

# Palotutkimuksen päivät 2023

Palotutkimusraadin järjestämät Palotutkimuksen päivät  
hybriditapahtumana 5.–6.9.2023 Hilton Helsinki Kalastajatorpassa



# Pelastustieto

1/2023 PELASTUSTOIMI, ENSIHOITO JA VARAUTUMINEN

systole



# Pelastustieto

PELASTUSTOIMI, ENSIHOITO JA VARAUTUMINEN

systole



# Pelastustieto

PELASTUSTOIMI, ENSIHOITO JA VARAUTUMINEN

systole



ENSIHOITAJALLE  
syyte kolarista

SAIRAALAN TUNNELISSA PALOI  
-hoitotyö jatkui silti keskeytyksettä

# Pelastustieto

**Palo- ja pelastusalan ammattiasiaa vuodesta 1950. Vahva myös verkossa.**

Pelastustieto-lehti ja ensihoidon erikoislehti Systole yhdistyivät vuoden 2023 alussa yhdeksi lehdeksi, jonka nimi on Pelastustieto.

Pelastustieto-lehteä julkaiseva Palo- ja pelastustieto ry hankki Suomen Ensihoidon Tiedotus Oy:ltä oikeuden julkaista Systole-lehteä. Ensimmäinen ensihoidolla vahvistettu Pelastustieto ilmestyi helmikuussa 2023.

”Yhdistymisen myötä Pelastustieto satsaa jatkossa enemmän ensihoitoon. Systolesta ja sen sisällöstä tulee tasapäinen osa Pelastustiedon sisältöä pelastustoiminnan sisällön rinnalle. Liitimme Systolen 35-vuotiaan historian osaksi Pelastustiedon brändiä”, Pelastustiedon päätoimittaja Esa Aalto sanoo.

Systolen päätoimittaja Marko Partanen siirtyi vastaamaan Pelastustiedon ensihoitosisällöstä.

■ Pelastustoimen, ensihoidon ja varautumisen media

■ **Pelastustieto**

■ Palotutkimuksen päivät -erikoisnumero

■ Julkaisija: Palo- ja pelastustieto ry.

■ Päätoimittaja: Esa Aalto • esa.aalto@pelastustieto.fi  
Ratamestarinkatu 11, 00520 Helsinki • puh. 050 5620 735  
www.pelastustieto.fi

■ Ulkoasu ja taitto: Kimmo Kaisto • Kirjapaino: PunaMusta  
Kannen kuva: Jaakko Junikka

■ ISSN 2954-2766 (painettu) • ISSN 2954-2774 (verkkojulkaisu)

## TEEMA: ASUMISTURVALLISUUS

- 4....Ilmoitusvelvollisuus asumisen turvallisuuden varmistajana | [Tarja Ojala, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö](#)
- 9....Pelastuslain 42 §:n mukaiset ilmoitukset käytännössä | [Kristiina Mattila-Nousiainen, Laurea](#)
- 13...Liesipalojen syttyminen ja paloteho – laboratorioskokeet | [Simo Hostikka, Aalto-yliopisto](#)
- 19...Haitallisten aineiden syntyminen ja tuuletus liesipaloissa – laboratorioskokeet | [Simo Hostikka, Aalto-yliopisto](#)
- 25...Asumisterveys huoneistossa, kemialliset altisteet ja niiden vähentäminen liesipalotilanteen jälkeen | [Marjaleena Aatamila, Pelastusopisto](#)
- 30...Nostoja paloturvallisuuden kehityksen aikajanalta: oppeja onnettomuuksista | [Suvi Fried, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö](#)

## TEEMA: TYÖTURVALLISUUS JA METSÄPALOT

- 37...Tulityövahinkojen useat ulottuvuudet | [Tarja Ojala, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö](#)
- 43...Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke) | [Juha Laitinen, Pelastusopisto](#)
- 49...FIRE-RES: Towards greater resilience to extreme wildfire events | [Terhi Kling, VTT](#)
- 53...Metsäpaloriski- ja metsäpalojen ehkäisykarttojen tuotantoprojekti (MARISKA) | [Kalle Kiviranta, Pelastusopisto](#)

## TEEMA: MALLINNUS JA SIMULOINTI

- 59...Fire accident analyses for the DEMO fusion power plant | [Tuula Hakkarainen, VTT](#)
- 65...Adapted FLASHCAT methodology to model horizontal cable tray fires using computational fluid dynamics | [Nikhil Verma, VTT](#)
- 71...Charring cylinders in cone calorimetry: How heat is distributed? –A survey towards fire performance of electrical cables | [Morteza Fard, Aalto-yliopisto](#)
- 77...Mänty- ja kuusipuiden hiiltymisen ja palamisen mallintaminen pyrolyysin, kytemisen ja liekehtivän palon aikana | [Aleksi Rinta-Paavola, Aalto-yliopisto](#)
- 83...Yksiuotteisen yhdistetyn lämmön- ja massansiirtomallin kelpoistaminen pienkokeilla | [Christian Riitamaa, Aalto-yliopisto](#)
- 89...Kauppakeskusten ohjeelliset ja todelliset henkilötiheydet Suomessa ennen koronapandemiaa ja sen aikana | [Timo Rantamäki, KK-Palokonsultti Oy](#)
- 94...Luontaisen pisaroitumisen hyödyntäminen sammuttamisessa | [Marko Hassinen, Itä-Suomen yliopisto](#)

## TEEMA: TIEDOLLA JOHTAMINEN JA PELASTUSTOIMEN KEHITTÄMINEN

- 101....Pelastusviranomaisen asiantuntijana ja todistajana oikeudessa | [Päivi Mäkelä, Pelastusopisto](#)
- 106....Paloriskin tilastopohjaisten tietojen päivitys | [Timo Rantamäki, KK-Palokonsultti Oy](#)
- 111....Tiedolla johtaminen hyvinvointialueiden pelastustoimessa | [Esa Kokki, Hyvinvointialueyhtiö Hyvil Oy](#)
- 115....Tuurilla vai taidolla? – Turvallisuusjohtaminen perusopetuksen koulujen omatoimisen varautumisen arvioinnin (OVA) perusteella | [Matti Waitinen, Turun yliopisto](#)
- 121....Väestönrakenteen vanhenemisen vaikutukset paloriskeihin | [Laura Kuurne, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö](#)

# Ilmoitusvelvollisuus asumisen turvallisuuden varmistajana

## Tiivistelmä

Iäkkäiden kotona asumisen turvallisuus huolestuttaa sekä sosiaali- ja terveysalan että pelastusalan ammattilaisia, iäkkäiden omaisia, läheisiä ja iäkkäitä itseään. Turvallisuuden varmistamiseksi on lainsäädäntö, ohjeet ja palvelutarpeen arviointi. Palvelutarpeen välittämiseksi on käytettävissä myös sosiaalihuolto-, vanhuspalvelu- ja pelastuslain mukainen ilmoitusvelvollisuus, mutta tietoisuus ilmoitusvelvollisuudesta ei tavoita vielä kaikkia toimijatahoja. Tieto ilmoitusvelvollisuudesta ja lomakkeet voivat olla vaikeasti tavoitettavissa ja ilmoittamisen käytänteet vaihtelevat alueittain. Artikkelin tavoitteena on päivittää ilmoitusvelvollisuustietoa. Päivitys tehdään neljän aineiston: Terveysten ja hyvinvoinnin laitoksen vuonna 2022 tekemän kyselyaineiston, hyvinvointialueiden verkosivujen analysoinnin, pelastuslaitoksille tehdyn kyselyn ja eurooppalaisille ikäjärjestöjen edustajille tehdyn kyselyn perusteella. Tulokset vahvistavat aiempaa käsitystä ilmoitusmenettelyiden hajanaisuudesta, poikkihallinnollisen yhteistyön ja ilmoituskäytänteiden kehittämistarpeesta, seurannan niukkuudesta, sekä ilmoitusmenettelyn tunnettuuden ja koulutuksen kehittämistarpeesta, mutta myös ilmoitusmekanismien hyödyllisyydestä.

## TUTKIMUKSEN TAUSTA

Ikääntyneiden määrän kasvu, erityistä tukea tarvitsevien henkilöiden kotona asumisen politiikka, asumisen monimuotoisuus ja ympärivuorokautisten hoivapaikkojen vähentämisspyrkimys ovat johtaneet tilanteeseen, jossa kotona asuu aiempaa enemmän, aiempaa huonokuntoisempia henkilöitä. Tilanne on aiheuttanut huolta kotona asuvien henkilöiden arjen ja asumisen turvallisuudesta laaja-alaisesti, mutta myös paloturvallisuudesta [1]. Huolta ovat lisänneet julkisuuteen tulleet tapaustiedot kotona asuvista iäkkäistä henkilöistä, joille on aiheutunut vaaratilanteita, onnettomuuksia ja henkilövahinkoja. Iäkkäiden palvelujen puutteet näkyvät myös ensihoidossa ja päivystysjonoissa [2].

Sekä sosiaali- ja terveysalan että pelastusalan ammattilaisten huoli palvelutarpeessa olevien henkilöiden riittävän avun saannista on ollut voimakas. Huoli on näkynyt myös pelastustoimen opinnäytetöissä, joissa on pyritty kartoittamaan ja kehittämään pelastustoimen ja sosiaalitoimen yhteistyötä ja toimintamalleja [3–6]. Huoli on ollut merkittävä myös sosiaali- ja terveysalan työntekijöiden kokemana [7, s. 68]. Vastaavaa huolta ovat kantaneet myös useat järjestöt.

Huoli paloturvallisuudesta on ollut myös perusteltu, sillä asuntaloissa menehtyneistä valtaosa on ollut erityisen tuen tarpeessa olleita henkilöitä [8, s. 59; 9, s. 10; 10]. Iäkkäiden palokuoleman riski on yli kaksinkertainen työikäisten palokuoleman riskiin verrattuna [10]. Toisaalta asuntaloissa vaara kohdistuu myös muihin asukkaisiin [11].

Iäkkäiden ja muiden erityistä tukea tarvitsevien henkilöiden palveluiden tarpeenmukaisuus on varmistettu lainsäädännöllä [mm. 12; 13], palvelutarpeen arvioinnilla sekä kirjauksilla strategioihin, suosituksiin ja ohjeisiin [mm. 14]. Ohjausta täydentää sosiaalihuoltolakiin [12, § 35], niin sanottuun vanhuspalvelulakiin [13, § 25] ja lastensuojelulakiin [15, § 25] kirjattu ilmoitusvelvollisuus henkilön mahdollisesta avun tarpeesta. Ilmoituksesta käytetään nimitystä huoli-ilmoitus. Näiden ohella pelastuslakiin on kirjattu ilmoitusvelvollisuus henkilön turvallisuuden vaarantumisesta [16, 42 §]. Ilmoituksesta käytetään nimitystä vaarailmoitus. Ilmoitusvelvollisuudet ovat voimassa salassapitosäädösten sitä estämättä.

Ilmoitusvelvollisuutta pidetään tärkeänä varmistuskeinona tilanteissa, joissa lainsäädännön ja ohjauksen mukaiset palvelut eivät tavoita avun tarvitsijaa. Huoli-ilmoituksia on käytetty arvioitaessa iäkkäiden henkilöiden kykyä huolehtia itsestään. Myös iäkkään henkilön kaltoinakohtelun tunnistamisessa huoli-ilmoituksen on todettu olevan tärkeä väline [17]. Tutkimus aiheesta on kuitenkin vielä niukkaa, eikä ilmoitusten määristä ole kattavaa tietoa.



Pelastuslain 42 §:n mukaisen ilmoitusvelvollisuuden toteutumisesta, ilmoitusmääristä, koulutuksesta ja osaamisesta on arvio Palotutkimuksen päivien 2021 artikkelissa [18]. Aineiston perusteella vaarailmoitusten määrä oli kasvanut voimakkaasti vuosina 2011–2020. Kyselyn perusteella pelastuslaitokset olivat saaneet yli 1500 vaarailmoitusta vuonna 2020. Määrä sisältää 13 pelastusalueen tiedot, joten ilmoitusten kokonaismäärä on tätä suurempi.

Määrällisen arvioinnin ohella on tehty yksittäisiä alueellisia selvityksiä vaarailmoitusten syistä ja ilmoitukseen johtaneiden tilanteiden taustalla olevista olosuhteista ja kehitetty toimintatapoja ja yhteistyötä [19]. Myös tässä julkaisussa on uusi artikkeli aiheesta [20].

Koulutusta ja osaamista koskevat tiedot perustuivat aiempiin tutkimuksiin. Niiden mukaan koulutus ilmoitusvelvollisuutta tavoitti vain neljäsosan lähihoitajista [7, s. 123–124], vaikka jo 2010-luvun puolivälissä toiminnanharjoittajista kolme neljäsosaa tiesi ilmoitusvelvollisuudesta [21, s. 35]. Ilmoitusvelvollisuustietoisuudessa näyttäisi siis olevan kehittämisen tarve sosiaali- ja terveysalalla, mutta myös ensihoidossa [22] ja poliisin koulutuksessa [23].

Myös tiedon saatavuudessa ja toimintamalleissa näyttäisi olevan eroja. Vanhus- ja lähimmäispalvelun liitto VALLIn vuonna 2021 tekemän selvityksen perusteella osassa kunnista oli huoli-ilmoitustieto hyvin näkyvillä kunnan verkkosivuilla, osalla kunnista tiedon löytäminen oli työlästä, osassa tietoa ei löytynyt verkkosivuilta lainkaan [24].

Koulutukselle ja ilmoitusmenettelyiden kehittämiseksi on tarve. Kehittäminen vastaa myös pelastustoimen onnettomuuksien ehkäisyntavoitteita, sekä sisäisen turvallisuuden kansallisen yhteistoimintamallin Ikääntyneiden asumisturvallisuus ja avunsaanti hätätilanteissa -painopisteen toimeenpanon varmistamiseksi perustetun poikkisektoraalisen Huoli- ilmoitustyöryhmän tavoitteita. Hyvinvointialueille siirryttäessä on mahdollista luoda yhteiset hyvät käytänteet. Tämä koskee myös huoli-ilmoitusmenettelyä. Kehitystyötä varten tarvitaan tutkittua tietoa. Toimintamalleja kannattaa peilata myös muiden maiden käytänteisiin. Ikääntyneiden määrän kasvu on kansainvälinen ilmiö. Huoli ikääntyneiden kyvystä pitää huolta itsestään ja yhteiskunnan tarve kehittää varmistavia toimenpiteitä on kansainvälinen.

VALLIn Etsivä Mieli -hankkeen yhteydessä kartoitettiin etsivän vanhustyön käytänteitä eri Euroopan maissa [25]. Tällöin löytyi vain vähän tietoa Euroopan maiden etsivästä vanhustyöstä. Epävirallisen hoivan ja vapaaehtoistoiminnan rooli korostui: vapaaehtoistoiminta tavoittaa ja löytää apua tarvitsevia henkilöitä kai-

kissa EU-maissa. Myös auttavat puhelimet ovat yleistyneet EU-maissa. Tältäkin osin tarvitaan lisää tutkittua tietoa.

## TUTKIMUKSEN TAVOITE

Artikkelin tavoitteena on päivittää kokonaiskuva ilmoitusvelvollisuuden käytännön toteutumisesta sekä sosiaali- ja terveysalan, pelastusalan että hyvinvointialueiden näkökulmista. Tavoitteena on vahvistaa tietoisuutta ilmoitusvelvollisuuteen liittyvistä käytännöistä ja ongelmista, lisätä keskustelua ilmoitusvelvollisuudesta, ilmoitusmahdollisuuden tarpeellisuudesta ja hyödyllisyydestä, mutta myös ilmoitusmekanismien kehittämistarpeesta.

Tarkastelussa kuvataan ilmoitusten erilaiset käytänteet ja kehitystarve. Toteutunutta tilannetta arvioidaan sosiaalialan ja pelastusalan näkökulmasta, hyvinvointialueiden toiminnan käynnistymisen alkuvaiheessa. Artikkelissa verrataan aiempaa tutkimustietoa [18] THL:n tekemän selvityksen [26] tietoihin sekä tätä artikkelia varten kerättyihin tietoihin.

## AINEISTOT JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetään neljää aineistoa, THL:n vuonna 2022 tekemää kyselyä huoli- ja vaarailmoituksista, hyvinvointialueiden verkkosivujen sisällön analyysiä, pelastuslaitoksille tehtyä kyselyä, sekä eurooppalaisille ikäjärjestöille tehtyä kyselyä.

Huoli- ja vaarailmoitusten ilmoitusmekanismien kuvaamisessa jatkajalostettiin Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen keväällä 2022 tekemän kyselyn aineistoja ja raporttia [26]. THL keräsi tietoja huoli- ja vaarailmoituskäytännöistä kuntien verkkosivuilta sekä perehtyi kotimaiseen ja kansainväliseen kirjallisuuteen. Materiaalin perusteella laadittiin Webropol-kysely, joka lähetettiin 23 keskuskunnan sosiaali- ja terveystoimen johtajien sekä 22 alueellisen pelastustoimen riskienhallintapäälliköiden kautta huoli- ja vaarailmoituksia tekeville työntekijöille. Sosiaali- ja terveystoimesta vastauksia saatiin 19 keskuskunnasta asiakas- ja palveluohjauksen ja sosiaalitoimen työntekijöiltä (n=83). Pelastuslaitoksesta vastauksia saatiin 14 yksiköstä ja vastaajina olivat pelastustoimen palotarkastajat (n=27).

Ilmoittamisen ohjeistusta ja ilmoituslomakkeen saavutettavuutta arvioitiin aiemman kirjallisuuden ja hyvinvointialueiden verkkosivuilta tehdyn haun perusteella. VALLIn aiemmassa selvityksessä [24] oli ilmoitusvelvollisuustietoa kartoitettu kuntien verkkosivuilta. Sosiaalitoimen palvelut siirtyivät kunnilta hyvinvointialueille 1.1.2023 alkaen, jonka vuoksi vertailevassa kartoituksessa arvioitiin hyvinvointialueiden verkkosivuja. Kartoituksen tavoitteena oli arvioida ilmoitusvelvollisuuslomakkeen ja ohjeistuksen tavoitettavuutta, muutosta ilmoituslomakkeen ja ilmoitusvelvollisuustiedon aiempaan saavutettavuuteen, sekä saavutettavuuden alueellisia eroja.

Kartoitus tehtiin helmikuun alussa ja toistettiin toukokuun alussa 2023. Molemmissa kartoituksissa käytiin järjestelmällisesti läpi hyvinvointialueiden pääverkkosivut sekä alasivujen sisältämää tietoa ilmoitusvelvollisuudesta. Haku tehtiin pääsivulta ja haku-sanoina oli huoli-ilmoitus, ilmoitusvelvollisuus ja sosiaalihuollon tarve. Haulla arvioitiin huoli-ilmoitustiedon saavutettavuutta kolmesta näkökulmasta: 1.) onko hyvinvointialueen verkkosivujen pääsivulla löydettävissä maininta ilmoitusvelvollisuudesta, 2.) onko hyvinvointialueen verkkosivuilla ylipäätään löydettävissä tietoa ilmoitusvelvollisuudesta, ja 3.) onko ilmoituslomake saatavissa verkkosivujen kautta. Verkkohaun teki ilmoitustyöryhmässä mukana ollut Digi- ja väestötietoviraston edustaja (DVV) [27]. Vaarailmoituslomakkeen saavutettavuutta ei arvioitu, koska pelastustoimessa on käytettävissä yhteinen vaarailmoituslomake [28]. ▶

**"Hyvinvointialueille siirryttäessä on mahdollista luoda yhteiset hyvät käytänteet. Tämä koskee myös huoli-ilmoitusmenettelyä. Kehitystyötä varten tarvitaan tutkittua tietoa. Toimintamalleja kannattaa peilata myös muiden maiden käytänteisiin."**

▶ Huoli- ja vaarailmoitusmäärien muutosta seurattiin aiemman kirjallisuuden ja Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön (SPEK) pelastuslaitoksille toukokuussa 2023 tekemän erillisen kyselyn perusteella. Kysely toteutettiin Webropol-kyselynä ja se välitettiin Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston kautta pelastuslaitoksissa riskiasumiseen liittyvissä tehtävissä työskenteleville henkilöille. Kyselyyn vastasi 22.5.2023 mennessä kuusi vastaajaa (27,3 %).

Kansainvälistä tilannetta kartoitettiin VALLIn tekemällä HelpAge Eurooppa-verkostolle kohdistetulla kyselyllä. Kysely edelsi asian esille otto verkoston kokouksessa huhtikuussa. Kysely lähetettiin sähköpostitse huhtikuun lopussa. Kyselyyn saatiin kuusi vastausta. [29]

## TULOKSET

### Ilmoitusmekanismit THL:n selvityksen mukaan

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen [26] tekemän selvityksen mukaan huoli- ja vaarailmoituksissa on useita erilaisia käytäntöjä. Huoli-ilmoituksen löytäminen kuntien verkkosivuilta oli haasteellista ja ohjeistukset puutteellisia. Suurimmassa osassa toimintayksiköistä oli käytössä yhteisesti sovittu toimintaprosessi huoli-ilmoituksen vastaanoton jälkeen, mutta prosessit vaihtelivat kunnittain ja alueittain. Huoli-ilmoitukset ohjautuivat yleisimmin asiakasohjausyksikköön, seniorineuvontaan tai muuhun keskistettyyn yksikköön tai virka-ajan ulkopuolella päivystystyöryhmälle. Ilmoitukset saattoivat mennä suoraan myös yksittäiselle työntekijälle. Ilmoituksen vastaanottaja arvioi tilanteen kiireellisyyden ja laittoi asian vireille.

Pelastustoimen kansallinen sähköinen lomake oli helpommin löydettävissä. Vaarailmoitukset saapuivat pelastuslaitoksella nimetylle vastuuhenkilölle tai -tiimille, joka huolehti ilmoituksen ohjautumisesta eteenpäin ilmoituksen käsittelevälle. Ilmoituksen kohteena olevan henkilön yhteistietojen puuttuminen lomakkeesta aiheutti viivettä yhteydenotossa. Vastaajat toivoivatkin lomakkeeseen lisättävän riskikohteen tiedot.

Sekä sosiaali- ja terveystoimeen että pelastuslaitokselle ilmoituksen pystyi tekemään useilla tavoilla: sähköisesti, puhelimitse, sähköpostitse tai käymällä paikan päällä. Vaikka sähköisen ilmoituskanavan käyttö oli yleisintä, vastaajat kannattivat monikanavaisen yhteydenoton säilyttämistä. Huolen tai riskin kohteena olevan henkilön tavoitteluun käytettiin tyypillisimmin puhelinta tai kirjettä.

Vastaajat toivoivat sosiaali- ja terveystoimen sekä pelastuslaitoksen yhteistyön tiivistämistä, yhteisiä koulutuksia, yhteisiä arviointikäyntejä asiakkaan kotiin, sekä toimintatapojen ja vastuiden selkeyttämistä. Toimintatavoista sopimista tarvittiin erityisesti niissä tilanteissa, joissa henkilö ei päästä viranomaisia arviointitapaamiseen tai henkilöön ei saada yhteyttä. Raportissa myös todetaan, ettei kaikilla sosiaali- ja terveysalan ammattilaisilla, saati kansalaisilla ole tietoisuutta ilmoitusmahdollisuudesta tai -velvollisuudesta.

### Ilmoitusmäärät

THL:n selvitykseen perusteella huoli-ilmoituksista kerättiin vaihtelevasti tilastotietoja, eikä tarkoista ilmoitusmääristä ole kattavaa tietoa. KANTA-palveluihin tulee 1.9.2024 lähtien kirjata myös huoli-ilmoituksen vireilletulo. Tämä helpottaa tiedon keräämistä tulevaisuudessa.

Sosiaali- ja terveystoimen työntekijöiltä tiedusteltiin, kuinka usein he ovat tehneet vaarailmoituksen viimeksi kuluneen 12 kuukauden aikana. Vastaajat arvioivat tehneensä 0–12 vaarailmoitusta, tyypillisimmin yhden ilmoituksen per työntekijä. Kuitenkin puolet vastaajista ilmoitti, ettei ole tehnyt yhtään vaarailmoitusta. Pelastustoimen vastaajat arvioivat, että he ovat tehneet

0–50 ilmoitusta puhelimitse ja sähköisesti tai paperilla 0–30 ilmoitusta per työntekijä.

### Ohjeistus ja ilmoituslomake hyvinvointialueiden verkkosivuilla

DVV:n kartoitusten mukaan huoli-ilmoitusmaininta oli helmikuun alussa 2023 kahden hyvinvointialueen (9,1 %) verkkosivujen pääsivulla. Toisen alueen verkkosivulla Huoli ikäänntyneestä -painike tosin johti virheilmoitukseen. Toukokuussa linkki oli korjattu.

Ensimmäisen haun aikaan helmikuussa tietoa ilmoitusvelvollisuudesta löytyi kahdeksan hyvinvointialueen (36,4 %) verkkosivuilta. Lisäksi yhdellä alueella oli tietoa lastensuojelulain perusteella tapahtuvasta ilmoittamisesta, mutta työikäisistä tai iäkkäistä sosiaalihuoltolain perusteella tapahtuva ilmoittaminen puuttui. Muilla alueilla (63,6 %) ei löydetty mainintaa ilmoitusvelvollisuudesta. Toukokuun alussa tehdyssä seurannassa löydettiin yhteensä 15 alueen sivuilla (68,2 %) tietoa ilmoitusvelvollisuudesta. Seitsemän (31,8 %) hyvinvointialueen verkkosivuilla ei vielä toukokuussa 2023 ollut mainintaa huoli-ilmoituksista. Linkki huoli-ilmoituslomakkeeseen löytyi helmikuun alussa seitsemän hyvinvointialueen verkkosivulta, toukokuussa 13 alueen sivuilta. Näistä kahdella oli vain lastensuojelun tarpeen ilmoitus. Yhdellä hyvinvointialueella oli ilmoituslomake myös ilmoittajan omasta avuntarpeesta. Yksittäisillä alueilla oli eriytetty lomakkeet tilanteisiin, joissa huolen kohde on antanut suostumuksensa ilmoittamiseen ja tilanteisiin, jossa suostumusta ei ole.

Osalla alueista linkitys oli jouheva, osalla ilmoitustiedon haku oli haastavaa. Esimerkkinä ilmoitusvelvollisuutta käsittelevältä sivulta tehty linkitys ilmoituslomakkeeseen siten, että linkistä aukei hyvinvointialueen kaikkien lomakkeiden luettelo. Osalla hyvinvointialueita lomake oli alueen yhteinen, mutta ensimmäisenä valittiin sijaintikunta. Yksittäisellä alueella oli linkki yksittäisen kunnan ilmoituslomakkeeseen, ei hyvinvointialueen yhteiseen lomakkeeseen.

### Vaarailmoitukset

Kuuden kyselyyn vastanneen pelastuslaitoksen alueella oli vuonna 2022 vastaanotettu yhteensä 498 vaarailmoitusta. Määrä on vain kolmasosa aiemmassa tutkimuksessa [18] todetusta vuoden 2020 pelastuslaitosten saamien ilmoitusten määrästä. Alhaista määrää selittää tämän kyselyn vastaajien alhainen määrä. Kyselyyn vastanneiden kuuden pelastuslaitosten alueella oli vuonna 2019 tehty 347 ilmoitusta ja vuonna 2022 yhteensä 498 ilmoitusta. Vaarailmoitusten määrä oli kasvanut vuoden 2019 tilanteesta 43,5 prosenttia.

Kyselyyn vastanneilla alueilla ilmoitettu määrä perustui seurantaan. Sähköisen vaarailmoituslomakkeen kautta ilmoituksista oli tullut 60–100 prosenttia. Osa pelastuslaitoksista sai vaarailmoituksia myös muiden ilmoituskanavien kautta, myös puhelimitse tai suullisesti suoraan päivystävän palotarkastajan kautta. Valtaosa ilmoituksista oli johtanut toimenpiteisiin, eivätkä kyselyn vastaajat raportoineet ilkeiltä ilmoituksista.

Ilmoitusten syinä olivat epäily asukkaan kyvystä pärjätä, merkittävä palokuorma, tupakointi, lieden käyttö tai yleinen huoli asukkaasta. Ilmoitukset johtivat viranomaisten yhteiskäynteihin ja onnistuessaan ne johtivat henkilön saamaan tukeen tai pääsyn toimintakykyä vastaavaan asuinmuotoon. Ilmoituksilla on siis parhaimmillaan selkeä myönteinen vaikutus ilmoituksen kohteen turvallisuuteen. Kaikki tilanteet eivät kuitenkaan johda toivottuun tulokseen:

”Suurin osa tapauksista on enemmän tai vähemmän epäonnistuneita. Valtaosalla ilmoituksen kohteena olevista henkilöistä on fyysisiä tai psyykkisiä ongelmia ja/tai alkoholi on vahvasti syy-



nä asuinolosuhteiden heikkoon tilaan. Jos juurisyytä ei hoideta, ongelma korjautuu väliaikaisesti tai siirtyy toiseen osoitteeseen.”

Interventiot edellyttävät yhteistyötä, mutta kyselyyn vastanneista pelastuslaitoksista vain yhdellä (1/6) alueella oli yhteistyöverkosto tai -ryhmä vaarailmoitusten käsittelyyn. Yhteistyön arvioitiin hakevan vielä muotoaan, mutta muutos nähtiin myös mahdollisuutena.

### Ilmoitusvelvollisuus kansainvälisessä kontekstissa

THL:n selvityksessä ilmeni, että kansallisella tasolla tieteellistä tutkimusta huoli-ilmoituksen käytöstä on tehty vähän [17; 30]. Ruotsissa näyttäisi olevan samanlainen ilmoitusprosessikäytäntö kuin Suomessa: iäkkäistä henkilöstä heränneestä huolesta voidaan ilmoittaa sosiaalihuollon viranomaisille. THL:n selvityksen mukaan kansainvälisessä keskustelussa ilmoituskäytännöt näyttäisivät liittyvän pääasiassa kaltoinkohteluun [31].

Vanhus- ja lähimmäispalvelun liitto VALLI ry on kansainväliseen HelpAge Internationalin jäsenyhteisö. HelpAge:n Eurooppa-verkostolta kartoitettiin eri eurooppalaisten maiden huoli- ja vaarailmoituskäytäntöjä. Asiaa käsiteltiin verkoston kuukausikokouksessa huhtikuussa sekä lyhyellä sähköpostikyselyllä touku-kuussa [29]. Keskustelussa nousi esiin eri maiden kulttuuriset erot. Yksittäisten maiden edustajat näkivät, että asia on ensisijaisesti omaisten ja läheisten huolehdittavissa, perheen ”sisäisenä asiana”. Resurssien puute nousee esiin maissa, koska ei ole varaa kehittää järjestelmiä väestön ikääntymisen määrän kasvun mukaisesti.

Ikääntyneisiin liittyvää omaa lainsäädäntöä on useassa maassa. Viranomaisilla on osassa maista ”huoli-ilmoitusvelvollisuus” (UK). Ehkäisevän työn osalta lainsäädännössä on mukana esimerkiksi ehkäisevät kotikäynnit kaikkien 75-vuotiaiden luona (Tanska). Mikäli 65–81-vuotias henkilö kuuluu riskiryhmään, on palveluna hoitajan säännölliset kotikäynnit (laki hyvinvointipalveluista). Huoli-ilmoitusohjeena on käytössä useimmiten yhteydenotto paikalliseen, kunnalliseen sosiaaliviranomaiseen. Joissakin maissa on käytössä myös auttava puhelinpalvelu (Italia). Osassa maista kirkolla ja kirkkojen eri palveluilla on merkittävä rooli haavoittuvassa asemassa olevien vanhojen ihmisten tukemisessa (esim. Keski-Euroopan maat ja Malta). Ennaltaehkäisevässä työssä korostui paikallisten ja valtakunnallisten järjestöjen sekä vapaaehtoistojen rooli. Verkostomainen työskentely nousi esiin paikallisella tasolla. Vastaavaa mallia on Suomessa kehittänyt mm. VAL-LL:n Etsivän vanhustyön verkostokeskus.

### POHDINTA

THL:n tutkimus osoittaa ilmoitusmekanismien moninaisuuden ja kehittämistarpeen. Hyvinvointialueiden verkkosivuille tehty haku osoittaa ilmoitusvelvollisuustiedon saavutettavuuden ongelmat ja alueiden väliset erot hyvinvointialueilla. Osalla alueista ei iäkkäiden, saati työikäisten avuntarpeeseen ja huoli-ilmoitukseen ole kiinnitetty verkkosivuille vielä huomiota. Yksittäisellä alueella on huomattu myös ilmoitusmahdollisuus ilmoittajan omasta avuntarpeesta. Omasta tilanteesta ilmoittaminen on arvokas tilanteissa, joissa ulkopuolinen ei havaitse avun tarvetta, ei tiedä ilmoitusvelvollisuudesta, tai tee ilmoitusta. Verkkosivuhaku osoittaa, että ilmoitusvelvollisuustiedon löytäminen hyvinvointialueiden verkkosivujen kautta on vielä epävarmaa, kuten oli kuntien verkkosivuilakin. Vaikka tilanne on parantunut hyvinvointialueiden verkkosivujen täydentyessä kevään aikana, tieto voi olla edelleen vaikeasti tavoitettavissa tai se voi puuttua verkkosivuilta kokonaan.

Vaarailmoituskyselyn vastaajamäärä jäi valitettavan alhaiseksi, mutta vastausten perustella voidaan approksimoida ilmoitusmäärien kehitystä. Korona-aika näyttäisi tasoittaneen ilmoitusmäärien

kasvua, silti ilmoitusmäärät ovat lähes puolitoistakertaiset vuoteen 2019 verrattuna. Ilmoitukset ovat olleet perusteltuja, ja osoittavat, että tuen tarpeessa olevat henkilöt eivät aina saa apua oikea-aikaisesti, joten ilmoitusmekanismille on todella tarve.

Toisaalta tulee kiinnittää huomio vaarailmoitusten seurausten kaksijakoisuuteen. Ne voivat johtaa tilanteen korjaamiseen ja ilmoituksen kohteena olleen henkilön arjen ja asumisen turvallisuuden kohentamiseen. Tuen varmistamiseksi huomio tulee kuitenkin kiinnittää ongelmien juurisyyden korjaamiseen, jos avun tarvitsija ei tunnista avun tarvettaan.

Kansainvälisesti arvioituna eri maiden käytänteet poikkeavat toisistaan. Termit ja niiden sisällöt vaihtelevat eri maissa ja niiden yhteensovittaminen on tästä syystä haastavaa. Kansainvälisten käytäntöjen selvittäminen aiheesta ja vertaaminen Suomen tilanteeseen vaatisi laajemman selvitys- tai tutkimustyön. Tietojen täydentäminen kokonaiskuvan saamiseksi on tärkeä.

### JOHTOPÄÄTÖKSET

Huoli- ja vaarailmoitusten kautta on mahdollista saada tietoa iäkkäiden henkilöiden tarvitsemasta tuesta, ja parhaimmillaan voidaan välttää vaaratilanteita. Tuella ja sen oikea-aikaisuudella on siten tärkeä merkitys iäkkään henkilön turvallisuudelle. Ilmoitusmekanismien yhtenäistämällä voidaan myös alentaa kustannuksia, sillä nykyiset huoli- ja vaarailmoitusten useat käytännöt tarkoittavat samalla päällekkäistä ja käytännössä tehotonta työtä palvelujärjestelmissä. Niukkojen resurssien tuhlaamiseen ei ole varaa, vaan prosessien ja niiden johtamisen tulee olla kunnossa. THL:n selvitys päätyi suosittamaan toimintakäytäntöjen yhtenäistämistä ja kehittämistä, joka parantaisi myös palveluiden kustannustehokkuutta.

Kansalaisten kannalta niin sanottu yhden luukun periaate, yhtenäinen mekanismi huoli- tai vaarailmoituksen tekemiseen olisi kannatettavaa, sillä kansalaiset eivät aina tiedä mikä asia kuuluu kenenkin viranomaisen hoidettavaksi. THL on esittänyt selvitystyön pohjalta yhteisen kansallisen tason sosiaali- ja pelastustoimen ilmoittamisen kanavan ja lomakkeen rakentamista. Tämä helpottaisi ilmoituksen löydettävyyttä ja tekemistä. Viranomaisyhteistyön sujuvoittamiseksi ja asian vireelle tulon nopeuttamiseksi THL ehdottaa myös oman ilmoittamisen kanavan perustamista viranomaisille. Tutkimuksen tulokset tukevat ehdotusta. Jos viranomaiset eivät tiedä lakisääteisestä velvoitteestaan tai kansalaiset mahdollisuudestaan tehdä huoli- tai vaarailmoitus, niin ilmoituksia jää tekemättä ja avuntarpeessa oleva iäkäs ei välttämättä saa tarvitsemaansa apua ajoissa. Pahimmassa tapauksessa tilanne voi kriisiytyä ennen kuin avuntarve tiedostetaan tai paloriski tunnistetaan. Tarvitaan tietoisuuden lisäämistä niin viranomaisten kuin kansalaisten keskuudessa. Tämä pitäisi tehdä hyödyntäen kaikkia käytettävissä olevia kanavia ja toimijoita. Huoli- ja vaarailmoitukset toimivat ennakoinnin työvälineenä ja saattavat vähentää tai siirtää raskaiden ja kalliiden palveluiden alkamista.

Jotta toiminnan kehittäminen perustuisi tietoon, tulisi ilmoituksista saada jatkuvasti päivittyvä, sekä määrällinen että laadullinen kokonaiskuva. Kokonaiskuvan saamiseksi tarvitaan yhtenäinen järjestelmä, joka mahdollistaa myös huoli- ja vaarailmoitusten sisällöllisen seurannan, tarvittavan kehittämistyön ja toimenpiteiden ohjauksen. Tämä on perusteltua sekä inhimillisesti että taloudellisesti. Arvion mukaan resurssien ohjaaminen ehkäisevään työhön säästää myöhemmän ajan raskaamman hoivan kustannuksista. Samalla se tukisi iäkkäiden kotona asumisen turvallisuutta, ja voisi tuoda apua sosiaali- ja terveysalan henkilöstöpulaan.

Sosiaali- ja terveysalan sekä pelastusalan työntekijöiden yhteiset koulutustilaisuudet ja arviointikäynnit huolen kohteena ole-

- van henkilön luo lisäävät ymmärrystä toisten työstä ja opettavat arvioimaan avuntarvetta ja riskikohteita eri näkökulmista. Esihenkilöillä on tärkeä rooli työntekijöiden osaamisen vahvistamisessa ja toimintakäytäntöjen kehittämisessä. Lisäksi työntekijöiden huoli- ja vaarailmoituskäytäntöjen osaaminen ja turvallisuusosaaminen tulisi edellyttää ja kannattaisi huomioida palveluja kilpailutettaessa.

## KIITOKSET

Artikkeli perustuu kirjoittajien huoleen erityistä tukea tarvitsevien henkilöiden arjen ja asumisen turvallisuudesta. Kiitämme kukin omaa organisaatiotamme tuesta artikkelin toteuttamiseksi. Tutkimus on tehty osana kirjoittajien omaa työtä, SPEKissä Palosuojelurahaston rahoituksella, osana asumisturvallisuuden ja paloturvallisuuden edistämistyötä, VALLissa STEA:n myöntämällä avustuksella ja THL:lla oman työn ohessa. Kiitämme kaikkia rahoittajia.

Artikkelin taustalla on sisäministeriön onnettomuuksien ehkäisyn toimintaohjelma, sekä sisäisen turvallisuuden kansallisen yhteistoimintamallin *Ikääntyneiden asumisturvallisuus ja avunsaanti hätätilanteissa* -painopisteen toimeenpanon varmistamiseksi perustetun Huoli- ilmoitustyöryhmän toiminta. Kiitämme kaikkia työryhmän jäseniä yhteistyöstä, tiedonhausta ja kommentoista yhteistyön aikana ja artikkelin työstämisen yhteydessä. Erityisesti kiitämme kaikkia artikkelin aineistona käytettyihin kyselyihin vastanneita henkilöitä. Tutkimukseen tarjoamanne tieto on arvokasta ja pyrimme hyödyntämään sitä toimintamallien kehittämisessä ja turvallisuuden edistämässä kaikissa sopivissa asia-yhteyksissä jatkossakin. ■

## LÄHTEET

1. THL, 2019. Turvallisuus ympärivuorokautisessa hoidossa ja kotihoidossa. <https://thl.fi/fi/web/hyvinvoinnin-ja-terveyden-edistamisen-johtaminen/turvallisuuden-edistaminen/tapaturmien-ehkaisy/iakkaiden-tapaturmat/turvallisuus-ymparivuorokautisessa-hoidossa-ja-kotihoidossa> (viitattu: 19.5.2023)
2. Töyrylä, I., 2021. Päivystysruuhkien syyt ovat paljon syvemmällä kuin vain hoitajapulassa – Porvoon päivystyksen ylilääkäri: Ongelmat alkoivat kasautua, kun vanhainkotijärjestelmä ajettiin alas. Artikkel. Uusimaa 14.8.2021.
3. Kielinen, T., 2013. Kotonaan asuvien erityisryhmiin kuuluvien henkilöiden paloturvallisuus ja viranomaisyhteistyö. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu.
4. Kummunsalo, K., 2014. Toiminnallinen opinnäytetyö: Ohje asuntojen palo- ja onnettomuusriskien ilmoittamisesta. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu.
5. Salo, O., 2018. Ikäihmisten kotona asumisen turvallisuus. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
6. Hakonen, S., 2022. Paloriskitarkastustoiminnan kehittäminen. LAB-Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/791744> (viitattu: 27.4.2023).
7. Ojala, T., 2022. Toimintakyvyltään heikentyneiden henkilöiden asumisturvallisuus, hoivahenkilöstön työturvallisuus ja turvallisuuskoulutus lähahoitajien kokemana - SuPerin jäsenkysely 2019. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö.
8. Kokki, E., 2011. Palokuolemat ja ihmisen pelastamiset tulipaloissa 2007–2010. Kuopio: Pelastusopisto. Pelastusopiston julkaisu, B-sarja: Tutkimusraportit 3/2011.
9. Kokki, E., 2014. Palokuolemat vähentyneet. Suomen palokuolematilastot 2007–2011. Kuopio: Pelastusopisto. Pelastusopiston julkaisu, B-sarja: Tutkimusraportit 2/2014.

10. THL, 2022. Palokuolemat. <https://thl.fi/fi/web/hyvinvoinnin-ja-terveyden-edistamisen-johtaminen/turvallisuuden-edistaminen/tapaturmien-ehkaisy/tapaturmat-suomessa/palokuolemat> (viitattu: 19.5.2023).

11. OTKES, 2021. Senioritalon tulipalo Jyväskylässä 10.7.2020. Tutkintaselostus Y2020-01. Onnettomuustutkintakeskus.

12. Sosiaalihuoltolaki 1301/2014.

13. Laki ikääntyneen väestön toimintakyvyn tukemisesta sekä iäkkäiden sosiaali- ja terveyspalveluista (vanhuspalvelulaki) 980/2012.

14. Saarsalmi, O. & Koivula, R. (toim.), 2017. Näkökulmia sosiaalihuollon palvelujen turvallisuuteen. Ohjaus 19/2016, 2. versio 2017. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos.

15. Lastensuojelulaki 417/2007, 25 §.

16. Pelastuslaki 379/2011, 42 §.

17. Valtokari, M., Alastalo, H. & Luoma, M.-L., 2021. Ikääntyneiden kaltoinkohtelu ja sen tunnistaminen huoli-ilmoituksen avulla. Terveiden- ja hyvinvoinninlaitos. <https://www.julkari.fi/handle/10024/140906> (viitattu: 22.5.2023).

18. Ojala, T., 2021. Pelastuslain 42 §:n mukainen ilmoitusvelvollisuuden vaikuttavuus. Palotutkimuksen päivät 2021. Pelastustieto, Palotutkimuksen päivien erikoisnumero.

19. EKSOTE, 2022. Joukkuepeliä hanke loppuraportti. Etelä-Karjalan sosiaali- ja terveyspiiri, Etelä-Karjalan pelastuslaitos.

20. Mattila-Nousiainen, K. & Salmi, S., 2023. Pelastuslain 42 §:n mukaiset ilmoitukset käytännössä. Palotutkimuksen päivät 2023. Pelastustieto.

21. Ojala, T., Koskinen, H., Grönfors, M., Somerkoski, B., Martikainen, N. & Lounamaa, A., 2016. Sosiaali- ja terveydenhuollon paloturvallisuuteen liittyvät käytännöt laitoshoitossa, tuetussa asumisessa ja kotiin annettavissa palveluissa 2015. Valtakunnallisen kyselytutkimuksen tulokset. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos.

22. Heininen, H., Laakso, N. & Talasoja, N., 2019. Ensihoitajan ilmoitusvelvollisuus ja -oikeus sekä salassapito- ja vaitiolovelvollisuus – opas ja tietotesti oppimisen tueksi. Turun AMK.

23. Nyman, H., 2019. Pelastuslain 42 §:n mukainen ilmoitusvelvollisuus: toteutuminen ja kokemukset Pirkanmaan Kenttäryhmissä. Poliisiammattikorkeakoulu.

24. Tiittula, P., 2021. Huoli-ilmoituksen yhtenäistäminen ja jalokauttaminen. Alustus, Asumisturvallisuusverkoston webinaari 22.11.2021. Etsivän vanhustyön verkostokeskus VALLI ry.

25. Kuikka A., 2015. Etsivä vanhustyö meillä ja muualla. Raportti suomalaisista ja eurooppalaisista käytännöistä. Vanhus- ja lähimmäispalvelun liitto VALLI ry, Kehittyvät vanhuspalvelut julkaisu 1/2015.

26. Ring, M. & Hammar, T., 2022. Huoli-ilmoituksen käyttö Suomessa. Selvitys. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <https://www.julkari.fi/handle/10024/145774> (viitattu: 5.5.2023).

27. Tukio, V.-M., 2023. Huoli-ilmoituksen näkyvyys hyvinvointialueitten nettisivuilla. Sähköpostiviestit 8.2. ja 3.5.2023.

28. Pelastustoimi, 2022. Ilmoitus ilmeisestä palovaarasta tai muusta onnettomuusriskistä. <https://pelastustoimi.fi/asiointi/lo-makkeet/ilmoitus-ilmeinen-palonvaara> (viitattu: 5.5.2023).

29. Dufva, V., 2023. Kartoitus eri eurooppalaisten maiden käytäntöihin huoli- ja vaarailmoituskäytäntöjen osalta. Sähköpostikysely. Työpäpaperi.

30. Salminen-Tuomaala, M., Tiainen, J. & Parviainen, E., 2022. Ensihoitajien kokemuksia ikääntyneiden kaltoinkohtelusta. Gerontologia, 36 (1), s. 49–69.

31. NIH – national institute for aging, 2020. Elder Abuse. <https://www.nia.nih.gov/health/elder-abuse>, (viitattu 15.5.2023).



# Pelastuslain 42§ mukaiset ilmoitukset käytännössä

## TIIVISTELMÄ

Selvitys ilmoittajista ja ilmoitusten syistä on osa sosionomin opinäytetyötä, joka tehdään toiminnallisena kehittämistyönä. Kohdeena on Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen tilaama opas sosiaalialan toimijoille pelastuslain 42§ mukaisen ilmoitusvelvollisuuden toteuttamisesta suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi. Aineiston täydet käyttöoikeudet siirtyvät Päijät-Hämeen pelastuslaitokselle. Taustaselvityksenä kysyttiin eri pelastuslaitoksilta tietoja heidän saamistaan viranomaisilmoituksista, tutkimuskysymyksinä: mikä viranomaistaho oli ilmoituksia tehnyt sekä mikä oli ilmoituksen johtanut syy. Numeerisen tiedon lisäksi haastateltiin kolmen eri pelastuslaitoksen paloriskiasuntojen käsittelyyn osallistuvaa palotarkastajaa. Analyysimenetelmänä käytettiin dokumentti-analyysia. Haastatteluissa nousi esille toimijoiden kouluttamisen vaikutus ilmoituksiin, niiden määrään sekä laatuun, sekä tiettyjen viranomaisryhmien pienet ilmoitusmäärät heidän kotikäyntien lukumääristä huolimatta. Tyypillisin syy ilmoitukseen oli tavaramäärä, joka vaikuttaa myös poistumisen turvallisuuteen sekä pelastustoiminnan onnistumiseen. Liesiturvallisuus, palovaroittimien puute, soveltumattomuus tai toimimattomuus sekä tulenkäsittely esimerkiksi sisällä tupakoinnin kautta olivat ilmoitusten muita tyypillisiä syitä.

## JOHDANTO

Vuonna 2011 tuli voimaan pelastuslaki 379, jonka 42§:n mukaan on kotikäyntejä tekevien henkilöiden ilmoitettava havaitsemistaan palo- ja onnettomuusvaaroista, salassapitosäännösten tätä estämättä [1]. Tämä koskee myös seurakuntien työntekijöitä lukuun ottamatta kirkkolain 1054/1993 5. luvun 2§ rippisalaisuuden piiriin kuuluvia asioita [2]. Myös palvelusetelillä tai ostopalveluna, kunnalle, kuntayhtymälle, kaupungille tai hyvinvointialueelle työskentelevien kotikäyntejä tekevien henkilöiden tulisi ilmoittaa havaitsemistaan palo- ja onnettomuusriskeistä.

Vaikka palo- ja onnettomuusriskiasuntojen ilmoitusvelvollisuus on ollut voimassa jo vuosia, tieto sen kohdistumisesta omaan työhön vaihtelee eri alueilla ja toimijoilla. Tarja Ojala on tehnyt SuPer ry:n jäsenistölle kyselytutkimuksen, jossa yhtenä asiana käsiteltiin PeL 379/2011 42§ mukaista ilmoitusta; tietoisuutta ilmoitusvelvollisuudesta, koulutusta aiheesta sekä ilmoitusten tekoa [3]. Tutkimuksen perusteella tietoisuus, koulutus ja ilmoitusmäärät vaihtelivat merkittävästi, vain 25 % vastaajista oli saanut aiheesta koulutusta. Myös työpaikan ilmoituskäytännöt ja esimiesten vaikutus ilmoituskynnykseen vaihtelivat tämän tutkimuksen mukaan.

Sosiaali- ja terveysalan näkökulmasta tehtyä opasta pelastuslain ilmoitusvelvollisuudesta ei ole aiemmin tehty. Lassi Kylälampi ja Severi Uurasmaa ovat tehneet aihepiiristä oppaan opinäytetyönä [4], mutta sen näkökulma ja kieli on pelastuslaitoslähtöistä. Opinäytetyö on tehty osana Pirkanmaan pelastuslaitoksen vuoden 2017 palopäällystön koulutusohjelmaa. Kahden eri toimijan näkökulma kohteeseen tulee oman alan lainsäädännöstä. Pelastuslain 78§ mukaan pelastuslaitoksen on valvottava 2 ja 3 luvun mukaisen kiinteistön, sen toimintaan ja poistumiseen liittyviä asioita, kun taas sosiaali- ja terveydenhuollon henkilöstön näkökulma on asiakkaassa ja tämän hyvinvoinnissa, sosiaalihuoltolain 1§ mukaisesti [5]. Palotarkastaja voi antaa määräyksiä, mutta sosiaalitoimen toimenpiteet perustuvat asiakkaan vapaaehtoisuuteen. Haastatteluissa nousi esiin, ettei pelastustoimen henkilöstöllä ole välttämättä tietoa siitä, mitä toimenpidemahdollisuuksia sosiaalitoimen alaisilla työntekijöillä on [6].

Tavoitteena oli saada samanlainen aineisto eri pelastuslaitoksilta vertailtavaksi vuosien 2018–2022 väliltä, mutta se ei toteutunut. Pelastuslaitosten yhtenäistä seurantaan ilmoittajista, ilmoitusten syistä ja ilmoitettujen kohteiden taustoista ei ole tehty tähän mennessä. Eri pelastuslaitokset tilastoivat eri tavoin kohteita, lisäksi hyvinvointialueiden mukanaan tuoma tietojärjestelmien uudistus vaikeutti merkittävästi vanhojen aineistojen etsintää. Mikäli

- tarkkoja tietoja kohteista halutaan, pitäisi mahdolliset ilmoitukset tutkia manuaalisesti arkistoista. Osa ilmoituksista puuttuu. Niitä ei välttämättä ole tallennettu erikseen, mikäli työvuoro tai ensihoito on vuoron vaihtuessa käynyt kertomassa kohteesta suoraan palotarkastajalle tai ilmoittaja on soittanut kohteesta ja tiedot on otettu heti käsittelyyn. Tietoja on koostettu niiden vuosien osalta, joista pelastuslaitokset luovuttivat vertailukelpoista aineistoa.

ne voidaan jättää epähuomiossa, tietämättömyydestä tai omaan toimintaan kuulumattomina toteuttamatta.

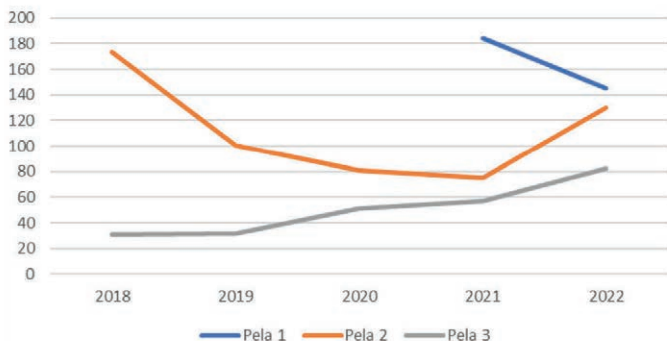
**Palo- ja onnettomuusriskiasuntoilmoituksen tyypilliset syyt**  
Jokaisella aineistoa selvitykseen antaneista pelastuslaitoksista, selvästi yleisin ilmoituksen tekoon johtanut syy oli tavaramäärä asunnossa. Seuraavana oli poistumisturvallisuus, liesiturvallisuus ja palovaroitin puutteet. Tavaramäärän ollessa suuri, oli myös poistuminen asunnosta ja pelastustoiminnan suorittaminen vaikeutunut. Tavaramäärään puuttuminen sosiaali- ja terveystoimen työntekijänä, voi olla vaikeaa ihmisen vahvan itsemääräämisoikeuden vuoksi. Pelastustoimen viranomaisilmoituksen [9] sivuilla oleva kuvitettu ohjeistus helpottaa havaitsemaan milloin tavaramäärä on riski, eikä vain perussiisteyteen vaikuttava asia. Toisinaan palo- ja onnettomuusvaarailmoitus on tehty kohteesta, joka on sekainen ja likainen, mutta ei vielä ylitä tavaramäärän osalta ilmoituskynnystä [6].

Poistumisturvallisuutta ei heikennä pelkäämään tavaramäärä asunnossa. Kotihoidon asiakkaista iso osa on todella huonokuntoisia [7]. Heillä ei ole mitään mahdollisuutta poistua kotoaan 2–3 minuutin kuluessa palovaroittimen hälytyksestä. Pelkkä ihmisen toimintakykyyn liittyvä poistumisturvallisuus syynä, ei kuitenkaan ollut ilmoituksissa nähtävillä.

Liesiturvallisuus on edelleen, huolimatta lieden turvalaitteista, induktioliedestä ja kotihoidolle tyypillisestä sulakkeiden poistamisesta, ongelmakohta asunnoissa. Ihmiset saattavat säilyttää sytyviä tavaroita lieden päällä tai uunissa. Osa ilmoituksista on tullut työvuorolta sammutuskeikan jälkeen, osan on havainnut ensihoito, isännöitsijä tai huoltomies.

Palovaroittimien sijoittelussa, kunnossa ja asiakkaalle soveltuvuudessa on ollut ilmoitusten mukaan puutteita. Haastatteluiden perusteella eri pelastuslaitoksilla on erilaisia toimintatapoja puuttuvien palovaroittimien osalta. Kaikkialla ilmoitusta ei oteta koko palotarkastusprosessiin, ellei kohteessa ole muuta ongelmaa. Osassa asukkaan kanssa keskustellaan, pystyykö hän hoitamaan palovaroittimen paikoilleen. Ellei pysty, palotarkastaja käy ilmoituskohteen lähistöllä muutenkin ollessaan laittamassa pelastuslaitoksen lahjoittaman palovaroittimen paikoilleen [6]. Kotihoidon toimijoilla on erilaisia ohjeistuksia palovaroittimien testaamisen ja vaihdon osalta. Vaatiessaan kiipeämistä, saattaa toiminta vaarantaa työntekijän työturvallisuuden, eikä työnantaja suosita tai hyväksy palovaroittimien käsittelyä.

Pelastuslaitoksille tulleet ilmoitukset



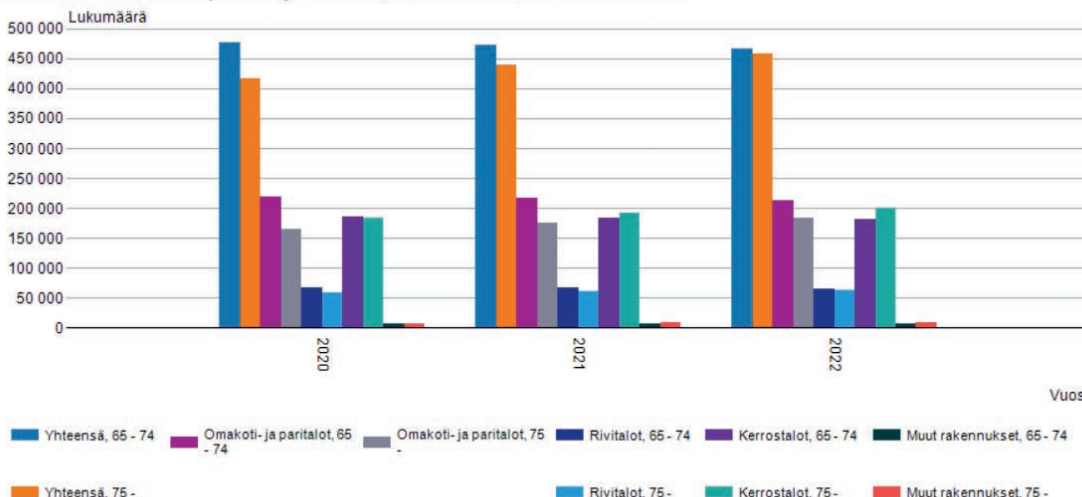
Kaavio 1. Tausta-aineiston keräämiseen osallistuneiden pelastuslaitosten ilmoitukset [6].

## PALO- JA ONNETTOMUUSRISKIASUNNOT

Palo- ja onnettomuusriskien havaitsemiseen vaikuttaa ihmisen oma turvallisuusorientoituminen sekä kokemus. Työntekijä menee kohteeseen ensisijaisesti tekemään omaa työtään. Hän ei välttämättä edes havaitse palo- tai onnettomuusriskejä asunnossa, huomion ollessa asukkaassa ja tämän hyvinvoinnissa.

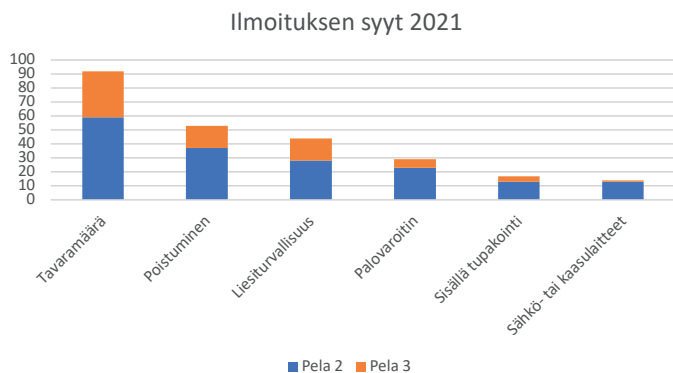
Yhä heikompi kuntoiset ihmiset asuvat omissa kodeissaan erilaisten palveluiden turvin. Vuonna 2022 kotihoidon käyntien määrä väheni ainakin 1 800 000 käynnillä edelliseen vuoteen nähden, samalla ikääntyneiden määrän jatkaessa kasvuaan [7]. Usein heidän asuntonsa on suunniteltu ja rakennettu ns. normaalikuntoiselle henkilölle, eikä asuinympäristö huomioi asukkaan muuttanutta toimintakykyä. Asukkaan asumisen turvallisuutta olisi mahdollista kohentaa, mutta toimenpiteet maksavat, eikä niille löydy maksajaa. Vaikka osa toimenpiteistä olisi ilmaiseksi toteutettavia,

Asuntokunnat muuttujina Talotyyppi, Asuntokunnan vanhimman ikä ja Vuosi. KOKO MAA, Kaikki asuntokunnat, Sukupuolet yhteensä, Asuntokuntien lukumäärä.



Kaavio 2. Tilastokeskuksen asuntokuntien ja talotyyppien mukaan. Ikääntyneiden kotona asuvien määrä jatkaa kasvuaan [8].





Kaavio 3. Kahden eri pelastuslaitoksen vuoden 2021 ilmoitusten tarkat syyt, kuusi yleisintä.

Osa ilmoituksista tulee sisällä tupakoinnista, johon yhdistyy palojäljet tai varomaton tulenkäsittely. Pelastustoimella ei ole mahdollisuuksia puuttua tupakointiin asukkaan kodissa. Haastattelujen perusteella neuvoja ja opastusta turvallisen tupakointipaikan suhteen on tehty ja suositeltu ulkona tupakointia [6].

Erilaiset sähkö- ja kaasulaitteet ovat vaihtelevasti esiintyneet ilmoitusten kohteena. Ihmiset ovat saattaneet käyttää edelleen rikkinäisiä sähkö- tai kaasulaitteita, viemättä niitä korjaukseen tai vaihtamatta uuteen. Kaasulämmittimiä on joillakin käytössä lisälämmittiminä, niiden käytössä on noudatettava huolellisuutta. Yksittäisiä tapauksia, joissa poliisi on tehnyt kannabiskasvattamon sähkölaitteiden vuoksi palo- ja onnettomuusvaarailmoituksen, osui selvityksen ajanjaksolle. Muita yksittäisiä tai osasyitä ilmoitukseen olivat tulenkäsittely ja tulisijojen kunto, palojäljet, sähkösaunan käyttö varastona, osoitemerkintöjen puutteellisuus, hätäpoistumistien puuttuminen tai lukituksen vaatiminen työkaluja tai avaimia ulos päästäkseen.

### Palo- ja onnettomuusriskiasunnoista ilmoittavat tahot

Tilastoanalyysissä havaittiin ilmoitusvelvollisuuden alkuvuosiina korostuneiden kotihoidon ja ensihoidon henkilöstön sijaan ilmoituksia tulevan yhä enemmän myös sosiaalialan toimijoilta. Esimerkiksi sosiaalityöntekijöiltä, sosiaaliohjaajilta, asumisohjaajilta ja palvelutarpeen arvioijilta. Muista kotikäynteistä tekeviä henkilöstöryhmiä fysioterapeutit ja kotiutustiimi tekivät jon-

kin verran ilmoituksia. Vaihtelu eri pelastuslaitosten välillä näkyi sekä määrissä että ilmoittajien taustoissa, ilmoitusten syyt olivat varsin yhteneväiset.

Vuosittainen vaihtelu ilmoittajatahoilla oli suurta. Tutkimuksessa ei syvennyt yksittäisiin henkilöihin ilmoitusten takana, vaan selvitettiin taustaorganisaatio. Tämän vuoksi mahdollisten henkilöstövaihdosten merkitys jäi selvittämättä.

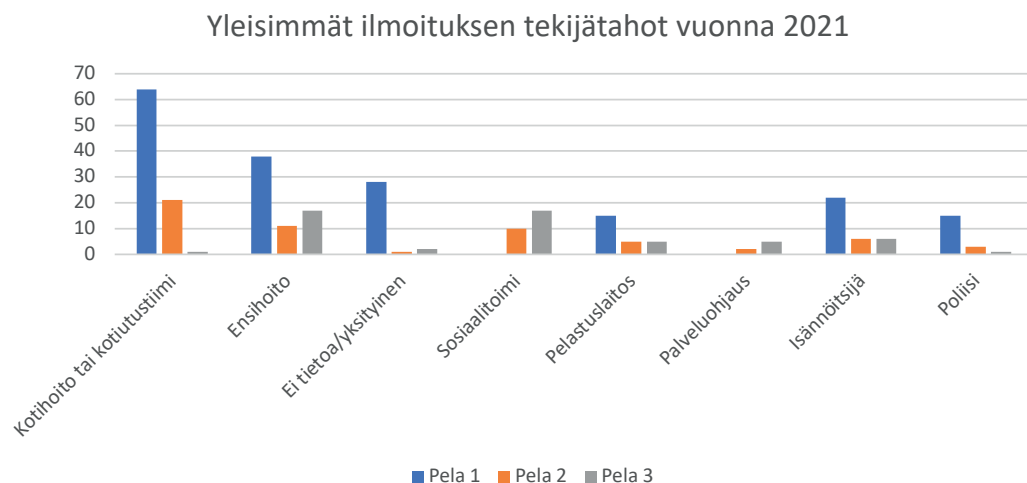
Haastatteluissa nousi esille ensimmäistä kertaa kohteeseen menevän henkilön merkitys ilmoituksen tekijänä. Usein ilmoittajana onkin ensihoito, joka potilaan hoidon vaikeutuessa asunnon kunnan vuoksi, tekee ilmoituksen. Ikäntyneiden kohdalla odotaisi ilmoittajan olevan useimmiten palvelutarpeen arvioinnin tekijä, jonka kotikäynnin yhteydessä tulisi selvittää myös asunnon esteettömyys ja turvallisuus asukkaan toimintakyky huomioiden lain 980/2012 15§ mukaisesti [10].

Aineistosta ja haastattelujen pohjalta kävi ilmi, ettei kyseisellä ajanjaksolla yksikään kirkon tai hengellisen yhteisön työntekijä ollut tehnyt ilmoitusta. Joidenkin pelastuslaitosten koulutuskierrokseen on osallistunut myös seurakuntien diakoniatyöntekijöitä sekä pappeja, mutta siitä huolimatta ilmoituksia ei ole tullut. Muita mahdollisesti aliedustettuja ilmoittajaryhmiä olivat palveluohjaajat, jotka kohtaavat ihmisen palvelutarpeen arvioissa sekä lastensuojelun työntekijät. Aikuissosiaalityöntekijät ilmoittavat jonkin verran kohteita. Yksityiset palveluntuottajat, kotisiivoojat, henkilökohtaiset avustajat sekä ohjaajat ovat tehneet hyvin vähän ilmoituksia jokaisen kohteena olleen pelastuslaitoksen alueella.

Poliisin tekemä ilmoitusmäärä on heidän kotikäyntimääränsä nähden vaatimaton, mutta eri poliisilaitosten alueilla toimitaan eri tavoin. Joillain poliisilaitoksilla on oma sosiaalityöntekijä, joka ottaa asiakkaan asiat käsittelyyn ja tilanne saattaa ratketa ilman ilmoitusta. Haastattelujen mukaan ilmoitusten tekijät ovat pääsääntöisesti niitä henkilöitä, jotka ovat itse kohteessa käyneet, joten tiedot ovat ensikäden tietoja ja aitoja havaintoja. Jonkin verran ilmoituksia tulee sosiaalipäivystyksen kautta, jolloin tarkennuksia kohteen osalta on vaikea saada. Yksittäisiä kiusantekijöitä on ollut esimerkiksi naapuriritilanteissa, jolloin ilmoitus on tehty kiusantekomielessä.

### Yhteisen ilmoituslomakkeen ongelmakohta

Haastatellut kokivat ongelmana lomakkeen riittämättömän tietoturvan asiakaskohteen henkilötietojen lähettämistä varten. Etenkin ensihoidon ja muiden yhteistä työpuhelinta käyttävien, vuorotyötä tekevien osalta on ilmoittajan kiinnisaaminen toisinaan



Kaavio 4. Vuoden 2021 yleisimmät ilmoittajat eri pelastuslaitoksilla. Pela 1:n kohdalla ensihoitoa lukuun ottamatta kaikki sote-toimijat ovat merkitty kotihoito tai kotiutustiimi sekä palveluohjaus-kohtaan, koska niitä ei ollut saaduissa vastauksissa eritelty. Lähes kaikki ovat kotihoidon kohteita [6].

- haastavaa. He eivät saa laittaa asiakkaan tietoja ylös itselleen työvuoron jälkeen hoidettavaksi, joten on ollut tapauksia, joissa ilmoittajaa ei saa kiinni tai hän ei muista enää kohteen tietoja. Toiveena esitettiin lomaketta, joka olisi turvallinen myös nimi- ja osoitetietojen lähettämistä ajatellen. Sen avulla kaikista kohteista saisi riittävät kohdetiedot kerralla.

## POHDINTAA

Etelä-Karjalassa on tehty edelläkävijän työtä paloriski-ilmoituskanavan automatisoinnin eteen. Jokainen vaihe laskee myös kuluttua aikaa, joten käyttö helpottaa resurssointia sekä pelastuslaitoksella, että sosiaali- ja terveystoimessa, tuoden ilmoituksen teon näkyväksi. Järjestelmä on osana hyvinvointialueen sisäverkkoa tarjoten tietoturvallisen väylän välittää henkilötiedot suoraan pelastuslaitoksen ja sote-toimijan välillä. Järjestelmästä ilmoittaja pääsee myös näkemään missä vaiheessa ilmoituksen käsittely on. Tämä on selkeä parannus nykytilanteeseen, missä ilmoittaja ei saa välttämättä tietää mitään kohteen jatkosta. [11]

Haastattelujen yhteydessä keskusteltiin molemmin puolisesta koulutustarpeesta. Sosiaali- ja terveysalan ammattilaisilla saattaa olla liiankin toiveikas kuvitelma palotarkastajan mahdollisuuksista toimia asiakkaan tilanteessa. Sama on toisin päin, pelastustoimen työntekijät eivät aina tiedä kuinka paljon voidaan tehdä ilman asiakkaan omasta halusta tapahtuvaa osallistumista. Myös pelastustoimen henkilöstöllä on ilmoitusvelvollisuus sosiaalitoimelle havaitessaan kohteessa henkilön, jonka kyky huolehtia itsestään epäilyttää. Sosiaalihuoltolain 35§ mukaan eri viranomaistehtävissä olevien henkilöiden tulee saadessaan tietää henkilöstä, jonka sosiaalihuollon tarve on ilmeinen, ohjattava henkilö hakemaan sosiaalipalveluja tai henkilön antaessa suostumuksensa otettava yhteyttä hyvinvointialueen sosiaalihuollosta vastaavaan viranomaiseen, jotta tuen tarve arvioitaisiin [5]. Iäkkään henkilön kohdalla vastaavan ilmoitusvelvollisuuden tuo ns. vanhuspalvelulain 980/2012 25§ [10].

Itsemääräämisoikeuden korostaminen ja toimintakyvyltään yhä huonommin pärjäävien ollessa kodeissaan itsenäisesti, pienenevän avun turvin, olisi hyvä miettiä yhteisiä ratkaisuja ja toimin-tamalleja heidän kotiensa turvallisuuden parantamiseksi. Nykyisin pelastustoimen ja sosiaali- ja terveystoimen ollessa samojen hartioiden alla, voisiko rajapintaan tuoda koulutusta kohdennetusti molemmille osapuolille? Voisiko yhdessä sopia toimintamalli ikävän yleisen ”hamsteriasunnon” raivauksen ja siivouksen osalta, ettei asunnon raivaaminen veny kohtuuttoman pitkään asukkaan heikon toimintakyvyn vuoksi? Aiemmin oli kuntia, joissa oli sovittu selkeä toimintamalli; palotarkastuspöytäkirja toimitettiin sosiaali-johtajalle, joka teki ehdollisen harkinnanvaraisen toimeentulotuen päätöksen siivousapuun, joka tilattiin kunnan kautta, asukkaan suostumuksella. Maksu suoritettiin kunnan kautta siivousyrittäjälle ja kunta peri mahdollisuuksien mukaan asiakkaalta summan takaisin jälkikäteen. Näin asia tuli hoidettua, vaikka asukkaan toimintakyky ei olisi tilanteen hoitamiseen riittänyt.

Kuinka yhdistää nousevat elinkustannukset tarpeeseen ostaa lisää turvavälineitä ikääntyneiden omiin koteihin? Toimisiko apuvälinelainaamot tehokkaimmin liesiturvalaitteiden saamiseksi edullisesti niitä tarvitseville? Olisiko Pirkanmaalla kokeillusta huoneistokohtaisesta sprinklauksesta apua kohteisiin, joissa asukas ei kykene itse poistumaan? Kuinka järjestelmän hintaa saisi madallettua, jotta se olisi yhä useamman saatavilla?

Haastateltavat kertoivat monista hyvistä kokemuksista, joissa oikea aikainen interventio oli toiminut. Asiakas oli saanut hoidettua toisinaan asiat kuntoon jo ennen palotarkastajan käyntiä, kun hänelle oli kerrottu ilmoituksen teosta. Yhdessä tehden on

mahdollista saada laadukkaita, oikea-aikaisia palo- ja onnettomuusriski-ilmoituksia, joiden käsittelyn myötä ihmisten turvallisuus kohenee.

Saman pelastuslain ja sisäministeriön määräysten alla eri pelastuslaitokset toimivat erilaisin painotuksin, vieden jokainen osaltaan turvallisuutta eteenpäin. Toiveenamme on, että oppaamme osaltaan yhdenmukaistaa viestintää palo- ja onnettomuusriskiasunnoista ja niistä ilmoittamisesta ja siitä on hyötyä sekä sosiaali- ja terveysalan työntekijöille, muille kotikäyntejä tekeville kuin pelastusalallekin.

## KIITOKSET

Kiitämme Päijät-Hämeen pelastuslaitosta, etenkin työmme ohjaajana toiminutta riskienhallintapäällikkö Marjo Oksasta, oppaan taitosta vastaavaa koulutuspäällikkö Mari Ukkosta sekä palotarkastajia, jotka antoivat arvokasta, kokemusperäistä tietoa kohteista niin Päijät-Hämeen, Itä- kuin Länsi-Uudenmaan pelastuslaitoksilla. Heidän lisäksi työssämme auttoivat erikoistutkija Tarja Ojala Suomen Pelastusalan Keskusjärjestössä sekä kehittämisspäällikkö Heidi Huuskonen Etelä-Karjalan pelastuslaitokelta. Opinnäytetyömme ohjaaja lehtori Maire Antikainen Laureasta tukee työmme valmistumista. ■

## LÄHDELUETTELO

1. Pelastuslaki 379/2011
2. Kirkkolaki 1054/1993
3. Ojala, T., 2021. Pelastuslain 42 §:n mukaisen ilmoitusvelvollisuuden vaikuttavuus. Palotutkimuksen päivät 2021. Pelastustieto, Palotutkimuksen päivien erikoisnumero, s. 38–42. Palo- ja pelastustieto.
4. Uurasmaa, S. & Kylälampi, L., 2017. Palonvaarojen ja muiden onnettomuusriskien tunnistaminen osana asumisen turvallisuutta. Opinnäytetyö. Savonia. <https://core.ac.uk/download/pdf/161418493.pdf> (viitattu: 15.5.2023)
5. Sosiaalihuoltolaki 1301/2014
6. Mattila-Nousiainen, K. ja Salmi, S. (julkaistaan syksyllä 2023) Opas pelastuslain 379/2011 ilmoitusvelvollisuudesta 42§:n mukaisesti kotikäyntejä tekeville sosiaali- ja terveysalan työntekijöille. Opas julkaistaan Theseuksessa ja pelastustoimi.fi-sivuilla.
7. Kehusmaa, S. 2023. Vanhusten ympärivuorokautisen hoidon henkilöstön määrä nousee, mutta kotihoidossa asiakaskäynnit ja rekrytoinnit kääntyneet laskuun. Tiedote, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <https://thl.fi/fi/-/vanhusten-ymparivuorokautisen-hoidon-henkiloston-maara-nousee-mutta-kotihoidossa-asiakaskaynnit-ja-rekrytoinnit-kaantyneet-laskuun?redirect=%2Ffi-%2F> (viitattu: 15.5.2023)
8. Tilastokeskus. 2023. Asunnot ja asuinolot asukkaan iän ja talotyypin mukaan. [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_asas/statfin\\_asas\\_pxt\\_116d.px/chart/chartViewColumn/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asas/statfin_asas_pxt_116d.px/chart/chartViewColumn/) (viitattu: 15.5.2023)
9. Pelastustoimi. Ilmoitus ilmeisestä palonvaarasta tai muusta riskistä. <https://pelastustoimi.fi/asiointi/lomakkeet/ilmoitus-ilmeinen-palonvaara> (viitattu 15.5.2023)
10. Laki ikääntyneen väestön toimintakyvyn tukemisesta sekä iäkkäiden sosiaali- ja terveyspalveluista 980/2012.
11. Palosuojelurahasto, 2022. Palosuojelurahaston Innovaatio-palkinto pelastustoimen päätöksenteon tukijärjestelmälle. <https://www.palosuojelurahasto.fi/ajankohtaista>

# Liesipalojen syttyminen ja paloteho – laboratorionkokeet

## Tiivistelmä

Liesipaloriskin pienentämiseksi on tärkeää tuntea palojen syttymismekanismit ja tehot. Erilaisten ruoka- ja keittämateriaalien syttymistä tutkittiin erilaisilla sähköliesillä ja paistinpannutyypeillä. Kokeissa oli mukana kaksi kaupallista liesivahtia. Öljyt ja voi syttyivät  $325 \pm 100$  sekunnissa,  $0,44 \pm 0,13$  todennäköisyydellä, mutta kypsennettävän ruoan – tässä tapauksessa kalapuikojen – läsnäolo pannussa alensi todennäköisyyttä. Muut ruoka-aineet, kuten makkara, keitetty riisi tai hernekeitto eivät syttyneet. Kiinteät materiaalit syttyivät  $378 \pm 228$  sekunnissa,  $0,80 \pm 0,10$  todennäköisyydellä ja huomattavasti ruokaöljyjä korkeammassa lämpötiloissa. Todennäköisyysarvioita on kuitenkin pidettävä parhaimmillaankin suuntaa antavina. Palotehojen huippuarvot olivat ruokaöljyillä  $300 - 600 \text{ kW/m}^2$  ja PE-pusseilla yli  $2000 \text{ kW/m}^2$ . Kestomuovit ovatkin seurausten kannalta vakavin materiaali-ryhmä. Liesivahdit havaitsivat paloriskin ennen syttymää kaikissa kokeissa paitsi, kun liedellä oli lämmön havaitsemisen estävä pizzalaatikko tai patalappu. Sähköliesien paloja voidaan siis torjua liesivahdin ja induktiolieden yhdistelmällä: liesityyppi alentaa piilossa tapahtuvan ylikuumenemisen riskiä ja liesivahti estää ruoka-aineiden syttymät.

## JOHDANTO

Liesipalot ovat merkittävä asumisen turvallisuuden vaarantava ongelma Suomessa. Useimpien palojen on arvioitu johtuneen lieden käyttäjän virheellisestä toiminnasta tai valvomattomasta ruoanlaitosta [1]. Liesiturvallisuuksi voidaan parantaa turvallisilla liesillä ja liesiturvatekniikalla, mutta niiden käyttö on Suomessa vähäistä [2]. Liesipaloista, liesityypin vaikutuksista ja palojen syttymismekanismeista on vielä riittämättömästi tietoa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda ymmärrys sähköliesillä toimiviin keittotasoihin liittyvistä syttymismekanismeista, niiden ehkäisystä sekä palotehoista. Tutkimus toteutettiin polttoko-

keina, jotka tehtiin Aalto-yliopiston laboratoriossa ja Pelastusopiston paloteatterissa. Polttokokeet jakautuivat kahteen ryhmään: syttymiskokeet ja palotehon mittaukset. Osassa syttymiskokeita oli mukana liesiturvalaitteet kahdelta eri valmistajalta.

## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Syttymiskokeita tehtiin kolmella eri liesityypillä (EC = valurautalevyinen sähköliesi, CG = keraaminen liesitaso ja IC = induktioliestitaso) ja kolmella eri paistinpannalla (alumiini, hiiliteräs ja valurauta). Liesien ja paistinpannujen tiedot ja lämpötilat on raportoitu 2021 Palotutkimuksen päivien artikkelissa [3]. Tutkittaviksi materiaaleiksi valittiin Pronto-tilastojen sekä kyselyistä ja pelastuslaitoksilta saatujen tietojen perusteella materiaaleja, jotka ovat yleisiä liesipalotilanteissa (Taulukko 1). Näiden lisäksi tehtiin 23 syttymiskokeita erilaisilla ruoka-aineilla: makkara (18 % rasvaa), jauheliha (nauta, 10–15 % rasvaa), salamipitsa, kalapuikot, esikeitetty riisi ja hernekeitto. ▶

**Tämä ja aikaisemmat  
Palotutkimuksen päivien  
julkaisut ladattavissa:  
[www.spek.fi/  
palotutkimuksenpaivat](http://www.spek.fi/palotutkimuksenpaivat)**



Materiaali	Merkki, koko, raaka-aine	Määrä
<b>Öljyt ja voi</b>		
Auringonkukkaöljy	Keiju	25 ml / 50 ml
Rypsiöljy	Pirkka	25 ml / 50 ml
Oliiviöljy	Borges Extra virgin	50 ml
Voi	Valio, rasvaa 80 %, suolaa 1,4 %	50 g
<b>Ruoka</b>		
Kalapuikot	Pirkka kalapuikko, rasvaa 7,5 %, 25 g/kalapuikko	75 g
<b>Kiinteät materiaalit</b>		
Taluspaperirulla	Pirkka, kaksinkertainen pehmopaperi	114 g – 115 g
PE-pussit	Pirkka uudelleensuljettava pakastuspussi, 1 l, LDPE	50 g – 60 g
Pizzalaatikko	32.5 cm x 32.5 cm x 3.0 cm, kartonki, paksuus 1.5 mm	106 g
Patalappu	Myhome kitchen, koko 22 cm x 22 cm, päällinen puuvillaa, täyte polyesterivanua	57 g – 60 g

Taulukko 1. Syttymiskokeissa ja palotehomittauksissa käytetyt materiaalit.

▶ Syttymiskokeissa liedien ylle asetettiin kaasunkeräilyhuuva, jonka korkeus liedien pinnasta oli 60 cm. Pelastusopiston paloteatterissa kokeita varten rakennettiin keittiökaapisto, johon kuului teräslevyllä päällystetty taustaseinä, yläkaapit ja liesituuletin. Kokeet toteutettiin kuumentamalla testattava elintarvike paistinpannalla. Muovit kuumennettiin aina alumiinifolion tai muun alustan päällä. Muita materiaaleja kuumennettiin suoraan liedien levyillä. Kuumentaminen tehtiin aina liedien tai liesitason tehokkaimmalla levyllä täydellä teholla ja sitä jatkettiin, kunnes materiaali syttyi tai enimmillään 30 minuutin ajan.

Materiaalien lämpötilat mitattiin K-tyypin termoelementeillä (1.0 mm). Öljykokeissa ne asetettiin 1–2 mm pannun pinnan yläpuolelle niin, että niiden voidaan tulkita mittavaan öljyn lämpötilaa. Kiinteissä aineissa termoelementit asetettiin näytteen sisälle eri korkeuksille tai sen pinnalle. Yksi mittauspiste sijaisi ilmassa, noin 60 cm näytteen yläpuolella.

Palotehot (HRR) mitattiin hapenkulutuskalorimetrialla, hyödyntäen ISO 5660 kartiokalorimetriä. Kaasunkeräilyhuuva yhdistettiin kartiokalorimetrin poistokanavaan joustavalla alumiiniputkella. Mittaus kalibroitiin metaanipolttimella, ISO 5660 -standardia soveltaen, ja sen aikaviiveeksi arvioitiin 20 sekuntia.

Syttymiskokeissa oli mukana Safera Oy:n ja Innohome Oy:n valmistamat liesiturvalaitteet (liesivahdit). Molemmat tuotteet ovat EN 50615 -standardin kategoria B mukaisia, eli niiden tulee

antaa hälytys ja katkaista liedien jännite ennen syttymistä. Kokeita varten laitteita muokattiin siten, että ne hälytyksestä huolimatta antoivat sähkönsyötön jatkaa. Valmistajat vastasivat asennuksesta tai ohjeistivat siinä.

## TULOKSET

### Syttymät

Koesarjan suunnittelua vaikeutti suuri parametrijoukko. Koemäärän pienentämiseksi kokeita tietyllä parametrikombinaatiolla ei jatkettu, jos ensimmäiset tulokset viittasivat siihen, että syttymisiä ei tultaisi saavuttamaan. Tästä syystä esitettyjä todennäköisyysarvioita on pidettävä parhaimmillaankin suuntaa antavina. Luotettavien syttymistodennäköisyyksien määrittämiseksi tarvitaan nykyistä systemaattisempi koesarja.

Ruokaöljyillä ja voilla tehtiin kaikkiaan 121 syttymiskoetta. Itsesyttymistodennäköisyyksien estimaatit laskettiin jakamalla niiden kokeiden lukumäärä, joissa havaittiin näkyvä liekki, kaikkien saman kategorian kokeiden määrällä:  $p_{ign} = n_{ign}/N$ . Taulukossa 2 on esitetty tulokset sekä niille määritetyt 95 % luottamusvälit eri ylä- ja alakategorioissa. Jos kategorian määreen solu on taulukossa tyhjä, kyseisiin tuloksiin sisältyvät kaikki variaatiot. Esimerkiksi öljyä tai voita käytettiin 121 kokeessa, ja niissä havaittiin 42 syttymää ( $p_{ign} = 0.35 \pm 0.09$ ). Nämä 121 koetta voidaan ja-

$p_{ign}$

Materiaali	Mat. 2	Liesi	Pannu	N	Syttymistodennäköisyys			$t_{ign}$ (s)		$T_{ign}$ (°C)	
					$n_{ign}$	$p_{ign}$	95% LV	KA	KH	KA	KH
				121	42	0.35	0.09	325	100		
	Ei			62	27	0.44	0.13	309	81		
	Kalap.			59	15	0.25	0.12	355	124		
		EC		17	1	0.06	-	426	-		
		CG		69	28	0.41	0.12	372	79		
		IC		35	13	0.37	0.18	218	39		
		IC	CI	24	11	0.46	0.23	229	30		
		IC	CS	10	2	0.20	1.61	157	5		
		IC	AL	1	0	0.00	-	-	-		
Auringonkukkaöljy	CG	CI		9	5	0.56	0.46	321	15	392	29
Rypsiöljy	CG	CI		8	7	0.88	0.29	311	24	385	27
Oliiviöljy	CG	CI		6	4	0.67	0.61	401	95	420	39
Voi	CG	CI		19	4	0.21	0.30	335	50	429	18

Taulukko 2. Ruokaöljyjen ja voin suuntaa antavat syttymistodennäköisyydet ( $p_{ign}$ ) 95 % luottamusväleineen (Studentin t-testi), syttymisajat ( $t_{ign}$ ) ja -lämpötilat ( $T_{ign}$ ). KA=keskiarvo, KH = keskihajonta.

Taulukko 3. Kiinteiden materiaalien suuntaa antavat syttymistodennäköisyydet ( $p_{ign}$ ) 95 % luottamuväleinen (Studentin t-testi), syttymisaajat ( $t_{ign}$ ) ja -lämpötilat ( $T_{ign}$ ). KA=keskiarvo, KH = keskihajonta.

Materiaali	Pannu	N	Syttymistodennäköisyys			$t_{ign}$ (s)		$T_{ign}$ (°C)	
			$n_{ign}$	$p_{ign}$	95 % CI	KA	KH	KA	KH
		61	49	0.80	0.10	378	228	-	-
Taluspaperi	ei	15	14	0.93	0.14	528	228	603	57
PE-pussit	ei	8	8	1.00	0.00	600	216	438	37
Pizzalaatikko	ei	14	14	1.00	0.00	203	64	410	49
		24	13	0.54	0.22	269	112	-	-
Patalappu	ei	12	11	0.92	0.18	288	112	594	66
	CI	12	2	0.17	1.4	166	27	-	-

kaa kahteen alakategoriaan sen mukaan, oliko mukana kalapuikkoja ( $p_{ign} = 0.25 \pm 0.12$ ) vai ei ( $p_{ign} = 0.44 \pm 0.13$ ). Kalapuikkojen läsnäolo näyttäisi alentavan syttymistodennäköisyyttä. Valurautaliiedellä saatiin aikaan vain yksi syttymä, jolloin syttymistodennäköisyyden estimaatti on luonnollisesti alhainen mutta epätarkka. Keraamisella ja induktioliedellä syttymistodennäköisyys oli noin 0,4, mutta paistinpannun roolista on vaikea tehdä johtopäätöksiä, koska 99 koetta 121:stä tehtiin valurautapannulla.

Taulukossa 2 on esitetty myös syttymisaikojen keskiarvot ja keskihajonnat sekä materiaalin lämpötilan juuri ennen syttymistä, niin ikään koesarjan keskiarvona ja keskihajontana. Keskimäärin öljyt ja voi syttyivät  $325 \pm 100$  sekunnissa. Kalapuikkojen mukana olo ei juurikaan vaikuttanut syttymisaikoihin, mutta liesityyppi vaikutti: syttymät tapahtuivat induktioliedellä huomattavasti nopeammin ( $218 \pm 39$  s) kuin keraamisella liedellä ( $372 \pm 39$  s).

Nyt havaittuja syttymisaikoja voidaan verrata Chen *et al.* [4] määrittämään syttymisaajan ja öljyn määrän väliseen lineaariseen riippuvuuteen: Mallin mukaan 25 mL ja 50 mL maissiöljyä syttyisi 530 ja 630 sekunnissa. Nyt mitatut rypsiöljyn syttymisaajat ovat huomattavasti lyhyempiä ( $311 \pm 24$  s), vaikka öljyjen palopisteet eroavat vain muutamalla asteella ( $355\text{--}367$  °C rypsiöljylle,  $362\text{--}382$  °C maissiöljylle). Wong *et al.* [5] sen sijaan on mitannut huomattavasti nopeampia syttymiä pähkinäöljylle käyttäen induktiolietä: 50 mL öljymäärä syttyi 200 sekunnissa. Näyttää siltä, että eri öljyjen syttymisherkkyttä on lähes mahdotonta verrata, jos kokeissa käytetyt lämmitysmenetelmät poikkeavat toisistaan.

Kiinteille aineille tehtiin 61 koetta, joiden perusteella syttymistodennäköisyydeksi saatiin  $0,80 \pm 0,10$  ja keskimääräiseksi syttymisaikaksi  $378 \pm 228$  s (Taulukko 3). Syttymisen todennäköisyys on kiinteillä aineilla siis öljyjä suurempi, mutta syttymät tapahtuvat myöhemmin. Patalappukokeista (yhteensä 24) puolet tehtiin siten, että patalappu asetettiin valurautapannuun eikä suoraan liedelle. Näistä kokeista vain kaksi johti syttymään. Jos nämä kokeet jätetään huomiotta, ovat kaikki kiinteiden aineiden syttymistodennäköisyydet välillä  $0,92\text{--}1,0$ .

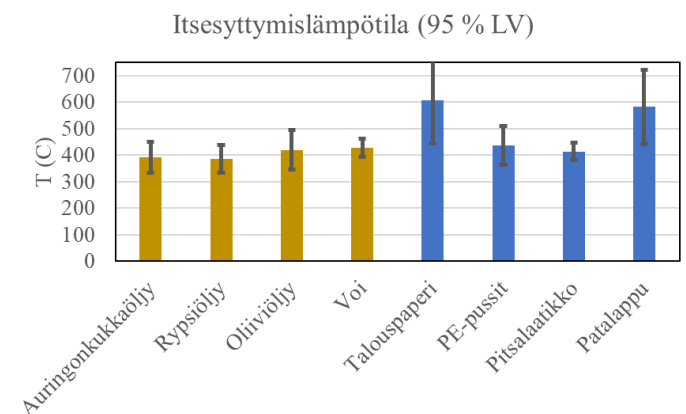
Syttymisaajat poikkeavat paljon toisistaan. Pizzalaatikot ja patalappu syttyivät nopeimmin ja taluspaperi ja PE-pussit vaativat pidemmän ajan. Syttymishetken lämpötilat ovat kiinteissä aineissa huomattavasti korkeampia kuin öljyissä. Jauheliha, pizza, kalapuikot, makkara, riisi ja hernekeitto eivät syttyneet, eikä niille tässä yhteydessä esitetä enempää tuloksia.

Kuvassa 1 on esitetty yhteenveto havaituista (itse)syttymislämpötiloista. Palkit esittävät keskiarvoja ja virheajat 95 % luottamuvälejä. Nähdään että kaikkien muiden paitsi hyvin eristävien ja huokoisten materiaalien (taluspaperi ja patalappu) syttymislämpötilat ovat noin 400 °C. Kirjallisuudessa on raportoitu, että suljetun upokkaan leimahduspisteet auringonkukka-, rypsi- ja oliiviöljyille ovat 178 °C, 137 °C, ja 177 °C [6]. Avoimessa kupissa ruokaöljyjen leimahduslämpötilojen taas on havaittu vaihtelevan välillä  $294\text{--}336$  °C ja itsesyttymislämpötilojen välillä  $360\text{--}420$  °C. Auringonkukkaöljyn itsesyttymislämpötilaksi on mitattu 345 °C

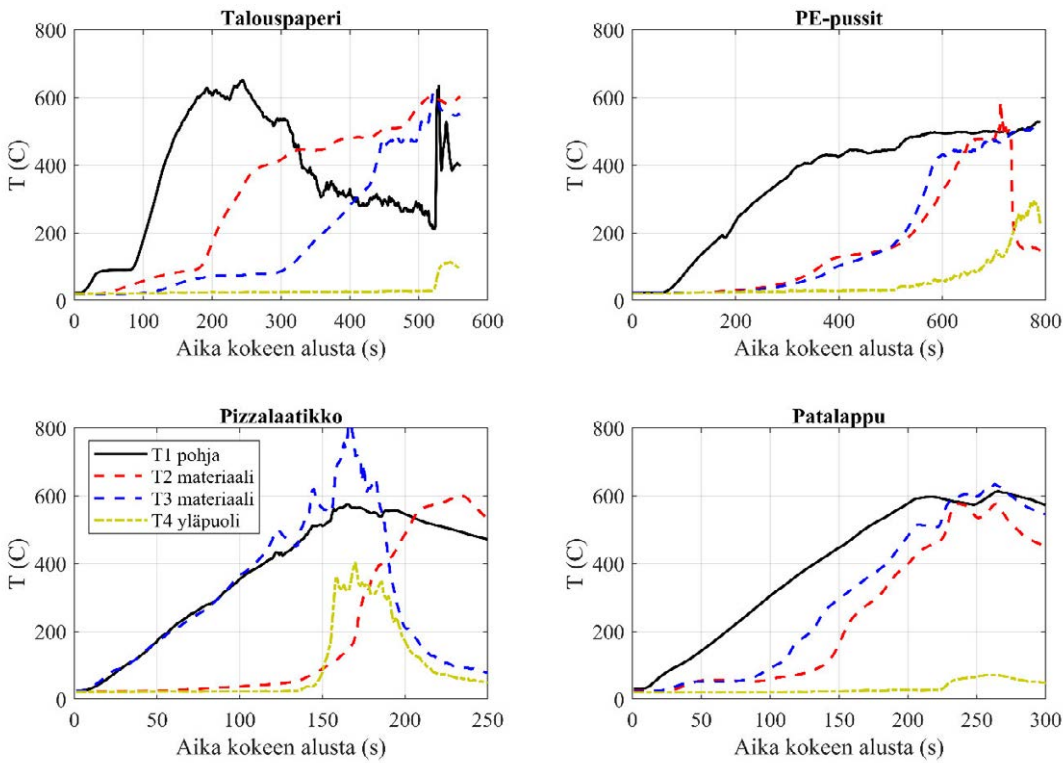
[7]. Tässä tutkimuksessa mitatut öljyjen ja voi itsesyttymislämpötilat ovat samaa suuruusluokkaa tai hieman korkeampia kuin kirjallisuusarvot. Ero voi johtua kokeissa käytetyn öljykerroksen ohuudesta. Jähmeistä aineista polyeteenin itsesyttymislämpötilat kirjallisuudessa vaihtelevat välillä  $330\text{--}410$  °C [8] ja polyesterin välillä  $450\text{--}500$  °C [9]. Aaltopahvin pintalämpötilaksi syttymishetkellä taas on mitattu  $538\text{--}749$  °C [10]. Nyt tehdyissä kokeissa muovimateriaalit syttyivät kirjallisuusarvoja korkeammassa lämpötiloissa, kuten ruokaöljytkin, mutta pahvin lämpötila oli alempi.

Syttymisprosessien ymmärtämiseksi voidaan tarkastella kiinteiden aineiden lämpötilahistorioita. Kuvassa 2 mustat yhtenäiset käyrät (T1) on mitattu pannun ja näytteen välistä, katkoviivat (T2, T3) näytteen sisältä ja T4 ilmasta näytteen yläpuolelta. Taluspaperirullassa termoelementit T1–T3 oli kuitenkin sijoitettu rullan sisään eri korkeuksille, ja niistä voidaan nähdä kytemisrintaman eteneminen kappaleessa. Syttymä tapahtui, kun kyteminen saavutti rullan puolivälin. PE-pussit puolestaan sulivat ennen syttymistään ajassa 517 s, joten lämpötilat T2 ja T3 pysyivät huomattavasti teräsastian lämpötilaa (T1) alhaisempina. Pizzalaatikossa toinen pohjapahvin lämpötiloista on hyvin lähellä lieden lämpötilaa mutta nousee äkisti, kun liekehtivä palaminen alkaa laatikon sisällä. Patalapun lämpötilat seuraavat pohjan lämpötilaa noin 100 s viiveellä ja ylittävät lopulta lieden huippulämpötilan juuri ennen syttymistä. Voimme päätellä, että syttymistä edeltävät prosessit, kuten kyteminen ja sulaminen, vaikuttavat suuresti kiinteiden aineiden syttymiseen. On siis vaikea keksiä yksinkertaista kriteeriä, jonka avulla paloturvallisuus olisi varmistettavissa.

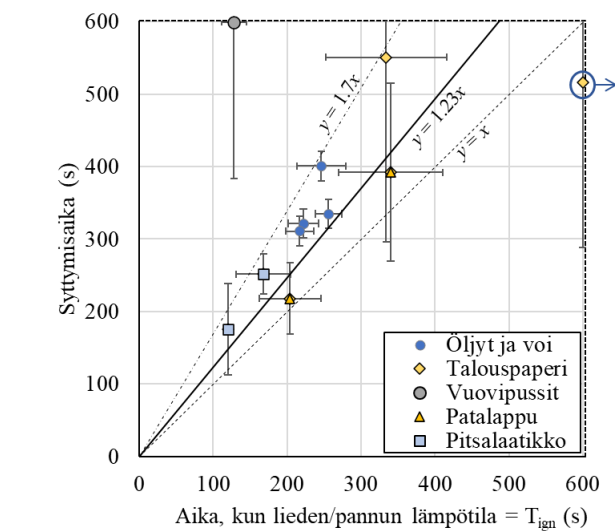
Syttymistä edeltävien prosessien roolia voidaan arvioida vertaamalla materiaalin syttymisaikaa tarvittavaan lämmitysaikaan, eli aikaan, jossa lieden tai pannun pinta saavuttaa arvioidun syttymislämpötilan. Kuvassa 3 symbolit ovat materiaaliakohtaisia keskiarvoja ja virheajat näyttävät yhden keskihajonnan. Saman materiaalin eri datapisteet vastaavat valurauta- ja keraamisia liesiä. Kaikki syttymisaajat PE-pusseja lukuun ottamatta ovat pienempiä ▶



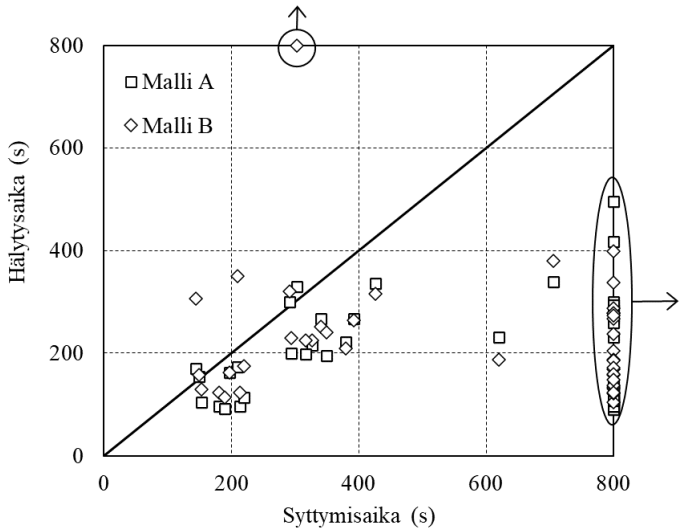
Kuva 1. Havaitut itsesyttymislämpötilat.



Kuva 2. Kiinteiden aineiden lämpötiloja keraamisella liedellä. Syttymishetkellä näytteen yläpuolista ilman lämpötilaa mittaava T4 nousee selvästi.



Kuva 3. Toteutuneiden syttymisaikojen ja lämpenemisaikojen vertailu. Nuoli osoittaa datapistettä, jossa liesi ei saavuttanut syttymislämpötilaa  $T_{ign}$ .



