Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

TIETOA TYÖSTÄ

# Litiumioniakkupaloissa altistuminen, toiminta ja suojautuminen

LOPPURAPORTTI

Kirsi Jussila
Maija Leppänen
Mikko Poikkimäki
Pasi Huuskonen
Ilkka Kantasalmi
Mikko Auvinen

ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos

PL 40

00251 Helsinki

www.ttl.fi

©2026 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Hanke on toteutettu Työsuojelurahaston tuella. Tutkimusta rahoittivat myös Työterveyslaitos, Ilmatieteen laitos, Ioncor Oy, Meyer Turku Oy ja Valmet Automotive Oy.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-391-252-6 (PDF)

# Tiivistelmä

Litiumioniakkupaloissa altistuminen, toiminta ja suojautuminen (Akkupalo) -tutkimushankkeessa selvitettiin litiumioniakkupaloissa altistumista ja suojautumista, työpaikkojen varautumista ja toimintaa sekä turvallisia toimintaetäisyyksiä kirjallisuuden perusteella, haastatteluin sekä mallintamalla. Mukana hankkeessa oli kohdeorganisaatioita akkujen eri elinkaaren vaiheista. Tässä hankkeessa kohderyhmänä olivat laajemmin työpaikat ja akkupalotilanteessa mahdollisesti altistuvat muut toimijat kuin varsinaiseen sammutukseen osallistuvat pelastajat, joiden turvallisuuteen ja toimintaan akkupaloissa on keskitytty aiemmissa tutkimuksissa.

Litiumioni(Li)-akkuja käytetään laajasti työpaikoilla mm. kulkuneuvoissa, työkaluissa, puhelimissa ja tietokoneissa. Li-akkujen merkittävimmät riskit liittyvät palo- ja räjähdysvaaraan Li-akun elinkaaren eri vaiheissa, koskien siten suurta työntekijäjoukkoa. Suoraan tai välillisesti akkupalot voivat koskettaa pelastajia, ensihoitoa, poliisia, akkuja käyttäviä työpaikkoja, akkujen kierrätystä, akkuhuoltoyrityksiä, palosaneeraajia sekä kiinteistönhuoltoja.

Li-akkujen lämpökarkaamisen tai palon aikana vapautuu lukuisia terveydelle haitallisia kaasuja ja hiukkasmaisia yhdisteitä. Merkittäviä terveydelle akuutisti haitallisia altisteita ovat mm. hiilimonoksidi, fluorivety, kloorivety, syaanivety, typen oksidit ja rikkidioksidi. Palon voimakkuus voi vaihdella paljon ja Li-akkupalon päästöihin vaikuttavat monet seikat: syttymismekanismi, akkukemia, lataustila, rakenne, olosuhteet, testausmenetelmät ja muu palava materiaali. Etenkin fluorivedylle ja hiilimonoksidille on mitattu korkeita pitoisuuksia akkujen polttokokeiden aikana ja pitoisuudet palon välittömässä läheisyydessä tai suljetussa tilassa saavuttavat nopeasti terveydelle haitallisen tason. Hiukkasmaisten altisteiden osalta on havaittu, että akkupaloista peräisin oleva noki ja siinä olevat akkumetallit sekä PAH-yhdisteet voivat kulkeutua pitkienkin etäisyyksien päähän ja tunkeutua pelastajien suojavaatetukseen.

Li-akkujen akuutit terveysvaarat liittyvät akkujen lämpökarkaamisessa muodostuviin myrkyllisiin ja ärsyttäviin kaasuihin ja höyryihin. Myrkytysoireiden lisäksi akkupalossa muodostuvat kaasut voivat aiheuttaa suljetussa tilassa hapenpuutteen, tai syttyessään palo- ja räjähdysvammoja. Akkupalossa muodostuvat yhdisteet voivat aiheuttaa silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita. Vapautuvien yhdisteiden joukossa on myös mahdollisesti ihoa herkistäviä sekä syöpä- ja lisääntymisvaarallisia yhdisteitä, kuten raskasmetalleja ja PAH-yhdisteitä, jotka ovat merkityksellisiä etenkin toistuvassa altistumisessa.

Tutkimuksessa tehtiin haastatteluja, joilla kartoitettiin mm. Li-akkuihin liittyvien riskien tunnistamista, toimintaa mahdollisissa vaara- ja onnettomuustilanteissa, suojautumista sekä sattuneita akkupaloja työpaikoilla. Haastatteluissa nousi esiin useita kysymyksiä ja kehitystarpeita, joihin pyrittiin vastaamaan hankkeessa kehitetyillä malliratkaisuilla. Haastatteluissa saatua tietoa käytössä olevista akuista ja yritysten näkemyksiä akkupalon syttymisestä käytettiin myös apuna mallinnukseen tarvittavien altistumisskenaarioiden luomisessa.

Tutkimuksessa mallinnettiin erikokoisista akkupaloista vapautuvien haitallisten kaasujen, kuten fluorivedyn, leviämistä sisä- ja ulkoilmassa toiminta-aikojen ja vaaraetäisyyksien määrittämiseksi. Esimerkiksi pienakkupalosta, kuten puhelimen, kannettavan tietokoneen tai käsityökalun palosta, vapautuu merkittävä määrä fluorivetyä ja muita haitallisia aineita, jotka leviävät nopeasti tyypillisissä huonetiloissa. Jo alle minuutissa saavutetaan altistumistaso, joka voi aiheuttaa lieviä ohimeneviä oireita. Altistuminen on matalinta aivan lattian rajassa, joten akkupalotilanteessa suositellaan poistumaan huoneesta mahdollisimman nopeasti kontaten, sillä vakavampien pysyvien oireiden mahdollisuutta ei voida poissulkea, jos tilassa vietetään yli 5 minuuttia. Tilanne pahenee, mitä suuremmasta akusta on kyse. Esimerkiksi sähköpyörän tai -potkulaudan tapauksessa vaaralliset pitoisuudet voidaan saavuttaa jo kymmenissä sekunneissa.

Sähköautojen paloista ulkoilmaan leviävän fluorivedyn pitoisuuden pohjalta välittömän vaaran alueen (vakavat oireet tai hengenvaara) arvioitiin olevan 25 metriä kaikkiin suuntiin ja altistuneelle saattaa aiheutua oireita jopa 100–350 metrin etäisyydellä tuulen alapuolella. Suurempien akustojen, kuten energiakonttien tai -kenttien tapauksessa välittömän vaaran alue kasvaa jo 50–100 metriin kaikkiin suuntiin (energiakentillä 100–300 m). Lisäksi altistuneille saattaa aiheutua oireita jopa 600 m:n etäisyydellä tuulen alapuolella (kentillä jopa 3000 m).

Hankkeen yhtenä osa-alueena arvioitiin suojautumistarvetta erilaisissa työympäristöissä ja -tilanteissa. Suojainten valinta tulee perustua huolelliseen riskienarviointiin, jossa työolosuhde- ja ympäristötekijät on otettu huomioon riittävällä tavalla. Akkupalo on usein luonteeltaan nopea ja aggressiivinen reaktio, mikä haastaa oikeiden suojainten valintaa ja niiden käyttöönottoa. Mikäli tilanne mahdollistaa suojainten pukemisen, ensisijaista on suojata hengitystiet, esimerkiksi pakohupulla (ABEK P CO -suodatin) tai kokonaamarilla (ABEK P-suodatin).

Hankkeessa tuotettiin litiumioniakuille OVA-ohje sekä viisi käytännönläheistä malliratkaisua työpaikkojen käyttöön. Ohjeistuksissa on hyödynnetty kaikkia hankkeen osa-alueita, ja ne auttavat työpaikkoja varautumaan litiumioniakkupaloihin liittyviin riskeihin.

# Abstract

The Exposure, Operation and Protection in Lithium-Ion Battery Fires (Akkupalo) research project investigated exposure and protective measures in lithium-ion battery (LIB) fires, workplace preparedness and response practices, and safe operational distances based on literature reviews, interviews, and modeling. The project involved organizations representing different stages of the battery life cycle. In this project, the target group comprised workplaces more broadly, as well as other potentially exposed stakeholders in battery fire incidents, rather than firefighters directly involved in fire suppression, whose safety and operational practices in battery fires have been the primary focus of previous research.

LIBs are widely used in workplaces, including in vehicles, tools, mobile phones, and computers. The most significant risks associated with LIBs relate to fire and explosion hazards at different stages of the battery life cycle, affecting a large number of workers. Directly or indirectly, LIB fires may involve rescue services, emergency medical services, police, workplaces using batteries, battery recycling operations, battery maintenance companies, fire restoration contractors, and property maintenance personnel.

During thermal runaway or fire involving LIBs, numerous gases and particulate compounds harmful to health are released. Significant acutely harmful substances include carbon monoxide, hydrogen fluoride, hydrogen chloride, hydrogen cyanide, nitrogen oxides, and sulfur dioxide. Fire intensity can vary considerably, and many factors affect emissions from LIB fires, including the ignition mechanism, battery chemistry, state of charge, design, environmental conditions, testing methods, and the presence of other combustible materials. Particularly high concentrations of hydrogen fluoride and carbon monoxide have been measured during LIB fire tests, and concentrations in the immediate vicinity of a fire or in enclosed spaces rapidly reach levels harmful to health. Regarding particulate contaminants, studies have shown that soot, together with LIB metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), can be transported over long distances and penetrate the protective clothing of rescue personnel.

The acute health hazards associated with LIBs are primarily related to the toxic and irritating gases and vapors produced during battery thermal runaway. In addition to toxic symptoms, gases generated in LIB fires may displace oxygen in confined spaces, or if ignited, cause burn and explosion injuries. Compounds generated during LIB fires may also cause irritation of the eyes, skin, and respiratory tract. Among the released substances are potentially skin-sensitizing compounds as well as carcinogenic and reproductive toxic substances, such as heavy metals and PAHs, which are particularly relevant in repeated exposure.

Interviews were conducted as part of the study to assess, among other issues, the identification of LIB-related risks, actions in potentially hazardous and emergency situations, protective measures, and LIB fires that had occurred in workplaces. The interviews highlighted several questions and development needs that were addressed in guidance documents developed within the project. Information obtained from the interviews regarding LIB use and company perspectives on LIB fire initiation was also used to develop exposure scenario modeling.

The study modeled the dispersion of hazardous gases released from battery fires of different sizes, such as hydrogen fluoride, in both indoor and outdoor environments to determine response times and hazard distances. For example, a small LIB fire, such as a fire involving a mobile phone, laptop, or power tool, releases significant quantities of hydrogen fluoride and other hazardous substances that spread rapidly in typical room environments. Exposure levels capable of causing mild transient symptoms may be reached in less than one minute. Exposure is lowest near floor level; therefore, in the event of a battery fire, it is recommended to evacuate the room as quickly as possible while crawling, as the possibility of more severe permanent health effects cannot be excluded if individuals remain in the space for more than five minutes. The situation becomes more severe as LIB size increases. For example, in the case of an electric bicycle or electric scooter LIB fire, hazardous concentrations may be reached within tens of seconds.

Based on estimated hydrogen fluoride concentrations released into the outdoor environment during electric vehicle fires, the immediate danger zone (severe symptoms or threat to life) was estimated to extend 25 meters in all directions. Individuals may experience symptoms at distances up to 100-350 meters downwind. In the case of larger LIB energy storage systems, such as energy storage containers or battery fields, the immediate danger zone increases to 50-100 meters in all directions (100-300 meters for battery fields). In addition, exposed individuals may experience symptoms at distances of up to 600 meters downwind (up to 3,000 meters for battery fields).

One aspect of the project involved assessing the need for personal protective equipment in different working environments and situations. The selection of protective equipment should be based on a thorough risk assessment that adequately considers workplace and environmental conditions. LIB fires are often characterized by rapid and aggressive reactions, which makes the selection and deployment of appropriate protective equipment challenging. Where circumstances allow the use of protective equipment, priority should be given to respiratory protection, for example by using an escape hood (ABEK-P-CO filter) or a full-face respirator (ABEK-P filter).

The project produced a dedicated OVA guideline for LIBs as well as five practical guidance documents for workplace use. These guidance materials incorporate findings from all areas of the project and support workplaces in preparing for and managing the risks associated with LIB fires.

# Alkusanat ja kiitokset

Hanke ”Akkupaloissa altistuminen, toiminta ja suojautuminen” (Akkupalo) toteutettiin 1.8.2024–15.9.2026 välisenä aikana. Hankkeen toteuttajina olivat Työterveyslaitos ja Ilmatieteen laitos. Haluamme kiittää hankkeen rahoittajia: Työsuojelurahastoa, Työterveyslaitosta, Ilmatieteen laitosta, Ioncor Oy:tä, Meyer Turku Oy:tä sekä Valmet Automotive Oyj:tä tutkimushankkeen mahdollistamisesta.

Hankkeessa oli mukana kohdeorganisaatioita akkujen eri elinkaaren vaiheista akkujen valmistuksesta kierrätykseen saakka. Lisäksi pelastus- ja ensihoidon edustajat toivat hankkeeseen arvokasta asiantuntemustaan. Lämmin kiitos Helsingin kaupungin pelastuslaitokselle, Ioncor Oy:lle, Meyer Turku Oy:lle, Pohjois-Karjalan pelastuslaitokselle, Stena Recycling Oy:lle ja Valmet Automotive Oyj:lle aktiivisesta osallistumisesta ja hedelmällisestä ohjausryhmätyöskentelystä.

Litiumioniakkujen turvallista käyttöä työpaikoilla on tutkittu ja kehitetty Suomessa samaan aikaan tämän tutkimuksen kanssa myös muissa hankkeissa. Pelastusopistolla keskityttiin akkupaloihin pelastustoimen näkökulmasta ”Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet (LION)” -hankkeessa. Työturvallisuuskeskuksella akkujen turvallista käyttöä työpaikoilla on edistetty akkuturvallisuus.fi-verkkosivustolla ja vuosittaisella Akkuturvallisuuden teemapäivällä. Nämä hankkeet tukevat toisiaan ja lisäävät yhdessä tietoisuutta akkupalojen vaaroista ja niihin varautumisesta työpaikoilla.

Kiitos Juha Nikmolle Ilmatieteen laitokselta ulkoilmaleviämismallinnuksen toteuttamisesta yhteistyössä kanssamme. Haluamme kiittää myös Kari Riikosta ja Antti Hellsteniä sisä- ja ulkoilmamallinnuskeskusteluihin osallistumisesta. Lisäksi kiitämme Selma Mahioutia panoksesta hankkeen valmistelussa sekä asiantuntevasta palautteesta hankkeen lopputuotoksista.

Kiitämme myös Kirsi Arjarantaa ja Talvikki Susiluomaa heidän avustaan viestinnän koordinoinnissa ja Talvikkia etenkin malliratkaisujen laatimisessa. Kiitos myös Henna Meroselle talousasioiden koordinoinnista.

Helsingissä, Kuopiossa, Tampereella ja Oulussa syyskuussa 2026

Kirjoittajat

# Sisällys

Tiivistelmä ..... 3

Abstract ..... 5

Alkusanat ja kiitokset ..... 7

Sisällys ..... 8

Lyhenteet ja määritelmät ..... 10

1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja toteutus ..... 12
1.1 Tausta ..... 12
1.2 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset ..... 13
1.3 Tutkimuksen toteutus ..... 15
1.4 Tutkimuksen toteuttajat ja ohjausryhmä ..... 15

2 Osa I: Kirjallisuuskatsaus ..... 17
2.1 Litiumioniakut ja niiden käyttö ..... 17
2.2 Litiumioniakkupalon kehittyminen ..... 18
2.3 Litiumioniakkupalossa vapautuvat haitalliset yhdisteet ja altistuminen ..... 19
2.4 Litiumioniakkupalo; sekundaarinen altistuminen ..... 22
2.5 Litiumioniakkupalon terveysvaikutukset ..... 23
2.6 Suojautuminen litiumioniakkupalojen altisteilta ..... 24

3 Osa II: Työpaikkojen haastattelut ..... 25
3.1 Käytössä olevat akut ..... 25
3.2 Varautuminen ja ohjeistus akkupaloihin ..... 25
3.3 Suojautuminen akkupaloissa ..... 26
3.4 Sattuneet akkupalot ..... 26
3.5 Tiedontarpeet ja jatkotoimet ..... 27

4 Osa III: Akkupaloaltisteiden leviämismallinnus ..... 28
4.1 Sisäilmaleviämismallinnus – pienakkupalo ..... 28
4.2 Sisäilmaleviäminen – sähköpyörän tai -potkulaudan akkupalo ..... 35
4.3 Ulkoilmaleviämismallinnus – sähköauton palo ..... 36
4.4 Ulkoilmaleviäminen – energiavarastokontin tai akkuvaraston suurpalo ..... 45
4.5 Mallinnustuloksien hyödyntäminen ohjeistuksissa ..... 48

5 Osa IV: Akkupaloihin varautuminen: toimintamallit ..... 51
5.1 Terveysriskien arviointi ..... 51
5.2 Suojautumistarpeen arviointi ..... 51
5.3 Suojautumisohjeistuksen ja toimintamallien laadinta ..... 54

6 Johtopäätökset ja suositukset ..... 56

Lähteet ..... 58

Liitteet ..... 62

# Lyhenteet ja määritelmät

| | |
|---|---|
| ABL | Ilmakehän rajakerros (Atmospheric Boundary Layer). |
| AEGL | Kemikaalipäästön akuutin altistumisen raja-arvo väestölle (Acute Exposure Guideline Limit). Yhdysvaltalainen raja-arvo. |
| Anodi | Negatiivinen elektrodi. |
| BEV | Sähköauto (Battery Electric Vehicle). |
| CO | Hiilimonoksidi eli häkä. |
| $CO_2$ | Hiilidioksidi. |
| EN | European Norm. Eurooppalainen standardi. |
| HCl | Kloorivety. |
| HCN | Syaanivety. |
| HF | Fluorivety. |
| HTP | Haitalliseksi tunnettu pitoisuus. Suomessa sovellettu työperäisen altistumisen raja-arvo. |
| IDLH | Välittömästi vaarallinen elämälle tai terveydelle (Immediately Dangerous to Life or Health). Yhdysvaltalainen työperäisen altistumisen raja-arvo. |
| ISO | International Organization for Standardization. Kansainvälinen järjestö, joka laatii standardeja esimerkiksi laadunhallintaan, työterveyteen ja -turvallisuuteen sekä ympäristöasioihin. |
| Katodi | Positiivinen elektrodi. |
| LCO | Litiumkobolttioksidi, $LiCoO_2$. |
| LMO | Litiummangaanioksidi, $LiMn_2O_4$. |

| | |
|---|---|
| LFP | Litiumrautafosfaatti, $LiFePO_4$. |
| NCA | Litiumnikkelikobolttialumiinioksidi, $LiNiCoAlO_2$. |
| $NH_3$ | Ammoniakki. |
| NMC | Litiumnikkelimangaanikobolttioksidi, $LiNi_xMn_yCo_zO_2$. Nikkelin, mangaanin ja koboltin suhteet voivat vaihdella, minkä vuoksi niiden määrät on esitetty kaavassa alaindeksein x, y ja z |
| NOx | Typen oksidit. |
| PAH-yhdisteet | Polyaromaattiset hiilivedyt. |
| $SO_2$ | Rikkidioksidi. |

# 1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja toteutus

## 1.1 Tausta

Litiumioni(Li)-akkuja käytetään laajasti työpaikoilla kulkuneuvoissa, työkaluissa, puhelimissa ja tietokoneissa. Akkujen määrän lisääntyessä merkittävästi vihreän siirtymän vauhdittamana ja samalla jo käytössä olevien akkujen ikääntyessä myös tulipaloriski kasvaa. Perttulan *ym*. (2023) mukaan tulipaloriski on läsnä kaikissa Li-akun elinkaaren vaiheissa koskettaen siten myös suurta työntekijäjoukkoa. Li-akut voivat syttyä liiallisen kuumenemisen johdosta, mekaanisen iskun tai sähkövirran aiheuttamana (Bugryniec *ym.*, 2024).

Suomessa akkupalot ovat olleet viime vuosina tasaisessa kasvussa, mikä selittyy akkukäyttöisten laitteiden ja ajoneuvojen yleistymisellä. Vuonna 2024 tapahtui 120 tilastoitua litiumioniakkupaloa Pelastustoimen resurssi- ja tilastointijärjestelmä Pronton mukaan (Rytkönen *ym*., 2025a). Näistä tilastoista voi kuitenkin puuttua myös tapauksia, joita ei ole tulkittu akkupalojen aiheuttamaksi. Tilastojen mukaan eniten on tapahtunut pienien käsikäyttöisten laitteiden tai sähköpolkupyörien ja -potkulautojen akkupaloja. Tilastojen valossa sähköajoneuvojen palot ovat toistaiseksi olleet vähäisiä, mutta niiden lisääntyminen on todennäköistä sähköajoneuvojen lisääntyessä sekä ikääntyessä.

Suurinta julkista huomiota ovat kuitenkin herättäneet vaikeasti sammutettavat ajoneuvojen akkupalot ja niiden aiheuttamat riskit suljetuissa tiloissa. Esimerkkinä lokakuussa 2025 tapahtui kaksi erillistä sähköauton paloa parkkihallissa. Mediatietojen mukaan (Pelastustoimi, 2025; Yle Rautavuori 2025) toinen tapahtui Tampereella parkkihallissa olleen hybridiauton sytyttyä tuleen akkuvian takia. Palo eteni suljetussa tilassa rajuna ja levisi viereisiin autoihin. Yhteensä noin 50 ajoneuvoa vaurioitui tai tuhoutui täysin, ja kiinteistölle aiheutui suuret taloudelliset vahingot. Sankan myrkyllisen savun vuoksi koko toimistotalo evakuoitiin ja se pysäytti osan Tampereen keskustan liikenteestä. Toinen tapauksista sattui Keravalla ostoskeskuksen parkkihallissa, kun täyssähköauto syttyi palamaan (Yle Tuhkanen, 2025). Tällöin palo saatiin rajattua nopeammin. Pelastusopiston tilastojen mukaan suurin osa sähkö- tai hybridiautopaloista tapahtuu kuitenkin kolaritilanteiden seurauksena tai akuston ulkoisen vaurion vuoksi.

Hankkeen valmisteluvaiheessa havaittiin, että tieteellisessä kirjallisuudessa oli niukasti tietoa työntekijöiden kokonaisvaltaisesta altistumisesta akkupaloissa vapautuville päästöille. Aihepiiriä oli jo tuolloin tutkittu, mutta tarkastelut olivat painottuneet päästöjen mittaamiseen varsinaisen altistumisen arvioinnin sijaan, ja tehdyt mittaukset oli rajattu vain osaan akkupaloissa vapautuvista altisteista (Sun *ym*., 2016; Meurman *ym*., 2021; Szmytke *ym*., 2022). Lisäksi havaittiin, että tietoa puuttui altisteiden mahdollisesti aiheuttamista terveysriskeistä ja siitä, mitkä altisteista ovat mahdollisten terveysriskien kannalta olennaisimpia. Hankkeen valmisteluvaiheessa oli käynnistynyt Pelastusopistolla ”Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet (LION)” hanke, jossa tarkoituksena oli mm. parantaa akkupalojen sammutustekniikoita ja pelastajien suojautumista akkupalotilanteissa (Rytkönen *ym*., 2025a).

Li-akkupaloissa vapautuu lukuisia terveydelle vaarallisia yhdisteitä, mm. fluorivetyä, syaanivetyä ja hiilimonoksidia (Sun *ym*., 2016; Meurman *ym*., 2021), joille työntekijät voivat altistua palotapahtuman aikana (primäärialtistuminen). Li-akkupalossa vapautuneille yhdisteille voi olla mahdollista altistua myös palotapahtuman jälkeen (sekundäärialtistuminen), sillä mm. sähköauton akun palamisen jälkeen tulipalotilan pinnoilla on havaittu metallioksidi-, katodimateriaali- sekä litium-, fluoridi- ja PAH-yhdisteiden kohonneita pitoisuuksia (Held *ym*., 2022) ja palomiesten vaatteissa PAH-yhdisteitä ja formaldehydiä sekä litiumia ja kobolttia (Szmytke *ym*., 2022). Aiempi Li-akkupalojen tutkimus on keskittynyt pitkälti palon tekniseen puoleen (mm. Larsson *ym.*, 2014; Ouyang *ym.*, 2019) ja sammutustekniikkaan (Ouyang *ym*., 2019; Meurman *ym*., 2021; Hassinen, 2022). Altistumisen ja henkilönsuojautumisen osalta löytyi jonkin verran tutkimusta liittyen palomiehiin (Meurman *ym*., 2021; Szmytke *ym*., 2022).

Mahdollinen akkupalo koskettaa kuitenkin suurempaa työntekijäjoukkoa paitsi primäärialtistumisena, mutta erityisesti sekundäärialtistumisena, kuten mm. ensihoitajia, poliisia ja muita tulipalotiloissa työskenteleviä työntekijöitä. Hanketta käynnistettäessä tunnistettiin tarve paitsi tieteellisen aineiston kokoamiselle, mutta myös käytännönläheisen ohjeistuksen tuottamiselle laajasti erilaisten työpaikkojen hyödynnettäväksi.

## 1.2 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset

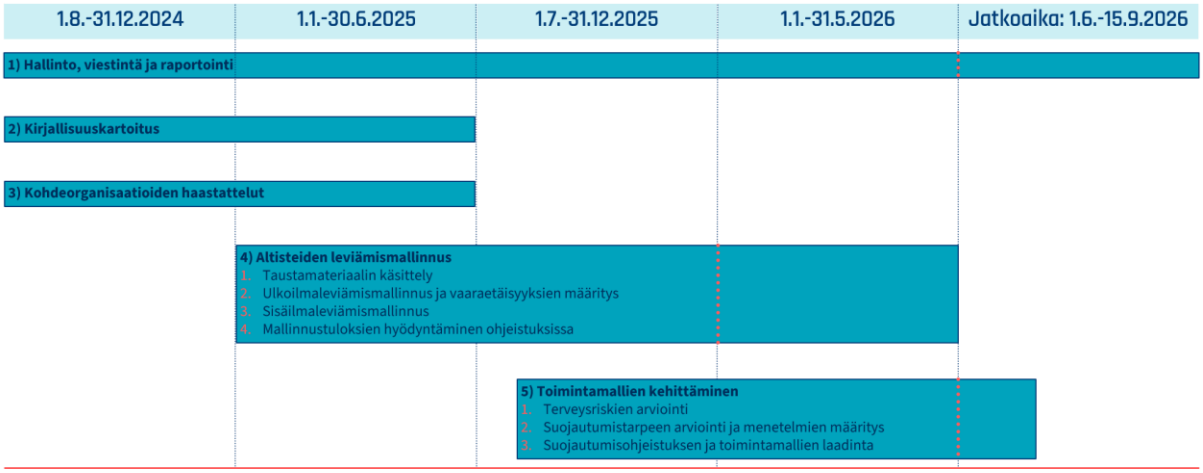
Hankkeen aineistonkeruuta tehtiin kirjallisuuskatsauksen, kohdeorganisaatioiden haastatteluiden ja mallinnuksen pohjalta. Aineistonkeruun menetelmiä on kuvattu tarkemmin seuraavissa alaluvuissa. Taulukkoon 1 on kuvattu, miten tutkimustavoitteet, tutkimuskysymykset, aineistot ja menetelmät sekä raportointi on linkitetty toisiinsa.

## Taulukko 1: Tavoitteet, tutkimuskysymykset, aineistot ja menetelmät sekä raportointi.

| TUTKIMUS-TAVOITE | TUTKIMUSKYSYMYKSET | AINEISTOT JA MENETELMÄT | RAPORTOINTI |
|---|---|---|---|
| Selvittää akkupaloissa vapautuvien altisteiden määrää ja laatua sekä niistä aiheutuvaa terveysriskiä | Mitä yhdisteitä akkupaloissa vapautuu ja kuinka paljon? | Kirjallisuuskatsaus | Raportti: 2.3<br>Malliratkaisu 1<br>OVA-ohje |
| | Mitkä vapautuvista yhdisteistä ovat olennaisimpia terveyshaittojen kannalta? | Kirjallisuuskatsaus | Raportti: 2.5 ja 5.1<br>Malliratkaisu 1<br>OVA-ohje |
| | Aiheuttaako altistuminen terveysriskiä työntekijöille? | Kirjallisuuskatsaus | Raportti: 2.5 ja 5.1<br>Malliratkaisu 1<br>OVA-ohje |
| | Miten eri laitteiden akkupalot eroavat toisistaan (työkalun akku vs. trukin tai auton akku)? | Kirjallisuuskatsaus ja työpaikkojen haastattelut | Raportti: 2.1 ja 4 |
| Määrittää valituille akkupaloissa ilmaan vapautuville yhdisteille pitoisuudet ja vaaraetäisyydet mallinnuksen avulla | Voiko akkupaloissa vapautuville yhdisteille määrittää vaaraetäisyyksiä ja onko niissä eroja? | Mallinnus | Raportti: 4<br>Malliratkaisu 3<br>OVA-ohje |
| | Mikä on turvallinen etäisyys akkupalon aikana? | Mallinnus | Raportti: 4<br>Malliratkaisu 3<br>OVA-ohje |
| | Mikä menetelmä soveltuu akkupalojen altisteiden leviämisen mallintamiseen? | Mallinnus | Raportti: 4 |
| | Kuinka kauan altisteet pysyvät ilmassa? | Mallinnus | Raportti: 4 |
| | Millaisia altistumispitoisuudet ovat? | Kirjallisuuskatsaus ja mallinnus | Raportti: 2.3 ja 4 |
| Selvittää työntekijöiden suojautumistarve akkupalon aikana ja laatia tähän ohjeistusta | Onko akkupalotilanteisiin olemassa toiminta- tai suojautumisohjetta? | Työpaikkojen haastattelut | Raportti: 3.2 ja 3.3<br>Malliratkaisu 2-5<br>OVA-ohje |
| | Miten työntekijöiden tulisi suojautua ja toimia akkupalon aikana? | Kirjallisuuskatsaus ja työpaikkojen haastattelut | Raportti: 2.6 ja 5.2<br>Malliratkaisu 2-5<br>OVA-ohje |
| | Eroaako eri työntekijäryhmien suojautumistarve? | Työpaikkojen haastattelut | Raportti: 5.2 ja 5.3<br>Malliratkaisu 2-5<br>OVA-ohje |

# 1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimushanke on toteutettu 1.8.2024 – 15.9.2026 aikana. Toteutus on jaettu viiteen vaiheeseen: 1) Hallinto, viestintä ja raportointi, 2) Kirjallisuuskartoitus, 3) Kohdeorganisaatioiden haastattelut, 4) Altisteiden leviämismallinnus, ja 5) Toimintamallien kehittäminen. Eri työvaiheiden toteutuksen aikataulu on havainnollistettu Kuvassa 1.




Kuva 1. Tutkimushankkeen toteutuksen vaiheet ja aikataulu.

## 1.3.1 Eettinen käsittely

Työpaikoille kohdennettujen haastatteluiden runko ja toteutus käsiteltiin Työterveyslaitoksen Eettisen Työryhmässä (ETR). Eettinen työryhmä piti tutkimussuunnitelmaa eettisesti hyväksyttävänä ja antoi tutkimukselle puoltavan lausunnon kokouksessaan 27.9.2024 (Pöytäkirja ETR 08/2024).

## 1.3.2 Tekoälyn käyttö

Tutkimusraportin kirjoittamisessa on hyödynnetty generatiivista tekoälyä (Microsoft 365 Copilot, joka perustuu GPT-5.6 chat -malliin) tekstin luonnostelun, kääntämisen, rakenteen kehittämisen ja kielellisen muokkauksen tukena. Kaikki tekoälyn tuottama sisältö on arvioitu kriittisesti, tarkistettu ja tarvittaessa muokattu kirjoittajien toimesta. Kirjoittajat vastaavat tutkimusraportin sisällöstä, tulkinnoista ja johtopäätöksistä.

# 1.4 Tutkimuksen toteuttajat ja ohjausryhmä

Tutkimuksen toteuttajina toimivat Työterveyslaitos ja Ilmatieteen laitos. Hankkeen kohdeorganisaatiota edustivat litiumioniakkujen eri elinkaaren vaiheen toimijoita: akkujen valmistusta, käyttöä ja kierrätystä. Lisäksi hankkeessa oli mukana pelastustoimen ja ensihoidon edustajia. Kaikki hankkeen kohdeorganisaatiot osallistuivat haastatteluihin ja ohjausryhmän toimintaan. Taulukossa 2 on kuvattu hankkeen toimijat ja roolit hankkeessa.

Hankkeen lopputuotokset ovat käyneet laajemmin kommentoitavana useilla eri organisaatioilla ja tahoilla, jotka toimivat akkuturvallisuuden parissa.

## Taulukko 2: Hankkeen toimijat ja roolit hankkeessa

| TOIMIJA | KUVAUS | ROOLI HANKKEESSA |
|---|---|---|
| Tutkijaryhmä | Työterveyslaitoksen ja Ilmatieteen laitoksen projektiryhmä: altistumisen arvioinnin, toksikologian, terveysvaikutusten, mallinnuksen ja suojautumisen asiantuntijoita | Kirjallisuuskatsauksen, työpaikkojen haastatteluiden ja mallinnuksen toteutus sekä hankkeen koordinointi ja tulosten levitys |
| Ohjausryhmä | Kohdeorganisaatioiden, tutkimusryhmän ja rahoittajan edustajat | Hankkeen seuranta ja ohjaus |
| Organisaatio 1: Akkujen valmistus | Akkujen valmistuksen näkökulma | Kohdeorganisaatio, joka osallistui haastatteluihin; edustaja ohjausryhmässä |
| Organisaatio 2: Akkujen käyttäjä 1 | Näkökulmana akkujen käyttö työpaikalla | Kohdeorganisaatio, joka osallistui haastatteluihin; edustaja ohjausryhmässä |
| Organisaatio 2: Akkujen käyttäjä 2 | Näkökulmana akkujen käyttö työpaikalla | Kohdeorganisaatio, joka osallistui haastatteluihin; edustaja ohjausryhmässä |
| Organisaatio 1: Akkujen kierrätys | Akkujen kierrätyksen näkökulma | Kohdeorganisaatio, joka osallistui haastatteluihin; edustaja ohjausryhmässä |
| Pelastuslaitos | Akkupalojen sammutuksen asiantuntija | Kohdeorganisaatio, joka osallistui haastatteluihin; edustaja ohjausryhmässä |
| Ensihoito | Ensihoidon asiantuntija | Kohdeorganisaatio, joka osallistui haastatteluihin; edustaja ohjausryhmässä |

# 2 Osa I: Kirjallisuuskatsaus

Litiumioniakkupaloihin liittyvää tieteellistä kirjallisuutta haettiin kansainvälisistä tietokannoista (PubMed, WOS, OVID, Google Scholar) syksyllä 2024. Käytettyjä hakulausekkeita olivat mm. ”battery fire” AND ”protective clothing”, "battery fire" AND ("protective clothing" OR "Personal protective equipment" OR PPE), lithium-ion AND battery fire AND toxicity, lithium-ion AND battery fire AND occupational exposure. Kirjallisuus täydentyi lisäksi hankkeen aikana tieteellisillä artikkeleilla ja raporteilla. Kirjallisuutta saatiin myös hankkeen kohdeorganisaatioiden edustajilta. Ensisijaisena tavoitteena tässä narratiivisessa kirjallisuuskatsauksessa oli selvittää litiumakkupalojen altisteita, altistumisen määrää sekä suojautumista.

## 2.1 Litiumioniakut ja niiden käyttö

Litiumioniakkukenno koostuu negatiivisesta ja positiivisesta elektrodista sekä elektrolyytistä, joka mahdollistaa litiumionien liikkumisen elektrodien välillä. Positiivisena elektrodina (katodina) käytetään erilaisia litiumoksidiyhdisteitä, joista käytetyimmät ovat litiumnikkelimangaanikobolttioksidi (NMC), litiumnikkelikobolttialumiinioksidi (NCA), litiumrautafosfaatti (LFP), litiumkobolttioksidi (LCO) ja litiummangaanioksidi (LMO). Erilaisilla akkukemioilla saadaan eri tarkoituksiin soveltuvia ratkaisuja, kuten akkujen parempaa tehoa tai suorituskykyä (Taulukko 3). Negatiivisena elektrodina (anodi) käytetään tyypillisesti grafiittia (hiiltä) tai seosta litiumtitanaatin kanssa (LTO). Elektrolyyttinä käytetään eniten litiumheksafluorofosfaattia, joka on liuotettu erilaisiin karbonaattiyhdisteisiin, kuten dimetyyli- tai dietyylikarbonaattiin. Muodoltaan litiumioniakkukennot voivat olla pusseja, lieriöitä tai särmiöitä. Litiumioniakku voi koostua yhdestä tai useasta akkukennosta tai useista akkumoduuleista, jotka kukin sisältävät useita akkukennoja.

