

Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy

Simo Hostikka, Emmanuelle Castagnoli, Raimo Mikkola, Heidi Salonen, Tarique Jhatial, Rauli Törrö, Rahul Kallada Janardhan, Marjaleena Aatamila, Juha Laitinen, Marko Hassinen, Pekka Toivanen, Kalle Kiviranta, Laura Kuurne, Tarja Ojala, Jukka Lepistö



Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy

Simo Hostikka, Emmanuelle Castagnoli, Raimo Mikkola, Heidi Salonen, Tarique Jhatial, Rauli Törrö, Rahul Kallada Janardhan, Marjaleena Aatamila, Juha Laitinen, Marko Hassinen, Pekka Toivanen, Kalle Kiviranta, Laura Kuurne, Tarja Ojala, Jukka Lepistö

Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy

Simo Hostikka, Emmanuelle Castagnoli, Raimo Mikkola, Heidi Salonen, Tarique Jhatial, Rauli Törrö, Rahul Kallada Janardhan
Aalto-yliopisto

Marjaleena Aatamila, Juha Laitinen, Marko Hassinen, Pekka Toivanen, Kalle Kiviranta
Pelastusopisto

Laura Kuurne, Tarja Ojala
Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö

Jukka Lepistö
Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

Aalto-yliopiston julkaisusarja
TIEDE + TEKNOLOGIA 2/2024

© 2024 Simo Hostikka, Emmanuelle Castagnoli, Raimo Mikkola, Heidi Salonen, Tarique Jhatial, Rauli Törrö, Rahul Kallada Janardhan, Marjaleena Aatamila, Juha Laitinen, Marko Hassinen, Pekka Toivanen, Kalle Kiviranta, Laura Kuurne, Tarja Ojala, Jukka Lepistö

ISBN 978-952-64-1803-2 (pdf)
ISSN 1799-4888 (pdf)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-64-1803-2>

Unigrafia Oy
Helsinki 2024

Tekijä

Hostikka, S, Castagnoli, E, Mikkola, R., Salonen, H., Jhatial, T., Törrö, R., Kallada Janardhan, R., Aatamila, M., Laitinen, J., Hassinen, M., Toivanen, P., Kiviranta, K., Kurne, L., Ojala, T., Lepistö, J.

Julkaisun nimi

Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy

Julkaisija Insinööritieteiden korkeakoulu**Yksikkö** Rakennustekniikan laitos**Sarja** Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 2/2024**Tutkimusala** Paloturvallisuustekniikka**Kieli** Suomi**Tiivistelmä**

Liesipalot ovat merkittävä asumisen turvallisuutta vaarantava ongelma. Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy -tutkimushankkeessa pyrittiin piirtämään kokonaiskuva liesipalojen syistä ja ennaltaehkäisystä sekä luomaan ymmärrys palon jälkeisestä asumisterveellisyydestä.

Palotilastojen perusteella liesipalojen määrä on ollut hieman laskeva kuluneen kymmenen vuoden aikana. Kyselytutkimuksen perusteella todellinen liesipalojen määrä voi kuitenkin olla jopa nelinkertainen pelastustoimen tietoon tulleiden palojen määrään verrattuna. Mediaseurannan perusteella vain kymmenesosa liesipaloista tulee uutisoitua.

Syttymisen synnä on usein palamiskelpoisen materiaalin jääminen liedelle ja lieden päälle kytkeminen, kytketyminen tai jääminen. Kokeissa keittiötarvikkeiden syttymistodennäköisyydeksi saatiin 0,80 +- 0,10 ja syttymisajaksi 378 +- 228 s. Induktioliesi olisi sopiva näiden palojen ehkäisyyn. Osa vaaratilanteista syntyy paistinpannulla olevan rasvan ylikuumentuessa. Tällaisen syttymän todennäköisyydeksi saatiin 0,35 +- 0,09 ja syttymisajaksi 325 +- 100 s. Liesivahti olisi toimiva väline näiden palojen estämiseksi, koska kokeissa liesivahdit havaitsivat vaaran ennen syttymää, paitsi kun jokin eristävä materiaali esti lämpösäteilyn kulkeutumisen. Tehokas suoja sähköliesien syttymiä vastaan saadaankin siis liesivahdin ja induktiolieden yhdistelmällä.

Palotehmittausten perusteella suurin palovammojen ja ympäristön syttymisen riski liittyy sulaviin muoveihin, jotka voivat muodostaa laajenevan ja suurella teholla palavan lammikon.

Liesipaloista syntyviä haitta-aineita mitattiin sekä laboratoriossa että todellisissa rivitaloasunnoissa. Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä syntyi eniten ruokaöljyistä, pakastepusseista ja talouspaperista. Aldehydien tuottajina myös puuvilla/polysteri -patalaput osoittautuivat merkittäviksi. Hankkeessa kehitettiin menetelmä liesipalon jälkeisen tuuletusmäärän arviointiin. Se ottaa huomioon palaneen aineen määrän ja laadun sekä asunnon tilavuuden. Tuuletusaikavaatimusta testattiin rivitaloasunnon palossa ja havaittiin, että kaikkia käytännön tuuletustilanteeseen liittyviä tekijöitä ei vielä tunneta. Esim. alipainetuuletuksen tehoksi havaittiin vain 20-30 % nimellistehosta, koska tilaa sekoittava vaikutus puuttuu. Tutkimustulosten ja sidosryhmille järjestetyn työpajan perusteella kirjoitettiin ohje pienen huoneistopalon jälkeisen asumisterveellisyyden arviointiin.

Avainsanat asumisen turvallisuus, paloturvallisuus, liesipalo, savutuuletus, liesivahti

ISBN (painettu)

ISBN (pdf) 978-952-64-1803-2

ISSN (painettu)

ISSN (pdf) 1799-4888

Julkaisupaikka Helsinki

Painopaikka Helsinki

Vuosi 2024

Sivumäärä 61

urn <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-64-1803-2>

Tiivistelmä

Liesipalot ovat merkittävä asumisen turvallisuutta vaarantava ongelma. Liesipalojen syntymiseen vaikuttavia tekijöitä ja keinoja liesiturvallisuuden parantamiseen tunnetaan tänä päivänä melko hyvin. Tietoa liesityypin vaikutuksesta ja palojen syntymekanismeista ei kuitenkaan ole vielä riittävästi, jotta turvallisuutta kohentavat toimenpiteet voitaisiin kohdentaa perustellusti ja tarkasti. Liesipalon tai liedellä tapahtuneen ylikuumenemisen tuottamien haitta-aineiden määrästä ja laadusta on niin ikään vain niukalti tietoa. Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy -tutkimushankkeessa pyrittiin piirtämään kokonaiskuva liesipalojen syistä ja niiden ennaltaehkäisystä sekä hankkimaan tietoa pienten huoneistopalojen jälkeisestä asumisturvallisuudesta.

Kokonaiskuvan muodostamisessa hyödynnettiin pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastoa (PRONTO), onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksia, media-seurantaa sekä eri ryhmille suunnattuja kyselyjä. Palotilastojen perusteella liesipalojen määrä on ollut hieman laskeva kuluneen kymmenen vuoden aikana. Toisaalta kansalaisille tehdyn kyselytutkimuksen perusteella liesipalotilanteista vain noin neljäsosa johtaa hätäilmoitukseen ja tilastointiin. Todellinen liesipalojen määrä voi siis olla jopa nelinkertainen pelastustoimen tietoon tulleiden palojen määrään verrattuna.

Mediaseurannan perusteella vain kymmenesosa liesipaloista tulee uutisoitua. Uutiskynnyksen läpäisevät todennäköisimmin vakavat, henkilövahinkoihin johtaneet palot. Uutisoinnin sisältö on palon ja sammuttamisen lyhyt toteaminen, ei syttymissyiden tai liesipalojen ennaltaehkäisyn keinojen pohtimista eikä tunnistamista. Tämän vuoksi uutisointi ei ole omiaan lisäämään liesipaloista oppimista.

Kaikkien tietolähteiden perusteella saatiin samansuuntaista tietoa syttyneistä materiaaleista ja syttymisen syistä. Syttymisen syynä on usein liedellä oleva palamiskelpoinen materiaali ja lieden päälle kytkeminen, kytkeytyminen tai unohtuminen. Induktioliesi ehkäisisi ainakin osan tällaisista paloista. Osa vaaratilanteista syntyy kattilassa tai paistinpannulla olleen ruuan tai rasvan ylikuumentuessa ja mahdollisesti syttyessä, jolloin liesivahti olisi puolestaan toimiva palojen ennaltaehkäisyn väline. Liesiturvatekniikan merkitys korostuu, kun taustalla on lisäksi asukkaiden alentunut toimintakyky.

Syttymismekanismeja tutkittiin valurautaisella, keraamisella ja induktiolla toimivalla keittotasolla. Materiaaleja kuumennettiin joko paistinpannulla (alumiini, valurauta tai hiiliteräs) tai suoraan keittotasolla. Valurautaisen ja keraamisen keittotason pintalämpötilojen havaittiin olevan 80–160 °C korkeampia kuin ylimmät paistinpannujen lämpötilat. Rautainen ja teräksinen pannu kuumenivat alumiinisia nopeammin, ja niiden hetkelliset huippulämpötilat olivat rauta- ja keraamisilla liesillä korkeampia kuin alumiinipannuilla mitatut. Syttymiä tutkittiin kokeissa, joista 26 tehtiin kiinteillä ruoka-

aineilla, 121 ruokaöljyllä, ja 61 muilla keittiötarvikkeilla. Ruoka-aineet eivät öljyjä lukuun ottamatta syttyneet. Ruokaöljyjen ja voin syttymistodennäköisyydeksi täydelle teholle asetetulla liedellä arvioitiin $0,35 \pm 0,09$, ja ne syttyivät keskimäärin 325 ± 100 sekunnissa – induktioliedellä tosin nopeammin (218 ± 39 s). Paistinpannutyyppin vaikutusta syttymiseen ei pystytty selvittämään. Keittiötarvikkeiden syttymistodennäköisyydeksi saatiin $0,80 \pm 0,10$ ja keskimääräiseksi syttymisajaksi 378 ± 228 s. Syttymisen todennäköisyys oli keittiötarvikkeilla siis öljyjä suurempi, mutta syttymät tapahtuvat myöhemmin. Tuloksiin vaikuttaa se, että kokeissa käytettiin suhteellisen pientä öljymäärää (25–50 mL), jolloin öljy saattoi höyrystyä pois ennen syttymää. Syttymishetken lämpötilat ovat kiinteissä aineissa huomattavasti korkeampia kuin öljyissä. On kuitenkin vaikeaa formuloida yksinkertaista lämpötilakriteeriä, jonka avulla syttyminen olisi estettävissä, koska kiinteissä aineissa tapahtuvat kytemis- ja sulamisprosessit vaikuttavat suuresti niiden syttymiseen. Syttyneistä paloista mitattiin palotehot, ja tulosten perusteella arvioitiin, että suurin palovammojen ja ympäristön syttymisen riski liittyy sulaviin muoveihin, jotka sytyttyään voivat muodostaa palavan ja laajenevan lammikon.

Induktioliesien paloriskiä pienentää tunnetusti se, että ne vaativat kuumentuakseen rautapitoisen materiaalin läsnäolon. Nyt tehtyjen mittausten perusteella niillä on myös muita liesiä alemmat tasapainolämpötilat. Ne kuitenkin kuumenevat muita liesiä nopeammin ja voivat siksi sytyttää pienenkin määrän ruokaöljyä ennen sen höyrystymistä kokonaan.

Liesivahdit havaitsivat vaaran ennen syttymää kaikissa kokeissa, paitsi kun liedelle jätetty eristävä materiaali esti näkyvyyden kuumalle pinnalle. Tehokas suoja sähköliesien syttymiä vastaan saadaankin siis liesivahdin ja induktiolieden yhdistelmällä. Tällöin liesityyppi itsessään alentaa ilman astiaa tapahtuvan ylikuumenemisen riskiä ja liesivahti pystyy estämään astiassa kuumenevan öljyn tai vastaavan materiaalin syttymisen. Liesivahtistandardia tulisi kuitenkin kehittää siten, että laitteet havaitsisivat muutkin kuin ruokaöljypalot ja pystyisivät estämään niiden syttymisen.

Pienistä keittiöpaloista syntyviä haitta-aineita mitattiin sekä laboratoriossa että todellisissa rivitaloasunnoissa. Mittaukset tehtiin sekä jatkuvatoimisin että näytteenottoon perustuvien menetelmin. Laboratoriokokeiden perusteella voitiin laskea eri haitta-ainetyyppien tuotot osuuksina palavan materiaalin massasta. Polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH) syntyi eniten ruokaöljyistä, pakastepusseista ja talouspaperista. Aldehydien tuottajina myös puuvilla/polyesteri -pannulaput osoittautuivat merkittäviksi. Yhdistämällä aineiden tuotot niiden suurimpiin huoneilmassa sallittuihin pitoisuuksiin voitiin johtaa vaatimukset liesipalon jälkeiselle tuuletukselle. Tuuletusmäärän osoitettiin muodostuvan kahdesta riippumattomasta komponentista: haitallisten aineiden tuoton ja kriittisen konsentraation suhteesta, mikä riippuu lähinnä palavan materiaalin laadusta, ja materiaalin massan ja huonetilavuuden suhteesta. Useimmilla materiaaleilla aldehydit olivat tärkein haitta-aine, mutta auringonkukkaöljyn ja pakastepussien paloissa PAH-yhdisteet nousivat tuuletustarvetta määrittäviksi aineiksi. Laboratoriomittauksista johdettua tuuletusaikavaatimusta testattiin rivitaloasunnossa tehdyssä kokeessa ja havaittiin, että käytännön tuuletustilanteeseen liittyy paljon epävarmuuksia, jotka vaikeuttavat tuuletusajan määrittämistä. Pelastuslaitosten tuuletuskeinojen tehokkuutta ja vaikutuksia haitta-aineiden leviämiseen olisi syytä tutkia lisää.

Tutkimustulosten ja sidosryhmille järjestetyn työpajan perusteella kirjoitettiin ohje pienen huoneistopalon jälkeisen asumisterveellisuuden arviointiin. Huomioon otettavia

asioita ovat mm. palanut materiaali ja sen määrä, sammutusmenetelmä, tulipalon haittaluokka, tuuletusmenetelmä ja asukkaaseen liittyvät tekijät. Ohjeen avulla pyritään vähentämään varsinaisen palotilanteen jälkeistä altistumista haitta-aineille ja muille haittavaikutuksille ja tarvittaessa tukemaan asukkaiden ohjaamista väistötiloihin tai jatkohoitoon. Turvallisen tilanteen saavuttamiseksi tarvittavan tuuletusmäärän ja -ajan arviointiin esitetään ohjeessa yksinkertainen, yllä mainittuihin tutkimustuloksiin perustuva menetelmä.

Tutkimuksen perusteella laadittiin kansalaisille suunnattu liesiturvaopas. Liesiturvallisuuden merkittävä parantaminen edellyttää kuitenkin myös rakenteellisia toimia. Kun tutkimuksissa on todettu paloturvallisuuden heikkouksien kumuloituvan sosioekonomisesti heikossa asemassa olevien ongelmaksi, tarvitaan rakentajien ja vuokranantajien panostusta turvallisten liesien hankintaan. Vanhoissa kohteissa tulee järjestää turvallisuustason parantamiseen tarvittava rahoitus, jotta voidaan lisätä induktioliesien ja liesivahtien käyttöä asukkaiden sosioekonomisesta tilanteesta riippumatta. Myös jo hankitun turvatekniikan kunnossapitoon tulee kiinnittää huomiota.

Esipuhe

Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy -tutkimushanke syntyi tarpeesta muodostaa kokonaiskuva liesiturvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä ja keinoista liesipalojen ja niiden haittojen ehkäisyyn. Hankkeen toteuttivat Aalto-yliopisto, Pelastusopisto, Suomen pelastusalan keskusjärjestö sekä Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Aalto-yliopistosta tutkimukseen osallistuivat paloturvallisuustekniikan ja sisäympäristötekniikan tutkimusryhmät. Hankkeen johtajana toimi professori Simo Hostikka. Hanke alkoi syksyllä 2020, ensimmäinen ohjausryhmäkokous järjestettiin tammikuussa 2021, ja hanke päättyi joulukuussa 2022.

Tutkimuksen rahoitti Palosuojelurahasto. Tutkimusta ohjaamaan koottiin ohjausryhmä, johon kuuluivat Tuomas Pälviä (puheenjohtaja; Pelastuslaitosten kumppanuuksverkosto), Silvio Hjelt (Suomen Sopimuspalokuntien Liitto ry), Jari Siljoranta (Pohjola Vakuutus Oy), Antti Kinnunen (Suomen Palopäälystöliitto) ja Kirsi-Marja Kuusisto (Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry). Tutkimusosapuolia ohjausryhmässä edustivat Simo Hostikka (Aalto-yliopisto), Marko Hassinen (Pelastusopisto), Kari Tellaranta (Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö) ja Jukka Lepistö (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto). Lisäksi ohjausryhmän kokouksiin osallistuivat Marjaleena Aatamila (Pelastusopisto) ja Emmanuelle Castagnoli (Aalto-yliopisto, ohjausryhmän sihteeri) sekä tutkijoita tarpeen mukaan.

Varsinaisen tutkimushankkeen rinnalle perustettiin sen aikana teollisuusyhteistyötä edistävä ryhmä, johon kuuluivat Mikko Reinikainen, Sampo Rantakokko ja Samuli Lintonen (Safera Oy) sekä Mikko Leino ja Riku Roine (Innohome Oy).

Kiitämme ohjausryhmän jäseniä hedelmällisestä yhteistyöstä hankkeen aikana sekä Palosuojelurahastoa hankkeen rahoittamisesta. Kiitämme Safera Oy:tä ja Innohome Oy:tä liesivahtien lahjoittamisesta hankkeen käyttöön ja hyvästä yhteistyöstä hankkeen aikana. Lisäksi kiitämme Ari Haavistoa Sähkötekniikan korkeakoulusta avustamisesta sähköliesien tehonmittauksessa.

Espoo, 10. huhtikuuta 2024

Sisällysluettelo

Esipuhe.....	4
Keskeiset käsitteet.....	7
Symbolit ja lyhenteet	9
1. Johdanto.....	11
2. Liesipalojen kokonaiskuva	13
2.1 Tutkimusmenetelmät ja –aineistot.....	13
2.2 Tulokset	14
2.3 Liesipalojen ehkäisy	19
2.4 Pohdinnat	20
2.5 Jatkotoimenpiteet.....	21
3. Keittotasojen ja paistinpannujen lämpötilat.....	23
3.1 Materiaalit ja menetelmät.....	23
3.2 Tulokset	24
4. Syttymät ja palotehot.....	27
4.1 Tutkimusmateriaalit ja -menetelmät	27
4.2 Syttymätodennäköisyydet, -lämpötilat ja -ajat.....	29
4.3 Palotehot	34
4.4 Pohdinnat	35
5. Haitallisten aineiden tuotto ja tuuletus laboratoriokeissa.....	37
5.1 Tavoite	37
5.2 Tutkimusmenetelmät ja –aineistot.....	38
5.3 Tulokset	41
5.4 Soveltaminen savutuuletukseen.....	44
5.5 Päätelmät.....	45
6. Haitallisten aineiden pitoisuudet ja tuuletus asunnoissa	47
6.1 Tutkimusmenetelmät ja -aineistot	47
6.2 Tulokset	49
6.3 Pohdinnat	54
7. Johtopäätökset.....	56
Kirjallisuusviitteet.....	58

Keskeiset käsitteet

Ajastin	Lieden ajastin voi olla lieteen tai liesitasoon sisäänrakennettu (ns. turvaliesi) tai ulkoinen ajastin. Kiinteä (sisäänrakennettu) ajastin on liedessä valmiina ”ylimääräisenä” säätönappina. Ulkoinen ajastin voidaan asentaa sekä olemassa olevaan että uuteen lieteen. Kun keittotasoa halutaan käyttää, kytketään keittolevy tai -alue päälle ja ajastimeen asetetaan haluttu keittoaika. Ajastimen turvallisuusvaikutus perustuu siihen, että lieden virransyöttö katkeaa valitun ajan jälkeen ja keittolevy – tai alue jäähtyy. Ajastin siis estää keittolevyjen päälle unohtumisen. Ajastimen asennus edellyttää sähköasentajan pätevyyttä.
Keittotaso	Lieden kiinteä päällys tai erillinen liesitaso, jossa on keittolevyjä tai -alueita.
Liesi	Tavallisesti kaappimainen ja uunin käsittävä keittiökaluste, jonka kuumennettavilla keittolevyillä tai -alueilla kypsennetään ruokaa astiassa. Liesipalojen asiayhteydessä liedellä tarkoitetaan usein <i>keittotasoa</i> .
Liesihälytin	Liesihälytin on liesiturvalaite, joka kiinnitetään liesituulettimen alapintaan tai vastaavalle korkeudelle seinään keittotason yläpuolelle. Kiinnitys tapahtuu ruuveilla, kaksipuoleisella teipillä tai magneetilla. Liesihälytin reagoi yhden tai useamman keittotason levyn tai alueen poikkeukselliseen kuumenemiseen ja hälyttää, kykenemättä kuitenkaan katkaisemaan keittotasoon tulevaa virtaa. Lieden käyttäjä reagoi ääneen ja sammuttaa levyn tai säätää lämpötilaa. Turvallisuus perustuu lieden käyttäjän toimintaan (passiivinen turvalaite). Liesihälyttimen voi asentaa kuka tahansa.
Liesipalo	Liesipalo on keittotasolta joko välittömästi tai välillisesti syttyvä palo, joka aiheuttaa haitallista savua, johtaa liekkeihin ja voi johtaa laajempaan rakennuspaloon.
Liesitaso	Erillinen keittoalueita sisältävä taso, joka yleensä integroidaan osaksi keittiökalusteita.
Liesiturvalaite	Liesivahdin, liesihälyttimen, ajastimen ja lieden turvallisuutta parantavien muiden mahdollisten teknisten välinen ja ratkaisujen yläkäsite.
Liesivahti	Kaksiosainen liesiturvalaite, jossa on liesihälyttimen kaltainen liesituulettimeen tai seinään kiinnitettävä anturi, sekä lieden taakse,

	sähkönsyöttöön kytkettävä ohjainyksikkö. Anturi seuraa liedен lämpötilaa, tehoa tai käyttöaikaa ja varoittaa, jos liedен lämpötila nousee poikkeuksellisesti. Jos liedен käyttäjä ei reagoi varoitusääneen, anturi antaa langattoman signaalin ohjainyksikölle, joka katkaisee virran liedestä hälyttäen samalla kovaaäänisesti. Voi sisältää myös palon sammutustoiminnon. Liesivahdin kiinteä asennus edellyttää sähköasentajan pätevyyttä.
Rakennuspallo	Palo, jossa palo on levinnyt syttymiskohdastaan sytyttäen rakennuksen rakenteet tai irtaimiston palamaan joko liekehtien tai kytemällä. (PRONTO – Dynaaminen koulutuskansio 2013)
Rakennuspalovaara	Palosta, kuumenemisestä tai kärkehtämisestä on syntynyt näkyvää savua. Tilanteesta olisi ollut mahdollista kehittyä rakennuspallo, mutta palo ei ole levinnyt kuumenemis- tai syttymiskohdasta rakennuksen rakenteisiin tai irtaimistoon. (PRONTO – Dynaaminen koulutuskansio 2013)

Symbolit ja lyhenteet

HTP-arvot	Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet ovat työpaikan ilman epäpuhtauksille lainsäädännössä asetettuja arvoja.
OTKES	Onnettomuustutkintakeskus
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
SPEK	Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

1. Johdanto

Liesipalot ovat merkittävä asumisen turvallisuuden vaarantava ongelma Suomessa. Ruuanlaitto aiheuttaa vuosittain lähes tuhat pelastustoimen hälytystehtävää. Näistä merkittävä osa jää rakennuspalovaaraksi, mutta liesipalot voivat pahimmillaan aiheuttaa kokonaisen asunnon tai rakennuksen tuhoutumisen. Palot voivat johtaa myös henkilömenetyksiin.

