PELASTUSOPISTO

PSR
PALOSUOJELURAHASTO

Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet-hanke

Loppuraportti

Kimmo Rytkönen, Jari Mikkonen, Juha Laitinen, Ulla Lassi, Helena Mäkinen

Pelastusopisto

PSR
PALOSUOJELURAHASTO

Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet-hanke

Loppuraportti

Kimmo Rytkönen, Jari Mikkonen, Juha Laitinen, Ulla Lassi, Helena Mäkinen

Pelastusopisto
Kuopio 2025

Pelastusopisto
PL 1122
70821 Kuopio
www.pelastusopisto.fi

Pelastusopiston julkaisu
B-sarja: Tutkimusraportit
12/2025

ISBN 978-952-7620-01-4 (pdf)
ISSN 2342-9313 (pdf)

Pelastusopisto

Kimmo Rytkönen, Jari Mikkonen, Juha Laitinen, Ulla Lassi, Helena Mäkinen
Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet
Tutkimusraportti, 82 s., 7 liitettä (12 s.)
Joulukuu 2025

Tiivistelmä

Tämä tutkimusraportti on Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet (LION-) -hankkeen loppuraportti. Hanke kartoitti kansallisen ja kansainvälisen osaamisen litiumioniakkujen pelastustoiminnasta sekä niiden palo- ja työturvallisuusohjeistuksista akkujen elinkaaren eri vaiheissa. Hankkeessa muodostettiin kansainvälisiä yhteyksiä akkupaloasiantuntijoihin ja selvitettiin pelastajien oikeanlaista suojautumista litiumioniakkupaloissa sekä sitä, minkälaisia sammutustaktiikoita ja -tekniikoita suositellaan käytettävän. Litiumioniakkujen elinkaarta ajatellen kartoitettiin toimenpiteitä ja ohjeita, kuinka akkuja tulee varastoida, käyttää ja kierrättää niin kotitaloudessa kuin teollisuudessa. Litiumioniakkuenergiavarastoista ei ole tarkempaa lainsäädäntöä Suomessa, joten hankkeessa selvitettiin olemassa olevat kansainväliset ohjeet, säädökset ja standardit niiden osalta.

Kansallinen ja kansainvälinen tiedonhankinta toteutettiin verkkokyselyllä, etähaastatteluilla ja kohdevierailulla. Tietoa kerättiin myös sähköpostikeskustelujen avulla. Tietoa haettiin kansallisista ja kansainvälisistä tutkimuksista, seminaareista, webinaareista, julkaisuista sekä eri maiden ohjeista ja lainsäädännöstä. Kansainvälisten toimijoiden vastausten, tutkimusten ja toimijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella kaikilla ovat samat haasteet ja ongelmat litiumioniakkujen kanssa.

Pelastustoimessa on melko vähän varauduttu litiumioniakkupaloihin lukuun ottamatta paria pelastuslaitosta, joissa yksittäiset henkilöt ovat kehittäneet osaamista ja hakeneet tietoa esimerkiksi ulkomailta. Yksittäisiä ohjeita on luotu litiumioniakkuenergiavarastoja varten sekä sähköajoneuvojen sammuttamiseen ja siirtoon parkkihalleista, mutta varsinaista tarkempaa ohjeistusta sammutustaktiikkaan ja -tekniikkaan ei ole olemassa. Pelastajien suojautumista ja altistumisen vähentämistä litiumioniakkupaloissa ei ole erikseen tarkasteltu, vaikkakin siitä on ollut keskusteluja pelastuslaitoksissa. Monia kansainvälisiä ohjeita pelastustoimelle eri maissa on olemassa, ja niitä hyödynnettiin hankkeen suositusten laadinnassa. Myös teollisuudessa varautuminen litiumioniakkupaloihin on ollut vähäistä. Monessa yrityksessä kuitenkin on hankkeen kyselyn perusteella käyty keskustelua siitä, miten tulisi varautua, ja muutamalla yrityksellä on pyritty kehittämään ratkaisuja mahdollisen akkupalon hoitamiseen. Vastausten mukaan teollisuudella on selkeä tarve saada jäsennettyä tietoa litiumioniakkujen paloturvallisuudesta.

Hankkeessa koostettu tieto kirjoitettiin neljään eri suositukseen sekä pelastustoimelle suunnattuun vapaasti käytettävään Koulumaali-verkko-oppiympäristöön. Tutkitun tiedon mukaan litiumioniakkupalojen sammuttamiseen toimivin keino on vesi. Litiumioniakun lämpökarkaamisessa muodostuvat savukaasut ovat myrkyllisiä ja helposti syttyviä, ja niiden hallinta palotilanteissa on tärkeää altistumisen ja leimahdusriskien vähentämiseksi.

Avainsanat: akku, akusto, LION, litiumioni, litiumioniakkuenergiavarasto, sähköajoneuvo.

Pelastusopisto

Kimmo Rytkönen, Jari Mikkonen, Juha Laitinen, Ulla Lassi, Helena Mäkinen
Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet
Research report, 82 p., 7 appendix (12 p.)
December 2025

Abstract

This research report is the final report of the Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet (LION-) project. The project mapped national and international expertise in lithium-ion battery rescue operations and fire and occupational safety guidelines at various stages of the battery life cycle. The project established international contacts with battery fire experts and investigated the correct protection of rescuers in lithium-ion batteries, as well as what types of extinguishing tactics and techniques are recommended to be used. With the life cycle of lithium-ion batteries in mind, measures and instructions were mapped out on how to store, use and recycle batteries, both in the household and in industry. Since there is no specific legislation on lithium-ion battery energy storages in Finland, the project reviewed existing international guidelines, regulations, and standards.

National and international data was collected through online surveys, remote interviews, and site visits. Information was also collected through email discussions. Information was sought from national and international studies, seminars, webinars, publications, as well as guidelines and legislation in different countries. Based on the responses of international operators, studies, and discussions with operators, all face the same challenges and problems with lithium-ion batteries.

Rescue services have made minimal preparations for lithium-ion battery fires, with the exception of a couple of rescue departments where expertise has been developed by individuals and information has been sought from abroad, for example. Individual guidelines have been created for lithium-ion battery energy storage facilities and for extinguishing and moving electric vehicles from parking garages, but there are no specific guidelines for extinguishing tactics and techniques. Protection of rescuers and reduction of exposure in lithium-ion battery fires have not been specifically considered, although there have been discussions about it in rescue departments. There are many international guidelines for rescue services in different countries and they were used in drafting the project's recommendations. The industry had made limited preparations for lithium-ion battery fires. However, many companies had discussed how to prepare, and a few had attempted to develop solutions for dealing with a potential battery fire. According to the responses, the industry has a clear need for structured information on the fire safety of lithium-ion batteries.

The information compiled in the project was written into four different recommendations and a freely accessible course for rescue services in the Koulumaali online learning environment. According to the research, water is the most effective method to extinguish lithium-ion battery fires. The fumes produced when lithium-ion batteries overheat are toxic and highly flammable and controlling them in fire situations is important to reduce firefighters' exposure and flash fire risks.

ABI/INFORM: Battery, LION, lithium-ion, lithium-ion battery energy storage, electric vehicle.

Alkusanat

Litiumioniakkupalot ovat haaste kaikille akkujen kanssa toimiville niiden hankalan sammutettavuuden ja voimakkaan kaasujen muodostumisen takia. Akkuteknologia on viimeisten vuosikymmenien aikana kehittynyt huimasti eteenpäin ja markkinoille on tullut paljon akkuja sisältäviä laitteita. Litiumioniakut helpottavat päivittäisiä asioita, mutta muodostavat pienen paloturvallisuusriskin. Litiumioniakuista on saatavilla monenlaista tietoa. LION-hankkeella pyritään vaikuttamaan väärän tiedon poistumiseen ja luomaan oikeita käytäntöjä niin sammutukseen kuin akkujen käyttöön. Hankkeen avulla tutkimustietoa saatiin jaettua pelastuslaitoksille, yrityksille ja kotitalouksille.

Kiitos hankkeessa mukana olleille yrityksille ja yhteisöille, joilta saatiin arvokasta tietoa akkupaloihin varautumisesta, kierrättämisestä ja niihin liittyvistä haasteista. Kiitokset myös hankkeen haastatteluihin osallistuneille pelastuslaitoksille, jotta tämän hetken osaaminen pelastustoimen kentällä saatiin selvitettyä ja sen mukaan rakennettua suositukset ja koulutusmateriaalit.

Hankkeen kehittämistyöryhmällä, hankekumppaneilla ja ohjausryhmällä oli tärkeä osa tiedon koostamisessa ja suositusten muodostamisessa, kiitos asiantuntijuudesta, ohjauksesta ja monipuolisista keskusteluista hankkeen aikana.

Kiitos Palosuojelurahastolle hankkeen rahoittamisesta. Rahoituksen avulla muodostettiin jokaisen saataville suositukset ja pelastustoimelle vapaasti käytettävä koulutusmateriaali.

Kuopiossa 13.11.2025

Kimmo Rytkönen

Sisällys

1 Johdanto ... 9
2 Hanketyöskentely ... 10
3 Termit/käsitteet ... 12
4 Litiumioniakku ... 14
4.1 Litiumioniakkujen rakenne ... 14
4.2 Akkukemia ja tyypit ... 15
4.3 Käyttökohteet ... 17
4.3.1 Litiumioniakkuenergiavarastot ... 18
4.3.2 Kotiakkuenergiavarastot ... 18
4.3.3 Isot akkuenergiavarastot ... 19
4.3.4 Sähköajoneuvot ... 19
4.3.5 Pienet henkilökohtaiset laitteet ... 21
4.3.6 Kevyet sähköajoneuvot ja liikkumisvälineet ... 21
5 Litiumioniakkupalo ... 22
5.1 Akkujen yleisimmät syttymissyyt ... 23
5.2 Lämpökarkaaminen ... 24
5.3 Lämpökarkaamisessa muodostuvat kaasut ... 25
5.4 Kaasujen leimahdus ... 27
5.5 Akusta muodostuvat heitteet ... 28
5.6 Uudelleen syttyminen ... 29
5.7 Jännite isommissa akustoissa ... 29
5.8 Palokuorma ... 29
5.9 Akkupalon ympäristövaikutukset ... 30
6 Akkujen jälkikäsittely ja kierrätys ... 32
6.1 Palaneiden akkujen kuljetus ja kierrätys ... 32
6.2 Akkujen kierrätyslaitoksen turvallisuus ... 33
7 Tulevaisuuden akkuteknologiat ... 34
7.1 Johdanto ... 34
7.2 Kehittyneet, uuden sukupolven litiumioniakut ... 34
7.3 Natriumioniakut ... 36
7.4 Kiinteän elektrolyytin akut ... 37

7.5 Litiumrikkiakut ... 39
7.6 Litiumilma-akut ... 40
7.7 Tulevaisuuden anodimateriaalit ... 40
8 Lainsäädäntö, määräykset ja asetukset ... 41
9 Tutkimus ... 43
9.1 Litiumakkujen palo- ja työturvallisuustiedon kansainvälinen kartoittaminen ... 43
9.1.1 Kansainvälisen kyselyn tulokset ... 44
9.2 Litiumakkujen palo- ja työturvallisuustiedon kansallinen kartoittaminen ... 45
9.2.1 Pelastustoimen haastattelu ... 45
9.2.2 Teollisuuden haastattelu ... 47
10 Kemiallinen altistuminen, suojavarusteet ja varusteiden puhdistaminen litiumioniakkupaloissa ... 49
10.1 Altistuminen ... 49
10.2 Tekniset torjuntatoimenpiteet ... 50
10.3 Pelastajien suojavarusteet ... 51
10.4 Palontutkijoiden suojautuminen ... 53
10.5 Muiden palopaikalla toimijoiden suojautuminen ... 53
10.6 Varusteiden huolto ... 53
10.6.1 Henkilösuojainten huolto ... 53
10.6.2 Muiden varusteiden huolto ... 54
10.7 Pelastajan altistumisen arviointi litiumioniakkupalon jälkeen ... 54
11 Sammutustaktiikka ja -tekniikka ... 56
11.1 Sammutustaktiikka ... 56
11.2 Sammutustekniikka ... 56
11.3 Litiumioniakkuenergiavarastojen sammutuslaitteistot ... 57
11.4 Litiumioniakkupalo kotitaloudessa ... 58
12 Suositukset ja Koulumaali-kurssi ... 60
Lähteet ... 61
Liitteet ... 68
Liite 1: Pelastustoimen haastattelu kysymykset ... 68
Liite 2: Teollisuuden haastattelu kysymykset ... 70
Liite 3: Sähköajoneuvopalon ohjekortti, avoin tila ... 72
Liite 4: Sähköajoneuvopalon ohjekortti, suljettu tila ... 73
Liite 5. Litiumioniakkuenergiavarastopalon ohjekortti ... 74

Liite 6. Litiumioniakkupalot kuljetuksen aikana tai varastoitaessa 75
Liite 7. Akkuenergiavaraston kohdekorttimalli 76

1 Johdanto

Riippuvuutta fossiilisiin polttoaineisiin pyritään vähentämään maailmanlaajuisesti, ja yhtenä vaihtoehtona maapallon ilmaston turvaamiseksi ovat litiumioniakut. Ne ovat kevyitä ja niiden energiatiheys on suuri, minkä vuoksi niiden käyttö on merkittävästi lisääntynyt. Litiumioniakun historia ulottuu 1960 luvun lopulle, jolloin ilmestyi ensimmäisiä litiumioniakkuja. Akkuja jatkokehitettiin 1970- ja 1980-luvuilla, ja ensimmäisen kaupallisen litiumioniakun julkaisivat vuonna 1991 Sony ja Asahi Kasei. Jo ennen tätä oli kaupallistettu useampi litiummetalliakku. Akkujen kehitys on jatkunut nopeasti, ja niiden suorituskykyä ja kokoa on parannettu. (Liu ym., 2021; Reddy ym., 2020.)

Litiumioniakkujen kehityksen ohella paloturvallisuusriskit ovat lisääntyneet valmistajien tavoitellessa akkujen tehokkuutta ja mahdollisimman pientä kokoa. Energiatehokkaammat akut ovat epävakaampia, ja niiden hallitsematon lämpötilan nousu eli lämpökarkaaminen saattaa käynnistyä matalammissa lämpötiloissa kuin vähemmän energiaintensiivisten akkujen, kuten LFP (litiumrautafosfaatti). Toisaalta on myös esitetty arvioita, että huonommin syttyvät LFP-akut tuottaisivat enemmän kaasuja kuin vastaavat NMC-akut, ja täten niiden päästöt olisivat suurempia (Perttula ym., 2023, s.39). Akkujen varausasteella on merkitystä niiden palokäyttäytymisen kannalta, koska suuremmassa varauksessa akku muodostaa lämpökaratessaan enemmän helpommin räjähtäviä kaasuja, ja sen vuoksi se on käytökseltään aggressiivisempi (Grönlund ym., 2023, s.6).

Akkuteknologian kehittyminen vauhdikkaasti eteenpäin on tuonut haasteita pelastustoimelle. Ymmärrys ja tietämys akkuteknologiasta on hajanaista ja monin paikoin vajaata. Yhtenäisiä koulutusmateriaaleja ei ole ollut saatavilla, tai ne, mitä on ollut, eivät ole tavoittaneet kaikkia pelastusalan kentällä. Lainsäädännön hitaan kehittymisen vuoksi akkuenergiavarastot ovat tuoneet uusia riskejä, joita ohjeistusten ja suositusten avulla on pyritty vähentämään.

Hankkeen tarkoituksena oli koostaa yhteen kansainvälinen ja kansallinen tietämys litiumioniakuista ja niiden paloista sekä palojen ehkäisystä. Kansainvälisesti toimintaohjeita on luotu monessa eri maassa niin sähköajoneuvopalojen sammuttamisesta kuin akku ja akkuenergiavarastojen sijoittamisesta ja rakenteellisesta palosuojauksesta. Kansainvälinen osaaminen ja tieto huomioon ottaen kaikilla toimijoilla on samat haasteet löytää parhaat ratkaisut ja toimintamallit akkupalojen sammuttamiseen. Suomessa on luotu yksittäisiä epävirallisia ohjeistuksia, ja niiden mukaan osa pelastuslaitoksista on toiminut litiumioniakkupalojen tapahduttua tai antaessaan ohjeita litiumioniakkujen paloturvallisuudesta. Akkupaloja on Suomessa tutkittu melko vähän, mutta asiantuntijuutta kuitenkin löytyy pelastusalalta ja eri korkeakouluista. Kansainvälisesti ja kansallisesti on havahduttu pelastajien oikeanlaisen suojautumisen tärkeyteen litiumioniakkupaloissa.

LION-hankkeessa tehdyt koulutusmateriaalit ja suositukset mahdollistavat tiedon saannin litiumioniakuista monipuolisesti. Pelastajien suojautumiseen, sammutustaktiikkaan ja -tekniikkaan on tehty selkeät toimintamallit, joita pelastuslaitokset voivat hyödyntää omassa toiminnassaan ja ohjeistuksiensa luomisessa. Onnettomuuksien ehkäisyksi tarjotaan päätöksen tekoon ja asiakkaiden ohjaamiseen monipuolisesti tietoa lainsäädännön ja standardien koosteesta. Hankkeen materiaalista saa myös neuvoja ja vinkkejä siitä, mitä tulee ottaa huomioon akkuja varastoitaessa, kierrätettäessä ja akkuenergiavarastoja sijoitettaessa.

2 Hanketyöskentely

Hankkeen toteutuksesta ovat pääasiassa vastanneet pelastusopistolta suunnittelija Kimmo Rytkönen, tutkija Jari Mikkonen ja erikoistutkija Juha Laitinen. Pelastusopiston tutkijaryhmä on suorittanut varsinaisen kansallisen ja kansainvälisen tiedonhankinnan sekä tiedon koostamisen suosituksiin, että koulutusmateriaaleihin.

Hankkeessa hankekumppaneina olivat Varsinais-Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitokset. Hankekumppaneiden vastuulla oli toteuttaa sovitut osa-alueet suosituksista ja yritysvierailuista tiedonhankinnan aikana sekä tiedon jalkauttamisen omalla alueellaan hankkeen lopulla ja sen jälkeen. Hankekumppaneiden avulla suoritettiin Koulumaali-kurssin pilotointi ennen kurssin virallista julkaisemista. Hankekumppaneiden vastuuhenkilöt olivat Varsinais-Suomen pelastuslaitokselta kehittämispäällikkö Mika Lankinen ja palomestari Miikka Jylhä sekä Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitokselta apulaispalopäällikkö Antti Hanhineva.

Hankkeessa koottiin kehittämistyöryhmä, joka toimi hankkeen varsinaisten tekijöiden tukena omalla asiantuntijuudellaan. Kehittämistyöryhmän jäsenten avulla luotiin kansainvälisiä kontakteja litiumioniakkupalon asiantuntijoihin. Hankkeessa muodostetut suositukset tehtiin yhteistyössä kehittämistyöryhmän kanssa.

Kehittämistyöryhmän jäseninä toimivat seuraavat:

- Helena Mäkinen, suojavaatetusasiantuntija
- Iiro Wennberg, paloesihenkilö, Pirkanmaan pelastuslaitos
- Joonatan Suosalo, palomestari, Helsingin kaupungin pelastuslaitos
- Karoliina Meurman, ylitarkastaja, Tukes
- Marko Hassinen, FT, yliopistonlehtori
- Mikko Saastamoinen, paloesihenkilö
- Ulla Lassi, professori, Oulun yliopisto
- Vesa Linja-aho, DI, sähköturvallisuuden asiantuntija, kirjailija

Hankkeen aikana pidettiin yksittäisten henkilöiden tai koko kehittämistyöryhmän kanssa etäkokouksia riippuen käsiteltävästä asiasisällöistä. Varsinaisia työpajoja järjestettiin sovitusti kaksi kertaa Pirkanmaalla.

Hankkeen ohjausryhmä koottiin hankkeen alussa pelastustoimeen liittyvistä eri organisaatioista. Ohjausryhmän kokouksia pidettiin viisi kertaa hankkeen aikana. Ohjausryhmä antoi ohjausta ja kommentteja hankkeen suosituksiin sekä hankkeessa muodostetun tiedon jakoon. Ohjausryhmän jäsenistö välitti tietoa hankkeesta eteenpäin ja mahdollisti hankkeen tuloksien esittelemisen erilaisissa tilaisuuksissa.

