTO.FI | 28.4.2024



Kuva: Juha Laitinen

Palokuntalaisten opintopäivät 2024, Rokua



Esityksen sisältö

1. Yleistä lämpökuormittumisesta
 - 1.1. Laboratoriotestit
 - 1.2. Testit metsässä
 - 1.3. Testit metsäpaloradalla
2. Yleistä kemiallisesta altistumisesta
 - 2.1. Hengitystiealtistuminen
 - 2.2. Ihoaltistuminen
 - 2.3. Kokonaisaltistuminen
3. Suojavarusteet
4. Parannusehdotukset
5. Varusteiden puhdistuminen erilaisissa pesuissa
6. Lisätietoja



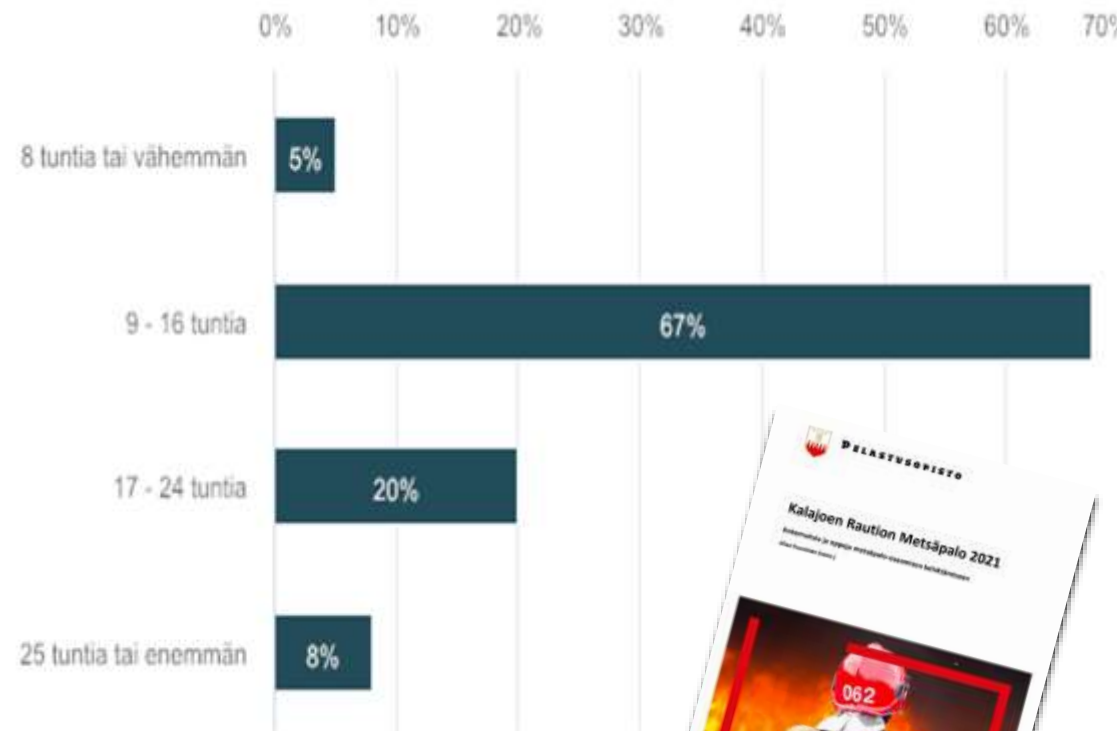
Kuva: Juha Laitinen



1. Metsäpalotyön kuormittavuus

- ❖ Metsäpalotyön kuormittuneisuustaso 9-13 MET:iä
- ❖ Työn kuormittavuutta lisää metsäpalon säteilylämpötila, ulkoilman lämpötila ja suojarusteet
- ❖ Voimakas hienmuodostus
- ❖ Nestevajaus, joka heikentää suorituksia, joissa tarvitaan keskittymiskykyä, tarkkaavaisuutta ja lihasvoimaa
- ❖ Lämpöuupumus

Pisimmät työvuorot Kalajoella





1.1 Testit laboratoriossa (WP1)

- ❑ Neljä koehenkilöä testasi neljää palopukua neljässä tunnin lämpökuormitustestissä (tiedustelu ja letkuselvitys helpossa ja vaativassa maastossa, sammutus sekä kaluston keräys ja lopputiedustelu).
- ❑ Testejä harjoiteltiin etukäteen ja palopukujen testausjärjestys harmonisoitiin, jotta testeissä välttyttäisiin testiradan oppimisesta aiheutuvasta virheestä tuloksiin.
- ❑ Testausta tehtiin raskaalla (EN 469) rakennuspaloihin suunnitellulla palopuvulla (Viking), ja kolmella kevyellä (EN 15614) metsäpaloihin suunnitelluilla palopuvulla (S-GARD Ranger 2.0, Rosenbauer THK D, ja Texport Wildland)
- ❑ Palomiehet käyttivät pitkähihaisia ja –lahkeisia alusvaatteita (HH tekninen alusasu), kevyt kypäröitä, työkäsiineet ja maihinnousukengät (EN 15090).





1.2 Testit metsässä, (WP2)

- ❑ Testihenkilöiden hengitystiealtistumista seurattiin heidän simuloidessa tiedustelua, sammuttamista hosalla, reppuruiskuilla ja perinteisesti letkulla.
- ❑ Testit tehtiin Pieksämäellä and Kuhmossa
- ❑ Mukana oli neljä testihenkilöä, joiden suojaus oli sama kuin laboratoriotesteissä muutamalla poikkeuksella vahvistettuna:
 - Kaikki käyttivät puhallinavusteisia hengityksensuojaimia (Proflow -puhallinosa ja Promask -kasvo-osa) varustettuna A2B2E2K2-P3 – yhdistelmäsuojaimella ja lisäksi heillä oli hiilimonoksidi-ilmaisin.
 - Raskasta palopukua testanneet käyttivät shortseja ja t-paitaa alusasuina ja he työskentelivät ilman takkia.

Puhallinavusteinen hengityksensuojain yhdistelmäsuodattimella

CO-ilmaisin



Kuva: Juha Laitinen



1.3 Testit metsäpaloradalla (WP3)

- ❑ Aikaisempiin tutkimustuloksiin pohjautuen rakensimme testihenkilöille paremman suojaustason ja vertailimme sitä perinteiseen tapaa toimia metsäpaloissa
- ❑ Tehtiin testejä Pelastusopiston harjoitusalueelle rakennetulla metsäpaloradalla, jonne siirtovarvikko oli tuotu Suomussalmelta
- ❑ Testien kesto oli kaksi tuntia sisältäen tiedustelua, letkukehikkojen kantoa, letkun vetoa, sammuttamista hosalla, reppuruiskulla ja lopuksi tehtiin letkujen kelausta rullalle.
 - parannettu suojaus (metsäpaloihin suunniteltu palopuku, pitkähihainen ja –lahkeinen alusasua sekä puhallinavusteinen hengityksensuojain)
 - perinteinen suojaus (rakennuspaloihin suunniteltu paloasu, shortsit ja t-paita alusasuna ja ilman hengityksensuojainta)