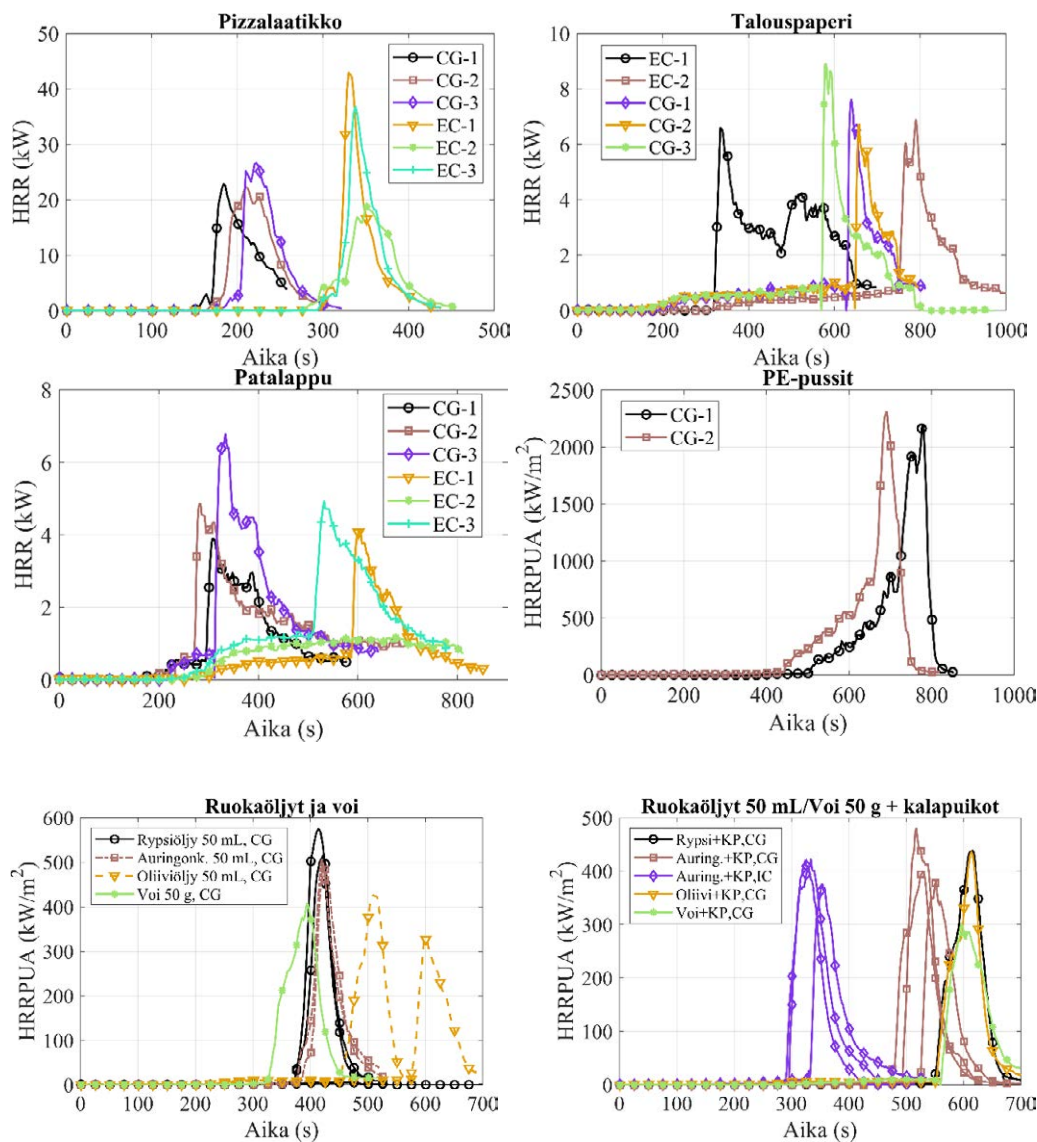
Kuva 4. Syttymisaikojen ja kahden eri liesivahdin hälytysaikojen vertailu. Nuolella on merkitty ne kokeet, joissa palo ei syttynyt mutta liesivahti antoi hälytyksen.

▶ kuin 1,7 kertaa lämpenemisaika, eli syttymistä hidastavat prosessit viivästyvät syttymistä enintään 70 %. Origion kautta kulkeva regressiosuora tuottaa lineaarisen mallin  $syttymisaika = 1,23 \times lämpenemisaika$ . Lämmitysprosessi on siis tärkein syttymisaikaan vaikuttava prosessi, mutta materiaaliin liittyvät prosessit kasvattavat syttymisaikaa noin neljänneksellä. PE-pussien poikkeava käytös (pidempi syttymisaika) voi liittyä huomattavan painavaan näytteenpitimeen. Asettamalla pussit suoraan kuumenevalle levyille voitaisiin saada aikaan nopeampi syttymisen. Eräs kuvasta 3 havaittava erikoisuus on, että patalappu ja talouspaperi saattavat syttyä ennen kuin liesi on saavuttanut nimellisen syttymislämpötilan. Kyttemisprosessi siis nopeuttaa syttymistä näissä huokoisissa materiaaleissa.

Liesivahtien mahdollisuuksia syttymien estämiseen on tutkittu kuvassa 4 esittämällä liesivahtien hälytysajat samassa kokeessa havaittujen syttymisaikojen funktiona. Kuvassa on 44 koet-

ta ja edustettuna ovat kaikki materiaalityypit PE-pusseja lukuun ottamatta. Kuvan oikeassa reunassa oleva datajoukko kuvaa kokeita, joissa liesivahti antoi hälytyksen mutta palo ei syttynyt. Lähes kaikissa tapauksissa liesivahti hälytti ennen syttymää. Hälytys tuli syttymän jälkeen vain pizzalaatikko- ja patalappukokeissa, joissa eristävä materiaali peitti liesivahdilta näkyvyyden kuormalle pinnalle. Kyseisten liesivahtien toimintaperiaate perustuu lämpösäteilyyn eli liedен ylikuumentumisen havaitsemiseen, ja toiminta voi estyä, jos näkyvyys liedelle on estetty. Öljyjen ja muiden samaan tapaan syttyvien materiaalien tapauksessa, eli kokeissa, jotka muistuttavat liesivahtistandardin EN 50615 testitilannetta, liesivahtit todettiin luotettavaksi tavaksi havaita ylikuumentumisen. Useimmissa kokeissa liesivahti olisi voinut estää syttymän, jos tätä toiminnallisuutta ei olisi tarkoituksella estetty. Hälytys- ja syttymisaikojen välisen marginaalin riittävyttä ei tässä hankkeessa kuitenkaan tutkittu.





Kuva 5. Kiinteiden aineiden palotehot. PE-pussien paloteho on esitetty sulaneen massan pinta-alalla normeerattuna. EC=valurautaliesi, CG=keraaminen.

Kuva 6. Ruokaöljyjen (vasen kuva) ja öljyn+kalapuikkojen (oikea kuva) palotehot.

## Palotehot

Palotehot (Heat release rate, HRR) mitattiin sekä kiinteille materiaaleille (Kuva 5) että ruokaöljyille ja voille (Kuva 6). Mittaukset tehtiin valurauta- ja keraamisilla liesillä. Kalapuikkojen kanssa mitatut tehot on esitetty omassa kuvassaan. Nestemäisinä palavien aineiden (öljyt, voi, PE-pussit) tehot on esitetty palaneen alueen pinta-alalla normeerattuna, jolloin yksikkönä on  $\text{kW}/\text{m}^2$ . Kiinteiden aineiden toistokokeet on erotettu toisistaan eri viivatyypein, mutta nesteillä luottavuuden vuoksi ei.

Sekä pizzalaatikoiden että patalappujen syttymisajat ovat keraamisella liedellä lyhyempiä kuin valurautaliedellä, ja pizzalaatikon tapauksessa varhaisempi syttymä näyttää korreloivan alhaisemman palotehon kanssa. Patalapuilla vastaavaa korrelaatiota ei ole havaittavissa. Talouspaperien syttymät tapahtuvat hyvin eri aikoina mutta palotehokäyrät ovat syttymän jälkeen hyvin toistettavia. Kaiken kaikkiaan, talouspaperirullien palotehot ovat huomattavasti korkeampia kuin muiden kiinteänä palavien aineiden palotehot.

PE-pussien paloteho kasvaa palon aikana ja saavuttaa huipunsa ( $2000 \text{ kW}/\text{m}^2$ ) vähän ennen sammumista. Voidaan päätellä, että sulava kesto- muovivoi syttyessään muodostaa erittäin vaarallisen palotilanteen, koska paloteho on korkea ja sulava materiaali leviää helposti suurelle alueelle. Muovisten tavaroiden säilyttämistä liedellä voidaan siten pitää yhtenä suurimmista keittiöpalojen riskitekijöistä.

Öljy- ja voipaloille oli tunnusomaista yksi  $330\text{--}600 \text{ kW}/\text{m}^2$ :n piikki likimain palamisvaiheen puolivälissä. Useimmissa tapauksissa kalapuikkojen lisääminen öljyyn alensi palotehon huippuarvoa, muuttamatta kuitenkaan kokonaisenergian määrää. Myöskään syttymisaikojen erot eri liesien välillä eivät näyttäneet heijastuvan palotehoihin.

Chen *et al.* [4] ovat kokeissaan havainneet, että öljyn määrällä on huomattava vaikutus palotehoon: valurautaliedellä kuumentujen, 20 ja 50 g maissiöljymäärien huipputehot olivat  $1070 \pm 15 \%$  ja  $1990 \text{ kW}/\text{m}^2 \pm 26 \%$ . Nyt tehdyissä kokeissa huippupalotehot olivat  $300$  ja  $600 \text{ kW}/\text{m}^2$ :n välillä. Syy poikkeaviin palotehoihin voi olla pannun koko: samanlaisista öljymääristä huolimatta meidän kokeissamme öljykerrosten paksuudet olivat järjestään ohuempia kuin Chen *et al.* kokeissa, koska öljy oli kaadettu suurempaan astiaan (pannuun). Vastaavasti palojen kestot olivat nyt raportoiduissa kokeissa lyhyempiä (noin 100 s) ja palotehojen huiput saavutettiin nopeasti, noin 20–40 s syttymästä.

## POHDINNAT JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mitattujen pintalämpötilojen perusteella [3] voidaan päätellä, että induktioliesiin näyttäisi liittyvän muihin liesiin verrattuna alhaisempi syttymisriski sekä aiemmin tunnetun, rautapitoisia materiaaleja vaativan kuumennusmekanismin, että alhaisempien

► huippulämpötilojen ansiosta. Toisaalta kuumennusaika oli induktioliedellä lyhyempi, ja se voi johtaa muita liesityyppejä nopeampaan syttymään, jos liesi jää valvomatta päälle.

Öljyt ja voi syttyivät keskimäärin  $0,44 \pm 0,13$  todennäköisyydellä, mutta kypsennettävän ruoan – tässä tapauksessa kalapuikojen – läsnäolo pannussa alensi syttymän todennäköisyyden tasolle  $0,25 \pm 0,12$ . Keskimäärin syttyminen tapahtui  $325 \pm 100$  sekunnissa, ja ero induktiolieden ( $218 \pm 39$  s) ja keraamisen lieden ( $372 \pm 39$  s) välillä oli selvä. Tutkituista ruokaöljyistä rypsiöljy syttyi suurimmalla todennäköisyydellä ( $0,88 \pm 0,29$ ). Näitä todennäköisyysarvioita on kuitenkin pidettävä parhaimmillaankin suuntaa antavina, ja niihin voi liittyä systemaattinen, todennäköisyydesti maattia kasvattava virhe, koska koesarjat eivät olleet systemaattisia eivätkä riippumattomia.

Kuumentuvalle levyille jätetyt kiinteät materiaalit syttyivät keskimäärin  $378 \pm 228$  sekunnissa,  $0,80 \pm 0,10$  todennäköisyydellä ja huomattavasti ruokaöljyjä korkeammassa lämpötiloissa. Pizzalaatikoiden ja patalappujen syttymisaajat olivat kaikkein lyhyimmät ja talouspaperin ja PE-pussin pisimmät. Havaintoihin liittyi suuri hajonta sekä nyt mitattujen syttymisaikojen sisällä että kirjallisuudessa esitettyihin aikoihin verrattaessa. Erot selittyvät ennen kaikkea erilaisilla lämmitysnopeuksilla – havaittiinhan lämmitysajan selittävän suurimman osan syttymisaajasta. Materiaalin sisäisten prosessien havaittiin viivästävän syttymistä noin lämmitysajan neljänneksellä. Huokoiset aineet muodostavat tässä suhteessa oman ryhmänsä, koska niissä esiintyvä eksoterminen kyteminen voi johtaa syttymiseen jo ennen kuin liesi on saavuttanut syttymishetkelle tyypillisen materiaali- ja lämpötilan. Tämä voi johtaa odottamattomiin syttymiin alhaisemminkin lieden lämpötiloilla.

Ruokaöljyjen palotehojen huippuarvot olivat 300 ja 600 kW/m<sup>2</sup>:n välillä, ollen alempia kuin kirjallisuudessa esitetyt arvot, todennäköisesti ohuen öljykerroksen johdosta. PE-pussit ja vastaavat kestonmuovit arvioidaan palotehon kannalta vaarallisimmiksi materiaaleiksi, koska niiden pinta-alalla normeerattu paloteho on kuumalla liedellä erittäin korkea, yli 2000 kW/m<sup>2</sup>, ja koska ne suulaessaan voivat valua ja muodostaa suuren palavan altaan. Muiden kiinteiden materiaalien palotehot olivat alhaisempia: pizzalaatikoilla 20–40 kW ja patalapuilla ja talouspaperilla alle 10 kW.

Liesivahtien todettiin useimmissa tapauksissa havaitsevan paloriskin ennen syttymää. Poikkeuksen muodostivat pizzalaatikat ja patalaput, jotka peittivät liesivahdin sensorilta näkyvyyden kuumenevalle levyille ja johtivat hälytyksen myöhästymiseen. Tehokain suoja sähköliesien paloja vastaan saadaan liesivahdin ja induktiolieden yhdistelmällä. Tällöin liesityyppi itsessään alentaa piilossa tapahtuvan ylikuumenemisen riskiä ja liesivahti pystyy torjumaan astiassa kuumenevan öljyn tai sen kaltaisen materiaalin syttymisen. On kuitenkin toivottavaa, että liesivahtistan-

dardia kehitetään siten, että laitteilta aletaan edellyttämään myös muiden kuin ruokaöljyjen syttymien estämistä.

## KIITOKSET

Tutkimus on tehty Aalto-yliopiston, Pelastusopiston, Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) ja Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön (SPEK) ”Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy” -hankkeessa, jonka rahoitti Palosuojelurahasto. Kiitämme seuraavia työssä avustaneita henkilöitä: Rahul Kallada Janardhan, Otto Hedström ja Ari Haavisto. ■

## LÄHDELUETTELO

1. Nurmi, V.-P., Nenonen, A., Sjöholm, K., 2005. Sähköpalot Suomessa. Tukes-julkaisu 2/2005. Turvatekniikan keskus, Helsinki.
2. Ojala, T., 2021 Turvatekniikka ja liesipalojen ehkäisy. Teoksessa: Puustinen, Alisa 2021 (toim.). Pelastus- ja turvallisuustutkimuksen vuosikirja 2021, s. 8–27. Pelastusopiston julkaisu, D-sarja: Muut julkaisut 1/2021. Pelastusopisto, Kuopio. [http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja\\_D/D1\\_2021.pdf](http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D1_2021.pdf)
3. Jhatial, T. & Hostikka, S., 2021. Thermal characterization of electric cooktops. Palotutkimuksen päivät 2021. Pelastustieto, s. 113–117.
4. Chen, J., Hu, Y., et al., 2021. Why are cooktop fires so hazardous? Fire Safety Journal 120, 103070, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103070>.
5. Wong, A.K.K., Fong, N.K., 2013. Experimental Study of Induction Cooker Fire Hazard. Procedia Engineering 52, 13–22.
6. Yaşar, F., 2020. Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type. Fuel 264, 116817. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116817>
7. Jain, A., Nyati, P., Nuwal, N., Ansari, A., Ghoroi, C., Gandhi, P.D., 2014. Pre-detection of kitchen fires due to auto-ignition of cooking oil and LPG leakage in Indian kitchens. Fire Safety Science 11, 1285–1297. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-1285>
8. INCHEM. <https://inchem.org/documents/icsc/icsc/eics1488.htm>. Internationally Peer Reviewed Chemical Safety Information. World Health Organization. Accessed 04/2023.
9. Braun, E., Levin, B.C., 1985. Polyesters: A review of the literature on products of combustion and toxicity. National Bureau of Standards. MD. NBSIR 85-3139
10. Smith, W.K., King, J.B., 1970. Surface temperature of materials during radiant heating to ignition. J. Fire & Flammability 1, 1970. s. 272.



# Haitallisten aineiden syntyminen ja tuuletus liesipaloissa – laboratoriokeet

## Tiivistelmä

Liesipalot ja liedellä sattuneet ylikuumentumiset tuottavat savua ja haitallisia aineita, jotka on palon jälkeen tuuletettava. Tuuletuksen riittävyden arviointiin ei kuitenkaan ole käytettävissä tutkittua tietoa tai suosituksia. Tässä tutkimuksessa mittasimme palokokeilla haitallisten aineiden syntymistä ja laimenemista testikeittiössä (10 m<sup>3</sup>), jonka ilma oli tehokkaasti sekoitettu ja jonka ilmanvaihtoa voitiin hallita. Tutkitut materiaalit valittiin vastaamaan yleisimpiä liesipaloissa syttyviä materiaaleja. Keittiön ilmanäytteet otettiin seinän läpi ja niistä analysoitiin VOC-yhdisteet, karbonyylit ja PAH-yhdisteet. Tulosten perusteella laskettiin haitallisten aineiden tuotot. Yhdistämällä ne asumisterveyden kannalta olennaisiin raja-arvoihin voitiin muodostaa tuuletusvaatimukset eri materiaalioryhmille: Liesipalojen yhteydessä ruoka-aineista (pl. ruokaöljyt) vapautuvat epäpuhtaudet muodostavat helpommin tuuletettavan ryhmän, ja ruokaöljyt yhdessä kiinteiden materiaalien (paperit, pahvit, kankaat ja muovit) kanssa vaikeamman ryhmän. Tärkeimmät palon jälkeistä tuuletustarvetta aiheuttavat yhdisteet tunnistettiin. Tuuletustarve riippuu myös huoneiston tilavuudesta ja palaneen materiaalin massasta, ja se voidaan esittää yksinkertaistettuna taulukkona.

## JOHDANTO

Liesipalot ovat merkittävä asumisturvallisuuden vaarantava ongelma Suomessa. Osa tilanteista johtaa tulipaloon, joka vaarantaa henkilöturvallisuutta ja aiheuttaa suoria vahinkoja, mutta suuri osa liesipalotapauksista esiintyy tilastoissamme rakennuspalovaurana, eivätkä niistä aiheutuvien vahinkojen suuruudesta ole tarkkaa tietoa. Pienestään liesipalosta syntyy merkittävä määrä savua tai käryä, joka on onnettomuuden jälkeen tuuletettava, ja josta aiheutuneet jäämät on siivottava.

Tulipaloissa syntyvän savun ja kemikaalien on todettu liittyvän keuhko- ja sydänsairauksien oireiden pahenemiseen ja klinikka-

käyntien lisääntymiseen [1]. PAH-, PM- ja aldehydipäästöjen on todettu lisääntyvän, kun ruuanlaitossa käytetään öljyä, ja öljyjen ylikuumentumistilanteissa ruuanlaiton päästöt kasvavat dramaattisesti [2,3,4]. Karsinogeenisille PAH-yhdisteille ei ole olemassa turvallista raja-arvoa, joten niille altistuminen on pidettävä mahdollisimman matalana [5]. Ylikuumentuneet teflonpannut ja Lion akkujen palot tuottavat syövyttävää fluorivetyä, aiheuttaen pahimmassa tapauksessa altistuneelle teflon-kuumeen [6]. Paloissa vapautuvat hengitettäviä hiukkaset (<10 µm) voivat lisäksi aiheuttaa keuhkotulehduksia ja syöpää [7].

Tulipalon aikaisen myrkyllisyyden arviointia on tutkittu paljon ja menetelmät akuutin myrkytyksen arviointiin ovat olemassa [8]. Palon jälkeistä sisäilman altistekuormaa on tutkittu aiemmin VTT:n ja Työterveyslaitoksen tutkimuksessa, jossa selvitettiin palotutkijoiden ja palosaneeraajien altistumista simuloidun tulipalon jälkeen [9,10,11,12]. Tutkitut koetilanteet vastasivat paloja, joissa sammuttaminen oli myöhästynyt ja tulipalo oli päässyt lieskahtamaan, aiheuttaen suuren haitta-ainekuormituksen. Pienten palojen aiheuttamasta, pitkäaikaisesta altistekuormasta ei löydy tieteellisiä tutkimustuloksia. Voimme kuitenkin olettaa, että keittämateriaalien paloista aiheutuu kemikaali- ja savupäästöjähaittoja, vaikka palo saataisiin sammumaan alkusammutuksen avulla. Pelastuslaitosten arjessa tulee päivittäin vastaan tällaisia pieniä paloja ja niiden myötä myös kysymyksiä saneeraustarpeesta ja asumisterveydestä. Riittävää, etenkin kenttäolosuhteissa sovellettavaa, tietämystä näiden palojen tai ylikuumentumisten vaikutuksesta asumisterveyteen ei ole saatavilla. Kovin usein päätös siitä, voiko asukas tai asukkaat jäädä asumaan huoneistoon pelastustoiminnan päättyessä, tehdään ilman mitään konkreettista päätöksenteon apuvälinettä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mitä haitallisia aineita pienistä liesipaloista syntyy, mitata niiden tuotto ja kehittää menetelmä tarvittavien tuuletuskertojen arvioimiseksi. Kokeelli-



- nen osuus toteutettiin Aalto-yliopiston laboratoriossa paloturvallisuustekniikan ja sisäympäristötekniikan tutkijoiden yhteistyönä.

## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

### Koejärjestelyt

Koetila oli 10 m<sup>3</sup> vanerirakenne, joka oli päällystetty alumiiniperilla sisäpuolelta (Kuva 1). Keraaminen liesi sijoitettiin nurkkaan huoltoluukun viereen (kuvassa valurautaliesi). Suodattamaton raikas ilma syötettiin suoraan ulkoa läheltä lattiatasoa. Ilmanvaihdon virtausnopeutta voitiin säätää poistoilmakanavasta, joka oli kytketty huoneen kattoon. Tehokas ilman sekoitus saavutettiin lattiapuhaltimella (Ø 50 cm).

Kokeet tehtiin keraamisella liedellä (Rosenlew RHRN642X), sen suurimmalla (210 mm) lämmityselementillä, jonka teho on 2200 W. Materiaalit asetettiin joko suoraan liedelle, alumiinifoliolla päälle, 3 litran ruostumattomasta teräksestä tehtyyn kattilaan, teräksiseen näytteenpitimeen tai valurautaiseen paistinpannuun (Opa Kenno 28 cm), jonka massa on 1,66 kg ja pohjan läpimitta 195 mm. Lieden lämpötilat on raportoitu Palotutkimuksen päivien artikkelissa vuonna 2021 [13].

Kukin koe koostui neljästä vaiheesta:

1. Kuumennusvaihe. Materiaaleja kuumennettiin maksimitheholla 15–60 minuutin ajan. Lämmitysteho oli alussa 2 kW ja pieneni automaattisesti 1 kW:iin 15 min kuluttua. Tyhjän astian lämpötila nousi 400–500 °C:seen viidessä minuutissa, mutta elintarvikkeiden läsnäolo alensi lämpötiloja merkittävästi. Poisto- ja tulokanavat olivat suljettuna, tila oli lievästi alipaineinen ja lattiapuhallin oli päällä.
2. Tuuletusvaihe. Materiaali poistettiin luukun kautta. Koetilan poisto- ja tulokanavat avattiin, poistopuhaltimen tehoa

kasvatettiin, ja tilan annettiin tuulettua noin 15 min siten, että koko ilmamäärä vaihtui noin neljä kertaa. Lattiapuhallin pidettiin päällä.

3. Näytteenotto. Aktiivinen näytteenotto aloitettiin 30 minuutin kuluessa testikeittiön tuuletuksesta. Tila pidettiin lievästi alipaineisena ja lattiatuuletin pois päältä.
4. Siivous. Koetila puhdistettiin etanolilla ja tuuletettiin. Astiat puhdistettiin tavallisella astianpesuaineella ja vesi-johtovedellä.

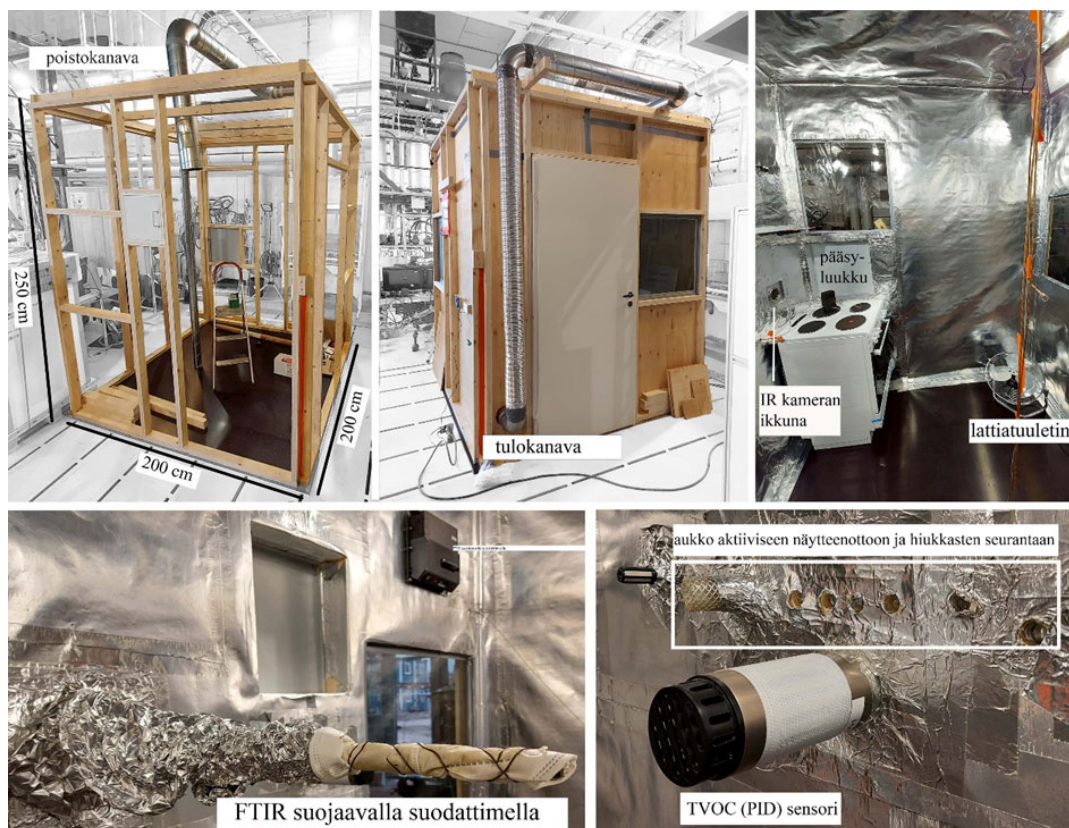
### Materiaalit

Tutkimukseen valittiin materiaaleja, jotka olivat Suomessa yleisiä liesipalo-onnettomuuksissa vuosina 2016–2020. PE-pussit 50 g, ruokaöljyt 23 g, talouspaperirulla 115 g, pizzalaatikko 20 g, patalappu (puuvillapäällinen + polyesterivanu) 55 g, jauheliha ja kalapaukikot 100 g, hernekeitto 520 g, keitetty riisi, makkara (HK sininen).

### Mittaukset

Koetilan kaasun lämpötila mitattiin neljällä 1 mm K-tyypin termoelementillä huoneen keskilinjalta. Lisäksi mitattiin ilman lämpötila poistokanavan alusta ja näytteen/pannun lämpötiloja. Koetilan ja ympäröivän hallin paine-ero mitattiin Envic-paineerolähettimellä. Poistokanavan tilavuusvirta mitattiin Fläktwoods IRIS-200 -säätölaipan ja Swema 3000md -painemittarin avulla.

Kaasunäytteet kerättiin 1,5 m:n korkeudelta. Niistä analysoitiin haihtuvat orgaaniset (VOC) -yhdisteet, karbonyylit sekä polyyksykiset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet ilmassa kulkeutuvista hiukkasfraktioista, ilmassa kulkeutuvista kaasufaasisista ja laskeutuneesta pölystä. Laskeutuneet PAH-yhdisteet kerättiin pyyhkimällä kahdelta lasilevyiltä, jotka oli sijoitettu lattialle noin 90 cm:n etäisyydelle liedestä. Keräimet, näytteenotto ja analyysilaitteistot on lueteltu taulukossa 1.



Kuva 1. Koetila ja kaasunäytteiden mittauspisteet laboriokokeissa.

Keräimet	Näytteenotto	Analyytilaitteisto
FTIR-näytteenotin, suojattu paperisuodattimella. Näytteenottolinjan lämpötila 180 °C.	Jatkuvatoiminen näytteenotto 15 s välein. 400 ml näytekam-mio.	Fourier Transform Infra Red (FTIR) Gasmet Dx4000. 8 cm <sup>-1</sup> spektriresoluutio. Suhteelliset epävarmuudet 4-12 %, (Technical Specification CEN/TS 17337).
Tenax TA-Carbograph 5 TD - adsorptioputki (VVOC ja VOC)	20 min nopeudella 0,1 l/min (LOD 2 µg/m <sup>3</sup> )	Termodesorptio-kaasukromatografia-massaspektrometri (TD-GC-MS)
Sep-Pak C18 (päällystetty 2,4-dinitrofenyylihydratsiinillä)-näyteputki (karbonyylit)	30 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 1 µg/m <sup>3</sup> )	HPLC-UV (analyysi sisälsi 13 karbonyyliä)
Teflonsuodatin (PAH-yhdisteet kulkeutuvista hiukkasfraktioista)	30 minuuttia nopeudella 2 l/min (LOD 0,04 µg/m <sup>3</sup> ) 200 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 0,012 µg/m <sup>3</sup> )	Kaasukromatografia-massaspektrometria-laitteisto (GC/MS). Analysoitiin 16 PAH-yhdistettä. Ilmassa olevissa näytteissä seulottiin myös 1-metyyli-naftaleenia ja 2-metyyli-naftaleenia).
Orbo 43 (PAH-yhdisteet ilmasta)	25 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 0,4 µg/m <sup>3</sup> ) 100 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 0,02 µg/m <sup>3</sup> )	
Lasilevyt, joista laskeutuneet PAH-yhdisteet kerättiin etanolilla kostutetulla puuvillavanutupolla	Pyyhitty kokonaispinta-ala 1232 cm <sup>2</sup> (LOD 0,05-0,8 ng/cm <sup>2</sup> )	

Taulukko 1. Keräimet, näytteenotto ja analyytilaitteistot.

Kaasumaisten yhdisteiden tuoton laskenta perustuu oletukseen, että tila on täysin sekoitettu, ja kuumennusvaiheen lopussa havaittava konsentraatio on suoraan verrannollinen vapautuneeseen massaan. Materiaali massasta haitalliseksi yhdisteeksi muuttuu siis osuus

$$y = \frac{cV_r}{m} \quad (1)$$

missä  $c$  on yhdisteen massakonsentraatio kuumennusvaiheen lopussa,  $V_r$  on koetilan tilavuus ja  $m$  on palaneen materiaalin alkuperäinen massa. Kyseessä on siis 'tuotto osallistuvaa massayksikköä kohden'. Hävinneen massan arviointi ei kaikissa tapauksissa ollut mahdollista, eikä se ole mielekäs suure todellisten palotilanteiden arvioinnissa. FTIR-menetelmällä mitatuista konsentraatioista kuumennusvaiheen lopun arvot saadaan suoraan ajankohdan tai mitatun maksimi-arvon perusteella. Tuuletuksen jälkeen mitatuista konsentraatioista  $c_{i,s}$  ne voidaan laskea ajassa taaksepäin olettaen, että tuuletus laimentaa konsentraatiota  $N_{AE}$  kertaa

$$c_i = c_{i,s} e^{N_{AE}} \quad (2)$$

### Tuuletusvaatimus

Kunkin yhdisteen konsentraatio palotilanteessa toteutetun tuuletuksen jälkeen voidaan laskea samalla periaatteella kuin koetilan-teessa. Tuuletus laimentaa tilassa (asunnossa) olevaa konsentraatiota, ja jossain vaiheessa konsentraatio laskee turvalliselle tasolle. Jos kaasutila on täysin sekoittunut, laimentunutta konsentraatiota kuvaa eksponenttifunktio. Vaatimus tarvittavien ilmanvaihtojen määrälle saadaan, jos tunnetaan asunnon tilavuus  $V$  ja eri haitallille yhdisteille hyväksyttävä konsentraatio  $c_{safe}$ :

$$N_{AE} > \max \left[ \ln \left( \frac{y m}{c_{safe} V} \right) \right] \quad (3)$$

Tuuletusvaatimus määräytyy haitallisemman yhdisteen mukaan, ja siksi kaavassa esiintyy maksimi-funktio.

Tuuletukselta on siis jatkettava niin kauan, että asuntoon on puhallettu tai sieltä imetty  $N_{AE}$  kertaa asunnon tilavuus. Vaatimus voidaan edelleen jakaa kahteen osaan, joista ensimmäinen riippuu vain palavan materiaalin haitallisuudesta ja toinen palotilanteesta:

$$N_{AE} > \max \left[ \underbrace{\ln \left( \frac{y}{c_{safe}} \cdot c_{ref} \right)}_{N_{mat}} \right] + \underbrace{\ln \left( \frac{m}{V} \cdot \frac{1}{c_{ref}} \right)}_{N_{scen}} \quad (4)$$

Yllä  $c_{ref}$  on matemaattisten operaatioiden vaatima referenssikonsentraatio, jonka arvoksi valitaan  $c_{ref} = 1 \text{ g/m}^3$ . Tällöin massan yksikkönä on käytettävä grammaa ja tilavuuden yksikkönä kuutiometriä. Ensimmäinen termi riippuu siis laboratoriokokein mitatuista tuotoista ja terveysviranomaisten asettamista raja-arvoista. Toinen termi taas palaneesta massasta ja huoneiston tilavuudesta. Koska näiden suhde voi olla joko suurempi tai pienempi kuin yksi, voi logaritmfunktion tulos olla joko tuuletusvaatimusta kasvattava tai pienentävä. Vaikka tuuletusvaatimus näin esitettynä näyttääkin liian monimutkaiselta käytännön pelastustoiminnan kannalta, on se yksinkertaistettavissa helposti esitettäväksi taulukoksi.

### TULOKSET

Laboratoriokokeita tehtiin 35 kpl, joista FTIR-mittaus oli käytössä 20 kokeessa ja tuuletuksen jälkeisiä kaasunäytteitä otettiin 14 kpl. Lisäksi analysoitiin kaksi taustanäytettä puhdistetussa ja ilmastoidussa koetilassa ylikuumentamatta ruokaa ja yksi taustanäyte laboratoriahallista, johon koetila oli rakennettu. Yksi näyte otettiin ilmanlaadun tilan selvittämiseksi 24 h materiaalin kuumentamisen jälkeen (PE-pussit).

Taulukossa 2 on esitetty tärkeimpien näytteistä syntyvien orgaanisten aineiden tuotot. Toistokokeiden osalta esitetty luku on kokeiden keskiarvo. Alkoholeja havaittiin kaikista näytteistä, mutta tuloksia voi vääristää tilan puhdistuksessa käytetty etanoli. Taulukossa 3 on esitetty ne PAH-yhdisteet, joita syntyi patapuista, PE-pusseista, ruokaöljyistä ja talouspaperista. PAH-yhdisteitä löydettiin lähinnä laskeutuneista PAH-näytteistä. PAH-yhdisteitä ei havaittu, pitsalaatikoista tai ruoka-ainenäytteistä.

Tuotto x 10 <sup>3</sup> (g/g)	Auringon- kukkaöljy	Jauhe- liha	Kala- puikot	Mak- kara	PE- pussit	Pata- lappu	Pitsa- laatikko	Rypsi- öljy	Talous- paperi
Akroleiini	2,8	0,30	0,18	0,58	0,60	0,36	0,33	3,96	0,70
Asetaldehydi	1,22	0,55	0,40	0,00	1,40	13,14	1,03	2,16	4,26
Asetoni	0,39	0,26	0,17	0,24	0,33	0,26	0,64	0,79	2,62
Formaldehydi	1,84	0,47	0,47	0,36	0,84	3,57	2,65	3,31	10,87
Heksanaali	2,10	0,16	0,19	0,34	0,52	0,21	0,47	2,49	0,94
Naftaleeni	0,53	-	-	-	0,18	-	-	0,49	0,61
Etikkahappo	1,8	1,8	1,7	3,0	1,0	8,1	5,3	4,6	48,0
Alkoholit	5,4	0,91	0,85	0,83	0,44	0,51	2,8	8,2	5,0

Taulukko 2. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tuotot tuuletuksen jälkeen otettujen näytteen perusteella (kerrottuna tuhannella).

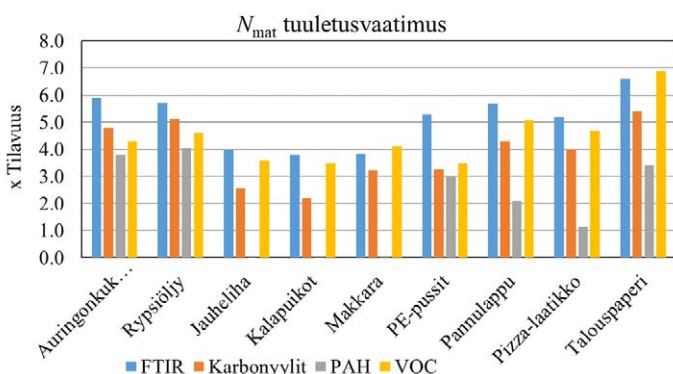
Yhdiste	Pata-lappu	PE-pussi	Öljyt	Taluspaperi
Naftaleeni	x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>
Fluoreeni	x <sup>1,2</sup>			
Fenantreeni	x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	
Asenaftyleenia		x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	
Fluoranteeni	x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	
Pyreeni		x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	
Kryseeni	x <sup>1</sup>			

<sup>1</sup> PAH-laskeuma, <sup>2</sup> PAH-ilmanäytteet

Taulukko 3. PAH-yhdisteitä tuottaneet materiaalit.

Yhdistämällä tuotot asumisterveyden kannalta olennaisiin raja-arvoihin [5,14,15] kaavassa 4, voitiin muodostaa tuuletusvaatimukset eri materiaaleille. Kuvassa 2 on esitetty liesipaloon osallistuvan materiaalin tuottama osuus tuuletusmäärävaatimuksesta eli kaavan 4 ensimmäinen termi,  $N_{mat}$ . Kuvassa verrataan eri mittaustavoilla (FTIR tai näytteenotto+kaava 2) saatuja vaatimuksia. Kaasunäytteiden osalta on esitetty erikseen VOC-yhdisteiden, karbonyylien ja PAH-yhdisteiden perusteella lasketut tuuletusvaatimukset. Kussakin ryhmässä kyseessä on eri yhdisteiden perusteella saatujen arvojen maksimi ja toistokokeiden keskiarvo. Lisäksi FTIR-mittauksista saatiin tuuletusvaatimukset keitetylle riisille ( $N_{mat} = 4,8 \pm 0,7$ ) ja hernekeitolle ( $N_{mat} = 2,6$ ), mutta tuuletuksen jälkeisiä kaasunäytteitä ei näille materiaaleille otettu. Toistokokeiden tuloksista lasketut suhteelliset keskihajonnat vaihtelivat FTIR-mittauksissa 3 ja 19 % välillä.

Jatkuvan mittauksen (FTIR) perusteella lasketut vaatimukset ovat korkeampia kuin tuuletuksen jälkeisten kaasunäytteiden perusteella lasketut kaikilla aineilla paitsi taluspaperilla, jolla määrääväksi näytti muodostuvan VOC-yhdisteiden, tarkemmin sanottuna etikkahapon tuotto. Yleisesti ottaen tärkeimpiä FTIR-mittauksissa havaittuja haitallisia yhdisteitä olivat (suluissa keskimääräiset  $N_{mat}$ -arvot) akroleiini (5,2) ja formaldehydi (3,8). Bentseniä (4,5) havaittiin myös useissa näytteissä, ja joissakin kokeissa se muodostui määrääväksi. Myös hiilimonoksidiä (1,4), typpi-



Kuva 2. Palavan materiaalin edellyttämä tuuletuskertojen määrä  $N_{mat}$  eri näytteenottojen perusteella.

dioksidia (2,6) ja vetykloridia (2,7) havaittiin määriä, jotka edellyttäisivät tuuletusta.

VOC-mittausten perusteella tärkeimpiä yhdisteitä olivat pentaaeni ( $N_{mat} = 3,8$ ), 2-metoksi-4-vinyylifenoli (3,9), 2-metoksi-4-metyylifenoli (4,1), butaanidiaali (3,7), etikkahappo (4,3) ja muura-haishappo (4,6). Fenoli-yhdisteitä havaittiin vain taluspaperin savussa. Kaasunäytteiden karbonyyleista eniten tuulettamista vaativat akroleiini (3,3) ja formaldehydi (3,2), mutta asetraldehydiäkin havaittiin pannulappu- ja taluspaperikokeissa ( $N_{mat} = 0,4-1,5$ ).

PAH-yhdisteistä merkittäviä tuuletusvaatimuksia aiheutti lähinnä naftaleeni (1,6), jota syntyy ruokaöljyistä (3,9) ja kaikista kiinteistä materiaaleista. Myös bentso(a)pyreeni (1,2) ja ruokaöljyjen tapauksessa fenantreeni (1,1) vaativat tuulettamista.

Eri lähteistä poimittujen raja-arvojen välillä oli suuria, jopa suuruusluokkaeroja, koska niiden käyttötarkoitus poikkesi toisistaan. Jos laskennassa käytettiin työpaikkojen terveellisuuden arviointiin tarkoitettuja raja-arvoja (HTP 8H), ne jaettiin tekijällä 10, jotta saatiin huomioitua herkempien ihmisryhmien vaikutus. Monille havaituille yhdisteille ei löydetty raja-arvoja lainkaan. Karsinogeenien raja-arvojen valinta oli hankalaa, koska onnettomuustilanteisiin soveltuvia raja-arvoja ei ole yleisesti määritelty. Nyt päädyttiin käyttämään suurimman syöpäriskin (1/10000 a) raja-arvoa.

## SOVELTAMINEN SAVUTUULETUKSEEN

Pelastustoimen savutuuletusohjeistuksen kannalta ei ole mielekäs-tä taulukoida tai soveltaa yksittäisten materiaalien vaatimuksia, koska palotapahtumaan voi osallistua useampia aineita tai niitä ei tarkasti tiedetä. Kuvan 2 perusteella materiaalit voidaan ryhmitellä kahteen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä koostuu ruoka-aineista, jotka tyypillisesti edellyttävät kypsentämistä ja sisältävät vettä. Materiaalista aiheutuva tuuletusvaatimus on niille likimain 4 ilmanvaihtoa. Toisen ryhmän muodostavat ruokaöljyt ja kiinteät aineet, jotka eivät ole ruokaa. Niille voidaan asettaa tuuletusvaatimukseksi 6 ilmanvaihtoa.

Toinen tuuletusvaatimukseen vaikuttava tekijä on palavan aineen massan ja huoneiston tilavuuden suhde, eli kaavan 4 toinen termi  $N_{scen}$ . Kuvassa 3 on esitetty  $N_{scen}$  tasa-arvokäyrät arvot massan ja tilavuuden funktiona. Kun massan lukuarvo grammoina on yhtä suuri kuin tilavuus kuutiometreinä,  $N_{scen}$  saa arvon nolla. Massan kasvaessa  $N_{scen}$  kasvaa ja tilavuuden kasvaessa se pienenee. Massan kymmenkertaistuminen lisää tuuletuskertojen määrää 2,3:lla.

Käytännöllinen tuuletusohje saadaan, kun kaksi tunnistettua materiaalityyppiä (4 ja 6 ilmanvaihtoa) yhdistetään joukkoon valmiiksi laskettuja  $N_{scen}$  arvoja. Taulukossa 4 on esitetty kokonais-tuuletustarpeet (ilmanvaihtojen lukumäärä) eri kokoisille huoneistoille ja kolmella eri palavan aineen massan arvolla. Arvoja laskettaessa oletettiin, että huonekorkeus on 2,5 m. Näemme että 100 g ruoka-ainetta, joka sisältää vettä, pannussa kärytettyinä edellyttää siis 3-4 ilmanvaihtoa asunnon koosta riippuen. Vas-

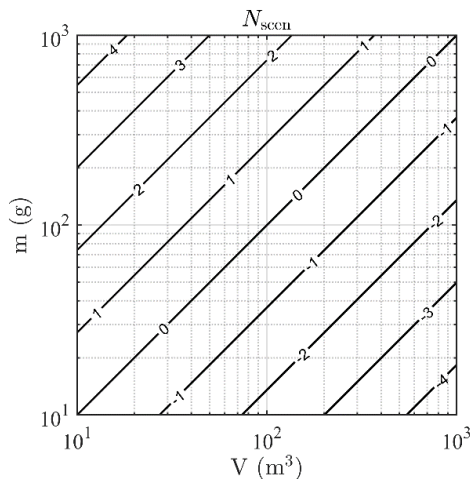


taavasti 1000 g ruokaöljyä tai muovia vaatii pienessä asunnossa jopa yhdeksän ilmanvaihtoa. Muita, nyt taulukoiduista tapauksista poikkeavia vaatimuksia voidaan laskea helposti lisää tai ne voidaan määrittää kuvan 3 avulla.

Käytännössä savutuuletus toteutetaan usein puhaltimella, joko ali- tai ylipaineella, jolloin voidaan määritellä tehollinen tilavuusvirta  $e \times TV$ , jossa  $TV$  on puhaltimen virtaama. Ylipainetuuletuksessa ilmasuihku sekoittaa tilaa tehokkaasti, ja tehollisuuskerroin  $e = 1$ . Alipainetuuletuksessa puuttuu huoneiston ilmaa sekoittava vaikutus, ja teholliseksi tilavuusvirraksi oletetaan 25 % nimellisvirtauksesta, eli  $e = 0,25$ . Tämä on karkea arvio, ja todellisia  $e$  arvoja olisi syytä selvittää lisätutkimuksella. Tuuletusaika voidaan nyt laskea vaadittavien tuuletuskertojen ( $N_{AE}$ ), huoneiston tilavuuden ( $V$ ) ja tehollisen tilavuusvirran  $e \times TV$  avulla

$$aika = \frac{N \times V}{e \times TV} \quad (5)$$

Taulukossa 5 on esitetty tuuletusajat esimerkissä, jossa käytetään alipainetuuletusta ( $e = 0,25$ ) puhaltimella, jonka tuotto on 30 000 m<sup>3</sup>/h. Tuuletusajat vaihtelevat 2 ja 15 min välillä.



Kuva 3. Palavan materiaalin massan ja huoneiston tilavuuden edellyttämä tuuletuskertojen määrä  $N_{scen}$ .

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Pienten keittiöpalojen tuottamia haitallisia aineita tutkittiin laboratorioon rakennetussa testikeittiössä. Kokeissa kuumennettiin ruokaöljyä, kypennettäviä ruoka-aineita ja muita liesipaloissa tyyppisesti palavia materiaaleja keraamisella liedellä. Osa materiaaleista syttyi. Haitallisten yhdisteiden pitoisuudet mitattiin sekä jatkuvana mittauksena (FTIR-menetelmä) että tuuletuksen jälkeen (näytteenotto ja laboratorioanalyysi). Mitattujen pitoisuuksien avulla laskettiin yhdisteiden tuotot ja konsentraation raja-arvojen avulla tuuletusvaatimukset.

Tulokset osoittivat, että tärkeimpiä tuuletettavia haihtuvia yhdisteitä olivat akroleiini, formaldehydi, bentseeni, tyypidioksidi, vetykloridi, pentaani, 2-metoksi-4-vinyylifenoli, 2-metoksi-4-metyylifenoli, butaanidiaali, etikkahappo ja muurahaishappo. PAH-yhdisteistä merkittäviä tuuletusvaatimuksia aiheutti lähinnä naftaleeni, jota syntyy palotilanteissa ruokaöljyistä ja kaikista kiinteistä materiaaleista. Monille havaituista yhdisteistä ei kuitenkaan löytynyt asumisterveyden kannalta olennaisia raja-arvoja. Karsinogeenisten yhdisteiden raja-arvot ovat todennäköisyysperusteisia, jolloin yleinen suositus on pyrkiä mahdollisimman alhaiseen pitoisuuteen, eikä onnettomuustilanteeseen soveltuvia raja-arvoja ole yleisesti määriteltä. Ei ole myöskään selvää tulisiko eri yhdisteitä käsitellä erikseen vai ryhmiteltynä.

Laskennallisten tuuletusvaatimusten perusteella liesipaloihin osallistuvat materiaalit voidaan jakaa kahteen ryhmään: Kypennettävät ruoka-aineet (pl. ruokaöljyt) muodostavat helpommin tuuletettavan ryhmän, joista syntyvä savu vaatii neljä ilmanvaihtoa laimentuakseen turvalliselle tasolle. Toisen ryhmän muodostavat ruokaöljyt yhdessä kiinteiden materiaalien (paperit, pahvit, kankaat ja muovit) kanssa. Ne vaativat kuusi ilmanvaihtoa. Lisäksi tuuletustarve riippuu huoneiston tilavuudesta ja palaneen materiaalin massasta. Tulokset koottiin yksinkertaiseen taulukkoon, josta tuuletustarve tai -aika voidaan lukea, kun tunnetaan palavan asunnon koko ja osallistuneen materiaalin määrä.

Tuuletukseen vaadittavien ilmanvaihtojen lukumäärä $N_{AE}$ , kun huonekorkeus on 2,5 m				
Huoneiston ala (m <sup>2</sup> )	Palaneen tai ylikuumentuneen materiaalin tyyppi			
	tyyppi	massa		
		100 g	500 g	1000 g
25	Ruoka	4	6	7
50		4	5	6
75		3	5	6
100		3	5	5
25	Ruokaöljy tai kiinteät esineet	6	8	9
50		6	7	8
75		5	7	8
100		5	7	7

Taulukko 4. Tuuletusvaatimukset 2,5 m korkuiselle huoneistolle.

Tuuletukseen vaadittava aika (min)				
$TV = 30\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ , $e = 0,25$ , huonekorkeus 2,5 m				
Huoneiston ala (m <sup>2</sup> )	Palaneen tai ylikuumentuneen materiaalin tyyppi			
	tyyppi	massa		
		100 g	500 g	1000 g
25	Ruoka	2	3	3
50		4	5	6
75		5	7	9
100		6	9	11
25	Ruokaöljy tai kiinteät esineet	3	4	4
50		6	7	8
75		8	10	12
100		10	13	15

Taulukko 5. Esimerkki alipainetuuletuksella tuuletusajoista.

- ▶ Tärkein jatkotutkimustarve liittyy todellisten asuntojen ja laboratoriotilan välisten erojen kvantifioimiseen. Todellisissa palotilanteissa huoneteila on monimutkaisempi, jolloin tilan sekoittuminen ja pitoisuuksien laimeneminen poikkeaa ideaalisesta. Lisäksi huokoiset materiaalit ja pinnat voivat absorboida haitallisia yhdisteitä ja vapauttaa niitä uudelleen tuuletuksen aikana ja jälkeen. Tätä prosessia ei vielä täysin tunneta. Myös savutuuletuksen tehokkuutta ja eri tuuleustapoihin (yli-/alipainetuuletus) liittyviä haasteita tulisi selvittää.

## KIITOKSET

Tutkimus on tehty Aalto-yliopiston, Pelastusopiston, Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) ja Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön (SPEK) ”Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy” -hankkeessa, jonka rahoitti Palosuojaohjelurahasto. Kiitos Otto Hedströmille ja Tuula Kajolinnalle avusta kokeiden valmistelussa ja mittauksissa.

## LÄHDELUETTELO

1. Adetona, O., Reinhard, 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.
2. Sjaastad, A.K., Svendsen, K., 2009. Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Mutagenic Aldehydes, and Particulate Matter in Norwegian à la Carte Restaurants. *Ann. Occup. Hyg.* 53:723–729. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep059>
3. Katragadda, H.R., Fullana, A., Sidhu, S., Carbonell-Barrachina, Á.A., 2010. Emissions of volatile aldehydes from heated cooking oils. *Food Chem.* 120:59–65. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.070>
4. Peng, C.Y., Lan, C.H., Lin, P.C., Kuo, Y.C., 2017. Effects of cooking method, cooking oil, and food type on aldehyde emissions in cooking oil fumes. *J. Hazard. Mater.* 324:160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.045>
5. WHO regional office for Europe (2010) WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. 454 s.

6. Shimizu, T., Hamada, O., Sasaki A., and Ikeda M., 2012. Polymer fume fever. *BMJ Case Rep.* 2012; bcr2012007790. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4544973/>
7. Buonanno, G., Stabile, L., Morawska, L., Russi, A., 2013. Children exposure assessment to ultrafine particles and black carbon: The role of transport and cooking activities. *Atmos. Environ.* 79, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.041>
8. Stec, A. A., Hull R.T. (2010) (toim.) *Fire toxicity*. Elsevier.
9. Tillander, K., Järnström, H., Hakkarainen, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., 2008. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen. Polttokokeet ja altistumisen arviointi. VTT Working Papers 103. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2008/W103.pdf>
10. Tillander, K., Järnström, H., Hakkarainen, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., 2009. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2 Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi. VTT TIEDOTTEITA 2512. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2009/T2512.pdf>
11. 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, 937–948.*
12. Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., Hakkarainen, T., Tillander K., Paloposki, T., 2010. Kemikaalialtistumisen vähentäminen palokohteissa. VTT TIEDOTTEITA 2531 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2531.pdf>
13. Jhatial, T. & Hostikka, S., 2021. Thermal characterization of electric cooktops. *Palotutkimuksen päivät 2021. Pelastustieto.* s. 113–117.
14. Asumisterveysasetus (2015)
15. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES). (2023) *Indoor Air Quality Guidelines (IAQGs)*, <https://www.anses.fr/en/content/indoor-air-quality-guidelines-iaqgs> (viit. 15.3.2023)

Rekisteröitymällä ja kirjautumalla pelastustieto.fi-sivustolle voit tehdä tekstihakuja ja lukea ilmaiseksi kaikki Palontorjunnat ja Pelastustiedot vuosilta 1950–2009.



# Asumisterveys huoneistossa, kemialliset altisteet ja niiden vähentäminen liesipalotilanteen jälkeen

## Tiivistelmä

Ruoanvalmistus tai liedien epätyypillinen käyttö ovat tavanomaisia asuinrakennusten palojen tai palovaaratilanteiden aiheuttajia. Usein nämä palot saadaan rajoitettua osaan syttymiskohdetta mutta ne aiheuttavat silti noki- ja savuvahinkoja ja samalla asukkaiden altistumista. Tässä hankkeessa tutkittiin asumisterveellisyttä vaarantavien altisteiden muodostumista ja pitoisuuksia rivitalo- ja kerrostalohuoneistoissa aiheutetuissa palotilanteissa. Pelastustoiminta sisälsi sammutusraivauksen ja savutuuletuksen. Kokeissa ylikuumennettiin kolme eri materiaalia: auringonkukkaöljyä, polyeteenipusseja ja patalappuja. Tuuletuksen jälkeen huoneistoista mitattiin kemiallisten altisteiden pitoisuuksia. Altisteista terveyden kannalta tärkeimpiä olivat hiilimonoksidi, aldehydeistä akroleiini ja formaldehydi ja haihtuvista orgaanisista yhdisteistä bentseeni. Vaikka kokeissa ylikuumennetut materiaalmäärät olivat pieniä eikä kuumentamista jatkettu pitkään, ei lyhyt savutuuletus riittänyt pienentämään kaikkien mitattujen altisteiden pitoisuuksia turvalliselle tasolle. Lisäksi todellisessa palotilanteessa altistuminen olisi voinut tapahtua jo ennen savutuuletusta eli huomattavasti korkeammille pitoisuuksille. Asukkaiden lisäksi myös muiden huoneistossa liikkuvien altistumiseen tulisi kiinnittää huomioita.

## JOHDANTO

Suomessa oli ajanjaksolla 2016–2020 asuinrakennuksissa vuositasolla miltei 3000 rakennuspaloa tai -palovaaratilannetta, joista aiheutui keskimäärin 49 palokuolemaa vuodessa. Rakennuspalojen tavallisiin syttymissyihin kuuluu ruoanvalmistus ja palot syttyvät enimmäkseen huolimattomuuden, varomattomuuden tai vahingon vuoksi [1]. Nämä tiedot perustuvat Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmän (PRONTO) tietoihin eli niihin sisältyvät ainoastaan pelastustoimen tietoon tulleet tapaukset. Osa vaaratilanteista kuitenkin hoidetaan joko asukkaan tai hänen läheisensä tai vaikkapa asumispalveluyksikön henkilökunnan voi-

min eli ilman pelastuslaitoksen apua eikä niitä silloin rekisteröidä Prontoon. Asuinrakennusten palojen tai palovaaratilanteiden todellinen määrä on siis tilastoitua suurempi [2].

Suorien vahinkojen lisäksi rakennuspalot tai -palovaaratilanteet aiheuttavat altistumista haitallisille yhdisteille. Rakennuspalossa muodostuu kemiallisia yhdisteitä, joiden aiheuttamaa altistumista on tutkittu työhygieenisestä näkökulmasta. Sekä palon sammutusvaiheessa paikalla olevien eli pelastajien että rakennuksessa myöhemmässä vaiheessa työskentelevien, kuten palontutkijoiden, vaikutustarkastajien ja palosaneeraajien, altistumista on tutkittu tekemällä mittauksia laboratorio-olosuhteissa ja osin myös todellisissa tulipalotilanteissa. Näissä tutkimuksissa on havaittu, että tulipaloissa muodostuu monenlaisia terveydelle haitallisia yhdisteitä, kuten hapen kuljetusta haittaavia hiilimonoksidia ja syaanivetyä sekä polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH) ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), joista osa on mm. syöpävaarallisia [3,4]. Palopaikoilla työtään tekevien altistumista pystytään vähentämään oikealla suojautumisella. Samoja altisteita voi kuitenkin löytyä asunnosta savutuuletuksen ja muiden toimenpiteiden jälkeenkin. Jos tilanteessa palo ei ole levinnyt syttymiskohdastaan muuhun irtaimistoon tai kiinteisiin rakenteisiin ja sammuttaminen on saatu hoidettua esim. sammutusraivauksella, tukahduttamalla tai pienellä sammutemäärällä, voi asunto olla rakenteidensa puolesta asumiskelpoinen. Silloin huoneistoon voidaan päättää jäädä asumaan. Tietoa pienten rakennuspalojen tai palovaaratilanteiden asukkaille aiheuttamasta altistumiskuormasta ei kuitenkaan juuri ole. Palopaikalla työskenteleisiin ammattilaisiin verrattuna asukkaan altistumisaika on todennäköisesti huomattavasti työperäistä altistumisaikaa pidempi eikä altistumiselta suojauduta henkilökohtaisilla suojaimilla, joten pienemmätkin altistemäärät voivat riittää aiheuttamaan merkittävää altistumista.

Koska asuntojen pieniä rakennuspaloja tai rakennuspalovaaratilanteita on vuositasolla paljon mutta niiden asukkaille aiheutta-



- ▶ masta altistumiskuormasta ja vaikutuksesta asumisterveellisyyteen on niukasti tietoa, haluttiin hankkeessa ”Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy” selvittää kemiallisten altisteiden kertymistä asuntojen rakennuspalovaaratilanteissa. Hankkeen kokeellisessa osuudessa toteutettiin todellisissa asunnoissa huoneistopalokkeita, joissa mitattiin kemiallisten altisteiden pitoisuuksia ja niiden muuttumista ajan kuluessa.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksia varten saimme käyttöömmä purettavia rivitalohuoneistoja, joiden valmistumisvuosi oli 1987. Rakennukset olivat yksikerroksisia, tiiliverhoiluja ja vesikatteenä oli peltikate. Huoneistoja oli kahta kokoa: 2 h + k (51 m<sup>2</sup>) ja 2 h + kk (40 m<sup>2</sup>). Niissä oli edelleen sekä lämmitys että sähköt ja tavanomaiset kiinteät kalusteet mutta ei irtaimistoa. Tilaan lisättiin huokoista materiaalia kiinnittämällä liedien läheiselle seinälle vanupeitto (150 cm × 200 cm, kangas polypropeenia, täyte polyesteria). Huoneistojen pesu- ja vaatehuoneet suljettiin tiiviisti kokeiden ajaksi tilan pohjaratkaisun yksinkertaistamiseksi, joten kokeissa huoneistojen tilavuudet olivat 113 m<sup>3</sup> (2 h + k) ja 90 m<sup>3</sup> (2 h + kk). Koetta varten huoneistoon tuotiin perinteinen valurautalevyinen sähköliesi ja liesituulettimen paikalle asennettiin kanavapuhallin ylläpitämään normaalia ilmanvaihtoa kokeen kuumennusvaiheen jälkeen. Korvausilmaa huoneistoihin tuli ikkunanpuitteiden venttiilien kautta.

Koska mahdollisen palon leviäminen piti estää ja koetilanne pitää korkeintaan pienen rakennuspalon tasolla, suunniteltiin huoneiston rakenteisiin etukäteen kohdat yläpohjan kastelemiseksi ja sammuttamiseksi. Koko kokeiden ajan valmiina oli myös sammutustaitoista henkilöstöä ja sammutusauto sekä erilaisia sammuttimia. Jotta ehkäistiin mahdollisen palon leviämistä asunnon yläpohjaan, oli liesituulettimen kanava tukittu kuumennus- ja savutuuletusvaiheiden aikana.

Koemateriaaleja kuumennettiin valurautalevyisellä liedellä, jolloin ylikuumentunut materiaali savusi ja osassa tilanteista myös syttyi. Tulen ei kuitenkaan annettu levitä syttymiskohdastaan kiinteisiin rakenteisiin tai muuhun irtaimistoon. Tilanne vastaa ”Kemikaalialtistumisen vähentäminen palokohteissa” -julkaisun paloluokkaa I, joka on määritelty seuraavasti:

*”Lieviä nokivahinkoja aiheuttanut kytöpalo. Palo ei ole levinnyt syttymiskohdastaan muuhun irtaimistoon tai rakenteisiin. Liikaantuminen ja haitta-ainekuormitus ovat erittäin vähäisiä. Pinnat ovat puhdistettavissa ilman pinnoitteiden uusimista. Kohteessa on vain pienehköjä hajua- ja savuhaittoja.” [5]*

Ylikuumennettavat materiaalit valittiin sekä Pronton tilastoissa että asiantuntijoiden antamissa tiedoissa yleisiksi syttyviksi materiaaleiksi mainittujen joukosta. Samoilta materiaaleille oli hankkeen aikana tehty myös syttymiskokeita, joten niiden käyttäytymisestä ylikuumentamisessa oli käsitys jo ennakkoon. Materiaalit olivat auringonkukkaöljy (50 ml/47 g), PE-pussit (pakastuspussit, matalatiheyspolyeteeni, 210 g) ja patalaput (2 kpl, puuvillapäällinen, polyesterivanu, 120 g). Jokaisella materiaalilla tehtiin kaksi rinnakkaista koetta. Materiaali asetettiin liedien vasemmalle etulevyl-

le (teho 2000 W) joko valurautapaistinpannussa (auringonkukkaöljy), alumiinifolivuossa (PE-pussit) tai sellaisenaan (patalaput). Lieden levy kytkettiin täydelle teholle (6/6) ja kuumennusta jatkettiin korkeintaan 30 minuutin ajan tai kunnes materiaali syttyi, jolloin sen annettiin palaa muutaman minuutin ajan. Kuumennusvaiheen jälkeen tilanne hoidettiin sammutusraivauksella eli kuljetettiin savuava tai syttynyt materiaali ulos ja tuuletettiin asunto. Tuuletus tehtiin savutuulettimella alipainetuuletuksena, jonka aikana korvausilma tuli avoimista ikkunoista ja ovesta. Savutuuletin oli asetettu huoneistossa keskeiselle paikalle ja siihen oli kiinnitetty muoviputki, jonka kautta poistettava ilma johdettiin asunnon ulkopuolelle. Savutuuletuksessa poistetun ilman määrä oli noin 6,3 kertaa asunnon tilavuus. Kuumennus- ja savutuuletusvaiheiden jälkeen huoneiston ilmanvaihto säädettiin tavanomaiselle tasolle eli n. 0,5 kertaa huoneiston tilavuus tunnissa.

Huoneistosta mitattiin koko kuumennus- ja savutuuletusvaiheen ajan hiilimonoksidin (CO) pitoisuuksia eri huoneissa suoraanosoittavalla mittarilla (Dräger PAC 6500). Kun huoneiston lämpötila savutuuletuksen jälkeen oli palannut normaaliksi, kerättiin näytteet muiden kemiallisten altisteiden pitoisuuksien määrittämiseksi keittiöstä, olo- ja makuuhuoneesta. Mittaukset tehtiin jokaisella materiaalilla kerran myös noin neljän tunnin ja 17 tunnin kuluttua, jotta saatiin tietoa pitoisuuksien muuttumisesta ajan myötä. Kokeissa mitatut altisteryhmät olivat aldehydit, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH). PAH-pitoisuudet mitattiin ilmasta sekä hiukkasetä kaasufaasista. Kaikki näytteet (Taulukko 1) kerättiin näytteenottopumppujen (Gilian GilAir Plus Air Sampling pump) avulla.

Ilmanäytteiden lisäksi PAH-pitoisuuksia määritettiin laskeumasta. Laskeumanäytteitä varten jokaiseen mittauspisteeseen oli ennen kuumennusvaihetta asetettu lasilevyjä (pinta-ala 1232 cm<sup>2</sup>/näyte), joilta näytteet kerättiin pyyhkimällä etanolilla kostutetulla puuvillavanulla.

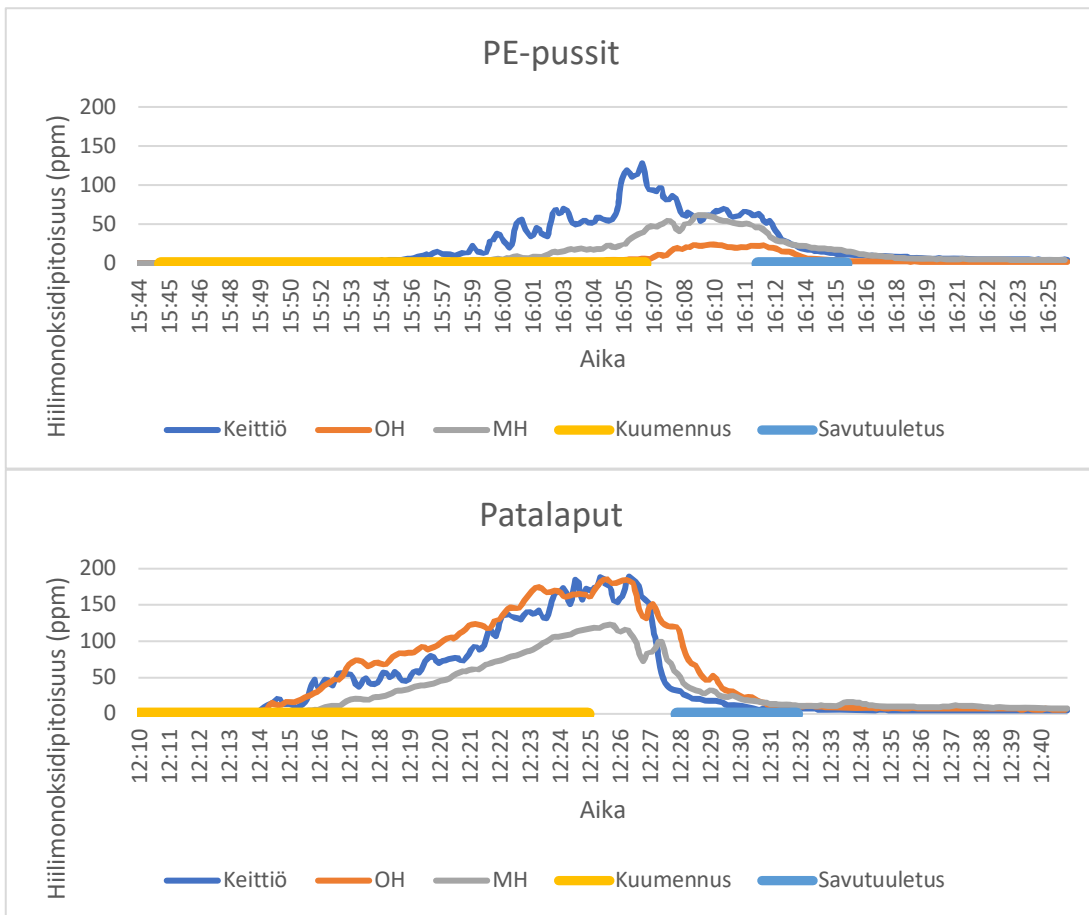
## TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Kokeissa havaittiin, että materiaali vaikutti ylikuumenemisessa muodostuvaan savuun: vähiten savua muodostui auringonkukkaöljyllä ja eniten PE-pusseilla. Auringonkukkaöljy ei syttynyt ja asunnon ulkopuolella ja seuraavana päivänä havaittu haju muistutti lähinnä ruoanlaiton tai grillikioskin hajua. PE-pussit savusivat pitkään ja runsaasti ennen syttymistään, ja savu heikensi näkyvyyden koko huoneistossa. Laimennuttuaan eli asunnon ulkopuolella ja seuraavana päivänä savun haju oli kynttilämäinen. Patalappujen savuaminen ja syttyminen tapahtuivat PE-pusseja nopeammin ja ylikuumentaminen aiheutti voimakasta pistävää hajua, joka tarttui materiaaleihin ja oli puhdistuksesta huolimatta havaittavissa koevälineistä useammankin päivän kuluttua. Kokeiden aikana havaittiin myös, että savu oli levinnyt laajalle rakennuksen yläpohjaan vaikka savutuuletus oli tehty alipainetuuletuksena. Kunkin rakennuksen yläpohja oli yhtenäistä tilaa ja asuntojen väliltä puuttuivat palokatkot.

Hiilimonoksidi levisi kokeen aikana pienellä viiveellä koko asuntoon mutta eri koemateriaaleilla pitoisuudet erosivat selvästi: maksimiarvot eri huoneissa olivat auringonkukkaöljyllä 3–7

Yhdisteryhmä	Keräin	Näytteenoton kesto (min)	Virtaus l/min
Aldehydit	DNPH-patruuna	30	1,0
VOC	Tenax 5 TD adsorbentti	30	0,1
PAH (hiukkasmaiset)	PTFE-suodatin	200	1,0
PAH (kaasumaiset)	Orbo 43-adsorbentti	200	1,0

Taulukko 1. Huoneistopalokokeiden ilmanäytteenotot.



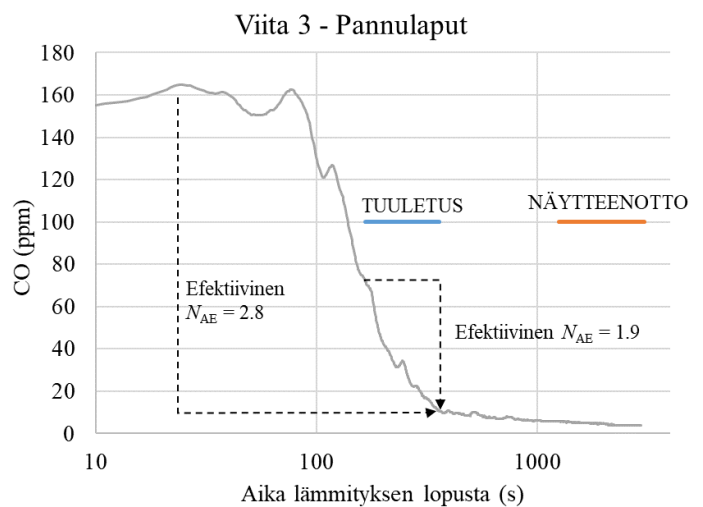
Kuva 1. PE-pussien ja patalappujen ylikuumentamisessa muodostuneet hiilimonoksidipitoisuudet ja niiden muutos savu- tuuletuksen aikana.

Kuva 2. CO-pitoisuus pannulappukokeen tuuletuksen aikana.

ppm, PE-pusseilla 24–130 ppm ja patalapuilla 120–190 ppm (Kuva 1). Asumisterveysasetuksen mukaan sisäilman hetkellinen hiilimonoksidipitoisuus ei saa ylittää 7 mg/m<sup>3</sup>, joka vastaa noin 6 ppm [6]. Kemiallisten altisteiden raja-arvoina on tässä tarkastelussa käytetty 10 % työhygieenisistä haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista eli HTP<sub>15min</sub>-arvoista, koska asumisessa altistumisaika on työperäistä altistumista pidempi [7]. Hiilimonoksidille tämä on 7,5 ppm (HTP<sub>15min</sub> 75 ppm). PE-pusseilla ja patalapuilla ylittyivät nämä rajat ja auringonkukkaöljylläkin korkein pitoisuus oli rajojen tuntumassa. Hiilimonoksidin pitoisuudet alkoivat laskea jo sammutusraivauksen myötä ja savutuuletus vähensi pitoisuuksia nopeasti.

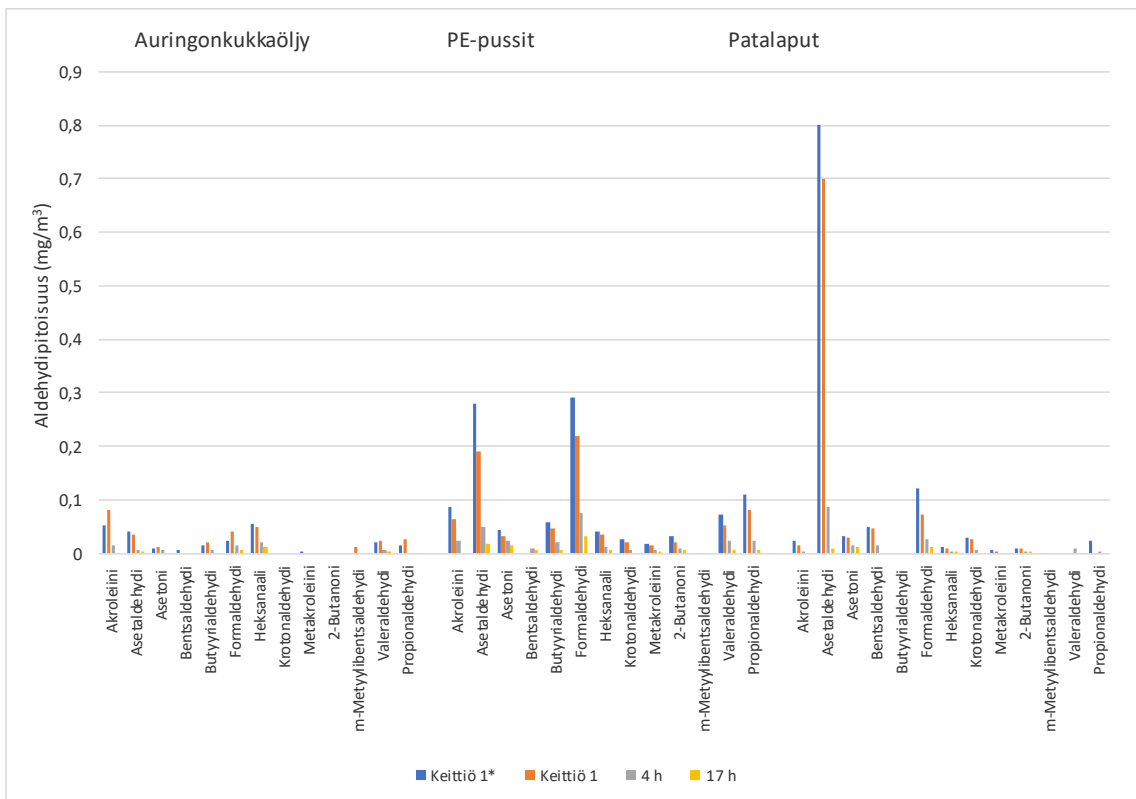
Kuvassa 2 on esitetty yhden patalappukokeen CO-pitoisuus lämmityksen lopettamisesta kuluneen ajan funktiona. Aika-akseli on logaritminen, joten eksponentiaalinen laimenemisprosessi pitäisi näkyä kuvaajassa lineaarisesti laskevana käyrän osana. Nähdään että pitoisuus laskee huomattavasti jo ennen tuuletusvaihetta. Kokonaisuudessaan pitoisuus alenee tuuletusvaiheen loppuun mennessä 2,8 ilmanvaihtoa vastaavalla määrällä. Tuuletusvaiheen aikana vastaava efektiivinen ilmanvaihtojen lukumäärä on 1,9. Koska teoreettinen ilmanvaihtoluku oli 6,3 kertaa huoneiston tilavuus, voidaan päätellä että alipaineisena toteutetun tuuletuksen tehokkuus oli 30–44 %.

Aldehydit levisivät kaikissa kokeissa varsin tasaisesti koko huoneistoon mutta eri materiaaleilla aldehydien maksimipitoisuudet ja yhdisteiden suhteet erosivat toisistaan (Kuva 3). Erityisesti tämä näkyi näkyi asetaldehdydin ja formaldehydin pitoisuuksissa: öljykokeeseen verrattuna oli PE-pussien kokeessa asetaldehdydiä kuu- sinkertainen ja formaldehydiä kahdeksankertainen määrä ja patalapuilla asetaldehdydiä 20-kertainen määrä. Kaikkien aldehydien pitoisuudet pienenevät selvästi ajan kuluessa. PE-pussien kokeessa heti savutuuletuksen jälkeen mitatusta pitoisuudesta oli jäljellä



neljän tunnin kuluttua akroleiinilla 35 %, asetaldehdyillä 25 % ja formaldehydillä 34 %. 17 tunnin näytteessä akroleiinin pitoisuudet olivat alle määritysrajan mutta asetaldehdydiä löytyi vielä 9 % ja formaldehydiä 15 % savutuuletuksen jälkeisestä pitoisuudesta.

Aldehydeistä altistumisen kannalta merkittävimmät yhdisteet heti savutuuletuksen jälkeen olivat akroleiini ja formaldehydi (keittiössä: auringonkukkaöljy 0,07 mg/m<sup>3</sup> ja 0,03 mg/m<sup>3</sup>; PE-pussit 0,08 mg/m<sup>3</sup> ja 0,26 mg/m<sup>3</sup>; patalaput 0,02 mg/m<sup>3</sup> ja 0,10 mg/m<sup>3</sup>). Raja-arvot (10 % HTP<sub>15min</sub> -arvoista) olivat akroleiinille 0,01 mg/m<sup>3</sup> ja formaldehydille 0,07 mg/m<sup>3</sup>. Akroleiinipitoisuus ylitti raja-arvonsa kaikilla materiaaleilla heti savutuuletuksen jälkeen ja auringonkukkaöljyllä sekä PE-pusseilla vielä neljä tuntia myöhemminkin. Formaldehydiä mitattiin raja-arvon ylittävät pitoisuudet PE-pusseilla ja patalapuilla heti savutuuletuk-



Kuva 3. Aldehydipitoisuudet eri materiaalien ylikuumentamisessa keittiön näyttöön otetuissa. Savutuuletuksen jälkeinen näyte on 1 ja sen rinnakkaisnäyte 1\*, 4 h ja 17 ovat neljä ja 17 tuntia myöhemmin kerätyt näytteet.

sen jälkeen ja PE-pusseilla myös neljän tunnin kuluttua. Kuvassa 4 näkyvät PE-pussikokeen raja-arvonsa ylittävät pitoisuudet ykköstä suurempina suhdelukuina.

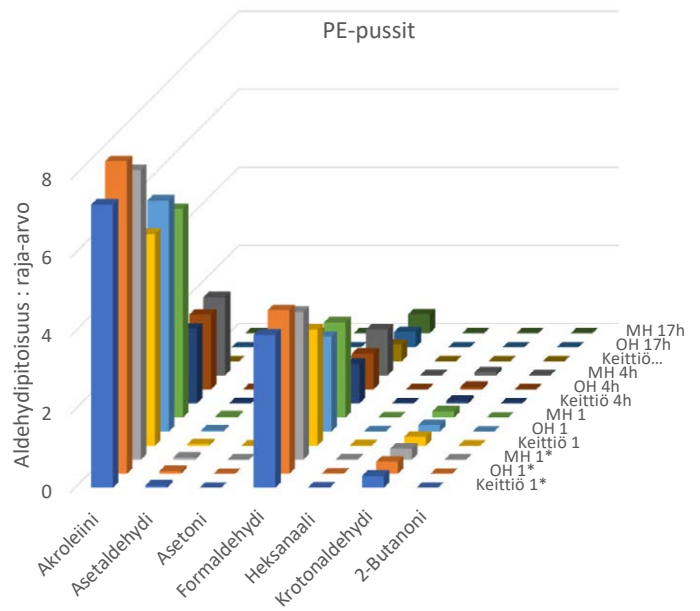
Myös VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet ja erityisesti bentseenin pitoisuudet heti savutuuletuksen jälkeen (keittiössä: auringonkukkaöljy  $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PE-pussit  $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; patalaput  $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vaihtelivat materiaaleittain. Korkeimmat VOC-pitoisuudet mitattiin PE-pusseille, joiden massa oli suurin ja savu silmämääräisesti sankin. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet (Kuva 5) ylittivät kaikilla materiaaleilla heti savutuuletuksen jälkeen asumisterveysasetuksen toimenpiderajan  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja PE-pusseilla vielä neljän tunnin kuluttua [6].

Syöpövaarallista bentseeniä muodostui erityisesti patalappujen ylikuumentessa (Kuva 6). Bentseenin työperäiselle altistumiselle on määrätty sitova raja-arvo  $3,25 \text{ mg}/\text{m}^3$ , jonka 10 % tuntumassa patalapputestien korkeimmat pitoisuudet olivat [7]. Patalapputestissä muodostui myös etikkahappoa enemmän kuin muilla materiaaleilla. Sen pitoisuudet saattoivat selittää ainakin osan testissä havaitusta voimakkaasta pistävästä hajusta. Patalapputestissä pistävä haju ja vaaralliset bentseenipitoisuudet esiintyivät samanaikaisesti.

Ilman hiukkasmaisista PAH-yhdisteistä miltei kaikki alittivat määrittärajansa tai olivat lähellä sitä, sen sijaan kaasumaisista PAH-yhdisteistä naftaleenia löytyi pieniä määriä kaikkien materiaalien kuumetessa (aurionkukkaöljy  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; PE-pussit  $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; patalaput  $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Naftaleenille sekä 10 % HTP<sub>15min</sub> ( $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) että asumisterveysasetuksen toimenpideraja ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) alittuivat. Pyyhintänäytteissä PAH-pitoisuudet olivat pieniä ja alittivat enimmäkseen määrittärajansa.

## POHDINTA

Tulosten perusteella lyhyt savutuuletus ei riittänyt pienentämään haitallisten altisteiden pitoisuuksia turvalliselle tasolle. Tuuletuksen aikana ja jo ennen sitä hiilimonoksidi tuuletti nopeasti, mutta muiden yhdisteiden pitoisuudet pienenevät hitaammin. Helposti toteutettavan CO-mittauksen tuloksia ei siis voida suoraan hyö-



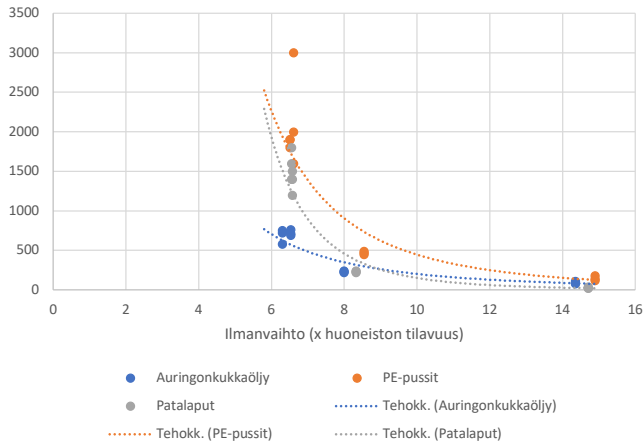
Kuva 4. Aldehydipitoisuuksien ja raja-arvojen suhde PE-pussien huoneistopalokokeissa. Savutuuletuksen jälkeinen näyte on 1 ja sen rinnakkaisnäyte 1\*, 4 h ja 17 ovat neljä ja 17 tuntia myöhemmin asunnon eri huoneista kerätyt näytteet.

dyntää muiden kemiallisten altisteiden pitoisuuden arvioimisessa, vaan eri yhdisteiden erilaiset tuotot ja hyväksyttävät pitoisuudet on otettava huomioon.

Hankkeen laboratoriokokeiden pohjalta tehtyjen laskelmien mukaan huoneistopalokokeissa käytetyn 6,3-kertaisen tuuletuksen olisi pitänyt riittää sekä auringonkukkaöljyn että patalappujen tapauksessa pienentämään altisteiden pitoisuudet turvalliselle tasolle [8]. Laskelmien ja huoneistopalokokeiden tulosten ero selittyi ainakin osittain sillä, että laskelmien tilanteessa altisteet ja

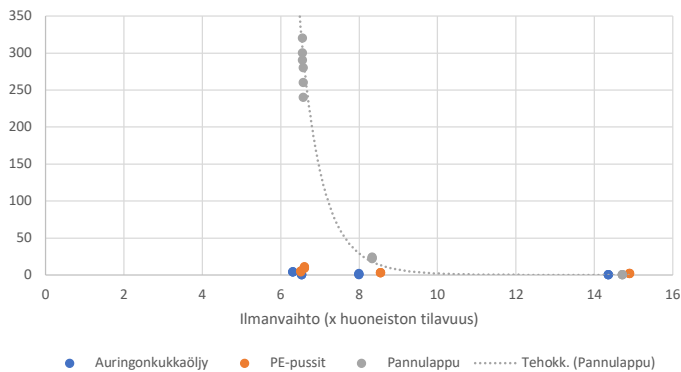


### TVOC pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) materiaaleittain



Kuva 5. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet eri materiaalien kokeissa ilmanvaihdon funktiona.

### Bentseenipitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) materiaaleittain



Kuva 6. Bentseenin pitoisuudet eri materiaalien huoneistopalo-kokeissa ilmanvaihdon funktiona.

kautuivat tasaisesti ilmaan ja ilma vaihtui tasaisesti koko tilassa. Huoneistopalo-kokeissa taas ilmaa ei sekoitettu eikä tuulettuminen ollut tasaista jo pelkästään huoneiston monimutkaisemman muodon ja korvausilman epätasaisen saannin vuoksi. Lisäksi savua oli tunkeutunut myös huoneistojen yläpohjaan, josta tuuletus ei sitä poistanut, joten savua saattoi levitä takaisin huoneistoon tuuletuksen jälkeenkin. Todelliset huoneistot vaativat siis suurempia tuuletusmääriä kuin laboratoriokokeet ja myös ympäröivien tilojen tuuletus voi olla tarpeen.

Ylikuumentuneella tai palaneella materiaalilla on suuri merkitys, sillä muovia sekä keinokuituja sisältävistä materiaaleista muodostui enemmän haitallisia aineita kuin ruokaöljystä. Vaikka mitatut pitoisuudet olivat jo korkeita, ne todennäköisesti aliarvioivat pitoisuuksia todellisissa huoneistopaloissa, koska asunnon irtaimisto ja huokoiset materiaalit adsorboisivat altisteita ja pidentäisivät niiden viipymäaika. Asukkaan lisäksi myös pelastajien ja muiden huoneistossa liikkuvien altistuminen on merkittävää mitatuilla pitoisuustasoilla jo pienissä huoneistopalo-vaaratilanteissa.

Kun arvioidaan asukkaan mahdollisuutta jäädä asuntoon asumaan pienen palotilanteen jälkeen, on asunnon teknisen kunnan ja asumisterveellisyden lisäksi otettava huomioon asukkaan tila ja muut häneen liittyvät tekijät. On selvitettävä onko asukas hyvin nuori, vanha, raskaana, sairas tai hyvin järkyttynyt tai kuuluuko hän johonkin erityisryhmään. Lisäksi asukas on voinut altistua

jo ennen savutuuletusta huomattavasti korkeammille altistepitoisuuksille, jonka vaikutukset voivat näkyä myös viiveellä.

Asumisterveellisyden arvioimisen ja altistumisen vähentämisen tueksi pienissä huoneistopalo-tilanteissa laadittiin hankkeessa ohje, joka perustuu toteutettuihin laboratorio- ja huoneistopalo-kokeisiin ja on tarkoitettu sekä pelastustoimen että muiden huoneistopalo-tilanteisiin osallistuvien toimijoiden käyttöön. Ohje on saatavissa Pelastusopiston nettisivuilta.

### KIITOKSET

Tämä tutkimus on osa Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy -hanketta, jonka rahoittamisesta tutkimusryhmä kiittää Palosuojelurahastoa. Lisäksi haluamme kiittää hankkeen toteuttamiseen osallistunutta henkilökuntaa Pelastusopistolta, Aalto-yliopistolta, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestöltä sekä Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta. Erityiskiitokset yhteistyöstä osoitamme Viitasaaren Vuokra-asunnot Oy:lle ja Keski-Suomen pelastuslaitokselle, jotka mahdollistivat testien toteuttamisen todellisissa asunnoissa turvallisesti.

### LÄHDELUETTELO

- Loponen, T., Liukkonen, H. Pelastustoimen taskutilasto 2016–2020. Pelastusopiston julkaisu D-sarja: Muut. 1/2022 [http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja\\_D/D1\\_2022.pdf](http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D1_2022.pdf)
- Lepistö, J., Kuurne, L., Ojala, T., 2021. Liesipalojen kokonaiskuva ja liesiturvallisuutta vaarantavat tekijät. Pelastustieto. Palotutkimuksen päivien erikoisnumero 2021
- Tillander, K., Järnström, H., Hakkarainen, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., 2008. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen. Polttoko-keet ja altistumisen arviointi. VTT Working Papers 103. Espoo. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2008/W103.pdf>
- Tillander, K., Hakkarainen, T., Järnström, H., Paloposki, T., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., 2009. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2. Polttokokeet, case-tutkimukset ja altistumisen arviointi. VTT Tiedotteita 2512. Helsinki. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2009/T2512.pdf>
- Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., Hakkarainen, T., Tillander, K., Paloposki, T., 2010. Kemikaalialtistumisen vähentäminen palokohteissa. VTT TIEDOTTEITA 2531. Helsinki. <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2010/T2531.pdf>
- Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa III. Asumisterveysasetus § 14–19. Valvira Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Ohje 8/2016. <https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje+osa+III.pdf/997eeca1-53f7-4d4e-bb7a-df6ef7ee0e9c>
- HTP-arvot 2020. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2020:24. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162457/STM\\_2020\\_24\\_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162457/STM_2020_24_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hostikka, S., Castagnoli, E., Mikkola, R., Törrö, R., Kallada Janardhan, R., Salonen, H., 2023. Haitallisten aineiden syntyminen ja tuuletus liesipaloissa -laboratoriokokeet. Pelastustieto. Palotutkimuksen päivien erikoisnumero 2023

# Nostoja paloturvallisuuden kehityksen aikajanalta: oppeja onnettomuuksista

## Tiivistelmä

Nykyinen paloturvallisuus on tulosta pitkäaikaisesta kehityksestä. Riskit ovat ajan myötä muuttuneet ja muuttuvat elinolot ja toimintaympäristöt ovat muuttaneet odotuksia paloturvallisuuden tasolle. Tapahtuneiden tulipalojen tutkinnat ovat osaltaan edistäneet paloturvallisuuden kehittymistä. Miten paloturvallisuus on sääntelyn kehittymisen myötä parantunut ja millaisten vaiheiden kautta nykytilanteeseen on päästy?

Paloturvallisuus perustuu kokonaisuudessaan monialaiseen yhteistyöhön. Rakennusten paloturvallisuuteen vaikuttavat kaavoitus, rakennusmääräykset ja erilaiset suositukset. Palontorjuntatekniikkaa ohjailevat ohjeet ja standardit. Ihmisten käytökseen ja turvallisuusosaamisen vaikuttaa erityisesti vallitseva turvallisuuskulttuuri ja turvallisuuskoulutuksiin ja -harjoituksiin osallistuminen.

## JOHDATUS PALONTORJUNTAAN HISTORIALLISENA ILMIONÄ

Yli kaksikymmentä vuotta on kulunut siitä, kun Reijo Suikkari kertoi Palotutkimuksen päivillä tutkimuksestaan suomalaisten puukaupunkien paloturvallisuuden kehittymisestä. Hänen havaintojensa mukaan itsenäisyyttä edeltävällä ajalla rakennukset eivät suojeltavina subjekteina olleet kovin suuressa arvossa, ja vasta kun palojen aiheuttama tuho uhkasi taloudellisesti merkittäviä kohteita, kuten arvokkaita kiinteistöjä tai pääomakeskittymiä, viranomaisetkin heräsivät paloturvallisuuden kehittämiseen. Nämä toimet keskittyivät aluksi passiiviseen palontorjuntaan, kuten kaavoitukseen ja materiaalien käyttörajoituksiin. Näitä seurasi palotoimen tehostuminen itsenäistymisen jälkeen.[1]

Vanhin, yhä voimassa oleva paloturvallisuuteen liittyviä normeja sisältävä laki on vuoden 1734 rakennuskaari, jossa säädeltiin paitsi rakenteellista paloturvallisuutta, myös ihmisen käyttäytymistä. Sen mukaan tulisijat ja piiput piti asentaa ja suojata paloturvallisesti ja muun muassa kynttilän äärelle nukahtamisesta tai sen jättämisestä liian lähelle seinää voitiin määrätä 5

taalerin sakko, vaikka paloa ei syttyisikään. Tulen käsittelyä koskeva huolellisuusvelvoite on otettu myös pelastusalan lainsäädäntöön vuoden 1933 palolaista (202/1933) alkaen. Paloturvallisuuden kannalta keskeinen oli myös vuoden 1856 asetus kaupunkien rakentamisen ja järjestämisen yleisistä perusteista, missä annettiin yksityiskohtaisia rakenteellista palontorjuntaa koskevia määräyksiä.[2] Sen syntyyn vaikutti keskeisesti Turun palo vuonna 1927.[3]

Vuonna 1920 voimaan tullut laki eräistä naapuruussuhteista edellytti muun muassa rakennuksen suojaetäisyydeksi maaseudulla naapurin rajaan 5 metriä ja saunan tai muun palovaarallisen rakennuksen suojaetäisyydeksi naapurin rakennukseen 30 metriä. Aikakauden kaupungeissa paloturvallisuutta säädeltiin kuntakohtaisilla rakennusjärjestyksillä, joissa saatettiin esimerkiksi edellyttää palamattomien rakennusmateriaalien käyttöä palovaarallisissa rakennuksissa ja pajoilla, saunoissa, mallashuoneissa, apteekkien laboratorioissa ja puusepäneraasteissa. Puutaloilla oli suojaetäisyysvaatimuksia ainakin naapurin rajaan (yksikerroksisella asuin- ja vastaavalla rakennuksella usein 3–4 metriä) ja joskus myös tontin sisällä, kun taas kivitaloilla välttämättä ei. Aluepalovaaraa torjuttiin palokaduilla, joille istutettiin lehtipuita. [4, 5, 6, 7]

Ensimmäisiä tai ensimmäinen tiedossa oleva yritys vaikuttaa erityisesti henkilöriskikohteiden paloturvallisuuteen oli keskuhallinnon vuonna 1911 lähettämä ehdotus kuvernööreille laatia ohjesäännöt läänien elokuvateattereiden turvallisuusmääräyksiksi.[8] Ehdotus ei ilmeisesti tuottanut haluttua tulosta, sillä vuonna 1927 Imatralla syttyi elokuvateatterissa palo, jossa kuoli 21 ja loukkaantui 27 ihmistä. Palo sai alkunsa projektorista, jossa käytettiin filminä tulenarkaa selluloidia. [9, 10] Tämän jälkeen annettiin asetus tulenaran selluloidin varastossa pidosta, käsittelystä ja kuljetuksesta (93/1934), jonka mukaan selluloidin käsittelystä piti tehdä ilmoitus paloviranomaiselle. Samalla käsittelypaikalta edellytettiin huoneen palo-osastointia sekä asetettiin täsmällisiä vaatimuksia muun muassa poistumisturvallisuudelle.

1930-lukua voidaankin pitää keskeisenä vuosikymmenenä paloturvallisuutta koskevan sääntelyn kehittämisessä. Vuonna 1936 annettiin sisäasiainministeriön päätös rakennusten ja rakennusosien palonkestävyyden luokittelumisesta (PL-päätös, 81/1936), jossa rakennukset jaettiin palonkeston mukaan palonkestäviin (A), paloa pidättäviin (B), paloa hidastaviin (C) ja palonarkoihin (D). Yli kaksikerroksiset asuinkerrostalot rakennettiin yleensä ilmeisesti B-luokkaan, sillä A-luokassa ulkoikkunoidenkin piti olla paloa pidättäviä ja oviaukoissa tuli olla tuplapalo-ovilla varustettu sulkuhuone. Tämä viittaa siihen, että erittäin korkeat asuinrakennukset toteutettiin paloturvallisuudeltaan korkeimpaan A-luokkaan. A-luokan rakennus ei saanut muuttaa muotoaan tai luhistua tulipalon seurauksena, kun B-luokan rakennus sai sen tehdä mutta siitä ei saanut aiheutua vaaraa. [11, 12]

Lisäksi aikakauden käytäntönä oli, että paloviranomaiset edellyttivät toimenpiteitä poistumisturvallisuuden parantamiseksi. Näitä oli esimerkiksi varatie puuasuinrakennuksen toisen kerroksen jokaisesta huoneesta, jossa nukutaan. [11, 12] PL-päätös saatiin voimaan kaupunkikohtaisilla järjestysmääräyksillä, mikä johti paloturvallisuussääntelyn eriarvoistumiseen kaupunkien ja maaseudun välillä. [13]

Naapuruussuhdelain jälkeen seuraava maaseudun paloturvallisuutta koskeva säädös oli laki rakentamisesta maaseudulla (683/1945), joka sisälsi vain vähän yksityiskohtaista sääntelyä. Näihin lukeutuu kuitenkin rakennuksen kerrosrajoitukset: Asuinrakennusta tai sellaisia huoneistoja sisältävää rakennusta, joissa ihmisiä oleskelee ”melkoisen osan päivästä” ei saanut rakentaa kahta kerrosta korkeammaksi, ellei seinä tehty palonkestävästä aineesta. Lisäksi 2-kerroksisen talon ullakolle voitiin sijoittaa asuinhuoneita tai em. oleskelutiloja, jos seinät olivat palonkestäviä.

Seuraava keskeinen paloturvallisuutta koskeva valtakunnallinen säädös oli vuonna 1962 annettu sisäasiainministeriön päätös rakennusten palonkestävyydestä (PK-päätös, 327/1962), joka sisälsi uusia käsitteitä kuten ”palokuorma” ja ”palonkesto aika”. [13] Rakennukset jaettiin luokkiin välillä A–E paloteknillisten perusteiden mukaan. Poistumisratkaisuja oli kolme: Poistumistie, varauuskäytävä ja hätäpoistumistie, joista viimeisimmällä tarkoitettiin vaikeakulkuisempaa, rakennuksen ulkopuolelle johtavaa kulkutietä, esimerkiksi ikkunaa tai muuta aukkoa. Sisäasiainministeriön päätös uloskäytävistä (489/1964) määritteli uloskäytävien vähimmäisleveydet ja toi uuden käsitteen, ”kaistat”. 60-luvun lopussa annettiin myös kattavat automaattisia paloilmittimia koskevat sisäasiainministeriön paloasiainosaston paloluokitustiedotukset, joilla säädeltiin paloilmittimien toteutusten valvontaa, kattavuutta, kunnossapitoa, irtikytkentöjä ja teknisiä ratkaisuja. [14]

70-luvulla voimaan tullut Suomen rakentamismääräyskokoelma (E-sarja, joista tärkein vuoden 1976 E1) kokosi yhteen rakentamista koskevat paloturvallisuusmääräykset. [13]

Rakenteellista paloturvallisuutta koskeva sääntely on siis kehitynyt pitkän historiallisen jatkumon tuloksena, ja keskeisiin paloturvallisuusratkaisuihin kuten palo-osastointiin, poistumiseen ja savunpoistoon on kiinnitetty huomiota 1900-luvun alkupuolelta lähtien. Ihmisen toimintaa koskeva huolellisuusvelvoite on johdettavissa vielä huomattavasti pidemmälle historiaan.

Tekniikkaa, kuten paloilmittimia ja sammutuslaitteistoja, käytettiin lähinnä omaisuuden suojaamiseksi, joskin jo vuoden 1976 E1 mahdollisti tapauskohtaisesti paloilmittimen vaatimista henkilöturvallisuuden perusteella esimerkiksi hoitolaitoksiin. Säädetasolle vaatimus nostettiin vuoden 1997 E1:ssä (kun hoidettavia yli 25).