## Taulukko 3: Käytetyimmät litiumioniakkukemiat, ominaisuudet ja käyttökohteet.

| AKKUTYYPPI | KEMIALLINEN KAAVA | OMINAISUUKSIA | KÄYTTÖKOHTEITA |
|---|---|---|---|
| Litiumkobolttioksidi (LCO) | $LiCoO_2$ | Korkea ominaisenergia ja suorituskyky | matkapuhelimet, tietokoneet |
| Litiummangaanioksidi (LMO) | $LiMn_2O_4$ | Turvallinen käyttää, korkea ominaisteho ja ominaisenergia | käsityökalut, sähköiset kulkuneuvot |
| Litiumrautafosfaatti (LFP) | $LiFePO_4$ | Hyvä tehotiheys, laaja käyttölämpötila, turvallinen käyttää (lämpöstabiili), pitkä käyttöikä | sähköautot, energiavarastot |
| Litiumnikkeli-mangaanikobolttioksidi (NMC) | $LiNi_xMn_yCo_zO_2$* | Korkea ominaisenergia, kohtalainen tehotiheys, kohtalainen käyttölämpötila, hyvä turvallisuus, korkeampi kustannus (Ni ja Co vuoksi) | sähköautot ja -pyörät, energiavarastot, käsityökalut |
| Litiumnikkelikoboltti-alumiinioksidi (NCA) | $LiNi_xCo_yAl_zO_2$* | Pitkä käyttöikä, korkea ominaisteho ja ominaisenergia | sähköautot |

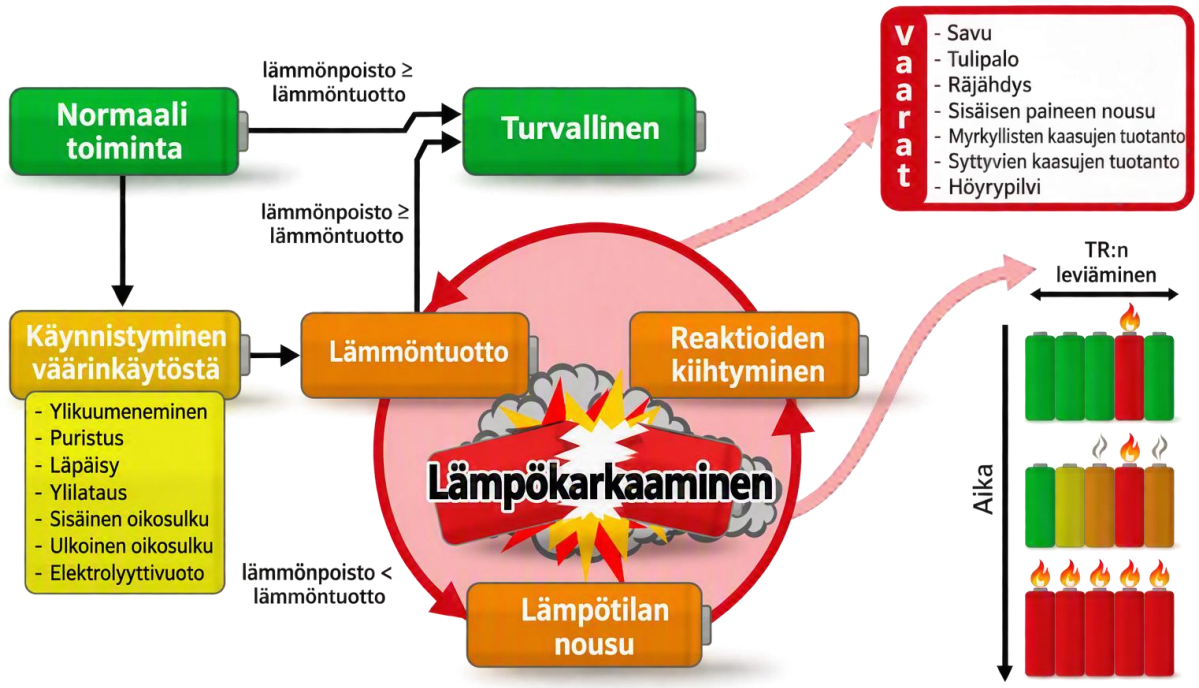
Tiedot koostettu lähteistä (Battery University, 2017; Rytkönen *ym.*, 2025a).
* NMC-akun sisältämien nikkelin, mangaanin ja koboltin suhteet vaihtelevat, minkä vuoksi niiden määrät on esitetty kaavassa alaindeksein x, y ja z. Esimerkiksi NMC811-akku sisältää nikkeliä, mangaania ja kobolttia suhteessa 8:1:1. Vastaavasti myös NCA-akkujen metallien määrissä on vaihtelua.

## 2.2 Litiumioniakkupalon kehittyminen

Litiumioniakut ovat yleisesti turvallisia käyttää. Suurimmat riskit niiden käytössä liittyvät palo- ja räjähdysvaaraan.

Litiumakkukennon vaurioituminen käynnistää kemiallisen hajoamisreaktion akkukemikaalien (elektrodit ja elektrolyytti) välillä, jolloin muodostuu lämpöä ja kaasuja. Akkukennon vaurioituminen voi johtua mekaanisesta vauriosta, akun sisäisestä tai ulkoisesta oikosulusta, ylilataamisesta tai -purkamisesta tai ylikuumenemisesta. Litiumsuolan hajoaminen ja sen reagoiminen liuottimen kanssa johtavat akkukennossa lämpötilan nousuun, elektrolyytin höyrystymiseen ja kaasujen muodostumiseen. Reaktion edetessä lämmöntuotanto lisääntyy ja

johtaa lämpökarkaamiseen (thermal runaway), mikä ilmenee voimakkaana kaasujen ja hiukkasten vapautumisena sekä mahdollisesti palavina heitteinä (Kuva 2). Lämpökarkaaminen voi johtaa tulipaloon, usein räjähdysmäisellä tavalla. Vapautuva kuumuus voi käynnistää vastaavan reaktion yhdestä akkukennosta myös toisiin kennoihin (Premnath *ym.*, 2022; Bugryniec *ym.*, 2024; Zhang *ym.*, 2024).




Kuva 2. Litiumioniakkujen lämpökarkaamisprosessi (thermal runaway, TR). Mukailtu ja käännetty suomeksi M365 Copilot tekoälyllä alkuperäislähteestä (Bugryniec, 2023), alkuperäiskuva lisensoitu CC BY 4.0 -lisenssillä.

Litiumioniakkupalot ovat vaikeita sammuttaa, koska ne tuottavat itse paloon tarvittavan hapen, palavat aineet ja lämmön (Zhang *ym.*, 2024). Lisäksi jo sammutettu akku voi syttyä uudelleen, jos akkuun on jäänyt vioittuneita kennoja, jotka eivät ole tuhoutuneet aiemmassa lämpökarkaamisessa (Rytkönen *ym.*, 2025a).

## 2.3 Litiumioniakkupalossa vapautuvat haitalliset yhdisteet ja altistuminen

Litiumioniakkujen lämpökarkaamisen tai palon aikana voi vapautua lukuisia terveydelle haitallisia kaasuja. Litiumionikennojen lämpökarkaamistesteissä on raportoitu vapautuvan yli 100 orgaanista yhdistettä (Sun *ym.*, 2016). Vapautuvat kaasut sisältävät esimerkiksi hiilidioksidia ($CO_2$), hiilimonoksidia (CO), vetyä ($H_2$), hiilivetyjä ($CH_4$, $C_2H_6$, $C_2H_4$, $C_2H_2$, $C_3H_6$, $C_3H_8$) ja fluoria sisältäviä

yhdisteitä (fluorivety (HF), fosforipentafluoridi ($PF_5$), fosforyylifluoridi ($POF_3$)) (Larsson *ym.*, 2017; Premnath *ym.*, 2022; Bugryniec *ym.*, 2024). Lisäksi litiumioniakkupalon aikana voi vapautua muita kaasumaisia yhdisteitä. Terveydelle akuutisti haitallisia altisteita ovat CO, HF, kloorivety (HCl), syaanivety (HCN), typen oksidit ($NO_x$) ja rikkidioksidi ($SO_2$) (Bugryniec *ym.*, 2024). Reagoidessaan veden tai kosteuden kanssa fluorivedystä ja kloorivedystä muodostuu edelleen syövyttävää fluorivetyhappoa ja kloorivetyhappoa.

Kaasujen lisäksi litiumakkupalon aikana vapautuu myös hiukkasmaisia yhdisteitä. Palossa syntyy paljon keuhkorakkuloihin asti pääseviä halkaisijaltaan alle 4 µm hiukkasia. LFP- ja LCO-akkujen paloissa syntyvien hiukkasten on havaittu sisältävän orgaanista ja epäorgaanista hiiltä, fosfaattia ja fluoridia sekä metalleista eniten litiumia, magnesiumia, alumiinia, kalsiumia, rautaa ja sinkkiä (Claassen *ym.*, 2024). NMC-akuista on havaittu palon aikana vapautuvan nano- ja mikrokokoluokan hiukkasia sekä suurempia anodin ja katodin osasia. Hiukkaset sisältävät nikkeliä, mangaania, kobolttia, alumiinia, hiiltä, fluoria ja happea (Barone *ym.*, 2021) sekä lisäksi litiumia, alumiinia, fluoridia ja PAH-yhdisteitä (Held *ym.*, 2022). LTO-akuista vapautuu niin ikään pienhiukkasia, jotka sisältävät kobolttia ja titaania (Barone *ym.*, 2021).

Litiumioniakkupalon päästöt voivat vaihdella riippuen syttymismekanismista, akun kemiasta, lataustilasta, rakenteesta, olosuhteista ja testausmenetelmistä (Sun *ym.*, 2016; Premnath *ym.*, 2022; Rappsilber *ym.*, 2023). On havaittu, että akun suuremmalla lataustasolla myös päästöt ovat suurempia. NCM-akusta on havaittu vapautuvan muita akkutyyppejä enemmän kaasuja, mutta LFP-akun päästöt ovat vaarallisempia (Bugryniec *ym.*, 2024). Lisäksi hiukkaspäästöjen on havaittu vaihtelevan huomattavasti palosta toiseen, vaikka akkumoduuli ja syttymistapa ovat samat (Premnath *ym.*, 2022). Akkupalosta vapautuviin yhdisteisiin ja niiden pitoisuuksiin vaikuttavat myös muu palava materiaali (akun kotelo ja ympäröivä materiaali).

Litiumioniakkupalosta vapautuvien yhdisteiden pitoisuudet on raportoitu eri tavalla eri tutkimuksissa. Usein päästöt on ilmoitettu kokonaismäärinä (esim. g), suhteutettuna akun energiasisältöön (esim. g/Wh) tai aikaan (esim. mg/s) (Tschirschwitz *ym.*, 2023). Työhygieenisten altistumisarvioiden kannalta tietojen tulkinta on haastavaa, koska kaikki raja-arvot on annettu pitoisuuksina (ppm tai $mg/m^3$). Yleensä työperäistä altistumista arvioitaessa ilman altisteiden pitoisuuksia verrataan raja-arvoon, joka on annettu 8 h altistumiselle (STM, 2025). Akkupalo on kuitenkin usein varsin kiivas, jolloin vertaaminen koko työpäivän raja-arvoon ei välttämättä ole mielekästä. Tutkimuksissa mitattuja pitoisuuksia on verrattu 8 h työhygieenisten raja-arvojen (Jalali, Collie ja Baroutian, 2026) lisäksi terveydelle välittömästi vaarallisiin pitoisuuksiin (IDLH = Immediately dangerous to life or health) (Peng *ym.*, 2020; Liu *ym.*, 2021; Premnath *ym.*, 2022; Tschirschwitz *ym.*, 2023) tai akuutin altistumisen AEGL-arvoihin (AEGL = Acute exposure limit value) (Tschirschwitz *ym.*, 2023). Taulukossa 4 on esitetty haitallisimmille litiumioniakkupalossa vapautuville yhdisteille niiden raja-arvoja.

## Taulukko 4: Litiumioniakkupaloissa vapautuvien yhdisteiden raja-arvoja. Arvot on ilmoitettu yksikössä ppm.

| YHDISTE | $HTP_{8h}$* | $HTP_{15min}$* | $AEGL1_{30min}$** | $AEGL2_{30min}$** | $AEGL3_{30min}$** | IDLH*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CO | 20**** | 100**** | ei määriteltävissä | 150 | 600 | 1200 |
| HCl | - | 5 | 1,8 | 43 | 210 | 50 |
| HCN | 0,9 | 4,5 | 2,5 | 10 | 21 | 50 |
| HF | 1,8 | 3 | 1,0 | 34 | 62 | 30 |
| $NO_2$ | 0,5 | 1 | 0,5 | 15 | 25 | 13 |
| $SO_2$ | 0,5 | 1 | 0,2 | 0,75 | 30 | 100 |

* HTP = Haitalliseksi tunnettu pitoisuus. HTP-arvot ovat Suomessa annettuja työhygieenisiä raja-arvoja, jotka on määritelty 8 tunnille ja 15 minuutille (STM, 2025).
** AEGL = Acute Exposure Guideline Level. AEGL-arvot ovat yhdysvaltalaisia raja-arvoja akuutin kemikaalipäästön väestölle aiheutuvan terveysriskin arviointiin. AEGL-arvot on määritelty eri altistumisajoille (10 min, 30 min, 1 h, 4 h, 8 h). Taulukossa ilmoitetaan ainoastaan 30 min arvo. AEGL1 = ohimenevät, lievät vaikutukset (esim. epämukavuus, ärsytys), AEGL2 = palautumattomat tai vakavat vaikutukset, AEGL3 = hengenvaara (EPA, 2026).
*** IDLH = Immediately Dangerous to Life or Health. IDLH-arvot ovat yhdysvaltalaisia NIOSH:n asettamia raja-arvoja työntekijän suojelemiseksi. IDLH-arvon ylittävä pitoisuus on välittömäsi vaarallinen hengelle tai terveydelle. (NIOSH, 2021).
**** Hiilimonoksidille annetut raja-arvot ovat sitovia. Työntekijän altistuminen ei saa ylittää ko. pitoisuuksia (STM, 2025).

Erilaisten litiumioniakkujen polttokokeita on tehty eri koeasetelmin ja menetelmin sekä raportoitu eri tarkkuuksilla ja eri yksiköissä, mikä hankaloittaa tutkimusten vertailua. Seuraavassa on esitelty muutamia tutkimuksia, joissa on mitattu haitallisimpina pidettyjä yhdisteitä (CO, HF, HCl, HCN, $NO_x$ tai $SO_2$) ja verrattu näitä raja-arvoihin.

Fluorivety (HF) on yksi vaarallisimmista kaasuista, jota vapautuu litiumioniakkupalossa. Peng ym. (2020) havaitsivat, että LFP-akun (68 Ah) palon aikana maksimaalinen HF-pitoisuus ylitti IDLH-arvon liki seitsenkertaisesti, aiheuttaen hengenvaaraa. $SO_2$:n, NO:n, $NO_2$:n ja HCl:n maksimipitoisuudet samassa tutkimuksessa olivat 13–44 % niiden IDLH-arvoista. Hetkellinen korkein CO-pitoisuus oli 258 ppm (Peng *ym.*, 2020). Tschirschwitz ym. (2023) raportoivat myös korkeita HF- ja CO-tasoja NMC-akkumoduulien lämpökarkaamisen aikana. HF-pitoisuudet ylittivät IDHL-arvon ja saavuttivat myös 30 min AEGL2 ja AEGL3 -tasot. Korkeimmat CO-pitoisuudet eri kokeissa vaihtelivat välillä 57–56035 ppm ollen HF-pitoisuuksia vaarallisempia (Tschirschwitz *ym.*, 2023). Näissä tutkimuksissa mittaukset tehtiin joko suoraan akkupalon päästöpilvestä (Peng *ym.*, 2020) tai akkupalon välittömästä läheisyydestä (Tschirschwitz *ym.*, 2023), jolloin tulokset kuvaavat pahinta mahdollista altistumispitoisuutta.

Liu ym. (2021) arvioivat ärsyttävien kaasujen pitoisuuksia 50 $m^3$ huoneessa olettaen, että Li-ioniakkupalon (243 Ah LFP-akku, kaksi rinnakkaista pussikennoa) kaasuntuotannon maksimimäärä jakautuu tasaisesti huoneeseen ja vertasivat pitoisuuksia yhdisteiden IDLH-arvoihin. Arvioidut pitoisuudet NO:lle, HCl:lle, $NH_3$:lle, $SO_2$:lle ja HF:lle olivat 52,2; 15,8; 11,2; 86,4 ja 162 mg/$m^3$. Ainoa yhdiste, joka ylitti IDLH-raja-arvon, oli HF, joka ylitti IDLH-arvon yli kuusinkertaisesti. Muiden yhdisteiden arvioidut pitoisuudet olivat 6–42 % niiden IDLH-arvoista (Liu *ym.*, 2021).

Jalali ym. (2026) tekivät kontrolloituja palokokeita jäteautossa, jossa oli kotitalousjätettä ja erilaisia litiumioniakkuja (3,7–40 V). Mittaukset tehtiin jäteauton kontin sivusta tehdyistä rei'istä. Korkeimmat HF-pitoisuudet olivat 9,2 mg/$m^3$ ja fluoripitoisuus vaihteli välillä 5,2–7,2 mg/$m^3$. Syaanivetyä (HCN) havaittiin 2,05 ppm asti. Korkeimmat hetkelliset CO- ja $SO_2$-pitoisuudet olivat 1658 ppm ja 38,1 ppm, ylittäen 8 h työhygieeniset raja-arvot yli 30-kertaisesti ja 7-kertaisesti. Myös korkeita asetaldehydipitoisuuksia mitattiin (55,04 mg/$m^3$). Tulokset kuvaavat litiumioniakkupalojen monitahoista riskiä: päästöihin vaikutti myös sammutukseen käytetty menetelmä ja muu palava materiaali. Huomionarvoista on myös se, että yllä mainittuja yhdisteitä mitattiin myös kokeessa, jossa ei ollut litiumioniakkua mukana vaan pelkkää kotitalousjätettä (Jalali, Collie ja Baroutian, 2026).

## 2.4 Litiumioniakkupalo; sekundaarinen altistuminen

Akkupalot voivat aiheuttaa haittaa myös itse palotapahtuman jälkeen ja huolta tilojen turvallisuudesta. Korealaisen akkutestauslaitoksen testihuoneen tulipalon jälkeen tiloissa tehtiin altistumismittaukset, joissa havaittiin hiukkaspitoisuuksien olevan matalia (0,01–0,22 mg/$m^3$). Fluorivetyä tai litiumia ei havaittu ja tutkimuksen tekijät totesivat, että tiloihin oli turvallista palata (Jo *ym.*, 2023).

Akkupaloista vapautuvien hiukkasten ja hiukkasiin sitoutuneiden aineiden (metallit, PAH-yhdisteet) kulkeutumista ja vaikutusta pinnoille on tutkittu useissa tutkimuksissa (Held *ym.*, 2022; Sturm *ym.*, 2022; Buston *ym.*, 2023). Tutkimuksissa on havaittu, että akkupaloista peräisin oleva noki ja siinä olevat akkumetallit (lähinnä nikkeli, mangaani ja koboltti) voivat kulkeutua pitkienkin etäisyyksien (jopa 100 m) päähän. Akkupalojen jälkeen myös muiden metallien (alumiini, litium), vesiliukoisen fluoridin ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksien pinnoilla on havaittu ylittävän taustapitoisuudet (Held *ym.*, 2022).

Pintojen lisäksi akkupalossa vapautuvien yhdisteiden (noki, metallit (Li, Co, Cr, Fe, Ni ja Mn), PAH-yhdisteet, formaldehydi ja orgaaniset fosforihappoyhdisteet) on havaittu tunkeutuvan pelastajien suojavaatetukseen (Szmytke *ym.*, 2022; Probert *ym.*, 2026; Rumi *ym.*, 2026). Suojavaatetukseen kertyneet metallihiukkaset voivat edelleen aiheuttaa toissijaista altistumista ja riskiä käyttäjälle sekä muille ammateille, kuten pesulatyöntekijöille, suojavarusteiden riisumisen tai myöhemmän käsittelyn aikana (Rumi *ym.*, 2026). Suomessa Pelastusopisto on ohjeistanut pelastajien suojavaatetuksen ja varusteiden huoltoa ja puhdistusta altistumista välttäen (Rytkönen *ym.*, 2025a).

## 2.5 Litiumioniakkupalon terveysvaikutukset

Litiumioniakkujen akuutit terveysvaarat liittyvät akkujen lämpökarkaamisessa muodostuviin myrkyllisiin ja ärsyttäviin kaasuihin ja höyryihin (Taulukko 5 ja 6). Kirjallisuuden perusteella akkupaloissa vapautuu suuria määriä mm. fluorivetyä, hiilimonoksidia, kloorivetyä ja syaanivetyä (ks. kappale 2.3). Akkupalossa muodostuvat kaasut voivat aiheuttaa silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita ja hengenvaarallisen myrkytyksen, jonka oireina voivat olla muun muassa erilaiset sydän- ja keskushermosto-oireet, tajuttomuus, hengityslama ja kuolema. Myrkytysoireiden lisäksi akkupalossa muodostuvat kaasut voivat aiheuttaa suljetussa tilassa hapen puutteen tai syttyessään aiheuttaa palo- ja räjähdysvammoja. Akkujen sisältämä emäksinen elektrolyyttineste voi vaurioittaa vakavasti ihoa ja silmiä (OVA-ohjeet, 2026).

Akkupaloissa vapautuu myös mahdollisesti ihoa herkistäviä sekä syöpä- ja lisääntymisvaarallisia yhdisteitä, kuten raskasmetalleja ja PAH-yhdisteitä (Held *ym.*, 2022; Sturm *ym.*, 2022; Buston *ym.*, 2023). Kyseiset altisteet ovat merkityksellisiä etenkin toistuvassa altistumisessa.

### Taulukko 5: Litiumioniakkupaloissa vapautuvia yhdisteitä ja niiden terveysvaikutuksia.

| AKKUPALOSSA VAPAUTUU | ESIMERKKEJÄ | TERVEYSVAIKUTUKSET |
|---|---|---|
| Myrkylliset kaasut | Hiilimonoksidi, fluorivety, syaanivety, fosforyylifluoridi, fosforipentafluoridi | Välittömät henkeä uhkaavat vaikutukset: sydän- ja keskushermosto-oireet, tajuttomuus, hengityslama ja kuolema |
| Syttyvät ja happea syrjäyttävät kaasut | Vety, metaani, eteeni, propeeni | Palo- ja räjähdysvammat, hapen puute |
| Ärsyttävät kaasut ja syövyttävät yhdisteet | Fluorivety, kloorivety, akroleiini, formaldehydi, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, typen ja rikin oksidit, fluorivetyhappo, fosforihappo, suolahappo, litiumhydroksidi | Silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytys- ja syöpymävauriot, keuhkopöhö |
| Hiukkaspäästöt | Savu ja noki (PAH-yhdisteet), metallit (esim. Al, Ni, Mn, Co, Li) | Vaikutukset hengitysteiden toimintakykyyn, ihoherkistyminen, syöpä- ja lisääntymisterveyden vaarat |

MSB 2022; OVA-ohjeet 2026;

## Taulukko 6: Litiumakkupalossa vapautuvia myrkyllisiä kaasuja ja niiden terveysvaikutuksia.

| KAASU | TERVEYSVAIKUTUKSET |
|---|---|
| Hiilimonoksidi (CO) | Voi aiheuttaa päänsärkyä, huimausta, sekavuutta, tajuttomuutta, ja korkeilla pitoisuuksilla kuoleman. CO sitoutuu hemoglobiiniin ja estää hapen kuljetuksen veressä. |
| Fluorivety (HF) | Voi aiheuttaa hengitysteiden, ihon, ja silmien ärsytystä. Korkeammat pitoisuudet voivat johtaa vakaviin hengitystievaurioihin. Ihokosketus voi aiheuttaa syövyttäviä palovammoja. |
| Syaanivety (HCN) | Estää solujen kyvyn käyttää happea, mikä voi johtaa hengitysvajaukseen, tajuttomuuteen, ja kuolemaan. |
| Typpi- ja rikkidioksidi ($NO_2$ ja $SO_2$) | Voi aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä, yskää, hengitysvaikeuksia, ja pitkäaikaisessa altistuksessa keuhkovaurioita. |
| Fosfori-fluoriyhdisteet (esim. $POF_3$ ja $PF_5$) | Voi aiheuttaa vakavaa hengitysteiden, silmien, ja ihon ärsytystä. Sisäänhengitys voi johtaa hengityselinten vaurioihin. |

MSB 2022; OVA-ohjeet 2026;

# 2.6 Suojautuminen litiumioniakkupalojen altisteilta

Akkupalotilanteissa suojautumiseen liittyvää kirjallisuutta on vähän. Pelastusopisto on suositellut suojavarusteita pelastajille ja palontutkijoille. Palontutkijoille suositellaan vähintään puhallinavusteisia hengityksensuojaimia, varustettuna ABEK-P3-luokan yhdistelmäsuodattimella ja silmät suojaavalla kasvo-osalla. Lisäksi suojaimiksi suositellaan työvaatteiden päälle lyhytaikahaalareita (kategoria III ja tyyppien 4/5 tai 5/6 vaatimukset täyttävä), turvajalkineita (EN 15090 tyypin 3, F3I) ja vähintään kevyttä pelastuskypärää (EN 16471/EN 16473) sekä kemikaalisuojakäsineitä. Akkuja käsiteltäessä tulee käyttää jännitesuojakäsineitä (EN 60903 luokka 0 RC), joiden päälle puetaan nahkakäsineet. Ensihoitajien ja muiden onnettomuuspaikalla toimivien viranomaisten tulee pysyä poissa vaara- ja välittömän vaaran alueelta. Lisäksi ensihoitajien altistumisen vähentämiseksi potilaat tulee olla puhdistettu ennen ensihoitoon toimittamista (Rytkönen *ym.*, 2025a).

Pelastusopisto on myös laatinut suojautumissuosituksen työpaikoille litiumioniakkupalojen sammuttamiseen. Sen mukaan lyhytaikaisessa altistumisessa (alkusammuttaminen) työntekijän tulee käyttää hengityksensuojainta (vähintään ABEK2-P3-suodatin), suoja-asua (suojaa kosketukselta kuumuuden ja liekkien kanssa (EN ISO 11612)) sekä kuumuutta kestäviä suojakäsineitä (esim. palo- (EN 659) tai hitsauskäsineet (EN 407)). Pitkäaikaiseen altistumiseen (esim. akun evakuointi) tulee käyttää pelastajan suojavarusteita: suojakypärä (EN 443), liekeiltä suojaava suojapuku (EN 469:2020 taso 2), suojakäsineet (EN 659) ja paineilmahengityslaite (Mikkonen *ym.*, 2025).

# 3 Osa II: Työpaikkojen haastattelut

Teimme haastattelututkimuksen usealle eri toimialan kohdeorganisaatiolle, jossa kartoitimme, kuinka litiumioniakkujen riskit on tunnistettu sekä toiminta mahdollisissa vaara- ja onnettomuustilanteessa ohjeistettu. Lisäksi kysyimme akkupaloilta suojautumisesta ja sattuneista paloista näillä työpaikoilla. Yksittäisessä haastattelussa oli mukana 1–5 henkilöä kustakin tutkimukseen osallistuneesta organisaatiosta. Haastattelut toteutettiin ennalta arvioitujen ja hyväksyttyjen eettisten toimintatapojen mukaisesti (raportin kappale 1.3.1).

Haastatteluihin osallistui toimijoita akkujen valmistuksesta, autoteollisuudesta, laiva- ja telakkateollisuudesta, polkupyörähuollosta, akkujen kierrätyksestä sekä vahinkotorjunnasta. Lisäksi haastattelimme kahden pelastuslaitoksen asiantuntijoita akkupaloihin varautumisesta, myös ensihoidon näkökulmasta.

Haastattelut toteutettiin suunnitelman mukaisesti kohdeorganisaatioissa helmi-huhtikuun 2025 välisenä aikana. Haastattelujen rungot löytyvät tämän raportin liitteenä (liite 1).

## 3.1 Käytössä olevat akut

Jokaisella haastatellulla työpaikalla oli käytössä paljon puhelimia ja kannettavia tietokoneita, joissa on litiumioniakkuja. Näiden lisäksi lähes kaikissa työpaikoissa oli käytössä erilaisia akkukäyttöisiä käsityökaluja. Joillain yrityksillä oli käytössään sähkö- tai hybridiautoja ja sähköpolkupyöriä tai -skuutteja. Lisäksi suurimmilla toimijoilla oli käytössään litiumioniakuilla varustettuja sähkötrukkeja. Sähkön varaamiseen tarkoitettuja suurempia akkuvarastoja ei ollut käytössä. Akkukäyttöisten laitteiden kirjo oli suuri, joten muun muassa niissä käytettävien akkujen kapasiteetti, varaustila, akkukemiat ja käyttöikä olivat vaihtelevia.

## 3.2 Varautuminen ja ohjeistus akkupaloihin

Akkupaloriskit oli tunnistettu kaikilla haastatteluun osallistuneilla työpaikoilla, mutta varautumistoimenpiteissä oli toimialaan liittyvää vaihtelua. Mahdollisten akkupalojen oletettiin tapahtuvan pääasiassa sisätiloissa, joten kaikilla työpaikoilla ensisijainen ohjeistus oli poistua ja evakuoida henkilöt välittömästi tilasta. Vastuu akkupalon sammutuksesta jätettiin pääasiassa pelastuslaitokselle. Osassa työpaikoista oli varauduttu akkupaloihin ulkovesialtailla akkujen upotusta varten, mutta talvipakkaset olivat muodostaneet niiden jäätymisongelman. Tällöin lumikasa oli toiminut sattuneen akkupalon hillitsevänä tekijänä. Ongelma-akuille oli järjestetty myös erillisiä säilytysastioita tai -kontteja. Työpaikoilla oli tunnistettu akkujen latausasemien ja -turvakaappien tarve, mutta näitä oli vielä harvassa käytössä. Kaikki työpaikat erottelivat vialliset ja kierrätettävät akut asianmukaisesti jätteenkäsittelyyn.

Akkujen valmistuksessa ja kierrätyksessä niiden lämpötilaa seurattiin tarkasti lämpömittareilla, jolloin lämpötilan noustessa ongelma-akut pystyttiin siirtämään nopeasti ulos vesialtaaseen.

Näillä työpaikoilla oli käytössä myös kaasumittareita, joiden avulla tilojen turvallisuutta voitiin monitoroida.

Työpaikoilla järjestettiin yleisiä paloharjoituksia, mutta ne eivät liittyneet välttämättä akkupalotilanteisiin. Työpaikoilla oli yleisesti tarjolla käsisammuttimia alkusammutukseen, mutta erilliset akkupaloihin suunnatut sammuttimet ja peitteet oli koettu tarpeettomiksi, johtuen vaikeudesta saada akkupaloa sammumaan sen happea tuottavan reaktion takia. Osassa työpaikoista henkilökunnalle oli annettu koulutusta ja opastusta akkujen käsittelyyn, ja myös parityöskentelyä suositeltiin. Lisäksi akkuja paljon käsitteleville työntekijöille oli annettu koulutusta sähköalan jännitteellisestä työstä. Työpaikoilla pidettiin tärkeänä asioiden ennakointia ja suunnittelua niin, ettei akkupaloja pääsisi tapahtumaan.

Haastatteluissa nousi esiin työpaikkojen ja pelastustoimen epävarmuus siitä, milloin tiloihin voi turvallisesti palata sattuneen akkupalon jälkeen. Useampi työpaikka käytti vahinkotorjuntayrityksiä palovahinkojen saneeraukseen. Yleisesti akkupaloissa muodostuvat terveydelle ja ympäristölle haitalliset päästöt ja niiden leviäminen oli tunnistettu vaihtelevasti ja näistä kaivattiin työpaikoilla lisää tietoa.

Haastatteluissa nousi myös esille alkuperältään tuntemattomien akkujen ja laturien (ns. Kiinan verkkokauppa-akut) luotettavuus, joiden käyttäminen voi lisätä akkupaloriskiä.

## 3.3 Suojautuminen akkupaloissa

Haastatteluun osallistuneilla työpaikoilla ei ollut pääsääntöisesti erillistä ohjeistusta suojautumiseen akkupalotilanteessa. Työntekijöitä perehdytetään suojainten käyttöön ja tiiviystestausta tehdään satunnaisesti muun muassa koulutus- tai teemapäivillä. Osalla työpaikoista oli akkupalotilanteiden varalle erillinen monipuolisesti varusteltu suojainkaappi tai -kärry työpisteiden lähellä ja akkujen varastointitiloissa. Työpaikoilla nousi esiin kysymyksiä suojautumistarpeesta akkupalopaikalla eri tilanteissa: palon aikana, jälkitoimenpiteissä sekä mahdollinen sekundäärialtistuminen pinnoilta tai potilaasta. Lisäksi suojainten säilyvyys askarrutti varastoinnissa muun muassa käsineiden suhteen. Pelastushenkilöstön osalta suojautumisessa seurataan Pelastusopiston tutkimuksia ja ohjeistuksia, mutta tarvetta on lisätiedolle akkupalon altisteista ja niiltä suojautumisesta myös viranomaisilla.

## 3.4 Sattuneet akkupalot

Haastattelukohteissa oli sattunut muutamia akkupaloja, joissa vahingot olivat jääneet vähäisiksi. Työpaikoilla oli ollut joitakin läheltä piti -tilanteita esimerkiksi pullistuneen akun muodossa ja puhelimen savuamisena. Tapahtuneiden akkupalojen myötä työpaikoilla oli tehty riskinhallinnallisia muutoksia toimintatapoihin akkujen käsittelyssä. Lisäksi riskien arvioinnissa oli hyödynnetty muiden yritysten kokemuksia akkupaloista ja niihin varautumisesta. Yhteistyö ja riskikommunikointi paikallisen pelastuslaitoksen kanssa nähtiin hyödylliseksi molempien kannalta akkupaloihin varautumisessa.

## 3.5 Tiedontarpeet ja jatkotoimet

Yritysten edustajilla nousi esiin useita kysymyksiä ja kehitystarpeita haastattelujen pohjalta. He olivat kiinnostuneita akkupaloissa vapautuvista terveydelle haitallisista yhdisteistä ja niiden määristä. Lisäksi yritykset tiedustelivat, onko akkupaloihin varautumisesta olemassa valmista materiaalia hyödynnettäväksi. Suojautuminen herätti paljon keskustelua akkupaloihin varautumiseen liittyen haastattelujen aikana. Tietoa ja suosituksia kaivattiin suojautumisesta akkupalon sattuessa, jälkitoimenpiteissä sekä suojainten säilyvyydestä.

Haastattelujen avulla pystyimme arvioimaan, minkälaisia tiedon tarpeita työpaikoilla on akkupaloihin liittyen. Haastattelut auttoivat jäsentämään työympäristön riskienhallinnan Malliratkaisujen sisältöä vastaamaan paremmin työpaikkojen tarpeeseen.

Haastattelujen yhtenä tavoitteena kartoitimme, minkälaisissa työvälineissä erikokoisia akkuja oli työpaikoilla käytössä. Tämä oli olennaista tietoa akkupalojen leviämismallinnuksen kannalta, joita suunniteltiin tehtäväksi erilaisissa sisä- ja ulkotilojen akkupaloskenaarioissa.

# 4 Osa III: Akkupaloaltisteiden leviämismallinnus

Litiumioniakkupaloista vapautuvat haitalliset savukaasut leviävät ilmavälitteisesti aiheuttaen mahdollista vaaraa palon lähialueella. Vaikka erilaisten akkupalojen päästöistä on jo paljon mittaustietoa (Luku 2.3), itse palokaasujen leviämistä lähiympäristöön ei tunneta vielä kovin hyvin. Leviämismallinnuksen keinoin saadaan tutkittua tätä päästöjen leviämistä sekä niistä aiheutuvan altistumisen suuruutta.