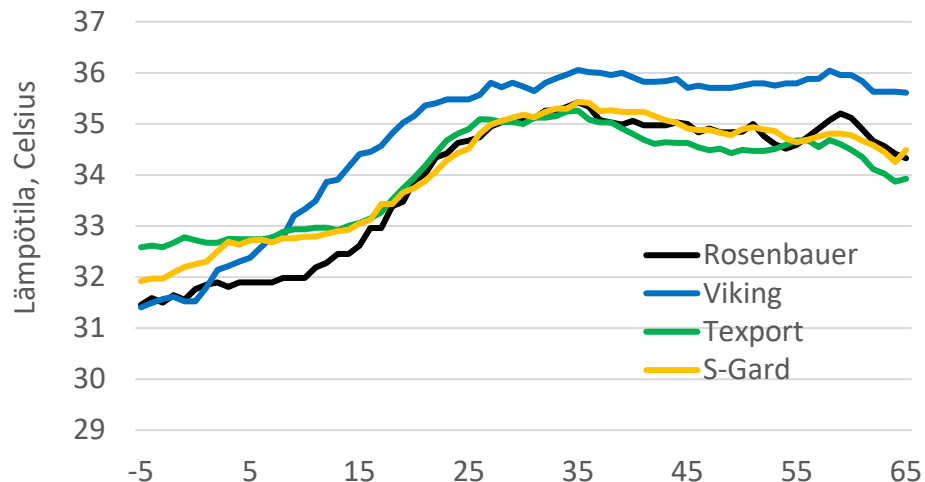


Kuva: Juha Laitinen

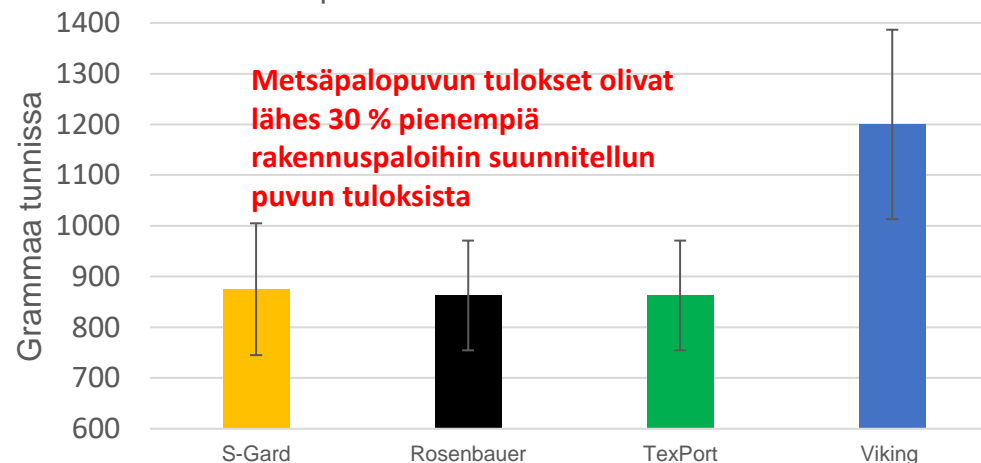


1.1 Iho- ja syvälämpötila sekä hikoilu laboratoritesteissä

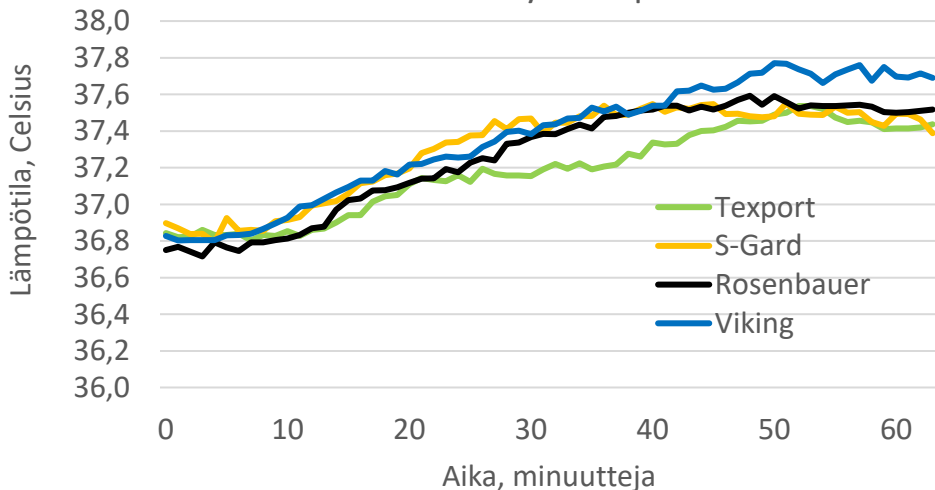
Keskimääräinen iholämpötila



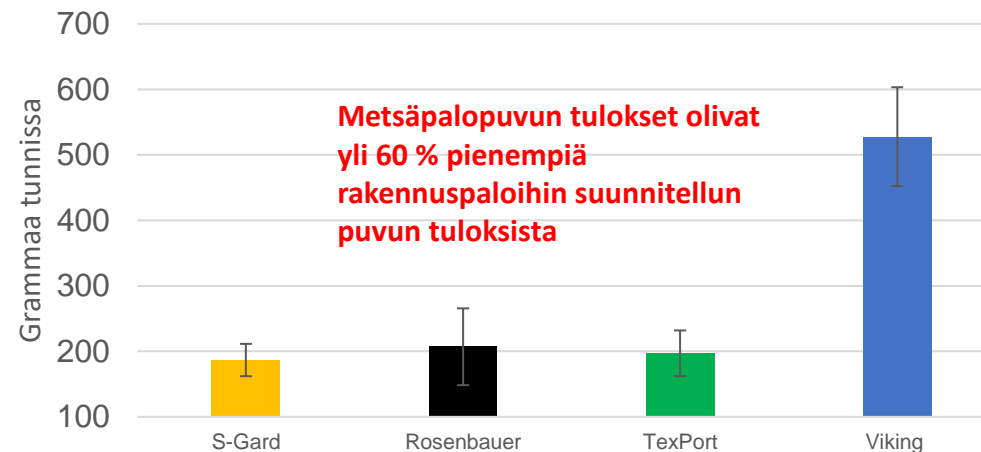
Painonpudotus testin aikana



Keskimääräinen syvälämpötila

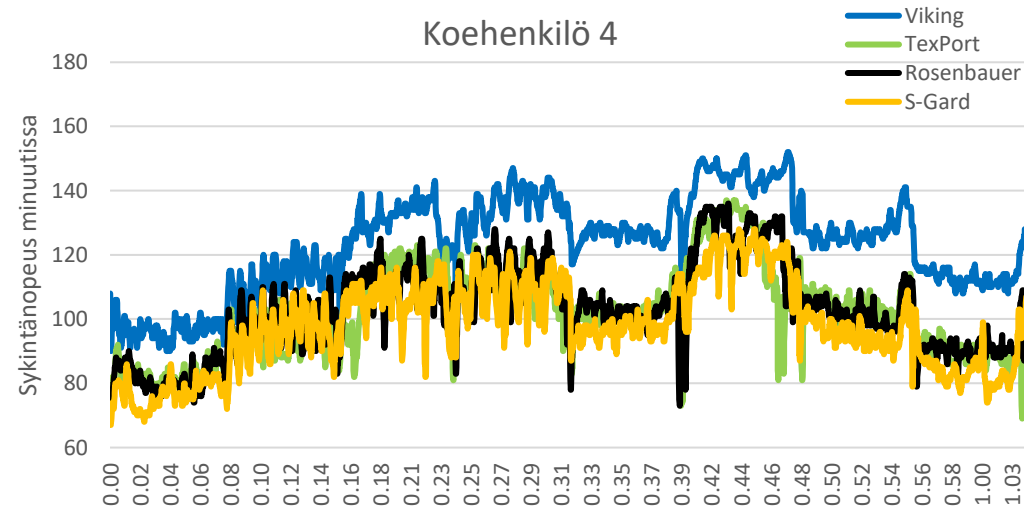
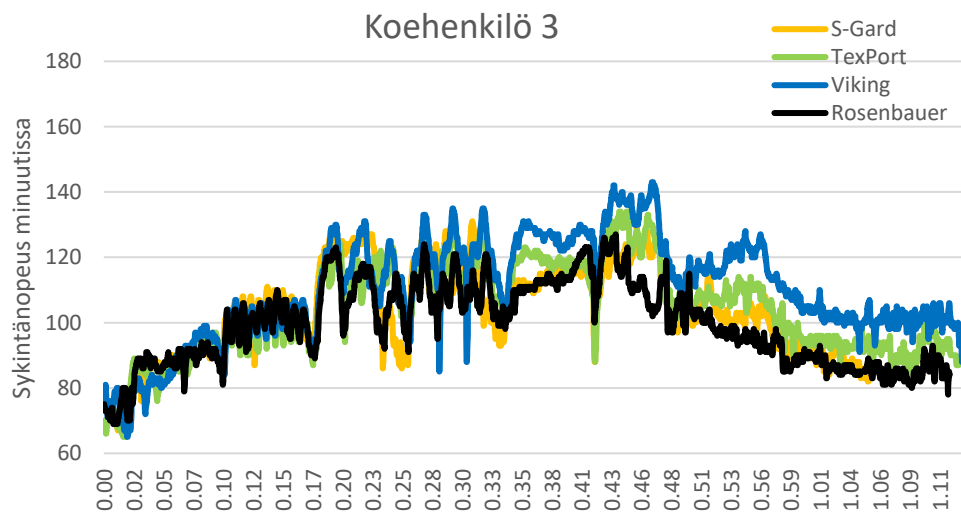
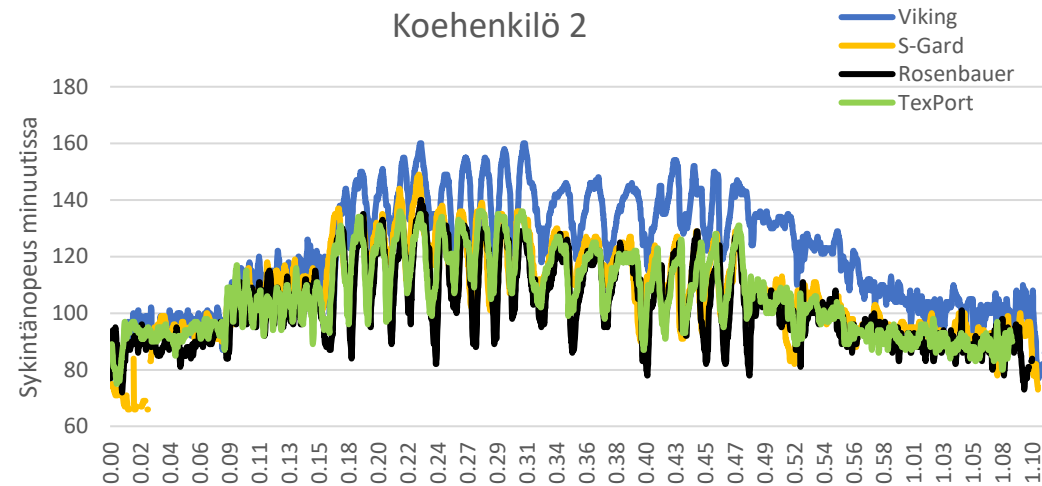
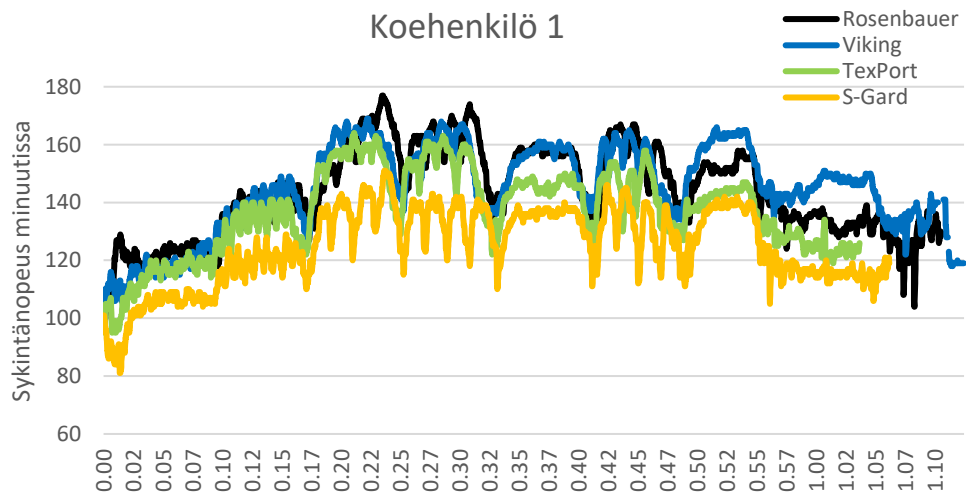


Vaatteisiin jäänyt hiki



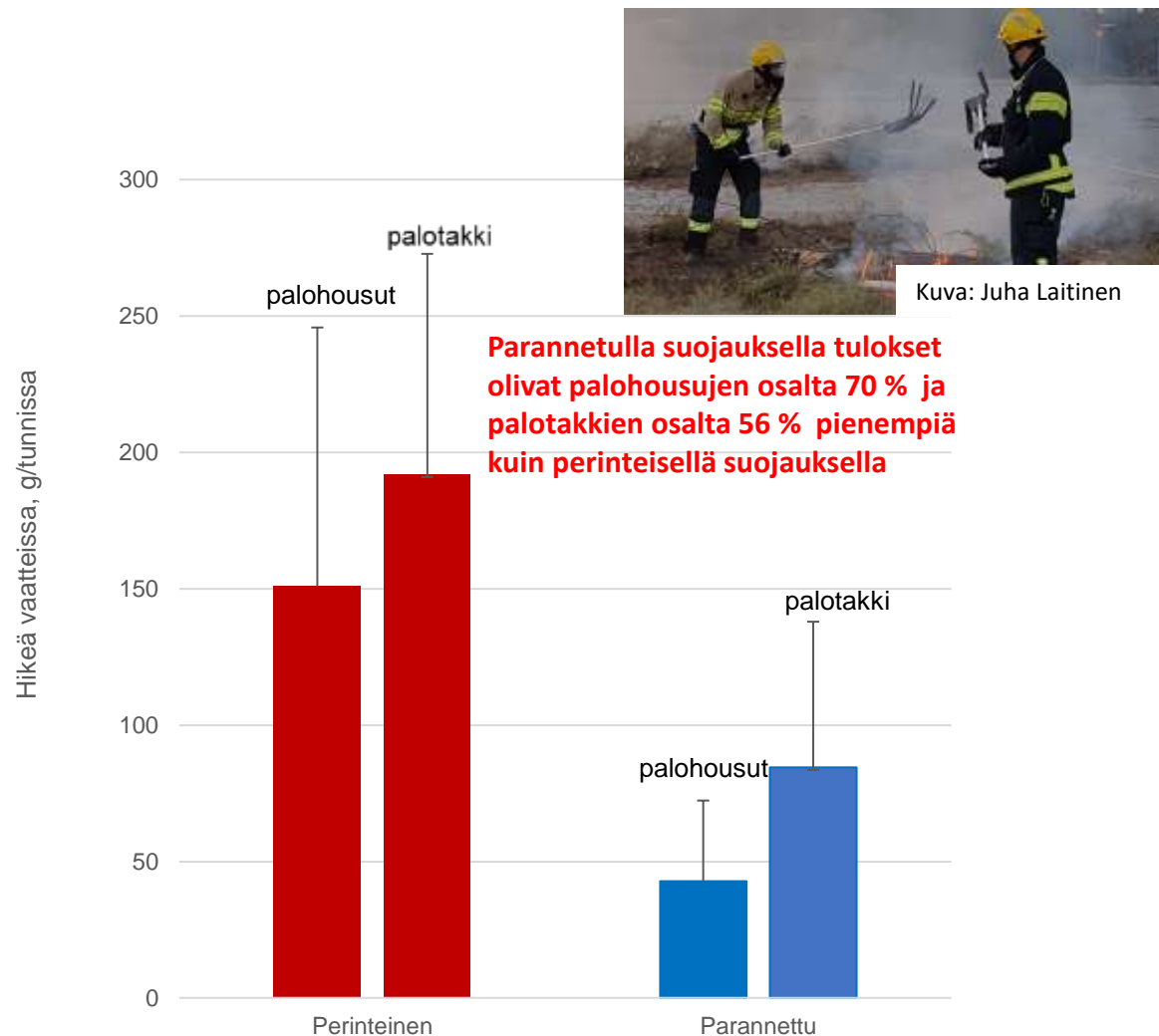
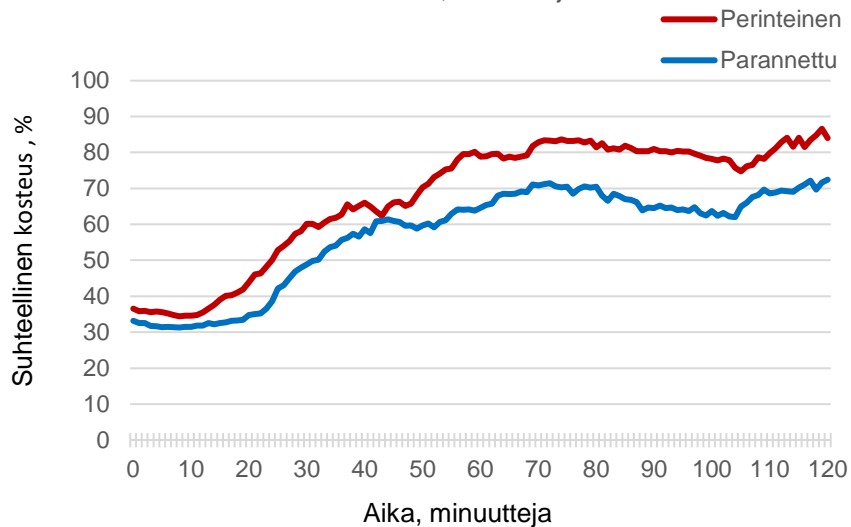
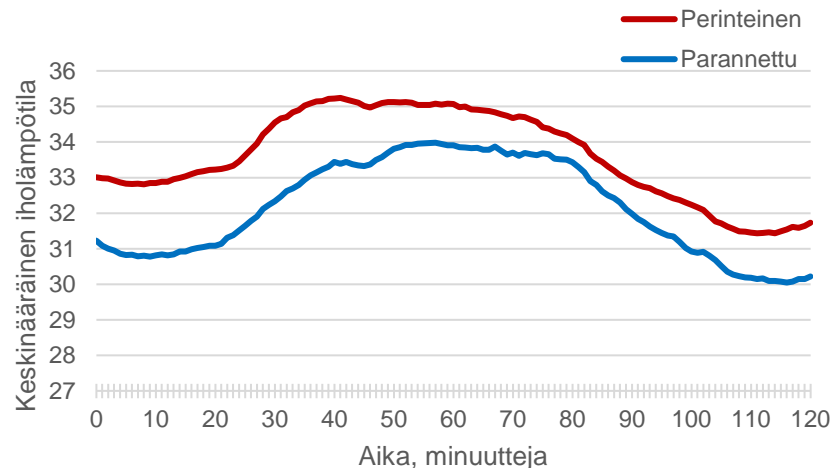