Valtaosan liesipaloista on arvioitu johtuneen lieden käyttäjän virheellisestä toiminnasta tai valvomattomasta ruoanlaitosta (Nurmi ym. 2005). Toisaalta tiedetään, että liesiturvallisuutta voidaan parantaa turvallisilla liesillä ja liesiturvatekniikalla. Niiden käyttö on kuitenkin Suomessa vähäistä. Lisäksi liesiturvalaitteiden hankinnassa näyttäisi olevan rahoituksen ongelmia ja käytössä alueellisia eroja. (Ojala 2021). Sosiaali- ja terveysministeriön koti- ja vapaa-ajan tapaturmien ehkäisyn toimeenpanosuunnitelman paloturvallisuutta edistävät toimenpiteet (Kettunen ym. 2022) edellyttävät toimenpiteitä liesiturvallisuustilanteen parantamiseksi. Keittiön vaaratilanteet vaikuttavat kaikkiin väestöryhmiin, mutta liesipalojen riski korostuu erityisesti toimintakyvyltään heikentyneillä, kuten iäkkäillä ja muistisairailta henkilöillä.

Liesipaloista, liesityypin vaikutuksista ja palojen syttymismekanismeista on vielä riittämättömästi tietoa. Liesiturvallisuuksilaitteiden hyödyn arviotaan olevan merkittävä, mutta niiden saatavuus rajoittuu tiedon ja rahoituksen puutteen vuoksi. Liesiturvatekniikan käyttöä ei ole Suomessa juurikaan seurattu, joten sen toteutumisesta ja vaikutuksista tarvitaan myös lisätietoa.

Tiedon tarpeen tyydyttämiseksi Aalto-yliopisto, Pelastusopisto (PeO), Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) ja Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö (SPEK) käynnistivät Liesipalojen syttyminen, vaikutukset ja ehkäisy -hankkeen (1.9.2020-31.12.2022). Hankkeen rahoitti Palosuojelurahasto.

Hankkeen tavoitteena oli luoda kokonaiskuva liesipalojen syistä ja niiden ennaltaehkäisystä sekä hankkia tietoa pienten huoneistopalojen jälkeisestä asumisturvallisuudesta. Osatavoitteina oli luoda kokonaiskuva liesiturvallisuuden vaarantavista erehdyksistä ja unohduksista (työpaketti 1), luoda ymmärrys keittolevyihin ja -tasoihin liittyvistä syttymismekanismeista ja niiden ehkäisystä (työpaketti 2), luoda käsitys liesipalojen ja ylikuumentumisten aiheuttamista terveysvaikutuksista (työpaketti 3), sekä tuottaa turvallisuussuosituksia sekä video- ja kuvamateriaalia ja tapausesimerkkejä turvallisuuskoulutusta ja valistusta varten (työpaketti 4).

2. Liesipalojen kokonaiskuva

2.1 Tutkimusmenetelmät ja –aineistot

Työpaketissa 1 luotiin kokonaiskuva liesipaloista Suomessa. Liesipaloja arvioitiin laadullisen ja kvantitatiivisen analyysin sekä tapausesimerkkien valossa. Tutkimuksen tavoitteena oli luoda kokonaiskuva liesiturvallisuutta vaarantavista tekijöistä, vaaratilanteen aiheuttaneista materiaaleista tai tavaroista, sekä liesiturvallisuuden parantamiseksi käytettävissä olevista tekijöistä. Tutkimuksen avulla voidaan tunnistaa liesipaloihin johtavia riskitekijöitä ja lisätä tietoa liesiturvallisuuden varmistamiseksi.

Kokonaiskuva perustuu kirjallisuuteen ja viiteen empiiriseen aineistoon: Onnettomuustutkintakeskuksen (OTKES) tutkintaselosteisiin, pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO:n tietoihin, kansalaisille tehtyyn kyselyyn ja liesipalojen mediaseurantaan, sekä pelastusalan ammattilaisille tehtyyn kyselyyn. Aineistot, tapausmäärät ja analyysimenetelmät on tiivistetty taulukkoon 1.

Taulukko 1. Liesipalojen kokonaiskuvatutkimuksen aineistot.

Aineisto	Seuranta-aika	Yhteensä	Karsittu aineisto	Joista liesipaloja	Käytetyt menetelmät
OTKES tutkintaselosteet	1998–2022	36	5	8	Kvalitatiivinen, case-tapaukset
PRONTO	2016–2020	4421	3431	338* 3043**	Kvantitatiivinen + kvalitatiivinen
Kysely I, kansalaiset	2020/2021	101	101	101	Kvantitatiivinen + kvalitatiivinen
Mediaseuranta	1.7.2020 - 31.12.2021	119	89	89	Kvantitatiivinen + kvalitatiivinen, ta- pauksesimerkit
Kysely II, pelastusalan ammattilaiset	Syky 2021	41	35	35	Kvantitatiivinen + kvalitatiivinen

* Liedestä tai sen käytöstä aiheutuneita rakennuspaloja

** Liedestä tai sen käytöstä aiheutuneita rakennuspalovaaroja

Analyysissä arvioitiin liesipaloon johtanut tekijä, tapauksessa todetut erityiset riskitekijät, syttymissyt ja ensimmäisenä syttynyt materiaali, henkilövahingot ja liesityyppi, sekä mahdolliset syttymiseen johtaneet muut keskeiset tekijät.

OTKESin tutkintaselosteista käytiin läpi kaikki Tulipalot ja räjähdykset -luokan raportit (n=36). Raporttien tiivistelmät luettiin ja niiden perusteella poimittiin tarkempaan analyysiin 16 raporttia, jotka käsittelivät rakennuspaloja. Näistä viidessä raportissa oli maininta liesipalosta. Kahdessa raportissa oli tutkittu yksittäistä onnettomuustapausta, joissa palo oli saanut alkunsa liedestä. Kaksi muuta raporttia

oli usean onnettomuuden yhteenvetoraportteja, joissa toimintaympäristönä oli tavanomainen tai tuettu asuminen. Lisäksi yhdessä raportissa tutkinnan kohteena oli tulipalot sairaalaympäristöissä. Näiden raporttien kautta saatiin tapahtumatiedot kuudesta liesipalosta. Poiminnan perusteella tehtiin yhteenveto yhteensä kahdeksasta liesipalotapauksesta ja OTKESin tekemistä turvallisuuden parannusehdotuksista.

PRONTO-tiedoista kerättiin liesipalojen tapaustiedot vuosilta 2016–2020 (viisi vuotta). Tukesin poimima aineisto (n=4421) rajattiin koskemaan vain sähköliettä koskevia tapauksia (n=3431). Aineisto luokiteltiin edelleen rakennuspaloihin ja –palovaaroihin. Palovaaroja oli yhteensä 3381 ja rakennuspaloja 338 tapausta (10 %).

Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön tekemällä Webropol-kyselyllä (Kysely I, n=101) selvitettiin kansalaisille sattuneita liesipaloja. Kyselyssä pyydettiin tietoa paitsi varsinaisista paloista, myös läheltä piti -tilanteista. Vastaajalla oli mahdollisuus kuvata niin pelastuslaitokselle ilmoitettuja kuin itse sammutettuja paloja.

Mediaseuranta-aineistona (SPEK) hyödynnettiin Meltwaterilta tilatun mediaseurannan osumia tulipaloista ajanjaksolta 1.7.2020-31.12.2021 (1,5 vuoden ajalta). Osumista poimittiin kaikki liesipaloon viittaavat tapaukset (n=119). Uutiset luettiin läpi ja aineisto rajattiin koskemaan vain sähköliesien paloja (n=89). Uutisten perusteella kerättiin luettelo, jossa oli tapahtuma-ajankohdan ja -paikan lisäksi tapahtumien kulku, syttymissy, syttymiseen johtaneet muut tekijät, mahdolliset henkilövahingot, sekä lähdelinkki. Tapahtuma-aikaa ja paikkaa käytettiin vain eri lähteistä saatujen, samaa tapausta koskevien tietojen yhdistämiseen, ei raportointiin.

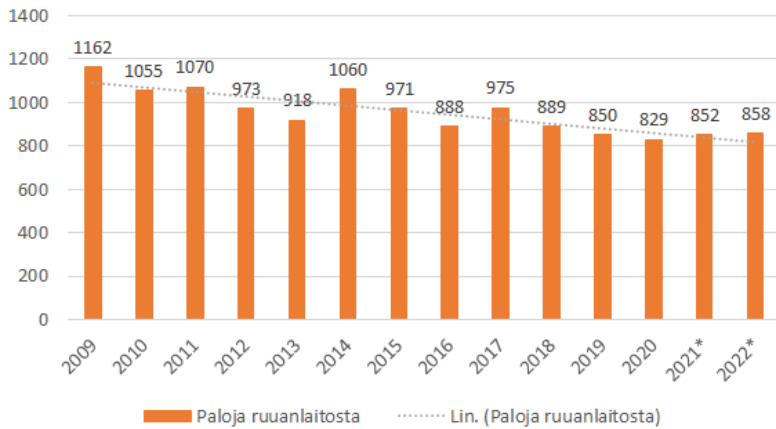
Pelastusopiston pelastuslaitoksille tekemällä Webropol-kyselyllä (Kysely II syksyllä 2021) kerättiin lisätietoa liesipalotilanteista. Vastaajilla toivottiin olevan kokemusta palontutkinnasta tai onnettomuuden syyn arvioinnista pienissä huoneistopaloissa tai rakennuspalovaaroissa. Vastaajia pyydettiin kertomaan liesipalotilanteista sekä yleisesti että myös tarkempia tietoja yksittäisestä tapauksesta. Kyselyyn saatiin vastaus 41 henkilöltä ja kuvaukset 35 liesipalotapauksesta. Vastaajat olivat kokeneita ammattilaisia, sillä 80 %:lla vastaajista oli yli 12 vuotta (keskiarvo 10 vuotta) kokemusta pelastusalan operatiivisista tehtävistä

Eri aineistojen rajauksessa aineiston ulkopuolelle rajattiin muun muassa liesituulettimista ja uunista syttyneet palot, puu- ja kaasulieden käytöstä syttyneet palot, sekä muut ruuanvalmistustavat.

2.2 Tulokset

Pelastustoimen taskutilaston mukaan Suomessa syttyi vuosina 2011–2020 yhteensä 54980 rakennuspaloa. Näistä asuinrakennuksissa syttyneitä paloja oli 29667. Rakennuspalon syttymissyynä oli 9422 tapauksessa ruuanlaitto. (Ketola, Hirvonen & Kokki 2016, 14–15; Lopenen & Liukkonen 2022, 19–20.) Ruuanlaiton osuus oli lähes viidesosa (17,1 %) kaikista rakennuspaloista ja lähes kolmasosa (31,8 %) asuinrakennusten paloista. Osuus on viitteellinen, koska osa ruuanvalmistuksessa syttyvistä paloista syttyy muualla kuin asuinrakennuksissa.

Rakennuspalojen määrä on vähentynyt pitkällä aikavälillä ja samalla ruuanlaitosta syttyneiden palojen määrä on ollut laskeva (Kuva 1).



Kuva 1. Ruuanlaitosta syttyneiden rakennuspalojen määrä ja määrän kehitystrendi vuosina 2009–2022 (Ketola & Kokki 2014; Ketola & Kokki 2018; Loponen & Liukkonen 2022, vuosien 2021* ja 2022* tiedot ennakkotieto PRONTO.)

Tulipaloissa kuoli vuosina 2011–2020 yhteensä 610 henkilöä. Heistä 73 henkilöä (12 %) löydettiin menehtyneenä keittiöstä. (PRONTO 2021). Yhteispuhjoismaisen tilaston mukaan vastaavana aikana Suomessa kuoli yhteensä 51 henkilöä “sähkölieden huolimattoman käytön” vuoksi (NFS 2022).

Alla olevassa tekstissä on arvioitu ensin aineistokohtaisesti syttymistä, asukkaan toimintakykyä, liesityyppejä ja turvalaitteita, ensimmäisenä syttyneitä materiaaleja ja turvallisuuden parantamiskeinoja. Sen jälkeen tulokset on tiivistetty taulukkoon 2.

OTKESin tutkimista liesipaloista kuudessa tapauksessa kahdeksasta oli liesipalon taustalla asukkaan alentunut toimintakyky. Kahdessa tapauksessa liesipalo oli syttynyt sairaalaympäristössä (OTKES 2007). Näistä ainakin toisessa tapauksessa on viitteitä siitä, että liesi olisi mennyt päälle töissä olleen henkilökunnan, eli lähtökohtaisesti toimintakykyisten henkilöiden toiminnan seurauksena. Sairaalaympäristössä syttyneissä tapauksissa liettä oli käytetty laskutilana. Molemmissa tapauksissa palo syntyi, kun lieden levy kääntyi tahattomasti päälle henkilön liikkua lähellä liettä ja hipaistessa kytkimiin. Kuumeneva levy sytytti liedellä tai sen välittömässä läheisyydessä olleet tavarat (termoskannu, pape-reita). Lisäksi raportissa oli maininta muutamasta muusta lieteen liittyneestä vaaratilanteesta sairaalaympäristössä.

Molemmat OTKESin tutkimat yksittäiset liedestä alkunsa saaneet rakennuspalot johtivat sekä vaka-viin henkilövahinkoihin, että asunnon tuhoutumiseen palossa. Toisessa tapauksessa (OTKES 2014) asu-kas laittoi ruokaa, jolloin liedellä tai sen välittömässä läheisyydessä ollut ylimääräinen tavara pääsi syytymään ja palo levisi kiinteistöön. Liesi oli tarkoituksella kytketty päälle ruuanlaittoa varten. Toisessa tapauksessa (OTKES 2016) asukas istui lieden ääressä tupakalla ja kytki epähuomiossa vartalollaan lieden levyn päälle. Levyllä ollut kahvinkeitin kuumeni ja syttyi tuleen sytyttäen rakennuspalon. Mo-lemmissa tapauksissa asukkaan alkoholinkäyttö myötävaikuttanut liesipalon syntyyn.

Usean onnettomuustapauksen yhteistutkinnoissa liesipalon syttymiseen myötävaikuttaneita tekijöitä olivat asukkaan ikääntyminen, muistisairaus, muu toimintakyvyn lasku tai päihteiden käyttö. Syttyneet materiaalit olivat muoviesineitä, kuten kahvin- tai vedenkeitin (OTKES 2001; OTKES 2003). Yhdessä tapauksessa liesipalon syttymiseen myötävaikuttanut niin sanotun turvalieden kellokytkimen vikaantumi-nen. Palo syttyi tuetun asumisen kohteessa, jossa asukas oli kytkenyt ja unohtanut lieden levyn päälle.

Asukas tai henkilökunta ei ollut raportin mukaan tietoinen kellokytkimen vikaantumisesta. (OTKES 2001, 63).

OTKESin tutkintaselosteissa oli lisäksi maininta kahdesta asukkaan kuolemaan johtaneesta liesipalosta, jossa palo syttyi asukkaan nojattua lieteen ja hänen päällään olleiden vaatteiden, kuten puseron, yöpaidan tai aamutakin hihan syttyttyä palamaan. Palo levisi edelleen asukkaan vaateetukseen. Toisessa tapauksessa kyse oli kaasuliedestä (OTKES 2003), jossa syttyminen on yleisen elämäkokemuksen perusteella ymmärrettävä. Toisessa tapauksessa palo syttyi kuitenkin kuumasta valurautalieden levystä. Tutkinnan yhteydessä oli todettu, että asukkaan päällä olleen vaatteiden materiaali syttyi jo noin 10 sekunnin kuluessa kuumalle levyille jouduttuaan (OTKES 2001, 93, 95). Tämän vuoksi lieden käyttäjän vaateetukseen ja tekstiilimateriaaleihin sekä niiden turvallisuuteen tulee ehdottomasti kiinnittää huomiota.

Pelastustoimen PRONTO-tietokannan aineistoista poimitut ensimmäisenä syttyneet materiaalit jaettiin kahdeksaan yläkategoriaan: ruoka, paperi, puu, pahvi, muovi, rasvapalo, muu materiaali ja ei tietoa. Yli puolessa (53 %) liesipalovaaroista ruoka oli ensimmäisenä syttynyt materiaali, jolloin kyseessä on ollut joko valvomaton ruoan laitto, unohtaminen tai vahinko ruoan laitton yhteydessä. Laajemmalle levinneissä paloissa ensimmäisenä syttynyt materiaali ei usein ollut tiedossa (35 % tapauksista), mutta tunnistetuista materiaaleista rasva oli yleisin ensimmäiseksi syttynyt materiaali (15 % tapauksista). Toiseksi yleisin ensimmäisenä syttynyt materiaali kuuluu ”muu materiaali” kategoriaan, joista yleisimpiä ovat sekalaiset tavarat, vedenkeitin, kahvinkeitin, patalappu tai kinnas, kahvipannu ja erilaiset ruokapakkaukset. Muiden materiaalien kuin ruoan syttyminen ensimmäisenä viittaa siihen, että liedellä tai sen ympäristössä on säilytetty sinne kuulumattomia tavaroita.

Kyselytutkimukseen I vastanneista noin puolet oli tapahtumassa itse osallisia, neljännes raportoi tapahtuneesta omaisen puolesta ja loput tilanteista oli tullut muuta kautta tietoon, esimerkiksi sosiaali- tai terveydenhuollon työn kautta. Suurin osa onnettomuuksista oli läheltä piti -tilanteita (66 %), kolmasosa (30 %) johti pienen palon syttymiseen ja 4 % isompaan tulipaloon. Tulipaloon johtaneissa tilanteissa valtaosa (81 %) saatiin sammutettua alkusammutuksella. Suurimassa osassa tapauksista käytössä oli joko keraaminen- tai valurautaliesi (78 %). Liesiturvatekniikan hyödyntäminen oli harvinaista (11 % tapauksista). Valtaosassa tapauksista (73 %) ei ilmoitettu hätänumeroon, jolloin pelastuslaitos ei ole käynyt kohteessa, eivätkä onnettomuudet näy virallisissa tilastoissa. Tämä viittaa siihen, että liesipalojen todellinen määrä on huomattavasti tilastoitua suurempi. Tapahtuman jälkeen vastaava onnettomuus on toistunut useammin henkilöillä, joilla oli alentunut toimintakyky esimerkiksi iän, muistisairaudesta, vamman, päihde- tai mielenterveysongelman seurauksena. Toimintakyvyltään heikentyneiden asukkaiden tapahtumat olivat muita useammin vaaratilanteita, mutta palon syttyessä se saatiin harvemmin sammutettua alkusammutuksella (19 % ero).

Mediatiedoista havaituista liesipalouutisissa (n=89) noin neljässä tapauksessa viidestä oli arvioitu ensimmäisenä syttynyttä tavaraa tai asiaa. Rasvapalot aiheuttivat noin viidesosan (21,9 %) liesipaloista, muusta ruuanlaitosta lähteneitä paloja oli vajaa viidesosa (17,8 %). Lähes puolessa tapauksista ensimmäisenä oli syttynyt liedellä tai sen välittömässä läheisyydessä ollut, sinne kuulumaton palava materiaali. Syttyneiden tavaroiden joukossa oli erilaisia muovisia tai puisia astioita, tarvikkeita, paperia tai kartonkia. Lisäksi liedellä olleita ja syttyneitä tavaroita olivat muun muassa reppu, kahvin- ja vedenkeitin ja kannettava tietokone.

Valtaosassa tapauksia ei mediatiedoissa ole suoranaisesti arvioitu kenen toiminnan tuloksena palo syttyi. Yksittäistapauksissa oli mainintoja asukkaan väsymyksestä, nukahtamisesta tai päihteiden käytöstä palon syttymisen yhteydessä. Neljässä tapauksessa oli maininta epäilystä, että kissa tai koira oli saanut lieden kuumenemaan. Mukana oli tapaus, jossa kissan epäiltiin saaneen induktioliesi päälle, kun liedelle oli jätetty ruokaa astiassa. Kahdessa tapauksessa liesipalon aiheuttajaksi oli mainittu lapsi. Vain yhdessä mediaseurannan tapauksessa syttymissyynä oli lieden tekninen vika.

Alkusammutuksesta oli maininta hieman yli kolmasosassa tapauksia (34,8 %). Jos paikalla oli toimintakykyisiä ihmisiä ja alkusammutusta oli yritetty, se pääosin onnistui tai ainakin rajoitti paloa. Toisaalta aineistossa oli yksittäisiä mainintoja siitä, että alkusammuttaja sai palovammoja. Lisäksi aineistossa oli kaksi tapausta, jossa alkusammutus oli onnistunut liedellä, mutta palo oli ehtinyt levitä liesituulettimen hormiin ja aiheuttaa ison rakennuspalon.

Media-aineistojen liesipaloissa sai palo- tai savuvammoja yhteensä 25 henkilöä, eli useammin kuin neljäsosassa tapauksia. Yhdessä liesipalotapauksessa asukas oli menehtynyt.

Asuntojen vahinkoja on arvioitu vaihtelevasti. Vahingot ovat olleet pienistä vahingoista koko asunnon tai talon tuhoutumiseen. Liesityyppejä ei ole uutisissa pääsääntöisesti mainittu.

Kyselytutkimukseen II vastanneet pelastusalan asiantuntijat mainitsivat liesipalotilanteissa yleisimmin syttyviksi materiaaleiksi paistorasvat ja ruoat (90 % vastauksista), muovit (49 %), paperi/pahvi/kartonki (44 %), kodinkoneet (32 %), tekstiilit (15 %), puu (15 %) sekä erilaiset pakkaukset (12 %). Kyselyssä kuvatuissa 35 liesipalotilanteessa oli yleensä kyse valvomattomasta ruoanlaitosta (40 %) tai tilanteista, joissa levy oli päällä vahingossa (49 %) ja näistä syynä usein lemmikki (26 %). Useimpien tapahtumapaikka oli kerrostaloasunto taajamassa tai keskustassa, ja asukkaan toimintaan olivat vaikuttaneet päihteet (43 %), ikä (23 %), muistisairaus (9 %) tai väsymys (9 %). Lisäksi mainittiin lääkitys, mielen-terveysongelmat, vamma tai sairaus sekä kulttuuriero. Kuitenkaan 37 % tilanteista ei asukkaan toimintakykyä kuvattu heikentyneeksi. Yleensä liesi oli vanhahko valurautalevyinen sähköliesi, jossa ei ollut käytössä liesiturvatekniikkaa tai hälyttimiä. Yli puolessa tilanteista syttynyt tai savunnut materiaali oli muuta kuin ruokaa tai rasvaa eli sellaista materiaalia, jonka ei kuuluisi olla liedellä (esim. muovia, paperia/pahvia, puuta ja koneita). Valtaosassa kuvatuista liesipalotilanteista riitti vedellä sammuttaminen tai tukahduttaminen ja henkilövahinkoja ei todettu tai ne olivat korkeintaan lieviä. Pelastuslaitos hoiti savutuuletuksen puolessa tapauksista ja kolmanneksessa käytettiin pelkästään painovoimaista tuuletusta. Kuitenkaan puolessa tilanteista asuntoon ei jääty asumaan asukkaan tai asunnon kunnan vuoksi.