Tätä ennen mahdollisuus ns. erityisiin turvallisuusvaatimuksiin, kuten automaattisen paloilmittimen tai sammutuslaitteiston edellyttämiseen oli sisäasiainministeriöllä palo- ja pelastustoimi-

lain (559/1975) nojalla. Seuraavassa pelastustoimilaissa (591/1999) oikeus oli jaettu, sen ollessa yksittäisen kohteen osalta kunnan pelastusviranomaisella, jonka jälkeen toimivalta siirrettiin pelastuslailla (468/2003) kokonaan sisäministeriöltä pelastuslaitoksille. Vastaava säännös on voimassa olevan pelastuslain (379/2011) 82 §:ssä, joskin toimivaltaa on rajoittamassa uusi välttämättömyysedellytys, jota ei ollut vuoden 2003 pelastuslaissa.

2000-luvun alku oli paloturvallisuuden näkökulmasta käänteentekevä ajankohta. Seuraavissa osissa nostamme esiin esimerkkejä avulla paloturvallisuuden kehityksen konkreettisia edistysaskeleita viime vuosikymmeniltä. Valitut näkökulmat pyrkivät nostamaan esiin sääntelyssä tapahtuneita muutoksia ja niiden taustalla olleita tekijöitä.

Asuntokohtaisia palovaroittimia koskeva sääntely on juuri uudistunut ja siirtynyt viimeisimmässä pelastuslain muutoksessa (436/2023) kiinteistön omistajalle vuoden 2026 alusta. Toisaalta väestön ikääntyminen on myös paloturvallisuushaaste. Iäkkäät ja toimintarajoitteiset henkilöt ovat muuta väestöä suuremmissa riskeissä kuolla tulipalossa [15, 16]. Vuosituhannen vaihteessa iäkkäiden ihmisten paloturvallisuus oli vahvasti esillä iäkkäiden asumisen järjestelyiden muutosten merkeissä [17]. Iäkkäiden määrä on edelleen nousussa, joten iäkkäiden asumisen järjestelyt ovat yhteiskunnallisesti merkittävän kiinnostuksen kohteena [18].

## PALVAROITTIMET ASUINHUONEISTOISSA

Palovaroitin on useimmista kotitalouksista löytyvä tulipalon syyntymisestä hälyttävä laite. Palovaroittimien ionisaatioon perustuva savunilmaisuteknologia kehittyi 1900-luvun viime vuosikymmeninä sellaiseksi, että laitteet alkoivat yleistyä yksityiskodeissa. Palovaroittimen toiminta on kriittisen tärkeää, jos palo syttyy asuinhuoneistossa yöllä asukkaiden nukkuessa. Palovaroittimet ovat yleistyneet kodeissa sen jälkeen, kun palovaroittimet vaadittiin pelastustoimilain (561/1999) myötä kaikkiin asuntoihin. Lain 31§:n erityisissä turvallisuusvaatimuksissa, edellytettiin asuntoihin riittävä määrä palovaroittimia tai suojaustasoltaan vähintään vastaavia laitteita. Vaatimus koski takautuvasti myös olemassa olevia rakennuksia. Varoitinten hankintavelvollisuutta ei tuolloin kohdistettu selkeästi millekään taholle.

Palovaroittimia koskevia säädöksiä on sekä ympäristöministeriön hallinnonalaan kuuluvissa sääntelyssä että sisäministeriölle kuuluvassa pelastuslaissa ja sen perusteella annetuissa asetuksissa. Näiden kahden hallinnonalan tekemien säädösten olennainen ero on se, että ympäristöministeriön sääntely koskee uudisrakentamista ja muutokset vaikuttavat vain niiden voimaantulohetkestä eteenpäin. Pelastuslaissa ja asetuksissa esitetyt vaatimukset sen sijaan koskevat voimaan tullessaan kaikkia asiaan liittyviä kohteita, myös jo olemassa olevia.

Ensimmäinen palovaroittimien asentamista edellyttävä ympäristöministeriön määräys palovaroittimien asentamisesta lisättiin vuonna 1993 [19] uudisrakentamista koskevan Rakentamismääräyskokoelman vuoden 1981 osaan E1 Rakenteellinen paloturvallisuus [20]. Muutos edellytti mm. erityisryhmien asuinhuoneistoihin asennettavaksi sähköverkkoon kytketyn palovaroitinjärjestelmän, -ryhmän tai erilliset palovaroittimet. Palovaroittimen tekniisiin ominaisuuksiin ja toimintaan liittyvät asiat määriteltiin ensi kerran sisäasiainministeriön ohjeella myös vuonna 1993 [21].

Ympäristöministeriön määräystä laajennettiin 1997 [22] voimaan tullessa, E1:n uudistuksessa, koskemaan edellä mainitun lisäksi kaikkia P2-paloluokan 3–4-kerroksisissa rakennuksissa olevia asuntoja. Palovaroittimien sijoittamiseen ja kunnossapitoon liittyvät asiat tulivat mukaan, kun sisäministeriön ohje muuttui määräykseksi [23] vuonna 1999. Tässä yhteydessä annettiin en-



- ▶ simmäisen kerran vaatimus varustaa asunnon jokainen kerros vähintään yhdellä palovaroittimella.

Vuoden 2003 pelastuslain 29 §:ssä palovaroittimen hankkimisen ja kunnossapidon velvoite säädettiin huoneiston haltijalle. Vuonna 2009 palovaroittimet tulivat asennettavaksi kaikkiin asuntoihin uudisrakentamisen yhteydessä E1:n (2002) muuttaneella erillisellä asetuksella [24].

Sittemmin asiat erotettiin toisistaan, kun annettiin valtioneuvoston asetus palovaroittimien teknisistä ominaisuuksista (291/2009) ja sisäasiainministeriön asetus palovaroittimien sijoittamisesta ja kunnossapidosta (239/2009). Jälkimmäisessä todettiin, että asunnon jokaisessa kerroksessa tulee alkavaa 60 m<sup>2</sup> kohden olla vähintään yksi palovaroitin.

Nykyiselläänkin paloturvallisuusasetuksen 38§:ssä (848/2017) on vain yleisluontoinen vaatimus asuntojen varustamisesta palovaroittimilla. Yllä mainittu asetus palovaroittimien sijoittamisesta täydentää tuota vaatimusta määrittelemällä tarvittavien varoitinten määrän. Pelastuslain 17 § edellyttää huoneiston haltijaa huolehtimaan siitä, että asunto varustetaan riittävällä määrällä palovaroittimia. Rakentamisen sääntelyssä vaaditaan sähköverkkoon kytkettyjä varoittimia, mutta pelastuslain perusteella asennettavat palovaroittimet saavat olla paristolla toimivia. Tämä ympäristöministeriön ylläpitämien rakentamismääräysten ja sisäministeriön toimialaan kuuluvan pelastuslain välinen ero palovaroittimen virtalähteen määrittelyssä on johtanut tilanteeseen, jossa asunnossa voi olla sekä sähköverkkoon kytkettyjä että paristotoimisia palovaroittimia, jotta kaikki vaatimukset täyttyvät.

Ylläpidon kannalta sähköverkkoon kytketyt palovaroittimet kuuluvat taloyhtiölle, sillä ne ovat osa rakennuksen sähköjärjestelmää. Tämä linjaus on kirjoitettu mm. Kiinteistöliiton laatimaan Taloyhtiön vastuunjakotaulukkoon [25]. Paristotoimisia palovaroittimia voi huoltaa asukas itse.

Palovaroitin on nimenomaan henkilöturvallisuutta parantava laite. Havahduttuaan syttyneeseen paloon, asukas ehtii vielä poistua syttyneestä asunnosta. Mitkä tulipalot sitten ovat Suomessa nimenomaan herättäneet alan toimijat tiukentamaan palovaroittimia koskevia säädöksiä?

Onnettomuustutkintakeskus on selvittänyt myös palovaroitinten osuutta tapahtumissa. Vuosaaressa 2016 tapahtuneen neljän ihmisen kuolemaan johtaneen asuntopalon tutkintaselostuksen [26] suosituksissa todetaan, että tulisi selvittää, miten kiinteistöjen omistajat ja ylläpitäjät saadaan sitoutettua osaltaan huolehtimaan palovaroittimien olemassaolosta ja kunnossapidosta. Vuokralatoyhtiö oli asentanut kaikkiin huoneistoihin palovaroittimet talon valmistumisen aikaan kymmenen vuotta aikaisemmin. Onnettomuushetkellä palovaroitinta ei kuitenkaan enää ollut. Poistamisen ajankohtaa ei ollut mahdollista saada selville. Puuttumista ei havaittu paloa edeltävänä vuonna tehdyssä edellisten asukkaiden poismuuttoon liittyvässä tarkastuksessa.

Vuonna 2016 Turussa kahden ihmisen kuolemaan johtaneen pienkerrostalon palon tutkinnassa [27] oli omistajan mukaan kaikissa asunnoissa ollut palovaroittimet, mutta ei ollut tiedossa ovatko vuokralaiset huolehtineet niiden toimintakunnosta tai oliko niitä mahdollisesti jopa poistettu paikoiltaan.

Pelastuslain muutoksen (436/2023) myötä tilanne selkeytyy, koska siinä veloitetaan rakennuksen omistaja huolehtimaan siitä, että asunto varustetaan riittävällä määrällä palovaroittimia ja huolehtimaan palovaroitinten toimintakunnossa pitämisestä. Tämä vaatimus tulee voimaan kahden vuoden siirtymäajan jälkeen 1.1.2026. Asukkaan tehtäväksi jää edelleen huolehtia siitä, että hänen varoittimensa toimivat. Asukas testaa varoittimet säännöllisesti ja ilmoittaa havaitsemistaan vioista, paristonvaihottarpeesta jne. kiinteistön omistajalle.

## HOITOALAN RAKENNUSTEN PALOTURVALLISUUS

Suomalaisten hoitoalan rakennusten paloturvallisuutta valvotaan poistumisturvallisuusselvityksellä. Noin kolmessa neljästä hoitoalan toimintayksiköstä paloturvallisuus vastaa määräyksiä [28]. Hoitoalan rakennusten paloturvallisuuden kehitys viimeisen 50 ajalta osoittaa, miten vakavat ja tuhoisat tulipalot ovat edistäneet paloturvallisuuden kehitystä nykyiselle tasolleen.

Lähihistorian ihmishenkien kannalta vakavimmat hoitoalan rakennusten tulipalot ovat vuonna 1966 tapahtunut Lapinlahden kunnalliskodin mielenterveysosaston tulipalo [29] ja Virtain vanhainkodin tulipalo 1979 [30]. Kummassakin kuoli noin 30 ihmistä. Näille tapahtumille oli yhteistä sekä suuri määrä toimintarajoitteisia henkilöä samassa rakennuksessa että vanhat ja paloturvallisuuden näkökulmasta heikkorakenteiset rakennukset. Palontorjuntatekniikkaa ei näissä kiinteistöissä tuohon aikaan juuri ollut.

Nämä tapahtumat osaltaan johtivat sairaaloiden ja vanhainkotiin rakenteellisen paloturvallisuuden parempaan huomioimiseen. Samaan aikaan käynnistyi myös laitospalveluiden purkamisen ja pyrkimys kodinomaisemman asumisen suosimiseen. Tämän myötä rakennettiin laaja palveluasumisen verkosto, jonka asukkaina olivat erityisesti kasvava ikääntyvien joukko, mutta myös mielen- ja päihdepalveluiden asiakkaita. [31]

Palveluasumisen rakenteelliseen paloturvallisuuteen ja palontorjuntatekniikkaan ei kuitenkaan vielä sen yleistymisen alkuvuosina 1990-luvulla kiinnitetty hoitoalan rakennuksissa vastavaa huomiota. Vuonna 1999 tapahtunut 5 kuolemanuhria vaatinut Maaningan palvelutalon palo herätti pelastusalan asiantuntijat palvelurakenteessa tapahtuneeseen muutokseen. Maaningan tulipalosta tehtiin onnettomuustutkinta ja tutkinnan yhteydessä arvioitiin myös talven 1999–2000 aikana tapahtuneet asuntopalot, joissa uhrin olivat toimintarajoitteisia ja/tai iäkkäitä henkilöitä. [17, 32, 33]

Maaningan palvelutalon tulipalo ja sitä seurannut tutkinta olivat osaltaan merkityksellinen käännekohta hoitoalan rakennusten paloturvallisuuden edistämisessä kaikilla kolmella keskeisellä osa-alueella: rakenteellinen paloturvallisuus, palontorjuntatekniikka ja henkilöstön koulutus tehokkaaseen toimintaan hätätilanteessa. Paloturvallisuuden edistämisen työ ei kuitenkaan edennyt ristiriidatta. Etenkin automaattiset sammutuslaitteistot herättivät kriittistä keskustelua niiden kohtuuttomina pidettyjen asennuskustannusten vuoksi. Isoon osaan hoitoalan rakennuksia ei automaattisia sammutuslaitteistoja ollut asennettu rakennusvaiheessa ja jälkiasennuksia pidettiin varsinkin 2000-luvun alussa vaikeina ja kalliina.

2000-luvun alussa hoitoalan rakennusten turvallisuutta edistettiin turvallisuusselvityksen avulla, mutta myös automaattisten sammutuslaitteistojen asennukset käynnistyivät. Vuonna 2000 julkaistujen tutkimusselosteiden tukemana toimintarajoitteisten asumisen turvallisuus nostettiin myös sekä vuoden vuonna 2001 julkaistuun ensimmäiseen ikääntyvien palveluja linjaavaan laatusuositukseen [34] sekä vuonna 2004 julkaistuun ensimmäiseen Sisäisen turvallisuuden ohjelmaan [35].

Viimeisin asumispalveluissa tapahtunut useita henkilöuhreja vaatinut palo tapahtui Espoossa 2008. Tapauksesta tehtiin tutkinta, jonka aikana havaittiin, että rakennus oli tuettuun asumiseen sopimaton, ja että ennen paloa oli kertynyt useita huomioita yksikön ilmeisistä riskeistä, kuten talon huono kunto ja lukuisat hälytykset häiriöiden vuoksi [36]. Espoon palo ja tutkinnan tulokset vaikuttivat osaltaan siihen, että pelastuslain uudistus sisälsi poistumisturvallisuusselvitystä koskevan pykälän ja asumisen palovaaraa koskevan laajan ilmoitusvelvollisuuden. Poistumisturvallisuusselvityksen säätelyä täydennettiin vuonna valtioneu-



# Palontorjuntatekniikan KEHITYSRYHMÄ

Lähetä kehitysryhmälle kysymyksiä / aiheita käsiteltäväksi:  
[tekniikka@spek.fi](mailto:tekniikka@spek.fi)

**Palontorjuntatekniikan kehitysryhmä** on SPEKin koordinoima asiantuntijaryhmä, jonka jäsenten yhteisenä tavoitteena on edistää turvallisuutta sekä kehittää palontorjuntatekniikan ylläpitoa, laatua ja teknisiä mahdollisuuksia. Ryhmään kuuluu asiantuntijoita palontorjuntaan liittyvien teknisten yhdistysten ja paloturvallisuuden organisaatioiden edustajia.

*Sivuilta voit ilmoittautua myös uutiskirjeen tilaajaksi*

Tutustu kehitysryhmän sivuilta ohjeistaviin materiaaleihin ja tutkittuun tietoon:  
[www.palontorjuntatekniikka.fi](http://www.palontorjuntatekniikka.fi)



## Kehitysryhmän toteuttamat toimintamallit

Ryhmän julkaisemat toimintamallit ovat tarkoitettu neuvoa antavaksi tueksi, ei korvaamaan voimassa olevia standardeja ja asetuksia tai muuta alalle julkaistua lainsäädäntöä, joiden vaatimukset laitteistoteutuksissa ja ylläpidossa on täytettävä.

Toimintamallit pyrkivät lisäämään yhteisiä käytänteitä palontorjunnan laitteistojen osalta koko laitteistoelinkaaren ajalta. Toimintamallit ovat tarkoitettu kaikille alalla toimiville tahoille tarjoamaan yleistä informaatiota laadun kehittämiseksi.



## Palontorjuntatekniikan kehitysryhmän sivuilta löydät:

- Tutkittua tietoa
- Kehitysryhmän laatimia toimintamalleja sekä muiden ohjeistavien työryhmien materiaalit
- Ajankohtaisia aiheita ja uutisia
- Perehdytysmateriaalia, joka on tarkoitettu kehittämään paloturvallisuusosaamista ja laitteistojen ylläpitoa.

## Kehitysryhmän jäsenet vuonna 2023 ovat:

- **Lauri Lehto** ja **Ilpo Leino**, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö (SPEK)
- **Petri Mero**, Finanssiala (FA)
- **Jan Meszka**, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES)
- **Kimmo Kartano**, Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto
- **Petri Puttonen** ja **Pekka Nissinen**, Tarkastuslaitokset (vuorotteleva edustaja)
- **Timo Nevalainen**, laitteistosuunnittelun edustus
- **Arja Rantala**, Sprinkleritekninen yhdistys (SPRITY)
- **Matti Helkamo**, Palonilmaisualan yhdistys
- **Juha-Pekka Laaksonen**, konsultointi
- **Olli Aromaa**, Laitteistojen käyttäjän rooli (Operaattori)

► voston asetuksella poistumisturvallisuusselvityksestä (292/2014).

Poistumisturvallisuusselvitys on tälläkin hetkellä tärkein hoitoalan paloturvallisuuden valvonnan väline. Se on hyvä esimerkki myös paloturvallisuuden varmistamisen monialaisuudesta. Poistumisturvallisuusselvityksestä säädetään pelastuslain 18–19 §:ssä, sen sisältöä tarkennettiin valtioneuvoston em. asetuksella ja sen piiriin kuuluvia kohteita on täsmennetty asetusten perustelumuu-  
tiossa [37, 38]. Pelastuslaissa poistumisturvallisuuskohteiden määrittelyssä viitattiin silloiseen sosiaalihuoltolakiin (710/1982). Sitten sosiaalihuoltolakia on uudistettu, ja viime vuonna sosiaalihuoltolain asumispalveluita koskevat pykälät uudistuivat.

Asumispalveluita koskeva käsitteistö on näissä kahdessa laissa edelleen erilainen, joten käytännön linjaukset poistumisturvallisuusselvityksestä vaativat huolellista viranomaisharkintaa. Suomessa hoitoalan rakennusten paloturvallisuutta päädyttiin säätelemään toiminnallisuuksien kautta. Esimerkiksi Yhdysvalloissa samaan aikaan vuosituhannen vaihteessa edennyt kehitys johti siihen, että hoitoalan toimijoita yksiselitteisesti veloitettiin asentamaan automaattinen sammutuslaitteisto [39].

Viimeisen 15 vuoden aikana tapahtuneissa hoitoalan rakennusten tulipaloissa on välttytty vakavilta useita uhreja vaatineilta tulipaloilta. Merkittäviä vaaratilanteita on ollut esimerkiksi Turun yliopistollisessa sairaalassa 2010 [40], Turussa seniori- ja palveluasumisen yksikössä 2010 [41] ja Jyväskylässä seniori- ja palveluasumisen yksikössä 2020 [42]. Turun yliopistollisen sairaalan päivystyksessä alkanut palo liittyi sähkölaitevikaan ja paikalla olleen henkilöstön tehokas toiminta ratkaisi tilanteen vähin vaurioin. Turun ja Jyväskylän seniori- ja palveluasumisen yksiköissä tapahtuneissa paloissa kummassakin palo alkoi senioriasunnossa ja tilanteen edetessä päädyttiin evakuoimaan eräitä rakennuskokonaisuuksissa sijainneita palveluasumisen yksiköitä. Aineelliset vahingot olivat merkittäviä. Etenkin Jyväskylän onnettomuustutkinnassa havaittiin esimerkiksi, että melko uudessa rakennuksessa vakavia rakenteellisia virheitä, eikä avustettavien asukkaiden poistumista ollut harjoiteltu [42].

Näissä tuoreimmissa esimerkeissä nousevat esiin henkilöstön koulutuksen ja hätätilanteiden harjoittelun tärkeys, sekä se, että rakenteellinen paloturvallisuus perustuu paitsi hyvään suunnitteluun, suunnitelmien noudattamiseen ja rakennuksen huolelliseen tarkastamiseen.

## ONNETTOMUUKSISTA OPPIA KAIKILLE

Onnettomuudet paitsi vauhdittivat 2000- ja 2010-luvuilla palontorjuntatekniikan ja rakentamisen laadunvalvonnan kehitystä, myös korostivat palontorjuntatekniikan merkitystä. Kehitykseen selvästi vaikuttaneita onnettomuuksia ovat olleet tulipalo Pitkänien sairaalassa Nokialla vuonna 2007, sairaalapalo Turussa vuonna 2010 sekä Kouvolassa tapahtunut koulupalo vuonna 2014.

Kaikissa edellä mainituissa tapauksissa oli suuronnettomuuden mahdollisuus. Rakennukset kärsivät merkittävästä vahingoista, mutta ihmishenkien menetyksiltä välttyttiin. Tulipalo on aina omaisuutta, toimintaa ja ihmishenkiä uhkaava tapahtuma. Nokian Pitkänien sairaalan onnettomuudessa loukkaantui vakavasti viisi henkilöä ja lievästi kolme toista. Onnettomuushetkellä osastolla, jossa palo syttyi, oli 18 potilasta [43]. Turun sairaalapalossa rakennuksesta evakuoitiin 176 potilasta sekä 56 henkilökuntaan kuuluvaa [40]. Kouvolan koulupalon yhteydessä ei ilmennyt vakavia henkilövahinkoja ei aiheutunut. Tapahtumassa loukkaantui lievästi yhdeksän henkilöä. [44].

Nämä kolme onnettomuutta olivat erilaisia tapahtumina, mutta palontorjuntatekniikan kannalta johtopäätökset olivat tutkintojen välillä hyvinkin samankaltaisia. Tutkintaselosteissa kiinni-

tettiin erityistä huomiota henkilökunnan osaamiseen ja suunnitelmallisuuteen sekä sähköasennusten ja laitetekniikan ylläpitoon ja käyttöön.

Oppina niin sairaalapaloista kuin Kouvolan koulupalosta esitettiin, että palontorjuntatekniikan tärkeys korostuu lisäajan tuottamisessa. Poistumiselle saadaan riittävästi aikaa, alkusammuttaminen ja välittömässä vaarassa olevien henkilöiden pelastaminen turvaan onnistuvat. Paloilmoitin olisi kaikissa tapauksissa todennäköisesti tunnistanut alkavan palon, joka olisi pystytty paikantamaan riittäväällä tarkkuudella. Sammutuslaitteisto olisi pystynyt erittäin suurella todennäköisyydellä sammuttamaan tai vähintään rajaamaan palot, jotta muille toimenpiteille olisi saatu tarvittavaa lisäaikaa. Kolmantena tulisi kiinnittää huomiota siihen, kuinka hälytystieto tavoittaisi kiinteistössä olevat riittävän nopeasti. Vuonna 2022 on julkaistu päivitetty RYL TATE Paloturvallisuusjärjestelmä -osa [45], jossa korostetaan laitteistojen yhteensovittamista ja yhteistoimintaa.

Kaikkien tapahtumien taustalla havaittiin puutteita ylläpidossa. Onnettomuustutkintakeskus päätyi suosittelemaan, että kiinteistöjen ja tekniikan ylläpitoon olisi laadittuna ennakoivat kunnossapito-ohjelmat ja -mallit, joilla laadittua ohjelmaa toteutetaan ja seurataan. Turussa sairaalan sähkölaitteiston tarkastuksissa oli havaittu toistuvasti puutteita, joita ei ollut korjattu. Läpivientien ja palokatkojen tiiveydestä huolehtiminen ei ollut järjestelmällistä [40]. Kouvolassa koululla ei ollut tietävästi tehty sähkölaitteistojen määräaikaistarkastuksia, sillä tarkastuksiin liittyviä asiakirjoja ei ollut [44].

Hyvään ylläpitoon tarvitaan koulutettua henkilökuntaa. Kaikissa tapahtumissa merkittävässä asemassa kuolemanuhrien välttämiseksi oli aktiivinen henkilökunta. Tutkintojen aikana havaittiin, että perehdyttämisessä on kehitettävää. Alkusammutusosaaminen oli yleistä, mutta pelastautumis- ja poistumisharjoittelussa ja erityisesti osaamisen päivittämisessä oli parannettavaa. Poistumisturvallisuuden kannalta kaikkia poistumisreittejä ei välttämättä tunnistettu ja avaimia vaativien tai muuten haastavien luokitusten käyttö koettiin vaikeaksi.

Onnettomuustilanteet ovat nostaneet esille tarpeen kehittää oppilaitosten riskienhallintaa. Kouvolan koulupalon tutkinnan suosituksissa esitettiin, että korostettaisiin koulujen turvallisuus-suunnittelua ja toimintamalleja, joilla tietoa turvallisesta toimintaympäristöstä saataisiin välitettyä. Opettajilla ja oppilailla on oikeus perusopetuslain (628/1998) mukaiseen turvalliseen työ- ja oppimisympäristöön 29 §:n mukaisesti. Onnettomuustutkintakeskus korosti johtopäätöksissä myös paloilmoittimen asemaa koulujen paloturvallisuuden kehittäjänä. Vuonna 2017 päivitettyyn asetukseen (848/2017) rakennusten paloturvallisuudesta lisättiin 38 §:ään taulukko, jonka perusteella päiväkoteihin ja kouluihin vaaditaan joko sähköverkkoon kytketyt palovaroitimet tai paloilmoitin, joko ilman hätäkeskysyhteyttä, tai hätäkeskysyhteydellä. Poistumishälytysten ja kuulutusten käyttöön ei otettu päivityksessä kantaa.

Onnettomuustilanteissa henkilökunta oli osaavaa ja omatoimista, mutta kaikissa tapauksissa viestintäkeinoihin ja tiedon tavoittavuuteen kiinnitettiin huomiota. Esimerkiksi Kouvolan koulupalossa kuulutusjärjestelmät eivät toimineet kuten oli ajateltu ja paloilmoittintakaan ei ollut. Kuulutusten osalta on 2010-luvulla kiinnitetty huomiota laadunkehityksen tarpeeseen sekä siihen mikä merkitys on hälytysten ja kuulutusten yhteistoiminnalla, jotta ihmisiä pystytään ohjaamaan kunkin vaaratilanteen vaatimalla tavalla ja tieto saadaan perille kiinteistössä oleville nopeasti. Vuonna 2018 Sähkötieto ry on julkaissut ST-ohjeen 21: Poistumishälytys- ja turvakuulutusjärjestelmät 2018 [46] sekä Turva-alan yrittäjät julkaisivat Turvaa oikein oppaan, jossa on käsitelty poistu-



mishälytysten ja turvakuulutusjärjestelmien säädöstaustaa ja eritasoisia toteutusmalleja [47].

Standardit ovat ohjanneet sekä vakiinnuttaneet äänievakuointi- ja hälytyslaitteiden ja paloilmoituimeen liitettyjen poistumishälytys ja turvakuulutusjärjestelmien käyttöä. Viimeisin näihin liittyvä on vuonna 2022 julkaistu käännös standardista CEN/TS 54-32:2015 (fi) [48].

Laitteistotekniikan lisäksi huomattiin, että rakenteellisen turvallisuuden parantamiseen ei ollut suhtauduttu tarpeellisella vakavuudella. Kouvolan koulun palotarkastuksissa oli useaan otteeseen kehoitettu tekemään määräaikaan mennessä ylläpitotoimia, joita koulun omistaja ei kuitenkaan ollut toteuttanut [44]. Turun ja Nokian sairaalapalossa palo pääsi leviämään puutteellisten osastointien ja läpivientien kautta ja aiheuttamaan myös merkittäviä savuvahinkoja [40, 43].

Läpivientien kehitystä on osin vauhditettu 2010-luvulla onnettomuuksien seurauksena. Palokatkoystyö on kehittänyt ohjeita palokatkojen ja läpivientien asentamisesta ja RIL ry on laatinut 2018 julkaistun ohjeen Palokatkojen suunnittelu, asennus ja huolto. Rakentamisen prosesseissa laadunkehitystä on parannettu ja teknisiin suunnitelmiin kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Edellä mainittujen ohjeistusten mukaan YSE:n (Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE 1998) [49], mukaisesti teknisissä asiakirjoissa tulee määritellä urakoitsijan suoritusvelvollisuuden tekninen sisältö ja laajuus. Näihin asiakirjoihin kuuluvat esimerkiksi työselostukset ja piirustukset.

## YHTEENVETO

Rakenteellisen paloturvallisuuden ja yleistä huolellisuutta koskevalla sääntelyllä on pitkä historia, joista jälkimmäinen on pysynyt pitkälti staattisena jo vuosisatoja. Paloturvallista rakentamista koskeva sääntely on kehittynyt ajan myötä, alkaen kaupunkipalojen torjunnasta kehittyen palon rajoittamiseen syttymisosastoon ja ihmisten hälyttämiseen sekä poistumismahdollisuuksien ja pelastustoimenpiteiden turvaamiseen. 60–70-luvuilla sisäasiainministeriön paloasiainosastolla oli huomattavan suuri valta rakentamisen paloturvallisuudessa, käsittäen niin rakenteet kuin tekniikkankin.

Sittemmin yksityiskohtaista sääntelyä on purettu ja valta on hajaantunut. Teknisistä yksityiskohdista säädetään niin kutsutun soft law'n tai vapaaehtoisen itsesääntelyn keinoin. Näihin lukeutuu erilaiset standardit, ohjeet ja suositukset, jotka koskevat mm. palontorjuntatekniikan suunnittelua, asennusta, huoltoa ja ylläpitoa. Edelleen poliittisesti hankalimmat kysymykset ratkaistaan sääntelyn keinoin, usein reaktiivisesti. Siinä missä huolellisuusvelvoitteeseen kohdistuu vähemmän näkemuseroja, rakennetun ympäristön paloturvallisuuden tiukentuminen merkitsee yleensä suurempia rakentamisen kustannuksia.

Paloturvallisuuden kehityksessä oli pitkään keskiössä omaisuusvahinkojen torjunta. Tiivis rakentaminen edellytti sääntelyä suojaamaan kallista rakennettua omaisuutta, mikä tarkoitti alussa aluepalojen torjuntaa ja myöhemmin palon ja sen aiheuttamien vahinkojen rajaamista rakennuksen sisällä. Teollistuminen toi mukanaan uusia paloturvallisuusuuhkia, ja teollisuutta onkin suojattu sammutuslaitteistoilla huomattavasti pidempään kuin henkilöriskikohteita. Paloturvallisuuden parannukset ovat valitettavasti yleensä edellyttäneet tapahtuneita vahinkoja, jotta niihin puuttumiseksi on löytynyt riittävä poliittinen tahtotila.

Paloturvallisuus ei ole kehittynyt muusta yhteiskunnallisesta kehityksestä irrallisena, vaan se on parantunut esimerkiksi työturvallisuuden ja yleisemmin ihmisoikeuksiin ja niihin kytkeytyvän turvallisuusajattelun kehittymisen rinnalla. Samalla fokus on siirtynyt omaisuuden suojaamisesta ihmisen suojelemaan, ja viime ai-

koina mukaan on tullut paloturvallisuuden yhdenvertaisuuskeskustelu, joka linkittyy erityisesti sosioekonomisesti heikommassa asemassa olevien eli paloturvallisuuden riskiryhmien tilanteen parantamiseen.

Palovaroittimien yleistymisen on omanlaisensa esimerkki joka kodin turvalaitteen yleistymisestä, joka on kestänyt useamman vuosikymmenen. Viimeisimmän lakiuudistuksen toivotaan edelleen ajan myötä varmistavan, että jokaisessa asunnossa olisi toimivat palovaroittimet. Ne ovatkin sääntelykohteena poikkeuksellinen. Paloturvallisuuden kohdistuvien vaatimusten taustalla on aiemmin ollut merkittäviä tulipaloja tai omaisuusvahinkoja. Palovaroittimet ovat kuitenkin päässeet suomalaisiin koteihin ilman, että taustalla näyttäisi olleen merkittävää vahinkoa, jonka ratkaisuksi palovaroittimia olisi tarjottu. Sen sijaan niiden hyödyt laajassa mittakaavassa henkilövahinkoja ehkäisevinä laitteina ovat kiistattomia. Kun on kyetty mm. osoittamaan niiden yhteiskunnallinen kustannustehokkuus, niitä koskevaa sääntelyä on kyetty edelleen kehittämään [50]. Tästä hyvänä esimerkkinä on palovaroitinten vastuuta koskeva muutos, jolla saadaan niiden toimintavarmuutta parannettua.

Palovaroittimia vastaava kehityskulku nähtiin myös, kun itses-tään sammuvat savukkeet tulivat pakollisiksi noin 15 vuotta siten [51]. Viimeisin merkittävä askel paloturvallisuuden tekniseksi kehittämiseksi nähtiin viime vuonna, kun sähköasennusstandardiin lisättiin vaatimus suojata seniori- ja palveluasunnot sekä erityisryhmien asunnot liesivahdilla. Samalla muutkin asuin- ja majoitustiloissa olevat liedet on varustettava turvallisuutta lisäävällä tekniikalla kuten liesivahdilla, ajastimella, liesihälyttimellä tai tahattoman päälle kytkeytymisen estävillä käyttökytkimillä varustetulla induktioliiedellä. [52]

Ihmisen toiminnan merkitys on paloturvallisuudessa keskeinen. Ihminen arjessaan on sääntelykohteena vaikea, vaikka muun muassa omatoimista varautumista onkin pyritty edistämään ainakin vuoden 1999 pelastustoimilaista alkaen. Ihmisen toimintaan voi ajatella eniten vaikuttavan hänen henkilökohtaiset riskikäsityksensä, jolloin ei puhuta turvallisuuden objektiivisesta vaan subjektiivisesta ulottuvuudesta, johon oikeudelliset instrumentit ovat voimattomia puuttumaan. Sääntelyllä on silti paikkansa erityisesti niiden ihmisten turvallisuuden varmistamisessa, joilla ei ole fyysisistä, psyykkisistä tai kognitiivisista syistä kykyä huolehtia paloturvallisuudestaan. Toisaalta sääntelyllä on myös tärkeä rooli määriteltäessä yhteiskunnallisesti hyväksyttävissä olevaa paloturvallisuuden vähimmäistasoa – oli sitten kyse koulusta, sairaalasta, vanhainkodista, kauppakeskuksesta, asuinrakennuksesta tai teollisuuskohteesta.

## LÄHTEET

1. Suikkari, R., 2007. Paloturvallisuus ja kaupunkipalot Suomen puukaupungeissa – historiasta nykypäivään. Lisensiaatintyö. Oulun yliopisto. Sivut 5 ja 76.
2. Hans kejserliga majestäts nåd. förordning angående skogarne i storfurstendömet Finland, given i Helsingfors den 9 september 1851
3. Talvitie, J., 2018. 100 vuotta kaavoitusta – muuttuva maankäyttö. KAKS – Kunnallisan alan kehittämässätiö.
4. Savonlinnan kaupungin rakennusjärjestys, 1898.
5. Kajaanin kaupungin rakennussääntö, 1908.
6. Tornion kaupungin rakennusjärjestys, 1920.
7. Mikkelin kaupungin rakennusjärjestys, 1925.
8. Katajamäki, J., 2006. Aatteen paloa – arjen turvaa. Palokuntien liitosta pelastusalan keskusjärjestöksi. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK. Sivu 35.

9. Raevuori, A., 2019. Elokuvateatteri Imatrasta tuli kuolemanteatteeri vuonna 1927 – Palavasta filmistä levinnyt tulipalo vaati useita kuolonuhreja Tampereella. Seura.
10. Lounema, T., 2017. Blogi: Tulenarka selluloidi - säädös historian myrskyissä. Tukes.
11. Sundvist, T., 1950. Palosuojeluopas erilaisia huonetiloja varten. Suomen Palopäälystöliiton julkaisu N:o 3. Kustannusosakeyhtiö Fennia. Sivut 22–27.
12. Sundqvist, T., 1947. Ehkäisevän palosuojelun käsikirja. Suomen Palopäälystöliiton julkaisu N:1. Kustannusosakeyhtiö Fennia. Sivut 53–81.
13. Ilmolahti, O., 2016. ”Asiantuntijan painoarvo” – Rakenteellisen paloturvallisuuden tekijät ja kokijat. Teoksessa Tulenarkaa – Palonkestävää (toim. Ilmolahti Oona). Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK. Sivut 137–138.
14. Sisäasiainministeriö, 1969. Automaattiset paloilmotuslaitokset. Paloluokitustiedotukset n:o 229 ja 230.
15. Nilson, F., Linnea, L., Carl, B., 2020. ”Living arrangements and fire-related mortality amongst older people in Europe”. International journal of injury control and safety promotion 27(3):378–84. doi: 10.1080/17457300.2020.1780454.
16. Cassidy, P., McConnell, N., Boyce, K., 2021. ”The older adult: Associated fire risks and current challenges for the development of future fire safety intervention strategies”. Fire and Materials 45(4):553–63. doi: 10.1002/fam.2823.
17. Tutkintaselostus A 2/1999 Y, OSA III. Turvallisuustilanne vanhusten asumisessa ja suositukset sen parantamiseksi. Onnettomuustutkintakeskus.
18. Fried, S. & Telaranta, K., 2023. Kotona paras, vai onko? Kotona asuminen turvallisuuden näkökulmasta. Avauksia-osasto, Yhteiskuntapolitiikka 88(2):202–212.
19. Ympäristöministeriö, 1981. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Rakenteellinen paloturvallisuus, Osa E1 määräykset 1981. Muutos määräykseen 10.3.1993.
20. Rakentamismääräyskokoelman osa E, rakenteellinen paloturvallisuus, koostui määräyksestä E1 ja sitä täydentävistä ohjeista E2–E9.
21. Sisäasiainministeriö, 1993. Ohje palovarointien teknisistä ominaisuuksista, dnro 7/011/93.
22. Ympäristöministeriö, 1997. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Rakenteellinen paloturvallisuus, Osa E1 määräykset 1997, 11.3 Palovaroitin ja automaattinen paloilmotin.
23. Sisäasiainministeriö, 1999. A:59 Palovaroittimen tekniset ominaisuudet ja sijoitus, dnro SM-1999-00256/Tu-33.
24. Ympäristöministeriö, 2008. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Rakenteellinen paloturvallisuus, Osa E1 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta.
25. Taloyhtiön vastuunjakotaulukko. [www.kiinteistoliitto.fi/taloyhtio/vastuunjakotaulukko/](http://www.kiinteistoliitto.fi/taloyhtio/vastuunjakotaulukko/)
26. Tutkintaselostus Y2016-05. Muiden onnettomuuksien tutkintaselostukset vuosittain. Neljän ihmisen kuolemaan johtanut tulipalo kerrostaloasunnossa Helsingin Vuosaaressa 9.12.2016. Onnettomuustutkintakeskus.
27. Tutkintaselostus Y2016-E1. Muiden onnettomuuksien tutkintaselostukset vuosittain. Kahden ihmisen kuolemaan johtanut pienkerrostalon palo Turun Hirvensalossa 10.5.2016. Onnettomuustutkintakeskus.
28. Ketola, J. & Kokki, E., 2018. Pelastustoimen taskutilasto 2013–2017. Pelastusopisto.
29. Santala, L., 1966. Lapinlahden kunnalliskodin mielisairasosasto ja sen palo 22.–23.4.1966. Palontorjunta 4: 166–171.
30. Virtain kunnalliskodin palon johdosta asetetun tutkijaryhmän selostus sisäasiainministeriölle. Helsinki 1979.
31. Välikangas, K., 2006. Kuntien toiminta ikääntyneiden kotona asumisen ja palvelujen kehittämisessä. Suomen ympäristö, no. 21. Ympäristöministeriö.
32. Tutkintaselostus A 2/1999 Y. Vanhusten palvelutalon palo Maaningalla 4.12. 1999 ja 17 muuta paloa vastaavissa taloissa 1.12.1999–29.2.2000. Onnettomuustutkintakeskus.
33. Tutkintaselostus A 2/1999 Y, OSA II. Seitsemäntoista tulipaloa tai palonalkua vanhusten palvelutaloissa ja vastaavissa 1.12.1999–28.2.2000. Onnettomuustutkintakeskus.
34. Ikäihmisten hoitoa ja palveluja koskeva laatusuositus, 2001. Sosiaali- ja terveysministeriö, Suomen Kuntaliitto Oppaita 2001:4. Helsinki.
35. Arjen turvaa. Sisäisen turvallisuuden ohjelma. Valtioneuvoston yleisistunto 23.9.2004. Sisäasiainministeriön julkaisuja 44/2004.
36. Tutkintaselostus B1/2008Y. Tulipalo tukiasumiseen käytetyssä pientalossa Espoossa 27.3.2008. Onnettomuustutkintakeskus.
37. Muistio. Valtioneuvoston asetus poistumisturvallisuusselvityksestä 31.3.2014. Sisäministeriö.
38. Muistio ympäristöministeriön asetuksista rakennusten paloturvallisuudesta 28.11.2017. Ympäristöministeriö.
39. Ahrens, M., Messerschmidt, B., 2021. Fire Safety in the United States since 1980. Through the lens of the NFPA Fire & Life Safety Ecosystem. Quincy: National Fire Protection Association. Report No. 114.
40. Tutkintaselostus 2012 B1/2011Y Rakennuksen evakuointiin johtanut sairaalapalo Turussa 2.9.2011. Onnettomuustutkintakeskus.
41. Tutkintaselostus D1/2010Y. Tulipalo ja asukkaiden evakuointi eläkeläisten asuttamassa kerrostalossa. Onnettomuustutkintakeskus.
42. Tutkintaselostus 2/2021, Y2020-01. Senioripalon tulipalo Jyväskylässä 10.7.2020. Onnettomuustutkintakeskus.
43. Tutkintaselostus 2008, B1/2007Y Tulipalo Pitkänien sairaalassa Nokialla 25.1.2007 ja katsaus eräisiin muihin hoito- ja huoltolaitospaloihin. Onnettomuustutkintakeskus.
44. Tutkintaselostus 15/2014, Y2014-01 Koulupalo Kouvolassa 11.2.2014. Onnettomuustutkintakeskus.
45. Paloturvallisuus-osa 2022. TalotekniikkaRYL. Rakennustieto.
46. Poistumishälytys- ja turvakuulutusjärjestelmät 2018. ST-ohje 21. Sähkötieto ry.
47. Turvaa oikein -opas 2018/2019. Turvallisuusjärjestelmien hankinnan sekä turvasuunnittelun ja -urakoinnin hyvät käytännöt. Turva-alan yrittäjät ry.
48. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2022. CEN/TS 54-32:2015:fi Paloilmotimet. Osa 32: Poistumishälytys- ja turvakuulutusjärjestelmien suunnittelu, mitoitus, asennus, käyttöön-otto, käyttö ja ylläpito.
49. Rakennustieto 1998. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE 1998.
50. Laine, T., Telaranta, K., Lehto, L., Leino, I., Pouta, J., 2021. Vuokratalojen turvallisuuden parantaminen teknisillä ratkaisuilla. SPEK tutkii 24. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö & Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA.
51. Komission päätös 2008/264/EY paloturvallisuuteen liittyvistä vaatimuksista, jotka savukkeita koskevien eurooppalaisten standardien on täytettävä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2001/95/EY mukaisesti
52. SFS 6000-4-42:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-42: Suojausmenetelmät. Suojaus lämmön vaikutuksilta. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Kohta 421.8.

# Tulityövahinkojen monet ulottuvuudet

## Tiivistelmä

Tulitöiden turvallisuutta pyritään varmistamaan ohjauksella, lupa-käytännöllä ja osaamisvaatimuksilla. Turvallisuusvaatimukset ovat perusteltuja, sillä tulitöistä syttyvät palot voi aiheuttaa merkittäviä vahinkoja. Artikkelin tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva tulityövahingoista ja niiden ehkäisystä. Kokonaiskuva muodostetaan viiden aineiston: PRONTO-tietojen, Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostusten, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin onnettomuustutkinnan, Tapaturmavakuutuskeskuksen työpaikatapaturmien tutkinnan tietojen sekä mediaseurannan kautta. Aineistosta arvioidaan tulityövahinkojen määrän, laadun, ennaltaehkäisyn ja turvallisuustoimijoiden lisäksi eri aineistojen käytettävyyttä onnettomuuksista oppimiseen. Tuloksissa näkyy sekä myönteinen turvallisuuskehitys, että vahinkojen seurausten moninaisuus vaaratilanteista vakaviin henkilövahinkoihin, miljoonien eurojen suuronnettomuuksiin ja sietämättömiin lopputuloksiin. Tapausesimerkit osoittavat tulityövahinkojen laaja-alaisuuden, vahinkojen ehkäisyn merkityksen, mutta myös eri toimijoiden tulityöosaamisen tarpeen. Kokonaiskuvan perusteella tulityövahinkojen ehkäisy edellyttää osaamista ja toimenpiteitä kaikilta osapuolilta. Tulityövahingoista oppimiseen on saatavissa faktatietoa useista lähteistä.

## JOHDANTO

Tulitöiden turvallisuudessa on keskustelua herättänyt yhtäältä tulityökoulutus, toisaalta yksittäiset suuronnettomuudet. Yksilötason osaamisen arviointi on tärkeä tulitöiden turvallisuuden varmistamisessa, mutta samalla tulee muistaa yksilön toimintaa laajempi ja kokonaisvaltaisempi näkemys tulityövahinkojen kontekstista, synnystä ja ennaltaehkäisystä.

Ennakkotiedon perusteella merkittävä osa tulityövahingoista syntyy ihmisen toiminnan tuloksena. Tämän vuoksi tulityökoulutus on yksi keskeinen turvallisuutta edistävä tekijä. Koulutuksen ja osaamisen arviointia on tehty [1, 2] ja se on perusteltua. Toi-

saalta merkittävä osa tulityövahingoista näyttäisi olevan tuotannolliseen tai ammatilliseen toimintaan liittyviä. Jos tulityövahinkoja tarkastellaan yrityksen toiminnan tuotoksena, käytettävissä on useita vaihtoehtoisia, pitkään käytössä olleita tarkastelumalleja. Vahinkoriskiä ja seurauksia voidaan arvioida Elinkeinoelämän Keskusliiton (EK) Yritysturvallisuusmalli kautta [3, 4]. Turvallisuuden varmistamisessa ja toimijatahojen arvioinnissa voidaan käyttää Reasonin sveitsinjuustomallia [5]. Koulutuksen ja osaamisen kehittämisessä voidaan hyödyntää onnettomuuksista oppimisen periaatteita [6].

EK:n Yritysturvallisuusmalli [3, 4] perustuu toiminnan jatkuvan kehittämisen periaatteeseen. Jatkuva kehittäminen on osa turvallisuusjohtamista, riskienhallintaa ja turvallisuuskulttuuria. Mallin ytimenä on tavoite varmistaa yritystoiminnan jatkuvuus, turvallisuus ja vaatimustenmukaisuus. Malli ottaa huomioon kiinteistö- ja toimitilojen turvallisuuden, tuotannon ja toiminnan turvallisuuden, henkilöturvallisuuden, työturvallisuuden, ympäristöturvallisuuden, pelastusturvallisuuden, varautumisen ja kriisinhallinnan, tietoturvallisuuden ja rikosturvallisuuden, kuten väärinkäytösten ja poikkeamien hallinnan.

Kun tulitöiden turvallisuutta tai tulityövahinkoa arvioidaan EK:n mallin mukaan, voidaan ennakoida, että tulityövahinko voi uhata mallin kaikkia turvallisuuden osa-alueita. Esimerkiksi tulitöistä syttynyt teollisuuslaitoksen suurpalo Akaassa [7] tammi-kuussa 2022 tuhosi laitoksen tuotantotiloista merkittävän osan, se keskeytti tuotannon ja vaaransi toiminnan tulevaisuuden. Samalla se vaaransi työturvallisuuden, henkilöturvallisuuden ja ympäristö(n)turvallisuuden. Pelastajille palo oli vaativa sammutettava [8].

Reasonin sveitsinjuustomallissa [5] turvallisuus varmistetaan eri tasoilla tehtävillä turvallisuustoimenpiteillä (kuva 1). Mallissa voidaan arvioida yksittäisen työntekijän tai henkilön toiminnan, ohella työn suunnittelun, organisoimisen, johtamisen, toimintaympäristön, koneiden ja laitteiden ja suojautumisen tai suojauskien



► heikkouksista. Turvallisuus tulee varmistettua jokaisen tason yhteisvaikutuksena. Malli ottaa huomioon jokaisella tasolla olevat heikkoudet. Ne voivat olla pysyviä tai vaihdella: ihmisen osaamisen heikkouksien ohella ihminen voi olla välillä väsynyt, tulityöpaikka sisällä tai ulkona voi olla poikkeuksellisen märkä – tai kuiva, ilma tyyni tai tuulinen. Eri tasojen turvallisuusprosessien yhteisvaikutuksella, heikkoudet tunnistamalla ja huomioon ottamalla saadaan turvallinen lopputulos. Poikkeama, joka uhkaa turvallisuutta ei pääse kumuloitumaan vahingoksi, sillä yksittäisen tason mahdollinen heikkous tulee seuraavilla tasoilla varmistettua.

Tulitöiden turvallisuutta ohjataan useilla toimenpiteillä: lainsäädännöllä, standardeilla, vakuutusyhtiöiden turvallisuusohjeilla, suunnittelulla, tulitöiden lupakäytännöllä, tulityön tekijän ja tulityöluvan myöntäjän pätevyysvaatimuksilla, alkusammutusosaamisella ja suojausvaatimuksilla [9]. Kokonaisuuden voi arvioida vastaavan hyvin sveitsinjuustomallia.

Jos turvallisuustoimista huolimatta syntyy vaaratilanne, tai tulityövahinko pääsee kuitenkin tapahtumaan, tulisi vaaratilanteesta tai onnettomuudesta oppia. Onnettomuuksista oppimisella tarkoitetaan toimintatapojen kehittämistä siten, että uudet tapahtuneen kaltaiset onnettomuudet pystytään välttämään. Onnettomuuksista voidaan oppia kaikilla tasoilla: yksilöinä, organisaatioissa ja yhteiskunnassa [10]. Onnettomuuksista oppimisen teoriaa käytetään useilla toimialoilla, suuronnettomuusvaarallisissa laitoksissa [11], mutta myös pelastustoimissa [12] sekä rakennusalalla [13], joka on yksi tulityövahinkojen riskialue.

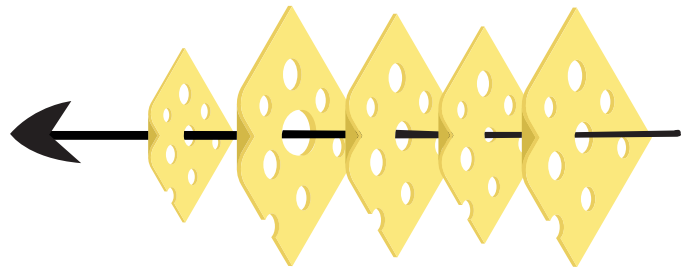
Onnettomuuksista oppimisen periaatetta hyödynnetään myös tulityökoulutuksessa, jonka aikana voidaan käyttää osallistujien omia esimerkkejä, mutta myös eri lähteistä kerättyjä valmiita, todellisista vahingoista valmisteltuja tapausesimerkkejä. Näiden pohjalta on hyvä yhdessä arvioida turvallisuuden parantamiseksi käytettävissä olevia keinoja.

Onnettomuuksista oppiminen edellyttää luotettavaa tietoa onnettomuuksien synnystä ja tapahtumien kulusta. Tietoa on mahdollista saada onnettomuustutkiminnan kautta. Tulityövahingoista on mahdollisuus saada tietoa useista lähteistä: Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO [14] sisältää pelastustoimen tietoon tulleet tulipalot ja aineistosta on eroteltavissa tulityövahingot. Tilastotietoja löytyy Pelastustoimen taskutilastosta [15, 16, 17], jossa on saatavissa tulitöistä syttyneiden rakennuspalojen määrä.

Onnettomuustutkintakeskuksen (OTKES) tutkintaselostuksissa paloista ja räjähdyksistä [18] on mukana tulityötappauksia. OTKESin tutkiminnan tavoitteena on turvallisuuden edistäminen [19]. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes tutkii ja julkaisee valomiensa toimialojen onnettomuus- ja tapaturmatietoja yhteenvetoina, joissa pyritään tunnistamaan kyseisen onnettomuuden tyypisen onnettomuuden syytekijät [20]. Tapaturmavakuutuskeskus (TVK) tutkii henkilövahinkoon johtaneita työtapaturmia. Osasta tapauksia tehdään työpaikkaonnettomuuksien tutkintaraportti (TOT-raportti). Tapaturmien tutkiminnan tavoitteena on työtapaturmien ja ammattitautien torjunnan ja niiden tutkiminnan tehostaminen [21]. Tutkittujen tapaturmien joukossa on myös tulitöissä tapahtuneita onnettomuuksia. Tulityöonnettomuudet on tutkittu työtapaturmien tutkintamallin [22] mukaisesti ja tapauskuvaukset julkaistaan TVK:n verkkosivuilla.

Tulityövahinkojen tietoja on saatavilla myös eri medioista. Tulitöistä alkunsa saavat palot ja onnettomuudet, etenkin suuronnettomuudet ovat hyödyllisiä uutisia. Niistä uutisoidaan laajasti ja uutisointia voidaan käyttää myös onnettomuuksista oppimiseen.

Tietoa tulityövahingoista on lisäksi saatavissa poliisin esitutkimamateriaaleista ja oikeudenkäyntiaineistoista, joita on käytetty paloturvallisuustutkimuksessa muun muassa palojen tuottamuksel-



Kuva 1. Reasonin sveitsinjuustomalli [7].

lisuuden arvioinnissa [23]. Aineistossa ja raportissa on myös mainintoja tulityövahingoista.

## TUTKIMUKSEN TAVOITE JA VIITEKEHYS

Suomen Pelastusalan Keskusjärjestössä on valmisteilla tulityövahingoista tutkimus. Tämä artikkeli on tehty ennakkotiedoksi ja tutkimuksen näkökulman avaamiseksi. Artikkelin tavoitteena on luoda kokonaiskuva tulityövahingoista. Analyysi perustuu suppeaan kvantitatiiviseen ja kvalitatiiviseen analyysiin, sekä tapausesimerkkeihin. Artikkelin tarkoitus on lisätä tulitöiden riskeihin ja turvallisuustoimenpiteisiin liittyvää ymmärrystä.

Artikkeli vastaa kysymykseen: 1) Millainen on ollut tulityövahinkojen määrällinen kehitys vuosina 2009–2020? 2) Minkälainen on ollut tulityövahinkojen laadullinen kehitys? 3) Mitä toimijatasoja eri lähdeaineistoissa on otettu arvioinnissa huomioon? 4) Sopivatko johdannossa esitetyt turvallisuusteoriat tulityövahinkojen arviointiin?

Tulityövahinkoja tarkastellaan EK:n yritysturvallisuusmallin kautta. Toimijatahojen arvioinnissa testataan Reasonin sveitsinjuustomallia. Arvioinnissa taustalla on Kletzlin onnettomuuksista oppimisen lähtökohdat.

## AINEISTOT JA MENETELMÄT

Artikkelissa aineistoina käytetään PRONTO-tietoja ja niiden perusteella julkaistuja Pelastustoimen taskutilastoja vuosilta 2009–2020. PRONTO-tietojen perusteella kuvataan tulityövahinkojen määrän kehitys vuodesta 2009 vuoteen 2020. Lisäksi käytetään OTKESin tutkintaselostuksia, Tukesin yhteenvetoja onnettomuuksista toimialoittain ja TVK:n työtapaturmaseurannan aineistoja. OTKESin, Tukesin ja TVK:n aineistoista hyödynnetään yksittäisiä poimintoja, joiden haussa lähdeaineistona ovat olleet kaikki saatavilla olevat tapaukset. Lisäksi aineistona on käytetty Suomen Pelastusalan Keskusjärjestössä tehdyn järjestelmällisen mediaseurannan yhteenvetoa tulityövahingoista vuosilta 2019–2022.

Kvantitatiivisessa analyysissä on tuotettu vahinkomäärien jakaumat ja kehitystä kuvaava kaavio. Laadullisen analyysin menetelmänä on aineistojen sisällönanalyysi.

## KESKEISET TULOKSET

### Tulityövahingot PRONTO-tiedoissa

Pelastustoimen taskutilaston [15, 16, 17] mukaan pelastuslaitosten tietoon on vuosina 2009–2020 tullut yhteensä 158025 tulipaloa. Näistä 67480 paloa (42,7 %) on ollut rakennuspaloja. Paloista 1610 on syttynyt tulitöiden seurauksena. Määrä on 3,2 prosenttia rakennuspaloista.

Erillisellä haulla PRONTO-tiedoista löytyi vuosilta 2009–2020 yhteensä 2134 tapaus, joissa arvio palojen syttymissyystä (luo-

kitus 2009) oli tulityöt. Määrä sisältää rakennuspalojen lisäksi liikenneväline-, maasto- ja muut palot. Sekä tulitöistä syttyneiden kaikkien palojen että rakennuspalojen määrä on vuodesta 2009 vuoteen 2020 ollut trendiltään laskeva (kuva 2).

PRONTO-tiedoissa on arvioitu tulitöistä syttyneiden palojen (n=1485) pääasiallista aiheuttajaa. Tulitöissä ihmisen toiminnan tuloksena oli syttynyt 1364 paloa (91,9 %). Koneen tai laitteen viasta syntyneitä paloja oli 40 (2,7 %), palovaarallinen aine oli aiheuttajana kolmessa palossa. Muissa paloissa (5,3 %) pääasiallinen aiheuttaja oli muu syy, aiheuttaja ei ollut tiedossa, tai sitä ei ole kirjattu.

PRONTO-tietojen mukaan syttyminen on tapahtunut pääsääntöisesti työikäisen mieshenkilön toiminnassa. Toisaalta aineistossa on nuorten ja yli 65-vuotiaiden, jopa yli 75-vuotiaiden henkilöiden tekemien tulitöiden seurauksena syntyneitä paloja. Nämä tapaukset viittaavat yksityiseen tulitöiden tekemiseen, ei ammatilliseen tai yritystoimintaan.

### Tulityöt OTKESin tutkintaselostuksissa

OTKES tutkii ensisijaisesti suuronnettomuuksia ja suuronnettomuusvaarallisia tilanteita. OTKESin tutkintaselostuksista poimittiin analysoitavaksi kaksi tulityövahinkoa, kemikaalisäiliön räjähdys [24] sekä laivapalo [25], joissa molemmissa palo on syttynyt tyyppillisten tulitöiden, hitsaamisen ja laikkaleikkauksen seurauksena. Räjähdys [24] aiheutti vakavat henkilövahingot ja merkittävät taloudelliset menetykset. Onnettomuudessa menehtyi korkean säiliön päällä työskennellyt alihankkijan työntekijä, toinen vammautui. Onnettomuus vaikutti sekä tilaajayrityksen että korjaustyötä tehneen yrityksen toimintaan ja tiloihin.

Kemikaalisäiliön räjähdys tapahtui pelastustoimen tilastoinnin mukaan ihmisen toiminnan tuloksena. OTKESin aineistossa paloa on arvioitu laaja-alaisesti myös yritysten turvallisuuskulttuurin ja toiminnan näkökulmasta. Huomio on kiinnitetty suunnitelmien ja töiden yhteensovittamiseen ja turvallisuustietoisuuteen alihankintaketjussa. OTKESin raportin mukaan työntekijät eivät tieneet, että säiliössä voisi olla syttymiskelpoinen kaasuseos. Vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi on esitetty teknisiä ratkaisuja, kaasujen mittausta ennen tulitöitä, sekä riskitietoisuuden varmistamista koko toimitusketjussa. Prosessi- ja työturvallisuusriskit tulee käydä läpi kaikkien työhön osallistuvien kanssa. [24]

Laivapalossa [25] säästettiin henkilövahingoilta. Myös taloudelliset menetykset olivat pienet, mutta matkustaja-aluksen tiloissa henkilövahinkojen riski oli merkittävä. Tapauksen raportissa huomio ei kiinnittynyt tulityön tekijään, vaan varustamon ylimalkaisiin ohjeisiin. Tapauksessa ei ole tehty turvallisuussuosituksia,

vaan tutkija on ohjeistanut suoraan varustamoa. [25]

Laivapalon tutkintaselostus oli luokiteltu vesiliikenteessä tapahtuneeksi onnettomuudeksi. Sitä ei siis ole luokiteltu räjähdykset ja tulipalot -luokkaan. Tapaus on kuitenkin tärkeä esimerkki tulityövahingosta, koska laiva on poikkeuksellinen toimintaympäristönä ja palo laivalla voi aiheuttaa merkittävää vaaraa [vrt. 26].

### Tulityövahingot Tukesin aineistossa

Tukesin tutkintojen raportointi on muuttunut tulityötutkimuksen aikana. Aiemmin käytössä oli VARO-rekisteri, jossa oli 31.12.2021 löydettävissä 32 tapauselostusta tulityövahingoista. Vahingot olivat tyyppillisiä tulityövahinkoja: hitsaamiseen, leikkaamiseen ja lämmittämiseen liittyneitä paloja, räjähdyksiä tai vaaratilanteita. Osassa tapauksia oli palon tuhoisuuteen vaikuttamassa tulityöympäristössä ollut palava kaasu tai neste. Osassa tapauksia tulitöitä tehtiin tietoisesti palavan aineen lähellä, osassa tulityön tekijä ei ollut tietoinen kaasun tai nesteen olemassaolosta tai sen aiheuttamasta vaarasta. Rekisterin 32 onnettomuudesta oli tuotannolliseen tai teolliseen toimintaan liittyviä vahinkoja 27 tapaus (84,4 %). Kolmessa tapauksessa oli kyse mitä ilmeisimmin yksityisen henkilön toiminnasta. Kahdessa tapauksessa ei ollut todennettavissa, oliko kyse ammatillisesta vai yksityisestä toiminnasta.

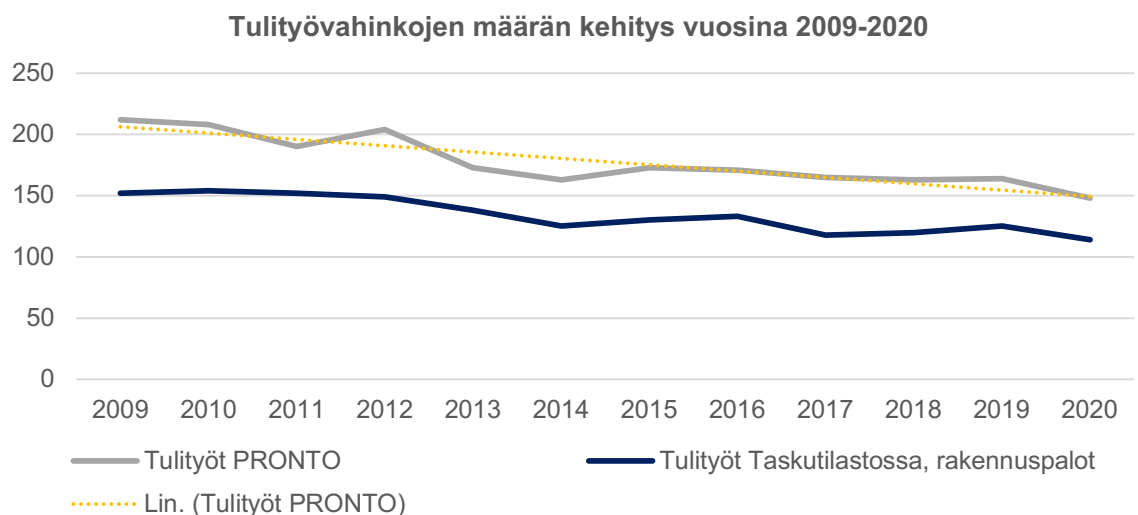
Tukesin raportoinnin muututtua, on käytettävissä toimialakohdaisia raportteja [27]. Näiden joukosta on löydettävissä myös edellä mainittu OTKESin tutkima räjähdysonnettomuus [28]. Tutkintaselostuksessa oli tapauksesta kirjattu 11 toimenpide-ehdotusta turvallisuuden parantamiseksi: Tulityön tekijöiden osalta edellytetään, että varmistetaan työntekijän ymmärrys riskeistä ja työvaiheet käydään paikan päällä läpi työntekijän kanssa. Lisäksi turvallisuuskoulutuksessa tulee huomioida tehtäväkohtainen turvallisuus. Muut suositukset kohdistuvat toimintojen suunnitteluun, toteutukseen, vastuiden määrittelyyn ja toimenpiteiden valvontaan, sekä teknisiin ratkaisuihin. Toiminnanharjoittajalla tulee olla järjestelmä, jolla varmistetaan selvillä olo kemikaalien riskeistä. Tutkinnassa onnettomuus on arvioitu usealla eri tasolla tapahtuneiden virheiden aiheuttamaksi. Näistä ylimmällä tasolla on ongelmaksi mainittu laitteiston alkuperäinen suunnittelu [28].

### Tulityövahingot TVK:n aineistoissa

Tapaturmavakuutuskeskus tutkii työtapaturmia ja julkaisee tietoja sekä tilastoina, että tapauselosteina. Työpaikkaonnettomuuksien tutkintaraporteissa, TOT-raporteissa on kuvattu myös tulityövahinkoja:

*Autoliikkeen peltikorjaamolla oli tehty oven asennustyötä, jonka aikana rakentajat katkaisivat palkkia kulmahiomakoneella.* ►

Kuva 2. Tulitöistä syttyneiden palojen määrä ja kehitystrendi vuosina 2009–2020: Tulityöt PRONTO sisältää kaikki palot, joissa arvio tulipalon syttymissyystä (luokitus 2009) on tulityöt. Tulityöt taskutilastossa sisältää rakennuspalot, syttymissyynä tulityöt [15, 16, 17].



- Kipinäsuihkun suunnalta kuultiin räjähdys ja havaittiin tulipalo. Samaan aikaan peltikorjaamon puolella oli kolme asentajaa kahvituolla. Asentajat seisoivat käytöstä poistetun öljymontun päällä. Räjähdyksen aiheuttama paineaalto rikkoi montun peittäneen teräsreunaisen betonikannen. Kaksi asentajaa pääsi poistumaan korjaamosta. Kolmas asentaja löydettiin pystyyn nousseen betonikannen ja seinän välistä loukkaantuneena. Hänet toimitettiin sairaalaan, jossa hän kuoli päähän kohdistuneen iskun seurauksena. [29]

Kipinän aiheuttaman räjähdysriskitekijöinä oli useita organisaation toimintaan liittyviä tekijöitä, joista osan arveltiin olevan **tiedostamattomia**. Syttyvien ja palavien nesteiden ja kaasujen kerääntyminen monttuihin arvioitiin olleen yllättävä työpaikoilla. Muutostöiden aiheuttamiin ongelmiin ei ilmeisesti ollut varauduttu riittävästi. [29]

### Tulityöt mediatiedoissa

SPEKin tekemässä mediaseurannassa vuosina 2019–2022 löytyi yhteensä 187 tulityövahinkoa. Määrä on noin 40 prosenttia PRONTO-tietojen mukaisesta tulityövahinkojen määrästä. Valtaosassa uutisia (40 %) oli maininta tulitöistä. Erillisinä mainintoina olivat hitsaus ja kattotyöt, kummankin osuus oli noin viidesosa kaikista tulityövahingoista. Lisäksi syttymisen taustalla oli mainittu leikkaus, kulmahiomakoneen käyttö, kaasupoltin ja kuumailmapuhallin. Valtaosa uutisista oli suppeita. Poikkeuksena olivat suureen vahinkoon johtaneet onnettomuudet, kuten Akaan teollisuuslaitoksen palo [7]. Lisäksi tulityövahinkoina tuli esiin muun muassa yksityisten henkilöiden ja yrittäjien tulitöiden tuloksena syntyneitä paloja [30, 31].

## POHDINTA

### Turvallisuuden moniulotteisuus

Kaikissa aineistoissa on viitteitä siitä, että tulityövahingot ovat usein tulipaloja tai räjähdyksiä, mutta samalla ne vaarantavat myös muun turvallisuuden. Onnettomuuksissa sivutaan EK:n yritysturvallisuuden kaikkia tai lähes kaikkia osa-alueita. Työturvallisuuden lisäksi muiden henkilöiden työ- tai henkilöturvallisuutta, toiminnan turvallisuus voi olla uhattuna, samoin toimitilat. Pelastusturvallisuus voi vaarantua, samoin ympäristöturvallisuus. Valtaosa tulityövahingoista katsotaan vahingoksi, mutta joukossa on myös väärinkäytöksiä: tuottamuksellisia ja jopa tahalliseksi arvioituja paloja.

### Onnettomuustutkinnan tasot

OTKESin aineistoissa tarkastelu tapahtuu useilla tasoilla. Samalla tavoin Tukesin onnettomuustutkinta on laaja-alaista ja se ottaa huomioon koko toimitusketjun. Tukesin aineistoissa on samoin selkeästi todennettavissa tarkastelun tasot: 1) tapahtuma, olosuhteet ja fysikaaliset tekijät; 2) työntekijöiden toiminta, informaation kulku; 3) tehtaan johtamisjärjestelmä, yhteistoiminta verkostoituneessa toiminnassa; 4) laitoksen suunnittelu [28]. TVK:n aineistossa lähtökohtana on työtaturmanäkökulma, mutta tarkastelu tapahtuu samoin usealla tasolla, samoin turvallisuusuosituksien kohdistuvat usealle tasolle.

PRONTO-tiedoissa ensisijaiseksi syttymissyiksi on arvioitu ihmisen toiminta. Aineistossa on tietoa henkilön sukupuolesta ja iästä, mutta ei suoranaista tietoa syttymisen taustalla olevan toiminnan työperäisyydestä, eikä johtamisen, ohjauksen tai muiden tekijöiden vaikutusta syttymiseen. Tiedoissa on todennettavissa tapahtuma, olosuhteet ja fysikaaliset tekijät sekä työntekijöiden toiminta sekä laitoksen tai kiinteistön rakennusselostus ja paloturvalli-

suustekniikka. Sen sijaan johtamisjärjestelmiin tai turvallisuusjohtamisen roolia ei esitiedon perusteella tutkita.

### Aineistojen käytettävyyden onnettomuuksista oppimiseen

PRONTO-tietojen perusteella koottu Pelastustoimen taskutilasto tarjoaa määrällistä tietoa tulityövahingoista rakennuspalojen osalta. Tilaston pohjalta on helppo myös seurata tulityövahinkojen määrällistä kehitystä. Tutkimuslupa mahdollistaa tietojen keräämisen anonyymien tapauskertomusten tuottamiseksi ja onnettomuuksista oppimiseksi.

OTKESin tutkimien tulityötapausten määrä on niukka, mutta tutkintaselostukset tarjoavat hyvää laadullista aineistoa ja todellisia tapausesimerkkejä. Tukesin ja TVK:n aineistoissa on valmiita tutkintaraportteja ja yhteenvetoja, joita voidaan myös käyttää tapausesimerkkeinä ja keskustelun pohjana koulutuksessa.

Mediatietojen perusteella pystytään poimimaan myös tapausesimerkkejä koulutukseen. Oleellisena erona muihin aineistoihin on kuitenkin tietojen luotettavuus.

OTKESin, Tukesin ja TVK:n aineistot perustuvat kunkin tutkintamallin mukaiseen onnettomuustutkintaan, PRONTO-tiedot pelastusviranomaisten palontutkintaan, kun taas eri medioissa julkaistuissa aineistoissa on käytettävissä toimittajan laatima usein nopeasti tehty uutinen. Nopean uutisoinnin riskinä ovat virheet. Tiedon keruu vie oman aikansa, eikä faktatietoa ole välttämättä ensimmäisten uutisten julkaisun aikaan vielä käytettävissä. Niinpä mediatietojen käyttö koulutuksessa edellyttää kriittisyyttä ja medialukutaitoa. Luotettavinta tietoa onnettomuuksissa oppimisen pohjaksi saa useamman tietolähteen tiedot yhdistämällä ja vertaamalla. Pitkällä aikavälillä voidaan hyödyntää myös mahdollisen esitutkinnan ja oikeudenkäynnin asiakirjoja. Näin oppimisen pohjaksi saadaan laajemmin faktatietoa ja päästään arvioimaan myös eri aineistoissa tehtyjä havaintoja ja niiden eroja.

Tukesin aiemmassa VARO-rekisterin aineistossa oli valmiita tiivistettyjä tapauskertomuksia riskitekijäarvioineen. Rekisterin lakkauttamisen jälkeen aineistot eivät ole enää käytössä, mutta tapausesimerkkejä kootaan uusille, avoimille verkkosivuille – onnettomuuksista oppimisen aineistoksi.

Käytöstä poistuneen VARO-aineiston tapauksista on olemassa yhteenveto, jossa huomio kiinnittyy onnettomuuksien tapahtumavuosiin: Rekisterissä ei ollut uusia tulityövahinkotapauksia vuoden 2014 jälkeen. Asiaa kysyttäessä Tukesin edustaja totei, että tutkittavaksi valikoidaan tapauksia, joista saadaan uutta tietoa. Tulityövahingoissa ei ole tullut tutkittavaksi uudentyyppisiä tulityövahinkoja.

### Aineistojen luotettavuuden arviointi

PRONTO-tiedot ovat pelastustoimen keräämää tietoa. OTKESin, Tukesin ja TVK:n aineistot ovat kunkin toimijan onnettomuustutkintamenetelmiin perustuvia ja lähtökohtaisesti luotettavia sisältönsä. Toisaalta kaikkien edellä mainittujen aineistojen perusteella saatuun tietoon tulee myös suhtautua kriittisesti. Median kautta tulevaa tietoa käytettäessä tulee sisältöä arvioida muita aineistoja kriittisemmin, sillä nopea uutisointi ja toimittajien ammatillinen etäisyys tulitöistä, samoin kuin onnettomuuksien osallisten intressit voivat johtaa erheelliseen tietoon. Luotettavinta tietoa saadaan eri lähteiden tiedot yhdistämällä. Näin saadaan luotettavia tapausesimerkkejä ja niiden ohella tilastotietoja arvioimalla saadaan hyvä kokonaiskuva tulitöiden turvallisuusongelmista.

## POHDINTA

Tulitöistä syttyvien palojen määrä on alhainen ja osuus rakennus-



## TUTUSTU CFPA-E SUOSITUKSIIN: [cfpa-e.eu/cfpa-e-guidelines/](http://cfpa-e.eu/cfpa-e-guidelines/)

**Euroopan palontorjuntaliittojen yhteisjärjestö CFPA Europe** (The Confederation of Fire Protection Associations Europe) yhdistää kansallisia palontorjunta- ja paloturvallisuusjärjestöjä 25 Euroopan maassa.

Sen tavoitteena on jakaa turvallisuustietoutta ja -koulutusta ihmishenkien säästämiseksi sekä omaisuus- ja yritys vahinkojen estämiseksi. Suositukset kuvastavat järjestön jäsenmaiden kehittämiä parhaita käytäntöjä.

**Tutustu CFPA-E:n tapahtumiin, toimintaan ja julkaistuun materiaaliin:**



### Esimerkkejä julkaisuista:

- Safety instructions for the use and charging of small and medium size lithium ion powered devices
- Fire safety recommendations for short-term rental accommodations
- Fire safety engineering concerning evacuation from buildings
- Fire safety basics for hot work operatives

paoista marginaalinen. Tulityövahingot ovat tästä huolimatta merkittävä vahinkotyyppi. Yksittäiset palot ja räjähdykset ovat aiheuttaneet miljoonien eurojen suurpaloja, tuotannon ja toiminnan häiriöitä, mutta myös työtaturmia ja muita henkilövahinkoja sekä tulitöiden tekijöille, että ulkopuolisille, Osa paloista on erittäin haasteellisia sammutettavia. Tämän vuoksi huomion kiinnittäminen tulityövahinkoihin ja turvallisuuden varmistaminen tulitöissä on perusteltua.

Laajemmalla tarkastelulla tulityövahingot osoittautuvat siis rakennuspaloja ja tulipaloja laajemmaksi turvallisuusongelmaksi. Kokonaisvaltaisesta tarkastelusta olisi hyötyä ammatillisissa tulitöissä. Käytettävissä olevat tutkinta-aineistot tarjoavat hyvän pohjan onnettomuuksista oppimiselle sekä tulityökoulutuksessa, että yritysten sisäisenä koulutuksena ja ammattilaisten jatkuvana keskinäisenä pohdintana.

Tutkimuksen sivutuotoksena on huomio siitä, että tulityövahinkojen joukossa on ammatillisessa toiminnassa syttyneiden palojen ohella yksityisille henkilöille arjessa tapahtuneita tulityövahinkoja. Sen vuoksi tulityöosaaminen ja onnettomuuksista oppiminen on tärkeä myös kenen tahansa tulitöitä tekevän henkilön osaamisena. Inhimillisesti arvioiden tulityövahingoissa syntyy valitettavasti elämäntapa-ongelmia. Yksittäisen työntekijän tulityövahinko voi kumuloitua miljoonaluokan vahingonkorvausvastuuseen, työntekijän tai täysin ulkopuolisten henkilöiden menehtymiseen. Suuronnettomuuksissa voi olla kyse koko yrityksen toiminnan keskeyttämisestä tai lakkaamisesta. Yksityisessä toiminnassa vahinko voi

olla samalla tavoin sietämätön: pieni nopeasti aloitettu korjaustyö voi johtaa sekä henkilövahinkoon että oman tai perheen omaisuuden tuhoutumiseen. Mittaluokka rahassa voi siis vaihdella, mutta tapauksissa voi olla kyse koko omaisuuden menettämisestä. Ollapa kyse tuotantoon liittyvästä tai yksityisestä toiminnasta, riski voi olla sietämätön. Se tulisi tunnistaa – ja tunnustaa.

### JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulitöiden turvallisuuden varmistamiseen tulee edellyttää toimenpiteitä kaikilta toimijatahoilta. Yksittäisen työntekijän substanssiosaaminen ja tulityökoulutus on tärkeä tekijä turvallisuuden varmistamiseen, mutta sen ohella huomioon tulee ottaa koko prosessi ja kaikki tasot.

Tulityövahinkoja voidaan arvioida PRONTO-näkökulmasta, mutta laajempi, eri onnettomuustutkimuksen muodot huomioon ottaminen antaa kuvan laajemmasta ongelmasta. Tulityövahinkoja on tutkittu paitsi palontutkintana ja tapaturmien, työtaturmien ja suuronnettomuuksien tutkintana, mutta arvioidaan myös mahdollisen rikosoikeudellisen vastuun näkökulmasta. Eri lähteistä saatavien tietojen yhdistäminen mahdollistaa onnettomuuksien tarkastelun ja onnettomuuksista oppimisen.

Onnettomuuksista ja läheltä piti -tilanteista oppiminen tulee ottaa täysimääräisesti käyttöön. Tämä edellyttää avoimuutta onnettomuuksista oppimisen teorian sisäistämiseksi ja menetelmän käyttöönottamiseksi sekä yrityksissä, ammatillisissa ja tulityökou-

- lutuksessa että tulitöiden kanssa tekemisissä olevien henkilöiden vuorovaikutuksessa. Aineistoja on. Tarvitaan vain yhteistyö, avoin pohdinta juurisyistä ja toimenpiteistä kaikilla toimijatahoilla.

## KIITOKSET

Kiitän kaikkia henkilöitä, jotka ovat edesauttaneet tutkimuksen edistymistä, niin tutkimusaineistojen keräämisen, tulkinnan kuin raportoinnin osalta. Tämä artikkeli on tehty oman työn ohessa, osittain Palosuojelurahaston rahoituksella tehtävän paloturvallisuustutkimuksen osana, osittain SPEKin omarahoitteisena turvallisuuspätevyysiin liittyvän tutkimuksen osana. Kiitos molemmille rahoittajille.

## LÄHDELUETTELO

- Piironen, R., 2016. Hitsauksen tulenvaaran torjuntaa. Vahingot laskuun koulutuksella ja yhteistyöllä. Teoksessa Ilmolahti, O. (toim.) Tulenarkaa – palonkestävää. Onnettomuuksien ehkäisy ennen ja nyt. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö.
- Hiltunen, R., 2021. Sosiokonstruktiivisen oppimiskäsityksen soveltaminen aikuiskoulutuksessa: menetelmien tehokkuus, mielekkäisyys ja kuormittavuus sekä oppimistulokset alueellisesti tarkasteltuna. Oulu: Oulun yliopisto.
- Elinkeinoelämän keskusliitto, 2016. Elinkeinoelämän yritys-turvallisuusmalli. [https://ek.fi/wp-content/uploads/yritysturvallisuus\\_2016.pdf](https://ek.fi/wp-content/uploads/yritysturvallisuus_2016.pdf) [viitattu 25.5.2023].
- Elinkeinoelämän keskusliitto, 2023. Yritysturvallisuus. Verkkosivu. <https://ek.fi/hyotytieta-yrityksille/yritysturvallisuus/> [viitattu 25.5.2023].
- Reason, J., 2000. Human error. Models and management. *BMJ* 2000; 320: 768–70.
- Kletz, T., 2001. Learning from accidents. Oxford; Boston: Gulf Professional.
- STT, 2022. Teollisuushalli Akaassa on ilmiliekeissä – katso videolta, minkälaista tuhoa palo on saanut aikaan. Uutinen 10.1.2022. <https://yle.fi/a/3-12264826>
- Hankaniemi, A. L., Mannonen, K. & Tanninen, J., 2022. Kuvat näyttävät, miten tuli tuhosi suurta tehdasta Akaassa: räjähdykset ja kova pakkaneen vaikeuttavat kymmenien sammuttajien työtä. Uutinen. Yle 11.1.2022. <https://yle.fi/a/3-12265010> [viitattu 25.5.2023]
- Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö, 2023. Tulityö-verkkosivu. <https://www.spek.fi/koulutus/turvallisuuskortit/tulityo/> [25.5.2023]
- Hovden, J., Størseth, F. & Tinmannsvik, R. K., 2011. Multilevel learning from accidents – Case studies in transport. *Safety Science*, 49–1, 98–105.
- Levä, K. 2003. Turvallisuusjohtamisjärjestelmien toimivuus: vahvuudet ja kehityshaasteet suuronnettomuusvaarallisissa laitoksissa. Helsinki: Turvatekniikan keskus. s. 124–127.
- SPPL, 2023. Keikkakeskustelu – onnettomuuksista oppiminen. Verkkosivu. <https://sppl.fi/palvelut/asiantuntijatoiminta/menneet-hankkeet/keikkakeskustelu-onnettomuuksista-oppiminen/> [viitattu 25.5.2023].
- Koskenvesa, A. & Mäki, T., 2010. Miten se oltais voitu estää? Kertomuksia rakennustyömaan tapaturmista: Narratiivinen tutkimusrakennusalan tapaturmista ja niiden merkityksistä ihmisten elämälle tapaturman kokeneiden kertomana. Espoo: Ratuhanke.
- Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO. <https://prontonet.fi/>.
- Ketola, J. & Kokki, E., 2015. Pelastustoimen taskutilasto

2010–2014. Pelastusopiston julkaisu, D-sarja: Muut 2/2015.

- Ketola, J. & Kokki, E., 2019. Pelastustoimen taskutilasto 2014–2018. Pelastusopiston julkaisu, D-sarja: Muut 1/2019.
- Loponen & Liukkonen H., 2022. Pelastustoimen taskutilasto 2016–2020. Pelastusopiston julkaisu, D-sarja: Muut 1/2022.
- OTKES (2022). Tutkintaselostukset. Tulipalot ja räjähdykset. <https://turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/muutonnettomuudet/tutkintaselostuksetaihealueittain/tulipalot-jarajahdykset.html> [viitattu 15.5.2023].
- HE 204/2010. Hallituksen esitys Eduskunnalle turvallisuustutkintalaiksi, laiksi sotilasilmaluonnottomuuksien tutkinnasta ja laiksi eräiden niihin liittyvien lakien muuttamisesta sekä ihmishengen turvallisuudesta merellä vuonna 1974 tehdyn kansainvälisen yleissopimuksen liitteen XI-1 lukuun tehdyn muutoksen hyväksymisestä ja laiksi muutoksen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta. <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2010/20100204> [viitattu 25.5.2023].
- TUKES, 2023. Onnettomuudet. <https://tukes.fi/onnettomuudet> [viitattu 25.5.2023].
- TVK, 2022. TOT-tutkinnan käsikirja. Helsinki: Tapaturmavakuutuskeskus. <https://api.tyotapaturmatieto.fi/file-store/0-85866-86899> [viitattu 25.5.2023].
- Tapaturmavakuutuskeskus, 2023. Työpaikkaonnettomuuksien tutkinta. Verkkosivu. <https://www.tvk.fi/tyoturvallisuus/tyopaikkaonnettomuuksien-tutkinta/> [luettu 23.5.2023]
- Lehtimäki, M. & Mäkelä, P., 2018. Tuottamukselliset tulipalot ja niitä koskevat ilmoitusmenettelyt. Kuopio: Pelastusopisto. B-sarja: Tutkimusraportit 3/2018. [http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja\\_B/B3\\_2018.pdf](http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B3_2018.pdf) [viitattu 25.5.2023].
- OTKES, 2010. Kuolemaan johtanut säiliöräjähdyksessä teollisuuslaitoksessa 15.9.2010. Tutkintaselostus D6/2010Y. Onnettomuustutkintakeskus. <https://turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/muutonnettomuudet/tutkintaselostuksetvuositain/muutonnettomuudet2010/d62010kuolemaanjohtanutsaailiorajahdykset.html> [viitattu 15.5.2023].
- OTKES, 2001. M/S CINDERELLA, tulipalo tax-free varastossa Helsingin satamassa 21.3.2001. Tutkintaselostus C02/2001M. C02/2001M M/S CINDERELLA, tulipalo tax-free varastossa Helsingin satamassa 21.03.2001 - Onnettomuustutkintakeskus (turvallisuustutkinta.fi) [viitattu 15.5.2023].
- Helsingin Sanomat, 2020. Turun telakalla rakenteilla olevalla risteilijällä syttyi tulipalo, 1800 työntekijää evakuoitiin. <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000006458901.html> [viitattu 15.5.2023].
- Tukes, 2023. Onnettomuustietoa toimialoittain. Verkkosivu. <https://tukes.fi/onnettomuudet/yhteenvedot-onnettomuuksista-toimialoittain> [viitattu 25.5.2023].
- Tukes, 2011. Onnettomuusraportti Dnro 11573/06/2010. Arizona Chemical Oy:n säiliöräjähdyksessä 15.9.2010.
- TVK, 1988. Räjähdyksessä autokorjaamon huoltokaivannossa rikkoi sitä kattaneen betonikannen ja heitti sen työntekijän päälle. TOT-tutkinta 16/88. <https://prod-tvk-tot-pdf.s3.amazonaws.com/TOT+1988-16.pdf> [viitattu 25.5.2023].
- Tenhunen, A., 2021. Putkien sulattelu syytti omakotitalon tuleen – asukkaalle palovammoja. Iisalmen sanomat. <https://www.iisalmensanomat.fi/paikalliset/3227060> [viitattu 15.5.2023].
- JP News, 2021. Tulipalon uhka autotallissa autoa hitsattaessa – alkusammutusta lumella. <https://jpnews.fi/uutiset/tulipalon-uhka-autotallissa-autoa-korjatessa/> [viitattu 25.5.2023].
- Tapaturmavakuutuskeskus, 2023. TOT-raportit. Verkkosivu. <https://www.tyotapaturmatieto.fi/ty%C3%B6turvallisuus/tot-raportit> [viitattu 25.5.2023].

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

## Tiivistelmä

Hankkeessa kartoitettiin suoja- ja sammutusvarusteiden puhdistuskäytäntöjä pelastuslaitoksilla. Lisäksi mittasimme savusukellusharjoituksissa altistettujen varusteiden polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) puhdistumista erilaisilla pesutekniikoilla. Testeissä käytimme vesipesua sekä vesipesun ja vetyperoksidi- tai otsonikäsittelyn yhdistelmää palotakeille. Mittasimme myös nestemäisen hiilidioksidin (LCO<sub>2</sub>) puhdistustehokkuutta palotakeille. Lisäksi testasimme ruisku- ja rumpupesun puhdistustehokkuutta hengityksensuojaimien maskeille, sekä pintapyyhinnän ja tähän yhdistetyn vetyperoksidikäsittelyn puhdistustehokkuutta lämpökameroille. Tulokset osoittivat, että vesipesun lämpötilan nostaminen 40 °C:sta 60 °C:een ei lisännyt puhdistustehokkuutta. Vesipesun puhdistustehokkuustehokkuus ulko- ja sisäkerroksien osalta oli keskimäärin 55 %, vetyperoksidin 60 %, LCO<sub>2</sub>:n 74 % ja otsonoinnin 83 % arvioitaessa niitä PAH-yhdisteiden avulla. Palotakin keskikerrokset puhdistuivat parhaiten LCO<sub>2</sub>:lla, jolloin pesutehokkuus oli 84 %. Otsonoinnilla päästiin 24 % puhdistustehokkuuteen keskikerroksissa ja muut tekniikat olivat huonompia. Otsoni- ja vetyperoksidikäsittely vähensivät VOC-yhdisteitä palotakeista, mutta erityisesti vetyperoksidikäsittely vähensi niitä lämpökameroista.

## TAUSTAT JA TAVOITTEET

Pelastajat altistuvat pelastustehtävissä useille kemiallisille yhdisteille, joista esimerkiksi PAH-yhdisteet on yhdisteryhmänä todettu syöpävaarallisiksi. Pelastajan työn syöpävaarallisuusluokitus on myös nostettu kansainvälisen syövätutkimusjärjestön IARC:n toimesta korkeimpaan luokkaan, ryhmään 1 [1]. Tarkoittaen sitä, että yhteys pelastajien syöpävaarallisille aineille altistumisen ja niiden aiheuttaman syöpäsairastumisen välillä on olemassa. Koska syöpävaarallisille aineille ei ole turvallista rajaa, pelastajien altistuminen on pidettävä mahdollisimman pienenä.

Pelastajat altistuvat useille kemikaaleille samanaikaisesti usean eri altistumisreittein kautta. Lisäksi työn raskaus lisää hengitysvolyymia, joka samalla lisää altistumista hengitysteitse. Fyysisen kuormituksen ja ulkoisen lämpökuormituksen seurauksena myös iho- ja hengitysoireet avautuvat ja ihon pinta kostuu hiestä, jolloin ihoaltistuminen entisestään lisääntyy. Yhteisaltistuminen useille eri olo- ja muodoissa esiintyvillä epäpuhtauksilla mahdollistaa kemiallisten aineiden yhteisvaikutukset, jotka voivat olla summautuvia tai kertautuvia. Vaikka altistava aine ei olisikaan karsinogeeni, yhteisvaikutus saattaa olla syöpää edistävä, jos yhteisaltistuminen lisää esimerkiksi syöpävaarallisen aineen ihonläpi imeytymistä [2–4].

Pelastajien altistuminen ei lopu palon sammuttua. Aikaisemmassa tutkimuksessa on havaittu, että paloauton sisällä kuljetuksen aikana ja palopukujen säilytystilasta löytyy syöpävaarallisia aineita vielä kauan tehtävien jälkeenkin. Palopaikalta tulleita kemiallisia aineita löydettiin normaalin asemopalvelun aikana lähes kaikista paloaseman tiloista lukuun ottamatta puhtaita miehistötiloja. Näin ollen matalatasoinen altistuminen palossa syntyville aineille on vielä mahdollista, erityisesti paloaseman likaisella puolella. Operatiivisessa työssä tehdyssä selvityksessä todettiin pelastajien kokonaisaltistumisesta merkittävän osan tulevan savusukelluksen ja raivauksen lisäksi myös varustehuollosta [3, 5].

Altistumista on vähennetty toimimalla Puhdas paloasema -mallin mukaisesti. Mallissa likaiset ja puhtaat tilat on eriytetty. Varustehuoltoa on kehitetty siten, että epäpuhtauksien kulkeutuminen likaisista tiloista puhtaisiin on estetty ja henkilökohtaiseen suojautumiseen on kiinnitetty erityistä huomiota huollon aikana. Paloaseman ilmanvaihto on järjestetty niin, että ilma liikkuu aina puhtaista tiloista kohti likaista [3, 5].

Suoja- ja sammutusvarusteiden puhdistaminen on yksi tärkeä lenkki altistumisen vähentämisketjussa. Suoja- ja sammutusvarusteiden elinkaari on pitkä, jolloin kemialliset epäpuhtaudet helposti pintaantuvat niihin, mikäli pesutekniikat, pesukäytänteet ja va-



- ▶ rusteiden käyttäjien asenteet eivät ole kunnossa [6–8]. Erityisen hankalia puhdistaa ovat palopukujen keskikerrokset, jolloin epäpuhtaudet kertyvät niihin huonontaan palopuvun hengittävyyttä [3, 5]. Aiemmassa tutkimuksessa on myös todettu puhtaamman palopuvun likaantuvan pesussa, mikäli se pestään samanaikaisesti likaisemman palopuvun kanssa. Tämän vuoksi pelastuslaitoksille on ohjeistettu pesemään likaiset palopuvut yksistään sekä väliasut ja siviilivaatteet erillään sammutustehtävissä likaantuneista varusteista [5].

Hankkeessa haluttiin etsiä mahdollisimman tehokkaita ja ympäristöystävällisiä puhdistusmenetelmiä syöpävaarallisten aineiden puhdistamiseen suoja- ja sammutusvarusteista. Hankkeessa haluttiin testata vetyperoksidikäsittelyn ja otsonoinnin lisätehoa vesipesun puhdistustehokkuuteen sekä nestemäisen hiilidioksidin toimivuutta omana itsenäisenä tekniikkana. Lisäksi arvioitiin ruisku- ja rumputekniikoiden toimivuutta paineilmalaitteiden kasvo-osille ja vetyperoksidikäsittelyä lämpökameroille manuaalisen puhdistuksen lisänä.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

### Pesumenetelmien tila ja ohjeistukset pelastuslaitoksilla

Hankkeessa selvitettiin pelastuslaitosten tämänhetkiset palopukujen, paineilmalaitteiden, elektronisten laitteiden pesutekniikat ja huoltokonseptit. Selvitys tehtiin haastattelututkimuksella syksyllä 2021. Haastattelupyynnöt lähetettiin kaikille 22 pelastuslaitokselle ja siihen vastasi 19 pelastuslaitosta. Haastattelut tehtiin joko Teamsin tai puhelimen välityksellä.

### Suoja- ja sammutusvarusteet sekä niiden altistaminen

Hankkeessa altistettiin suoja- ja sammutusvarusteita Pelastusopiston harjoitusalueella savusukellusharjoituksissa tutkiaksemme eri pesumenetelmien puhdistustehokkuutta niihin. Simulaattoreissa poltettiin puhdasta puuta, lauaelementtejä ja lastulevyjä. Sytytysnesteenä käytettiin vähäaromaattista NESSOL LIAV 200 (Neste Oy). Testatut Lionin (VCF141101\_FS, LHD Group) ja Vikingin (Model 8066088J, Viking) palotakit olivat saavuttaneet käytössä viiden vuoden tai 50 pesun rajan. Lisäksi altistimme paineilmalaitteiden kasvo-osia (FPS 7000, Dräger) ja lämpökameroita (Tic 4, Leader), jotka olivat vielä Pelastusopiston aktiivikäytössä olevia varusteita.

### Näytteet ja niiden analysointi

Palotakkien puhdistustehokkuutta arvioitiin ottamalla lappunäytteet 22 mm:n reikämeistillä (15 cm<sup>2</sup>) niskasta takin sisäkerroksesta sekä rinnasta ja selästä kaikista kolmesta palotakin kerroksista (ulko-, keski- ja sisäkerros) eli yhteensä 7 näytettä. Näytteitä otettiin altistuksen, pesun ja lisäkäsittelyjen jälkeen. Näytteistä analysoitiin PAH-yhdisteet käyttäen kaasukromatografimassaspektrometriä (GC-MS). 60 °C:n lämpötilassa pestyistä ja rumpukuivatuista sekä otsonointi- tai vetyperoksidikäsittelyjen läpikäyneistä palopuvuista analysoitiin lisäksi VOC-yhdisteiden pintaemissionopeutta emissiokammiossa ennen lisäkäsittelyä ja sen jälkeen. Näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti massaselektiivisellä detektorilla hyödyntäen termodesorptiota (TD/GC/MS).

Paineilmalaitteiden maskiosista otettiin pyyhkäisynäytteet altistuksen ja pesun jälkeen pyyhkäisemällä etanoliin kastetulla vanutupolla toinen puoli viisiiristä (150 cm<sup>2</sup>) ennen pesua ja toinen puoli pesun jälkeen. Näytteistä analysoitiin PAH-yhdisteet GC-MS-tekniikalla.

Lämpökameroista otettiin pyyhkäisynäytteet etanoliin kastetulla vanutupolla kolmesta eri kohtaa 70 cm<sup>2</sup>:n alueelta; altistumisen, puhdistuspyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen. Puh-

distus tehtiin pintapyyhinnällä käyttämällä pyyhintälinaa (Loc-tite SF 7852, Henkel). Näytteistä analysoitiin PAH-yhdisteet GC-MS-tekniikalla. Hajujen poistumista arvioitiin emissiokammiossa pintapyyhinnän ja vetyperoksidikäsittelyn jälkeen analysoimalla emittoituvat VOC-yhdisteet TD/GC/MS-tekniikalla.

### Testattavat pesumenetelmät palotakeille

Ensimmäisessä testaussarjassa altistettiin 15 palotakkia, joista viisi vesipestiin yksi kerrallaan 60 °C:n lämpötilassa teollisuuspesukoneissa (W5130H, Electrolux) ja kuivattiin rummussa (T5190LE, Electrolux). Vesipesuissa käytettiin Clax 100 Color ja Clax plus -pesuaineita (Diversey). Takeista neljä lisäkäsiteltiin yksi kerrallaan otsonointikaapissa (Hygio a40 Medi, Hygio Oy) Hygio Oy:lla kahden tunnin power-ohjelmalla. Kaapista mitattiin testin aikana otsonipitoisuuden vaihtelua kahdella otsonianalysaattorilla (O<sub>3</sub> 41 M, Environnement S.A. ja Model 465 L, Teledyne API). Käsittely kesti kaksi tuntia ja otsonin pitoisuus oli korkeimmillaan 15 ppm. Seuraavat viisi palotakkia vesipestiin 40 °C:n lämpötilassa ja viisi 60 °C:n lämpötilassa. Takit kuivattiin lämpökaapeissa. Vesipesu-testit tehtiin Kangasalan paloasemalla.

Toisen testaussarjan kymmenestä altistetusta palotakista viisi lähti suoraan LCO<sub>2</sub>-käsittelyyn Decontex NV:lle Belgiaan. Takit pestiin DECO<sub>2</sub>FIRE™ -pesuprosessilla, jossa käytettiin teollisuuspesukonetta (DCX MF-DECO<sub>2</sub>N 450 L, Electrolux). Pesuprosessi kesti 27 minuuttia, paine käsittelyn aikana oli 43 baaria ja rummun kierrosnopeus 12 kierrosta minuutissa. Toiset viisi palotakkia vesipestiin 60 °C lämpötilassa ja rumpukuivattiin. Neljä takeista meni pesun jälkeen vetyperoksidikäsittelyyn Xhomelle. Käsittely tehtiin Cleamix VCS-100M -laitteistolla, jonka vetyperoksidihöyry tuotettiin 50 % vetyperoksidiliuoksesta. Käsittelyn aikana mitattiin vetyperoksidipitoisuutta reaaliajassa suoraan osoittavalla vetyperoksidimittarilla (Vaisala HPP 270 series, Vaisala Oy). Käsittelyssä vetyperoksidin pitoisuus oli korkeimmillaan 200 ppm ja käsittelyn kesto oli 2 tuntia.

Kolmannessa testaussarjassa kymmenestä altistetusta palotakista puolet vesipestiin 40 °C:n lämpötilassa ja puolet 60 °C:n lämpötilassa. Molemmat kuivattiin lämpökaapissa. Tällä testillä haettiin lisävalaistuista lämpötilan vaikutuksesta pesutulokseen.

### Testattavat menetelmät kasvo-osille ja lämpökameroille

Toisessa testaussarjassa oli mukana myös kymmenen altistettua paineilmalaitteen kasvo-osaa (Dräger FPS 7000), jotka myös pestiin Kangasalan paloasemalla. Viisi kasvo-osaa pestiin ruiskupesukoneella (Harstra Wash 4, Dräger) 22 minuutin ohjelmalla, pesuaineena (Suma Jade PurEco L8, Diversey) sekä neutralointiaineena (SumaMed Neutral, Diversey). Toinen viiden kasvo-osan sarja pestiin erillisissä pesupusseissa 13 kg:n pyykinpesukoneessa (W5130H, Electrolux) rumpupesulla. Rumpupesussa käytettiin pesuaineena (Suma Jade PurEco L8, Diversey) sekä neutralointiaineena (SumaMed Neutral, Diversey).