1.1 Sydämenlyöntinopeus laboriotesteissä





1.3 Ihon lämpötila ja ilmankosteus palopuvun alla sekä koehenkilön hikoilu metsäpaloradalla

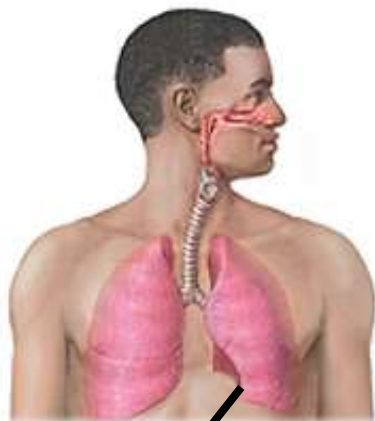


Kuva: Juha Laitinen

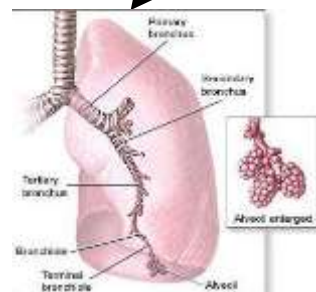


2. Miten palojäämille altistutaan

Hengitystiealtistuminen

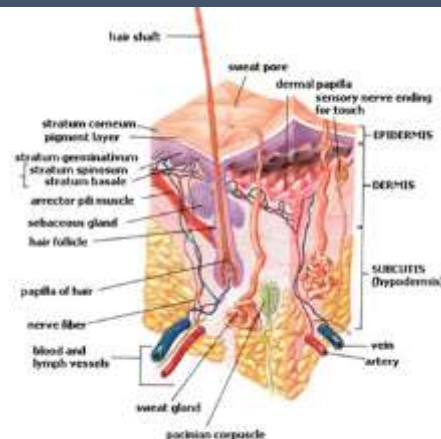


ADAM



Otettu lähteestä:
<http://www.nytimes.com/health/guides/disease/sickle-cell-anemia/print.html>

Ihoaltistuminen



Otettu lähteestä: The Internet Encyclopedia of Science, 2010



Otettu lähteestä: http://www.agf.gov.bc.ca/pesticides/b_2.htm

Altistuminen rs-kanavan kautta



Otettu lähteestä: Panu Oksa (Työterveyslaitos)



2. Mille metsäpaloissa altistutaan ja mitä siitä seuraa?

❖ Hapen kuljetuksen estäjät

- ✓ Hiilimonoksidi

❖ Tulehdusta keuhkoissa aiheuttavat tekijät

- ✓ Akroleiini, formaldehydi ja typen oksidit

❖ Keuhko- ja sydänsairauksia pahentavat tekijät

- ✓ Pienhiukkaset

❖ Pitkäaikaisia vaikutuksia aiheuttavat tekijät

- ✓ Bentseeni, polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH), formaldehydi, akroleiini ja cesium-137
- ✓ **Kansainvälinen syöväntutkimusjärjestö (IARC) nosti palomiehen työn syöpävaarallisuusluokituksen korkeimpaan luokkaan (ryhmä 1) kesäkuussa 2022**



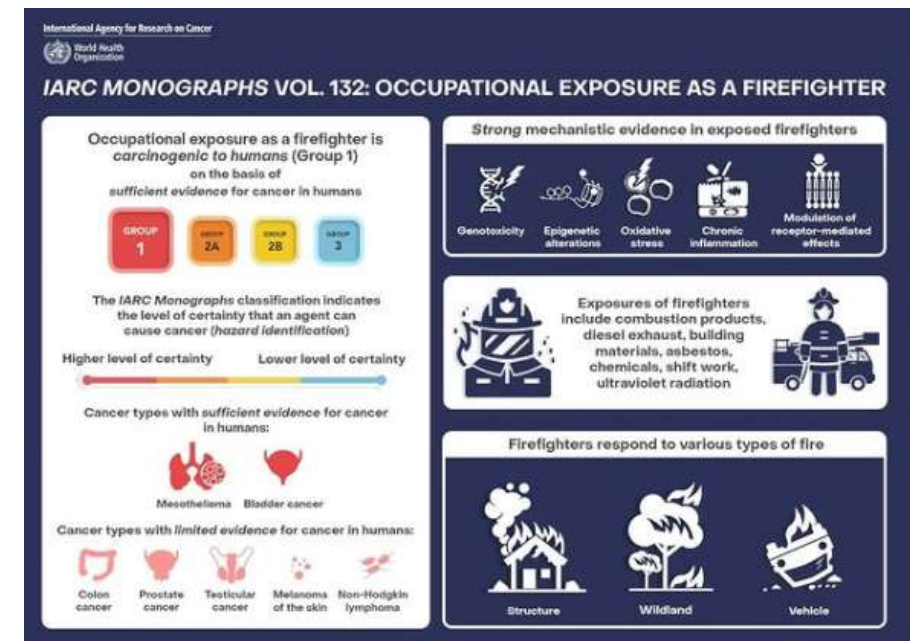
Kuva: Juha Laitinen

2. Palomiehen työn syöpävaarallisuus

-Palomiehen työn syöpävaarallisuus on nostettu ryhmään 1, joka tarkoittaa että palomiehen työympäristössään saama altistuminen aiheuttaa heille syöpätapauksia. Tutkimusnäyttö on nyt riittävä.

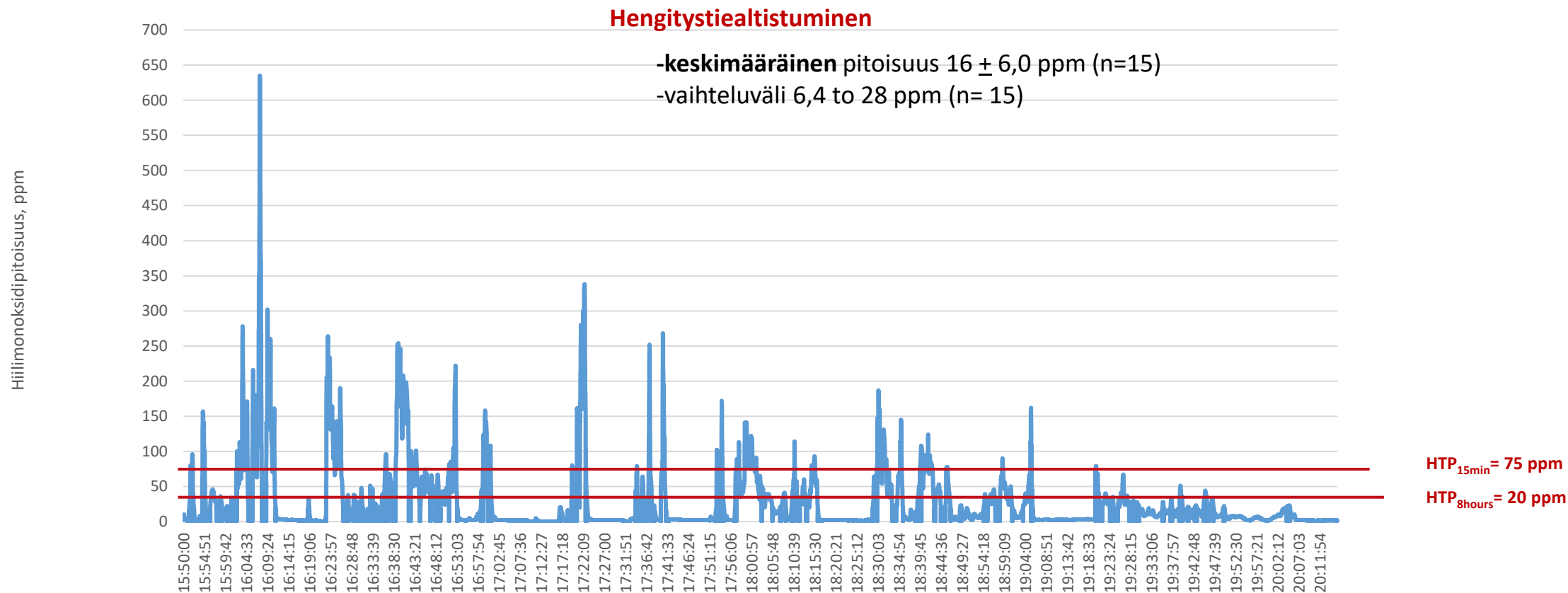
-Eri syöpätyyppien välillä on erilaisia epävarmuuksia ja **riittävä näyttö** on todettu olevan työperäisellä altistumisella ja mesoteliomalla (keuhkopussisyöpä) että virtsarakkosyövällä

-**Rajoitettu näyttö** on paksusuolen, eturauhasen, kivesten, ihosyövän ja Non-Hodgkinin lymfooman osalta





2.1 Hengitystiealtistuminen, hiilimonoksidi





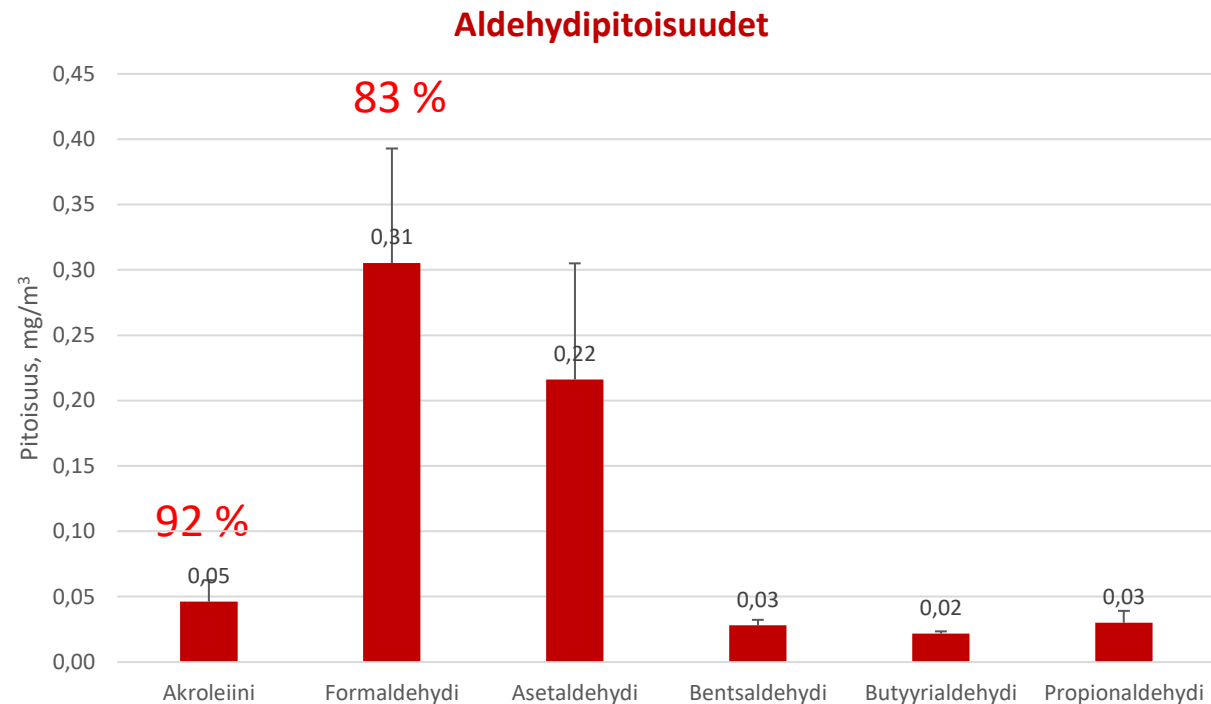
2.1 Hengitystiealtistuminen, aldehydit

- **Akroleiinaltistuminen:**

- $0,046 \pm 0,016 \text{ mg/m}^3$
- $0,025 - 0,066 \text{ mg/m}^3$
- $\text{HTP}_{8\text{tuntia}}: 0,050 \text{ mg/m}^3$
- $\text{HTP}_{15\text{min}}: 0,120 \text{ mg/m}^3$

- **Formaldehydialtistuminen:**

- $0,31 \pm 0,09 \text{ mg/m}^3$
- $0,17 - 0,50 \text{ mg/m}^3$
- $\text{HTP}_{8\text{tuntia}}: 0,37 \text{ mg/m}^3$
- $\text{HTP}_{15\text{min}}: 1,2 \text{ mg/m}^3$



Yhteisaltistuminen 1,8 –kertainen aldehydien haitalliseksi tunnettuun yhteispitoisuuteen nähden.