Taulukko 2. Yhteenveto liesipalojen syistä ja olosuhteista.

Riskitekijä / aineisto	OTKES	PRONTO	Kysely I	Media	Kysely II
Liesi		*		*	
Valurautaliesi	X		53 %	X	X
Turvaliesi	X		NA		
Keraaminen liesi			25 %		Harvoin
Induktioliesi			9 %	1	
Liesiturvatekniikka	Ei, tai ei toiminut	Harvoin	11 %	Ei	Ei
Ihmisen toiminta, aikuinen		* 61 % ei tietoa			
Levyn kääntäminen päälle tahattomasti	X	5 %	33 %	*	X
Väärä levy		* väärä toiminta	NA	*	X
Levyn unohtaminen päälle		5 %	15 %	*	X
Muu toimija					
Lapsi	-	1 %	-	X	X
Kissa, koira, kotieläin	-	2 %	-	X	X
Ihmisen toimintakyky		*61 % ei tietoa		*	
Alkoholi	X	3 %		X	X
Nukahtaminen		12 %		X	X
Muistisairaus	X			X	X
Ikääntyminen	X			X	X
Ei heikentynyt toimintakyky	2/8		58 %		1/3
Ensimmäisenä syttynyt tavara					
Rasva kattilassa tai pannulla		5 %		X	X
Muu ruoka-aines		49 %		*	X
Muu syttyvä materiaali	X	42 %		X	X
Kahvin tai vedenkeitin tai muu sähkölaite liedellä tai lieden läheisyydessä	X	3 %		X	X
Henkilövahingot					
Palovammat	X	X	Ei	28 %	Harvoin
Palokuolema	X	>17	Ei	1	X
Asuntoon ei jääty asumaan	X	*	*	*	1/2

*Lähteessä ei pääsääntöisesti mainintaa.

Taulukossa 2 PRONTO-tiedoissa olevien päihtyneiden osuus voi olla alimitoitettu ja väsyneiden osuus sisältää myös päihtyneenä ruuanlaittoon ryhtyneitä henkilöitä, jotka ovat ruuanlaiton aikana nukahtaneet.

2.3 Liesipalojen ehkäisy

OTKESin turvallisuussuositukset

OTKES on tehnyt turvallisuussuosituksia yksittäisissä palontutkinnoissa, joissa rakennuspallo on saanut alkunsa liesipalosta. Suositusten tarkoituksena on ehkäistä vastaavien palojen esiintymistä. Tapausten yhteydessä on todettu, että liesipalojen tilanne on ollut sama jo ainakin 20 vuotta. Kyse on puuttuvasta tai puutteellisesta turvatekniikasta, joka mahdollistaa ihmisen tekemien virheiden kumuloitumisen rakennuspaloksi. Tilanteen korjaamiseksi on esitetty liesiturvallisuusongelmista tiedottamista ja perinteistä valurautaliettä turvallisempien liesien suosimista rakentamisessa ja vuokra-asumisessa. Suosituksessa esitetään, että Rakli ry ja Rakennusteollisuus ry jäsenorganisaatioineen pohtivat sopivia ratkaisuja. Liesissä tulee olla vähintään tahattoman päälle kytkeytymisen estävät kytkimet, mutta mielellään induktiotekniikka ja liesivahti. (OTKES 2016, S18). Lisäksi on suositeltu, että SESKO ry on aloitteellinen ja edistää sähköliesien turvallisuusvaatimuksia koskevien standardien uusimista siten, että EU-alueella myytävien liesien aiheuttamat palot saataisiin vähenemään. Vaatimuksissa pitää ottaa huomioon, että kotitalouksissa on esimerkiksi lapsia ja iäkkäitä henkilöitä ja että liettä käytetään myös päihtyneenä. (OTKES suositukset 2015-S27).

Edellä mainittujen suositusten lisäksi OTKES on kiinnittänyt liesipalojen yhteydessä huomion palosta pelastautumisen mahdollisuuksiin, palovarointiin ja poistumisturvallisuuteen. OTKES esittää, että Kuntaliitto kehittää Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston kanssa yhteistyössä viranomaisyhteistyötä siten, että pelastuslain 42 §:n yhteistyö toteutuu ja paloriski-ilmoituksia osataan tehdä ja tehdään (2015-S26). Lisäksi on tehty suositus, jonka mukaan Sosiaali- ja terveysministeriö yhdessä Kuntaliiton kanssa kehittää hyvät käytännöt, joilla kunnan eri toimijat yhdessä huolehtivat toimintakyvyltään rajoituneiden sosiaalitoimen asiakkaiden paloturvallisuudesta. Suosituksen mukaan ainakin palovarointimien, poistumisteiden ja asuntojen välisen osastoinnin pitää olla kunnossa ja tukiratkaisujen tulee edistää turvallista asumista. (2015-S29)

Liesipalojen ehkäisy kyselyaineistojen perusteella

SPEKin tekemän kyselyn (kysely I) mukaan onnettomuuksien seurauksena tiettävästi noin puolessa tapauksista (52 %) tilanne johti liesiturvallisuuden parantamiseen erinäisillä toimenpiteillä. Toimenpiteisiin kuuluivat muun muassa liedien vaihto turvallisempaan vaihtoehtoon (13 %), liesiturvalaitteiden asennus (3 %) ja liedien (1 %) tai liedien sulakkeiden (5 %) poisto. Muita toimenpiteitä (29 %) olivat esimerkiksi huolellisuuden lisääminen liedien käytössä, sammutuspeitteen ja/tai palovarointimien hankinta ja virran sammuttaminen silloin kun liesi ei ole käytössä. Kuvausten mukaan useammassa tapauksessa tapahtuman jälkeen liedellä tai sen lähistöllä ei ole enää säilytetty ylimääräisiä tavaroita. Yhdessä tapauksessa tilanne johti asukkaiden informointiin, koulutukseen ja harjoituksiin. Suurimmassa osassa tapauksista (73 %) vastaavan vaaratilanteen ei tiedetä toistuneen tapahtuman jälkeen, mutta 16 prosentissa tapauksista vaaratilanne oli uusiutunut.

Pelastusopiston tekemän kyselyn (kysely II) liesipalotilanteissa ehkäisyn tärkeimmiksi keinoiksi kohosivat ”ei varastoimista liedellä”, ”ruoanlaiton valvominen”, ”ei päihtyneenä kokkaamista”, ”ei lemmikkejä liedien lähelle”. Lisäksi mainittiin liedien säätimien suojaus, virran itsekatkaisu, induktiotekniikka sekä liedien poistaminen käytöstä erityisryhmien tapauksissa. Myös päihde- tai mielenterveysongelmaisten asianmukainen hoito nousi esille.

Lieden ja liesiturvatekniikan valinnasta kysyttäessä yleisemmin suositeltiin induktioliettä sekä erilaisia teknisiä (esim. liedien säätimien suojaus, erilaiset ajastimet/tunnistimet, liesivahdit/hälyttimet) ja

rakenteellisia ratkaisuja (lieden ympärille riittävästi palamatonta laskutilaa). Myös toimintatapoihin kehoitettiin kiinnittämään huomiota: ei ylimääräistä tavaraa liedellä tai sen lähiympäristössä, ruokaa valmistetaan vain valvotusti eikä myöhään baari-illan jälkeen. Lisäksi korostettiin käyttäjän ja käyttöympäristön huomioimista, esim. muistisairaata, iäkkäät sekä ryhmät, joilla on rajoitteita toimintakyvyssä tai osaamisessa ja varoitettiin induktiolieden tehokkuudesta ja teknisten turvalaitteiden toimimisesta liian myöhään liesipalotilanteessa. Turvallisen asumisen suunnittelussa nousivat edellä mainittujen lisäksi esille valmiudet turvalaitteiden asennukselle, paloturvallisempien materiaalien valinta lieden läheisyyteen, liesituulettimen paloturvallisuus, palovaroittimet, sprinklaus sekä esteettömät poistumismahdollisuudet.

Asuntojen suunnittelun merkitys liesipalojen ehkäisyssä nousi kyselyssä esille myös välillisesti: korostettiin riittävän palamattoman laskutilan varaamista lieden läheisyyteen, samoin kuin liedelle tai sen lähiympäristöön kertyvän tavaran välttämistä. Myös syytneiden materiaalien laatu kertoo siitä, että liettä käytetään sekä varastoitumiseen että työtasona. Keittiön toimintojen suunnittelun lisäksi riittävän pöytä/hylly/kaappitilan merkitys on silloin avainasemassa. Esim. mikroaaltouunin kuvulle pitäisi olla sopiva laskutila, jottei sitä säilytettäisi liedellä. Kodinkoneille sekä leikkuulaudoille tulisi olla riittävästi pöytätilaa, jotta liesi ei palvelisi työtasona. Myös lajitelluille jätteille tulisi varata riittävästi tilaa.

Turvallisuusviestintää vastaajat kehottivat muokkaamaan kohderyhmän mukaiseksi, ja erityisesti sitä muistutettiin tarvittavan erityisryhmien kanssa toimiville (mm. omaiset, kotihoito, ensihoito, sosiaali-toimi, poliisi, siivousryttäjät, maahanmuuttajien kanssa työskentelevät) ja erityisryhmien asioista päätöksiä tekeville tahoille. Tärkeimmiksi viestittäviksi asioiksi kohosivat ”liedellä tai sen lähellä ei ylimääräistä tavaraa”, ”ruokaa laitetaan vain valvotusti” ja ”ei kokata päihtyneenä”. Myös erilaisista teknisistä ratkaisuista tulisi vastaajien mielestä viestiä enemmän.

Erilaisten asukasryhmien huomioiminen lieden ja liesiturvalaitteiden valinnassa on väestön ikääntyessä ja erityisryhmien lisääntyessä entistä tärkeämpää. Myös osaamisen puutteisiin tulee kiinnittää huomiota. Lisäksi vastausten mukaan on tarpeen miettiä, voitaisiinko erityisryhmien lieden käyttöajankoh-
taa rajata tai onko liesi ylipäänsä aina välttämätön.

Mediatiedoissa ei ole pääsääntöisesti otettu kantaa liesipalojen tai vastaavien palojen ehkäisyyn, eikä mitään varsinaista keinoa palon juurisyihin ole ainakaan välittömästi pohdittu. Kyse voi olla uutisoinnin nopeudesta tai yksityisyyden kunnioittamisesta, mutta kyse voi olla myös tilanteen jatkumisesta ennal-
laan. Tästä viitteenä (tutkijan tiivistämä) esimerkki uutisesta:

”Pelastuslaitos sai hälytyksen asuntopalosta. Huonomuistinen asukas oli soittanut hätänumeroon, mutta antanut ensin väärän osoitteen. Asunnossa oli liedelle käryämään jäänyt ruoka aiheuttanut palovaroittimen hälytyksen. Pelastusyksiköt savutuulettivat asunnon ja se jäi asuttavaan kuntoon.”

2.4 Pohdinnat

Eri aineistojen kautta saadut tiedot ovat keskenään samansuuntaista. Puolet paloista syttyi liedelle jää-
neiden, sinne kuulumattomien tavaroiden syttyessä. Tekniset viat ovat harvinaisia. Aineistossa korostuu liesiturvatekniikan niukkuus, joka on havaittu myös aiemmin tutkimuksissa (Ojala 2021).

Onnettomuustutkintakeskuksen aineisto on tuotettu turvallisuuden edistämiseksi ja se sisältää riittä-
västi tietoa myös turvallisuuden ja toimintamallien kehittämiseen. Tiedot ovat luotettavia ja suositukset ovat omiaan parantamaan liesiturvallisuutta, mikäli ne tulevat eri toimijoiden ja lieden käyttäjien tietoon ja ne toteutetaan. OTKESin toteamasta liesipalojen määrän pysyvyydestä poiketen palojen määrässä on

havaittavissa pientä laskua. Kehitys olisi siis hieman myönteinen, vaikka OTKESin suositukset liesiturvallisuuden parantamiseksi eivät ole vielä merkittävästi toteutuneet.

Liesipalojen mediaseuranta- ja PRONTO-tietojen vertailu osoittaa, että mediaan välittyä vain murto-osa liesipaloista. Määrä on noin kymmenesosa kaikista liesipaloista. Aineistojen vertailun perusteella uutiskynnyksen ylittää muita todennäköisemmin palovammoihin tai merkittäviin aineellisiin vahinkoihin johtaneet liesipalot. Uutisoinnin niukkuus on kuitenkin ongelma, koska se voi heikentää onnettomuuksista oppimisen mahdollisuuksia. Vakavimpien liesipalojen uutisointi voi tarjota mahdollisuuden oppimiseen, mutta on epävarmaa, ohjaavatko uutiset ilman henkilökohtaisempaa turvallisuusopastusta tai -ohjeistusta lieden käyttäjiä turvallisempaan toimintaan.

Toinen mediaseurannassa näkyvät ilmiö on palon leviäminen liesituulettimeen ja siitä ilmanvaihto-hormiin, joka voi tapahtua alkusammutuksen näennäisestä onnistumisesta huolimatta. Tämä puolestaan tukee pelastustoimen suosittamaa toimintamallia, jonka mukaan asukkaan kannattaa liesipalotilanteessa soittaa hätänumeroon ja pyytää pelastusyksikköä paikalle tarkistamaan, ettei palo ole päässyt leviämään rakenteisiin.

2.5 Jatkoimenpiteet

Tutkimuksen perusteella liesiturvatekniikan ja liesiturvallisuusosaamisen edistämiseksi on selkeä tarve. Vaikka aineistot tukevat aiempia OTKESin suosituksia, ei niitä ole saatu vielä vietyä käytäntöön. Sen vuoksi tarvitaan tiedottamista, koulutusta ja tilanteen kehityksen seuranta.

Käytännössä tätä on jo toteutettu: Hankkeen aikana on kerätty kuva- ja videomateriaalia sekä tuotettu koulutusaineistoja liesiturvallisuusosaamisen edistämiseksi. Hankkeessa tuotetun tiedon perusteella laadittiin *Lieden turvallinen käyttö* -opas (Kuurne 2022). Tietoja ja aineistoja hyödynnetään tiedottamisessa ja koulutusaineistoissa myös jatkossa. Esimerkiksi *Turvallisempi koti* -koulutusaineistossa (SPEK 2022) on liesiturvallisuusosio. Aineisto on maksutta verkon kautta kaikkien saatavissa. Lisäksi hankkeen tuloksia hyödynnetään Koti- ja vapaa-ajan tapaturmien ehkäisyn toimeenpano-ohjelmassa paloturvallisuuden osalta (Kettunen ym. 2022).

Liesipalojen määrän seuranta tulisi edelleen arvioida niin mediaseurannalla kuin PRONTO-tiedoista. Pitkällä aikavälillä seuranta voi tarjota tietoa liesiturvatekniikan kehittymisestä, mutta myös toimintaympäristön vaikutuksista liesiturvallisuuteen. Esimerkiksi korona-ajan ja etätyön vaikutus liesipalojen määrään olisi tärkeä selvittää.

Hankkeen perusteella todettiin tiedonpuute asumisturvallisuuden osalta. Pelastuslaitoksilla ei ole yhtenäisiä ohjeita siitä, minkälaisissa tilanteissa asukas voi turvallisesti jäädä asuntoon asumaan liesipalon jälkeen ja milloin hänet on perusteltua ohjata väistömajoitukseen.

Mahdollisen jatkotutkimuksen taustoittamiseksi Pelastusopisto teki kesällä 2022 lyhyen anonyymin kyselyn siitä, kuinka asunnon asuinkelpoisuutta arvioidaan pienen huoneistopalon jälkeen eri maissa. Kyselylinkki lähetettiin hankeryhmän kansainvälisille verkostoille (mm. Slovenia, Tanska, Espanja, Tšekki, Saksa, Belgia, Tanska, Norja, Ruotsi) sekä ENFIP-verkostolle (UK). Kyselyä pyydettiin jakamaan eteenpäin sopiville kontakteille Euroopassa. Vastaajilta kysyttiin, minkä tietojen pohjalta päätös tai suositus pienen huoneistopalon jälkeisestä asumaan jäämisestä tehdään ja onko päätöksen tueksi olemassa materiaaleja tai sääntöjä. Lisäksi kysyttiin, ketkä osallistuvat päätöksen tai suosituksen tekemiseen.

Vastauksia saatiin kahdeksasta maasta: Englanti, Ranska, Romania, Tanska, Ruotsi, Alankomaat, Kypros ja Australia. Vastausten perusteella huoneistopalon jälkeisestä asumaan jäämisestä päätetään asunnon rakenteiden kunnon (ovet ja ikkunat kunnossa, asunnon tekninen turvallisuus: sähkö, kaasu, viemäri kunnossa), tilassa olevien sammutteiden sekä näkyvän laskeuman, ilmanlaadun ja hajun perusteella. Myös asunnon omistussuhteet ja hätämajoituksen järjestämismahdollisuudet sekä mahdollinen palonsyöntutkinta voivat vaikuttaa toimintatapaan. Asukkaisiin liittyvistä tekijöistä mainittiin ainoastaan lapsista huolehtiminen tilanteissa, joissa asukkaalta puuttuu vakuutus.

Valmiita sääntöjä tai materiaaleja päätöksen teon pohjaksi ei löytynyt keneltäkään vastaajista ja päätöksen kerrottiin perustuvan vastaajan henkilökohtaiseen näkemykseen ja kokemukseen tai terveeseen järkeen. Päätös tai suositus asumisesta tehtiin yhteistyössä: mukana voivat olla asukkaan, omistajan ja pelastuslaitoksen lisäksi vakuutusyhtiö, poliisi, sosiaalipalvelut ja terveysviranomaiset.

Kyselyn vastausten perusteella asumisterveellisyyden arvioimiseen huoneistopaloilanteiden jälkeen ei ole laajalti tunnettuja valmiita ohjeita tai käytäntöjä ja yleisesti päätös asumaan jäämisestä huoneistopalon jälkeen tehdään henkilökohtaisen näkemyksen perusteella ja yhteistyössä eri toimijoiden kanssa.

Pelastusopisto tuotti Liesipalohankkeen aikana ohjeen pienen huoneistopalon jälkeisen asumisterveellisyyden arvioimisesta ja asumaan jäämisestä, mutta tutkimus perusteellisempien ohjeiden laatimiseksi olisi tärkeä. Tarve korostuu ikääntyneen ja toimintakyvyltään heikentyneen väestön osalta, heidän määränsä kasvun ja kotona asumisen vuoksi. Hauraiden ihmisten suojeleminen asuntopalon aiheuttamilta kemikaalijäämiltä on perusteltua.

3. Keittotasojen ja paistinpannujen lämpötilat

3.1 Materiaalit ja menetelmät

Hankkeessa tehtiin kokeita kolmella sähköliesityypillä: perinteisellä valurautaliedellä (electric coil, EC), keraamisella liesitasolla (ceramic glass, CG) ja induktioliesitasolla (induction cooktop, IC). Liesien tiedot ja käytetyt merkinnät on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Testeissä käytettyjen sähköliesien tehot ja mitat.

Liesi tai liesitaso	Lyhenne	Merkki ja malli	Keittolevy tai -alue	
			Halkaisija (mm)	Teho (W)
Valurautalevyinen sähköliesi	EC	Rosenlew RKL5100	180	2000
Keraaminen liesitaso	CG	Rosenlew RHRN642X	210	2200
Induktioliesitaso	IC	HOI620S/622S	210	2300-2800

Liesien lisäksi kokeissa käytettiin kolmen tyyppisiä paistinpannuja: valurautaista (cast iron, CI), hiiliteräspannua (carbon steel, CS) ja alumiinipannua (AL). Alumiinipannuja oli käytössä kahta eri tyyppiä. Pannujen tiedot ja käytetyt merkinnät on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Testeissä käytettyjen paistinpannujen tiedot ja mitat. Pohjan halkaisija on mitattu pannun sisäpuolen tasaiselta alueelta.

Pannun tyyppi	Lyhenne	Merkki ja malli	Pohjan halkaisija (mm)	Paino (kg)
Valurauta	CI	Opa Kenno 28 cm	195	1.66
Hiiliteräs	CS	Opa Heavy metal 28 cm	224	1.33
Alumiini (A)	AL-A	Myhome kitchen 28 cm	213	0.85
Alumiini (B)	AL-B	Fiskars Hard face 26 cm	209	1.135

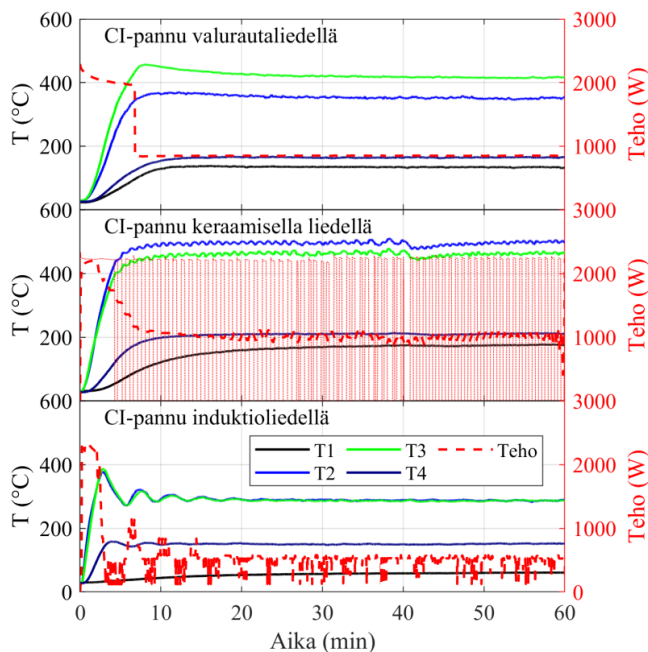
Valurautaisten ja keraamisten keittotasojen pintalämpötilat mitattiin K-tyypin termoelementeillä (1.0 mm). Termoelementti T1 sijoitettiin lämpölevyn sivuun, ja T2-T4 suoraan levyille. Painoina käytettiin 42 g painoisia kevytbetonikappaleita. Paistinpannujen lämpötilat mitattiin pannun päältä samalla tavalla, mutta pannun kyljessä pannuun piti lämpötilan mittausta varten porata pieni reikä, johon termoelementti kiinnitettiin. Termoelementtilangan ensimmäiset 10 cm asetettiin levyn tai pannun tangentin

suuntaiseksi lämpöhäviöiden välttämiseksi. Lämpötilat talletettiin 1.0 s välein Keysight DAQ970A data-loggerilla. Liesien sähköteho mitattiin Fluke Norma 4000 tehoanalysaattorilla, jonka tarkkuus on 0.2 %.