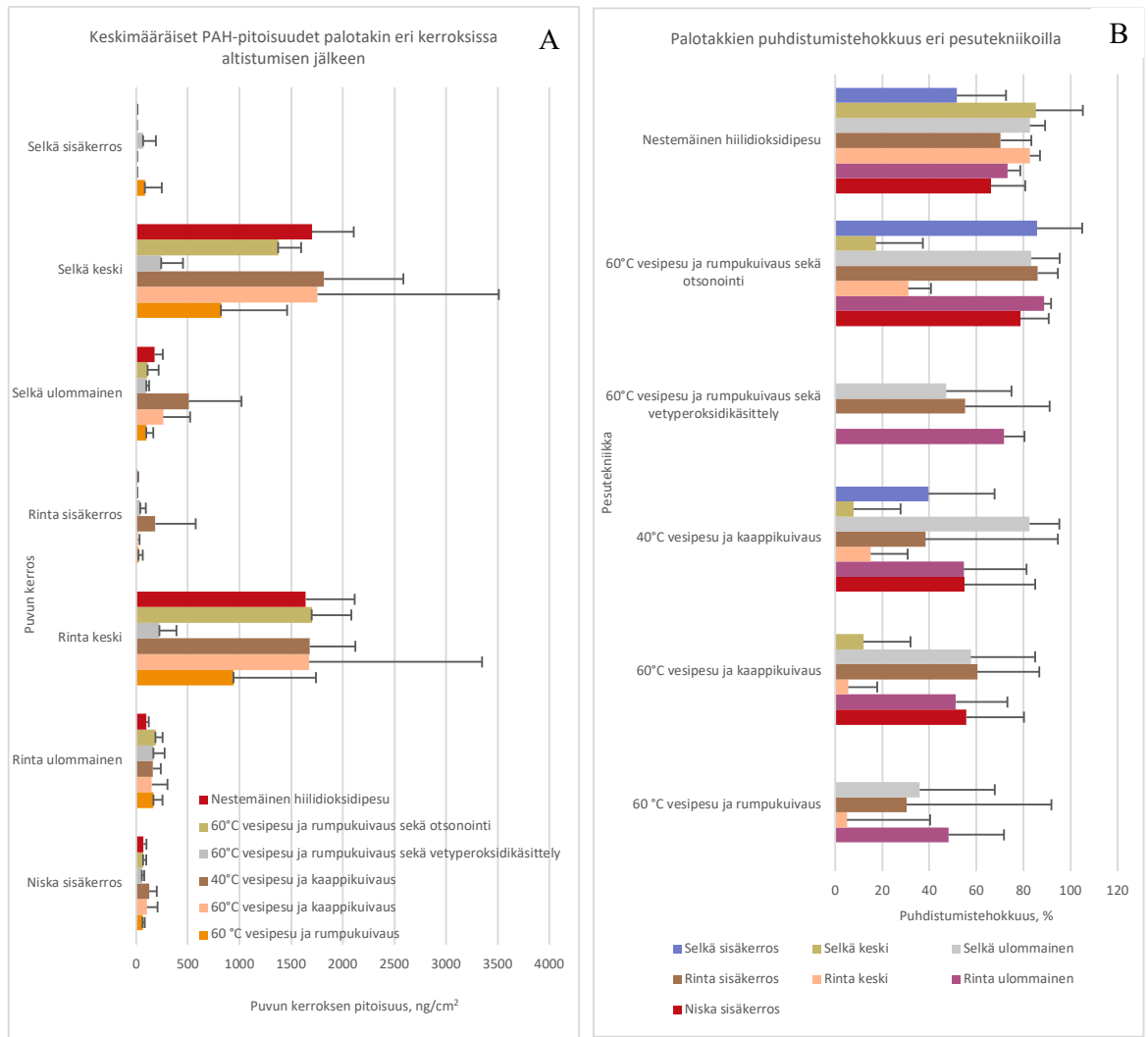
Toisessa testaussarjassa altistettiin myös neljä lämpökameraa (Tic 4, Leader). Lämpökamerat pintapyhittiin ensin ja käsiteltiin vetyperoksidilla Xhome:lla samalla menetelmällä kuin palotakit.

## TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

### Pesumenetelmien tila ja ohjeistukset pelastuslaitoksilla

Haastattelututkimukseen vastasi 19 pelastuslaitosta. Tutkimustulokset osoittivat, että pelastuslaitoksilla on ohjeistus ja suositukset altistumisen minimoimiseksi. Suurin osa pelastuslaitoksista on pystynyt toteuttamaan tilaratkaisut Puhdas paloasema -hankkeen periaatteiden mukaisesti, jolloin likainen ja puhdas tila on pystytty pitämään erillisinä. Aiemmin tehdyssä kyselytutkimuksessa ar-

Kuva 1. PAH-pitoisuudet palotakin altistumisen jälkeen (A) ja takkien puhdistustehokkuus eri tekniikoilla sen eri kerroksissa (B).



voitiin pelastuslaitosten tietoisuutta syöpävaarallisille aineille altistumisesta pelastajan työssä ja tuossa hankkeessa tunnistettiin edelleen tarvetta olevan kemikaalitietoisuuden nostamiselle [9]. Vastaavanlaiseen arvioon päädyttiin myös hankkeessamme tarkasteltaessa pelastuslaitosten pesu- ja puhdistuskäytäntöjen ohjeistuksen ja varsinaisen toiminnan yhdenmukaisuutta. Merkittävä osa laitoksista on kuitenkin ohjeistanut paloasujen sekä varusteiden riisumis- ja käsittelykäytännöt. Altistuneet varusteet tulisi riisua mahdollisimman nopeasti Skellefteå-mallin mukaisesti heti altistumisen päättymisen jälkeen tilannepaikalla. Suojaimia tulisi käyttää mahdollisimman pitkään riisuttaessa varusteita, jotta altistumista kontaminoituneille varusteille ei tapahtuisi. Lisäksi altistuneet varusteet tulee kuljettaa palopaikoilta pesusäkkeihin eristettyinä erillään sammutusauton miehistötilasta. Käytännössä tämä tarkoittaa niiden kuljettamista erillisellä peräkärryllä tai sammutusauton kalustotilassa [3, 5]. Tutkimuksemme mukaan suositukset pääsääntöisesti toteutuivat ja lähes kaikki laitokset eristivät altistuneet asut jollain tavalla.

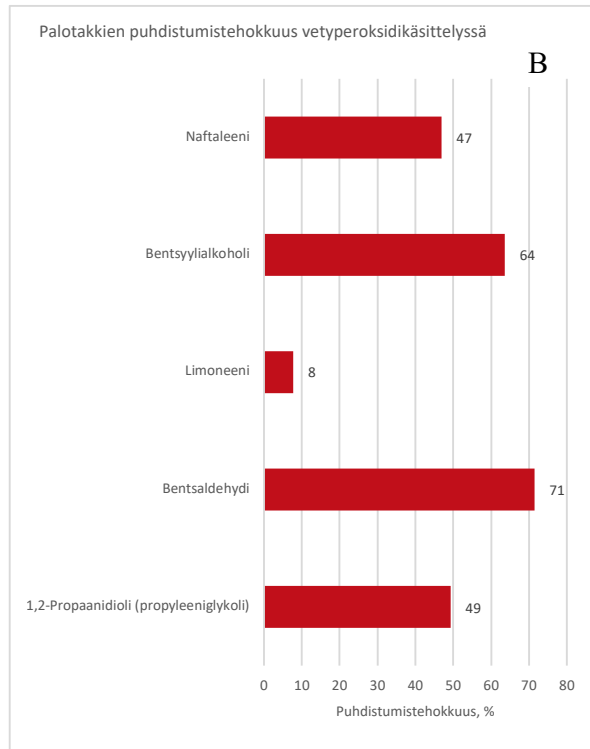
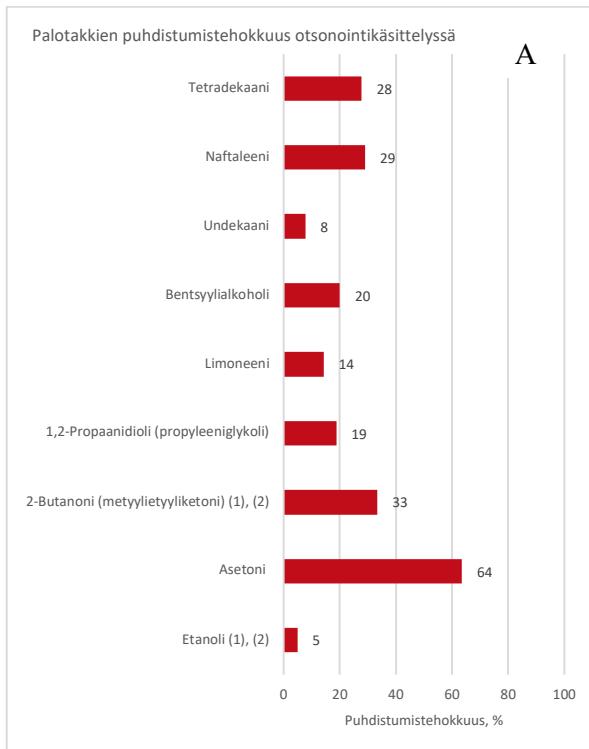
Palopukujen pesukäytännöt olivat myös yhteneviä. Aiemmin on suositeltu, että sammutusasuille käytetään omia teollisuuspesukoneita, joissa ei pestäisi siviilivaatteita [3, 6]. Tämä siitä syystä, koska sammutusasusta vapautuu pesussa syöpävaarallisia aineita ja pahimmassa tapauksessa myös esimerkiksi asbestikuituja. Näiden siirtyminen siviilivaatteisiin ei ole toivottavaa [10]. Koska ristiin likaantumiseksi on suuri, myös eri tavalla likaantuneet paloasut suositellaan pestäväksi erillään [6]. Tämä suositus toteutui pelastuslaitoksilla käytännössä jo siinä, että suurin osa laitok-

sista pesi koneessa vain yhden tai kaksi pukua kerrallaan. Suurin osa pelastuslaitoksista pesee palopuvut 60 °C:n lämpötilassa nykysuositusten mukaisesti ja putoamissuojaimet on ohjeistettu irtottamaan ennen pesua. Monilla laitoksilla on mahdollisuus myös otsonointikäsitteilyyn, mutta sen käyttö on kuitenkin pääsääntöisesti satunnaista, ja sitä käytetään enimmäkseen epämiellyttävien hajun poistoon. Pelastuslaitokset eivät pääsääntöisesti pidä kirjaa asujen pesumääristä, eikä sammutusasujen elinkaarta määritelty. Poistoon päätyvät puvut arvioitiin silmämääräisesti, kun ne olivat rikki tai saaneet värimuutoksia. Pelastusopisto ohjeistaa pukujen elinkaareksi 5 vuotta tai 50 pesukertaa ja pukujen pesukertoja seurataan RFID-tunnisteiden avulla. Pesulasta saadaan vuosittain, tai pyydettyessä, listaus kaikista yksilöidyistä vaateartikkeleista ja niiden pesukerroista. Asujen tietoihin on myös merkitty myös käyttöä ajankohdaksi.

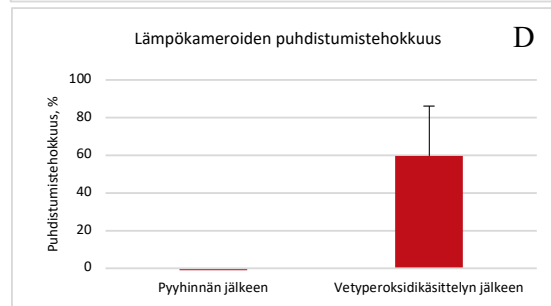
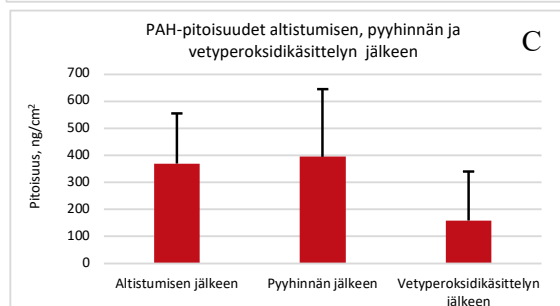
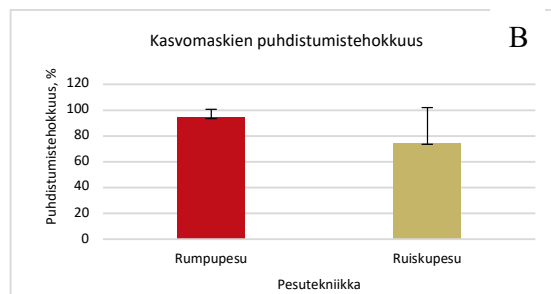
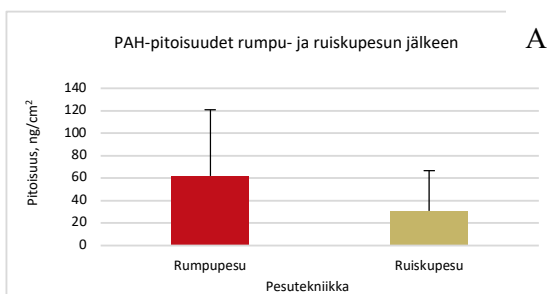
### Palotakkien puhdistustehokkuudet

PAH-yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat palotakin kangaskerroksissa (kuva 1A). Pukujen keskikerroksissa oli selkeästi eniten epäpuhtauksia, seuraavaksi puvun pinnoilla ja niskassa. Puvun sisäkerroksissa sen sijaan PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat pienimpiä, mikä kertoo puvun suojaominaisuuksien toimineen edelleen hyvin.

Vesipesun keskimääräinen puhdistustehokkuus (kuva 1B) palotakin ulompiin ja sisimpiin kerroksiin oli 55 %. Vastaavasti keskimääräinen puhdistustehokkuus 40 °C:n ja 60 °C:n lämpötiloissa käytettäessä kaappikuivausta oli 64 % ja 55 %.



Kuva 2. Palotakkien puhdistumistehokkuudet otsonointi- (A) ja vetyperoksidikäsitellyillä tarkasteltaessa VOC-yhdisteitä (B).



Kuva 3. PAH-yhdisteiden pitoisuudet kasvo-osissa altistuksen jälkeen (A), kasvo-osien puhdistumistehokkuudet rumpupesun- ja ruiskupesuteknikoilla (B), lämpökameroiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet altistuksen, pyyhinnän ja vetyperoksidikäsitelyn jälkeen (C), lämpökameroiden puhdistumistehokkuus pintapyyhinnän ja vetyperoksidikäsitelyn jälkeen (D).

► 60 °C lämpötilassa ja rumpukuivauksella keskimääräinen pesutehokkuus oli 49 %. Saadut tulokset ovat hieman parempia kuin aiemmassa tutkimuksessa havaitut tulokset [6].

Vesipesu lisävetyperoksidikäsitelyllä antoi keskimäärin 60 %:n pesutehokkuuden ja otsonointikäsitelyllä vastaavasti 83 %. Nestemäisen hiilidioksidin keskimääräinen puhdistumistehokkuus oli 74 %. Keskimmaisissa kerroksissa nestemäisen hiilidioksidin puhdistumistehokkuus oli keskimäärin 84 % ja seuraavaksi parhaimman vesipesun ja otsonin yhdistelmän keskimäärin 24 %. Muiden tekniikoiden puhdistumistehokkuus oli tätäkin huonompi (kuva 1.) Haasteet palotakkien keskikerrosten puhdistamisessa vesipesulla ja LCO<sub>2</sub>-menetelmän paremmuus vesipesuun nähden on todettu myös aiemmin tehdyissä tutkimuksissa [6, 11].

Pintaemissionopeusmittauksissa otsonointikäsitelyssä VOC-yhdisteistä parhaiten palotakeista puhdistuivat asetonin 64 %, butanoni 33 % ja naftaleeni 50 % (kuva 2A). Vastaavasti vetyperok-

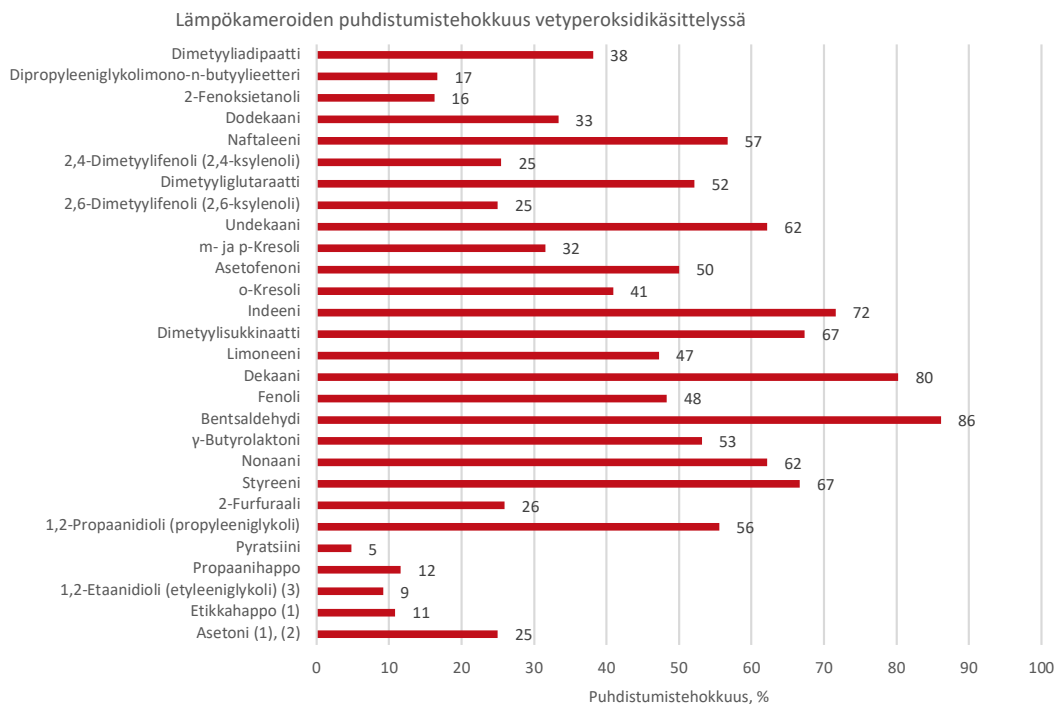
sidikäsitelyssä parhaiten puhdistuivat alkoholiseokset bentsaldehydi 71 % bentsyylialkoholi 64 %, ja 1,2-propanidioli 49 % (kuva 2 B).

### Kasvo-osien ja lämpökameroiden puhdistumistehokkuudet

Kuvassa 3A on esitetty kasvo-osien keskimääräiset PAH-pitoisuudet altistuksen jälkeen. Kuvassa 3B on esitetty kasvomaskien puhdistumistehokkuudet ruisku- ja rumpupesun jälkeen. Ruiskupesulla päästiin keskimäärin 75 % ja rumpupesulla 94 % puhdistustehokkuuteen.

Lämpökamerat puhdistettiin altistuksen jälkeen pintapyyhinnällä ja lisäksi käsiteltiin vetyperoksidilla. Kuvassa 3C on esitetty lämpökameroiden PAH-pitoisuudet altistuksen, pintapyyhinnän ja vetyperoksidikäsitelyn jälkeen. Kuvassa 3D on esitetty lämpökameroiden puhdistumistehokkuudet pintapyyhinnän ja vetyperok-





Kuva 4. Lämpökameroiden puhdistumistehokkuudet vetyperoksidikäsitelyssä tarkasteltaessa VOC-yhdisteitä.

oksidikäsitelyn jälkeen. Tuloksista näkyy, että lämpökameroiden pintapyyhinnän puhdistumistehokkuus oli huono, mutta vetyperoksidikäsitelyn puhdistumistehokkuus oli 60 %.

Vetyperoksidikäsitely vähensi myös VOC-yhdisteiden pitoisuuksia lämpökameroissa (kuva 4) ja vaikutuksia nähtiin laajemmalla spektrillä kuin palotakeissa. Tämä johtunee siitä, että vesi-pesu puhdisti paljon paremmin palotakit kuin huonosti toiminut pintapyyhinta lämpökamerat.

## SUOSITUKSET

Pelastajilla on oltava puhtaat suoja- ja sammutusvarusteet, jotta niiden kautta tarpeeton altistuminen palossa syntyville syöpävaarallisille aineille olisi mahdollisimman vähäistä. Kun likaantuneet varusteet vaihdetaan heti altistumisen päättymisen jälkeen, vähennetään myös tarpeetonta altistumisaikaa kontaminoituneille varusteille. Varusteiden paketoinnilla tilannepaikalla itsesulaviin pesulapusseihin vähennetään merkittävästi varustehuoltajien altistumista siirrettäessä likaisia varusteita pesukoneeseen. Lisäksi varustekonttien tai pussien kuljettaminen erillään miehistötilasta vähentää merkittävästi pelastajien altistumista varusteista vapautuille epäpuhtauksille palattaessa takaisin paloasemalle. Suosittelemme noudattamaan Puhdas paloasema-ohjeistusta palon jälkeisessä varustehuollossa.

Seuraava tärkeä vaihe puhdistusketjussa on varusteiden pesu-prosessi ja sen puhdistumistehokkuus. Palossa varusteisiin syntyy kontaminaatiota ei ole helppo puhdistaa. Suoja- ja sammutusvarusteiden pesu heti niiden likaantunutta parantaa pesutulosta, koska palossa syntyneet palamistuotteet eivät ole vielä ehtineet pinttyä varusteisiin kiinni. Toiseksi palopuvut on jaoteltava ja pestävä likaisuusasteen mukaisesti sekä erillään väli- ja alusasuista ristiin likaantumisen ehkäisemiseksi. Vaikka yllä mainitut toimenpiteet huomioidaan huomioon parhaimmillaankin vesipesun puhdistumistehokkuus PAH-yhdisteille ulommissa palopuvun kerroksissa oli keskimäärin 55 %. Toisaalta pesuveden lämpötilan laskeminen 40 °C:seen ei testien mukaan huonontanut palotakkien pesutehokkuutta. Valmistajat kuitenkin ohjeistavat pesemään asut 40–60 °C:ssa ja ohjeistavat irrottamaan putoamissuojaimet ennen pesua.

Jos vesipesun lisäksi käytetään otsonointia tai vetyperoksidia, voidaan PAH-yhdisteiden määrää varusteissa edelleen vähentää. Vetyperoksidia käytettäessä puhdistumistehokkuus oli 60 % ja otsonoinnilla 83 %. Käsitelyt poistivat myös VOC-yhdisteitä varusteista, joten pesumenetelmien purevuus savunhajuun on ilmeinen. Näin ollen lisäksi otsonointien avulla voidaan päästä parempaan puhdistumistulokseen, mutta suosittelemme lisäksi käsitelyiden jälkeen tuulettamaan varusteet hyvin ennen niiden käyttöönottoa. Ennen otsonointikäsitelyä on myös tärkeää varmistaa, että käsiteltävät palopuvut ovat ehdottoman kuivia. Näin vältetään mahdollisilta materiaaleihin kohdistuvilta vaurioilta.

Palopukujen puhdistaminen LCO<sub>2</sub>-tekniikalla osoitti 73 %:n puhdistumistehokkuutta ulomille kerroksille, mutta erityisen hyvin sen puhdisti palopuvun hankalimmin saavutettavan keskikerroksen (84 %), ollen selvästi paras tekniikka siihen. Jotta pukujen ominaisuudet säilyisivät ja niiden käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä, olisi hyvä tehdä palopuvuille syväpuhdistus kerran tai kaksi vuodessa nestemäisellä hiilidioksidilla. Tällä hetkellä ei ole mahdollisuutta tehdä pesuja nestemäisellä hiilidioksidilla Suomessa, mutta ulkomailta palvelu on ostettavissa. Suosittelemme nestemäistä hiilidioksidia vähintään kerran vuodessa palopuvun sisäkerrosten puhdistumisen ja niiden hengittävyden paluttamiseen.

Paineilmahengityslaitteiden maskien puhdistaminen tehdään ensisijaisesti käsinpesuna ja sen rinnalla käytetään ajoittain ruis-kupesua ja joissakin tapauksissa myös rumpupesua. Näistä rumpupesua osoitti parempaa puhdistumistehokkuutta 94 % kuin ruis-kupesua 75 %. Suosittelemme tehtävien jälkeisen käsinpesun lisäksi pesukoneessa pesupusseissa tehtävää rumpupesua vähintäänkin osaksi säännöllistä vuosihuoltoa ruiskupusun ohella.

Lämpökameroiden puhdistamiseen tarvitaan edelleen parempia tekniikoita pyyhinnän lisäksi, tällainen saattaisi olla vetyperoksidikäsitely. Lämpökameroille normaalisti tehtävä pintapyyhinta ei tulosten mukaan puhdistanut haitallisia yhdisteitä. Mikäli kameroissa on kankainen suoja, suosittelemme sen pesemistä säännöllisesti. Lisäksi vetyperoksidikäsitelyllä voidaan lisätä puhdistumistehokkuutta. Otsonikäsitelyn sopivuutta lämpökameroille suosittelemme selvittämään valmistajakohtaisesti, sillä osa valmistajista ei suosittele otsonointia.

## ► KIITOKSET

Esitämme lämpimät kiitokset Palosuojelurahastolle hankkeen rahoituksesta. Kiitokset menevät myös yhteistyökumppaneillemme Decontex NV, Diversey Finland, Hygio Oy, Laatupevu Oy ja Xhome Oy, jotka mahdollistivat monipuoliset testausmahdollisuudet. Tutkijat kiittävät myös hankkeen seurantar ryhmää hankkeen aktiivisesta ohjauksesta ja Pelastusopiston henkilökuntaa, erityisesti varustehuoltoa, merkittävästä avusta hankkeen eri vaiheissa.

## LÄHTEET

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

2. Vähäkangas, K., Pesonen, M., Viluksela, M., 2021. Ympäristön kemikaalit ja syöpäriski. Duodecim. 137(16):1639–45

3. Laitinen J, Lindholm H, Aatamila M, Hyttinen S, Karisola P, 2016. Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operaatiivisessa 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>

4. Fent, K., Toennis, C., Sammons D., Robertson, S., Bertke, S., Calafat, A., Pleil, J., Wallace, M., Kerber, S., Smith D., Horn, G., 2019. Firefighters' absorption of PAHs and VOCs during controlled residential fires by job assignment and fire attack tactic. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0145-2>

5. Magnusson, S., Hultman, D., 2015. Healthy firefighters – the Skellefteå Model improves the work environment. <https://www.msb.se/siteassets/dokument/publikationer/english-publications/>

healthy-firefighters-the-skelleftea-model-improves-the-work-environment.pdf

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

7. Stec A., Wolffe T., Clinton, A., 2020. Minimising firefighters' exposure to toxic fire effluents. Interim Best Practice Report. University of Central Lancashire. Minimising firefighters' exposure to toxic fire effluents | Fire Brigades Union (fbu.org.uk)

8. Wolffe T., Turrell, L., Robinson, A., Dickens K., Clinton, A., Maritan Thomson, D., Stec A., 2023. Culture and awareness of occupational health risks amongst UK firefighters. Scientific Reports 13, 97. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-24845-8>

9. Peltola, L. Pelastustoimen haasteet ASA-rekisteröinnissä. Työn syöpävaarallisuus koskettaa myös pelastustoimea, miksi heidän ASA-rekisteröintinsä ei etene? Poliisiammattikorkeakoulun opinnäytetyö/AMK, Pelastusalan päällystötutkinto 11/2022. Pelastustoimen haasteet ASA-rekisteröinnissä (theseus.fi)

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

11. Szmytke, E., Brzezinska, D., Machnowski, W., Kokot, S., 2022. Firefighters' protective clothing – water cleaning method vs liquid CO2 method in aspect of efficiency. Architecture Civil engineering, Environment vol 15, 2:169–176.

Firefighters' Protective Clothing – Water Cleaning Method vs Liquid CO Method in Aspect of Efficiency (sciendo.com)

Valmiita oppitunteja paloturvallisuudesta alkuluokkien opettajien käyttöön!

## Lapsen on tärkeä oppia paloturvallisuutta

Monet alakoululaiset ovat osan päivästä yksin kotona. Hätätilanteessa nopea toiminta on tärkeää ja lapsen oma turvallisuusosaaminen on tarpeen. Lasten on myös tärkeää tietää, että aikuinen on vastuussa perheen turvallisuudesta.

Palojärki-materiaali on suunniteltu tukemaan opetussuunnitelman mukaista laaja-alaisen osaamisen kokonaisuutta, jossa korostuvat itsestä huolehtiminen ja arjen taidot, kuten turvallisuus.

1. ja 2. luokan oppitunnit on suunnitellut SPEK yhteistyössä alaluokkien opettajan kanssa.

Kaikki materiaalit ja tehtävät ovat vapaasti koulujen käytettävissä.



Palojärki.fi

Brandvett.fi



# FIRE-RES: towards greater resilience to extreme wildfire events

## Abstract

Extreme wildfire events (EWE) have become a significant environmental, economic and social threat in Southern Europe, and they also cause increasing concern in the rest of Europe. As the limits of current fire prevention strategies are challenged, there is a growing need to develop new approaches that take into account the root causes and real impacts of EWE. The EU-funded research project "Innovative technologies and socio-ecological-economic solutions for fire resilient territories in Europe" (FIRE-RES) innovates processes, methods and tools for holistic fire management approach to support the transition towards landscapes and communities that are more resilient to EWE. VTT's main role in FIRE-RES is to research and further develop the modelling of extreme fire behaviour taking into account different properties of forest materials, humidity, weather and e.g. phenomena related to the interaction of fire and the atmosphere.

## THE PROBLEM

### A proactive approach is needed for the growing wildfire problem

Climate and land use changes have recently caused a growing wildfire problem, especially in the Mediterranean region, but also in other parts of Europe and the whole world. Growing populations at the wildland-urban interface (WUI), warming and drying climates, and increasing anthropogenic ignitions are causing very intense wildfires, often resulting in very large fire areas and significant impacts on human life and property. Although such occurrences have been evident for some time, current wildfire management practices still focus almost entirely on reactive firefighting and do not adequately and proactively address the root causes of the problem [1]. When rescue services are busy, there is a danger to only focus on known risks. As an alternative to defensive and reactive strategies, proactive approaches are needed [2]. The two main challenges that Europe must prepare to meet in the coming

years are new destructive WUI fires, such as in Portugal in 2017 and Greece in 2018, and unexpected and unprecedented fire behavior in connection with wildfires occurring in the Atlantic, Central and Northern European regions [3].

### Current wildfire models cannot predict extreme fire behaviour

Extreme Wildfire Events (EWE) are wildfires where the interaction between fire and the atmosphere generates pyroconvective behavior, which results in intense, rapidly changing fire behavior exceeding the technical limits of controlling the fire: fireline intensity  $>10.000$  kW/m; rate of spread  $>50$  m/min; spotting distance  $>1$  km [4], [5]. EWEs are caused especially by the formation of pyrocumulus and pyrocumulonimbus (pyroCu and pyroCb) during the convective fire-atmosphere interaction [6]. If enough energy is released by the combustion, the buoyancy of the plume permits its upward convection to the level of vapor condensation, with development of clouds, which in particular conditions of air instability have the shape of pyroCu. Very rarely pyroCu can evolve to pyroCb characterized by considerable vertical development, able to reach heights up to 14 km and generating precipitation, lightning and downdrafts, or even downbursts, which are gusty, erratic and intense winds causing unpredictable changes in fire behaviour [5]. One of the biggest challenges of EWE management is the impossibility of predicting EWEs, in order to adequately prepare for them and in emergency situations to quickly plan a fire prevention strategy and allocate resources [4].

## FIRE-RES PROJECT

### Searching innovative solutions through research

The EU-funded FIRE-RES project "Innovative technologies and socio-ecological-economic solutions for fire resilient territories



► in Europe” [7] has been running since December 2021 and will last a total of four years. The coordinator is the Forest Science and Technology Centre of Catalonia, Spain. 34 partners from 13 countries are involved in the consortium, including researchers, emergency services, technology companies, industry and civil society. The partners from Finland are the European Forest Institute and VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. The European Commission finances the project with 20 million euros through the Horizon 2020 research and innovation programme.

Extreme wildfires are unique in their behavior and difficult to predict. The FIRE-RES project analyzes EWEs and their specific factors and behavior. How do emergency services and the rest of society react to Extreme Wildfire Events? Is it possible to create fire-resistant areas and communities? How do landscape management and sustainability measures relate to each other? In the FIRE-RES project, a proactive management method is introduced and developed to improve society's resilience, risk awareness and communication. Different test areas, so-called Living Labs (LLs) will identify growing fire challenges and define a road map to solve them, as well as test the innovation measures developed in the project, with the aim of minimizing losses caused by EWEs. These LLs extend from Southern Europe (Portugal, Galicia, Catalonia, Sardinia and Greece) to other regions of the EU (Canary Islands, Aquitaine, Netherlands-Germany, Bulgaria and Norway-Sweden) and also outside the EU (Chile).

### Holistic approach to combine practical and scientific knowledge

In order for EWEs to be studied and processed efficiently and effectively, a holistic approach is needed that combines both practical and scientific knowledge. The FIRE-RES project is based on an integrated fire management concept that follows 4 main pillars: 1) Extreme Wildfires' behaviour and drivers, 2) Emergency management, 3) Landscape and economy 4) Governance, society, communication and risk awareness. The goal is to develop, present and implement innovations on a technological, social, health/safety, administrative, ecological and economic level, transfer information to stakeholders and increase society's awareness of extreme wildfire events.

The project will propose an integrative management planning framework to design resistant and resilient WUI as well as decision support tools to deal with the special features of EWEs. This will have an impact on the prevention and preparedness as well as the adaptation and restoration phases of the fire management cycle. Moreover, FIRE-RES will provide an ambitious real-time product with forecasted fire behavior, impact and risk metrics to improve the strategic and tactical analysis of firefighters and fire planners. The system contains information on fuel, terrain, weather and models of wildfires with high spatial and temporal resolution.

The project is organised into Work Packages (WP) as shown in Figure 1. At the beginning of the project, in WP1, a common reference framework will be drawn up for collecting and combining information related to EWE and for creating future scenarios and alternatives as well as for utilizing lessons learned.

### VTT'S ROLE IN THE PROJECT

#### Predicting EWE behaviour and impacts

VTT participates in the task of modelling and decision support system tools, especially the subtask of extreme forest fire behaviour modelling. The goal of this task is to improve fire modelling so that EWE behavior can be more accurately evaluated and predicted and warning systems can be improved with the help of indices derived from modelling. Such improved models will be used to better estimate losses caused by EWE, including buildings and people affected as well as damage to critical infrastructure. In addition, the combustion processes of EWE are modeled and analyzed to understand why existing models do not succeed in predicting EWE with sufficient accuracy.

#### Simulating FireFlux experiments with FDS and OpenFOAM

Simulation development is done at VTT as a collaboration between two fire modeling teams, one of which uses FDS (Fire Dynamics Simulator) as the main modelling tool and the other OpenFOAM, both are open source CFD (computational fluid dynamics) models. At first, the results obtained with different

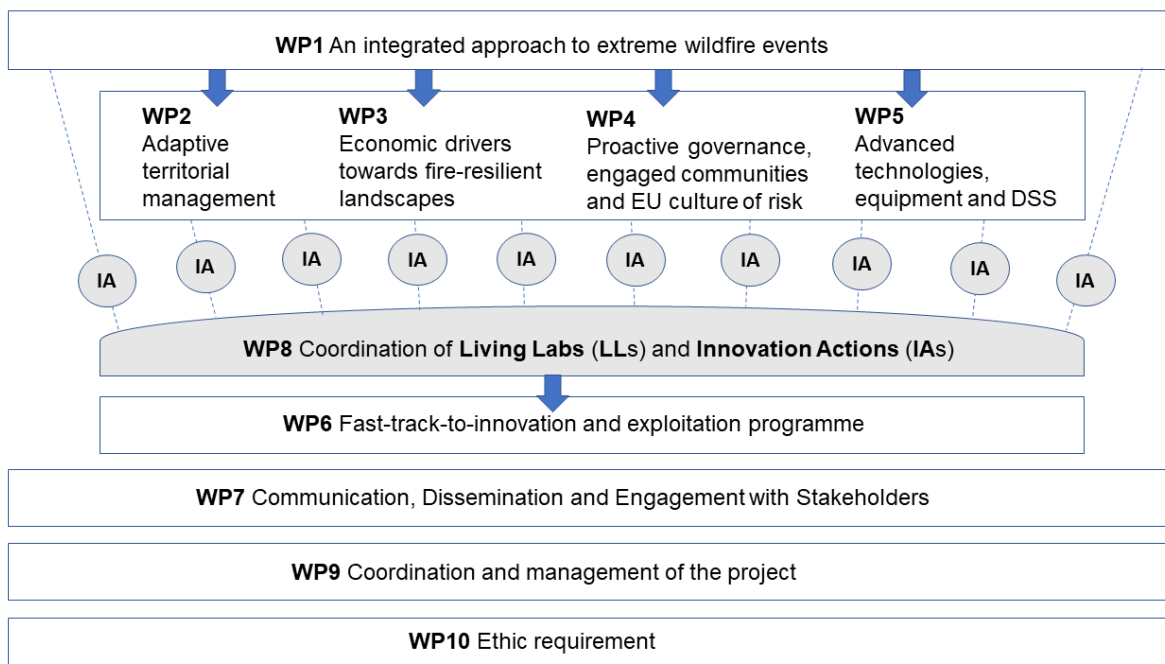


Figure 1. Overall structure of the work plan.

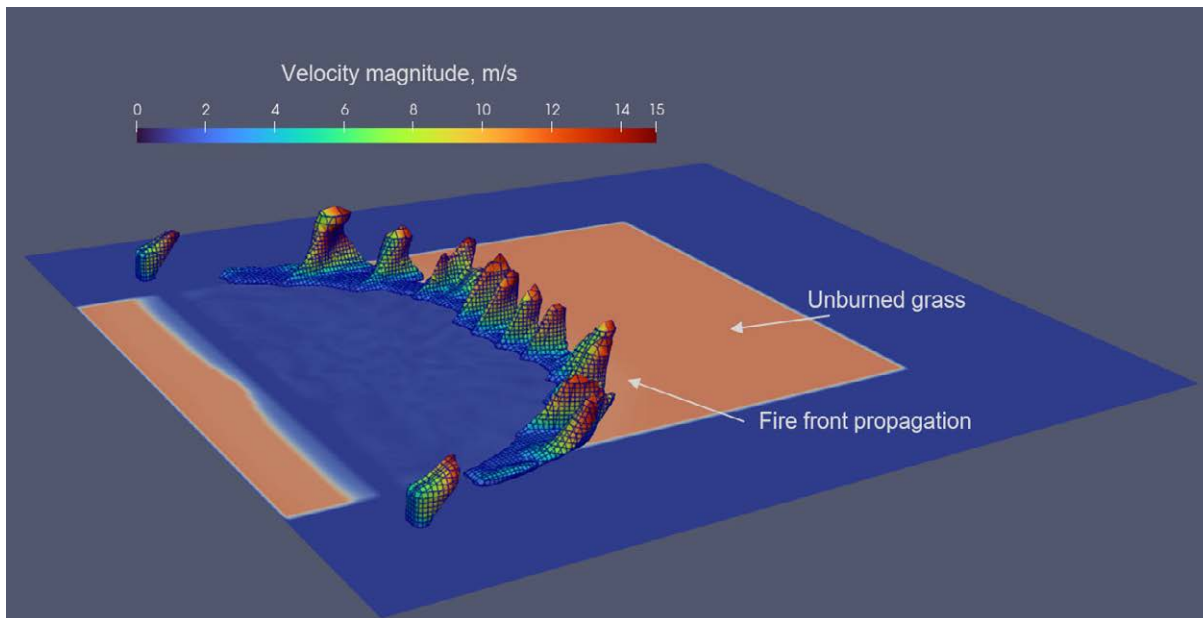


Figure 2. An example of OpenFOAM simulation of a grass fire.

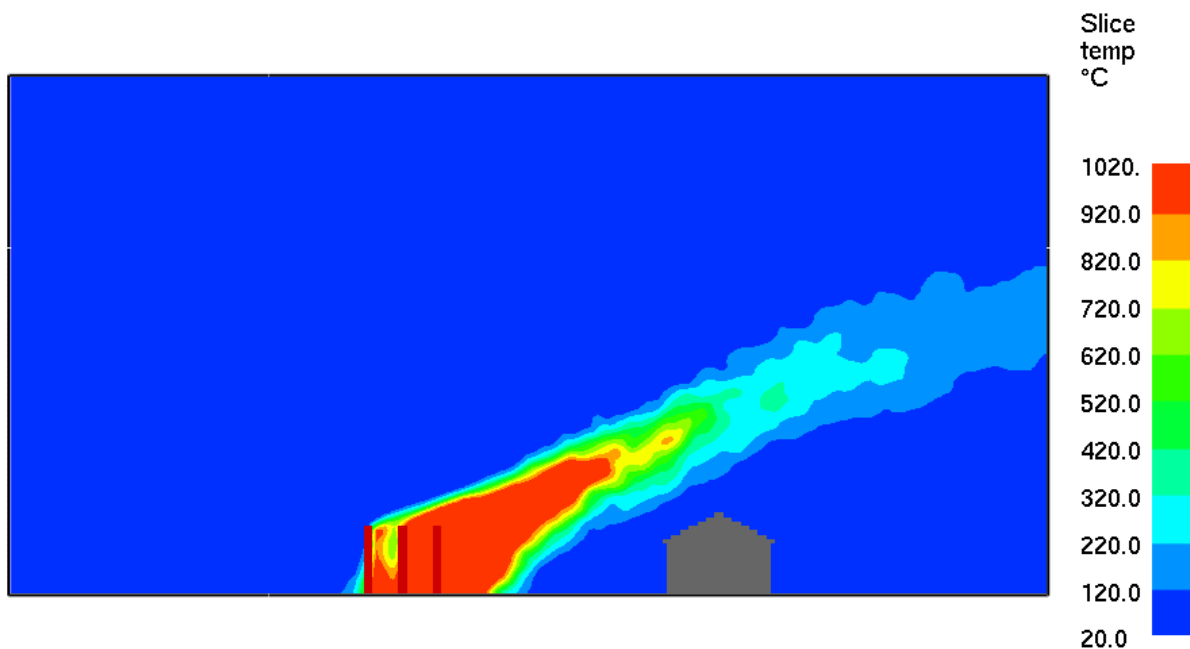


Figure 3. An example of FDS simulation of a forest fire threatening a building.

tools are compared with each other, using Fire-Flux experiment [8] as a validation case. The experiment was conducted in Texas to simulate a wind-driven grass fire on the prairie as accurately as possible. Since validation data from the experiment is available in the literature, the case can be used as a benchmark. Figure 2 shows an example of the OpenFOAM simulations, which depicts the progress of the fire front 150 seconds after the grass ignites. Later, CFD simulations are used to study different process conditions and model parameters to improve the understanding of process behavior.

### Modelling of pyroconvection induced fire behaviour

An EWE is forming due to the coupling of the wildfire induced pyroconvection and the atmosphere. VTT is focusing on the effect of atmosphere on the fire, mainly on the effect of microburst and similar pyroconvection induced local high wind speeds to the development of wildfires. The aim of the work is to find some guidance how the present fuel model types used in wildfire simulation programmes could be extended to include the behaviour of wild-

fire fire loads during the EWE conditions. The analysis and pilot models include the consideration of factors on forest materials, humidity, weather, and behaviour in a downward flow condition, including the momentary thermal stress on, e.g., buildings. The work has been started by simulating with FDS (Figure 1) an old simulation case of the Fire Paradox project [9] about the effect of wind on a forest fire that threatens a nearby building.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This project has received funding from the European Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101037419.

### REFERENCES

1. Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M. A., Moreno, J. M., Pereira, J. M., Catry, F. X., Armesto, J., Bond, W., González, M. E. & Curt, T., Koutsias, N., McCaw, L., Price, O., Pausas, J. G.,

► Rigolot, E., Stephens, S., Tavsanoglu, C., Vallejo, V. R., Van Wilgen, B. W., Xanthopoulos, G & Fernandes, P. M., 2020. Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. Environmental Research Letters, 15, 2020.

2. Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E., Larranaga, A., Nebot, E., Castellarnau, X., Vendrell, J., Pallàs, J., Herrera, J., Monturiol, M., Cespedes, J., Pagès, J., Gallardo, C. & Miralles, M., 2019. Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. Fire Ecology, 15:31, 2019.

3. San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertà, G., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., Maianti, P., Artés Vivancos, T., Costa, H., Lana, F., Löffler, P., Nuijten, D., Ahlgren, A. C. & Leray, T., 2018. Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2017. JRC technical reports. 2018. European Commission, Joint Research Centre, Publications Office.

4. Castellnou, M., Nebot, E., Estivill, L., Miralles, M., Rosell, M., Valor, T., Casals, P., Duane, A., Piqué, M., Górriz-Mifsud, E., Coll, Ll., Serra, M., Plana, E., Colaço, C., Sequeira, C., Skulska, I. & Moran, P., 2022. FIRE-RES Transfer of Lessons Learned on Extreme wildfire Events to key stakeholders. Deliverable D1.1 FIRE-RES project.

5. Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G. M., Fernandes, P. M., Ferreira, C., McCaffrey, S., McGee, T. K., Parente, J., Paton, D., Pereira, M. G., Ribeiro, L. M., Viegas, D. X., & Xanthopoulos, G., 2018. Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. Fire, 1, 9, 2018.

6. Castellnou, M., Bachfischer, M., Miralles, M., Ruiz, B., Stoof, C. R., & Vilà-Guerau de Arellano, J., 2022. Pyroconvection classification based on atmospheric vertical profiling correlation with extreme fire spread observations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 127, 2022.

7. FIRE-RES, 2023. <https://fire-res.eu/>

8. Clemets, C. B., Perna, R. & Jang, M., 2007. Observing the dynamics of wildland grass fires: Fireflux – a field validation experiment, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 88(9), 1369–1382.

9. Sikanen, T., 2009. Fire-Paradox D2.5-4-36 Fire safety analysis around targets using FDS: Final achievements - Transport of firebrands and attack on buildings, Organisation name of lead contractor for this deliverable: VTT Technical Research Centre of Finland, Revision (1000).



## YRITYSTURVALLISUUS- FOORUMI 15.–17.11.2023

Suomen Palopäälysteliiton, Finnsecurityn, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön ja Suomen Paloinsinööriyhdistyksen järjestämä Yritysturvallisuusfoorumi risteillään seuraavan kerran **15.–17.11.2023 Silja Serenadella**.

Yritysturvallisuusfoorumi tuo tänäkin vuonna yhteen turvallisuusalan asiantuntijat ajankohtaisten aiheiden äärelle.

Yritysturvallisuusfoorumissa tapaat kollegoitasi yritysturvallisuuden eri sektoreilta, kartutat tietojasi ja kasvatat ammatillista verkostoasi.

Tule mukaan kasvavaan joukkoomme!

**Lue lisää ja ilmoittaudu:**  
[www.yritysturvallisuusfoorumi.fi](http://www.yritysturvallisuusfoorumi.fi)



SUOMEN PALOPÄÄLYSTELIITTO  
FINLANDS BRANDBEFÄLSFÖRBUND



SUOMEN PALOINSINÖÖRIYHDISTYS ry  
BRANDINGENÖRSFÖRENINGEN I FINLAND rf

Hei  
Palotutkimuksen  
päivien osallistuja!

Koodilla  
**YTF2023**  
voit osallistua  
Yritysturvallisuus-  
foorumille  
jäsenhintaan!



# MARISKA – Maastopalojen riski- ja torjuntakarttojen skaalaus

## Tiivistelmä

Suomea ovat suojanneet tuhoisilta maastopaloilta useat eri tekijät, kuten eri metsätyyppien vuorottelu metsässä, pieni metsikkökuvioiden pinta-ala, erittäin kattava metsätieverkosto ja maantieteellisesti kattava sekä tiheä paloasemaverkosto. Huolimatta Suomen hyvästä tilanteesta on maastopaloilla Suomessakin monia haittavaikutuksia yhteiskunnalle. Maastopaloissa syntyvistä palamisen päästöistä aiheutuu haitallisia terveysvaikutuksia maastopaloja sammuttaville henkilöille sekä muille ihmisille päästöjen kulkeutuessa hyvin pitkien matkojen päähän itse palopaikasta. Lisäksi yhteiskunnalle syntyy kuluja sammuttamisesta ja aineelliset vahingot palaneesta metsästä aiheuttavat vuosittain tappiota niin metsänomistajille kuin vakuutusyhtiöillekin. Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomessakin koetaan yllätyksellisiä maastopalovuosia. Tutkimukset osoittavat, että riski vakaviin metsäpaloihin kasvaa merkittävästi Suomessa tulevina vuosikymmeninä. Suomessa on mahdollista varsin pienin kustannuksin varautua tuleviin maastopaloihin hyödyntämällä olemassa olevaa ajantasaista metsätietoa. Hankkeen tavoitteena oli mahdollistaa maastopalojen riskejä ilmaisevan sekä palontorjuntatyötä tukevan karttapalvelun käyttöönotto pelastustoimessa. Hankkeessa kokeiltiin MEL-LEVÄ-hankkeessa aiemmin kehitettyjen staattisten palokarttojen skaalaamista koko Suomen alueelle.

## TAUSTA JA TARVE

Suomessa tilanne maastopalojen suhteen on pysynyt hyvänä. Maastopalojen määrä ja palaneen maaston pinta-ala vaihtelevat runsaasti eri vuosina, mutta määrissä ei ole havaittavissa merkittävää muutosta viimeisimmän kymmenen vuoden aikana. Suomea tuhoisilta maastopaloilta ovat suojanneet useat eri tekijät, kuten eri metsätyyppien vuorottelu metsässä, pieni metsikkökuvioiden pinta-ala, erittäin kattava metsätieverkosto ja maantieteellisesti kattava sekä tiheä paloasemaverkosto.

Ilmastonmuutoksella on merkittäviä vaikutuksia maastopaloihin mm. ilmastonmuutoksen tuoman alueittaisten kuivien kau-

sien lisääntymisen takia. Ilmasto muuttuu vaikeammaksi ennustaa ja ääriolosuhteita esiintyy entistä useammin. On mahdollista, että Suomessakin koetaan yllätyksellisiä maastopalovuosia, kuten viime vuosina on koettu. Tutkimukset osoittavat, että riski vakaviin metsäpaloihin kasvaa merkittävästi Suomessa tulevina vuosikymmeninä. Lisäksi ilmastonmuutos muokkaa Suomen metsätyyppejä ja lyhentää talvien kestoa. Näiden muutosten vaikutusta maastopaloihin on vaikea arvioida. Voitaneen kuitenkin sanoa, ettei niillä ole ainakaan maastopaloilta suojaavaa vaikutusta.

Tuottamalla MARISKA-hankkeessa maastopalojen riskien arviointiin sekä torjunnan suunnittelun tueksi metsäpalokartat pelastuslaitosten käyttöön edistetään hiilineutraalisuustavoitteen 2035 saavuttamista. Maankäyttösektorin hiilinielut vahvistuvat, kun turvataan metsien säästyminen suurilta paloilta. Hankkeessa tuotettiin karttamuotoon tieto paloriskistä ja vietiin tehokkaasti tieto keskeisten toimijoiden käyttöön.

Hanke toteutti maankäyttösektorin tieto-ohjelmaa edistämällä metsätiedon käytettävyyttä sopeutumiseen, varautumiseen ja riskienarviointiin muuttuvassa ilmastossa. Hankkeessa toteutettiin ja testattiin tehokasta tapa hyödyntää metsävaratietoa maastopalojen torjunnassa. Hanke liittyi haun tieto-ohjelman teeman aiheeseen ”Tieto tukemassa sopeutumista ja riskienarviointia muuttuvassa ilmastossa.” Lisäksi hanke liittyi haun teemaan ”Maa- ja metsätalouden sopeutuminen ilmastonmuutokseen”.

Lisäksi hankkeessa torjuttiin muita maastopalojen haittavaikutuksia. Maastopaloista syntyvät palamisen päästöt aiheuttavat hyvin kauaksi itse palopaikasta ulottuvia haitallisia terveysvaikutuksia väestölle. Myös maastopaloja sammuttavat henkilöt altistuvat terveydelle haitallisille altisteille. Lisäksi yhteiskunnalle syntyy kuluja sammuttamisesta ja aineelliset vahingot palaneesta metsästä aiheuttavat vuosittain tappiota niin metsänomistajille kuin vakuutusyhtiöillekin.

Hanke mahdollisti maastopalojen riskejä ilmaisevan sekä palontorjuntatyötä tukevan karttapalvelun käyttöönoton pelastustoimessa valtakunnallisesti. Hankkeessa kokeiltiin aikaisemmassa

- ▶ MELLEVÄ-hankkeessa kehitettyä staattisten palokarttojen ja sovellusten skaalaamista koko valtakuuntaan. Hankkeessa tarjotaan tarvittavaa karttatietoa selaimella tai mobiililaitteella hätäkeskuspäivystäjän ja palontorjuntahenkilöstön käyttöön. Hankkeessa tehtävä työ hyödyttää myös kehitteillä olevia tulevaisuuden johtajajärjestelmiä, jotka kykenevät avaamaan WMS- ja WFS-karttoja.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

### Staattisten maastopalokarttojen laadinta, Työpaketti 1

MARISKA-hankkeessa tuotetut staattiset maastopalokartat sisältävät tarkkaa avoimeen metsävaratietoon pohjautuvaa ennakkotietoa paloalueen metsistä. Staattisilla kartoilla tarkoitetaan sitä, ettei niihin ole integroitu ajankohdan säätietoa, vaan ne koostuvat pelkästään puustoa ja maastomuotoja kuvaavista tekijöistä.

Tuotettuja maastopalokarttatasoja oli seitsemän: puuston pituus, latvuksen alaraja, latvusmassan määrä, latvusmassan tihe-

ys, syttymisherkkyys, kulkukelpoisuus ja pääpuulajit. Niiden lisäksi ProMS-sovelluksesta löytyy erilaisia taustakarttatasoja, kuten maastokartta, ilmakuva ja vinovalovarjoste.

Kartat on tuotettu seuraavista lähtöaineistoista:

1. Maanmittauslaitoksen avoin laserkeilausaineisto. Osa Suomesta on keilattu tiheydellä 0,5–1 pt/m<sup>2</sup> ja osa tiheydellä 5 pt/m<sup>2</sup>. Kumpikin aineisto käy karttojen tuotantoon.
2. Avoin metsävaratieto.
3. Maastotietokanta. Maanmittauslaitoksen avoin aineisto.

### Hankkeessa kehitetyt Mariska-karttatasot

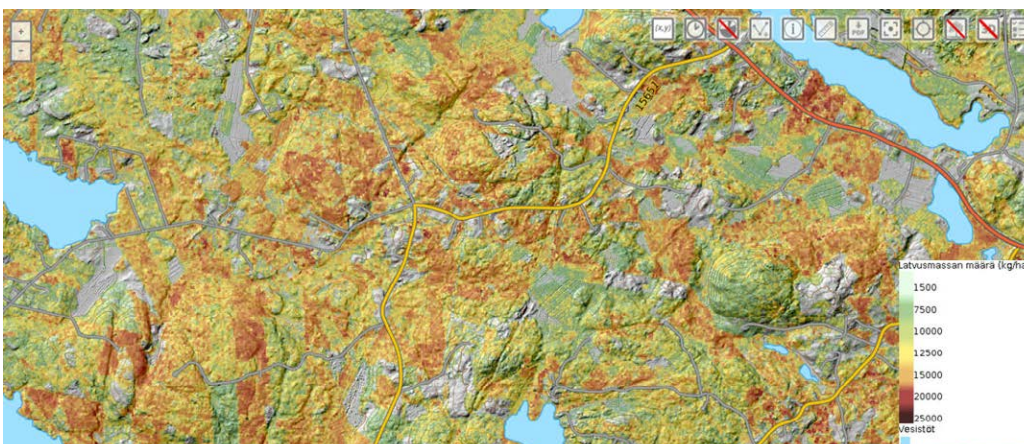
Puuston pituuskartta (kuva 1) on tuotettu Arbonautin ArboLiDAR-järjestelmällä. Ensinnäkin pisteaineiston kaikkien pisteiden Z-koordinaatista vähennetään maan pinnan korkeuden Z-koordinaatti, jolloin jäljelle jää pisteen korkeus maan pinnasta. Pisteistä valitaan kasvillisuus pisteet, joiden korkeus rasteroidaan



Kuva 1. Puuston pituutta kuvaava karttataso.



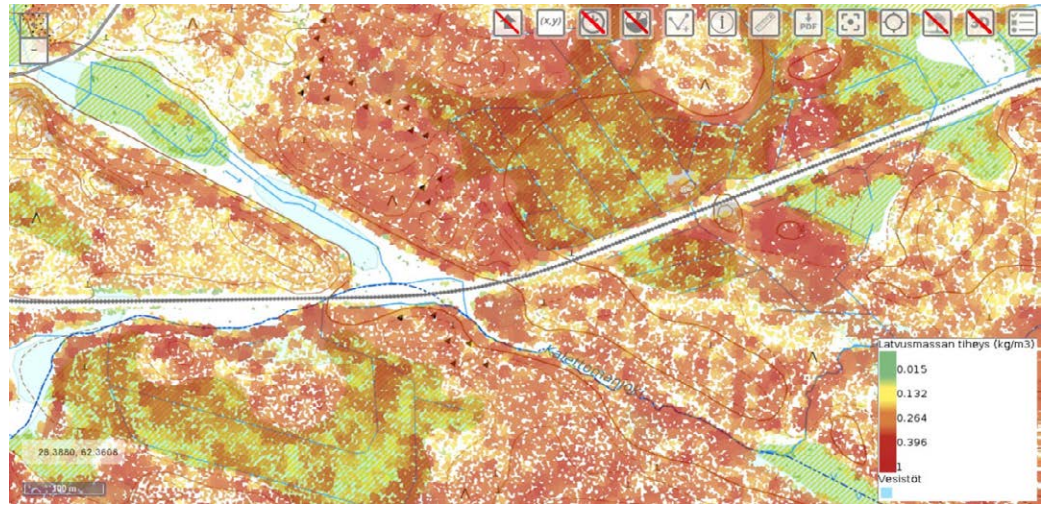
Kuva 2. Latvuksen alarajaa kuvaava karttataso.



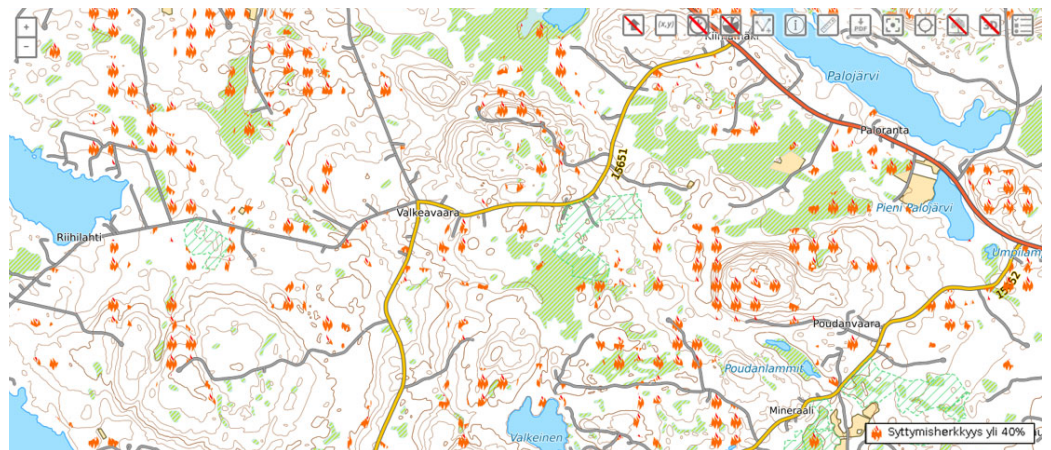
Kuva 3. Latvusmassan määrää (kg/ha) kuvaava karttataso.



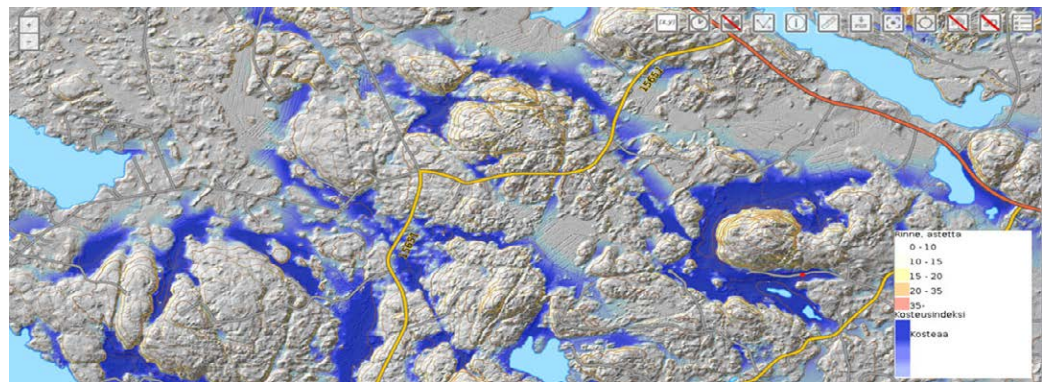
Kuva 4. Latvusmassan tiheyttä (kg/m<sup>3</sup>) kuvaava karttataso.



Kuva 5. Syttymisherkkyyttä kuvaava karttataso.



Kuva 6. Kulkukelpoisuutta kuvaava karttataso.



ArboLiDAR-järjestelmän kasvillisuuden pituuskartan tuottamiseen tehdyllä työkalulla. Työkalu siistii aineistoa rasteroitaessa, mm. täyttää datassa mahdollisesti olevia reikiä ja laajentaa korkeita arvoja sisältävien pikselien joukkoa, jotta latvukset näyttävät luonnollisilta. Lopuksi aineisto tyylitetään Arbonautin tuottamalla tyylillä. Puuston pituus kertoo minkä pituista puustoa paloluella ja sen ympäristössä on.

Latvuksen alaraja (kuva 2) kertoo, millä korkeudella latvuksen alin oksa on. Sen perusteella voidaan arvioida maastopalon latvapaloksi nousemisen riskiä. Latvuksen alaraja tuotettiin Arbonautin tuottamalla mallilla, joka perustuu maastoreferenssimittauksiin. Mittausdata on Itä-Suomesta, mutta soveltuu laskentoihin koko Suomen alueella. Referenssidatassa on mukana koealoja eri puulajien metsistä. Tarvittaessa voidaan paikallisella mallilla parantaa mittaustarkkuutta jonkin verran Suomen eri alueilla. Lopuksi aineisto on tyylitetty Arbonautin tuottamalla tyylillä.

Latvapaloriskin arvioinnin tueksi hankkeessa on tuotettu tasot latvusmassan määrä (kuva 3) ja tiheys (kuva 4). Latvusmassan määrä ja tiheys kuvastavat latvuksessa olevan paloaineksen määrää, joka osaltaan vaikuttaa latvapalon intensiteettiin.

Latvusmassan määrä on laskettu laserkeilausaineistosta Andersen et al. (2005) kehittämällä mallilla, joka perustuu kanadalaiseen referenssiaineistoon. Laskennat on toteutettu käyttäen ArboLiDAR-työkalua. Mallin on todettu antavan kohtuullista tarkkuutta eri puolilla maailmaa borealisella vyöhykkeellä. Aineiston tarkkuutta voidaan myöhemmin parantaa paikallisilla malleilla. Lopuksi aineisto on tyylitetty Arbonautin tuottamalla tyylillä.

Syttymisherkkyys (kuva 5) kuvastaa alueita, jotka syttyvät herkästi kuivan ja kuuman ajanjakson jälkeen, kuten hakkuuaukot ja pienet taimikot. Syttymisherkkyys on tuotettu Avoimesta metsävaratiedosta loogisin operaattorein käyttämällä Lindbergin ym. (2011) tutkimustuloksia logiikan lähtökohtina.



► Metsikkökuviaaineistoa on luokiteltu syttymisherkkyyden mukaan ja karttaan on valittu herkimmin syttyvät alueet. Kartta on ohjeellinen. On suositeltavaa parantaa tulosta siirtymällä myöhemmin palon leviämisindeksien käyttöön. Kartta parantaa kuitenkin sammutushenkilöstön toimintamahdollisuuksia ja sitä voidaan tarkentaa jatkohankkeissa lisätutkimuksiin perustuvilla malleilla, kun karttojen käyttö vakiintuu. Aineisto on tyyllitetty Arbonautin tuottamalla tyyllillä.

Kulkukelpoisuuskartta (kuva 6) perustuu LUKE:n ja tutkimuslaitosten tutkimuksiin puunkorjuukoneiden liikkuvuudesta (Väättäinen ym. 2013), Kulkukelpoisuuskarttaa on edelleen kehitetty Arbonautissa asiakaskokemusten pohjalta. Aineisto on tyyllitetty Arbonautin tuottamalla tyyllillä.

Kulkukelpoisuus-taso helpottaa paloalueelle lähestymistä. Sen avulla voidaan nähdä vaikeakulkuiset rinteet tai kosteat alueet, jolloin paloalueelle lähestymistä voidaan suunnitella, helpottaa ja nopeuttaa.

Alunperin tasoja oli kuusi, mutta käyttäjäpalautteiden perusteella lisättiin yksi karttataso. Lisätty taso oli pääpuulaji-kartta (kuva 7), jonka koettiin antavan olennaista lisätietoa sammustustyöhön.

Pääpuulajikartta on tuotettu Avoimesta metsävaratiedosta. Aineisto on tyyllitetty Arbonautin tuottamalla tyyllillä. Kun puuston pituus tasoa tarkastellaan yhdessä pääpuulajikarttatason kanssa, saadaan nopeasti käsitys paloalueen metsästä.

### Maastopalokarttojen käyttäjäkokemukset pelastustoiminnan ohjaamisessa ja johtamisessa, Työpaketti 2

Staattisten maastopalokarttojen käytöstä kerättiin käyttäjäkokemuksia koko hankkeen keston ajan. Käyttäjäkokemuksia kerättiin testaamalla maastopalokarttoja pelastustoimen henkilöstön ja alan opiskelijoiden käytössä. Pelastustoimen henkilöstöstä muodostettiin testausryhmä, johon kutsuttiin osallistujia Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston ja marraskuussa 2021 järjestetyn metsäpalohankkeiden RoadShow-tapahtuman kautta. Testausryhmään kuului 19 henkilöä pelastuslaitoksilta ja 5 kappaletta muissa tehtävissä toimivia metsäpaloasiantuntijoita.

Testausryhmä testasi karttoja omatoimisesti ja testausta varten tehtyjen tehtävien avulla. Omatoiminen testaus koostui pääosin Proms-sovelluksen käytön testauksesta, karttatasojen selailusta ja tulkinnasta, sekä maastovertailusta. Tehtävät sisälsivät kuvitteellisia maastopalotilanteita, joiden sammutuksessa oli käytettävä apuna hankkeessa tuotettuja maastopalokarttoja.

Testausryhmään osallistuminen oli vapaaehtoista ja sitä tehtiin omien aikataulujen ja työn puitteissa. Testausryhmälle järjestettiin Teams-etätapaamisia noin kuukauden välein, jolloin testausryhmäläisillä oli mahdollisuus antaa palautetta ja kehitysideoita

sekä kysyä karttoihin liittyviä kysymyksiä. Käyttäjäkokemuksia kerättiin Forms-kyselyillä, tehtävien avulla ja suullisesti Teams-tapaamisten kautta. Jokainen palaute kerättiin ylös ja karttoja kehitettiin saadun palautteen avulla vastaamaan paremmin loppukäyttäjän tarpeita.

### Ennakkosuunnittelutehtävät ja palotilannetestaukset

Testausryhmän lisäksi viisi pelastuslaitosta sitoutui maastopalokarttojen testaukseen, jonka tarkoituksena oli kerätä käyttäjäkokemuksia oikeiden maastopalotilanteiden jälkeen. Tarkemmassa testauksessa oli tarkoitus arvioida maastopalokarttojen käytettävyyttä ja niistä saatavia hyötyjä arvioimalla, mitä hyötyä karttoista oli oikean maastopalotilanteen aikana. Lisäksi osa tarkempaan testaukseen valituista pelastuslaitoksista teki ennakkosuunnitelman valitsemalleen tärkeälle alueelle, tavoitteena tehostaa sammutustoimintaa mahdollisesti syttyvän palon sammuttamiseksi.

Esimerkiksi ennakkosuunnitelma tehtiin mm. Lieksan Patvinsuon kansallispuistoon, jossa kuvitteellinen metsäpalo oli saanut alkunsa laavulta Pienen Surkanvaaran lounaisosassa (kuva 8). Patvinsuon kansallispuisto on eteläisen Suomen suurin ja kansainvälisesti merkittävä suoluonnon suojelu ja tutkimusalue. Sen alueella on erittäin laaja retkeilyreitiverkosto. Testiryhmän tehtävä oli tunnistaa palon leviämisen kannalta merkittävät maaston muodot, palokatkot ja muut kriittiset seikat. Lisäksi tuli suunnitella toimenpiteet, joilla metsäpalon leviäminen saataisiin pysäyttämään.

Mariska-kartat tarjosivat tärkeää ja olennaista tietoa sammustustyön suunnitteluun haastavalla alueella sijainneessa kohteessa. Alueen saavutettavuus oli huono, suon ympäröimä alue oli käytännössä saari ja sille on pitkä matka lähimmältä tieltä. Kosteudesta huolimatta sammutusvettä oli saatavilla ainoastaan puroista. Mariska-kartoista testiryhmä havaitsi ja tunnisti latvapalon riskitekijät: vaaran jyrkästi nouseva rinne, alhaalla oleva oksaraja, vaihteleva puuston pituus sekä suuri ja yhtenäinen latvusmassa (kuva 9). Testausryhmä totesi tärkeimmäksi tavoitteeksi estää palon leviäminen Surkanvaaraan.

### Kriisi- ja suuronnettomuusharjoitus (KriSu-harjoitus)

Pelastusopisto järjestää vuosittain laajamittaisen pelastustoiminnan kriisi- ja suuronnettomuusharjoituksen, KriSu-harjoituksen. Vuoden 2022 harjoituksessa testattiin Pelastusopiston opiskelijoiden toimintaa erilaisissa onnettomuuksissa Pelastusopiston johtamisen simulaattoreissa. Simuloiduissa onnettomuuksissa harjoitellaan pelastustoiminnan johtamista sekä harjoitukseen osallistuvien henkilöiden yhteistoimintaa, viestintää ja paineensietokykyä. KriSu-harjoituksessa (14.2.–15.2.2022) oli mukana kuvitteellinen metsäpalotilanne, jonka sammuttamisessa hyö-

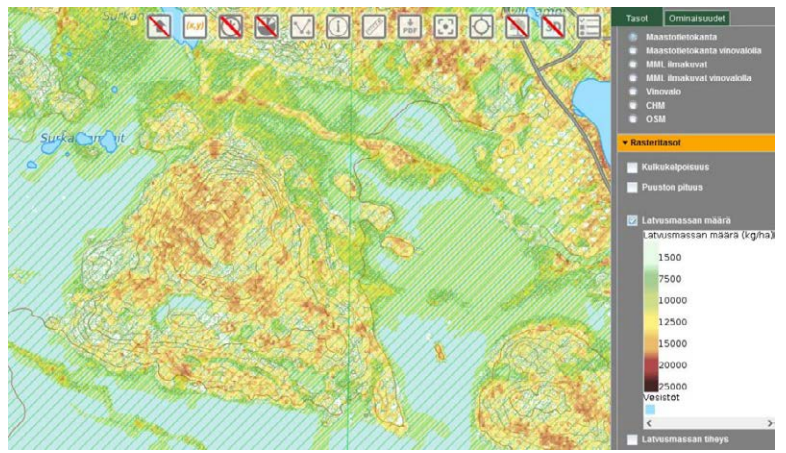


Kuva 7. Kuviorajoja ja pääpuulajia kuvaava karttataso.

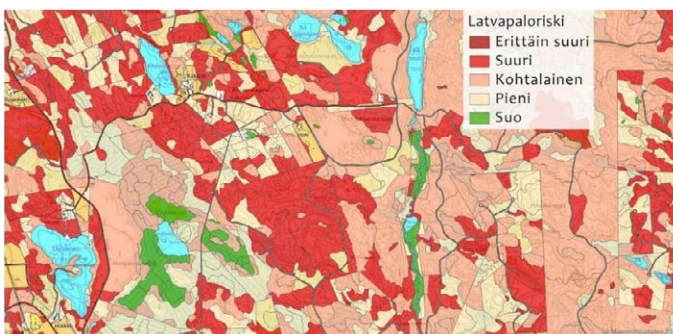




Kuva 8. Patvinsuon kansallispuisto, laavu ja kuvitteellinen palo-alue.



Kuva 9. Latvusmassan määrää kuvaava kartta Pienestä Surkanvaarasta.



Kuva 10. Esimerkki kuvioittain luokitellusta latvapaloriskistä.

dynnettiin hankkeessa tuotettuja maastopalokarttoja. Harjoituksen jälkeen opiskelijoilta kerättiin palautetta Forms-kyselylomakkeella maastopalokarttojen käytettävyydestä ja hyödyllisyydestä maastopalotilanteessa.

### Maastopalojen varautumissuunnitelma ja palokarttojen kustannus- ja vaikuttavuusarvio, TYÖPAKETTI 3

Hankkeessa tuotettiin Pohjois-Karjalan alueelle paikkatietomethodin metsien kuviokohtainen paloainestyyppi- ja siihen



Kuva 11. Rakennusten maastopaloriski-indeksin laskentatapa.

**"Testiryhmän tehtävä oli tunnistaa palon leviämisen kannalta merkittävät maaston muodot, palokatkot ja muut kriittiset seikat. Lisäksi tuli suunnitella toimenpiteet, joilla metsäpalon leviäminen saataisiin pysähtymään."**

pohjautuvat syttymisherkkyys- ja latvapaloriskikartta-aineistot. Hankkeen aikana ilmeni lisäksi tarve arvioida rakennettuun ympäristöön kohdistuvia maastopaloriskejä, joten sen tueksi kehitettiin ja pilotoitiin rakennusten maastopaloriski-indeksiluokitusta.

Molempien aineistojen todettiin soveltuvan laajennettaviksi valtakunnallisiksi tuotteiksi, jolloin tietoja voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa kattavammin alueellisessa maasto- ja metsäpalojen varautumissuunnittelussa. Työssä hyödynnettiin Suomen metsäkeskuksen avointa metsävaratietoa, joka soveltui hyvin paloriskien selvittämiseen. Määritetyt paloainestyytit pohjautuivat Suomen olosuhteissa tehtyyn tutkimukseen (Lindberg ym. 2011). Pohjois-Karjalan metsäkuviot luokiteltiin syttymisherkkyuden ja latvapaloriskin mukaan (kuva 10).

Rakennusten maastopaloriski-indeksissä huomioitiin edellä mainittujen metsien paloriskitietojen lisäksi myös Pohjois-Karjalan pelastuslaitokselta saatu palojen syttymissijaintitieto (poimittu PRONTO-järjestelmästä), paloasemaverkoston ja rakennusten

- ▶ välinen saavutettavuus sekä rakennustiheys (Kuva 11). Suomessa ei ole tietääksemme aiemmin esitetty rakennuksiin kohdistuvia maastopolariskejä kartalla yhtä tarkasti tai perusteellisesti hyödyn- täen wildland- urban interface lähestymistapaa. Vastaava indeksi olisi määriteltävissä myös muille rakennetun ympäristön kohteille.

### Palokarttojen kustannus- ja vaikuttavuusarvio

Mariska-karttojen käytettävyyttä ja tarpeellisuutta pelastustoimes- sa kartoitettiin myös asiantuntijahaastatteluilla, joita tehtiin 13 kappaletta. Suurimmalla osalla haastatteluista oli vankkaa asian- tuntijuutta metsä- ja maastopaloista, monet työskentelivät tai oli- vat työskennelleet pelastustoimessa ja muutamalla henkilöllä oli metsäpaloihin liittyvä tutkijatausta. Haastattelun kysymykset oli laadittu niin että niihin vastaaminen ei edellyttänyt käyttökoke- musta pelastusalalta.

### POHDINTAA

Hankkeen tuloksena oli laadullinen kehittämistyöhön ja testauk- seen perustuva yhteinen näkemys Mariska-karttojen hyödyllisyy- destä. Haastatellut asiantuntijat toivat esille näkemyksen siitä, että juuri johto- tai tilannekeskuksessa tällaisesta karttatiedosta olisi hyötyä tilannekuvan muodostamisessa ja operaatioiden suunnit- telun tukena. Tuotetulla karttamateriaalilla voidaan lyhentää tehokkaan vasteen tuottamiseen kuluva aikaa maastopaloissa. Esi- merkiksi paloalueen saavutettavuus voidaan arvioida jo ennen alueelle saapumista.

Ratkaisuna pidettiin sitä, että 2024 pelastustoimen käytössä oli- si viiden tilannekeskuksen tarjoama maastopalojen riskikartta- palvelu. Tilannekeskukset tarjoaisivat varautumisen 24/7 maas- topalokauden aikana, jolloin on jatkuvasti saatavilla karttapalve- lu ja sen asiantunteva tulkinta sekä konsultaatio sammutustyöhön.

Jotta toiminnan jatkuvuus voidaan turvata maastopalokaudelle 2023 tulisi vuonna 2022 pilotoidun palvelun jatkoaika suunnitella vähintään tilannekeskuksille. Nämä olivat Tampere, Oulu ja Kuo- pio. Näissä yksiköissä olisi jatkuvasti näin vuoden 2023 aikana tar- jolla yllä mainittu 24/7 karttapalvelu ja konsultaatio.

### KIITOKSET

Kiitämme maa- ja metsätalousministeriön hiilestä kiinni -tutki- mus- ja innovaatio-ohjelmaa -hankkeen yhteiskehittämisen mah- dollistavasta rahoituksesta, sekä hankekumppaneita Suomen met- säkeskusta ja Arbonaut Oy:tä projektin hienosta lopputuloksesta.

### LÄHDELUETTELO

Anderesen, H-E., McGaughey, R.J. & Reutebuch, S. E., 2005. Es- timating forest canopy fuel parameters using LIDAR data. Remo- te Sensing of Environment 94: 441–449.

Lindberg, H., Heikkilä, T.V. & Vanha-Majamaaz, I., 2011. Suo- men metsien paloainekset - kohti parempaa tulen hallintaa. [http://www.metla.fi/julkaisut/muut/Suomen\\_metsien\\_paloainekset-suojattu.pdf](http://www.metla.fi/julkaisut/muut/Suomen_metsien_paloainekset-suojattu.pdf)

Väätäinen, K., Lamminen, S., Ala-Ilomäki, J., Sirén M., & Asikainen, A., 2013. Kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisessa puunkorjuussa – kooste hankkeen avaintuloksista. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536186/mwp279.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luoto, M., Karvonen, S., Hiltunen, H., Kiviranta, K.; Leminen, A., Leppänen, V., Puustinen, A., Suvanto, H., & Leskinen, L.A., 2022. MARISKA- eli maastopalojen riski- ja torjuntakarttojen skaalaus hankkeen loppuraportti. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/loppuraportti.pdf>

## ENERGIANSÄÄSTÖ TURVALLISESTI

### SÄHKÖKATKOT



## Kuka vain voi tänä syksynä järjestää varautumisillan

- Vanhempainyhdistys, taloyhtiö, paikallinen yhdistys tai sinä itse
- Teemoina sähkökatkoihin varautuminen ja turvallinen energiansäästö

Maksuttoman materiaalin ja ohjeet saat SPEKin sivuilta:  
[www.spek.fi/varautumisillat](http://www.spek.fi/varautumisillat)



# Fire accident analyses for the DEMO fusion power plant

## Abstract

Fusion power plants are inherently safer than fission power plants, posing very low risk to populations in the vicinity and generating no long-lasting waste. However, there are still several safety topics to be studied and confirmed, one of those being fire safety. This paper describes the work on fire accident analyses for the DEMO fusion power plant. Fire accident analyses of the lithium-lead component room inside the DEMO Tokamak building were performed, and preliminary fire zoning principles of the DEMO power plant were studied. The analyses were performed utilizing computational fluid dynamics simulations with Fire Dynamics Simulator software, as well as fire zone models and analytical calculation methods. Based on the results, the fire safety of the lithium-lead component room is considered to be on an acceptable level. A fire originating in the room is likely to propagate to or damage only equipment which are located relatively close to the fire origin, the exact distance depending on the size of the fire. For defining fire zoning principles, failure risks of fire sector partitions depending on room dimensions and fire load densities were mapped, and tables and graphs for design were produced.

## INTRODUCTION

Fusion energy production is of immense interest worldwide due to its enormous merits. The fuel it requires is abundant everywhere on the planet: it is extracted from sea water and the crust of the earth. Fusion does not emit any greenhouse gases, and fusion power plants are inherently safer than fission power plants, posing very low risk to populations in the vicinity and generating no long-lasting waste.

The EUROfusion programme is based on the Roadmap to the Realisation of Fusion Energy [1]. The programme has two main pillars: 1) Preparing for ITER experiments [2], and 2) Developing a concept for the future demonstration fusion power plant DEMO [3]. ITER is an experimental nuclear fusion facility, under

construction in France. DEMO is currently in conceptual design phase, and its construction is planned to start 2040.

Despite the inherent safety of fusion power plants compared to fission power plants, there are still several safety topics to be studied and confirmed. One of those is fire safety. This paper describes the work on fire accident analyses for the DEMO fusion power plant.

Fire risk analysis for DEMO includes fire hazard identification and fire consequence assessment. Foremost, the fire safety analysis should show that any radioactive releases will remain within the plant limits and no conditions for cliff-edge effects will occur. The main radioactive hazard is related to the hydrogen isotope tritium which is used as a fuel together with the hydrogen isotope deuterium. The activation products that are induced by the neutron flux from the fusion reaction also pose hazard potential. In addition, protection of personnel and property are evaluated. Also fires occurring as a secondary effect of other external hazards are considered. Areas of primary interest are high-risk areas, such as those which include critical equipment, radioactive material inventories or large fire loads. In the forthcoming years, the analysis will cover all relevant DEMO buildings.

In this paper, we introduce the fire accident analyses results of the lithium-lead component room inside the DEMO Tokamak building and the preliminary fire zoning principles of the DEMO power plant. The Tokamak complex building is used as an example because it has the most mature design among all buildings in the planned DEMO plant. Also, the Tokamak building complex composes the most significant risk for radioactive releases as it contains the main radioactive inventory.

The main challenge of this work comes from only partly specified design of the DEMO power plant. Furthermore, the currently unknown location of DEMO makes it impossible to evaluate the design in comparison to the local fire safety legislation of buildings. Nonetheless, fire accident analyses based on limited

- ▶ data have provided interesting and crucial insights for the initial safety screening of the facility.

## FIRE RISK ANALYSIS OF DEMO LITHIUM-LEAD COMPONENT ROOM

The accident scenario studied is a fire in the lithium-lead (LiPb) component room of the DEMO power plant. LiPb is in high temperature, thus being liquid in the pipes and storage tanks. There is tritium in the LiPb liquid loop due to the neutron irradiation that produces tritium. One function of the LiPb room is to take out tritium from the liquid LiPb mixture.

The objectives of the work were to evaluate 1) the potential impact of a fire on critical process equipment, based on their structural characteristics and the temperature reached, and 2) the risk and the consequences of a release of source terms, following the failure of a critical process component.

### Room definition

The input data required for the simulations was either collected from available drawings and room description documents or estimated. The chosen input variables are presented in Table 1. For simplification, all equipment in the room have the same surface properties. The chosen surface thickness is conservative, as the equipment do not present a major heat sink in the room. Only adiabatic surface temperatures were considered when assessing the safety of the equipment in the room.

Variable	Value(s)
Wall material	Concrete, thickness 1.25 m
Wall leakage	$5.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{m}^2$
Equipment material	Steel, thickness 5 mm
Fuel (gaseous)	CH <sub>4</sub>
Ambient temperature	20 °C
Room pressure	-120 Pa, VDS maintains also during a fire
Fire damper activation	Gas temperature at damper > 70 °C or controlled by smoke/heat detector in the room ceiling
Smoke detectors	Two in the space
Air change rate	1 air change/hour 10 air changes/hour
Amount of tritium in LiPb loop	15 g

Table 1. Chosen input variables.

The main equipment in the room include relief/circulation tanks, tritium extraction systems, activated products removal systems, cold traps and their purification systems, coolers, air blowers, heat exchangers, vacuum pumps, mechanical loading pumps, and rupture disks. The locations, quantities, shapes and dimensions of the equipment were obtained from drawings.

### Room fire loads and design fires

The fire load in the LiPb component room consists of oil in mechanical and vacuum pumps, combustibles in the equipment, wiring and other combustibles of lamps, lighting switchboard, instrumentation devices including wiring, transmitters, pneumatic supplies and wiring of valves, power and lighting cables, and LiPb in the circuit. The estimated fire load is 134 MJ/m<sup>2</sup> without LiPb, and 240 MJ/m<sup>2</sup> including LiPb.

Based on the current knowledge of the room's fire load, there is no concentration of major fire load in any position in the room, but instead it is distributed quite evenly in the room. The most likely sources of fire are considered to be either lubrication oil from a pump after it has been spilled or combustible parts of the electrical equipment [4]. Three different design fires were select-

ed for the simulations: 1) a lubrication oil fire with efficient spill containment, 2) a lubrication oil fire without efficient spill containment leading to larger fuel area, and 3) an electrical equipment fire. The heat release rates (HRR) of the design fires are presented in Figure 1. In addition, the fire can propagate to other equipment in the simulations.

### Fire simulations

Based on fire hazard identification, room fires were simulated, and the consequences were analysed based on computational fluid dynamics (CFD) simulations made with Fire Dynamics Simulator (FDS) software [5, 6]. As a result, the possible propagation mechanisms of the fire, the effects of the fire on its surroundings and the possibility of the release of dangerous materials to the environment were assessed.

Safety risks to equipment, cables, piping etc. were assessed based on adiabatic surface temperatures of the main equipment, radiation received by the equipment, gas temperature in different locations, pressure and gas concentrations in the room, and air flows in and out of the room. The simulation model, shown in Figure 2, was made based on the available 3D CAD model and 2D room arrangement.

The fire simulations performed are listed in Table 2. Figure 3 illustrates an example of the simulations.

### Results and conclusions

The simulation results are summarized in Table 3. Based on the results, the fire safety of the LiPb component room is considered to be on acceptable level. A fire originating in the room is likely to propagate to or damage only equipment which are located relatively close to the fire origin, the exact distance depending on

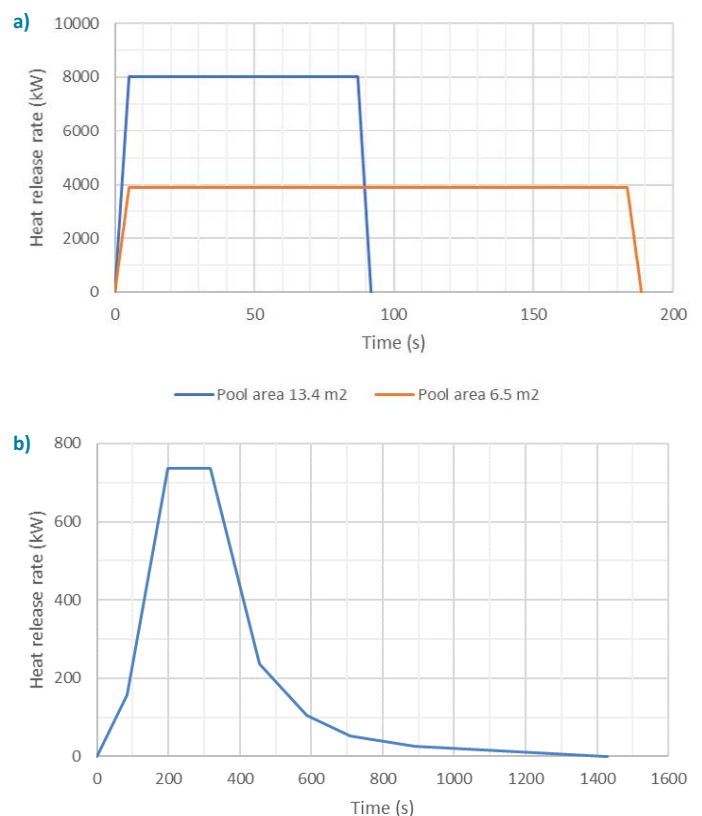
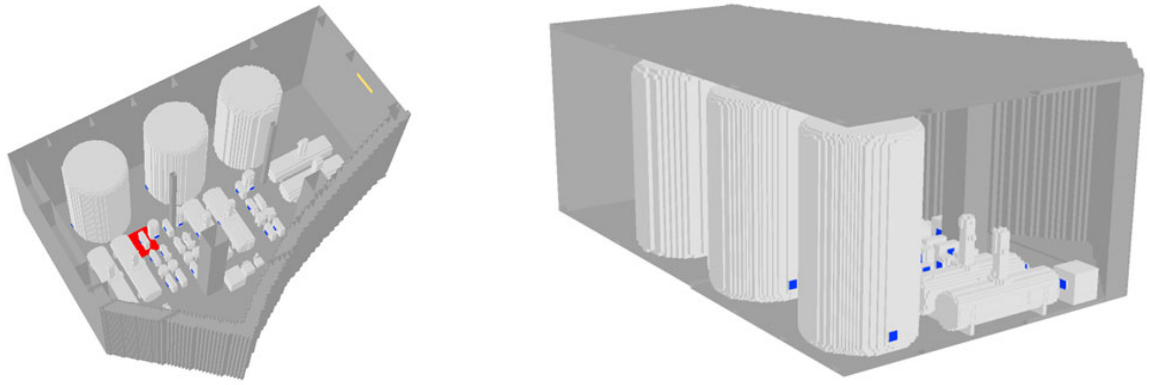


Figure 1. Heat release rates of design fires: a) Lubricant oil fires, b) electrical equipment fire.

Figure 2. Simulation model. Ceiling hidden from view on the left figure, and two walls hidden on the right figure. The pool fire is shown as red square in the floor, and the electrical equipment which can ignite are shown in blue on the sides of the main equipment.



Design fire	Ventilation	Note(s)
Electrical equipment	Approx. 1 air change/hour	
Electrical equipment	Approx. 10 air changes/hour	
Small lubrication oil pool	Approx. 1 air change/hour	
Small lubrication oil pool	Approx. 10 air changes/hour	
Large lubrication oil pool	Approx. 1 air change/hour	
Large lubrication oil pool	Approx. 10 air changes/hour	
Large lubrication oil pool	Approx. 1 air change/hour	Damper closure by smoke detector
Large lubrication oil pool	Approx. 10 air changes/hour	Ventilation at constant rate
Large lubrication oil pool	Approx. 1 air change/hour	LiPb circuit rupture postulated

Table 2. Fire simulations performed.

the size of the fire. Only directly above the fire, the gas temperature is probably high enough to cause ignition or severe damage.

At the time when this study was made, a design for the room ventilation did not yet exist. The pressure increase in the room is dependent on the capacity and behaviour of the ventilation system and its interaction with a fire, clearly demonstrated by the simulation results.

It should be noted that the available specifications, which this study is based on, are still on very early stage, and many assumptions had to be made in the study. The scenarios should be reassessed, when more accurate and detailed information is available.

### PRELIMINARY FIRE ZONING PRINCIPLES OF DEMO POWER PLANT

In the work aiming at the definition of fire zoning principles of the DEMO power plant, the Tokamak complex building is used as an example. The focus of the analyses is on the passive fire protection measures through concrete walls considering assumed combustibles in the building and the burning behaviour in tandem with the prevailing ventilation conditions. The fire load can include an extensive network of cables, electrical cabinets, lubricant oils, and other miscellaneous items.

As breach of confinement barriers, being one of the most prominent concerns, can lead to the release of radioactive or other hazardous material to the environment, this work focuses on extremely long fires, up to 240 hours, that can threaten the fire sector boundaries and hence the confinement through thermal penetration. Thermal penetration times for the walls and floors were calculated using their thickness and diffusivity. The rooms analysed first are the vacuum pumping rooms and some vertical shafts in the Tokamak building. The numerical and simulation methods used include an analytical approach, two fire zone models (CFAST [7] and OZone [8, 9]), and a CFD based fire simulation programme (FDS [5, 6]). The used methods exemplify how preliminary investigation of the confinement failure can be done

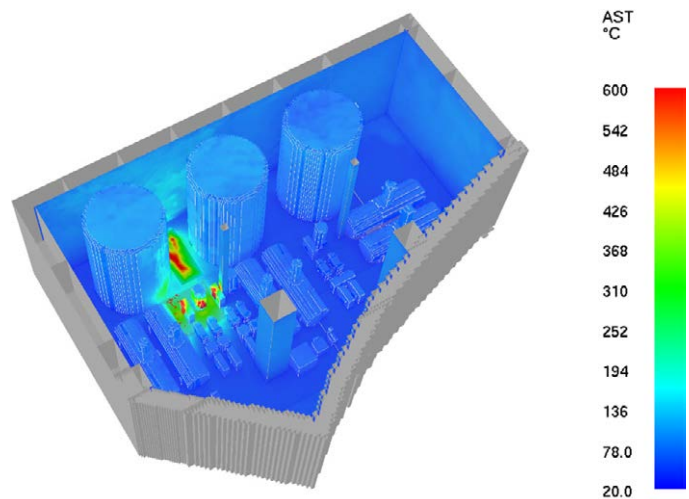


Figure 3. An example of simulations: Large lubrication oil pool fire with 1 air change per hour and LiPb circuit rupture, adiabatic surface temperature at  $t = 265$  s.

using limited data and design information leading to the initial screening of fire zones.

It is clear from the information available about the rooms and spaces that fire properties are not the most important factor dictating the placing of concrete partitions in the different floors of the building complex. Most of the partitions arise from other objectives like radiation protection, radioactive inventory handling, separation of Safety-Important Component (SIC) equipment, containment barriers, etc. Thus, the main concern of fire accident analyses is to check if there is some further need for fire sectorization and if the already (due to "non-fire reasons") planned sectorization barriers are enough ("enough concrete") for the spaces in question.



## ► Rooms and spaces studied

The rooms and spaces analysed so far are the vacuum pumping rooms and some vertical shafts in the Tokamak building. Their properties were taken from available drawings and room description documents.

The vacuum pump rooms are selected as an example case to present the methods to be used. In Table 4, the floor areas and dimensions of the rooms with three different rectangular shapes (square, aspect ratios 1:2 and 1:4) are listed. The aspect ratios do not represent the actual ones in the Tokamak building, but they are varied to see the effect to the results. The rooms are 3.9 m high. Later, similar analysis shall be made to other rooms present in the Tokamak building complex. The aim is not to examine any real fire scenario that could happen in the rooms studied, but to analyse a hypothetical worst-case scenario. Many assumptions made are on the safe side. The ventilation was modelled as a forced 0.117 m<sup>3</sup>/s (2 ACPH) inflow for the minimum size rooms, and for other rooms the ACPH is calculated similarly.

There are several shaft areas in the Tokamak building. The fire sectorization of different shafts depends on their usage. There are two different geometrical shapes of cable shafts, both having a height of about 50 m, and horizontal cross sections of 8.4 m<sup>2</sup> and 5.8 m<sup>2</sup>. The larger one is taken as an example. The cable shafts might contain a large amount of fire load. A preliminary analysis of this shaft was made to see what kind of fire the HVAC system can sustain in a such geometry. A value of 2 is assumed for ACPH.

### Fire loads and design fires

At this stage of the design of the DEMO power plant, there is a limited knowledge on the actual fire loads that might be inside the rooms or within fire sectors. In this work, it was assumed that there is enough fire load in the studied rooms and spaces for the whole duration of the considered fires, when the ventilation limited room fires are considered.

The fires were analysed as steady state fires that burned with the heat release rate allowed by the incoming fresh air. In many cases in reality, the fire load would burn out before the steady state of the room gas temperatures and partition temperatures are reached, but here the aim was to study extremely long duration fires that might threaten the fire sector boundaries, i.e., too high temperatures on the "cold" side.

The fire loads considered are very general and hypothetical, not representing any actual fire load. The main property of the design fires used is just the maximum heat release rate (HRR<sub>max</sub>) that is achieved and maintained after the growth period. The design fires are mainly chosen so that their HRR<sub>max</sub> values are compatible with the available oxygen supply. The fires are described using parameters such that the released energy per one consumed kilogram of O<sub>2</sub> is about 13.1 MJ, which is a very typical value for many kinds of fuels present in building fires, like many plastics, wood, and similar materials containing, e.g., hydrocarbons.

The cable fire load in the vertical cable shafts is represented in a simplified manner: the cables form a solid rectangular obstacle in otherwise empty vertical cable shaft. The surfaces of the slab are assumed to burn according to a prescribed HRR curve after they ignite. The ignition times of the cables at different vertical heights of the slab are also predefined. The fire scenario describes a fire that moves gradually upwards along the cable slab so that its HRR<sub>max</sub> remains about at a same level. This is done so that the fire burns out as it goes upward so that the HRR(t) curve at a given vertical height is not lasting very long. The time when a vertical position of the slab gives HRR is tied to the speed in which the fire moves upwards.

## Results and conclusions

### Vacuum pumping rooms

Failure risks of fire sector partitions depending on room dimensions and fire load densities were mapped for the vacuum pump-

Simulation scenario	Fire propagation	Damage by fire
Electrical equipment fire, approx. 1 ACPH	Does not occur in the simulation. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on the piece of equipment located closest (distance approx. 0.6 m)
Electrical equipment fire, approx. 10 ACPH	Does not occur. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on the piece of equipment located closest (distance approx. 0.6 m)
Small lubrication oil pool fire, approx. 1 ACPH	Does not occur. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on five pieces of equipment located at oil pool edges
Small lubrication oil pool fire, approx. 10 ACPH	Does not occur. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on five pieces of equipment located at oil pool edges
Large lubrication oil pool fire, approx. 1 ACPH	Two equipment located within the oil pool ignited. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on twelve pieces of equipment located at oil pool edges
Large lubrication oil pool fire, approx. 10 ACPH	Two equipment located within the oil pool ignited. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on twelve pieces of equipment located at oil pool edges
Large lubrication oil pool fire, approx. 1 ACPH, early damper closure	Two equipment located within the oil pool ignited. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on twelve pieces of equipment located at oil pool edges
Large lubrication oil pool fire, approx. 10 ACPH, constant rate ventilation	Two equipment located within the oil pool ignited. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on twelve pieces of equipment located at oil pool edges
Large lubrication oil pool fire, approx. 1 ACPH, LiPb circuit rupture	Two equipment located within the oil pool ignited. Probable to any equipment located directly above fire	Severe damage (AST > 300 °C) on twelve pieces of equipment located at oil pool edges and two pieces of equipment located near the LiPb pool

Table 3. Summary of fire simulation results. ACPH = air change(s) per hour.

	Area	Square	Aspect ratio 1:2		Aspect ratio 1:4	
	(m <sup>2</sup> )	Side (m)	Depth (m)	Width (m)	Depth (m)	Width (m)
<b>Minimum</b>	54.0	7.35	5.20	10.39	3.67	14.70
<b>Maximum</b>	121.0	11.00	7.78	15.56	5.50	22.00
<b>Average</b>	92.9	9.64	6.82	13.63	4.82	19.28

Table 4. Floor areas and dimensions of vacuum pumping rooms analysed. The height of the rooms is 3.9 m.

ing rooms of different floor areas and dimensions. As a result, tables and graphs for design were produced.

The vacuum pumping rooms were analysed mainly considering that they are sealed, i.e., there are no doors or similar openings open to other spaces or to outside. This means that the possible fire will get oxygen only via the mechanical ventilation system. A limited number of simulations were made also for non-sealed vacuum pumping rooms, i.e., a fire scenario where one door (area 2 m<sup>2</sup>, height 2 m) was assumed to be open to exterior atmosphere.

In the rooms of this building, there are typically no windows or similar openings to the exterior or other interior rooms. Thus, the rooms are most likely to be sealed in the majority of fire hazards. However, there might be some doors accidentally open. During maintenance periods the possibility of open doors is higher than in the plasma operation phase.

Vacuum pumping rooms and other rooms in Tritium building: There are no windows or similar openings to the exterior (or other interior rooms) typically so the rooms are most likely to be "sealed" in the majority of fire hazards. But there might be some doors accidentally open (not a very typical thing in normal plasma operation). In maintenance periods the possibility that "doors" are open is larger than in the plasma operation phase.

The analyses were performed using a simple analytical model, the zone models CFAST and OZone, and the CFD model FDS. Comparing the results of these analysis methods, it was seen that zone models and analytical calculations with conservative assumptions are accurate enough when only mechanical ventilation is present (e.g., no doors open). In such cases, more time consuming and computationally more costly CFD simulation is not needed.

Figure 4 shows the needed fire load densities in the vacuum pumping rooms as a function of the fire duration assuming a steady state fire whose HRR is dictated by the mechanical ventilation rate (2 ACPH). The room dimensions do not affect the fire load density because the steady state HRR is also scaling linearly as the area of the room changes (room height being constant). So the prevalence of increasing amount of O<sub>2</sub> and, thus, HRR is increasing linearly according to the floor area of the room.

The analysis results were tabulated giving the gas and partition surface temperatures at the end of simulation time. The information given in Figure 4 together with such tables can be used to see if there is a possibility that the concrete fire sector partitions are failing. Similar simple analysis could be made at the screening phase of the room fire risk analysis when the design of DEMO is in a more mature phase so that more information is available.