Hankkeen ohjausryhmän jäseninä toimivat seuraavat (varajäsen suluissa):

- Pekka Lindholm, Pelastusopisto
- Jyri Leppäkoski (Clas Tallberg), Hyvinvointialueyhtiö Hyvil Oy / Pelastustoimi
- Tommi Luhtaniemi, sisäministeriön pelastusosasto
- Joel Kauppinen (Olli Korteniemi), Suomen Palopäällystöliitto
- Antti Virta (Heikki Mäkitalo), Suomen Sopimuspalokuntien Liitto ry
- Lauri Lehto (Kari Telaranta), Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö
- Ilkka Mustakangas (Jari Aalto), Suomen pelastusalan ammattilaiset

- Sebastian Holm (Miikka Jylhä), Varsinais-Suomen pelastuslaitos
- Hannu Timonen (Marko Sipola), Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitos

3 Termit/käsitteet

Akku (pakkaus)	Energiavarastoyksikkö, joka koostuu useista moduuleista.
Anodi	Negatiivinen elektrodi. Litiumioniakuissa tyypillisimmin pieniä grafiittihiukkasia.
BESS	Akkuenergian varastointijärjestelmä.
Elektrolyytti	Termi on sähkökemiassa moniselitteinen, sillä se voi viitata epäorgaaniseen suolaan (esim. LiPF6) tai suolaan + orgaaniseen liuottimeen.
Erotin	Litium- ja heksafluorofosfaatti-ioneja läpäisevä muovikalvo, joka estää anodia ja katodia koskettamasta toisiaan ja aiheuttamasta oikosulkua.
IDLH	Välittömästi vaarallinen elämälle tai terveydelle.
Ikääntyminen	Kapasiteetin menetys, joka johtuu esimerkiksi litiumionien häviämisestä tai anodien irtoamisesta. Tämä voi johtua käytöstä (lataus ja purku) ja/tai avoimessa virtapiirissä olemisesta (ajanmukainen vanheneminen).
Interkalaatio	Kemiallinen reaktio, jossa vierasmolekyyli asettuu kerrosrakenteisen isäntämolekyylin rakenteeseen aiheuttaen rakenteen muutoksen.
Kasvihuonekaasu	Kasvihuonekaasut, kasvihuoneilmiötä aiheuttavat kaasut, esim. CO_2 ja CH_4.
Katodi	Positiivinen elektrodi. Se koostuu tyypillisesti litiumista ja metallioksideista: esim. litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidista (LiNi0,33Mn0,33Co0,33O2).
Kenno	Akun pienin yksikkö.
Kiinteän elektrolyytin välivaihe (Solid Electrolyte Interphase, SEI)	Suojakerros, joka muodostuu anodin päälle ensimmäisen latauksen aikana LiPF6:n ja liuottimen pelkistymisen seurauksena ja joka estää elektrolyytin räjähdysmäisen hajoamisen ja lämpökatkon.
Käytön loppu (End of life, EoL)	Piste, jossa akku lakkaa soveltumasta nykyiseen käyttötarkoitukseensa.
Lataustila (SoC)	Varastoidun varauksen määrä verrattuna täyttä varausta vastaavaan varaukseen ilmaistuna prosentteina.
LCO-katodi	Litiumkobolttioksidi, $LiCoO_2$.
LFP-katodi	Litium-rauta(rauta)fosfaatti, $LiFePO_4$.
LIB	Litiumioniakku.
Liuotin	Orgaanisten karbonaattien seos, joka sisältää etyleenikarbonaattia, koska se on välttämätön SEI:n muodostumiselle. Etyleenikarbonaatti on huoneenlämmössä kiinteä aine, ja muut karbonaatit ovat välttämättömiä viskositeetin vähentämiseksi.
LMO-katodi	Litium-mangaanioksidi LiMnO2.

LTO-anodi	Litiumtitaanioksidi Li4 Ti5 O12.
NCA-katodi	(litium) Nikkeli-koboltti-alumiinioksidi, esim. LiNi 0,8 Co 0,15 Al 0,05 O_2; LiNi 0,8 Co 0,15 Al 0,05 O_2.
NMC-katodi	(litium) Nikkeli-mangaani-kobolttioksidi, esim. LiNi 0,33 Mn 0,33 Co 0,33 O_2 (NMC 111); LiNi0,6 Mn0,2 Co0,2O_2 (NMC 622).
PAH-yhdisteet	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt; koostuvat fuusioituneista aromaattisten renkaiden molekyyleistä. Aiheuttavat syöpää.
Terveydentila (SoH)	
	Täyteen ladattuna tällä hetkellä varastoituneen varauksen määrä verrattuna varauksen määrään (täyteen ladattuna) kennon tai akun käyttöiän alussa ilmaistuna prosentteina.
VOC-yhdisteet	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet; yhdisteet, joilla on korkea höyrynpaine ja alhainen vesiliukoisuus.
Wh	Energian yksikkö, wattitunti, kWh = kilowattitunti.
HF	Vetyfluoridi
HCL	Vetykloridi
Biomonitorointi	Biomonitoroinnilla mitataan kokonaisaltistumista kemikaaleille.
PNEC	Predicted No-Effect Concentration (ennustettu ei-vaikuttava pitoisuus) on arvo, joka kuvaa kemikaalin pitoisuutta, jonka ei odoteta aiheuttavan haitallisia vaikutuksia ympäristölle.

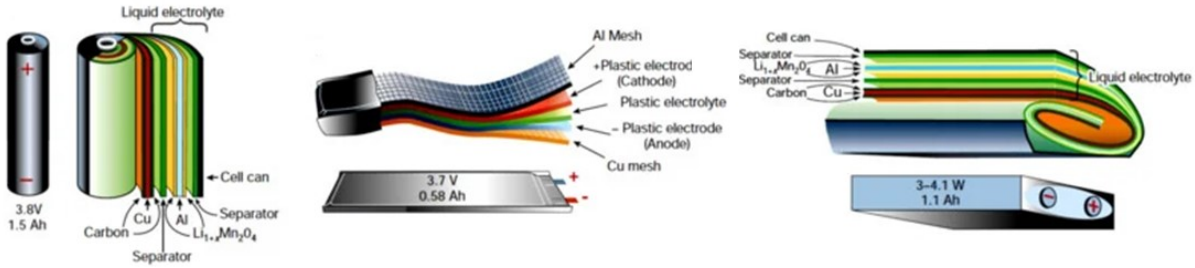
4 Litiumioniakku

Litiumioniakku on sähkökemiallinen sekundaari paristo, jossa on orgaaninen liuotinelektrolyytti sekä positiiviset ja negatiiviset elektrodit, jotka käyttävät interkalaatioyhdistettä, johon litiumia varastoidaan (Tepa-termipankki, 2025). Litiumioniakussa litium on ioni-muodossa.

Litiumioniakkuja käytetään nykyään laajasti kannettavissa elektronisissa laitteissa, sähköisissä ajoneuvoissa ja sähköenergian varastoimisessa. Litiumioniakkujen alkukehitys tapahtui 1970-luvulla interkalaatioelektrodien löytämisen jälkeen. Akkuteknologiaa kehitettiin eteenpäin seuraavilla vuosikymmenillä, ja markkinaehtoinen tuotanto alkoi 1990-luvulla akkuteknologian kehityttyä riittävän tuotantokelpoiseksi ja turvalliseksi. Litiumioniakun eduksi voidaan lukea sen hyvä kyky sitoa ja luovuttaa energiaa painoonsa nähden sekä edullinen hinta. Litiumioniakkujen hinnat ovat laskeneet tuotantotekniikan kehittyessä sekä kysynnän noustessa. (Liu ym., 2021; Reddy ym., 2020.)

4.1 Litiumioniakkujen rakenne

Litiumioniakkukennot voidaan luokitella ulkomuodoltaan ja rakenteeltaan kolmeen tyyppiin: sylinteri, pussi ja prismaattinen (kuva 1). Yksittäisen litiumioniakkukennon nimellisjännite on noin 3,2–3,7 volttia. Jännitettä saadaan nostettua yhdistämällä kennoja sarjaan, jolloin esimerkiksi sarjaan kytketyistä neljästä 3,7 V:n kennosta saadaan 14,8 V:n jännite. Akun kapasiteettia saadaan kasvatettua kytkemällä kennoja rinnakkain, jolloin kahdesta 1,5 Ah:n kennosta saadaan 3 Ah. Yksinkertaisuudessaan akkukenno sisältää suojakuoren, nestemäisen tai geelimäisen elektrolyytin, erottimen, virtakiskot, anodin ja katodin (kuva 1.). Erottimen tarkoituksena on pitää katodi ja anodi erillään ja estää oikosulkumahdollisuus sekä päästää ioneja kulkemaan puolelta toiselle. (DGUV, 2024, s. 11–14, Grönlund ym., 2023.)



Kuva 1. Akkukennojen rakenne.

Akku voi sisältää yhden kennon, kuten esimerkiksi puhelimen akussa, tai useamman kennon, esimerkiksi sähköauton ajovoima-akussa. Akku voi muodostua useammasta akkumoduulista, jotka sisältävät suuria määriä akkukennoja (kuva 2). Kennojen koko voi vaihdella eri akkukennotyypeissä, jolloin suuremmalla akkukennon koolla mahdollistetaan isompi kapasiteetti.

Kuva 2. Auton ajovoima-akku ja sähköpotkulaudan akku.

Toimiakseen turvallisesti litiumioniakut tarvitsevat suojauspiirin, akunhallintajärjestelmän (BMS) tai akunhallintayksikön (BMU). Suojapiirit voivat estää ylilatausta tai ylipurkausta. *Akunhallintajärjestelmä/-yksikkö toteuttaa sisäisen virran, jännitteen ja lämpötilan mittauksen, hälytyksen, ja se sisältää mahdolliset suojakomponentit virrankatkaisua varten akun turvallisen käytön varmistamiseksi* (SFS-EN IEC 62485-5:2021, s.29). Akusto voi sisältää myös erillisen lämmönhallintajärjestelmän (TMS) sekä energianhallintajärjestelmän (EMS). Akkukennojen ja moduulien rakenteessa voi olla myös ”paineventtiilejä” tai heikennettyjä kohtia, joista lämpökarkaamisen aikana muodostuvat kaasut pääsevät purkautumaan. (Grönlund ym., 2023, s.7; Ghiji ym., 2021.)

4.2 Akkukemia ja tyypit

Litiumioniakun kennon kemiallinen koostumus muodostuu taulukon 1 mukaisista aineista. Kennoissa käytetty elektrolyytti on pääsääntöisesti helposti syttyvää ja kaasuuntuu sekä hajoaa lämmön vaikutuksesta. Akkukennot sisältävät esimerkiksi fluoria ja fosfaattia, jotka muuttuvat lämpökarkaamisen aikana kemiallisen reaktion myötä haitallisiksi aineiksi. Kennoissa litium on ioni-muodossa eikä se ole samalla tavalla reaktiivinen esimerkiksi veden kanssa kuin litiummetalli. Taulukossa 1 on esitetty litiumioniakkujen tyypillisimmät aineet (Ruiz ym., 2018). Ruizin ja kumppaneiden (2018) tutkimuksen jälkeen kennojen kemiallinen koostumus on muuttunut, minkä vuoksi taulukko 1 ei ole kattava. Akkukennojen valmistajat eivät ilmoita kaikkia kemikaaleja, mitä heidän valmistamissaan akkukennoissa on, koska se on yksi kilpailukeinoista akkumarkkinoilla.

Taulukko 1. Litiumioniakkujen tyypillisimmät komponentit (Ruiz ym., 2018).

KOMPONENTTI	AINE
KATODI	LMO, LCO, NCA, NMC, LFP, ECP:t
ANODI	Grafiittiset hiilet, kovahiilet, synteettinen grafiitti, LTO, tinapohjaiset metalliseokset, piipohjaiset metalliseokset
ELEKTROLYYTTISUOLA	LiPF6, LiClO4, LiAsF6, LiCF3SO3, LiBF4
ELEKTROLYYTTILIUOTIN	DMC, EC, DEC, PC, ɣ-GBL, RTIL:t
PALONESTOAINEET	HMPN, TMP, TFP
GEELIN LÄHTÖAINE	PEO, PAN, PVDF, PMMA, PTFE
SIDEAINE	PVDF, SBR, lasikuitu, CMC, ACM
EROTIN	Polypropeeni, polyeteeni, selluloosapaperi, kuitukankaat, keraamiset materiaalit.

LMO: litium-mangaanioksidi, LCO: litiumkobolttioksidi, NCA: litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi, NMC: litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi, LFP: litium-rautafosfaatti, ECP:t: elektronisesti johtavat polymeerit, LTO: litium-titanaatti, PVDF: Polyvinyylideenifluoridi, SBR: styreenibutadieenikumi, CMC: karboksimetyyliselluloosa, ACM: akrylaattityyppinen kopolymeeri, RTIL:t: huoneenlämpöiset ioniset nesteet, DMC: dimetyylikarbonaatti, EC: etyleenikarbonaatti, DEC: dietyylikarbonaatti, PC: propyleenikarbonaatti, ɣ-GBL: gammabutyrolaktoni, HMPN: heksametoksisyklotrifosfaseeni, TMP: trimetyylifosfaatti, TFP: tris(2,2,2,2-trifluorietyyli)fosfaatti, PEO: polyeteenioksidi, PAN: polyakryylinitriili, PMMA: polymetyylimetakrylaatti, PTFE: polytetrafluorieteeni.

Yleisesti akkukemioista puhuttaessa tarkoitetaan joko katodilla tai anodilla käytettyjä metalleja, esimerkiksi NMC (nikkeli, mangaani, koboltti ja litium). Jokaisella akkukemialla on omat ominaispiirteensä, joiden perusteella soveltuvia käyttökohteita kullekin akkukemialle on olemassa. Tietyn akkukemian akuissa voi olla vaihtelua aineiden määrissä, kuten esimerkiksi NMC-akut, joita on olemassa useampia ja joiden erot ovat yleensä nikkelin, mangaanin ja koboltin suhteissa, esimerkiksi NMC622 tai NMC811. Yleensä kemiat ilmoitetaan lyhennettynä. (Battery University, 2025.)

Ominaispiirteiden erona akkukemioissa on niiden jännite, ominaisenergia, latausnopeus, purkausnopeus, käyttöikä, lämpökarkaamisen rajalämpötila ja kustannukset (kuva 3). Ominaispiirteiden mukaan voidaan tiettyä akkukemiaa suosia tietyissä käyttökohteissa. Kuitenkin kustannukset voivat vaikuttaa akkukemian valintaan, vaikka toinen akkukemia olisi turvallisempi tietyssä käyttökohteessa. Yleisimpiä tällä hetkellä käytössä olevia akkukemioita ovat NMC ja LFP, mutta esimerkiksi NCA-akkuja on käytössä sähköautojen ja sähkökuorma-autojen akuissa. (Battery University, 2025.)

Kuva 3. Akkukemioiden ominaispiirteet (Battery University, 2025).

4.3 Käyttökohteet

Litiumioniakkuja käytetään monissa eri laitteissa ja sovelluksissa (kuva 4 ja 5). Sovelluksesta ja laitteesta riippuen litiumioniakkujen koot vaihtelevat pienistä kennoista useisiin akustoihin. Litiumioniakut helpottavat päivittäistä toimintaa tuomalla sähköenergiaa sinne, missä sille on tarve. Akkujen ja muun teknologian kehityksen myötä käyttökohteet ovat lisääntyneet vuosikymmenien aikana. Esimerkiksi nykypäivän sähköautot eivät vielä olisi olleet mahdollisia samankaltaisessa mittakaavassa vuosituhannen alussa.

Kuva 4. Akkukäyttöisiä laitteita

Kuva 5. Akkuenergiavarasto

4.3.1 Litiumioniakkuenergiavarastot

Litiumioniakkuenergiavarastot ovat lisääntyneet maailmanlaajuisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Litiumioniakut soveltuvat niiden ominaisuuksien vuoksi hyvin sähköenergian varastointiin niin pienessä kuin isommassakin mittakaavassa. Akkuenergiavarastoja voidaan toteuttaa kiinteästi tai siirrettävinä. Siirrettävillä akkuenergiavarastoilla voidaan sähköä toimittaa sinne, missä kiinteitä sähköverkkoyhteyksiä ei ole olemassa tai ei ole järkevää rakentaa. Tarve sähkön varastoinnille on kasvanut sähköntuotannon muutoksien myötä. Uusiutuvan energian tuottaminen ei ole tasaista, ja sen vuoksi energian varastoinnille on tarve. Akkuenergiavarastoja voidaan hyödyntää esimerkiksi tuuli- tai aurinkovoiman sähköenergian talteen ottamiseen. Pienimuotoisemmin esimerkiksi vapaa-ajan mökkien sähkön tarve voidaan toteuttaa aurinkopaneelien ja akkuenergiavaraston avulla, jolloin sähköenergiaa saadaan talteen myöhempää tarvetta varten. (Tiainen ym., 2024, s. 9–12.)

Akkuenergiavarastoja voidaan hyödyntää oman sähköntuotannon varastointiin sekä laajemmin sähkönkulutuksen tasaamiseen tai sähköjakelun varmistamiseen. Niitä voi käyttää myös hetkellisenä varavoimana generaattorin sijaan. Akkuenergiavarastojen käyttötarkoituksia on useita: kysyntäjousto, reservi, häiriömarkkinat, huipputehojen leikkaus, pientuotannon ylijäämän varastointi, nano- ja mikroverkot, taloyhtiöiden kuormanhallinta ja varavoima. Yhtä kaikki tarkoituksena on taata sähkön saannin tasaisuus ja toimintavarmuus. (Tiainen ym., 2024, s. 9–12.)

Litiumioniakkuenergia varastojen sijoittamisesta ei ole suoraan lainsäädäntöön perustuvaa ohjausta. Täysin kattavaa ohjeistusta ja lainsäädäntöä on vaikea luoda, koska kokemuksia kerätään vasta litiumioniakkupaloista ja akkuenergiavarastojen rakenteet poikkeavat toisistaan. Yleisesti voidaan ajatella, että akkuenergiavarastoja ei tule sijoittaa tiloihin, joissa asutaan tai oleskellaan pääsääntöisesti. Sisälle asennettujen akkuenergiavarastojen tulee olla helposti pelastustoimen saavutettavissa hätätilanteissa. Myös ympäristövaikutukset tulee arvioida sijoittamispaikkaa suunnitellessa. Tarkemmin suosituksia akkuenergiavarastojen sijoittamisesta löytyy Pelastusopiston LION-hankkeen Litiumioniakkuenergiavarastojen sijoittaminen ja paloturvallisuus -suosituksesta (Rytkönen ym. A, 2025, s. 9,18) sekä Sähkötieto Ry:n julkaisemasta ST-käsikirja 42:sta (Tiainen ym., 2024, s. 19–28.)

4.3.2 Kotiakkuenergiavarastot

Kotitalouksille on tullut monia mahdollisuuksia hankkia oma akkuenergiavarasto, jollaisia yleensä markkinoivat esimerkiksi aurinkoenergiaratkaisuja myyvät toimijat, mutta myös teleoperaattorit. Aiemmin on markkinoitu perinteisempiä lyijyakkuratkaisuja kesämökkiolosuhteisiin, mutta yhä enemmän markkinoille on tullut erilaisia kotiakkuenergiavarastoja, joissa käytetään litiumioniakkuja. Ennen vuotta 2023 ei ollut erikseen tarkempaa lainsäädäntöä EU tasoisesti litiumioniakkuenergiavarastoista, ja aiemmat laitteet ovat noudattaneet voimassa olevia sähköalan standardeja. Nykyinen EU:n akkuasetus velvoittaa toimijoita tuomaan markkinoille testattuja järjestelmiä ja toimittamaan niiden mukana ohjeet, miten toimitaan akuston häiriötilanteissa (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1542).

Suomalaisessa lainsäädännössä ei vielä tarkemmin huomioida paloturvallisuuden tai rakentamisen osalta akkuenergiavarastoja. Pelastuslaitokset ovat soveltaneet voimassa olevaa lainsäädäntöä rakennusvalvonnan kanssa antaessaan lausuntoja paloturvallisuudesta. Rakennuksen paloturvallisuudessa on noudatettava ympäristöministeriön asetusta rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017). Asennuksia ja käyttöä ohjeistavat esimerkiksi sähköalan standardit SFS 6000, SFS 6002 ja SFS-EN IEC 62485.

Kotitalouksien akkuenergiavarastoja hankitaan yleensä aurinkopaneeleiden yhteyteen säilömään paneelien tuottamaa sähköenergiaa. Akkuenergiavarastoja voidaan käyttää kotitalouksissa sähkön hinta piikkien tasoittamiseksi, sähkökatkosten aikana ja reservimarkkinoilla. Reservimarkkinoille yksittäisellä kotiakkuenergiavarastolla ei voi liittyä, vaan toiminta on jonkin isomman toimijan järjestämää, ja siihen kuuluu useampi eri kotiakkuenergiavarasto.

Sijoittamisesta kiinteistöön ei ole olemassa selkeää ohjeistusta, mutta esimerkiksi ruotsalaisen RISE:n raportissa jo vuonna 2023 suositeltiin 20 kWh:n tai yli olevien akkuenergiavarastojen sijoittamista erilliseen palo-osastoon (Grönlund ym., 2023, s. 17). Paloturvallisuuden kannalta kotitalouksien akkuenergiavarastojen sijoittaminen ulos erilleen kiinteistöstä on suositeltavaa. Kotitalouksien akkuenergiavarastoja ei tule asentaa tiloihin, joissa asutaan, työskennellään tai oleskellaan jatkuvasti. Haastavia paikkoja ovat myös kellarit tai tilat, joissa ei ole riittävää ilmanvaihtoa. Ruotsissa astui voimaan vuoden 2025 heinäkuun alussa lainsäädäntö, joka ohjaa yli 20 kWh:n akustojen sijoittamista omaan palo-osastoon, ja tilasta on oltava oma savunpoisto (Boverkets författningssamling BFS 2024:7). Ruotsissa on myös suositus sijoittaa akusto erilliseen rakennukseen.

Kotiakkuenergiavarastopalojen määrä on Suomessa vielä vähäinen, mutta palojen määrä voi tulevaisuudessa lisääntyä laitteistojen yleistyessä. Suomessa on palanut muutamia yksittäisiä kotiakkuenergiavarastoja parin viime vuoden aikana. Tarkempaa tietoa siitä, mistä palot ovat johtuneet, ei ole vielä saatavilla.

4.3.3 Isot akkuenergiavarastot

Litiumioniakkuenergiavarastoja on kokoluokaltaan monen kokoisia pienistä ”tynnyrin” kokoisista isoihin useiden merikonttien kokoisiin. Parin viime vuoden aikana maaseuduille on tullut yhä enemmän kontti-kokoluokan energiavarastoja, joiden tarkoitus on lisätä esimerkiksi sähköverkon toimintavarmuutta ja kysyntäjoustoa. Näistä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.3.1. Pääsääntöisesti isommat energiavarastot on sijoitettu kauemmaksi asutuksesta, mutta poikkeuksia on. Esimerkiksi muutamaan kauppakeskukseen on Suomessa asennettu akkuenergiavarastoja. Kuitenkaan tiiviiseen kaupunkiympäristöön niitä ei suositella asennettavan tai rakennettavan. Isojen akkuenergiavarastojen lämpökarkaamisen jäähdyttäminen ja tulipalon sammutus on hankalaa tai usein miltei mahdotonta. Akkuenergiavarastojen palot muodostavat riskejä, joita pelastustoimi ei välttämättä halua ottaa sammutustyössä vastaan. Sen vuoksi on tärkeää, että pelastuslaitokset ovat mukana rakennusvaiheen paloturvallisuuden suunnittelussa.