3.2 Tulokset

Pintalämpötilat ja sähköteho mitattiin eri tehotasolla. Kuvassa 2 on esitetty valurautapannun (CI) lämpötilat eri liesityypeillä lämmitettäessä sekä liesien sähkötehot. Mittaus alkoi, kun lieden kytkin oli asetettu maksimiteholle (ei kuitenkaan boost-asentoon). CG-lieden sähkötehosta on esitetty myös ajan suhteen keskiarvoistettu versio.

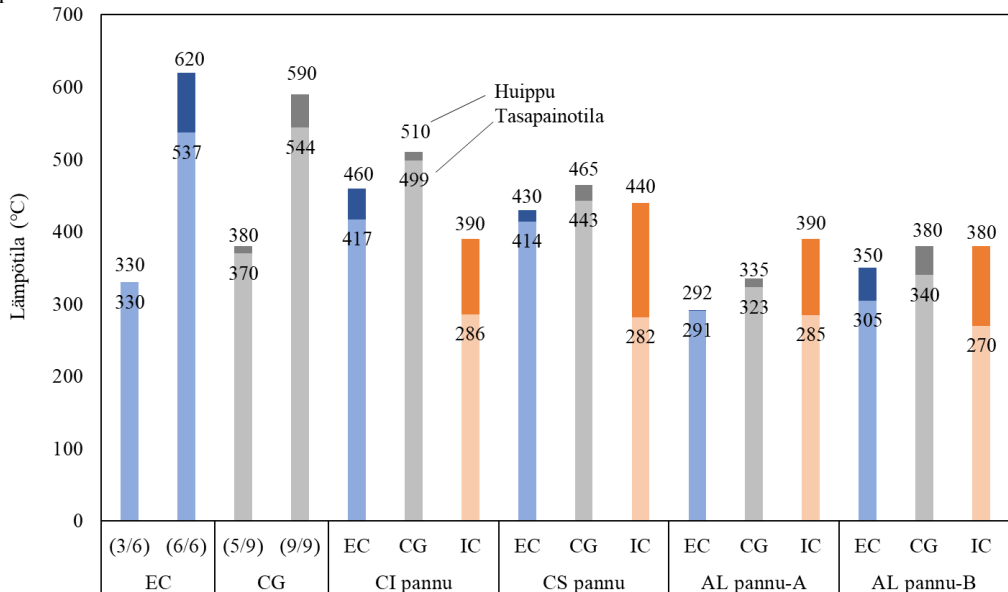
Kuvasta 2 nähdään, että lämmityksen alussa sähköteho on nimellisellä maksimitasollaan ja lämpötila nousee nopeasti. Joidenkin minuuttien kuluttua säätömekanismi alentaa tehoa, ja lämpötilan nousu hidastuu. EC ja IC -liesillä pannun lämpötilassa esiintyy huippukohta vähän sähkötehon alenemisen jälkeen, mutta CG-liedellä lämpötila kasvaa monotonisesti kohti tasapainotilaansa. Tehonhallinnan suhteen liedet ovat selkeästi erilaisia: EC-lieden teho säätyy äkillisesti alemmalle tasolle, mutta CG-liedellä tehoa säädetään kytkemällä teho päälle ja pois muutaman sekunnin välein. CG-lieden tehonsäätömekanismin vaikutus näkyy heilahteluina mitatuissa lämpötiloissa. Induktiolieden tehossa näkyy suuren taajuuden heilahteluja, mutta 1 s näytteenottoväli oli liian pitkä näiden vaihtelujen kvantifioimiseksi.



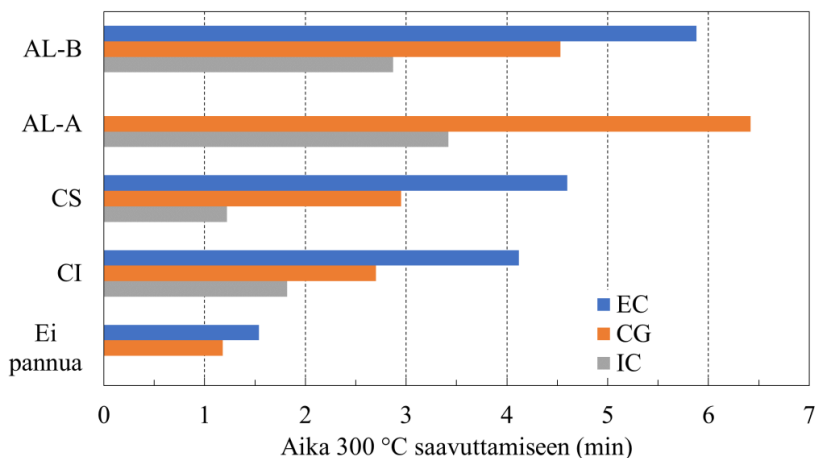
Kuva 2. Valurautapannun pintalämpötilat ja liesien sähkötehot EC-liedellä (yläkuva), CG-liedellä (keskikuva) ja IC-liedellä (alakuva).

Eri liesillä ja pannuilla mitatut huippulämpötilat sekä pitkän ajan tasapainolämpötilat on esitetty kuvassa 3 ja 300 °C lämpötilan saavuttamiseen kuluvat ajat kuvassa 4. Liesien lämpötilat on esitetty kahdella tehotasolla, jotka vastaavat noin puolitehoa ja täyttä tehoa. Pannujen lämpötilat on esitetty täydellä

teholla. Liesien pintalämpötilojen havaitaan olevan 80–160 °C korkeampia kuin korkeimmatkaan pannujen lämpötilat, mikä johtunee lämmönjohtumisen vastuksesta ja lämpöhäviöistä. Lämmönjohtumiseen perustuvilla liesillä huippulämpötilojen hajonta eri pannutyyppejen välillä oli suurta; rauta- ja teräs-pannujen lämpötilat olivat alumiinipannuja korkeampia. Induktioliedellä erot eri pannujen välillä olivat pieniä, mutta lämpötilahuippujen (380–440 °C) ja tasapainolämpötilojen (270–286 °C) väliset erot sen sijaan suurimpia. Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että sekä liesi- että pannutyyppejä vaikuttaa paloriskiinkin.



Kuva 3. Liesien ja pannujen huippu- ja tasapainolämpötilat. Liesien lämpötilat on esitetty kahdella tehotasolla ja pannujen lämpötilat huipputeholla.



Kuva 4. 300 °C lämpötilan saavuttamiseen kuluva aika eri liesi/pannu -yhdistelmillä.

Induktioliesien yhteydessä paloriskiä pienentää niiden toimintaperiaate; kuumeneminen edellyttää rautapitoista materiaalia, eivätkä muut, liedelle ehkä unohtuneet esineet ja materiaalit kuumene. Tämän hyvin tunnetun ominaisuuden lisäksi niillä voi, nyt tehtyjen mittausten perusteella, olla myös toinen turvallisuusominaisuus: niiden tasapainolämpötilat olivat muita liesityyppejä alhaisemmat. Toisaalta induktioliedet lämpenevät nopeammin kuin muut liedet ja voivat siten johtaa muita liesiä varhaisempaan ja todennäköisempään syttymään, erityisesti kun syttyvän materiaalin määrä on pieni. Nopea syttyminen voi olla turvallisuuden kannalta sekä edullinen että haitallinen, tilanteesta riippuen.

Esitetyt tulokset pätevät luonnollisesti vain tutkituille liesityypeille, eikä tulosten yleistettävyydestä ole hyvää käsitystä.

4. Syttymät ja palotehot

4.1 Tutkimusmateriaalit ja -menetelmät

Syttymiskokeita tehtiin kolmella eri keittotasotyypillä (valurautalevyinen sähköliesi, keraaminen liesitaso ja induktioliesitaso) ja kolmella eri paistinpannalla (alumiini, hiiliteräs ja valurauta). Liesien ja paistinpannujen tiedot on esitetty luvussa 3. Syttyviksi materiaaleiksi valittiin Pronto-tilastojen sekä kyselyistä ja pelastuslaitoksilta saatujen tietojen perusteella materiaaleja ja keittiötarvikkeita, jotka ovat yleisiä liesipalotilanteissa. Materiaalit on esitelty taulukossa 5. Näiden lisäksi tehtiin 23 syttymiskoetta erilaisilla ruoka-aineilla: makkara (18 % rasvaa), jauheliha (nauta, 10–15 % rasvaa), salamipitsa, kalapuikot, esikeitetty riisi ja hernekeitto.

Taulukko 5. Syttymis-, paloteho- ja huoneistopalokokeissa käytetyt materiaalit ja tarvikkeet.

Materiaali	Merkki, koko, raaka-aine	Määrä
Öljyt ja voi		
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
Ruoka		
Kalapuikot	Pirkka kalapuikko, rasvaa 7,5 %, 25 g/kalapuikko	75 g
Keittiötarvikkeet		
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

Syttymiskokeita tehtiin sekä Aalto-yliopiston laboratoriotiloissa että Pelastusopiston harjoitusalueella paloteatterissa. Aalto-yliopistolla kokeet tehtiin suuressa laboratoriohallissa teollisen kaasunkeräilyhuuvan alla. Huuvan korkeus liedon pinnasta oli 60 cm. Pelastusopiston paloteatterissa kokeita varten rakennettiin keittiökaapisto, johon kuului teräslevyllä päällystetty taustaseinä, yläkaapit ja liesituuletin. Yläkaapit olivat lastulevylaatikoita, joihin oli kiinnitetty keittiökalusteovet. Kaappien korkeus liedon pinnasta mitattuna oli 55 cm eli vastaava kuin liesivahtistandardissa. Liesituulettimena oli filmivanerista

rakennettu laatikko, jonka pohja oli metallinen reikälevy ja yläosassa metallinen ulosjohtava ilmanvaihtokanava. Liesituulettimen korkeus liedon pinnasta 60 cm eli sama kuin Aallon koekeskuksessa.

Elintarvikkeet kuumennettiin paistinpannalla. Muovit kuumennettiin aina alumiinifolion tai muun alustan päällä ja muita tarvikkeita kuumennettiin myös suoraan liedon levyllä. Kuumennaminen tehtiin aina keittotason tehokkaimmalla levyllä (vasen etulevy) täydellä teholla ja sitä jatkettiin, kunnes materiaali syttyi tai enimmillään 30 minuutin ajan.



a)



b)

Kuva 5. Syttymiskokeiden koekeskuksen kuva Pelastusopiston paloteatterissa (kuva a) ja palotehmittämisnäytteen koekeskuksen kuva Aalto-yliopistolla (kuva b).

Materiaalien lämpötilat mitattiin K-tyyppin termoelementeillä. Öljykokeissa ne asetettiin 1–2 mm pannun pinnan yläpuolelle niin, että niiden voidaan tulkita mittaavan öljyn lämpötilaa. Kiinteissä aineissa termoelementit asetettiin näytteen sisälle eri korkeuksille tai sen pinnalle. Yksi mittauspiste sijaisi n. 60 cm näytteen yläpuolella mitataan kaasun lämpötilaa.

Palotehot (HRR) mitattiin hapenkulutuskalorimetrialla, hyödyntäen ISO 5660 kartiokalorimetria. Kaasut kerättiin vaakapoikkileikkaukseltaan $0,5 \times 0,6 \text{ m}^2$ kokoiseen huuvaan, jonka alareuna oli n. 20–30 cm korkeudella liedon pinnasta (kts. Kuva 5). Kaasunkeräilyhuuva yhdistettiin kartiokalorimetrin poistokanavaan joustavalla alumiiniputkella, jonka pituus oli n. 2,5 m ja halkaisija 0,12 m. Mittauskalibroitiin metaanipolttimella, ISO 5660 -standardia soveltaen ja sen aikaviiveeksi arvioitiin 20 s.

Syttymiskokeissa oli mukana kaksi kaupallista, Safera Oy:n ja Innohome Oy:n valmistamaa liesivahtia. Molemmat tuotteet ovat EN 50615 -standardin kategoria B mukaisia, eli niiden tulee antaa hälytys ja katkaista liedon jännite ennen syttymistä. Kokeita varten laitteita muokattiin siten, että ne hälytyksestä huolimatta antoivat sähkönsyötön jatkuva, jotta kokeet voitiin viedä tarkoituksen mukaisesti loppuun. Laitteiden asennuksesta vastasivat niiden valmistajat.

4.2 Syttymätodennäköisyydet, -lämpötilat ja -ajat

Ruokaöljyillä ja voilla tehtiin kaikkiaan 121 syttymiskoetta. Itsesyttymistodennäköisyyksien estimaatit laskettiin jakamalla niiden kokeiden lukumäärä, joissa havaittiin näkyvä liekki, kaikkien saman kategorian kokeiden määrällä: $p_{\text{ign}} = n_{\text{ign}}/N$. Taulukossa 6 on esitetty tulokset sekä niille määritetyt 95 % luottamusvälit eri ylä- ja alakategorioissa. Jos kategorian määreen solu on taulukossa tyhjä, kyseisiin tuloksiin sisältyvät kaikki variaatiot. Esimerkki: öljyä tai voita käytettiin 121 kokeessa, ja niissä havaittiin 42 syttymää ($p_{\text{ign}} = 0.35 \pm 0.09$). Nämä 121 koetta voidaan jakaa kahteen alakategoriaan sen mukaan, oliko mukana kalapuikkoja ($p_{\text{ign}} = 0.25 \pm 0.12$) tai ei ($p_{\text{ign}} = 0.44 \pm 0.13$). Kalapuikkojen läsnäolo näyttäisi alentavan syttymistodennäköisyyttä. Valurautaliedellä saatiin aikaan vain yksi syttymä, jolloin syttymistodennäköisyyden estimaatti on luonnollisesti alhainen mutta epätarkka. CG ja IC-liesillä syttymistodennäköisyys oli n. 0,4, mutta paistinpannun roolista on vaikea tehdä johtopäätöksiä, koska 99 koetta 121:stä tehtiin valurautapannulla.

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

Taulukko 6. Ruokaöljyjen ja voien (suuntaa antavat) syttymistodennäköisyydet (p_{ign}) 95 % luottamusväleeseen (Studentin t-testi), syttymisajat (t_{ign}) ja -lämpötilat (T_{ign}). KA=keskiarvo, KH = keskihajonta.

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		
				62	27	0.44	0.13	309	81		
				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	-	-	-		
Auringon-		CG	CI	9	5	0.56	0.46	321	15	392	29
kukkaöljy											
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

Yllä olevassa taulukossa on esitetty myös syttymisaikojen keskiarvot ja keskihajonnat sekä materiaalin lämpötila juuri ennen syttymistä, niin ikään koesarjan keskiarvona ja keskihajontana. Keskimäärin öljyt ja voi syttyivät 325 ± 100 sekunnissa. Kalapuikkojen mukana olo ei juurikaan vaikuttanut

syttymisaikoihin, mutta liesityyppi vaikutti: syttymät tapahtuivat induktioliedellä huomattavasti nopeammin (218 ± 39 s) kuin keraamisella liedellä (372 ± 39 s).

Nyt havaittuja syttymisaikoja voidaan verrata Chen et al. (2021) mittaamiin maissiöljyn syttymisaikoihin, joiden tutkijat havaitsivat riippuvan lineaarisesti öljyn massasta: 25 mL ja 50 mL öljymäärillä maissiöljy syttyisi 530 ja 630 sekunnissa. Esimerkiksi nyt mitatut rypsiöljyn syttymisajat ovat huomattavasti lyhyempiä (311 ± 24 s), vaikka öljyjen palopisteet eroavat vain muutamalla asteella ($355\text{--}367$ °C rypsiöljylle, $362\text{--}382$ °C maissiöljylle). Wong et al. (2013) sen sijaan on mitannut huomattavasti nopeampia syttymiä pähkinäöljylle käyttäen induktioliettä: 50 mL öljymäärä syttyi 200 sekunnissa. Näyttää siltä, että eri öljyjen syttymisherkkyttä on lähes mahdotonta verrata, jos kokeissa käytetyt lämmitysmenetelmät poikkeavat toisistaan.

Keittiötarvikkeille tehtiin 61 koetta, joiden perusteella syttymistodennäköisyydeksi saatiin $0,80 \pm 0,10$ ja keskimääräiseksi syttymisajaksi 378 ± 228 s (Taulukko 7). Syttymisen todennäköisyys on keittiötarvikkeilla 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 keittiötarvikkeiden syttymistodennäköisyydet välillä $0,92\text{--}1,0$.

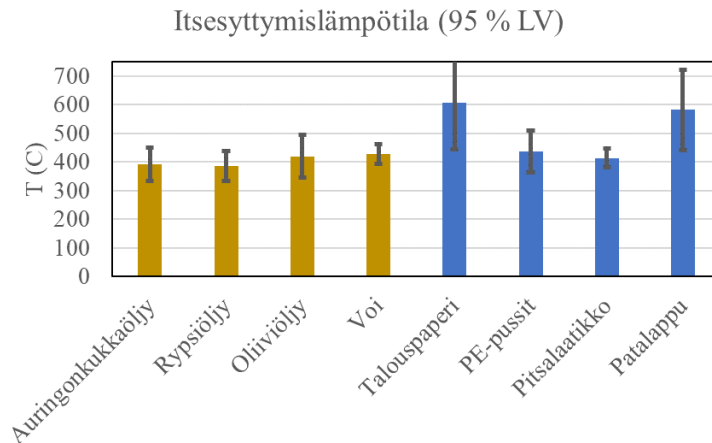
Syttymisajat poikkeavat paljon toisistaan. Pizzalaatikat ja patalaput syttyivät nopeimmin ja talouspaperi ja PE-pussit vaativat pidemmän ajan. Syttymishetken lämpötilat ovat kiinteissä aineissa huomattavasti korkeampia kuin öljyissä. Jauheliha, pizza, kalapuikot, makkara, riisi ja hernekeitto eivät syttyneet,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

Taulukko 7. Keittiötarvikkeiden suuntaa antavat syttymistodennäköisyydet (p_{ign}) 95 % luottamusväleinen (Studentin t-testi), syttymisajat (t_{ign}) ja -lämpötilat (T_{ign}). KA=keskiarvo, KH = keskihajonta.

Tarvike	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	-	-
Talouspaperi	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
Patalappu		24	13	0.54	0.22	269	112	-	-
	ei	12	11	0.92	0.18	288	112	594	66
	CI	12	2	0.17	1.4	166	27	-	-

Kuvassa 6 on esitetty yhteenveto havaituista (itse)syttymislämpötiloista. Palkit esittävät keskiarvoja ja virhejanat 95 % luottamusvälejä. Nähdään että kaikkien muiden paitsi hyvin eristävien ja huokoisten materiaalien – talouspaperi ja patalappu – syttymislämpötilat ovat n. 400 °C. Kirjallisuudessa on raportoitu, että suljetussa upokkaassa mitatut leimahduspisteet auringonkukka-, rypsi- ja oliiviöljyille ovat 178 °C, 137 °C, ja 177 °C (Yaşar, 2020). Avoimessa kupissa ruokaöljyjen leimahduslämpötilojen taas on havaittu vaihtelevan välillä 294 – 336 °C ja itsesyttymislämpötilojen välillä 360 – 420 °C. Auringonkukkaöljyn itsesyttymislämpötilaksi on mitattu 345 °C (Jain et al. 2014). Tässä tutkimuksessa mitatut öljyjen ja voin itsesyttymislämpötilat ovat samaa suuruusluokkaa tai hieman korkeampia kuin

kirjallisuusarvot, mikä voi johtua kokeissa käytetyn öljykerroksen ohuudesta. Jähmeistä aineista polyeeteenin itsesyttymislämpötilat kirjallisuudessa vaihtelevat välillä 330 – 410 °C (INCHEM, 2023) ja polyeesterin välillä 450 – 500 °C (Braun and Levin, 1985). Aaltopahvin pintalämpötilaksi syttymishetkellä taas on mitattu 538 – 749 °C (Smith and King, 1970). Nyt tehdyissä kokeissa muovimateriaalit syttyivät kirjallisuusarvoja korkeammissa lämpötiloissa, kuten ruokaöljytkin, mutta pahvin lämpötila oli alempi.

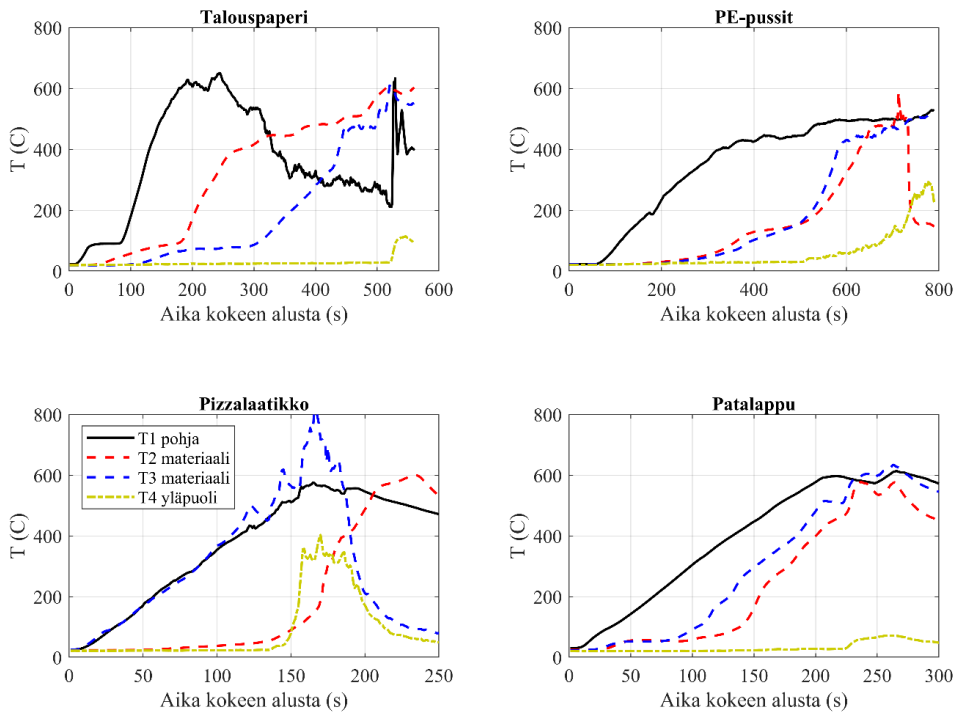


Kuva 6. Syttymiskokeissa mitatut itsesyttymislämpötilat.