Mallintamista voidaankin käyttää apuna altistumisen sekä terveysriskien arvioinnissa. Leviämismallinnuksen avulla voidaan ennakoida, miten vaaralliset aineet leviävät ympäristöön ja millainen altistuminen on odotettavissa. Tämä on hyödyllistä erityisesti suljetuissa tiloissa ja tiheään asutuilla alueilla tapahtuvissa akkupaloissa, missä altisteiden vaikutukset voivat ulottua laajalle.

Mallinnuksessa voidaan käyttää esimerkiksi laskennallisia malleja, jotka simuloivat kaasujen ja hiukkasten ilmavälitteistä leviämistä. Mallit auttavat ymmärtämään, miten palokaasut liikkuvat sisätiloissa ja ulkona, sekä arvioimaan niiden pitoisuuksia eri etäisyyksillä palopaikasta. Näin voidaan arvioida leviämisen nopeutta, tarkastella poistumisaikoja sekä määrittää vaaraetäisyyksiä.

Tässä luvussa tarkastellaan litiumioniakkupalokaasujen leviämistä useassa palo- ja altistumisskenaarioissa. Ensimmäisessä skenaariossa (4.1) mallinnetaan pienakkupaloista, kuten puhelimen, kannettavan tietokoneen tai käsityökalun paloista, muodostuvien savukaasujen leviämistä tyypillisissä sisä- ja huonetiloissa. Toisessa skenaariossa (4.2) hyödynnetään olemassa olevaa mittaus- ja polttokoedataa sähköpyörän- ja potkulaudan savukaasuille altistumisen arviointiin sisätiloissa. Kolmannessa skenaariossa (4.3) siirrytään ulos ja mallinnetaan sähköauton palosta vapautuvien altisteiden leviämistä ilmakehässä. Ja neljännessä viimeisessä (4.4) skenaariossa tarkastellaan kirjallisuudesta löytyviä suurpalotilanteita, kuten energiavarastokontin tai akkuvaraston paloa. Lopuksi mallinnustulosten pohjalta arvioidaan tarvittavia vaaraetäisyyksiä sekä poistumisaikoja (4.5).

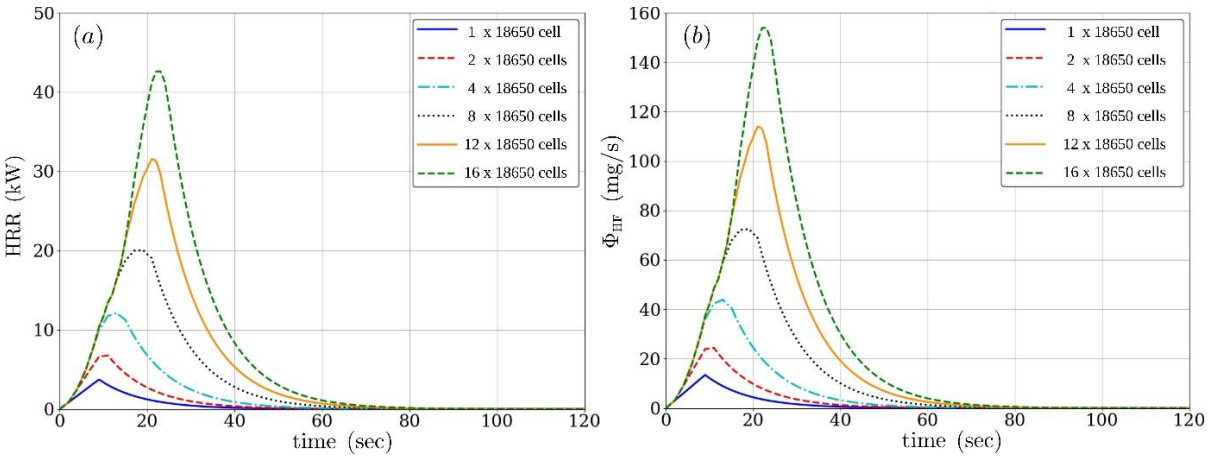
## 4.1 Sisäilmaleviämismallinnus – pienakkupalo

### 4.1.1 Menetelmät

Monet pienakut koostuvat sylinterimäisistä 18650-litiumioniakkuyksiköistä. Nämä akkuyksiköt ovat hieman AA-paristoa suurempia halkaisijaltaan 1,8 cm, pituudeltaan 6,5 cm, jännitteeltään 3,7 V ja energiasisällöltään 8,9 Wh (usein ilmoitettu myös yksikössä 2400 mAh). Mallinnettavien akkuyksiköiden oletettiin olevan täyteen ladattuja. Akkuyksikön elektrodit koostuivat NMC-materiaalista ja luonnongrafiitista, ja elektrolyytti sisälsi litiumsuolaa (litiumheksafluorofosfaatti) sekä orgaanisia liuottimia. Mallinnuksessa tarkasteltiin 2–16 akkuyksikön paloja. Kaksi

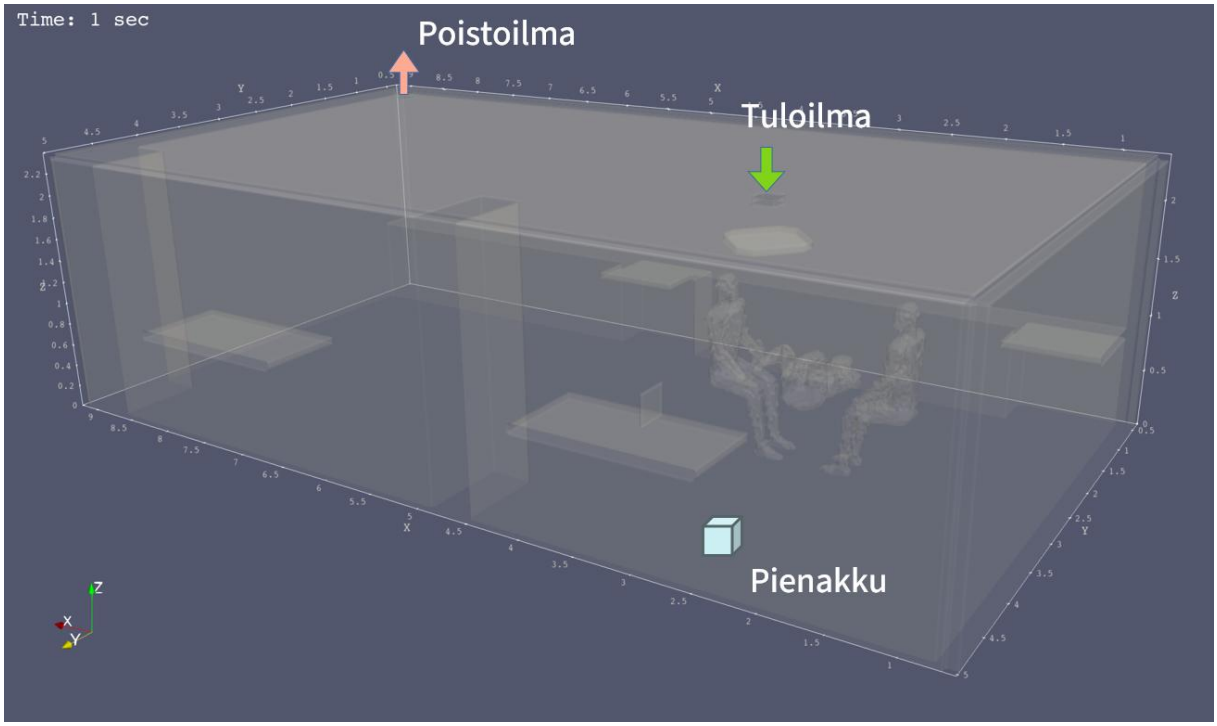
akkuyksikköä vastaa energiasisällöltään älypuhelimen akkua, 4–8 akkuyksikköä kannettavan tietokoneen tai varavirtalähteen akkua ja 12–16 akkuyksikköä tehokkaan ammattikäyttöön tarkoitetun käsityökalun akkua.

Mallinnetun pienakkupalon lämmöntuotto perustui yksittäisen, täyteen ladatun 18650-akkuyksikön mitattuun lämmöntuottoprofiiliin (Zhong *ym.*, 2019). Usean akkuyksikön palo muodostettiin käynnistämällä seuraavien akkuyksiköiden palot yhden tai kahden sekunnin viiveellä ja laskemalla niiden lämmöntuottotehot yhteen (Kuva 3). Koko paloprosessi kesti noin 60–70 s riippuen akkuyksiköiden määrästä. Fluorivedyn (HF) päästön oletettiin noudattavan samaa ajallista profiilia lämmöntuoton kanssa, ja päästön kokonaismäärä skaalattiin kirjallisuudessa ilmoitetulla arvolla 22,4 mg/Wh (Yan, Jaeger ja Spearrin, 2025).




Kuva 3. Mallinnetut 18650-litiumioniakkuyksiköiden lämmön- (HRR) ja fluorivedyn ($\Phi_{HF}$) tuotot ajan funktiona perustuen yksittäisen akkuyksikön polttokokeeseen (Zhong *ym.*, 2019).

Mallinnuksessa tarkasteltiin kahta tyypillistä toimistohuonetta. Pienemmän huoneen mitat olivat 4,45 × 4,8 × 2,3 metriä. Suurempi huone oli kaksi kertaa pienemmän huoneen kokoinen, ja sen mitat olivat 8,9 × 4,8 × 2,3 metriä. Pienemmässä huoneessa oli kaksi pöytää ja kaappi. Suuremmassa huoneessa kalusteita oli kaksinkertainen määrä. Molempiin huoneisiin sijoitettiin kolme henkilöä. Pienakku sijoitettiin 6 x 6 x 6 $cm^3$ kokoiseen sivuistaan avoimeen laatikkoon, joka sijoitettiin lattialle osittain pöydän alle kuvan 4 mukaisesti. Molemmissa huoneissa oli koneellinen ilmanvaihto, joka vaihtoi huoneilman kaksi kertaa tunnissa. Katossa oli yksi huoneen keskelle sijoitettu tuloilmaventtiili ja yksi huoneen kulmaan sijoitettu poistoventtiili.




Kuva 4. Mallinnuksessa käytetty suurempi toimistohuone sekä pienakun, kalusteiden, henkilöiden ja katossa sijaitsevien tulo- ja poistoilmaventtiilien sijoittelu.

Akkupalon lämmön ja haitallisten aineiden leviämistä huoneessa tutkittiin laskennallisella PALM-LES-virtausmallilla (Auvinen *ym.*, 2022). Malli kuvaa yksityiskohtaisesti huoneen ilmavirtauksia, turbulenttista sekoittumista sekä palon synnyttämän lämpimän ilmavirtauksen eli lämpöpluumin etenemistä. Menetelmä mahdollistaa päästöjen leviämisen yksityiskohtaisen tarkastelun, mutta vaatii paljon laskentatehoa. Mallin kykyä kuvata epäpuhtauksien leviämistä koneellisesti ilmastoidussa huoneessa on aiemmin arvioitu vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia laboratoriossa mitattuihin aerosolipitoisuuksiin (Auvinen *ym.*, 2025). Validointi tukee mallin käyttöä päästöjen leviämisen arviointiin, vaikka akkupalon lämpöpluumia ei ole erikseen validoitu kokeellisesti.

Fluorivetyaltistumista tarkasteltiin kolmessa eri altistumistilanteessa. Akkupaloa sammuttamaan jäävän henkilön altistuminen laskettiin seisomakorkeudella eli 1,5 metrin korkeudella viiden minuutin ajalta. Hitaasti palotilanteeseen reagoivan henkilön oletettiin istuvan paikallaan viiden minuutin ajan, jolloin altistumisen oletettiin tapahtuvan 1,0 metrin korkeudella. Nopeaa poistumista kuvaavassa tilanteessa henkilön oletettiin liikkuvan kontaten, ja siten altistuminen laskettiin 0,5 metrin korkeudella yhden minuutin ajalta. Aktiivisen altistumisen aikana kertynyt määrä muunnettiin vastaamaan kymmenen minuutin keskimääräistä pitoisuutta, jotta tuloksia voitiin verrata suoraan akuutin altistumisen AEGL-arvoihin (10 min).

Vertailussa käytettiin kolmea vaikutustasoa. Fluorivedyn AEGL 1-arvo on 1 ppm, joka kuvaa ohimenevien vaikutusten, kuten ärsytysoireiden, vaaraa. AEGL 2-arvo on 95 ppm kuvaten pysyvän tai muuten vakavan ja pitkäaikaisen terveyshaitan tai oireiden vaaraa. AEGL 3-arvo on 170 ppm, ja se kuvaa hengenvaarallisen terveyshaitan tai kuoleman vaaraa. Lisäksi tuloksia verrattiin suuntaa-

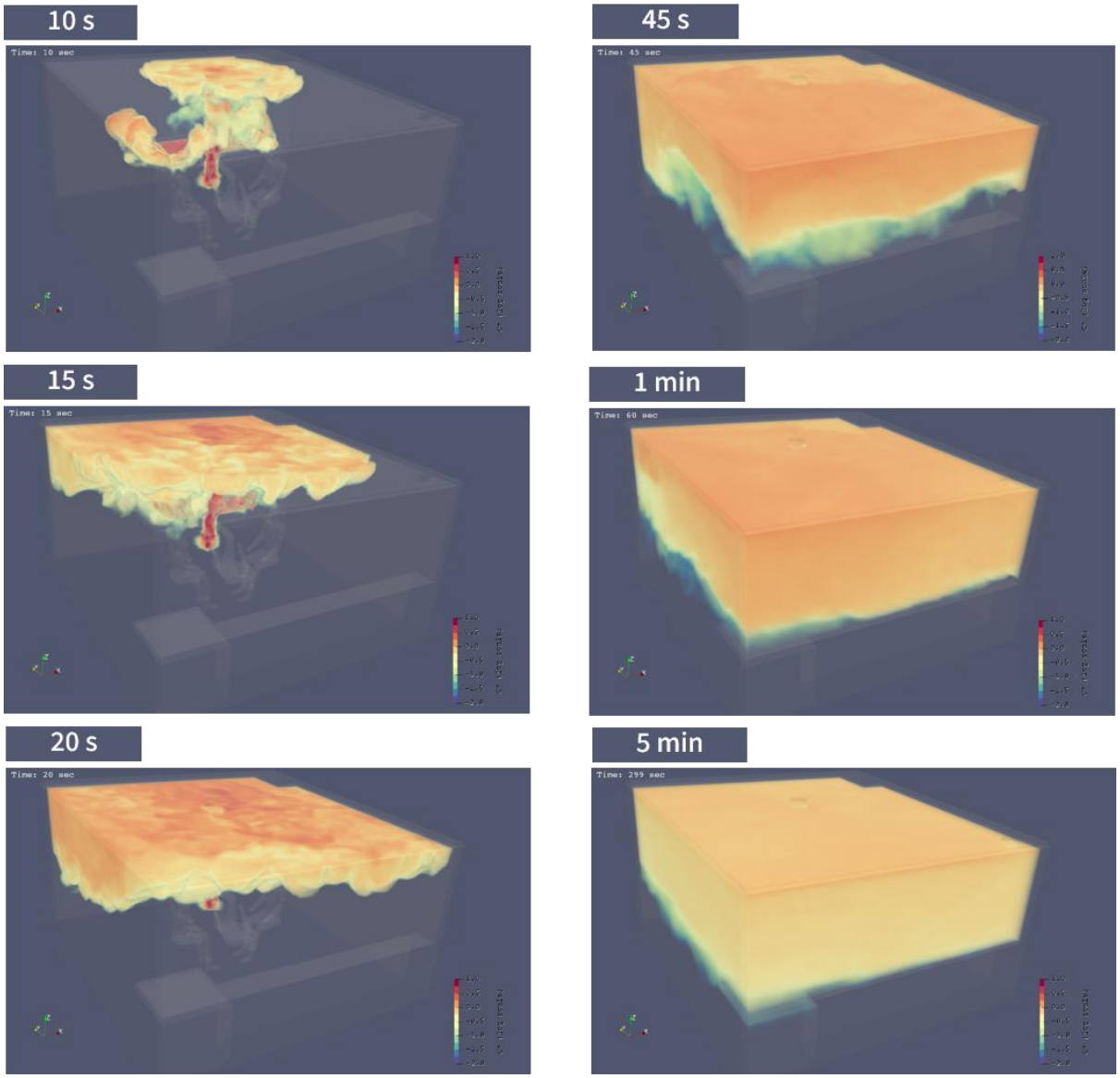
antavasti 30 ppm:n IDLH-arvoon, joka kuvaa välittömästi hengelle tai terveydelle vaarallista pitoisuutta.

### 4.1.2 Tulokset & Johtopäätökset

Mallinnuksella tarkasteltiin lämpötilan ja fluorivetypitoisuuden kolmiulotteista kehitystä palon alkamisesta viiden minuutin ajan. Tarkastelu tehtiin molemmissa huoneissa viidelle palokoolle, joissa paloi 2, 4, 8, 12 tai 16 akkuyksikköä.

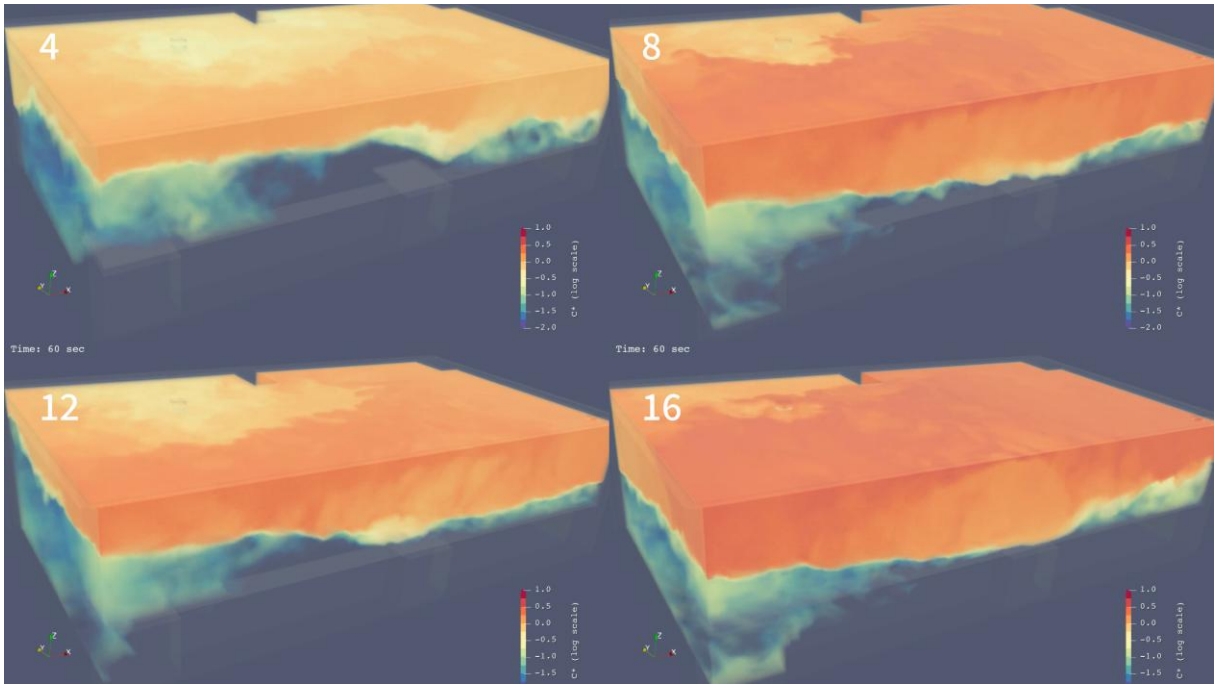
Kuvasarja 5 näyttää mallinnetuista tilanteista suurimman eli 16 akkuyksikön palon pienemmässä huoneessa. Kymmenen sekunnin kuluttua palon alkamisesta palokaasut nousivat lattialla olevasta akusta voimakkaana patsaana kohti kattoa. Kaasut osuivat pöytään ja levisivät sen vaikutuksesta vaakasuunnassa noin kahden metrin leveydelle. Viidentoista sekunnin kohdalla palokaasujen vapautuminen jatkui, ja kaasut nousivat katonrajaan, jossa ne alkoivat levitä katon suuntaisesti. Kahdenkymmenen sekunnin kohdalla palokaasut olivat levinneet katonrajassa koko huoneen leveydelle.

45 sekunnin kohdalla huoneen yläosaan oli muodostunut yhtenäinen palokaasukerros, joka alkoi painua seiniä pitkin alaspäin. Minuutin kohdalla akkupalo oli päättynyt, mutta palokaasukerros oli paksuuntunut ja ulottui jo huoneen keskiosaan, yli metrin korkeudelle lattiasta. Viiden minuutin kohdalla palokaasut muodostivat tasaisen kerroksen huoneen yläosaan. Palokaasujen pitoisuus huoneen yläosassa oli pienentynyt vain vähän minuutin kohdalla vallinneesta tilanteesta. Palokaasuja oli levinnyt jonkin verran myös alle metrin korkeudelle, mutta niiden määrä oli edelleen matalin lattian rajassa.



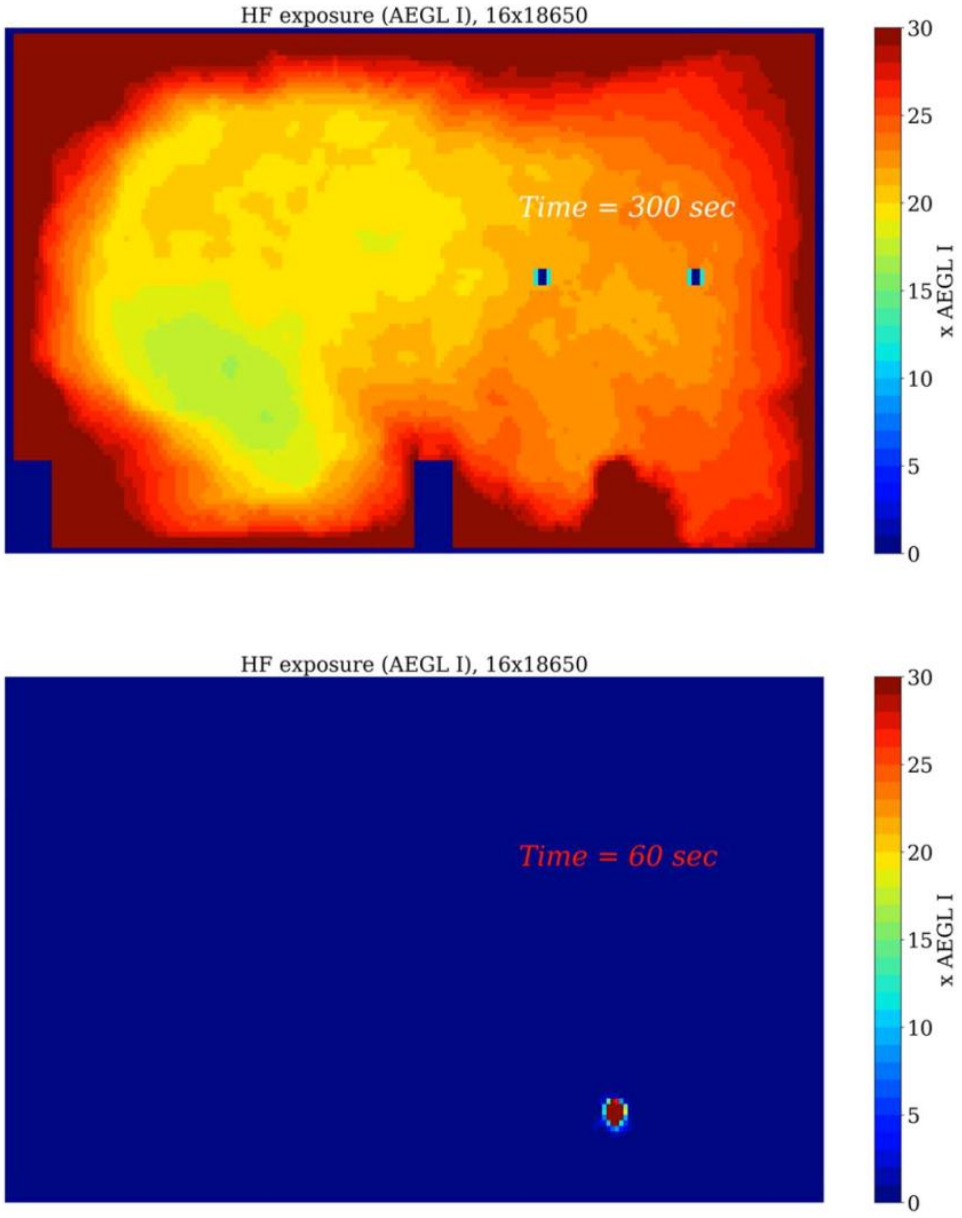

Kuva 5. Kuvasarja näyttää palokaasujen suhteellisen pitoisuuden huoneessa viiden minuutin aikana 16 akkuyksikön palon alkamisesta. Kyseessä on mallinnetuista tilanteista suurin palo pienemmässä, noin 4,5 × 4,8 × 2,3 metrin huoneessa. Punainen väri kuvaa suurempaa ja sinivihreä pienempää altisteen suhteellista pitoisuutta. Lämpimät palokaasut nousevat ensin tilassa ylöspäin ja leviävät sen jälkeen kattoa pitkin eri puolille huonetta. Palokaasukerros laskeutuu ajan kuluessa vähitellen alemmas, mutta palokaasujen määrä säilyy pienimpänä lattian rajassa.

Vertailtaessa eri kokoisten akkujen paloa suuremmassa toimistotilassa voidaan kuvasta 6 huomata, että minuutin kuluttua palon alkamisesta palokaasut olivat nousseet katon rajaan ja levinneet siellä laajalle koko huoneeseen. Akkuyksiköiden määrän kasvaessa palokaasujen suhteellinen pitoisuus suureni ja suuremman pitoisuuden alue laajeni. Palokaasut ulottuivat myös alemmas huoneeseen, mutta lattian lähellä pitoisuudet säilyivät kaikissa tapauksissa selvästi pienempinä kuin huoneen yläosassa. Kuvan perusteella palokaasut leviävät siis ensin ylöspäin ja sen jälkeen katon suuntaisesti eri puolille huonetta.




Kuva 6. Palokaasujen suhteellinen pitoisuus suuremmassa huoneessa minuutin kuluttua 4, 8, 12 ja 16 akkuyksikön palon alkamisesta. Punainen väri kuvaa suurempaa ja sinivihreä pienempää suhteellista pitoisuutta. Pitoisuusasteikko on logaritminen eli tummanpunainen kuvaa kymmenkertaista pitoisuutta vaaleanoranssiin nähden, satakertaista vihreään nähden ja tuhatkertaista tummansiniseen nähden. Kuvassa esitetään päästöjen suhteellista jakautumista, ei suoraan esimerkiksi fluorivetypitoisuutta.

Seuraavaksi verrataan fluorivetyaltistumista kahdessa tilanteessa: kun henkilö jää sammuttamaan paloa seisten viiden minuutin ajaksi ja kun henkilö poistuu huoneesta nopeasti kontaten yhden minuutin aikana. Sammuttavan henkilön altistuminen laskettiin 1,5 metrin hengityskorkeudelta ja kontaten poistuvan henkilön altistuminen 0,5 metrin korkeudelta. Vertailu koskee suurinta mallinnettua paloa, jossa paloi 16 akkuyksikköä suuremmassa huoneessa. Kuvassa 7 esitetään, kuinka moninkertaisesti fluorivetyaltistuminen ylittää AEGL 1-arvon näissä kahdessa eri tilanteessa. Altistuminen esitetään tarkasteluajan lopussa (1 tai 5 min), jolloin se oli suurimmillaan. Lyhyempi oleskelu huoneessa vähentäisi altistumista, joten tulokset kuvaavat kummankin tilanteen pahinta mallinnettua altistumista.




Kuva 7. Fluorivetyaltistuminen 16 akkuyksikön palossa suuremmassa huoneessa. Ylempi kuva esittää altistumista huoneessa puolentoista metrin korkeudella, kun henkilö jää sammuttamaan paloa seisten viiden minuutin ajaksi. Alempi kuva esittää altistumista puolen metrin korkeudella, kun henkilö poistuu kontaten yhden minuutin kuluessa. Väriasteikko osoittaa, kuinka moninkertaisesti altistuminen ylittää fluorivedyn AEGL 1-arvon eri paikoissa huonetta. Kuvat esittävät altistumisen tarkastelujakson lopussa, jolloin mallinnettu altistuminen on suurimmillaan.

Kun henkilö jää sammuttamaan paloa seisten, fluorivetyaltistuminen ylittää suuremmassa huoneessa AEGL 1-arvon laajalla alueella noin 10–30-kertaisesti. Altistuminen vaihtelee huoneessa, mutta myös pienemmän altistumisen alueilla AEGL 1-arvo ylittyy nopeasti palon alettua, mikä viittaa ohimenevien terveyshaittojen, kuten ärsytysoireiden, mahdollisuuteen. Suuremmassa huoneessa myös välittömästi hengelle tai terveydelle vaarallinen IDLH-arvo ylittyi paikoin.

Pienemmässä huoneessa altistuminen oli suurimmillaan noin 60-kertainen AEGL 1-arvoon verrattuna. Altistuminen vastasi siten suuntaa antavasti noin 10–60 prosenttia AEGL 2-arvosta. Riskinarvioinnissa yli 50 prosenttia raja-arvosta katsotaan merkittäväksi altistumiseksi. Yli puolet AEGL 2-arvosta oleva altistuminen merkitsee, että vakavien ja pysyvien terveyshaittojen kynnystä lähestytään. Tämä kynnys voitaisiin ylittää, jos kyseessä olisi tässä mallinnettua suurempi akku tai palo tapahtuisi mallinnettua pienemmässä huoneessa, jolloin fluorivety pääsisi kertymään suuremmaksi pitoisuudeksi.

Kontaten nopeasti poistuttaessa fluorivetyaltistuminen on lähes olematonta suurimmassa osassa huonetta. Altistumista esiintyy lähinnä pienellä alueella palavan akun välittömässä läheisyydessä. Tulokset osoittavat, että nopea poistuminen lähellä lattiaa vähentää altistumista huomattavasti verrattuna siihen, että henkilö jäisi huoneeseen sammuttamaan paloa.

## 4.2 Sisäilmaleviäminen – sähköpyörän tai -potkulaudan akkupalo

Sähköpyörän tai sähköpotkulaudan akkupaloissa syntyvien haitallisten aineiden leviämistä sisäilmassa arvioitiin kirjallisuudesta kerättyjen mittaustietojen avulla. Tarkastelun pohjana käytettiin palokokeissa mitattuja pitoisuuksia sisätiloissa.

### 4.2.1 Menetelmät

Ala-Kokko ym. (2025) tutkivat polttokokein sähköpyörän akkupalon leviämistä lataustilanteessa. He toteuttivat akkujen polttokokeet 42 $m^2$:n (118 $m^3$:n) testihuoneessa ja mittasivat häkäpitoisuutta monikaasumittareilla noin 1,5 metrin korkeudelta (hengityskorkeus seistessä). Testattujen akkujen valmistajat, kennotyypit ja energiakapasiteetit vaihtelivat. Kaikki akut olivat lähes täyteen ladattuja, arviolta yli 96–97 prosentin varaustasossa.

Ensimmäisessä kokeessa kuusi akkua (kapasiteetiltaan 187–625 Wh) sijoitettiin metallipöydälle noin 10 cm:n etäisyydelle toisistaan. Palo käynnistettiin kuumentamalla keskimmäisen, tarkoituksellisesti vaurioitetun akun akkuyksikköä juotoskolvilla, kunnes akkuyksikkö ajautui lämpökarkaamiseen. Häkäpitoisuutta mitattiin kahdesta kohdasta testihuonetta.

Toisessa kokeessa seitsemän akkua (kukin 259–720 Wh) sijoitettiin suljettavaan metallikaappiin. Viisi akkua asetettiin kaapin keskimmäiselle hyllylle ja kaksi ylähyllylle noin 10 cm:n etäisyydelle toisistaan. Palo käynnistettiin samalla tavalla kuumentamalla keskimmäisellä hyllyllä olleen akun akkuyksikköä. Häkäpitoisuutta mitattiin kahdesta kohdasta testihuonetta ja lisäksi metallikaapin sisältä.

### 4.2.2 Tulokset & Johtopäätökset

Ala-Kokon ym. (2025) ensimmäisessä kokeessa sähköpyörän akun näkyvä savuaminen alkoi noin 10 minuuttia lämmityksen aloittamisen jälkeen, ja akku syttyi liekkeihin noin viisi minuuttia

myöhemmin. Häkäpitoisuus kasvoi nopeasti syttymisen jälkeen: hetkellinen pitoisuus ylitti 20 ppm noin minuutissa ja 100 ppm noin 7–8 minuutissa. Suurimmat hetkelliset pitoisuudet, noin 210–220 ppm, mitattiin 11–12 minuuttia syttymisen jälkeen.

Mittauskäyristä (Ala-Kokko *ym.*, 2025, Liite 1) arvioitu suurin 10 minuutin keskipitoisuus oli noin 100–120 ppm ja suurin 30 minuutin keskipitoisuus noin 40–45 ppm. Pitoisuudet jäivät siten alle AEGL 2-arvojen, jotka ovat 420 ppm kymmenen minuutin ja 150 ppm kolmenkymmenen minuutin altistumiselle. Myös suurin 15 minuutin keskipitoisuus, noin 76–84 ppm, jäi alle 100 ppm:n raja-arvon (HTP 15 min). Jos oletetaan palon jälkeinen altistumisen nollaksi, kahdeksan tunnin työpäivälle laskettu keskipitoisuus olisi noin 2,5–2,7 ppm eli alle 20 ppm:n raja-arvon (HTP 8 h). Tulokset osoittavat kuitenkin, että hetkellinen häkäpitoisuus voi nousta korkeaksi jo muutamassa minuutissa sähköpyörän akun syttymisestä.

Ala-Kokon ym. toisessa kokeessa kaapissa olevien akkujen näkyvä savuaminen alkoi noin 12 minuuttia lämmityksen aloittamisen jälkeen. Kaapin sisällä hetkellinen häkäpitoisuus nousi kymmenissä sekunneissa yli 1 500 ppm:n ja noin 11 minuuttia savuamisen alkamisesta yli häkämittarin 2 000 ppm:n mittausrajan. Sekä lyhytaikaisen altistumisen raja-arvot (AEGL2 10 min, HTP 15 min) että hengenvaarallisen altistumisen raja-arvot (AEGL3 10 min ja 30 min) ylittyivät kokeen aikana kaapin sisällä, mikä osoittaa kaapin sisälle muodostuneen nopeasti hengenvaarallinen häkäpitoisuus.

Itse testihuoneessa häkäpitoisuus kasvoi kaapin sisätilaa hitaammin savukaasujen kulkeutuessa kaapin raoista ympäröivään huoneilmaan. Noin seitsemän minuuttia savuamisen alkamisesta hetkellinen pitoisuus ylitti 75 ppm ja noin 13 minuutin kohdalla saavutettiin suurimmat hetkelliset pitoisuudet, 610–655 ppm. Mittauskäyristä arvioidut 10, 15 ja 30 minuutin keskipitoisuudet jäivät kuitenkin huoneessa alle vastaavien terveysperusteisten raja-arvojen. Tulokset osoittavat, että akkukaappi voi hidastaa palokaasujen leviämistä huoneeseen mutta samalla kaapin sisälle voi kertyä erittäin vaarallinen häkäpitoisuus. Palokaasujen pitoisuudet voivatkin nousta pienessä suljetussa tilassa terveydelle vaarallisiksi jo hyvin nopeasti.