Isommat akkuenergiavarastokentät tehdään yleensä lähellä sähköverkon solmukohtia, jotta rakennuskustannukset ja akkuenergiavarastoista saatavat hyödyt ovat paremmat. Uusiutuvan energiatuotannon, esimerkiksi tuulivoimaloiden tai aurinkopaneelikenttien, yhteyteen on myös viimeisen parin vuoden aikana tullut akkuenergiavarastoja, jotta mahdollinen ylituotanto saadaan talteen. Laajemmissa uusiutuvan energian rakennushankkeissa on käytetty ympäristövaikutusten arviointia (YVA-menettely), jossa pyritään huomioimaan kaikki mahdolliset riskitekijät (Ymparisto.fi). Kuitenkaan akkuenergiakonttien tai pienempien akkuenergiavarastokenttien ympäristövaikutuksia ei arvioida, minkä vuoksi niitä voi sijaita ympäristön kannalta herkissäkin paikoissa. Tämä tulee esimerkiksi pelastustoimen huomioida palotapahtuman yhteydessä.

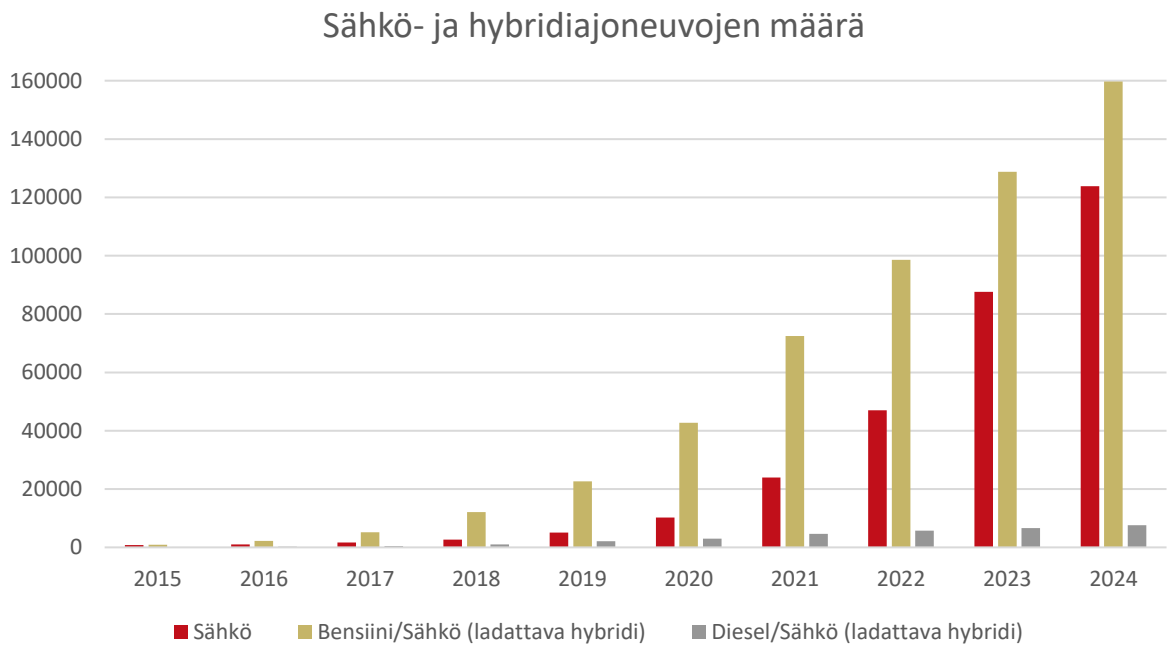
4.3.4 Sähköajoneuvot

Sähköajoneuvon määrä on lisääntynyt huomattavasti viime vuosina (kuva 6). Sähköisiin ajoneuvoihin kuuluvat kaikki rekisteröidyt ja yli 25 km/h kulkevat ajoneuvot. Sähköisten ajoneuvojen lisääntyessä

latauspaikkojen määrä on lisääntynyt, erityisesti Etelä-Suomessa. Sähköajoneuvojen myötä voidaan vaikuttaa päästöjen vähentämiseen, kun polttomoottoriajoneuvojen käyttö vähentyy. Kaupunkiolosuhteissa sähköajoneuvot soveltuvat hyvin liikkumiseen. Rajoitteena sähköajoneuvon käytölle on ollut aiemmin niiden lyhyt toimintamatka verrattuna polttomoottoriajoneuvoon, latauspaikkojen vähyys ja Suomen talviset olosuhteet, mutta tekniikan kehittyessä ja latausinfran lisääntyessä rajoitteet ovat vähentyneet. Sähköajoneuvot ovat tuoneet mukanaan muutoksia ihmisten ajotottumuksiin, joiden myötä matkustaminen jaksottuu. (Motiva, ei pvm.)

Suomessa julkinen liikenne on sähköistynyt viime vuosina paljon kilpailutusten myötä. Monesti kilpailutuksissa on ehtona mahdollisimman vähäpäästöiset ratkaisut, joiden kautta esimerkiksi kaupunkiliikenteessä sähköiset linja-autot ovat lisääntyneet. Raskaan liikenteen sähköistyminen valtateillä on hitaampaa, mutta siinäkin sähkökuorma-autojen määrä on lisääntynyt lyhyemmillä matkoilla. Kaupunkien tavarajakeluliikenteessä sähköistymistä on tapahtunut, koska lyhyemmät matkat mahdollistavat sähköllä liikkumisen. Vähäpäästöisyyden vaatimukset ovat saaneet aikaan myös taloudellisia kannustumia yrittäjille.

Myös laiva- ja lauttaliikenteessä on nähtävillä sähköistymistä niin päästövähennysvaatimusten kuin fossiilisen polttoaineen hinnan nousun myötä, joskaan Suomessa ei vielä kovinkaan suurissa määrin. Lyhyessä lauttaliikenteessä Euroopassa sähköistyminen on ollut yksi kehityksen suunta.



Kuva 6. Sähkö- ja hybridiajoneuvot Manner-Suomessa vuosina 2015–2024 (Traficom, ei pvm.).

Sähköajoneuvopaloja Suomessa on tapahtunut vähän verrattuna moneen muuhun Euroopan maahan. Mahdollisina syinä voi olla vielä tämän hetken sähköautokanta sekä se, että sähköautokanta on vielä uudehkoa. Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto Pronton mukaan vuodesta 2020 lähtien vuoden 2025 kesäkuuhun mennessä sähkö- ja hybridiautoja on Suomessa palanut noin 22 kpl (Pronto, ei pvm.). Tilastoista ei selviä tarkemmin palojen varsinaisia syttymissyitä. Polttomoottoriajoneuvot palavat Suomessa huomattavasti useammin jo johtuen niiden määrästä sekä ajoneuvojen iästä ja kunnosta. Norjassa sähkö- ja hybridiautoja saman

ajanjakson aikana oli palanut 279 kpl (DSB, 2025). Sähköisten ajoneuvojen lisääntyessä ja ikääntyessä palotapahtumien määrä Suomessa tulee nousemaan jossakin määrin.

4.3.5 Pienet henkilökohtaiset laitteet

Litiumioniakkuja on käytössä monissa erilaisissa laitteissa. esimerkiksi partakoneet, puhelimet, kannettavat kaiuttimet, radio-ohjattavat laitteet, terveys- ja hyvinvointivälineet jne. Pienemmissä laitteissa akut ovat yleensä yksikennoisia. Monet näistä laitteista ovat rakenteeltaan sen kaltaisia, että niiden akut ovat sisäänrakennettuja. EU:n akkuasetus vaatii tulevaisuudessa, että kuluttajalla on mahdollisuus vaihtaa laitteen akkua, elleivät laitteen turvallisuus tai muut ominaisuudet vaadi kiinteää asennusta (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1542).

Näiden laitteiden paloturvallisuusriskit ovat suuremmat kuin esimerkiksi sähköautojen tai akkuenergiavarastojen. Pienemmät laitteet ovat alttiimpia kolhuille, niitä ladataan useammin ja ne joutuvat olosuhteisiin, jotka voivat vaikuttaa akkujen toimintaan. Pienemmissä akkukäyttöisissä laitteissa turvallisuusominaisuudet tai laatu eivät välttämättä ole niin hyvät kuin isommissa laitteissa. Pienten akkukäyttöisten laitteiden laadussa on suuria eroja valmistajien kesken. Laitteiden tulee kuitenkin täyttää EU:n asettamat sähkölaitteiden vaatimukset. Huomioitavaa on, että vaikka pieniä akkukäyttöisiä sähkölaitteita on käytössä paljon, niiden määrään nähden palotapahtumien määrä on vähäinen. Suomessa tapahtuneet Prontoon tilastoidut palot vuosilta 2020 ja 2024 ovat kuvassa 7.

4.3.6 Kevyet sähköajoneuvot ja liikkumisvälineet

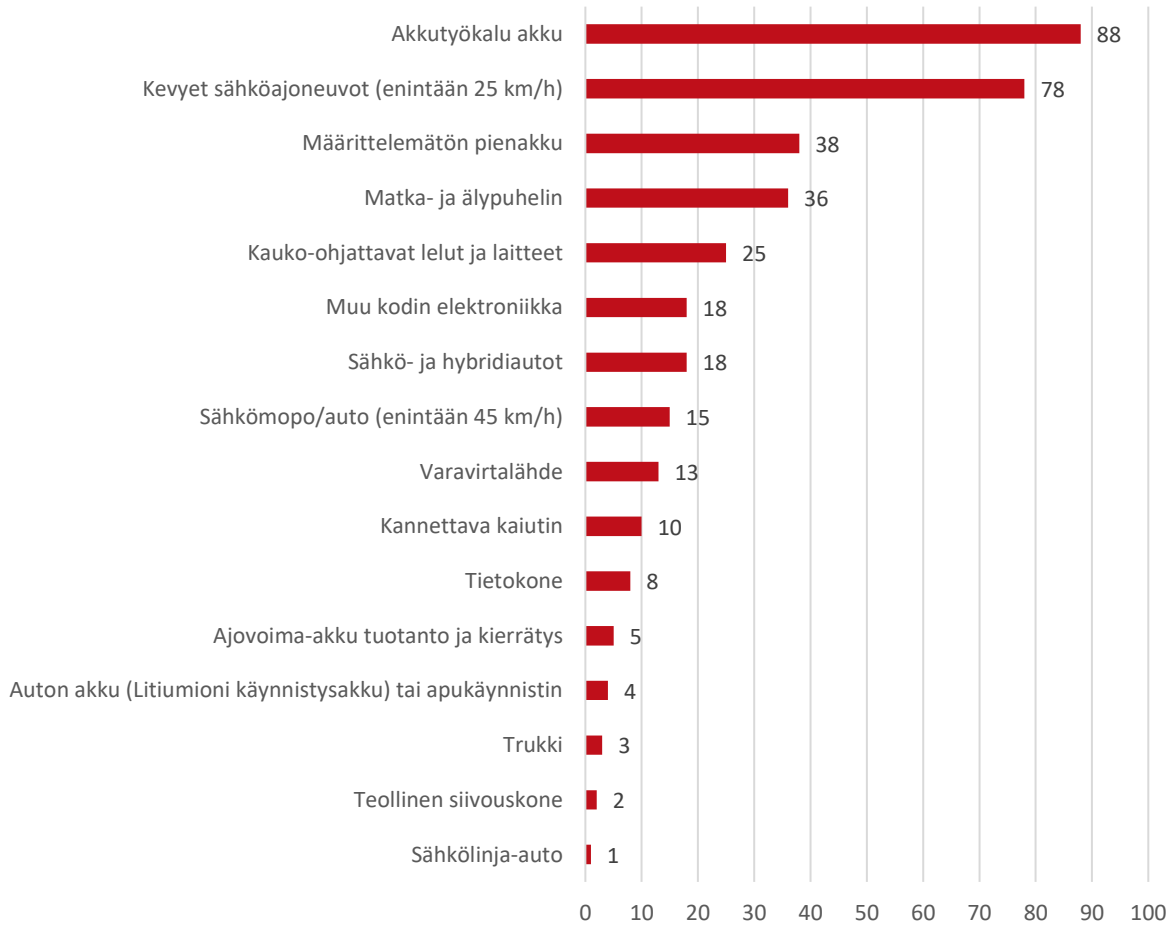
Sähköpyörien, -potkulautojen ja -skoottereiden sekä muiden erilaisten kevyiden liikkumisvälineiden määrä on lisääntynyt akkuteknologian kehittyessä. Parhaimmillaan sähköavusteisen pyörän akku riittää avustamaan pyöräilijää 100 kilometriin asti tai jopa enemmän. Kevyet sähköiset ajoneuvot helpottavat ihmisten liikkumista kaupungeissa ja vähentävät esimerkiksi fossiilisilla polttoaineilla kulkevien ajoneuvojen käyttöä. Erityisesti työmatkapyöräily on lisääntynyt polkupyörien sähköistymisen myötä.

Sähköiset liikkumisvälineet voidaan esimerkiksi jakaa jalankulkua avustaviin tai korvaaviin liikkumisvälineisiin, kevyisiin sähköajoneuvoihin ja sähköavusteisiin tai moottorilla varustettuihin pyöriin. Laitteilla on erilaisia rajoituksia niiden ominaisuuksien vuoksi. Myös lainsäädäntö voi vaihdella. Jalankulkua avustavat laitteet ovat yleensä alle 15 km/h liikkuvia laitteita ja 25 km/h asti kulkevien laitteiden katsotaan olevan kevyitä sähköajoneuvoja. (Tukes, 2025a.)

Paloturvallisuudeltaan nämä kevyet sähköiset liikkumisvälineet ovat riskialttiimpia. Laitteet ovat alttiita myös kolhuille ja olosuhteiden muutoksille. Vuodesta 2020 lähtien vuoden 2025 kesäkuuhun mennessä on ollut 109 näiden laitteiden paloa. Laitteet ovat arvokkaita, ja niitä monesti säilytetään asuintiloissa. Erityisesti huoneiston eteisessä säilyttämisestä voi muodostua ongelmia hätäpoistumiselle lämpökarkaamisen alettua. Laitteita ladataan usein valvomatta, jolloin lämpökarkaaminen, savun muodostus ja palo ehtivät kasvaa suureksi, ennen kuin siihen reagoidaan. Akut ovat monikennoisia ja lämpökarkaaminen voi olla nopeaa ja erittäin reaktiivista, minkä vuoksi ensisijainen keino on poistua tilasta. Suositeltavaa on ladata näitä laitteita tilassa, jossa on hyvä ilmanvaihto, vähäinen palokuorma ja palovaroitin. Sopiva paikka olisi ladata ulkona erillään rakennuksesta, mutta se ei aina ole mahdollista.

5 Litiumioniakkupalo

Litiumioniakkupaloja tapahtuu akkujen määrään nähden vähän vielä tällä hetkellä Suomessa, mutta palot ovat jo aiheuttaneet taloudellisesti suuria vahinkoja. Pelastustoimen resurssi- ja tilastointijärjestelmä Pronton mukaan vuonna 2024 tapahtui 120 tilastoitua litiumioniakkupaloa. Kokonaisuudessaan vuosien 2020–2024 aikana paloja oli 349. Litiumioniakkupaloja on tapahtunut enemmänkin, koska pelastustoimea ei välttämättä hälytetä pienempiin paloihin, jotka eivät leviä muihin rakenteisiin tai eivät aiheuta muuta vaaraa. Tilastosta voi puuttua myös tapauksia, joita ei ole tulkittu akkupalojen aiheuttamaksi. Suurimman osan paloista Suomessa vuosina 2020–2024 aiheuttivat erilaiset akkutyökalut (88 kpl) ja sähköpolkupyörät sekä sähköpotkulaudat (78 kpl). Sähköpolkupyörien ja -skuuttien paloja tapahtuu Suomessa vielä vähän muihin maihin verrattuna, esimerkiksi Isossa-Britanniassa Lontoossa tapahtui vuonna 2023 tammikuun ja elokuun välillä 116 sähköpolkupyörän ja sähköpotkulaudan paloa (London Fire Brigade, 2024; Pronto, ei pvm.; kuva 7.).



Kuva 7. Litiumioniakkupalot Suomessa vuosina 2020–2024 (Pronto, ei pvm.).

Vuosina 2020–2024 tapahtui 7 sähköautopaloa. Sähköajoneuvot ovat olleet enemmän osallisina pelastustoimentehtävillä kuin aikaisemmin, mutta kaikissa tapahtumissa akku ei ole ollut osallisena palotapahtumaan. Ruotsissa paloi 40 sähkö/hybridiautoa vuonna 2024 (MSB, 2025). Australialaisen EV Fire Safe (2024) -sivuston mukaan vuodesta 2010 lähtien vuoteen 2024 sähköautopaloja on

tapahtunut maailmalla noin 490, ja näistä 78 oli tapahtunut latauksen aikana. EV Fire Safe (2024) seuraa tietoja, jotka ovat julkisesti saatavilla tai joita sivuston seuraajat ilmoittavat, ja tämän vuoksi Ev Fire Safen ylläpitämä tilasto ei ole kattava.

Sähköajoneuvojen palojen lisääntyminen globaalisti on todennäköistä ajoneuvojen lisääntyessä sekä ikääntyessä. Akkujen ja järjestelmien laatu vaikuttaa mahdolliseen palotapahtumien esiintymiseen, samoin käyttöympäristö ja käyttäjät. Valmistajat pyrkivät kehittämään yhä paremmin toimivia ratkaisuja, joiden myötä lämpökarkaamisen riskiä pienennetään.

Litiumioniakun lämpökarkaamisen aiheuttaman palon voimakkuuteen vaikuttaa akun koko, lataustaso sekä se, mitä materiaalia se sytyttää ympärillään palamaan akusta vapautuvien kaasujen syttyessä. Palojen esiintymiseen vaikuttaa vahvasti se, miten litiumioniakkuja käytetään ja säilytetään ja miten laadukkaita ne ovat.

5.1 Akkujen yleisimmät syttymissyyt

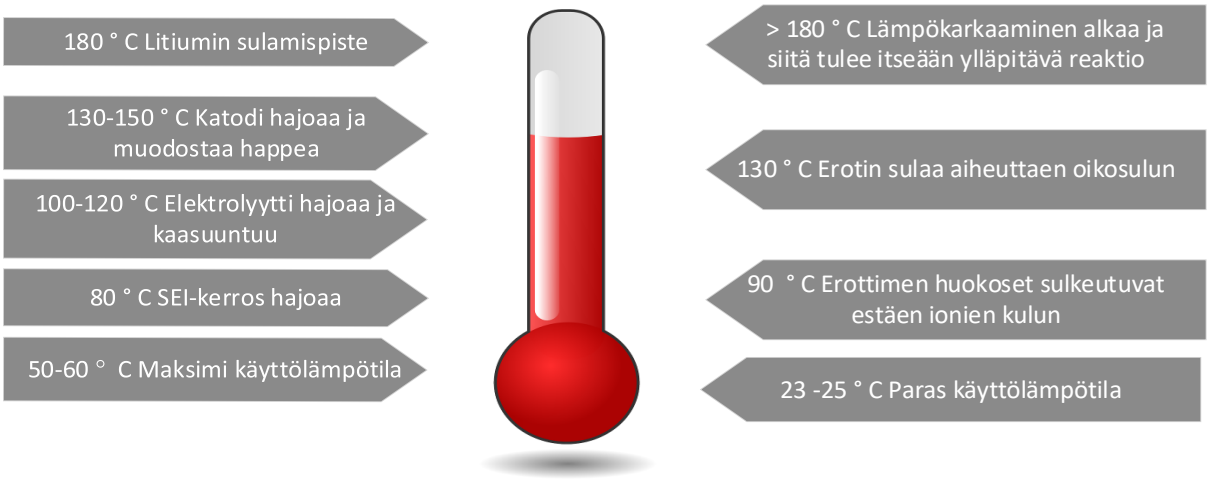
Litiumioniakkupalojen yleisin syttymissyy on lämpökarkaaminen. Lämpökarkaaminen litiumioniakussa voi alkaa useammasta eri syystä. Ympäristön olosuhteilla on vaikutusta, koska litiumioniakut eivät siedä korkeaa lämpöä tai kylmyyttä. Kylmässä lataaminen voi vioittaa kennoa. Epäpuhtauksien pääsy kennoon ja kennon napojen väliin, esimerkiksi suolaveden pääseminen kennoon, voi aiheuttaa sisäisen oikosulun. Mekaaninen vikaantuminen voi johtaa lämpökarkaamiseen. Mekaaniseen vikaantumiseen luetaan akun putoaminen, murskaantuminen, isku, värähtely tai kennon lävistäminen. Mekaanisen vioittumisen myötä erotin hajoaa, minkä jälkeen kenno ajautuu lämpökarkaamiseen. Akku voi vikaantua ylilataamisen tai ylipurkauksen takia. Ylipurkauksessa kuparia voi liueta anodista ja aiheuttaa oikosulun kennon sisällä. Ulkoinen oikosulku lämmittää kennoa ja vioittaa rakennetta. Akkukennon valmistuksessa tapahtuvat virheet voivat johtaa lämpökarkaamiseen myöhemmin, esimerkiksi löysät akun osat, liian tiukka toleranssi tai epäpuhtaudet kennossa. Erityisesti kriittistä on akun käytön myötä tapahtuvat muutokset kennossa, mihin vaikuttavat käyttö- ja säilytysolosuhteet sekä se, miten akkua ladataan. Vaikka litiumioniakut kestävät hyvin nopeaa latausta, nopea lataus on yksi kennon ikääntymiseen vaikuttavista tekijöistä. Syttymissyynä voi olla myös ihmisen tahallinen toiminta. (Barowy, 2023, s. 6–8; DNV, 2019, s. 69–70; DGUV, 2024, s. 18–19.)

Edellä mainittujen riskien vuoksi litiumioniakuissa yleensä käytetään akunhallintajärjestelmää (BMS), joka valvoo akun kuntoa ja toimintaa. Valvottavina asioina ovat esimerkiksi kennojen jännite ja lämpötila. Moni akkujen valmistaja pyrkii akkujen sisäisellä rakenteella vähentämään lämpökarkaamisen leviämistä kennosta toiseen. (DNV, 2019, s. 69.)