2.1. Hengitystiealtistuminen, hengittyvä pöly

□ Hengittyvä orgaaninen pöly:

Pieksämäki

- keskiarvo $8,4 \pm 7,2$ mg/m³, vaihtelu 5,5 -15 mg/m³

Kuhmo

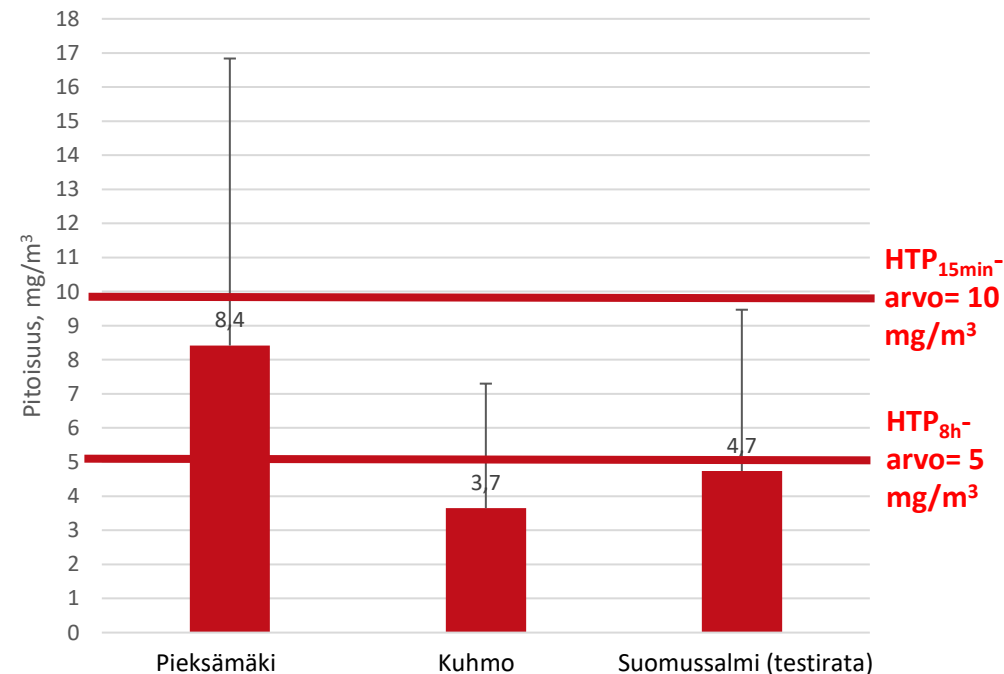
- keskiarvo $3,7 \pm 0,5$ mg/m³, vaihtelu $3,3 \pm 4,0$ mg/m³

Suomussalmi

- keskiarvo $4,7 \pm 1,7$ mg/m³, vaihtelu $3,2 \pm 6,6$ mg/m³

□ Hengittyvästä pölystä lisämäärityksiä

Hengittyvän pölyn pitoisuudet





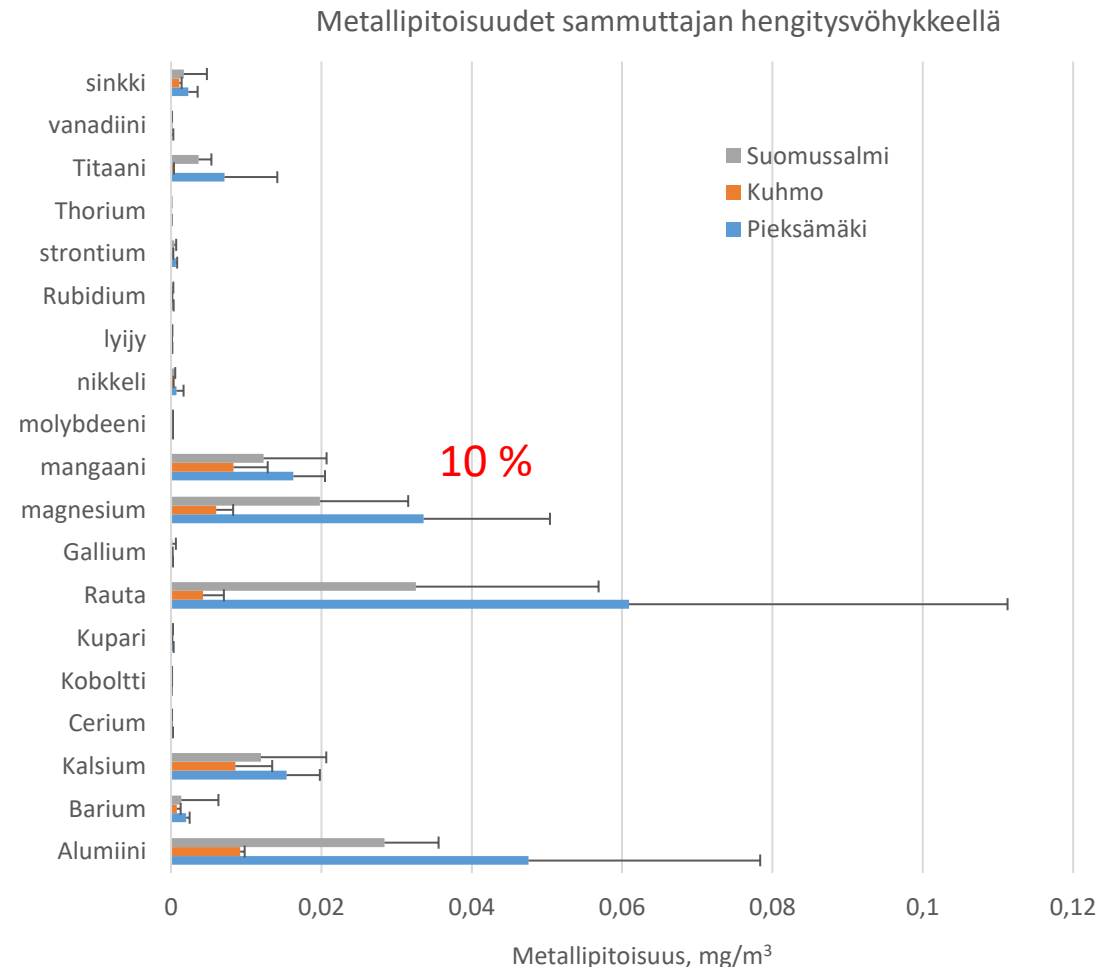
2.1 Hengitystiealtistuminen, alkuaineet

-36 alkuainetta tutkittiin pölynäytteestä ja ohessa niistä tärkeimmät

-Merkittävimmät altistumiset liittyvät mangaaniin, jonka HTP_{8h} -raja-arvo hengittyvälle pölylle on $0,2 \text{ mg/m}^3$

-Hienojakoisemmalle alveolijakeelle on annettu raja-arvo $0,02 \text{ mg/m}^3$

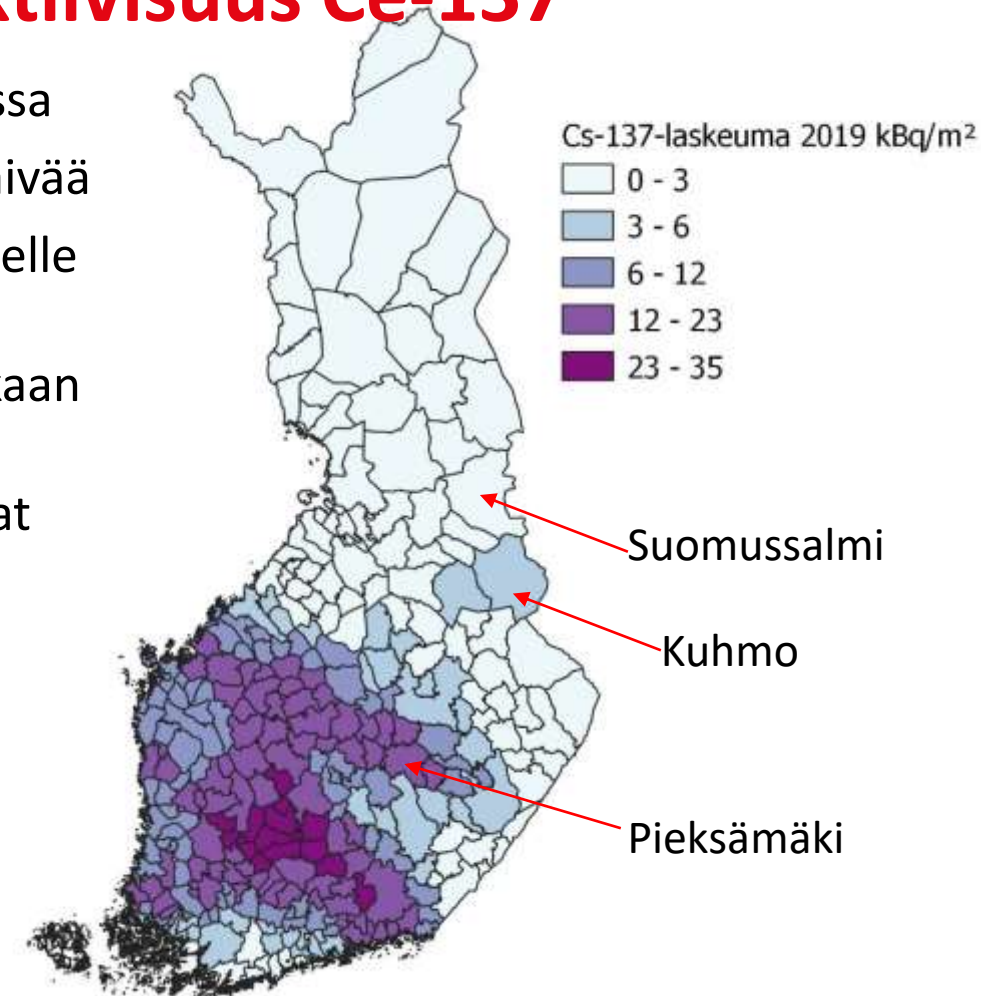
-Palamisessa syntyy paljon hienojakoista pölyä, joten suurimpia mitattuja pitoisuuksia voidaan pitää merkittävinä





2.1 Hengitystiealtistuminen, Radioaktiivisuus Ce-137

- Ce 137 on radioaktiivinen isotooppi, joka muodostuu fissioreaktiossa
- Puoliintumisaika on 30 vuotta ja biologinen puoliintumisaika 70 päivää
- Metsäpalotestejä tehtiin Pieksämäellä, Kuhmossa ja harjoitusalueelle siirretty siirtovarvikko oli Suomussalmelta.
- Tšernobylin Ce-137 laskeuma Suomeen on luokiteltu viiteen luokkaan vuonna 1986
- metsäpalotutkimuksessa käytettyjen Testipaikkojen laskeumaluokat olivat:
 - Pieksämäki 5
 - Kuhmo 2
 - Suomussalmi 1
- Pölynäytteistä tutkittiin Ce-137 Pieksämäeltä 5 näytteestä, Kuhmosta 2 näytteestä ja Suomussalmelta 3 näytteestä