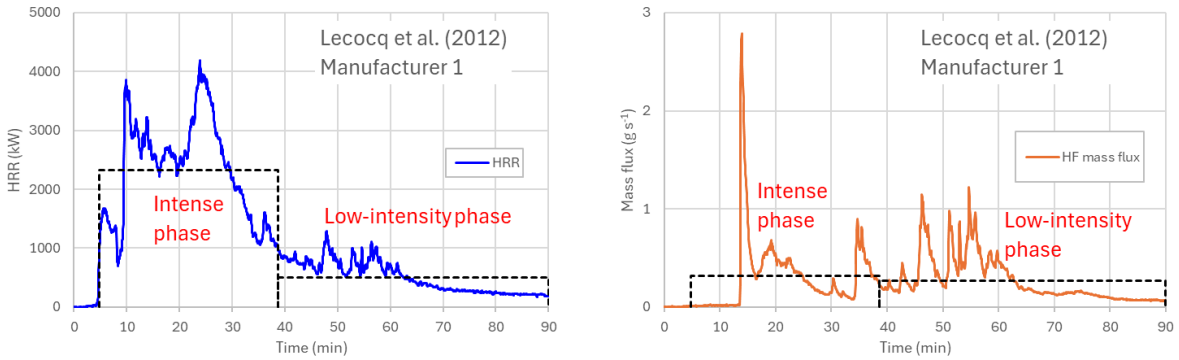
## 4.3 Ulkoilmaleviämismallinnus – sähköauton palo

Sähköauton palo on merkittävä ulkoilman altistumistilanne, koska palossa muodostuvat haitalliset aineet voivat kulkeutua savun mukana paloalueen ympäristöön. Sähköauton palossa muodostuvat kuumat savukaasut nousevat ylöspäin ja kulkeutuvat tuulen mukana. Savukaasujen nousukorkeus ja haitallisten aineiden pitoisuudet maanpinnan lähellä riippuvat muun muassa palon voimakkuudesta, päästöjen määrästä sekä tuuliolosuhteista ja ilmakehän vakaudesta. Tässä tarkastelussa mallinnettiin fluorivedyn leviämistä neljässä eri sähköauton palotilanteessa. Tavoitteena oli arvioida, kuinka kauas fluorivety voi kulkeutua ulkoilmassa, millaisiksi pitoisuudet voivat muodostua eri etäisyyksillä palopaikasta sekä määrittää vaaraetäisyydet palavasta autosta.

### 4.3.1 Menetelmät

Mallinnuksessa tarkasteltiin neljää sähköauton paloa. Lähtötiedot perustuivat kirjallisuudessa raportoituihin täyden mittakaavan polttokokeisiin. Yhdessä kokeessa (Lecocq *ym.*, 2012) tutkittiin kahden eri valmistajan täyteen ladattuja sähköautoja, joiden akkujen energiasisällöt olivat 16,5 (*”Valmistaja 1”*) ja 23,5 kWh (*”Valmistaja 2”*). Toisessa kokeessa (Willstrand *ym.*, 2020) tutkittiin vuoden 2019 täysikokoista pakettiautoa (BEV A) ja vuoden 2016 pientä perheautoa (BEV B), joiden akkujen energiasisällöt olivat vastaavasti 40 ja 24 kWh (ladattu 80 %). Kokeissa mitattiin useita palossa muodostuvia kaasumaisia yhdisteitä, kuten fluorivetyä. Tässä leviämismallinnuksessa palokokeiden aineistoista hyödynnettiin erityisesti palon lämmöntuottoa ja fluorivetypäästöä.

Palokokeissa mitatut lämmöntuotto ja fluorivetypäästö vaihtelivat palon aikana. Esimerkiksi kuvassa 8 esitetty *Valmistajan 1* auton lämmöntuotto kasvoi nopeasti palon alkuvaiheessa ja vaihteli voimakkaasti noin 5–39 minuutin aikana. Suurimmillaan lämmöntuotto oli noin 4 000 kW. Fluorivetypäästössä havaittiin pian palon alkamisen jälkeen lyhyt, lähes 3 g/s:n päästöhuippu, minkä jälkeen päästö pieneni mutta vaihteli voimakkaasti muodostaen lyhytaikaisia huippuja. Noin 39 minuutin jälkeen lämmöntuotto väheni asteittain, mutta fluorivetyä vapautui yhä merkittävästi.




Kuva 8. Valmistajan 1 sähköauton lämmöntuotto (HRR, heat release rate) ja fluorivetypäästö (mass flux, massavuo) polttokokeen aikana (Lecocq ym. 2012). Katkoviivat kuvaavat mallinnuksessa käytettyjä keskimääräisiä lämmöntuottoja ja fluorivetypäästöjä voimakkaan (intense phase) ja vähäisemmän palamisen (low-intensity phase) vaiheissa.

Leviämismallinnusta varten ajallinen vaihtelu yksinkertaistettiin käyttämällä eri ajanjaksoille laskettuja keskimääräisiä lämmöntuottoja ja fluorivetypäästöjä. Palo jaettiin voimakkaan ja vähäisen palamisen vaiheisiin, sillä voimakkaan palamisen vaiheessa palokaasut nousevat korkeammalle, jolloin pitoisuudet maanpinnan lähellä teoriassa pienentyvät. Voimakkaan palamisen vaiheen katsottiin alkavan, kun lämmöntuotto ylitti ensimmäisen kerran 1 000 kW, ja päättyvän, kun lämmöntuotto alitti tämän tason. Vähäisen palamisen vaihe alkoi välittömästi tämän jälkeen. Mallinnus tehtiin erikseen kummallekin vaiheelle laskettujen lämmöntuoton ja fluorivetypäästön keskiarvojen (Taulukko 7) pohjalta. Mallinnuksessa oletettiin lisäksi, että 60 prosenttia palon lämmöntuotosta vapautui savukaasujen nousua aiheuttavana lämpönä (konvektiivinen lämpö) perustuen aiempien tutkimusten keskiarvoon (Willstrand *ym.*, 2020; Arvidson ja Westlund, 2023; Ditch ja Zeng, 2023; Quant *ym.*, 2023). Vertailun vuoksi yksi mallinnus

tehtiin tilanteelle, jossa vain 20 prosenttia lämmöntuotosta on konvektiivista (esim. lämmön leviämistä rajoittava katos), jolloin palokaasut eivät karkaa niin korkealle ja pitoisuudet maanpinnan lähellä ovat teoriassa korkeampia.

## Taulukko 7: Sähköautojen polttokokeissa mitatut keskimääräiset lämmöntuotot ja fluorivetypäästöt jaoteltuna voimakkaan ja vähäisen palamisen vaiheisiin.

| Ajoneuvo | Palamisen vaihe | Aika kokeen alkamisesta | Lämmöntuotto (kW) | Fluorivetypäästö (g/s) |
|---|---|---|---|---|
| Valmistaja 1 | Voimakas | 5–39 min | 2 330 | 0,32 |
| Valmistaja 1 | Vähäinen | 39–90 min | 505 | 0,27 |
| Valmistaja 2 | Voimakas | 4–48 min | 2 790 | 0,43 |
| Valmistaja 2 | Vähäinen | 48–90 min | 347 | 0,10 |
| Täysikokoinen pakettiauto (BEV A) | Voimakas | 14–41 min | 2 830 | 0,18 |
| Täysikokoinen pakettiauto (BEV A) | Vähäinen | 41–80 min | 299 | 0,02 |
| Pieni perheauto (BEV B) | Voimakas | 12–47 min | 2 866 | 0,32 |
| Pieni perheauto (BEV B) | Vähäinen | 47–80 min | 388 | 0,04 |

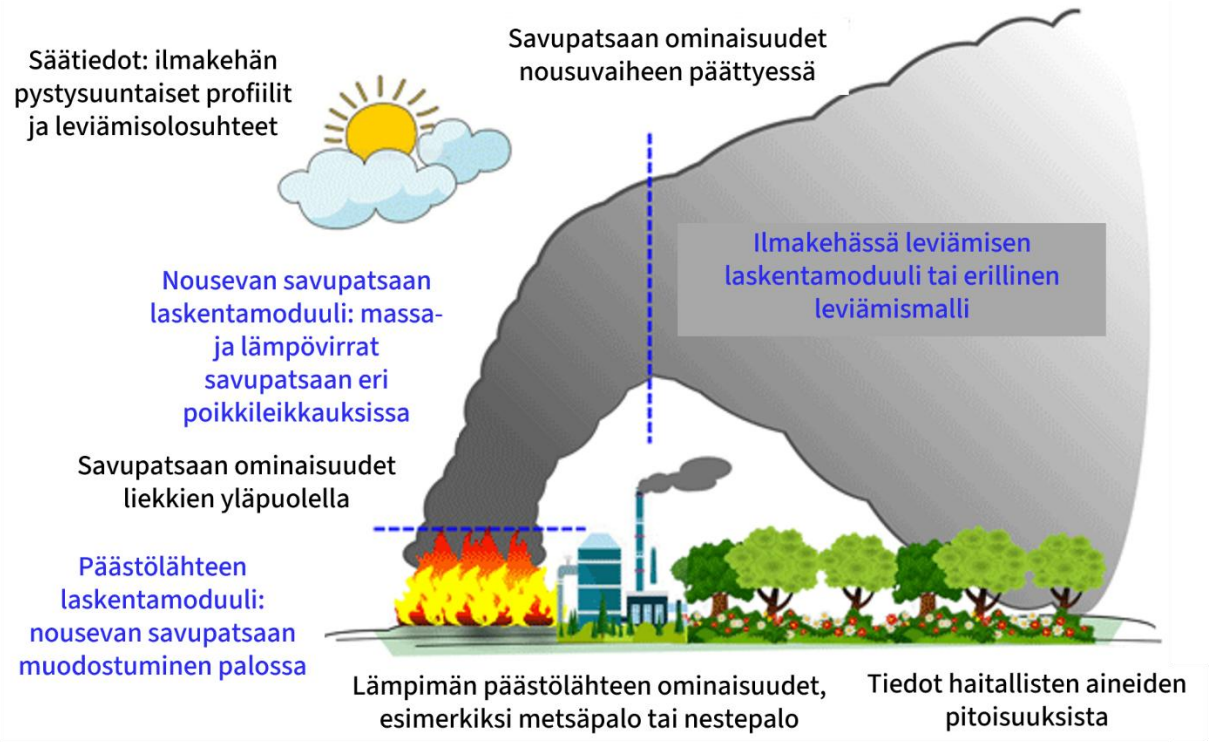
Voimakkaan palamisen vaiheet alkoivat 4–14 minuutin kuluttua ja kestivät noin 30–45 minuuttia. Tässä vaiheessa autojen keskimääräiset lämmöntuotot olivat hyvin samansuuruisia, noin 2 300–2 900 kW. Fluorivetypäästöissä oli enemmän vaihtelua: päästö oli noin 0,2–0,4 g/s. Vähäisemmän palamisen vaiheessa lämmöntuotto pieneni kaikissa kokeissa noin kymmenesosaan voimakkaan palamisen tasosta ja oli noin 300–500 kW. Myös fluorivetypäästö yleensä pieneni selvästi, mutta autojen väliset erot kasvoivat (vaihteluväli 0.02–0,27 g/s). Pakettiauton ja pienen perheauton fluorivetypäästöt pienenivät noin kymmenesosaan voimakkaan palamisen vaiheesta, kun taas valmistajan 1 autossa päästö pysyi lähes samalla tasolla palamisen heikentymisestä huolimatta. Tulokset osoittavat, että voimakkaan palamisen lämmöntuotto oli eri autoissa samankaltainen, mutta fluorivetypäästön suuruus ja muuttuminen palon aikana vaihtelivat huomattavasti.

Fluorivedyn leviämistä ulkoilmassa arvioitiin BUOYANT-mallilla (periaate esitetty kuvassa 9). Malli on kehitetty arvioimaan palojen kaltaisista lämpimistä päästölähteistä vapautuvien kaasujen ja hiukkasten leviämistä paikallisella ja alueellisella tasolla (Kukkonen *ym.*, 2014, 2022). Malli kuvaa

palon lähialueella kuumien savukaasujen nousua, taipumaa tuulen suuntaan ja ilman sekoittumista kaasuvanaan, sekä lähialueen jälkeistä kulkeutumista ja laimenemista tuulen mukana. Malli ottaa huomioon myös savupatsaan mahdollisen vuorovaikutuksen ilmakehän lämpötilan muutoskerroksen (inversiokerros) kanssa. Laskennan ensimmäisessä vaiheessa määritettiin palon lämmöntuoton ja päästöjen perusteella muodostuvan savupatsaan ominaisuudet ja nousukorkeus. Tämän jälkeen mallinnettiin fluorivedyn leviäminen ilmakehässä.

Mallissa ilmakehä jaetaan maanpinnan läheiseen ilmakehän rajakerrokseen, sen yläpuolella olevaan lämpötilan muutoskerrokseen ja ylempään ilmakerrokseen. Tuulen nopeus, lämpötila ja ilmanpaine voivat muuttua korkeuden mukaan. Näiden ominaisuuksien pystysuuntainen vaihtelu vaikuttaa savupatsaan nousuun sekä fluorivedyn kulkeutumiseen ja laimenemiseen. Mallinnus kuvaa leviämistä avoimessa ympäristössä, eikä siinä tarkasteltu yksittäisten rakennusten tai muiden paikallisten esteiden vaikutusta.

BUOYANT-mallia on aiemmin arvioitu vertaamalla mallinnustuloksia maastopaloissa tehtyihin mittauksiin (Kukkonen *ym.*, 2014, 2022). Mallin toimintaa on lisäksi arvioitu voimalaitoksen piippupäästöillä, tuulitunnelikokeilla ja kaukokartoitushavainnoilla (Nikmo *ym.*, 1999; Kukkonen *ym.*, 2000; Sofiev, Ermakova ja Vankevich, 2012). Nämä vertailut tukevat mallin käyttöä lämpimien savupatsaiden nousun ja ilmakehässä tapahtuvan leviämisen arvioinnissa.




Kuva 9. BUOYANT-mallin perusperiaatteet palossa muodostuvan savupatsaan nousun sekä haitallisten aineiden kulkeutumisen ja laimenemisen mallintamisessa. Mukailtu ja käännetty suomeksi alkuperäislähteestä (Kukkonen ym. 2022), alkuperäiskuva lisensoitu CC BY 4.0 -lisenssillä.

Mallinnuksessa tarkasteltiin teollisuuslaitosten turvallisuusselvityksissä tyypillisesti käytettäviä säätilanteita (Tukes, 2021), joissa ilmakehän rajakerroksen tila on joko neutraali (Pasquill-luokka D) tai vakaa (Pasquill F). Näistä neutraali on Suomessa yleisimmin esiintyvä tilanne. Lisäksi vertailun vuoksi tarkasteltiin myös epävakaata (Pasquill-luokka B) säätilaa. Ilmakehän vakaus kuvaa sitä, kuinka tehokkaasti ilma sekoittuu pystysuunnassa. Epävakaissa oloissa pystysuuntainen sekoittuminen on voimakasta, neutraaleissa oloissa kohtalaista ja vakaissa oloissa vähäistä. Tarkasteluissa tuulen nopeus 10 metrin korkeudella oli epävakaissa oloissa 3 m/s, neutraaleissa oloissa 5 m/s ja vakaissa oloissa 2 m/s. Ilmakehän rajakerroksen korkeudeksi oletettiin vastaavasti 1 000, 500 ja 200 metriä. Maanpinnan lähellä ilman lämpötilaksi asetettiin 15 °C ja maanpinnan rosoisuutta kuvaavaksi arvoksi 0,1 metriä. Valitut sääolosuhteet mahdollistivat fluorivedyn leviämisen tarkastelun erilaisissa pystysuuntaisen sekoittumisen olosuhteissa.

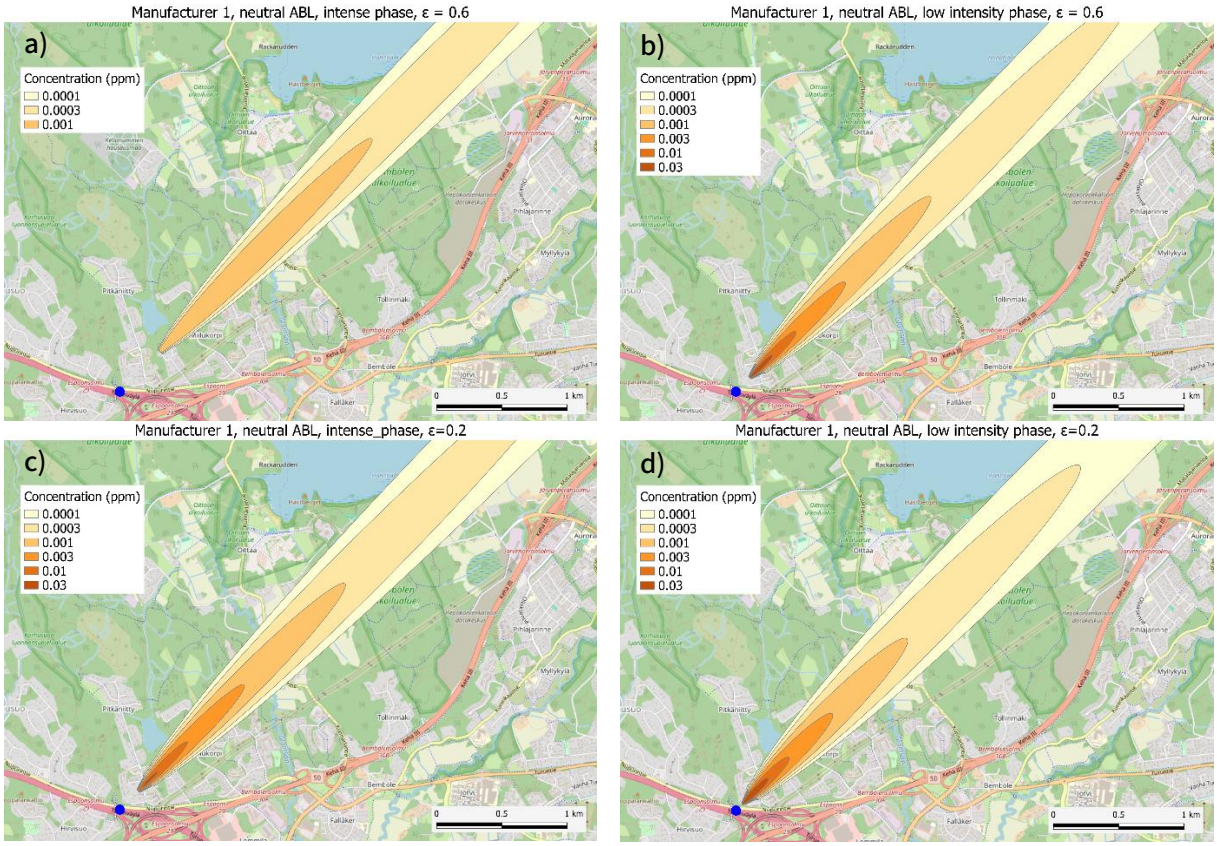
### 4.3.2 Tulokset & Johtopäätökset

Tuloksissa tarkastellaan, miten palon voimakkuus, fluorivetypäästön määrä ja sääolosuhteet vaikuttavat fluorivedyn leviämiseen sekä pitoisuuksiin maanpinnan lähellä. Tulokset esitetään erikseen eri palotilanteille (neljä eri sähköautoa) ja sääolosuhteille (kolme säätilaa). Lisäksi arvioidaan savupatsaan nousua ja fluorivetypitoisuuksien alueellista jakautumista sekä verrataan pitoisuuksia akuutin altistumisen AEGL-arvoihin.

Fluorivetypitoisuudet mallinnettiin eri etäisyyksillä palopaikasta. Kuvassa 10 esitetään esimerkkinä *Valmistajan 1* auton palossa muodostuneen fluorivedyn leviäminen neutraalissa säätilanteessa. Pitoisuudet kuvaavat koko palamisvaiheen ajalle laskettuja keskipitoisuuksia 1,5 metrin korkeudella. Kaikissa kuvan neljässä tapauksessa maanpinnan läheiset pitoisuudet ovat pieniä. Fluorivety kulkeutuu tuulen mukana pitkänä ja vähitellen levenevänä vanana (oletuksena ettei tuulen suunta muutu), jossa pitoisuus pienenee etäisyyden kasvaessa palopaikasta. Kuvista voidaan havaita, että palamisen vaihe ja savukaasujen nousuun vaikuttavan lämmön osuus eli konvektiivisen lämmön osuus vaikuttivat fluorivedyn leviämiseen.

Voimakkaan (a, c) ja vähäisen (b, d) palamisen vaiheiden välillä havaitaan eroja fluorivedyn kulkeutumisessa maanpinnan läheisyyteen. Voimakkaan palamisen aikana lämmöntuotto on suurempi ja savukaasut nousevat korkeammalle. Tällöin fluorivety kulkeutuu maanpinnan läheisyyteen vasta kauempana palopaikasta. Vähäisen palamisen aikana savukaasut nousevat matalammalle, jolloin fluorivety laskeutuu maanpinnan läheisyyteen aikaisemmin eli lähempänä palopaikkaa aiheuttaen suuremmat pitoisuudet.

Myös konvektiivisen lämmön oletettu osuus vaikuttaa fluorivedyn leviämiseen. Kun konvektiivisen lämmön osuus on 60 % (a ja b), savukaasut nousevat korkeammalle ja fluorivety kulkeutuu maanpinnan läheisyyteen kauempana palopaikasta. Kun osuus on 20 % (c ja d), savukaasut jäävät matalammalle. Tällöin fluorivety laskeutuu maanpinnan läheisyyteen aikaisemmin ja pitoisuudet ovat siellä suurempia kuin vastaavassa palamisen vaiheessa 60 prosentin oletuksella.




Kuva 10. Mallinnetut fluorivetypitoisuudet (ppm) karttapohjalla maanpinnan läheisyydessä 1,5 metrin korkeudella. Sinisellä ympyrällä on merkitty sähköauton (*Valmistaja 1,* Lecocq ym. 2012) palopaikka Helsinki-Turku moottoritien ja Kehä III:n risteyksessä. Neljässä kuvassa on vertailtu fluorivedyn leviämistä voimakkaassa (a, c) ja vähäisessä (b, d) palon vaiheessa. Lisäksi kuvista nähdään erot olettaen 60 % (a, b) tai 20 % (c, d) konvektiivisen lämmön osuuden (ε). Kirjainlyhenne: ABL = atmospheric boundary layer (ilmakehän rajakerros).

Seuraavaksi tarkasteltiin, kuinka suuriksi mallinnetut fluorivetypitoisuudet muodostuivat maanpinnan läheisyydessä eri autojen paloissa, säätilanteissa ja palamisen vaiheissa (Kuva 11). Tuloksia verrattiin fluorivedyn akuutin altistumisen AEGL 1-arvoon. Kaikissa mallinnetuissa tapauksissa fluorivedyn enimmäispitoisuus maanpinnan läheisyydessä jäi alle kymmenesosaan AEGL 1-arvosta. Monissa tapauksissa se jäi jopa alle yhteen prosenttiin.

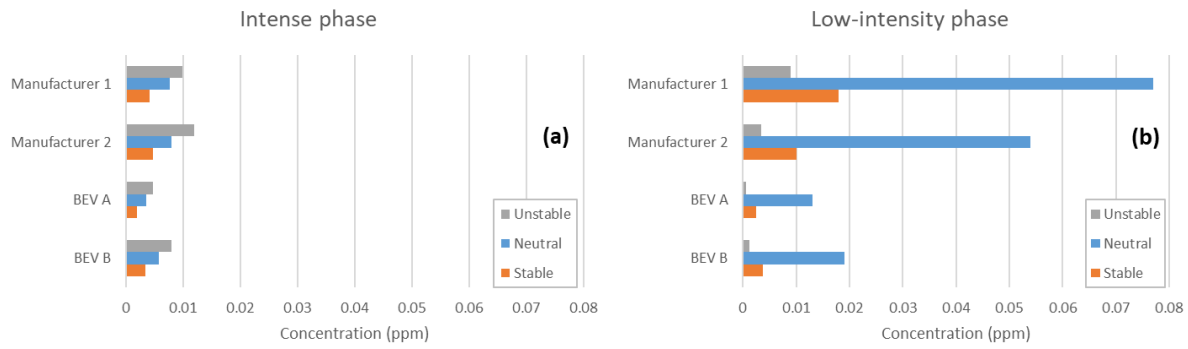
Sähköautojen väliset erot olivat voimakkaan palamisen vaiheessa melko pieniä. Valmistajien 1 ja 2 autopalojen aiheuttamat pitoisuudet olivat keskimäärin suurempia kuin täysikokoisen pakettiauton ja pienen perheauton pitoisuudet. Vähäisen palamisen vaiheessa autojen väliset erot kasvoivat. Valmistajan 1 auton pitoisuudet olivat tällöin suurimmat ja pakettiauton pienimmät. Erot eivät seuranneet suoraan akun energiasisältöä tai ajoneuvon kokoa, vaan olivat yhteydessä mallinnuksessa käytettyihin fluorivetypäästöihin ja lämmöntuottoihin.

Säätilan vaikutus vaihteli palamisen vaiheen mukaan. Voimakkaan palamisen vaiheessa suurimmat pitoisuudet muodostuivat yleensä epävakaassa säätilassa ja pienimmät vakaassa säätilassa. Vähäisen palamisen vaiheessa suurimmat pitoisuudet muodostuivat sen sijaan

neutraalissa säätilassa. Neutraalin säätilan pitoisuudet olivat erityisesti Valmistajien 1 ja 2 autoilla moninkertaisia muihin säätilanteisiin verrattuna.

Myös palamisen vaihe vaikutti pitoisuuksiin. Voimakkaan palamisen vaiheessa fluorivetypäästö oli yleensä suurempi, mutta suurempi lämmöntuotto nosti savukaasuja korkeammalle. Vähäisen palamisen vaiheessa savukaasut nousivat vähemmän, minkä vuoksi fluorivetyä kulkeutui joissakin säätilanteissa enemmän maanpinnan läheisyyteen. Ero oli suurin neutraalissa säätilassa, jossa vähäisen palamisen vaiheen pitoisuudet olivat kaikilla autoilla suurempia kuin voimakkaan palamisen vaiheessa. Epävakaassa ja vakaassa säätilassa palamisen vaiheen vaikutus vaihteli autojen välillä.

Tarkastelluista tapauksista suurin fluorivetypitoisuus muodostui Valmistajan 1 auton vähäisen palamisen vaiheessa neutraalissa säätilassa. Tämä oli mallinnettujen tapausten pahin tilanne. Kokonaisuutena pitoisuuteen vaikutti eniten säätilan ja palamisen vaiheen yhdistelmä. Myös autojen fluorivetypäästöjen ja lämmöntuottojen erot vaikuttivat tuloksiin. Ajoneuvon koko tai akun energiasisältö eivät yksin selittäneet pitoisuuksien suuruutta, sillä joissakin tapauksissa suuremmista akuista aiheutui pienemmät pitoisuudet kuin pienemmistä.



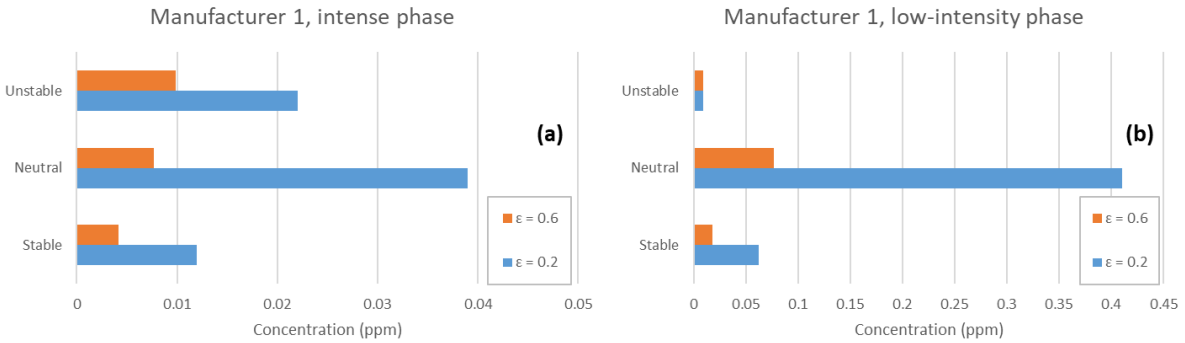

Kuva 11. Mallinnetut fluorivedyn enimmäispitoisuudet 1,5 metrin korkeudella maanpinnasta neljän eri auton palossa (*Valmistaja 1, Valmistaja 2, BEV A, BEV B)* kolmessa eri säätilassa (epävakaa, neutraali, vakaa): (a) voimakkaan ja (b) vähäisen palamisen vaiheissa. Konvektiivisen lämmön osuudeksi oletettiin 60 %.

Valmistajan 1 sähköauton palo valittiin tarkempaan tarkasteluun, koska siinä muodostui edellä tarkastelluista palotilanteista suurin fluorivetypitoisuus maanpinnan läheisyydessä. Kuvassa 12 tarkastellaan, miten savukaasujen nousuun vaikuttavan konvektiivisen lämmön osuus muuttaa fluorivetypitoisuuksia eri säätilanteissa ja palamisen vaiheissa.

Kun konvektiivisen lämmön osuudeksi oletettiin 20 %, fluorivedyn enimmäispitoisuudet maanpinnan läheisyydessä olivat kaikissa säätilanteissa suurempia kuin 60 %:n oletuksella. Ero oli erityisen suuri neutraalissa säätilassa. Voimakkaan palamisen vaiheessa pitoisuus oli 20 %:n oletuksella noin nelinkertainen ja vähäisemmän palamisen vaiheessa noin viisinkertainen verrattuna 60 %:n oletukseen. Epävakaassa ja vakaassa säätilassa ero oli pienempi mutta edelleen selvä. Tulokset osoittavat, että savukaasujen nousuun vaikuttavan lämmön osuus vaikuttaa

merkittävästi maanpinnan läheisiin pitoisuuksiin. Kun konvektiivisen lämmön osuus on pienempi, savukaasut nousevat vähemmän ja fluorivetyä jää enemmän maanpinnan läheisyyteen.

Suurin fluorivetypitoisuus muodostui vähäisemmän palamisen vaiheessa neutraalissa säätilassa, kun konvektiivisen lämmön osuudeksi oletettiin 20 %. Mallinnuskuvasta arvioituna enimmäispitoisuus oli tällöin alle 50 % fluorivedyn AEGL 1-arvosta. Pitoisuus jäi siten AEGL 1-arvon alapuolelle, mutta oli selvästi suurempi kuin muissa tarkastelluissa tilanteissa.

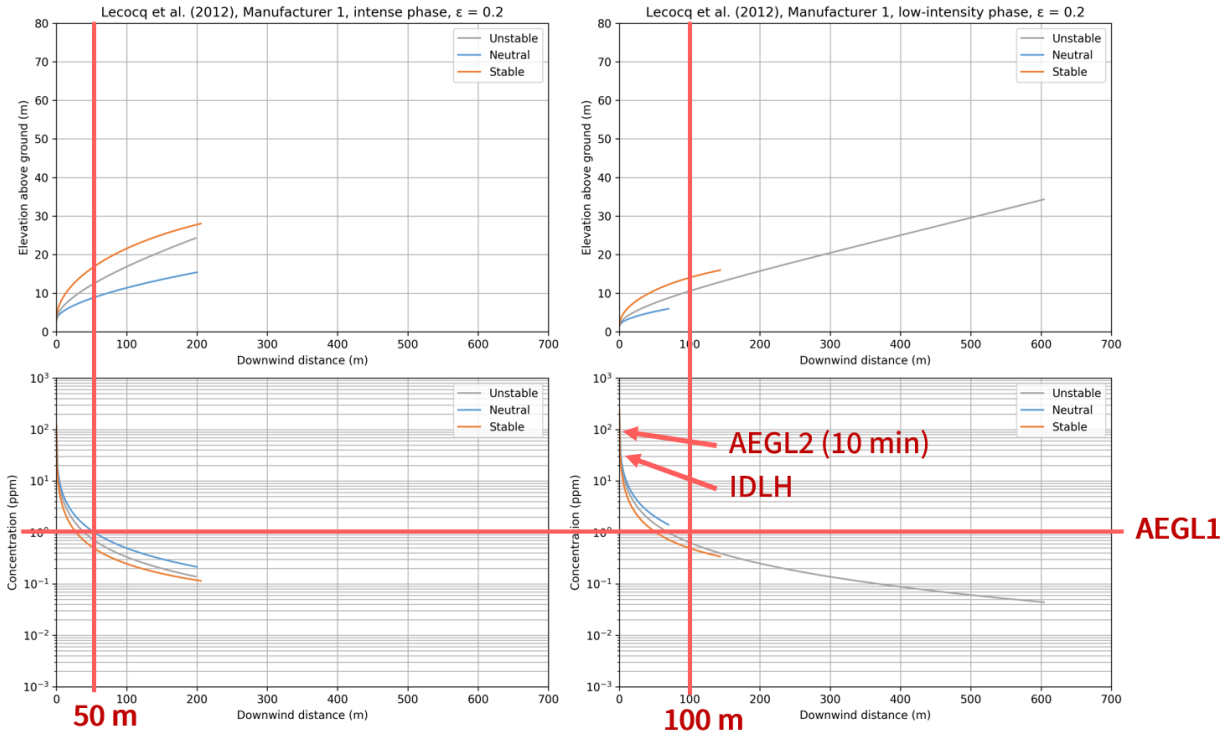



Kuva 12. Sähköautopalon (*Valmistaja 1*, Lecocq ym. 2012) mallinnetut fluorivedyn enimmäispitoisuudet 1,5 metrin korkeudella maanpinnasta. Kuvassa verrataan konvektiivisen lämmön (ε = 60 tai 20 %) osuuden vaikutusta (a) voimakkaan (intense phase) ja (b) vähäisen palamisen vaiheissa (low-intensity phase) kolmessa eri säätilassa (epävakaa, neutraali ja vakaa). Huomaa, että kuvien vaaka-akselien mittakaavat eriävät toisistaan.

Nyt olemme tarkastelleet fluorivetypitoisuuksia maanpinnan läheisyydessä, mutta pitoisuudet ovat usein huomattavasti suurempia itse savukaasupatsaassa. Tarkastellaan seuraavaksi savupatsaan nousua palopaikan yläpuolelle ja siinä esiintyviä fluorivetypitoisuuksia Valmistajan 1 sähköauton palossa (Kuva 13).

Voimakkaan palamisen vaiheessa savupatsas nousee kaikissa säätiloissa etäisyyden kasvaessa. Nousu on voimakkainta vakaassa säätilassa ja vähäisintä neutraalissa säätilassa. Fluorivetypitoisuus savupatsaassa pienenee nopeasti palopaikasta etäännyttäessä ja alittaa neutraalissa tilanteessa AEGL 1-arvon noin 50 metrin etäisyydellä. Tällöin savupatsas on noussut keskimäärin noin 10–20 metrin korkeudelle.

Vähäisen palamisen vaiheessa savupatsas jää palopaikan lähellä matalammalle kuin voimakkaan palamisen vaiheessa. Savupatsaan fluorivetypitoisuudet ovat erityisesti neutraalissa säätilassa suurempia kuin voimakkaan palamisen vaiheessa. AEGL 1-arvo alittuukin vasta noin 100 metrin etäisyydellä, jolloin savupatsas on noussut keskimäärin noin 5–10 metrin korkeudelle. Tätä lähempänä palopaikkaa saattaa aiheuttaa altistuneille ohimeneviä lieviä oireita.




Kuva 13. Valmistajan 1 sähköauton palossa mallinnettu savupatsaan keskilinjan korkeus ja fluorivetypitoisuus etäisyyden funktiona kolmessa säätilassa (epävakaa, neutraali ja vakaa). Vasemmalla esitetään voimakkaan ja oikealla vähäisen palamisen vaihe. Konvektiivisen lämmön osuudeksi (ε) oletettiin 20 %. Ylemmissä kuvaajissa esitetään savuvanan keskipisteen korkeus maanpinnasta ja alemmissa fluorivetypitoisuuden pieneneminen etäisyyden mukana palopaikalta. Punaiset viivat osoittavat etäisyydet, joilla pitoisuus saavuttaa AEGL 1-arvon 1 ppm. Lisäksi AEGL 2-arvo 95 ppm ja IDLH-arvo 30 ppm on merkitty kuvaan punaisilla nuolilla.

Tarkastellaan seuraavaksi kaikkien mallinnettujen tapauksien osalta etäisyyksiä, joilla AEGL 1-, 2- ja 3-arvot ylittyvät (Liitteen 2 kuva). Mallinnetuissa tapauksissa AEGL 1-arvo ylittyi 70 metrin etäisyydelle palopaikasta. Fluorivetypitoisuus saattaa siten aiheuttaa altistuneille oireita jopa 70 metrin etäisyydellä tuulen alapuolella. Suurin vaaraetäisyys muodostui *Valmistajan 1* sähköauton vähäisen palon vaiheessa neutraalissa säätilanteessa, kun konvektiivisen lämmön osuudeksi oletetaan 20 %.