Syttymisprosessien ymmärtämiseksi voidaan tarkastella kiinteiden aineiden lämpötilahistorioita. Kuvassa 7 mustat yhtenäiset käyrät (T1) on mitattu pannun ja näytteen välistä, katkoviivat (T2, T3) näytteen sisältä ja T4 kaasufaasista näytteen yläpuolelta. Talouspaperirullassa termoelementit T1-T3 oli kuitenkin sijoitettu rullan sisään eri korkeuksille, ja niistä voidaan nähdä kytemisrintaman eteneminen kapaleessa. 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 n. 100 s viiveellä ja ylittävät lopulta lieden huippulämpötilan juuri ennen syttymistä. Voimme päätellä, että syttymistä edeltävät prosessit, kuten kyteminen ja sulaminen, vaikuttavat suuresti keittötarvikkeiden syttymiseen. Yksinkertaista kriteeriä, jonka avulla paloturvallisuus olisi varmistettavissa, on vaikeaa formuloida.

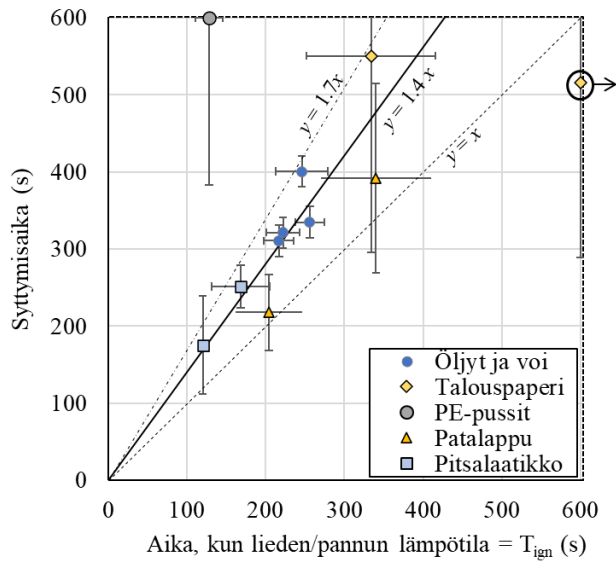
Syttymistä edeltävien prosessien roolia voidaan arvioida vertaamalla materiaalin syttymisaikaa tarvittavaan lämmitysaikaan, eli aikaan, jossa lieden tai pannun pinta saavuttaa arvioidun syttymislämpötilan (Kuva 8). Kuvassa symbolit ovat materiaalikohtaisia keskiarvoja ja virhejanat näyttävät yhden keskihajonnan. Saman materiaalin eri datapisteet vastaavat EC ja CG-liersiä. Kaikki syttymisaikat PE-pusseja lukuun ottamatta ovat pienempiä kuin 1,7 kertaa lämpenemisaika, eli syttymistä hidastavat prosessit viivästyvät syttymistä enintään 70 %. Origon kautta kulkeva regressiosuoraa tuottaa lineaarisen mallin $syttymisaika = 1,4 \times lämpenemisaika$. Lämmitysprosessi on siis tärkein syttymisaikaan vaikuttava prosessi, ja materiaaliin liittyvät prosessit kasvattavat syttymisaikaa noin 40 %:lla pelkkään lämmitysaikaan verrattuna. PE-pussien poikkeava käytös (pidempi syttymisaika) voi liittyä huomattavan painavaan näytteenpitimeen. Asettamalla pussit suoraan kuumenevalle levyille voitaisiin saada aikaan huomattavasti

tavasti nopeampi syttyminen, mutta tällaisten kokeiden turvallinen suorittaminen vaatisi erikseen suunnitellun koeasetelman. Eräs kuvasta 8 havaittava erikoisuus on, että patalappu ja talouspaperi saattavat syttyä ennen kuin liesi on saavuttanut nimellisen syttymislämpötilan. Kytemisprosessi siis nopeuttaa syttymistä näissä huokoisissa materiaaleissa.

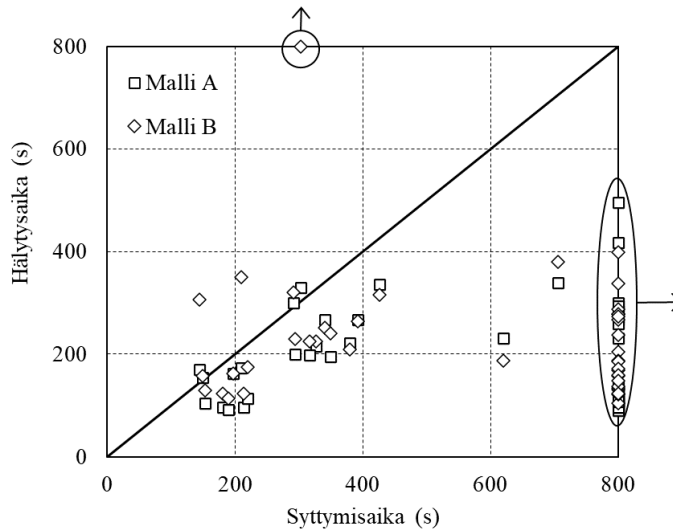


Kuva 7. Keittiötarvikkeiden lämpötiloja CG-liedellä. Syttymishetkellä näytteen yläpuolista ilman lämpötilaa mittaava T4 nousee selvästi.

Liesivahtien mahdollisuuksia syttymien estämiseen on tutkittu kuvassa 9 esittämällä liesivahtien hälytysajat samassa kokeessa havaittujen syttymisaikojen funktiona. Kuvassa on esitetty tulokset 44 kokeesta, 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 liian myöhään vain pizzalaatikko- ja patalappukokeissa, joissa eristävä materiaali peitti liesivahdilta näkyvyyden kuumalle pinnalle. Kyseisten liesivahtien toimintaperiaate perustuu lämpösäteilyn eli keittotason tai sen päällä olevien keittoastoiden ylikuumentumisen havaitsemiseen, ja toiminta voi estyä, jos näkyvyys liedelle on estetty. Öljyjen ja muiden samaan tapaan syttyvien materiaalien tapauksessa, eli kokeissa, jotka muistuttavat liesivahdistandardin EN 50615 testitilanteita, liesivahdit 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.



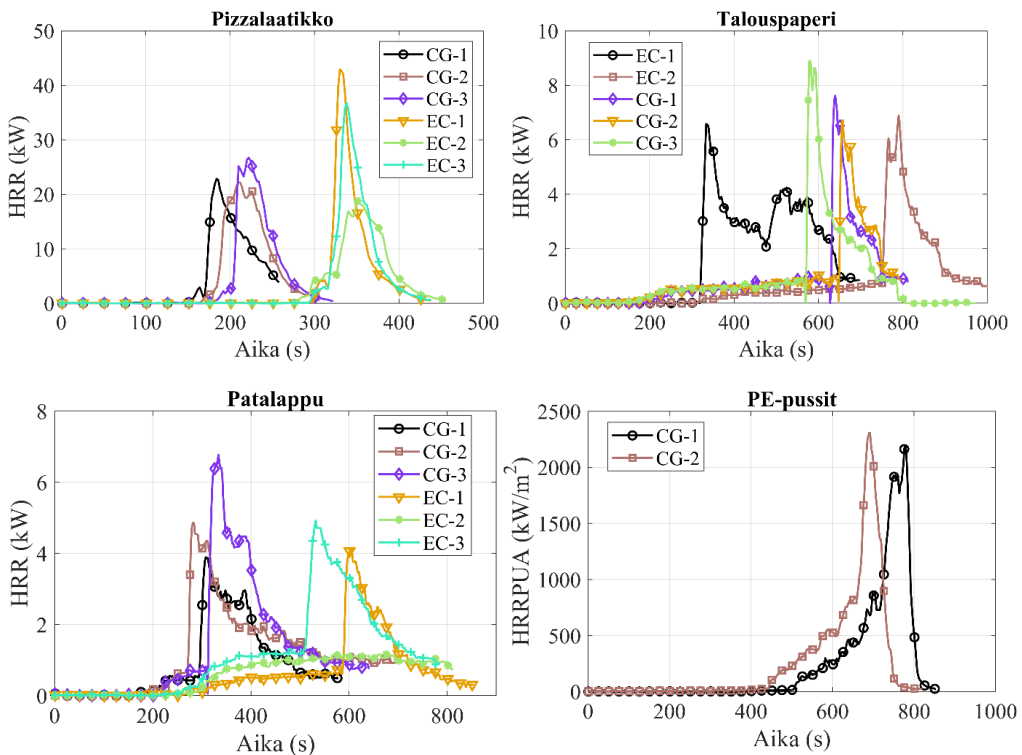
Kuva 8. Toteutuneiden syttymisaikojen ja lämpenemisaikojen (tyhjä liesi tai pannu saavuttaa syttymislämpötilan) vertailu. Nuoli osoittaa datapistettä, jossa CG-liesi ei saavuttanut syttymislämpötilaa T_{ign} .



Kuva 9. Syttymisaikojen ja kahden eri liesivahdin hälytysaikojen vertailu. Yläreunan nuoli kuvaa tapausta, jossa palo syttyi mutta laite ei hälyttänyt. Nuolella kuvan oikeassa reunassa on merkitty ne kokeet, joissa palo ei syttynyt mutta liesivahti antoi hälytyksen.

4.3 Palotehot

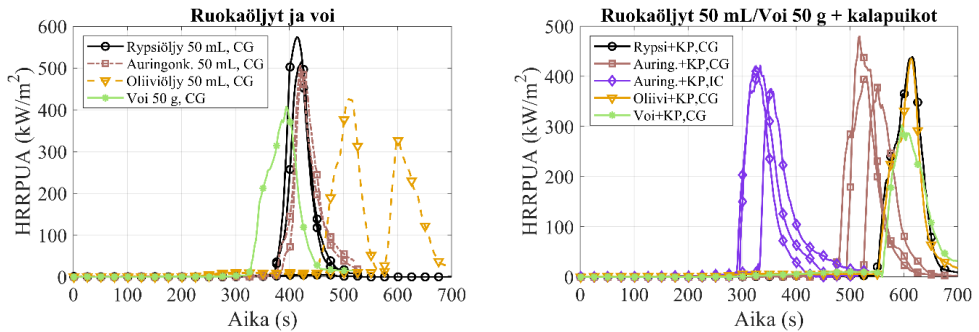
Palotehot (Heat release rate, HRR) mitattiin sekä keittiötarvikkeille (Kuva 10) että ruokaöljyille ja voille (Kuva 11). Mittaukset tehtiin EC- ja CG-liesillä. Kalapuikkojen kanssa mitatut tehot on esitetty omissa kuvissaan. Nestemäisinä palavien aineiden (öljyt, voi, PE-pussit) tehot on esitetty palaneen alueen pinta-alalla normeerattuna, jolloin yksikkönä on kW/m^2 . Keittiötarvikkeiden toistokokeet on erotettu toisistaan eri viivatyypein, mutta nesteillä luettavuuden vuoksi ei.



Kuva 10. Keittiötarvikkeiden palotehot. PE-pussien paloteho on esitetty sulaneen massan pinta-alalla normeerattuna.

Sekä pizzalaatikoiden että patalappujen syttymisajat ovat CG-liedellä lyhyempiä kuin EC-liedellä, ja pizzalaatikon tapauksessa varhaisempi syttymä näyttää korreloivan alhaisemman palotehon kanssa. Patalapuilla vastaavaa korrelaatiota ei ole havaittavissa. Taluspaperien syttymät tapahtuvat hyvin eri aikoina mutta palotehokäyrät ovat syttymän jälkeen hyvin toistettavia.

PE-pussien paloteho kasvaa palon aikana ja saavuttaa huippunsa (2000 kW/m^2) vähän ennen sammumista. Voidaan päätellä, että sulava kestämuovi voi 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.



Kuva 11. Ruokaöljyjen (vasen kuva) ja öljyn+kalapuikkojen (oikea kuva) palotehot.

Öljy- ja voipaloille oli tunnusomaista yksi 330–600 kW/m² 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. (2021) ovat kokeissaan havainneet, että öljyn määrällä on huomattava vaikutus palotehoon: valurautaliedellä kuumennettujen, 20 ja 50 g maissiöljymäärien huippupalotehot olivat 1070 ± 15 % ja 1990 kW/m² ± 26 %. Nyt tehdyissä kokeissa huippupalotehot olivat 300 ja 600 kW/m² välillä. Yksi erilaisiin palotehoihin johtava tekijä 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 (n. 100 s) ja palotehojen huiput saavutettiin nopeasti, n. 20–40 s syttymästä. Chen et al. kokeissa palot kestivät 150–250 s, koostuen kahdesta vaiheesta: alun lineaarisesta kasvuvaiheesta ja kiehumisvaiheesta. Palotehon huiput havaittiin heidän kokeissaan 50–120 s syttymisen jälkeen.

4.4 Pohdinnat

Mitattujen pintalämpötilojen perusteella voidaan päätellä, että induktioliesiin näyttäisi liittyvän muihin liesiin verrattuna alhaisempi syttymisriski sekä aiemmin tunnetun, rautapitoisia materiaaleja vaativan kuumennusmekanismin, että alhaisempien huippulämpötilojen ansiosta. Syitä alhaisempiin lämpötiloihin ei pystytty selvittämään, eikä tulosten yleistettävyydestä ole varmuutta, mutta nopeampi säätöjärjestelmä ja systeemin alhaisempi terminen inertia voivat edesauttaa ylikuumenemisen välttämässä. Toisaalta kuumennusaika oli induktioliedellä lyhyempi, ja se voi johtaa muita liesityyppejä nopeampaan syttymään, jos liesi jää valvomatta päälle.

Syttymisaikoja ja lämpötiloja mitattiin asettamalla pieni määrä ruokaöljyä (25–50 mL) tai voita (50 g) paistinpannuun ja kytkemällä liesi täydelle teholle. Öljyt ja voi syttyivät keskimäärin 0,44 ± 0,13 todennäköisyydellä, mutta kypsennettävän ruoan – tässä tapauksessa kalapuikkojen – läsnäolo pannussa alensi syttymän todennäköisyyden tasolle 0,25 ± 0,12. Keskimäärin syttyminen tapahtui 325 ± 100 sekunnissa, mutta ero induktiolieden (218 ± 39 s) ja keraamisen lieden (372 ± 39 s) välillä oli selvä. Tutkituista ruokaöljyistä rypsiöljy syttyi suurimmalla todennäköisyydellä (0,88 ± 0,29). Näitä todennäköisyysarvioita on kuitenkin pidettävä parhaimmillaankin suuntaa antavina, ja niihin voi liittyä systemaattinen, todennäköisyydestimaattia kasvattava virhe, koska koesarjat eivät olleet systemaattisia eivätkä riippumattomia.

Kuumentuvalle levyllä jätetyt keittiötarvikkeet syttyivät keskimäärin 378 ± 228 sekunnissa, 0,80 ± 0,10 todennäköisyydellä ja huomattavasti ruokaöljyjä korkeammassa lämpötiloissa. Pizzalaatikoiden ja

patalappujen syttymisajat olivat kaikkein lyhyimmät ja talouspaperin ja PE-pussien pisimmät. Havaintoihin liittyi suuri hajonta sekä nyt mitattujen syttymisaikojen sisällä että kirjallisuudessa esitettyihin aikoihin verrattaessa. Erot selittynevät ennen kaikkea erilaisilla lämmitysnopeuksilla – havaittiinhan lämmitysajan selittävän suurimman osan syttymisajasta – mutta materiaalin sisäisten prosessien havaittiin kuitenkin viivästävä syttymistä keskimäärin tekijällä 1,4. Huokoiset aineet muodostavat tässä suhteessa oman ryhmänsä, koska niissä esiintyvä eksoterminen kyteminen voi johtaa syttymiseen jo ennen kuin liesi on saavuttanut syttymishetkelle tyypillisen materiaalilämpötilan. Tämä voi johtaa odottamattomiin syttymiin alhaisemmillaakin liedien lämpötiloilla.

Ruokaöljyjen palotehojen huippuarvot olivat 300 ja 600 kW/m² välillä, minkä havaittiin tuottavan liekkejä, joiden korkeus on riittävä keittiön rakenteiden sytyttämiseen. PE-pussit ja vastaavat kestonuovit arvioidaan palotehon kannalta vaarallisimmiksi materiaaleiksi, koska niiden pinta-alalla normeerattu paloteho on kuumalla liedellä yli 2000 kW/m² ja koska ne sulaessaan voivat valua ja muodostaa suuren palavan altaan. Muiden keittiötarvikkeiden 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. Tehokkain suoja sähköliesien paloja vastaan saadaankin liesivahdin ja induktiolieden yhdistelmällä. Tällöin liesityyppi itsessään alentaa piilossa tapahtuvan ylikuumenemisen riskiä ja liesivahti pystyy torjumaan liedellä olevassa astiassa kuumenevan öljyn tai sen kaltaisen materiaalin syttymisen. On kuitenkin toivottavaa, että liesivahtistandardia kehitetään siten, että laitteilta aletaan edellyttämään myös muiden kuin ruokaöljyjen syttymien estämistä.

5. Haitallisten aineiden tuotto ja tuuletus laboratorikokeissa

5.1 Tavoite

Osa liesillä sattuvista syttymistä johtaa tulipaloon, joka vaarantaa henkilöturvallisuutta ja aiheuttaa suoria vahinkoja, mutta suuri osa tapauksista esiintyy tilastoissamme rakennuspalovaarana, eikä niistä aiheutuvien vahinkojen suuruudesta ole tarkkaa tietoa. Pienestäkin liesipalosta syntyy merkittävä määrä savua tai käryä, joka on onnettomuuden jälkeen tuulettava, ja josta aiheutuneet jäämät on siivottava.

Tulipaloissa syntyvän savun ja kemikaalien on todettu liittyvän keuhko- ja sydänsairauksien oireiden pahenemiseen ja kliinikkakäyntien lisääntymiseen [Adetona et al. 2016]. PAH-, PM- ja aldehydipäästöjen on todettu lisääntyvän, kun ruuanlaitossa käytetään öljyä, ja öljyjen ylikuumentumistilanteissa ruuanlaiton päästöt kasvavat dramaattisesti [Sjaastad & Svedsen 2009, Katragadda et al. 2010, Peng et al. 2017]. Karsinogeenisille PAH -yhdisteille ei ole olemassa turvallista raja-arvoa, joten niille altistuminen on pidettävä mahdollisimman matalana [WHO 2010]. Ylikuumentuneet teflonpannut ja LiIon -akkujen palot tuottavat syövyttävää fluorivetyä, aiheuttaen pahimmassa tapauksessa altistuneelle teflon-kuumeen [6]. Paloissa vapautuvat hengitettävät hiukkaset (<10 µm) voivat lisäksi aiheuttaa keuhkotulehduksia ja syöpää [Buonanno et al. 2013].

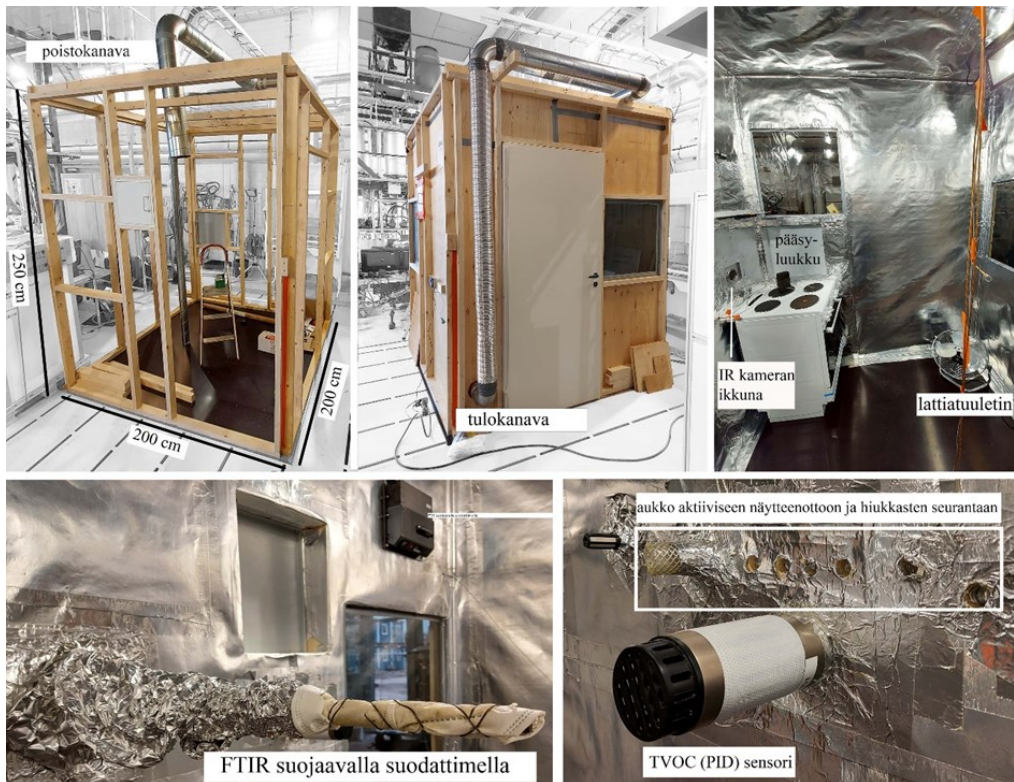
Tulipalon aikaisen myrkyllisyyden arviointia on tutkittu paljon ja menetelmät akuutin myrkytyksen arviointiin ovat olemassa [Stec & Hull, 2010]. Palon jälkeistä sisäilman altistekuormaa on tutkittu aiemmin VTT:n ja Työterveyslaitoksen tutkimuksessa, jossa selvitettiin palotutkijoiden ja palosaneeraajien altistumista simuloidun tulipalon jälkeen [Tillander et al. 2008, Tillander et al. 2009, Hakkarainen et al. 2010, Laitinen et al. 2010]. 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 keittiömateriaalien paloista aiheutuu kemikaali- ja savupäästöhaittoja, 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 ylikuumenemisten vaikutuksesta asumisterveyteen ei ole saatavilla. Kovin usein suositus siitä, voiko asukas tai asukkaat jäädä asumaan huoneistoon pelastustoiminnan päättyessä, tehdään ilman mitään konkreettista päätöksenteon apuvälinettä.

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

5.2 Tutkimusmenetelmät ja –aineistot

Koetila oli 10 m³ vanerirakenne, joka oli päällystetty alumiinipaperilla sisäpuolelta. Keraaminen liesi sijoitettiin nurkkaan kulkuluukun viereen (Kuvassa 12 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). Turvallisuussyistä näytteenotto suoritettiin ulkopuolelta asettamalla näytteenottolinjat suoraan seinän läpi 1,5 metrin korkeudelle.

Kokeet tehtiin keraamisella liedellä (Rosenlew RHRN642X), sen suurimmalla (210 mm) lämmityselementillä, jonka teho on 2200 W. Materiaalit asetettiin joko suoraan liedelle, alumiinifolion 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.



Kuva 12. Koetila ja kaasunäytteiden mittauspisteet laboratoriokokeissa.