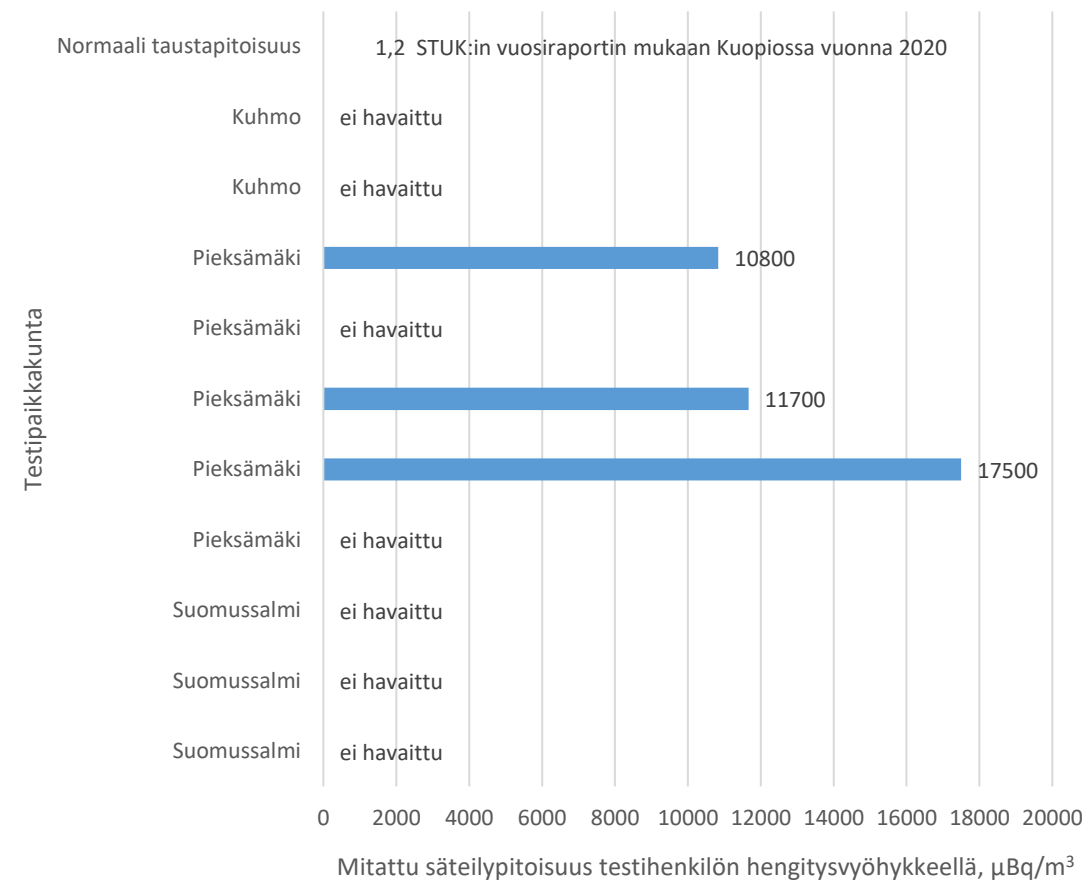
2.1 Hengitystiealtistuminen, radioaktiivisuus Ce-137

-eniten laskeumaa saaneelta testausalueelta eli **Pieksämäeltä** löytyi kolmesta näytteestä Ce-137

-Ce-137 **taustapitoisuus** on $1,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Kuopion mittausasemalla ([V24-STUK-B268 Ympäristön säteilyvalvonta Suomessa - Vuosiraportti 2020.pdf \(julkari.fi\)](#))

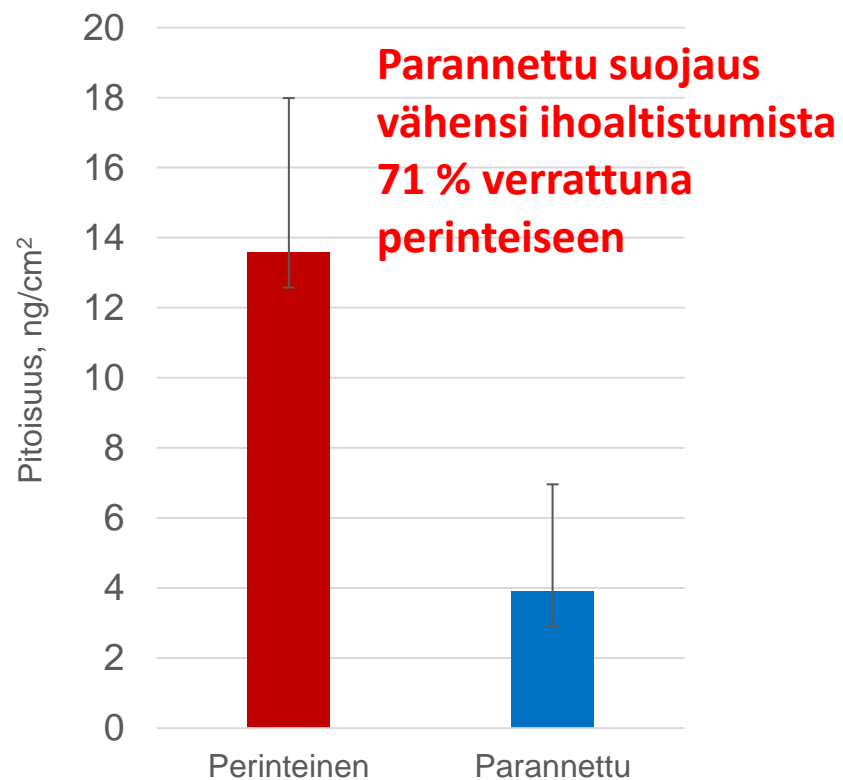
-mitatut pitoisuudet olivat 9000-14600 kertaisia normaaliin **taustapitoisuuteen** nähden

-säteilyonnettomuuksissa käytetystä **alemmasta toimenpiderajasta** pitoisuudet olivat kuitenkin vain 0,002 % eli terveydellinen vaara mitatuista pitoisuuksista on pieni