Due to the thickness of concrete boundaries in sealed spaces, the thermal penetration time is in tens of hours indicating that the concrete fire sectorization does not fail at least for some initial hours. On this basis, the fire sectorization of sealed vacuum pumping rooms were found to be not at risk. The analysis of non-sealed vacuum pumping rooms gave information on the achievable gas temperatures and the corresponding ventilation-controlled heat release rates inside the rooms. This data can be used to estimate the amount of fire load that should be present for the fire sectorization boundaries to fail. It is noted, however, that the most apparent hazard is related to an open fire door at the fire sector boundary, supplying oxygen to the fire.

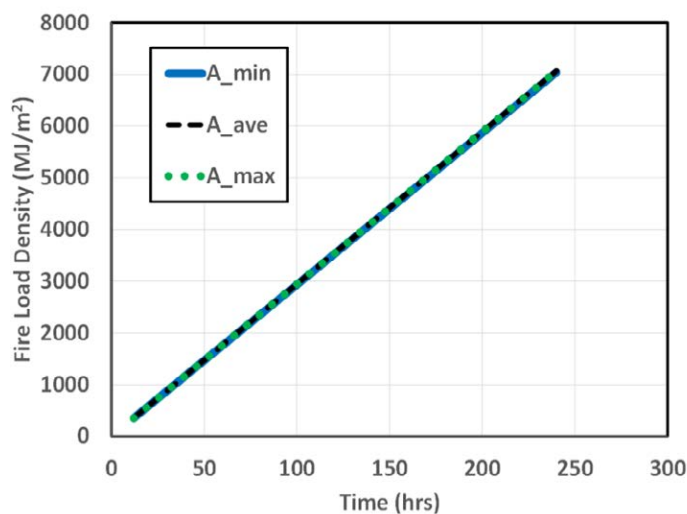


Figure 4. Fire load density needed in the vacuum pumping rooms to support fires lasting very long.

#### Vertical cable shafts

Five different CFD based simulations using the FDS programme were made for one of the vertical shafts. Using CFD was necessary due to the shape of the space, having very large height compared to cross-sectional dimensions. 2 ACPH mechanical ventilation was assumed so that fresh air was blown at the bottom of the shaft and outflow was at the top of the shaft. The simulated cases and their main characteristics were the following:

- HRR 1000 kW, moving upwards 0.4 m/min, linear growth time to peak HRR 10 s
- HRR 840 kW, moving upwards 0.4 m/min, linear growth time to peak HRR 50 s.
- HRR 840 kW, moving upwards 0.4 m/min, linear growth time to peak HRR 50 s, autoignition temperature 300 °C used
- HRR 756 kW, linear growth time to peak HRR 30 s, autoignition temperature 300 °C used, fire stays at the bottom of the slab (0.6 m height)
- HRR 1512 kW, linear growth time to peak HRR 30 s, autoignition temperature 300 °C used, fire stays at the bottom of the slab (0.6 m height)

All simulated fires became ventilation controlled. The gas temperatures in the shaft were moderate. It was concluded that the concrete partitions are thick enough so that the fire sector is not threatened due to the fires originating inside the shafts. The heavily under ventilated enclosure fires do not threaten the fire sectors due to the high thermal penetration time of the concrete partitions.

However, there might be other fire risks related to this kind of fire sectors. There might be smoke spread occurring through the HVAC networks and some leaks through the fire seals etc. due to the fire induced pressure. Thus, the adequate design of, e.g., fire dampers is also important. To sum up, making the cable shafts as their own fire sectors with thick concrete partitions prevents fires in adjacent spaces to endanger the cables in the shafts.

## ► ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been carried out within the framework of the EUROfusion Consortium, funded by the European Union via the Euratom Research and Training Programme (Grant Agreement No 101052200 — EUROfusion). Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission. Neither the European Union nor the European Commission can be held responsible for them.



## REFERENCES

1. [https://euro-fusion.org/wp-content/uploads/2022/10/2018\\_Research\\_roadmap\\_long\\_version\\_01.pdf](https://euro-fusion.org/wp-content/uploads/2022/10/2018_Research_roadmap_long_version_01.pdf)
2. <https://euro-fusion.org/glossary/iter/>
3. <https://euro-fusion.org/glossary/demo/>
4. OECD, 2015. Collection and Analysis of Fire Events (2010-2013) – Extensions in the Database and Applications. Fire Project Report NEA/CSNI/R(2015)14.
5. K. McGrattan, R. McDermott, M. Vanella, S. Hostikka, and J. Floyd, C., 2022. Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018-1, Sixth edition. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, June 28, 2022.
6. K. McGrattan, R. McDermott, M. Vanella, S. Hostikka, and J. Floyd, C., 2022. Fire Dynamics Simulator, User's Guide. NIST Special Publication 1019, Sixth edition. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, June 28, 2022.

7. R. Peacock, K. McGrattan, G. Forney, P. Reneke, 2015. CFAST – Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7), Volume 1: Technical Reference Guide. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, NIST Technical Note 1889v1, December 2015.
8. J.-F. Cadorin and J.-M. Franssen, 2003. A tool to design steel elements submitted to compartment fires – OZone V2. Part 1: pre- and post-flashover compartment fire model. Fire safety journal, vol. 38, pp. 395–427.
9. J.-F. Cadorin, D. Pintea, J.-C. Dotreppe, and J.-M. Franssen, 2003. A tool to design steel elements submitted to compartment fires – OZone V2. Part 2: Methodology and application. Fire safety journal, vol. 38, pp. 429–451.



# Tilaa itsellesi tai lahjaksi

[pelastustieto.fi](https://pelastustieto.fi) > tilaa lehti





# Adapted FLASHCAT methodology to model horizontal cable tray fires using computational fluid dynamics

## Abstract

Nuclear power plants (NPPs) are a prominent energy provider in our present-day life. They have a massive network of combustible electrical cables to support daily operations. Any fire on such cables can affect the running of the safe operations of a NPP and can indirectly or directly cause damage to the nuclear reactor core which can lead to widespread damage. Assessment of the heat release rate (HRR) of cable fires is critical for the nuclear industry as HRR dictates the heat stress in the surrounding of a fire and other fire products which can affect the facility. Among many experimental campaigns conducted to understand cable fire behaviour, under the OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) PRISME-3 (French phrase: propagation d'un incendie pour des scénarios multi-locaux élémentaires) program, IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire) conducted an experiment in which two cable trays were burnt in an open atmosphere to understand their fire behaviour. This paper presents a computational fluid dynamics-based method to replicate the experiment and model the HRR resulting from such cable fires through simulations. The method partly uses the FLASHCAT model and combines its modified form with the surface temperature ignition model of Fire Dynamics Simulator (FDS) software. The HRR obtained from the simulation had the time to reach peak HRR overestimated by 5 %, and peak HRR underestimated by 4 %. The result is encouraging as it provides confidence in using the modified adaptation of FLASHCAT model in CFD-based FDS software to predict HRR.

## INTRODUCTION

Cable tray fires in nuclear power plants (NPPs) concern the safe operation of various equipment and processes. The extensive network of cables and its combustible mass significantly adds to the fire load and hazard in NPPs [1]. Many efforts have been made in the past through various tests and experiments to understand such

cable fire behaviour [2–3]. Under the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) PRISME-3 (French phrase: propagation d'un incendie pour des scénarios multi-locaux élémentaires) program, IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire) conducted an experiment named PRF BCM-S2 in which PE/PVC insulated electrical cables over two horizontal trays were burnt in an open atmosphere under a large-scale calorimetric hood to understand their fire behavior. Data relevant (discussed later) to the requirement of numerical modelling of such fire was made available to the participants of PRISME-3 program. Such modelling work is a research-intensive process as it is still very challenging to model cable tray fire due to complex arrangement of cables on trays and its adaptation in the simulation model, complex burning properties, complex internal cable structure etc. This paper covers the numerical simulation done using Fire Dynamics Simulator (FDS) software to replicate the test mentioned above. Selected inputs to FDS are partly based on FLASHCAT model, and fire spread in the simulation relies on the surface ignition temperature model of FDS.

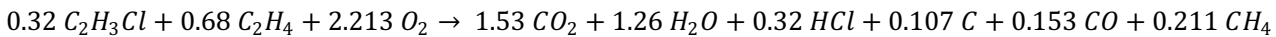
## EXPERIMENTAL SETUP

In the experiment, 112 PE/PVC insulated cables, each 2.4 m long, were loosely arranged on two horizontal cable trays. Each tray, 3 m long, was set against an insulated side wall in an open atmosphere under a large-scale calorimetric hood. The cables were burnt using blowtorches (Figure 1) and fire related data was collected. Such experimental data is covered in this section. Unless mentioned otherwise, such data has been provided either by IRSN or taken from related publications [4–5]. Due to the confidentiality of the project, only selected details/data are stated.

Details were provided about the cable composition and physical features, thermo-physical properties, and chemical reactions (Table 1). Such details were used in FLASHCAT model and FDS

- ▶ software to model the cables and their burning behaviour during combustion.

As PE and PVC were involved in the combustion, a single step mixing controlled gas phase chemical reaction was formulated by IRSN as:



The stoichiometric coefficients of the reaction were based on emission factors and other variables that best fitted the values estimated during the large-scale experiment. Such reaction was used in the simulations to model the combustion of the cables. Methane was included in the reaction products to account for the unburnt gases obtained during the experiment (thus, in FDS simulations methane remains non-reactive). The details regarding such formulation and various emission factors are given in an IRSN report [7]. Moreover, based on cone-calorimeter tests bench-scale average HRRPUA were provided for two different irradiance values (average HRRPUA 245 kW/m<sup>2</sup> and 314 kW/m<sup>2</sup> at an irradiance of 50 kW/m<sup>2</sup> and 75 kW/m<sup>2</sup>, respectively).

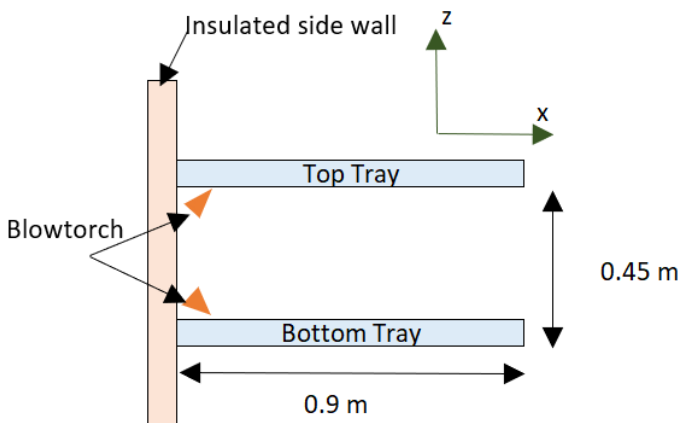


Figure 1. Horizontal cable trays, insulated sidewall, and blowtorches.

The properties like linear mass density, plastic mass fraction, tray width etc. are primarily used in FLASHCAT model to calculate the effective combustible mass per unit area of the cable surfaces created in FDS. The thermo-physical properties like thickness, thermal conductivity, density, specific heat, ignition temperature etc. primarily govern the heat transfer into the cable surface built in FDS and the subsequent surface ignition if the surface reaches the assigned ignition temperature. Chemical reaction along with its combustion characteristics like carbon monoxide yield, soot yield, heat of combustion etc. dictates the gas phase combustion, fire products, heat released in the area etc. Overall, various properties in tandem with each other carry out the heating of the cable surface, its ignition, consequent heat release following a pre-predefined burning rate, and heat transfer to the surrounding.

## NUMERICAL MODELLING

CFD code, FDS (6.7.7 version) has been used for numerical simulations in this work. FDS uses Large Eddy Simulation (LES) based code for thermally driven low-Mach number flow. It puts emphasis on heat and smoke transport from fires in a computational domain where boundary conditions are applied to flow boundaries as well as the solid surfaces with specified or solved thermal characteristics. Interested readers can refer to the software literatures [8–9] for detailed descriptions of various theoretical models and numerical implementation. Some of the relevant theories are summarized below.

Default simulation mode of FDS, i.e., "Very Large Eddy Simulation" (VLES) mode along with its default models and sub-models has been used in the various simulations unless stated other-

Feature/Parameter	Symbol	Value	Feature/Parameter	Symbol	Value
Insulation material <sup>[4]</sup>	-	PE (Polyethylene)	Density (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>[4-5]</sup>	$\rho$	1336
Jacket material <sup>[4]</sup>	-	PVC (Polyvinyl Chloride)	Specific heat (J/kg.K) <sup>[4-5]</sup>	$c_p$	1280
Linear mass density (kg/mm) <sup>[4]</sup>	$m'$	0.38	Ignition temperature (°C) <sup>[4-5]</sup>	$T_{ig}$	218
Plastic mass fraction <sup>[4]</sup>	$\gamma_p$	0.37	Emissivity*	$\epsilon$	0.9*
Diameter (mm) <sup>[4]</sup>	$D$	15.9	Carbon Monoxide yield <sup>[4]</sup>	$Y_{CO}$	0.11
Jacket thickness (mm) <sup>[4]</sup>	$d_j$	1.85	Soot yield <sup>[4]</sup>	$Y_{soot}$	0.03
Insulator thickness (mm) <sup>[4]</sup>	$d_i$	1.07	Heat of Combustion <sup>[4]</sup>	$\Delta H_C$	24
Thermal conductivity (W/m.K) <sup>[4-5]</sup>	$k$	0.156	Radiative heat fraction <sup>[4]</sup>	$\chi_r$	0.35

Table 1. Feature and parameters of the cable and their values.

\*0.9 is the default value of emissivity in FDS which is close to emissivity of PVC mentioned in [6].

wise. Under VLES mode, Dearnorff's model is used to calculate sub-grid viscosity. The viscous stress on the wall is calculated using friction velocity defined for near-wall region. Non-dimensional streamwise logarithmic velocity profile based on wall-function is used to account for friction factor. For eddy viscosity in the first grid cell off-wall (near wall turbulence model), Van Driest model is used. FDS incorporates an explicit time advancement scheme. The time step plays a crucial role to maintain numerical stability and accuracy. A well-known Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) constraint is used on time step for stability considering diffusion, advection, and expansion of the velocity and scalar fields. For VLES mode,  $L_\infty$  norm of the velocity vector is used for the CFL constraint. Regarding the pyrolysis of solids, FDS provides several options to model the fuel. One among them is based on the surface ignition temperature of a solid, which has been used in this work. Under such approach, a solid follows a pre-defined burning rate as a function of the time, i.e., HRRPUA(t), when it gets ignited. Its ignition happens when its surface temperature reaches a pre-defined value based on heat flux on its surface. The boundary condition for such surface is computed as a sum of convective heat flux and radiative heat flux, constituting total heat flux at that surface. Regarding combustion, default mixing-controlled combustion model in FDS has been used for chemical reactions. In such case, the reaction rate is infinitely fast and species concentration limits the reaction. FDS invokes semi-empirical rules to calculate the rate of mixing of oxygen and fuel for a given cell at each time step. Each computational cell can be viewed as a batch reactor where reaction of only mixed composition can take place. The cessation of combustion in the simulations has been governed by the sufficient fuel and oxygen level within the computational cells, with temperature being beyond the critical flame temperature (FDS's Extinction Model 2, [8]).

## ADAPTED APPROACH

The adapted approach is based on the work done by McGrattan et al. [10], Zavaleta et al. [1], Beji et al. [11] and Viitanen et al. [12]. The approach combined the findings of such works and altered (when required) to minimize their prescriptive values and shortcomings. New intermediate steps were formulated to adapt the available data into simulation with more flexibility for predictive fire spread.

Under CHRISTIFIRE project [10], many experiments were conducted where electrical cables on horizontal ladder cable trays used in NPPs were burnt in a relatively open configuration to study the heat release rates. Based on the study, a simplified approach named as FLASHCAT (Flame Spread over Horizontal Cable Trays) was proposed for such cables to calculate HRR. FLASHCAT model stipulated many assumptions for its use along with prescriptive values for vertical (from bottom to top) and horizontal (lateral ways) fire spread. A few among them, like cables should be away from walls, the ignition source should be beneath the lowest tray, or the extent of fire in the lowest tray in the initial phase of the test should be of the same width as that of the ignition source, did not fit well with PRF BCM-S2 experiment set up. As the assumptions conflicted with the configuration of the PRF BCM-S2 experiment, the prescribed spread rates were not used in the FDS simulations. However, the concept and empirical formula (with some changes) provided by the FLASHCAT for local fire duration ( $\Delta t_{fire}$ ) at a given location on cable surface was used and implemented in FDS. With such implementation, each computational cell having the cable surface burns (upon ignition) for  $\Delta t_{fire}$  seconds following the idealized HRRPUA(t) curve shown in

Figure 2. Average HRRPUA of 245 kW/m<sup>2</sup> and 314 kW/m<sup>2</sup> obtained from the cone-calorimeter test denotes steady HRRPUA value between  $\frac{\Delta t_{fire}}{6}$  and  $\frac{5\Delta t_{fire}}{6}$ , i.e., ( $\dot{q}''_{avg}$ ) in the Figure 2 for idealized HRRPUA(t).

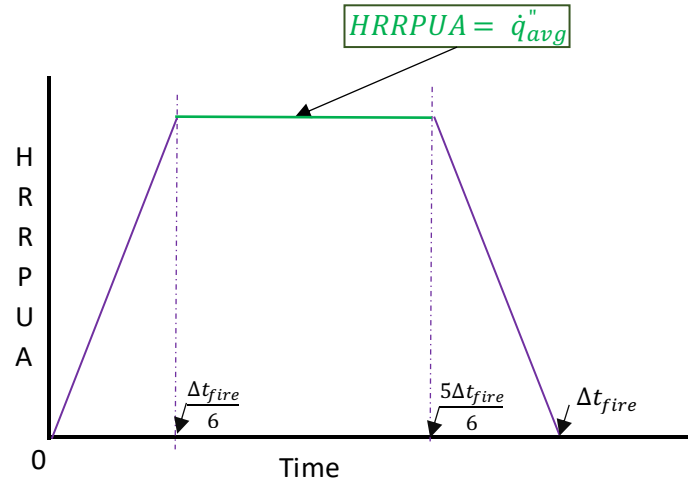


Figure 2. Idealized HRRPUA(t) time evolution.

The FLASHCAT model considers many important parameters as inputs required to calculate idealized HRRPUA(t), as indicated by the formula for  $\Delta t_{fire}$  as follows:

$$\Delta t_{fire} = \frac{m''_c \Delta H_c}{\frac{5}{6} \dot{q}''_{avg}} \quad \text{equation 1}$$

where  $m''_c$  (kg/m<sup>2</sup>) is the combustible mass per unit area, and  $\Delta H_c$  is the heat of combustion.  $m''_c$  is calculated as follows:

$$m''_c = \frac{n \gamma_p (1 - \nu) m'}{W} \quad \text{equation 2}$$

where  $n$  is the number of cables on each cable tray,  $W$  is the width of the cable tray, and  $\nu$  is the char yield.

Zavaleta et al. in [1] proposed to include both top and bottom areas of the cable trays as cable fires may involve both the top and bottom areas of each tray. Thus,  $W$  in equation 2 was replaced with  $2W$  to account for both sides of cable trays (originally done in [1]). Equation 3 shows the new formula for  $m''_c$  as follows:

$$m''_c = \frac{n \gamma_p (1 - \nu) m'}{2W} \quad \text{equation 3}$$

Beji et al. in [11] stated that using a homogenous rectangular slab to represent a cable surface with material properties will not produce a realistic flame pattern. They introduced openings between cable geometry in the simulation to allow the easy passage of smoke, heat, and flame through trays. Viitanen et al. in [12] developed a stochastic approach to make simplified cable geometries for numerical simulations incorporating openings. It used the random nature of laying cables loosely along the horizontal tray to calculate the percentage of the area representing the openings between loose cables. The same method was applied in this work, and the percentage of opening area to cable surface area on a tray was calculated as 7.64 %. Openings were randomly distri-



- ▶ buted on the obstruction in FDS representing the cable surface slab, as shown in Figure 3.

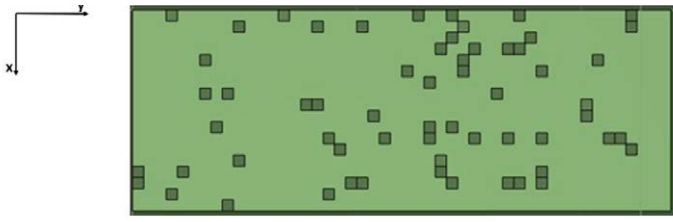


Figure 3. Cable surface slab with randomly distributed holes in FDS.

Clearly, the effective area of the cable surface slab was reduced by including openings. To take into account, the new effective area in this work, the new effective width,  $W_{eff}$ , was calculated as follows:

$$W_{eff} = \frac{\text{Area of the cable slab} - \text{Area of the openings}}{\text{Length of the slab}} \quad \text{equation 4}$$

So,  $m_c''$  is now calculated hereafter as follows:

$$m_c'' = \frac{n \gamma_p (1 - \nu) m'}{2W_{eff}} \quad \text{equation 5}$$

Using equation 5 in equation 1 provides a new estimate for  $\Delta t_{fire}$  as follows:

$$\Delta t_{fire} = \frac{n \gamma_p (1 - \nu) m' \Delta H_c}{\frac{5}{3} \dot{q}_{avg}'' W_{eff}} \quad \text{equation 6}$$

Consequently, the new estimate of  $\Delta t_{fire}$  will change the idealized HRRPUA(t) curve. However, with such adjustment, there will not be any change in the steady magnitude of HRRPUA(t) given by  $\dot{q}_{avg}''$ , but only  $\Delta t_{fire}$  will get reduced with subsequent changes in  $\frac{\Delta t_{fire}}{6}$  and  $\frac{5\Delta t_{fire}}{6}$ .

The cables' internal structure needs to be simplified, adapted, and approximated to be modelled in FDS as the internal structure of a cable is generally non-uniformly layered and cannot be directly used in FDS. The idealized internal structure of the cable used in the experiment is shown in Figure 4. It is clear that geometrically, the cable consists of seven small (insulation) circles of an equal area contained in one larger (Sheath/Jacket) circle and can be divided into two symmetrical halves through a dashed line. Therefore, cable structure simplification for one-dimensional heat transfer in FDS is done using its idealized geometrical and symmetrical features. In the adaptation and approximation, only combustible matter is considered.

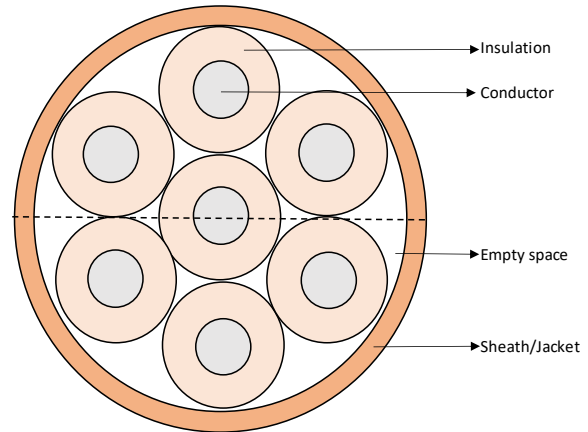


Figure 4. Schematic of internal structure of the idealized cable.

Figure 5 shows the two considered heat conduction paths from top to bottom (same for the bottom to top direction) for the idealized cable structure. The thickness "t1" and "t2" of cable materials will affect the one-dimensional heat conduction for the paths in Case-X and Case-Y differently. As the same material of plastic was used for the jacket and insulation, thickness for the short

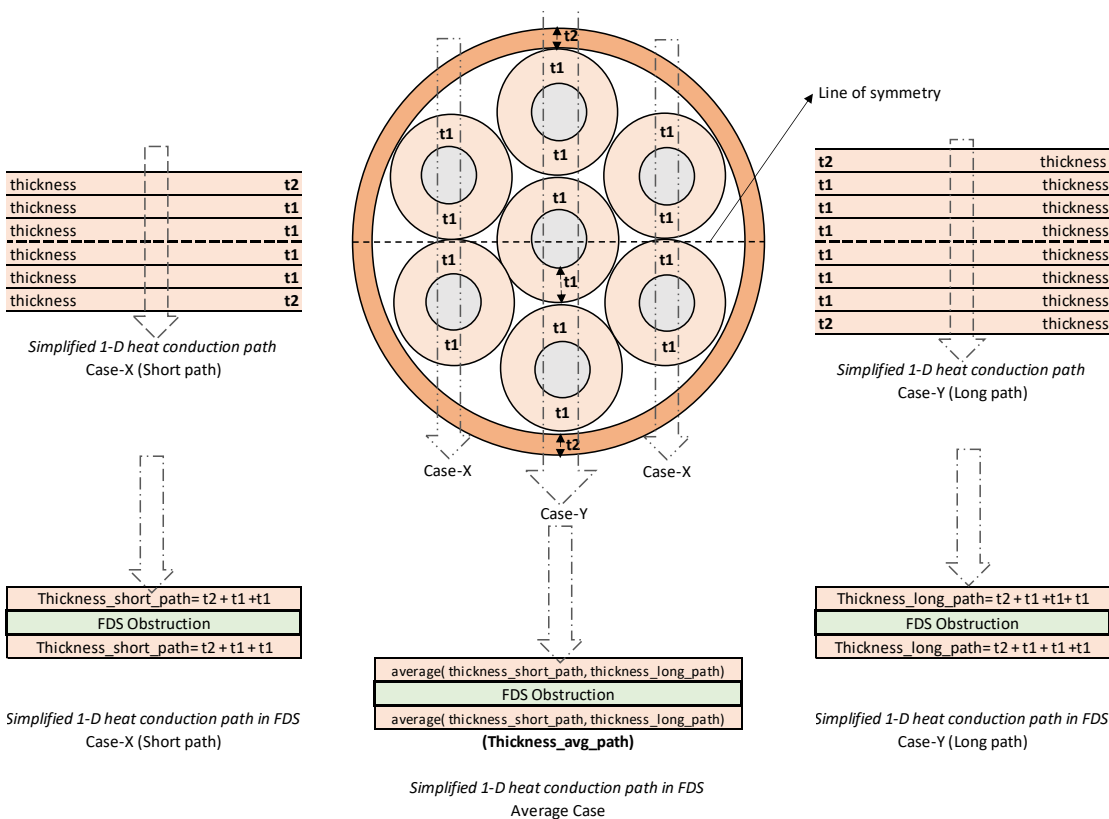


Figure 5. Schematic of cable structure adapted and approximated for one-dimensional heat transfer.

path (Case-X) and long path (Case-Y) was cumulatively summed as "thickness\_short\_path" and "thickness\_long\_path", respectively, to represent the overall thickness for those paths in the symmetrical half of cable. As the actual path for one-dimensional heat transfer in the idealized cable structure cannot be determined, the average of the "thickness\_short\_path" and "thickness\_long\_path" was calculated to represent the thickness for the symmetrical half of the idealized cable. Finally, the cable surface properties on the upper and lower sides of the FDS cable slab obstruction were given the "thickness\_avg\_path".

## COMPUTATIONAL DOMAIN AND SIMULATIONS

The computational domain with flame and smoke visualization is shown in Figure 6. The white boundary lines in the x, y and z directions limit the computational domain with a uniform mesh of grid size 0.05 m. The dimension of the domain is 1.5 m × 4.4 m × 5.2 m. The floor has the properties of concrete, and top and side boundaries are given OPEN boundary conditions [8]. PE/PVC has been used as fuel species for cables using combustion reaction defined above in the experimental section. Propane has been used as fuel species for blowtorches. The modelled blowtorches provide a power of about 6.5 kW for the first 150 s, then increased to 9 kW for the next 610 s. A simulation with  $\dot{q}_{avg}'' = 279.5 \text{ kW/m}^2$  (average of  $245 \text{ kW/m}^2$  &  $314 \text{ kW/m}^2$ ) was run as not all the cable surface computational cells will receive irradiance having extreme values of  $50 \text{ kW/m}^2$  or  $75 \text{ kW/m}^2$  in the entire duration of the actual fire.

## RESULTS AND DISCUSSION

### HRR prediction

Figure 7 shows the profile of HRR obtained in the simulation and the experiment (experimental data taken from [4]). Overall, the HRR profile obtained in the simulation matches the experimental HRR profile well. The initial growth of the fire is closely captured. The peak HRR is underestimated by 4 % and the time to reach peak HRR is overestimated by 5 %. However, fire decay happens approximately 180 s before the experimental time. It is suspected that in the decay phase, some combustibles should remain to burn, probably with  $\dot{q}_{avg}''$  lower than the ones used in the simulations. Adaptive HRRPUA(t) based on thermal feedback could improve the result.

### Effect of different grid sizes

Figure 8 shows the HRR for three different meshes with cell sizes 0.1 m (coarse mesh), 0.05 m (intermediate mesh), and 0.025 m (fine mesh). Mesh refinement with a cell size of 0.025 m was done only in the fire area. The prediction of HRR by computational domain having coarse mesh was poor and is not discussed further. In general, in both the case of intermediate and fine mesh simulations the profile of HRR remains the same for the growth and decay phases. The fine mesh simulation underpredicts the peak HRR by 3 % compared to the intermediate mesh, which underpredicts the HRR by 4 %. Moreover, the time to reach the peak HRR is under-predicted by 6 % by fine mesh simulation compared to the intermediate mesh simulation, which over-predicts the time to reach the peak HRR by 5 %. Clearly, there is not a significant improvement using the fine mesh compared to the experimental values and to the intermediate mesh, however the comparative computational time with the intermediate mesh was very high. It took about 12 days to finish the fine mesh simulation against the 2.5 days completion time with the intermediate mesh. Fine mesh simulation ran 20 MPI processes compared to the ot-

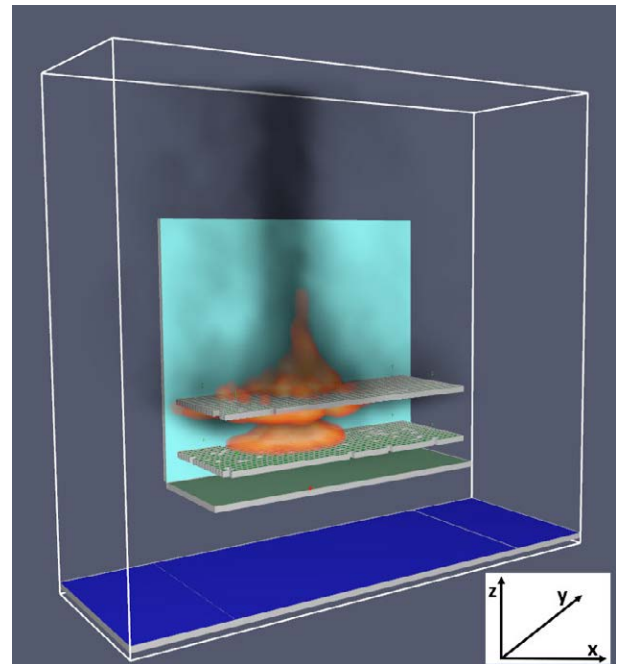


Figure 6. Computational domain with flame visualization.

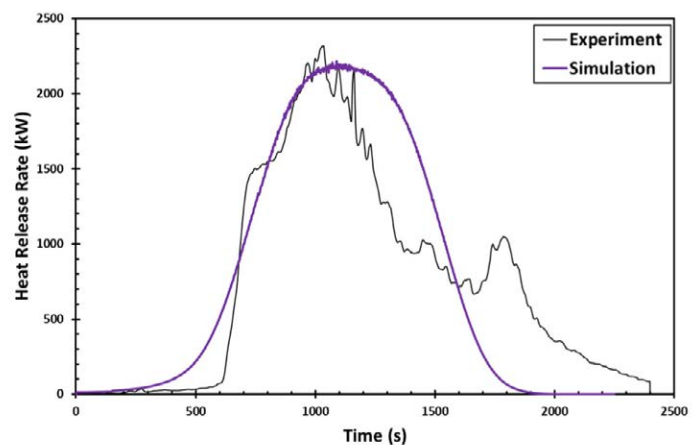


Figure 7. Heat release rates of reference case simulation and experiment.

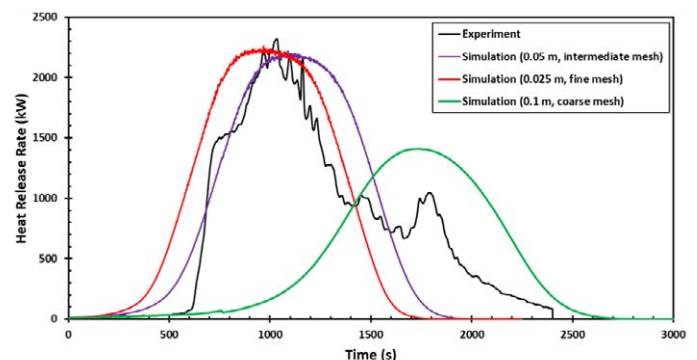


Figure 8. Heat release rate in different grid size computational domains.

her mesh, which ran with 13 MPI processes. Each process in both cases had one mesh. Given the higher computational cost with no drastic improvement in fine mesh simulation, the result presented in Figure 7 has the intermediate mesh size. ▶

## CONCLUSION

The assessment of the heat release rate of cable fires is of critical importance for the nuclear industry as HRR dictates the production of smoke, toxic gases, and soot, augments in radiative heat flux, and timeline of visibility which affect fire spread, evacuation, and firefighting. This paper presents the steps taken using CFD-based Fire Dynamics Simulator software along with a modified and adapted FLASHCAT model to predict the heat release rate of fire spread over two horizontal cable trays replicating an experiment. The experiment was conducted by IRSN as part of the OECD PRISME-3 program in an open atmosphere with insulated wall-supported trays. The methodology includes using solid slabs (depicting trays with cables) with cable properties on both top and bottom sides, along with an estimated number of holes on slabs to allow the smoke and flame to penetrate the trays and produces an actual flame shape over the trays. The internal structure of the cable has been idealized for one-dimensional heat transfer in FDS and implemented with appropriate thickness and material properties on solid slabs. Once a computational cell on such slab surface reaches a pre-defined temperature, it starts to burn following the idealized HRRPUA(t) curve, which has a steady phase of average HRRPUA. The simulation had average HRRPUA of 279.5 kW/m<sup>2</sup> which produced an acceptable result where peak HRR was underestimated by 4 % and the time to reach peak HRR was overestimated by 5 %. Overall, the HRR development profile was also satisfactorily captured. In future, work can include testing the outlined methodology using more test cases with different cable types and tray arrangements to assess its reliability. Moreover, adapting the idealized HRRPUA curve to the dynamic thermal feedback in the simulation should also be researched to improve the results, as it adds flexibility to fire spread based on any changes in the surrounding environment.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Funding for this work was received from State Nuclear Waste Management through the SAFIR2022 program and is gratefully acknowledged. Thanks are also extended to the OECD PRISME-3 project and its members for the full-scale cable tray fire experiment results.

## REFERENCES

1. Zavaleta, P., Hanouzet, R. & Beji, T., 2019. Improved Assessment of Fire Spread over Horizontal Cable Trays Supported by Video Fire Analysis, *Fire Technology* 55, 233–255
2. Suard, S., Van Hees, P., Roewekamp, M., Tsuchino, S., Gonzalez, R., 2019. Fire development in multi-compartment facilities: PRISME 2 project, *Fire and Materials*, 43:433–435, <https://doi.org/10.1002/fam.2754>
3. Audouin, L., Rigollet, L., Prétrel, H., Saux, W., Röwekamp, M., 2013. OECD PRISME project: Fires in confined and ventilated nuclear-type multi-compartments - Overview and main experimental results, *Fire Safety Journal*, Volume 62, Part B, Pages 80–101, ISSN 0379-7112, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.07.008>
4. Plumecocq, W., Specification of step 2\_2, Cable Benchmark Exercise, Common OECD/NEA Fire and PRISME, Rapport n° IRSN/2020-00782
5. Plumecocq, W., Audouin, L., Zavaleta, P., 2019. Horizontal cable tray fire in a well-confined and mechanically ventilated enclosure using a two-zone model, *Fire and Materials*, 2019; 43:530–542
6. Goddijn-Murphy, L.; Williamson, B., 2019. On Thermal Infrared Remote Sensing of Plastic Pollution in Natural Waters. *Remote Sens.* 11, 2159. <https://doi.org/10.3390/rs11182159>
7. Prétrel, H., PRISME 3 and FIRE common benchmark exercise- Step#2\_2, Analysis report, IRSN/2020-00839
8. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R., Vanello, M., 2021. Fire Dynamics Simulator User's Guide, 6th Ed., November 2021, NIST Special Publication 1019
9. McGrattan, K., McDermott, R., Vanello, M., Hostikka, S., Floyd, J., 2021. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide, 6th Ed., November 2021, NIST Special Publication 1018-1
10. McGrattan, K., Lock, A., Marsh, N., Nyden, M., Bareham, S., Price, M., Morgan, AB., Galaska, M., Schenck, K., Stroup, D., 2012. Cable heat release, ignition, and spread in tray installations during fire (CHRISTIFIRE). Phase 1: Horizontal Trays, NUREG/CR-7010, U.S.NRC
11. Beji, T., Merci, B., 2019. Numerical simulations of a full-scale cable tray fire using small-scale test data, *Fire and Materials*, 2019, 43:486–496
12. Viitanen, A., Hostikka, S., Vaari, J., 2022. CFD Simulations of Fire Propagation in Horizontal Cable Trays Using a Pyrolysis Model with Stochastically Determined Geometry, *Fire Technology*

# Pysy vauhdissa mukana!

Pelastustieto on nyt entistä vahvempi, kun ensihoidon erikoislehti Systole yhdistyi osaksi Pelastustietoa. Kahdeksan tuhtia lukupakettia vuodessa ja laaja nettiaineisto pelastustieto.fi:ssä.



**Pelastustieto**  
systole



# Charring cylinders in cone calorimetry: How heat is distributed? – A survey towards fire performance of electrical cables

## Abstract

This article addresses the need for improved methods to evaluate cable flammability and the fire risk associated with electrical cables in nuclear power plants (NPPs) and industrial sites. A numerical technique for simulating the combustion behavior of charring polymers in cone calorimetry tests is presented. The existing numerical models for simulating cable cone calorimetry have limitations due to simplified assumptions and inaccurate geometric representations. The proposed simulation framework, validated previously for non-charring polymers, incorporates realistic geometry and flux distribution. In this study, birch rods were used as charring polymer samples, and cone calorimetry measurements were performed under  $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  irradiation. The computational model demonstrated good agreement with experimental results, accurately predicting char-front penetration and providing detailed information on the incident and convective heat flux distributions. These findings contribute to enhancing models for cable fire performance evaluation and safety measures in NPPs.

## INTRODUCTION

Nuclear power plants (NPPs) face a fire risk from electrical cables, where cable insulation ranks as the second most frequently ignited component after oil in 21% of electrical failure-related fires [1]. To enhance NPP safety, it is necessary to utilize dependable methods for evaluating cable flammability and continuously improving them. Currently, the assessment of cable fire performance is commonly performed by cone calorimetry measurement and modeling [2–6]. However, the existing numerical models for simulating cable cone calorimetry, such as those developed by Hostikka and Matala [7–9] and Hehnen *et al.* [10], rely on simplified assumptions. These models map the cylindrical shape of cables onto a rectangular surrogate volume and represent the radiative exposure of the conical heater as a virtual external flux on the sur-

rogate rectangle's flat surfaces. Such simplifications do not accurately capture the physical phenomena resulting from the curvature of the cable samples, leading to significant uncertainties that require compensation factors and parameters to mitigate the increased inaccuracies.

We previously introduced a numerical technique [11,12] to minimize uncertainties arising from geometric factors. This technique involves creating a realistic representation of cylindrical cables and a conical heater, including the hot emitting elements, within the solution domain. It is based on solid-phase pyrolysis and two-dimensional heat transfer methods. We validated the framework using Polymethyl methacrylate (PMMA) cylinders, commonly used in cable manufacturing. However, the accuracy of simulating charring polymers remains uncertain. Thus, our current study aims to validate this framework using a cylindrical wood rod, a simple type of charring polymer. Wood rods are suitable for validation purposes due to their similar charring properties to electrical cables but with less complexity. Previous studies [13–15] measured the flame spread rate on birch rods and used DNS [15] and LES [16] methods for numerical modeling, treating the cylindrical sample as axisymmetric. However, cone calorimetry measurements require more precise geometric modeling to account for non-uniform heat flux exposure caused by the cylinder's curvature.

Our recent numerical framework [12] is employed in this investigation to consider the non-uniformities caused by geometry in cone calorimetry measurements of charring polymers. To maintain consistency with prior studies in this field [1,13,14], we select birch rod as our material of choice. Birch is preferred due to its relatively high density as a wood polymer, which is comparable to actual polymers like Polyvinyl chloride (PVC) or Flame Retardant Non-Corrosive (FRNC) materials utilized in cable layers. By means of simulations, we extract detailed information regarding the incident and convective heat fluxes on the surface of the rods. ►

## ► EXPERIMENTAL METHODS

In this study, birch wood was utilized in the form of cylindrical rods. The rods were selected with a measured diameter of  $20.0 \pm 0.1$  mm. To prepare the wood for testing, the rods were cut into  $95.0 \pm 0.2$  mm-long pieces using a circular sawing machine. Samples were then conditioned under controlled environmental of  $20^\circ\text{C}$  and 45% relative humidity to ensure a stable moisture content. The moisture content of the wood material was determined to be 8% wet basis. The dry density of the sample was measured to be  $534 \pm 9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  with a 95% confidence interval. The flammability of the birch rods was assessed using an ISO 5660 standard cone calorimeter. The experiments were conducted at a radiation level of  $50 \text{ kW/m}^2$ . Two sets of measurements were performed, with either one wood rod placed at the center of the holder or the entire  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  area covered with five rods. The tests continued until the material was fully charred, and no more visible pyrolyzate gas was observed. Slow smouldering of the char was noted at the final stages of the tests. The Mass Loss Rate (MLR) and Heat Release Rate (HRR) curves were reported as the arithmetic mean of the repetitions with 95% confidence interval. Three repetitions per configuration were conducted. Additionally, videos were taken from the cross-sectional pyrolysis of the rods using a DSLR camera through the glass window of the test chamber. Snapshots of the recordings were used to qualitatively compare against model predictions for char-front propagation.

## NUMERICAL METHODS

The simulations are performed with the Fire Dynamic Simulator (FDS) software. This section describes the specific algorithms of the FDS adopted for the current study.

### Thermogravimetric analysis

This section explains how the FDS algorithm specifically designed for milligram-scale simulations was used to model the reaction kinetics of Birch in TGA. The process of thermal degradation in TGA occurs at a linear rate and involves conduction within a small sample. The governing equations of this feature are detailed as follows.

For a material component  $\alpha$ , the time evolution of local density  $\rho_{s,\alpha}$  is calculated by:

$$\frac{\partial \rho_{s,\alpha}}{\partial t} = - \sum_{\beta=1}^{N_{r,\alpha}} r_{\alpha\beta} + S_{\alpha} \quad (1)$$

where  $N_{r,\alpha}$  is the number of reaction for material  $\alpha$ ,  $r_{\alpha\beta}$  is the rate of reaction  $\beta$ , and  $S_{\alpha}$  is the production rate of component  $\alpha$  due to the other components reactions. The reaction rate,  $r_{\alpha\beta}$ , is calculated based on Arrhenius function:

$$r_{\alpha\beta} = A_{\alpha\beta} \rho_{s,\alpha}^{n_{s,\alpha\beta}} \exp\left(-\frac{E_{\alpha\beta}}{RT_s}\right) \quad (2)$$

where  $A_{\alpha\beta}$  is the pre-exponent factor,  $E_{\alpha\beta}$  is the activation energy, and  $n_{s,\alpha\beta}$  is the reaction order of the reaction  $\beta$  of the component  $\alpha$ .  $R$  and  $T_s$  are the universal gas constant and solid temperature, respectively.

Wood is a composite material composed mainly of cellulose, hemicellulose, and lignin. Different modeling schemes have been proposed, such as those by Broidio-shafizade [17], Gronli [18],

and Antal [19], which consider reactions for all three components. For birch wood, Hostikka and Matala [20] compared these methods and found that a single-step reaction mechanism is as effective as more complex ones for predicting gram-scale measurements. The reaction mechanism from [20] is used in this study, show in Figure 1. The used parameter set is  $A_{11} = 5.58 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$ ,  $E_{11} = 1.23 \cdot 10^2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $n_{s,11} = 1.0$ ,  $A_{21} = 4.0 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ ,  $E_{21} = 4.79 \cdot 10^1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $n_{s,21} = 1.0$ .  $B$  is the initial percentile of the dry birch component in TGA experiments, being 97.3, 96.4, 97.4, and 98.4 for heating rates of 2, 5, 10, and  $20^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , respectively.

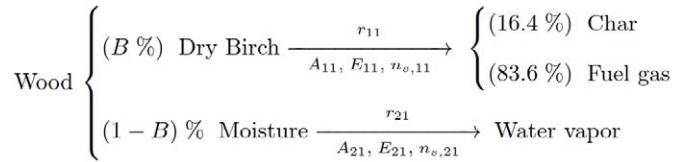


Figure 1. Adopted decomposition scheme for the birch wood [20].

Figure 2 presents a comparison between the simulated TGA mass (Fig. a) and mass loss rate (Fig. b) using the adopted kinetic reaction and the measurements conducted by Hostikka et al. [20], for various heating rates. The primary objective of the model is to predict the MLR peaks accurately at their respective temperatures, which it has demonstrated to do well.

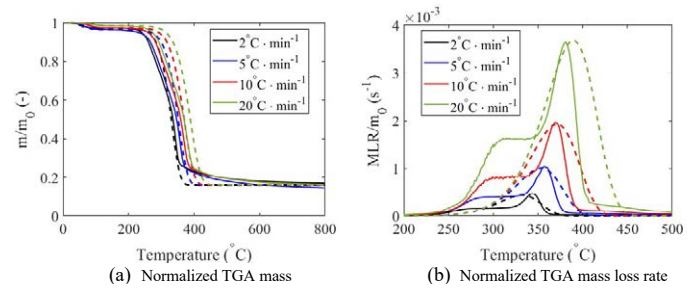


Figure 2. Comparison of experimental (solid lines) and simulated (dashed lines) TGA and DTG.

### Two-dimensional heat transfer and pyrolysis methods

The 2D heat transfer and pyrolysis algorithms of the FDS applied for the simulations of this work are described in detail in our earlier work [12].

The physics governing heat transfer in the condensed phase is described by Equation (3), which is discretized using a Finite Volume Method. The left-hand side represents the rate of change of the mean temperature of a solid cell,  $T_s$ , while the right-hand side represents the divergence of intercell heat fluxes,  $\dot{q}''$ , and the volumetric heat source term due to pyrolysis reactions,  $\dot{q}_s'''$ .

$$\rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = -\nabla \dot{q}'' + \dot{q}_s''' \quad (3)$$

The heat flux vector  $\dot{q}''$  is calculated at the midpoint of a cell face using a first-order discretization of Fourier's law. The temperature at the cell interface is computed by a weighted averaging method. Shrinkage or swelling of the solid cells affects the spacing between temperature points, leading to changes in the dimensions of the cells, which are tracked by the 2D pyrolysis solver. The 2D pyrolysis algorithm computes  $\delta x$  and  $\delta z$  values (cell dimensions) by

monitoring the solid area ( $A_s$ ) relative to the local cell area ( $A_{\text{cell}}$ ),  $\phi_s \equiv A_s/A_{\text{cell}} = \sum \alpha \rho_{s,\alpha} / \rho_{s,\alpha}$ . An isotropic deformation is assumed based on the definition  $A_s = \phi_s A_{\text{cell}}$ . It means that the material deforms identically in all directions. New spacing used for calculation of heat fluxes is calculated by  $\delta \tilde{x} = \phi_s^{1/2} \delta x$  and  $\delta \tilde{z} = \phi_s^{1/2} \delta z$ . Further details of both algorithms can be found in [12] and [21].

### Cone calorimetry model setup

The geometry and setup of our earlier work [12] have been applied for the simulations of the current work. A brief description of it is presented herein. A close snapshot of the model setup is illustrated in Figure 3 for a five rods case. The structure of the cable comprises from multitude small solid obstructions with rectangular  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  cross-sections. The 2D solution domain is a  $200 \times 297.5 \text{ mm}$  (x and z, respectively) area, divided into two vertical regions. The first 35 mm uses  $\Delta z = 1 \text{ mm}$  cell spacing, while the remaining section employs  $\Delta z = 1.875 \text{ mm}$  grid spacing. The x direction has a uniform 1 mm grid spacing everywhere.

The boundary conditions at  $x_{\text{min}}$ ,  $x_{\text{max}}$ ,  $z_{\text{min}}$ , and  $z_{\text{max}}$  allow open airflow, except for a 100 mm-long surface below the rod representing the backing wool. The thermal properties of the backing layer are  $\rho = 128 \text{ kg/m}^3$ ,  $k_s = 0.1 \text{ W/(m.K)}$ , and  $c_s = 1 \text{ kJ/(kg.K)}$ . In 2D simulations using FDS,  $y_{\text{min}}$  and  $y_{\text{max}}$  automatically have mirror boundary conditions. To reduce computational workload, the domain was divided into 11, and 13 grids for the single rod and five rods flaming simulations respectively. Each grid's calculations were processed separately using MPI (Message Passing Interface). Thermophysical parameters of the birch and char residue were taken from the literature without any tuning:  $k_{\text{Birch}} = 0.26 \text{ W/(m.K)}$ ,  $k_{\text{Char}} = 0.36 \text{ W/(m.K)}$ ,  $c_{\text{Birch}} = 2.533 \text{ kJ/(kg.K)}$ ,  $C_{\text{Char}} = 1.45 \text{ kJ/(kg.K)}$ ,  $\epsilon_{\text{Birch}} = 0.9$ ,  $\epsilon_{\text{Char}} = 0.85$  [22], and  $\rho_{\text{Char}} = 120$  [20]. The gaseous product of the pyrolysis is assumed to be  $\text{C}_{3.4}\text{H}_{6.2}\text{O}_{2.5}$ , which combusts with air and produces 1% soot yield and 14.35 MJ/kg heat of combustion [20]. The heat of reaction for birch is assumed to be  $H_{r,\text{Birch}} = 300 \text{ kJ/kg}$  [20].

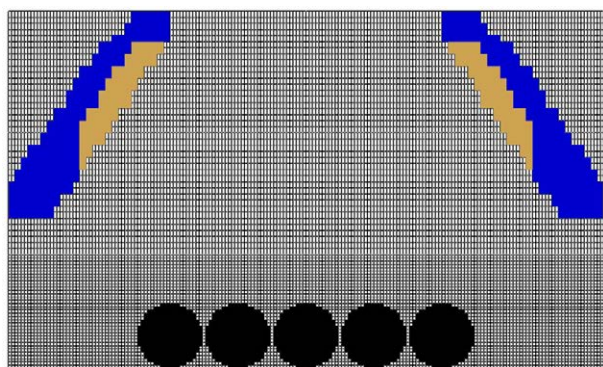


Figure 3. Cone Calorimetry model setup.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Single rod cone calorimetry

Figure 4 illustrates the results of MLR and HRR for the single rod case. Experimental data exhibit a main peak at approximately 55 seconds in both MLR and HRR, followed by a gradual decrease until a slightly intensified decomposition rate is observed between 200–240 seconds. While the model successfully captures the main peak and the subsequent declining trend, it does not reproduce the second peak. The MLR prediction shows a 15-second delay compared to the numerical estimation of the first peak, but the

difference in the area under the numerical and experimental mean curves is within 1% accuracy. The main peak of the HRR prediction is delayed by 22 seconds compared to the measured occurrence time. The area under the simulated HRR curve has 13.8% error compared to the experimental mean curve. Overall, the FDS predictions align well with the experimental results.

Figure 5 compares measurement snapshots and FDS char density slices over time for the single rod flaming case. The flame starts at the top of the rod, as seen at  $t=55\text{s}$ . Within a few tens of seconds, the flame edge progressively tilts downwards and reaches the wool substrate, as shown at  $t=100\text{s}$ . The char front penetrates the rod from top-to-bottom and sides-to-center at a similar rate, consistent with observations in [11] for non-charring rod shrinkage. The increased heat transfer on the rod sides due to the flame is responsible for this. The simulation slices on the right sides of Figure 5 confirm the model's ability to accurately replicate this degradation pattern promptly.

Considering the top point of the rod as the circumferential angle  $0^\circ$ , and the lowest point of the circumference as  $180^\circ$ , Figure 6 represents the predicted surface fluxes for the eastern half of the rod in this case. The flux distributions are presented for distinct simulation times that can help explaining the phenomena observed in the char front propagation patterns. At  $t=2\text{s}$ , a  $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  incident heat flux is observed on the top of the rod, decreasing to  $0 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  at the bottom. Ignition of the flame at  $t=30\text{s}$  leads to an increase of about  $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  in the middle portions of the circumference. At  $t=50\text{s}$ , the upper part of the circumference also experiences this increase. Comparing  $t=100\text{s}$  to  $t=2\text{s}$ , the top of the rod maintains an approximate  $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  increase, while the flame on the sides results in an increase of about  $15 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  for most of the circumference. The convective flux initially shows zero distribution but suddenly increases locally at  $t=30\text{s}$ . By  $t=50\text{s}$ , the convection wave moves to the lower surface as the flame edge descends. At  $t=100\text{s}$ , the flame's position stabilizes. The convective flux forms a bell curve, peaking at the midpoint of the circumference with a maximum value of  $30 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ . These increased fluxes on the side due to the flame explain the intensified side-to-center char propagation in Figure 5.

### Five rods cone calorimetry

Figure 7 shows results for the five-rod flaming case. Experimental measurements indicate a main peak followed by a decreasing trend. The model accurately predicts the occurrence time of the first peak but generates an unrealistic peak between 400–500 s in the simulation. The simulated MLR curve's trend appears more accurate than the HRR curve. The simulated MLR and HRR curves underestimate the area under their corresponding experimental curves by 11.1% and 25.5% respectively. This significant HRR underprediction was also observed in previous work with non-charring rods [11,12]. It was proven that the inaccuracy in the gas-phase simulation extends beyond the surface of the samples. This means that the 2D model accurately simulates heat transfer within, on the surface, and inside the flame capsule surrounding the rods.

Figure 8 shows a sequence of recorded and predicted cross-section images of the five rods flaming case. The flame ignites at the top of the rods at  $t=70\text{s}$  and spreads downwards along the lower surface until it reaches the wool substrate at  $t=200\text{s}$ . The presence of the flame on the eastern circumference of the rightmost rod indicates uneven local heat transfer compared to its western half. This uneven distribution results in a  $\cap$ -shaped char front profile on the top of the samples, consistent with previous findings in [11,12]. At  $t=550\text{s}$ , the outermost rods degrade faster than



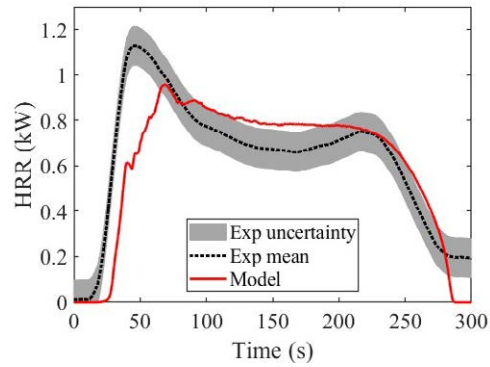
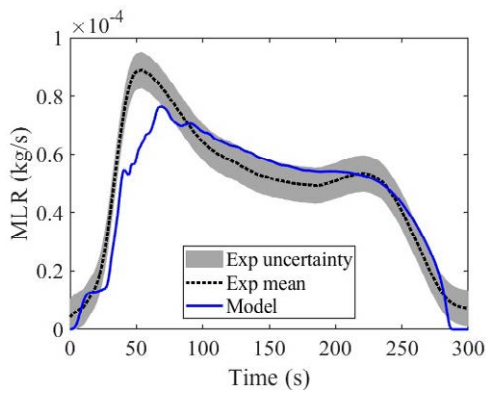


Figure 4. Comparison of FDS prediction against experimental measurements for the single rod test case: Mass Loss Rate (left), and heat Release Rate (right).

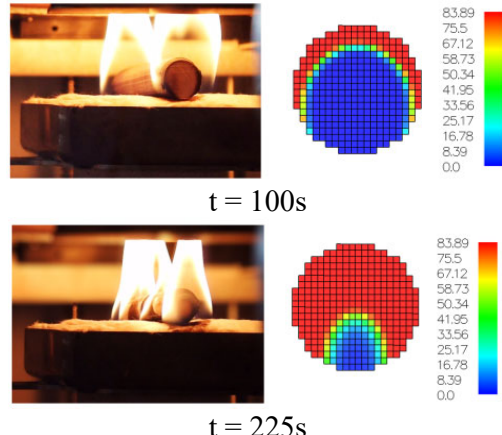
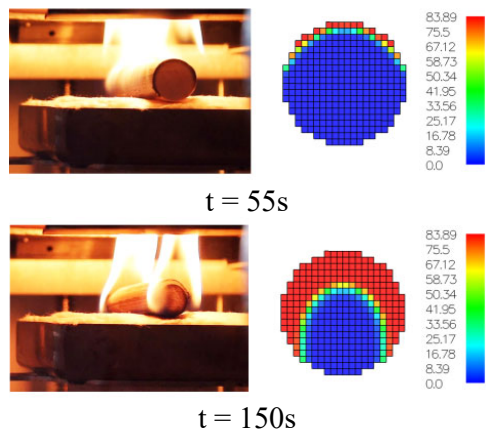


Figure 5. Qualitative comparison of the char front propagation in the cross section of the single rod test case. Snapshots from the camera on left, and FDS slices of char solid cell density on right.

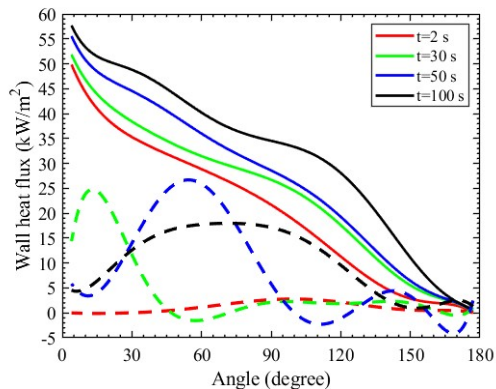


Figure 6. Simulated heat fluxes on the circumference of the single rod case. Solid lines: incident heat flux; Dashed lines: convective heat flux.

▶ the central rods due to uneven heating, depleting the virgin material earlier. The remaining virgin material in the central rods decomposes into fuel gas, explaining the presence of the flame in that region. The FDS slices on the right side of Figure 8 accurately predict the timing and remaining area of the virgin material in the  $\Omega$ -shaped char front propagation.

Figure 9 depicts predicted surface fluxes for the central and rightmost rods. For this five rods case, the incident flux distribution (Figure 9 (a)) is similar to the single rod case before ignition ( $t=2$  and  $30$  s). However, post-ignition, the flame significantly increases the incident flux for the upper half of the central rod's circumference, with a  $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  increase at the top point. Adjacent rods' elevated temperature causes reradiation towards the central rod's surface, resulting in an augmented incident flux over time visible on the curve for  $t=400$  s. This, along with flame-induced radiation, leads to a nearly  $15 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  increase in incident flux from  $10^\circ$  to  $100^\circ$  angles along the central rod's circumference.

The rightmost rod shows a  $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  increase in incident flux on its upper half post-ignition ( $t=50, 100,$  and  $400$  s). Over time, the flame edge tilts towards the lower circumference of the eastern half of the rod, while the active pyrolysis and combustion region shifts downwards. This descent of the flame edge generates a

downward wave of flame-induced incident flux towards the active pyrolysis area, as shown in the dashed line at  $t=400$  s.

The convective flux distribution along the central rod in Figure 9 (b) is negligible except for a moment at  $t=30$  s when there is a transient increase on top of the rod. The rightmost rod shows an increase in convective flux at  $t=30$  s with the initiation of the flame. As the simulation progresses, the flame grows stronger, tilts towards the lower circumference of the rod, and creates a wave-like pattern in the convective flux distribution at  $t=50$  s. The flame-induced convective flux moves with the flame towards the lower circumference where an active pyrolysis region exists. This is evident at  $t=100$  and  $400$  s. The maximum value of the flame-induced convective flux on the eastern half of the rightmost rod is approximately  $30 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ , three times greater than the flame-induced incident flux. However, their effective regions differ. Flame-induced convection is influential at  $0^\circ < \text{Angle} < 150^\circ$ , while flame-induced radiation is more effective in the  $100^\circ < \text{Angle} < 180^\circ$  range (compare dashed lines for  $t=400$  s in Figure 9 (a) and (b)). The enhanced convective heating and radiation on the outermost rods create the  $\Omega$ -shaped charring profile observed earlier.

## CONCLUSION

Cone calorimetry is commonly used to measure fire performance of electrical cables in laboratory-scale tests. Previous studies used a rectangular volume replica for pyrolysis modeling, which does not consider the heterogeneous heat fluxes on the cylindrical samples. In our recent study [11,12], we developed a computational model that accurately simulates combustion of cylindrical objects exposed to cone calorimeter radiation, including realistic geometry and flux distribution. The model was validated for non-charring polymers, and this study evaluated its effectiveness for charring materials.

Cone calorimetry measurements were conducted on birch rods under  $50 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$  irradiation, using single-rod and five-rod sam-

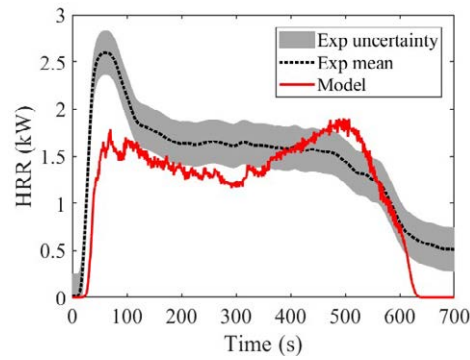
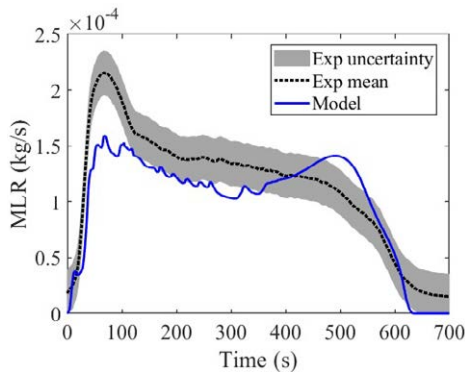


Figure 7. Comparison of FDS prediction against experimental measurements for the five rods test case: Mass Loss Rate (left), and heat Release Rate (right).

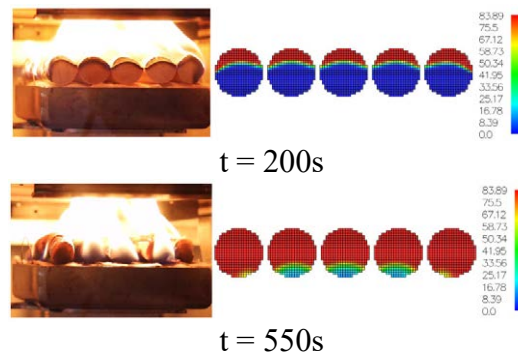
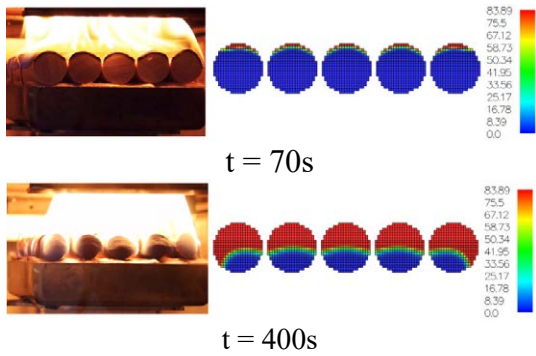


Figure 8. Qualitative comparison of the char front propagation in the cross section of the five rods test case. Snapshots from the camera on left, and FDS slices of char solid cell density on right.

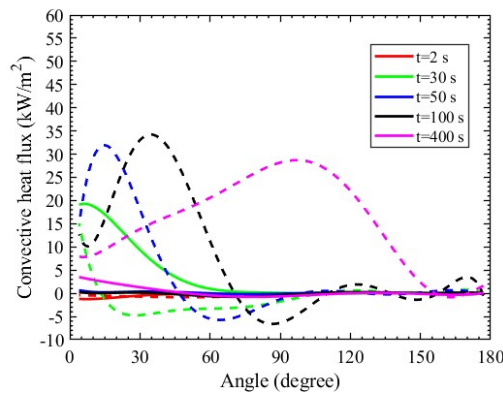
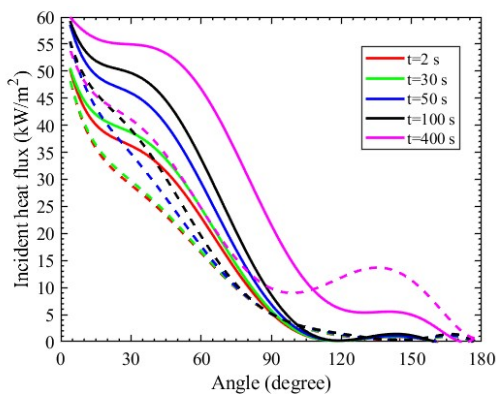


Figure 9. Simulated heat fluxes on the surface of the five rods case. Solid lines: data for the central rod; Dashed lines: data for the rightmost rod.

ple layouts. The model MLR and HRR predictions were validated against experimental results, demonstrating the model's prediction competence. A qualitative comparison between experimental and numerical char-front penetration confirmed the accuracy and promptness of the simulations. Similar char propagation trends were observed in our previous work on the shape-change of non-charring PMMA cylindrical samples [12]. Incident and convective heat flux distributions were extracted from simulations, explaining different char-front propagation trends. The charring property allowed extraction of surface fluxes at any simulation time, unlike the non-charring rods in the previous study [11,12].

The circumferential heat flux distributions obtained in this study, extracted for the simulation times well after the decomposition reaction intensified on the rods, were not attainable in our previous investigation involving non-charring materials. Many of the materials utilized in constructing the layers of electrical cables are charring polymers, including PVC and FRNC cables. Consequently, the convective and radiative flux distributions derived in this research will prove highly beneficial for simulating industrial cables in future endeavors.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study has been partly funded by the State Nuclear Waste Management Fund (VYR). The authors wish to acknowledge CSC – IT Center for Science, Finland, for computational resources.

## REFERENCES

- [1] Keski-Rahkonen, O., & Mangs, J., 2002. Electrical ignition sources in nuclear power plants: statistical, modelling and experimental studies, *Nucl. Eng. Des.*, vol. 213, no. 2–3, pp. 209–221.
- [2] Coaker, A., W., Hirschler, M., M., & Shoemaker, C., 1992. Rate of heat release testing for vinyl wire and cable materials with reduced flammability and smoke—full-scale cable tray tests and small-scale tests, *Fire Saf. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 19–53.
- [3] Barnes, M., A., Briggs, P., J., Hirschler, M., M., Matheson, A., F., & O'Neill, T., J., 1996. A Comparative Study of the Fire Performance of Halogenated and Non-Halogenated Materials for Cable Applications. Part I Tests on Materials and Insulated Wires, *Fire Mater.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–16.

- ▶ [4] McGrattan, K., B., Lock, A., J., Marsh, N., D., & Nyden, M. R., 2012. Cable heat release, ignition, and spread in tray installations during fire (CHRISTIFIRE): phase 1-horizontal trays.
- [5] Magalie, C., Anne-Sophie, C., Rodolphe, S., Laurent, F., Emmanuelle, G., & Christian, L., 2018. Fire behaviour of electrical cables in cone calorimeter: Influence of cables structure and layout, *Fire Saf. J.*, vol. 99, pp. 12–21.
- [6] Meinier, R., Sonnier, R., Zavaleta, P., Suard, S., & Ferry, L., 2018. Fire behavior of halogen-free flame retardant electrical cables with the cone calorimeter, *J. Hazard. Mater.*, vol. 342, pp. 306–316.
- [7] Matala, A., & Hostikka, S., 2011. Pyrolysis modelling of PVC cable materials, *Fire Saf. Sci.*, vol. 10, pp. 917–930.
- [8] Matala, A., 2013. *Methods and applications of pyrolysis modelling for polymeric materials*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- [9] Hostikka, S., & Matala, A., 2009. Modelling the fire behaviour of electrical cables, in *20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20)–11th International Post Conference Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations*.
- [10] Hehnen, T., Arnold, L., & La Mendola, S., 2020. Numerical Fire Spread Simulation Based on Material Pyrolysis–An Application to the CHRISTIFIRE Phase 1 Horizontal Cable Tray Tests, *Fire*, vol. 3, no. 3, p. 33.
- [11] Fard, M. G. H., & Hostikka, S., 2021. ”FDS-simulation of two-dimensional heat transfer and pyrolysis processes,” *Pelastustieto*, vol. 2021, pp. 94–99.
- [12] Fard, M. G. H., & Hostikka, 2023. ”Combustion characteristics of non-charring polymer cylinders-experimental and numerical study,” *Combust. Flame*, vol. 249, p. 112587.
- [13] Mangs, J., 2008. ”A new apparatus for flame spread experiments,” VTT Working Papers 112. VTT, Espoo, 2009, 51 p.+ App.
- [14] Mangs, J., & Hostikka, S., 2013. Vertical flame spread on charring materials at different ambient temperatures, *Fire Mater.*, vol. 37, no. 3, pp. 230–245.
- [15] Mangs, J., & Hostikka, S., 2011. Experiments and numerical simulations of vertical flame spread on charring materials at different ambient temperatures, *Fire Saf. Sci.*, vol. 10, pp. 499–512.
- [16] Li, K., & Hostikka, S., 2019. Embedded flame heat flux method for simulation of quasi-steady state vertical flame spread, *Fire Saf. J.*, vol. 104, pp. 117–129.
- [17] Bradbury, A., G., W., Sakai, Y., & Shafizadeh, F., 1979. A kinetic model for pyrolysis of cellulose, *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 23, no. 11, pp. 3271–3280.
- [18] Grønli, M., G., Várhegyi, G., & Di Blasi, C., 2002. ”Thermogravimetric analysis and devolatilization kinetics of wood,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 41, no. 17, pp. 4201–4208.
- [19] Antal, M., J., J., & Várhegyi, G., 1995. Cellulose pyrolysis kinetics: the current state of knowledge, *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 703–717.
- [20] Hostikka, S., & Matala, A., 2017. ”Pyrolysis model for predicting the heat release rate of birch wood,” *Combust. Sci. Technol.*, vol. 189, no. 8, pp. 1373–1393.
- [21] McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., & Overholt, K., 2013. ”Fire dynamics simulator technical reference guide volume 1: mathematical model,” *NIST Spec. Publ.*, vol. 1018, no. 1, p. 175.
- [22] Chaos, M., 2014. ”Spectral aspects of bench-scale flammability testing: application to hardwood pyrolysis,” *Fire Saf. Sci.*, vol. 11, no. 1014, pp. 165–178.



# Tilaa itsellesi tai lahjaksi

pelastustieto.fi  
> tilaa-lehti



# Mänty-, ja kuusipuiden hiiltymisen ja palamisen mallintaminen pyrolyysin, kytemisen ja liekehtivän palon aikana

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää toiminnallisen palosuunnittelun käyttöön materiaalimalli mänty-, ja kuusipuutavara- le ennustamaan hiiltymärintaman etenemistä ja lämmönvapautusta palavassa puussa. Kummallekin puulajille muodostettiin kaksi erillistä mallia, joista ensimmäisessä puu oletetaan yhdeksi yhtenäisesti hiiltymää tuottavaksi komponentiksi, toisessa taas puumateriaalin hiiltymisen mallinnetaan puun kunkin pääkomponentin toisistaan riippumattomien pyrolyysireaktioiden kautta (yhden ja rinnakkaisten reaktioiden mallit). Materiaalimallien kalibroinnissa ja validoinnissa käytetään kartiokalorimetrikokeita. Mallit ovat suunniteltu kattamaan palonkehityksen eri vaiheita, kuten täysin kehittyneen tulipalon, jossa hapetta on rajallisesti saatavilla, ja liekehtivän palamisen jälkeisen hiipumisvaiheen, jonka aikana paljas hiiltynyt puu voi palaa kytien liekittömästi. Sekä kuusi-, että mäntypuulla yhden ja rinnakkaisten reaktioiden mallit kykenivät toistamaan kartiokalorimetrikokeet lähes yhtäläisellä tarkkuudella. Yksinkertaisempi yhden reaktion malli on täten suositeltava vaihtoehto, uusien parametrien kasvattamiseksi mallin epävarmuutta. Malleja kokeiltiin suuren mittakaavan palotestien tulosten ennustamisessa, joissa ne kykenivät ennustamaan hiiltymän etenemistä, mutta simulaation lopullinen lämpötilaprofiili erosi kokeellisesta.

## JOHDANTO

Puurakentamista kohtaan on viime aikoina ollut kasvavaa maailmanlaajuisia kiinnostusta, painottuen yhä vahvemmin korkeaan rakentamiseen, sillä puu on uusiutuva ja ympäristöystävällinen materiaali, joka rakenteissa käytettynä sitoo hiiltä pitkäaikaisesti. Puurakentamiseen liittyy väistämättä materiaalille ominainen paloturvallisuusriski. Erityisesti korkeiden puurakennusten suunnittelussa toiminnallinen palosuunnittelu on keskeinen työkalu.

Toiminnallisessa palosuunnittelussa määräysten mukainen paloturvallisuuden taso toteutetaan rakennuskohtaisesti perustuen insinööriin suoritettuihin analyyseihin ja laskelmiin, taulukoitujen vaatimusten orjallisen noudattamisen sijasta. Palavan puun hiiltymisen on monimutkainen ilmiö, jota toiminnallisessa palosuunnittelussa mallinnetaan kiinteän faasin materiaalimallilla. Kaasufaasissa tapahtuvaa palamista ja lämmönvapautusta puolestaan mallinnetaan palomallilla [1], joka on reunaehtona materiaalimallille, ja toimii ajavana voimana kiinteässä faasissa tapahtuvalle hiiltymiselle ja pyrolyysille.

Tämän tutkimuksen tavoite on muodostaa tutkittaville puulaajalle, kuuselle ja männylle, toiminnallisessa palosuunnittelussa hyödynnettävät numeeriset materiaalimallit ennustamaan hiiltymän etenemistä laskennalliseen virtausmekaniikkaan perustuvissa tulipalosuunnitteluissa. Kuusi ja mänty ovat Suomen ja pohjoismaiden keskeisimmät rakennepuutavarat, mutta aiemmassa tutkimuksessa ei ole olemassa varta vasten niille muodostettua materiaalimallia, joka huomioisi myös hapettumisen. Materiaalimallit perustuvat lämmönsiirtoon ja reaktiokinetiikkaan, joten konversio puusta hiileksi on ympäröivien olosuhteiden kontrolloimaa. Mallin estimoinnissa käytettiin kartiokalorimetrikokeita, joita suoritettiin hapettomassa typpi-ilmakehässä, normaali-ilmakehässä mutta liekittömästi kytien, ja liekehtivästi palaen normaali-ilmakehässä. Materiaalien termiset ominaisuudet määriteltiin siten, että ne toteuttavat kokeelliset kartiokalorimetritulokset kaikissa tutkituissa olosuhteissa. Tällä varmistetaan mallin yleis-tettävyys tulipalon eri vaiheisiin, kuten täysin kehittyneeseen tulipaloon, jossa hapetta on vain vähän saatavilla, tai hiipumisvaiheessa, jossa liekehtivän palon sammuttua kuuma hiiltynyt pinta on kosketuksissa hapen kanssa. Lopuksi kokeillaan mallin soveltuvuutta hiiltymän etenemisen ennustamiseen suuren mittakaavan palotesteissä.

## MENETELMÄT

### Materiaalit

Koemateriaaleina käytettiin kuusta (*Picea abies*) ja mäntyä (*Pinus sylvestris*). Kuusen ja männyn kuivatiheysiksi oletettiin Rinta-Paavolan ja Hostikan [2] aiemmin määrittelemät 408 ja 493 kg/m<sup>3</sup>. Näytteitä säilytettiin 20 °C lämpötilassa ja 45 % suhteellisessa kosteudessa, joka johti 9 % kosteuspitoisuuteen märkäpainosta. Kemialliset koostumukset pääkomponenteittain oletettiin Sjöströmin [3, s. 208] mukaisesti: kummallekin puulajille massaperusteisesti noin 28 % hemiselluloosaa, 40 % selluloosaa ja 27 % ligniiniä. Uuteaineita kummassakin on alle 3.5 % ja tuhkaa alle 1 %.

### Kokeelliset menetelmät

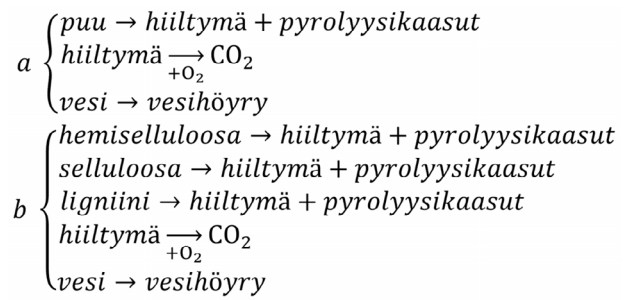
Tutkimuksen pääasiallinen koeväline oli kartiokalorimetri. Se on palotestauksessa yleisesti käytetty laite, jossa katkaistun kartion muotoinen lämpösäteilijä kohdistaa lämpövirran tutkittavan näytteen pintaan. Laitteessa on näytteen päälle liikuteltava valokaarisytytin, joka sytyttää pyrolyysikaasut välittömästi palavan seoksen muodostuttua näytteen pinnalle. Laite seuraa näytteen palotehoa ja massamuutosta. Tässä tutkimuksessa käytetty kartiokalorimetri on Concept Equipmentin valmistama, ja sitä voidaan käyttää ISO 5660-1 -standardin mukaisesti liekehtivän palamisen tutkimuksessa, tai lähes hapettomissa oloissa.

Kuusi-, ja mäntynäytteet olivat neliönmuotoisia, altistettua pinta-alaltaan 10 × 10 cm ja paksuudeltaan 2 cm. Säteilyaltistuksen suunta oli puun syiden suuntaan nähden kohtisuorassa. Kokeet suoritettiin hapettomissa oloissa typpi-ilmakehässä, ja liekittömän kytemispalon ja liekehtivän palamisen olosuhteissa, kahden jälkimmäisen ollessa normaali-ilmakehässä. Hapettomat olosuhteet saatiin aikaan sulkemalla näytekammion tuuletusaukot ja huuhtelemalla 4 l/s typpivirtauksella, liekkiön kytemispalo taas ilman ulkoista sytytystä ja riittävän alhaisella ulkoisella lämpösäteilyllä. Jokainen koe toistettiin kolmeen kertaan. Näytteet käärittiin alumiinifolioon, vain altistettavan pinnan ollessa paljaana, ja asetettiin 1.3 cm paksun keraamisen villakerroksen päälle. Hapettomat pyrolyysikokeet suoritettiin 35 ja 50 kW/m<sup>2</sup> ulkoisella lämpösäteilyvirrantiheydellä kummallekin puulajille, kun taas kytemispalokokeissa kuusella käytettiin 25 ja 35 kW/m<sup>2</sup> ja männylle 20 ja 30 kW/m<sup>2</sup>, sillä männyn havaittiin syttyvän itsestään sitä korkeammalla altistuksella. Liekehtivät kokeet toteutettiin 25, 35 ja 50 kW/m<sup>2</sup> lämpövirrantiheyksillä. Hapettomat ja liekehtivät kokeet 35 kW/m<sup>2</sup> lämpövirrantiheydellä toistettiin lämpötilamittauksilla K-tyyppin lämpöpareilla näytteen sisällä 1 cm:n syvyydellä ja takapinnalla, 2 cm:n syvyydellä, käyttäen kahta sensoria kullakin syvyydellä. Sensorit 1 cm:n syvyydellä asetettiin näytteen sivusta porattuun reikään.

Kummankin puumateriaalin lämmönjohtavuus mitattiin syiden suuntaan nähden kohtisuoraan laserpulsianalyysimenetelmällä (LFA, *laser flash analysis*) Netzsch LFA 427 -mittalaitteella. Puunäytteet työstettiin 12.4–12.7 mm leveiksi ja 2.9–4.25 mm paksuiksi kiekkoiksi, jotka päällystettiin ennen kokeita grafiittisuihkeella. Puunäytteiden lämmönjohtavuus mitattiin lämpötila-alueella 20–200 °C, kolmella toistolla kummallekin puulajille.

### Reaktiomallit

Tutkimuksessa käytettiin samoja reaktiomalleja kuin Rinta-Paavolan ja Hostikan edeltävässä tutkimuksessa [2], eli yhden ja rinnakkaisien reaktioiden malleja. Aiempaan nähden malleja on laajennettu hiiltymälle määritellyllä hapettumisreaktiolla. Yhden reaktion malli olettaa yhden homogeenisen puukomponentin, joka hajoo tuottaen hiiltymää ja pyrolyysikaasuja. Rinnakkaisien reaktioiden mallissa taas jokaisen kolmen pääkomponentin



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetyt reaktiomallit: a: yksi reaktio, b: rinnakkaiset reaktiot.

(hemiselluloosa, selluloosa, ligniini) pyrolyysiä taas tarkastellaan omien erillisten reaktioidensa kautta. Aiemmassa tutkimuksessa [2] todettiin, että makroskooppisessa mallissa uuteaineilla ei ole merkitystä, vaikka mallin sopivuudelle mikroskaalan termogravimetrikokeisiin niiden huomiointi on tärkeää. Täten Sjöströmin [3] raportoima uuteaineen määrä oletettiin kummallakin puulajilla osaksi hemiselluloosaa. Kuva 1 esittää yhden (a) ja rinnakkaisien (b) reaktioiden mallit. Puuhun sitoutuneen veden haihtuminen mallinnetaan omana reaktionaan.

### Numeeriset menetelmät

Tutkimuksessa käytettiin numeeriseen materiaalmallinnukseen Fire Dynamics Simulator (FDS) versio 6.7.7:ää. [4]. FDS on las-kennalliseen virtausmekaniikkaan perustuva tulipalojen mallinnusohjelmisto, joka sisältää myös mallin lämmönsiirrolle ja pyrolyysille kiinteässä aineessa. Reaktioopeus syvyydellä  $x$  määritellään Arrhenius-tyyppisellä kinetiikalla.

$$r_\alpha(x) = \left( \frac{\rho_{s,\alpha}(x)}{\rho_{s,0}} \right)^{n_\alpha} A_\alpha \exp\left(-\frac{E_\alpha}{RT_s(x)}\right) X_{O_2}^{n_{O_2,\alpha}} \quad (1)$$

missä  $\rho_{s,\alpha}$  on komponentin  $\alpha$  massakonsentraatio,  $\rho_{s,0}$  on materiaalikerroksen alkutiheys,  $n_\alpha$  on reaktion kertaluku,  $A_\alpha$  on Arrheniuksen vakio,  $E_\alpha$  on aktivaatioenergia,  $R$  on yleinen kaasuvakio,  $T_s$  on kiinteän faasin lämpötila syvyydellä  $x$ ,  $X_{O_2}$  on hapen paikallinen tilavuusosuus kiinteän aineen sisällä, ja  $n_{O_2,\alpha}$  on reaktion kertaluku hapen suhteen.

On huomioitava, että FDS versio 6.7.8:ssa ja myöhemmissä reaktioopeusyhtälö eroaa hieman yhtälöstä 1. Tästä syystä, mikäli kineettinen malli halutaan tuoda vanhasta uuteen FDS-versioon ja  $n_\alpha \neq 1$ , Arrheniuksen vakion arvoa on skaalattava yhtälön 2 mukaisesti [5, s. 92]. Jos  $n_\alpha = 1$ , niin vanhojen FDS-versioiden kineettiset parametrit käyvät sellaisenaan.

$$A_\alpha(\text{uusi}) = \frac{A_\alpha(\text{vanha})}{\rho_{s,0}^{n_\alpha-1}} \quad (2)$$

FDS ei mallinna suoraan aineensiirtoa kiinteässä aineessa, vaan olettaa hapen tilavuusosuuden syvyydellä  $x$  noudattavan eksponentiaalista vaimenemista kaasufaasin arvosta  $X_{O_2,g}$ .

$$X_{O_2}(x) = X_{O_2,g} \exp(-x/L_g) \quad (3)$$

missä  $L_g$  on keskenään kilpailevista hapen diffuusiosta ja sen reaktioissa kulumisesta johtuva diffuusion pituuskaala.

FDS ratkaisee lämmönsiirron kiinteässä faasissa yksiulotteisella lämpöyhtälöllä.

$$\rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_s \frac{\partial T_s}{\partial x} \right) + \dot{q}_s''' \quad (4)$$

missä  $c_s$  on kiinteän materiaaliseoksen ominaislämpökapasiteetti,  $t$  on aika ja  $k_s$  on kiinteän materiaaliseoksen lämmönjohtavuus. Kemiallinen lähde-termi  $\dot{q}_s'''$  edustaa kemiallisten reaktioiden sitomaa tai vapauttamaa lämpöenergiaa.

Mallien parametrit estimoitiin PROPTI-ohjelmalla [6]. Käytetty optimointimenetelmä oli *shuffled complex evolution*.

## TULOKSET

### Parametrien estimointi

Mallien parametrien estimointiin käytettiin kartiokalorimetrikokeissa mitattuja massahäviöitä, lämpötiloja, ja lämmönvapautusnopeuksia hapettomissa, liekittömästi kytevässä ja liekehtivän palamisen olosuhteissa ulkoisella lämpövirrantiheydellä 35 kW/m<sup>2</sup>, poikkeuksena 30 kW/m<sup>2</sup> kytevän männyn kokeissa. Estimoidut parametrit, ja tässä työssä käytetyt aiemman tutkimuksen [2] mukaiset happivapaan pyrolyysin kineettiset parametrit, ovat esitettynä taulukossa 1. Taulukon 1 mukaiset hiiltymän tiheydet sovitetiin käsin siten, että simulaation ja kokeiden jälkeiset loppupaksuudet ovat yhteneväisiä. FDS määrittää paksuuden muutoksen pyrolyysin aikana kiinteän lopputuotteen saannon ja alku-, ja lopputiheyksien suhteen perusteella. Kummankin puulajin emissiivisyydeksi oletetaan 0.9 [7] ja konvektiiviseksi lämmönsiirtokertoimeksi kartiokalorimetrissä 15 W/m<sup>2</sup>K [8]. Hiiltymän ominaislämpökapasiteetin oletetaan noudattavan yhtälön 5 mukaista

Komponentti, parametri	Yhden reaktion malli		Rinnakkaisten reaktioiden malli	
	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
<b>Vesi</b>				
$A$ (1/s)	$8.37 \cdot 10^{12}$	$8.37 \cdot 10^{12}$	$8.37 \cdot 10^{12}$	$8.37 \cdot 10^{12}$
$E$ (kJ/mol)	121	121	121	121
$n$ (-)	1	1	1	1
<b>Puu</b>				
$H_r$ (kJ/kg)	112	140		
$h_s$			249	404
$s$			253	629
$l$			-1230	-1250
$\Delta H_c$ (kJ/kg)	13750	13850		
$h_s$			19500	17000
$s$			13400	14000
$l$			7000	7200
$A$ (1/s)	$4.691 \cdot 10^{13}$ ( $2.121 \cdot 10^{11}$ )	$2.007 \cdot 10^{13}$ ( $7.724 \cdot 10^{10}$ )		
$h_s$			$5.426 \cdot 10^{13}$ ( $6.065 \cdot 10^9$ )	$3.194 \cdot 10^{13}$ ( $9.49 \cdot 10^9$ )
$s$			$4.239 \cdot 10^{13}$ ( $4.25 \cdot 10^{14}$ )	$2.146 \cdot 10^{13}$ ( $2.453 \cdot 10^{14}$ )
$l$			$2.46 \cdot 10^{12}$ ( $8.491 \cdot 10^{-2}$ )	$2.46 \cdot 10^{12}$ ( $3.364 \cdot 10^{-2}$ )
$E$ (kJ/mol)	190.5	185.1		
$h_s$			168.1	168.1
$s$			195.1	191.2
$l$			157.5	157.5
$n$ (-)	1.89	1.89		
$h_s$			2.5	2.3
$s$			0.62	0.61
$l$			6.11	6.11
$v_{hiiltymä}$ (-)	0.16	0.16		
$h_s$			0	0
$s$			0.043	0.033
$l$			0.517	0.517
<b>Hiiltymä</b>				
$\varepsilon$ (-)	0.838	0.838	0.838	0.838
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	52.5	104	20	72
$n$ (-)	1	1	1	1
$A$ (1/s)	3.75	1.79	23.5	3.18
$E$ (kJ/mol)	27.7	27.7	32.5	32.5

Taulukko 1. Mallin parametrit. Hemiselluloosa: hs; selluloosa: s; ligniini: l. Yhtälön 2 mukaisesti päivitetty Arrheniuksen vakiot esitetty sulkeissa mikäli tarpeen, olettaen 9 massa-% kosteuspiitoisuutta vastaavan kerroksen alkutiheyden.

korrelaatiota [9] ja molempien puulajien ominaislämpökapasiteetin aiempia kokeellisia tuloksia [2] yhtälön 6 mukaisesti. Hiiltymän lämmönjohtavuuden oletetaan noudattavan yhtälöä 7 [10]. Kuusen ja männyn lämmönjohtavuudet selvitettiin tämän tutkimuksen aikana LFA-mittauksilla, joihin sovitettiin yhtälöinä 8 ja 9 esitetyt lineaariset korrelaatiot. Hiiltymän hapettumisreaktion kertaluvuksi hapen suhteen oletettiin 0.68 [11], ja yhtälön 3 mukaiseksi kaasun diffuusion pituuskaalaksi  $L_g 10^{-4}$  m, joka rajoittaa hapen diffuusion yksinomaan lähelle kiinteän aineen pintaa. Hiiltymän hapettumisen reaktiolämmöksi oletettiin -32000 kJ/kg [12]. Tässä työssä hyödynnetyt, aiemmin määritellyt palamislämmöt kaasufaasissa  $\Delta H_c$  [2] on esitetty taulukossa 1. Taulukossa käytetyistä symboleista aiemmin määrittelemätön  $v_{hiiltymä}$  merkitsee hiiltymäsaantoa puun pyrolyysireaktiossa.

$$c_p(\text{hiiltymä}) = 1430 + 0.355T - \frac{7.32 \cdot 10^7}{T^2} \quad (\text{J/kg} \cdot \text{K}) \quad (5)$$

$$c_p(\text{puu}) = 4.4T - 414 \quad (\text{J/kg} \cdot \text{K}) \quad (6)$$

$$k(\text{hiiltymä}) = 8.2 \cdot 10^{-5}T + 0.091 \quad (\text{W/m} \cdot \text{K}) \quad (7)$$

$$k(\text{kuusi}) = 3.16 \cdot 10^{-4}T - 0.0305 \quad (\text{W/m} \cdot \text{K}) \quad (8)$$

$$k(\text{mänty}) = 3.57 \cdot 10^{-4}T - 0.00462 \quad (\text{W/m} \cdot \text{K}) \quad (9)$$

joissa  $T$  on absoluuttinen lämpötila.

Altistetun pinnan reunaehdoksia on määritelty kunkin kokeen nimellinen lämpövirrantiheys kartiosäteilijästä. Mallintaessa hapettomia ja kytemispalokokeita, kaasun virtausmekaaninen laskenta oli kytketty pois päältä laskennan nopeuttamiseksi. Näissä ympäröivä happipitoisuus oletettiin joko nolaksi tai normaali-ilmakehän mukaiseksi, ympäröivän kaasufaasin lämpötilan ollessa huoneenlämpö. Liekehtivät kokeet mallinnettiin kaasufaasin virtausmekaniikka päällä liekin mallintamiseksi, ja kaasufaasin annettiin ennustaa vapaasti paikalliset lämpötilat ja happikonsentraatiot, alkutilan ollessa normaali-ilmakehä huoneenlämmössä. Takapinnan reunaehdona on kokeen mukainen keraamisen villan kerros.

Yhden reaktion mallit kuuselle ja männylle ovat saatavana julkisesti FDS:n validointitietokannassa [13, s. 985].

### Pyrolyysi ja palaminen kartiokalorimetrissä

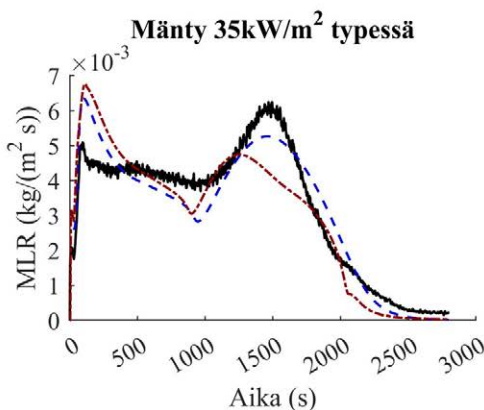
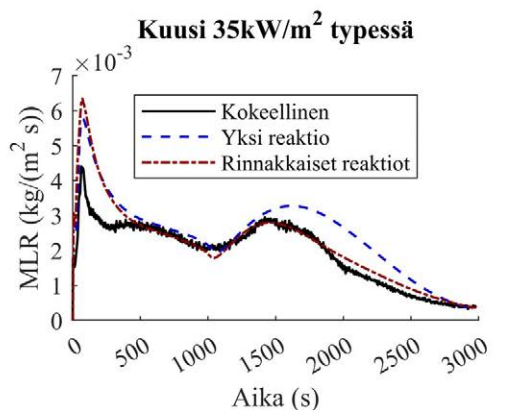
Tässä kirjoituksessa esitetään kartiokalorimetrituloksia ainoastaan mallien kalibrointiin käytetyllä 35 kW/m<sup>2</sup> ulkoisella lämpövirrantiheydellä tyypessä ja liekehtivän palamisen oloissa. Tulokset muilla lämpövirrantiheyksillä ja kytemispalon olosuhteissa esitetään kirjoitushetkellä vertaisarvioitavana olevassa artikkelissa [14].

Kuvat 2 ja 3 esittävät kokeelliset massahäviönopeudet ja lämpötilat kuuselle ja männylle typpi-ilmakehässä 35 kW/m<sup>2</sup> lämpövirrantiheydellä, ja näitä tuloksia käyttäen estimoitujen yhden-, ja rinnakkaisten reaktioiden mallien ennusteet. Kuva 2 osoittaa kummankin vaihtoehdoisen mallin tarkan sopivuuden kokeelliseen massahäviöön sekä kuusella että männyllä 35 kW/m<sup>2</sup> lämpövirralla, massahäviöpiikkien sijaintien ollessa tarkasti ennustettu, ja massahäviönopeuksien ollessa oikeaa suuruusluokkaa. Pääasiallinen poikkeus on systemaattisesti yliennustettu ensimmäisen massahäviöpiikin korkeus. Todennäköinen syy on mallien oletama haihtuvan veden ja pyrolyysituotteiden välitön aineensiirto kiinteän faasin pinnalle, kun taas todellisuudessa näiden pakenemista kaasufaasiin hidastaa aineensiirtovastus kiinteän faasin sisällä. Merkittävin poikkeama mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen välillä on kuvan 3 perusteella 10 mm:n syvyydellä kokeen lopussa. Epäilty syy kokeellista alhaisempaan lämpötilaan on lämmönsiirtoa edistävien halkeamien muodostuminen kokeen edetessä, mitä tosin ei ole huomioitu laskennallisissa malleissa. ▶

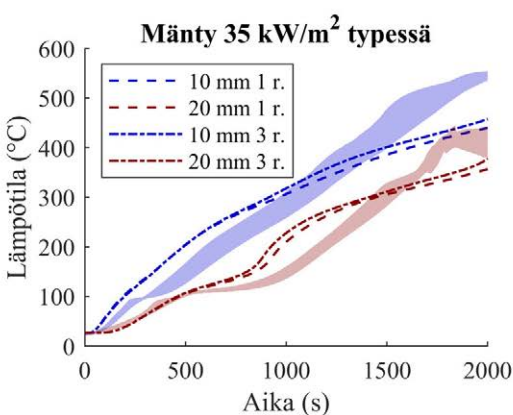
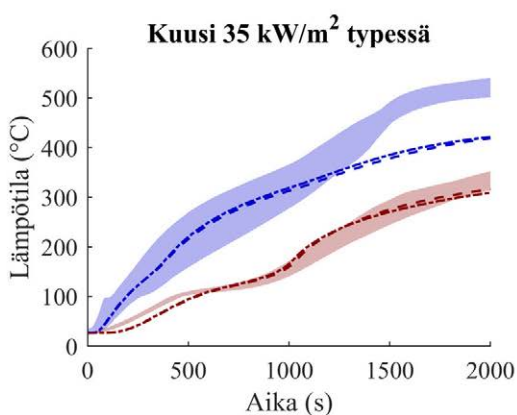


► Kuvat 4 ja 5 esittävät kokeelliset lämmönvapautusnopeudet ja lämpötilat liekehtivän palamisen aikana, ja vastaavat simulaatioita. Kuvat osoittavat mallien kauttaaltaan tarkan sopivuuden koetuloksiin. Kuvan 5 mukaan mallit aliennustavat loppulämpötilat koe-

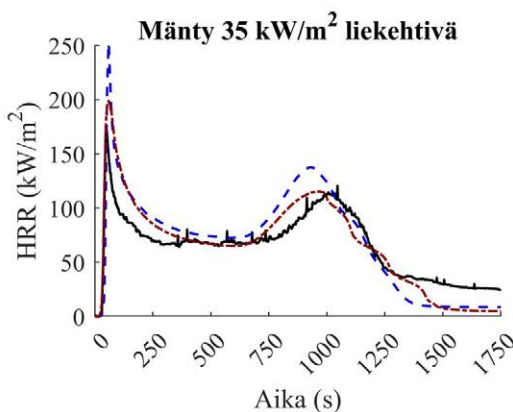
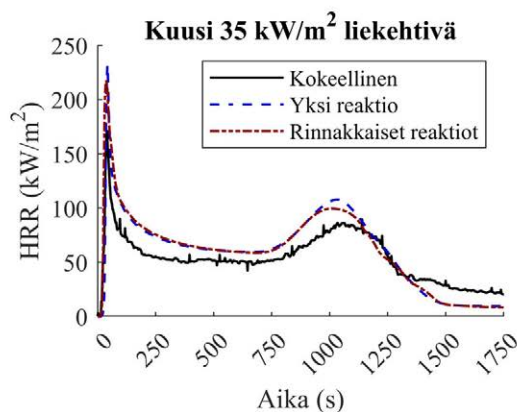
tuloksiin nähden 10 mm:n syvyydellä, käytöksen ollessa vastaavaa kuin kuvan 3 esittämässä kokeissa tyypissä. Johdonmukaisesti aliennustettu lämpötila kummassakin koeolosuhteessa tukee johdopäätöstä halkeilusta mallien ja koetulosten välisen eron syynä.



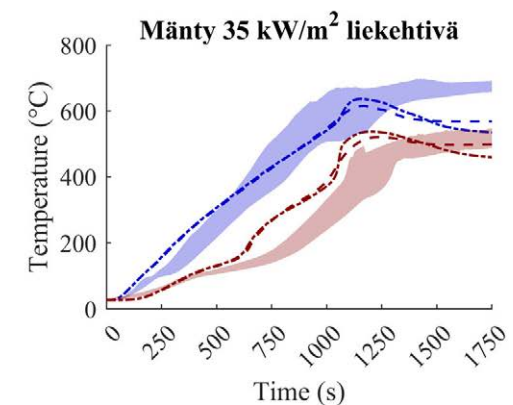
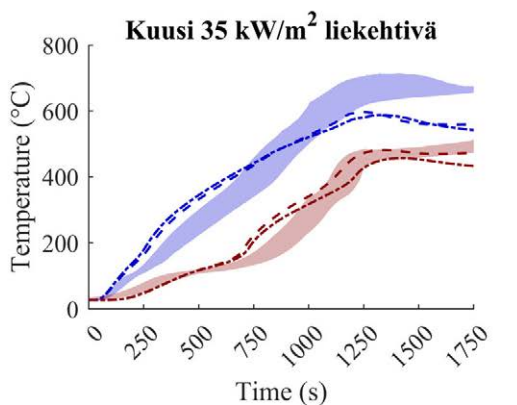
Kuva 2. Kokeelliset massahäviönopeudet (MLR, *mass loss rate*) kartiokalorimetrissä lämpövirrantiheydellä 35 kW/m<sup>2</sup> typpi-ilmakehässä, ja vastaavat mallien ennusteet.



Kuva 3. Kokeellisesti mitattujen lämpötilojen vaihteluväli (varjostetut alueet) kartiokalorimetrissä näytteen sisällä ja takana lämpövirrantiheydellä 35 kW/m<sup>2</sup> typpi-ilmakehässä, ja vastaavat mallien ennusteet. 1 r.: yksi reaktio; 3 r.: rinnakkaiset reaktiot.