AEGL 2- ja AEGL 3-arvojen ylitykset rajautuivat aivan palopaikan läheisyyteen, joten niitä voidaan tarkastella yhdessä välittömän vaaran alueena. AEGL 2-arvon ylityksen uloin etäisyys vaihteli noin 0,5–2,9 metriin ja AEGL-3-arvon ylityksen noin 0,4–1,8 metriin niiden tapausten välillä, joissa ylitys muodostui. Toisin sanoen vakavampia vaikutuksia kuvaavien AEGL 2- ja AEGL 3-arvojen ylitykset jäivät pahimmissakin tapauksissa alle 3 metrin etäisyydelle palopaikasta.

On kuitenkin huomattava, että tämä välittömän vaaran alue perustuu vain fluorivetyaltistumiseen rajallisessa määrässä erilaisia mallinnettuja tapauksia. Vertailuna voidaan käyttää aiemmassa tutkimuksessa tehtyjä sähköauton palosta leviävän fluorivety- ja hiilimonoksidipitoisuuksien mallinnuksia (Franqueville, Archibald ja Ezekoye, 2023). Näiden mallinnustulosten pohjalta välittömän vaaran alueeksi muodostuisi noin 4–5 metriä, joka on samaa suuruusluokkaa tämän tutkimuksen tulosten kanssa.

# 4.4 Ulkoilmaleviäminen – energiavarastokontin tai akkuvaraston suurpalo

Tässä osiossa tarkastellaan suurempia akkupalotilanteita. Esimerkiksi energiavarastokontin tai akkuvaraston suurpalo on merkittävä palo- ja altistumistilanne, koska samalla kertaa voi palaa suuri määrä akkuja ja palossa muodostuvat päästöt voivat olla merkittävästi suurempia ja siten levitä ulkoilmassa pidemmälle palopaikan ympäristöön. Tämän vuoksi on tärkeää arvioida, kuinka suuriksi altisteiden pitoisuudet voivat muodostua ja kuinka kauas ne voivat kulkeutua eri olosuhteissa.

## 4.4.1 Menetelmät

Suurista litiumakkupaloista vapautuvien altisteiden leviämistä tarkasteltiin kahden kirjallisuudessa julkaistun mallinnustutkimuksen perusteella.

Energiavarastokontti

Franqueville ym. (2023) mallinsivat 300–3 000 kWh:n litiumakustojen vikaantumista ja palamista erilaisilla varaustasoilla ja tuulennopeuksilla. Fluorivedyn, hiilimonoksidin, kloorivedyn, rikkidioksidin ja typpimonoksidin päästöt arvioitiin kirjallisuudessa raportoitujen polttokokeiden perusteella. Akusto sijoitettiin pieneen tilaan, joka saattoi kuvata esimerkiksi energiavarastokonttia, josta leviävien kaasujen pitoisuuksia määritettiin tuulen alapuolella. Mallinnettujen pitoisuuksien pohjalta he arvioivat vaaraetäisyyksiä erikokoisille akuille erilaisissa säätiloissa. He määrittivät vaaraetäisyyden etäisyydeksi, jonka ulkopuolella kaikkien mallinnettujen kaasujen pitoisuudet alittivat omat IDLH-arvonsa. Useimmissa tilanteissa vaaraetäisyyden määräsi fluorivety, jonka IDLH-arvo on 30 ppm.

Akkuvarasto

Lejon ym. (2024) mallinsivat vuonna 2021 Morrisissa Yhdysvalloissa tapahtunutta suurta akkuvarastopaloa. Varastossa oli noin 68 tonnia litiumioniakkuja, joista noin kolmasosa oli viallisia, vaurioituneita tai takaisinvedettyjä. Kaikista varastossa olleista akuista arviolta noin puolet osallistui paloon. Tämän arvioitiin olevan noin 80 prosenttia koko suurpalon palokuormasta. Mallinnuksessa tarkasteltiin erikseen palon keskimääräistä ja voimakkainta vaihetta ja mallinnettiin fluorivedyn sekä hiukkasmaisten altisteiden leviämistä lähialueen ilmaan. Lähtötietoina käytettiin tietoja varaston sisällöstä, palon kestosta ja etenemisestä, kirjallisuudesta koottuja päästökertoimia, valokuva- ja videohavaintoja sekä tapahtuma-ajan sääaineistoa.

Morrisin akkuvarastopaloa varten Yhdysvaltain tautikeskus ja osavaltion terveysviranomainen määritti erilliset toimenpiderajat väestön terveyden suojelemiseksi. Fluorivedyn raja perustui asiantuntijoiden yhteisesti sopimaan AEGL-arvojen mukautukseen ja pienhiukkasten raja Maailman terveysjärjestö WHO:n ilmanlaatuindeksiin. Toimenpiderajoiksi asetettiin fluorivedylle

200 ppb eli 0,2 ppm ja pienhiukkasille ($PM_{2.5}$) 25 µg/m$^3$. Koska altistumisajan huomioon ottaminen oli onnettomuuden aikana vaikeaa, rajoja käytettiin välittöminä osoittimina tilanteista, joissa viranomaisten oli arvioitava suojatoimien tarvetta.

## 4.4.2 Tulokset & Johtopäätökset

Energiavarastokontti

Franqueville ym. (2023) arvioivat vaaraetäisyyksiä (fluorivetypitoisuus yli IDLH-arvon, 30 ppm) 300–3000 kWh akustoille, jotka olivat sijoitettu konttiin. Pahimmassa mallinnetussa tilanteessa vaaraetäisyys oli 300 kWh:n akustolla noin 25 metriä. Akuston koon kasvaessa 3 000 kWh:iin vaaraetäisyys kasvoi keskimäärin 55 metriin. Osa vaaraetäisyyksien vaihteluväleistä (huomioiden mallinnuksen epävarmuus) ulottui tarkastelualueen eli 100 metrin yläpuolelle, joten suurimmat vaaraetäisyydet saattavat olla tätä pidempiä. Valitaan paremman tiedon puutteessa 100 metriä energiavarastokontin välittömän vaaran alueeksi.

Lisäksi arvioitiin etäisyydet, joilla fluorivetypitoisuus ylittää AEGL 1-arvon. Arvio tehtiin soveltamalla Franqueville ym. tutkimuksen IDLH-perustaisia keskimääräisiä vaaraetäisyyksiä (300 kWh:n akustolle 25 m ja 3 000 kWh:n akustolle 55 m) tämän tutkimuksen kuvassa 13 esitettyihin fluorivetypitoisuuden vaimenemiskäyriin. Käyristä arvioitiin, millä etäisyydellä pitoisuus olisi pienentynyt 30-kertaisesti eli AEGL 1-arvoon 1 ppm. Näin arvioituna AEGL 1-arvo ylittyi 300 kWh:n akuston tapauksessa noin 350 metrin ja 3 000 kWh:n akuston tapauksessa noin 600 metrin etäisyydelle asti. Tulos viittaa siihen, että 3 000 kWh:n akuston palossa fluorivetypitoisuus voi ylittää lievien terveysvaikutusten mahdollisuutta kuvaavan AEGL 1-arvon jopa noin 600 metrin etäisyydellä tuulen alapuolella. Etäisyydet ovat suuntaa antavia, koska ne perustuvat kahden eri mallinnustutkimuksen tulosten yhdistämiseen.

Akkuvarasto

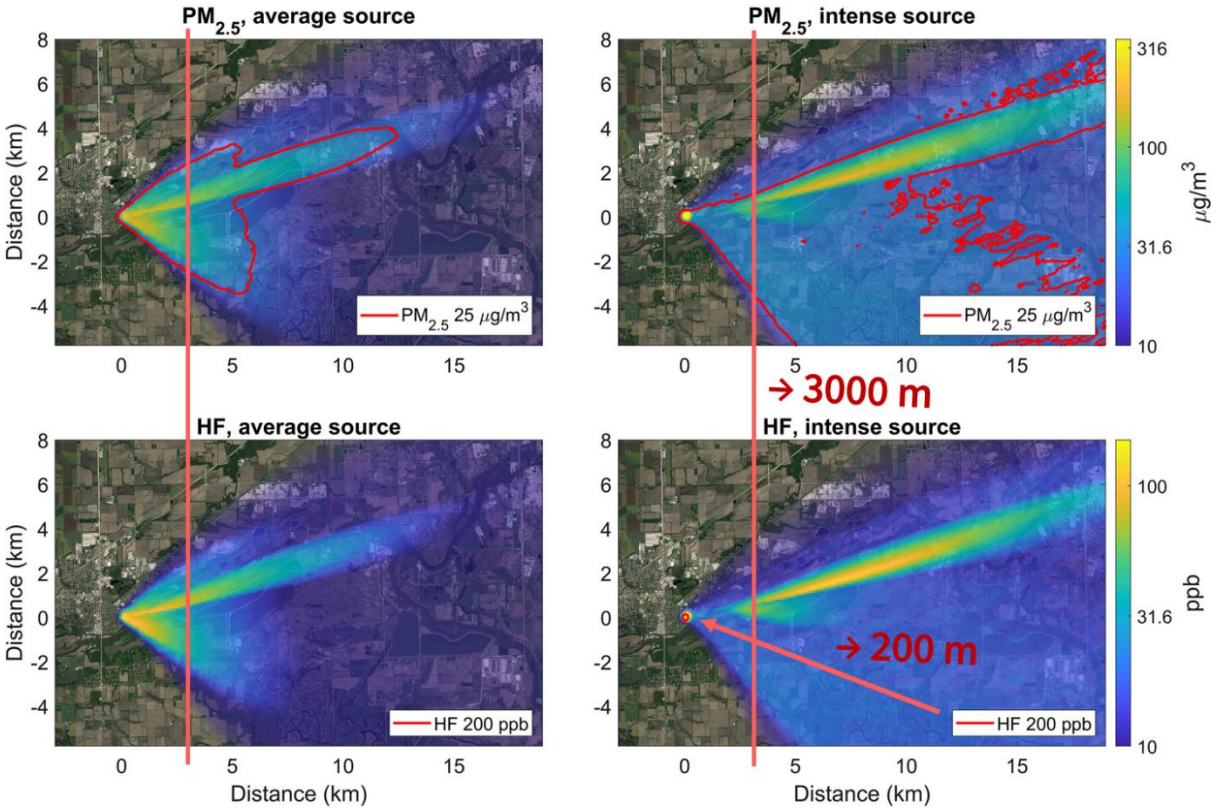
Lejon ym. (2023) tekemän akkuvarastopalon päästöjen leviämismallinnuksen pohjalta arvioitiin pienhiukkasten ja fluorivedyn enimmäispitoisuuksia maanpinnan läheisyydessä sekä päästöjen leviämistä palopaikalta ympäristöön (Kuva 14). Aivan palon välittömässä läheisyydessä fluorivety ja pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2.5}$) olivat suurimpia.

Fluorivetypitoisuus ylitti tapahtumalle määritetyn toimenpiderajan (0,2 ppm) noin 200–300 metrin etäisyydelle palopaikasta voimakkaassa palon vaiheessa. Sen sijaan keskimääräisen lämmöntuoton tapauksessa fluorivetypitoisuus lähestyi 0,2 ppm:n toimenpiderajaa, mutta ei ylittänyt sitä. Vaikka tämä ei tarkoitakaan aiemmin käytetyn AEGL 1-arvon ylitystä, niin yksittäisen tapauksen mallinnusepävarmuudet huomioiden, käytetään 300 metriä vaaraetäisyytenä fluorivetyaltistumisen osalta.

Yllättävästi pienhiukkasten pitoisuus ylitti tapahtumaa varten määritetyn toimenpiderajan (25 µg/m$^3$) useiden neliökilometrien alueella jopa yli 10 kilometrin päähän palopaikasta

(keskimääräinen tilanne). Lisäksi voimakkaassa palon vaiheessa savupatsas nousi korkealle ja laskeutui takaisin maanpinnan läheisyyteen noin 3–15 kilometrin etäisyydellä palopaikasta aiheuttaen toimenpiderajan ylityksiä jopa yli 15 km päässä. Siten tulokset viittaavat siihen, että suuressa akkuvarastopalossa pienhiukkaset voivat muodostaa kaasumaisia altisteita laajemmalle ulottuvan altistumisvaaran.

Kuten Luvussa 2 todettiin, litiumakkupaloissa muodostuu näitä hiukkasmaisia altisteita, jotka voivat sisältää haitallisia ja syöpävaarallisia metalleja, mutta ne eivät välttämättä aiheuta välittömiä haittavaikutuksia. Sen sijaan pidempiaikaisen altistuksen on todettu kasvattavan väestön terveysriskiä. Siksi vaaraetäisyyden määrittämiseksi laskimme (Lejon *ym.*, 2024) mallintamille hiukkaspitoisuuksille yhden vuorokauden keskipitoisuuden (24-h TWA, time weighted average). Vertasimme näitä vuorokauden keskipitoisuuksia WHO:n tavoitearvoon 15 µg/m$^3$ ja pienhiukkaspitoisuudet ylittävät tämän keskimääräisen tason 3000 metrin etäisyydelle palopaikasta. Toisin sanoen, altistuneilla voi ilmetä oireita jopa 3000 m etäisyydellä tuulen alapuolella.




Kuva 14. Mallinnetut fluorivedyn (HF, alla) ja pienhiukkasten ($PM_{2.5}$, yllä) enimmäispitoisuudet maanpinnan läheisyydessä Morrisin akkuvarastopalossa keskimääräisen (vasemmalla) ja voimakkaan lämmöntuoton tapauksessa (oikealla). Punaisella merkityt alueet osoittavat Yhdysvaltain tautikeskuksen tapahtumaa varten asettamat toimenpiderajat: HF 200 ppb ja $PM_{2.5}$ 25 µg/m$^3$. Nuolilla ja pystyviivoilla esitetään 200 ja 3000 metrin etäisyydet. Mukailtu alkuperäislähteestä (Lejon *ym.*, 2024), alkuperäiskuva lisensoitu CC BY 4.0 -lisenssillä.

## 4.5 Mallinnustuloksien hyödyntäminen ohjeistuksissa

Kuten leviämismallinnusten perusteella huomattiin, akkupaloissa muodostuville haitallisille aineille altistuminen voi tapahtua nopeasti ja ulottua palopaikan välittömän läheisyyden ulkopuolelle. Mallinnustuloksia voidaan hyödyntää poistumista, alueen rajaamista ja palokaasuilta suojautumista koskevissa ohjeissa, jotta voidaan vähentää sekä palopaikalla olevien ihmisten että pelastushenkilöstön altistumista vaarallisille aineille.

Sisätilat

Sisätilojen mallinnukset osoittivat, että altistuminen voi nopeasti ylittää AEGL 1-tason erityisesti akun koon kasvaessa. Pienakun (alle 0.2 kWh), kuten puhelimen, kannettava tietokoneen, käsityökalun tai varavirtalähteen, palossa fluorivetyaltistumisen arvioitiin ylittävän lievien ohimenevien oireiden tason seisten alle minuutissa, kun kontaten altistuminen ei ylittänyt raja-arvoa viiden minuutin tarkastelujakson aikana.

Toisaalta sähköpyörän tai -potkulaudan akun (0.2–1 kWh) palossa pitoisuudet voivat nousta haitallisiksi jo kymmenissä sekunneissa. Myöskään vakavampien pysyvien haittavaikutusten mahdollisuutta (AEGL 2 ylitys) ei voida poissulkea.

Siksi sisätiloista tulee poistua heti, kun akkupalo havaitaan. Altistumista voidaan vähentää liikkumalla alle 0,5 metrin korkeudella, jos se ei merkittävästi hidasta poistumista. On huomattava, että nämä arviot on tehty tyypillisille huonetiloille, joten ne eivät suoraan päde esimerkiksi korkeisiin teollisuushalleihin, joissa altistumisen voidaan olettaa olevan vastaavissa tilanteissa huomattavasti pienempää.

Ulkotilat

Ulkona tapahtuville litiumioniakkupaloille määritettiin mallinnuksella vaaraetäisyyksiä, joita on kahdentyyppisiä: palopaikkaa ympäröivä välittömän vaaran alue sekä tuulen alapuolelle ulottuva oireita mahdollisesti aiheuttavan altistumisen alue. Välittömän vaaran alueella ovat läsnä välittömät fysikaaliset vaarat, kuten kuumuus, räjähdys, roiskeet ja palavat heitteet. Lisäksi välittömän vaaran alueella palokaasujen pitoisuudet voivat nousta hengenvaaralliselle tai pysyviä vakavia haittoja aiheuttavalle tasolle.

Sähköauton palolle (n. 30 kWh) mallinnettiin 5 metrin välittömän vaaran alue, mutta se kasvaa esimerkiksi akkukäyttöisen linja- tai kuorma-auton (n. 300 kWh) tapauksessa 25 metriin kaikkiin suuntiin. Tämä altistumisen pohjalta määritetty vaaraetäisyys on yllättävästi vastaava, mitä Pelastusopisto suosittelee sähköajoneuvoille huomioiden palon välittömät fysikaaliset vaarat. Lisäksi tässä tutkimuksessa arvioitiin sähköajoneuvopaloille mahdollisesti oireita aiheuttavan altistumisen alueen (AEGL 1 ylitys) ulottuvan sähköauton tapauksessa noin 100 metrin ja linja- tai kuorma-auton tapauksessa jopa 350 metrin etäisyydelle tuulen alapuolella.

Suurille akustoille kuten energiavarastokonteille (n. 300–3000 kWh) määritettiin 50–100 metrin välittömän vaaran alue (IDLH ylitys). Myös Pelastusopisto suosittelee vähintään 50–100 metrin välittömän vaaran aluetta kaikkiin suuntiin (Rytkönen *ym*., 2025b). Akkuvarasto tai energiakentän suurpalolle ei tässä tutkimuksessa pystytty määrittämään altistumiseen perustuvaa välittömän vaaran aluetta. Sen sijaan Pelastusopiston suosittelema etäisyys on vähintään 100–300 metriä (Rytkönen *ym*., 2025b).

Tässä tutkimuksessa arvioitu oireita mahdollisesti aiheuttavan altistumisen alue ulottui energiavarastoille noin 600 metrin etäisyydelle tuulen alapuolella ja energiakentillä jopa noin 3 000 metrin etäisyydelle. Määritellyt etäisyydet perustuvat yksittäistapaukseen ja ovat siten suuntaa antavia. Niitä ei voida soveltaa muuttumattomina kaikkiin suurakkupaloihin.

Johtopäätökset toimintaohjeita varten

Mallinnustulokset tukevat välitöntä poistumista sisätiloista ja nopeaa siirtymistä pois savun leviämissuunnasta ulkona välttäen oleskelua tuulen alapuolella. Palopaikan ympärille tulee rajata akun koon mukainen välittömän vaaran alue. Lisäksi tuulen alapuolella on varauduttava palokaasujen aiheuttamaan altistumiseen tätä huomattavasti kauempana.

Taulukon 8 poistumisajat ja vaaraetäisyydet tukevat toiminnan suunnittelua ja ensivaiheen päätöksentekoa, mutta eivät ole kaikkiin akkupalotilanteisiin soveltuvia ehdottomia turvallisuusrajoja. Palokaasujen leviämiseen ja pitoisuuksiin vaikuttavatkin merkittävästi akun kapasiteetti ja varausaste sekä tilan koko ja säätilat. Lisäksi litiumakkupalotilanteiden kehittyminen ja niissä vapautuvien haitallisten aineiden määrät voivat vaihdella huomattavasti tapauksesta toiseen. Lopulliset vaaraetäisyydet määritetään tapahtumapaikan olosuhteiden ja viranomaisten arvion perusteella.

Mallinnusten pohjalta voidaan kuitenkin antaa seuraavat yleisluontoiset suositukset:

- Älä jää myrkyllisiin palokaasuihin sammuttamaan akkupaloa. Sammutustyöt ovat pelastusalan ammattilaisten tehtävä.
- Sisätiloissa paras ratkaisu on poistua mahdollisimman pian matalana liikkuen tai kontaten. Lattian rajassa altistut vähiten.
- Ulkona pakene mahdollisimman nopeasti tuulen yläpuolelle. Jos pystyt, pyri siirtymään alamaastoon. Älä mene suuntaan, johon savukaasut leviävät.

## Taulukko 8: Arvioidut toiminta-ajat ja vaaraetäisyydet sisä- ja ulkotilojen palotilanteisiin eri kokoisille akuille.

| | HUONE, SISÄTILA, PIENAKKU (esim. puhelin, käsityökalu tai kannettava tietokone, kapasiteetti alle 0.2 kWh) | HUONE, SISÄTILA, KESKIKOKOINEN AKKU (esim. sähköpotkulauta tai –pyörä, kapasiteetti n. 0.2–1.0 kWh) | ULKOTILA TAI KATOS, SUURI AKKU (esim. sähköauton akku, kapasiteetti <30–300 kWh) | ULKOTILA, ERITTÄIN SUURI AKUSTO (energiavarastokontti n. 300–3000 kWh TAI energiakenttä, akkutehdas, varastohalli, yli 3000 kWh) |
|---|---|---|---|---|
| Palotilanteessa turvallinen poistumisaika* | Seisten alle 1 min<br>Kontaten alle 5 min | Seisten alle 10 s<br>Kontaten alle 30 s | Alle 30 s | |
| Välitön vaara, Vaaraetäisyys palavasta akusta | Humahdus- ja räjähdysvaara vaara koko tilassa<br>Roiskeita ja palavia heitteitä jopa useita metrejä<br>Savukaasuja koko tilassa, altistuminen vähäistä* alle 0,5 m korkeudessa | Humahdus- ja räjähdysvaara vaara koko tilassa<br>Roiskeita ja palavia heitteitä jopa useita metrejä<br>Savukaasuja koko tilassa, altistuminen vähäisempää* alle 0,5 m korkeudessa | Välitön vaara väh. 25 m kaikkiin suuntiin**<br>Saattaa aiheuttaa altistuneille oireita jopa 100–350 m etäisyydellä tuulen alapuolella* | Välitön vaara väh. 50–100 m kaikkiin suuntiin, energiakentillä väh. 100–300 m**<br>Saattaa aiheuttaa altistuneille oireita jopa 600 m etäisyydellä tuulen alapuolella, energiakentillä jopa 3000 m* |

*Poistumisajat ja vaaraetäisyydet perustuvat tässä tutkimuksessa tehtyihin mallinnuksiin (luvut 4.1 ja 4.3) tai kirjallisuudessa raportoituihin mittaus- ja mallinnustuloksiin (luvut 4.2 ja 4.4).

**Pelastusopiston ohje: Litiumioniakkupalojen operatiivisen toiminnan suositukset: Pelastustoimen suositukset

# 5 Osa IV: Akkupaloihin varautuminen: toimintamallit

## 5.1 Terveysriskien arviointi

Litiumakkupalojen terveysriskejä arvioitiin kirjallisuuskartoituksen perusteella hakemalla tietoa muodostuvista päästöistä ja niiden määristä (kappale 2) sekä mallinnustulosten perusteella (kappale 4).

Li-akkupalot ovat monimuotoisia tapahtumia, joissa muodostuvien yhdisteiden pitoisuudet voivat vaihdella merkittävästi muun muassa akkukemian ja akun varauksen mukaan. Akuutit terveysvaarat liittyvät erityisesti palokaasujen, kuten fluorivedyn (HF), hiilimonoksidin (CO) ja syanidien (CN), hengittämiseen. Palokaasujen sisältämät yhdisteet voivat aiheuttaa lisäksi erilaisia ärsytysoireita hengitysteissä, iholla ja silmissä (Taulukot 5 ja 6, kappale 2.5). Merkittävän palo- ja räjähdysvammariskin aiheuttavat suljetuissa tiloissa lämpökarkaamisessa muodostuvien syttyvien kaasujen humahdusriskit. Lisäksi palossa saattaa syntyä muita terveydelle haitallisia päästöjä, mikäli samalla palaa muutakin materiaalia.

Terveysriskien kartoittamiseksi akkupalon päästöjä mallinnettiin sekä sisä- että ulkotilassa. Mallinnusten perusteella arvioitiin päästöjen leviämistä ja altistumisen vaikutuksia eri ympäristöissä. Altistuminen ja terveysriskit riippuvat suuresti siitä, tapahtuuko palo suljetussa tilassa vai ulkona, ja kuinka suuri akku palaa. Sisätiloissa akuutin altistumisen raja-arvot ylittyvät nopeasti usealle päästölle, kun taas ulkona vaara-alue rajoittuu yleensä palopaikalle.

Palon jälkeiset terveysriskit on myös huomioitava, sillä pinnoille voi kertyä akkukemian mukaan pölyjä tai hiukkasia, jotka sisältävät metalleja, polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH-yhdisteitä), orgaanisia fluoriyhdisteitä ja mahdollisesti happamia tai emäksisiä jäämiä.

Li-akkupalon kiivaan luonteen vuoksi on suositeltavaa poistua palopaikalta ja suljetusta tilasta mahdollisimman nopeasti ja hälyttää apua, että altistuminen ja terveysriskit minimoituvat.

## 5.2 Suojautumistarpeen arviointi

Suojautumistarvetta arvioitiin kirjallisuuskartoituksessa tunnistettujen litiumioniakkupalossa leviävien altisteiden ja niiden määrän perusteella huomioiden haastatteluiden pohjalta tunnistetut erilaisten työympäristöjen ja -tilanteiden vaatimukset. Suojautumistarpeen arvioinnissa huomioitiin myös suojautumisen pukemiseen tarvittava aika ja tilanteen mahdollisesti nopeakin kehittyminen. Suojautumistarpeen arviointia on tehty kohdennettuna laajasti erilaisille työpaikoille. Suojautumisenarviointia ei ole kohdennettu varsinaiseen sammutustoimintaan. Taulukkoon 9 on koottu soveltuvia henkilönsuojaimia erilaisten akkupalotilanteiden varalle.

Suojainten valinta tulee perustua huolelliseen riskienarviointiin, jossa työolosuhde- ja ympäristötekijät on otettu huomioon riittävällä tavalla. Akkupalo on usein luonteeltaan nopea ja aggressiivinen reaktio, mikä hankaloittaa merkittävästi oikeiden suojainten valintaa ja niiden käyttöönottoa. Tarkemmin tietoa poistumisajoista akkupalotilanteissa löytyy luvusta 4 ja malliratkaisusta 3 (Liite 4). Useiden suojaimien pukemiseen ei välttämättä ole riittävästi aikaa reaktion arvaamattomuudesta ja nopeudesta johtuen. Akun koko, lataustila ja kemia vaikuttavat reaktion voimakkuuteen. Mikäli tilanne mahdollistaa suojainten pukemisen, ensisijaista on suojata hengitystiet esimerkiksi pakohupulla (ABEK P CO suodatin) tai kokonaamarilla (ABEK P suodatin) ja toiseksi käsien suojaus kuumuutta vastaan.

**Hengityksensuojaus**

Jos tilanne edellyttää välitöntä poistumista, voidaan käyttää pakohuppua, joka on varustettu ABEK P CO suodattimella (EN 403, EN 14387). Pakohuppu suojaa palossa syntyviltä kaasuilta ja hiukkasilta sekä se suojaa päätä savuilta ja jonkin verran myös kuumuudelta. A suodatin on tarkoitettu suojaamaan orgaanisilta liuotinhöyryiltä, B epäorgaanisilta liuotinhöyryiltä, E happamilta kaasuilta ja K ammoniakilta. P suodatin taas sitoo tehokkaasti hiukkasmaisia altisteita ja CO suojaa hiilimonoksidilta. Vaihtoehtona pakohupulle voidaan käyttää myös kokonaamaria, jossa suodattimena ABEK P tyypin suodatin (EN 136 tai EN 140). Se ei kuitenkaan suojaa hiilimononoksidilta (CO). Kaikissa tapauksissa on mietittävä etukäteen, miten työtehtävän vuoksi mahdollisesti käytössä olevat suojaimet rajoittavat palotilannesuojaimien käyttöä tai milloin näistä perussuojaimista luovutaan ja ne korvataan palotilannesuojaimilla.

**Käsiensuojaus**

Mikäli ennen varsinaista akkupalotilannetta päätetään lähtemään siirtämään tai muutoin käsittelemään akkua, tulee suojakäsineiden olla ensisijaisesti kuumuutta ja liekkejä kestävät käsineet (EN 659 tai EN 407). Käsineet voivat mielellään olla samanaikaisesti kemikaaleilta suojaavat käsineet (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B).

**Silmien- ja päänsuojaus**

Mikäli käytössä ei ole koko päänsuojaavaa pakohuppua tai kasvot suojaavaa kokonaamaria, silmiensuojaimina on syytä käyttää tiiviitä suojalaseja (EN 166 tai EN ISO 16321-1).

## Taulukko 9: Soveltuvia henkilönsuojaimia erilaisten akkupalotilanteiden varalle. Suojainten valinta ja käyttö tulee perustua riskinarviointiin. Suositukset eivät koske sammutustoimintaa, joka on pelastustoimen vastuulla.

| SUOJAIN | SISÄTILA, PIENI TAI KESKIKOKOINEN AKKU | ULKOILMA, SUURI AKKU TAI AKUSTO | ENSIHOITO | JÄLKIRAIVAUS |
|---|---|---|---|---|
| Hengityksensuojaus | Pakohuppu suodattimella ABEKP3 CO (EN 403, EN 14387)<br><br>Koko- tai puolinaamari ABEKP3 CO (EN 136 tai EN 140). | (pelastustoimen vastuulla) | Puolinaamari (EN 140) ABEKP3 CO, tai kokonaamari (EN 136) ABEKP3 CO-suodattimilla | Kypärään integroitu puhallinsuojain TH3 (EN 12941). Suojain tarjoaa samalla pään ja kasvojen suojauksen. |
| Pään- ja silmiensuojaus | Mikäli ei käytössä pakohuppua tai kokonaamaria, tiiviit suojalasit (EN 166 tai EN ISO 16321-1) | (pelastustoimen vastuulla) | Mikäli ei käytössä kokonaamaria, tiiviit suojalasit (EN 166 tai EN ISO 16321-1) | |
| Kemikaalinsuojavaatetus | Todennäköisesti ei ole aikaa pukea.<br><br>Tyypin 5 suojapuku (EN ISO 13982-1) tai Tyypin 3 suojapuku (EN 14605). | (pelastustoimen vastuulla) | Jos potilasta ei ole pesty, tyypin 4 (EN 14605) tai 5 suojapuku (EN ISO 13982-1), jos potilas on märkä, tyypin 3B suojapuku (EN 14605). | Tyypin 5 suojapuku (EN ISO 13982-1), jos raivauskohde on märkä, tyypin 3 suojapuku (EN 14605). |
| Käsiensuojaus | Kuumuutta kestävät käsineet (EN 659 tai EN 407) | (pelastustoimen vastuulla) | Kemikaalinsuojakäsineet (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B) ja pelastettaessa myös mekaanisilta vaaroilta suojaavat käsineet (EN 388). | Kemikaaleilta ja mekaanisilta vaaroilta suojaavat käsineet (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B, EN 388). |
| Jalkojensuojaus | Todennäköisesti ei ole aikaa vaihtaa. | (pelastustoimen vastuulla) | Mekaanisilta vaaroilta suojaavat S3-turvajalkineet (EN ISO 20345). | S5-turvasaappaat (EN ISO 20345). |

**Jalkojensuojaimet**

Akkupalotilanteisiin parhaiten soveltuvat jalkineet ovat turvasaappaat (EN ISO 20345). Ne suojaavat tehokkaasti useimmilta riskeiltä, joita akkupallotilanteissa esiintyy. Jalkineiden vaihtaminen tilanteen alkaessa saattaa viedä liikaa aikaa.

**Kemikaalinsuojavaatetus**

Kemikaalinsuojavaatetuksen pukeminen akkupalotilanteessa on todennäköisesti liikaa aikaa vievä suojavaruste. Jos tilanne mahdollistaa suojapuvun pukemisen, voidaan käyttää tyypin 5 suojapukua (EN ISO 13982-1). Mikäli käsitellään esimerkiksi kontaminoitunutta potilasta, jota ei ole pesty, suojapukuna voidaan käyttää tyypin 4 (EN 14605) tai 5 suojapukua (EN ISO 13982-1). Jos taas potilas on märkä, tarvitaan tyypin 3B suojapuku (EN 14605).

## 5.3 Suojautumisohjeistuksen ja toimintamallien laadinta

### 5.3.1 OVA-Ohje

Onnettomuuden vaaraa aiheuttavien aineiden ohjeet (OVA-ohjeet) ovat kemikaaliturvallisuuden tiedonlähteitä, jotka on tarkoitettu pelastuslaitoksille, ympäristönsuojeluviranomaisille, työterveyshenkilöstölle ja kaikille kemikaalien vaaroista kiinnostuneille.

Litiumioniakuille laadittiin oma OVA-ohje ja se on luettavissa tai ladattavissa yleiseltä OVA-ohjeiden sivustolta (www.ova.ttl.fi/litiumioniakut) ja lisäksi tämän raportin liitteenä (Liite 3).

### 5.3.2 Malliratkaisut

Hankkeessa laadittiin viisi tiivistä ja käytännönläheistä malliratkaisua työpaikkojen käyttöön. Malliratkaisut ovat vapaasti kaikkien saatavissa Työterveyslaitoksen verkkosivuilla (www.ttl.fi/malliratkaisut) ja lisäksi tämän raportin liitteenä (Liite 4).

1. Litiumioniakkupalot ja terveysvaikutukset tarjoaa nimensä mukaisesti yleistä tietoa litiumioniakkupalon kehittymisestä, siinä vapautuvista haitallisista yhdisteistä sekä niiden terveysvaikutuksista.
2. Käytä litiumioniakkuja turvallisesti antaa käytännön vinkkejä akkuja käyttäville työpaikoille, kuinka mm. käyttää ja ladata akkuja turvallisesti, kuinka tunnistaa akun poikkeava reaktio ja kuinka toimia poikkeavan reaktion tilanteessa.
3. Toiminta akkupalotilanteissa antaa ohjeita kuinka toimia akkupalotilanteissa. Ohjeessa on annettu esimerkit neljästä erilaisesta palotilanteesta. Ohjeet perustuvat tässä hankkeessa tehtyihin mallinnuksiin ja kirjallisuuteen.
4. Ensihoitajien varautuminen ja suojautuminen akkupalossa antaa ohjeita nimenomaan ensihoidon toiminnalle litiumioniakkupalotilanteessa.
5. Altistuminen litiumioniakkupalon jälkeen ja työtilaan palaaminen neuvoo akkupalotilan raivauksen ja siivouksen aikaista suojautumista ja antaa ohjeita kuinka arvioida tilojen puhtautta ja huomioida työntekijät akkupalon jälkeen.

# 6 Johtopäätökset ja suositukset

Li-akkupalot ovat yhä yleisempiä ja koskettavat useita työntekijäryhmiä akkujen laajan käytön vuoksi. Li-akkupalon aikana voi vapautua useita terveydelle haitallisia kaasuja sekä hiukkasmaisia päästöjä. Litiumioniakkupalon päästöihin ja niiden määrään vaikuttavat mm. palon syttymismekanismi, akkukemia, lataustila, rakenne, olosuhteet ja muu palava materiaali. Li-akkupalojen päästöjä on tutkittu polttokokein: näissä olosuhteet, mittausmenetelmät, mitatut yhdisteet sekä raportointitapa ovat vaihtelevia, mikä vaikeuttaa tutkimusten vertailua ja johtopäätösten tekoa.

Kirjallisuuden perusteella akkupaloissa vapautuu suuria määriä mm. fluorivetyä, hiilimonoksidia, kloorivetyä ja syaanivetyä. Nämä kaasut voivat aiheuttaa silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita ja hengenvaarallisen myrkytyksen. Myrkytysoireiden lisäksi akkupalossa muodostuvat kaasut voivat aiheuttaa suljetussa tilassa hapen puutteen tai syttyessään aiheuttaa palo- ja räjähdysvammoja. Akkupaloissa vapautuu myös mahdollisesti ihoa herkistäviä sekä syöpä- ja lisääntymisvaarallisia yhdisteitä, kuten raskasmetalleja ja PAH-yhdisteitä, joiden haitalliset terveysvaikutukset korostuvat etenkin toistuvassa altistumisessa.

Haastattelujen perusteella akkupaloihin liittyvät riskit on tunnistettu työpaikoilla, mutta varautumistoimenpiteissä on vaihtelua. Ennakointi ja suunnittelu ovat tärkeitä keinoja akkupalotilanteisiin varautumisessa. Työpaikoilla kaivattiin lisätietoa mm. akkupaloissa vapautuvista yhdisteistä, akkupalon jälkeisestä tilojen turvallisuuden arvioinnista, sekä suojautumistarpeesta akkupalon aikana ja jälkeen.