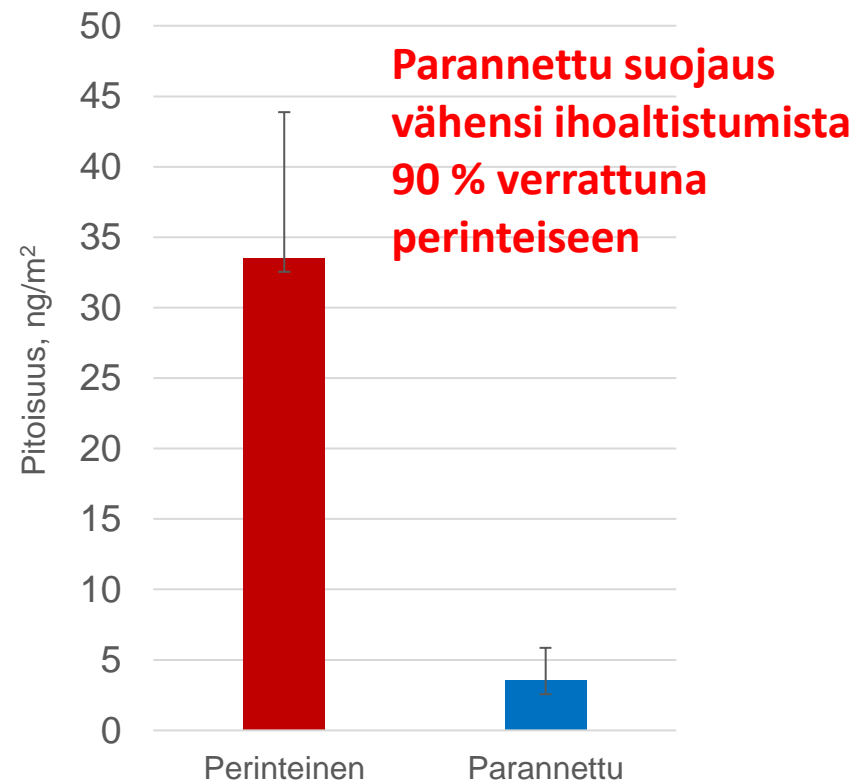


2.2 Ihoaltistuminen, PAH-yhdisteet

Rinta ja selkä



Reisi ja sääret

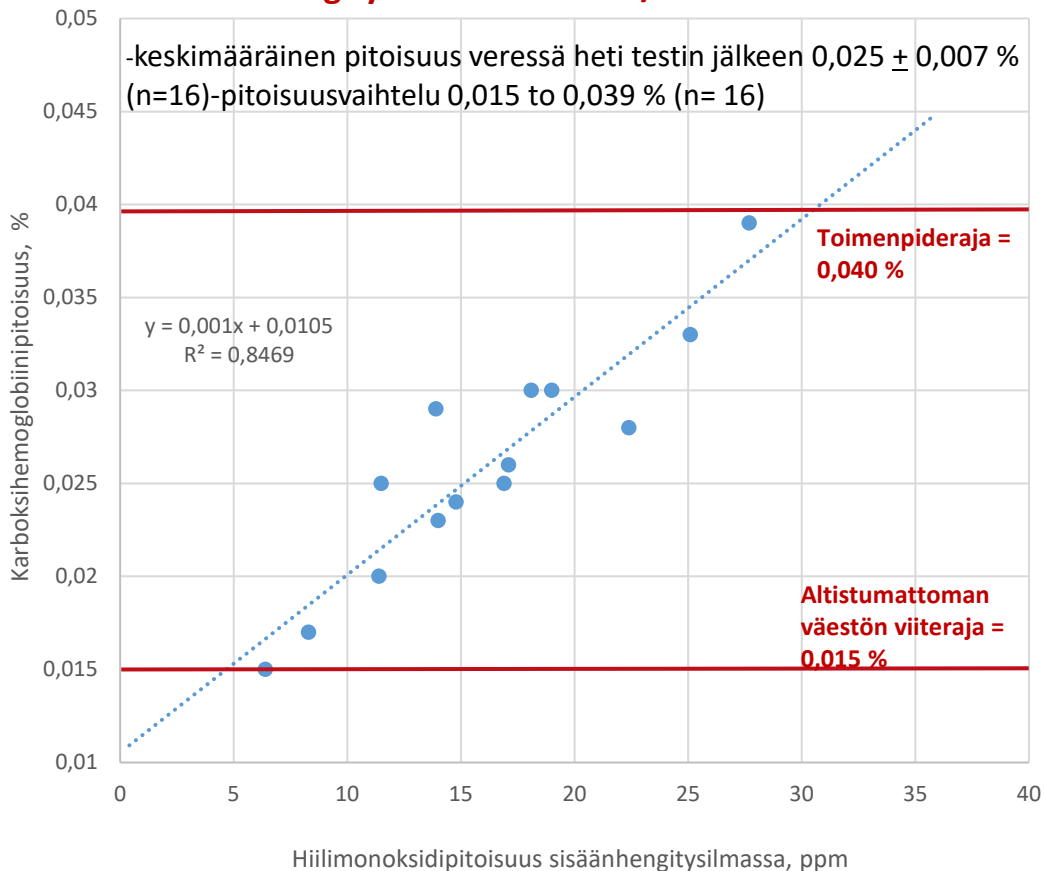


Kuva: Juha Laitinen

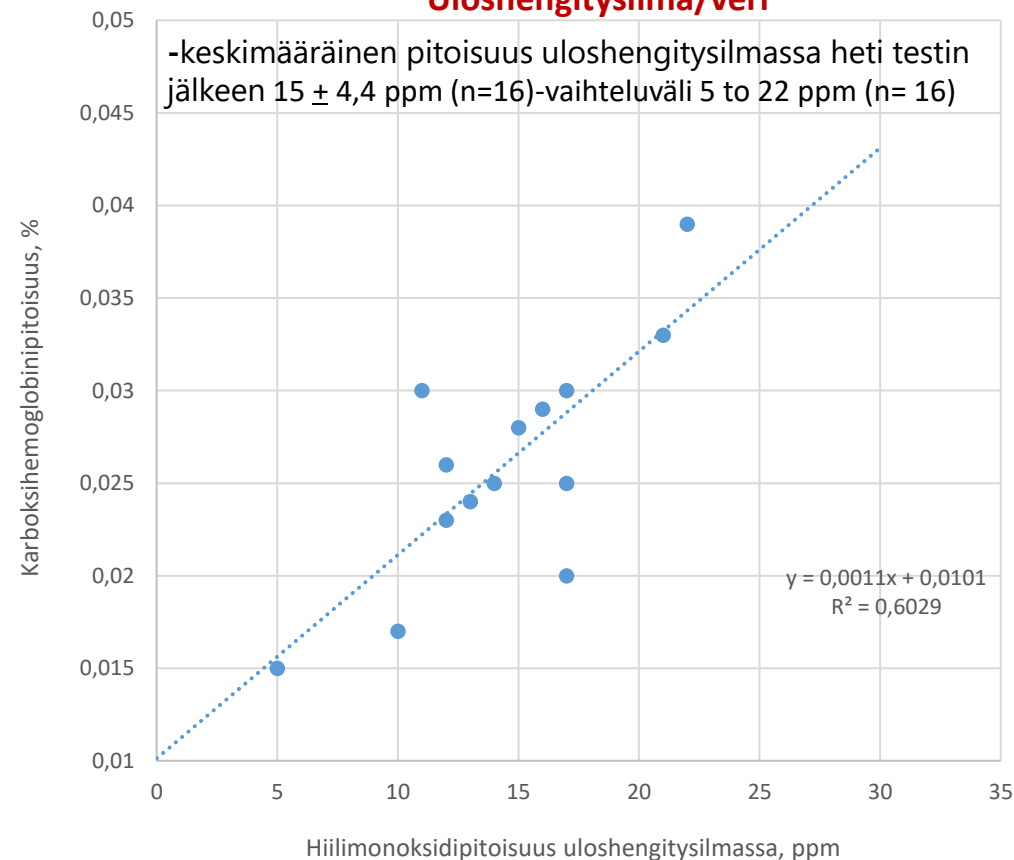


2.3 Kokonaisaltistuminen, hiilimonoksidi

Hengitystiealtistuminen /biomonitorointi

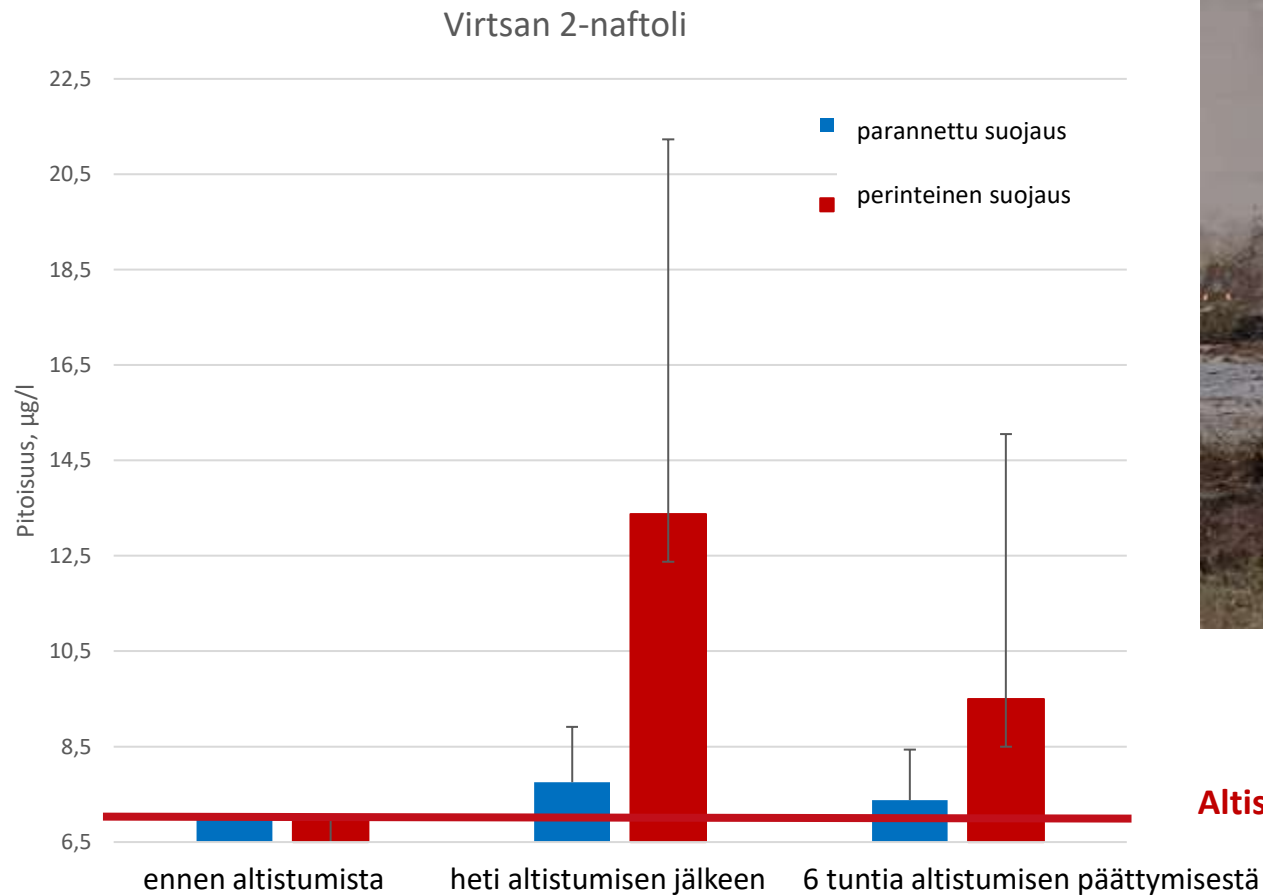


Uloshengitysilma/veri





2.3 Kokonaisaltistuminen, PAH-yhdisteet



Kuva: Juha Laitinen

Altistumattoman väestön viiteraja = 7 µg/l



3. Suojavarusteet Kalajoen metsäpalossa

- ❖ Huoneistopaloihin suunnitellut palohousut yhdistettynä t-paitaan tai väliastian takkiin (23 %) + huoneistopaloihin suunniteltu palopuku kokonaisuudessaan (13 %)
- ❖ Alusvaatteina t-paita ja lyhyet alushousut (59 %)
- ❖ Kevyt pelastuskypärä (47 %)
- ❖ Ei silmäsuojaimia (77 %)
- ❖ Ohuet työkasineet (71 %)
- ❖ Palosaapas (75 %)
- ❖ Ei hengityksensuojaimia (53 %)



3. Suositeltavat suojavaarusteet

- ❖ **Lämpökuormitus ja suojauminen kuumuudelta:** Metsäpalopuku
- ❖ **Hengitystiealtistuminen:** Puhallinavusteinen hengityksensuojain varustettuna A2B2E2K2-P3 –yhdistelmäsuodattimella ja hiilimonoksidi-ilmaisimella sekä silmät suojaavalla maskilla tai kypärällä
- ❖ **Ihoaltistuminen:** Pitkähihaiset ja –lahkeiset tekniset alusasut, työkasineet, peseytyminen mahdollisimman nopeasti altistumisen jälkeen
- ❖ **Puun kaatumisriski ja paineelliset letkut:** Vähintään teollisuuskypärästandardin täyttämä suojakypärä, mieluiten kevyt pelastuskypärä
- ❖ **Vaativa maasto:** Sammutustoimintaan tarkoitettut varsikengät tukevat paremmin nilkkaa hankalassa maastossa kuin palosaapas
- ❖ **Sammuttajan näkyminen maastossa:** Heijastavat materiaalit suojavaarusteissa ja otsavalot
- ❖ **Paikkatieto:** Sammutuspari turvana ja hyvät kommunikaatioyhteydet





4. Parannusehdotukset

- ❖ Etukäteisvarautuminen: metsäpalotorjuntasuunnitelma
- ❖ Reaaliaikainen tilannekuva: tiedot palon intensiteetistä, sääolosuhteista ja kasvillisuudesta, jotka määrittävät keinot sammuttaa metsäpaloa ja arvioida sammutustyön turvallisuutta
- ❖ Palorintaman edessä on pahin ja vaarallisin tilanne: siellä tarvitaan täydelliset suojarusteet ja paineilmahengityksensuojaimet
- ❖ Myös palorintaman sivuilla tarvitaan myös täydelliset suojarusteet, mutta hengityksensuojaimissa puhallinavusteiset suodattavat suojaimekset riittävät
- ❖ Itse paloalueelle ei myöskään ole asiaa ilman suojaimekset ja tämä tarkoittaa myös jälkisammutustilannetta
- ❖ Altistumista voidaan vähentää
 - ❖ 1) pyrkimällä tekemään sammutustoimekset tuulen yläpuolelta aina mahdollisuuksien mukaan ja
 - ❖ 2) käyttämällä konevoimaa letkuselvityksissä ja rajoituslinjojen tekemisessä
 - ❖ 3) välttämällä sammutustoimekset paloalueen sisällä
 - ❖ 4) älysuojarusteet





PELASTUSOPISTO

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

Riikka Salmi ja Juha Laitinen
Pelastusopisto

PSR
PALOSUOJELURAHASTO





5. Käytännön testit sammutus- ja suojavaarusteille: Palotakit

❑ Palotakkien altistaminen

- Perinteinen savusukellussimulaattori, savusukellus 15-20 minuuttia

❑ Näytteenotto

- Altistuksen, pesujen ja lisäkäsittelyjen jälkeen palopuvun niskan sisäkerroksesta sekä rinnasta ja selästä otettiin pinta-, keski- ja ulkokerroksesta 22 mm halkaisijalta olevat näytteet reikämeistillä.
- Näytteistä analysoitiin 18 polysyklisiä aromaattista hiilivetyä (PAH-yhdisteet).

❑ Pesumenetelmät

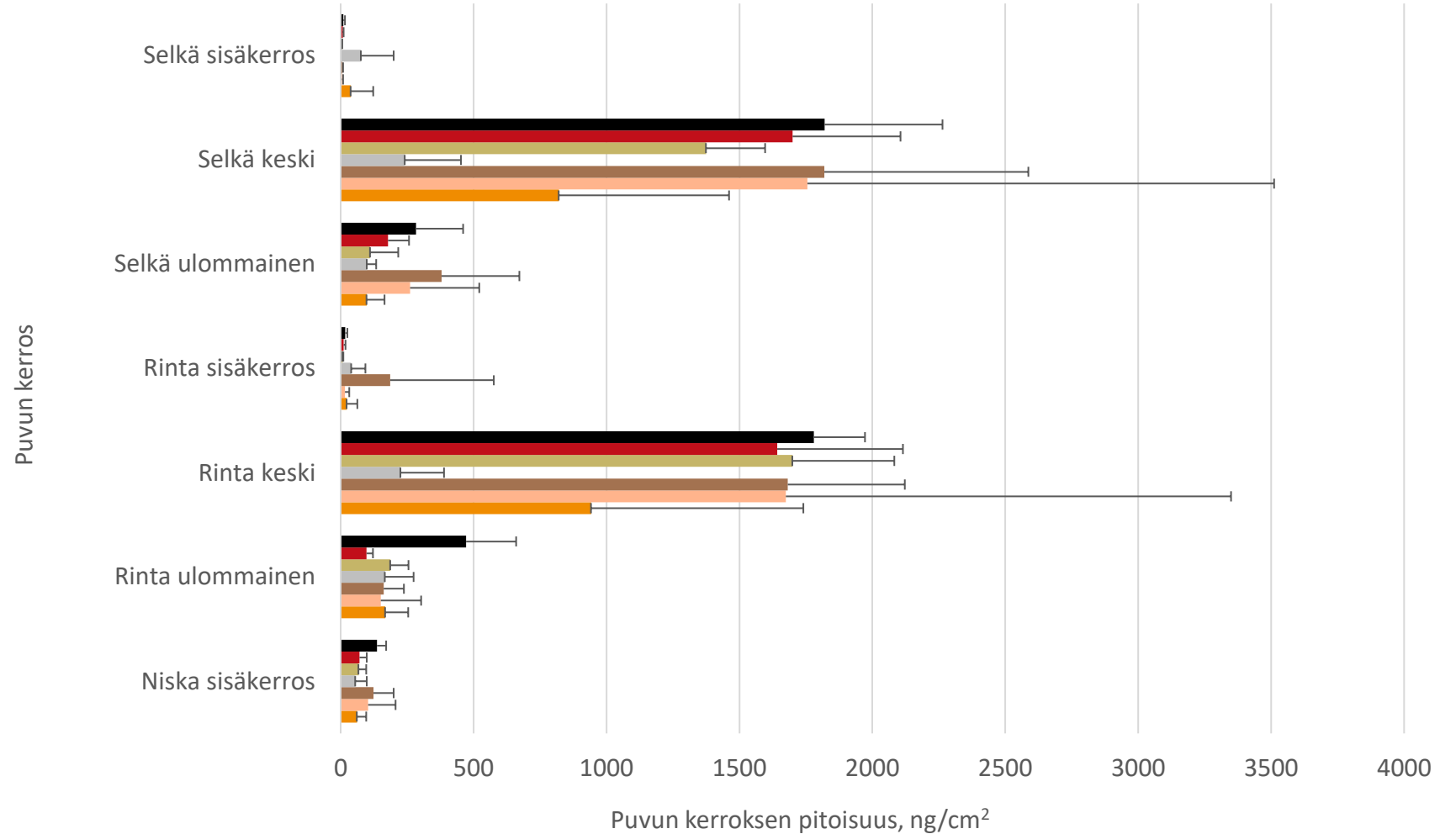
- Vesipesu (40 °C tai 60 °C) sekä rumpu- tai kaappikuivattiin.
- Vesipesuun yhdistettiin vetyperoksidikäsittely ja rumpukuivaus
- Vesipesuun yhdistettiin otsonointi ja rumpukuivaus
- Nestemäisen hiilidioksidipesu
- Otsonivesipesu ja kaappikuivaus