Vikaantuneessa litiumioniakussa voi olla seuraavan kaltaisia merkkejä:

- Kuorirakenteessa on värinmuutos, esimerkkinä koteloimattomat 18650-akut. Koteloiduista akkupaketeista tätä on vaikea havainnoida.
- Akku/akkupaketti on turvonnut/pullistunut.
- Akusta/akkupaketista vuotaa elektrolyyttiä. Tällöin havaittavissa voimakasta hajua samanaikaisesti.
- Akku kuumenee normaalista poikkeavasti latauksen yhteydessä tai akku on lämmin/kuuma ilman latausta.
- Akusta/akkupaketista kuuluu poksahtelua, sihinää tai rätisemistä.
- Akku/akkupaketti tuoksuu tai siitä tulee savua.

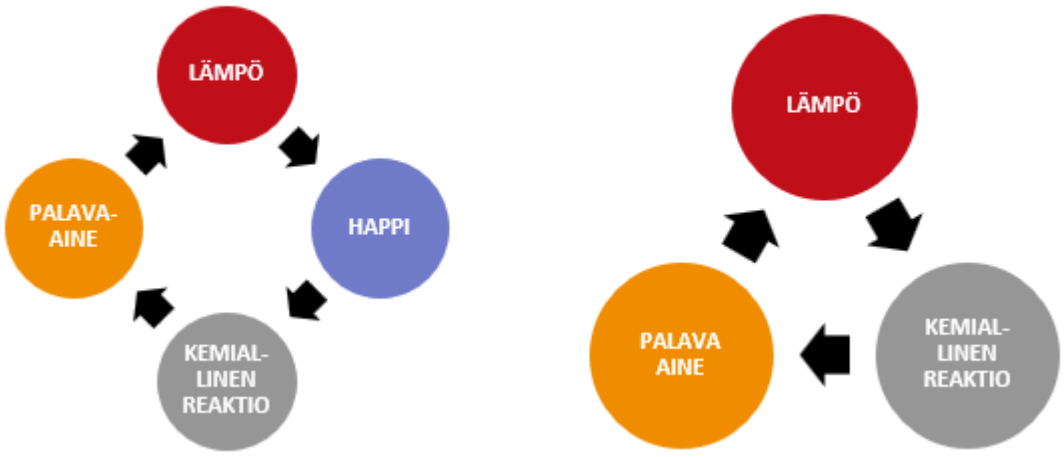
Akun kennossa tapahtuviin muutoksiin vaikuttaa kennon lämpötila (kuva 8). Kennon eri osat reagoivat eri lämpötiloissa muodostaen esimerkiksi sisäisen oikosulun. Lämpötilat vaihtelevat käytetystä akkukemiasta ja akkutyypistä riippuen. Lämmön noustessa kennon sisäinen paine kasvaa. (DGUC, 2020, s. 5–7.)



Kuva 8. Kennon sisäiset tapahtumat kennon lämmön noustessa (Warner, 2019).

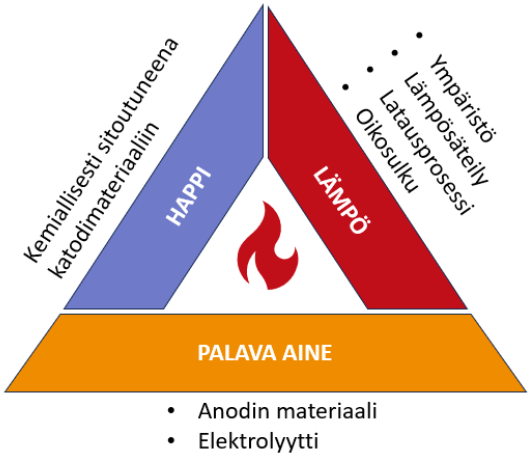
5.2 Lämpökarkaaminen

Lämpökarkaaminen on tilanne, jossa jokin kappaleen 5.1 mukainen tapahtuma aiheuttaa kennon lämpötilan nousun. Lämpökarkaamisessa elektrolyytti hajoaa ja muodostuu kaasuja. Tämän seurauksena kennossa syntyy merkittävää ylipainetta, joka lopulta johtaa kaasujen purkaantumiseen suunnitellusta kaasujen purkuaukosta tai kennon repeämiseen (Ruiz ym., 2018). Lämpökarkaamisen aikana kenno on saavuttanut lämpötilan, jossa lämpötila jatkaa nousuaan itsestään ja siitä tulee itseään ylläpitävä eksoterminen reaktio. Lämpökarkaaminen poikkeaa perinteisestä tulipalosta (kuva 9). Yleisesti tulipalon edellytyksenä on lämpö, happi, palava-aine ja katkeamaton ketjureaktio. Perinteinen tulipalo sammuu poistamalla yksi neljästä palon vaatimasta elementistä. Kuvan 9 oikeanpuoleisen kuvan mukaisesti ainoastaan lämpö on ainut, johon voidaan vaikuttaa akkupaloissa. Litiumioniakkupalossa kennon sisältä polttoainetta ja lämmönlähdettä ei voida poistaa.



Kuva 9. Perinteisen tulipalon ja lämpökarkaamisen erot (Mylenbusch ym., 2023, s. 3).

Lämpökarkaamisessa ulkopuolista hapen saantia ei tarvita eksotermisessa reaktiossa (kuva 10). Akkukennossa happi on kemiallisesti sitoutuneena katodimateriaalissa. Lämpenemisen myötä akunsisäinen reaktio vapauttaa happea, jolloin akku itsessään muodostaa palamisen edellytykset. Palava aine muodostuu anodista ja elektrolyytistä. (Mylenbusch ym., 2023, s. 2–3.)



Kuva 10. Litiumioniakun palokolmio (DGUV, 2024, s. 32–33).

Lämpökarkaamisen aikana vapautuvat kaasut voivat saavuttaa alemman syttymisrajansa. Alemman syttymisrajan saavutettuaan kaasut syttyvät palamaan, ja liekkipalon lämpö lisää lämpöä käynnissä olevaan reaktioon. Kaasujen syttyminen voi tapahtua oikosulusta johtuvasta kipinästä, ulkopuolisesta syttymislähteestä tai kun tietty kaasu ylittää itsesyttymisen lämpötilan. (Amano ym., 2023.)

5.3 Lämpökarkaamisessa muodostuvat kaasut

Lämpökarkaamisen yhteydessä akuista muodostuu kaasua, joka sisältää useita erittäin syttyviä ja myrkyllisiä aineita. Kaasujen sytyttyä muodostuu palokaasuja, jotka osaltaan lisäävät hengenvaaraa,

jos samassa tilassa oleskelee ihmisiä. Pelastustoimen näkökulmasta suljetussa tilassa liekkipalona palava akku on turvallisempi kuin pelkästään kaasua muodostava lämpökarannut akku. Käytännössä akun ulkopuolinen palo on sekundäärinen reaktio. Primääri reaktio tapahtuu kennossa, mutta se ei ole välttämättä suoraan havaittavissa, ennen kuin kaasut purkautuvat akusta.

Ennen varsinaista paloa litiumioniakuista muodostuu lämpökarkaamisen aikana enimmäkseen hiilimonoksidia (CO), hiilidioksidia (CO_2), vetyä (H_2) ja erilaisia hiilivetyjä (Liu ym., 2021; taulukko 2). Hiilimonoksidin ja hiilidioksidin muodostuminen on lämpökarkaamisen alkuvaiheessa suurempi kuin muiden kaasujen (Siren Fjærestad ym., 2023, s. 60). Lataustason noustessa hiilidioksidin määrä vähentyy ja vedyn lisääntyy (Grönlund ym., 2023, s. 6). Määrällisesti kaasujen muodostuminen riippuu akkukemiasta ja latauksen tasosta ollen 1–5 l/Wh; muutamassa muussa tutkimuksessa kaasujen muodostumisen määräksi oli saatu 2 l/Wh tai 1–3 l/Ah riippuen akkukemiasta (Willstrand ym., 2024, s. 20; Meraner ym., 2021. s. 26, 7).

Meraner ym. (2021, s. 8) havaitsivat tutkimuksessaan, että kokonaisen 400 Wh:n akkupaketin lämpökarkaaminen muodostaa kriittisen pitoisuuden kaasuja alle minuutissa pieneen huoneeseen (3,5 m2) tai isomman huoneen (43,5 m2) yläosaan 4 minuutissa. Meraner ym. (2021, s. 79) mittasivat, että 400 Wh:n akusta muodostui 26 l kaasua. Meranierin ym. (2012, s. 7) tutkimustulosten mukaan HF- ja HCL-arvot kohosivat nopeasti vaaralliselle tasolle ja kaasut levisivät kokohuoneistoon. Yhdessä isommassa tutkimuksessa selvisi, että 14 kWh:n akkuenergiavarasto voi tuottaa 8 400 l kaasua, joka muodostaa 7 x 8 m:n kokoiseen tilaan räjähtävän seoksen kaasua (Grönlund ym., 2023, s. 21).

Shahidin ja Agelin-Chaabin (2022) selvityksen mukaan vetyä voi muodostua 1,8–34 % lämpökarkaamisen aikana muodostuneista kaasuista. Vedyn muodostumiseen vaikuttaa akun lataustaso ja akkukemia. Jos lasketaan, että akusta vapautuvista kaasuista 25 % on vetyä ja vedyn alin syttymisraja on 4 %, niin edellisen kappaleen mukaisesta 14 kWh:n akkuenergiavaraston lämpökarkaamisesta muodostuisi 2 100 l vetyä. Edellisen kappaleen mukaisen huoneeseen (7 x 8 m ja oletuksena huonekorkeus 2,5 m) tulisi muodostua 5 600 l vetyä, jotta saavutettaisiin alempi syttymisraja (4 %), kun vety olisi sekoittunut koko huonetilaan. Käytännössä alempi syttymisraja tavoitetaan jossain kohtaa huoneessa yhdessä muiden kaasujen kanssa, jolloin leimahduksen tai räjähdyksen mahdollisuus on olemassa.

Lämpökarkaamisessa syntyvät kaasut voivat tavoittaa niiden ominaispiirteiden mukaisen alemman syttymisrajan. Tila, johon kaasuja vapautuu, vaikuttaa räjähdyskelpoisen seoksen syntyyn. Huomioitavaa on se, että inertit kaasut, vaahto tai vesihöyry eivät luotettavasti estä kaasuseoksen syttymistä. Amanon ym. (2023) testeissä toissijainen syttyminen 100 l:n testikammiossa aiheutti 7 barin paineen nousun. Litiumioniakuista vapautuneiden kaasujen syttyminen sopivan kokoisessa tilassa voi aiheuttaa erittäin nopean paineen nousun, joka kykenee rikkomaan rakenteita ja lennättämään rakennuksen osia kauemmaksi. (Amano ym., 2023.)

Larssonin ym. (2017) tutkimuksessa havaittiin vetyfluoridin määrän olevan 20–200 mg/Wh. Testeissä käytettiin muutamia erilaisia akkuja lataustasojen vaihdellessa 0–100 (SOC) %. Akkukemioina oli testeissä LCO, LFP ja NCA sekä kannettavan tietokoneen akku, jonka akkutyyppi ei ollut tiedossa. HF:n määrä vaihtelee akkutyypin mukaan, ja testien perusteella eniten vetyfluoridia muodostui LFP-akuista. (Larsson ym., 2017, s. 2–3.)

Bugryniecin ym. (2024) tekemän tutkimuskatsauksen yhteenvedossa havaittiin, että latauksen tasolla (SOC) on vaikutusta kaasujen muodostumiseen ja niiden myrkyllisyyteen. HF- ja CO-muodostus vaihtelee kemioista ja lataustasosta riippuen. 0 %:n lataustasolla kaasujen muodostus voi olla pääsääntöisesti hiilidioksidia ja vähäisissä määrin muita kaasuja. Yhteenvedon mukaan NMC

tuottaa eniten kaasua verrattuna muihin akkukemioihin, mutta LFP:stä muodostuvat kaasut ovat vaarallisempia. LFP muodostaa myös eniten vetyä (H_2), kun NMC muodostaa enemmän hiilimonoksidia (CO). (Bugryniec ym., 2024.)

DNV julkaisi vuonna 2019 omia tutkimustuloksia litiumioniakkujen lämpökarkaamisesta ja palosta. Monet kaasut, joita syntyy lämpökarkaamisen aikana, ovat helposti syttyviä. DNV:n testissä käytettiin NMC- ja LFP-akkuja. Testissä mitattiin kaasujen eri lataustason (SOC) mukaan, sekä ylilataamalla tai ylipurkamalla akkujen varauksia. DNV:n testeissä vedyn mittaus ei onnistunut, minkä vuoksi sitä ei ole mainittu taulukossa 2. Taulukossa 2 on nähtävillä prosenttiosuudet syntyneistä kaasuista eri lataustaso huomioiden. Typen oksideja (NO_x) ja vetysyanidia (HCN) esiintyi LFP-akuille tehdyissä mittauksissa.

Taulukko 2. Lämpökarkaamisen aikana muodostuvat kaasut ja niiden prosenttiosuudet (DNV, 2019, s. 94–95).

	NMC, 63 Ah					LFP1, 2,5 Ah				LFP2, 1,5 Ah		
SOC	50 %	75 %	100 %	OC	SC	50 %	75 %	100 %	OC	50 %	75 %	100 %
CO2	19,6	25,7	40,3	38,8	65,9	44,3	20,2	63,4	20,9	22,5	23	35,1
CO	29,2	38,1	11,4	34,4	19	7,6	15,9	15,1	26,1	12	13,9	11,3
NO2	-	-	-	-	-	4,9	9,7	5,9	1,3	4,8	5,6	4,9
CH4 (methane)	12,6	9,4	19,4	12,5	2,7	4,3	5,6	3	3,7	5,9	5,9	5,6
C2H6 (ethane)	10,6	10,5	11,7	4,8	7,6	15,6	23	7,7	15,4	21	23,1	20
C2H4 (ethylene)	10,5	4,4	9,6	4,9	1,6	7,3	11,4	1,9	13,7	12	8,8	5,8
C3H8 (propane)	-	-	-	-	-	3,9	5,8	0,6	4,2	5,8	3,7	4,5
HCL (vetykloridi)	9,7	0,8	1,9	0,2	0,2	1,1	0,8	0,2	0,3	2,1	1,9	1
HF (fluorivety)	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1	1,6	1,6	0,4	0,1	1,9	3,7	3,6
HCN (vetysyanidi)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0	0,1	0,4	0,7	0,6
C6H6 (benzene)	4,1	5,2	1,1	4,3	1,9	0	0,7	0	13,6	0,6	0	0,3
C7H8 (toluene)	2,0	4,1	0,3	0,5	0,9	0	0	0,2	0	0,1	0,5	0,7
C2H6O (ethanol)	0,3	0,7	2,9	0,1	0,0	3,7	0,4	0,5	0	7	4,6	4
CH4O (methanol)	0,7	0,8	1,1	0,5	0,2	5,6	4,7	0,9	0,4	3,9	4,6	2,5

SOC (State of charge): Lataustaso
OC (Over charge): Ylilataus
SC (Short circuit): Oikosulku

Lämpökarkaamisen aikana muodostuvat fluorivety ja vetykloridi muuttuvat kosteuden vaikutuksesta fluorivetyhapoksi ja kloorivetyhapoksi (suolahappo). Molemmat ovat höyrynä tai nesteenä syövyttäviä. Fluorivetykaasun päästessä iholle se muuttuu fluorivetyhapoksi ihon kosteuden vaikutuksesta. Itsessään kyseiset aineet eivät ole syttyviä, mutta muiden aineiden kanssa ne voivat reagoida kiivaasti ja aiheuttaa lisää varaa. (Työterveyslaitos a; b, 2025.)

5.4 Kaasujen leimahdus

Leimahdus on palokaasujen humahdus, joka esimerkiksi saattaa syntyä avattaessa ovea tilassa, jonka sisällä olevat palokaasut ovat liian rikkaita syttyäkseen. Oven avaaminen tuo tilaan lisää happea,

jolloin palokaasut laimenevat alle ylemmän syttymisrajan, ja tällöin syntyy leimahdus. Leimahduksessa liekkirintama leviää polttoaineessa tyypillisesti nopeudella 1 m/s, ja koko tapahtuman kesto on enintään sekunteja. Leimahdus pysähtyy, kun kaikki polttoaine on palanut. Humahdus tarkoittaa räjähtävän aineen kemiallista reaktio, jolle on tunnusomaista reaktion leviäminen pienemmällä nopeudella kuin äänen nopeus tässä aineessa. Räjähdyksessä tapahtuu energian äkillinen vapautuminen, johon liittyy kaasujen tai aineen nopea laajeneminen. Tietyissä olosuhteissa suljettuun tilaan lämpökarkaamisesta muodostuvat kaasut voivat muodostaa riskin räjähdykselle. (Tepa-termipankki.)

Kappaleessa 5.3 käsitellään litiumioniakuista muodostuvia kaasuja, ja kuten kappaleessa on mainittu lämpökarkaamisen aikana, muodostuu syttyviä kaasuja, jotka voivat aiheuttaa sopivissa olosuhteissa leimahduksen tai jopa räjähdyksen kaltaisen tapahtuman. Litiumioniakkujen leimahduksia ja räjähdyksiä on tapahtunut maailmalla, esimerkiksi Ruotsissa rakennuksen sisällä tapahtuneita tapauksia on ollut Västmanlandissa 2024, Malmössä 2024 ja Linköpingissä 2023. Kaikissa Ruotsin tapauksissa aiheuttajana on ollut polkupyörän akun kokoinen akku. Suomessa polkupyöränakkuja on palanut, mutta Pronto-tilastojen mukaan vielä ei ole tapahtunut räjähdyksen kaltaista onnettomuutta. Saksassa viime vuosina on muutaman kotiakkuenergiavaraston lämpökarkaaminen aiheuttanut räjähdyksen, joka on rikkonut ja sorruttanut rakenteita. Kahdessa Saksan tapauksessa akut olivat LFP-akkuja.

Litiumioniakkuja katsottaessa ei ole lainsäädännössä huomioitu mahdollista leimahdus- tai räjähdysriskiä. Lyijyakkujen kohdalla akkuhuoneissa ja lataustilassa tulee olla tuuletus ja vedyn tunnistus. Ohjekorteissa ST 55.37 – Akkuteknologiaan perustuvat energiavarastot ja ST 52.30.01 – Akkuhuoneet ja varaamotilat on kerrottu, mitä tulee huomioida akkuenergiavarastoissa, ja oikeanlainen ilmanvaihto on yksi tärkeimmistä asioista. Toimivan ilmanvaihdon lisäksi tilan savunpoiston mahdollisuus on yksi keino, jolla voidaan vähentää leimahduksen ja räjähdyksen riskiä. Joissakin akkuenergiavarastokonteissa on huomioitu leimahduksen ja räjähdyksen mahdollisuus erillisellä paineenpurkuaukolla tai heikennetyllä rakenteella. NFPA 855:ssä huomioidaan mahdollinen leimahdus- tai räjähdysmahdollisuus, ja moni kansainvälinen valmistaja noudattaa NFPA 855 -ohjeistusta. NFPA 855 ohjeistaa tunnistamaan räjähtävien kaasujen määrän akkutilassa, ja ohjeistuksen mukaan tuulettimien tulee käynnistyä tilassa, kun tavoitetaan 25 % alemmasta syttymisrajasta. Ilmanvaihdon tulisi olla vähintään 5,1 l/s/m^2 mekaanisella tuulettimella. (Sähkötieto Ry, 2022; Sähkötieto Ry, 2023; NFPA, 2020, s. 17–19; SFS-EN IEC 62933-5-2:2020; SFS-EN IEC 62485-5:2021.)

5.5 Akusta muodostuvat heitteet

Heitteet muodostuvat kennon paineen nousun myötä tapahtuvasta kaasujen nopeasta purkautumisesta, joko suunnitellusta paineenpurkuaukosta tai kennon revetessä. Sylinterikennot voivat lentää useita metrejä. Sylinterikennon pääty voi revetä suunnitellusti, jolloin kennon sisäinen paine purkautuu ja kenno lentää raketinomaisesti, kunnes purkautuva paine ei enää kanna kennoa.

Heitteitä voi muodostua myös pussikennoista ja prismaattisista kennoista akkukennon lämpökarkaamisen aikana muodostuvien kaasujen nopean syttymisen seurauksena. Nopea paineen nousu voi lennättää akun kennoja ja osia etäämmälle alkupaikastaan.

Akuista lähteneet heitteet voivat aiheuttaa sekundäärisen palon osuessaan palavaan materiaaliin. Sekundäärinen palo voi olla suurempi kuin varsinainen akkupalo. Akkupalojen sammutuksen yhteydessä pelastustoimen tulee tarkastaa ympäristö mahdollisten heitteiden vuoksi, jotta ei syntyisi uutta tulipaloa pelastustoimen poistuttua kohteesta.

5.6 Uudelleen syttyminen

Yksittäinen tuhoutunut kenno ei voi enää ajautua lämpökarkaamiseen, koska se tuhoutuu lämpökarkaamisen aikana aina täydellisesti. Litiumioniakku tai akusto voi ajautua uudelleen lämpökarkaamiseen ja sen muodostamat kaasut voivat syttyä uudelleen, jos akkuun tai akustoon on jäänyt vioittuneita kennoja, jotka eivät ole tuhoutuneet aiemmassa lämpökarkaamisessa. Kuten luvussa 4 on mainittu, litiumioniakku tai akkumoduuli voi koostua yhdestä kennosta aina satoihin kennoihin ja akusto voi muodostua useammasta akkumoduulista. Yksittäiset akkukennot ovat voineet primäärin lämpökarkaamisen aikana vioittua, mutta eivät ole tällöin vielä ajautuneet lämpökarkaamiseen. Vioittuminen voi johtua syistä, jotka on mainittu luvussa 5.1.

Yleisesti ottaen monikennoista palanutta litiumioniakkua ei tule jättää sisätiloihin, vaan se tulee siirtää ulos veteen upotettuna vähintään vuorokaudeksi karanteeniin ennen asianmukaiseen kierrätykseen viemistä. Akun jännite ei välttämättä purkaudu vuorokaudessa veteen upotettuna. Pelastustoimen suosituksissa suositellaan seuraamaan akkua vähintään tunnin ajan ennen pelastustoiminnan päättämistä, jotta varmistetaan, ettei akku heti lähde uudelleen lämpökarkaamaan (Rytkönen ym. B, 2025, s. 29, 32). Tietyissä tapauksissa pelastustoimi voi määrätä laitteen tai ajoneuvon omistajaa seuraamaan akkua vähintään vuorokauden ajan, esimerkiksi jos kyseessä sähköajoneuvo tai akkuenergiavarasto. Palaneesta omaisuudesta on vastuussa sen omistaja, mutta käytäntönä on tällä hetkellä, että palanut sähköauto siirretään pelastuslaitoksen johdolla turvallisempaan paikkaan karanteeniin ja odottamaan jatkokäsittelyä. Toimintatavat poikkeavat hieman pelastuslaitosten välillä.