Akkupaloissa suositellaan poistumaan vaara-alueelta mahdollisimman nopeasti ja jättämään sammuttaminen pelastusalan ammattilaisille. Sisätiloissa palokaasujen pitoisuudet voivat nousta terveydelle vaarallisiksi jo kymmenissä sekunneissa, etenkin pienessä tilassa tai suuren akun palaessa. Poistumisen aikana altistumista voidaan vähentää liikkumalla matalana tai kontaten, sillä palokaasujen pitoisuudet ovat yleensä pienimmät lattian lähellä. Poistumisen tukena voidaan käyttää palokaasuille soveltuvaa suodattavaa hengityksensuojainta tai pakohuppua, jos sellainen on heti saatavilla, mutta suojaimen etsiminen tai pukeminen ei saisi viivästyttää poistumista. Ulkona suositellaan siirtymään nopeasti pois savukaasujen leviämissuunnasta, ensisijaisesti tuulen yläpuolelle ja mahdollisuuksien mukaan alavampaan maastoon. Tarvittava suojaetäisyys riippuu akun tai akuston koosta: suuren akuston palo voi aiheuttaa välittömän vaaran kymmenien tai jopa satojen metrien etäisyydelle ja haitallista altistumista tätäkin kauempana.

Hankkeen tulosten pohjalta laaditut suositukset on koottu viiteen malliratkaisuun, jotka ovat käytännönläheisiä ohjeita työpaikkojen hyödynnettäväksi. Lisäksi hankkeessa tuotettiin etenkin onnettomuustilanteisiin suunnattu OVA-ohje. Ohjeet tukevat työpaikkoja litiumioniakkujen turvallisessa käytössä ja vaaratilanteisiin varautumisessa ja niissä toimimisessa. Ohjeet ovat vapaasti saatavilla Työterveyslaitoksen verkkosivuilla.

Akkuteknologioita kehitetään jatkuvasti ja siten turvallisuuden ylläpitämiseksi turvallisia toimintatapoja tulee päivittää ja kehittää jatkuvasti. Erityisesti altistumisesta palotilanteessa sekä suojautumisesta, sen tehokkuudesta ja puhdistusmenetelmistä tarvitaan lisää tutkimustietoa. Lisäksi sekundäärisestä altistumisesta ei ole juuri ollenkaan tietoa kirjallisuudessa.

# Lähteet

Ala-Kokko, V. *ym.* (2025) *Polkupyörän akkupalon leviäminen lataustilanteessa*. Tutkimusraportti / pelastusalan päällystötutkinto (AMK). Pelastusopisto. Saatavissa: https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/2025-5-14-Akkupalo-tutkimusraportti-AMKA14.pdf (Viitattu: 2. lokakuuta 2026).

Arvidson, M. ja Westlund, Ö. (2023) ”Water Spray Fire Suppression Tests Comparing Gasoline-Fuelled and Battery Electric Vehicles”, *Fire Technology*, 59(6), ss. 3391–3414. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s10694-023-01473-w.

Auvinen, M. *ym.* (2022) ”High-resolution large-eddy simulation of indoor turbulence and its effect on airborne transmission of respiratory pathogens—Model validation and infection probability analysis”, *Physics of Fluids*, 34(1), s. 015124. Saatavissa: https://doi.org/10.1063/5.0076495.

Auvinen, M. *ym.* (2025) ”Quantitative validation in indoor dispersion modeling: Comparing large-eddy simulation results with experimental measurements”, *Physics of Fluids*, 37(8), s. 085107. Saatavissa: https://doi.org/10.1063/5.0276393.

Barone, T.L. *ym.* (2021) ”Lithium-ion battery explosion aerosols: Morphology and elemental composition”, *Aerosol Science and Technology*, 55(10), ss. 1183–1201. Saatavissa: https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1938966.

Battery University (2017) ”Safety of Lithium-ion Batteries”. Saatavissa: https://www.batteryuniversity.com/article/safety-of-lithium-ion-batteries/ (Viitattu: 21. elokuuta 2026).

Bugryniec, P. (2023) ”Li-ion Battery Thermal Runaway Flowchart”. Saatavissa: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34249.01120.

Bugryniec, P.J. *ym.* (2024) ”Review of gas emissions from lithium-ion battery thermal runaway failure — Considering toxic and flammable compounds”, *Journal of Energy Storage*, 87, s. 111288. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111288.

Buston, J.E.H. *ym.* (2023) ”Experimental determination of metals generated during the thermal failure of lithium ion batteries”, *Energy Advances*, 2(1), ss. 170–179. Saatavissa: https://doi.org/10.1039/D2YA00279E.

Claassen, M. *ym.* (2024) ”Characterization of Lithium-Ion Battery Fire Emissions—Part 1: Chemical Composition of Fine Particles (PM2.5)”, *Batteries*, 10(9). Saatavissa: https://doi.org/10.3390/batteries10090301.

Ditch, B. ja Zeng, D. (2023) ”Fire Hazard of Lithium-ion Battery Energy Storage Systems: 1. Module to Rack-scale Fire Tests”, *Fire Technology*, 59(6), ss. 3049–3075. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s10694-020-01041-6.

EPA (2026) ”Access Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) Values”. Saatavissa: https://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values (Viitattu: 20. elokuuta 2026).

Franqueville, J.I., Archibald, E.J. ja Ezekoye, O.A. (2023) ”Data-driven modeling of downwind toxic gas dispersion in lithium-ion battery failures using computational fluid dynamics”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 86, s. 105201. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105201.

Hassinen, M. (2022) *Uudet energiamuodot liikennevälineissä ja energiavarastoissa. Sammutustaktiikka ja -tekniikka*. Pelastusopiston julkaisu B-sarja: Tutkimusraportit 2/2022.

Held, M. *ym.* (2022) ”Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, s. 112474. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474.

Jalali, H., Collie, L. ja Baroutian, S. (2026) ”Air emissions & firewater runoff contamination from lithium-ion battery fires in rubbish trucks”, *Environmental Pollution*, 389, s. 127437. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.127437.

Jo, M.S. *ym.* (2023) ”Exposure Assessment Study on Lithium-Ion Battery Fire in Explosion Test Room in Battery Testing Facility”, *Safety and Health at Work*, 15(1), ss. 114–117. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.shaw.2023.11.007.

Kukkonen, J. *ym.* (2000) ”Dispersion from Strongly Buoyant Sources”, teoksessa S.-E. Gryning ja E. Batchvarova (toim.) *Air Pollution Modeling and Its Application XIII*. Boston, MA: Springer US, ss. 539–547. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4153-0_55.

Kukkonen, J. *ym.* (2014) ”Applicability of an integrated plume rise model for the dispersion from wild-land fires”, *Geoscientific Model Development*, 7(6), ss. 2663–2681. Saatavissa: https://doi.org/10.5194/gmd-7-2663-2014.

Kukkonen, J. *ym.* (2022) ”An emergency response model for the formation and dispersion of plumes originating from major fires (BUOYANT v4.20)”, *Geoscientific Model Development*, 15(10), ss. 4027–4054. Saatavissa: https://doi.org/10.5194/gmd-15-4027-2022.

Larsson, F. *ym.* (2014) ”Characteristics of lithium-ion batteries during fire tests”, *Journal of Power Sources*, 271, ss. 414–420. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.08.027.

Larsson, F. *ym.* (2017) ”Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires”, *Scientific Reports*, 7(1), s. 10018. Saatavissa: https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z.

Lecocq, A. *ym.* (2012) ”Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle”, *Proceedings from the 2nd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2012*. *Fires in Vehicles - FIVE*, Chicago, USA: SP Technical Research Institute of Sweden, ss. 183–194. Saatavissa: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-5062.

Lejon, C. *ym.* (2024) ”Lagrangian plume rise and dispersion modelling of the large-scale lithium-ion battery fire in Morris, USA, 2021”, *Air Quality, Atmosphere & Health* [Preprint]. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s11869-023-01443-9.

Liu, P. *ym.* (2021) ”Experimental study on thermal runaway and fire behaviors of large format lithium iron phosphate battery”, *Applied Thermal Engineering*, 192, s. 116949. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116949.

Meurman, K. *ym*. (2021) *Litiumioniakkupalon sammuttaminen akkupalosammuttimilla*. Loppuraportti 18.5.2021. Dnro 1463/00.05.30/2020.

Mikkonen, J. *ym.* (2025) ”Litiumioniakkujen paloturvallisuus teollisuudessa”. Saatavissa: https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Litiumioniakkujen-paloturvallisuus-teollisuusymparistossa-11-2025.pdf (Viitattu: 9. syyskuuta 2026).

MSB, The Swedish Agency for Community Protection and Preparedness (2022). “Smoke exposure in case of Li-ion battery fire”. MSB1960, ISBN: 978-91-7927-269-2, 2022.

Nikmo, J. *ym.* (1999) ”A hybrid plume model for local-scale atmospheric dispersion”, *Atmospheric Environment*, 33(27), ss. 4389–4399. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00223-X.

NIOSH (2021) ”Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values”, 26 helmikuuta. Saatavissa: https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html (Viitattu: 20. elokuuta 2026).

Ouyang, D. *ym.* (2019) ”A Review on the Thermal Hazards of the Lithium-Ion Battery and the Corresponding Countermeasures”, *Applied Sciences*, 9(12). Saatavissa: https://doi.org/10.3390/app9122483.

OVA-ohjeet. (2026) Onnettomuuden vaaraa aiheuttavien aineiden ohjeet. Työterveyslaitos. Saatavissa: https://ova.ttl.fi/

Pelastustoimi (2025) ”Parkkihallipalo Tampereella 1.10.2025 – Palonsyyntutkinnasta ja akkupalojen vaarallisuudesta”. Tiedote. 5.11.2025. Saatavissa: https://pelastustoimi.fi/-/parkkihallipalo-tampereella-1.10.2025-palonsyyntutkinnasta-ja-akkupalojen-vaarallisuudesta (Viitattu: 8. lokakuuta 2026)

Peng, Y. *ym.* (2020) ”A comprehensive investigation on the thermal and toxic hazards of large format lithium-ion batteries with LiFePO4 cathode”, *Journal of Hazardous Materials*, 381, s. 120916. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120916.

Perttula, P. *ym*. (2023) *Lithium-ion battery’s life cycle: safety risks and risk management at workplaces*. Final Report. Työterveyslaitos, 2023. Saatavissa: https://www.julkari.fi/handle/10024/145927 (Viitattu: 8. lokakuuta 2026)

Premnath, V. *ym.* (2022) ”Detailed characterization of particle emissions from battery fires”, *Aerosol Science and Technology*, 56(4), ss. 337–354. Saatavissa: https://doi.org/10.1080/02786826.2021.2018399.

Probert, C.A. *ym.* (2026) ”Polycyclic aromatic hydrocarbon and metal contamination of firefighter turnout gear after full-scale electric vehicle fire exposure”, *Fire Safety Journal*, 163, s. 104865. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104865.

Quant, M. *ym.* (2023) ”Ecotoxicity Evaluation of Fire-Extinguishing Water from Large-Scale Battery and Battery Electric Vehicle Fire Tests.”, *Environmental science & technology*, 57(12), ss. 4821–4830. Saatavissa: https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08581.

Rappsilber, T. *ym.* (2023) ”Meta-analysis of heat release and smoke gas emission during thermal runaway of lithium-ion batteries”, *Journal of Energy Storage*, 60, s. 106579. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106579.

Rumi, M.J.U. *ym.* (2026) ”An emerging risk: Hazardous ultrafine particles and their metal–PAH enriched emissions from lithium-ion battery fires”, *Journal of Hazardous Materials*, 507, s. 141681. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2026.141681.

Rytkönen, K. *ym.* (2025a) ”Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus ja varautumisohjeet -hanke. Loppuraportti. Pelastusopisto. Kuopio 2025.” Saatavissa: https://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B12_2025.pdf (Viitattu: 21. elokuuta 2026).

Rytkönen, K. *ym*. (2025b) "Litiumioniakkupalojen operatiivisen toiminnan suositukset. Saatavissa: https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Litiumioniakkupalojen-operatiivisen-toiminnan-suositukset-Pelastustoimen-suositukset-11-2025.pdf (Viitattu: 9. syyskuuta 2026)

Sofiev, M., Ermakova, T. ja Vankevich, R. (2012) ”Evaluation of the smoke-injection height from wild-land fires using remote-sensing data”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(4), ss. 1995–2006. Saatavissa: https://doi.org/10.5194/acp-12-1995-2012.

STM (2025) *HTP-arvot 2025, Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2025:4. ISBN: 978-952-00-4229-5, ISSN: 1797-9854*.

Sturm, P. *ym.* (2022) ”Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels”, *Fire Safety Journal*, 134, s. 103695. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103695.

Sun, J. *ym.* (2016) ”Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery”, *Nano Energy*, 27, ss. 313–319. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.06.031.

Szmytke, E. *ym.* (2022) ”Firefighters’ Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules—Literature Review and Pilot Tests Results”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), s. 12442. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/ijerph191912442.

Tschirschwitz, R. *ym.* (2023) ”Harmful effects of lithium-ion battery thermal runaway: scale-up tests from cell to second-life modules”, *RSC Advances*, 13(30), ss. 20761–20779. Saatavissa: https://doi.org/10.1039/D3RA02881J.

Tukes (2021) ”Tukes-ohje 22/2021 Turvallisuusselvitys”.

Willstrand, O. *ym.* (2020) *Toxic gases from fire in electric vehicles*. Borås, Sweden: RISE Research Institutes of Sweden AB (RISE Report 2020:90). Saatavissa: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-52000.

Yan, Y., Jaeger, N.S.B. ja Spearrin, R.M. (2025) ”Hydrogen fluoride emissions from lithium-ion batteries during induced thermal runaway via in situ laser spectroscopy”, *Proceedings of the Combustion Institute*, 41, s. 105800. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.proci.2025.105800.

Yle, Rautavuori, L. (2025) ””Kemikaalien cocktail” levisi Tampereen keskustaan – hybridiautosta alkoi harvinaisen raju parkkihallipalo”. Mediauutinen. 3.10.2025. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20186329 (Viitattu: 8. lokakuuta 2026)

Yle, Tuhkanen, A. (2025) ”Sähköauton palo sulki Prisma-keskuksen Keravalla”. Mediauutinen. 3.10.2025. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20186407 (Viitattu: 8. lokakuuta 2026)

Zhang, L. *ym.* (2024) ”A Review of Fire-Extinguishing Agents and Fire Suppression Strategies for Lithium-Ion Batteries Fire”, *Fire Technology*, 60(2), ss. 817–858. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s10694-022-01278-3.

Zhong, G. *ym.* (2019) ”Thermal runaway and fire behavior investigation of lithium ion batteries using modified cone calorimeter”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(5), ss. 2879–2889. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s10973-018-7599-7.

## Standardit

**Eurooppalaiset standardit:**

EN 136:1998. Respiratory protective devices. Full face masks. Requirements, testing, marking.

EN 140:1998. Respiratory protective devices. Half masks and quarter masks. Requirements, testing, marking.

EN 143:2021. Respiratory protective devices. Particle filters - Requirements, testing, marking

EN 166:2001. Personal eye-protection. Specifications.

EN 388:2016. Protective gloves against mechanical risks.

EN 403:2004. Respiratory protective devices for self-rescue. Filtering devices with hood for escape from fire - Requirements, testing, marking.

EN 407:2020. Protective gloves and other hand protective equipments against thermal risks (heat and/or fire).

EN 659:2003+A1:2008. Protective gloves for firefighters.

EN 12941:1999+A1:2004. Respiratory protective devices. Powered filtering devices incorporating a loose fitting respiratory interface - Requirements, testing, marking.

EN 14387:2021. Respiratory protective devices. Gas filter(s) and combined filter(s) - Requirements, testing, marking.

EN 14605:2005+A1:2009. Protective clothing against liquid chemicals. Performance requirements for clothing with liquid-tight (Type 3) or spray-tight (Type 4) connections, including items providing protection to parts of the body only (Types PB [3] and PB [4]).

**Globaalit standardit:**

ISO 374-1:2024. Protective gloves against dangerous chemicals and micro-organisms. Part 1: Terminology and performance requirements for chemical risks.

ISO 13982-1:2004. Protective clothing for use against solid particulates. Part 1: Performance requirements for chemical protective clothing providing protection to the full body against airborne solid particulates (type 5 clothing).

ISO 16321-1:2021. Eye and face protection for occupational use. Part 1: General requirements. International Organization for Standardization.

ISO 20345:2021. Personal protective equipment. Safety footwear.

# Liitteet

Liite 1. Haastattelujen rungot eri kohderyhmille

Liite 2. Mallinnetut vaaraetäisyydet sähköautojen paloille

Liite 3. OVA-Ohje: Litiumioniakut

Liite 4. Malliratkaisut 1–5

# Liite 1. Haastattelurungot eri kohderyhmille

## Kohdeorganisaatiot, yritykset

1) Taustatiedot
   - organisaatio
   - haastateltavien henkilöiden nimikkeet
   - Missä kaikissa Li-akkujen elinkaaren vaiheissa yritys on mukana:
     - Akkujen valmistus,
     - akkujen käyttö,
     - akkujen kuljetus,
     - akkujen kierrättäminen
     - akkujen hävittäminen?
     - Kuinka paljon akkuja on missäkin vaiheessa?
   - missä kaikkialla akkuja yrityksessä käytetään? Työkalut, trukit, autot yms.
   - Minkä tyyppisiä ja kokoisia (fysikaalinen koko, varauksen suuruus) akkuja on käytössä? Ja millaisia määriä samassa tilassa ja/tai rakennuksessa? Akkujen varaustila?
   - Oletetaanko akkupalojen tapahtuvan yleisemmin sisä- vai ulkotiloissa?
   - Millaisissa sääolosuhteissa olettaisitte akkupalojen olevan todennäköisintä?
   - Millaisissa tiloissa akkuja valmistetaan tai käytetään? Tilan koko ja dimensiot, ilmanvaihtokerroin, yms?

2) Akkupaloihin varautuminen
   - Onko akuille käytössä erillinen latausasema tai turvakaappi?
   - Millainen sammutusvälineistö akkupalojen varalle löytyy? Onko tästä tieto työntekijöillä? Onko sammuttamista harjoiteltu?
   - Onko pelastustoimen kanssa ollut erillistä suunnittelua? Mistä asioista, millä tasolla?
   - Oletteko tehneet akkujen polttotestauksia tai tietoisia tällaisista testeistä? Vapautuvat yhdisteet ja niiden määrät? Onko määrällistä tietoa päästölähteen suuruudesta eli kuinka paljon ja mitä yhdistettä vapautuu aikayksikköä kohden. Paljonko vapautuu lämpöä ja kaasuja? Kaasujen lämpötila? Pystysuuntainen ilmavirtauksen nopeus tai suuruus?
   - Onko teillä tietoa akkupaloissa vapautuvista yhdisteistä / pitoisuuksista? Onko teillä jotain kirjallisuutta, jota me voimme hyödyntää? Miten saatavissa?
   - Onko teillä arvioitu, miten mahdollisen palon jälkeen toimitaan (milloin tiloihin saa palata, miten siivotaan yms.)?
   - Onko akkupalotilanteita simuloitu tai onko tehty asiaan liittyviä skenaarioita?
   - Jos yrityksessä kuljetetaan akkuja, miten se on otettu huomioon riskinarvioinnissa?

3) Turvallisuuskäytännöt
   - Millaisen riskinarvioinnin olette tehneet akkupaloihin liittyen?
   - Miten akkuja huolletaan ja säilytetään, onko erillistä huolto-ohjelmaa? Vaihtoväli?
   - Annetaanko työntekijöille jotain koulutusta/perehdytystä
     - akkujen käsittelyyn
     - suojainten oikeaan käyttöön
4) Suojautuminen
   - Millaisia määriä suojaimia akkupalojen varalle on (missä, kuinka paljon saatavilla)
   - Miten suojaimia osataan käyttää, onko työntekijöille ohjeistusta suojainten käyttöön? Harjoitellaanko käyttöä (pelastusyksikkö ja työntekijät)?
   - Miten suojaimia tarkistetaan/huolletaan (jos hätävarasuojaimia)?

5) Sisäiset ohjeet akkupalotilanteissa
   - Onko teillä olemassa ohjeistusta akkupalotilanteiden varalle?
   - Onko teillä määritelty jotain toimenpiteitä? Onko vaadittavia suojaimia?
   - Onko teillä vakiotoimintatapaa (SOP, Standard Operation Procedure) olemassa?

6) Sattuneet palot ja opit niistä
   - Onko akkupaloja sattunut? Mitä tapahtui? Muuttuiko joku käytäntö palon jälkeen?

## Ensihoito

1) Taustatiedot
   - organisaatio
   - haastateltavien henkilöiden nimikkeet

2) Akkupaloihin varautuminen
   - Kuinka paljon akkupaloihin liittyviä tehtäviä on? Vrt. muut palotilanteet.
   - Onko ensihoidolla tietoa akkupaloissa vapautuvista yhdisteistä / pitoisuuksista? Onko akkupalon altisteisiin varauduttu? Miten?
   - Onko teillä arvioitu miten mahdollisen palopotilaan hoidon/kuljetuksen jälkeen toimitaan?
   - Miten kontaminoitunut välineistö puhdistetaan?
   - Onko teillä akkupalopotilaan hoito/kuljetustilanteita simuloitu tai onko tehty asiaan liittyviä skenaarioita?

3) Turvallisuuskäytännöt
   - Millainen riskinarviointi akkupalopotilaiden hoitoon tai kuljetukseen on laadittu?

4) Sisäiset ohjeet akkupalotilanteissa
   - Onko teillä ohjeistusta akkupalopotilaiden hoitoon/kuljetukseen? Jos on, niin miten eroaa ”tavallisen” palopotilaan hoidosta/kuljetuksesta?
   - Onko teillä määritelty jotain toimenpiteitä? Onko vaadittavia suojaimia?
   - Onko teillä vakiotoimintatapaa (SOP, Standard Operation Procedure) olemassa?

5) Suojautuminen
   - Miten suojautuminen on teillä ohjeistettu?
     - potilaan hoito palopaikalla
     - potilaan hoito ambulanssissa
     - potilaan kuljetus
   - Millaisia määriä suojaimia akkupalojen varalle on (missä, kuinka paljon saatavilla)
   - Miten suojaimia osataan käyttää, onko työntekijöille ohjeistusta/koulutusta suojainten käyttöön? Harjoitellaanko käyttöä?
   - Miten suojaimia tarkistetaan/huolletaan (jos hätävarasuojaimia)?

6) Sattuneet palot ja opit niistä
   - onko akkupaloihin liittyviä tehtäviä ollut? Mitä tapahtui? Muuttuiko joku käytäntö palon jälkeen?

## Pelastustoimi

1) Taustatiedot
   - organisaatio
   - haastateltavien henkilöiden nimikkeet

2) Akkupaloihin varautuminen
   - Kuinka paljon akkupaloihin liittyviä tehtäviä on? Vrt. muut palotilanteet.
   - Onko teiltä saatavissa kirjallisuutta akkupaloissa vapautuvista yhdisteistä / pitoisuuksista?
   - Onko teiltä saatavissa kirjallisuutta tapahtuneista paloista?
   - Onko teillä akkupalotilanteita simuloitu tai onko tehty asiaan liittyviä skenaarioita?
   - Harjoitellaanko akkupalojen varalle ja kuinka paljon?
   - Miten kontaminoitunut välineistö puhdistetaan?

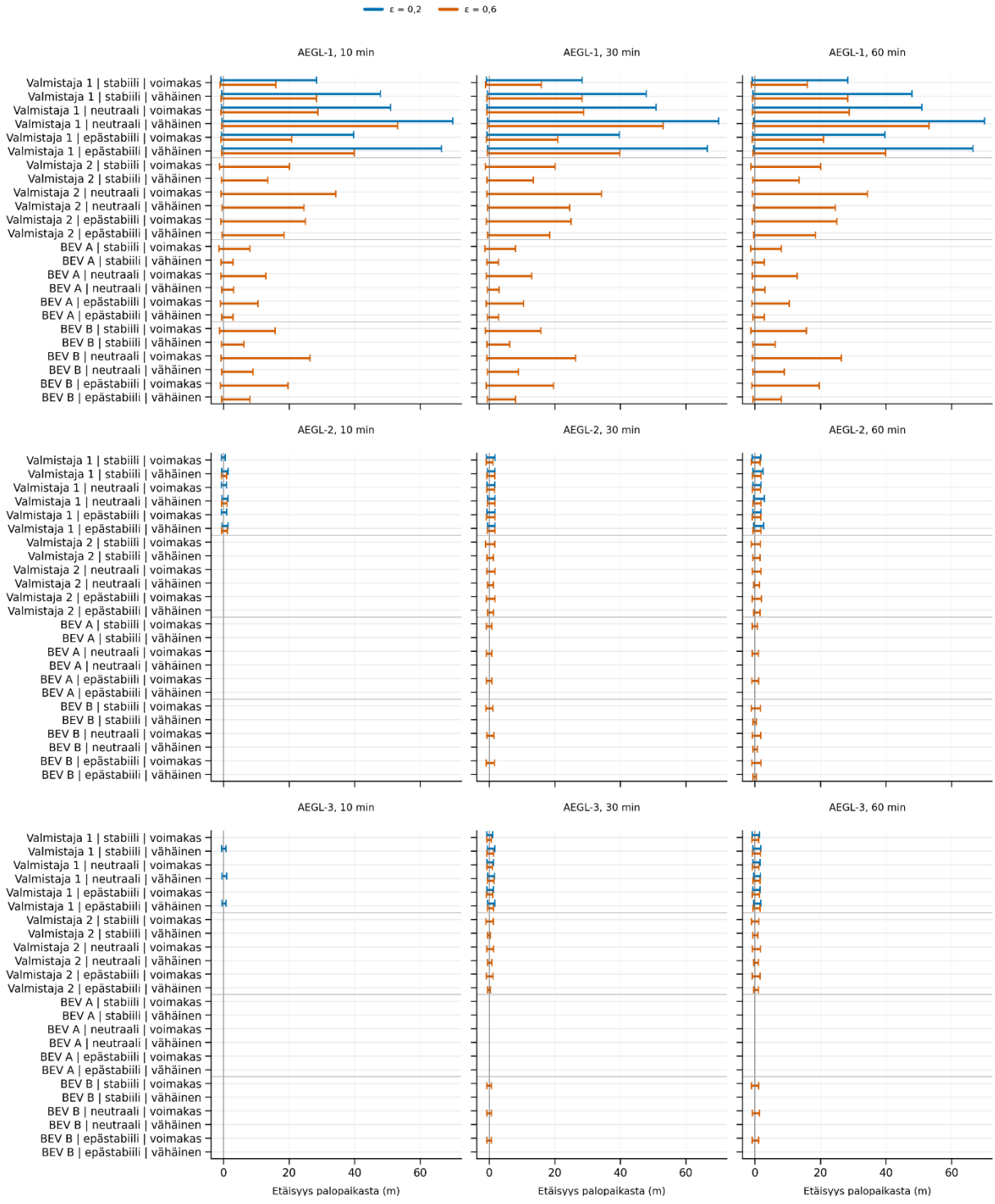
3) Turvallisuuskäytännöt
   - Miten pelastustoimi huomioi muut toimijat (ensihoito, poliisi, työntekijät) palotilanteessa?
   - Millainen näkemys pelastustoimella on muiden toimijoiden varautumisesta ja ohjeistuksesta akkupalojen varalle?

4) Sisäiset ohjeet akkupalotilanteissa
   - Millainen ohjeistus akkupalojen sammuttamiseen on? Miten eroaa ”tavallisen” palon sammuttamisesta?
   - Onko teillä vakiotoimintatapaa (SOP, Standard Operation Procedure) olemassa?

5) Suojautuminen
   - Millainen suojautuminen akkupalojen sammuttamisessa on?

6) Sattuneet palot ja opit niistä
   - onko akkupaloihin liittyviä tehtäviä ollut? Mitä tapahtui? Muuttuiko joku käytäntö palon jälkeen?

# Liite 2. Mallinnetut vaaraetäisyydet sähköautojen paloille




Kuva. Mallinnetut fluorivedyn vaaraetäisyydet neljän eri sähköauton palolle (Valmistaja 1, Valmistaja 2, BEV A, BEV B) kolmessa eri säätilassa (stabiili, neutraali, epästabiili) kahdessa eri palon vaiheessa (voimakas, vähäinen).

Vaaraetäisyydet on laskettu erikseen AEGL 1-, 2- ja 3-arvoille kolmelle eri altistusajalle 10, 30 ja 60 min. Tämä kuvaaja on piirretty Microsoft 365 Copilot-tekoälyn avustuksella.

# Liite 3. OVA-ohje: Litiumioniakkupalot

# Litiumioniakut

**Viimeksi päivitetty** 28.09.2026










## Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1272/2008 (ns. CLP-asetuksen) mukaiset varoitusmerkit

| | |
|---|---|
| **CAS-numero** | - |
| **Indeksinumero** | - |
| **EY-numero (EINECS-numero)** | - |
| **YK-numero** | 3480 (litiumioni-akut (mukaan lukien litiumionipolymeeri-akut))<br><br>3481 (litiumioni-akut, jotka sisältyvät laitteeseen tai litiumioni-akut, jotka on pakattu laitteiden kanssa (mukaan lukien litiumionipolymeeri-akut))<br><br>3536 (litiumakut, lastinkuljetusyksikköön asennetut, litiumioniakut tai litiummetalliakut)<br><br>3556 (akkukäyttöinen ajoneuvo, litiumioniakku) |
| **Molekyylikaava** | - |

# Synonyymit

**englanti:** lithium-ion battery, Li-ion battery

**suomi:** litiumioniakku, Li-ioniakku

**ruotsi:** litiumjonbatteri, litium-jon-batteri

**saksa:** Lithium-Ionen-Akkumulator, Lithium-Akkumulator, Lithiumionenakku, Lithiumionen-Akku, Lithiumionen-Sekundärbatterie

# 1. Aineen ominaisuudet, merkinnät ja käyttö

## 1.1 Aineen kuvaus

Litiumioniakut koostuvat yleensä useista yksittäisistä akkukennoista, jotka muodostavat yhdessä akkumoduulin. Kennot ovat tyypillisesti muodoltaan lieriöitä, pusseja tai särmiöitä.

Akkua käytettäessä litiumionit liikkuvat negatiiviselta anodilta positiiviselle katodille ja elektronit kulkevat ulkoisen piirin kautta tuottaen sähköenergiaa. Ladattaessa litiumakkua litiumionit ja elektronit pakotetaan liikkumaan positiiviselta katodilta kohti negatiivista anodia, jolloin energia varastoituu anodin rakenteeseen.

Litiumakkujen katodeiksi on kehitetty ainakin toistakymmentä erilaista litiumoksidiyhdistettä. Litiumakkujen katodien kemikaaleina käytetään eniten litiumnikkelimangaanikobolttioksidia (NMC), litiumnikkelikobolttialumiinioksidia (NCA), litiumrautafosfaattia (LFP), litiumkobolttioksidia (LCO) ja litiummangaanioksidia (LMO). Erilaisilla akkukemioilla saadaan eri tarkoituksiin soveltuvia ratkaisuja, kuten akkujen parempaa tehoa tai suorituskykyä.

Tyypillisesti litiumioniakuissa käytetään anodeissa grafiittia (hiiltä) tai grafiitin ja litiumtitanaatin (LTO) seosta. Elektrolyyttinä käytetään esimerkiksi litiumheksafluorofosfaattia, joka on liuotettu erilaisiin karbonaattiyhdisteisiin, kuten dimetyyli- tai dietyylikarbonaattiin. Nestemäisen elektrolyytin lisäksi akkuihin on kehitetty kiinteän elektrolyytin teknologiaa mm. polymeerisiä, geelimäisiä ja keraamisia elektrolyyttejä.

Akkuteknologian kehitys on vilkasta, joten yleisesti käytettyjen akkukemioiden koostumus voi muuttua nopeasti.

Alla olevassa taulukossa on kuvattu litiumioniakkujen mahdollisesti sisältämiä kemiallisia komponentteja. NMC-akuissa on vaihteleva määrä nikkeliä, mangaania ja kobolttia. Esimerkiksi NMC811 sisältää nikkeliä, mangaania ja kobolttia suhteessa 8:1:1. Vastaavasti myös NCA-akkujen metallien määrissä on vaihtelua.

| Akkukomponentti | Kemikaali | Molekyylikaava | CAS-numero | EY-numero |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Katodi** | Litiumnikkelimangaanikobolttioksidi (NMC) | $LiNi_xMn_yCo_zO_2$ | | |
| | NMC3:3:3 | | 346417-97-8 | 620-032-4 |
| | NMC8:1:1 | | 179802-95-0 | 878-728-0 |
| | NMC5:3:2 | | 193215-53-1 | 878-731-7 |
| | NMC6:2:2 | | 193215-05-3 | 878-730-1 |
| | NMC4:4:2 | $LiNi_xCo_yAl_zO_2$ | 193215-96-2 | 881-347-2 |
| | Litiumnikkelikobolttialumiinioksidi (NCA) | | | |
| | NCA80:15:5 | | | |
| | NCA88:11:1 | $LiFePO_4$ | 193214-24-3 | 803-110-4 |
| | Litiumrautafosfaatti (LFP) | $LiCoO_2$ | 177997-13-6 | 700-042-6 |
| | Litiumkobolttioksidi (LCO) | $LiMn_2O_4$ | 15365-14-7 | 604-917-2 |
| | Litiummangaanioksidi (LMO) | | 12190-79-3 | 235-362-0 |
| | | | 12057-17-9 | 601-724-5 |
| **Anodi** | Grafiitit, kovahiilet | | | |
| | Litiumtitanaatti (LTO) | $Li_4Ti_5O_{12}$ | 12031-95-7 | 619-916-2 |
| | Tinapohjaiset metalliseokset | | | |
| | Piipohjaiset metalliseokset | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Elektrolyytti** | Litiumheksafluorofosfaatti | $LiPF_6$ | 21324-40-3 | 244-334-7 |
| | Litiumperkloraatti | $LiClO_4$ | 7791-03-9 | 232-237-2 |
| | Litiumheksafluoroarsenaatti | $LiAsF_6$ | | |
| | Litiumtrifluorometaanisulfonaatti | $LiCF_3SO_3$ | 29935-35-1 | 249-963-0 |
| | Litiumtetrafluoroboraatti | $LiBF_4$ | 33454-82-9 | 251-528-5 |
| | Per- ja polyfluoratut alkyyliyhdisteet (PFAS) | | | |
| | Litium bis(trifluorometaanisulfonyyli)imidi | $LiC_2F_6NO_4S_2$ | 14283-07-9 | 238-178-9 |
| | Litium bis(pentafluoroetaanisulfonyyli)imidi | $LiC_4F_{10}NO_4S_2$ | 90076-65-6 | 415-300-0 |
| | | | 132843-44-8 | 686-525-1 |
| **Liuotinaine** | Dimetyylikarbonaatti (DMC) | $C_3H_6O_3$ | 616-38-6 | 210-478-4 |
| | Dietyylikarbonaatti (DEC) | $C_5H_{10}O_3$ | 105-58-8 | 203-311-1 |
| | Etyylimetyylikarbonaatti (EMC) | $C_4H_8O_3$ | | |
| | Etyleenikarbonaatti (EC) | $C_3H_4O_3$ | 623-53-0 | - |
| | Propyleenikarbonaatti (PC) | $C_4H_6O_3$ | 96-49-1 | 202-510-0 |
| | Ioniset nesteet | | | |
| | | | 108-32-7 | 203-572-1 |

| | |
|---|---|
| **Sideaine** | Per- ja polyfluoratut alkyyliyhdisteet (PFAS)<br><br>Polyvinyylideenifluoridi (PVDF)<br><br>Styreenibutadieenikumi (SBR)<br><br>Karboksimetyyliselluloosa (CMC)<br><br>Lasikuitu |

# 1.2 Yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia

Litiumioniakkujen erilaiset koostumukset (akkukemiat) vaikuttavat suuresti niiden fysikaalis-kemiallisiin ominaisuuksiin, joita ei voi eritellä yksittäisten kemikaalien mukaan.