Keskimääräiset PAH-yhteispitoisuudet palotakin eri kerroksissa ennen pesua

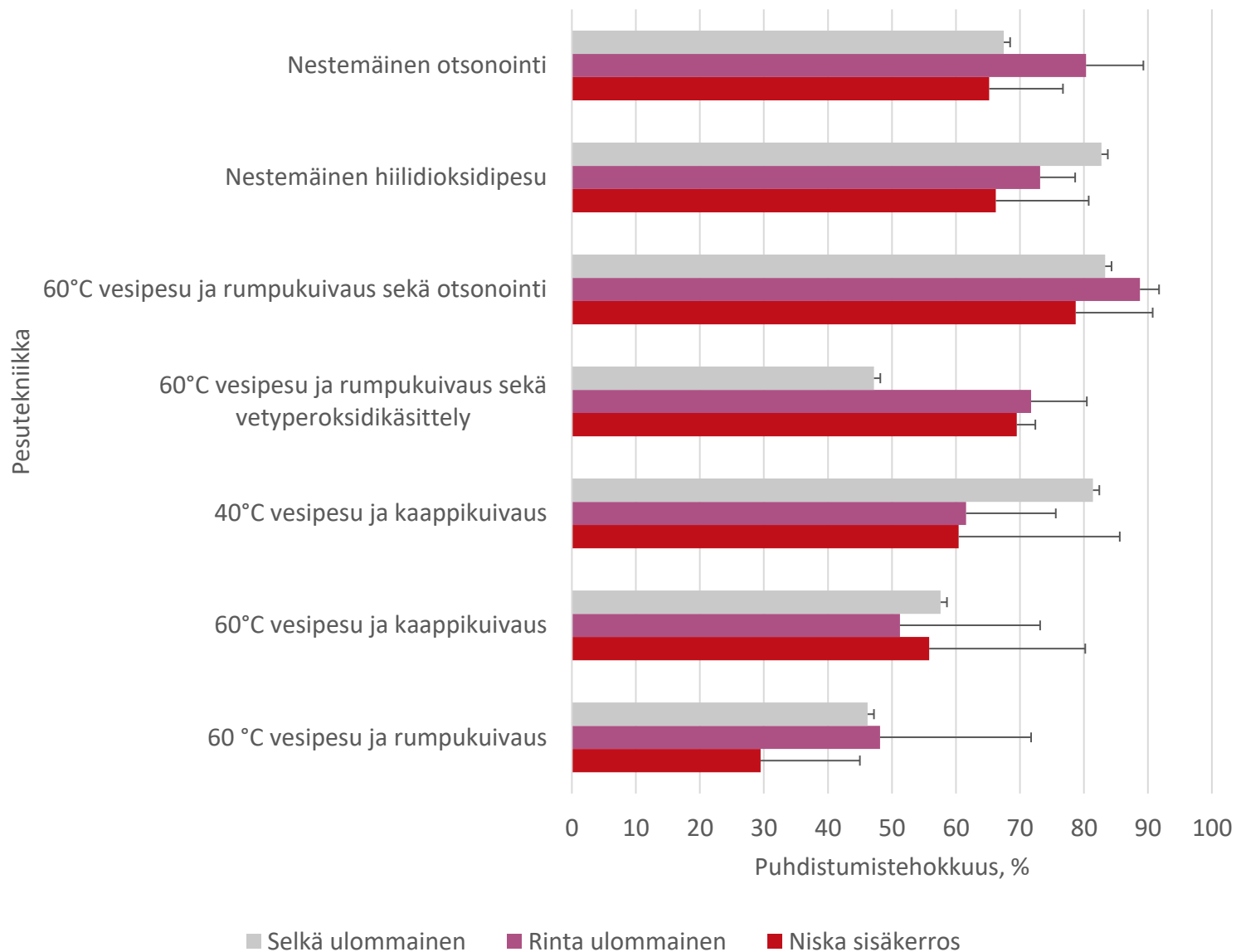
5. Palotakit altistuksen jälkeen



- Nestemäinen otsonointi
- Nestemäinen hiilidioksidipesu
- 60°C vesipesu ja rumpukuivaus sekä otsonointi
- 60°C vesipesu ja rumpukuivaus sekä vetyperoksidikäsittely
- 40°C vesipesu ja kaappikuivaus
- 60°C vesipesu ja kaappikuivaus
- 60 °C vesipesu ja rumpukuivaus



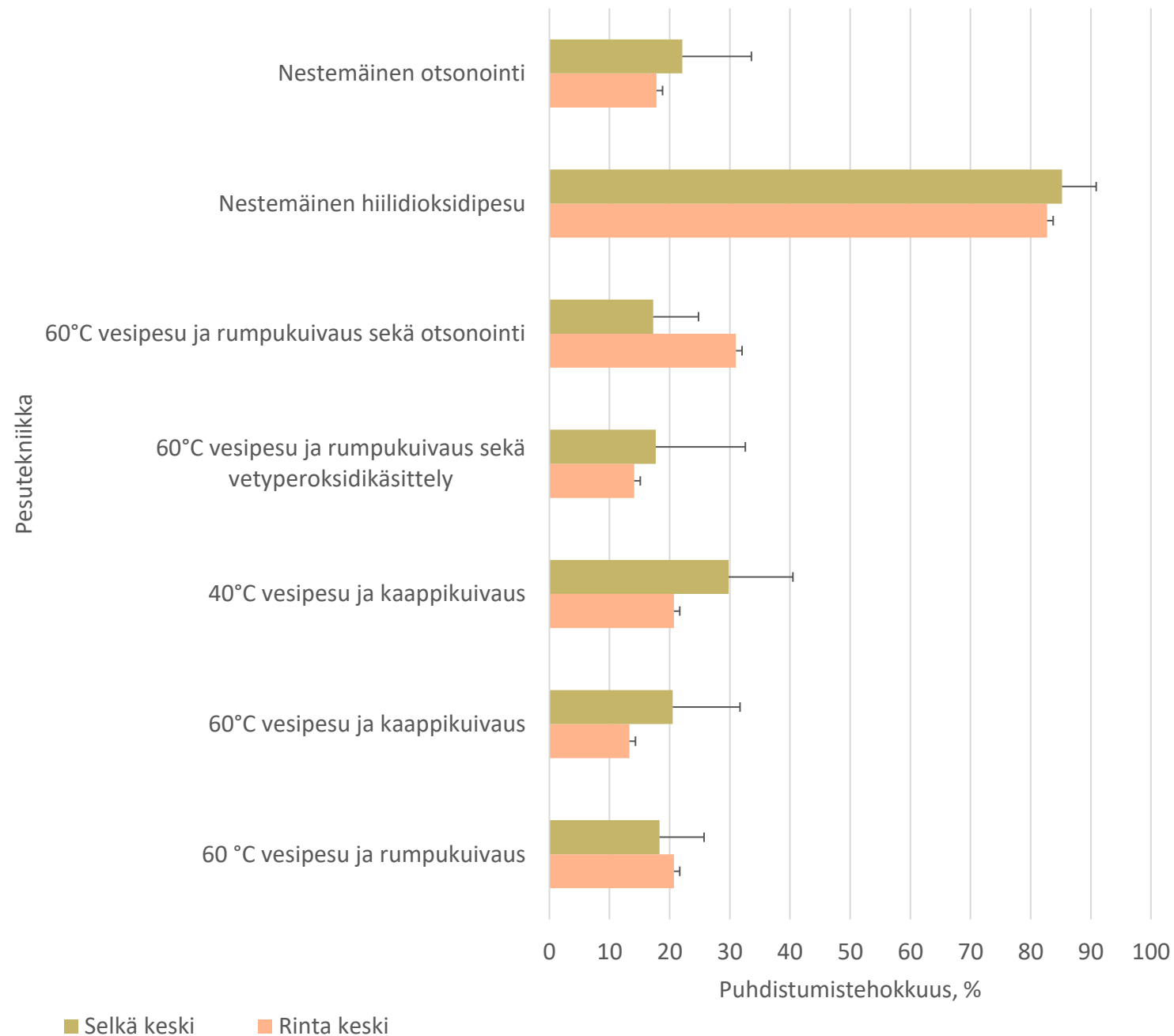
5. Palotakit puhdistuksen jälkeen (ulkokerros ja niskan sisäkerros)





5. Palotakit puhdistuksen jälkeen (keskikerrokset)

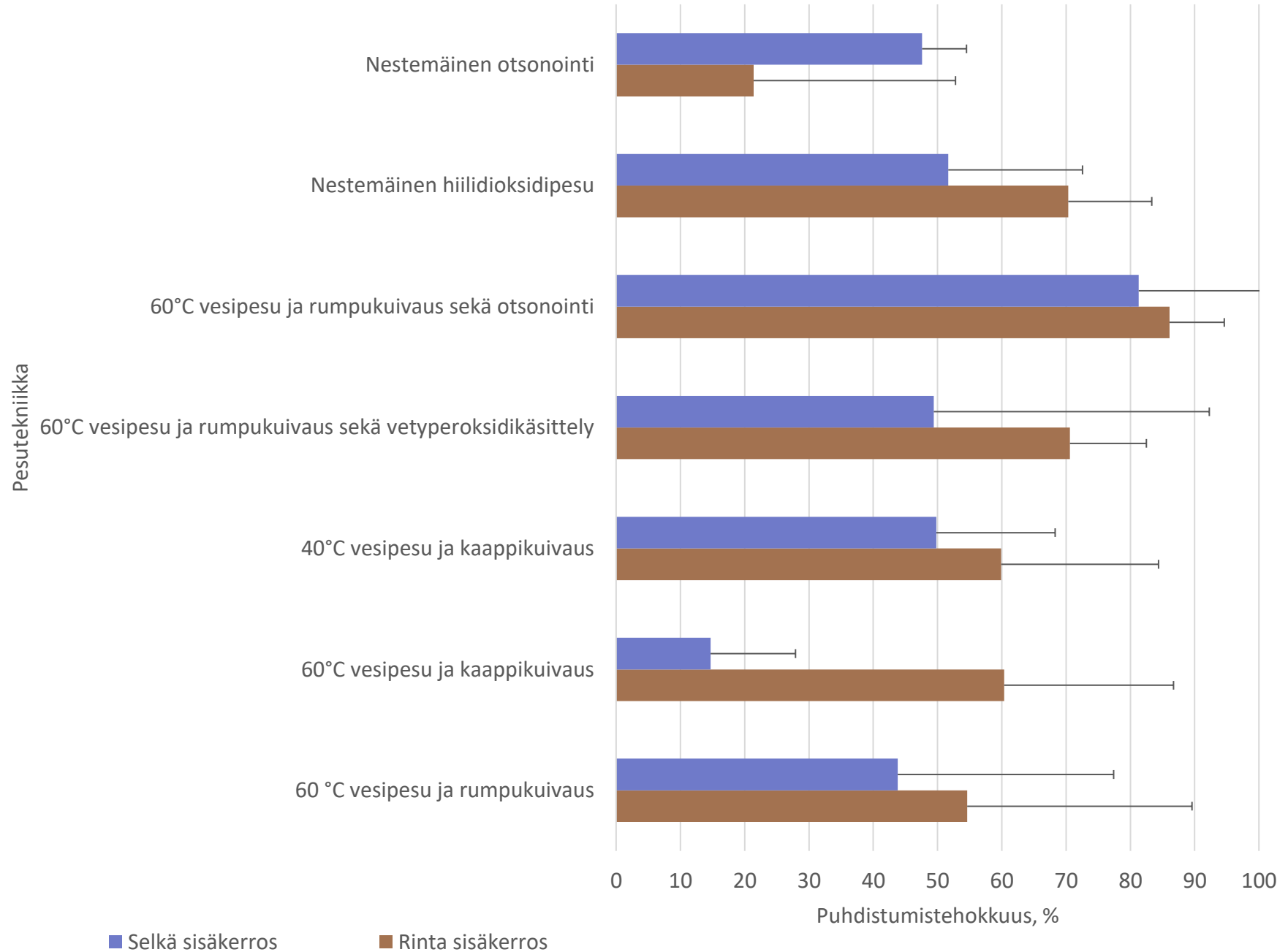
Palotakkien puhdistustehokkuus eri pesutekniikoilla keskikerroksissa