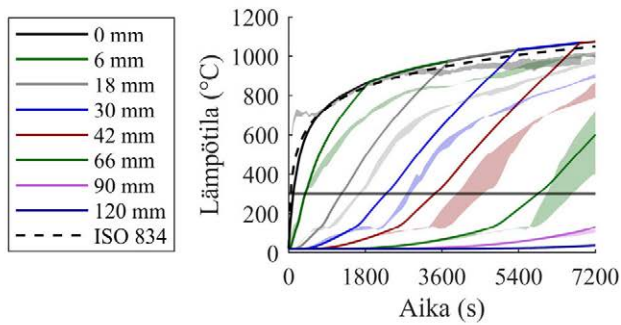
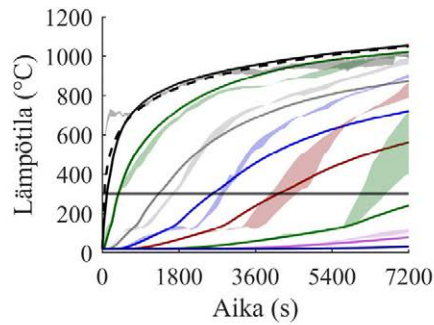


Kuva 4. Kokeelliset lämmönvapautusnopeudet (HRR, *heat release rate*) kartiokalorimetrissä lämpövirrantiheydellä 35 kW/m<sup>2</sup> liekehtivän palamisen aikana, ja vastaavat mallien ennusteet.



Kuva 5. Kokeellisesti mitattujen lämpötilojen vaihteluväli (varjostetut alueet) kartiokalorimetrissä lämpövirrantiheydellä 35 kW/m<sup>2</sup> liekehtivän palamisen aikana, ja vastaavat mallien ennusteet. 1 r.: yksi reaktio; 3 r.: rinnakkaiset reaktiot.

--- 10 mm single --- 20 mm single --- 10 mm parallel --- 20 mm parallel

**Kuusi ISO 834 yksi reaktio****Kuusi ISO 834 rinnakkaiset reaktiot**

Kuva 6. Puun sisäisten lämpötilojen vaihteluväli samassa testissä eri lämpöanturien välillä [15] varjostetuilla alueilla, ja vastaavat mallien ennusteet jatkuvina viivoina esitettynä. Kuvaan on merkitty vaakasuoralla viivalla 300 °C lämpötila.

### Validointi suuressa mittakaavassa

Kuusen yhden-, ja rinnakkaisten reaktioiden malleja testattiin puun sisäisen lämpötilaprofiilin kehittymisen ennustamisessa suuren mittakaavan ISO 834 -palotestissä [15]. Koe suoritettiin 195 mm paksulla puurakenteella, johon oli asetettu kullekin syvyydelle kaksi lämpöanturia. Puulajia ei ilmoitettu suoraan, mutta perustuen ilmoitettuun 483 kg/m<sup>3</sup> tiheyteen 8 massa-% kosteuspitoisuudella, arvioimme kyseessä olevan kuusi. Palotesti [15] simuloitiin ilman kaasufaasin virtausmekaanista laskentaa, vastaten kytemispalomallia, jonka on esitelty tarkemmin artikkelissa [14]. Testiuunin happipitoisuudeksi oletettiin 7 % [16]. Kuva 6 osoittaa merkittävät erot koetulosten ja sekä yhden-, että rinnakkaisten mallien välillä ISO 834 -testissä [15], eri mallien virheen ollessa toisiinsa nähden vastakkaisesti suuntiin mittauksiin verrattuna. Kokeellisessa mittauksessa lämpötilan nousu kullakin syvyydellä hidastuu 600 °C:n kohdalla, mutta yhden reaktion malli ennustaa liki lineaarisen kasvun, kunnes mittauspiste on saavuttanut kaasufaasin lämpötilan. Tämä kertoo hiililymän hapettumisrintaman saavuttavan eri mittauspisteet huomattavan ennenaikaisesti. Rinnakkaisten reaktioiden mallilla taas simuloitujen lämpötilat jäävät pääsääntöisesti mittausten alapuolelle, erityisesti syvemmällä puussa. Lisähuomiona, kummassakaan mallinnetussa testissä kumpikaan malli ei kyennyt ennustamaan täydellisesti kokeellisten mittausten veden haihtumisesta johtuvaa hitaan lämpötilakehityksen aluetta 100 °C:n lämpötilassa. Todennäköinen syy tälle on aineensiirtomallin puuttuminen. Kuitenkin, kuva osoittaa että kummatkin mallit onnistuvat ennustamaan 300 °C isotermin etenemisen, jonka yleisesti oletetaan vastaavan hiililymärintamaa. Poikkeuksena rinnakkaisten reaktioiden malli 66 mm:n syvyydellä, jolloin simuloitu lämpörintaman eteneminen jää selvästi kokeellisesta jälkeen.

### JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokeellisten kartiokalorimetritulosten ja simulaatioiden vertaaminen kaikissa olosuhteissa paljastaa lähes yhtenevän sopivuuden koetuloksiin yhden ja rinnakkaisten reaktioiden mallien välillä kummallekin puulajille. Rinta-Paavola ja Hostikka [2] totesivat aiemmin, ettei rinnakkaisten reaktioiden malli ole olennaisesti yhden reaktion mallia suorituskykyisempi, mutta sen suurempi parametrien määrä johtaa suurempaan mallin epävarmuuteen. Kyseisen tutkimuksen mittaukset kuitenkin olivat suppeampia, jolloin varattiin mahdollisuus rinnakkaisten reaktioiden mallin tarpeellisuudelle hiililymän etenemisen ja lämpötilaprofiilin ennustamisessa. Edes tämän tutkimuksen yksityiskohtaisemmat kokeet lämpötilamittauksin ja eri olosuhteissa eivät muuta aikaisempaa johtopäätöstä yhden reaktion mallista suositeltavana valintana. Kehitetyt mallit eivät kuitenkaan kykene tarkasti toistamaan läm-

pötilakehitystä suuren mittakaavan palotestissä. Kehityskohteina on aineensiirron ja halkeilun vaikutusten lisääminen malliin, joiden vaikutus korostuu paksua rakennetta mallintaessa.

### KIITOKSET

Kiitämme professori Ari Jokilaaksoa LFA-kokeiden mahdollistamisesta ja TkT Esko Mikkolaa VTT Expert Services:n palotestitulosten tarjoamisesta käyttöömmeh. Työtä on rahoittanut Suomen Akatemia, päätös 297030, ja Palosuojelurahasto, päätös VN/14174/2021. Tutkimuksessa hyödynnettiin Suomen Akatemian RawMatTTTERS Finland -infrastruktuuria (RAMI) ja CSC – Tieteen tietotekniikan keskuksen laskentaresursseja.

### LÄHDELUETTELO

- Östman, B., Brandon D. & Frantzich H., 2017. Fire safety engineering in timber buildings. *Fire Safety Journal*, 2017. Vol. 91, s. 11–20. ISSN 1873-7226.
- Rinta-Paavola, A. & Hostikka, S., 2022. A model for the pyrolysis of two Nordic structural timbers. *Fire and Materials*, 2022. Vol. 46, nro 1, s. 55–68. ISSN 1099-1018.
- Sjöström, E., 1983. *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. New York: Academic Press. ISBN 012647480X.
- McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R. & Vanella, M., 2021. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model, Revision: FDS6.7.7-0-gfe0d4ef38*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R., Vanella, M. & Mueller, E., 2023 *Fire Dynamics Simulator User's Guide, Revision: FDS-6.8.0-0-g886e009*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- Arnold, L., Hehnen, T., Lauer, P., Trettin, C. & Vinayak, A., 2018. PROPTI – A Generalised Inverse Modelling Framework. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1107, nro 3, artikkeli 032016. ISSN 1742-6596.
- Chaos, M., 2014. Spectral Aspects of Bench-Scale Flammability Testing: Application to Hardwood Pyrolysis. *Fire Safety Science*, 2014. Vol. 11, s. 165–178. ISSN 1817-4299.
- Ryder, N. & Weckman, E., 2013. Effects of convective heat transfer coefficient in prediction of materials properties from cone calorimeter testing. Teoksessa: Babrauskas, V., Grayson, S., Hirschler, M., Janssens, M., van Hees, P. (ed.) *Fire and Materials 2013 – 13th International Conference and Exhibition, Conference Proceedings*, San Francisco 28–30 January 2013. Lontoo: Interscience Communications, s. 379–388.



- ▶ 9. Fredlund, B., 1988. A Model for heat and mass transfer in timber structures during fire: A theoretical, numerical and experimental study. Väitöskirja. Lund: Lundin yliopisto. ISRN LUTVDG(TVBB-1003).
10. Alves, S.S. & Figueiredo, J.L., 1989. A model for pyrolysis of wet wood. Chemical Engineering Science. Vol. 44, nro 12, s. 2451–2490. ISSN 1873-4405.
11. Anca-Couce, A., Zobel, N., Berger, A. & Behrendt, F., 2012. Smouldering of pine wood: Kinetics and reaction heats. Combustion and Flame. Vol. 159, nro 4, s. 1708–1719. ISSN 1556-2921.
12. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R. & Vanella, M., 2021. Fire Dynamics Simulator User's Guide, Revision: FDS6.7.7-0-gfe0d4ef38. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
13. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R., Vanel-

la, M. & Mueller, E., 2023. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation, Revision: FDS-6.8.0-0-g886e009. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

14. Rinta-Paavola, A., Sukhomlinov, D. & Hostikka, S. Modelling Charring and Burning of Spruce and Pine Woods During Pyrolysis, Smouldering and Flaming. Fire Technology, *vertaisarvioitavana*. ISSN 1572-8099.

15. VTT Expert Services, 2016. One-dimensional charring of solid timber, glued-laminated timber, LVL and CLT. Espoo: VTT Expert Services. (Test report VTT-S-04746-16)

16. Babrauskas, V., 2005. Charring rate of wood as a tool for fire investigations. Fire Safety Journal. Vol. 40, nro 6, s. 528–554. ISSN 1873-7226.



**Palotutkimuksen päivillä esitellään viimeaikaisia saavutuksia kotimaisessa palotutkimuksessa. Tämän vuoden teemat ovat tiedolla johtaminen ja pelastustoimen kehittäminen, asumisturvallisuus, mallinnus ja simulointi sekä työturvallisuus ja metsäpalot.**



# Yksiulotteisen yhdistetyn lämmön- ja massansiirtomallin kelpoistaminen pienkokeilla

## Tiivistelmä

Suurin uhka betonirakenteiden paloturvallisuudelle on betonin räjähdysmäinen lohkeilu. Räjähdysmäinen lohkeilu on merkittävä riski erityisesti korkealujuusbetoneissa, joita käytetään mm. liikennetunneleissa ja korkeassa rakentamisessa. On todennäköistä, että lohkeilu on usean yhtäaikaisen fysikaalisen ilmiön seurausta. Monista tutkimuksista huolimatta räjähdysmäisen lohkeilun teoria ei ole valmis, ja lohkeilua esiintyy edelleen voimakkaissa tulipaloissa. Koska betonin palokäyttäytymisen kriittisten ilmiöiden teoria ei ole yhtenäistynyt, yleisesti käytössä olevia malleja ei ole. Kosteaa betonin simulointi edellyttää mm. lämmönjohtumisen sekä veden höyrystymisen ja kulkeutumisen mallintamista. Palosimulointeja tehdään yleisimmin Fire Dynamics Simulator (FDS) -ohjelmalla, jonka lämmönsiirtomalli pystyy nykyisellään laskemaan lämmönjohtumista 1D- tai 3D-rakenteissa, mutta muut betonin lohkeilun kuvaamiseen tarvittavat ominaisuudet puuttuvat. Nyt esiteltävä yksiulotteinen yhdistetty kosteuden- ja lämmönsiirtomalli, sekä mallin pohjalta toteutettu itsenäinen numeerinen ratkaisija, on ensiaskel betonin lohkeilun ennustamiseen huokospaineen avulla FDS:ssä. Malli ja sen numeerinen ratkaisija validoitiin lämmön- ja massansiirron osalta pienkokeilla, joiden tulosten perusteella mallin voidaan todeta mallintavan kokeissa havaittuja fysikaalisia ilmiöitä tarkasti.

## JOHDANTO

Tunnelien määrä Euroopassa lisääntyy tulevaisuudessa eri maiden siirtyessä kestäviin ratkaisuihin liikenteessä ja infrastruktuurissa. Samanaikaisesti, uusia akku- ja vetykäyttöisiä ajoneuvoja tulee markkinoille. Nämä uudentyypiset ajoneuvot muodostavat haasteen paloturvallisuuden näkökulmasta, sillä niiden läsnäolo tulipalossa aiheuttaa korkeampia lämpötiloja kuin nykyisten suunnittelumallien ennustamat lämpötilat. Aalto-yliopisto ja Tanskan teknillinen korkeakoulu (DTU) perustivat yhteisprojektin, jossa tutkitaan uudentyypisten ajoneuvojen vaikutusta tie-

liikennetunnelien paloturvallisuuteen. Yksi projektin tavoitteista on kehittää parempia työkaluja sellaisten tulipalojen mallintamiseen, joissa on mukana uudentyypisiä ajoneuvoja.

Betonin räjähdysmäinen lohkeilu on suurin uhka betonirakenteiden paloturvallisuudelle rakenteellisen paloturvallisuuden näkökulmasta. Tunneleiden betonirakenteilla on korostunut räjähdysmäisen lohkeilun riski verrattuna muihin betonirakenteisiin. Tämä korkeampi riski johtuu osin tunneleiden betonirakenteiden betonilaadusta eli korkealujuusbetonista (HSC) [1], sekä rakenteiden korkeasta kosteuspitoisuudesta [2,3].

## RÄJÄHDYSMÄISEN LOHKEILUN TEORIA

Betonin räjähdysmäinen lohkeilu on monimutkainen ilmiö ja usean fysikaalisen ilmiön seurausta. Lohkeiluun vaikuttavat niin betonin ominaisuudet kuin ulkoiset tekijät. Betonin ominaisuuksista lohkeiluun tiedetään vaikuttavan betonin huokoisuus [2,3], betonin kaasun läpäisevyys eli permeabiliteetti [2,3], kosteuspitoisuus [2,3,4], kiviaineksen koko [5,6], sekä tietyt betonin seosaineet [1]. Ulkoisista tekijöistä tiedetään vaikuttavan betonirakenteen kuormitus [1,7], rakenteen kiinnitys [1,7], sekä näytekappaleen koko [7,8]. Lohkeilun syyksi on esitetty useita teorioita, joista useimmin siteerattuja ovat huokospaineen aiheuttama lohkeilu [9,10], lämpöjännitysten aiheuttama lohkeilu [11], sekä ns. Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE) -teoria [12]. Betonin palokäyttäytymisen kriittisten ilmiöiden teoria ei ole kuitenkaan yhtenäistynyt [7].

Betonin mallinnusta korkeissa lämpötiloissa on lähestytty vaihtelevalla kompleksisuudella riippuen mallinnuksen käyttötarkoituksesta. Lohkeilun ennustamisessa oletukset lohkeilun syystä vaikuttavat suuresti mallin kompleksisuuteen. Matemaattiset mallien kirjo ulottuu yksinkertaisista yksiulotteisista hydrotermisistä malleista [13,14] monimutkaisiin kolmiulotteisiin hygro-termokemiallis-mekaanisiin malleihin [15]. Kattava tiivistelmä eri mal-

- leista ja niiden eroista on esitetty [16]. Yleisimmät yksinkertaistavat oletukset ovat: betonin sisäisen konvektion ja veden höyrystymis/kondensoimislämmön sivuuttaminen, vesihöyryn diffuusion sivuuttaminen, veden faasimuutoksiin sekä sementin dehydraatioreaktioon liittyvien lähdetermien sivuuttaminen, sekä betonin termo-kemiallisen hajoamisen ja lämmön aiheuttaman virumisen sivuuttaminen [16].

## YHDISTETTY LÄMMÖN- JA MASSANSIIRTOMALLI

Nyt esiteltävä yhdistetty lämmön- ja massansiirtomalli pohjaa GPyron [17] ja FDS:iin [18]. Koska tutkimuksen tavoitteena on myöhemmässä vaiheessa integroida esiteltävä numeerinen ratkaisija FDS:iin, mallinnusta koskevat valinnat ja rajaukset ovat kompromissi sen välillä mitä tarvitaan betonin mallintamiseen korkeissa lämpötiloissa ja minkälainen lisätyö toiminnallisuus olisi tarpeeksi yleistä ollakseen hyödyllinen lisä FDS:iin. Malli on siten ensisijaisesti laadittu betonin mallintamiseen, mutta mallin yhtälöt kelpaavat myös muiden huokoisten materiaalien mallintamiseen.

GPYron mukailleen, mallissa käsitellään kahta faasia: jähmeä (yhdistäen kiinteän ja nestemäisen faasin) ja kaasu. Massansiirto on rajattu kaasufaasiin ja siirtomekanismin oletetaan olevan yhdistelmä diffuusiota ja konvektiota. Jähmeän faasin ja kaasufaasin oletetaan olevaan keskenään samassa lämpötilassa. Huokosten sisäinen säteily sivuutetaan. Molempien faasien lähdetermit ja nielut noudattavat Arrheniuksen yhtälöä [19].

Mallia varten tehdyt oletukset edellyttävät yksityiskohtaisempaa perustelua. Useimmat [16]:ssa esitellyt mallit sisällyttävät nestemäisen veden advektion, mutta kuten Dwaikat & Kodur [13] toteavat, betonin nestemäisen veden permeabiliteetti on huomattavasti kaasumaisen vesihöyryn permeabiliteettiä pienempi. Lisäksi, vaikka GPYro epäsuorasti mahdollistaa jähmeän faasin liikkumisen materiaalin paisumisen tai kutistumisen muodossa [17], GPYron yhtälöt eivät sisällä jähmeän faasin massansiirtoa. Edellämaintittujen seikkojen myötä yksinkertaistavana oletuksena nestemäisen faasin massansiirto sivuutetaan.

Toinen merkittävä yksinkertaistava oletus on mekaanisen vasteen sivuuttaminen. Vaikka lämpölaajenemisen, rakenteen kiinnityksien ja rakenteen kuormituksen tiedetään vaikuttavan lohkeiluun, FDS, johon esiteltävä malli on tarkoitettu integroida tulevaisuudessa, on pääasiassa numeerisen virtausdynamiikan (CFD) ohjelmisto. Sopivien työkalujen lisäys FDS:iin mekaanisen vasteen mallintamista varten aiheuttaisi siten huomattavan lisäyksen kompleksisuudessa. Lisäys toisi kuitenkin vain rajallisesti hyödyllistä toiminnallisuutta, josta olemassaolevat, rakenneanalyysia varten tehdyt elementtilaskentaohjelmistot (FEM/FEA) suoriutuvat paremmin.

Kolmas yksinkertaistava oletus koskee faasien lämpötiloja. GPYrossa on erilliset yhtälöt jähmeän ja kaasufaasin energiatasapainolle, joista ratkaistaan kummankin faasin lämpötila erikseen. Koska nyt esiteltävä malli on tarkoitettu integroitavaksi FDS:n kanssa, malli hyödyntää FDS:n yksilöteistä kiinteän faasin lämpötilaratkaisijaa, jonka takia yksinkertaistavana oletuksena jähmeän faasin ja kaasufaasin lämpötilojen oletetaan olevan yhtä suuret. Edellämaintittujen oletuksen ansiosta vältetään erillisen kaasunfaasin energiyhtälön ratkaiseminen. Neljäntenä oletuksena mallissa otetaan huomioon nestemäisen veden höyrystymislämpö sekä sementin dehydraatioreaktiot. Monet Gawin et al. [16] esittelemistä malleista sivuuttavat veden höyrystymisen ja sementin dehydraation vaikutukset energiatasapainoyhtälössä. Nyt esiteltävässä mallissa veden höyrystymisen ja sementin dehydraation aiheuttamat lähdetermit ja nielut on otettu huomioon sekä energiansäilymis-yhtälössä että massansäilymis-yhtälössä.

## Mallin yhtälöt

Muuttujien määrittely on samankaltainen GPYron kanssa [17]. Mallin primääriset muuttujat ovat lämpötila  $T$ , paine  $P$ , jähmeän faasin osalajin massaosuus  $Y_{s,\alpha}$  sekä kaasufaasin osakaasun massaosuus  $Y_{g,\alpha}$ . Huokoiselle elementille, jonka paksuus on  $L$ , mallin yhtälöt ovat

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}) = -\dot{\omega}'_{g,tot} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}Y_{s,\alpha}) = \dot{\omega}'_{s,\alpha,f} - \dot{\omega}'_{s,\alpha,d} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_g \bar{\psi}) = -\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{m}'' + \dot{\omega}'_{g,tot} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_g \bar{\psi} Y_{g,\alpha}) = -\frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{m}'' Y_{g,\alpha}) - \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{j}'' + \dot{\omega}'_{g,\alpha,f} - \dot{\omega}'_{g,\alpha,d} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} c T) = -\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{q}'' + \dot{q}''' \quad (5)$$

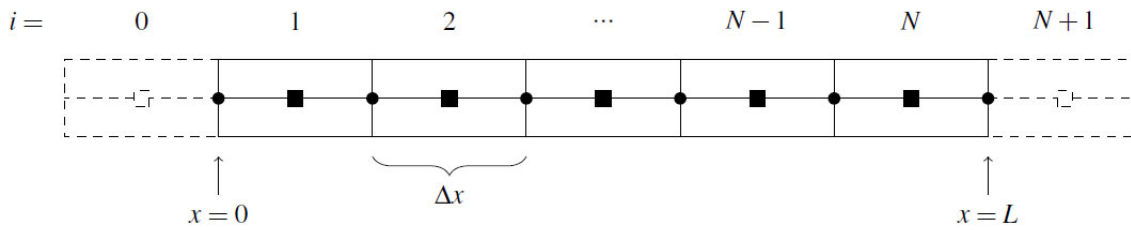
joissa  $\bar{\rho}$  on jähmeän faasin bulkkitiheys,  $\dot{\omega}'_{g,tot}$  on osakaasujen lähdetermien summa,  $\dot{\omega}'_{s,\alpha,f}$  ja  $\dot{\omega}'_{s,\alpha,d}$  ovat jähmeän faasin osalajin  $\alpha$  lähdetermi ja nielu,  $\rho_g$  on kaasun tiheys,  $\bar{\psi}$  on huokoisuus,  $\mathbf{m}''$  on paineen aiheuttama kaasun kokonaimassavuo,  $\mathbf{j}''$  on osakaasun  $\alpha$  diffuusiovuo,  $\dot{\omega}'_{g,\alpha,f}$  ja  $\dot{\omega}'_{g,\alpha,d}$  ovat kaasufaasin osalajin  $\alpha$  lähdetermi ja nielu,  $\bar{c}$  on ominaislämpökapasiteetti,  $\mathbf{q}''$  on lämmönjohtumisesta syntyvä lämpövuo, ja  $\dot{q}'''$  on kaasun konvektiosta, kemiallisista reaktioista ja faasimuutoksista aiheutuva nettomuutos. Erinäiset massan lähdetermit ja nielut lasketaan GPYron tavoin Arrheniuksen kaavalla [17].

Yhtälöt 14 ja 15 tarvitsevat ratkaisua varten vain alkuarvot, mutta yhtälöille 16–18 tarvitaan reunaehdot alkuarvojen lisäksi. Oletetaan elementin rajapintojen  $x=0$  ja  $x=L$  olevan avoimia, kaasufaasin osakaasun  $\alpha$  massavuo rajapinnan läpi oletetaan tapahtuvan diffuusiolla. Tämän lisäksi rajapintojen paineen oletetaan olevan ympäröivän ilman paineessa. Energiansäilymis-yhtälön (yhtälö 18) reunaehtona rajapinnoilla on lämpövuo  $q''_b$ , joka koostuu säteilyosasta ja konvektiivisesta osasta.

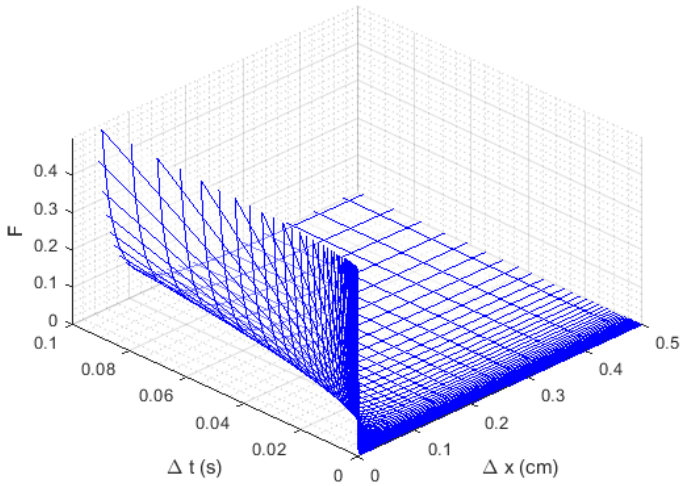
## NUMEERINEN RATKAISIJA

Mallin yhtälöt ratkaistaan numeerisesti käyttäen differenssimenetelmiä ja iterointia. Kuvassa 1 on esitetty alueen  $0 \leq x \leq L$  diskretointi. Alue on jaettu  $N$  kappaleeseen soluja, joiden koko  $\Delta x$  on vakio. Kahta virtuaalista tai ”haamusolua” sijainneissa  $i=0$  ja  $i=N+1$  käytetään lisäksi yhtälöiden diskretoinneissa. Haamusoluilla ei ole fyysikaalista merkitystä ja niitä käytetään vain gradientin laskemiseen ympäröivän ilman ja alueen rajapinnoilla. Kappaleen etupinta kohdassa  $x=0$  sijaitsee särmällä  $i=1/2$ , ja takapinta kohdassa  $x=L$  sijaitsee särmällä  $i=N+1/2$ . Erinäiset suureet  $\phi_i^n$ , edustuen suuretta  $\phi$  ajanhetkellä  $t=n$ , lasketaan solujen keskellä pisteissä  $i=1 \dots N$  (mustat neliöt). Suureet  $\phi_{i\pm 1/2}^n$  solujen särmillä  $i\pm 1/2$  (mustat pisteet) lasketaan ympäröivien solujen keskipisteiden arvoista  $\phi_i^n$  ja  $\phi_{i+1}^n$ .

Diskretoidussa muodossa kukin mallin yhtälöistä muodostaa lineaarisen yhtälöryhmän, joka ratkaistaan kolmidiagonaalimatriisialgoritilla (Thomas-algoritmi). Mallin yhtälöiden vahvasta epälineaarisuudesta johtuen yhtälöiden ratkaisuprosessi on iteratiivinen. Yhtälöt diskretoitiin implisiittisellä menetelmällä energiansäilymis-yhtälöä (yhtälö 18) lukuunottamatta, joka diskretoitiin Crank-Nicolsonin menetelmällä FDS:n tapaan [18]. Ensimmäisen kertaluvun tarkkuuden omaava implisiittinen menetelmä valittiin massansäilymis-yhtälöille toisen kertaluvun Crank-Nicolsonin menetelmän sijaan, johtuen Crank-Nicolsonin stabiliteetti-



Kuva 1. Alueen  $0 \leq x \leq L$  yksiulotteinen diskretointi.



Kuva 2. Stabiilitiehdon  $F < 0.5$  täytyminen, ehto täyttyy sinisellä pinnalla olevilla pisteillä.

ehdosta. Koska betonin kaasujen permeabiliteetin suuruusluokka on välillä  $K=10^{-15}-10^{-18}$  ja vesihöyryn kinemaattisen viskositeetin suuruusluokka on  $\nu=10^{-5}$ , stabiilitiehdon täyttävän aika-askelen  $\Delta t$  täytyisi olla hyvin pieni tai solun koko  $\Delta x$  täytyisi olla hyvin suuri. Kuvasta 2 nähdään, miten pienellä ( $K \sim 10^{-18}$ ) permeabiliteetin arvolla ja korkealla lämpötilalla ( $T > 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ) aika-askel  $\Delta t$  tai solun koko  $\Delta x$  olisivat epäkäytännöllisen kokoisia täyttääkseen Crank-Nicolsonin stabiilitiehdon  $F < 0.5$ .

Ratkaisijan numeerinen toteutus ohjelmoitiin Matlabissa itsenäiseksi ohjelmaksi. Matlab valittiin suoran, Fortranilla laadittavan FDS-integroinnin sijaan, jotta mahdolliset virheet voitaisiin havaita ja korjata nopeammin sekä ratkaisijan testaamisen helpot-

tamiseksi. Ratkaisija tullaan myöhemmässä vaiheessa kääntämään Fortranille ja integroimaan FDS:iin.

### Ratkaisijan verifiointi

Ratkaisijan verifiointi, eli tulosten matemaattinen oikeellisuus, varmistettiin testaamalla kukin ratkaisijan osafunktio. Taulukossa 1 on esitetty lyhyt kuvaus kustakin testistä sekä testattava osa-alue.

### PIENKOKKEET

Betonin mallintamista varten tarvittiin lukuisia materiaali-parametrejä sekä lämpötila- ja massamuutosdataa, jota kerättiin pienkokeilla. Pienkokeita varten tehtiin kaksi betonisuhteituksesta, normaalilujuusbetoni NSC-A sekä korkealujuusbetoni HSC-A, joista valettiin tarvittavat näytekappaleet. Samoihin suhteitukseen pohjautuen, paikallisten kiviainesten edellyttämin muutoksin, tehtiin lisäksi seokset NSC-D ja HSC-D Tanskan teknillisessä yliopistossa. Seoksia NSC-A ja HSC-A käytettiin kartiokalorimetrikokeisiin tehtyjen näytteiden valamisessa, kun taas seoksia NSC-D ja HSC-D käytettiin laattakokeiden näytteiden valamisessa. Betoniseosten lujuutta käytettiin huokoisuuden variointiin, sillä korkealujuusbetonin huokoisuus on pienempi kuin normaalilujuusbetonin. Tämän lisäksi näytekappaleiden kosteuspitoisuutta varioitiin näytekappaleiden erilaisella jälkihoidolla siten, että korkean kosteuspitoisuuden kappaleet varastoitiin upotettuna veteen tai maksimaalisen suhteellisen kosteuden olosuhdehuoneessa, kun taas matalan kosteuspitoisuuden kappaleet varastoitiin matalassa suhteellisessa kosteudessa. Taulukossa 2 on esitetty tiivistelmä eri pienkokeista ja niistä kerätystä datasta.

### VALIDOINTI

Ratkaisijan validointi, eli kuinka tarkasti ratkaisija kuvaa haluttuja fysikaalisia ilmiöitä, tehtiin pienkokeista kerätyllä datalla ja mate-

Testi	Kuvaus	Testattu osa-alue
0	Staattinen tila, primäärimuuttujien tulisi pysyä alkuarvoissaan	Jähmeän faasin ratkaisijat, paineratkaisija, kaasufaasin ratkaisija, lämpötilaratkaisija
1	Lämmönjohtuminen eri parametreilla, ei säteilyä	Lämpötilaratkaisija
2	Lämmönjohtuminen lämpötilasta riippuvaisilla parametreilla	Lämpötilaratkaisija
3	Kaasufaasin massansäilyminen suljetussa systeemissä	Paineratkaisija, kaasufaasin ratkaisija
4	Kaasufaasin massansäilyminen avoimessa systeemissä	Paineratkaisija, kaasufaasin ratkaisija
5	Konvektiivinen jäähtyminen	Lämpötilaratkaisija

Taulukko 1. Verifiointitestit.

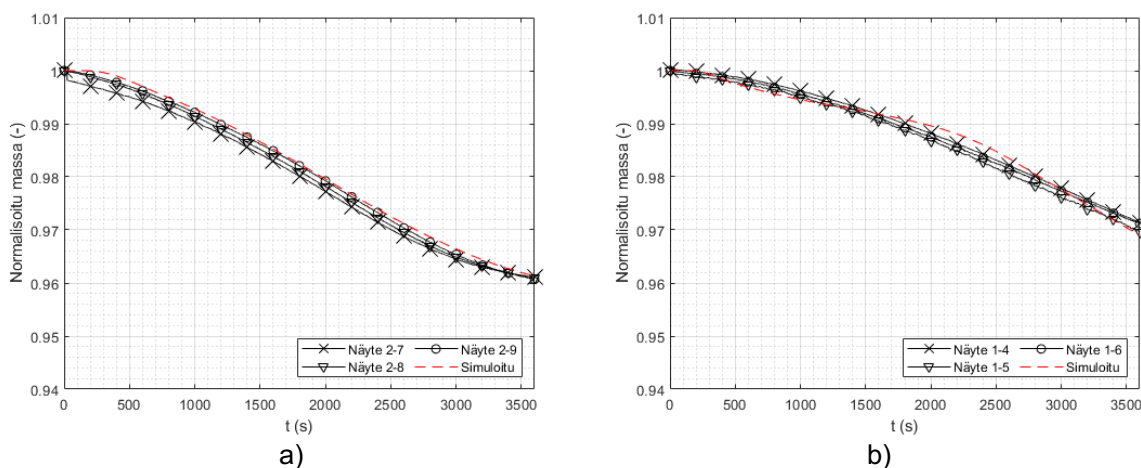


► riaaliparametreilla. Validointia varten rakennettiin yksinkertainen reaktiomalli, jossa kapillaariveden eli ns. vapaan veden haihtuminen on oma reaktionsa ja eri lämpötiloissa tapahtuvat semen- tin dehydraatioreaktiot on yhdistetty yhdeksi reaktioksi, joka ta- pahtuu hyvin laajalla lämpötila-alueella. Molemmat reaktiot ovat ensimmäisen kertaluvun reaktioita. Mallin materiaaliparametrit (esim. tiheys, huokoisuus, ominaislämpökapasiteetti) määritettiin pienkokeista saadusta datasta. Validoinnin yhteydessä havaittiin simuloitujen tulosten eroavan merkittävästi kartiokalorimetriko- keiden lämpötiladatasta. Lähempi tarkastelu COMSOL-ohjelmalla tehdyllä yksinkertaisella 3D-mallilla osoitti kartiokalorimetriko- keiden lämmönsiirron olleen kolmiulotteista yksiulotteisen sijaan, jonka takia ratkaisijan yksiulotteiseen lämmönsiirtoon perustu-

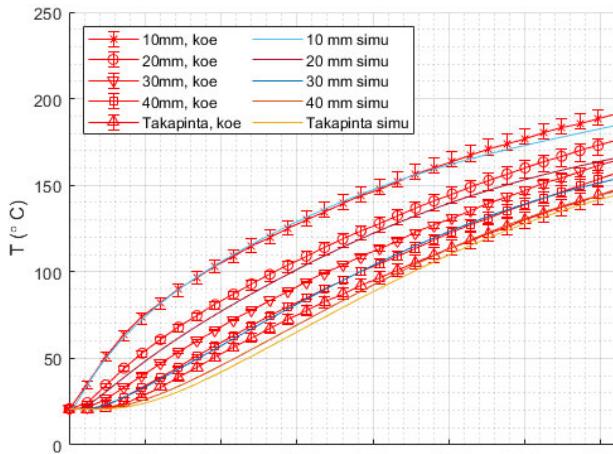
vaan oletukseen nojaavat tulokset erosivat kokeellisista tuloksista. Juurisyy tälle oli kartiokalorimetrin sanelema näytteiden pie- ni koko: näytteet olivat halkaisijaltaan 103 mm sylintereitä, joiden korkeus oli 50 mm. Edellämainituista seikoista johtuen ratkaisijan lämmönsiirron validointi tehtiin laattakokeiden lämpötiladatal- la, mutta massansiirrossa validointi tehtiin käyttäen kartiokalori- metrikokeiden lämpötiladataa ratkaisijan oman lämpötilafunkti- on sijaan. Massansiirtoa validoitaessa ratkaisija siis luki kokeista saadun lämpötiladatan ajan funktiona ja rekonstruoi koedatasta kappaleen lämpötilajakauman käyttäen lineaarista interpolointia. Laattakokeista ei reaaliaikaista massanmuutosdataa ollut mahdol- lista kerätä johtuen laattojen koosta. Kuvassa 3 verrataan simulaa- tion ja kartiokalorimetrikokeiden normalisoitua massaa. Tulok-

Koe	Kuvaus	Kerätty data
TGA	Termogravimetrinen analyysi, jolla määritettiin eri reaktioiden kinettiset parametrit.	Näytteen massa ja lämpötila, joista määritettiin Arrheniuksen yhtälön parametrit.
DSC	Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetria, jolla määritettiin betonin lämpökapasiteetti sekä eri reaktioiden reaktiolämmöt	Näytteen ominaislämpökapasiteetti ja dehydraatioreaktioiden reaktiolämmöt
Huokoisuusmittaus	Betonin huokoisuuden määrittäminen tyhjiön ja typpikaasun avulla.	Näytteen huokoisuus tilavuusosuutena-
Permeabiliteettimittaus	Betonin kaasupermeabiliteetin määrittäminen typpikaasun virtauksen avulla näytteen läpi eri paineilla.	Näytteen permeabiliteetti
Puristus- ja vetolujuus	Betonin puristus- ja vetolujuuden määrittäminen.	Näytteen puristus- ja vetolujuus.
Lämmönjohtuvuusmittaus	Betonin lämmönjohtuvuuden määrittäminen mittaamalla lämpötilaero vakiolämpövuolla yksipuolisesti lämmitetyistä näytteistä.	Näytteen pintalämpötilat, joista määritettiin lämmönjohtuvuus eri lämpötiloissa.
Kartiokalorimetrikoe	Lieriömäisten (halkaisija 103 mm, korkeus 50 mm) näytteiden lämmitys kartiokalorimetrissa kahdella eri lämpövuolla.	Näytteen sisäinen lämpötila neljästä kohdasta, näytteen pintalämpötilat, näytteen massa.
Laattakoe	Laattanäytteiden (sivun pituus 400 mm, korkeus 50 mm) lämmitys H-TRIS - säteilylämmittimellä kahdella eri lämpövuolla.	Näytteen sisäinen lämpötila neljästä eri kohdasta, näytteen pintalämpötilat.

Taulukko 2. Pienkokeet.



Kuva 3. Normalisoitu massa ajan funktiona, (a) matalan kosteuspitoisuuden korkealujuusbetoni 35 kW/m<sup>2</sup> lämpövuolla, sekä (b) korkean kosteuspitoisuuden normaalilujuusbetoni 10 kW/m<sup>2</sup> lämpövuolla verrattuna simulaatiotuloksiin.



Kuva 4. Lämpötila ajan funktiona, korkean kosteuspitoisuuden korkealujuusbetonilaatta verrattuna simulaatiotuloksiin. Laatan etupinnan lämpötilan mittaus oli viallinen ja etupinnan tulokset on siten sivuutettu.

sista nähdään simuloitujen massansiirron vastaavan erittäin hyvin koedataa, keskimääräisen virheen ollessa kuvassa 3a 0.14% ja kuvassa 3b 0.12%.

Kuvassa 4 verrataan simulaation ja laattakokeen lämpötilaa. Simuloitujen lämpötilan keskimääräinen virhe on n. 7.5 % eli keskimääräisenä absoluuttisena virheenä n. 6.1 °C. Mahdollisia virheen lähteitä ovat 1) mallinnuksen materiaaliparametrit, sillä laatat valettiin seoksesta NSC-D, mutta huokoisuus-, permeabiliteetti- ja lämmönjohtuvuusmittaukset sekä TGA ja DSC on tehty vain seokselle NSC-A, 2) H-TRIS -säteilylämmittimen lämpövuon kalibroinnin tarkkuus, sekä 3) termoparien sijainti laatan sisällä. Simuloitujen lämpötilakäyrät noudattavat kuitenkin hyvin kokeellisten käyrien trendejä.

## SOVELLUSESIMERKKI: LOHKEILUN ENNUSTAMINEN

Näytekappaleiden pienestä koosta johtuen, ei samoista kappaleista saatu lämpötila- ja massanmuutosdatan ohella painedataa. Simuloitua painedataa voidaan kuitenkin hyödyntää lohkeilun arvioinnissa, sillä yksi kartiokalorimetrikokeiden korkealujuusbetonisista näytekappaleista räjähti kesken kokeen ajanhetkellä  $t = 3360$  s.

Kuvassa 5 verrataan simuloitua painetta kahteen betonista mitattuun vetolujuuteen. Malli ennustaa lähes kaikissa tapauksissa lohkeilua, mutta kokeissa vain yksi näyte lohkesi. Tulosten väliselle erolle on muutamia mahdollisia syitä, 1) huokostilan kasvu ja 2) permeabiliteetin lämpötilariippuvuus. Lämpötilan nouses-

sa betoniin syntyy mikrohalkeamia jotka päästävät painetta pois. Tämä huokostilan kasvu on kuitenkin otettu epäsuorasti mallissa huomioon siten, että dehydraatioreaktion seurauksena betoni muuttuu dehydratoituneeksi betoniksi, jolla on matalampi bulkkitiheys, mutta sama ei-huokoinen, ns. soliditiheys kuin hydratoituneella betonilla. Mallissa jähmeän faasin kunkin osamateriaalin huokoisuus lasketaan bulkkitiheyden ja soliditiheyden suhteena, huokostila voi siten kasvaa lämpötilan kasvaessa. Yksinkertaistettu reaktiomalli voi kuitenkin aliennustaa huokostilan kasvun. Toisena mahdollisena tekijänä on permeabiliteetin lämpötilariippuvuus. Koelaitteiston sanelemana, seosten NSC-A ja HSC-A kaasun permeabiliteetti määritettiin vakio lämpötilassa, mutta betonin permeabiliteetti on lämpötilariippuvainen [20]. Tätä riippuvuutta ei ole otettu huomioon, vaan mallintamisessa käytettiin vakio permeabiliteettiä.

## YHTEENVETO

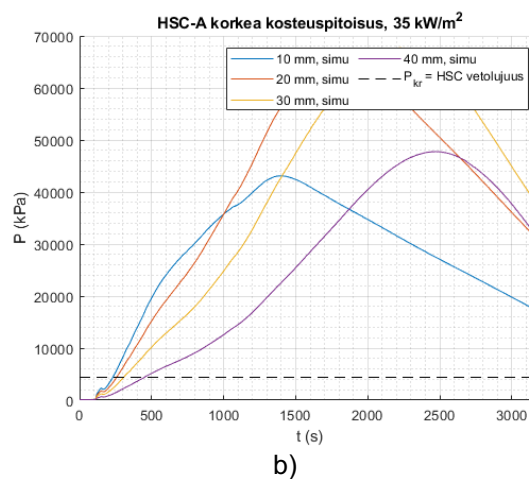
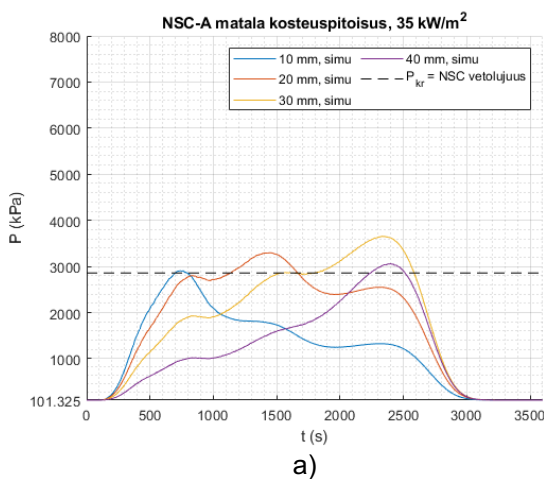
Nyt esitelty yksiulotteinen yhdistetyn lämmön- ja massansiirron malli on ensimmäinen askel betonin lohkeilun mallintamisen lisäämiseksi FDS:n osaksi. Esitelty malli ja mallin numeerinen ratkaisija validoitiin sekä massan- että lämmönsiirron osalta pienkokeista saadulla datalla. Simulointitulosten vertailu kokeellisiin tuloksiin osoitti mallin kuvaavan massansiirtoa erittäin tarkasti, ja lämmönsiirtoa melko tarkasti. Lisäksi esiteltiin sovellusesimerkki, jossa mallia käytettiin ennustamaan betonin lohkeilua huokospaineen avulla. Mallin ennustus lohkeilusta erosi kuitenkin huomattavasti kokeellisista havainnoista.

## KIITOKSET

Tutkimusta ovat rahoittaneet Palosuojelurahasto, Otto A. Malmin lahjoitusrahasto sekä Nordic Fire & Safety Network (NFSN).

## LÄHDELUETTELO

- Hertz K. D. 2003. Limits of spalling of fire-exposed concrete. Fire Safety Journal, 2003. Vol. 38, nro. 2, s. 103–116.
- Mindeguia J. C., Carré H., Pimienta P., La Borderie C. 2015. Experimental discussion on the mechanisms behind the fire spalling of concrete. Fire and Materials, 2015. Vol. 39, nro. 7, s. 619–635.
- Maier M., Zeiml M., Lackner R. 2020. On the effect of pore-space properties and water saturation on explosive spalling of fire-loaded concrete. Construction and Building Materials, 2020. Vol. 231, nro. 117, s. 150–160.



Kuva 5. Simuloitu paine ajan funktiona, (a) matalan kosteuspitoisuuden normaalilujuusbetoni 35 kW/m<sup>2</sup> lämpövuolla, sekä (b) korkean kosteuspitoisuuden korkealujuusbetoni 35 kW/m<sup>2</sup> lämpövuolla.

- ▶ 4. Kirchhof L. D., Lima R. C. A., Neto A. B. S. S., Quispe A. C., Filho L. C. O. S. 2020. Effect of moisture content on the behavior of high strength concrete at high temperatures. *Revista Materia*, 2020. Vol. 25, nro. 1.
5. Pan Z., Sanjayan J. G., Kong D. L. Y. 2012. Effect of aggregate size on spalling of geopolymer and Portland cement concretes subjected to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 2012. Vol. 36, s. 365–372.
6. Jansson R., Boström L. 2007. Experimental study of the influence of polypropylene fibres on material properties and fire spalling of concrete. *Proceedings from the fib Task Group 4.3 workshop "Fire Design of Concrete Structures – From Materials Modelling to Structural Performance"*, S. 177–188.
7. Jansson R. 2013. *Fire Spalling of Concrete. Theoretical and Experimental Studies [PhD Thesis]*. Stockholm, Sweden: KTH Architecture and the Built Environment.
8. Mohd Ali A. Z., Sanjayan J., Guerrieri M. 2018. Specimens size, aggregate size, and aggregate type effect on spalling of concrete in fire. *Fire and Materials*, 2018. Vol. 42, nro. 1, s. 59–68.
9. Shorter G. W., Harmathy T. Z. 1961. Discussion on the article "The fire resistance of concrete beams" by Ashton and Bate. *Proceedings, Institute of Civil Engineers*, 1961. Vol. 20, s. 313.
10. Harmathy T. Z. 1965. *Effect of Moisture on the Fire Endurance of Building Elements*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 1965. S. 74–95.
11. Bazant Z. P. 1997. Analysis of pore pressure, thermal stress and fracture in rapidly heated concrete. *International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete*, NIST Special Publication 919, 1997. S. 155–164.
12. Ichikawa Y. 2000. *Predictions of pressures, heat and moisture transfer leading to spalling of concrete in fire [PhD Thesis]*. London, Great Britain: Imperial College, 2000.
13. Dwaikat M. B., Kodur V. K. R. 2009. Hydrothermal model for predicting fire-induced spalling in concrete structural systems. *Fire Safety Journal*, 2009. Vol. 44, nro. 3, s. 425–434.
14. Ichikawa Y., England G. L. 2004. Prediction of moisture migration and pore pressure build-up in concrete at high temperatures. *Nuclear Engineering and Design*, 2004. Vol. 228 nro. 1–3, s. 245–259.
15. Gawin D., Pesavento F., Schrefler B. A. 2003. Modelling of hygro-thermal behaviour of concrete at high temperature with thermo-chemical and mechanical material degradation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2003. Vol. 192, nro. 13–14, s. 1731–1771.
16. Gawin D., Pesavento F., Schrefler B. A. 2011. What physical phenomena can be neglected when modelling concrete at high temperature? A comparative study. Part 2: Comparison between models. *International Journal of Solids and Structures*, 2011. Vol. 48, nro. 13, s. 1945–1961.
17. Lautenberger C., Fernandez-Pello C. 2009. Generalized pyrolysis model for combustible solids. *Fire Safety Journal*, 2009. Vol. 44, nro. 6, s. 819–39.
18. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Vanello M. 2018. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model*. NIST Special Publication 1018-1, Sixth Edition.
19. Laidler K. J. 1984. The development of the Arrhenius equation. *Journal of Chemical Education*, 1984. Vol. 61, nro. 6, s. 494.
20. Bosnjak, J., Ožbolt, J., Sharma, A., Periškić, G. 2013. Permeability of concrete at high temperatures and modelling of explosive spalling. *Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, FraM-CoS S. 1893–1900*.

# VARAUTUMIS- PÄIVÄ 7.2.



Varautumispäivää vietetään jälleen 7.2.2024.

Seuraa SPEKin viestintää.





# Kauppakeskusten ohjeelliset ja todelliset henkilötiheydet Suomessa ennen koronapandemiaa ja sen aikana

## Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka kauppakeskusten todelliset maksimihenkilömäärät vertautuvat henkilömääriin, jotka on määritetty ympäristöministeriön asetuksen 848/2017 perustelumuis-tion henkilötiheysarvoilla. Perustelumuis-tiossa esitettyjä arvoja käytetään, jos rakennuksen henkilömäärä ei ole muuten määri-tetty. Näitä arvoja verrattiin neljän muun maan ja kahden kansainvälisen standardin henkilötiheysarvoihin. Todellisia henkilö-määrätietoja analysoitiin kuudesta kauppakeskuksesta eri puolilta Suomea vuosilta 2019–2020 ja tutkittiin myös koronapandemian vaikutusta kauppakeskusten henkilötiheyteen. Poistumissimu-loinneilla tutkittiin henkilötiheyden vaikutusta rakennuksen tyh-jenemisnopeuteen.

Tutkimuksen tuloksina havaittiin, että laskennalliset henkilö-määrät ovat selvästi suuremmat kuin todelliset kauppakeskusten henkilömäärät, ja että muissa tarkastelluissa maissa ja standardeis-sa henkilötiheydet on määritetty paljon tarkemmin rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Koronaviruspandemian vaikutus-es-ta havaittiin, että vaikka kauppakeskusten henkilömäärät aluksi vähenivät voimakkaasti, ne palautuivat muutamassa kuukaudessa pandemiaa edeltäviin määriin. Poistumissimuloinneilla havaittiin, että turvaetäisyyksien pitäminen poistumisen aikana lisää pois-tumisajan kestoa, jos poistuvat henkilöt jäävät jumiin ruuhkiin.

## TUTKIMUKSEN TAUSTA, TAVOITTEET JA RAJAUKSET

Tutkimus [1] tehtiin vuonna 2022 opinnäytetyönä kansainväliseen International Master of Science in Fire Safety Engineering -tutkin-toon. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Ruotsissa sijaitsevan Lundin yliopiston ja KK-palokonsultti Oy:n kanssa. Tutkimusai-h-e oli KK-Palokonsultti Oy:n määrittämä.

Tutkimuksen tarve johtui siitä, että KK-Palokonsultti Oy:n asiantuntijoiden käytännön kokemusten perusteella paloturvalli-suusasetuksen 848/2017 perustelumuis-tiossa esitetyt henkilö-tiheysarvot vaikuttivat eteenkin liikerakennuksissa johtavan to-dellisia henkilömääriä suurempiin henkilömääriin. Samanlai-

sia havaintoja oli tehty myös aikaisemmissa tutkimuksissa, joi-den mukaan henkilömäärän laskennassa käytetyt henkilötihey-den arvot yleensä johtivat todellisia henkilömääriä suurempiin henkilömääriin [2, 3]. Tällaisia tutkimuksia oli tehty muualla Euroopassa, mutta niissä ei ollut huomioitu Suomessa määritettyjä henkilötiheysarvoja. Aihetta ei ollut aiemmin tutkittu Suomessa.

Lisäksi, koska tutkimus [1] tehtiin koronapandemian aikana, haluttiin selvittää, miten pandemia vaikutti liikerakennuksissa toteutuneisiin henkilötiheyksiin ja henkilömääriin. Pandemia-ajan ohjeistuksena ihmisiä suositeltiin välttämään sosiaalisia kontakteja ja pitämään fyysistä etäisyyttä muihin ihmisiin [4]. Pandemia-ajan suositusten perusteella oletettiin, että henkilömäärät raken-nuksissa vähenisivät huomattavasti. Tästä aiheesta ei kuitenkaan ollut tutkimuksen laatimisen aikaan olemassa aikaisempia tutki-mustuloksia.

Tutkimuksen [1] tavoitteena oli tutkia suomalaisissa kauppakeskuksissa toteutuneita henkilötiheyksiä ja verrata niitä ympäristö-ministeriön asetuksen 848/2017 perustelumuis-tiossa esitettyihin henkilötiheyden arvoihin [5]. Näitä arvoja haluttiin verrata nel-jän muun maan ja kahden kansainvälisen standardin esittämiin henkilötiheysarvoihin. Lisäksi tavoitteena oli tutkia koronavirus-pandemian vaikutusta henkilötiheyteen ja poistumissimuloin-neilla ihmisten käyttäytymistä liikerakennuksen poistumistilan-teessa. Tältä pohjalta laadittiin kolme tutkimuskysymystä, joihin opinnäytetyöllä pyrittiin vastaamaan:

1. Miten suomalaisissa kauppakeskuksissa toteutuneet mitatut maksimihenkilömäärät vertautuvat ympäristöministeriön paloturvallisuusasetuksen 848/2017 perustelumuis-tiossa esi-tettyihin ohjeellisiin henkilötiheyden arvoihin?
2. Miten perustelumuis-tiossa esitetyt ohjeelliset arvot vertautu-vat muissa maissa tai kansainvälisissä standardeissa esitettyihin arvoihin?
3. Miten koronapandemia on vaikuttanut henkilötiheyksiin kauppakeskuksissa?

## ► HENKILÖMÄÄRÄ JA HENKILÖTIHEYS

Tutkimuksessa käytetyt olennaiset termit olivat henkilömäärä ja henkilötiheys. Henkilömäärällä tarkoitetaan rakennuksen sisällä samanaikaisesti oleskelevaa henkilömäärää. Paloteknisessä suunnittelussa henkilömäärä on oleellinen tieto, sillä sitä käyttää lähtötietona poistumisalueiden uloskäytävävevyyksiä määrittäessä [6], poistumissimulaatioita laadittaessa ja paloriskianalyyseissä [7]. Jos rakennuksen henkilömäärä ei ole muuten tiedossa, se voidaan määrittää laskennallisesti henkilötiheysarvojen avulla [8]. Henkilötiheydet on määritetty joko pinta-alana henkilöä kohden ( $m^2$ /henkilö) tai henkilömääränä pinta-alaa kohden (henkilö/ $m^2$ ) [9].

Aikaisempien tutkimustulosten perusteella rakennusten todellisen henkilötiheyden on havaittu olevan huomattavasti alhaisempi kuin ohjeissa tai standardeissa on määritetty [2, 3]. Yleisesti tämän voidaan ajatella johtavan turvalliseen suunnitteluun, koska rakennuksen voidaan olettaa tyhjentävän nopeammin, jos toteutuva henkilömäärä on suunniteltua pienempi. Tällöin suuremman henkilömäärän käyttäminen suunnittelussa lisää suunnittelun varmuutta [8]. Ongelmana on, että ohjeissa ja standardeissa annettujen arvojen taustat ja perusteet on usein jätetty mainitsematta, jolloin rakennuksen käyttäjän on mahdotonta arvioida, sopivatko annetut arvot käyttäjän tilanteeseen [10].

## MENETELMÄT

### Tietojen keruu ja analysointi

Jotta tutkimuksen alkuvaiheessa esitettyihin tutkimuskysymyksiin voitiin vastata, oli tutkimusta varten kerättävä lähtötietoja. Lähtötietoja kerättiin pääsääntöisesti olemassaolevasta kirjallisuudesta. Koska Suomessa toteutuneista rakennusten henkilömääristä ja kerrosaloista ei ollut saatavilla tietoja kirjallisuuslähteistä, kerättiin näitä tietoja suoraan kaupanalan toimijoilta.

Ohjeellisten henkilötiheysarvojen vertailu Suomen ja muiden maiden sekä kansainvälisten standardien välillä toteutettiin jo tutkimuksen kirjallisuuskatsaus-vaiheessa, ja se perustui täysin kirjallisuudesta saatavilla oleviin tietoihin. Suomalaista ohjeistusta [5] rakennusten henkilötiheyksistä verrattiin Irlannin [11], Iso-Britannian [12, 13], Italian [14] ja Ruotsin [15] kansallisissa ohjeissa annettuihin henkilötiheysarvoihin. Vertailua tehtiin myös NFPA 101 Lifesafetycode -standardiin [16] ja vuoden 2018 International Building Code -standardiin [17]. Vertailussa tutkittiin, miten hyvin eri maiden ja standardien ohjeistusten henkilötiheydet vastaavat suomalaisten ohjeistusten henkilötiheyksiä, ja miltei osin nämä ohjeistukset poikkeavat Suomessa käytössä olevista henkilötiheyksien ohjeistuksista.

Jotta pystyttiin vertailemaan Suomen ohjeistusten mukaisia henkilötiheyksiä todellisiin liikerakennuksissa mitattuihin henkilötiheksiin, toteutuneita tietoja kerättiin kaupanalan toimijoilta. Tutkimusta varten lähtötietoja pyydettiin eri puolella Suomea sijaitsevista kauppakeskuksista ja tavarataloista. Pyydytetyt lähtötiedot olivat rakennuksen kerrosala ja suurin rakennuksessa oleskellut henkilömäärä tutkimusaikavälin jokaiselta päivältä. Tutkimusaikaväliksi valikoituivat vuodet 2019–2020, jotta vertailua henkilötiheyksien muutoksista voitiin tehdä sekä ennen koronaa että koronan aikana. Toteutumatiotoja saatiin kuudesta eri kauppakeskuksesta eri puolelta Suomea.

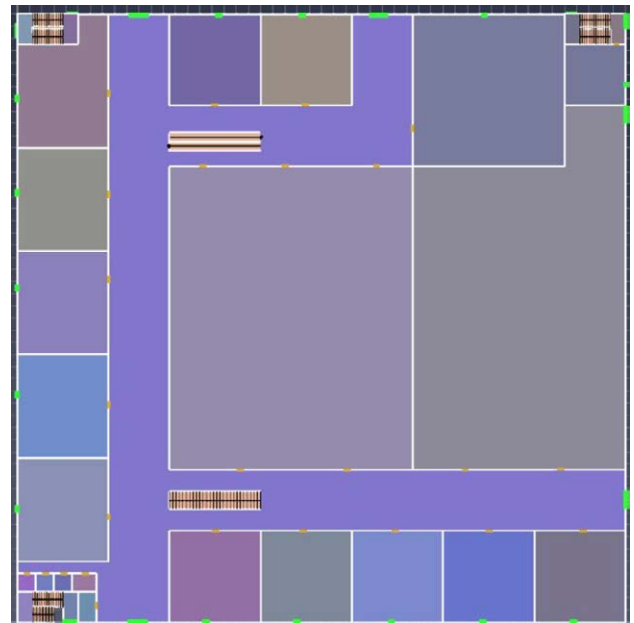
Kun Suomessa käytössä olevien ohjeellisten henkilötiheyksien mukaisia henkilömääriä verrattiin kauppakeskusten toteutuneisiin henkilömääriin, tarkasteltavista toteutumatiotoista määritettiin henkilötiheyden keskiarvo, keskijajonta ja maksimihenkilömäärä. Näin voitiin muodostaa kokonaiskuva henkilömäärien päivittäisestä vaihtelusta. Näistä tiedoista vertailussa käytet-

tiin kuitenkin vain rakennuksessa toteutunutta maksimihenkilömäärää, koska rakennuksen uloskäytävälevydet määritetään suurimman henkilömäärän mukaan. Henkilötiheys esitettiin tarkastelussa muodossa henkilöä/ $m^2$ , jotta henkilötiheyden kasvu olisi suoraan verrannollinen henkilömäärän kasvuun.

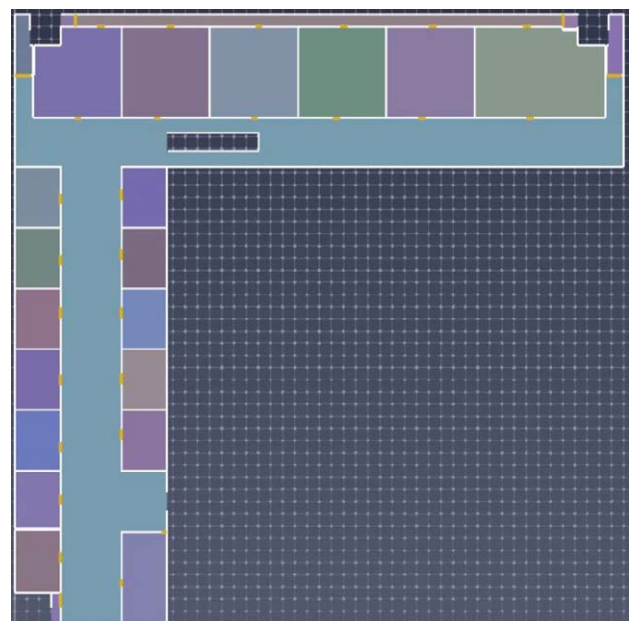
### Poistumissimuloinnit

Poistumissimulointien avulla tarkasteltiin kauppakeskuksen henkilötiheyden ja koronaviruspandemian vaikutusta rakennuksesta vaadittuun poistumisaikaan sekä ihmisten käyttäytymistä poistumistilanteessa.

Poistumissimuloinnit toteutettiin Pathfinder-ohjelmistolla [18, 19, 20] kuvien 1 ja 2 mukaisella kuvitteellisella kaksikerroksisen



Kuva 1: Kauppakeskusmallin ensimmäinen kerros.



Kuva 2: Kauppakeskusmallin toinen kerros.

kauppakeskuksen simulointimallilla. Kauppakeskuksen simulointimalli suunniteltiin siten, että rakennuksessa oli kauppakeskuk-sille tyypillisiä kauppakäytäväalueita, liukuportaat kerrosten välillä ja kerrokset olivat ilmatilan kautta yhteydessä toisiinsa. Lisäksi varmistettiin, että rakennuksessa on riittävästi poistumisreittejä, jolloin poistumistielevyydet ja poistumismatkat täyttävät paloturvallisuusasetuksessa 848/2017 [6] esitetyt vaatimukset ja ovi-levyydet on määritetty paloturvallisuusasetuksen perustelumuis-tiossa esitettyjen henkilötiheysarvojen mukaisesti.

Kuvassa 1 on esitetty kauppakeskuksen 1. kerroksen taso, jonka leveät kauppakäytävät on esitetty violetilla värillä ja näiltä joh-taa 2. kerrokseen kaksi liukuporrasta. Rakennuksesta ulos johta-vat uloskäytäväovet on esitetty kirkkaan vihreällä värillä ja raken-nuksen kolmella nurkalla on 2. kerroksesta 1. kerrokseen johta-vat uloskäytäväporrashuoneet. Kuvassa 2 on esitetty kauppakeskuksen 2. kerroksen taso, jossa kauppakeskuksen kauppakäytävä on esitetty turkoosinvihertävällä värillä ja musta iso alue kuvaava avonaista ilmatilaa 1. kerrokseen. Myös 1. kerrokseen johta-vien liukuportaiden ja uloskäytäväporrashuoneiden alueet on esi-tetty mustalla värillä.

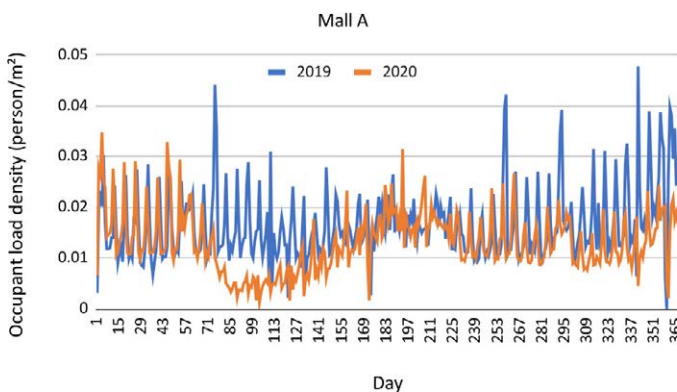
## TULOKSET

### Kerätyt tiedot

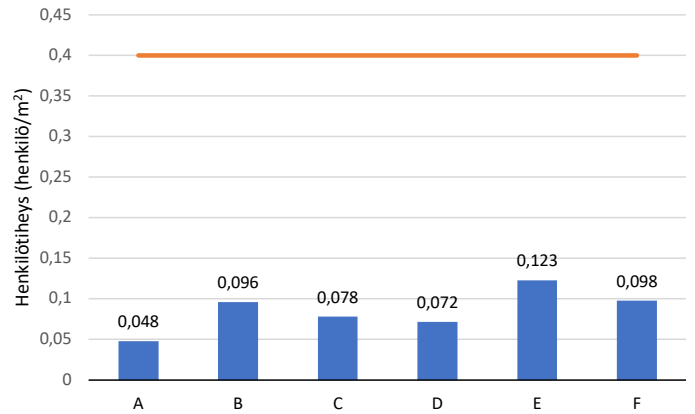
Tutkimuksen [1] lähtötietoja varten toteutumatietoja pyydettiin yhteensä 23 toimijalta, joihin sisältyi kauppakeskuksia ja tavara-taloketjuja. Vastaukset saatiin kuudesta eri kauppakeskuksesta, jotka sijaitsivat eri puolilla Suomea.

Tutkimuksen [1] tuloksena havaittiin, että henkilötiheys käyt-tyäyty kaikissa kauppakeskuksissa hyvin samantapaisesti. Kuvassa 3 on esitetty kauppakeskuksen A henkilötiheyden kehitys vuo-sien 2019–2020 jokaiselta päivältä, ja sitä käytetään esimerkkinä havainnollistamaan yleisiä havaintoja, joita voitiin tehdä kaikkien kauppakeskusten henkilötiheyden kehityksestä.

Kuvasta 3 nähdään, että henkilötiheys heittelehtii viikkotasol-la melko suuresti. Heittelehtiminen johtuu siitä, että henkilötiheys on kauppakeskuksissa suurimmillaan viikonloppuisin, jolloin ihmiset ovat enemmän liikkeellä. Suurimmat henkilötiheydet vuositasolla osuvat joulua edeltäville viikonlopuille ja pienimmillään henkilötiheydet ovat joulupäivänä ja juhannuksena, jolloin kauppakeskusten aukioloaikakin on usein tavallista auki-oloaikaa lyhyempi.



Kuva 3: Henkilötiheyden kehitys kauppakeskuksessa A. Sininen viiva kuvaava vuotta 2019 ja oranssi viiva vuotta 2020 [1].



Kuva 4: Siniset palkit kuvastavat kunkin kauppakeskuksen suurinta toteutunutta henkilötiheyttä. Oranssilla viivalla on kuvattu perustelumui-stion ohjeellinen henkilötiheyden arvo 0,4 henkilö/m<sup>2</sup>. [1]

### Tutkimuskysymys 1: Miten Suomen kansallisissa ohjeistuksissa määritetty henkilötiheyden arvo vertautuu rakennusten todellisiin henkilömääriin?

Kun kauppakeskuksissa toteutunutta henkilötiheyttä verrattiin paloturvallisuusasetuksen 848/2017 perustelumui-stiossa [5] esitettyihin henkilötiheysarvoihin, käytettiin tarkastelussa jokaisen kauppakeskuksen suurimpaa toteutunutta henkilötiheysarvoa. Kuvassa 4 on esitetty sinisillä palkeilla jokaisen kauppakeskuksen suurin henkilötiheys, jota on verrattu oranssilla vaakaviivalla esitettyyn perustelumui-stion ohjeelliseen kokoontumis- ja liiketilojen henkilötiheyden arvoon 0,4 henkilö/m<sup>2</sup> [1].

Kuvasta 4 nähdään, että kauppakeskusten todellinen henkilötiheys on suurimmillaankin (kauppakeskus E) vain noin kolmanneksen perustelumui-stiossa [5] esitetystä ohjeellisesta henkilötiheyden arvosta.

Poistumissimulointien avulla tutkittiin henkilötiheyden vaikutusta rakennuksen tyhjenemisnopeuteen poistumistilanteessa. Simuloinneissa käytettiin neljää erilaista skenaariota. Käytettävien skenaarioiden lähtöoletukset olivat seuraavat:

- Ensimmäisessä skenaariossa ihmiset voivat poistua mille tahansa poistumisovelle Pathfinder-ohjelmiston [18] oletus-algoritmin mukaisesti.
- Toisessa skenaariossa ihmiset jakautuivat poistumistieille siten, että 70 % käytti pääovia ja 30 % käytti mitä tahansa ovea. Lähtöoletuksena tässä mallinnuksessa oli, että ihmiset usein poistuvat rakennuksesta saamaa reittiä kuin mitä he ovat tulleet [21, 22].
- Kolmannessa skenaariossa ihmiset käyttivät lähintä poistumistietä.
- Neljännessä skenaariossa ihmiset käyttivät ainoastaan pääovia.

Poistumissimuloinneissa käytettiin mitattuja maksimihenkilötiheyksiä, keskiarvohenkilötiheyksiä ja paloturvallisuusasetuksen perustelumui-stiossa [5] esitettyä kokoontumis- ja liiketilojen henkilötiheyttä 0,4 henkilö/m<sup>2</sup>. Tuloksena oli, että henkilömäärän ollessa pienempi on poistumisaikakin lyhyempi. Kun toteutunee maksimihenkilömäärän poistumisaikojen verrattiin perustelumui-stion henkilötiheydellä saatun poistumisaikaan, todettiin, että skenaariosta riippuen poistuminen tapahtui esimerkkikaup-



- ▶ pakeskuksessa 36 %–51 % nopeammin todellisella maksimihenkilötiheydellä kuin perustelumui- stion henkilötiheydellä.

### Tutkimuskysymys 2: Miten Suomen kansallisissa ohjeistuksissa määritetty henkilötiheyden arvo vertautuu muiden maiden henkilötiheyden arvoihin?

Kun perustelumui- stion [5] ohjeellisia henkilötiheyden arvoja verrattiin muiden maiden kansallisten ohjeistusten ja kansainvälisissä standardeissa esitettyjen henkilötiheyden arvoihin, todettiin, että vertailun tekeminen on haastavaa. Suomessa ohjeelliset henkilötiheyden arvot ovat määritettyjä rakennusten käyttötarkoitu- sluokkien mukaan siten, että kokoontumis- ja liiketiloille on määritetty kaksi eri arvoa, joita ovat kokoontumis- ja liiketilat yleensä, ja huvi-, taide- ja muut vastaavat kokoontumistilat, ja muille rakennus- ten käyttötarkoituksille on määritetty yksi ohjeellinen arvo jokaista rakennuksen käyttötarkoitu- sluokkaa kohden. Vertailumaissa henkilötiheyden arvoja oli määritetty tarkemmin eri tyyppisille raken- nuksille. Tämä johti esimerkiksi siihen, että Suomessa kokoontu- mis- ja liiketiloilla yleensä käytetylle henkilötiheyden arvolle löytyi verrokkimaiden ohjeista tai standardeista useita verrokkiarvoja. Tämä tarkoitti, ettei Suomessa määritetty henkilötiheysarvo voi vastata kaikkia verrokkiarvoja. Tästä esimerkkinä on esitetty tau- lukon 1 vertailu, jossa Suomen kokoontumis- ja liiketilöiden hen- kilötiheyden ohjearvon 0,4 henkilöä/m<sup>2</sup> käänteisarvoa 2,5 m<sup>2</sup>/ henkilö on verrattu standardissa BS9999:2017 esitettyihin henki- lötiheyden arvoihin. BS9999:2017 [12] esittää kolme eri arvoa, jot- ka sopivat kokoontumis- ja liiketilöiden käyttötarkoitu- sluokkaan.

Tämä ilmiö oli havaittavissa erityisen hyvin huvi- ja taidekäy- tön kokoontumis- ja liiketiloissa sekä kokoontumis- ja liiketilois- sa yleensä, koska nämä rakennustyytit sisältävät laajasti erityyp- pisiä rakennuksia. Toisaalta kaikista vertailussa käytetyistä kan- sallisista ohjeista ja standardeista ei löytynyt verrokkiarvoja jokai- seen Suomen käyttötarkoitu- sluokkaan. Lisäksi vertailua vaikeutti se, että ohjeissa ja standardeissa pinta- alan osalta on käytetty vaih-

televasti joko netto- tai bruttoalaa ja lisäksi on vaihtelevasti mää- ritetty alueita, joita ei huomioida henkilötiheyttä määrittäessä.

### Tutkimuskysymys 3: Mikä on koronaviruspandemian vaikutus henkilömäärään ja miten se tulee huomioida poistumissuunnittelussa?

Koronaviruspandemian oletettiin pienentävän rakennuksen hen- kilötiheyttä, sillä pandemian aikana ihmisiä ohjeistettiin pitämään etäisyyttä toisiin ihmisiin ja välttämään sosiaalisia kontakteja [4]. Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen henkilötiheystietoja vuosien 2019 ja 2020 jokaiselta päivältä. Tästä kuvasta tehtäviä havaintoja, joita koronaviruspandemian osalta voidaan yleistää kaikkiin tutkimukseen osallistuneisiin kauppakeskuksiin olivat, että vuo- den 2020 keväällä kauppakeskusten henkilötiheys romahti ja tämä romahdus osuu lähelle ajankohtaa (12.03.2020), jolloin Suomen hallitus ilmoitti ensimmäisistä koronatoimista [23]. Tämän ajan- kohdan jälkeen kuvasta 3 voidaan havaita henkilötiheyden hidas kasvu lähelle edellisten vuosien henkilötiheyksiä. Nämä ovat ha- vaintoja, joita voitiin todeta jokaisen tutkimukseen osallistuneen kauppakeskuksen tiedoista.

Kun pahimpien ruuhka-aikojen henkilötiheyksiä ennen ko- ronaa ja sen aikana verrataan toisiinsa, havaitaan, että maksimi- henkilömäärät ovat laskeneet kaikissa tutkimukseen osallistu- neissa kauppakeskuksissa yhtä kauppakeskusta lukuunottamatta. Maksimihenkilötiheyden muutos ennen koronaviruspandemiaa ja sen aikana on esitetty taulukossa 2. Taulukon 2 perusteella voi- daan havaita, että maksimihenkilötiheyden pudotus korona aika- na oli keskimäärin 56 %.

### JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tärkeimpänä havaintona oli, että Suomen palotur- vallisuu- sasetuksen 848/2017 perustelumui- stiossa [5] esitetyt hen- kilötiheyden arvot yliarvioivat kauppakeskuksissa oleskelevan

	Kokoontumis- ja liiketilat, yleensä (848/2017 perustelumui- stio)	Vaatekauppa (BS9999:2017)	Supermarket (BS9999:017)	Huonekalukauppa (BS9999:2017)
Henkilötiheys	2,5 m <sup>2</sup> /henkilö	2 m <sup>2</sup> /henkilö	4 m <sup>2</sup> /henkilö	7 m <sup>2</sup> /henkilö

Taulukko 1: Perustelumui- stion kokoontumis- ja liiketilöiden henkilötiheyden arvon 0,4 henkilöä/m<sup>2</sup> kolme verrokkiarvoa BS9999:2017 -stan- dardissa [5, 12].

Kauppakeskus	Maksimihenkilötiheys ennen koronaa (henkilö/m <sup>2</sup> )	Maksimihenkilötiheys koronan aikana (henkilö/m <sup>2</sup> )	Maksimihenkilötiheyden muutos (%)
A	0.048	0.031	- 55
B	0.096	0.112	+ 14
C	0.078	0.028	- 179
D	0.072	0.052	- 38
E	0.123	0.102	- 21
F	0.098	0.062	- 58

Taulukko 2: Maksimihenkilötiheyden muutos ennen koronaa ja koronapandemian aikana [1]

**"Suunnittelijan kannalta on oleellista tietää, että rakennuksen henkilömäärän arvioinnissa käytetyt henkilömäärät ovat turvallisella puolella, mutta turvallisen puolen oletukset voivat joissain tapauksissa johtaa kasvaviin rakennuskustannuksiin."**

henkilömäärän, mikä johtaa todellista tarvetta suurempiin poistumistielevyksiin sekä poistumissimuloinneissa todellista poistumisaikaa pidempiin poistumisaikoihin. Suunnittelijan kannalta on oleellista tietää, että rakennuksen henkilömäärän arvioinnissa käytetyt henkilömäärät ovat turvallisella puolella, mutta turvallisen puolen oletukset voivat joissain tapauksissa johtaa kasvaviin rakennuskustannuksiin.

Suomessa käytössä olevien ohjeellisten henkilötiheyden arvojen vertailu neljän muun maan ohjeistukseen ja kahteen kansainväliseen standardiin osoitti, että vertailumaissa sekä kansainvälisissä standardeissa ohjeelliset henkilötiheyden arvot olivat monissa rakennustyypeissä määritetty yksityiskohtaisemmin erilaisille rakennustyypeille. Tämä takia henkilötiheyksien suora vertaaminen verrokkimaiden ohjeisiin ja standardeihin ja ohjeisiin oli haastavaa.

Koronaviruspandemian osalta keskeinen havainto oli, että pandemia aiheutti kyllä selkeän laskun kauppakeskusten henkilömäärässä, joka näkyi automaattisesti myös kauppakeskusten henkilötiheydessä, mutta ajan kuluessa näiden rakennusten henkilötiheys alkoi hiljalleen kasvaa ja nousi lopulta lähelle pandemiaa edeltänyttä tasoa.

## KIITOKSET

Kiitän lämpimästi KK-Palokonsultti Oy:tä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö ja saadusta ohjauksesta ja tuesta opinnäytetyöprojektin aikana. Erityiskiitokset haluan osoittaa Satu Holopaiselle ja Katariina Kevarinmäelle, jotka ohjasivat opinnäytetyötäni. Lundin yliopiston puolelta haluan kiittää professori Enrico Ronchia, joka toimi opinnäytetyössä yliopiston puolelta ohjaajanani. Lisäksi haluan kiittää yhteistyötä tehneitä kauppakeskuksia. Ilman heidän luovuttamia tietoja opinnäytetyön valmistuminen ei olisi ollut mahdollista.

## LÄHDELUETTELO

1. Rantamäki, T., 2022. Prescriptive and Actual Occupant Load of Business Premises in Finland Before and After Covid19. Lund University. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9083929>. Katsottu 12.05.2023.
2. De Sanctis, G., Moos, M., & Aumayer, C., 2019. Surveys of Occupant Load Densities in Retail Buildings. SFPE Foundation, 1.

3. Charters, D., McGrail, D. Fajemirokun, N., Wang, Y. Townsend, N. & Holborn, P., 2002. Preliminary analysis of the number of occupants, fire growth, detection times, and pre-movement times for probabilistic risk assessment. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Fire Safety Science, Worcester, MA, USA, 357–368

4. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2021. Muuntunut koronavirus tarttuu herkemmin – pidä yli kahden metrin turvaväli. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <https://thl.fi/fi/-/muuntunut-koronavirus-tarttuu-herkemmin-pida-yli-kahden-metrin-turvavali>.

5. Ympäristöministeriö, 2017. *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta* (Perustelumuistio). Muistio. 28.11.2017.

6. Ympäristöministeriö, 2017. *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta* (848/2017).

7. De Sanctic, G., Kohler, J., & Fontana, M., 2014. Probabilistic assessment of the occupant load density in retail buildings. *Fire Safety Journal*, 69, 1–11.

8. Spearpoint, M., & Hopkin, C., 2018. A review of current and historical occupant load factors for mercantile occupancies. *Journal of Physics: conference series*, 1107(7), 072005.

9. Spearpoint, M., & Hopkin, C., 2020. How dwell time affects the determination of occupant density in retail occupancies using footfall data. *safety science*, 131, 104916.

10. Gissi, E., Ronchi, E., & Puser D. A., 2017. Transparency vs magic numbers: The development of stair design requirements in the Italian Fire Safety Code. *Fire Safety Journal*, 91, 882–891.

11. Government of Ireland, 2020. Building Regulations 2006, Technical Guidance Document B - Fire Safety. Government of Ireland.

12. British Standards Institution, 2017. Fire safety in the design, management and use of buildings: Code of practice (Second edition, incorporating corrigendum No. 1). BSI Standards Limited.

13. Great Britain & Department for Communities and Local Government, 2019. Approved document B: Fire safety. Volume 2, Volume 2,.

14. Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica, Ufficio per la prevenzione incendi ed il rischio industriale, & Ponziani, F., Alaimo., 2019. Codice di prevenzione incendi in inglese – Beta Release 1—Annex 1 Technical fire prevention standards. Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica, Ufficio per la prevenzione incendi ed il rischio industriale.

15. Boverket, 2011. Boverkets Författningssamling (2011:6)—Boverkets byggregler (18). Boverket.

16. National Fire Protection Association, 2020. NFPA 101: Life safety code 2021.

17. International Code Council, 2018. International Building Code.

18. <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>.

19. Pathfinder Technical Reference, 2018. Thunderhead Engineering.

20. Pathfinder Verification and Validation, 2018. Thunderhead Engineering.

21. Sime, J. D., 1983. Affiliative behaviour during escape to building exits. *Journal of environmental psychology*, 3(1), 21–41.

22. Sime, J. D., 1985. Movement toward the familiar: Person and place affiliation in a fire entrapment setting. *Environment and Behavior*, 17(6), 697–724.

23. Onnettomuustutkintakeskus, 2021. Koronaepidemian ensimmäinen vaihe Suomessa vuonna 2020. Onnettomuustutkintakeskus. <https://turvallisuustutkinta.fi/fi/index/tutkintaselostukset/poikkeuksellisetapahtumat/p202001koronaepidemianensimmainenvaihesuomessavuonna2020.html>.

# Luontaisen pisaroitumisen hyödyntäminen sammutustyössä

## Tiivistelmä

Pienpisarasammutustekniikka on jalostunut ajan saatossa hyökäävän sisäsammuttamisen toimintamalliksi ja soveltuu siihen erinomaisesti. Tekniikan avulla työskentely tehdään sisäsammuttajille turvallisiksi. Mallin tavoitteena on varmistaa, että savukaasut eivät pääse syttymään yllättäen, jolloin paloteho voisi ylittää sammuttajien käytössä olevan sammutuskapasiteetin. Pienpisarasammutuksessa on nimensä mukaisesti pyritty pieneen pisarakokoon, jolloin pisaroiden yhteispinta-ala mahdollistaa veden tehokkaan höyrystymisen ja kaasujen nopean jäähtymisen. Pieniä pisaroita aikaansaadaan tarkoitukseen suunnitelluilla suihkuputkilla ja pisarakoko on varsin homogeeninen. Pienet pisarat höyrystyvät savukaasuissa verraten vakioidulla etäisyydellä suihkuputkesta. Menetelmässä pisaroita ei päädy suuremmassa määrin kuumille pinnoille, jolloin pintojen jäähtyminen tapahtuu epäsuorasti savukaasujen jäähtyessä. Tässä tutkimuksessa on tutkittu heterogeenisen pisarakoon käyttöä, jolloin pisaroiden etenemä vaihtelee enemmän ja suurempi osa pisaroista tavoittaa myös kuumat pinnat. Heterogeenisen pisarakoon tuotanto perustuu ilmaan suihkutettavan veden luontaiseen pisaroitumiseen.

## Luontainen pisaroituminen

Pisarakoko vaikuttaa moneen ominaisuuteen sammutettaessa. Pisarakoon kasvaessa sen tilavuus ja liike-energia kasvavat suhteessa halkaisijan kuutioon. Vastaavasti pinta-ala ja poikkipinta-ala kasvavat suhteessa halkaisijan neliöön. Pisaran pinta-ala on olennainen tekijä pisaran haihtumisnopeudessa ja poikkipinta-ala liikkuvan pisaran kokemassa ilman vastuksessa. Väliaineen (ilman) vastus kasvaa suoraan suhteessa kappaleen (pisaran) poikkipinta-alaan (Newtonin vastuslaki).

Pisaran halkaisijan kaksinkertaistuessa, sen pinta-ala nelinkertaistuu ja tilavuus (ja samalla massa) kasvaa kahdeksankertaiseksi. Pisaran haihtumisnopeus (massa/aika) on suoraan suhteessa sen pinta-alaan (kun muut haihtumiseen vaikuttavat tekijät pysyvät muuttumattomina).

Lentävän pisaran liike-energia ( $1/2 mv^2$ ) on suoraan suhteessa pisaran massaan, joten pisarakoon (halkaisija) kaksinkertaistu-

minen nelinkertaistaa massan, kaksinkertaistaa poikkipinta-alan ja siten myös kaksinkertaistaa ajan, jossa liike-energia häviää ilmanvastuksen takia (kun haihtumista ei oteta huomioon). Ilmaan suihkutetun pisaran lentoradan pituus siis kasvaa, mutta tähän toki vaikuttaa myös suihkukulma.

## Sammutustekniikan kehitys

Ennen pienpisaratekniikan (3D-tekniikka) kehittämistä, huoneessa olevia palokaasuja pystyi jäähdyttämään suoralla suihkulla, joka kohdistettiin huoneen laipioon [1]. Laipiosta pisaroituva vesi sirosi palokaasupatjaan ja jäähdytti savukaasuja. Pisarakoko tässä menetelmässä luonnollisesti pysyy varsin suurena, jolloin suuri osa pisaroista putoaa palaville pinnoille. Samaa tekniikkaa käytetään edelleenkin siirtymäsammutustekniikassa (Transitional Attack) [2]. Ongelmallista tässä tekniikassa sisäsammuttajan näkökulmasta on varsin kuumen vesihöyrän muodostuminen [1]. Siirtymäsammutustekniikassa ongelmaa ei ole, koska kuumat kaasut pääsevät tuulettumaan avoimesta ikkunasta. Miten sitten pienpisaratekniikka eroaa aiemmin käytetystä ja miksi se on parempi menetelmä sisäsammuttamisessa?

## Lämmön jakautuminen huoneistopaloissa

Lämpötilaero palavan huoneen laipion ja lattian välillä on varsin suuri, laipiossa lämpötila saattaa nousta kahdeksaan sataan asteeseen, kun lähellä lattiapintaa lämpötila voi olla alle sata astetta [1].

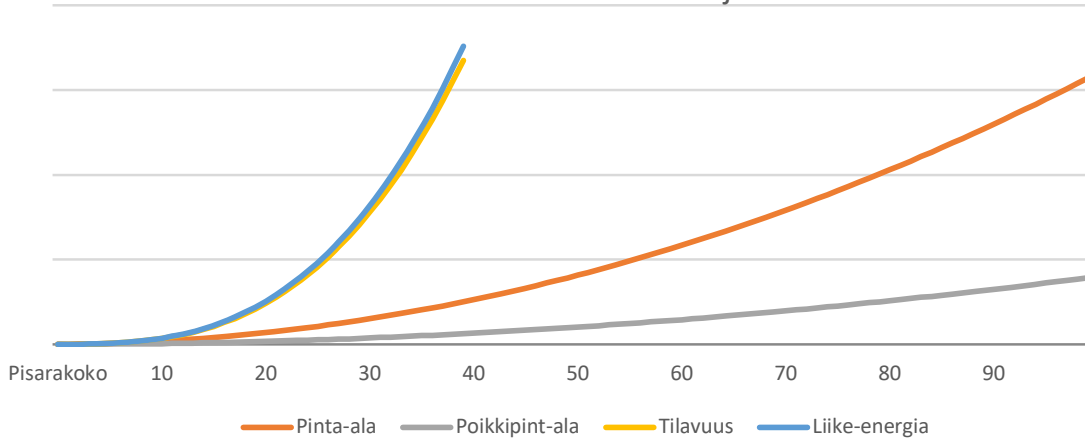
Kuva 2 esittää periaatteellisen lämpötilajakauman, joka ei kuvasta mitään todellista palotilannetta. Lämpötilajakauman todellinen muoto riippuu monista tekijöistä, mutta periaatteellisesti kuvan osoittamaa jakaumaa voidaan käyttää tässä esitettävien sammutusteknisten periaatteiden taustana.

## Pisaroiden höyrystyminen sisäsammutuksessa

Kuten yllä oli kuvattu, pisarakoon kasvaessa pisaran pinta-ala kasvaa ja siten myös sen haihtumisnopeus lisääntyy. Pisaran tilavuus kuitenkin kasvaa suhteessa pinta-alaan nopeammin, joten pisaran täydelliseen haihtumiseen vaadittava aika kasvaa pisarakoon kas-



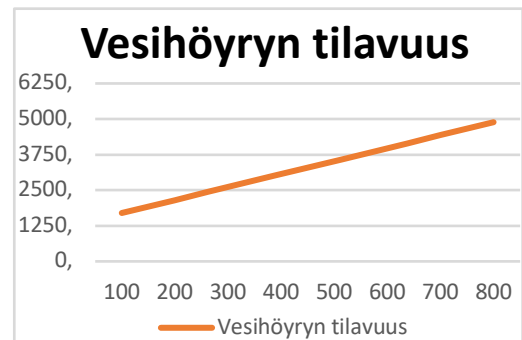
## Pisaran ominaisuuksia halkaisijan funktiona



Kuva 1. Pisaran ominaisuuksia koon funktiona.



Kuva 2. Lämpötilajakauma (periaatteellinen) huoneistotalossa.



Kuva 3. Vesihöyryn tilavuus, 1 litra vettä.

vaessa. Tässä yhteydessä voidaan puhua pisaran elinajasta, jolla tarkoitetaan sen täydelliseen haihtumiseen vaadittavasta ajasta.

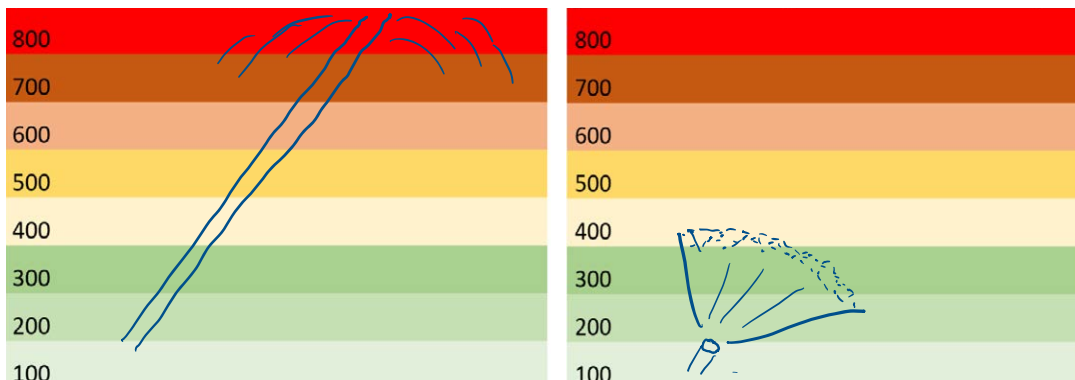
Haihtumiseen olennaisesti vaikuttaa ympäröivä lämpötila, lämpötilan nousu nopeuttaa haihtumista.

Veden lämmittäminen 20 asteesta kiehumispisteeseen (100 °C) vaatii 335 KJ energiaa/kilo vettä. Vastaavasti sen höyrystäminen 100-asteisesta vedestä 100-asteiseksi höyryksi vaatii 2260 KJ. Lämmön sitomisen osalta onkin tämä faasimuunnos vedestä höyryksi varsin merkitsevä. Jos 20-asteinen vesi höyrystetään ja höyry lämmitetään 800 asteeseen, sitoutuu lämpöä 5500 KJ, josta yli 40 prosenttia kuluu muodon muutokseen.

Litrasta vettä syntyy 100-asteista höyryä noin 1700 litraa. Kun tämä höyry lämpenee edelleen, sen tilavuus kasvaa siten, että alle 500 asteessa se on kaksinkertaistunut. 800 asteessa litrasta saatu vesihöyry on jo viiden kuution tilavuudessa (olettaen paineen pysyvän vakiona).

Kun yllä kuvattuun kuumaan huoneeseen ruiskutetaan vettä alhaalta ylöspäin (lattialla oleva sammuttaja), on pisarakoolla merkittävä rooli siinä, millainen lopputulos saadaan aikaan. Suoralta suihkulla vesi saadaan lentämään laipioon asti ja se pisaroituu kuumimmassa osassa huonetta (Kuva 4, oikea puoli). Siihen miten suuri osa tästä vedestä loppujen lopuksi höyrystyy kuumimmassa osassa huonetta, riippuu monesta tekijästä, esimerkiksi laipion materiaalista, suihkukulmasta ja veden nopeudesta. Jos suihku pisaroituu hyvin, syntyy useita kuutioita hyvin kuumaa höyryä, jolloin höyryvaikutus tulee hyvin alas huoneessa. Sammuttaja tuntee tämän kovana kuumuutena [1].

Pienempi pisara (sumusuihku) hidastuu nopeasti ja höyrystyy myös nopeasti (lyhyt elinikä) ja höyry syntyy huomattavasti alempana huoneessa, jolloin pisarat eivät koskaan pääse kuumempaan huoneen yläosaan. Pienpisaratekniikan pisarakoko onkin sammuttajan suoja, koska pientä pisaraa ei yleensä saa la-



Kuva 4. Suoran ja sumusuihkun vaikutus veden höyrystymiskohtaan.

▶ jan höyryvaikutuksen tuottavan korkean lämpötilan piiriin, vaan pisarat haihtuvat kokonsa vuoksi jo matalammissa lämpötiloissa. Parhaimmillaan höyryn tuotto on pienempää, kuin jäähtymisen tuoma kaasujen tilavuuden pieneneminen, jolloin palokaasupatja kutistuu (patja ohenee) parantaen samalla näkyvyyttä [1].

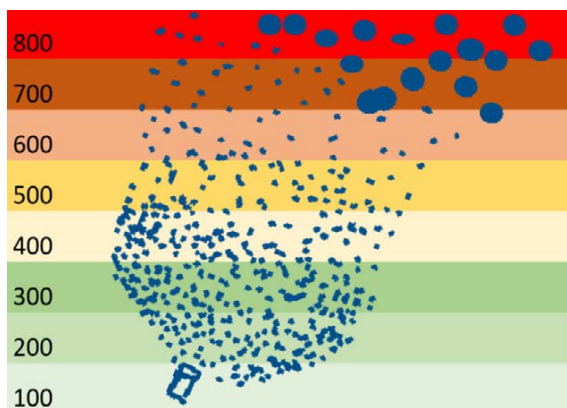
Sisäsamuttajalle pienisaratekniikka on oiva työkalu, koska savukaasupatja jäähtyy ja laimenee, jolloin sen lieskahtamisen todennäköisyys huomattavasti pienenee. Toki tällöin myös alaspäin suuntautunut lämpösäteily vähenee. Olennainen osa tekniikkaa on palotuuletus, jonka avulla tilaan kertyneen lämpöenergian määrää saadaan laskettua [1]. Sisäsammutuksessa kaikkea palon tuottamaa lämpöenergiaa ei voida yleensä sitoa veden käytöllä, koska syntyvän vesihöyryn määrä ja lämpötila ylittäisi samuttajien suojarusteiden suojauskyvyn. Ulkoa sammutettaessa tilanne muuttuu merkittävästi veden käytön ja vesihöyryn merkityksen osalta, koska höyryn negatiiviset vaikutukset eivät rajoita ulkosamuttajaa.

Jos käytetään liian hienoa sumua, pisara höyrystyy lähestulkoon heti (Kuva 4, vasen puoli). Tämänkin samuttaja tuntee kuumuutena, koska vesihöyry syntyy hyvin lähellä ja samuttaja joutuu suoraan vesihöyrypilven vaikutusalueelle.

Vesihöyry on samuttajalle tärkeä työväline. Veden sammutusvaikutus tehostuu huomattavasti, kun vesi muodostaa vesihöyryä, joka on inertti kaasu. Vesihöyryn lisääntymisen myötä tilan happipitoisuus pienenee, mikä vaikeuttaa palamista. Näin ollen vesihöyryä kannattaisi tuottaa mahdollisimman paljon, ellei tämä olisi sisällä olevien samuttajien kannalta ongelmallista. Katsottaessa puhtaan sammutusteknisestä näkökulmasta, vesi kannattaisi pyrkiä saamaan kuumimpaan kohtaan huoneessa, mikä vaatii pidemmän eliniän omaavia, isompia pisaroita. Toisena olennaisena seikkana on, että vettä tulisi saada savukaasupatjan lisäksi kuumille pinnoille, koska niiden kyky tuottaa höyryä on olennainen ja samalla pintojen jäähtyminen edistää sammutusvaikutusta, kun pyrolysaatio vähenee. Jäähdyttämisen olennaisin sammutusvaikutus on pyrolysaation lakkaaminen [3].

Jos pisarakoko on hyvin homogeeninen, pisaroiden elinikä on vakio, eli kaikki pisarat haihtuvat samalla etäisyydellä suuttimesta. Tämä aikaansaa varsin paikallisen jäähdytysvaikutuksen (joka toki on sisäsammutuksessa turvallista), kuten kuvassa 4. Eritoten kuumat pinnat eivät tällöin jäähdy, muutoin kuin epäsuorasti, ja niiden pyrolysaatio jatkuu.

Kun asiaa tarkastellaan puhtaasti sammutus- ja jäähdytystehon kannalta, olisi järkevintä käyttää laajaa pisarakokoskaalaa käytetyn veden tilavuuden painottuessa suurempiin pisaroihin (Kuva 5). Suihkun pienimmät pisarat jäädyttäisivät tilan alimpia, viileämpiä osia isoimpien pisaroiden jäähdyttäessä kuuminta laipio-



Kuva 5. Heterogeeninen pisarakoko sammutettaessa.

osaa ja kuumia pintoja. Tällä tavoin saadaan aikaan maksimaalinen jäähdytysteho ja höyryn tuotto, molemmat ovat eduksi palon sammuttamisessa. Sammutusta tehostaa pintojen jäähtyminen ja siinä tuotettu vesihöyry. Suihkun suuntausta hyödyntäen, maksimaalinen höyryn tuotto saadaan, kun suihku läpikäy kaikki kuumat pinnat suhteellisen lyhyessä ajassa. Malli on erittäin toimiva hyökkäävässä ulkoa sammuttamisessa, koska samuttajan ei tarvitse huolehtia mahdollisesta kuumen höyryn aiheuttamasta vaikutuksesta. Kun pinnat samalla jäähdytetään, saadaan pyrolysaatio pysähtymään, jolloin palosta loppuu polttoaine (smoke is fuel).

Maksimaalinen höyryn tuotto (tilavuus) saadaan aikaan käyttämällä (homogeenista) pisarakokoa, joka höyrystyy kuumimmassa osassa huonetta, eli lähellä laipiota. Tällöin patjan alaosa ei paljoa jäähdy, koska pisarat jatkavat matkaansa sen läpi. Sisäsammutuksessa tämä on ongelmallista, koska kuumaa vesihöyryä syntyy paljon, eikä sitä jäähdyttävää (pienempää) pisaraa juuri ole. Yhdistämällä monia pisarakokoja päästään sisäsammutuksen osaltakin hyvään tulokseen, kun pienemmillä pisaroilla saadaan syntynyt kuuma vesihöyry jäähtymään.

### Pisaroituminen

Pisaroitumista on käsitelty kirjallisuudessa laajasti ja Vaarin [3] kirjassa lähtökohtana on ollut veden virtaus pyöreän reiän kautta. Testeissämme käytetyssä varsisammuttimessa vesi purkautuu useasta symmetrisestä pyöreästä reiästä, joten Vaarin kirjan tulokset ovat varsin suoraan sovellettavissa käytettyyn instrumenttiin.

Ilmaan ruiskutetun veden pisaroitumiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten pintajännityksen aiheuttama värähtely (pisarakoko suurempi kuin suihkun halkaisija), aerodynaaminen paine nesteen pinnalla (pisarakoko suunnilleen sama kuin suihkun halkaisija), aerodynaaminen voima (pisarakoko selvästi pienempi kuin reiän halkaisija) ja aallonpituudeltaan reiän halkaisijaa selkeästi pienemmät värähtelyt, jotka aiheuttavat veden pisaroitumisen (tuottaa hyvin pieniä pisaroita). [3]

Kun vesi törmäytetään kohtioon, suihku rikkoontuu ja saadaan pienempiä pisaroita. Vaihtoehtoisesti vesi voidaan suihkuttaa ohuena kalvona, joka on nykyisissä suihkuputkissa tavanomainen malli. Molemmissa saadaan varsin pieniä pisaroita. ”Käytännössä on havaittu, että sisäsammutustekniikassa savupatjan jäähdytyksessä sumusuihkulla 0,35 mm:n keskimääräinen pisarakoko on paras” [2]. Pintojen jäähdyttämisessä isommasta pisarasta olisi hyötyä, jolloin niiden liike-energia riittäisi palavan pinnan saavuttamiseen.

Mikään suihku ei tuota täysin vakio kokoista pisaraa [3], koska osa pisaroista edelleen hajoaa ilman kanssa törmätessään. Suihku siten tuottaa pisarakokojakauman. Tämän tutkimuksen simulaatioissa on käytetty Rosin-Rammler [4] -jakaumaa pisarajakaumana.

### Tutkimusmenetelmät

Ulkoa sammuttamiseen ei aiemmin ollut erityisesti tarkoitusta varten suunniteltuja työkaluja, jotka olisivat kohtuullisin kustannuksin useimpien palokuntien saavutettavissa, joten tarkoitusta varten täytyi miettiä uusia, erilaisia työkaluja. Tavoitteena oli menetelmiä, joissa aiemmat pumppu- ja letkukalustot olisivat edelleen soveltuvia.