# 1.3 Reaktiivisuus

Litiumakkukennon vaurioituminen käynnistää kemiallisen hajoamisreaktion (lämpökarkaaminen) akkukemikaalien (elektrodit ja elektrolyytti) välillä. Siinä muodostuu lämpöä ja helposti syttyviä sekä myrkyllisiä kaasuja, kuten erilaisia hiilivetyjä, hiilidioksidia ja hiilimonoksidia sekä vetyä. Akkukennon vaurioituminen voi johtua mekaanisesta vauriosta, akun sisäisestä tai ulkoisesta oikosulusta, ylilataamisesta tai -purkamisesta ja ylikuumenemisesta. Lämpökarkaamisessa akkukotelosta voi purkautua vaaleaa savua, kipinöitä, pistoliekki tai palavia heitteitä. Yhdestä akkukennosta vapautuva kuumuus voi käynnistää vastaavan reaktion myös viereisissä kennoissa. Lämpökarkaamisen voimakkuus riippuu muun muassa akun varaustasosta. Reaktio voi olla luonteeltaan kiivas.

Akuissa elektrolyyttinä käytetty litiumheksafluorofosfaatti reagoi voimakkaasti veden kanssa muodostaen litiumhydroksidia, vetykaasua ja fluorivetyä.

| | **Reaktiot akkukennoissa** | **Lämpötila (°C)** |
|---|---|---|
| | Litiumsuolan hajoaminen ja reagoiminen liuottimen kanssa | >70 |
| | Anodi ja elektrolyytti reagoivat keskenään muodostaen vähäisesti lämpöä | 90-130 |
| | Elektrolyytistä muodostuu orgaanisia kaasuja (esim. eteeni, propeeni) | 90-230 |

| | | |
|---|---|---|
| | Elektrolyytti höyrystyy muodostamalla kaasuja, jotka purkautuvat varoventtiilin kautta.<br><br>Muodostuva paine ja kasvava lämpötila voivat aiheuttaa akkupakkauksen repämisen sekä lämpökarkaamisen.<br><br>Lämpökarkaamisessa kaasut vapautuvat voimakkaasti ja voivat syttyä. Samalla akusta voi vapautua palavia heitteitä. | 120-220 |
| | Elektrolyytti ja katodimetallit hajoavat muodostaen happea | 200-300 |

# 1.4 Palo- ja räjähdysvaara

Litiumioniakun lämpökarkaamisessa muodostuu helposti syttyviä kaasuja, kuten vetyä ja erilaisia hiilivetyjä, kuten eteeniä ja propeenia. Suljetussa tilassa tai kerääntyessään nämä kaasut voivat syttyessään aiheuttaa räjähdyksen tai humahduksen. Jos kaasuja kertyy ulkona esimerkiksi katoksen alle, syttymistä seuraa humahdus. Liekkipalo pienentää syttyvien savukaasujen humahdusriskiä. Syttyvien kaasujen muodostuminen akusta voi jatkua vielä sammutustyön jälkeen.

Akun varaustaso vaikuttaa lämpökarkaamisen ja palon voimakkuuteen. Täyteen ladattu akku muodostaa lämpökarkaamisen aikana huomattavasti enemmän kaasua, jolloin palon todennäköisyys on suurempi kuin matalan varaustason akulla. Akun lataustason ollessa matala lämpökarkaamisreaktiossa muodostuu kaasuja, mutta ne eivät välttämättä syty heti palamaan, minkä vuoksi helposti syttyvien kaasujen humahdusriski on kohonnut.

Kennon sisällä oleva elektrolyyttineste on syttyvää ja muuttuu lämmön vaikutuksesta kaasumaiseksi. Palossa muodostuu myös myrkyllisiä palamistuotteita, kuten typen ja rikin oksideja, hiilimonoksidia ja fluorivetyä.

# 1.5 Merkinnät

CLP-asetuksen ((EY) N:o 1272/2008) mukaiset varoitusmerkinnät. Seuraavassa on esitetty esimerkkejä valmistajan akkukemikaaleille antamista CLP-asetuksen (EY N:o 1272/2008) mukaisista varoitusmerkinnöistä (itseluokittelu):

## Varoitusmerkit

## Esimerkki katodista: NMC811

**Huomiosana** Vaara




## Vaaralausekkeet

**H317**
Voi aiheuttaa allergisen ihoreaktion.

**H334**
Voi aiheuttaa hengitettynä allergia- tai astmaoireita tai hengitysvaikeuksia.

**H350**
Saattaa aiheuttaa syöpää (mainitaan altistumisreitti, jos on kiistatta osoitettu, että vaara ei voi aiheutua muiden altistumisreittien kautta).

**H372**
Vahingoittaa elimiä (tai mainitaan kaikki tiedetyt kohde-elimet) pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistumisessa (mainitaan altistumisreitti, jos on kiistatta osoitettu, että vaara ei voi aiheutua muiden altistumisreittien kautta).

## Esimerkki elektrolyytistä: Litiumheksafluorofosfaatti

**Huomiosana** Vaara





## Vaaralausekkeet

**H301**
Myrkyllistä nieltynä.

**H314**
Voimakkaasti ihoa syövyttävää ja silmiä vaurioittavaa.

---

**H318**
Vaurioittaa vakavasti silmiä.

---

**H372**
Vahingoittaa elimiä (tai mainitaan kaikki tiedetyt kohde-elimet) pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistumisessa (mainitaan altistumisreitti, jos on kiistatta osoitettu, että vaara ei voi aiheutua muiden altistumisreittien kautta).

---

## Turvalausekkeet

Ennaltaehkäisyyn, pelastustoimenpiteisiin, varastointiin ja jätteiden käsittelyyn liittyvät turvalausekkeet valitaan aineen vaaraluokituksen ja käyttötapojen perusteella.

# Kuljetusluokitus ja -merkinnät

Kuljetusluokitus ja -merkinnät määräytyvät kansainvälisten ja kansallisten kuljetusmääräysten mukaan.

---

| | | |
|---|---|---|
| **YK-numero:** | 3480 (litiumioni-akut (mukaan lukien litiumionipolymeeri-akut))<br><br>3481 (litiumioni-akut, jotka sisältyvät laitteeseen tai litiumioni-akut, jotka on pakattu laitteiden kanssa (mukaan lukien litiumionipolymeeri-akut)) | <br> |
| **Kuljetusluokka:** | maantiekuljetus: 9 | |
| | merikuljetus: 9 | |
| **Pakkausryhmä:** | II | |
| **Varoituslipuke:** | 9A | |
| **Vaaran tunnusnumero:** | - | |

| | |
|---|---|
| **YK-numero:** | 3536 (litiumakut, lastinkuljetusyksikköön asennetut, litiumioniakut tai litiummetalliakut)<br><br>3556 (akkukäyttöinen ajoneuvo, litiumioniakku) |




| | |
|---|---|
| **Kuljetusluokka:** | maantiekuljetus: 9 |
| | merikuljetus: 9 |
| **Pakkausryhmä:** | - |
| **Varoituslipuke:** | 9A |
| **Vaaran tunnusnumero:** | - |

# 1.6 Raja-arvoja

## Akuutin altistumisen raja-arvot

Litiumakkujen lämpökarkaamisessa vapautuu erilaisia myrkyllisiä kaasuja, kuten fluorivetyä, hiilimonoksidia, kloorivetyä ja syaanivetyä.

| **AEGL-arvot (Acute exposure guideline levels, USA)** | **AEGL 1** | **AEGL 2** | **AEGL3** |
|---|---|---|---|
| **Fluorivety** | 1,0 ppm (0,8 mg/m$^3$) /10 min | 95 ppm (79 mg/m$^3$) /10 min | 170 ppm (140 mg/m$^3$) /10 min |
| | 1,0 ppm (0,8 mg/m$^3$) /30 min | 34 ppm (28 mg/m$^3$) /30 min | 62 ppm (51 mg/m$^3$) /30 min |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Hiilimonoksidi** | ei määriteltävissä | 420 ppm (490 mg/m$^3$) /10 min<br><br>150 ppm (170 mg/m$^3$) /30 min | 1700 ppm (2000 mg/m$^3$) /10 min<br><br>600 ppm (700 mg/m$^3$) /30 min |
| **Kloorivety** | 1,8 ppm (2,7 mg/m$^3$) /10 min<br><br>1,8 ppm (2,7 mg/m$^3$) /30 min | 100 ppm (150 mg/m$^3$) /10 min<br><br>43 ppm (65 mg/m$^3$) /30 min | 620 ppm (940 mg/m$^3$) /10 min<br><br>210 ppm (320 mg/m$^3$) /30 min |
| **Syaanivety** | 2,5 ppm (2,8 mg/m$^3$) /10 min<br><br>2,5 ppm (2,8 mg/m$^3$) /30 min | 17 ppm (19 mg/m$^3$) /10 min<br><br>10 ppm (11 mg/m$^3$) /30 min | 27 ppm (30 mg/m$^3$) /10 min<br><br>21 ppm (23 mg/m$^3$) /30 min |

Akuutin altistumisen raja-arvojen määritelmät on esitetty käyttäjän oppaassa (kappale 1.6).

## Työhygieeniset raja-arvot

HTP-arvot (työpaikan ilman haitalliseksi tunnettu pitoisuus) Lämpökarkaamisessa vapautuu kaasuja, kuten fluorivetyä, hiilimonoksidia, kloorivetyä ja syaanivetyä sekä akkukemiasta riippuen erilaisia metalleja (Al, Co, Mn, Ni), joille on asetettu HTP-arvot.

| **HTP (2025) (työpaikan ilman haitalliseksi tunnettu pitoisuus)** | **HTP 15 min** | **HTP 8 h** | **Huomautus** |
|---|---|---|---|
| **Fluorivety** | 3 ppm (2,5 mg/m$^3$) (iho) | 1,8 ppm (1,5 mg/m$^3$) (iho) | (iho): imeytyy ihon kautta |
| **Hiilimonoksidi**<br><br>**(sitova raja-arvo)** | 100 ppm (117 mg/m$^3$) | 20 ppm (23 mg/m$^3$) | Huomautus (melu): voimistaa melun haitallisia kuulovaikutuksia |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Kloorivety** | 5 ppm (7,6 mg/m$^3$) | - | - |
| **Syaanivety** | 5 mg/m$^3$ (iho) | 1 mg/m$^3$ (iho) | (iho): imeytyy ihon kautta |
| **Nikkeli metalli ja yhdisteet**<br><br>**(sitova raja-arvo)** | - | 0,05 mg/m$^3$ Ni, hengittyvä jae<br><br>0,01 mg/m$^3$ Ni alveolijae | Iho- ja hengitystieherkistyminen |
| **Mangaani ja sen epäorgaaniset yhdisteet** | - | 0,2 mg/m$^3$ Mn, hengittyvä jae<br><br>0,02 mg/m$^3$ Mn alveolijae | - |
| **Koboltti ja sen epäorgaaniset yhdisteet** | - | 0,02 mg/m$^3$ Co | - |
| **Alumiini ja sen niukkaliukoiset yhdisteet**<br><br>**Alumiini, liukoiset yhdisteet** | - | 1 mg/m$^3$ Al<br><br>0,1 mg/m$^3$ Al | - |

Raja-arvojen määritelmät on esitetty käyttäjän oppaassa (kappale 1.6).

## 1.7 Käyttö

Litiumioniakkuja käytetään virtalähteinä monissa akkukäyttöisissä laitteissa, kuten puhelimissa, kannettavissa tietokoneissa, työkaluissa ja ajoneuvoissa. Näiden lisäksi suurempia litiumioniakustoja käytetään sähköenergian varastoimiseen.

# 2. Terveysvaara

# 2.1 Välittömät vaikutukset

Litiumioniakkujen akuutit terveysvaarat liittyvät akkujen lämpökarkaamisessa muodostuviin myrkyllisiin ja ärsyttäviin kaasuihin ja höyryihin, joita ovat mm. fluorivety ja fluorivetyhappo, hiilimonoksidi, kloorivety , syaanivety, fosforihappo ja suolahappo. Kyseiset kaasut voivat aiheuttaa hengitysteiden ärsytysoireita ja hengenvaarallisen myrkytyksen, jonka oireina voivat olla muun muassa erilaiset sydän- ja keskushermosto-oireet, tajuttomuus, hengityslama ja kuolema.

Akkupalossa muodostuvat kaasut voivat aiheuttaa suljetussa tilassa hapen puutteen tai syttyessään aiheuttaa palo- ja räjähdysvammoja.

Akkujen sisältämä emäksinen elektrolyyttineste voi vaurioittaa vakavasti ihoa ja silmiä.

Korkeajänniteakkujen käsittelyssä tulee huomioida sähköiskun aiheuttamat terveysvaarat.

| **Akkupalossa vapautuvan päästön tyyppi** | **Esimerkkiyhdisteitä** | **Terveysvaikutukset** |
|---|---|---|
| **Myrkylliset kaasut** | Hiilimonoksidi, fluorivety, syaanivety, fosforyylifluoridi, fosforipentafluoridi | Sydän- ja keskushermosto-oireet, tajuttomuus, hengityslama ja kuolema |
| **Syttyvät ja happea syrjäyttävät kaasut** | Vety, metaani, eteeni, propeeni | Palo- ja räjähdysvammat, hapen puute |
| **Ärsyttävät kaasut ja syövyttävät yhdisteet** | Fluorivety, kloorivety, akroleiini, formaldehydi, typen ja rikin oksidit, VOC-yhdisteet, fluorivetyhappo, fosforihappo, suolahappo, litiumhydroksidi | Silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytys- sekä syöpymävauriot. Keuhkopöhö |
| **Hiukkaspäästöt** | Savu ja noki (PAH-yhdisteet), metallit (esim. Al, Ni, Mn, Co, Li) | Vaikutukset hengityselimistön toimintakykyyn, ihoherkistyminen, syöpä- ja lisääntymisterveysvaarat |

# 2.2 Toistuvan altistumisen vaikutukset

Akkupaloissa vapautuu myös mahdollisesti ihoa herkistäviä sekä syöpä- ja lisääntymisvaarallisia yhdisteitä, kuten raskasmetalleja ja PAH-yhdisteitä.

# 3. Vaikutukset ympäristöön

Litiumioniakkujen sisältämiä kemikaaleja voi joutua ympäristöön kiinteiden jätteiden ja jätevesien mukana, joita syntyy akkujen valmistuksessa, kierrätyksessä ja akkupalossa sekä sen sammutuksessa.

Litiumioniakkuja ei ole luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi, mutta monet akkupalossa vapautuvat yhdisteet ovat ympäristölle vaarallisia. Akkupalon sammutuksesta muodostuva jätevesi voi muuttua emäksiseksi, jos sammutusvesi on kosketuksissa akkukemikaalien kanssa. Akkukemikaalien kanssa kosketuksissa ollut sammutusvesi lisää ympäristölle haitallisten raskasmetallien, orgaanisten ja epäorgaanisten fluoriyhdisteiden (PFAS) ja fluoridin määrää sammutusjätevedessä huomattavasti.

Litiumakkupalossa muodostuu myös myrkyllisiä kaasuja, kuten fluorivetyä, kloorivetyä ja syaanivetyä, joista voi muodostua kosteuden kanssa ympäristöön erilaisia happoja. Palossa muodostuu myös emäksisiä litiumyhdisteitä, kuten litiumhydroksidia. Hapan tai emäksinen ympäristö on haitallista kasvillisuudelle ja vesieliöille.

# 4. Toiminta onnettomuustilanteissa

Pelastustoimi: TOKEVA Ohje T9b (Litiumioniakut)

Varmista oma turvallisuutesi ennen kuin ryhdyt pelastustoimiin: käytä henkilönsuojaimia äläkä pelasta yksin.

**Vaara-alueen arviointi**

| | **Sisätila, pieni akku (esim. puhelin, käsityökalu tai kannettava tietokone, kapasiteetti alle 0,2 kWh)** | **Sisätila, keskikokoinen akku (esim. sähköpotkulauta tai –pyörä, kapasiteetti n. 0,2–1,0 kWh)** | **Ulkotila tai katos, suuri akku (esim. sähköauton akku, kapasiteetti <30–300 kWh)** | **Ulkotila, erittäin suuri akusto (energiavarastokontti n. 300–3000 kWh TAI energiakenttä, akkutehdas, varastohalli, yli 3000 kWh)** |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Välitön vaara, vaaraetäisyys palavasta akusta** | Humahdus- ja räjähdysvaara koko tila, roiskeita ja palavia heitteitä jopa useita metrejä | Humahdus- ja räjähdysvaara koko tila, roiskeita ja palavia heitteitä jopa useita metrejä | Välitön vaara vähintään 25 m kaikkiin suuntiin | Välitön vaara vähintään 50–100 m kaikkiin suuntiin, energiakentillä vähintään 100–300 m |
| **Altistuminen** | Savukaasuja koko tilassa, altistuminen vähäistä, jos poistutaan välittömästi | Savukaasuja koko tilassa, altistuminen vähäistä, jos poistutaan välittömästi | Saattaa aiheuttaa altistuneille oireita jopa 100–350 m etäisyydellä tuulen alapuolella | Saattaa aiheuttaa altistuneille oireita jopa 600 m etäisyydellä tuulen alapuolella, energiakentillä jopa 3000 m |

# 4.1 Palo ja räjähdys

Tyhjennä vaara-alue ihmisistä ja estä alueelle pääsy. Pysy tuulen yläpuolella.

Käytä henkilönsuojaimina paloasua ja paineilmahengityslaitetta. Vaativissa olosuhteissa toimittaessa, erityisesti suljetuissa tiloissa, voidaan palopuvun kanssa käyttää tyypin 3 nestetiivistä kemikaalisuojapukua (EN 14116), jonka materiaali rajoittaa liekin leviämistä puvussa tai tyypin 1 kaasutiivistä kemikaalisuojapukua (EN 943-2:2019) ja aktiivihiiliväliasua (EN ISO 13982).

Näkyvien liekkien sammutus ei katkaise akun sisällä tapahtuvaa reaktiota, mutta lämmön siirtyminen akun sisällä kennosta toiseen voidaan estää jäähdyttämällä akkua vedellä.

Siirrä vaaraa aiheuttavat akut tai kennot ulos turvalliseen paikkaan ja upota veteen, jos mahdollista. Jos siirtäminen ja veteen upottaminen ei ole mahdollista, jäähdytä mahdollisuuksien mukaan akkujen tai kennojen pakkauksia valelemalla niiden kuumenevaa tai palavaa osaa vedellä. Huomioi, että akuista mahdollisesti lähteneet kuumat heitteet voivat levittää paloa.

Jos lämpökarkaamista ei saada estettyä tai sammutustyö ei ole mahdollista syttyvien savukaasujen humahdusvaaran vuoksi, suojele ympärillä olevia rakenteita/rakennuksia tai muita akkuja ja estä palon leviäminen. Liekkipalo pienentää syttyvien savukaasujen humahdusvaaraa.

Akut voivat syttyä itsestään ja myös sammutuksen/jäähdytyksen jälkeen uudelleen, joten sammutuksen jälkivartioinnista tulee huolehtia.

Korkeajänniteakkujen käsittelyssä tulee huomioida sähköiskun vaara.

Kerää akkukemikaalien kanssa kosketuksissa ollut jätesammutusvesi talteen ja estä pääsy viemäriin tai ympäristöön. Erityisesti isompien litiumioniakustojen sammuttamisessa tulee huomioida jätesammutusvesien hallinta ja ottaa huomioon pohjavesialueet. Ilmoita mahdollisesta vahingosta ympäristöviranomaiselle.

Palon jälkeen tulee huolehtia tehokkaasta tuuletuksesta myrkyllisten kaasujen poistamiseksi, etenkin jos kyseessä on suljettu ympäristö.

Puhdista saastuneet varusteet huolellisesti tai vaihda ne puhtaisiin.

## 4.2 Alueen puhdistaminen

Jälkitoimet riippuvat aina palon laajuudesta. Tulipalossa palaa myös muuta materiaalia, josta muodostuu myös haitallisia yhdisteitä. Tarvittavien raivaus-, puhdistus- tai jälkisaneeraustöiden laajuus vaihtelee.

Litiumioniakkupalossa syntyville terveydelle haitallisille yhdisteille voi altistua myös palon päätyttyä. Savu, noki ja niihin sitoutuneet kemialliset yhdisteet säilyvät paloalueen pinnoilla. Kaasumaiset yhdisteet poistuvat tuulettamalla. Lisäksi haitalliset yhdisteet voivat sisätiloissa siirtyä ilmanvaihdon mukana rakennuksen muihin osiin ja imeytyä rakenteisiin.

Akkupalon jälkeen kaikki sisätilat tulee tuulettaa huolellisesti ja akkukennojen uudelleen syttymisen mahdollisuus huomioida. Tilojen välitöntä turvallisuutta palon jälkeen voi arvioida esimerkiksi lämpökameralla, monikaasumittareilla tai kaasuilmaisinputkilla (esim. hiilimonoksidi, fluorivety, kloorivety, typen oksidit, rikkiyhdisteet, happi, ym.).

Akkupalopaikan puhdistamisessa suojainten valintaan vaikuttaa arvioidut myrkyllisten aineiden määrät. Käytä kemikaaleilta ja mekaanisilta vaaroilta suojaavia käsineitä (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B, EN 388). Käytä hengityksen- ja päänsuojainta. Suositeltava suojain on TH3-luokan puhallinsuojain ABEKP3-suodattimella, jonka kasvo-osa on varustettu teollisuuskypärähyväksynnällä (TH3, EN 12941). Tämä henkilönsuojain suojaa hengityksen lisäksi kasvot ja pään. Käytä tyypin 5 kemikaalinsuojapukua (EN ISO 13982-1, pölytiivis). Jos raivauskohde on märkä, käytä tyypin 3 kemikaalinsuojapukua (EN 14605, nestetiivis). Käytä laajemman palon raivauksessa turvajalkineiksi soveltuvia luokan S5-turvasaappaita (EN ISO 20345).

Jos akkupalo on laaja-alainen tai se tapahtuu ahtaissa tiloissa, voi olla tarve käyttää vielä tehokkaampaa suojausta.

## 4.3 Ensiapu

Altistuneen henkilön puhdistaminen vähentää tilanteessa ensi- ja jatkohoitohenkilöstön altistumista. Ennen hoitotoimien aloittamista ja jatkohoitoon kuljettamista, riisu saastuneet vaatteet sekä puhdista iho ja hiukset.

Tilanteen mukaan ensihoitohenkilöstö voi käyttää henkilönsuojaimia. Käytä kemikaalisuojakäsineitä (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B) ja tarvittaessa myös mekaanisilta vaaroilta suojaavia käsineitä (EN 388). Käytä puolinaamaria (EN 140) ABEKP3-suodattimilla ja tiiviitä suojalaseja (EN 166 tai EN ISO 16321-1) tai kokonaamaria (EN 136) ABEKP3-suodattimilla, kokonaamari suojaa myös kasvot. Tarvittaessa suojaa koko keho, esimerkiksi potilasta siirrettäessä, tyypin 4 (EN 14605) tai 5 kemikaalinsuojapuvulla (EN ISO 13982-1).

**Hengitysteitse tapahtunut altistuminen**

Siirrä akusta muodostuneille palokaasuille altistunut henkilö raittiiseen ilmaan ja aseta lepoon puoli-istuvaan asentoon. Jos henkilöllä on hengitysvaikeuksia, anna hänelle mahdollisuuksien mukaan lisähappea. Jos hengitys on pysähtynyt, avusta hengitystä palkeella. Jos sydän on pysähtynyt, anna painantaelvytystä. Mahdollisuuksien mukaan käytä defibrillaattoria. Toimita altistunut ensiapuasemalle lääkärin tutkimusta varten.

**Roiskeet silmään**

Huuhtele silmää haalealla juoksevalla vedellä vähintään 15 minuuttia pitäen silmäluomia auki huuhtelun aikana (poista piilolinssit, mikäli mahdollista). Estä huuhteluveden valuminen puhtaaseen silmään. Tämän jälkeen toimita potilas ensiapuasemalle lääkärin tutkimusta varten. Jatka huuhtelua matkalla hoitopaikkaan.

**Ihokosketus**

Huuhtele altistunut alue välittömästi runsaalla vedellä ja riisu savukaasujen likaama vaatetus. Pesussa avustavan henkilön tulee käyttää suojakäsineitä ja tarvittaessa muitakin edellä mainittuja henkilönsuojaimia. Mahdollisen fluorivetyhapolle altistumisen takia välittömästi runsaan huuhtelun jälkeen ihoalueelle levitetään kalsiumglukonaattigeeliä ja hierotaan sitä ihoon. Hoito on annettava mahdollisimman nopeasti, koska fluoridi-ionit tunkeutuvat nopeasti syvälle kudoksiin. Toimita potilas ensiapuasemalle lääkärin tutkimusta varten.

Lisäohjeita saa tarvittaessa yleisestä hätänumerosta puh. 112 ja Myrkytystietokeskuksesta puh. 0800 147 111.

# 4.4 Lääketieteellinen hoito

Akkujen lämpökarkaamisessa vapautuu myrkyllisiä palokaasuja, kuten fluorivetyä, hiilimonoksidia, kloorivetyä, syaanivetyä sekä rikin ja typen oksideja. Myrkyllisistä kaasuista voi muodostua kosteuden kanssa syövyttäviä happoja (mm. fluorivetyhappo, fosforihappo ja suolahappo), joten on varauduttava ihon, silmien ja hengitysteiden syöpymävaurioiden hoitoon. Lisäksi akkupalo voi aiheuttaa suljetuissa tiloissa palokaasujen humahduksen, joten hoidossa tulee varautua vakavien palo- ja räjähdysvammojen hoitoon.

Altistuneelle potilaalle annetaan happea sekä hoidetaan oireenmukaisesti huomioiden muun muassa metabolinen asidoosi.

Syanidimyrkytyksessä annetaan antidoottihoitona ensisijaisesti hydroksikobalamiinivalmistetta, jota tulee käyttää vain oireisille potilaille erillisen ohjeen mukaan.

Kurkunpään turvotusta voidaan hoitaa adrenaliini-inhalaatioaerosolilla. Jos nielun-kurkunpään turvotus alkaa vaikeuttaa hengitystä, potilas tulee ajoissa intuboida. Intubaatio voi olla tarpeen myös potilaille, joiden bronkospasmi ei laukea lääkityksellä.

Alempien hengitysteiden ahtautumista, keuhkoputkien supistelua ja yskää voidaan lievittää inhaloitavilla beeta-2-selektiivisillä sympatomimeeteillä (esim. salbutamoli tai terbutaliini).

Hengitysteitse suurille pitoisuuksille altistuneelle potilaalle voidaan antaa keuhkopöhön ehkäisemiseksi inhaloitavia ja systeemisiä kortikosteroideja, vaikka näyttö niiden tehosta on epävarma.

Laimealle fluorivedylle tai fluorivetyhapolle altistumisen oireet, kuten sydämen rytmihäiriöt, iho- ja hengitystieoireet voivat ilmaantua tuntien viiveellä. Hoidossa tulee käyttää kalsiumglukonaattivalmisteita tilanteen mukaan annosteltuna paikallisesti ja/tai systeemisesti.

## 4.5 Altistumisen arviointi biologisista näytteistä

Litiumioniakkujen lämpökarkaamisessa vapautuville kaasuille (mm. fluorivety, hiilimonoksidi, syanidit ja PAH-yhdisteet) ja metalleille (mm. alumiini, koboltti, nikkeli) altistumista on mahdollista arvioida virtsa- tai verinäytteistä. Näytteet tulee ottaa mahdollisimman pian altistumisen jälkeen. Lisätietoja Työterveyslaitokselta (p. 030 4741 arkisin kello 8.30–15.00).

Altistumisen arviointiin biologisista näytteistä liittyviä ohjeita on esitetty käyttäjän oppaassa (kappale 4.5).

## 4.6 Jätteiden käsittely

Käytetyt/ehjät litiumioniakut (< 5 kg) tulee kierrättää toimittamalla ne paristo- ja akkukeräyspisteille akun navat teipattuna. Keskisuuret (< 50 kg) akut tulee toimittaa jälleenmyyjille tai alueelliselle keräyspisteelle. Suuret teollisuusakut tulee kierrättää maahantuojan tai tuottajan ohjeiden mukaisesti. Sähköajoneuvojen ajovoima-akkuja kierrättävät automerkkihuollot ja Suomen Autokierrätys. Laitteet, joista akkua ei voi poistaa, kierrätetään sähkö- ja elektroniikkalaiteromuna (SER).

Vahingoittuneen (esim. pullistuma, rikkouma) tai palaneen akun tapauksessa ota yhteyttä jälleenmyyjään tai vaarallisten jätteiden käsittelyyn erikoistuneeseen toimijaan. Vuotavat akut pakataan tiiviiseen muovipussiin.

# 5. Käsittely ja varastointi

Työntekijät tulee perehdyttää akkukäyttöisten laitteiden turvalliseen käsittelyyn. Arvioi mekaanisten vaurioiden riskit, esimerkiksi putoaminen, lämpötilanvaihtelut, akun käyttö- ja latausympäristö ja varastoinnin olosuhteet. Akkujen käsittelyssä tulee huomioida sähköturvallisuus. Korkeajänniteakkujen käsittelyyn tarvitaan erillinen koulutus.

Lataa akkuja vain laitteeseen tarkoitetulla laturilla ja niille tarkoitetulla latauspaikalla. Älä jätä akkuja latautumaan ilman vartiointia, esimerkiksi yön tai viikonlopun yli.

?Akkupaloihin voi varautua henkilönsuojaimilla. Poistuttaessa sisätiloista voidaan käyttää suodattavaa hengityksensuojainta, koko- tai puolinaamaria (EN 136 tai EN 140) tai pakohuppua (EN 403, EN 14387) suodattimella ABEKP3 (CO). Korkeajänniteakkujen käsittelyssä suojakäsineiden ja turvakenkien tulee suojata sähköiskuilta.

Akkujen varastoimista suositellaan omassa palo-osastossa tai muun varastointitilan yhteydessä selkeästi rajatulla alueella (esim. omassa palosuojatussa kaapissa, erillään palokuormasta). Samassa palo-osastossa akkujen tai akkuvaraston kanssa ei tulisi varastoida vaarallisia kemikaaleja, ei etenkään syttyviksi luokiteltuja nesteitä tai kaasuja.

Käytetyt ja vialliset akut on säilytettävä erillään käytössä olevista tai uusista akuista (esim. erillinen kierrätysastia tai -kontti). Tällä vähennetään lämpökarkaamisen leviämisen vaaraa viallisista akuista käytössä oleviin tai käyttämättömiin.

EU:n akkuasetus velvoittaa toimijoita tuomaan markkinoille testattuja järjestelmiä ja toimittamaan niiden mukana ohjeet, miten toimitaan akuston häiriötilanteissa (EU asetus 2023/1542), laki jätelain muuttamisesta 799/2025.

# 6. Kuljetusmääräyksiä

Pakkaus ja kollien merkinnät on tehtävä kuljetusmääräyksissä annettujen yksityiskohtaisten ohjeiden mukaisesti.

Varmista, tuleeko pakkaukseen tai kolliin merkitä aineen YK-numero ja sen eteen kirjaimet "UN" (UN 3480/3481/3536/3556). Pakkaus tai kolli on varustettava myös kyseisen aineen varoituslipukkeella (varoituslipuke 9A).

# 7. Kirjallisuus

Akkuopas – opas turvalliseen käsittelyyn. Kaupan liitto ry, Recser Oy, STEK ry, Tukes, 2025

Akkuturvallisuus – Akkuturvallisuus työpaikalla. Työturvallisuuskeskus ry 2025.

Euroopan kemikaalivirasto (ECHA), substance fact sheets and registration dossiers, 2026.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008 (CLP-asetus).

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1542 (Akkuasetus).

GESTIS Substance Database. Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA), 2026.

Litiumioniakkujen elinkaari. Tukes, 2025.

Litiumioniakkujen turvallinen käyttäminen. Tukes, 2025.

Litiumakkupaloissa altistuminen, toiminta ja suojautuminen. Hankkeen loppuraportti. ISBN 978-952-391-252-6. Työterveyslaitos 2026.

Mikkonen ym. Litiumioniakkujen paloturvallisuus teollisuudessa. Pelastusopisto 2025.

Paristojen ja akkujen kierrättäminen. Paristokierrätys. Recser Oy, 2026.

Rytkönen ym. Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet -hanke. Loppuraportti, Pelastusopisto 2025.

Rytkönen ym. Litiumioniakkupalojen operatiivisen toiminnan suositukset: Pelastustoimen suositukset. Pelastusopisto 2025.

Suomen autokierrätys. 2026.

TOKEVA 2024 -ohjeisto. (versio: 1.2.0) Pelastusopisto 2024.

Työympäristön riskienhallinnan Malliratkaisut. Akkupalot: altistuminen, toiminta ja suojautuminen. Työterveyslaitos 2026.

Vaarallisten aineiden kuljetus tiellä (VAK-haku). Traficom, Liikenne ja viestintävirasto, 2026.

*Tämä turvallisuusohje on tehty Työsuojelurahaston tuella.*

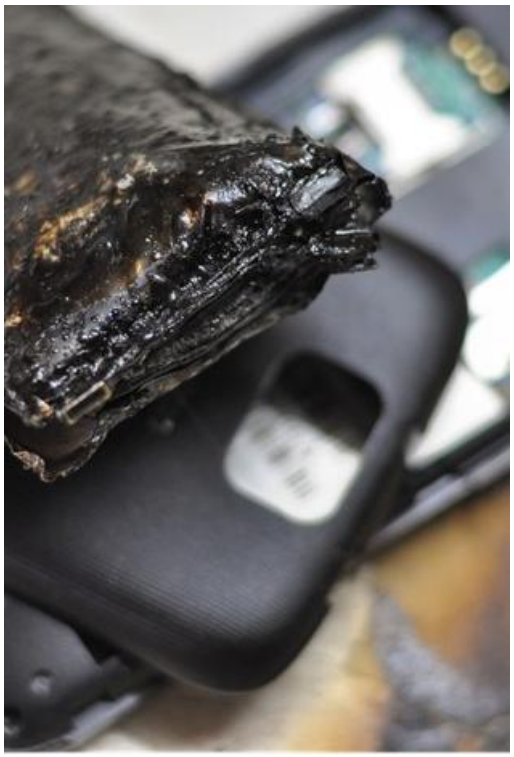
# Liite 4. Malliratkaisut

Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

# Litiumioniakkupalot ja niiden terveysvaikutukset

Litiumioniakkuja hyödynnetään laajasti työpaikoilla. Lisäksi akkujen määrä ja käyttökohteet lisääntyvät. Akkujen käyttöön liittyy kuitenkin riskejä, joihin työpaikoilla tulisi varautua.

Tutustu suosituksiin. Hallitse riskejä, paranna työturvallisuutta ja vähennä altistumista.



## Litiumioniakut

Litiumioniakkuja käytetään yhä useammin eri laitteissa ja kulkuneuvoissa, esimerkiksi tietokoneissa, kännyköissä, käsityökaluissa, autoissa ja trukeissa.

Litiumioniakkuja on eri kokoisia ja niiden kemialliset koostumukset vaihtelevat. Käyttötarkoitus määrittää akun koon ja kemian.

Pääosin litiumioniakut ovat käytössä turvallisia ja tehokkaita. Suurimmat riskit liittyvät palo- ja räjähdysvaaraan.

Litiumioniakkupaloa on vaikea sammuttaa, koska akku tuottaa itse paloon tarvittavan hapen, palavat aineet ja lämmön.

## Litiumioniakkupalo on vaarallinen tilanne

Litiumioniakkupalon kehittyminen on monen asian summa. Siihen vaikuttavat mm.

- akkukemia
- akun kapasiteetti ja varaustaso
- syttymistapa
- akun sisäiset suojaukset ja
- ympäröivät olosuhteet.

Litiumioniakkupalo voi alkaa akun mekaanisesta vaurioitumisesta, ylilämpenemisestä, ylilataamisesta, oikosulusta tai elektrolyytin vuodosta. Akkupalo voi syttyä ilman näkyvää syytä. Palo voi lisäksi alkaa uudelleen sammutuksen tai jäähdytyksen jälkeen. Litiumioniakkupaloa on vaikea sammuttaa, koska akku tuottaa itse paloon tarvittavan hapen, palavat aineet ja lämmön. Uudelleensyttymisen mahdollisuus tulee myös huomioida.

Kemiallinen hajoamisreaktio akkukemikaalien välillä muodostaa lämpöä sekä terveydelle vaarallisia kaasuja ja savuja. Reaktio voi edetä lämpökarkaamiseen, jolloin näkyy savua, kipinöitä, suihkuamalla palava liekki tai palavia heitteitä. Palon aikana palokaasut voivat purkautua räjähdysmäisesti.

Jossain akuissa voi olla suojauksia akkukennojen välillä. Tällöin akku ei hajoa yhtä herkästi ja palon eteneminen ei ole yhtä helppoa tai nopeaa.