5.7 Jännite isommissa akustoissa

Jännite litiumioniakkuenergiavarastossa ja sähköajoneuvoissa voi olla 48–1 000 V. Matalajännite-termiä käytetään yleensä alle 60 V:n tasajännitteelle tai 30 V:n vaihtojännitteelle. Korkeajännite-termiä käytetään näitä suuremmille jännitteille. Sähköalan varsinaisessa termistössä pienjännitteellä tarkoitetaan alle 1 000 V:n vaihto- ja 1 500 V:n tasajännitettä. Suurjännite on yli 1 000 V:n vaihto- tai 1 500 V:n tasajännite. (SFS 6002.)

Pienoisjännitteelliset laitteet (50 V:n vaihto- tai 120 V:n tasajännite) eivät aiheutua suoraa hengenvaaraa. Käytännössä itsenäisiä sähkötöitä voi tehdä edellä mainittujen jännitteissä. Kun jännitteet ylittävät edellä mainitut jännitteet, sähkötöitä saa tehdä ainoastaan sähköalan ammattilainen muutamaa kotitaloudessa sallittua poikkeusta lukuun ottamatta. (Tukes, 2025 c.)

Sähköajoneuvoissa akustolla on yleensä ”kelluva” erillinen oma sähköpiirinsä. Onnettomuuden sattuessa ajovoima-akuston ei pitäisi muodostaa jännitteellisiä rakenteita, jotka olisivat vaarallisia pelastajille. Maailmalla ei ole vielä todennettu tapahtuneen kyseistä vaaraa, mutta teoriassa on mahdollista, että ajoneuvon kori muuttuu jännitteelliseksi onnettomuuden sattuessa. Litiumioniakkuenergiavarastoissa akustot ovat yleensä suojatut, eivätkä ne aiheuta vaaraa pelastajille, ellei vioittuneita akustoja käsitellä ilman riittävää suojatumista.

5.8 Palokuorma

Palokuorma on kokonaislämpömäärä, joka vapautuu, kun tietyssä tilassa oleva aine palaa täydellisesti. Palokuorma jakautuu kahteen osaan: kiinteään palokuormaan, johon kuuluvat rakennusosat, ja liikkuvaan palokuormaan, johon kuuluvat irtaimisto, ihmiset ja eläimet. Teknisessä työskentelyssä käytetään palokuorman tiheyttä, joka saadaan jakamalla palokuorma huoneistoalalla. Palokuorma ilmaistaan jouleina (J), käytännössä yksikköinä käytetään megajoulea (MJ) ja gigajoulea (GJ). Palokuorman tiheys ilmaistaan megajouleina neliömetriä kohden (MJ/m²). (Tepa-termipankki.)

Palokuormaan ja palotehoon vaikuttaa litiumioniakuissa käytetty kemia, kennon lataustaso, kennon tyyppi ja jokainen palotapahtuma. Tutkimusten mukaan on haastavaa ennustaa ja laskea litiumioniakkujen muodostamaa palokuormaa ja palotehoa yhtenäisesti. (Ghiji ym., 2021; Willstrand ym., 2020, s. 12–15.)

Palokuorma vaihtelee kennotyypin mukaan: sylinterikennoille korkeimmaksi arvoksi yhden tutkimuksen mukaan on saatu 63 kJ/Wh, pussikennoille 71 kJ/Wh ja prismaattisille kennoille 112 kJ/Wh (Rappsilber ym., 2022). Toisessa tutkimuksessa vaihteluväli oli 17–75 kJ/Wh riippuen akkukemiasta, koosta ja kennotyypistä (Larsson ym., 2017, s. 2–4). Huomioon on otettava se, että akkupaloissa kaikki kennot eivät pala yhtä aikaa ja paloteho vaihtelee sen mukaan, miten kennot ajautuvat lämpökarkaamiseen.

Itävallassa on testattu sähköauton ja polttomoottoriauton eroja palotehossa, sähköauton paloteho on suurempi, mutta siihen vaikuttaa se, missä määrin ajovoima-akku osallistuu paloon (Sturm ym., 2023). Palotehoon vaikuttaa akun ja ajoneuvon koko. Itävallan testissä sähköauton paloteho oli 1–1,5 MW korkeampi kuin samankokoisen polttomoottoriajoneuvon ja päättyy noin 8 MW:iin, kun ajovoima-akku osallistuu paloon (Sturm ym., 2023). Koreassa tehdyssä tutkimuksessa ei havaittu suurta eroa polttomoottori- tai sähköautojen välillä, ja heidän testiensä mukaan paloteho vaihteli 6,51 ja 7,25 MW:n välillä (Kang ym., 2023). Kokonaislämpökuorma korealaisten polttokokeessa sähköautolla oli 8,45–9,03 GJ, kun polttomoottoriajoneuvossa se oli 8,08 GJ (Kang ym., 2023). Dehghanin ym. (2025) tutkimuksessa mitattiin korkeimmaksi lämpövuodoksi 37kW/m^2 (korkein lämpöteho noin 11,8 MW) Chervolet Bolt -ajoneuvosta ja 27 kW/m^2 (korkein lämpöteho noin 6,2 MW) Tesla Model 3:sta. Ajoneuvojen palokuorma on yleisesti kasvanut viime vuosikymmeninä ajoneuvojen koon kasvaessa ja lisääntyvien synteettisten aineiden käytön vuoksi.

Laskennallisesti 800 Wh:n sylinterikennoja sisältävä polkupyörän akku voi palaessaan aiheuttaa 50,4 MJ:n palokuorman. Yksittäisen sähköpolkupyörän akun palokuorma ei ole suuri. Enemmän riskiä tuovat lämpökarkaamisessa muodostuvat kaasut, jotka voivat aiheuttaa leimahdus- ja räjähdysriskin. 12 kpl polkupyörän akkuja ylittää esimerkiksi oletetun palokuormaryhmän 600 MJ/m2 asuintilojen osalta (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017). Edelliseen lukemaan ei ole laskettu mukaan akkukotelon lisäämää palokuormaa. Jos lasketaan autosuojan palokuorma edellisen kappaleen mukaisten arvojen mukaisesti ajoneuvon palaessa täydellisesti, 9,03 GJ:n lämpökuorman muodostava sähköauto aiheuttaa 30 m^2:n autosuojaan lämpökuormaa 3 010 MJ/m^2. Autosuojat kuuluvat alle 600 MJ/m^2:n palokuormaryhmään (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017). Autotalliin asennettu 20 kWh:n akkuenergiavarasto, joka sisältää prismaattisia kennoja, voi muodostaa tilaan pelkästään akkukennot laskien 2 240 MJ:n palokuorman.

5.9 Akkupalon ympäristövaikutukset

Sammutusvesi sisältää pääsääntöisesti kaikissa tulipaloissa myrkyllisiä yhdisteitä, jotka yleensä pääsevät ympäristöön. Myrkyllisyyttä lisää erilaisten aineiden palaminen tulipalon takia, esimerkiksi

muovit, kumit, komposiittimateriaalit ja erilaiset öljypohjaiset aineet. Tulipaloissa ympäristöön pääsee myös erilaisia metalleja. Myrkylliset yhdisteet ovat haitallisia pieneliöille ja myös ihmisille.

Sähköautopalo aiheuttaa ympäristölle enemmän haittaa kuin polttomoottoriauton palo. Polttomoottoriautopalosta muodostuva jätevesi on hapanta. Sähköautopalosta muodostuva jätevesi on neutraalia, mutta se muuttuu emäksiseksi, jos akkua huuhdellaan. (Quant ym., 2023.) Akun huuhtelu lisää metallien, PFAS-yhdisteiden ja fluoridin määrää jätevedessä huomattavasti (Quant ym., 2023). PAH yhdisteitä syntyy, mutta enemmän niitä muodostuu polttomoottoriautosta (Quant ym., 2023). Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan akkupaloissa tulisi pohtia, onko akkua tarpeellista huuhdella palon aikana, koska se vapauttaa enemmän ympäristölle haitallisia aineita (Hynynen ym., 2023, s. 32–33). Heldin ja kumppaneiden tekemän tutkimuksen mukaan sammutus- ja jäähdytysvesi on saastunutta ja pelastustoimella tulisi olla sen hallintaan valmiit toimintamallit ja ohjeet (Held ym., 2022).

Koska litiumin sekä koboltin, nikkelin ja mangaanin raskasmetallioksidien pitoisuudet ylittävät huomattavasti sovellettavat ja/tai tällä hetkellä saatavilla olevat raja-arvot, jotka koskevat veden johtamista jätevesiviemäriin, kaikki tällaisissa akkupaloissa käytetty vesi (sammutusvesi, sprinklerijärjestelmien vesi, palaneiden akkujen tai ajoneuvojen varastointiin käytetty vesi) on esikäsiteltävä asianmukaisesti. (Held ym., 2022.)

Sähköautopalon sammuttamisen yhteydessä testissä havaittiin, että akun huuhtelu lisää esimerkiksi fluoridin määrää moninkertaisesti pelkkään sammutukseen verrattuna, ja määrä oli yli kolminkertainen verrattuna pelkkään palon sammuttamiseen. Fluoridia ei muodostunut testin aikana polttomoottoriautosta. PFAS-yhdisteitä muodostui reilusti yli raja-arvojen akun huuhtelun yhteydessä. (Hynynen ym., 2023, s. 33–36.)

NMC-akuilla tehty testi osoittaa, että sammutusvesi on ympäristölle haitallista. Sammutusveden mukana kulkeutuvat partikkelit voivat olla nanometrisiä. Sammutusvesi sisältää useita metalleja, kuten esimerkiksi nikkeliä (Ni), mangaania (Mn), kobolttia (Co), litiumia (Li) ja alumiinia (AL). Eri metallien esiintymiseen vaikuttaa se, mitä metalleja palaneessa akussa on käytetty. Litiumrautafosfaattiakkupaloa sammutettaessa mangaanista tai koboltista ei muodostu päästöjä. Bordesin ja kumppaneiden (2024) testit tehtiin sylinterin ja pussin muotoisilla kennoilla. (Bordes ym., 2024.)

Pääsääntöisesti tehdyt tutkimukset, joita on käytetty lähteenä tässä loppuraportissa, ovat koskeneet pienempiä akkuja ja niiden aiheuttamia päästöjä. Päästöt testeissä ovat ylittäneet PNEC-arvot, mikä tarkoittaa päästöjen olevan haitallisia ympäristölle. Huomioitavaa on se, että laskennallisesti päästöt ovat ympäristölle haitallisia, minkä vuoksi isompien litiumioniakkujen sammuttamisessa tulee huomioida sammutusvesien hallinta. Erityisesti tulee ottaa huomioon pohjavesialueet.

Litiumioniakkupalossa syntyy myrkyllisiä savukaasuja ja erilaisia yhdisteitä, jotka ovat haitallisia ihmisille. Palossa muodostuu haitallisia aineita, jotka voivat aiheuttaa hengenvaaraa ihmisille. Vapaassa ilmatilassa savu ja kaasut laimenevat merkittävästi, mutta niiden osalta tulee kuitenkin huomioida pelastustoiminnan aikana ihmisten ohjeistaminen sulkemaan ilmanvaihdot ja pysymään poissa savusta. Suljetussa tilassa savu ja kaasut aiheuttavat välittömän hengenvaaran. Riski lisääntyy litiumioniakkujen koon kasvaessa. (Bordes ym., 2024.)

Muutamassa eurooppalaisessa ohjeessa ja tutkimuksessa on ehdotettu, että ympäristön kannalta kohteen polttaminen loppuun voi olla yksivaihtoehto, jolla voidaan suojella ympäristöä. Litiumioniakkupaloissa on tärkeää tehdä riskinarviota ja käydä keskustelua ympäristöasiantuntijoiden kanssa siitä, onko loppuun poltto paras ratkaisu. (DBS, 2021, s. 33.)

6 Akkujen jälkikäsittely ja kierrätys

Akkujen jälkikäsittelyyn katsotaan kuuluvan toimenpiteet, jotka tapahtuvat akun käytöstä poiston jälkeen. Käytöstä poisto jo itsessään luo paloturvallisuusriskin toimijalle, joka sen tekee. Käytöstä poistetut akut pitäisi toimittaa mahdollisimman nopeasti eteenpäin, jotta estetään suuremman palokuorman kertyminen samaan paikkaan paloturvallisuusriskin pienentämiseksi. Kierrätyksen järjestäminen on helpottunut huomattavasti tämän vuoden aikana Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen 2006/66/EY myötä. Sen mukaisesti tuottajan on järjestettävä Suomen markkinoille saataville asettamiensa paristojen ja akkujen jätehuolto kustannuksellaan. Tämä asetus koskee nykyisin myös autojen, moottoripyörien sekä teollisuudessa käytettyjen isojen akkujen kierrätystä. Ne olivat aikaisemmin asetuksen ulkopuolella. Tämä helpottaa käyttäjän toimia siten että käyttäjän tarvitsee toimittaa akku keräyspisteeseen, josta tuottajayhteisö toimittaa akut kierrätykseen lain vaatimalla tavalla.

Keräyksestä ja kierrätyksestä Suomessa huolehtivat tuottajayhteisöt, Recser Oy, Akkukierrätys Pb Oy ja Suomen Autokierrätys Oy. Suomen Autokierrätys hoitaa henkilö-, paketti- ja matkailuautojen sekä sähkökäyttöisten autojen ajovoima-akkujen keräyksen ja kierrätyksen organisoinnin ja siitä tiedottamisen jäsenyritystensä puolesta. Akkukierrätys Pb Oy hallinnoi lyijypohjaisten ajoneuvo- ja teollisuusakkujen keräys- ja kierrätysjärjestelmää, ja Recser Oy kerää ja kierrättää kaikki muut akut ja huolehtii niiden kierrättämisestä sekä tiedottamisesta loppukäyttäjille.

Akkujen kierrätystoimien riskit ovat tarkemmin saatavilla teollisuudelle suunnatusta suosituksesta. Linkki suositukseen. Pääosin voidaan mainita, että akut jaetaan neljään pääluokkaan:

1. **Pienet akut, alle 5 kg.** Nämä akut kierrätetään samalla tavalla kuin paristot. Akut voidaan palauttaa sinne, mistä ne on ostettukin.
2. **Keskisuuret akut**, alle 50 kg. Nämä akut voi palauttaa niitä myyviin kauppoihin tai alueelliselle keräyspisteelle. Lähin alueellinen keräyspiste löytyy osoitteesta kierrätys.info.
3. **Suuret teollisuusakut.** Niiden kierrätyksessä tulee olla yhteydessä akun maahantuojaan tai tuottajayhteisöihin, jotta saa ohjeet kierrätyksestä.
4. **Sähköautojen tai sähkömoottoripyörien ajovoima-akut.** Näiden akkujen vastaanottopisteet ovat valtuutetut automerkkihuollot sekä Suomen Autokierrätyksen romuajoneuvojen vastaanottopisteet. Lisätietoa: https://autokierratys.fi/

Jos akut päätyvät jostakin syystä muun jätteen sekaan, ne voivat aiheuttaa vaurioituessaan tulipalon jätteen käsittelyssä tai kuljetuksessa. Näitä akkuja on alettu kutsua nimellä ”zombiakku”. Lisätietoa zombiakuista löytyy sivustolta www.zombiakku.fi.

6.1 Palaneiden akkujen kuljetus ja kierrätys

Litiumioniakkujen palossa hyvin usein akkuun jää palamattomia kennoja, jotka voivat syttyä uudestaan useiden vuorokausien kuluttua. Tämän takia palaneiden akkujen kuljetuksen turvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jos akkujen stabiilisuudesta ei voida olla varmoja, on kierrätys tehtävä erityistä ”*akkuambulanssia*” käyttäen. Akkuambulanssista ja akkujen jatkokäsittelystä tulee sopia tuottajavastuuyhteisön kanssa, joka vastaa myös akkujen kuljetuksen ja kierrätyksen kustannuksista. Näissäkin tapauksissa tuottajayhteisöt ovat Recser Oy ja Suomen autokierrätys Oy.

6.2 Akkujen kierrätyslaitoksen turvallisuus

Litiumioniakkujen kierrätyksessä syntyy monenlaisia riskejä ennen kuin akut saadaan kierrätysprosessissa vaarattomiksi. Huomioitavia riskejä ovat paloturvallisuus, sähköturvallisuus, työntekijöiden altistuminen myrkyllisille kaasuille sekä ympäristölle aiheutuvat päästöt. Kierrätyslaitoksilla turvallisuus on syytä ottaa huomioon jo ennen kuin lähetykset saapuvat laitokselle, sillä akkujen lähetys vaikuttaa myös varastoinnin turvallisuuteen.

Kierrätysprosessissa akut murskataan ja jatkojalostetaan raaka-aineiksi. Murskaus voidaan tehdä joko jännitteellisinä tai jännitteettöminä. Pienempiä akkuja on mahdollista murskata jännitteellisinä, kun prosessin paloturvallisuudesta huolehditaan asianmukaisesti. Isommista akuista varaus puretaan ja akut oikosuljetaan etukäteen. Tämä vähentää akun sisältämää energiaa, jolloin murskaus voidaan suorittaa turvallisesti. Tarkemmin asiaa on käsitelty suosituksessa.

Akkujen käsittelyprosessi kehittyy koko ajan kierrätettävän materiaalin lisääntyessä, ja toimijoiden halu kehittää toimintaa kaikin puolin oli tutkimuksessa tehtyjen haastattelujen mukaan hyvällä tasolla. Erityisesti kannustaisimme kiinnittämään huomiota kemiallisiin vaaroihin, kuten työntekijöiden altistumiseen sekä ympäristöhaittoihin. Olisi tärkeää, että terveysviranomaisilla olisi tiedossa seurattavat haitta-aineet henkilöstön valvontaan ja ympäristöviranomaisilla ympäristön valvontaan.

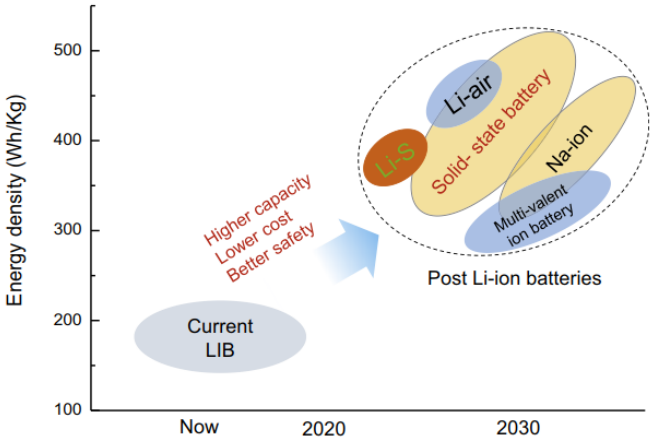
7 Tulevaisuuden akkuteknologiat

Ulla Lassi

7.1 Johdanto

Akkuala ja erityisesti ladattavien akkujen tarve kasvaa nopeasti samalla kun energianvarastoinnin tarve kasvaa. Kasvu, jonka on ennustettu olevan eksponentiaalista, tulee erityisesti ajoneuvojen ajoakkujen kasvavasta tarpeesta, mutta myös energianvarastoinnin uudenlaisesta tarpeesta osana aurinkosähkö- ja tuulienergian varastointia. Toisaalta akkujen raaka-aineiden saatavuus voi muodostua haasteeksi tulevaisuudessa, sillä niiden kysyntä kasvaa nopeasti sähköautojen yleistyessä. Esimerkiksi vuoteen 2027 mennessä raaka-aineiden saatavuus voi vaikuttaa merkittävästi akkumarkkinoihin ja sähköautojen tuotantoon. Tämän vuoksi litiumioniakkujen rinnalle on jo kaupallistettu uusia akkuteknologioita, kuten natriumioniakkuja.

Litiumioniakkujen tulevaisuus näyttää lupaavalta, sillä tutkijat kehittävät jatkuvasti uusia akkuteknologioita, jotka parantavat akkujen energiatehokkuutta, kestävyyttä ja ympäristöystävällisyyttä. Näitä ovat mm. kiinteän elektrolyytin akut, uudet katodimateriaalit, akun älykkäät hallintajärjestelmät sekä uudenlaiset akunvalmistusmenetelmät. Parhaillaan tutkitaan myös kemiallisesti uusia akkuteknologioita, joita ovat esimerkiksi hiljattain kaupallistetut natriumioniakut. Lisäksi tutkitaan uusia kiinteän elektrolyytin litiumioniakkuja, litiummetalliakkuja, litiumilma-akkuja ja litiumrikkiakkuja (ks. kuva 1), joilla pyritään lisäämään energiatiheyttä ja siten saavuttamaan entistä pidempiä toimintamatkoja ja lyhyempiä latausaikoja sekä osin parantamaan myös akkujen käyttöturvallisuutta.



Kuva 11. Post-litiumakkuteknologioita (Fraunhofer ISI, 2023).

7.2 Kehittyneet, uuden sukupolven litiumioniakut

Uusien akkuteknologioiden rinnalla myös perinteisiä litiumioniakkuja, kuten nikkeli-kobolttimangaani (NMC)- ja litiumrautafosfaatti (LFP)-akkuja kehitetään jatkuvasti (ks. taulukko 3). Erityisesti litiumrautafosfaattiakkuja (LFP-akut) on nyt paljon markkinoilla johtuen halvasta hinnasta ja hyvästä

tarjonnasta. LFP-akkuja käytetään mm. energiavarastoissa, joissa pienempi energiatiheys on riittävä. Perinteiseen NMC-kemiaan ne ovat vähemmän herkkiä ylikuumenemiselle (termisesti stabiilimpia), ja niissä voidaan käyttää vesipohjaista liuotinta. Yhteistä molemmille akkukemioille on kuitenkin fluoripitoisen litiumsuolan ($LiPF_6$) ja polyvinyylidifluoridi (PVDF) -sideaineen käyttö, joten turvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden näkökulmasta on vielä kehitettävää.