Ensimmäiset prototyypit ulkoa sammuttamisen työkaluista tehtiin puhtaasti kokemusperäisen innovoinnin perusteella. Suunnitteluperusteina oli saada riittävän liike-energian omaava pisara, jotta palavien pintojen jäähdyttäminen olisi mahdollista ja veden suuntaaminen palavan tilan kuumimpaan osaan, eli laipioon ja seinien yläosaan. Työkalujen suunnittelussa myös kantavana periaatteena oli aukkotehijän vaikutus huoneiston palokäyttäytymiseen. Alkuvaiheen palossa ikkunat ovat yleensä ehjiä, joten sil-



Kuva 6. Testipalo rivitaloaluoneistossa.

loin sammutteen inertoivaa vaikutusta pystytään hyödyntämään tehokkaasti. Pidemmälle edenneessä palossa ikkunat yleensä rikoontuvat lisäten aukkokerrointa, jolloin sammutte tuulettuu tilasta. Tällöin tarvitaan erityisesti jäähdytysvaikutusta, jolloin vesimäärän tulee olla huomattavasti suurempi.

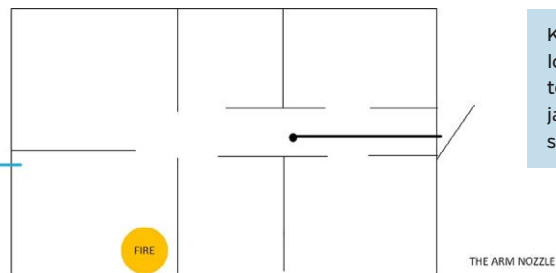
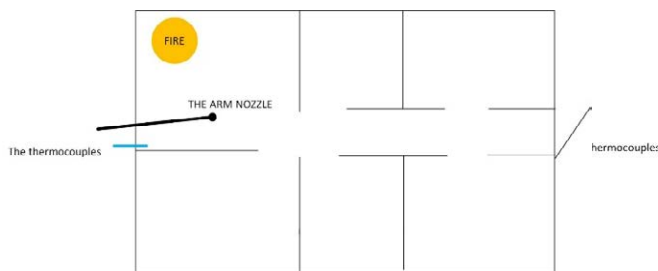
Ensimmäiset testit (Testi 1a, ja 1b) tehtiin talon polttoharjoituksissa. Näissä testeissä mitattiin lämpötiloja, joiden perusteella sammutustehoa arvioitiin, sekä aistihavaintoihin perustuen. Testit tehtiin siten, että huoneessa oli avonainen ikkuna (Kuva 6), jotta palo olisi kehittynyt. Ikkunan ollessa suljettuna, palo olisi muodostunut liian happirajoitteiseksi. Ensimmäisessä testissä sammutettiin suoraan huonetta, jossa alkupalo sijaitsi (Kuva 7, vasen puoli) ja toisessa testissä rakennuksen toiselta puolelta etuovesta käsin (Kuva 7, oikea puoli). Alkupalon kohta on merkitty keltaisella pallolla ja sammutin mustalla symbolilla (THE ARM NOZZLE). Alkupalona käytettiin kuormalavoja sekä muuta paikalla ollutta puutavaraa. Alkupalon materiaalmäärää ei arvioitu tarkemmin.

Palon annettiin kehittyä lähelle lieskahdusta ja palon hapensaantia säädeltiin silmämääräisesti halutun palotehon aikaansaamiseksi. Toisessa testissä testattiin sammutuksen ja tuulettamisen yhteistoimintaa (Kuva 8). Tässä testissä rakennukseen tehtiin satunnaisesta, kohteesta saadusta puutavarasta alkupalo ja sytytyksessä käytettiin LIAV200-polttonestettä. Testissä tehtiin lyhyt sammutus, jonka jälkeen rakennuksen takapuolelta avattiin poistoilmaluukku ja savu poistettiin paineistamalla huoneisto savutuulettimella.

Kolmannessa testissä testattiin erilaisten pisarakokojen merkitystä siihen, miten nopeasti palo jäähtyy ja onko menetelmien välillä ero lämpötilan muutoksista lähellä lattiaa, eli syntyykö niin sanottua löylyvaikutusta. Testin suorittivat Pelastusopiston opiskelijat palotalossa. Alkupalona käytettiin puurimoista tehtyjä levyjä sekä puutavaraa (Kuva 9). Polttoja varten oli valmisteltu kolme erilaisella reikäkoolla varustettua varsisammutinta. Pienireikäisessä varressa (Kuva 10, vasen puoli) oli 80 reikää, joiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 378 mm<sup>2</sup>. Suurireikäisessä varressa (Kuva 10, oikea) oli vastaavasti 12 reikää ja 641 mm<sup>2</sup> ja näiden välimallissa 31 reikää yhteispinta-alaltaan 526 mm<sup>2</sup>.

## Tulokset

Luonnollisesti silloin, kun sisällä on pelastettavia henkilöitä, on pyrittävä sisäsammutustekniikkaan. Ulkosammutuksessa mallin tuottama lämpötilan muutos lattiatasossa on riippuvainen hu-



Kuva 7. Testipalon huonejärjestely, alkupalojen ja sammuttimen sijainnit.



Kuva 8. Sammutushyökkäys varsisammuttimella.

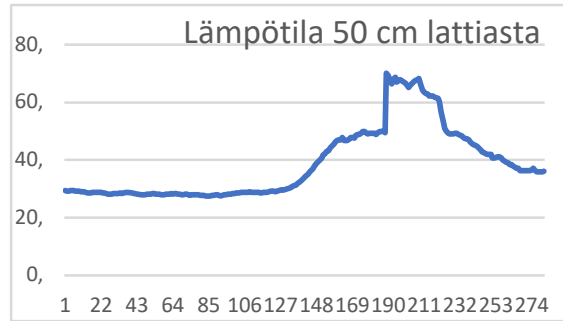
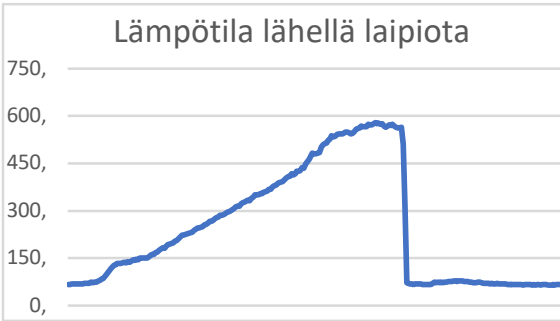


Kuva 9. Alkupalo ja koeasetelma palotalossa. (Kuva: Pelastusopisto)





Kuva 10. Testiä varten tehdyt suuttimet, pieni ja suuri pisara.



Kuva 11. Lämpötilakäyriä ulkosamuttamisen testistä (lähellä laipiota ja 50 cm lattiasta).

- nekkoon, pisarakokojakauman ja sammutustehon (voima)suhteesta. Riittävällä vesivirralla lämpötilan pudotus on niin nopea, että syntynyt kuuma vesihöyry jäähtyy pienempien pisaroiden vaikutuksesta, ennen kuin se tavoittaa huoneen alaosan. Liian vähäisellä vesimäärällä ”löylyvaikutus” voi olla suurempi. Kuvassa 11 on lämpötilakäyrät yhdestä tällaisesta sammutuksesta (Testi 1a). Lämpötila lähellä laipiota putoaa 2 sekunnissa lähes 600 astetta, kun vettä käytetään riittävästi.

Yllä kuvatussa testissä lämpötila nousee jyrkästi heti sammutuksen alussa myös lähellä lattiaa (Kuva 11), mutta lämpötilan nousu on hyvin maltillinen, 20 astetta. Korkeimmillaan lattialämmöt käyvät 70 asteessa, joten merkittävää löylyvaikutusta ei synny sen enempää sammuttajille, kuin tilassa mahdollisesti olevalle pelastettavalle henkilöllekään.

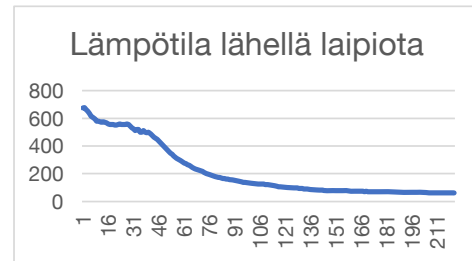
Toisessa testissä (Testi 1b), jossa sammuttaminen tehtiin toisesta huoneesta, lämpötilan putoaminen on luonnollisesti huomattavasti hitaampaa (Kuva 12). Tässä testissä mahdollinen sammuttamiseen liittyvä lämpötilan muutos lähellä lattiaa oli niin pieni, ettei se erottunut taustakohinasta.

Toinen testi tehtiin sammutushyökkäyksenä puurakenteiseen pientaloon. Talon koon takia varsisammutin ylettyi keskelle rakennusta. Palon annettiin kehittyä niin pitkälle, että koko rakennuksessa oli runsaasti kuumia palokaasuja lähellä laipiota (Kuva 13). Sammutuksen jälkeen avattiin rakennuksen takapuolelta poistoaukko ja rakennus tuuletettiin ylipaineella. Palo sammui kokonaisuudessaan, eikä syttynyt tuuletuksen yhteydessä uudelleen.

### Pisarakokoa vertaileva testit

Pisarakokoa vertailevat käytännön testit tehtiin Pelastusopiston palotalossa päällystöopiskelijoiden toimesta. Testissä verrattiin kolmea erilaista pisarakokoa sammuttamiseen. Ison pisaran testissä havaittiin alimmassa lämpöanturissa lämpötilan nousu (Kuva 14), mikä oli odotettavissa. Vastaavaa nousua ei havaittu muiden pisarakokojen osalta. Lämpötilan putoaminen oli nopeinta heterogeenisella pisarakoolla.

Ison pisaran tapauksessa ylempien kerrosten lämpötilat eivät nouse ollenkaan sammuttamisen aloittamisen yhteydessä, pienessä pisarassa nousu on hyvin pieni. Tämä selittyy kaasujen liikkeellä, kun paine veden höyrystymisen johdosta nousee sammutusalueella. Suurin nousu on heterogeenisessä pisarakoossa, kun



Kuva 12. Lämpötilan pudotus testissä Testi 1b.

paine nousee koko kaasupatjan korkeudella, jolloin patjaan syntyy eniten horisontaalista liikettä.

Testissä mittauspisteet olivat verraten etäällä alkupalosta ja tilan koko oli suuri alkupalon kokoon nähden. Näin ollen testin tulosten vertaaminen aiempien testien tuloksiin on vaikeaa. Lisäksi testien toistaminen useampaan kertaan toisi mittauksiin enemmän luotettavuutta, mutta tämän toteuttaminen ei ollut mahdollista saatavilla olevilla resursseilla. Vastaavasti poltettavissa rakennuksissa tehtävien testien toistaminen on luonnollisesti vaikeaa.

### Simulaatiot

Suihkujä mallinnettiin FDS [5] -simulaatioksi, jotta pystyttiin vakioidussa ympäristössä testaamaan erilaisia pisarakokoja ja suihkujen muotoja. Suihkujen testaaminen simulaatioiden avulla helpottaisi ja nopeuttaisi optimaalisten pisarakokojakaumien löytämistä, joka polttokokein on varsin aikaa vievää.

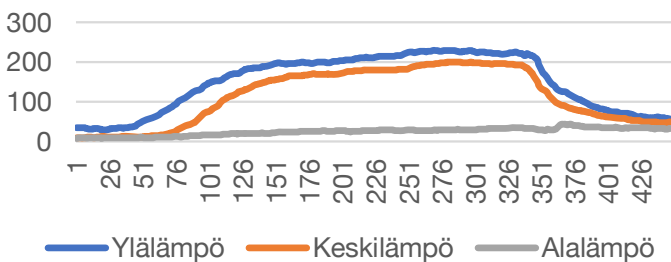
Simulaation rakentaminen vastaamaan testeissä käytettyä paloa osoittautui varsin haasteelliseksi. Kuvassa 11 on yhden simulaatiopalon lämpötilakäyrät. Tässä palossa käytettiin mallinnettuja suihkuja, jotka vastasivat pisarakokovertailun suihkupäitä. Simulaatiotuloksista ison pisaran tuottavan suihkupään tulokset vastaavat näistä parhaiten käytännön kokeissa saatuja tuloksia. Simulaation paloa on vielä tutkittava tarkemmin, jotta se vastaa käytännön testeissä käytettyä.

E erityisen ongelmalliseksi simulaation rakentamisessa havaittiin pisarakokojakauman puutteelliset tiedot. Todellisuutta vastaavan simulaation rakentamiseen tarvittaisiin tietää suihkusta syntyneen

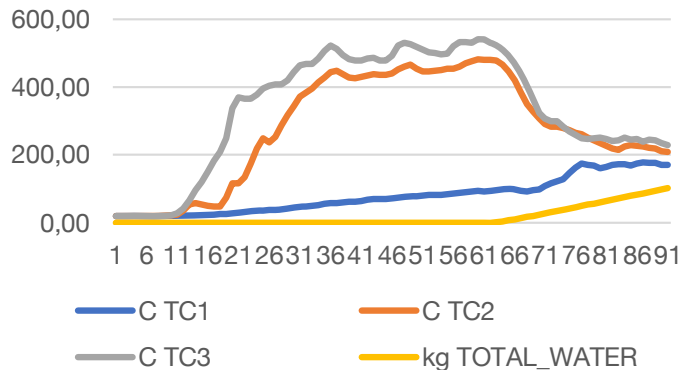


Kuva 13. Testi 2 lämpötilakäyrät.

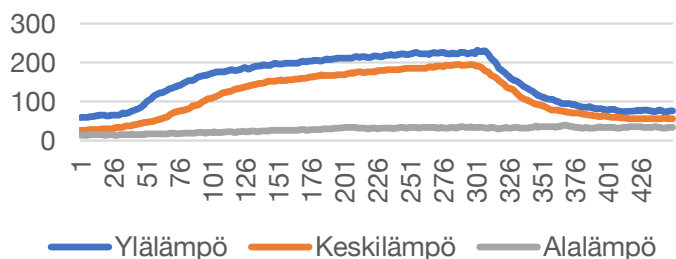
### Iso pisara



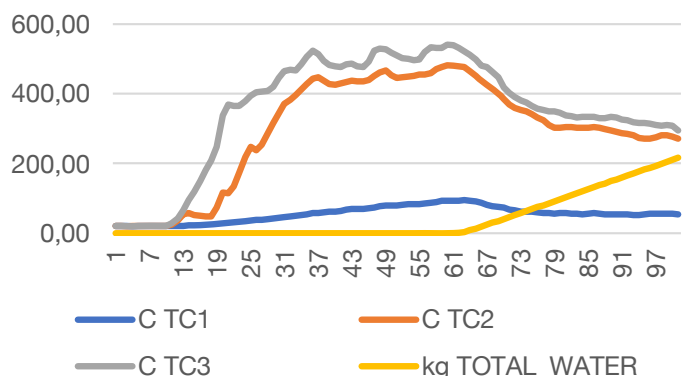
### Pieni pisara



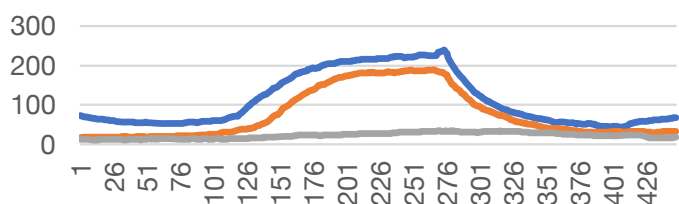
### Pieni pisara



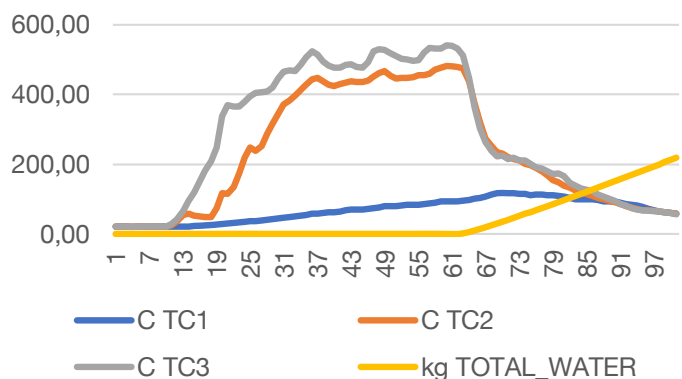
### Keskikokoinen pisara



### Heterogeeninen pisarakoko



### Iso Pisara



Kuva 14. Pisarakokojen sammutusvaikutuksen vertailu.

pisarakokojakauma, joka tässä tutkimuksessa jouduttiin rakentamaan oletusten ja silmämääräisen arvioinnin varaan. Hyvään simulaatioon tulisi pystyä mittaamaan olemassa olevasta suihkustan pisarakokojakauma, mutta tällainen mittaus on varsin haastava tehtävä, eikä tässä tutkimuksessa siihen ollut mahdollisuutta.

Simulaatioiden laskenta on varsin intensiivistä ja vaatii paljon laskentatehoa. Tämän tutkimuksen simulaatiot laskettiin CSC:n (Tieteen tietotekniikan keskus) suurteho-koneilla rinnakkaislas-kentana [6].

### Johtopäätökset

Heterogeenisella pisarakoolla saadaan yhtä hyvä sammutusvaikutus kuin sisäsammutuksessa perinteisesti käytössä olevalla homo-

Kuva 15. Simulaation avulla saadut sammutustulokset.

geenisin pisarakoon pienpisaramenetelmällä. Ulkoa sammuttaminen, jolloin sisällä olevien sammuttajien höyryttämistä ei tarvitse miettiä, on mahdollista tehdä sisäsammuttamista tehokkaammin. ▶

- ▶ Ulkoa sammutettaessa voidaan käyttää suurempaa pisarakokoa ja jäädyttää tehokkaasti myös palavia pintoja, jolloin pyrolysaatio lakkaa. Lisäksi näyttää selkeästi siltä, että syntyvän kuumen höyryn vaikutus pystytään kumoamaan pienen pisaran jäädytysvaiikutuksella, kun pisaroiden kokosuhteet ovat sopivat, eli pientä pisaraa on riittävästi.

Erilaisten suihkujen tehokkuutta jäädytyksessä voidaan tutkia myös mallinnuksen avulla ja näin saada aikaan hyvin vakioitu palotapahtuma, joka käytännön kokeissa on hyvin haasteellista. Tässä tutkimuksessa mallinnuksessa päästiin vasta osatavoitteisiin ja mallintamisen tutkimista on syytä jatkaa. Erityisesti erilaisten suihkujen pisarakoon jakaumia olisi hyvä pystyä mittaamaan ja tähän tarkoitukseen olisi kehitettävä välineistöä ja menetelmiä.

## KIITOKSET

Kiitokset vesisuihkujen mallintamisen avustamisesta Rahul Kalalada Janardhan ja pisarakoon vaikutuksen käytännön kokeiden suoritukselta Pelastusopiston yliopettaja Ismo Huttu, suunnittelija Pekka Toivanen ja opiskelijat Jarkko Kangas, Lasse Kumakari, Kimmo Pohjalainen sekä Antti Torvinen. Kiitokset avusta myös Itä-Suomen yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitokselle, erityisesti Jukka Pitkäselle avusta laskentaympäristön rakentamisesta ja Tieteen tietotekniikan keskus, csc.fi supertietokoneista, jotka olivat välttämätön resurssi simulaatioiden mahdollistamisessa.

## LÄHDELUETTELO

1. Grimwood P: A Comparison of 3D Water-fog versus Straight Streams, using 'Burst and Pause' Cycles, to Cool & Inert Dangerous Fire Gases in the Overhead of a Compartment Fire. <https://www.highrisefire.co.uk/>
2. Huttu I., Ala-Kokko V., Paloluoma P., Smura M., Ronkainen J., Jämsä J., Mustonen A., Meurman K., Hassinen M., 2022. Rakennuspalon sammutus, Pelastusopiston julkaisusarja A, oppimateriaalit. Pelastusopisto.
3. Vaari J., 2004. Sammutustekniikan luonnontieteelliset peurteet. Edita Publishing Oy.
4. Vesilind P., 1980. The Rosin-Rammler particle size distribution, Resource Recovery and Conservation, Volume 5, Issue 3, Pages 275–277, ISSN 0304-3967
5. <https://pages.nist.gov/fds-smv/>
6. <https://www.csc.fi/csc>

**Tämä ja aikaisemmat  
Palotutkimuspäivien  
julkaisut ladattavissa:  
[www.spek.fi/](http://www.spek.fi/)  
palotutkimuksenpäivät**



# Pelastustieto

ETUSIVU PELASTUSTIEMI PELASTUSTOIMINTA SYSTOLE BLOGIT YHTEYSTIEDOT ILMOITTAJALLE



**Poika kirjoitti kirjan isänsä työurasta - "Hälytysajossa" kertoo kaunistelemattomasti tarinoita Stadin brankkarin arjesta**



**PELASTUSTIEMI 21.6.2023**  
Vaarojen hallitijat saavat uuden johtajan Keski-Suomesta - Juha Saario aloittaa pelastusjohtajana Kainuussa



**ENSIMMÖ 20.6.2023**  
Työnohjaus - mitä se on? - Ohjaaja ja ohjattava kertovat kokemuksistaan



**ENSIMMÖ 9.6.2023**  
Kohti Virve 2 -järjestelmän käyttöönottoa



**PELASTUSTIEMI 2.6.2023**  
Sevelinän palossa on ruosteesta mutta henkilöt kiinni



**MAKUKORVA 1.6.2023**  
Pelastuslaitalta vankan taustan omaava Piia Manninen aloitti sisäministerin erityisavustajana

**KIRJAUUDU PALVELUUN**  
Pelastustiedon tilaukset voivat tulla kaikkea palvelun osittain.

**KIRJAUUDU PALVELUUN**  
**TILAA PELASTUSTIETO**  
**TILAA UUTISKIRJE**  
**TILAA IRTONUMERO**

SUOSIN LEHTI

**Pelastustieto**



06/2023 21.6.2023

**LEHTIARKISTO**

**Tee ehdotus arvoniin saajasta!**

SUOSITUT

**PELASTUSTIEMI**  
Vaarojen hallitijat saavat uuden johtajan Keski-Suomesta - Juha Saario aloittaa pelastusjohtajana Kainuussa

**Vahva  
myös  
verkossa  
& somessa**

**pelastustieto.fi  
> tilaa-lehti**



# Pelastusviranomaisen asiantuntijana ja todistajana oikeudessa

## Tiivistelmä

Pelastusviranomaisen asiantuntemus on tutkinta- ja oikeusprosessissa olennaisen tärkeää erityisesti arvioitaessa tulipalon aiheuttamaa vaaraa. Tuon asiantuntemuksen hyödyntäminen on kuitenkin ollut vajaakäytössä useammastakin syystä. Pelastusviranomaisille ei ole ollut antaa ohjeita lausunnon rakentamiseen, ja sen asemasta ja roolista prosessin eri vaiheissa on ollut epäselvyyttä. Myös lausuntojen pyytämisessä on ollut omat haasteensa, tulipaloihin liittyvät erityiskysymykset kun ovat usein vieraita poliisille ja syyttäjille.

Ruotsissa ensimmäinen versio asiantuntijalausunto-ohjeistuksesta ja -pohjasta on julkaistu jo vuonna 2004, ja parhaillaan on meneillään sen toinen päivityskierros. Pohjoismainen palojen tutkinnan yhteistyöorganisaatio *Nordic Fire Group* on kiinnittänyt vastaavan ohjeistuksen tarpeeseen myös muissa Pohjoismaissa. Suomessa ohjeistusta on laadittu ensimmäistä kertaa Pelastusopiston TKI-yksikön *Pelastuslaitosten ilmoitusmenettelyt ja viranomaisyhteistyö palojen tutkinnassa* -hankkeessa. Työn varrella on todettu, että suomalaisen lainsäädännön oloissa asiantuntijalausunnon ohjeistamisen rinnalla yhtä tärkeää on laatia ohjeistus myös palotapauksessa todistajana toimivia ammattilaisia ajatellen. Molempien ohjeistusten tavoitteena on palvella sekä lausuntoja pyytäviä että niitä antavia viranomaisia.

## Pelastusviranomaisen ammattiosaaminen esille

Vuosina 2011–2013 Turun yliopiston oikeustieteellisessä tiedekunnassa toteutetussa läpivirtaustutkimuksessa käytiin läpi kaikki poliisin tietoon tulleet tulipalot vuodelta 2007, joita oli tutkittu tietyillä rikosnimikkeillä. Rikosnimikkeenä näissä oli joku tuhotyön nimikkeistä, törkeä vahingonteko ja sen yritys sekä petokset, joissa teko oli toteutettu polttamalla. Tutkimuksessa selvitettiin tapausaineiston kokonaisuksi hätäkeskukseen tulleesta ilmoituksesta mahdolliseen lainvoimaiseen tuomioon asti. [1, s. 2.]

Näistä vuodelle 2007 ajoittuneista teoista jollain tuhotyön nimikkeellä tutkittuja tapauksia lähetettiin syyteharkintaan 156 ta-

pausta. Näistä noin puolesta esitutkintapöytäkirjoista puuttui pelastustoimen näkemys tapahtumasta. Oikeuskäsittelyyn eteni 134 tapausta. Myös oikeuskäsittelyssä hiukan yli puolet tapauksista ratkaistiin ilman pelastustoimen näkemystä. [2, 33–35.]

Kuitenkin erityisesti juuri tuhotyöhön liittyvissä nimikkeissä arvioitavaksi tulee tulipalon aiheuttama vaara, mikä kuuluu viranomaisten välisessä työnjaossa nimenomaan pelastusviranomaisen ammattirooliin. Vaikka edellä viitattu empiirinen aineisto on jo yli 15 vuotta vanhaa, se edelleen osoittaa painavan tarpeen nostaa ja ohjeistaa pelastusviranomaisen roolia erityisesti vakavien tulipalotapausten tutkinta- ja oikeusprosessissa. Vaikka asiantuntemuksen käyttö on nykyään toivottavasti kattavampaa kuin vuonna 2007 tehtyjen rikosten kohdalla, ainakin yksi asia on ennaltaan: yhtenäisiä ja yleisesti käytössä olevia ohjeistuksia pelastusviranomaisen asiantuntemuksen kysymiseen tai lausunnon laatimiseen ei ollut tuolloin, eikä ole vielääkään.

Tähän puutteeseen on nyt tartuttu. Kotimaisessa keskustelussa lausunto-ohjeistuksen tarpeeseen on kiinnitetty huomiota ensimmäisen kerran jo vuonna 2005. Ajatuksista tekoihin siirryttiin kuitenkin vasta pohjoismaisen palontutkinnan yhteistyöorganisaation *Nordic Fire Groupin* antamasta sytykkeestä. Pohjoismaissa Ruotsi on ollut tällä alalla edelläkävijä: ensimmäinen ohjeistus asiantuntijaksi kutsuttavalle pelastusviranomaiselle laadittiin jo vuonna 2004. Ensimmäisen kerran se uudistettiin vuonna 2012, ja toinen uudistuskierros on parhaillaan käynnissä [3]. *Nordic Fire Groupin* aloitteesta nyt liikkeellä ollaan myös Suomessa ja Norjassa.

Tehtävä on asetunut luontevaksi osaksi Pelastusopiston TKI-yksikön *Pelastusviranomaisen ilmoitusvelvollisuudet ja viranomaisyhteistyö palojen tutkinnassa* -hanketta. Sen edeltäjät, *Tuotantamukselliset tulipalot ja niitä koskevat ilmoitusmenettelyt* -hanke sekä *Pelastuslaitosten ilmoitusmenettelyjen ja yhteistyöryhmien kehittämisshanke* vakioivat pelastuslain (379/2011) 41 §:ssä säädettyä ilmoitusvelvollisuutta. Kirjallisessa muodossa tehtävä ilmoittami-

- nen toteuttaa hyvän hallinnon periaatteita, mikä samalla vahvistaa kansalaisten yhdenvertaista kohtelua sekä kansalaisten ja viranomaisten oikeusturvaa.

Ajateltaessa tulipalotapausten läpivirtausta tutkintaprosessista aina mahdolliseen oikeusprosessiin saakka myös pelastusviranomaisten antamien lausuntojen raamittaminen on askel eteenpäin kansalaisten yhdenvertaisen kohtelun tiellä. Prosessien lopputulosten kannalta ei ole mitenkään samantekevää, onko pelastusviranomaisen lausunto – asiantuntijan tai todistajan ominaisuudessa – tehty perusteellisesti tai suppeasti, vai onko pelastusviranomaisen asiantuntemus jäänyt vaaran arvioinnissa kokonaan hyödyntämättä.

Ohjeistusta Suomeen on laatinut seuraava monipuolinen asiantuntijaryhmä:

- Dan Frände, rikos- ja prosessioikeuden prof. em., Helsingin yliopisto
- Pasi Hyyryläinen, rikosylikonstaapeli, Itä-Uudenmaan poliisilaitos
- Mika Kupiainen, operatiivinen päällikkö, palontutkija, Pirkanmaan pelastuslaitos
- Markku Laakso, tutkinnanjohtaja, Sisä-Suomen poliisilaitos
- Knut Lehtinen, johtava palotarkastaja, palontutkija, Varsinais-Suomen pelastuslaitos
- Päivi Mäkelä, tutkija, Pelastusopisto
- Aino Myyrä, rikosinsinööri, Keskusrikospoliisi
- Pasi Paloluoma, palopäällikkö, palontutkija, Varsinais-Suomen pelastuslaitos
- Antti Saarinen, palotarkastaja, palontutkija, Etelä-Savon pelastuslaitos
- Pertti Sovelius, poliisitarkastaja, Poliisihallitus
- Timo Uola, rikosinsinööri, Keskusrikospoliisi
- Antti Uusipaikka, tutkinnanjohtaja, Sisä-Suomen poliisilaitos
- Kimmo Virtanen, aluesyyttäjä, apulaispäällikkö, Länsi-Suomen syyttäjäläue

### Todistaja vai asiantuntija?

Vuoden 2016 alusta voimaan tullut oikeudenkäymiskaaren (732/2015, OK) uudistus päivitti kauttaaltaan todistelua koskevan 17 luvun. Todistajan ja asiantuntijan välinen työjako määrittyy sen pohjalta seuraavasti:

- asianosaiset, todistajat ja esinetodisteet toimivat *näyttönä tosiseikoista*
- asiantuntija todistaa *kokemussäännöistä* [4, s. 237].

Todistajan havainnot ja muistikuvat ovat yleensä ainutkertaisia. Todistajan vaihtaminen toiseen tietolähteeseen johtaa yleensä todistelun kärsimiseen. Erityisesti tieteellisen tutkimuksen kautta saavutettujen kokemussääntöjen pohjalta lausuva asiantuntija on periaatteessa – ei kuitenkaan välttämättä käytännössä – korvattavissa toisella asiantuntijalla ilman, että näyttö heikkenee. [4, s. 243.]

Tulipaloja koskevissa tapauksissa keskeinen todistaja pelastustoimesta on pelastustoiminnan johtaja, jolla on parhaat tilanteen- aikaiset tiedot koko tapahtuman kaaresta. Nämä tiedot koskevat muun muassa sitä, missä vaiheessa palo oli pelastuslaitoksen tullessa paikalle. Pelastustoiminnan johtajan keskeistä roolia alleviivaa myös se, että hänen tulee olla parhaiten informoitu muiden pelastustoimintaan osallistuvien tekemistä havainnoista [5, s. 255]. Tapahtuman kannalta keskeisiä, mutta pelastustoiminnan johtajaan verrattuna pistemäisempiä havainnoita voi olla vaikkapa ensimmäisenä paikalla olleella ryhmänjohtajalla (esimerkiksi kysymykset ensihavainnoista yksikön saapuessa onnettomuuspaikalle), tai ensimmäisenä kohteeseen menneellä savusukeltajalla (esi-

merkiksi havaitut mahdolliset useammat palopesäkkeet).

Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO on onnettomuusseloste on pelastustoiminnan johtajan näkökulmasta olennainen havaintojen keräämisen, kronologisen kokonaiskuvan ja mieleen palauttamisen väline. Toinen erittäin hyvä työkalu tähän on Pelastustoiminnan johtamisen käsikirja, jonka monipuolisiin kirjausmahdollisuuksiin liitetään automaattisesti myös aikaleimat.

Todistaja kertoo käsiteltävänä olevaan asiaan liittyvistä *havainnoista*. Tulipaloihin liittyen asiantuntijan tehtävänä on sen sijaan tuoda esiin erityisesti se, *mitä onnettomuudessa olisi voinut tapahtua, ja mitä se olisi voinut aiheuttaa*. Tässä keskusteluyhteydessä kokemussäännöistä lausuvat asiantuntijat ovat tarpeen erityisesti arvioitaessa tulipalon aiheuttamaa vaaraa.

Tällöin kysymyksessä ovat erityisesti ne tapaukset, joita esituskinnassa on tutkittu tuhotyön eri nimikkeillä (rikoslain (578/1995, RL) 34 luvun 1–3 §). Perusmuotoisen tuhotyön tunnusmerkistön täyttymisen edellytyksenä se, että ”teko on omiaan aiheuttamaan yleistä hengen tai terveyden vaaraa taikka että siitä on yleistä erittäin huomattavan taloudellisen vahingon vaaraa” (RL 34 luvun 1 §). Tuottamuksellinen tekemuoto eli yleisvaaran tuottamus eri nimikkeineen johdetaan tuhotyötä koskevasta sääntelystä (RL 34 luvun 7–8 §). Vaaran arvioiminen ei sen sijaan aktualisoidu esimerkiksi törkeinä vahingontekoina tutkittavissa tapauksissa (RL (769/1990) 35 luvun 2 §), jolloin kyse on omaisuuteen kohdistuvasta rikoksesta.

Lähtökohtana lainsäädännössä (OK 17 luvun 36 §) on ollut se, että asiantuntija antaa kirjallisen lausunnon, ja suullinen kuuleminen tuomioistuimessa on tähän nähden poikkeus. Suullisesti asiantuntijaa on tuomioistuimessa kuultava,

- 1) jos se on tarpeen asiantuntijan lausunnon epäselvyyksien, puutteellisuuden tai ristiriitaisuuksien poistamiseksi;
- 2) tuomioistuin katsoo sen muusta syystä tarpeelliseksi; tai
- 3) asianosainen sitä pyytää eikä kuuleminen ole ilmeisesti merkityksetöntä.”

Todistajan osalta lähtökohtana sen sijaan on, että todistajaa kuullaan suullisesti [4, s. 247. Vrt. myös esitutkintalain (805/2011) 7 luvun 1 §: lähtökohtana on kuulusteltavan läsnäolo kuulustelussa].

### Tulipalot – sui generis

Työn varrella asiantuntijaryhmässä olemme todenneet, että lainsäädännössä ja sen esitoissa tehdyt määrittelyt eivät kaikilta osin istu saumattomasti tulipalojen maailmaan. Ensimmäinen kysymys liittyy siihen, miten pelastustoimen asiantuntijat vertautuvat muihin tutkinta- ja oikeusprosessissa käytettäviin asiantuntijoihin.

Hallituksen esityksessä eduskunnalle oikeudenkäymiskaaren 17 luvun ja siihen liittyvän todistelua yleisissä tuomioistuimissa koskevan lainsäädännön uudistamiseksi (HE 46/2014 vp, s. 99) todetaan seuraavasti:

”Yleisiä kokemussääntöjä tuomioistuin soveltaa viran puolesta. Asiantuntijalta edellytetään erityisiä tietoja, jotka käytännössä saadaan koulutuksen tai kokemuksen taikka molempien kautta. Tyypillisimpiä asiantuntijoita ovat esimerkiksi lääkärit ja tavarantarkastajat ja teknisen alan ammattihenkilöt kuten rakennusinsinööri. *Asiantuntijatodistelu koskee tyyppillisesti DNA-, veri-, käsiala-, ääni- tai kuitunäytteitä taikka asiakirjan (KKO 1999:74) tai muun todistuskappaleen aitoutta ja muuttumattomuutta taikka omaisuuden laatua ja kuntoa.*” (kursivointi PM)

Hallituksen esityksen tyyppillisten asiantuntijoiden listauksessa ja erityisesti tekstin kursivoidussa osuudessa ollaan tekemisissä ta-



# 25.11.-5.12.2023

Vuoden 2023 teemana:

## Nuorten aikuisten paloturvallisuus

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



pahtuneiden tosiasioiden kanssa: on saatavilla näytteitä ja muita tosiasioita, joista tehdään tulkintoja. Ajateltaessa tulipalon aiheuttamaa vaaraa kysymys siitä, *mitä vaaraa tulipalo aiheutti* (ehdi jo aiheuttaa), asettuu samankaltaisesti: tällöin ollaan tapahtuneiden faktojen äärellä. Sen sijaan kysymys siitä, *mitä vaaraa tulipalo olisi voinut aiheuttaa* suuntautuu (tällä kertaa) toteutumattomaan tulevaisuuteen. Tämä kysymys on luonteeltaan kontrafaktuaalinen, jolloin tulkintoja ei esitetä vain vallitsevista asiointiloista. Vastauksia esitetään mahdollisista asiointiloista, joiden keskinäinen todennäköisyysjärjestys on arvioitava ja perusteltava.

Tämä alleviivaa sitä erityistä haastavuutta ja ammattitaidollista vaadetta, mitä tulipaloihin liittyvään asiantuntijalausuntoon liittyy. Tätä entisestään korostaa se, että vaaran aiheuttamista koskeva kysymyksenasettelu voi lähteä siitäkkin lähtökohdasta, että paloa ei lainkaan ole syttynyt. Esimerkiksi sopivat vaikkapa tapaukset, joissa heitetty polttopullo ei ole syttynyt tai syttännyt paloa. Tällöin arvioidaan, millaista vaaraa syttymään johtanut tapahtumaketju olisi voinut aiheuttaa.

Toinen tulipaloihin liittyvä erityiskysymys liittyy asiantuntijan ja todistajan rooleihin. Todistajana kuultava pelastustoiminnan johtaja pystyy usein työkokemuksensa ja palontutkintatietämyksensä pohjalta arvioimaan, mitä olisi voinut tapahtua. Onnettomuustilanteen kehittymisen ennakointi kuuluu myös sisäänrakennettuna pelastustoiminnan johtajan tehtävään ja ratkaisuihin siitä, millaiset pelastuslaitoksen interventiot ovat tilanteessa toimivia, ja millaisia tapahtumakulkuja niillä pyritään estämään.

Toiselta puolen palontutkinnan lakisääteisiin tavoitteisiin kuuluu pelastustoiminnan kehittäminen. Perusteellisessa palontutkinnassa se tarkoittaa pelastustoiminnan tarkkaa läpikäyntiä mm. tilanpäiväkirjan, kuvamateriaalin ja puheryhmätallenteiden avulla. Tällöin palontutkijalla voi olla pelastustoiminnan johtajaa tuoreempi ja kokonaisvaltaisempi käsitys tapahtumista onnettomuuspaikalla, pelastuslaitoksen toimien eri vaiheista ym.

Tähän asti pelastustoimen asiantuntemus tulipaloja koskevaan tutkinta- ja oikeusprosessiin on käytännössä pitkälti tullut todistajana kuullun pelastustoiminnan johtajan tai muun aktiivisesti pelastustoimintaan osallistuneen kautta. Esimerkiksi korkeimman oikeuden ratkaisemissa tapauksissa KKO:2004:95 ja KKO:2014:11 vaaran aiheuttamista koskevat lausunnot ovat antaneet pelastustoiminnan johtamiseen osallistuneet todistajan roolissa. Tämä ei

selity oikeudenkäymiskaaren aikaisemmalla sääntelyllä.

Myös lain esitöissä tunnustetaan melko tavanomaiseksi tilanteeksi se, että sama henkilö kertoo sekä kokemussäännöistä että havaitsemistaan tosiseikoista. Tällöin punnittavaksi tulee, millä painoarvolla nämä elementit esiintyvät: ”Rajanvetoon voitaisiin soveltaa sääntöä siitä, että asiantuntijan osalta ensiksi ovat kokemussäännöt ja sitten havainnot, todistajan osalta ensiksi ovat havainnot ja sitten kokemussäännöt.” (HE 46/2014 vp, s. 99). Edellä viitatuissa KKO:n ratkaisemissa tapauksissa tilanne on ollut viimeksi mainittu, joten kaksi roolia yhdistävän prosessiaseman ratkaiseminen juuri todistajaksi on ollut perusteltua. (Asiantuntijan ja todistajan työnjaosta ks. myöhemmin kohta *Lausuntojen tason nostaminen ja roolien eriyttäminen*.)

Poliisin, syyttäjän ja viime kädessä tuomioistuimen tekemä prosessiasemaa koskeva ratkaisu ei ole pelkästään semanttinen, vaan valinta näiden vaihtoehtojen välillä ratkaisee kyseiseen tietolähteeseen soveltuvat säännökset. Tässä tullaankin kolmanteen kysymykseen, jossa tulipalot muodostavat vielä poikkeusta pääsääntöihin.

Kuten edellä totesin, lähtökohdana on se, että asiantuntija antaa lausuntonsa kirjallisesti. Suullinen kuuleminen tuomioistuimessa on tähän nähden perusteltava poikkeus, ei pääsääntö (OK 17 luvun 36 §). Palotapauksissa on kuitenkin käytännössä todettu, että lausuntoa on vaikea kirjoittaa täysin tyhjentävästi. Tällöin suullisessa käsittelyssä usein nousee esiin kysymyksiä, joita lausunnossa ei ole käsitelty. Asianosaisen oikeuteen esittää näyttöä kuuluu omien todisteiden esittämisen lisäksi vastakuulustelu-oikeus [6, s. 130]. Tämä turvataan suullisessa käsittelyssä.

Todistajan kohdalla lähtökohdana puolestaan on se, että häntä kuullaan suullisesti. Esitutkintalain 7 luvun 1 §:n 2 mom. mukaan todistajaa saadaan kuulustella puhelimitse tai muulla tiedonsiirtovälineellä, jos tutkija katsoo, ettei siitä aiheudu haittaa eikä se vaaranna tutkinnan luotettavuutta. Todistajan roolissa olevalta viranomaiselta onkin voitu pyytää kirjallinen lausunto, ja esitutkintapöytäkirjaan merkitään, että kuulustelu on suoritettu sähköpostitse. Juuri viranomaisen toimiessa todistajana tämä suullisesta pääsäännöstä poikkeaminen voi olla perusteltua:

”Esimerkiksi verkkopuheluyhteyttä tai sähköpostiyhteyttä voidaan käyttää tarkoituksenmukaisesti varsinkin, jos tutkittavan asian laatu mahdollistaa etukäteen valmistel-



- lun kysymysarjan esittämisen yhtenä kokonaisuutena, johon kuulusteltavan odotetaan myös vastaavan yhtäjaksoisesti. Tällaisten tiedonsiirtovälineiden käyttö voi olla erityisen hyödyllistä silloin, kun asian laatu edellyttää kuulusteltavan selvittävän sekä seikkaperäisesti että johdonmukaisesti sel-  
laisia asiakokonaisuuksia, joista hänenkin on mahdollisesti hankittava lisätietoja vastausten laatimista varten.” [7, s. 445.]

Poliisilla on keskeinen rooli arvioitaessa, mikä on tarkoituksenmukainen tapa kuulla todistajaa, ja mihin kysymyksiin erityisesti kaivataan vastauksia. Jos todistajalla on kokemusta ja tietämystä tutkinta- ja oikeusprosessissa toimimisesta, kirjallisen todistajanlausunnon antaminen voi olla paras vaihtoehto. Kirjallinen lausunto laaditaan poliisin vakiomuotoiselle pohjalle, johon lausunnon pohjatiedot täyttää ja laadinnan ohjeistaa poliisi.

Varsinkin runsaasti ammattikokemusta omaavan todistajan näkökulmasta kirjallinen lausunnonantaminen voi olla tarkoituksenmukaista, mikä mahdollistaa mieleen palauttamisen ja pohdinnan ajan ja ajatuksen kanssa. Tapahtumasta on voinut kulua jo runsaasti aikaa. Lisäksi mieleen palautettava aines voi olla hyvin monipuolista, kuten seuraavasta huomaamme.

### Mitä kysymyksiä todistajalle ja asiantuntijalle esitetään – ja ei esitetä?

Työryhmän todistajaa koskevaan ohjelunonokseen kirjaamia apukysymyksiä on runsaasti. Relevanttien kysymysten kokoonpanon ja määrän määrittää luonnollisesti kulloinkin käsillä oleva tapaus. Ohjeessa jaoteltujen kokonaisuuksien alle kuuluu muun muassa seuraavia – ja runsaasti muita – kysymyksiä:

- hälytys:** esitiedot onnettomuudesta, hälytetty vaste, kohteen tosiasiallinen saavuttaminen
- pelastustoiminnan alkaminen:** tehokkaan pelastustoiminnan alkamisaika, ensimmäiset havainnot onnettomuuspaikalta (kuka/mitä), ensimmäiset toimet onnettomuuspaikalla
- pelastustoiminta ja sen vaikutukset:** painopisteet, palon laajuus ja voimakkuus eri tiloissa onnettomuuden kuluessa, miten sammutustoiminta vaikutti, mitä raivaustoimenpiteitä tehtiin
- onnettomuuskohteessa tehdyt toimet henkilövahinkojen välttämiseksi:** miten henkilö/henkilöt pääsivät pois kohteesta ja vaaran piiristä, lukumäärät, missä tiloissa henkilöt sijaitsivat
- palossa mahdollisesti menehtyneet henkilöt:** henkilöiden sijainti, menehtyneen/menehtyneiden siirtäminen
- havainnot paikalla olleista henkilöistä:** henkilöt, joiden käyttäytyminen on kiinnittänyt huomiota, mitä konkreettisia havaintoja tehtiin henkilön/henkilöiden toiminnasta, paikalla olleiden henkilöiden kertomukset.

Asiantuntijalausunto-ohjeistuksen kysymyspatteri on huomattavasti lyhyempi, mutta ei tokikaan sen helpompi. Edelleen tapauskohtainen tarve ja harkinta määrittelevät esitettävien kysymysten kokoonpanon, joihin voi kuulua esimerkiksi seuraavia:

- syyt palon leviämälle tai sille, että palo ei levinnyt?
- kerros- ja rivitalopaloissa: mihin asuntoihin kohdistui suurin riski vaarojen osalta?
- edelliseen liittyen: savunmuodostus ja sen aiheuttama vaara (suljetut tilat, kulkureitit, pelastautumisreitit)?
- palon vaikutuspiiri: yleisellä tasolla. Miten tilanne ja sen tapahtumaympäristö vaikuttivat siihen, millaista vaaraa palo aiheutti ja olisi voinut aiheuttaa? Vaaran laadun avaaminen: esimerkiksi savun muodostuminen ja leviäminen?
- mitä olisi tapahtunut, jos olosuhteet olisivat olleet epäedul-

litemmat? (Esim. säätila – tästä erinomainen esimerkki KKO:2004:95.)

- mitä olisi tapahtunut, jos pelastuslaitoksen interventio olisi myöhästynyt?

Tutkinta- ja oikeusprosessissa mukana olleilla pelastusviranomaisilla on kokemusta siitä, että vastattavaksi on asetettu myös kysymys, oliko palo omiaan aiheuttamaan yleistä hengen ja terveyden vaaraa taikka yleistä erittäin huomattavan taloudellisen vahingon vaaraa. Kysymys on siis suoraan johdettu tuhotyön tunnusmerkistöstä (RL 34 luvun 1 §). Pelastusviranomaiselle osoitettavan kysymyksenasettelun ei kuitenkaan tule olla tässä lakitekstin muodossa. Sen sijaan esitettävät kysymykset peilaavat ja purkavat tätä peruskysymyksenasettelua eri puolilta, ja antavat siihen osavastauksia. Asiantuntijalausunnon ja muun näytön perusteella tuomioistuimien muodostaa lopulta oikeudellisen tulkinnan tunnusmerkistön täyttymisestä.

Sama koskee vaaran arviointia myös toisesta näkökulmasta. Pelastusviranomaisen tehtävänä ei ole pohtia vaaran *abstraktia tai konkreettista laatua*, vaan vaaraa yleensä omasta ammatillisesta näkökulmastaan. Abstraktin tai konkreettisen vaaran täyttymisen arviointi on oikeudellista tulkintaa ja päätöksentekoa. [Tässä yhteydessä ei ole syytä tarkemmin paneutua keskusteluun abstraktista ja konkreettisesti vaarasta. Ks. lisätietoja erit. tuhotyörikosten näkökulmasta 8, s. 231–232; 9, s. 1132–1133.] Pelastusviranomaisen roolina on tarjota ammattiosaamisensa kautta sovelletujen kokemussääntöjen avulla tietoa tuon päättelyprosessin pohjaksi. Sen sijaan pelastusviranomaisen tehtävänä ei ole itse osallistua tuohonkaan luonteeltaan oikeudelliseen päätöksentekoon.

### Lausuntojen tason nostaminen ja roolien eriyttäminen

Kuten edeltä voimme huomata, varsinkin vakavissa palotapauksissa niin asiantuntijan kuin todistajankin tehtävä on haastava. Keskeiseltä todistajalta saatetaan kaivata hyvin monipuolisesti havaintoja tapahtuman kaarelta. Tuota tehtävää osaltaan vaikeuttaa se, että monesti tutkinta- ja oikeusprosessit ovat pitkiä, ja hyvän dokumentoinninkin oloissa asioiden mieleen palauttaminen voi olla haastavaa. Toiselta puolen mm. palofysiikkaan ja -dynamiikkaan juurtuvat osavastaukset mitä olisi voinut tapahtua -tyyppiin kysymyksiin edellyttävät syvällistä asiantuntemusta, etenkin kun väitteet on perusteltava ja todennettava hyvin.

Varsinkin vakavissa palotapauksissa onkin aiheellista pohtia, onko lopputulos paras mahdollinen toteutettaessa tähän asti ilmeisen yleistä käytäntöä, jossa pelastustoiminnan johtaja paitsi kertaa havainnot ja tosiseikat, myös arvioi palon aiheuttaman vaaran ja vaarapotentialin. Tätä alleviivaa se kehitys, että vaaran aiheuttamista koskevista arvioista tulee viitata tutkimuskirjallisuuteen ja muuhun vastaavaan taseiseen kokemustietoon. Eri vaihtoehdot tapahtumankulut tulee käydä läpi ja perustella, miksi on päädytty lopulliseen tulkintaan ja eri vaihtoehtojen todennäköisyysjärjestykseen. Samalla tutkintatyö tulee dokumentoida kattavasti, ja kaikki tehdyt tutkinnalliset toimenpiteet on kirjattava. Toisin sanoen tulee punnita, poissulkea ja raportoida myös niitä hypoteeseja, joihin ei ole päädytty – ei vain perustella ja kirjata johtopäätökseksi tullut kanta. Lisäksi arvioitavaksi voi tulla myös pelastustoiminnan kulku. Pelastustoiminnan johtaja vastaa ratkaisujaan koskeviin kysymyksiin, mutta niiden onnistuneisuuden arviointiin hän ei voi osallistua.

Varsinkin laajan palotapauksen kohdalla haastavaa työtä riittää sekä todistajana kuultavalle pelastusviranomaiselle, että asiantuntijana kuultavalle pelastusviranomaiselle. Perusteellisia lausuntoja haluttaessa on lisäksi pohdittava, mikä on kohtuullinen työmäärä yhdelle henkilölle.

## Lopuksi

Nyt käsillä olevat ohjeistukset on laadittu asiantuntija- ja todistajalausuntojen tason nostamiseksi, niiden laadun yhdenmukaistamiseksi, sekä lausunnon pyytäjien ja niiden laatijoiden työn helpottamiseksi. Samalla ohjeistusten laadinta ja käyttöönotto asettuu paloihin liittyvän viranomaisyhteistyön kehittämisen jatkumolle, jota on tehty jo useissa Pelastusopiston TKI-yksikön hankkeissa.

Meneillään olevan Pelastuslaitosten ilmoitusmenettelyt ja viranomaisyhteistyö palojen tutkinnassa -hankkeessa asiantuntija- ja todistajaohjeistusten laadinnan lisäksi yhtenä tavoitteena on myös kehittää ensivaiheen dokumentointia ja sen kattavuutta ja systemaattisuutta palopaikoilla [10]. Dokumentoinnin kehittäminen palvelee tärkeällä tavalla niin pelastustoimen palontutkintaa, poliisin palonsyöntutkintaa kuin syyttäjienkin työtä, ja antaa tärkeää informaatiota niin todistajina kuin asiantuntijoinakin kuultaville pelastusviranomaisille. Edelleen hankkeen tavoitteisiin kuuluu pelastustoimen, poliisin ja syyttäjien yhteistyön kehittäminen mm. yhteistyöryhmien kautta. Työn alla onkin monialainen kokonaisuus, jonka eri osat tukevat toisiaan, ja mikä on enemmän kuin osiensa summa.

## KIITOKSET

Kiitän lämpimästi todistaja- ja asiantuntijaohjeistuksia laatintua työryhmää hyvin motivoituneesta sitoutumisesta yhteisen ja tärkeäksi koetun tehtäväkentän kehittämiseen. Monipuolisista keskusteluista on jo tunnistettu ituja seuraaviin kehittämistarpeisiin.

Kiitän Palosuojelurahastoa hankkeen rahoittamisesta, ja kaikkia sen yhteistyötahoja osallistumisesta hankkeeseen. Hankkeen monialaista ohjausryhmää kiitän asiantuntevasta tuesta työn varrella. Pelastusopiston TKI-yksikköä kiitän kollegiaalisesta ja hyvästä työtoveruudesta.

## LÄHDELUETTELO

1. Mäkelä, P. & Tapani, J. Johdanto. Teoksessa: Mäkelä, P., Tapani, J., Lehtimäki, M. & Frände, D., 2013. Läpi tulen. Empiirinen tutkimus poliisin palonsyyn tutkinnasta ja vakavien tulipalojen rikosprosessista. Turun yliopiston oikeustieteellisen tiedekunnan julkaisuja, Rikos- ja prosessioikeuden sarja A:36. S. 1–12. ISBN 978-951-29-5364-6.

2. Lehtimäki, M. Empiirinen tarkastelu rikosten tunnistamisesta ja poliisin tutkinnan sisällöstä vuoden 2007 palonsyyn tutkimus -ilmoituksissa. Teoksessa: Mäkelä, P., Tapani, J., Lehtimäki, M. & Frände, D., 2013. Läpi tulen. Empiirinen tutkimus poliisin palonsyyn tutkinnasta ja vakavien tulipalojen rikosprosessista. Turun yliopiston oikeustieteellisen tiedekunnan julkaisuja, Rikos- ja prosessioikeuden sarja A:36. S. 13–169. ISBN 978-951-29-5364-6.

## "Dokumentoinnin kehittäminen palvelee tärkeällä tavalla niin pelastustoimen palontutkintaa, poliisin palonsyöntutkintaa kuin syyttäjienkin työtä."

3. Sakkunnigutlåtande till polis, åklagare och domstol beträffande brand- och rökspridning. Statens Kriminaltekniska Laboratorium. Rapport 2012: 01. ISBN 91-89110-24-2.

4. Rautio, J. & Frände, D., 2020. Todistelu. Oikeudenkäymiskäärin 17 luvun kommentaari. 2 uudistettu painos. Edita Publishing. ISBN 978-951-37-7856-9.

5. Paloluoma, P., 2022. Rakennuspalon tutkinta. Teoksessa Huttu, I., Ala-Kokko, V., Paloluoma, P., Smura, M., Ronkainen, J., Jämäsä, J., Mustonen, A., Meurman, K. & Hassinen, M. Rakennuspalon sammutus. Pelastusopiston julkaisu, A-sarja: Oppimateriaalit, 2022. S. 250–258. ISBN 978-952-7217-67-2 (pdf).

6. Virolainen, J. & Vuorenpää, M., 2021. Periaatteet prosessioikeudessa. Teoksessa Vuorenpää, M., Helenius, D., Hietanen-Kunwald, P., Hupli, T., Koulu, R., Lappalainen, J., Lindfors, H., Niemi, J., Rautio, J., Saranpää, T., Turunen, S. Virolainen, J. Prosessioikeus. Oikeuden perusteokset, Alma Talent, Helsinki. S. 115–228. ISBN 978-952-14-4483-8.

7. Fredman, M., Kanerva, J., Tolvanen, M. & Viitanen, M., 2020. Esitutkinta ja pakkokeinot. Alma Talent, Helsinki. ISBN 978-952-14-3706-9.

8. Frände, D., 2013. Tulella tehdyt tuhotyöt rikosprosessissa. Teoksessa: Mäkelä, P., Tapani, J., Lehtimäki, M. & Frände, D. Läpi tulen. Empiirinen tutkimus poliisin palonsyyn tutkinnasta ja vakavien tulipalojen rikosprosessista. Turun yliopiston oikeustieteellisen tiedekunnan julkaisuja, Rikos- ja prosessioikeuden sarja A:36. S. 229–245. ISBN 978-951-29-5364-6.

9. Nuotio, K., 2022. RL 34: Yleisvaaralliset rikokset. Teoksessa: Lappi-Seppälä, T., Hakamies, K., Helenius, D., Melander, S., Nuotio, K., Ojala, T. & Rautio, I. Rikosoikeus. Oikeuden perusteokset, Alma Talent, Helsinki. S. 1126–1162.

10. Kangas, J., 2023. Ensivaiheen dokumentointi palopaikoilla: pelastuslaitosten nykytilanne, haasteet ja kehitysehdotukset. Pelastusalan päällystötutkinnon (AMK) opinnäytetyö. 2023. Saatavilla: Ensivaiheen dokumentointi palopaikoilla- (theseus.fi)

# www.pelastustieto.fi

Pelastustieto on myös Facessa, Instassa, X:ssä ja TikTokissa  
Pelastustieto is also on Facebook, IG, X and TikTok

# Paloriskin tilastopohjaisten tietojen päivitys

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli kerätä ja analysoida uusimmat vuoden 2009 jälkeen PRONTO-järjestelmästä saatavat tilastopohjaiset tiedot, joita käytetään rakennusten paloriskianalyyseissä. Paloriskianalyyseissä tarvittavia tärkeimpiä tietoja ovat rakennusten syttymistäajuustiheydet, pelastuslaitosten toimintavalmiusajat ja alkusammutuksen onnistumis-todennäköisyydet. Muita analysoitavia tietoja olivat rakennuspalojen ajalliset jakaumat, rakennuspalojen ja -palovaarojen jakaumat kunnan henkilömäärän ja rakennusten kerrosalan mukaan, ja rakennuspalojen aiheuttamien vahinkojen taloudelliset vaikutukset.

Tutkimuksen tuloksina havaittiin, ettei rakennusten syttymistäajuustiheyksissä ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Tässä poikkeuksena olivat asuinrakennukset ja hoitolaitokset. Aikaisempien tutkimusten mukaan syttymistäajuustiheys pienenee rakennuksen kerrosalan kasvaessa. Nyt syttymistäajuustiheys kääntyi kasvuun, kun asuinrakennuksilla kerrosala ylitti 200 m<sup>2</sup> ja hoitolaitoksilla 1000 m<sup>2</sup>. Pelastuslaitosten toimintavalmiusajoista havaittiin, että ne olivat lyhyempiä suurissa kaupungeissa ja Etelä- ja Länsi-Suomessa kuin Itä- ja Pohjois-Suomessa. Alkusammutuksen onnistumistodennäköisyyksistä havaittiin, että ne olivat suurimmat asuin- ja vapaa-ajan rakennuksissa sekä teollisuusrakennuksissa.

## TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

VTT on julkaissut vuonna 2009 Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot -raportin, joka on julkaistu VTT:n tiedotteita sarjassa numerolla 2479 [1]. Raportissa on tutkittu ja analysoitu rakennuspalojen syttymistäajuustiheyttä, syttymien lukumäärien riippuvuutta kunnan rakennusten kerrosalasta ja asukasluvusta, taloudellisia palovahinkoja, pelastuslaitosten toimintavalmiuseritymiä ja alkusammutusta koskevia tilastoja. Aineistona on käytetty Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilaston (PRONTO) tietoja vuosilta 2001–2007. Koska näiden tietojen keräämisestä ja julkai-

semisestä oli kulunut yli 10 vuotta, KK-Palokonsultti Oy:llä käynnistettiin tutkimusprojekti tietojen päivittämiseksi.

Tutkimuksen [2] tavoitteena oli kerätä ja analysoida vuoden 2009 jälkeisistä uusimmista tilastollisista lähteistä saatavia tietoja, joita voidaan hyödyntää rakennusten paloriskianalyyseissä. Tällaisia tietoja ovat käyttötarkoitukseltaan ja kerrosalaltaan erilaisten rakennusten syttymistäajuustiheydet, pelastuslaitosten toimintavalmiusajat suurimmissa kaupungeissa ja eri puolella Suomea, sekä alkusammutuksen onnistumistodennäköisyys käyttötarkoitukseltaan erilaisissa rakennuksissa. Jotta päivitetty tilastopohjaiset tiedot saataisiin käyttöön kaikkialla Suomessa, tutkimusprojektin tuloksista päätettiin tehdä julkaisu yhteistyössä Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön (SPEK) kanssa.

Syttymistäajuustiheydellä tarkoitetaan rakennuksen kerrosalan neliömetrin todennäköisyyttä syttyä tuleen vuoden aikana. Syttymistäajuustiheyksiä käytetään, kun arvioidaan tulipalon todennäköisyyttä käyttötarkoitukseltaan ja kerrosalaltaan erilaisissa rakennuksissa. Syttymistäajuustiheystietojen päivittämistä varten Tilastokeskukselta pyydettiin tietoja Suomen rakennuskannasta ja PRONTO-järjestelmästä kerättiin tietoja rakennuspalloista ja rakennuspalovaaroista. PRONTO on pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä, jonka avulla sisäministeriö seuraa ja kehittää pelastustoimea Suomessa [3].

Paloriskianalyyseissä huomioidaan alkusammutuksen onnistumistodennäköisyys, koska onnistuneella alkusammutuksella voidaan merkittävästi vaikuttaa rakennuspalon aiheuttamiin vahinkoihin. Ennen pelastuslaitoksen saapumista palopaikalle on alkusammutus rakennuksen käyttäjien vastuulla. Tutkimuksen tavoitteena oli päivittää PRONTO-järjestelmän tilastotietojen perusteella määritetyt alkusammutusta koskevat todennäköisyydet ja pelastuslaitoksen ensimmäisen pelastusyksikön toimintavalmiusajat. Pelastuslaitoksen toimintavalmiusajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu ensimmäiseltä 1+3-vahvuiselta pelastusyksiköltä hälytyksestä tehokkaan pelastustoiminnan aloittamiseen.



Muita päivitystä tarvitsevia tilastotietoja olivat rakennuspalojen jakauma vuorokauden, viikonpäivän ja kuukauden mukaan, rakennuspalojen ja -palovaarojen suhde kunnan asukaslukuun ja rakennusten kerrosalaan, ja rakennuspalojen aiheuttamien vahinkojen taloudelliset vaikutukset.

## TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUKSET

Tutkimusta [2] varten tarvittiin tietoa Suomen rakennuskannassa olevista rakennuksista ja niiden kerrosalajakauasta rakennustyypeittäin. Tiedot saatiin Tilastokeskukselta, joka on jakanut Suomessa olevat rakennukset rakennustyyppiin ja kerrosalan mukaan luokkiin. Rakennustyyppien jaottelu vastasi Tilastokeskuksen vuoden 2018 rakennusluokitusta [4]. Jaottelun pääluokat olivat samat kuin on käytetty VTT:n julkaisussa [1].

Rakennuspalojen ja -palovaarojen sekä näihin liittyvien tilastotietojen keräämiseen käytettiin PRONTO-järjestelmää. Tutkimuksen aloituksen aikaan vuosi 2020 oli viimeisin vuosi, josta oli saatavilla tilastotietoja koko vuodelta. Tutkimusjakson alarajaksi valittiin vuosi 2014, jotta tutkimusajankajaksolta saataisiin riittävästi analysoitavaa tietoa. Samalta tutkimusajanjaksolta PRONTO-järjestelmästä haettiin tietoja myös alkusammutuksen vaikutuksesta paloon, alkusammutukseen käytetyistä välineistä ja syitä, miksi alkusammutusta ei ollut yritetty.

Pelastuslaitoksen toimintavalmiusaikaa tarkasteltaessa huomioidtiin vain ne onnettomuudet, joihin pelastuslaitos oli saapunut paikalle kiireellisesti. Tämän takia vuosilta 2014–2019 pelastusyksiköiden resurssiluokaksi oli määritelty kiireellinen. Vuonna 2020 resurssiluokkien muuttuessa käytettiin resurssiluokkia A ja B.

Rakennuspalojen ja rakennuspalojen aiheuttamia vahinkoja ja niiden kertymää tarkasteltiin vain vuosilta 2019 ja 2020. Tässä tarkastelussa haluttiin käyttää ensisijaisesti mahdollisimman tuoretta tietoa. Tämän lisäksi tarkasteluun valikoitui ainoastaa kaksi vuotta, jotta tulokset olisivat helpommin vertailtavissa vuoden 2009 tutkimukseen, jolloin vastaavassa selvityksessä tiedot olivat kerätty vuosilta 2006 ja 2007.

## TULOKSET

### Syttymistäajuustiheys

Aikaisemmissa tutkimuksissa Suomen rakennuspalojen syttymistäajuustiheyttä on kuvattu yleistetyllä Barrois'n mallilla kaavan 1 mukaisesti [1, 5].

$$f_m^* = c_1 A^r + c_2 A^s \quad (1)$$

Kaavasta 1 nähdään, että Barrois'n malli muodostuu kahden potenssifunktion summasta. Muuttujat  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $r$  ja  $s$  ovat tilastoaineistosta määritettäviä parametrejä eri rakennustyypeille. Tässä tutkimuksessa malli sovitettiin vuosien 2014–2020 aineistoihin

siten, että rakennusten jako eri rakennustyyppisiin pysyi samana kuin VTT:n julkaisussa [1], mutta soveltuvuusalue määritettiin uusien tilastotietojen mukaisesti. Tilastoaineistosta määritetyt parametrit ja niiden soveltuvuusalue on esitetty taulukossa 1.

Uusimpien PRONTO-järjestelmän tilastotietojen perusteella määritettyjen syttymistäajuustiheyksien tulokset esitettiin jokaiselle rakennustyyppille kuvaajassa, jossa X-akselilla esitetään rakennuksen kerrosala ja Y-akselilla rakennuksen syttymistäajuustiheys. Kuvaajissa käytetään logaritmisia X- ja Y-akseleita. Kuvasa 1 on esitetty laaditut syttymistäajuustiheyksien kuvaajat seitsemälle eri rakennustyyppille [2]. Kuvaajissa sinisellä viivalla on esitetty tässä tutkimuksessa laadittu sovite, jota on verrattu vuoden 2009 tutkimustulokseen, joka on esitetty harmaalla katkoviivalla.

VTT:n julkaisun [1] mukaan syttymistäajuustiheys pienenee rakennuksen kerrosalan kasvaessa. Kuvan 1 kuvaajista nähdään, että useimpien rakennustyyppien kohdalla tulokset ovat yhtenevät aikaisemman tutkimuksen tulosten kanssa. Tästä havainnosta kuitenkin poikkeavat asuinrakennukset ja hoitolaitokset, joissa syttymistäajuustiheys laskee kerrosaltaan pienimmillä rakennuksilla. Kun kerrosala on asuinrakennuksilla yli 200 m<sup>2</sup> ja hoitolaitoksilla yli 1000 m<sup>2</sup>, syttymistäajuustiheys kääntyy loivaan kasvuun. Ilmiön synn arvioitiin johtuvan siitä, että asuinrakennusten ja hoitolaitosten rakennustyyppisiin kuuluvat rakennukset vaihtelevat suuresti. Tällöin syttymistäajuustiheyttä pitäisi tarkastella tarkemmin yhteen rakennustyyppiryhmään kuuluvien erilaisten rakennusten välillä. Esimerkiksi asuinrakennuksilla tarkastelu tulisi tehdä erikseen pientaloille, rivitaloille ja kerrostaloille.

Kuvan 1 kuvaajista nähdään myös, että aikaisempaan tutkimukseen verrattuna syttymistäajuustiheyden arvot olivat kasvaneet useimmissa rakennustyypeissä. Teollisuusrakennuksissa syttymistäajuustiheys kasvoi erityisesti pienemmissä rakennuksissa, kun taas kokoontumis- ja liiketiloissa sekä varastorakennuksissa syttymistäajuustiheys oli pienentynyt pienemmissä rakennuksissa. Kuitenkin kerrosalan kasvaessa syttymistäajuustiheydet vastasivat aikaisemmassa tutkimuksessa saatuja arvoja melko hyvin myös kokoontumis- ja liiketiloissa sekä varastorakennuksissa.

### Syttymien aikajakaumat

Syttymien aikajakaumaa tarkasteltiin vuorokauden ajankohdan, viikonpäivän ja kuukauden mukaan. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että syttymien aikajakaumat vastasivat vuoden 2009 tutkimuksen tuloksia [1]. Tällöin oli jo todettu, että tulipalot seuraavat ihmisten elämänrytmiä. Suurin osa tulipaloista sattuu päivisin, kun ihmiset ovat liikkeellä ja tulipalojen määrä vähenee iltaan ja yöhön. Eniten tulipaloja sattuu alkuillasta klo 18:00–21:00 ja vähiten aamuyöstä klo 03:00–06:00. Viikonpäivien osalta tulipalojen on havaittu keskittyvän hieman enemmän viikonlopulle kuin viikolle, mutta tähän vaikuttaa suuresti rakennuksen käyttötarkoitus. Kuukausittainen vaihtelu kaikissa rakennuksissa on hyvin pientä. Rakennustyyppikohtaisesti eri tyyppisissä rakennuksissa on kui-

Rakennustyyppi	$C_1$	$C_2$	$r$	$s$	$R_2$	Soveltuvuusalue
Asuinrakennukset	0,275	7,5E-06	-2,37	0,00	96 %	30-15 000 m <sup>2</sup>
Kokoontumis- ja liikerakennukset	7E-05	6,9E-07	-0,33	-0,04	95 %	40-15 000 m <sup>2</sup>
Toimistorakennukset	7E-05	1,5E-06	-0,44	0,00	91 %	350-25 000 m <sup>2</sup>
Opetusrakennukset	0,0042	5,1E-05	-1,10	-0,32	100 %	380-13 000 m <sup>2</sup>
Hoitoalan rakennukset	0,03	9,0E-06	-1,30	-0,01	91 %	100-40 000 m <sup>2</sup>
Teollisuusrakennukset	0,0022	7,6E-06	-0,90	-0,02	99 %	10-75 000 m <sup>2</sup>
Varastorakennukset	0,009	1,0E-06	-1,10	-0,03	89 %	20-6700 m <sup>2</sup>

Taulukko 1: Yleistetyllä Barrois'n mallin parametrit vuosien 2014–2020 aineiston perusteella. [2]

- ▶ tenkin suurtaakin vaihtelua. Esimerkiksi vapaa-ajan rakennusten, joihin kuuluu paljon kesämökkejä, tulipalot painottuvat kesäkuukausille, jolloin rakennuksia käytetään enemmän.

### Rakennuspalojen suhde kunnan asukaslukuun ja kerrosalaan

Rakennuspalojen ja rakennuspalovaarojen lukumäärien riippuvuutta kunnan asukaslukuun ja kerrosalaan tarkasteltaessa luotiin pistejoukko, jossa pisteet edustivat Manner-Suomessa sijaitsevia kuntia. Laaditut pistejoukot on esitetty kuvassa 2 siten, että vasemmalla oleva kuvaaja esittää rakennuspalojen ja rakennuspalovaarojen suhteen kunnan asukaslukuun ja oikealla oleva kuvaaja vastaavan suhteen rakennuksen kerrosalaan. Kuvaajissa on esitetty harmaalla katkoviivalla vuoden 2009 tutkimuksen [1] sovitte.

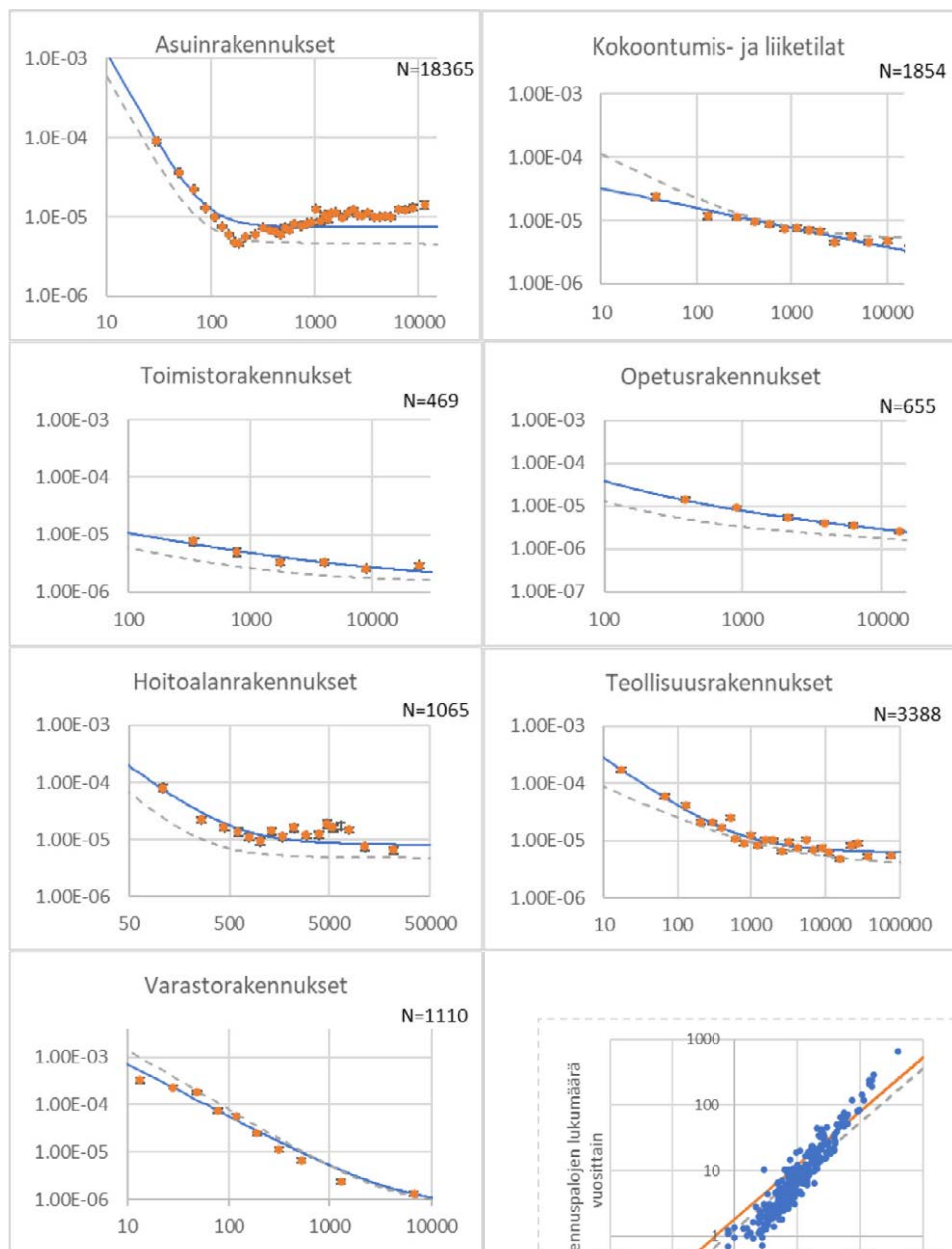
Kun verrattiin kuvan 2 uusia sovitteita aikaisemman tutkimuksen [1] sovitteisiin, voitiin havaita, että nämä olivat hyvin lähellä toisiaan. Asukasluvun perusteella verrattaessa huomattiin, että rakennuspalojen määrä oli hieman noussut kaiken kokoisissa kaupungeissa verrattuna vuoden 2009 tuloksiin, ja kerrosalan pe-

rusteella tehtävässä vertailussa tulipalojen määrä oli kasvanut vain isoissa kaupungeissa verrattuna vuoden 2009 tuloksiin.

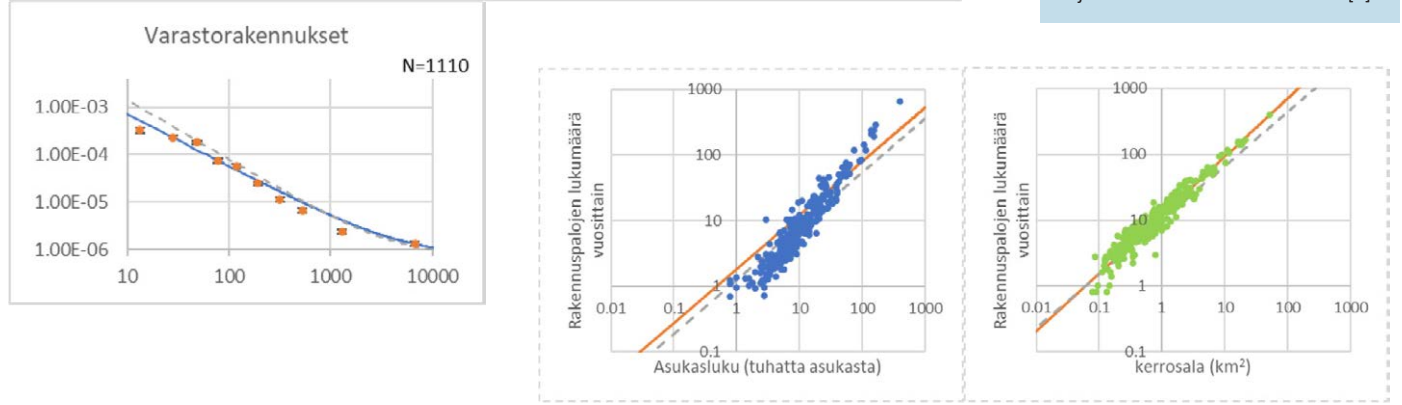
### Alkusammutus

Kun arvioitiin alkusammutuksen vaikutusta paloon, rakennustyypeistä huomioitiin ainoastaan ne kohteet, jotka olivat varustettuja varsinaisella alkusammutuskalustolla. Tällöin tarkastelusta jäivät pois kohteet, joissa PRONTO-järjestelmän mukaan ei ollut tietoa alkusammutuskaluston olemassaolosta tai sitä ei ollut lainkaan.

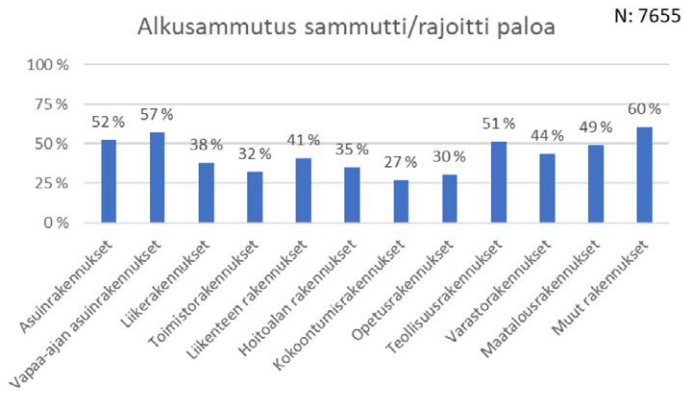
Tutkimuksen [2] mukaan alkusammutuksella saadaan vähintään rajoittava vaikutus paloon kaikkein todennäköisimmin asuin-, vapaa-ajan, ja teollisuusrakennuksissa (Kuva 3). Vastaavasti alkusammutuskalusto jää käyttämättä tai ei toimi lainkaan koontumis-, opetus-, sekä toimistorakennuksissa (Kuva 4). Tyyppisimpiä syitä, miksi alkusammutuskalustoa ei käytetty, oli palon ennenaikainen itsestään sammuminen, palon kasvaminen liian suureksi tai se, että kohteessa ei ollut toimintakykyisiä ihmisiä (Kuva 5). Alkusammuttimien käyttömääriä tarkasteltaessa jauhekäsiammutin osoittautui ylivoimaisesti käytetyimmäksi alku-



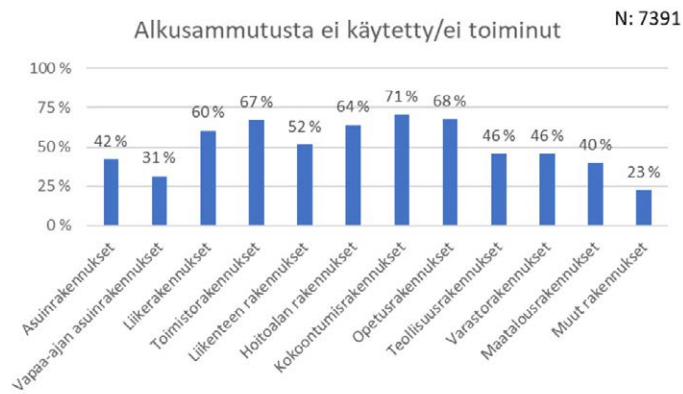
Kuva 1: Rakennusten syttymistäajuustiheyden kehitys kerrosalan mukaan. Sinisellä viivalla uuden sovitteen [2] mukainen tulos ja harmaalla katkoviivalla sovitteen [1] mukaiset arvot.



Kuva 2: Kuvaaja vasemmalla: Rakennuspalojen ja -palovaarojen suhde kunnan asukaslukuun. Kuvaaja oikealla: Rakennuspalojen ja -palovaarojen suhde kunnan kerrosalaan. [2]



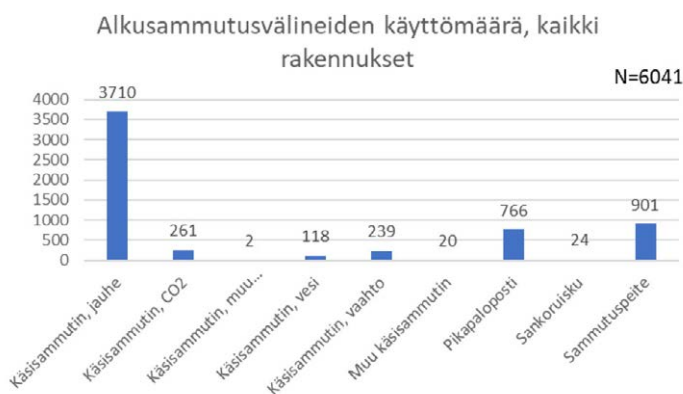
Kuva 3: Alkusammutus sammutti tai rajoitti paloa vuosina 2014–2020. [2]



Kuva 4: Alkusammutusta ei käytetty vuosina 2014–2020. [2]



Kuva 5: Syyt miksi alkusammutusta ei käytetty vuosina 2014–2020. [2]



Kuva 6: Alkusammutusvälineiden käyttömäärät kaikissa rakennuksissa. [2]

sammutusvälineeksi kaikissa rakennustyypeissä (Kuva 6). Muita alkusammutusvälineitä, joita oli käytetty huomattavan paljon, olivat pikapalopostit, joita oli käytetty erityisesti teollisuusrakennuksissa, sekä sammutuspeitteet, joita oli käytetty asuin- ja liikerakennuksissa.

### Pelastuslaitosten toimintavalmiusajat

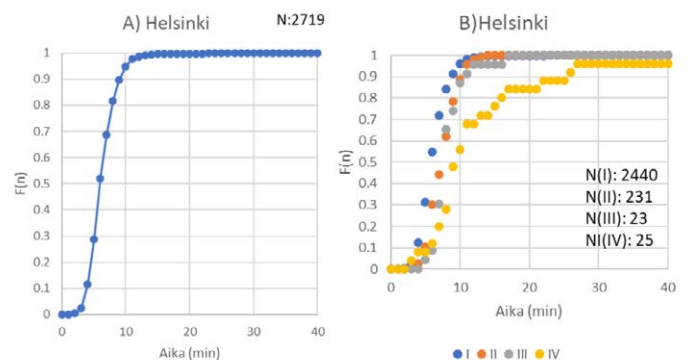
Tutkimuksessa [2] tarkasteltiin ensimmäisen pelastusyksikön toimintavalmiusaikaa pelastuslaitoksittain ja yli 50000 asukkaan kaupungeissa. Pelastuslaitoksittain tarkasteltaessa ensimmäisen 1+3-vahvuisen (esimies ja kolme miehistön jäsentä) pelastusyksikön toimintavalmiusajat määritettiin yleisesti pelastuslaitoksen alueelta ja riskialueittain. Pelastuslaitosten alueet on jaettu neljään riskialueeseen: I, II, III, IV. Tarkasteltavia kaupunkeja oli 21.

Esimerkki päivitetystä toimintavalmiusaikatiedoista on esitetty kuvassa 7, jossa vasemmalla puolella on esitetty Helsingin pelastuslaitoksen alueen yleinen toimintavalmiusajan kertymä ja oikealla puolella toimintavalmiusajan kertymäkäyrät riskialueittain.

Ensimmäisen pelastusyksikön toimintavalmiusaikaa vertailtaessa havaittiin, että Helsingin pelastuslaitoksen alueella toimintavalmiusajat ovat lyhyempiä. Tätä havaintoa selittää se, että Helsingissä suurin osa rakennuspalloista ja -palovaaroista tapahtuu I-riskialueella. Vastaavasti pisimmät toimintavalmiusajat olivat Itä- ja Pohjois-Suomessa sijaitsevien pelastuslaitosten alueilla, joissa suuri osa tehtävistä sijoittui IV-riskialueelle.

### Taloudelliset vahingot rakennuspalloissa ja rakennuspalovaaroissa

Rakennuspalojen ja -palovaarojen aiheuttamia vahinkoja tarkasteltaessa keskeisimpänä havaintona todettiin, että hyvin pieni osa



Kuva 7: Ensimmäisen yksikön toimintavalmiusaika yleisesti Helsingin pelastuslaitoksen alueella ja riskialueittain. [2]



Kuva 8: Vahinkosumman kertymä rakennuspalojen ja -palovaarojen kertymän funktiona. [2]



- rakennuspaloista ja -palovaaroista aiheuttaa suurimman osan euromääräisistä vahingoista. Kuvassa 8 on esitetty rakennuspalojen ja rakennuspalovaarojen kertymä suhteessa niiden aiheuttaman vahinkosumman kertymään.

Kuvan 8 kuvaajasta nähdään, että 80 % rakennuspaloista ja -palovaaroista aiheuttaa vain noin 10 %:n osuuden rakennuspalojen ja -palovaarojen aiheuttamista kustannuksista. Lisäksi havaittiin, että 20 % rakennuspaloista ja -palovaaroista ei aiheuta ollenkaan euromääräisiä vahinkoja. Tätä selittää se, että PRONTO-järjestelmässä purkukuntoisen rakennuksen ja kertaalleen sammutetun rakennuksen arvoksi merkitään 0 €.

Toimintavalmiusajan vaikutusta tarkasteltaessa havaittiin, että pienemmissä riskiluokissa tapahtui vähemmän suuria vahinkoja kuin suuremmissa. Rakennuksen suojaustason osalta havaittiin, että erityisesti automaattinen sammutuslaitteisto ja automaattinen paloilmoitinlaitteisto vähensivät rakennukselle aiheuttuneita vahinkoja.

## YHTEENVETO

Tutkimuksessa päivitettiin pelastustoimen tilastopohjaiset tiedot, joita voidaan hyödyntää rakennusten paloriskiarvioiteja laadittaessa. Tutkimuksen tarve johtui siitä, että edellisen kerran rakennuspalojen ja rakennuspalovaarojen tilastopohjaisia tietoja oli tarkasteltu ja analysoitu vuonna 2009 VTT:n julkaisemassa tutkimuksessa. Aikaisemmasta tutkimuksesta oli kulunut aikaa jo yli 10 vuotta.

Tietoja, joita tutkimuksessa päivitettiin, olivat rakennusten syttymistäajuustiheydet, alkusammutuksen onnistumisen todennäköisyys ja pelastuslaitosten toimintavalmiusajat. Lisäksi tutkittiin rakennuspalojen ja -palovaarojen jakautumista eri vuorokauden, viikonpäivän tai kuukauden ajalle, rakennuspalojen ja -palovaarojen suhdetta kunnan asukasluokan ja kerrosalaan, sekä rakennuspalojen ja -palovaarojen aiheuttamia taloudellisia vahinkoja.

Syttymistäajuustiheyden osalta havaittiin, että useimmissa rakennustyypeissä syttymistäajuustiheys on hieman noussut, mutta pääsääntöisesti syttymistäajuustiheys käyttäytyy eri rakennuksissa aikaisemman tutkimuksen mukaisesti niin, että kerrosalan kasvaessa syttymistäajuustiheys pienenee. Poikkeuksena olivat asuinrakennukset ja hoitolaitokset, joissa syttymistäajuustiheys kääntyi kasvuun tietyin suuruisilla kerrosaloilla.

Rakennuspalojen ja -palovaarojen suhdetta kunnan asukasluokan ja kerrosalaan tarkasteltaessa havaittiin, että asukasluokan verrattessa rakennuspalojen määrä on kasvanut hiukan kaiken kokoisissa kunnissa, mutta verrattaessa kerrosalaan rakennuspalojen määrä oli kasvanut vain suurissa kunnissa.

Alkusammutuksen onnistumisen todennäköisyyttä tarkasteltaessa havaittiin, että alkusammutus onnistuu todennäköisim-

min asuin- ja vapaa-ajan rakennuksissa. Alkusammutus epäonnistuu useimmin tai jää käyttämättä opetus, vapaa-ajan- ja liikkerakennuksissa. Eniten käytettyjä alkusammutusvälineitä olivat jauhesammuttimet. Näiden lisäksi käytettiin pikapaloposteja erityisesti teollisuusrakennuksissa ja sammutuspeitteitä asuin- ja liikkerakennuksissa.

Pelastuslaitosten toimintavalmiuksien havaittiin olevan lyhimpiä suurissa kaupungeissa, joissa suurin osa tehtävistä tapahtuu I-riskiluokan alueella. Toimintavalmiusajat olivat pisimpiä Pohjois- ja Itä-Suomen alueen pelastuslaitoksilla, koska suurin osa tehtävistä kohdistuu harvaan asutuille IV-riskialueille.

Taloudellisten vahinkojen osalta havaittiin, että noin 80 % rakennuspaloista ja -palovaaroista aiheuttaa vain 10 % rakennuspalojen ja -palovaarojen aiheuttamista vahingoista.

## KIITOKSET

Kiitän lämpimästi tutkimuksen ohjausryhmää neuvoista ja ohjauksesta tutkimusprojektin aikana. Tutkimuksen ohjausryhmään kuuluivat Satu Holopainen KK-Palokonsultti Oy:ltä, Kati Tillander Keski-Uudenmaan pelastuslaitokselta, ja Kari Telaranta, Tuula Kekki ja Ilpo Leino Suomen Pelastusalan Keskusjärjestöstä. Lämpimät kiitokset kommentaiteista ja ohjeista myös Kuntaliiton Esa Kokille. Tutkimuksen rahoitti KK-Palokonsultti Oy.

## LÄHDELUETTELO

1. Tillander, K, Oksanen, T & Kokki, E., 2009. Paloriskin arvioinnin tilastopohjaiset tiedot. VTT Tiedotteita - Research Notes, no. 2479, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2479.pdf>. Katsottu 7.5.2023.
2. Rantamäki, T., 2022. Paloriskin tilastopohjaisten tietojen päivitys. SPEK tutkii 28. Suomen Pelastusalan keskusjärjestö SPEK. Saatavilla: [https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2022/08/SPEK\\_tutkii\\_28.pdf](https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2022/08/SPEK_tutkii_28.pdf). Katsottu. 12.5.2023.
3. Kokki, E., 2019. PRONTO Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä. Pelastusopisto. Saatavilla: [https://www.pelastusopisto.fi/wpcontent/uploads/PRONTO\\_2019.pdf](https://www.pelastusopisto.fi/wpcontent/uploads/PRONTO_2019.pdf). Katsottu: 7.5.2023.
4. Tilastokeskus., 2023. Rakennusluokitus 2018. Saatavilla: <https://www.stat.fi/fi/luokitukset/rakennus/?code=01&name=A> suuinrakennukset. Katsottu 11.05.2023.
5. Tillander, K & Keski-Rahkonen, O., 2000. Palokunnan saatavuuden merkitys rakennuksen paloriskitarkastelussa. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes, no. 2013, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2013.pdf>. Katsottu 7.5.2023.



# Tiedolla johtaminen hyvinvointialueiden pelastustoimessa

## Tiivistelmä

Valtioneuvoston vahvistamista Pelastustoimen valtakunnallisista strategisista tavoitteista 2023–2026 yksi on: *Pelastustoimen palveluiden ja tehtävien valtakunnallinen suunnittelu, toteutus ja kehittäminen perustuvat tiedolla johtamiseen ja yhtenäiseen tiedonhallintaan*. Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto on laatinut asiakirjan ”Pelastuslaitosten tiedolla johtamisen strategia ja toimenpiteet 2023–2024” tarkoituksenaan tukea hyvinvointialueen pelastustoimen tiedolla johtamisen kehittämistä ja laadukkaana tiedolla johtamisen kulttuurin kehittymistä organisaatiossa. Tiedolla johtamisen nykytilaa hyvinvointialueiden pelastustoimessa on kartoitettu laadullisen sisällöllisen analyysin keinoin kuuteen vastavalmistuneeseen opinnäytetyöhön perustuen. Tiedolla johtamisen kehitystyötä on kartoitettu laadullisen sisällöllisen analyysin keinoin käynnissä oleviin kehittämishankkeisiin perehtyen. Tässä artikkelissa käsitellään toimenpiteitä, joita on tehty ja sen lisäksi toimenpiteitä, joita olisi hyvä tehdä hyvinvointialueiden pelastustoimen tiedolla johtamisen vahvistamisessa.

## JOHDANTO

Hyvinvointialueilla, pelastustoimen palvelut mukaan lukien, on velvoitteita kerätä, seurata ja jalostaa sekä raportoida tietoa. Sosiaali- ja terveys- sekä pelastustoimen tietojen yhdistäminen mahdollistaa hyvinvointialueen palvelurakenteen ja palveluverkoston kehittämisen yhtenä kokonaisuutena. Tiedon tulee olla saatavilla sellaisessa muodossa, että sen avulla voidaan hahmottaa kokonaisuuksia ja sitä voidaan käyttää strategisen päätöksenteon tukena. Tiedon tulee olla kattavaa, ja sen avulla täytyy pystyä hahmottamaan panosten ja tulosten välisiä riippuvuuksia, perustelemaan tehtäviä päätöksiä sekä arvioimaan tehtyjen päätöksen vaikutuksia.

Hyvinvointialueet noudattavat tiedolla johtamisessa kansallista lainsäädäntöä, strategiaa ja vähimmäistietosisältöön liittyvää asetusta. Valtioneuvosto on vahvistanut Pelastustoimen valtakunnalliset strategiset tavoitteet 2023–2026, joista yksi on: Pelastustoimen palveluiden ja tehtävien valtakunnallinen suunnittelu, toteutus ja kehittäminen perustuvat tiedolla johtamiseen ja yhtenäiseen

tiedonhallintaan [1]. Strategisen tason asioiden seurantatiedot raportoidaan hyvinvointialueiden päätöksentekijöiden lisäksi valtakunnalliselle tasolle. Hyvinvointialueen oman strategian ja palvelulupauksen toteutumista seurataan ja seuranta raportoidaan. Hyvinvointialue palvelujen järjestäjänä asettaa ja seuraa myös operatiivisen toiminnan tavoitteita strategisten tavoitteiden toimeenpanemiseksi.

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto asetti syksyllä 2022 työryhmän valmistelemaan pelastuslaitosten tiedolla johtamisen strategiaa. Toimeksiannon tavoitteena oli päätöksenteon tieto- ja vaikuttavuusperusteisuuden vahvistuminen pelastuslaitoksilla. Strategiassa keskitytään tiedolla johtamisen kehittämiseen, mutta lisäksi siinä on käsitelty joitakin keskeisiä tiedon johtamisen elementtejä, jotka tukevat tiedolla johtamisen toteutumista ja kehittämistä.

## Materiaali ja menetelmät

Tämän artikkelin materiaalina käytettiin hyvinvointialueiden ja pelastustoimen tiedolla johtamiseen liittyviä artikkeleita. Niitä löytyi kuusi vastavalmistunutta opinnäytetyötä. Lisäksi materiaalina käytettiin tietoa pelastustoimen tiedolla johtamiseen liittyvistä kehittämishankkeista, niin tietojärjestelmien kuin menetelmienkin osalta.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista sisällön analyysiä.

## Tiedolla johtamisen nykytila pelastustoimessa

Kirjallisuuskatsaus tehtiin tietohakuna artikkelitietokannoista. Tiedolla johtaminen on ollut yleinen opinnäytetöiden aihe. Ammattikorkeakoulujen tietoverkossa opinnäytetyöt ja julkaisut julkaisevassa Theseus-järjestelmässä hakusana ”tiedolla johtaminen” tuotti yli 7400 julkaisua. Tähän artikkeliin poimittiin pelastustoimeen ja Power BI -raportointityökalun käyttäjäkokemuksiin liittyvät opinnäytetyöt, joita löydettiin kuusi kappaletta.

Järvensivu tarkasteli pro gradu -tutkielmassaan tietojohtamisen nykytilaa pelastustoimessa pelastuslaitosten näkökulmasta [2]. Järvensivu keräsi tutkielman aineiston pelastusjohtajille, pelastuspäälliköille, riskienhallintapäälliköille ja pelastuslaitosten tutkimus- ja kehittämisverkostolle suunnatulla kyselyllä. ▶

- Järvensivu tarkasteli tiedolla johtamisen nykytilaa 10 näkökulmasta [2]: 1) strategia, 2) hallintorakenne ja organisointi, 3) tietotarpeet, 4) tiedon hankinta, 5) tiedon organisointi ja varastointi, 6) tietotuotteet ja palvelut, 7) tiedon jakaminen, 8) tiedon käyttö, 9) mittarit ja 10) hyödyt. Tulosten mukaan pelastuslaitosten vahvuuksia olivat tiedon käyttö, tietojohdamisen hyödyt sekä organisaation sitoutuminen ja ymmärräys tietojohdamista kohtaan. Eniten haasteita tulosten mukaan oli tietotuotteiden ja -palveluiden, tiedon hankinnan sekä tiedon organisoinnin ja varastoinnin osalta.

Järvensivun [2] havaintojen mukaan tiedolla johtaminen näkyy strategisessa johtamisessa päätöksenteon tukena vastaajista vain kolmasosan mielestä. Kolmasosan näkemyksen mukaan käyttö on kehittymässä ja kolmasosan mielestä käyttö näkyy heikosti. Hallintorakenteen ja organisoinnin näkökulmasta henkilöresurssipuola hankaloittaa useimmiten tiedolla johtamista. Ainoastaan yhden vastaajan mukaan hallintorakenne tukee tiedolla johtamista. Tietotarpeiden näkökulmasta oman organisaation strategiaan ja pelastuslaitosten vertailuun tarvittavat tietotarpeet tunnustetaan paremmin kuin sidosryhmäyhteistyön tietotarpeet. Tiedonhankinnassa tietojärjestelmät ovat hallitsevassa roolissa, muita tietolähteitä sekä asiakaspalautteita ja -kyselyitä hyödynnetään selvästi vähemmän. Tiedon organisoinnissa haaste on erilliset tietojärjestelmät, niiden välillä ei ole rajapintoja. Kolmasosa vastaajista oli maininnut analyysi- ja raportointityökalut pelastustoimen tietojärjestelmien (Pronto ja Merlot) lisäksi tiedon organisoinnin ja varastoinnin työkaluna. Tietotuotteiden kohdalla merkittäväksi haasteeksi nähtiin järjestelmien ongelmat, jotka hankaloittavat raportointia. Ainoastaan yksi vastaaja ilmaisi järjestelmien ja työkalujen käytön sujuvaksi. Tiedon jakamisessa yleinen toteamus oli, että käytännöt ovat suunnittelemattomia ja vajavaisia. Neljäsosa vastaajista kertoi, että käytännöt ovat kohtuullisia. Tiedon käytöstä todettiin hyödyntämisen painottuvan historiatietoon, ennakoititiedon jäädessä liian pieneen rooliin. Puolet vastaajista kertoi tietoa käytettävän päätöksenteon tukena ja puolet toiminnan seuraamiseen, ohjaamiseen ja kehittämiseen. Mittareista seitsemän kymmenestä vastaajista totesi mittareiden toimivuudessa ja käytössä olevan haasteita. Puolet vastaajista piti mittareita tärkeinä oman työn kannalta. Yhtenä haasteena mainittiin, että mittareiden määrätymistä ohjaa liiaksi valtakunnallinen ohjaus eikä pelastuslaitoksen omat tarpeet palvelujen laadun parantamisessa. Kaiken kaikkiaan tiedolla johtamisen käytäntöjen koetaan lisäävän pelastuslaitoksen suorituskykyä ja toiminnanvaikuttavuutta sekä säästävän päätöksentekoon kuluva aiaa.

Ekberg selvitti opinnäytetyössään miten tietojohdamista voidaan hyödyntää osana Satakunnan pelastuslaitoksen strategista johtamista [3]. Tietojohdamisen nykytilaa Ekberg kartoitetti soveltamalla julkishallinnon arviointimallia. Arvioinnin tulos oli, että tietojohdaminen on tunnistettu käsitteenä ja sitä haluttaisiin hyödyntää, mutta siihen liittyvät toimet eivät ole tulleet osaksi organisaation toimintaa. Ekberg kirjasi lukuisia kehittämisehdotuksia tietojohdamisen parempaan hyödyntämiseen. Esimerkiksi tietoa kerätään ja tuotetaan runsaasti, mutta sen hyödyntäminen päätöksenteon tukena ei näy avoimesti. Lisäksi esimerkiksi Power BI -työkaluja ei hyödynnetä optimaalisesti tiedolla johtamisessa.