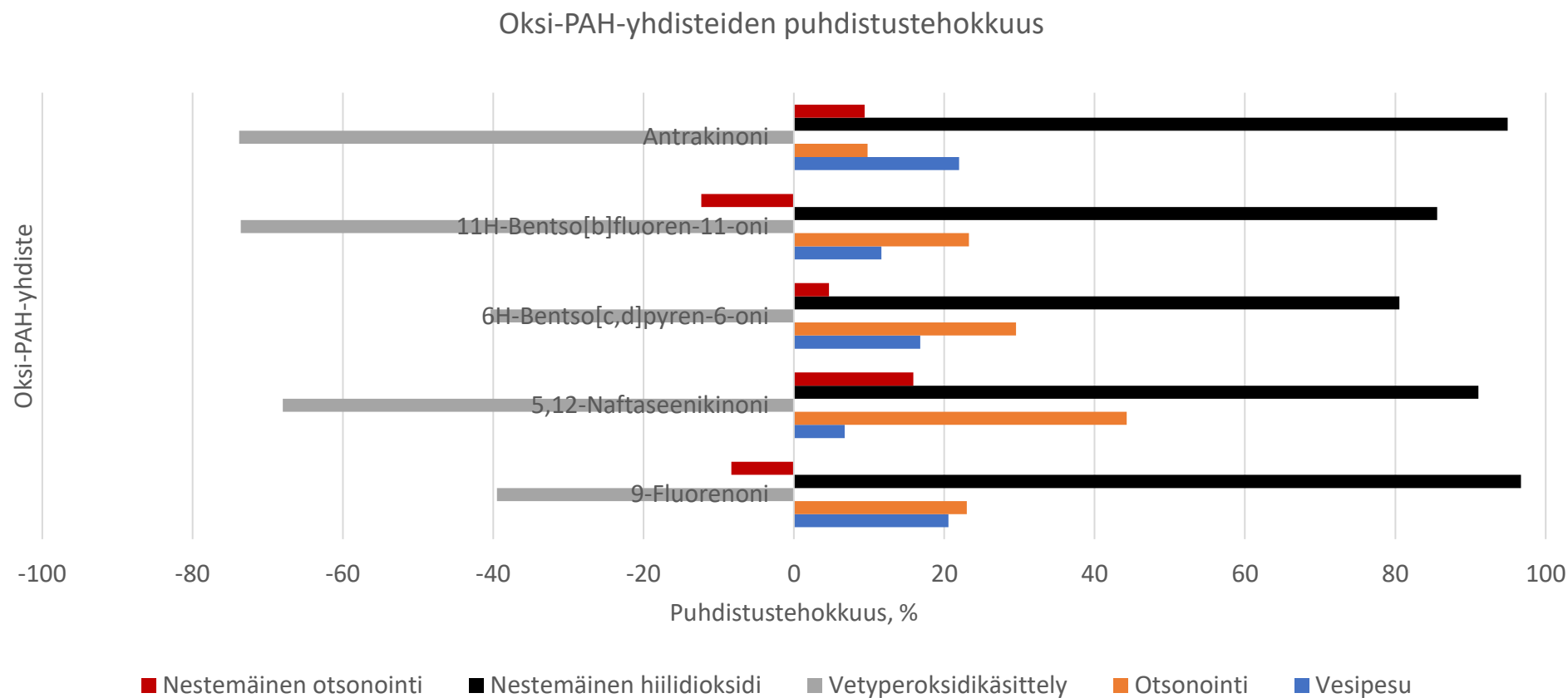
5. Palotakit puhdistuksen jälkeen (sisäkerrokset)

Palotakkien puhdistustehokkuus eri pesutekniikoilla sisäkerroksissa





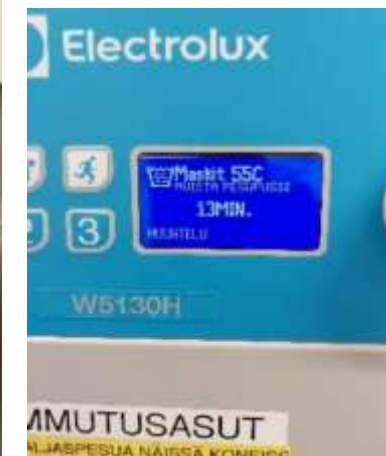
5. Oksi-PAH-yhdisteet pesun jälkeen





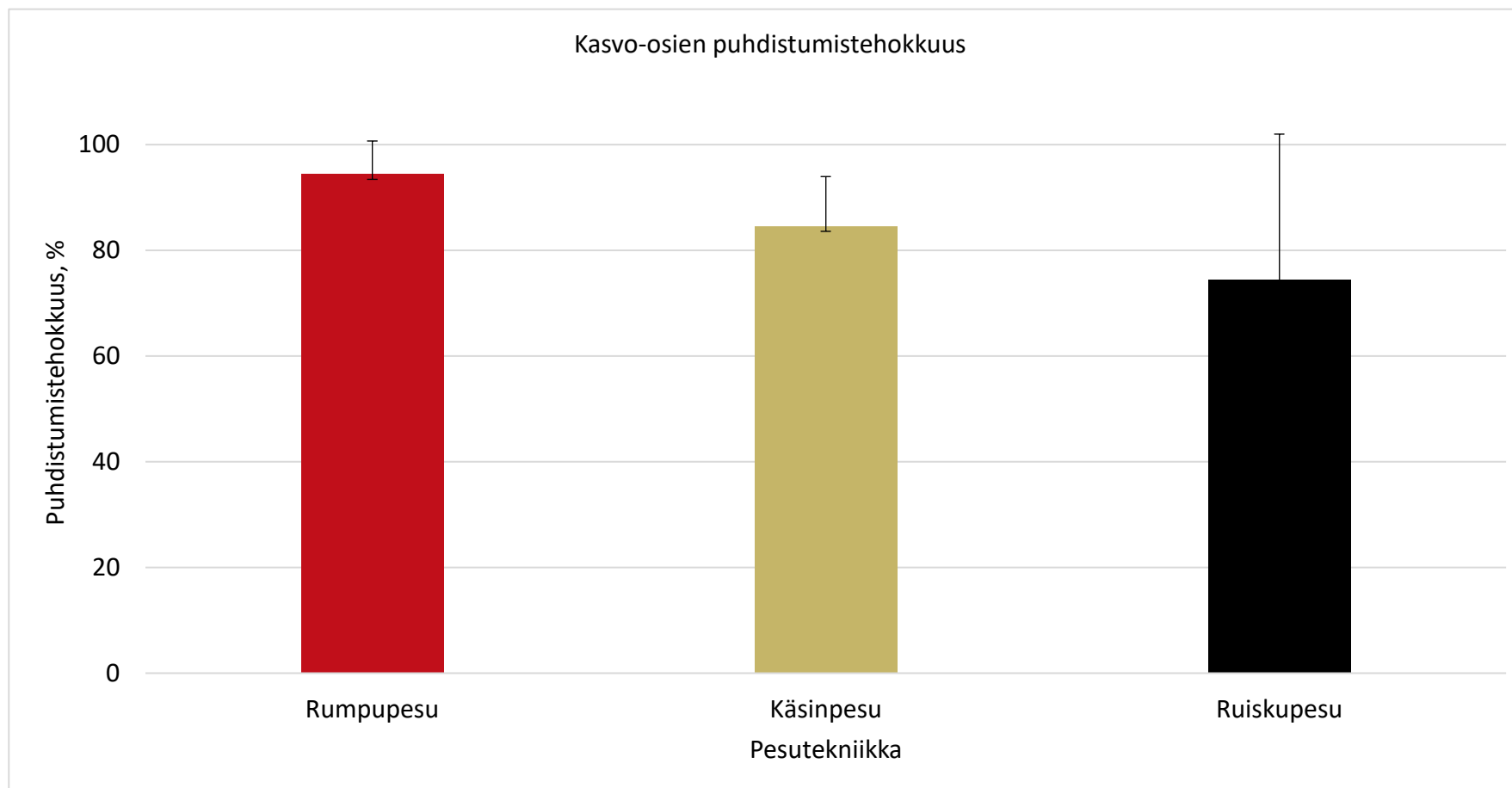
5. Paineilmahengityksensuojainten ja lämpökameroiden puhdistus

- Paineilmalaitteen kasvo-osat pestiin käsinpesu-, ruisku- tai rumpupesumenetelmällä.
- Kamerat puhdistettiin perinteisellä liinapyyhinnällä ja osalle kameroista tehtiin vetyperoksidikäsittely tai suojaussien pesu pesukoneessa.
- Kameroiden ja kasvo-osien pyyhintänäytteistä analysoitiin PAH-yhdisteiden pitoisuudet





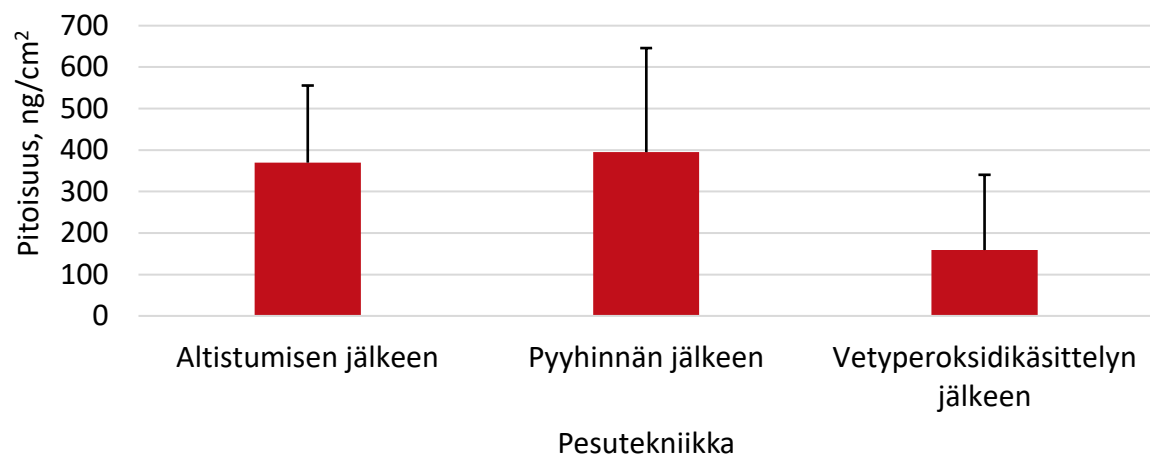
5. Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien puhdistuminen



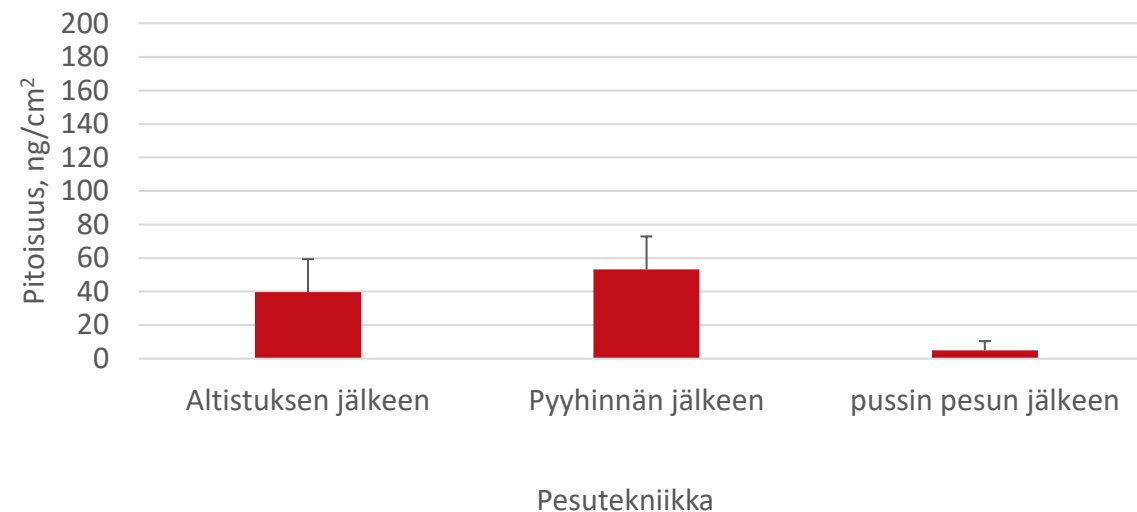


5. Lämpökameroiden puhdistuminen

PAH-pitoisuudet altistumisen, pyyhinnän, vetyperoksidikäsittelyn jälkeen testissä 1



PAH-pitoisuudet, altistamisen, pyyhinnän ja suojaussin rumpupesun jälkeen testissä 2





5. Suositukset

Palopuvut

- Normaalipesu keikan jälkeen vesipesulla
- Tarvittaessa lisätehostus otsonilla, varauksella
- Vetyperoksidikäsittelyä emme suosittele
- Syväpuhdistus LCO₂:lla kerran tai pari vuodessa
- LCO₂ ei tuota oksi-PAH-yhdisteitä

Paineilmalaitteiden kasvomaskit

- Käsipesun lisäksi suosittelemme rumpu- ja ruiskupesua vähintäänkin osana vuosihuoltoa

Lämpökamerat

- Pyyhinnän tehostamiseksi suosittelemme puhdistamisen tehostamista esimerkiksi vetyperoksidikäsittelyllä tai suojaussin rumpupesua säännöllisesti



6. Lisätietoja

1. Puustinen A. (toim.) (2022). Kalajoen Raution Metsäpalo 2021. Pelastusopiston julkaisu D-sarja muut julkaisut 3/2022. ISBN 978-952-7217-57-3, ISSN 2342-9305. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D3_2022.pdf

2. Laitinen J., Hassinen M., Kiviranta K., Toivanen P., Huttu I., Savola R., Ahonen V., ja Ruusunen J., Rissanen S., Uusitalo A. (2022) Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa. Pelastusopiston tutkimusraportti 1/2022. ISBN 978-952-7217-56-6, ISSN 2342-9313. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B1_2022.pdf

3. Salmi R., ja Laitinen J. (2024) Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke). Pelastusopiston tutkimusraportti 1/2024. ISBN 978-952-7217-70-2, ISSN 2342-9313. http://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B1_2024.pdf





PELASTUSOPISTO

EMERGENCY SERVICES ACADEMY FINLAND

Erikoistutkija Juha Laitinen | +358503089302 | juha.laitinen@pelastusopisto.fi

Puh. 0295 450 201, PL 112 (käyntiosoite: Hulkontie 83), 70821 Kuopio

PELASTUSOPISTO.FI