Lisäksi uudet katodimateriaalit, kuten Mn-rikkaat akkukemiat (LMR, litiummangaanirikas kemia), voivat vähentää ja ovat jo vähentäneet riippuvuutta nikkelistä ja koboltista, jotka ovat kriittisiä (ks. taulukko 1) ja rajallisia resursseja. Tämä voi tehdä akuista edullisempia ja kestävämpiä pitkällä aikavälillä. Eräs mielenkiintoinen, jo kaupallistamisvaiheessa oleva katodikemia on LNMO, joka on koboltiton, spinellirakenteinen korkeajännitteinen HV-katodimateriaali (engl. High voltage) ja joka tarjoaa hyvän energiatiheyden ja erinomaisen tehotiheyden. Tämä mahdollistaa tavanomaista korkeampien latausjännitteiden (~4,7–4,8 V) käytön perinteisiin litiumioniakkuihin (3,6–4,2 V) verrattuna. Spinellirakenne on termisesti stabiili, ja sitä kautta sillä on akkuturvallisuutta edistävä vaikutus. LNMO soveltuu erityisesti nopeaa latausta vaativiin sovelluksiin ja kylmiin olosuhteisiin, mutta vaatii elektrolyyttien optimointia korkean jännitteen vuoksi. Elektrolyytin hajoaminen onkin eräs keskeinen haaste, jota pyritään estämään uudenlaisella elektrolyyttisuolan liuotinseoksella. Lisäksi tässäkin käytetään fluoripitoisia sideaineita ja litiumsuolaa.

Taulukko 3. Litiumioniakkukemioiden vertailua.

	LFP (Litium-rautafosfaatti)	**NMC** (Litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi)	**LMR** (Litium-mangaanirikas)	**LNMO** (Litium-nikkeli-mangaani-oksidi, spinelli)
Nimellisjännite	~3,2 V	~3,6–3,7 V	~3,7 V	~4,7–4,8 V
Energiatiheys	90–160 Wh/kg	150–250 Wh/kg	180–250 Wh/kg	~140–150 Wh/kg
Tehotiheys	Hyvä	Kohtalainen	Kohtalainen	Hyvä – korkea lataus/purkunopeus
Käyttölämpötila	Laaja (−20…60 °C)	Kohtalainen	Kohtalainen	Laaja, jopa −40 °C:seen asti (hyvä kylmäominaisuus)
Turvallisuus	Erittäin hyvä (lämpöstabiili)	Hyvä, mutta herkempi lämpötilalle	Hyvä	Hyvä, ei herkkä lämpötiloille
Kustannus	Alhainen	Korkeampi (kobolti ja nikkeli nostavat hintaa)	Keskitaso	Keskitaso (ei kobolttia)
Syklien kesto	2 000–5 000 sykliä	1 000–2 000 sykliä	~1 000–2 000 sykliä	> 10 000 sykliä (optimoiduilla anodeilla, esim. niobiumpohjaisilla)
Käyttökohteet	Sähköautot, energiavarastot	Sähköautot, energian varastointi	Suuret akut, EV	Sähköautot, energian varastointi, korkean tehon sovellukset

*Taulukon tiedot perustuvat mm. Targrayn, Morrow Batteriesin ja akkumateriaalivalmistajien antamiin tietoihin

Litiumioniakun toiminnan kannalta olennaista on ns. SEI-kerroksen (engl. solid electrolyte interphase) muodostuminen. SEI-kerros muodostuu ensimmäisten lataus-purkaussyklien aikana, kun

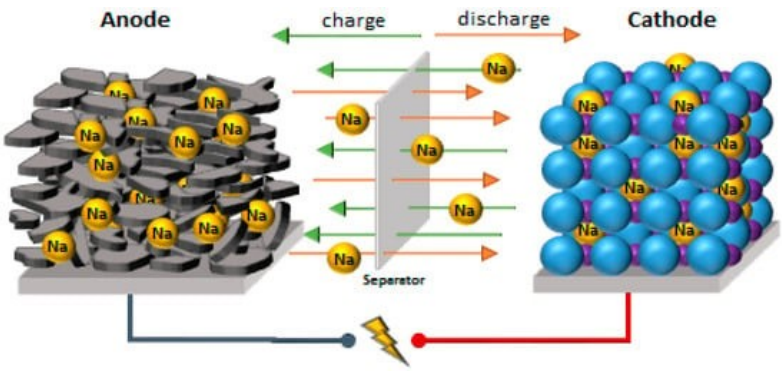
elektrolyytti reagoi anodin (yleensä grafiitin) kanssa. SEI-kerros toimii suojakerroksena, joka estää elektrolyytin jatkuvan hajoamisen mutta sallii litiumionien läpäisyn.

Lataus-purkaussyklien myötä SEI-kerros stabiloituu, mikä vähentää kapasiteettihäviötä. Syklauksen myötä SEI-kerros myös kasvaa ja paksuuntuu, koska elektrolyytin hajoaminen edelleen jatkuu (tosin hitaasti). Tämä lisää sisäistä vastusta heikentäen akun tehoa ja kuluttaa aktiivista litiumia, jolloin kapasiteetti laskee. Lisäksi korkea kennon lämpötila ja suuri virta nopeuttavat SEI-kerroksen paksuuntumista ja epästabiilisuutta. Pitkällä aikavälillä SEI-kerros voi halkeilla (mekaaninen stressi), jolloin elektrolyytti reagoi uudelleen ja kerros kasvaa entisestään. Tämä johtaa kennon häviöihin (vanheneminen ilman käyttöä) ja sykliseen häviöön käytön aikana. Elektrolyytin lisäaineet (esim. FEC) ja pinnoitteet voivat parantaa SEI:n stabiilisuutta. Tavoitteena on ohut, tiivis ja stabiili SEI, joka minimoi kennovastusta ja estää jatkuvan hajoamisen.

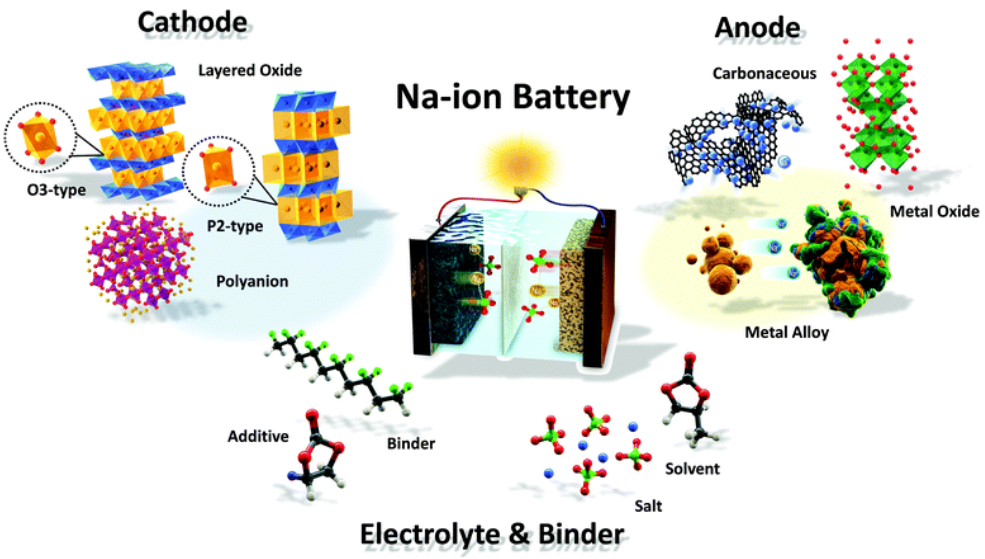
7.3 Natriumioniakut

Natriumioniakut (Na-ioniakut) ovat lupaava vaihtoehto litiumioniakuille, erityisesti valmistuskustannusten ja raaka-aineiden saatavuuden kannalta, koska niissä ei tarvita kriittisiä raaka-aineita, kuten kobolttia tai litiumia. Ne eivät tule korvaamaan litiumioniakkuja, vaan toimivat rinnakkaisena akkuteknologiana ja soveltuvat erityisesti energiavarastoihin (stationaariset järjestelmät).

Natriumioniakkujen toimintaperiaate on samankaltainen kuin litiumioniakuilla (ks. kuva 12). Natriumionit liikkuvat anodilta katodille ja takaisin elektrolyytin läpi latauksen ja purkauksen aikana. Kuvassa 13 on esitetty Na-ioniakkukennon rakenne. Katodimateriaaleina ovat natriumin metallioksidit, kuten kerrokselliset siirtymämetallioksidit (mm. natriumrautamangaanioksidi eli NFMO tai natriumnikkelimangaanioksidi eli NNMO) tai natriumrautafosfaatti ($NaFePO_4$). Lisäksi tunnetaan ns. Prussian analogiaan (eng. PBA) liittyvät katodimateriaalit, erityisesti Prussian White -kemiaan perustuva Na $(FeFe\ (CN)_6$, joka on syanokompleksi. Vaikka kyseessä on stabiili kompleksi, ei sen hajoamisesta esim. happamissa olosuhteissa ole varmuutta. Anodimateriaalina käytetään kovahiilimateriaalia (engl. hard carbon), koska perinteinen Li-ioniakkujen grafiitti ei sovellu natriumin kanssa (johtuen Na-ionin isommasta koosta Li-ioniin verrattuna). Suomessakin on useita yrityksiä, jotka kehittävät biomassapohjaisia hiilianodeja, mm. kovaa hiiltä ja biografiittia.



Kuva 12. Natriumioniakun toimintaperiaate (Daniel & Besenhard, 2012).



Kuva 13. Na-ioniakkukennon rakenne. (Hwang, ym., 2017)

Na-ioniakuilla on parempi turvallisuus (lämpöstabiilisuus) kuin litiumioniakuilla. Natrium ei muodosta yhtä reaktiivisia dendriittejä kuin litium, minkä takia oikosulku- ja paloriski on pienempi. Haasteena on selkeästi alhaisempi energiatiheys kuin litiumioniakuilla (tyypillisesti 90–150 Wh/kg). Natriumionin suurempi ionikoko voi aiheuttaa rakenteellisia rasituksia elektrodiin, mikä voi vaikuttaa kestävyyteen. Lisäksi kennon valmistuksessa käytetään fluoripitoisia elektrolyyttejä (orgaaninen liuos natriumsuoloilla (esim. $NaPF_6$)) ja fluoripitoista sideainetta. Vaikka natriumioniakut tuotiin kaupalliseen käyttöön parisen vuotta sitten, niiden kehittämistyö on vielä käynnissä eikä niitä ole vielä laajasti kaupallistettu.

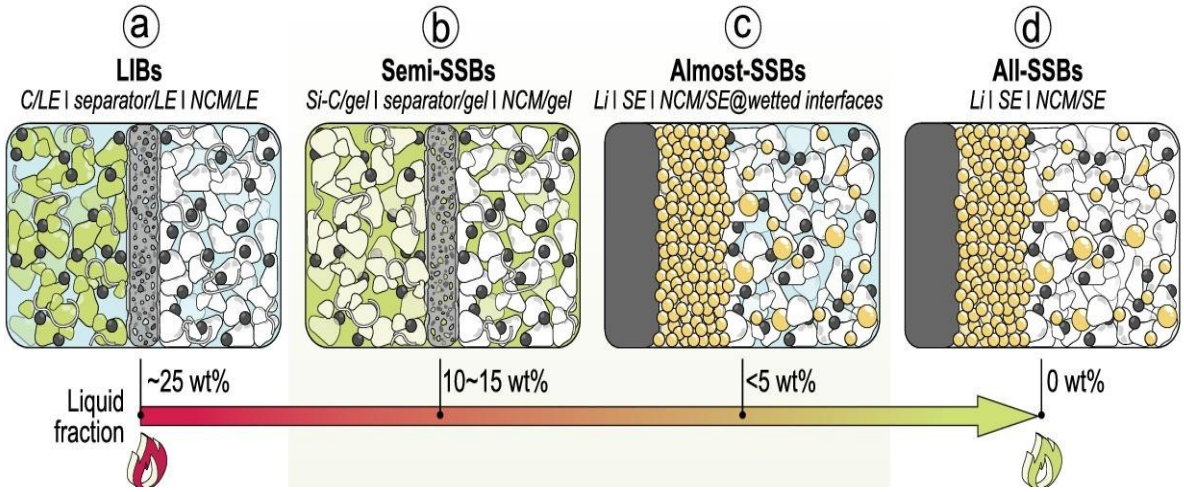
7.4 Kiinteän elektrolyytin akut

Kiinteän elektrolyytin akut (engl. solid-state batteries) ovat seuraavan sukupolven akkuteknologiaa, joka korvaa perinteisen nestemäisen elektrolyytin kiinteällä materiaalilla. Ne soveltuvat useaan eri akkuteknologiaan. Kiinteän elektrolyytin akuissa litiumionit (tai natriumionit) liikkuvat kiinteän elektrolyytin läpi anodilta katodille ja takaisin latauksen/purkauksen aikana.

Kiinteän elektrolyytin akuissa helposti syttyvä nestemäinen elektrolyytti korvataan kiinteällä elektrolyytillä (kuva 14), joka pienentää ns. termisen lämmönkarkaamisen (engl. thermal runaway) riskiä. Kiinteä elektrolyytti voi olla epäorgaanista keraamia (esim. sulfideja, oksideja) tai kiinteää polymeeriä. Toinen kiinteän elektrolyytin akkujen merkittävä etu on elektrolyytin vuotamiseen (engl. leak) liittyvien riskien pieneneminen.

Kiinteän elektrolyytin akut ovat yksi merkittävimmistä uusista innovaatioista, sillä ne voivat tarjota korkean energiatiheyden (potentiaalisesti >400 Wh/kg), pidemmän toimintamatkan, nopeamman latausajan ja paremman turvallisuuden verrattuna perinteisiin litiumioniakkuihin (tai esimerkiksi natriumioniakkuihin). Turvallisuusnäkökulmasta etuna on se, että lämpöstabiilisuus on parempi, kun nesteitä ei käytetä eikä siten ole syttyvän orgaanisen liuottimen vuotamisvaaraa. Tämä vähentää paloriskiä, parantaa mekaanista kestävyyttä ja vähentää dendriittien muodostumista. Haasteena on kuitenkin rajapinnalle muodostuva vastus ja/tai mekaaninen heikko kosketus elektrolyytin ja elektrodien välillä, mikä voi aiheuttaa haasteita akun suorituskykyyn.

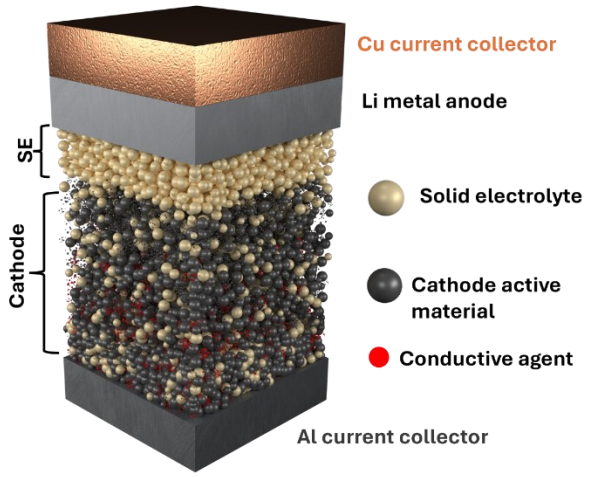
Kiinteän elektrolyytin akut mahdollistaisivat myös metallisen litiummetallin käytön anodina, mikä nostaisi energiatiheyttä merkittävästi. Kun nestemäistä elektrolyyttiä ei käytetä, vähentyy riski dendriittien muodostumiselle, mutta se ei täysin poistu (litiummetalli voi silti muodostaa dendriittejä, jos elektrolyytti ei ole riittävän tiivis).



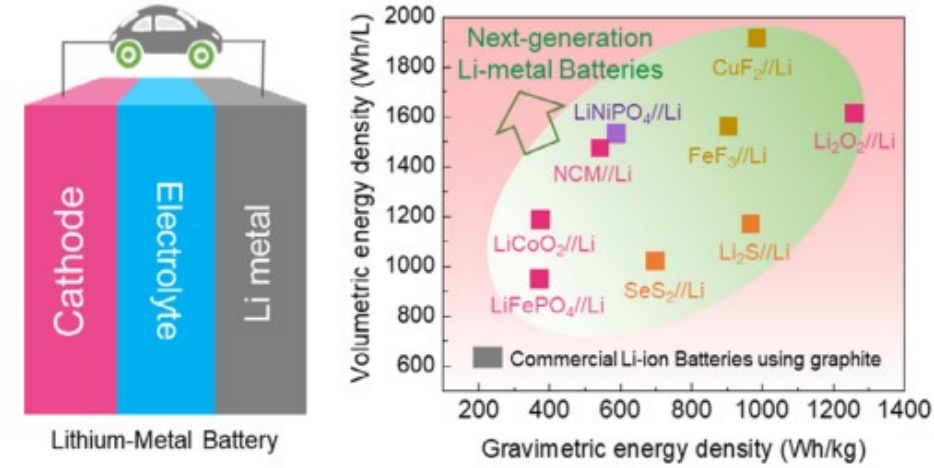
Kuva 14. Kiinteän elektrolyytin akuissa nestemäinen elektrolyytti on täysin kiinteä, mikä osaltaan parantaa akkujen turvallisuutta (Huo & Janek, 2023).

Useat yritykset ovat kehittämässä kiinteän elektrolyytin käyttöön perustuvia akkuja. On kuitenkin erittäin epätodennäköistä, että ns. täysin kiinteän elektrolyytin käyttöön perustuvat akut tulisivat markkinoille lähiaikoina, koska niiden keskeisin haaste on edelleen litiumionien heikko ionijohtavuus kiinteässä elektrolyytissä, joka rajoittaa niiden käyttöä ja syklattavuutta. Ns. rajapintaongelmien (engl. interphase challenges) ohessa haasteita aiheuttavat korkeat valmistuskustannukset ja valmistuksen haasteet. Markkinoille tulevat ratkaisut ovatkin enemmän ns. semisolid-ratkaisuja, joissa elektrolyyttikomponentti on osin nestemäinen.

Kiinteän elektrolyytin akut mahdollistaisivat myös metallisen litiummetallin käytön anodina (kuva 15), mikä nostaisi energiatiheyttä merkittävästi. Kun nestemäistä elektrolyyttiä ei käytetä, vähentyy riski dendriittien muodostumiselle, mutta se ei täysin poistu (litiummetalli voi silti muodostaa dendriittejä, jos elektrolyytti ei ole riittävän tiivis). Osa kiinteän elektrolyytin akkujen kehitystyössä mukana olevista yrityksistä haluaisi siirtyä metallisen litiumin käyttöön anodina.



Kuva 15. Kiinteän elektrolyytin akun rakenne, jossa metallinen litiumanodi (Molaiyan, ym. 2024).



Kuva 16. Arvio käytännössä saavutettavista energiatiheyksistä (enimmäisarvot) eri katodimateriaaleja käyttävissä litiummetalliparistoissa. Useista tyypillisistä litiummetalliparistoista koostuva vihreä alue esittää karkeasti tulevaisuuden litiummetalliparistojen saavutettavissa olevat energiatiheydet useiden katodien perusteella. (Wang, ym., 2020.)

7.5 Litiumrikkiakut

Litiumrikkiakut (Li-S) ovat lupaava akkuteknologia, joka voi tarjota erittäin korkean energiatiheyden ja vähentää kriittisten materiaalien käyttöä. Teoreettinen energiatiheys on jopa ~500 Wh/kg, mikä on paljon korkeampi kuin litiumioniakuilla.

Litiumrikkiakuissa anodina toimii litiummetalli ja katodina rikki (S_8), joka on kevyt alkuaine ja jota esiintyy runsaasti luonnossa. Katodina voidaan käyttää myös rikki-hiilikatodeita, jotka tarjoavat paremman stabiilisuuden. Kennoreaktioissa litiumionit reagoivat rikin kanssa muodostaen litiumsulfideja (Li_2S) akun purkaussyklin aikana ja palautuvat rikkiin latauksessa. Elektrolyytti on tyypillisesti nestemäinen orgaaninen liuos, mutta kehitteillä myös kiinteitä elektrolyyttejä.

Litiumrikkiakkujen keskeisenä haasteena on ns. shuttle effect, minkä aiheuttaa polysulfidien liukeneminen elektrolyyttiin. Tämä heikentää kapasiteettia ja voi lisätä lämpöongelmia. Nestemäiset elektrolyytit ovat usein syttyviä, ja paloturvallisuus riippuukin pitkälti elektrolyytin koostumuksesta. Litiummetalli voi muodostaa dendriittejä ja siten aiheuttaa oikosulku- ja paloriskin. Litiumrikkiakut ovat vielä pääosin kehitysvaiheessa, mutta erityisesti kiinteän elektrolyytin Li-S-akut voivat ratkaista turvallisuusongelmia. Tulevaisuuden litiumrikkiakkujen ennustetaan sopivan erityisesti pitkän kantaman sähköautoihin ja ilmailuun, jos em. haasteet ratkaistaan. (Manthiram, ym. 2014.)

7.6 Litiumilma-akut

Litiumilma-akut (engl. Li-air battery) ovat yksi energiatiheyden kannalta lupaavimmista akkuteknologioista, joskin ne ovat vielä kehitysvaiheessa. Akku käyttää happea ilmasta katodireaktiossa ja litiumia anodina. Purkauksen aikana litiumionit yhdistyvät hapen kanssa muodostaen litiumoksidia (Li_2O) tai litiumperoksidia (Li_2O_2). Latauksessa nämä yhdisteet hajoavat takaisin litiumiksi ja hapeksi. Litium-ilma-akun teoreettinen energiatiheys on moninkertainen verrattuna litiumioni- ja Li-S-akkuihin. Elektrolyytti voi olla nestemäinen, kiinteä tai polymeeripohjainen.