Kukin koe koostui seuraavista vaiheista:

- (1) Kuumennusvaihe. Materiaaleja kuumennettiin maksimiteholla 15–60 minuutin ajan. Täysi lämmitysteho oli alussa 2 kW ja pieneni automaattisesti 1 kW:iin 15 minuutin kuluttua. Tämän havaittiin nostavan tyhjän astian lämpötilan 400–500 °C:seen viidessä minuutissa, mutta elintarvikkeiden läsnäolo alensi lämpötiloja merkittävästi. Tänä aikana huonepaine oli muuttaman pascalin matalampi kuin laboratoriossa ja lattiapuhallin oli päällä.
- (2) Tuuletusvaihe. Materiaali poistettiin luukun kautta. Koetilan poisto- ja paluukanavat avattiin, poistopuhaltimen tehoa kasvatettiin, ja tilan annettiin tuulettua siten, että koko ilmamäärä vaihtui neljä kertaa. Lattiapuhallin pidettiin päällä. Tuuletusvaiheen kesto oli n. 15 min.

- (3) Näytteenotto. Aktiivinen näytteenotto aloitettiin 30 minuutin kuluessa testikeittiön tuuletuksesta. Tila pidettiin lievän alipaineen alaisena ja lattiatuuletin pois päältä.
- (4) Siivous. Koetila puhdistettiin etanolilla ja tuuletettiin. Astiat puhdistettiin tavallisella astianpesuaineella ja vesijohtovedellä.

Tutkimukseen valittiin materiaaleja, jotka olivat Suomessa yleisiä liesipalo-onnettomuuksissa vuosina 2016–2020. Materiaalit ja niiden massat olivat seuraavat: PE-pussit 50 g, öljyt 23 g, talouspaperirulla 115 g, pizzalaatikko 20 g, patalappu 55 g, jauheliha ja kalapuikot 100 g, hernekeitto 520 g, riisi 1 dl (RT 03) tai 2 dl (RT 21 ja 22), makkara 300 g (RT 02) ja 150 g (RT 28 ja 30).

Taulukko 8. Keräimet, näytteenotto ja analyysilaitteistot

Keräimet	Näytteenotto	Analyysilaitteisto
FTIR-näytteenotin, suojattu paperisuodattimella. Näytteenotto-linjan lämpötila 180 °C.	Jatkuvatoiminen näytteenotto 15 s välein. 400 ml näytekammio.	Fourier Transform Infra Red (FTIR) Gasmet Dx4000. 8 cm ⁻¹ 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 ³)	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 ³)	HPLC-UV (analyysi sisälsi 13 karbonyyliä)
Teflonsuodatin (PAH-yhdisteet ilmassa kulkeutuvista hiukkasfraktioista)	30 minuuttia nopeudella 2 l/min (LOD 0,04 µg/m ³)	Kaasukromatografia-massaspektrometria-laitteisto (GC/MS). Analysoitiin 16 PAH-yhdistettä. Ilmasta otetuista näytteistä seulottiin myös 1-metyylinaftaleenia ja 2-metyylinaftaleenia).
	200 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 0,012 µg/m ³)	
Orbo 43 (PAH-yhdisteet ilmasta)	25 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 0,4 µg/m ³)	
	100 minuuttia nopeudella 1 l/min (LOD 0,02 µg/m ³)	
Etanolilla kostutettu puuvillavanutuppo (laskeutuneet PAH-yhdisteet)	Pyyhitty kokonaispinta-ala 1232 cm ² (LOD 0,05-0,8 ng/cm ²)	

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-paine-erolähettimeillä. Poistokanavan tilavuusvirta mitattiin Fläktwoods IRIS-200 säätölaipan ja Swema 3000md painemittarin avulla.

Näytteistä analysoitiin VOC-yhdisteet, karbonyylit, PAH-yhdisteet ilmassa kulkeutuvista hiukkasfraktioista, ilmassa kulkeutuvasta kaasufaasista ja laskeutuneesta pölystä. Laskeutuneet PAH-yhdisteet kerättiin pyyhkimällä etanolilla kostutetulla puuvillavanutupolla pinnat kahdelta suorakaiteen muotoiselta lasilevyltä, jotka oli sijoitettu testikeittiön lattialle noin 90 cm:n etäisyydelle liedestä. Keräimet, näytteenotto ja analyysilaitteistot on lueteltu taulukossa 8.

Lisäksi analysoitiin kaksi taustanäytettä puhdistetussa ja ilmastoidussa koetilassa ylikuumentamalla ruokaa ja yksi taustanäyte laboratoriahallista, johon koetila oli rakennettu. Yksi näyte otettiin ilmanlaadun tilan selvittämiseksi 24 h materiaalin kuumentamisen jälkeen (PE-pussit 24 h materiaalin kuumentamisen jälkeen testistä RT35).

Kaasumaisten yhdisteiden tuoton laskenta perustuu oletukseen, että tila on täysin sekoitettu, ja kuumennusvaiheen lopussa havaittava konsentraatio on suoraan verrannollinen vapautuneeseen massaan. Materiaalin j palaessaan/pyrolysoituessaan tuottaman yhdisteen i tuotto on siis

$$y_{ij} = \frac{c_i V_r}{m_j} \quad (1)$$

missä c_i on yhdisteen i massakonsentraatio kuumennusvaiheen lopussa, V_r on koetilan tilavuus ja m_j on palaneen materiaalin alkuperäinen massa. Kyseessä on siis 'tuotto osallistuvaa massayksikköä kohden'. Hävinneen massan arviointi ei kaikissa tapauksissa ollut mahdollista, eikä se ole myöskään mielekäs suure paloturvallisuusarvioinnissa.

FTIR-menetelmällä mitatuista konsentraatioista kuumennusvaiheen lopun arvot saadaan suoraan ajankohdan tai mitatun maksimiarvon perusteella. Tuuletuksen jälkeen otetuista ilmanäytteistä ne on laskettava ajassa taaksepäin olettaen, että tuuletus laimentaa konsentraatiota ideaalisesti N_{AE} kertaa

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

missä $c_{i,s}$ on ilmanäytteen perusteella mitattu konsentraatio ja N_{AE} on tuuletuksen ilmanvaihtoluku.

Palotilanteen tuuletusvaatimus voidaan johtaa samalla periaatteella, kun oletetaan täydellisesti sekoittunut tilavuus ja laimennusprosessi. Jos nyt tunnetaan laboratoriokekeen perusteella mitattu tuotto y_{ij} , palanut massa m_j , ja asunnon tilavuus V_a , saadaan yhdisteen i tuuletuksen jälkeiseksi keskimääräiseksi konsentraatioksi

$$c_{ij} = \frac{y_{ij} m_j}{V_a} e^{-N_{AE}} \quad (3)$$

Jos yhdisteelle i voidaan määrittää onnettomuustilanteen jälkeisen asumisterveellisyyden kannalta olemassa oleva hyväksyttävä konsentraatio $c_{i, \text{safe}}$, voidaan tuuletusvaatimus johtaa seuraavasti, kun vaaditaan, että tuuletus alentaa kaikkien tunnettujen yhdisteiden konsentraatiot turvalliselle tasolle

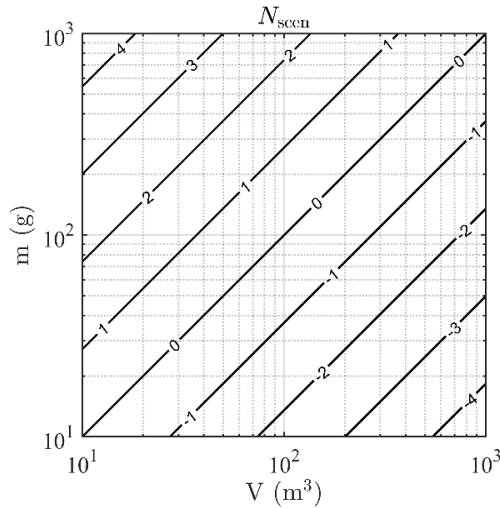
$$\begin{aligned} & c_{i,j} < c_{i, \text{safe}}, \quad \forall i \\ \Rightarrow & \frac{y_{ij} m_j}{V_a} \exp(-N_{AE}) < c_{i, \text{safe}}, \quad \forall i \\ \Rightarrow & N_{AE} > \max_i \left[\ln \left(\frac{y_{ij} m_j}{c_{i, \text{safe}} V_a} \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Tuuletusvaatimus voidaan edelleen jakaa palavan materiaalin haitallisuudesta ja paloskenaarion muista ominaisuuksista riippuviin osiin. Määritellään referenssimassakonsentraatio, jonka arvoksi valitaan $c_{\text{ref}} = 1 \text{ g/m}^3$.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{AE}} &> \max_i \left[\ln \left(\frac{y_{ij}}{c_{i,\text{safe}}} \cdot c_{\text{ref}} \cdot \frac{m_j}{V_a} \cdot \frac{1}{c_{\text{ref}}} \right) \right] \\
 \Rightarrow N_{\text{AE}} &> \max_i \left[\ln \left(\frac{y_{ij}}{c_{i,\text{safe}}} \cdot c_{\text{ref}} \right) + \ln \left(\frac{m_j}{V_a} \cdot \frac{1}{c_{\text{ref}}} \right) \right] \\
 \Rightarrow N_{\text{AE}} &> \max_i \left[\underbrace{\ln \left(\frac{y_{ij}}{c_{i,\text{safe}}} \cdot c_{\text{ref}} \right)}_{N_{\text{mat},ij}} + \underbrace{\ln \left(\frac{m_j}{V_a} \cdot \frac{1}{c_{\text{ref}}} \right)}_{N_{\text{scen}}} \right]
 \end{aligned} \tag{5}$$

Referenssikonsentraation tehtävä on tehdä logaritmin sisällä olevat lausekkeet laaduttomaksi niin, että logaritmi on matemaattisesti sallittu operaatio.

Yllä ilmanvaihtokerroin N_{mat} riippuu vain siitä *mitä* palaa ja kuinka haitallisia kyseisen palavan materiaalin palamistuotteet ovat. Kerroin N_{scen} taas riippuu *paloskenaariosta* eli palavan materiaalin määrästä (massasta) ja palavan huoneiston tilavuudesta. Kuvassa 13 on esitetty N_{scen} arvot tasa-arvokäyrinä, kun palavan materiaalin massa vaihtelee välillä 10...1000 g ja tilavuus välillä 10...1000 m³. Nähdään että skenaarion vaikutus voi olla joko ilmanvaihtomäärää kasvattava tai vähentävä, suhteessa materiaalin laatuun. On siis mahdollista, että kahden kertoimen summa on negatiivinen, mikä tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että palo ei aiheuta tilaan minkään yhdisteen suhteen vaarallista konsentraatiota.

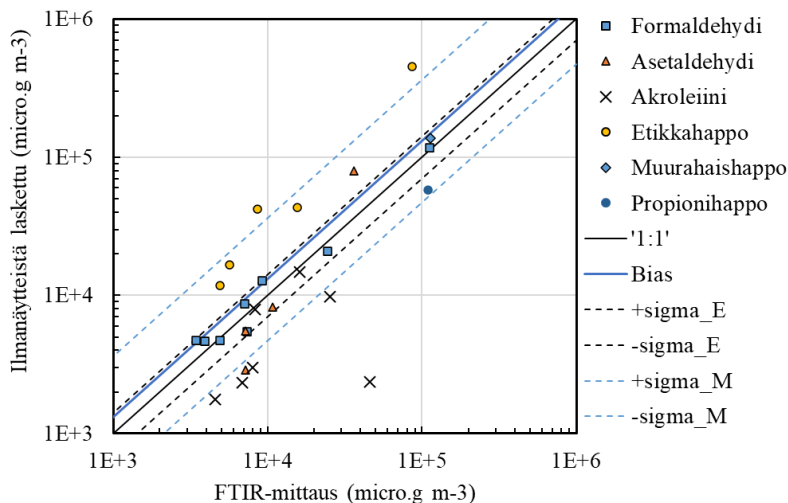


Kuva 13. Paloskenaarion ilmanvaihtokerroin N_{scen} massan ja tilavuuden funktiona.

5.3 Tulokset

Laboratoriokeita 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 laboratoriohallista, johon koetila oli rakennettu. Yksi näyte otettiin ilmanlaadun tilan selvittämiseksi 24 h materiaalin kuumentamisen jälkeen (PE-pus-sit).

Kuvassa 14 on verrattu FTIR-näytteistä saatuja suurimpia pitoisuuksia ja tuuletuksen jälkeen otettujen ilmanäytteiden perusteella laskettuja pitoisuuksia (kaava 3). Nähdään että formaldehydin ja muura-haishapon osalta kahden eri menetelmän antamat konsentraatiot vastaavat hyvin toisiaan. Myös useim-mat asetaldehydin lasketut tulokset ovat FTIR-menetelmän kokeellisen keskihajonnan sisällä. Etikka-hapon osalta korrelaatio on vahva, mutta laskettuun tulokseen liittyy systemaattinen harha. Akroleiinin osalta osa lasketuista pisteistä vastaa hyvin mitattuja arvoja, mutta osa on selvästi aliarvioituja. Kaiken kaikkiaan, laskenta tuotti n. 30 % suuremmat pitoisuudet kuin suora mittaus.



Kuva 14. Ilmanäytteistä laskettujen, tuuletusta edeltävien konsentraatioiden vertailu FTIR-mittauksiin. Keskihajontoja esittävistä katkoviivoista 'E' viittaa FTIR-mittaukseen ja 'M' ilma-näytteistä laskettuihin pitoisuuksiin.

Taulukossa 9 on esitetty tärkeimpien näytteistä syntyvien orgaanisten aineiden tuotot (kaava 1). Tois-tokokeiden osalta esitetty luku on kokeiden keskiarvo. Alkoholeja havaittiin kaikista näytteistä, mutta tuloksia voi vääristää tilan puhdistuksessa käytetty etanoli. Taulukossa 10 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.

Taulukko 9. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tuotot tuuletuksen jälkeen otettujen näytteiden perusteella, kerrottuna tuhannella ($g/g \times 10^3$).

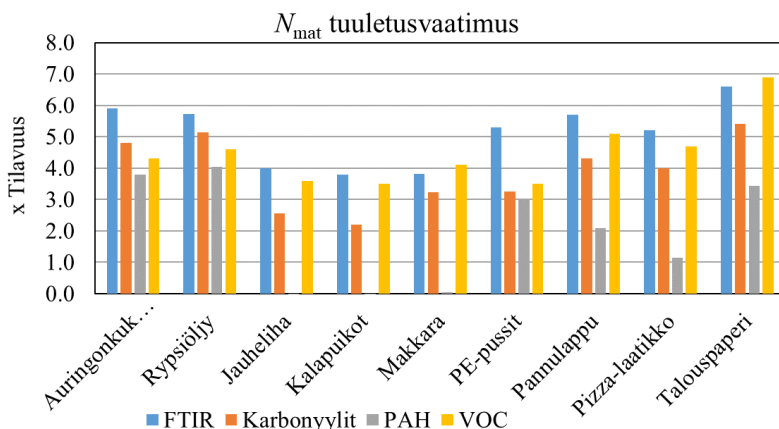
Yhdiste	Auringon-kukkaöljy	Jauhe-liha	Kala-puikot	Mak-kara	PE-pussit	Pata-lappu	Pitsa-laatikko	Rypsi-öljy	Talous-paperi
Akroleiini	2,8	0,30	0,18	0,58	0,60	0,36	0,33	3,96	0,70
Asetaldehydi	1,22	0,55	0,40	0,00	1,40	13,14	1,03	2,16	4,26
Asetoni	0,39	0,26	0,17	0,24	0,33	0,26	0,64	0,79	2,62
Formaldehydi	1,84	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 10. PAH-yhdisteitä tuottaneet materiaalit.

Yhdiste	Pata-lappu	PE-pussi	Öljyt	Taluspapери
Naftaleeni	x ²	x ²	x ²	x ²
Fluoreeni	x ^{1,2}			
Fenantreeni	x ¹	x ¹	x ¹	
Asenaftyleenia		x ²	x ²	
Fluoranteeni	x ¹	x ¹	x ¹	
Pyreeni		x ¹	x ¹	
Kryseeni	x ¹			

¹ PAH-laskeuma, ² PAH-ilmanäytteet

Yhdistämällä tuotot asumisterveyden kannalta olennaisiin raja-arvoihin [WHO 2010, STM 2015, ANSES 2023] kaavassa 5, voitiin muodostaa tuuletusvaatimukset eri materiaaleille. Kuvassa 15 on esitetty liesipaloon osallistuvan materiaalin tuottama osuus tuuletusmäärävaatimuksesta eli kaavan 5 ensimmäinen termi, N_{mat} . Kuvassa verrataan eri mittaustavoilla (FTIR tai näytteenotto+kaava 3) 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.



Kuva 15. Palavan materiaalin edellyttämä tuuletuskertojen määrä N_{mat} eri näytteenottotapojen perusteella.

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). Bentseeniä (4,5) havaittiin myös useissa näytteissä, ja joissakin kokeissa se muodostui määrääväksi. Myös hiilimonoksidia (1,4), typpidioksidia (2,6) ja vetykloridia (2,7) havaittiin määriä, jotka edellyttäisivät tuuletusta.

VOC-mittausten perusteella tärkeimpiä yhdisteitä olivat pentaani ($N_{\text{mat}} = 3,8$), 2-metoksi-4-vinyylifenoli (3,9), 2-metoksi-4-metyylifenoli (4,1), butaanidiaali (3,7), etikkahappo (4,3) ja muurahaishappo (4,6). Fenoli-yhdisteitä havaittiin vain talouspaperin savussa. Kaasunäytteiden karbonyyleistä eniten tuulettamista vaatisivat akroleiini (3,3) ja formaldehydi (3,2), mutta asetaldehydiäkin havaittiin pannulappu- ja talouspaperikokeissa ($N_{\text{mat}} = 0,4 - 1,5$).

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

Eri lähteistä poimitujen raja-arvojen välillä oli suuria, jopa suuruusluokkaeroja, koska niiden käytötarkoitus poikkesi toisistaan. Jos laskennassa käytettiin työpaikkojen terveellisyden arviointiin tarkoitettuja raja-arvoja (HTP 8H), ne jaettiin tekijällä 10, jotta saatiin huomioitua herkempien ihmisyhmien vaikutus. Monille havaituille yhdisteille ei löydetty raja-arvoja lainkaan. Karsinogeenien raja-arvojen valinta oli hankalaa, koska onnettomuustilanteisiin soveltuvia raja-arvoja ei ole yleisesti määriteltä. Nyt päädyttiin käyttämään suurimman syöpäriskin (1/10 000 a) raja-arvoa.

5.4 Soveltaminen savutuuletukseen

Pelastustoimen savutuuletusohjeistuksen kannalta ei ole mielekästä taulukoida tai soveltaa yksittäisten materiaalien vaatimuksia, koska palotapahtumaan voi osallistua useampia aineita tai niitä ei tarkasti tiedetä. Kuvan 15 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 keittiötarvikkeet. Niille voidaan asettaa tuuletusvaatimukseksi 6 ilmanvaihtoa.

Toinen tuuletusvaatimukseen vaikuttava tekijä on palavan aineen massan ja huoneiston tilavuuden suhde, eli kaavan 5 toinen termi N_{scen} . Kuvassa 13 on esitetty N_{scen} tasa-arvokäyrän 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 materiaaliyhmää (4 ja 6 ilmanvaihtoa) yhdistetään joukkoon valmiiksi laskettuja N_{scen} arvoja. Taulukossa 11 on esitetty kokonaistuuletustarpeet (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 vettä sisältävää ruoka-ainetta pannussa kärytettyä edellyttää siis 3 – 4 ilmanvaihtoa asunnon koosta riippuen. Vastaa-vasti 1000 g ruokaöljyä tai muovivaatia pienessä asunnossa jopa yhdeksän ilmanvaihtoa. Muita, nyt taulukoiduista tapauksista poikkeavia vaatimuksia voidaan laskea helposti lisää tai ne voidaan määrittää kuvan 13 avulla.

Käytännössä savutuuletus toteutetaan ali- tai ylipainetuuletuksella. Puhaltimille on määritelty teoreettinen tilavuusvirta TV , jonka ne pystyvät tuottamaan. Tuuletusilmavirta on kuitenkin tehokas vain, jos poistuvan kaasun mukana ei virtaa raikasta ilmaa, vaan nimenomaan savua. Äärellisen tehokkuuden huomioimiseksi määritellään tehollinen tilavuusvirta $e \times TV$. Ylipainetuuletuksessa ilmasuihku sekoittaa tilaa tehokkaasti, ja oletamme tehollisuuskertoimeksi $e = 1$. Alipainetuuletuksessa puuttuu huoneiston ilmaa sekoittava vaikutus, ja oletamme teholliseksi tilavuusvirraksi 25 % nimellisvirtauksesta, eli $e = 0,25$. Tämä on karkea arvio, ja todellisia e arvoja olisi syytä selvittää lisätutkimuksella. Lisäksi tilavuusvirta TV riippuu puhaltimen sijoittelusta suhteessa aukkoihin.

Taulukko 11. Asunnon tuuletusvaatimus N_{AE} , kun huonekorkeus on 2,5 m.

Huoneiston ala (m ²)	Palaneen tai ylikuumentuneen materiaalin			
	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 keittiötarvikkeet	6	8	9
50		6	7	8
75		5	7	8
100		5	7	7

Tuuletusaika voidaan nyt laskea vaadittavien tuuletuskertojen (N_{AE}), huoneiston tilavuuden (V) ja tehollisen tilavuusvirran $e \times TV$ avulla

$$aika = \frac{N_{AE} \times V}{e \times TV} \quad (6)$$

Taulukossa 12 on esitetty tuuletusajat esimerkissä, jossa käytetään alipainetuuletusta ($e = 0,25$) puhaltimella, jonka tuotto on 30 000 m³/h. Tuuletusajat vaihtelevat 2 ja 15 min välillä.

Taulukko 12. Tuuletukseen vaadittava aika minuutteina, kun $TV = 30\,000$ m³/h, $e = 0,25$ ja huonekorkeus = 2,5 m.

Huoneiston ala (m ²)	Palaneen tai ylikuumentuneen materiaalin			
	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 keittiötarvikkeet	3	4	4
50		6	7	8
75		8	10	12
100		10	13	15

5.5 Päätelmät

Tulokset osoittivat, että tärkeimpiä tuuletettavia haihtuvia yhdisteitä olivat akroleiini, formaldehydi, bentseeni, typpidioksidi, vetykloridi, pentaani, 2-metoksi-4-vinyylifenoli, 2-metoksi-4-metyylifenoli, butaanidiaali, etikkahappo ja muurahaishappo. PAH-yhdisteistä merkittäviä tuuletusvaatimuksia

aiheutti lähinnä naftaleeni, jota syntyi 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 määritelty. Ei ole myöskään selvää tulisiko eri yhdisteitä käsitellä erikseen vai ryhmiteltynä.

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

Tärkein jatkotutkimustarve liittyy todellisten asuntojen ja laboratoriotilan välisten erojen kvantifioimiseen. Todellisissa palotilanteissa huoneterä 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 tunneta. Myös savutuuletuksen tehokkuutta ja eri tuuletustapoihin (yli-/alipainetuuletus) liittyviä haasteita tulisi selvittää.