Tutustu tarkemmin!
**Litiumioniakkujen OVA-ohje** ova.ttl.fi

TTL.FI/MALLIRATKAISUT

# Akkupalossa muodostuu syttyviä kaasuja ja myrkyllisiä palamistuotteita

| Akkupalossa vapautuu | Esimerkkejä | Terveysvaikutukset |
|---|---|---|
| Myrkylliset kaasut | Hiilimonoksidi, fluorivety, syaanivety, fosforyylifluoridi, fosforipentafluoridi | Välittömät henkeä uhkaavat vaikutukset |
| Syttyvät ja happea syrjäyttävät kaasut | Vety, metaani, eteeni, propyleeni | Palovammat, hapen puute |
| Ärsyttävät kaasut | Kloorivety, akroleiini, formaldehydi ja muut VOC-yhdisteet, typen oksidit | Silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireet |
| Syövyttävät yhdisteet | Fluorivetyhappo, fosforihappo, suolahappo, litiumhydroksidi | Silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytys- ja syövytysoireet |
| Hiukkaspäästöt | Savu ja noki (PAH-yhdisteet), metallit (esim. Al, Ni, Mn, Co, Li) | Vaikutukset hengitysteiden toimintakykyyn, ihoherkistyminen, syöpä- ja lisääntymisterveyden vaarat |

## Älä jää sammuttamaan akkupaloa itse

- Akkupalot etenevät erittäin nopeasti ja niissä muodostuu runsaasti helposti syttyviä kaasuja ja myrkyllisiä palamistuotteita.
- Etenkin pienemmissä suljetuissa tiloissa, esimerkiksi toimistossa tai kotona, kaasut voivat saavuttaa terveydelle haitallisen pitoisuuden jo kymmenissä sekunneissa. Akkupaloissa altistuneen henkilön tulee hakeutua terveydenhuoltoon.
- Tutustu myös muihin litiumioniakkupalojen ohjeisiin.



ASIANTUNTIJAMME

**Maija Leppänen**
erikoistutkija
030 474 3483
maija.leppanen@ttl.fi

**Pasi Huuskonen**
erityisasiantuntija
030 474 2303
pasi.huuskonen@ttl.fi

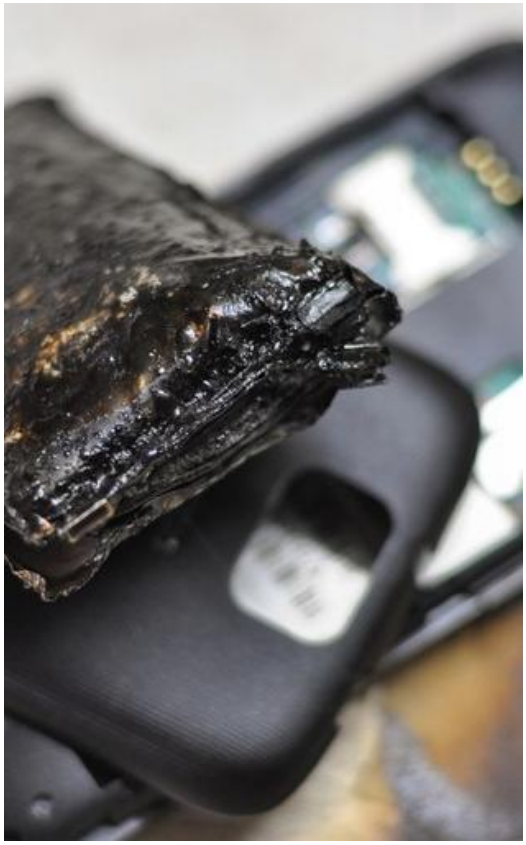
ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

# Käytä litiumioniakkuja turvallisesti! Varaudu työpaikallasi poikkeaviin tilanteisiin

Litiumioniakkujen käyttö kasvaa työpaikoilla. Akkujen käyttöön liittyy kuitenkin tulipalon vaara, johon työpaikoilla tulisi varautua.

Tutustu suosituksiin, joiden avulla voit arvioida riskejä ja parantaa työturvallisuutta työpaikalla.



## Arvioi riskit ja perehdytä työntekijät

- Muista, että akkuturvallisuus on osa työpaikan riskinarviointia.
- Kartoita, missä ja kuinka paljon akkuja käytetään ja ladataan työpaikallasi. Huomioi myös henkilöstön omassa käytössä olevat akut.
- Selvitä akkutyypit.

Arvioi mekaanisia vaurioita aiheuttavat riskit, esimerkiksi: putoaminen, lämpötilanvaihtelut, akun käyttö- ja latausympäristö ja varastoinnin olosuhteet.

Perehdytä työntekijät akkukäyttöisten laitteiden turvalliseen käsittelyyn. Muista myös päivittää säännöllisesti työpaikalla työskentelevien henkilöiden osaaminen. Korkeajänniteakkujen käsittelyyn tarvitaan erillinen koulutus.

Varmista, että kaikki alihankkijat ja yhteistyökumppanit käsittelevät akkuja turvallisesti.

Akkuturvallisuus on osa työpaikan riskinarviointia.

## Näin käytät litiumioniakkuja turvallisesti

### 1. Panosta laadukkaisiin akkuihin

Hanki laadukkaat ja suojatut akut luotettavalta toimijalta ja noudata toimittajan ohjeita. Akkukennojen välinen suojaus hidastaa tai estää palon etenemistä akun sisällä.

Akustonvalvontajärjestelmä (Battery Management System, BMS) parantaa akun turvallista lataamista ja purkamista.

- Järjestelmä tunnistaa akun varauksen ja lopettaa lataamisen, jos akku on liian kuuma tai täynnä.

## 2. Kiinnitä huomiota akun latausympäristöön ja lataustapaan

Akku tulisi aina ladata tilassa, jossa palon sattuessa on mahdollisimman vähän palavaa materiaalia. Suositeltava tila on akkukaappi tai erillinen turvallinen latauspaikka.

- Sijoita akkujen säilytys- ja latauspaikka kauas poistumisteistä.
- Älä tuki poistumisteitä.
- Pidä työpaikan tilat järjestyksessä.

Akun lataaminen on turvallisinta tilassa, jonka lämpötila on mahdollisimman lähellä akun käyttölämpötilaa.

- Lämpötilojen vaihtelu lisää akkupalon riskiä.
- Jatkuva lataaminen ja purkaminen voivat lisäksi vaurioittaa akkua.
- Ethän lataa akkua heti rasituksen jälkeen. Anna sen jäähtyä ensin.

Lataa akkuja vain laitteeseen tarkoitetulla laturilla ja niille tarkoitetulla latauspaikalla. Älä jätä akkuja latautumaan ilman vartiointia, esimerkiksi yön tai viikonlopun yli. Jos akun lataamista ei vartioi, poikkeustilanteisiin ei pysty reagoimaan.

Kun akku on tullut elinkaarensa päähän, kierrätä se oikein.

## 3. Käytä akkuja huolellisesti ja tunnista akun poikkeavat reaktiot

Ota huomioon akkuja käsitellessäsi, että suojaamattomat akut eivät kestä kovia iskuja. Kiinnitä huomiota akun lämpenemiseen:

- Akut lämpenevät ladattaessa aina jonkin verran.
- Ne lämpenevät myös purettaessa. Erityisesti jos purku on nopeaa.
- Jos akku kuumenee poikkeuksellisen paljon, se on saattanut saada esimerkiksi voimakkaan iskun. Lopeta akun käyttö.

Varo akkukennon läpäisyä. Akkukenno voi myös mennä rikki oikosulussa tai valmistusvian vuoksi.

Iskut voivat aiheuttaa akun muodonmuutoksen tai lämpökarkaamista. Silloin akun kuori voi hajota ja ilmaan levitä terveydelle vaarallisia kaasuja, savuja sekä usein myös kuumia roiskeita ja liekkejä.

Kun akku on vioittunut tai tullut elinkaarensa päähän, kierrätä se oikein. Väärin lajiteltu akku on riski jätteenkäsittelyketjussa.

### Anna akun levätä!

Hanki useampia yhteensopivia akkuja.

Näin voit pitää yhden akun käytössä, toisen latauksessa ja kolmannen ansaitussa levossa.





## 4. Varaudu akun poikkeaviin reaktioihin

Tarkkaile akkujen lämpötilaa tai käytä ns. akkupalohälyttimiä. Ne tunnistavat syntyviä kaasuja jo ennen tulipalon syttymistä.

Hanki ja sijoita riskialttiiden työpisteiden läheisyyteen välineitä, joilla alkavaa reaktiota voi hillitä tai hidastaa. Niitä ovat mm.

- vesiupotusaltaat, vesisangot ja –letkut
- välineet, joilla kuuman akun voi turvalliselta etäisyydeltä nostaa ja upottaa vesiastiaan.

**Älä sammuta litiumioniakkupaloa itse, vaan jätä sammuttaminen ammattilaisille.**

Jos työpisteessä käytetään paljon tai suurikokoisia akkuja, työntekijälle tulee valita suojavarustus, joka suojaa kuumuudelta ja kemikaaliroiskeilta.

Hanki akkujen poikkeavien reaktioiden varalle henkilönsuojaimia. Sijoita suojaimet lähelle riskikohteita tai anna ne työntekijälle kantoon. Suositeltavia henkilönsuojaimia ovat:

- pakohuppu, jossa ABEKP3 CO suodatin (EN 403, EN 14387), tai hengityksensuojaimena suodattava koko- tai puolinaamari ABEKP3 CO suodattimella (EN 136 tai EN 140)
- kemikaaleja ja kuumuutta kestävät, mekaanisilta vaaroilta suojaavat käsineet (EN ISO 21420, EN 388, EN 407, EN ISO 374-1: tyyppi B)
- Sähköä eristävät suojakäsineet (EN 60903) ja -jalkineet (EN ISO 50321-1) työpisteillä, joissa sähköturvallisuusriski on merkittävä.

## 5. Laadi ohjeistus työpaikalla toimimiseen poikkeavissa tilanteissa

- Huomioi akut pelastussuunnitelmassa.
- Harjoittele työpaikalla säännöllisesti työtiloista poistumista, akkupaloreaktiota hidastavien välineiden käyttöä ja reaktiota hidastavia toimintatapoja, henkilönsuojainten pukemista päälle oikein sekä ensiavun antamista ja altistuneen henkilön pesua.

Tutustu tarkemmin!

**Litiumioniakkujen OVA-ohje:**
ova.ttl.fi

**Pelastusopiston suosituksia litiumioniakkupalojen sammuttamiseen ja varautumiseen:**
pelastusopisto.fi/kirjasto-ja-tietopalvelut/julkaisut-ja-aineistot/muut-materiaalit

**Akkuturvallisuuden tarkistuslista:**
akkuturvallisuus.fi/lomakkeet-ja-dokumentit/

ASIANTUNTIJAMME

**Ilkka Kantasalmi**
johtava asiantuntija
030 474 2973
ilkka.kantasalmi@ttl.fi

**Kirsi Jussila**
erikoistutkija
030 474 6089
kirsi.jussila@ttl.fi

ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

TTL.FI/MALLIRATKAISUT

Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

# Toiminta litiumioniakkupalotilanteissa: Vältä altistumista!

Litiumioniakkujen käyttö kasvaa työpaikoilla. Akkujen käyttöön liittyy kuitenkin tulipalon vaara, johon työpaikoilla tulee varautua.

Tutustu ohjeisiin ja paranna työturvallisuutta työpaikalla.



## Toimi oikein palotilanteessa

- Varmista aina ensin oma ja muiden turvallisuus: arvioi tilanne, pelasta ja poistu paikalta. Sulje ovet perässäsi.
- Hälytä 112.
- Älä jää myrkyllisiin palokaasuihin sammuttamaan akkupaloa. Sammutustyöt ovat pelastusalan ammattilaisten tehtävä.
- Sisätiloissa paras ratkaisu on poistua mahdollisimman pian matalana liikkuen tai kontaten.
- Ulkona pakene mahdollisimman nopeasti tuulen yläpuolelle. Jos pystyt, pyri siirtymään alamaastoon. Älä mene suuntaan, johon savukaasut leviävät.
- Jos altistut savukaasuille tai havaitset oireita, hakeudu terveydenhuoltoon.

Kun poistut sisätiloista, voit käyttää suodattavaa hengityksensuojainta, koko- tai puolinaamaria (EN 136 tai EN 140) tai pakohuppua (EN 403, EN 14387) suodattimella ABEKP3 CO.

Pienissä tiloissa palokaasujen pitoisuudet voivat olla terveydelle vaarallisia kymmenissä sekunneissa. Palokaasujen leviämiseen ja pitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi akun kapasiteetti ja varausaste sekä tilan koko.

Arvioi tilanne, pelasta ja poistu kontaten. Hälytä 112.

Tutustu tarkemmin!
**Litiumioniakkujen OVA-ohje**
ova.ttl.fi

## Jos tilaan on turvallista jäädä, rajaa ja hidasta reaktiota

Toimi aina tilanteen mukaan. Muista, että palossa vapautuu myrkyllisiä kaasuja. Älä jää savukaasuihin. Esimerkiksi häkä on hajutonta, mautonta ja väritöntä. Fluorivety aiheuttaa ihon ja hengitysteiden syöpymis- ja ärsytysoireita.

**Jos akku reagoi poikkeavasti**, esimerkiksi lämpenee voimakkaasti tai savuttaa vähän:

- Jos se on turvallista, upota akku veteen, esimerkiksi vesiupotusaltaaseen, sankoon, lavuaariin tai tiskialtaaseen. Tee upotus turvallisen etäisyyden päästä ja käytä siirtämiseen työkalua.
- Voit jäähdyttää akkua vesiletkulla turvallisen etäisyyden päästä.
- Jos astian liikuttaminen on turvallista, vie akku vesiastiassa ulos turvalliseen paikkaan. Hälytä ammattilaiset hävittämään akku.
- Jos akku alkaa reagoida voimakkaasti ja muodostuu liekkejä, palavia heitteitä tai savua, poistu välittömästi. Soita 112.

Akku voi syttyä uudelleen palon sammuttamisen tai jäähdyttämisen jälkeen.

Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet Finnish Institute of Occupational Health

# Toimintaohjeet, toiminta-ajat ja vaaraetäisyydet

## Ohjeet sisä- ja ulkotilojen palotilanteisiin ja eri kokoisille akuille

| | **Huone, sisätila, pieni akku** (esim. puhelin, käsityökalu tai kannettava tietokone, kapasiteetti alle 0.2 kWh) | **Huone, sisätila, keskikokoinen akku** (esim. sähköpotkulauta tai –pyörä, kapasiteetti n. 0.2-1.0 kWh) | **Ulkotila tai katos, suuri akku** (esim. sähköauton akku, kapasiteetti <30-300 kWh) | **Ulkotila, erittäin suuri akusto** (energiavarastokontti n. 300-3000 kWh TAI energiakenttä, akkutehdas, varastohalli, yli 3000 kWh) |
|---|---|---|---|---|
| **Palotilanteessa** | • Arvioi tilanne, pelasta.<br>• Älä jää savuun.<br>• Jos turvallista, jäähdytä akkua tai rajaa paloa.<br>• Poistu matalana tai kontaten, jos reaktio voimistuu.<br>• Sulje ovet ja ikkunat.<br>• Hälytä 112. | • Arvioi tilanne, pelasta.<br>• Älä jää savuun.<br>• Jos turvallista, jäähdytä akkua tai rajaa paloa.<br>• Poistu matalana tai kontaten, jos reaktio voimistuu.<br>• Sulje ovet ja ikkunat.<br>• Hälytä 112. | • Pakene autosta, pelasta.<br>• Älä jää savuun.<br>• Siirry tuulen yläpuolelle.<br>• Hälytä 112.<br>• Jätä sammutus ammattilaisille.<br>• Noudata pelastushenkilöstön ohjeita. | • Pakene nopeasti tuulen yläpuolelle.<br>• Älä jää savuun.<br>• Hälytä 112.<br>• Jätä sammutus ammattilaisille.<br>• Noudata pelastushenkilöstön ja muiden viranomaisten ohjeita. |
| **Henkilönsuojaus** | • Suodattava hengityksensuojain tai pakohuppu<br>• Kemikaaleja ja kuumuutta kestävät suojakäsineet ja -vaatteet | • Suodattava hengityksensuojain tai pakohuppu<br>• Kemikaaleja ja kuumuutta kestävät suojakäsineet ja -vaatteet | • (pelastustoimen vastuulla) | • (pelastustoimen vastuulla) |
| **Palotilanteessa turvallinen poistumisaika*** | • Seisten alle 1 min<br>• Kontaten alle 5 min | • Seisten alle 10 s<br>• Kontaten alle 30 s | • Alle 30 s | |
| **Välitön vaara, Vaaraetäisyys palavasta akusta** | • Humahdus- ja räjähdysvaara vaara koko tilassa<br>• Roiskeita ja palavia heitteitä jopa useita metrejä<br>• Savukaasuja koko tilassa, altistuminen vähäistä* alle 0,5 m korkeudessa | • Humahdus- ja räjähdysvaara vaara koko tilassa<br>• Roiskeita ja palavia heitteitä jopa useita metrejä<br>• Savukaasuja koko tilassa, altistuminen vähäisempää* alle 0,5 m korkeudessa | • Välitön vaara väh. 25 m kaikkiin suuntiin**<br>• Saattaa aiheuttaa altistuneille oireita jopa 100-350 m etäisyydellä tuulen alapuolella* | • Välitön vaara väh. 50-100 m kaikkiin suuntiin, energiakentillä väh. 100-300 m**<br>• Saattaa aiheuttaa altistuneille oireita jopa 600 m etäisyydellä tuulen alapuolella, energiakentillä jopa 3000 m* |

*Poistumisajat ja vaaraetäisyydet perustuvat tieteellisen kirjallisuuden pohjalta tehtyyn mallinnukseen tai kirjallisuudessa raportoituihin mittaus- ja mallinnustuloksiin.
**Pelastusopiston ohje: Litiumioniakkupalojen operatiivisen toiminnan suositukset: Pelastustoimen suositukset

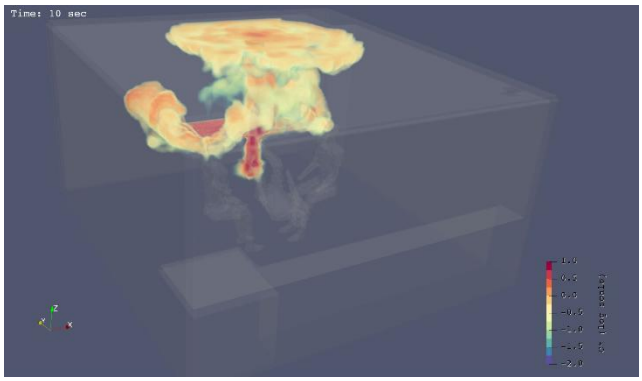
**Lue lisää**
Pelastusopiston suositukset pelastustoimelle ja työpaikoille
pelastusopisto.fi/kirjasto-ja-tietopalvelut/julkaisut-ja-aineistot/muut-materiaalit

Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

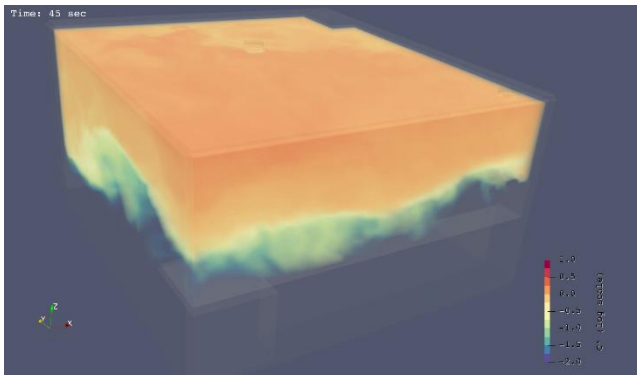
# Pienakkupalossa vapautuvien palokaasujen leviäminen huoneessa

Muista! Lattian rajassa altistut vähiten. Liiku matalana tai kontaten.

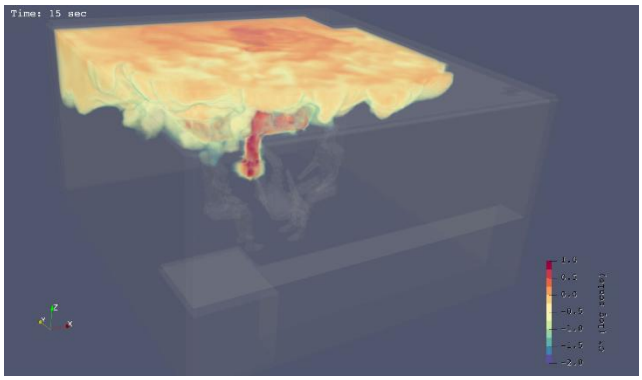
10 s



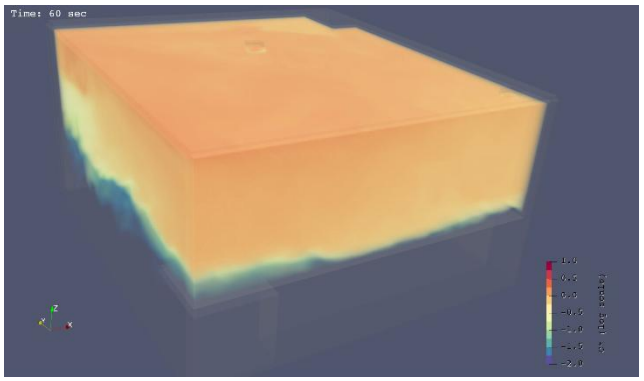

45 s



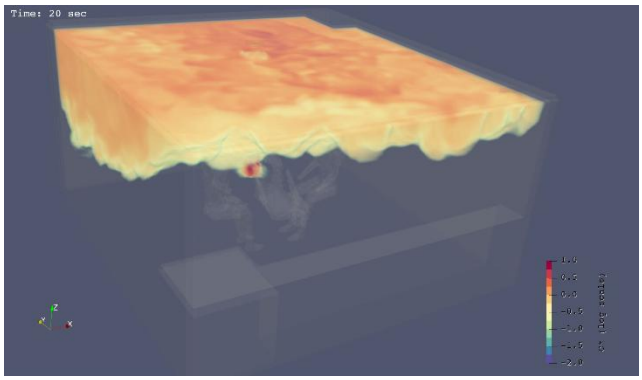

15 s



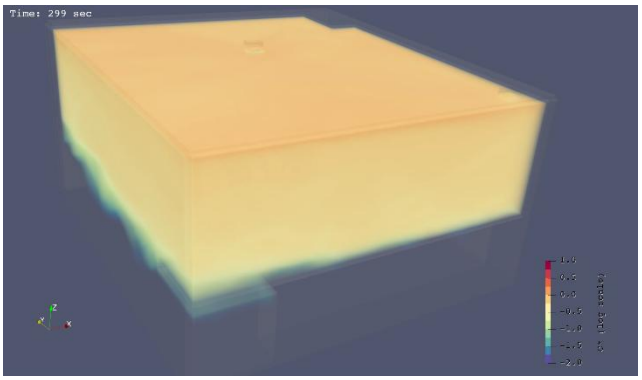

1 min




20 s




5 min




Kuvasarja näyttää palokaasujen pitoisuuden huoneessa viiden minuutin aikana pienakkupalon alkamisesta.

- Huoneen koko on noin 5 x 5 x 2,3 $m^3$.
- Punainen väri kertoo altisteen suhteellisen määrän. Tummempi punainen tarkoittaa suurempaa määrää.
- Lämpö ja palokaasut nousevat tilassa ensin ylöspäin.
- Sen jälkeen ne leviävät ylhäältä joka puolelle huonetta lukuun ottamatta lattian rajaa.

ASIANTUNTIJAMME

**Mikko Poikkimäki**
tutkija
030 474 3321
mikko.poikkimaki@ttl.fi

**Maija Leppänen**
erikoistutkija
030 474 3483
maija.leppanen@ttl.fi

ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

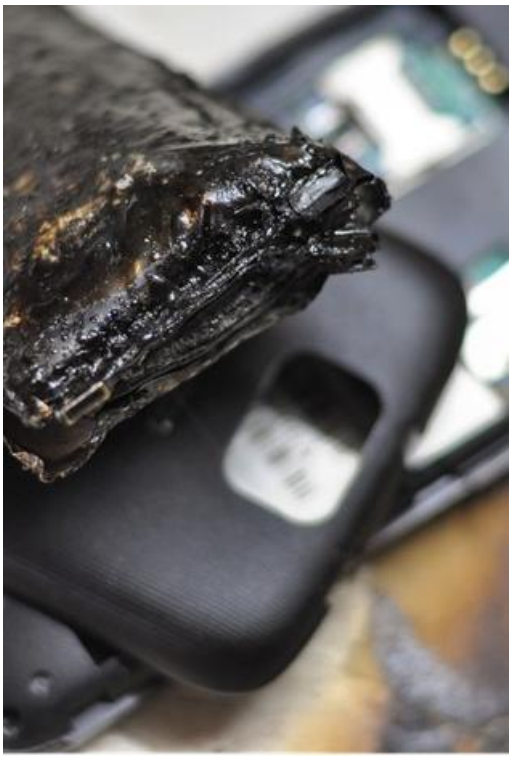
Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

TTL.FI/MALLIRATKAISUT

# Ensihoidon varautuminen akkupalotilanteisiin

Ensihoidon henkilöstö hoitaa litiumioniakkupalossa vahingoittuneita potilaita lähellä palopaikkaa tai voi pelastaa potilaita välittömästä vaarasta. Tällöin ensihoitaja voi itse altistua akkupalosta vapautuville yhdisteille. Lisäksi palossa vapautuneita kemiallisia yhdisteitä voi olla hoidettavan potilaan tai itse ensihoitajan vaatteiden pinnalla, hiuksissa tai iholla.

Tutustu, miten voit vähentää ensihoidon altistumista litiumioniakkupalotilanteessa.



## Ensihoito kohtaa akkupalossa kontaminoituneen potilaan

- Kun siirrät potilasta välittömästä vaarasta: Suojaa itsesi mahdollisuuksien mukaan, vältä savun hengittämistä ja poistu potilaan kanssa mahdollisimman nopeasti tuulen yläpuolelle, turvallisen etäisyyden päähän.
- Kun hoidat ja kuljetat potilasta: Varmista, onko potilaan saastuneet vaatteet riisuttu sekä iho ja hiukset puhdistettu ennen kuin ensihoitotoimet aloitetaan.
  - Jos potilas on puhdistettu, ei normaalista poikkeavaa suojautumista tarvita.
- Jos potilasta ei ole pesty, muista välittää tieto myös sairaalahenkilökunnalle.
- Pysy mahdollisuuksien mukaan suojautuneena, kunnes pääset puhdistamaan suojaimesi ja itsesi.

## Kun pelastat tai hoidat puhdistamatonta potilasta, suojaudu oikein

### 1. Suojaa kädet

- Kun hoidat potilasta, käytä kemikaalisuojakäsineitä (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B).
- Kun pelastat potilasta, käytä lisäksi mekaanisilta vaaroilta suojaavia käsineitä (EN 388).

### 2. Suojaa hengitys ja kasvot

- Käytä puolinaamaria (EN 140) ABEKP3 -suodattimilla ja tiiviitä suojalaseja (EN 166 tai EN ISO 16321-1) **tai**
- Kokonaamaria (EN 136) ABEKP3 -suodattimilla. Kokonaamari suojaa myös kasvot.
- Pelastustöissä käytä lisäksi häkäkaasulta suojaavaa ABEKP3 CO-suodatinta.

### 3. Suojaa koko keho

- Kun hoidat potilasta, käytä tyypin 4 (EN 14605) tai 5 kemikaalinsuojapukua (EN ISO 13982-1).
- Pelastustöissä tai märässä tilanteessa suositellaan 3+B tyypin kemikaalisuojapukua (EN 14605).

## Tutustu tarkemmin!

**Pelastusopiston suositukset: litiumioniakkupalojen sammutus ja varautuminen**
pelastusopisto.fi/kirjasto-ja-tietopalvelut/julkaisut-ja-aineistot/muut-materiaalit

**Litiumioniakut OVA-ohje**
ova.ttl.fi/litiumioniakut

**Työympäristön riskienhallinnan suositukset:** henkilönsuojainten valinta, pukeminen ja riisuminen
**ttl.fi/malliratkaisut**





ASIANTUNTIJAMME

**Ilkka Kantasalmi**
johtava asiantuntija
030 474 2973
ilkka.kantasalmi@ttl.fi

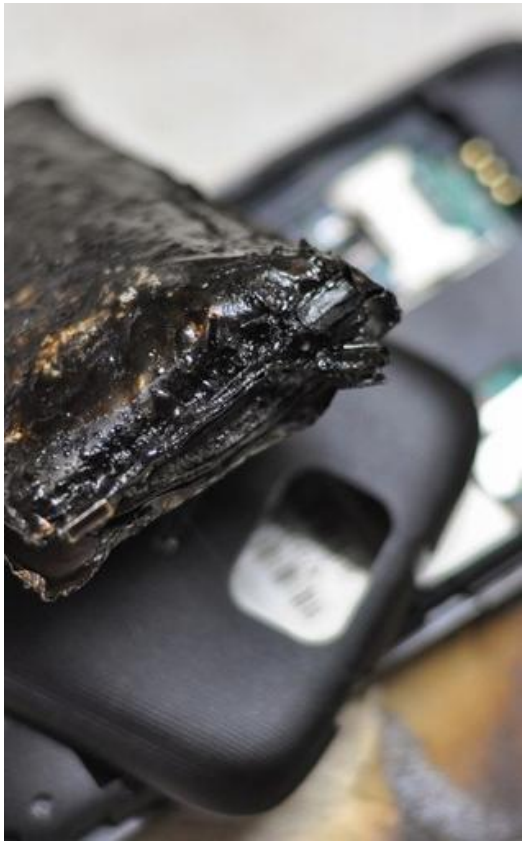
**Mikko Poikkimäki**
tutkija
030 474 3321
mikko.poikkimaki@ttl.fi

Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

# Altistuminen litiumioniakkupalon jälkeen ja työtilaan palaaminen

Litiumioniakkupalossa syntyville terveydelle haitallisille yhdisteille voi altistua myös palon päätyttyä palon jälkiraivaustehtävissä ja tilojen siivouksen aikana.

Tutustu ohjeisiin ja paranna litiumioniakkupalon jälkitoimien turvallisuutta.



## Jälkiraivauksessa ja puhdistuksessa voi altistua

Sisätiloissa syttyneen litiumioniakkupalon terveydelle haitalliset yhdisteet voivat kulkeutua pitkiä etäisyyksiä huoneesta toiseen.

- Savu, noki ja niihin sitoutuneet kemialliset yhdisteet säilyvät pitkään paloalueen pinnoilla.
- Lisäksi haitalliset yhdisteet voivat sisätiloissa kulkea ilmanvaihdon mukana rakennuksen muihin osiin ja imeytyä talon rakenteisiin.
- Jos oireita ilmaantuu, hakeudu terveydenhuoltoon.

**Muista!** Tulipalossa palaa aina myös muuta materiaalia. Se saattaa lisätä ihmisten altistumista haitallisille yhdisteille.

Litiumioniakkupalon jälkitoimiin vaikuttaa aina palon laajuus. Koska palotilanteet ovat aina erilaisia, yhtä yleisohjetta altistumisen välttämiseen ei ole olemassa.

## Ennen jälkiraivausta

- Tuuleta kaikki sisätilat huolellisesti ja vie akkukennot ulos turvalliseen paikkaan.
- Ota huomioon uudelleen syttymisen mahdollisuus.
- Tilaa ammattilaiset hävittämään akkukennot.
- Voit arvioida työtilojen välitöntä turvallisuutta palon jälkeen esimerkiksi monikaasumittareilla tai kaasuilmaisinputkilla, esimerkiksi häkä, fluorivety, kloorivety, typen oksidit, rikkiyhdisteet ja happi.

**Muista!** Akkukennoihin kosketuksissa ollut sammutusvesi on vaarallista jätettä.

ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

TTL.FI/MALLIRATKAISUT

Litiumioniakkupalon jälkeen pinnoilta kerätyistä nokijäämänäytteistä on mitattu kohonneita pitoisuuksia:

- Akkujen sisältämiä metalleja, mm. alumiini, nikkeli, mangaani, koboltti ja litium.
- Fluoridia, joka voi olla peräisin palossa vapautuneista monista fluoriyhdisteistä.
- PAH-yhdisteitä, joita syntyy yleisesti tulipaloissa.



## Suojaudu oikein litiumioniakkupalon raivaustöissä

1. **Käytä kemikaaleilta ja mekaanisilta vaaroilta suojaavia käsineitä** (EN ISO 374-1: tyyppi A tai B, EN 388).
2. **Käytä hengityksen- ja päänsuojainta.** Suositeltava suojain on TH3-luokan puhallinsuojain ABEKP3-suodattimella, jonka kasvo-osa on varustettu teollisuuskypärähyväksynnällä (TH3, EN 12941). Tämä henkilönsuojain suojaa hengityksen lisäksi kasvot ja pään.
3. **Käytä tyypin 5 kemikaalinsuojapukua** (EN ISO 13982-1). Jos raivauskohde on märkä, käytä tyypin 3 kemikaalinsuojapukua (EN 14605).
4. **Käytä laajemman palon raivauksessa turvajalkineiksi soveltuvia luokan S5-turvasaappaita** (EN ISO 20345).

Jos akkupalo on laaja-alainen tai se tapahtuu ahtaissa tiloissa, voi olla tarve käyttää vielä tehokkaampaa suojausta.

Harjoittele työpaikalla suojainten oikeaoppista pukemista ja riisumista.

# Työtiloihin palaaminen litiumioniakkupalon jälkeen

Varmista, että tiloja käyttävien henkilöiden on turvallista palata tiloihin palon puhdistamisen ja/tai tilojen saneerauksen jälkeen. Akkupalossa vapautuneet haitalliset altisteet ovat voineet levitä ilmastoinnin kautta muihin tiloihin ja imeytyä laajasti talon rakenteisiin. Sieltä altisteet voivat vapautua takaisin ilmaan.

## Arvioi tilojen puhtautta

- Tiloista voi kerätä esimerkiksi pintapyyhintänäytteitä tai mitata altisteiden ilmapitoisuuksia.
- Huom! Pelkkä fluoridin mittaus ei riitä, koska sitä voi päätyä pinnoille myös muista lähteistä.

## Muista työyhteisön hyvinvointi

- Litiumioniakkupalo voi aiheuttaa huolta työntekijöissä ja tilojen muissa käyttäjissä. Tulipalotilanne kannattaa käsitellä yhdessä viimeistään silloin, kun työtiloihin palataan takaisin.
- Kerro avoimesti palotilanteesta ja tehdyistä puhdistustoimista, jotta henkilöstö ja muut tiloja käyttävät henkilöt kokevat paluun turvalliseksi.
- Hyödynnä työpaikalla myös työterveyshuollon asiantuntemusta.



ASIANTUNTIJAMME

**Maija Leppänen**
erikoistutkija
030 474 3483
maija.leppanen@ttl.fi

**Ilkka Kantasalmi**
johtava asiantuntija
030 474 2973
ilkka.kantasalmi@ttl.fi

## Tutustu tarkemmin!

**Työympäristön riskienhallinnan suositukset: henkilönsuojainten valinta, pukeminen ja riisuminen** ttl.fi/malliratkaisut

**Litiumioniakut OVA-ohje** ova.ttl.fi

**Työhygieeniset mittaus-, näytteenkeräys- ja laboratorioanalyysipalvelut**
https://www.ttl.fi/palvelut/tyoymparisto

ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Työsuojelurahasto
Arbetarskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

**Litiumioniakkujen lisääntyvät määrät ja käyttökohteet lisäävät myös akkupalojen riskiä työpaikoilla. Tässä tutkimushankkeessa selvitettiin litiumioniakkupaloissa altistumista ja suojautumista, työpaikkojen varautumista ja toimintaa sekä turvallisia toimintaetäisyyksiä kirjallisuuden perusteella, haastatteluin sekä mallintamalla. Hankkeessa tuotettiin litiumioniakuille oma OVA-ohje sekä viisi käytännönläheistä malliratkaisua työpaikkojen käyttöön. Ohjeistukset auttavat työpaikkoja varautumaan litiumioniakkupaloihin liittyviin riskeihin, toimimaan akkupalotilanteissa altistumista välttäen ja edistämään siten työturvallisuutta.**

**Työterveyslaitos**
**PL 40**
**00251 Helsinki**
**www.ttl.fi**

**ISBN 978-952-391-252-6 (PDF)**

Työterveyslaitos
Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health