Puronhaara tarkasteli pro gradu -tutkielmassaan johtajuutta pelastustoimen kompleksisessa toimintaympäristössä [4]. Työnssä tulokset Puronhaara tiivistää kolmeen yhdistävään luokkaan: oppimisen johtaminen, tilanteen mukainen johtaminen ja kokonaisuuksien johtaminen. Pelastustoimen kompleksisessa toimintaympäristössä johtajilta vaaditaan kykyä tehdä tietoon perustuvia päätöksiä. Kokonaisuuksien johtamisessa organisaatorakenteet tukevat johtamista tuottamalla tietoa päätöksenteon tueksi.

Tulosten mukaan tiedolla johtamisen mekanismit ja rakenteet eivät ole kuitenkaan riittävällä tasolla. Kehityskohteina työssä nähtiin muiden muassa toimintaympäristöanalyysi, sen tason nosto ja sen hyödyntäminen. Ratkaisuna haasteisiin esitettiin muiden muassa säännöllistä täydennyskoulutusta.

Koivisto tarkasteli opinnäytetyössään pelastuslaitosten tuotaman palontutkintatiedon hyödyntämistä sekä hyödyntämisen aktiivisuutta ja käytänteitä pelastuslaitoksilla [5]. Koivisto tunnisti työssään viisi hyödyntämismahdollisuutta: koulutuskäyttö, tiedon tuotto, lisäarvo onnettomuuksien ehkäisyyn, pelastustoiminnan arviointi, yhteistyökumppaneiden tarpeet. Koivisto näki haasteena erot pelastuslaitosten välillä. Palontutkinnan kriteerit ja laatu poikkeavat eri puolilla Suomea, mikä hankaloittaa valtakunnallista tiedon hyödyntämistä. Usein syytymissyyntä arviointia perusteellisemmat palontutkintatiedot jäävät pelastuslaitoksen sisäiseksi tiedoksi. Koiviston työn mukaan palontutkinnan tulosten hyödyntäminen ei ole säännöllistä eikä suunniteltua, roolit ja vastuut ovat epäselvät. Ratkaisuksi Koivisto summaa työssään hyvinä käytänteinä toimintamalleja ja kehitysideoita yleisesti, valvontatoiminnan näkökulmasta, turvallisuusviestinnän kehittämiseen, pelastustoiminnan kehittämiseen ja yhteistyökumppaneiden näkökulmasta.

Leppämäki selvitti opinnäytetyössään Keski-Suomen pelastuslaitoksen paloasemien suorituskykyä ja kehityskohteita [6]. Suorituskykyä tarkasteltiin viiden vuoden hälytystehtävien perusteella paloasemittain ja paloasemien yksiköittäin. Selvityksessä Leppämäki sai selville pelastuslaitoksen suorituskyvyn kokonaiskuvan. Opinnäytetyön tulos oli tiedolla johtamisen työkalu pelastuslaitokselle: paloasemakohtainen suorituskykykartoitus. Leppämäen raportoinnin mukaan työn tuloksia hyödynnetään Keski-Suomen pelastuslaitoksen operatiivisen johtamisen suunnittelussa.

Silvasti tarkasteli opinnäytetyössään Keski-Uudenmaan hyvinvointialueen johtotason kokemuksia Power BI -raportointityökalun käyttäjäkokemuksia [7]. Opinnäytetyössään Silvasti keskittyi raportoinnin käytettävyyden haasteisiin ja niiden ratkaisemiseen koulutuksen avulla. Raportoinnin suurimmaksi haasteena ilmeni virheiden korjaaminen, raportin suodattaminen ja lukujen ymmärtäminen. Raportoinnin käytön yhteydessä ilmeni luottamuksen puutetta tiedon laatuun. Raportoinnin käytön aloittaminen koettiin helpoksi, mutta edellä mainittujen haasteiden vuoksi käytettävyyttä koettiin hankalaksi. Silvasti esitti konkreettisen kehitysehdotuksena yksinkertaista koulutuspolkua työkalun käyttäjien osaamisen parantamiseksi.

### Tiedolla johtamisen kehittämishankkeet pelastustoimessa

Sisäministeriön pelastusosastossa on käynnissä monia pelastustoimen tiedolla johtamista tukevia hankkeita. Vasta perustetun neuvottelevan virkamiehen pääasiallisena tehtävänä on pelastustoimen ja siviilivalmiuden tiedolla johtamisen kansallinen strateginen kehittäminen ja johtaminen hyvinvointialueuudistuksen tukena. Tämän lisäksi pelastusosastolla on käynnissä onnettomuuden ehkäisyyn, sähköisen asioinnin, tiedolla johtamisen ja hälytystehtävien tiedonkeruun tietojärjestelmien kehittämishankkeet. Ensin mainittu tulee korvaamaan nykyisin käytössä olevat palotarkastusohjelmistot Merlot ja WiseMaster sekä pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä Pronton onnettomuuksien ehkäisyä koskevat tiedonkeruutyökalut. Kolmantena mainittu tulee korvaamaan Pronton tilastointi- ja raportointityökalut. Lisäksi tiedolla johtamisen tietojärjestelmään on suunniteltu toteutettavan nykyistä monipuolisempia tiedon analysoinnin työkaluja. Neljänntenä mainittu tulee korvaamaan Pronton tiedonkeruutyökalut.

Pronto on erinomainen esimerkki laadukkaasta tiedolla johtamiseen tarvittavan tiedonkeruun ja raportoinnin menetelmäkehi-



## SPEKin oppaat vapaasti kaikkien saataville.

Käy lukemassa jo julkaistuja  
oppaita osoitteessa:

[www.spek.fi/oppaat](http://www.spek.fi/oppaat)



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

tyksestä. Järjestelmä tosin on kehitetty jo 1990-luvulla ja vastaa nykyisin vain osin pelastustoimen tiedolla johtamisen tietotarpeisiin.

Pelastusopistolla on kehitetty tiedolla johtamista tukevia menetelmiä ja työkaluja aina tutkimusyksikön perustamisesta 2000-luvun alusta lähtien. Pronton ylläpito-, kehittämis- ja koulutusvastuu on ollut Pelastusopistolla vuodesta 2005 lähtien. Viime vuonna Pelastusopistossa käynnistyi Tutkimustulokset timanteiksi, tiedoksi ja toiminnaksi -hanke. Hanke tukee pelastusalaa koskevan tutkimustiedon hyödyntämistä. Hanke tarjoaa koulutusta, materiaaleja ja kohtaamispaikkoja pelastusalan tutkimusviestintää tekeville, kehittäville ja siitä innostuville henkilöille.

### Pelastuslaitosten tiedolla johtamisen strategia

Tietojohdaminen on yläkäsite tiedolla johtamiselle ja tiedon johtamiselle. Tiedon johtamisella tarkoitetaan uuden tiedon luontia, tietovarastojen ja virtojen hallintaa ja sitä kautta organisaation oppimista ja uusiutumista. Tiedolla johtamisella viitataan taas niihin toimintatapoihin, joilla tietoa jalostetaan ja hyödynnetään organisaation toiminnan johtamisessa sekä vahvistetaan tiedolla johtamisen kulttuuria. Tiedolla johtamisen käsitettä käytetään usein strategisena käsitteenä ja laajemmin, sisältäen kaikki tietojohdamisen osa-alueet. Tiedon johtaminen näyttäytyy selvästi tietojärjestelmäpainotteisempina kuin tiedolla johtaminen. [8,9,10]. Hyvinvointialueen pelastustoimen strategisen johtamisen näkökulmasta kyse on ennen kaikkea tiedon hyödyntämisestä laadukkaiden ja vaikuttavien palveluiden tuottamiseksi.

Pelastuslaitosten tiedolla johtamisen strategia ja toimenpiteet 2023–2024 -asiakirjan [11] tarkoituksena on tukea hyvinvointialueen pelastustoimen tiedolla johtamisen kehittämistä ja laadukkaan tiedolla johtamisen kulttuurin kehittymistä organisaatiossa. Strategiaan kirjattiin kolme tiedolla johtamisen strategista tavoitetta. Jokaiselle tavoitteelle kirjattiin kolme tai neljä toimenpidettä, joiden avulla tavoite pyritään saavuttamaan.

Tiedolla johtamisen strategisena tavoitteena on, että päätöksenteon tieto- ja vaikuttavuusperusteisuus vahvistuu pelastuslaitoksilla. Pää tavoite jakautuu kolmeen osatavoitteeseen, jotka osaltaan tukevat päätavoitteen toteutumista.

1. Ymmärrys siitä, mitä kokonaisvaltainen tiedolla johtaminen sisältää ja mitä hyötyjä siitä on pelastuslaitokselle, lisääntyä.
2. Pelastuslaitosten käytössä olevan tietopohjan ajantasaisuus, kattavuus ja laatu paranevat.
3. Olemassa olevan tiedon hyödynnettävyyttä parannetaan sitä jalostamalla sekä vahvistetaan osaamista hyödyntää sitä osana tiedolla johtamista.

Osatavoitteen 1 toteutumiseen pyritään seuraavien toimenpiteiden kautta:

- Koulutetaan pelastuslaitoksen henkilöstöä järjestelmällisesti johdosta alkaen.
- Tunnistetaan keskeiset päätöksentekotilanteet ja roolit, joissa tietoa käsitellään pelastuslaitoksessa ja kuvataan tiedolla johtamisen soveltamisen käytännöt.
- Suunnitellaan viestintä tiedolla johtamisen sisällöstä ja hyödyistä pelastuslaitoksella.

Osatavoitteen 2 toteutumiseen pyritään seuraavien toimenpiteiden kautta:

- Tunnistetaan päätöksenteon kannalta kriittinen tietopohja ja varmistetaan sen ajantasaisuus, kattavuus ja laadukkuus.
- Varmistetaan tietojärjestelmien ja tiedon kokoamiseen tarkoitettujen käytäntöjen tarkoituksenmukaisuus ja ajantasaisuus.
- Parannetaan kerätyn tiedon laadun varmistamisen käytäntöjä.

Osatavoitteen 3 toteutumiseen pyritään seuraavien toimenpiteiden kautta:

- Olennainen tieto nostetaan esille ja jalostetaan helposti ymmärrettäväksi.
- Tunnistetaan ne toiminnan tilanteet, joissa tutkittua tietoa on hyödynnettävä ja vahvistetaan sen käyttöä päätöksenteossa.
- Resurssien suuntaamista tiedon analysointiin vahvistetaan.
- Pelastuslaitoksen tietopohjaisen päätöksenteon kyvykkyyttä parannetaan vahvistamalla osaamista.

## ► Pohdinta

Pelastustoimi on uuden edessä hyvinvointialueiden aloitettua toimintansa. Pelastustoimen palvelulupauksen laadintaa, seuranta ja raportointia on uudistettava ja yhtenäistettävä sosiaali- ja terveystoimen palvelulupausten kanssa. Uusi hallinnollinen toimintaympäristö vaatii panostamista tietojohdantamiseen, tiedolla johtamiseen ja tiedon johtamiseen.

Nykytilan kartoituksen mukaan hyvinvointialueiden pelastustoimissa on vilpittösti tahtoa panostaa tiedolla johtamiseen. Valmiudet siihen eivät ole samalla tasolla kuin sosiaali- ja terveystoimissa. Purohaara havaitsi tutkielmassaan [4], että johtamisen rakenteet ja mekanismit eivät ole riittävällä tasolla. Toisaalta esimerkiksi terveystoimissa on ollut vuodesta 1994 lähtien käytössä Käypä hoito -suositukset, joissa arvioidaan tieteelliseen tutkimukseen perustuen eri toimintamallien ja -menetelmien soveltuvuus palvelutilanteeseen. Vastaava tapa perustella käytettäviä ja opetettavia toimintamalleja ja -menetelmiä pelastustoimissa puuttuu. Tutkitun tiedon hankinta ja tuottaminen on lisääntynyt pelastustoimissa parin viime vuosikymmenen aikana. Kuitenkin toimialalta puuttuu vieläkin selkeä malli hyödyntää tutkittua tietoa, tai edes koordinoita hyödyntämistä, pitkäjänteisesti ja johdonmukaisesti päätöksenteon tueksi.

Sisäministeriössä, aluehallintovirastoissa, Pelastusopistossa, pelastuslaitoksissa ja nykyisin hyvinvointialueiden pelastustoimissa on tehty toimenpiteitä tiedolla johtamisen kehittämiseksi. Tulokset kesään 2023 mennessä ovat varsin laihoja. Pelastuslaitosten riskiperusteinen onnettomuuksien ehkäisy ja valvontatyö ovat esimerkkejä onnistumisista. Sen sijaan esimerkiksi pelastustoimen palvelulupauksen keskeiseen mittariin, toimintavalmiusajan seurantaan, käytettävä riskiruutuluokitus perustuu vanhentuneeseen laskentamalliin [12]. Kattava valtakunnallinen tiedolla johtamisen johtaminen ja ohjaus puuttuu vielä tätä artikkelia kirjoitettaessa. Ainakin vuodesta 2005 lähtien on puhuttu, että tutkimustietoa tulisi käyttää päätöksenteon tukena myös pelastustoimissa. Näytöt tavoitteiden saavuttamiseksi ovat vähäisiä. Johtuuko esimerkiksi toimialaa koskevat rahoituspäätökset pelastustoimen tiedolla johtamisen tilasta?

Sisäministeriö kehitti vuonna 1995 Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto -tietojärjestelmän (Pronto) tiedon keruu ja varastointilustaksi. Pronto oli vuosia maailmanluokan tietojärjestelmä, mutta viime vuosina tietojärjestelmä on havaittu rajalliseksi ja jopa epäluotettavaksi. Prontoon kerätty ja varastoitu data ei riitä 2020-luvun hyvinvointialueen pelastustoimen tiedolla johtamisen tietolähteeksi. Sisäministeriön pelastusosastolla on käynnissä lukuisia pelastustoimen tietojärjestelmien kehityshankkeita: muiden muassa onnettomuuksien ehkäisyn, sähköisen asioinnin, tiedolla johtamisen (tilastointi ja analysointi) sekä tiedon keruun tietojärjestelmä. Tietojärjestelmien suunnittelussa on huomioitu nykytilan kartoituksessakin havaittu ja mainittu nykyisten tietojärjestelmien erillisyyteen liittyvä haaste. Uusien tietojärjestelmien suunnittelussa on luvattu huolehtia tietojärjestelmien rajapinnoista.

Hyvinvointialueiden pelastustoimien tiedolla johtamisen vahvuudeksi on tulkittava massiivinen tiedon keruu. Edellä mainittu Pronto-tietojärjestelmä varastoi tietoa kaikista pelastustoimen hälytystehtävistä muiden tietojen lisäksi. Leppämäki [6] raportoi onnistuneesta tavasta hyödyntää Prontoon kerättyä tietoa pelastuslaitoksen päätöksenteon tueksi. Kuitenkin monesti haasteeksi nähtiin kaiken kerätyn tietojen hyödyntäminen. Esimerkiksi Järvensivun [2] ja Koiviston [5] opinnäytetöiden tuloksista selviää, että tiedon kerääjille ei ole selvillä mihin ja miten kerättyä tietoa hyödynnetään. Tämä selittyy Purohaaran [4] havaintona riittämättömillä rakenteilla ja mekanismeilla tiedolla johtamiseen.

Nykytilan kartoituksessa tiedolla johtamisen yhtenä haasteena

nähtiin analysointityökalujen ja -osaamisen puute. Läheskään kaikissa hyvinvointialueiden pelastustoimissa ei ole analysointityökalujen, kuten Power BI, käyttöön resursseja eikä osaamista. Sisäministeriön Pelastustoimen ja siviilivalmiuden suorituskyky ja suunnitteluperusteet -hankkeessa esitettiin pelastustoimen analysointityökaluja kokoamaan valtakunnallista, alueellista ja paikallista tilasto-, rekisteri- sekä tutkimus- ja selvitystietoa päätöksenteon tueksi [12]. Valtakunnallisesti yhdenmukaiset tiedonkeruu, tiedon organisointi ja varastointi, tietotuotteet ja palvelut, tiedon jakaminen, tiedon käyttö ja mittarit on ainoa ratkaisu, jolla laadukas tiedolla johtaminen on mahdollista.

Kaiken kaikkiaan positiivista on, että tiedolla johtamisen merkitys ymmärretään ja sen kehittämiseen pelastustoimissa on halua. On vain löydettävä keinot, miten tietojohdantamisessa ja tiedolla johtamisessa päästään riittävälle tasolle. Osaamisen lisääminen on avainasemassa, johon koulutuksen lisääminen on luontevin ratkaisu. Pelastuslaitosten yhdessä valmistelema tiedolla johtamisen strategia on yksi askel kohti tehokkaampaa ja tuloksellisempaa pelastustoimea.

## KIITOKSET

Kiitos Outi Linnolahti ja Kati Tillander, Vantaa-Keravan hyvinvointialue, sekä Heidi Huuskonen, Etelä-Karjalan hyvinvointialue, tiedolla johtamisen strategian kirjoitustyöstä. Kiitos Vesa-Pekka Tervo ja Terhi Virtanen, Hyvinvointialueyhtiö Hyvil Oy, tuesta strategian valmistelussa.

## LÄHDELUETTELO

1. Valtioneuvoston päätös SM/2022/99.
2. Järvensivu, N., 2023. Pelastustoimen tietojohdantamisen nykytila – kartoitettava tutkimus pelastuslaitosten tiedolla johtamisesta ja tiedonhallinnasta. Tampere, Pro gradu käsikirjoitus.
3. Ekberg, P., 2023. Tietojohdantaminen strategian tukena. Pori, YAMK-opinnäytetyö.
4. Purohaara, T., 2023. Johtajuus pelastustoimen kompleksisessä toimintaympäristössä. Vaasa. Pro gradu -tutkielma.
5. Koivisto, N., 2022. Pelastuslaitosten tuottaman palontutkintatiedon hyödyntäminen. Kuopio, AMK-opinnäytetyö.
6. Leppämäki, S., 2023. Keski-Suomen pelastuslaitoksen paloasemien suorituskykykartoitus. Jyväskylä, YAMK-opinnäytetyö.
7. Silvasti, S., 2023. Power BI -raportoinnin käyttäjäkokemukset ja käytettävyys - Case: Keski-Uudenmaan hyvinvointialue. Rovaniemi, AMK-opinnäytetyö.
8. Laihon, H., Hannula, M., Helander, N., Ilvonen, I., Jussila, J., Kukko, M., Kärkkäinen, H., Lönnqvist, A., Myllärniemi, J., Pekkola, S., Virtanen, P., Vuori, V. ja Yliniemi, T., 2013. Tietojohdantaminen. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.
9. Laihon, H., ja Lönnqvist, A., 2013. Tiedolla johtaminen tarkoittaa tiedon hyödyntämistä. Tietoasiantuntija 4.
10. Leskelä, R.-L., Haavisto, I., Jääskeläinen, A., Helander, N., Sillanpää, V., Laasonen, V., Ranta, T. ja Torkki, P., 2019. Tietojohdantaminen ja sen kehittäminen: tietojohdantamisen arviointimalli ja suosituksia maakuntavalmistelun pohjalta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 42.
11. Linnolahti, O., Tillander, K., Kokki, E. ja Huuskonen, H., 2023. Pelastuslaitosten tiedolla johtamisen strategia ja toimenpiteet 2023–2024. Helsinki.
12. Puustinen, A. ja Kekki, T., 2020. Pelastustoimen ja siviilivalmiuden toimintaympäristöanalyysi. Helsinki.

# Tuurilla vai taidolla? – Turvallisuusjohtaminen perusopetuksen koulujen omatoimisen varautumisen arvioinnin (OVA) perusteella

## Tiivistelmä

Tähän tutkimukseen on valittu omatoimisen varautumisen arvioinnin kolme turvallisuusjohtamisen osa-alueita: vastuunjako, omatoiminen valvonta ja turvallisuuspuutteisiin reagoiminen. Tutkimusjoukkona on kymmenen suomalaista perusopetuksen koulua.

Omatoiminen varautuminen määritellään pelastuslaissa [1]. Velvoitteen toteuttaminen edellyttää organisaatiolta onnettomuusriskien tunnistamista ja arviointia, menetelmiä tunnistettujen riskien ehkäisemiseksi sekä toimintavalmiutta onnettomuustilanteissa. Tutkimus on osa laajempaa ONNI on turvallinen koulu -tutkimus- ja kehittämishanketta, jota koordinoi Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunnan opettajankoulutuslaitos. Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojen mukaan vuosina 2013–2017 Suomessa raportoitiin opetusrakennuksissa 530 tulipalotilannetta eli keskimäärin kaksi paloa tai palovaaraa viikossa [2]. Kouluissa harjoitellaan melko yleisesti turvallista poistumista tulipalotilanteiden varalta. Sen sijaan koulun johdon kyky ehkäistä onnettomuuksia jää usein vähemmälle huomiolle. Tämän tutkimuksen tavoitteena on rakentaa ymmärrystä siitä, millä tasolla perusopetuksen koulujen turvallisuusjohtaminen on. Turvallisuusjohtaminen on keskeinen osa-alue koulun turvallisuuskulttuuria ylläpidettäessä ja kehitettäessä. Tutkimus vastaa kysymykseen, mitä turvallisuusjohtamisen heikkouksia ja vahvuuksia perusopetuksen koulujen turvallisuusjohtamisessa on havaittavissa omatoimisen varautumisen arvioinnin perusteella.

## OPPILAITOSTEN TURVALLISUUSKULTTUURISTA

Suomalaisten oppilaitosten turvallisuuskulttuuria tai -kasvatusta on tutkittu vielä verrattain vähän [15–16; 11]. Eräässä viimeisimmistä tutkimuksista on tarkasteltu muun muassa perusopetuksen turvallisuuskasvatuksen tavoitteita tietyissä, toimintaan liittyvissä asiakirjoissa [17]. Lisäksi on tutkittu koulujen ulkopuolisten asiantuntijoiden roolia turvallisuuskasvatuksessa [18] sekä perusope-

tuksen oppilaiden turvallisuusosaamista [19–20]. Waitisen mukaan [11, s. 207] kouluissa, joissa on hyvä turvallisuuskulttuuri, on joitakin yhteisiä piirteitä. Näissä kouluissa on kehittynyt vaarojen ja perustehtävän vaatimusten ymmärrys; käytännössä hyvin toimiva turvallisuusjohtaminen; kehittynyt ymmärrys turvallisuuden systeemisestä luonteesta; käytännön teoilla osoitettu turvallisuuden arvostus, sekä turvallisuusuustyön osallistava ja yhteisöllinen luonne. Nämä koulun turvallisuuskulttuuria tukevat ja kannattelevat luonteeltaan kerrokselliset elementit on kuvattu oheisessa kuviossa 1.

Aiempaan tutkimustietoon [11, s. 205] perustuen voidaan todeta, että opetuksen järjestäjä ei aina kykene varmistamaan hyvää turvallisuuskulttuuria. Pahimmillaan, ja niin halutessaan, koulu voi toimia huomioimatta opetuksen järjestäjän antamia turvallisuuteen liittyviä ohjeistuksia. Jos fyysinen turvallisuus koulussa ei ole ollut aiemmin uhattuna tai muutoin koetuksella, kouluyhteisö ei välttämättä näe tarvetta varautua riskitilanteisiin. Esimerkiksi suunnitelmien osalta turvallisuusuustyö voi rajoittua vain pienimpään mahdolliseen lain vaatimukset täyttävään muodolliseen turvallisuusasiakirjojen päivittämiseen. Tällöin riskien säännöllinen ja määrääjain tapahtuva tunnistaminen esimerkiksi toimintaympäristön muutosten ja koulun omien erityispiirteiden osalta jäävät puutteelliseksi. Tunnistamattomien riskien ja uhkatilanteiden osalta koulun henkilöstön ja oppilaiden perehdyttäminen johdetusti käytännön tasolla oikeaan toimintaan on haasteellista. Jos oppilaitoksen turvallisuuden hallinta perustuu valmiiden suunnitelmien mekaaniseen täydentämiseen, koulun turvallisuuskulttuurin kehittäminen saattaa jäädä näennäiseksi.

## TURVALLISUUSJOHTAMINEN OPPILAITOKSISSA

Yhteiskunnassamme oppilaitosturvallisuutta pidetään usein itsensänselvyytenä. Oppilaitos on omanlaisensa organisaatio, jolla on yhteiskunnan sille asettamia tavoitteita. Organisaation näkökul-





Kuvio 1. Koulun turvallisuuskulttuurin kerroksellisuus ja turvallisuuskulttuurin kehittämisen keskeiset elementit. [11, s. 206]

- masta turvallisuus on tärkeä toimintakykyä ylläpitävää voima; se on jokaisen organisaation jäsenen perustehtävä ja osa päivittäistä toimintaa [3, s. 28–29].

Turvallisuusjohtaminen on kokonaisvaltaista, lakisääteistä, mutta myös omatoimista turvallisuuskulttuurin hallintaa. Toiminnassa yhdistyy sekä toimintatapojen että ihmisten johtaminen. Turvallisuusjohtaminen on siis tavoitteellista toimintaa, jolla ohjataan organisaation jäsenten käyttäytymistä toivottuun suuntaan [4, s. 6] turvallisuusohjein ja yhteisin keskusteluin [3, s. 28].

Turvallisuuskulttuuria mitataan usein epäsuorasti sellaisten tekijöiden avulla, joiden ajatellaan heijastavan kulttuuria. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi turvallisuuden johtamisjärjestelmien toiminta, ihmisten käyttäytyminen sekä immateriaaliset tietoiset tai tiedostamattomat tekijät, kuten asenteet ja arvot sekä organisaation ilmapiiri ja normit [3, s.2 7]. Omatoiminen varautuminen määrittellään pelastuslaissa [1]. Velvoitteen toteuttaminen edellyttää organisaatiolta onnettomuusriskien tunnistamista ja arviointia, menetelmiä tunnistettujen riskien ehkäisemiseksi sekä toimintavalmiutta onnettomuustilanteissa. Omatoimisen varautumisen auditointi on kehitetty menetelmäksi tunnistaa organisaation varautumisen taso ja sen osa-alueet. Tässä tutkimuksessa omatoimisen varautumisen auditointia nimitetään omatoimisen varautumisen arvioinniksi (OVA). Omatoimisen varautumisen arvioinnissa turvallisuuskulttuuria tarkastellaan turvallisuusjohtamisen, onnetto-

muusriskienhallinnan, turvallisuuteen liittyvien asiakirjojen, rakenteellisen paloturvallisuuden ja turvallisuustekniikan sekä turvallisuusviestinnän ja -osaamisen näkökulmista. Tässä tutkimuksessa keskitytään turvallisuusjohtamisen tarkasteluun.

### Turvallisuudesta kouluissa

Turvallisuus on tutkijoiden mukaan moniulotteinen ja kokonaisvaltainen käsite [7–11], jonka tutkiminen on haasteellista. Turvallinen organisaatio on vapaa tilanteista, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa organisaation ihmisille, omaisuudelle, maineelle, tiedolle tai jatkuvuudelle. Pelastustoimen Pronto-tietokantaan kerätään tiedot tulipaloista. Suomessa opetusrakennuksissa vuosina 2013–2017 raportoidut 530 tulipalotilannetta eli keskimäärin kaksi paloa tai palovaaraa viikossa [2] ovat merkittävä uhkatekijä oppilaiden ja koulun henkilökunnan turvallisuudelle. Tämän vuoksi systemaattista turvallisuuden johtamisosaamista tarvitaan koulutyön arkipäivän käytännöissä sekä proaktiivisena riskiperustaisena toimintana että reaktiivisena toimintana mahdollisessa onnettomuustilanteessa. Levä määrittelee väitöskirjassaan [12, s. 33] turvallisuusjohtamisen olevan ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojelemista sekä turvallisuuden päämäärätietoista kehittämistä.

Työelämän organisaatioiden henkilöstö on yleensä aikuisväestöä, joka toimii ammattilaisena eri alojen työtehtävissä. Koulut eroavat muista työelämän organisaatioista henkilörakenteensa osalta merkittävästi. Kouluissa ja oppilaitoksissa suurin osa toimijoista on oppijoita, oppilaita tai opiskelijoita, jotka vasta opettelevat asioita tulevaa elämäänsä tai ammattiaan varten [21]. Koulun aikuisetkin ovat vain harvoin turvallisuuden asiantuntijoita, vaikka rehtoreilla, opettajilla ja oppilaitoksen muulla henkilökunnalla on turvallisuuteen liittyviä velvollisuuksia ja vastuita [14, s. 1]. Arkitietoon perustuen voidaan todeta, että varsinkin alaikäisten oppijoiden kyky toimia organisaation kriisitilanteissa on rajoittunut. Toistuvalla turvallisuusasioiden käytännön harjoittelulla on keskeinen merkitys organisaatioiden ja siten myös koulun toimijoiden paloturvallisuusosaamisen kehittämisessä [14, s. 26].

Omatoimisen varautuminen on kouluissa ja muissa organisaatioissa erityisen tärkeää, sillä onnettomuuksia voi ehkäistä ainoastaan organisaatio itse. Myös toiminta onnettomuustilanteen ai-

**"Koulun aikuisetkin ovat vain harvoin turvallisuuden asiantuntijoita, vaikka rehtoreilla, opettajilla ja oppilaitoksen muulla henkilökunnalla on turvallisuuteen liittyviä velvollisuuksia ja vastuita."**

kana on koulun oman organisaation vastuulla, kunnes pelastuslaitoksen ja poliisin yksiköt saapuvat paikalle antamaan tukeaan organisaatiolle. Omatoimisen varautumisen taso on yhteydessä vahinkojen suuruuteen. Toteutuessaan onnettomuudet voivat vahingoittaa koulun ihmisiä, ympäristöä, mainetta, toimintaa ja omaisuutta. Turvallisuusjohtamisen keskeisenä tavoitteena onkin varmistua omatoimisen varautumisen toteutumisesta. Turvallisuusjohtamisen avulla tehdään päätöksiä omatoimisen varautumisen toimenpiteistä ja varmistetaan omatoimisen varautumisen tason säilymisestä vähintään lakisäätisellä tasolla. Turvallisuusjohtaminen kattaa rakennuksen omistajan ja haltijan, toiminnanharjoittajan sekä mahdollisten alihankkijoiden toiminnan rakennuksessa.

## TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Tutkimuksessa tarkastellaan dokumenttiaineistoon perusteella kymmenen perusopetuksen koulun turvallisuusjohtamista. Aineistona ovat kouluihin tehdyn omatoimisen varautumisen arvioinnin (OVA) raportit (N=10). Tutkimukseen osallistuneiden koulujen oppilasmäärä oli noin 400–800 oppilasta. Henkilöstön osuus tutkimuskouluissa oli noin kymmenesosa oppilasmäärästä. Mukana oli kolme perusopetuksen alakoulua (luokat 1–6), kolme yläkoulua (luokat 7–9), yksi 5–9-luokkien koulu sekä kaksi yhteiskoulua (luokat 1–9).

Kouluissa tehty arviointi kesti 2–2,5 tuntia. Siihen sisältyi koulun fyysisen ympäristön tarkastus ja tarkastukseen osallistuneen koulun henkilökunnan haastattelu koulun turvallisuudesta. Arviointiin osallistui asiantuntijan lisäksi koulun johtoa, opettajia sekä teknistä henkilökuntaa ja ONNI-hankkeen turvallisuusasiantuntija. Arvioinnin toteutti OVA:an perehtynyt pelastusalan asiantuntija, joka kirjoitti raportin jokaisesta arviointikerrasta. Omatoimista varautumista arvioitiin turvallisuusjohtamisen suhteen viisiportaisella asteikolla kolmen osa-alueen avulla: turvallisuuden vastuunjako, omatoiminen valvonta ja turvallisuuspuutteisiin reagoiminen.

Arviointiraportit analysoitiin teoriasidonnaiseen sisällönanalyysiin perustuen. Aineisto anonymisoitiin ja koulut numeroitiin (K1, K2 jne.). Anonymisoitujen raporttien analyysin toteutti tutkijatiimi, johon kuului alaan erikoistunut tutkija, projektitutkija ja kaksi tutkimusavustajaa. Analyysi toteutettiin NVivo 20 -ohjelmaa käyttäen. Kyseessä oli dokumenttianalyysi, jota varten laadit-

tiin kuusi pääluokkaa sisältävä koodikäsikirja. Pääluokat muodostettiin omatoimisen varautumisen arviointimenuaalin mukaisesti. Näistä ensimmäinen oli A Turvallisuusjohtaminen. Kuten muutkin pääluokat, tämäkin pääluokka jakautui kolmeen alaluokkaan eli Aa vastuunjako, Ab omatoiminen valvonta ja Ac turvallisuuspuutteisiin reagoiminen.

Turvallisuusjohtamista arvioitiin OVA:n mukaisesti 5-portaisella asteikolla [20], jossa taso 1 on heikko taso. Heikolla tasolla koulun toiminnassa havaitaan merkittäviä puutteita ja toiminnassa on tätä kautta korostunut onnettomuusriski. Koulu on jätetty hoitamatta selkeitä pelastuslain 379/2011 edellyttämiä kokonaisuuksia. Puutteellisella tasolla 2 toiminnassa havaitaan selkeitä yksittäisiä puutteita. Taso 2 edellyttää kuitenkin, että pääosa että pääosa pelastuslain 379/2011 vaatimuksista on täytetty. Taso 3 on lakisäätinen taso, ja tällä tasolla koulun toiminta täyttää pelastuslain 379/2011 vaatimukset kaikilta osin. Taso 3 voi sisältää enintään yksittäisiä ja vähäpätöisiä puutteita. Taso 4 on omaehtoinen taso, jolloin koulu täyttää tason 3 vaatimukset ja on kehittänyt toimintaansa yksittäisillä ja selkeillä toimenpiteillä yli lakisäätisen tason. Taso 5 on edistysellinen taso. Tällöin koulu täyttää tason 4 vaatimukset ja on kehittänyt toimintaansa selkeästi kokonaisturvallisuutta kohti.

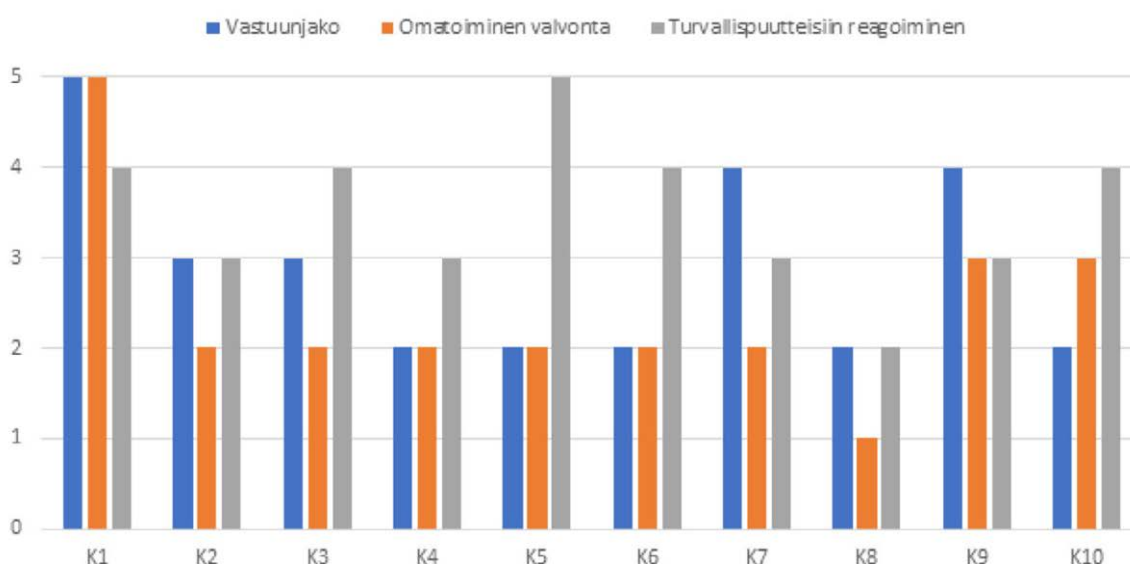
## TUTKIMUKSEN TULOKSIA

Tutkimustulosten perusteella turvallisuusjohtamista organisaation sisäisen vastuunjaon, omatoimisen valvonnan toteuttamisen ja turvallisuuspuutteisiin reagoimisen näkökulmasta kokonaisuutena arvioitaessa. Kun tarkasteltiin turvallisuusjohtamista organisaation sisäisen vastuunjaon, omatoimisen valvonnan toteuttamisen ja turvallisuuspuutteisiin reagoimisen näkökulmasta, lakisäätiselle tasolle (taso 3) ylsi seitsemän koulua kymmenestä. Kaksi koulua jäi puutteelliselle tasolle (taso 2; K4, K8). Vain yksi kouluista (K1) ylsi turvallisuusjohtamisessa kokonaisuutena tasolle edistykselliselle tasolle (taso 5).

### Turvallisuustyön vastuunjako

Turvallisuuden vastuunjaon arvioinnin perusteella vain viidessä kouluista turvallisuusorganisaation vastuunjako oli selkeä. Näissä kouluissa turvallisuuteen liittyvät tehtävät oli jaettu asianmukaisesti koulun toimijoille, kuten rehtorille, turvatiimille ja turval-

## Turvallisuusjohtaminen



Kuvio 2, Perusopetuksen koulujen turvallisuusjohtaminen (N=10) arvioituna asteikolla 1–5.

- lisuusvastaavalle. Rehtorin vastuu turvallisuusjohtajana korostui. Turvallisuuteen liittyvää yhteistyötä tehtiin kouluissa kunnan viranhaltijoiden, kiinteistöhuollon ja muiden palveluntuottajien kanssa. Kouluisännät, kohdevastaavat ja tilapalvelumestarit tunsivat koulut ja kiinteistöt. Kouluissa, joissa turvallisuusorganisaatio oli kuvattu ja dokumentoitu (K1–K3, K7 ja K9), rehtori pystyi jakamaan vastuuta ja turvallisuuteen kuuluvia tehtäviä systemaattisesti.

### Turvallisuuden omavalvonta

Työsuojeluhallinnon mukaan [4] riskien hallinta on järjestelmällistä ja suunnitelmallista toimintaa, jolla työolosuhteet tehdään turvallisiksi. Jotta riskiä voidaan hallita, se tulee ensin tunnistaa. Riskien hallinnassa on kolme vaihetta: vaarojen ja haittojen tunnistaminen, vaaroihin liittyvien riskien merkityksen arviointi ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle sekä riskien poistaminen tai pienentäminen. Kouluissakin turvallisuuspuutteet tulee havaita ennen kuin niihin voidaan reagoida korjaavin toimenpitein. Lainsäädäntö edellyttää, että omatoimisen valvonnan tulee kattaa lähetä piti -tilanteet sekä kaikki havaitut turvallisuuspuutteet onnettomuuksien ehkäisyn ja toimintavalmiuden näkökulmasta. Omatoimisen valvonnan tulee kattaa rakennuksen omistajan ja koulun sekä mahdollisten muiden käyttäjien ja tukipalveluiden toiminta. Omatoimisen valvonnan tulee olla jatkuvaa ja tietyille koulun toimijoille vastuutettua. Lisäksi koulun työntekijöillä ja oppilailla on oltava mahdollisuus ja suorastaan velvollisuus ilmoittaa havaitsemistaan erilaisista turvallisuuspuutteista. Tämä edellyttää yleisesti tiedettyä ja vakiintunutta tapaa ilmoituksen tekemiselle; verbaalista, kirjallista tai mobiililaitteen avulla tehtyä ilmoitusta.

Tulosten mukaan (Kuvio 2) omatoimista turvallisuusvalvontaa eli omavalvontaa toteutettiin säännöllisesti ja systemaattisesti vain kolmessa koulussa (K1, K9 ja K10). Yhdessä koulussa omavalvontaa ei ollut juuri lainkaan ja koulu jäikin arvioinnissa tasolle heikko. Yksi kouluista ylsi parhaalle eli edistykselliselle ta-

solle. Tässä koulussa koulukiinteistössä asuva kouluisäntä toteutti systemaattista omavalvontaa päivittäin, minkä lisäksi turvatiimiin kuuluvat toteuttivat omavalvontaa tarkistuslistojen perusteella. Heillä oli myös koulun verkkosivuilta saatavissa oleva turvallisuuspoikkeamailmoituslomake. Kaksi kouluu pääsi lain vaatimalle tasolle (taso 3) ja kuusi kouluista jäi puutteelliselle tasolle (taso 2) Puutteellisella tasolla omavalvonta on reaktiivista ennakoinnin toiminnan sijaan.

### Turvallisuuspuutteisiin reagoiminen

Havaittuihin turvallisuuspuutteisiin reagoimisessa kaikki tutkimuskoulut, yhtä luukuunottamatta (K8), saavuttivat arvioinnissa lakisääteisen tason (taso 3). Tällä tasolla omatoimiseen varautumiseen kuuluu se, että havaittuihin ja tietoon saatettuihin turvallisuuspuutteisiin ja epäkohtiin reagoidaan oma-aloitteisesti. Turvallisuuspuutteita voi ilmetä minkä tahansa kriteerin osalta. Turvallisuuspuutteisiin reagoimisen tulee toteutua niin rakennuksen omistajan, koulun kuin tukipalveluiden ja muiden käyttäjien osalta. Vastaavasti myös pelastusviranomaisen antamia korjausmääräyksiä tulee noudattaa. Pieniltäkin tuntuviin turvallisuuspuutteisiin reagoiminen on tärkeää, sillä esimerkiksi Heinrichin mukaan pienten turvallisuuspuutteiden lisääntyessä kasvaa organisaatiossa myös mahdollisuus vakavampiin turvallisuuspoikkeamiin ja onnettomuuksiin [22]. Turvallisuuspuutteisiin reagoiminen kertoo organisaation asenteesta turvallisuutta ja viranomaisia kohtaan. Lisäksi tällä tavalla voidaan arvioida omatoimiseen varautumiseen varattujen resurssien riittävyttä. Ongelmaksi kouluissa muodostuikin usein lähinnä se, kuinka hyvin ja aktiivisesti ulkopuoliset palveluntuottajat, kuten kiinteistöhuollon yritykset, reagoivat koulujen turvallisuuspuutteisiin liittyviin palvelutarpeisiin. Tämän tutkimuksen perusteella koulukiinteistössä tai sen yhteydessä asuvat kouluisännät sen sijaan korjasivat puutteet välittömästi, kun he olivat huomanneet puutteen tai saaneet niistä tiedon.



nouhata.fi

NouHädän 28. kauden teemana:  
**Häiriötilanteisiin varautuminen**

PSR  
PALOSUOJELURAHASTO

Suomen Pelastusalan  
Keskusjärjestö  
**SPEK**



Tämä tutkimus tuottaa uutta tietoa perusopetuksen koulujen turvallisuusjohtamisesta. Tulosten mukaan kymmenestä koulusta kuusi ylsi lain vaatimusten tasolle, jota voidaan pitää lakisääteisenä vähimmäistasona. Yksi koulu (K1) pääsi edistykselliselle tasolle, koska he olivat kehittäneet koulunsa turvallisuusjohtamista oman koulunsa tarpeista käsin proaktiivisesti. Huolestuttavaa oli havaita, että kahdessa koulussa turvallisuusjohtaminen oli kokonaisuutena puutteellista. Parhaiten kouluissa hoidettiin turvallisuusjohtamisen osalta turvallisuuspuutteisiin reagoiminen (Kuvio 2). Sen sijaan turvallisuuden vastuunjakoa oli näissä kouluissa epäselvää. Turvallisuuskulttuuria olisi parantanut vastuunjakoon liittyvien dokumenttien tarkentaminen siten, että turvallisuuteen liittyvät tehtävät ja vastuut olisi kuvattu yksityiskohtaisemmin. Vaikka turvallisuusjohtaminen [3] ja vastuu turvallisuudesta kuuluu viime kädessä rehtorille, rehtori ei voi luoda koulun turvallisuuskulttuuria yksin [11]. Turvallisuuden vastuunjaon osalta viisi koulua jäi puutteelliselle tasolle. Näissä kouluissa turvallisuus oli enimmäkseen yksittäisten työntekijöiden varassa. Kaikkein eniten kehitettävää oli omatoimisen valvonnan toteuttamisessa. Kuusi koulua jäi tässä puutteelliselle tasolle, yksi jopa heikolle tasolle (Kuvio 2). Vastauksena tutkimuskysymykseen esitämme, että perusopetuksen turvallisuusjohtamisessa on paljon kehittämistä kaikilla tässä tarkastelluilla osa-alueilla, erityisesti turvallisuuden vastuunjaossa, mutta aivan erityisesti omatoimisessa valvonnassa. Erityisiä vahvuuksia ei voida tämän tutkimuksen perusteella esittää.

Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat dokumenttiaineistoon eli kymmeneen OVA-raporttiin, jotka pelastusalan asiantuntija tuotti kouluissa paikan päällä arvioinnin ja siihen liittyvän haastattelun toteutettuaan. Arvioijalla oli mahdollisuus verrata omaa näkemystään OVA:n arviointimenuaaliin [20]. Tämän perusteella voidaan olettaa, että kaikkia kouluja arvioitiin samoilla tasarvoisesti samoin kriteerein viisiportaisella arviointiasteikolla heikosta edistyksellisestä. Vaikka arviointi onkin sisältänyt tulkintaa, voidaan kuitenkin päätellä, että arviointimenettely tuotti suhteellisen luotettavaa ymmärrystä turvallisuusjohtamisen tutkituista osa-alueista kussakin tutkimuskoulussa.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että perusopetuksen koulujen turvallisuusjohtamisjärjestelmä tunnistaa lähinnä normiohjauksella vaadittavan turvallisuuden hallinnan. Näyttää siltä, että kouluissa tarvittaisiin laajempaa ymmärrystä koulun turvallisuusjohtamisen kokonaisuudesta ja siihen liittyvistä toimintamalleista, kuten vastuun jakamisesta, turvatiimien rooleista ja turvallisuushavaintojen merkityksestä. Tutkimus herättää myös kysymyksen, miten turvallisuusjohtamiseen liittyvää osaamista on mahdollista oppia opettajien ja rehtorien peruskoulutuksessa. Valmistuvat opettajat vievät opettajakoulutuksessa mahdollisesti omaksumansa turvallisuustietämyksensä tuleviin työpaikkoihinsa ympäri Suomea. Nykyisellään valmistuvat opettajat tiedostavat [21] koulutuksensa kautta jakamattoman vastuunsa yksittäisen oppilaansa tai opetusryhmänsä turvallisuudesta. Proaktiivinen turvallisuustoiminta, kuten turvallisuusjohtaminen, riskienhallinta ja onnettomuuksien ehkäisy eivät ole mukana maamme opettajakoulutuslaitosten eivätkä rehtoriksi pätevöityvän opetushallinnon tutkinnon opetussuunnitelmissa.

Opetushallitus toteaa dokumentissaan Yleissivistävän koulutuksen turvallisuustyön organisointi ja johtaminen [23], että koulutuksen järjestäjän tehtävänä on huolehtia ja vastata siitä, että koulun turvallisuustyö on organisoitu asianmukaisesti ja että turvallisuustyöhön on varattu resursseja. Koulutuksen järjestäjällä on siis velvollisuus valvoa, että koulun turvallisuuteen liittyvät suunnitelmat ja ohjeet ovat ajan tasalla. Tämän tutkimuksen tulosten poh-

## "Ongelmaksi kouluissa muodostuikin usein lähinnä se, kuinka hyvin ja aktiivisesti ulkopuoliset palveluntuottajat, kuten kiinteistöhuollon yritykset, reagoivat koulujen turvallisuuspuutteisiin liittyviin palvelutarpeisiin."

jalta oppilaitosten johdon täydennyskoulutukseen tulisi ehdottomasti sisällyttää turvallisuusjohtaminen omana sisältöalueenaan. Näin koulun johdon on mahdollista oppia ylläpitämään ja kehittämään koulun turvallisuusjohtamista juuri oman koulunsa lähtökohdista ja erityispiirteistä käsin. Ilman osaamista koulun turvallisuusjohtaminen perustuu enemmän tuuriin ja reaktiiviseen toimintaan kuin tiedon ja taidon perusteella toteutuvaan systemaattiseen ja proaktiiviseen turvallisuustyöhön.

Tämä tutkimus toteutettiin noin 400–800 oppilaan kouluissa ja mukana oli sekä ala-, ylä- ja yhtenäiskouluja. Siten voidaan todeta, että tutkimus antaa alustavia tutkimustuloksia perusopetuksen koulujen turvallisuusjohtamisesta. Toisaalta se ei kuitenkaan rajoitu mihinkään kouluasteeseen, joten tuloksia voidaan tarkastella perusopetuksen osalta laajasti. On huomattava, että vaikka yksi koulu ylsi OVA:ssa muita koulujen selkeästi paremmalle, edistykselliselle tasolle, koulujen turvallisuusjohtamisessa ei ole mainittavia eroja koulun koon tai kouluasteen suhteen. Jatkotutkimuksessa perusopetuksen turvallisuusjohtamista tulee tarkastella numerukseltaan laajemmassa tutkimuksessa. Jatkotutkimuksella tulisi selvittää, onko turvallisuusjohtamisessa tunnistettavissa eroja kouluasteiden välillä. Tämä tuottaisi tietoa, jonka avulla turvallisuusjohtamisen koulutusta voitaisiin kohdentaa eri kouluasteiden turvallisuudesta vastaaville työntekijöille heidän tehtäviään tukevalla tavalla.

On huomattava, että varsinaisen perusopetuksen koulun toiminnan lisäksi turvallisuusjohtaminen kattaa rakennuksen omistajan ja haltijan, toiminnanharjoittajan sekä mahdollisten alihankkijoiden toiminnan rakennuksessa. Turvallisuusjohtaminen [12] ihmisten, ympäristön ja omaisuuden suojelemisena sekä turvallisuuden päämäärätietoisena kehittämisenä [20] edellyttää tutkimuksen tulosten perusteella opetuksen järjestäjiltä ymmärrystä turvallisuusjohtamisen merkityksestä kouluissa sekä toimenpiteistä turvallisuusjohtamisen kehittämiseksi.

Kysymys on myös opetusalan henkilöstön perus- ja täydennyskoulutuksen kehittämisestä. Kouluasteesta riippumatta turvallisuusjohtaminen on keskeinen elementti, kun kouluissa tavoitellaan vähintäänkin lain vaatimukset, tai jopa lainsäädännön vähimmäistason ylittävää turvallisuuskulttuuria.

### LÄHDELUETTELO

1. Pelastuslaki 379/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>
2. PRONTO. Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastojärjestelmä. Sisäministeriö.
3. Kerko, P. 2001. Turvallisuusjohtaminen. PS-kustannus.
4. Turvallisuusjohtaminen. 2010. Tampere: Työsuojeluhallinto. ►

- 5. Ruuhilehto, K., & Vilppola, K. 2000. Turvallisuuskulttuuri ja turvallisuuden edistäminen yrityksessä. TUKES-julkaisu 1/2000. Helsinki: Turvatekniikan keskus.
6. Pelastuslaki 379/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>
7. Niemelä, P., & Lahikainen, A. (toim.) 2000. Inhimillinen turvallisuus. Tampere: Vastapaino.
8. Niemelä, P. 2000. Turvallisuuden käsite ja tarkastelukehikko. In: P. Niemelä & A. Lahikainen (toim.), Inhimillinen turvallisuus. Tampere: Vastapaino, 1–37.
9. Rasimus, M. 2002. Turvattomuus työoverina – Turvattomuus ja väkivalta sairaalan päivystyspoliklinikalla. Väitöskirja. Kuopion yliopiston julkaisuja E. Yhteiskuntatieteet 98.
10. Pentti, V. 2003. Turvallinen yhteisö – turvattu yksilö. Turvallisuutta kasvatuksen ja yhteiskuntapolitiikan keinoin. Helsinki: Yliopistopaino.
11. Waitinen, M. 2011. Turvallinen koulu? Helsingiläisten peruskoulujen turvallisuuskulttuurista ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Helsingin yliopisto. Helsingin yliopiston Opettajankoulutuslaitoksen tutkimuksia 334.
12. Levä, K. 2003. Turvallisuusjohtamisjärjestelmien toimivuus: vahvuudet ja kehityshaasteet suuronnettomuusvaarallisissa laitoksissa. Väitöskirjatutkimus. Helsinki: Turvatekniikan keskus.
13. Somerkoski, B., Kärki, T. & Lindfors, E. 2019a. Koulun ulkopuoliset turvallisuusasiantuntijat opetustyön tukena. In M. Rautiainen & M. Tarnanen (toim.) Tutkimuksesta luokkahuoneisiin. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja. Ainedidaktisia tutkimuksia 15, pp. 265–281, Jyväskylän yliopisto, opettajankoulutuslaitos, Jyväskylä, 2019a, <http://hdl.handle.net/10138/298542>.
14. Waitinen, M., Lindfors, E., Somerkoski, B. & Hilmola, A. 2021. Toistuvan käytännön harjoittelun merkitys organisaatioiden toimijoiden paloturvallisuusosaamisessa. [https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2021/08/PTP\\_2021.pdf](https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2021/08/PTP_2021.pdf)
15. Lindfors, E. & Somerkoski, B. 2016. Turvallisuusosaaminen opetussuunnitelmassa. Teoksessa H.-M. Pakula, E. Kouki, H. Silfverberg & E. Yli-Panula (toim.) Uudistuva ja uusiutuva ainedidaktiikka. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja. Ainedidaktisia tutkimuksia 11, Turun yliopisto, opettajankoulutuslaitos, Turku, 2016, pp. 328–343, <http://hdl.handle.net/10138/174336>
16. Lindfors, E., Somerkoski, B., Waitinen, M., Jyrhämä, R., Sorunen, K. & Seppälä, T. 2020. Opettajankoulutuksen omatoimisen varautumisen tilannekuva ja kehittämissuuntia. In: Puustinen, A. (toim.) Pelastus - ja turvallisuustutkimuksen vuosikirja 2020. Pelastusopiston julkaisu, D-sarja N/2020. Pelastusopisto, Kuopio, 2020, pp. 55–88, [https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Pelastus-ja-turvallisuustutkimuksen-vuosikirja-2020\\_final.pdf](https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Pelastus-ja-turvallisuustutkimuksen-vuosikirja-2020_final.pdf)
17. Puolitaival, M. & Lindfors, E. 2019. Turvallisuuskasvatuksen tavoitteiden tilannekuva perusopetuksessa – dokumenttiaineistoon perustuvaa pohdintaa. In: Rautiainen, M. & Tarnanen, M. (toim.) Tutkimuksesta luokkahuoneisiin. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja. Ainedidaktisia tutkimuksia 15. <http://hdl.handle.net/10138/298542>.
18. Somerkoski, B., Kärki, T. & Lindfors, E. 2019a. Koulun ulkopuoliset turvallisuusasiantuntijat opetustyön tukena. In: Rautiainen, M. & Tarnanen, M. (toim.) Tutkimuksesta luokkahuoneisiin. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja. Ainedidaktisia tutkimuksia 15, pp. 265–281, Jyväskylän yliopisto, opettajankoulutuslaitos, Jyväskylä, 2019a, <http://hdl.handle.net/10138/298542>.
19. Lindfors, E., Somerkoski, B., Kärki, T. & Kokki, E. 2017. Perusopetuksen oppilaiden turvallisuusosaamisesta. In M. Kallio, R. Juvonen & A. Kaasinen (eds.) Jatkuvuus ja muutos opettajankoulutuksessa. Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja. Ainedidaktisia tutkimuksia 12, pp. 109–126. Helsingin yliopisto, Helsinki, 2017. <http://hdl.handle.net/10138/174336>.
20. Omatoimisen varautumisen auditointi OVA. 2013. Helsingin pelastuslaitos. Auditointimenuaali.pdf (hel.fi)
21. Lindfors, E. & Somerkoski, B. 2018. Turvallisuuden edistäminen oppimisympäristössä. In: Hiltunen, M. & Granö, P. (toim.) Suhteessa maailmaan. Ympäristöt oppimisen avaajina. Rovaniemi: Lapland University Press, 291–305. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-310-934-6>
22. Heinrich, H. 1931. Industrial Accident Prevention, A Scientific Approach. Travelers Insurance Company 1931. [https://openlibrary.org/books/OL6754051M/Industrial\\_accident\\_prevention](https://openlibrary.org/books/OL6754051M/Industrial_accident_prevention)
23. OPH. Yleissivistävän koulutuksen turvallisuustyön organisointi ja johtaminen | Opetushallitus (oph.fi).



**Kärkijoukoissa tiedät, missä mennään!**

**Tilaa entistä tuhdimpi lehti osoitteessa [pelastustieto.fi](http://pelastustieto.fi)**

**Pelastustieto**  
system



# Väestönrakenteen vanhenemisen vaikutukset paloriskeihin

## Tiivistelmä

Suomessa alhainen syntyvyys ja elinajan piteneminen aiheuttaa pysyvän muutoksen väestön ikärakenteeseen. Väestön ikääntymisen vaikutuksia on tutkittu eri hallinnonaloilla, mutta ilmiön mahdollisista vaikutuksista onnettomuuksien, kuten rakennuspalojen esiintyvyyteen on vähän tutkittua tietoa. Tämä tutkimus syventää tietämystä siitä, miten väestönrakenteen vanheneminen vaikuttaa alueellisiin rakennuspaloriskeihin tulevaisuudessa. Alueellisia riskejä arvioitiin tutkimalla eri ikäryhmien painoarvoa rakennuspalojen esiintyvyydessä ohjatun koneoppimisen menetelmällä ja vertaamalla tuloksia Tilastokeskuksen väestöennusteeseen kuntakohtaisesti. Tulokset viittaavat siihen, että yli 70-vuotiailla henkilöillä sekä nuorilla aikuisilla (20–29-v.) on suurin vaikutus rakennuspalojen esiintyvyyteen. Kuntien välillä on suuria eroja väestönrakenteissa, väestöllisessä huoltosuhteessa ja niiden kehityksessä. Näin ollen kunnilla on erilaiset tarpeet ja valmiudet tukea kotona asuvia iäkkäitä henkilöitä paloturvallisuusratkaisuissa, kun iäkkäiden osuus väestöstä kasvaa. Riskeihin tulisi varautua ennalta ehkäisevästi. Väestön ikärakenne ja sen muutokset tulisi huomioida myös pelastustoimen riskianalyseissa.

## TUTKIMUKSEN TAUSTA

Suomessa alhaisen syntyvyyden ja elinajan pitenemisen takia iäkkäiden osuus väestöstä kasvaa, aiheuttaen pysyvän muutoksen väestön ikärakenteeseen [1]. Kun iäkkäiden määrä kasvaa, työvoiman ulkopuolella olevien määrä suhteessa työllisiin kasvaa, heikentäen väestön huoltosuhdetta. Muutokset väestön ikärakenteessa aiheuttavat haasteita moneen yhteiskunnan osa-alueeseen, kuten julkiseen talouteen, sosiaali- ja terveystalouteen, infrastruktuuriin sekä yleisesti yhteiskunnan järjestelmiin ja toimintatapoihin. Työikäisen väestön osuuden on arvioitu laskevan nykyisestä 62 prosentista 57 prosenttiin vuoteen 2060 mennessä [2]. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksen mukaan väestön ikärakenteen muutokseen on varauduttu eri hallinnon aloilla

[3], mutta sen vaikutusta onnettomuuksien alueellisiin esiintyvyyksiin ei ole tutkittu Suomessa.

Aiemman tutkimuksen mukaan iäkkäillä henkilöillä on suurempi riski loukkaantua tai menehtyä rakennuspalossa [4]. Iän aiheuttama toimintakyvyn alentuminen voi heikentää reagoimis- ja altistaa esimerkiksi liesionnettomuuksille [5]. Kun iäkkäiden määrä kasvaa, toimintakyvyltään heikentyneiden ihmisten määrän voidaan ennakoita myös kasvavan tulevaisuudessa. Tilastokeskuksen 2021 tekemien ennusteiden mukaan yli 65-vuotiaiden henkilöiden osuus koko väestöstä kasvaa 10 prosenttia seuraavan 50 vuoden aikana [6]. Vastaavasti 15–64-vuotiaiden osuus väestöstä laskee kuusi prosenttia ja alle 15-vuotiaiden osuus vähenee neljä prosenttia.

Väestön vanhenemisen vaikutus rakennuspaloriskeihin on tunnistettu kansainvälisessä tutkimuksessa. Esimerkiksi Kanadassa iäkkäiden palokuolemien määrän on ennakoitu kasvavan nykyisestä 50 vuosittaisesta tapauksesta jopa 140:een seuraavan 25 vuoden aikana [7]. Englannissa tehdyn tutkimuksen mukaan väestönrakenteen ennakoitun kehityksen seurauksena iäkkäiden ja toimintakyvyltään rajallisten liittyvä paloriski kasvaa, kun taas tupakointiin ja alkoholinkäyttöön liittyvä paloriski pienenee, lukuun ottamatta ikääntyneiden alkoholinkäyttöä. Analyysin perusteella palontorjuntatoimenpiteet tulisi kohdentaa erityisesti näihin kohderyhmiin [8].

Jotta väestönrakenteen muutokset pystytään huomioimaan alueellisissa rakennuspalojen riskiarvioissa, on tarpeellista syventää tietämystä siitä, miten väestönrakenteiden muutos, kuten väestönrakenteen vanheneminen, vaikuttaa alueellisiin rakennuspaloriskeihin Suomessa tulevaisuudessa.

Väestönrakenteen vanhenemisen vaikutusta rakennuspaloriskeihin tutkittiin osana PSR:n rahoittamaa Riskianalyysimallit onnettomuuksien ehkäisyssä -hanketta (2022). Hanke on jatkumoa SPEKin ennakoivan analytiikan tutkimushankkeelle, jossa kehi-



- ▶ tettiin laskennallista menetelmää, jolla voidaan laskea rakennuspaloriskiarvoja kohteille [9]. Jatkohankkeessa hyödynnettiin aiemmin laadittua tietopohjaa henkilövahinkoihin johtavien rakennuspaloihin liittyvien riskitekijöiden määrittämisessä sekä arvioitiin, miten väestön vanheneminen tulee vaikuttamaan rakennuspaloriskeihin tulevaisuudessa [10].

## AINEISTOT JA MENETELMÄT

Eri ikäryhmien vaikutusta rakennuspalojen esiintyvyyteen tutkittiin ohjatun koneoppimisen menetelmillä käyttämällä paikkatietoaineistoja rakennuspalojen sijainneista ja alueellisista ikärakenteista. Analyysissä hyödynnettiin valtakunnallisia paikkatietoaineistoja, kuten Tilastokeskuksen FOLK-henkilöaineiston perustietomodulien ikätietoja, Tilastokeskuksen paikkatietoruudukkoa (250 m<sup>2</sup>) sekä PRONTOn onnettomuustietoja. Aineistoja oli käytettävissä vuosilta 2008–2020. Alueellisten vaikutusten arvioinnissa hyödynnettiin Tilastokeskuksen Kuntien avainluvut 1987–2021 avointa aineistoa.

Tilastokeskuksen FOLK-aineistoissa jokaiselle vuodelle on kirjattu henkilön ikä kunkin vuoden lopussa. Modulien suojatun henkilön numeron perusteella muuttujat yhdistettiin vastaavan vuoden paikkatietoruudukkoon. Muuttujat jaettiin seuraaviin ikäluokkiin; henkilön ikä vuosissa vuoden lopussa 0–9, 10–19, 20–29, 30–39, 40–49, 50–59, 60–69, 70–79 tai >79 vuotta. Muuttujista muodostettiin arvot ruudukkoihin sen perusteella, mikä niiden osuus on ruudussa olevasta asukasmäärästä. Analyysissä ruutuja vertaillaan keskenään rakennuspalojen esiintyvyyden ja muuttujien osuuksien perusteella.

PRONTOn aineistoista suodatettiin rakennuspalot ja rakennuspalovaarat. Haetut tiedot sisälsivät onnettomuustyyppin, tapahtumavuoden ja koordinaattitiedot. Koordinaatit muunnettiin ETRS-TM35FIN-tasokoordinaattijärjestelmän mukaisiksi, jotta tiedot saatiin yhdistettyä muihin aineistoihin. Aineisto sisältää 72092 rakennuspaloa ja rakennuspalovaaraa. Rakennuspalot yhdistettiin ikämuuttujien kanssa samoihin paikkatietoruudukkoihin tapahtumavuosi kerrallaan. Lopuksi tiedostot yhdistettiin opetusaineistoksi.

Ikämuuttujien painoarvoa rakennuspalojen esiintyvyyteen arvioitiin käyttämällä Gradient Boosting -tekniikkaa hyödyntävää XGBoost-algoritmia. XGBoostiin perustuvassa mallinnuksessa hyödynnettiin Matrix- ja Xgboost -laajennuspaketien ohjelmistokoodia [11,12]. Mallin luotettavuutta arvioitiin 10-kertaisella ristivalidointimenetelmällä, jossa 75 % aineistosta käytettiin mallin koulutukseen ja 25 % mallin testaamiseen. Tähän käytettiin ca-

## "Aineisto sisältää 72092 rakennuspaloa ja rakennuspalovaaraa. Rakennuspalot yhdistettiin ikämuuttujien kanssa samoihin paikkatietoruudukkoihin tapahtumavuosi kerrallaan."

Tools-laajennuspaketin ohjelmistokoodia [13]. Mallin suorituskykyä arvioitiin ROC-käyrän (receiver operating characteristic) AUC-arvon (area under ROC-curve) perusteella, joka kuvaa mallin kykyä luokitella käytettävissä olevaa aineistoa mittaamalla mallin oikea- ja väärä-positiivisuusasteiden suhdetta [14].

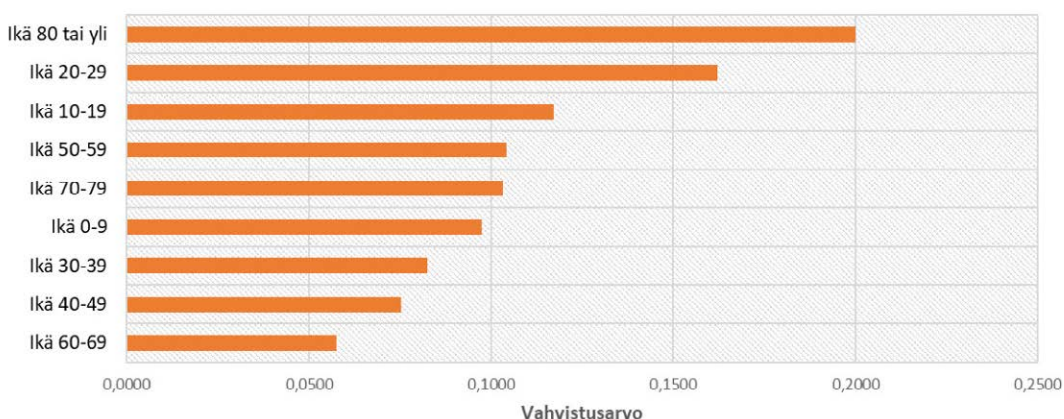
Muuttujien, eli eri ikäluokkien painoarvoa rakennuspalojen esiintyvyydessä arvioitiin käyttämällä XGBoost-algoritmin vahvistusarvoa (gain) ja havaintojen suhteellista lukumäärää (cover). Vahvistusarvo mittaa muuttujien painoarvoa ilmiön esiintyvyydessä, eli kuinka paljon yksittäinen muuttuja vaikuttaa mallin tarkkuuteen. Mitä korkeampi muuttujan arvo on, sitä suurempi vaikutus sillä on päätöksenteossa verrattuna muihin muuttujiin. Havaintojen suhteellinen lukumäärä mittaa yksittäisiin muuttujiin liittyvien havaintojen suhteellista määrää mallin päätöspuiden haaroissa. Alueellisia riskejä arvioitiin tutkimalla eri ikäryhmien painoarvoa rakennuspalojen esiintyvyydessä ja vertaamalla sitä viralliseen Tilastokeskuksen väestöennusteeseen kuntakohtaisesti.

## TULOKSET

### Eri ikäryhmien vaikutus rakennuspalojen esiintyvyyteen

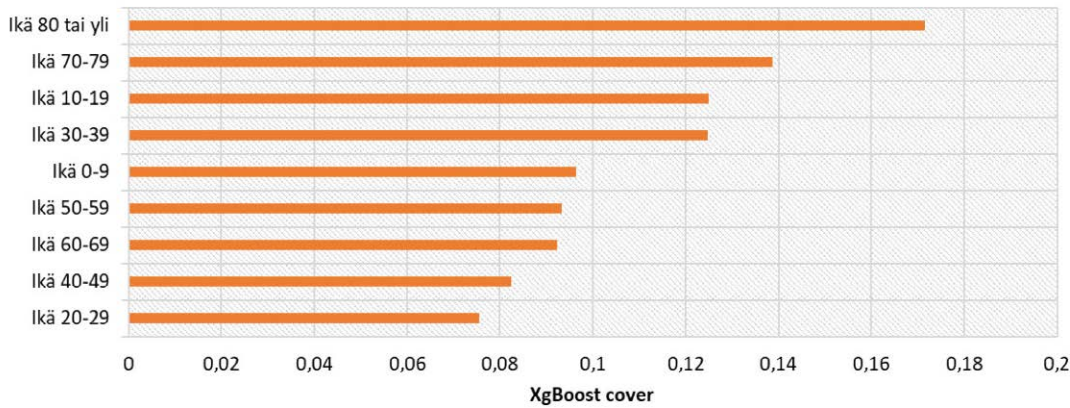
Tulokset viittaavat siihen, että yli 70-vuotiailla henkilöillä sekä nuorilla aikuisilla (20–29-v.) on suurin vaikutus rakennuspalojen esiintyvyyteen. Tarkastellessa eri ikäryhmien painoarvoa mallinnuksessa, yli 80-vuotiaiden ryhmällä oli suurin vahvistusarvo (kaavio 1), vaikka tähän ikäluokkaan kuuluvia on määrällisesti vähiten aineistoissa (kaavio 2). 20–29-vuotiaiden esiintyvyydellä on toiseksi suurin vahvistusarvo (kaavio 1), mutta havaintojen suhteellinen lukumäärä on pienin (kaavio 2), koska ikäryhmään

Rakennuspalojen esiintyvyys: Ikämuuttujien painoarvo



Kaavio 1. Ikämuuttujien painoarvo mallinnuksessa. Mitä suurempi vahvistusarvo, sitä merkittävämpi muuttuja on rakennuspalojen esiintyvyydessä.

## Rakennuspalojen esiintyvyys: Havaintojen suhteellinen lukumäärä



Kaavio 2. Ikämuuttujiin liittyvien havaintojen suhteellinen lukumäärä, joka mittaa yksittäisiin muuttujiin liittyvien havaintojen suhteellista määrää mallin päätöspuiden haaroissa.

kuuluvia oli aineistoissa eniten. 70–79-vuotiailla havaintojen suhteellinen lukumäärä oli toiseksi suurin rakennuspalojen esiintyvyydessä, vaikkakin ikäryhmän vahvistusarvo on mallinnuksessa keskivaiheilla verrattuna muihin ikäryhmiin.

### Väestörakenteen vanheneminen alueellisesti

Tarkastellessa Suomen kuntien historiallista ikäjakaumaa, yli 65-vuotiaiden osuus väestössä on kasvanut jokaisessa kunnassa 30 viime vuoden ajan [15]. Kasvun suuruudessa on eroja kuntien välillä. Viimeisen 30 vuoden aikana esimerkiksi Getan, Limingan ja Vesilahden kunnissa yli 65-vuotiaiden osuus väestöstä on kasvanut alle 2 %. Enimmillään iäkkäiden osuus on kasvanut Posiossa (23 %), Kaskisilla (23 %), Hyrynsalmella (22 %), Pellossa (22 %) ja Kemijärvellä (21 %).

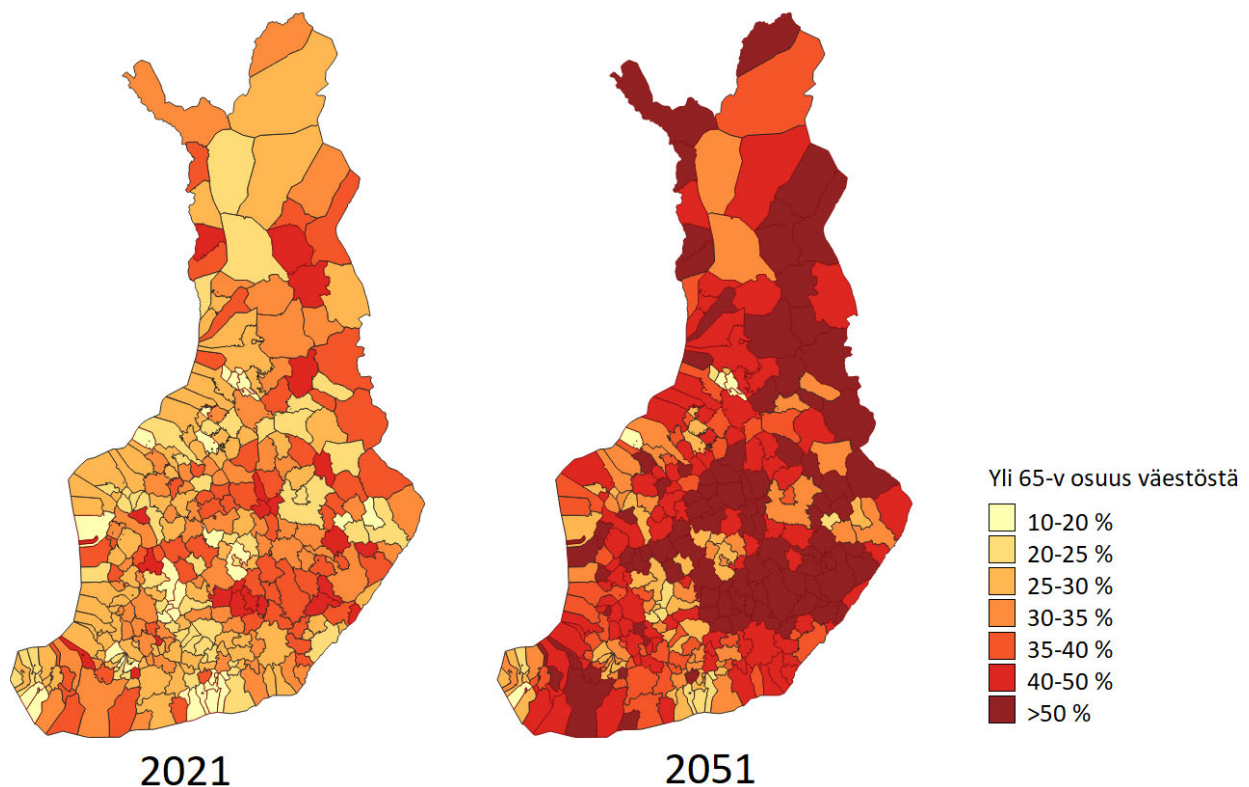
Vuonna 2021 76 kunnassa yli 65-v. osuus väestöstä oli alle 25 %, 154 kunnassa 25–35 %, 54 kunnassa 35–40 % ja 25 kunnassa 40–50 % (kuva 1). Jos kuntien väestörakenteen kehitys jat-

kuu samankaltaisesti kuin viimeisen 30 vuoden aikana, vuonna 2051 14 kunnassa yli 65-v. osuus väestöstä on alle 25 %, 66 kunnassa 25–35 %, 42 kunnassa 35–40 % ja 91 kunnassa 40–50 % ja 96 kunnassa yli 50 %.

Esimerkiksi Posiolla, Pellossa ja Hyrynsalmella yli 65-vuotiaiden osuus väestöstä oli 12–14 prosenttia vuonna 1991, ja 41–43 prosenttia vuonna 2021. Jos alueen syntyvydessä, kuolleisuudessa tai muuttoliikkeessä ei tapahdu huomattavia muutoksia, yli 65-v. osuus väestöstä on 71–73 prosenttia vuoteen 2051 mennessä. Kuntiin, joissa yli 65-v. osuus on 25 prosenttia 2051 ennusteessa, kuuluvat Liminka, Tyrnävä, Jomala, Luoto, Helsinki, Vesilahti, Pornainen, Lempäälä, Espoo, Tampere, Sipoo, Oulu, Lumijoki ja Geta.

### Pohdinta ja johtopäätökset

Tarkastellessa ikämuuttujien vaikutusta rakennuspalojen esiintyvyyteen, voidaan todeta, että erityisesti yli 70-vuotiaat sekä 20–29-vuotiaat ovat alttiita rakennuspaluille. Tulee kuitenkin ot-



Kuva 1. Yli 65-vuotiaiden osuus väestöstä 2021 ja osuus 2051, jos osuuden kasvu jatkaa kunnissa samaa vauhtia, kuin edellisen 30 vuoden aikana (1991–2021). Historialliset väestötiedot perustuvat Tilastokeskuksen Kuntien avainluvut 1987–2021 -aineistoon [15]. Karttapohjana on käytetty Maanmittauslaitoksen avoimesti saatavilla olevaan hallinnollisten alueiden vektoritiedostoa [16].

- taa huomioon, että muuttujat kuvaavat 250 m<sup>2</sup>:n alueita, joilla asuu yli kolme henkilöä. Näin ollen ikäjakauman vaikutus kuvaa parhaiten kaupunkiympäristöä.

Kun hankkeen aiemmassa vaiheessa rakennuspalojen mallintamiseen hyödynnettiin sekä sosioekonomisia että rakennuksia kuvaavia tekijöitä, joilla saattaa olla välitön tai välillinen vaikutus rakennuspalojen esiintyvyyteen, ikämuuttujat eivät kuitenkaan korostuneet yksinään painavimpina rakennuspaloja selittävinä tekijöinä [9]. Sen sijaan sosioekonomiset tekijät korostuivat aineistoista. Väestön vanhenemisen aiheuttavat rakenteelliset muutokset saattavat kuitenkin vaikuttaa myös sosioekonomisiin rakenteisiin. Jos kotona asuvien iäkkäiden henkilöiden määrä kasvaa, tarvitaan paloturvallista asumista tukevia ratkaisuja, jotka ovat sosioekonomisesta tilanteesta riippumatta saavutettavissa.

Väestörakenteen ja väestöllisen huoltosuhteen erot ovat paikoit- tain suuria eri kuntien välillä, joten kunnilla on erilaiset tarpeet ja valmiudet tukea heikompiosaisia paloturvallisuusratkaisuissa. Aiemman tutkimuksen mukaan esimerkiksi palo- ja poistumistur- vallisuus ei toteudu kotihoidossa järjestelmällisesti, vaikkakin siinä on ollut havaittavissa myönteistä kehitystä [17]. Kotihoidon re- sursseja tulisi erityisesti tarkastella kunnissa, joissa valtaosa väes- töstä on iäkkäitä. Resurssien kohdentamisella on myös tältä osin vaikutusta alueellisiin rakennuspaloriskeihin.

Paloriskiä voidaan pienentää esimerkiksi teknisillä ratkaisuilla, kuten turvallisemmalla liedellä tai liesiturvallisuuslaitteilla. Kun iäkkäiden määrä kasvaa, tulisi kotona asuvien vanhusten palotu- vallisuu-teen kiinnittää erityisesti huomiota. Paloturvallisuustek- niikka, kuten liesiturvalaitteet, voivat olla liian kalliita sosioeko- nomisesti heikommassa asemassa olevilla henkilöille [5], mut- ta aiemman tutkimuksen mukaan niiden hankinta olisi kustan- nushyödyllään kannattavaa toimintarajoitteisten henkilöiden ta- loudessa [18].

## KIITOKSET

Kiitos Palosuojelurahastolle sekä Ennakoivan analytiikan tutki- mushankkeen että sen jatkohankkeen rahoittamisesta, jonka osa- na tämä tutkimus on tehty. Kiitos Tuula Kekki ja Kari Telaranta avusta aineistojen kokoamisesta sekä tuesta ja neuvoista hankkei- den aikana. Kiitos myös hankkeen ohjausryhmälle.

**"Väestön vanhenemisen aiheuttavat rakenteelliset muutokset saattavat kuitenkin vaikuttaa myös sosioekonomisiin rakenteisiin. Jos kotona asuvien iäkkäiden henkilöiden määrä kasvaa, tarvitaan paloturvallista asumista tukevia ratkaisuja, jotka ovat sosioekonomisesta tilanteesta riippumatta saavutettavissa."**

## LÄHDELUETTELO

1. Kestilä L, Martelin T., 2018. Suomen väestörakenne ja sen ke- hitys. Teoksessa: Kestilä, L Karvonen S, toim. Suomalaisen hyvin- vointi 2018. Helsinki: THL, 2018:26–45.
2. Tilastokeskus, 2021a. Suomen virallinen tilasto (SVT): Väes- töennuste [verkkojulkaisu]. ISSN=1798–5137. 2021. [http://www.stat.fi/til/vaenn/2021/vaenn\\_2021\\_2021-09-30\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/vaenn/2021/vaenn_2021_2021-09-30_tie_001_fi.html) [3.5.2023]
3. Parjanne, M., 2004. Väestön ikärakenteen muutoksen vaiku- tukset ja niihin varautuminen eri hallinnonaloilla. Sosiaali- ja ter- veysministeriön selvityksiä 2004:18. Sosiaali- ja terveysministeriö.
4. Haikonen, K., 2020. Fire-related injuries and their burden in Finland 2000–2010. Ph.D. Thesis, University of Helsinki, Helsin- ki, Finland.
5. Ojala, T. (2021). Turvatekniikka ja liesipalojen ehkäisy. Palo- ja turvallisuustutkimuksen vuosikirja 2021.
6. Tilastokeskus, 2021. Väestöennuste: Väestö 31.12. muuttuji- na Vuosi, Sukupuoli, Ikä ja Tiedot. Tilastokeskuksen PxWeb-tie- tokannat. [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_vaenn/statfin\\_vaenn\\_pxt\\_128t.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__vaenn/statfin_vaenn_pxt_128t.px/) [3.5.2023]
7. Garis, L. and Biantoro, C., 2019. Fire Risk in Senior Popula- tion. University of the Fraser Valley, School of Criminology and Criminal Justice.
8. Taylor, M., Appleton, D., Oakford, G. and Fielding, J., 2021. Population trends and fire prevention in Merseyside UK. Fire technology, 57(4), pp.1783–1802.
9. Kuurne, L. & Telaranta, K., 2022. Ennakoiva analytiikka ja ohjattu koneoppiminen rakennuspaloriskien mallintamisessa. SPEK tutkii, 17. [https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2023/02/SPEK\\_tutkii\\_27.pdf](https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2023/02/SPEK_tutkii_27.pdf) [3.5.2023]
10. Kuurne, L., 2023. Riskianalyysimallit onnettomuuksien eh- käisyssä. SPEK tutkii, 29. <https://www.spek.fi/vaikuttaminen/tutkimukset/julkaisut/> [15.5.2023]
11. Chen, T., He, T., Benesty, M., Khotilovich, V., Tang, Y., Cho, H., & Chen, K., 2015. Xgboost: extreme gradient boosting. R package version 0.4–2, 1(4), 1–4.
12. Bates, D. & Maechler, M. M., 2021. Package 'Matrix'.
13. Tuszynski, J., & Khachatryan, M. H., 2013. Package 'caTools'.
14. Ling, C. X., Huang, J., & Zhang, H., 2003. AUC: a better measure than accuracy in comparing learning algorithms. In Con- ference of the canadian society for computational studies of intel- ligence (pp. 329–341). Springer, Berlin, Heidelberg.
15. Tilastokeskus, 2021b. Väestöennuste: Väestö 31.12. muuttu- jina Vuosi, Sukupuoli, Ikä ja Tiedot. Tilastokeskuksen PxWeb-tie- tokannat. [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_vaenn/statfin\\_vaenn\\_pxt\\_128t.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__vaenn/statfin_vaenn_pxt_128t.px/) [15.5.2023]
16. Maanmittauslaitos, 2023. Hallinnolliset aluejaot (vektori), ESRI shapefile. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paik- katieto/ammattilaiskayttajille/tuotekuvaukset/hallinnolliset-alue- jaot-vektori> [15.05.2023]
17. Ojala, T., Koskinen, H., Grönfors, M., Somerkoski, B., Mar- tikainen, N. and Lounamaa, A., 2016. Sosiaali- ja terveydenhuol- lon paloturvallisuuteen liittyvät käytännöt laitoshoidossa, tue- tussa asumisessa ja kotiin annettavissa palveluissa 2015. Tervey- den ja hyvinvoinnin laitoksen julkaisu. [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131380/URN\\_ISBN\\_978-952-302-755-8.pdf?sequence=1](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131380/URN_ISBN_978-952-302-755-8.pdf?sequence=1) [15.5.2023]
18. Laine, T. & Telaranta, K., 2021. Vuokratalojen turvallisuuden parantaminen teknisillä ratkaisuilla – Vaihtoehtojen kustannushyö- dyt. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö ja Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA.



# Missä menee palotutkimus?

**Palotutkimuksen päivillä tämän vuoden ajankohtaiset teemat ovat tiedolla johtaminen ja pelastustoimen kehittäminen, asumisturvallisuus, mallinnus ja simulointi sekä työturvallisuus ja metsäpalot. Palotutkimusraati ry on järjestänyt tapahtuman vuodesta 1999 joka toinen vuosi.**

”**S**aimme hyvää pohjaa tähän tapahtumaan syksyn Tutkimusluotauspäivältä, jossa luonnollisesti paloturvallisuus nousi isoimpana aiheena esille. Itse edustan Palotutkimusraadissa Teräsrakenneyhdistystä ja meidän oma paloasioiden asiantuntijaryhmämme tekee arvokasta työtä rakennusten paloturvallisuuden hyväksi”, kertoo toimitusjohtaja **Timo Koivisto**.

Hänen mukaansa toiminnallinen palomitoitus rakennusten suunnittelussa on mennyt suurin harppauksin eteenpäin, ja sen myötä palosuojaus on muuttunut toimivammaksi. Myös digitalisaatio simulointiineen ja algoritmeineen on tuonut paljon uutta rakennusten paloturvallisuuteen.

”Palotutkimuksen päivät tarjoavat taas kerran viimeisintä tutkimustietoa, jota me teräsrakentajatkin voimme hyödyntää.”

## Palotutkimusraati 2023

Palotutkimusraadilla on tällä hetkellä jäseniä viideltä eri organisaatiolta: Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestöltä, sisäministeriön pelastusosastolta, Teräsrakennusyhdistykseltä ja Palosuojelun edistämisyhdistyksen. Palotutkimusraati toimii verkostoitumisen, tiedon välittämisen sekä tutkimuksen ja kehittämisen edistämiseksi.

Tavoitteena on tutkimusta tarvitsevien ja tutkimusta tuottavien tahojen lähentäminen, toimijoiden välisten yhteistyöverkostojen lähentäminen sekä paloalan kansainvälistä ja kotimaisia tutkimuksista, uusista trendeistä ja rahoitusmahdollisuuksista tiedottaminen. Esimerkiksi syksyllä 2022 Palotutkimusraati järjesti tutkimusluotauspäivän, jossa pelastusalan tutkijat ja tutkimustoiminnasta kiinnostuneet kokoontuivat keskustelemaan alan tutkimustarpeista. Keskustelujen pohjalta luotiin yhteenveto, joka on avoimesti saatavilla Palotutkimusraadin nettisivuilla.

Yhtenä vuoden 2023 tavoitteena on Palotutkimusraadin linkittäminen vahvemmin korkeakoulu yhteisöön. Yhdistyksen sääntöjä muutettiin siten, että oppilaitosjäsenien ei tarvitse maksaa jäsenmaksua. Palotutkimusraati toivottaa oppilaitosten edustajat lämpimästi tervetulleeksi mukaan toimintaan.

## Palotutkimusraadin pääsihteerin terveiset

Ilmastonmuutos ja metsäpalot ovat olleet ajankohtaisia tutkimusaiheita sekä Suomessa että maailmalla viime vuosina. Esimerkiksi metsäpaloista on tehty paljon kansainvälistä tutkimusta ja kehitetty laskennallisia menetelmiä sekä sovelluksia riskien kartoitukseen ja hallintaan. Näistä voi ammentaa ideoita myös Suomeen. Suomessakin metsäpaloja on tutkittu paljon viime vuosina ja tässäkin julkaisussa on esitelty kotimaista tutkimusta metsäpaloihin varautumisesta. Myös muissa ilmastonmuutoksen aiheuttamissa sään ääri-ilmiöissä on tutkittavaa, jotta niihin osataan varautua parhaalla mahdollisella tavalla.

Suomessa pelastusalaan vaikuttavia tulevaisuuden haasteita ovat ilmastonmuutoksen lisäksi väestön ikääntyminen ja muutokset väestörakenteessa, jolla tulee olemaan vaikutuksia moneen eri yhteiskunnan osa-alueeseen. Kun iäkkäiden määrä kasvaa, tarvitaan helposti saavutettavia paloturvallista asumista tukevia ratkaisuja. Esimerkiksi liesiturvallisuuslaitteet ovat alihyödynnetty mahdollisuus. Liesipalotutkimus on kehittynyt Suomessa viime aikoina.



Palotutkimusraadin pääsihteerin Laura Kuurne SPEKistä.



Toimitusjohtaja Timo Koivisto edustaa Teräsrakenneyhdistystä.

Toissavuoden Palotutkimuksen päivillä esiteltiin aiheeseen liittyviä tutkimuksia, ja myös tässä julkaisussa pureudutaan muun muassa liesipalojen syttymismekanismiin, niihin liittyvien haitallisten aineiden syntyminen ja palon seurauksiin asumisterveydelle.

Palotutkimusraadin järjestämässä Tutkimusluotauspäivässä viime syksynä keskusteltiin esimerkiksi palvelujen tuottajien moninaisuuden haasteesta rakennusten ja asumisen paloturvallisuudelle. Miten eri toimijoiden vastuujakoa voidaan selkeyttää asumisen paloturvallisuuden osalta tulevaisuudessa? Miten saadaan lisää ihmisten tietoisuutta paloturvallisuuteen liittyvissä oikeuksissa ja velvollisuuksissa asumisen turvallisuuteen liittyen? Tutkimustiedon lisäksi tähän tarvitaan esimerkiksi moniammatillista ja viranomaisten yhteistyötä.

Tutkimusluotauspäivässä moniammatillinen yhteistyö tunnistettiin myös tiedon analysoinnin ja riskienhallinnan osalta keskeiseksi. Tulevaisuudessa tarvitaan enemmän poikkitieteellistä tutkimusta ja yhteistyötä, esimerkiksi tietojenkäsittelytieteen tutkimuslinjan kanssa. Yhteistyötä edistävät alan tutkimuksen näkyvyys ja tutkimusviestintä, joita kehitetään tällä hetkellä esimerkiksi Pelastusopiston Tutkimustulokset timanteiksi, tiedoksi ja toiminnaksi (4T) -kehittämishankkeessa.

Palotutkimusraadin isännöimät Palotutkimuksen päivät ja Tutkimusluotauspäivä täydentävät toisiaan. Päivillä jaetaan tietoa ajankohtaisista tutkimuksista ja tapahtumassa tutkimustietoa tuottajat ja niitä hyödyntävät tahot pääsevät kohtamaan. Tutkimusluotauspäivässä samat kohderyhmät pohtivat yhdessä alan tutkimus- ja kehitystarpeita. Tutkimustoimintaa edesauttaisi merkittävästi pelastusalan oma JUFO-luokiteltu julkaisusarja. Palotutkimusraati on sitoutunut edesauttamaan julkaisun perustamista yhdessä muiden tahojen kanssa. Hiljattain tehty yhdistyssääntömuutokset madaltavat korkeakoulujen kynnystä liittyä raadin jäseneksi ja tulla mukaan kehittämään toimintaa.

Palosuojelurahasto tukee Palotutkimusraatia ja sen julkaisu-toimintaa.



Mira Leinonen ja Mikko Puolitaival vuonna 2018 Porissa, kun päätettiin verkoston perustamisesta.

## Verkostosta vertaistukea jatko-opintoihin

Petojato-verkosto on Mikko Puolitaipaleen ja Mira Leinosen vuonna 2018 perustama pelastustoimen jatko-opiskelijaverkosto, joka kokoaa yhteen pelastustoisessa työskenteleviä tai pelastustoiimeen liittyvää aihetta jatko-opinnoissaan tutkivia henkilöitä. Jatko-opinnoilla verkostossa viitataan kaikkiin AMK-tutkintoa ylempiin opintoihin. Jäsenyydelle ei ole haluttu asetta mitään akateemisia kriteerejä, vaan kaikki jatko-opinnoista kiinnostuneetkin on toivotettu tervetulleiksi. Opiskelijoiden lisäksi mukana on myös useampia jatko-opintonsa jo suorittaneita mentorijäseniä. Verkoston jäsenmäärä on kivunnut jo mukavasti sadan paremmalle puolelle.

### Verkoston toimintaa on alusta lähtien ohjannut kolme tavoitetta:

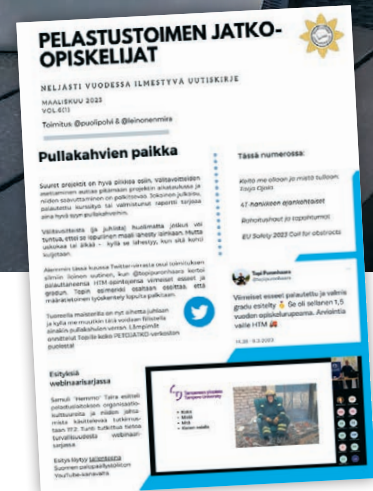
1. Jakaa tietoa ja tarjota vertaistukea jatko-opiskelijoiden kesken mm. opintoihin, opinnäytetöiden aiheisiin, rahoitukseen ja tutkimustyöskentelyyn liittyen.
2. Tehdä pelastustoimen tutkimus- ja kehitystoimintaa entistä näkyvämmäksi osallistumalla aktiivisesti yhteiskunnalliseen keskusteluun.
3. Rohkaista pelastusalan toimijoita jatko-opintojen pariin sekä tukea jatko-opintomahdollisuuksia kaikin tavoin.

Säännöllisiä toimintamuotoja Petojato-verkostolla ovat erilaiset webinaarit, someviestintä sekä verkostokirjeen toimittaminen. Verkostokirjettä julkaistaan neljä kertaa vuodessa. Jäsenet tuottavat tekstit itse ja verkoston perustajat ovat vastanneet kirjeen taitosta ja toimittamisesta. Vakituksia palstoja kirjeessä ovat jäsenten ja erilaisten opintomahdollisuuksien esittelyt sekä katsaus tuleviin turvallisuusalan tapahtumiin ja avoimiin rahoitushakuihin. Toistaiseksi kirjeet ovat kulkeneet suoraan jäsenille sähköpostin välityksellä, mutta harkinnassa on ollut myös avoimen julkaisualustan hyödyntäminen.

Facebookista verkostolta löytyy oma suljettu ryhmä nimeltä Pelastustoimen jatko-opiskelijat. Lisäksi jatko-opintoihin tai tutkimukseen liittyvää julkista someviestintää löytyy eri kanavista aihetunnisteella #petojato.

### Palautetta vertaispohjalta

Kun koronapandemian myötä videopalaverit yleistyivät, löytyi myös Petojatoille aivan uusi ja tehokas yhteydenpidon muoto. Webinaareissa verkoston jäsenet ovat päässeet esittelemään omia tutkimuksia tai opinnäytetöitä yleisölle. Varsinaisia opponentteja tai ohjaajia töille ei ole nimetty, vaan palautet-



ta on annettu vertaispohjalta. Näiden muodollisempien webinaarien lisäksi järjestetään talvikaudella aina parin viikon välein vapaamuotoisempia virtuaaliaamukahvitilaisuuksia. Perjantiaamujen aamukahvikeskustelut ovat olleet varsin monipuolisia ja inspiroivia. Tätä perinnettä on tarkoitus jatkaa niin kauan, kuin keskusteltavaa ja osallistujia riittää.

Yksi säännöllisesti webinaareihin ja aamukahveihin osallistuneista jäsenistä on Samuli Taira, joka opiskelee Tampereen yliopistolla ja tutkii johtamista ja organisaatiokulttuuria pelastuslaitoksilla. Samuli toteaa, että ”viime aikoina verkosto on palvellut tutkijan yksinäistä aherrusta vertaiskahvittelu-seurana. Keskustelu tuskin on täysin akateemisena pysynyt, mutta jaksamisen näkökulmasta on ollut tervetullutta turista muiden tutkimuksen parissa olevien kanssa.”

### Ei maksa eikä velvoita

Verkoston jäsenyys ei maksa mitään eikä velvoita mihinkään. Verkoston jäseneksi, sekä verkostokirjeen postituslistalle pääsee mukaan ilmoittautumalla Mikko Puolitaipaleelle (mikko.puolitaival@sata.fi) tai Mira Leinoselle (mira.leinonen@avi.fi). Lämpimästi tervetuloa mukaan!





# TUTKIMUS-, KEHITTÄMIS- JA INNOVAATIOPALVELUT

Tietoa koulutuksen, käytännön työn ja päätöksenteon parhaaksi.

Vastaamme pelastustoimen tutkimuksen koordinoinnista Suomessa. Tuotamme, kokoamme ja jaamme monipuolista pelastustoimen tutkimustietoa pääasiassa hankkeiden kautta, yhteistyössä sidosryhmien kanssa.

Tavoitteenamme on edistää tutkimustulosten hyödynnettävyyttä käytännössä, alan kehittämisessä, koulutuksessa ja päätöksenteossa. Lisäksi toteutamme testaus- ja polttokoetointia ja julkaisemme Pelastus- ja turvallisuustutkimuksen vuosikirjaa. Tutustu käynnissä oleviin tutkimus- ja kehittämishankkeisiimme verkkosivuillamme.

[www.pelastusopisto.fi/tki](http://www.pelastusopisto.fi/tki)



Tutustu  
Pelastusopiston hanketoiminta  
vuosina 2021–2022 -julkaisuun



**PELASTUSOPISTO**

PL 1122 (Hulkontie 83), 70821 Kuopio









**Pysy tilanteen tasalla.**

**TILAA**

**UUTIS-**

**KIRJE**

[pelastustieto.fi/uutiskirje](https://pelastustieto.fi/uutiskirje)

**Pelastustieto**



**P**alotutkimusraati ry järjesti suomalaisen palotutkimuksen suurselauksen Helsingissä elokuun lopulla. Yhdistys on perustettu vuonna 1982 ja sen tarkoituksena on edistää ja kehittää palotutkimusta maassamme. Nyt järjestettyjen päivien tehtävänä oli mahdollisimman kattavasti esitellä viime vuosien suomalaista palotutkimustyötä ja sen tuloksia.

Suomalaisen palotutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa alalla tapahtuvassa työssä hyödynnettäväksi niin Suomes-  
sa kuin ulkomaillakin.

Eri yhteyksissä on valitettu sitä, ettei palotutkimusta ole riittävästi arvostettu ja ettei siihen ole osoitettu tarpeeksi varoja. Li-

säksi on valitettu, että tutkimustoiminta on ollut liian hajanaista ja liian pieniin tutkimushankkeisiin pirstoutunutta. Sitäkin on harmiteltu, että teknisen paloturvallisuustutkimuksen ja käyttäytymistieteellisen tutkimuksen välillä on liian suuri kulu. Neljäntenä puutteena on mainittu palokuntien sammutus- ja pelastustoimintaa ja palokuntien organisoimista koskevan tutkimuksen vähäisyys.

Palotutkimuspäivät avannut pelastusylijohtaja Pentti Partanen iloitsi päivien olevan oiva esimerkki siitä, että paljon tärkeätä on saatu aikaan sekä perinteisillä palotutkimuksen aloilla että uudemmilla tutkimussektoreilla. Ylijohtaja arvioi päivien an-

taneen hyvän läpileikkauksen suomalaisen palotutkimuksen tasosta, tuloksista ja kiinnostuksen kohteista.

Tämä Palontorjuntatekniikka-lehden koko numero käsittelee palotutkimuspäivien antia. Päivillä esiteltiin 24 tutkimusta, joista moni on jo julkaistu Palontorjuntatekniikan tai Pelastustiedon sivuilla. Tässä numerossa esillä on seitsemän tutkimusta.

Jatkamme tutkimusten esittelyä seuraavissa numeroissamme. ■

Päätoimittaja

Juhani Katajamäki 23.9.1999

Palontorjuntatekniikka 3/1999





**PALOTUTKIMUSRAATI -  
BRANDFORSKNINGSRÅDET RY**  
PALOALAN TUTKIMUKSEN KEHITTÄMISORGANISAATIO

# Mitä tekee Palotutkimusraati?

Palotutkimusraadin tarkoituksena on laaja-alaisen yhteistyön kautta edistää ja kehittää palotutkimusta Suomessa. Palotutkimusraati muun muassa selvittää tutkimustarpeita, seuraa alan kansainvälistä tutkimusta ja osallistuu sitä koskevaan yhteistyöhön, tekee aloitteita tutkimusprojektien käynnistämiseksi ja tiedottaa sekä avustaa tutkimusten toteuttamisessa ja tutkimustulosten soveltamisessa käytäntöön.

Palotutkimusraati ry järjestää 14. Palotutkimuksen päivät vuonna 2025. Seminaarissa esitellään kattavasti viimeaikaisia saavutuksia kotimaisessa palotutkimuksessa. Palotutkimuksen päivät on järjestetty vuodesta 1999 alkaen joka toinen vuosi.

Lisätietoja ja aiemmat julkaisut: [www.spek.fi/palotutkimuksenpaivat](http://www.spek.fi/palotutkimuksenpaivat)