6. Haitallisten aineiden pitoisuudet ja tuuletus asunnoissa

6.1 Tutkimusmenetelmät ja -aineistot

Asuinympäristöön huoneistopalotilanteissa kertyvien ja jäävien altisteiden määriä selvitettiin Pelastusopiston huoneistopalokokeilla. Ne toteutettiin rivitalohuoneistoissa, jotka olivat valmistuneet 1987 (kuva 16). Rakennukset olivat yksikerroksisia, tiiliverhoiltuja ja vesikatteena oli peltikate. Vaikka huoneistot odottivat purkua, oli niissä edelleen normaali huonelämpötila ja kosteus. Huoneistoissa oli asuntojen tavanomaiset pintamateriaalit ja kiinteät kalusteet mutta ei muita kalusteita, irtaimistoa, verhoja tai mattoja. Huokoisen materiaalin lisäämiseksi kiinnitettiin seinälle samaan tilaan lieden kanssa polyesterivanutäytteen peitto (150 cm x 200 cm). Huoneistoja oli kahta tyyppiä: 2 huonetta + keittiö (51 m²) ja 2 huonetta + keittokomero (40 m²). Huonekorkeus oli 2,5 m. Huoneistojen vaate- ja pesuhuoneet sekä ikkunat ja ulko-ovet suljettiin kokeiden ajaksi mutta väliovet pidettiin avoimina. Ilman vaate- ja pesuhuonetta huoneistojen koot olivat 45 ja 36 m².



Kuva 16. Esimerkki huoneistopalokokeissa käytetyistä rivitalohuoneistoista.

Jokaisessa kokeessa aiheutettiin huoneistossa rakennuspalovaaratilanne eli tilanne, jossa ylikuumenemisen seurauksena materiaali joko savusi tai syttyi mutta tuli ei levinnyt syttymiskohdastaan muuhun irtaimistoon tai rakenteisiin. Kokeissa käytettiin valurautaliettä (Taulukko 3) ja auringonkukkaöljyn kanssa valurautapannua (Taulukko 4), vastaavasti kuin syttymiskokeissa. PE-pussit kuumennettiin

alumiinifoliovuossa, jotta sulanut muovi pystyttiin poistamaan liedeltä. Patalaput asetettiin suoraan lieden levyille kuumennettaviksi. Koeasetelmat on kuvattu taulukossa 13.

Taulukko 13. Huoneistopalokokeiden koemateriaalit, -huoneistot ja näytteenottojen aloitusajat.

Koemateriaali	Määrä	Kuumennus- alusta	Huoneisto- tyyppi	Koko m ²	Tilavuus m ³	Näytteenotot		
						Heti	4 h	17 h
Auringonkukkaöljy	50 ml	CI-pannu	2 h + k	45	113	x		
Auringonkukkaöljy	50 ml	CI-pannu	2 h + k	45	113	x	x	x
PE-pussit (2 pkt)	210 g	Al-foliovuoka	2 h + k	45	113	x		
PE-pussit (2 pkt)	210 g	Al-foliovuoka	2 h + k	45	113	x	x	x
Patalaput (2 kpl)	120 g	-	2 h + kk	36	90	x		
Patalaput (2 kpl)	120 g	-	2 h + kk	36	90	x	x	x

Näytteenottpisteet sijaitsivat isommissa asunnoissa keittiössä (etäisyys liedestä 1,5 metriä), olohuoneessa (5 metriä) ja makuuhuoneessa (6,5 m). Pienemmissä asunnoissa vastaavat etäisyydet olivat 2,5 m, 3 m ja 5 m. Koska niissä olohuone ja keittokomero olivat samassa tilassa, mitattiin olohuonetta kuvaavat pitoisuudet käytävän puolelta.

Ennen kokeen kuumennusvaihetta käynnistettiin hiilimonoksidipitoisuuden mittaus (PAC 6500) kaikissa näytteenottpisteissä: keittiössä, olohuoneessa ja makuuhuoneessa, ja sitä jatkettiin vielä tuuletuksen jälkeen. Myös lasilevyt PAH-pintapyyhintänäytteiden ottoa varten asetettiin näytteenottpisteiden pöytätasolle 45 cm korkeudelle ennen kuumennuksen aloittamista. Jokaista pyyhintänäytettä varten oli kaksi 22 cm x 28 cm kokoista lasilevyä (kokonaispinta-ala 1232 cm²).

Kokeessa materiaalia kuumennettiin lieden vasemmalla etulevyllä täydellä teholla (6/6) enintään 30 minuutin ajan tai kunnes materiaali syttyi. Sen jälkeen suoritettiin sammutusraivaus eli materiaali tuhautettiin tarvittaessa ja kuljetettiin ulos. Huoneiston ovet ja ikkunat avattiin ja se tuuletettiin pelastuslaitosten käyttämällä savutuulettimella alipainetuuletuksena. Tuuletin oli sijoitettu asunnossa keskeiselle paikalle ja siihen oli liitetty muovinen poistoputki ilman ohjaamiseksi ulos. Tuuletuksessa poistettu ilmamäärä oli noin 6,3 kertaa huoneiston tilavuus. Savutuuletuksen jälkeen kytkettiin huoneiston liesituulettimeen kanavapuhallin pitämään yllä normaalitasoista ilmanvaihtoa eli 0,5 huoneiston tilavuutta tunnissa. Korvausilmaa huoneistoon tuli olo- ja makuuhuoneiden ikkunanpuitteiden ilmaventtiileistä.

Savutuuletuksen jälkeen ja huoneiston lämpötilan palattua normaaliksi otettiin kaikista kolmesta näytteenottpisteestä näytteet sekä kaasumaisten että hiukkasmaisten PAH-yhdisteiden, aldehydien ja VOC-yhdisteiden määrittämiseksi samoilla menetelmillä kuin laboratorio-olosuhteissa tehdyissä kokeissa (Taulukko 14). Lisäksi jokaisen materiaalin kokeista otettiin yhdet näytteet myös noin neljän tunnin ja 17 tunnin kuluttua. PAH-pintapyyhintänäytteet otettiin kunkin näytteenottoasetin alkuvaiheessa. Lasilevyt pyyhittiin etanoliin (5 ml) kastetulla puuvillavanutupolla, joka pakattiin näyteputkeen PAH-analyysiin lähetettäväksi.

Taulukko 14. Huoneistopalokokeiden keräimet ja näytteenoton kesto ja virtaus.

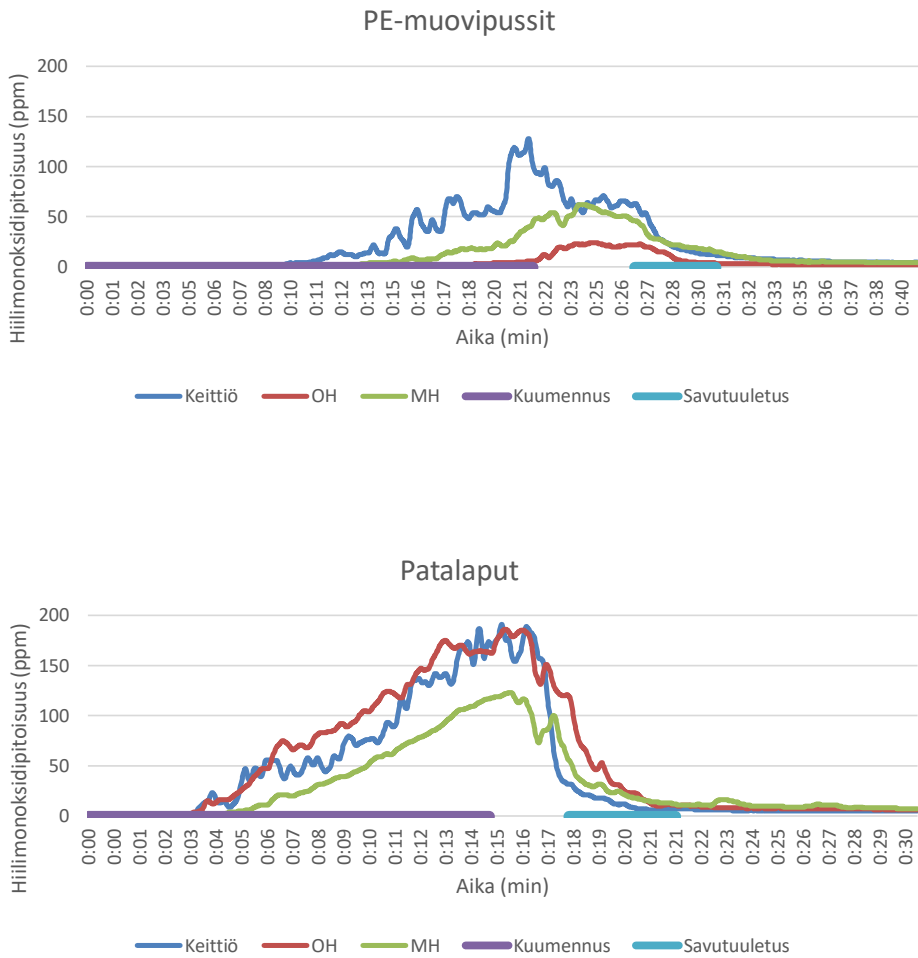
Yhdisteryhmä	Keräin	Kesto (min)	Virtaus l/min
Aldehydit	DNPH-patruuna	30	1,0
VOC	Tenax TA- carbograph 5 TD adsorbentti	30	0,1
PAH (hiukkasmaiset)	PTFE-suodatiti	200	1,0
PAH (kaasumaiset)	Orbo 43-adsorbentti	200	1,0

6.2 Tulokset

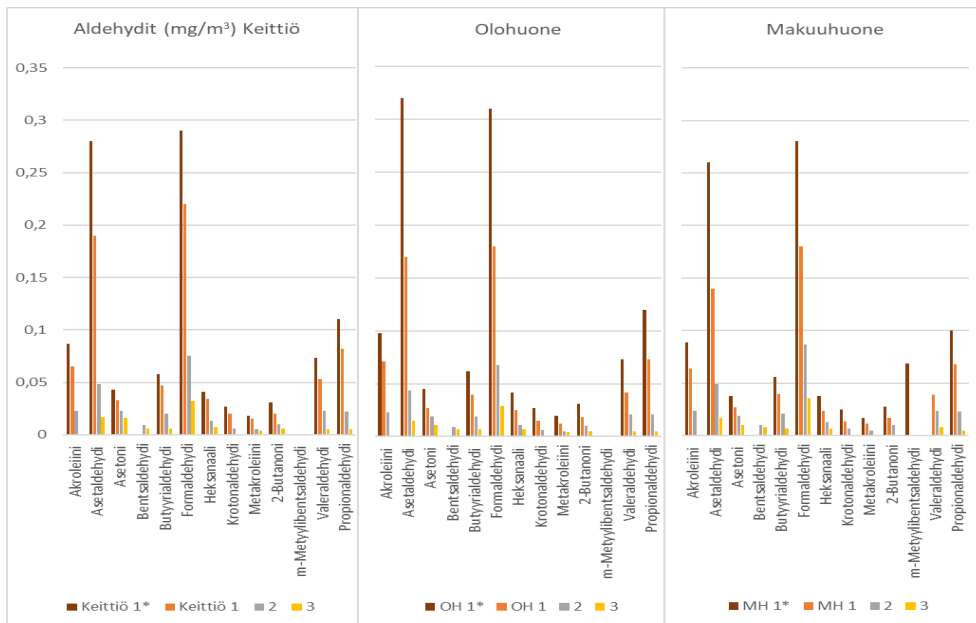
Asunnoissa tehdyissä kokeissa havaittiin, että materiaali vaikutti ylikuumenemisessa muodostuvaan savuun: materiaalmäärien erokin huomioituna vähiten savua muodostui auringonkukkaöljyllä ja eniten PE-pusseilla. Savu levisi asunnon kaikkiin avoimma olleisiin tiloihin. Erityisen paksua savu oli PE-pussien testeissä, joissa näkyvyys huoneistoissa muuttui heikoksi. Toisessa PE-pussien kokeista muodostui myös selvästi havaittavaa mustaa laskeumaa, joka näkyi keittiön pinnoilla ja pyyhintänäytteiden vanutuppojen mustumisena. Savutuuletuksen jälkeen huoneistossa havaittu haju oli auringonkukkaöljyjen kokeissa grillikioskin hajua muistuttava, PE-pusseilla lähinnä kynttilämäinen ja patalapuilla hyvin pistävä. Pistävä haju viiپی huoneistossa muita hajuja pidempään ja oli havaittavissa koehuoneistoissa olleista välineistä vielä niiden puhdistuksen jälkeenkin. Savua ja hajua kulkeutui myös asunnon välikatolle selvästi havaittavina määrinä, vaikka savutuuletus oli tehty alipainetuuletuksena. Kunkin rakennuksen yläpohja oli yhtenäistä tilaa eikä asuntojen välillä ollut palokatkoja.

Hiilimonoksidi levisi melko tasaisesti koko asuntoon mutta eri koemateriaaleilla pitoisuudet erosivat selvästi: maksimiarvot eri huoneissa olivat auringonkukkaöljyllä 3–7 ppm, PE-pusseilla 24–130 ppm ja patalapuilla 120–190 ppm. Hiilimonoksidipitoisuuksien muutokset PE-pusseilla ja patalapuilla on esitetty kuvassa 17. Asumisterveysasetuksen mukaan sisäilman hetkellinen hiilimonoksidipitoisuus ei saa ylittää 7 mg/m^3 , joka vastaa noin 6 ppm (Valvira 2016). Tässä tarkastelussa kemiallisten altisteiden raja-arvoina on käytetty 10 % työhygieenisistä haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista eli $\text{HTP}_{15 \text{ min}}$ -arvoista, koska asumisessa altistumisaika on työperäistä altistumista pidempi. Hiilimonoksidille tämä on 7,5 ppm ($\text{HTP}_{15 \text{ min}}$ 75 ppm) (STM 2020). PE-pussien ja patalappujen kuumennusvaiheessa ylittivät nämä rajat, auringonkukkaöljylläkin korkein pitoisuus oli lähellä rajoja. Pitoisuudet alkoivat laskea jo sammutusraivauksen myötä ja savutuuletus alensi pitoisuuksia nopeasti.

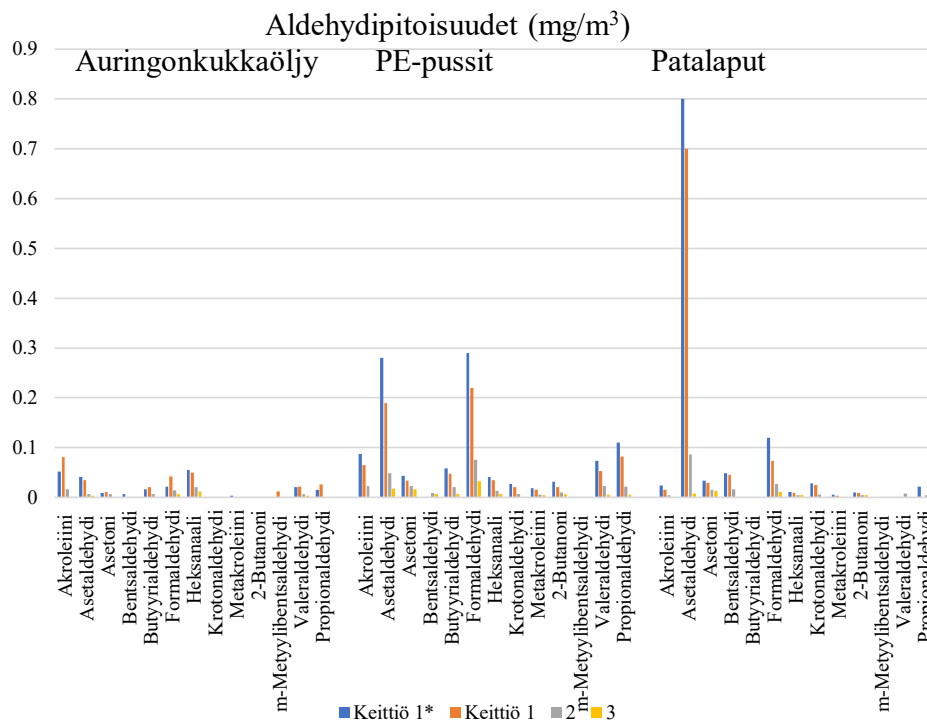
Aldehydit levisivät tehokkaasti koko huoneistoon, sillä niiden pitoisuudet olivat varsin samanlaiset eri mittauspisteistä kerätyissä näytteissä (kuva 18) ja pienivät selvästi ajan kuluessa. PE-pussien kokeessa, heti savutuuletuksen jälkeen mitatuista pitoisuuksista oli jäljellä neljä tuntia myöhemmin (eli ilman vaihduttua noin kaksi kertaa huoneiston tilavuuden verran) akroleiinilla 35 %, asetaldehydillä 25 % ja formaldehydillä 34 %. 17 tunnin näytteessä akroleiinin pitoisuus oli alle määritysrajan mutta asetaldehydiä löytyi vielä 9 % ja formaldehydiä 15 % savutuuletuksen jälkeisestä pitoisuudesta. Eri koemateriaaleilla sekä aldehydien maksimipitoisuudet että yhdisteiden suhteet erosivat toisistaan (kuva 19) ja erityisesti tämä näkyi asetaldehydin ja formaldehydin pitoisuuksissa: auringonkukkaöljy $0,04 \text{ mg/m}^3$ ja $0,03 \text{ mg/m}^3$, PE-pussit $0,24 \text{ mg/m}^3$ ja $0,26 \text{ mg/m}^3$ sekä patalaput $0,75 \text{ mg/m}^3$ ja $0,10 \text{ mg/m}^3$.



Kuva 17. Hiilimonoksidipitoisuudet koehuoneistoissa PE-pussien ja patalappujen ylikuumentamisen ja savutuuletuksen aikana. OH = olohuone, MH = makuuhuone. Kuumennus- ja savutuuletusvaiheet on merkitty vaakaviivoilla.



Kuva 18. PE-pussien kokeissa eri huoneista mitatut aldehydipitoisuudet. (Numero 1 on heti savutuuletuksen jälkeen otettu näyte ja 1*sen rinnakkaisnäyte, 2 on neljän tunnin kuluttua ja 3 on 17 tunnin kuluttua kerätty näyte.)



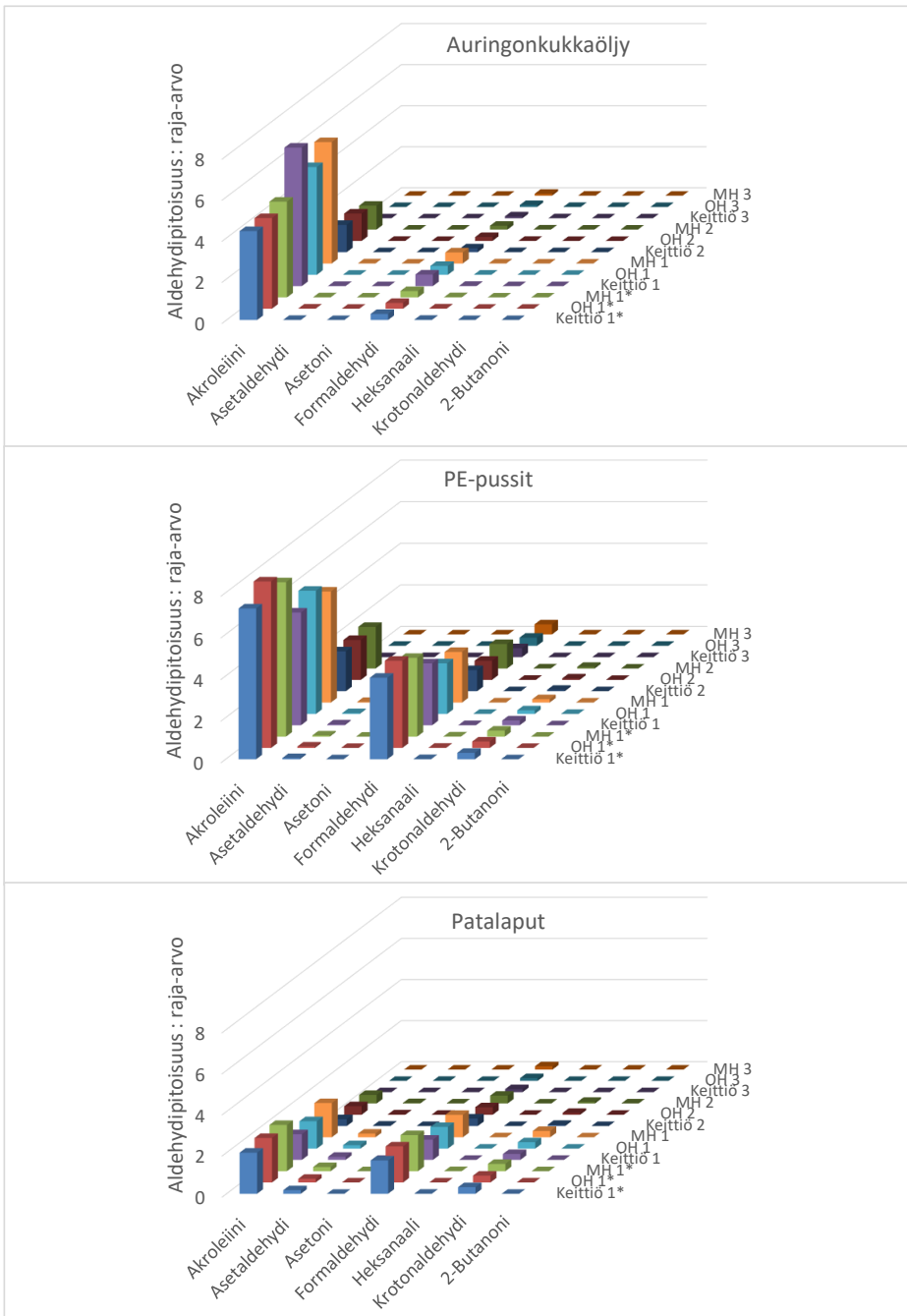
Kuva 19. Aldehydipitoisuudet eri materiaalien kokeissa keittiöstä mitattuina. (Numero 1 on heti savutuuletuksen jälkeen otettu näyte ja 1*sen rinnakkaisnäyte, 2 on neljän tunnin kuluttua ja 3 on 17 tunnin kuluttua kerätty näyte.)

Aldehydeistä altistumisen kannalta merkittävimmät yhdisteet heti savutuuletuksen jälkeen olivat akroleiini ja formaldehydi (auriongonkukkaöljy: 0,07 mg/m³ ja 0,03 mg/m³; PE-pussit 0,08 mg/m³ ja 0,26 mg/m³; patalapat 0,02 mg/m³ ja 0,10 mg/m³). Sisäilman raja-arvoina käytettiin 10 % työhygieenisestä raja-arvosta lyhytaikaiselle altistumiselle (10 % HTP_{15min} 0,01 mg/m³ ja 0,07 mg/m³). Akroleiini ylitti raja-arvonsa kaikilla materiaaleilla heti savutuuletuksen jälkeen ja auringonkukkaöljyllä sekä PE-pusseilla vielä neljä tuntia myöhemminkin. Formaldehydiä mitattiin raja-arvon ylittävät määrät PE-pusseilla ja patalapuilla heti savutuuletuksen jälkeen ja PE-pusseilla myös neljän tunnin kuluttua. Kuvassa 20 näkyy mitattujen aldehydipitoisuuksien suhde raja-arvoon eri materiaaleilla näytteenottopisteiden ja -ajankohtien mukaan. Raja-arvonsa ylittävät pitoisuudet näkyvä ykköstä suurempina suhdelukuina.