Li-ilma-akkujen etuna on mm. kevyt rakenne, koska katodi ei ole kiinteä materiaali vaan käyttää ilmaa. Li-ilma-akkuihin liittyy vielä paljon haasteita, esimerkiksi hapen hallinta. Ilman epäpuhtaudet (vesi, CO_2) voivat reagoida elektrolyytin kanssa ja aiheuttaa kemiallisia ongelmia kennossa. Akku onkin erittäin herkkä kosteudelle ja vaatii hyvän kennorakenteen ja kapseloinnin. Litiummetallin käyttöön liittyvät edellä mainitut haasteet (dendriittien muodostuminen ja siitä aiheutuva oikosulku- ja paloriski). Elektrolyytit voivat olla syttyviä. Reaktiotuotteiden (Li_2O_2) hallinta voi tukkia huokoset ja heikentää suorituskykyä. Kehitysvaiheessa olevien Li-ilma-akkujen suurimmat haasteet liittyvätkin syklien kestoon, turvallisuuteen ja hapenkäsittelyyn.

7.7 Tulevaisuuden anodimateriaalit

Tulevaisuuden anodimateriaalit litiumioniakuissa kehittyvät nopeasti, ja tutkijat etsivät vaihtoehtoja perinteiselle grafiittianodille parantaakseen akun kapasiteettia, latausnopeutta ja kestävyyttä. Tutkimuksessa lupaavia anodimateriaaleja ovat mm. piianodit, litiummetallianodit sekä erilaiset komposiittimateriaalit, joista C-Si-materiaalit ovat jo kaupallisessa käytössä. Näissä piitä on tyypillisesti muutamia painoprosentteja seostettuna grafiittiin.

Puhtaiden piianodien etuna olisi piin huomattavasti suurempi litiumin varastointikapasiteetti kuin grafiitilla, mikä voi merkittävästi lisätä akun energiatiheyttä. Haasteena on kuitenkin piin laajeneminen (jopa 400 %) latauksen aikana, mikä voi heikentää akun kestävyyttä ja turvallista käyttöä. Litiummetalli tarjoaisi anodina erittäin korkean energiatiheyden, mutta sen käyttöön liittyy dendriittien muodostuminen, joka voi aiheuttaa oikosulkuja ja turvallisuusriskejä. Osa tutkijoista onkin sitä mieltä, että metallinen litium ei tule olemaan tulevaisuuden anodiratkaisu juuri näiden syiden takia. (dos Reis, ym. 2023.)

Anodimateriaalipuolella selkeä trendi liittyy myös biomassan ja erilaisten biopohjaisten sivuvirtojen hyödyntämiseen osana anodimateriaalien valmistusta. Tähän liittyen on Suomessakin paljon aktiviteettia. Esimerkiksi metsäteollisuuden ligniiniä on tutkittu lupaavasti sekä biografiitin että ns. kova hiilen valmistuksen raaka-aineena. (Molaiyan, ym. 2023.)

8 Lainsäädäntö, määräykset ja asetukset

Suomen lainsäädännössä erilaisia akkuja ja paristoja käsitellään valtioneuvoston asetuksessa paristoista ja akuista 520/2014: *Asetuksessa säädetään toimista, joilla vähennetään paristojen ja akkujen haitallisuutta sekä edistetään käytöstä poistettujen paristojen ja akkujen kierrätystä ja muuta hyödyntämistä ja parannetaan niiden käsittelyn laatutasoa*. (Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014.)

Suomessa paristojen ja akkujen keräysaste tulisi olla vuosittain vähintään 45 painoprosenttia. Tavoitteena on kuitenkin kierrättää mahdollisimman suuri määrä. Lainsäädännön mukaan tuottajan on järjestettävä käytöstä poistettujen paristojen ja akkujen vastaanotto. Tuottajan on myös tiedotettava käyttäjille esimerkiksi paristojen ja akkujen sisältämien aineiden ympäristö- ja terveysvaikutuksista, käytettävissä olevista keräysjärjestelmistä ja vastaanottopaikoista. (Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014.)

Jätelaissa (646/2011) käsitellään akkujen tuottajavastuuta, ja sitä ollaan muuttamassa vuoden 2025 aikana EU:n lainsäädännön mukaiseksi lain laki jätelain muuttamisesta 799/2025 mukaisesti. Jätelain 646/2011 *tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista.* (Jätelaki 646/2011.)

Laki jätelain muuttamisesta 799/2025 huomioi EU:n akkuasetuksen muutosvaatimukset Suomen lainsäädännössä. Jäsenvaltioiden on ilmoitettava vaatimustenmukaisuuden arviointilaitokset EU:n komissiolle. Suomessa arviointilaitoksen hyväksyy Lupa- ja valvontavirasto. Vaatimuksenmukaisuuden arviointilaitokset antavat hyväksynnät paristoille tai akuille, kun ne noudattavat yhdenmukaistetuissa standardeissa vahvistettuja edellytyksiä. (Laki jätelain muuttamisesta 799/2025.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1542 akuista ja paristoista ja jäteakuista ja -paristoista ohjaa Euroopan tasoisesti paristojen ja akkujen lainsäädäntöä. Kyseistä asetusta sanotaan Suomessa akkuasetukseksi. Akkuasetus lisää keräysastevaatimuksia ja kierrätyslaitosten tehokkuutta asteittain vuoteen 2030 mennessä. Pyrkimys on hyödyntää aiempaa enemmän uusioraaka-aineita. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1542.)

Akkuasetusta sovelletaan kaikkiin akku- ja paristoluokkiin eli kannettaviin akkuihin, käynnistys-, valaistus- ja sytytysakkuihin (ajoneuvoakut), kevyiden liikkumisvälineiden akkuihin, sähköajoneuvojen ajovoima-akkuihin ja teollisuusakkuihin riippumatta niiden muodosta, tilavuudesta, painosta, rakenteesta, materiaalikoostumuksesta, kemiallisesta koostumuksesta, käytöstä tai tarkoituksesta. Sitä sovelletaan myös akkuihin, jotka on yhdistetty tai lisätty tuotteisiin tai jotka on erityisesti suunniteltu tuotteisiin yhdistettäviksi tai lisättäviksi. (EU) 2023/1542.)

Akkuihin liittyvää suoraa lainsäädäntöä ei Suomen rakentamis- tai pelastustoimen lainsäädännössä ole. Pelastuslaki (379/2011) velvoittaa ehkäisemään tulipaloja ja muita onnettomuuksia sekä varautumaan onnettomuuksiin tai niiden uhkiin. Pelastuslaki velvoittaa yleisesti huomioimaan, että tulipalon vaaran on oltava vähäinen ja rakennuksesta on voitava poistua tulipalossa tai muussa äkillisessä vaaratilanteessa. Tärkeänä kohtana pelastuslaissa on palovaroittimen asennusvaatimus asuintiloihin. Myös pelastushenkilöstön turvallisuus on otettava huomioon. Esimerkiksi henkilöstön ja pelastushenkilöstön turvallisuutta voidaan parantaa laatimalla pelastussuunnitelma. *Rakennukseen tai muuhun kohteeseen, joka on poistumisturvallisuuden tai pelastustoiminnan kannalta tavanomaista vaativampi tai jossa henkilö- tai paloturvallisuudelle, ympäristölle tai*

kulttuuriomaisuudelle aiheutuvan vaaran taikka mahdollisen onnettomuuden aiheuttamien vahinkojen voidaan arvioida olevan vakavat, on laadittava pelastussuunnitelma pelastuslain *14 §:ssä tarkoitetuista toimenpiteistä.* (Pelastuslaki 379/2011.)

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) ohjaa rakennusten paloturvallisuutta. Asetusta sovelletaan niin uudis- kuin korjaamisrakentamisessa sekä muissa muutostöissä. Suoraa ohjeistusta liittyen akkuenergiavarastoihin ei lainsäädännössä ole. Rakennuksen on kuitenkin oltava turvallinen käyttää. Akkuenergiavarastojen osalta voidaan hyödyntää palokuorman määrittelyä ja rakennuksen käyttötarkoitusta, esimerkiksi autosuojan muuttaminen tuotanto- ja varastotilaksi. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.)

Rakentamislain 32 § (751/2023) paloturvallisuudesta mainitaan, että *rakentamishankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi. Palon syttymisen vaaraa on rajoitettava. Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäisajan ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, poistumisen turvaaminen, pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen. Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin on pystyttävä rajoittamaan. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja*. Rakentamislupa vaaditaan, jos kohde on erityistä toimintaa varten rakennettava alue, josta aiheutuu vaikutuksia sitä ympäröivien alueiden käytölle. Kunta voi itsenäisesti myös katsoa, ettei rakennuslupaa tarvita, jos rakentamishanketta voidaan pitää vähäisenä. Korjaus- tai muutosrakentamisessa, jos rakennus tai rakennuksen osan käyttötarkoitus muuttuu, tarvitaan rakentamislupa. (Rakentamislaki 751/2023.)

9 Tutkimus

Hankkeen tarkoituksena ja tavoitteena oli kartoittaa kansainvälinen ja kansallinen osaaminen litiumioniakkujen pelastustoiminnasta sekä niiden palo- ja työturvallisuusohjeistuksista akkujen elinkaaren eri vaiheissa. Tätä varten hankkeessa suoritettiin tiedonhankintaa haastattelemalla, verkkokyselyllä, sähköpostiviestien vaihdolla ja suorittamalla verkkohakuja määriteltyjen asiasanojen pohjalta. Tiedonhankinnan tarkoituksena oli selvittää, mitä tietoa litiumioniakkupaloista ja niihin varautumisesta on olemassa kansallisesti ja kansainvälisesti. Tiedon hankinta painottui litiumioniakkupaloihin, standardeihin, tutkimuksiin ja pelastustoimen sekä eri toimijoiden ohjeistuksiin.

Tiedonhankinta rajoitettiin vähintään viisi vuotta vanhoihin tutkimuksiin tai ohjeisiin. Yksittäisiä vanhempia tutkimuksia hyväksyttiin mukaan, jos uudempaa tietoa ei löytynyt ja jos niitä oli käytetty muissa tutkimuksissa. Soveltuvat hakusanat kartoitettiin tiedonhankinnan alussa käyttämällä mahdollisimman laajasti niin suomen, ruotsin, saksan kuin englannin kielellä eri sanoja ja fraaseja, jotka liittyivät litiumioniakkuihin. Tiedonhankinnan edetessä hakusanojan muokattiin ja rajattiin tarvittavan tiedon saamiseksi.

Systemaattisen tiedonhankinnan aikana hyödynnettiin paljon eri julkaisuja ja niiden lähdeviitteitä. Tiedonhaun yhteydessä tuli selväksi, että monet litiumioniakkuihin liittyvät julkaisut ja tutkimukset sisälsivät samoja lähdeviitteitä. Tiedonhankintaa suoritettiin mahdollisimman laajasti valituilla hakusanoilla ja fraaseilla, jotta haluttu tieto alkoi toistaa itseään. Näin voitiin varmistaa tiedon yleistettävyys.

Hankkeen tiedonhankinnassa ja tulosten analysoinnissa noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2023).

9.1 Litiumakkujen palo- ja työturvallisuustiedon kansainvälinen kartoittaminen

Kansainvälinen tiedonkartoittaminen suoritettiin verkkohakuja tekemällä sekä asiantuntijoille suunnatuilla kysymyksillä, sähköpostiyhteydenotolla ja Webropol-kyselyllä. Sähköpostitse yhteydenotot kansainvälisiin asiantuntijoihin tehtiin kotimaisten pelastusalan asiantuntijoiden ja hankkeen kehittämistyöryhmän jäsenten antamien yhteystietojen pohjalta. Kevään 2024 aikana oltiin sähköpostitse yhteydessä kansainvälisiin asiantuntijoihin ja vastauksia saatiin neljältä henkilöltä. Kansainvälisten asiantuntijoiden kanssa käytiin sähköpostikeskustelua heidän edustamansa maan tai tahon käytänteistä litiumioniakkupaloissa ja niihin varautumisesta. Sähköpostiviestittelyn avulla saatiin tietoa tutkimuksista ja julkaisuista, joita hyödynnettiin tiedon keräämisessä. Kevään 2024 sähköpostikyselyn lisäksi haluttiin tarkasteltaviin kysymyksiin kattavammin vastauksia ja näkemyksiä. Sen vuoksi tehtiin uudestaan syksyn 2024 aikana yhdessä COMPO-hankkeen kanssa puolistrukturoitu verkkokysely. Verkkokyselyä jaettiin useammalle kansainväliselle asiantuntijalle.

Kansainvälisellä verkko- ja sähköpostikyselyllä pyrittiin selvittämään, mitä välineistöä litiumioniakkupaloissa käytetään eri maissa, mitä sammutusmenetelmiä ja -taktiikoita käytetään lämpökarkaamisen ja palon sammuttamiseksi ja mitä ohjeistusta tai lainsäädäntöä on heille olemassa. Lisäksi kysyttiin, miten pelastajat suojatuvat litiumioniakkupalossa muodostuvilta myrkyllisiltä aineilta ja kuinka he käsittelevät sammutusjätevettä.

Kansainvälistä tietoa saatiin myös Pelastusopiston henkilöstöltä. Henkilöstöä osallistui pariin kansainväliseen seminaariin, joissa aiheina oli litiumioniakkujen paloturvallisuus, palon sammuttaminen ja niiden ympäristövaikutukset sekä akkujen kierrätys.

9.1.1 Kansainvälisen kyselyn tulokset

LION- ja COMPO-hankkeiden yhteiseen Webropol-kyselyyn saatiin yhteensä yhdeksän vastausta. Ennen hankkeiden yhteistä Webropol-kyselyä alkuperäisen suunnitelman mukaisesti keväällä 2024 otettiin yhteyttä kansainvälisiin asiantuntijoihin litiumioniakkupalojen toimintaohjeiden tiimoilta. Keväällä saatiin neljältä asiantuntijalta vastauksia kysymyksiin ja linkit heidän kotimaansa tai osavaltionsa ohjeisiin ja tutkimuksiin.

Sähköautopalojen sammutustaktiikkana on puolustava taktiikka. Jäähdyttämiseen on käytössä vesijäähdytys, ja yksittäisen vastauksen mukaan myös korkeaa painetta (UHP) hyödyntäviä lävistäviä menetelmiä käytetään, samoin läpilyöntisauvoja. Sammutuspeitto on myös vaihtoehtona käytössä. Palon sammuttamisen jälkeen menetelmänä on yhden vastauksen mukaan karanteenikontti, joka on varustettu kaasu- ja lämpöilmaisimilla. Kansainvälisessä kyselyssä selvitettiin sähköajoneuvon avoimen ja suljetun tilan paloa, ja vastaukset olivat samanlaiset molemmissa tapauksissa.

Muiden litiumioniakkupalojen osalta jäähdytys on tärkein sammutusmenetelmä. Pienemmät akut, joita voidaan siirtää, upotetaan veteen. Jos jäähdytys ei tehoa, vaihtoehtona on useamman vastauksen mukaan loppuun poltto. Sisätiloissa tapahtuvien palojen osalta ensimmäisenä taktiikkana on savutuuletus ja palon leviämisen estäminen sammuttamisen ohella. Yhtenä vaihtoehtona vastauksissa esiin nousi myös vesisuihkulla palomuurin muodostaminen palon leviämisen estämiseksi.

Pelastajien suojautumista ei vastaajien mukaan tarkemmin ohjeisteta, vaan hyödynnetään yleisesti käytössä olevaa sammutusasua. Erityisenä mainintana vastaajilla oli turvapaineellisen paineilmahengityslaitteen käyttö, joka Suomessa on jo perussääntö suojautumisessa tulipaloja sammutettaessa. Tarkempaa selvitystä siitä, eroavatko vastaajien edustaman maan pelastuslaitosten käyttämät sammutusasut Skandinaviassa käytettävistä, ei tehty. EU-tasolla yhteiset standardit ovat käytössä, mutta vaihtoehtoisia malleja ja käytänteitä maiden välillä on olemassa.

Suurimmalla osalla vastaajista ei ollut ohjeistusta tai käytänteitä sammutusjäteveden hallintaan litiumioniakkupaloissa. Yksittäisinä vastauksina sähköautopalojen sammutusveden hallintaan on vesitiiviit sammutuslavat/kontit. Keskustelua sammutusjäteveden hallinnasta on kuitenkin käyty muutamaan vastaajan mukaan.

Litiumioniakkuenergiavarastojen (BESS) kohdalla osalla ei ole ohjeistusta. Yksittäisten vastausten mukaan tilanteissa toimitaan sähköautojen sammutusohjetta mukaillen tai noudatetaan valmistajan ohjeistusta. Vastauksissa mainitaan myös loppuun poltto ja muiden ympärillä olevien rakennusten suojeleminen palon leviämiseltä.

Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden kohdalla ei vastaajien mukaan ole juuri tarkempaa ohjeistusta. Yksittäisessä vastauksessa mainitaan keskitettyjen latauspaikkojen automaattinen sammutusjärjestelmä, ilmanvaihto, varastohallinta ja latauslaitteiden pääkatkaisin. Varastohallinnassa huomioidaan eristetyt alueet ja palo-osastointi.

Litiumioniakkujen varastoinnin osalta vastaukset jakaantuivat, ja osan mukaan palon mahdollisuudet on huomioitu rakentamismääräyksiä noudattaen. Useammassa vastauksessa kuitenkin painotettiin palovaroitin- ja sammutusjärjestelmää sekä ilmanvaihtoa. Esimerkiksi yhden vastaajan mukaan

tarkempaa ohjeistusta on saatavilla Alankomaiden Vaarallisten aineiden julkaisusarjasta 37[2] Lithiumhoudende energiedragers: Opslag (PGS, 2023).

Vastaajien mukaan heillä käytössä olevat ohjeistukset pohjautuvat useiden asiantuntijoiden näkemykseen sekä kansainvälisiin tutkimuksiin litiumioniakuista. Ohjeistuksia on muodostettu myös eri sidosryhmien työskentelyn myötä.

9.2 Litiumakkujen palo- ja työturvallisuustiedon kansallinen kartoittaminen

Kansallisen tiedon kartoituksen tavoitteena oli selvittää pelastuslaitosten ja yritysten sekä teollisuuden varautuminen ja nykykäytänteet litiumioniakkupaloihin. Kartoituksen aikana selvitettiin nykyiset palo- ja työturvallisuusohjeistukset sekä olemassa olevat sammutustekniikat ja -taktiikat. Lisäksi kartoitettiin pelastajien suojautumista litiumakkupaloissa erilaisissa ympäristöissä.

Manner-Suomen kaikille pelastuslaitoksille (21 kpl) lähetettiin pyyntö osallistua haastatteluun. Hyvinvointialueiden tekemien linjausten mukaisesti tutkimuslupahakemus toimitettiin kaikille hyvinvointialueille, joista määräaikaan mennessä yksitoista hyväksyi hakemuksen ja joita saatiin haastatella. Kaksi pelastuslaitosta ei kuitenkaan osallistunut haastatteluun, vaikka tutkimuslupa oli hyväksytty. Kyseisiltä pelastuslaitoksilta yhteyshenkilöt eivät reagoineet haastattelupyyntöihin. Lopulta haastatteluun osallistui yhteensä yhdeksän pelastuslaitosta. Haastattelun yhteydessä haastattelijat kirjasivat vastaukset valmiiksi tehtyyn Webropol-kyselylomakkeeseen.

Pelastuslaitoksille tehdyissä haastatteluissa haluttiin selvittää pelastuslaitosten käyttämiä ohjeistuksia litiumakkupaloihin varautumiseen ja litiumakkupalojen sammuttamiseen. Lisäksi selvitettiin, miten pelastajat suojautuvat akkupalojen aikana.

Teollisuudelle tehtiin tiedon kartoitus etähaastatteluin ja vierailemalla yrityksissä. Yritykset valittiin mukaan kartoitukseen mahdollisimman laajalta sektorilta akkujen valmistuksesta aina niiden kierrätykseen. Hankkeen tärkeimmät sektorit olivat kaivoskoneita valmistavat yritykset sekä akkuja kierrättävät yritykset, mutta koska kartoitus koski koko litiumakkujen elinkaarta, yrityksiä valittiin seuraavilta osa-alueilta: akkuvalmistajat, energiavarastot ja niiden valmistajat, akkuja käyttävien laitteiden valmistajat, akkulaitteiden käyttäjät, huolto- ja korjausyritykset, akkujen ja laitteiden kuljetuksia tekevät yritykset sekä akkujen kierrätystä tekevät yritykset. Kaikkien edellä mainittujen toimintaa tarkasteltiin pelastuslaitosten näkökulmasta. Kerätyn tiedon avulla muodostettiin suositukset eri toimintasektoreille ja pelastuslaitoksille.

Teollisuuden haastattelut tehtiin videohaastatteluin tai kohdevierailun yhteydessä. Haastattelijat kirjasivat vastaukset valmiiksi tehtyyn Webropol-kyselylomakkeeseen. Kysymykset löytyvät liitteistä 1 ja 2.

Suositusten laatimista varten haastatteluista kerättyä tietoa vahvistettiin aikaisemmin tehtyjen tutkimusten tiedoilla. Kansallinen tutkimusten tiedonkerääminen tehdään yliopistojen aineistosta ja täydennetään liittojen, virastojen ja järjestöjen tutkimusaineistolla.

9.2.1 Pelastustoimen haastattelu

Haastatteluun osallistuneilla pelastuslaitoksilla (9 kpl) on pääsääntöisesti käytössä ohjeistuksia litiumioniakkupaloihin. Pelastuslaitokset hyödyntävät pelastustoimen kumppanuusverkoston Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjetta (Pelastustoimen kumppanuusverkosto, 2024) energiavarastojen osalta ja myös Sähköautojen latauspisteet kiinteistössä ja pelastustoiminnan

edellytysten huomioiminen -ohjeistusta (Pelastustoimen kumppanuusverkosto, 2022). Kumppanuusverkoston aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeessa on lyhyesti käyty läpi litiumioniakkuenergiavarastoja, mutta sisältö ei ole kaikenkattavaa. Pari pelastuslaitosta hyödyntää Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitoksen tekemää Ohje energiavarastojen suunnitteluun -ohjetta (Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitos, 2023). Myös sähköautojen paloihin liittyen osa pelastuslaitoksista on hyödyntänyt Suomen Palopäällystöliiton Toimintamallin luonti sähköautopaloon -ohjeistuksia (Suomen Palopäällystöliitto, 2022). Yksittäisellä pelastuslaitoksella oli hyödynnetty vakuutusyhtiöiden antamia ohjeistuksia. Vakuutusyhtiöiden suojeluohjeissa on vakuutusyhtiöiden vaatimuksia sähköautojen lataamisesta tai muista akkukäyttöisistä laitteista. Vakuutusyhtiön suojeluohjeen laiminlyöminen vahinkotapauksessa voi vähentää tai kokonaan poistaa mahdollisen vakuutuskorvauksen.