Koehuoneistoista mitatuista ilman hiukkasfraktion PAH-yhdisteistä miltei kaikki alittivat tai olivat lähellä määritysrajaansa, sen sijaan kaasumaisista PAH-yhdisteistä naftaleenia löytyi pieniä määriä kaikkien materiaalien kuumennuksen ja savutuuletuksen jälkeen (auriongonkukkaöljy 0,2 µg/m³; PE-pussit 1,0 µg/m³; patalapat 2,0 µg/m³). Naftaleenille 10 % HTP_{15min} on 1000 µg/m³. Myös 2-metyylinaftaleenia, fluoreenia ja fenantreenia löytyi patalappujen kokeissa pieniä määriä (0,4 µg/m³, 0,6 µg/m³, 0,2 µg/m³), muuten pitoisuudet olivat pääosin lähellä määritysrajaa tai sen alle.

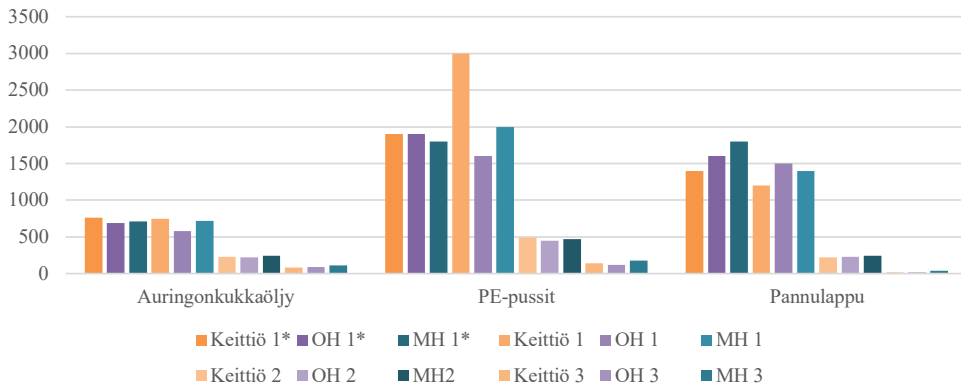
Pyyhintänäytteissä PAH-yhdisteiden pitoisuudet alittivat tai olivat lähellä määritysrajaa sekä öljyllä että PE-pusseilla. Ainoastaan patalapuilla PAH-yhdisteitä löytyi määritysrajat ylittäviä pitoisuuksia useammasta näytteestä. Niistä korkeimmat olivat kryseenillä (0,3 ng/cm³) heti savutuuletuksen jälkeen) ja myös myöhemmin otetuissa näytteissä pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa.

VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet (kuva 21) vaihtelivat materiaaleittain ja pienivät selvästi ajan kuluessa siten, että neljä tuntia myöhemmin otetussa näytteessä yhdisteistä on jäljellä 17–34 % ja 17 tunnin näytteessä 2–14 % verrattuna tilanteeseen heti savutuuletuksen jälkeen. Erityisesti syöpövaarallisen bentseenin pitoisuuksien (auriongonkukkaöljy 2 µg/m³; PE-pussit 8 µg/m³; patalapat 270 µg/m³) erot heti savutuuletuksen jälkeen olivat suuret (kuva 22). Patalapuilla savutuuletuksen jälkeen mitattu bentseenipitoisuus pieneni noin kymmenenteen osaan neljän tunnin kuluessa. Bentseenille on Suomen lainsäädännössä määritelty sitova työhygieeninen raja-arvo (3250 µg/m³), josta kokeissa mitatut korkeimmat bentseenipitoisuudet ovat miltei kymmenesosa. Bentseenin syöpövaarallisuuden vuoksi sille ei ole määritelty turvallista pitoisuutta ja on huomattava, että sille voidaan altistua hengitysteiden lisäksi myös ihon kautta. Pistävähajuisen etikkahapon pitoisuudet olivat samoin korkeimmat patalapuilla (auriongonkukkaöljy 32 µg/m³; PE-pussit 170 µg/m³; patalapat 950 µg/m³), joilla pitoisuus pieneni noin viidesosaan neljässä tunnissa. Vaikka etikkahapon raja-arvo (10 % HTP_{15min} 1300 µg/m³) ei ylittynyt, olivat sen pitoisuudet korkeita ja ainakin patalappukokeessa pistävä haju ja vaaralliset bentseenipitoisuudet esiintyivät samanaikaisesti.



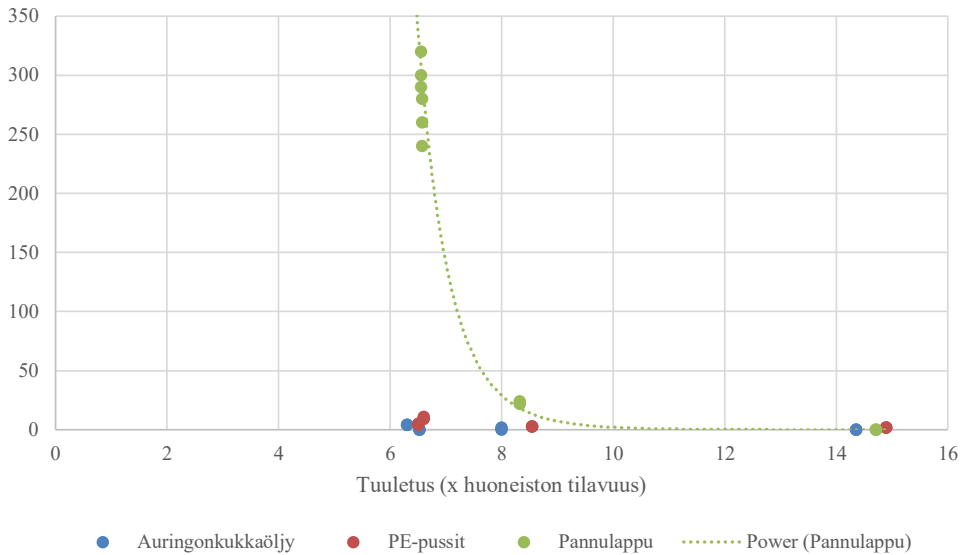
Kuva 20. Aldehydipitoisuuksien ja raja-arvojen (10 % HTP_{15 min}) suhde eri materiaalien huoneistopalokokeissa huoneittain. (Numero 1 on heti savutuuletuksen jälkeen otettu näyte ja 1*sen rinnakkaisnäyte, 2 on neljän tunnin kuluttua ja 3 on 17 tunnin kuluttua kerätty näyte.)

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



Kuva 21. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet eri materiaalien kokeissa huoneittain ja eri näytteenottoaikoina (Numero 1 on heti savutuuletuksen jälkeen otettu näyte ja 1*sen rinnakkaisnäyte, 2 on neljän tunnin kuluttua ja 3 on 17 tunnin kuluttua kerätty näyte.)

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



Kuva 22. Bentseenipitoisuudet eri materiaalien kokeissa tuuletuksen mukaan. Noin 6,3-kertaisen tuuletuksen kohdalla tehtiin savutuuletuksen jälkeinen ensimmäinen näytteenotto, seuraavat noin 4 ja 17 tuntia myöhemmin.

6.3 Pohdinnat

Tulosten perusteella huoneistopaloaaratilanteen jälkeinen lyhyt savutuuletus ei riittänyt pienentämään haitallisten altisteiden pitoisuuksia turvalliselle tasolle. Hiilimonoksidin pitoisuudet pienenevät nopeasti tuulettamisessa sekä jo ennen sitä sammutusraivauksen aikana. Muiden yhdisteiden pitoisuuksien pieneminen tuulettamalla oli kuitenkin hitaampaa. Helposti toteutettavan CO-mittauksen tuloksia ei siis voida suoraan hyödyntää muiden yhdisteiden pitoisuuden arvioimisessa, vaan eri yhdisteiden erilaiset tuotot ja hyväksyttävät pitoisuudet on otettava huomioon.

Laboratoriokokeiden pohjalta tehtyjen laskelmien mukaan huoneistopalokokeissa käytetyn 6,3-kertaisen tuuletuksen olisi pitänyt riittää sekä auringonkukkaöljyn että patalappujen tapauksessa pienentämään altisteiden pitoisuudet turvalliselle tasolle. Laskelmien ja huoneistopalokokeiden tulosten ero selittyy ainakin osittain sillä, että laskelmien taustalla olevassa mallissa altisteet jakautuvat tasaisesti ilmaan ja ilma vaihtuu tehokkaasti koko tilasta. Huoneistopalokokeissa 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.

Palaneella tai ylikuumentuneella materiaalilla on suuri merkitys, sillä muovia ja keinokuituja sisältävistä materiaaleista muodostui enemmän haitallisia aineita kuin ruokaöljystä. Vaikka mitatut pitoisuudet olivat jo korkeita, ne todennäköisesti aliarvioivat pitoisuuksia todellisissa savutuuletuksen jälkeisissä tilanteissa, koska niissä asunnon irtaimisto ja huokoiset materiaalit absorboisivat altisteita ja pidentäisivät niiden viipymäaikaa.

Arvioitaessa asukkaan mahdollisuutta jäädä asumaan palon jälkeen on asunnon teknisen kunnon ja asumisterveellisyyden lisäksi huomioitava asukkaan tila ja muut häneen liittyvät tekijät, kuten se onko hän hyvin nuori tai vanha, raskaana, sairas tai hyvin järkyttynyt tai kuuluuko hän johonkin erityisryhmään. Lisäksi hän on voinut altistua jo ennen savutuuletusta huomattavasti mitattuja korkeammille pitoisuuksille, joiden vaikutukset voivat näkyä myös viiveellä. Asukkaan lisäksi myös pelastajien ja muiden huoneistossa liikkuvien altistuminen on merkittävää mitatuilla pitoisuustasoilla. Jo varsin pienetkin huoneistopalotilanteet voivat siis aiheuttaa altistumista haitallisessa määrin, vaikka tilanne olisi hoidettu asianmukaisesti sammutusraivauksella ja savutuuletuksella.

Asumisterveellisyyden arvioimisen ja altistumisen vähentämisen tueksi pienissä huoneistopalotilanteissa laadittiin ohje, joka perustuu hankkeen laboratorio- ja huoneistopalokokeisiin ja on tarkoitettu sekä pelastustoimen että muiden huoneistopalotilanteisiin osallistuvien toimijoiden käyttöön. Ohje on saatavissa Pelastusopiston verkkosivuilta:

[Ohje asumisterveellisyyden arvioimiseen pienen huoneistopalon jälkeen 2023 \(pelastusopisto.fi\)](#)

7. Johtopäätökset

Liesipalot ovat yleinen asumisturvallisuutta heikentävä onnettomuustyyppi. Ne aiheuttavat merkittäviä aineellisia vahinkoja ja haittaa asumiseen, mutta myös henkilövahinkoja. Koska henkilövahinkoja on syntynyt sekä palojen että alkusammutuksen yhteydessä, on keskeistä pyrkiä vähentämään syttymisiä. Lieden tekninen vika on erittäin harvinainen syttymissy. Sen sijaan liesipalojen syttymisessä korostuvat inhimilliset tekijät. Syttymisten vähentäminen on mahdollista pitämällä liedien päällinen ja ympäristö vapaana ylimääräisestä tavarasta, hyödyntämällä turvatekniikkaa sekä liesien turvallisuusominaisuuksia, valitsemalla ruuanlaittoon soveltuvat välineet ja vahvistamalla liesiturvallisuusosaamista ja huolellisuutta. Asukkaiden tukeminen näissä tehtävissä voi usein olla tarpeen. Myös rakenteellisilla ratkaisuilla ja asuntojen suunnittelulla on vaikutusta, erityisesti riittävän laskutilan luomiseksi keittiöihin.

Lämpötilamittausten perusteella voidaan päätellä, että induktioliesiin näyttäisi liittyvän muihin liesiin verrattuna alhaisempi syttymisriski sekä aiemmin tunnetun, rautapitoisia materiaaleja vaativan kuumennusmekanismin, että alhaisempien huippulämpötilojen ansiosta. Syitä alhaisempiin lämpötiloihin ei pystytty selvittämään, eikä tulosten yleistettävyydestä ole varmuutta, mutta nopeampi säätöjärjestelmä ja systeemin alhaisempi terminen hitaus voivat edesauttaa ylikuumenemisen välttämiseksi. Toisaalta kuumennusaika oli induktioliedellä lyhyempi, ja se johtaa muita liesityyppejä nopeampaan syttymään, jos liesi jää valvomatta päälle.

Mitatut ruokaöljyjen palotehojen huippuarvot olivat 300 ja 600 kW/m² välillä, minkä havaittiin tuotavan liekkejä, joiden korkeus on riittävä keittiön rakenteiden sytyttämiseen. PE-pussit ja vastaavat kes-
tomuovit havaittiin paloriskin kannalta merkittäviksi materiaaleiksi, koska niiden pinta-alalla normeerattu paloteho oli kuumalla liedellä yli 2000 kW/m² ja koska ne sulaessaan voivat valua ja muodostaa suuren palavan altaan. Kun lisäksi otetaan huomioon, että kyseiset muovipussit syttyivät 100 % todennäköisyydellä, voidaan sulavaa muovia pitää korkeimman paloriskin keittiömateriaalina.

Liesivahtien todettiin useimmissa tapauksissa havaitsevan paloriskin ennen syttymää. Poikkeuksen muodostivat pizzalaatikat ja patalaput, jotka peittivät liesivahdin sensorilta näkyvyyden kuumenevalle levyille ja johtivat hälytyksen myöhästymiseen. Teknisesti paras suoja sähköliesien paloja vastaan saadaankin liesivahdin ja induktioliedien yhdistelmällä. Tällöin liesityyppi itsessään alentaa piilossa tapahtuvan ylikuumenemisen riskiä ja liesivahti pystyy torjumaan liedellä olevassa astiassa kuumenevan öljyn tai sen kaltaisen materiaalin syttymisen. On kuitenkin toivottavaa, että liesivahtistandardia kehitetään siten, että laitteilta aletaan edellyttämään myös muiden kuin ruokaöljyjen syttymien estämistä.

Laskennallisten tuuletusvaatimusten perusteella liesipaloihin osallistuvat materiaalit voidaan jakaa kahteen ryhmään: Kypsennettävät ruoka-aineet (pl. ruokaöljyt) muodostavat helpommin tuuletettavan ryhmän, ja toisen ryhmän muodostavat ruokaöljyt yhdessä keittiötarvikkeiden (muovit, tekstiilit, paperi) kanssa. Lisäksi tuuletustarve riippuu huoneiston tilavuudesta ja palaneen materiaalin massasta. Laboratoriokokeiden tulokset koottiin yksinkertaisiin taulukoihin, joista tuuletustarve ja -aika voidaan lukea, kun tunnetaan palavan asunnon koko ja osallistuneen materiaalin määrä. Todellisissa asunoissa tehtyjen kokeiden perusteella kuitenkin havaittiin, että teoreettisen mallin mukainen, lyhyt savutuuletus ei riittänyt pienentämään kaikkien haitallisten altisteiden pitoisuuksia turvalliselle tasolle. Hiili-

monoksidin pitoisuudet kyllä pienenevät nopeasti, mutta muiden yhdisteiden pitoisuuksien pieneneminen tuulettamalla oli hitaampaa. Hiilimonoksidia ei siis voida pitää riittävänä asumisterveellisyyden tai tuuletuksen onnistumisen mittarina.

Palokaasujen aiheuttamaa elimistön kuormittumista voidaan vähentää siirtymällä väistöasumiseen aina, kun syntyneet vahingot ja savujäämät ovat niin vakavia, että niitä ei yksinkertaisella savutuuletuksella pysty korjaamaan. Kynnystä väistötiloihin siirtymiseksi on tarvittaessa alennettava kokonaistilanteen ja henkilön elämäntilanteen perusteella. Väistötiloihin siirtymistä edellyttävien tilanteiden tunnistamiseksi tarvitaan lisää tutkittua tietoa todellisten huoneistopalo- tai huoneistopaloaaratilanteiden asukkaille aiheuttamasta altistumisesta ja sen seurauksista sekä siitä, kuinka näissä tilanteissa toimitaan.

Tutkimusmenetelmän ja tulosten hyödyntämisen kannalta tärkein jatkotutkimustarve liittyy todellisten asuntojen ja laboratoriotilan välisten erojen kvantifioimiseen. Todellisissa palotilanteissa huonetila on laboratoriotilannetta 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 tunneta. Myös savutuuletuksen tehokkuutta ja eri tuuletustopoihin (yli-/alipainetuuletus) liittyviä haasteita tulisi selvittää.

Kirjallisuusviitteet

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, <https://doi.org/10.3109/08958378.2016.1145771> .

ANSES. 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> (viitattu. 15.3.2023)

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

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>

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>.

Dinaburg, J.B., Gottuk, D.T. (2013) Development of standardized cooking fires for evaluation of prevention technologies: phase one data analysis. National Fire Protection Association, Quincy, MA.

EN 50615. (2015) Household and similar electrical appliances - Safety - Particular requirements for devices for fire prevention and suppression for electric hobs (cooktops). European Standard.

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.

INCHEM. (2023) Internationally Peer Reviewed Chemical Safety Information. World Health Organization. <https://incchem.org/documents/icsc/icsc/eics1488.htm>. Accessed 04/2023.

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>

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>

Ketola, Johannes & Kokki, Esa (2014). Pelastustoimen taskutilasto 2009-2013. Pelastusopiston julkaisu 2/14. Pelastusopisto.

- Ketola, Johannes & Hirvonen, Lauri & Kokki, Esa (2016). Pelastustoimen taskutilasto 2011-2015. Pelastusopiston julkaisuja 4/2016. Pelastusopisto. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D4_2016.pdf.
- Kettunen, Hanna & Koivula, Riitta & Korpilahti, Ulla & Lillsunde, Pirjo (2022). Turvallisesti kaiken ikää -ohjelman toimeenpanosuunnitelma vuosille 2021–2025. Sosiaali- ja terveysministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164047>
- Kuurne, Laura (2022). Lieden turvallinen käyttö -opas. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö. https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2022/12/Lieden_turvallinen_kaytto.pdf
- 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>
- Lepistö, Jukka & Kuurne, Laura & Ojala, Tarja (2021). Liesipalojen kokonaiskuva ja liesiturvallisuutta vaarantavat tekijät. Palotutkimuksen päivät 2021. Pelastustieto, Palotutkimuksen päivien erikoisnumero, s. 8-12. Palo- ja pelastustieto. https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2021/11/Palotutkimuksen_paiivat_2021.pdf
- Loponen, Timo, Liukkonen, Heidi (2022). Pelastustoimen taskutilasto 2016-2020. Pelastusopiston julkaisuja 2/2022. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_D/D1_2022.pdf
- McCaffrey, B.J. (1983) Momentum implications for buoyant diffusion flames. Combustion and Flame 52, 149-167. [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(83\)90129-3](https://doi.org/10.1016/0010-2180(83)90129-3)
- Mediaseuranta 1.7.2020-31.12.2021. Meltwater / Suomen Pelastusalan keskusjärjestö.
- NFS (2021). Fatal fires by cause of fire 2010–2020. Nordic Fire Statistics. <https://ida.msb.se/nfs#page=e6775bde-9e16-4a22-81a1-3ea2e5ec0821>
- Nurmi, Veli-Pekka & Nenonen, Antti & Sjöholm, Kai. (2005). Sähköpalot Suomessa. Tukes-julkaisu 2/2005. Turvatekniikan keskus, Helsinki.
- Ojala, Tarja. (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
- Onnettomuustutkintakeskus (2001). Seitsemäntoista tulipaloa tai palonalkua vanhusten palvelutaloissa ja vastaavissa 1.12.1999-28.2.2000. Tutkintaselostus A 2/1999Y. Onnettomuustutkintakeskus. https://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/1999/a21999y_tutkintaselostus_1/a21999y_tutkintaselostus_1.pdf.
- Onnettomuustutkintakeskus (2003). Asumiskäytössä olleen koulurakennuksen palo Jyväskylän maalaiskunnassa ja viisi muuta paloa 20.4.-20.5.2003. Tutkintaselostus D1/2003/Y. Onnettomuustutkintakeskus. https://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2003/d12003y_tutkintaselostus/d12003y_tutkintaselostus.pdf.

Onnettomuustutkintakeskus (2007). Tulipalo Pitkäniemen sairaalassa Nokialla 25.1.2007 ja katsaus eräisiin muihin hoito- ja huoltolaitospaloihin. Tutkintaselostus B1/2007Y. https://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2007/b12007y_tutkintaselostus/b12007y_tutkintaselostus.pdf

Onnettomuustutkintakeskus (2014). Puisen pienkerrostalon palo Turussa 4.11.2014. Tutkintaselostus Y2014-03. Onnettomuustutkintakeskus. https://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2014/DIQmXVdxn/Y2014-03_Turku.pdf

Onnettomuustutkintakeskus (2016). Kahden lapsen kuolemaan johtanut rivitalopalo Raahessa 13.9.2016. Tutkintaselostus Y2016-03. Onnettomuustutkintakeskus. https://turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2016/YXWTDThLb/Y2016-03_Raahe.pdf

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>

PRONTO – Dynaaminen koulutuskansio (2013). Rakennuspalovaara.

PRONTO (2021). Palokuolemat ensitiedon mukaan ikäluokittain vuosina 2011-2020. Pronto-tietojen poiminta 24.3.2021.

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/>

Smith, W.K., King, J.B. (1970) Surface temperature of materials during radiant heating to ignition. J. Fire & Flammability 1, p. 272.

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>

Sosiaali- ja terveysministeriö (2020). HTP-ARVOT 2020: Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2020:24. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-5658-2>

SPEK (2022). Turvallisempi koti –verkkokoulutusaineisto. www.turvallisempikoti.fi

Stec, A. A., Hull R.T. (2010) (toim.) Fire toxicity. Elsevier. ISBN: 978-1-84569-502-6

STM. (2015) Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>

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>

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>

Turvallisempi koti (2022). Kodin turvallisuuden parantaminen. Liesiturvallisuus. Verkkokoulutusaineisto. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö ja Opintokeskus Sivis.

<https://sites.google.com/view/turvallisempikoti/etusivu>

Valvira (2016) Sosiaali- ja terveystieteiden lupa- ja valvontavirasto. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa III. Asumisterveysasetus § 14–19. Ohje 8/2016

<https://valvira.fi/terveydensuojelu/asumisterveys>

WHO regional office for Europe (2010) WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. 454 s. ISBN: 978-9-28900-213-4

Wong, A.K.K., Fong, N.K. (2013) Experimental Study of Induction Cooker Fire Hazard. *Procedia Engineering* 52, 13 – 22. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.098>

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>

ISBN 978-952-64-1803-2 (pdf)
ISSN 1799-4888 (pdf)

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Rakennustekniikan laitos
www.aalto.fi

**KAUPPA +
TALOUS**

**TAIDE +
MUOTOILU +
ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +
TEKNOLOGIA**

CROSSOVER

**DOCTORAL
THESES**