Erillisiä omia ohjeita tai suosituksia kotitalouksia varten pelastuslaitoksilla ei ole käytössä. Sähköautojen ja akkuenergiavarastojen osalta neuvonnassa on hyödynnetty edellisessä kappaleessa mainittuja ohjeita ja suosituksia sekä Tukesin ja Motivan ohjeita.

Viidellä haastatteluun osallistuneella pelastuslaitoksella on lyhyet ohjeistukset ja toimintamallit pelastajien suojautumiseen akkupaloissa. Pelastuslaitosten omissa koulutuksissa on korostettu litiumioniakkujen erityispiirteitä ja vaaroja. Perinteisen sammutusvarustuksen lisäksi pelastuslaitoksilla on käytössä jännitesuojakäsineet. Jännitesuojakäsineitä hyödynnetään esimerkiksi akkujen siirrossa. Yhden pelastuslaitoksen toimintamallina isoissa akkupaloissa on poistaa likaantunut palopuku käytöstä ja pienemmissä akkupaloissa palopuvun pesu vähintään kolme kertaa. Isommissa paloissa käytetään myös biomonitorointia pelastajien altistumisen seurantaan. Käytännössä pelastuslaitoksilla pelastajien suojautumistaso pidetään samana kuin perinteisessä rakennuspalossa.

Akkupaloihin soveltuvia välineitä on kaikilla haastatteluun osallistuneilla pelastuslaitoksilla. Yksittäisiä ajoneuvon sammutuspeitteitä, alustasprinklereitä, Cold Cut Cobra -sammutinleikkureita, läpilyöntisauvoja, siirtoalustoja ja sammutuslavoja. Sammutusvälineet ovat sijoitettuna yksittäisiin ajoneuvoihin, ei yleisesti koko pelastuslaitoksen alueen muihin yksiköihin. Yksittäisten pelastuslaitosten sammutuslavoja voivat muut lähialueen pelastuslaitokset hyödyntää tarpeen vaatiessa. Ainakin kahden pelastuslaitoksen alueella hinausyritykset ovat investoineet sammutuslavoihin vikaantuneiden tai palaneiden sähköajoneuvojen siirtoa varten. Pelastuslaitosten onnettomuuksien ehkäisypuolella on pyritty ohjeistamaan eri toimijoita sähköautojen latauspaikkojen sijoittamisesta.

Viidellä haastatteluun osallistuneella pelastuslaitoksella on sammutustaktiikkaan ja -tekniikkaan ohjeistukset. Henkilöstölle on annettu koulutusta mahdollisesta leimahdus-/räjähdysvaarasta ja siitä, miten savukaasuille altistumista voidaan vähentää. Savukaasujen tuuletus on ohjeistettu aloitettavan ennen palon sammuttamista suljetuissa tiloissa. Suomen Palopäällystöliiton ohjetta (Suomen Palopäällystöliitto, 2022) hyödynnetään suljetussa tilassa tapahtuvaan palon sammuttamiseen ja ajoneuvon siirtämiseen.

Litiumioniakkupalojen jälkitoimenpiteille on ohjeistukset neljällä pelastuslaitoksella. Esimerkiksi isot akut tulee eristää vähintään 5 metrin suojaetäisyydellä. Sammutuslavaa hyödynnetään palon jälkeiseen karanteeniin. Haastattelussa ei tarkemmin selvinnyt, miten muiden akkujen kanssa toimitaan palon jälkeen.

Tiedonhankinnan ja haastattelujen perusteella tarkempaa ohjeistusta akkupaloihin on Suomessa olemassa kahdella pelastuslaitoksella, mutta toiseen pelastuslaitokseen ei voitu haastattelua tehdä hyvinvointialueen oman tutkimuslupaprosessin ongelmien vuoksi. Molempien pelastuslaitosten

henkilöt toimivat pelastustoimen akkupaloasiantuntijoina, ja he ovat olleet mukana LION-hankkeen kehittämistyöryhmässä.

9.2.2 Teollisuuden haastattelu

Teollisuuden haastatteluun osallistui 21 yritystä eri toimialoilta. Haastattelut suoritettiin suurimmaksi osaksi vierailemalla yrityksissä paikan päällä. Tällä haluttiin varmistaa oikean kuvan saamista yritysten varautumisen nykytilanteesta ja siinä olevista epäkohdista. Vain kaksi yritystä osallistui haastatteluun etäyhteyden avulla. Haastatteluiden lisäksi vierailimme kuudessa yrityksessä ja ilman kyselyä haastattelimme kahta yritystä. Näillä keinoin haluttiin lisätä ymmärrystä sammutusmenetelmistä sekä saada tietopohjaa haastattelujen kysymysten asettelemiseksi. Yhteensä olimme yhteydessä 30 yritykseen.

Yritykset valittiin siten, että otanta antaisi mahdollisimman laajan kuvan yritysten varautumisesta akkujen koko elinkaaren ajalta akun valmistuksesta sen kierrätykseen asti. Kennoja teollisesti valmistavia yrityksiä ei ollut hankkeen aikana Suomessa. Yritysten koko vaihteli pienistä muutaman hengen yrityksistä kansainvälisiin usean tuhannen hengen yrityksiin.

Pääsääntöisesti yrityksillä on jonkinlaista ohjeistusta litiumioniakkupaloja varten olemassa. Vain yhdellä haastatteluun osallistuneella yrityksellä ei ollut mitään ohjeistusta litiumioniakkupaloja varten. Ohjeistusten kohdentuminen akkujen käyttökohteen perusteella vaihtelee yritysten toimialan mukaan. Suurimman huomion olivat saaneet akkujen varastointi (57 % vastaajista) ja akkujen tuotanto/huolto (43 % vastaajista). Energiavarastojen toimittajilla on omat ohjeistuksensa joko itse tehtynä tai valmistajan toimesta.

Akkujen säilytyksessä paloturvallisuuslaitteiden käyttö vaihtelee toiminnan laajuuden mukaan. Suurimmalla osalla (80 %) yrityksistä on hätäkeskukseen yhdistetty paloilmoitinjärjestelmä ja lähes samalla määrällä (74 %) on käytössä kaasun, savun tai lämmön ilmaisimia. Näistä ilmaisimista vain muutama oli tarkoitettu varsinaisesti akkupalojen havainnointiin. Suurin osa ilmaisimista oli normaalikäyttöön tarkoitettuja palonilmaisimia. Monessa kiinteistössä jo aiemmin ollut muuta toimintaa, joka oli vaatinut paloilmoitinjärjestelmän asentamisen. Sprinklereitä on hyödynnetty muutamassa yrityksessä litiumioniakkujen varastoinnissa. Akkuenergiavarastotoimijoilla on akunhallintajärjestelmät, joiden avulla pyritään estämään palotapahtumat ja muut vikaantumiset.

Akkujen varastoinnissa palo-osastointi on huomioitu vain muutamassa yrityksessä, eikä yhtenäistä linjaa toimijoiden välillä ollut esimerkiksi palo-osaston palonkestosta, joka vaihteli.

Akkupaloihin on varauduttu erilaisin sammutusvälinein muutamaa yritystä lukuun ottamatta. Pikapalopostit löytyvät monelta, samoin käsisammuttimet. Pikapalopostit tulee olla jo yleisen vaatimuksen mukaisesti isommissa kiinteistöissä. Tuotannonaikaiseen akkupaloon on varauduttu suurimmassa osassa yrityksiä (83 %) esimerkiksi vesiastioin tai alkusammuttimin.

Pelastustoimen edellytyksiä ajatellen osalla kohteista on käytössä kohdekortteja, ja vajaalla kolmasosalla vastaajista akkuvarastot on merkitty kohdekorttiin. Pienemissä kohteissa ei vaadita kohdekorttia.

Käytöstä poistettaville ja vikaantuville akuille on lähes kaikilla olemassa ohjeistus. Viallisia ja käytöstä poistettuja akkuja säilytetään yrityksen toiminnan mukaan erillisessä kontissa tai akunkierrätystoimijan toimittamassa säilytysastiassa.

Paloturvallisuuteen liittyvää ohjeistusta ja muuta yhteistyötä pelastuslaitoksilta oli saanut hieman alle puolet vastaajista.

9.2.2.1 Yhteenveto ja päätelmät

Kaikissa yrityksissä litiumakkupalojen vaaroja oli mietitty ja lähes kaikissa niihin oli jotenkin varauduttu. Vierailujen aikana oli kuitenkin selkeästi havaittavissa, että varsinaiset varautumisen toimenpiteet olivat pääsääntöisesti hyvin kevyitä ja pohjautuivat aikaisempaan saatavilla olevaan sammutuskalustoon, kuten mm. litiumioniakkupaloihin soveltumattomiin sammutuspeitteisiin tai jauhesammuttimiin. Muutamilla yrityksillä, jotka käsittelevät suuria määriä akkuja, oli mietitty hyvin koko tehtaan läpi kattava suunnitelma, mutta havaittavissa oli, että kaikkia osa-alueita ei ollut käytännön tasolle viety. Tällaisia olivat mm. henkilökohtaisten suojaimien käyttö ja niiden toimivuus todellisessa tilanteessa, vaikka itse sammutusmenetelmä olisi ollut hyvin käyttökelpoinen. Rakenteellisen suojauksen keinoja ja sprinklerin toimivuutta litiumioniakkuja varastoitaessa kysyttiin useammassa paikassa.

Yleisesti ottaen akkupalojen suojautumiseen kaivattiin monelle eri sektorille selkeää suositusta tai lainsäädäntöä, ja tähän pystymme osaltamme tällä suosituksella vastaamaan.

10 Kemiallinen altistuminen, suojavarusteet ja varusteiden puhdistaminen litiumioniakkupaloissa

Juha Laitinen ja Helena Mäkinen

10.1 Altistuminen

Vuonna 2022 kansainvälinen syöväntutkimuslaitos IARC nosti palomiesten työn syöpävaarallisuusluokituksen korkeimpaan luokkaan, ryhmään 1. Päivityksessä erityisesti mainittiin altistavina pelastustehtävätyyppeinä rakennus-, maasto- ja ajoneuvopalot. (Demers ym., 2022; IARC, 2022.) Koska syöpävaarallisille aineille altistumiselle ei voida antaa turvallista rajaa, niille altistuminen on pidettävä niin matalalla kuin mahdollista. Tyypillisimpiä palamisessa syntyviä syöpävaarallisia aineita ovat bentseeni, formaldehydi ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt. Syöpävaarallisuuden lisäksi osa pitkäaikaisia vaikutuksia aiheuttavista aineista on lisäksi ihoa ja hengitysteitä herkistävää sekä perimälle ja keskushermostolle myrkyllistä (Buston ym., 2023; Edelman ym., 2003; IARC, 2022; Willstrand ym., 2025).

Palokaasuissa on myös hapenkuljetuksen estäjiä, kuten hiilimonoksidia, syaanivetyä ja rikkivetyä, jotka vaikeuttavat solujen hapensaantia (Savolainen & Kirchner, 1998; Reinhardt & Ottmar, 2004; Varone ym., 2006). Lisäksi ne sisältävät myös ärsyttäviä aineita, kuten formaldehydiä, typen ja rikin oksideja sekä kloori- ja fluorivetyhappoa, jotka voivat aiheuttaa tulehdustilan keuhkoihin (Bolstad-Johnson ym., 2000; Posniak, 2000; Laitinen ym., 2015). Palamisessa syntyvä savu koostuu pienhiukkasista, jotka pystyvät etenemään keuhkoissa aina keuhkorakkulatasolle asti, ja ne voivat aiheuttaa muutoksia verenkiertoelimistössä ja sydämessä (IARC, 2022; Claassen ym., 2024).

Kemiallisille aineille altistutaan eri reittejä. Parhaiten tunnettu altistumisreitti on hengityselimistön kautta. Parantuneiden hengityksensuojainten ansiosta sen merkitys on vähentynyt ja merkittävämpään rooliin ovat nousseet altistumiset ihon ja ruuansulatuselimistön kautta. Tämä on tärkeää huomioida myös pelastustehtävätyyppien riskinarvioinneissa ja henkilösuojainten valinnassa. (Laitinen ym., 2012; Fent ym., 2013–2014; Laitinen ym., 2014–2016; Laitinen ym., 2019; Taeger ym., 2023.)

Litiumioniakkupaloissa ovat läsnä yllä mainitut kemialliset aineet ja sen lisäksi myös akuista palamisessa vapautuvat altisteet. Sähköautojen päästöjä on verrattu polttomoottoriautojen päästöihin täyden kokoluokan palotesteissä. NMC-kemialla varustetun litiumioniakulla varustetun sähköauton fluorivedyn, litiumin, alumiinin, koboltin, mangaanin, nikkelin ja sinkin päästöt olivat suurempia kuin polttomoottoriautoilla (Lecocqin ym., 2012; Hynynen ym., 2023). Näistä erityisesti fluorivety aiheuttaa välittömiä ärsytysvaikutuksia hengityselimistöön, iholle ja silmiin. Suuremmissa pitoisuuksissa se voi aiheuttaa myös viivästyneen keuhkoödeeman. Fluorivety muuttuu ilman kosteuden vaikutuksesta fluorivetyhapoksi, joka imeytyy selvästi paremmin ihon läpi kuin fluorivety itse ja voi aiheuttaa systeemisenä vaikutuksena hermo- ja lihastoiminnan häiriöitä, sydämen rytmihäiriöitä ja jopa sydänpysähdyksen. (Dennerlein ym., 2016; Wingfors ym., 2021; Työterveyslaitos b, 2025.) Litiumioniakkujen fluorivetypäästöt palotilanteessa vaihtelevat akkukemian ja akun latausasteen mukaan. LMO-akkujen fluorivetypäästöiksi on mitattu 36–68 mg/Wh (Ribiere ym. 2012), LFP-akkujen 10–200 mg/Wh (Lococq ym., 2016; Larsson ym., 2017), LCO-akkujen 20 mg/Wh (Larsson ym., 2017) ja NMC-akkujen 15–42 mg/Wh (Hynynen ym. 2023). Tulokset

osoittavat suurta vaihtelua, joka myös viittaa litiumioniakkujen arvaamattomaan käyttäytymiseen palotilanteessa.

Litiumioniakkujen palaessa syntyy keuhkojen alveolialueelle pääseviä halkaisijaltaan alle 4 µm:n hiukkasia, joiden alkuainekoostumuksesta pystytään määrittelemään, mistä kyseisen akun katodimateriaali on tehty. Tyypillisimmillään LFP- ja LCO-akkukemiat tuottavat orgaanista ja epäorgaanista hiiltä, fluoridia, fosfaattia ja sulfaattia (Claassen ym., 2024). Sen lisäksi esimerkiksi NMC-akuista vapautuu herkistäviä nikkeliyhdisteitä ja hengityselimistöön, sydämeen ja maksaan vaikuttavia kobolttiyhdisteitä sekä keskushermostoon vaikuttavia mangaaniyhdisteitä (Buston ym., 2023). Syntyvästä noesta on myös määritetty akun elektrolyyttien sideaineena käytettävistä fluoriyhdisteistä palamisessa vapautuvia per- ja polyfluorattuja alkyyliyhdisteitä (PFAS) (Willstrand ym., 2025). Kyseiset aineet kumuloituvat elimistöön, ja ne on yhdistetty useisiin haitallisiin terveysvaikutuksiin, kuten heikentyneeseen immuunivasteeseen, lisääntyneeseen kilpirauhassairauksien riskiin, hedelmällisyyden heikkenemiseen, kivesten ja munuaisten syöpään sekä maksavaurioihin (Blake and Fenton ym., 2020; Fenton ym., 2021; Guo ym., 2022).

Litiumioniakkujen palamisessa syntyy myös palavia kaasuja elektrolyyttien ja niiden suolojen höyrystyessä. Elektrolyytistä vapautuu karbonaatteja, liuotinaineita ja vetyä (Hynynen ym., 2023). Palavat kaasut muodostavat leimahdusriskin, ja se on huomioitava pelastustehtävällä. Syntyviin palavien kaasujen päästöihin vaikuttavat merkittävästi sammutustoimet. Mikäli palavat kaasut syttyvät ja niiden annetaan palaa hallitusti, se vähentää palavien kaasujen määrää. Fluoriyhdisteiden päästöt puolestaan lisääntyvät, mikäli akun annetaan palaa vapaasti. Mitä paremmin paloa hillitään sammutustoimilla, sitä enemmän fluorivetypäästöt vähenevät. (Hallikainen, 2017; Hynynen ym., 2023). Vastaavalla tavalla myös PFAS-yhdisteiden päästöjen lisääntyminen näyttäisi alustavissa testeissä olevan verrannollinen akkukennon lämpötilan nousuun (Willstrand ym., 2025).

Litiumioniakkujen päästöprofiili on erilainen lämpökarkaamisen eri vaiheissa. Kun anodin pinnassa oleva suojakerros käy epävakaaksi, alkaa vapautua pienimolekyylisiä yhdisteitä, kuten hiilimonoksidia ja hiilivetyjä. Suojakerroksen pettäessä elektrolyytti reagoi litioidun anodin kanssa höyrystäen elektrolyytin, jolloin elektrolyytin suola hajoaa ja kosteuden vaikutuksesta siitä syntyy fluorivedyn kautta fluorivetyhappoa. Mikäli erotin ei pysty kennoa sammuttamaan, sen sulaessa akkuun syntyy sisäinen oikosulku, minkä jälkeen alkaa katodin hajoaminen. Tässä vaiheessa akusta vapautuu akun kemian mukaisesti metalleja ja kuumia heitteitä, joiden muodostama riski pelastajalle on huomioitava. (Larsson ym., 2017; Hynynen ym., 2023; Buston ym., 2023.) Pysäyttämätön terminen karkaaminen katodin hajoamisen seurauksena alkaa eri akkukemioilla eri lämpötiloissa: LCO (150 °C), NCA (160 °C), NMC (210 °C), LMO (265 °C) ja LFP (310 °C) (Wu ym., 2018).

10.2 Tekniset torjuntatoimenpiteet

Litiumioniakkupalossa kemikaalialtistumisen torjunnassa on ensisijaisesti käytettävä teknisiä keinoja ja toissijaisesti henkilökohtaisia suojaimia. Teknisinä keinoina on hyödynnettävä toimintaohjeita kemiallisille vaaratekijöille (TOKEVA). Ohjeita löytyy primaarisille litiumioniparistoille T4.3 ja litiumioniakuille T9b. Mikäli tilanne kärjistyy kokoluokaltaan kemikaalionnettomuudeksi ja vaatii myös kemikaalisukellusta, ohje syövyttäville ja myrkyllisille aineille T8d on myös käyttökelpoinen. Ohjeissa annetaan toimintamalleja kohteen tiedusteluun, lähestymiselle tuulen yläpuolelta akkupalon purkautumissuunta huomioiden sekä ohjeet välittömän vaaran alueen, vaara-alueen ja pelastustoiminta-alueen määrittelyille. Lisäksi ohjeissa annetaan työkaluja liikennevälineen käyttövoiman ja litiumioniakkupalon tunnistamiseen normaalista akkupalosta. Ohjeita annetaan

myös leimahdus- ja räjähdysvaaran tunnistamiseen, liikennevälineen virrattomaksi tekemiseen ja sen paikallaan pysymiseen. Ohjeissa tuodaan esille myös tarvittavat suojavarusteet ja eristetyt työkalut.

10.3 Pelastajien suojavarusteet

Jotta altistuminen syöpävaarallisille ja muille kemikaaleille pystyttäisiin pitämään mahdollisimman pienenä, henkilökohtaisten suojainten toimivuus, yhteensopivuus ja niiden huolto ovat avainasemassa eri altistumisreittien kautta tulevan altistumisen torjunnassa. Hyvä suojainten valinta edellyttää myös pelastustehtävän riskinarviointia, jotta hankitut suojaimet täyttävät pelastustehtävän vaatimukset. Kansainväliset suositukset eri toimijoilta (USFA, FEMA, CTIF, SPPL ja JOIFF) edellyttävät litiumioniakuilla varustettujen liikennevälineiden paloihin parempaa henkilösuojausta kuin vastaaviin polttomoottoriautopaloihin. Suositusten yhdistävinä tekijöinä ovat rakennuspaloihin suositeltujen palopukujen vaatimukset, turvapaineellisten paineilmahengityssuojainten käyttö, eristesuojakäsineiden tarve ja raskaat palokypärät (USFA ja FEMA, 2025; NFPA, 2018; SPPL, 2022; JOIFF, 2020).

Rakennuspaloihin suunnitellun standardin EN469:2020 ja tyypin 2 mukaisen palopuvun suojaustehokkuutta polysyklisille aromaattisille hiilivedyille ja fluorivedylle on tutkittu MSB:llä. Tutkimusten mukaan puvut vähensivät polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen pitoisuutta keskimäärin 150. osaan ja fluorivedyn 120. osaan puvun sisäpuolella puvun ulkopuolelta mitattuun pitoisuuteen nähden (Wingfors ym., 2018; Wingfors ym., 2021). Testit tehtiin jäljitellen savusukelluksen eri vaiheita suljetussa tilassa. Lisäksi tutkittiin keinoiholla fluorivedyn imeytymistä ihon läpi 20 minuutin altistumisessa eri pitoisuuksilla kuivalla ja kostealla iholla. Tulokset osoittivat, että hikisen ihon kautta fluorivety imeytyi kahdeksan kertaa paremmin kuin kuivan ihon kautta (Wingfors ym., 2021). Tutkimuksessa todettiin myös, että mitattu fluorivedyn imeytyminen pitoisuudella 83 mg/m3 oli 20 minuutin altistumisessa seitsemäsosa aikuiselle arvioidusta fluorivedyn akuutin toksisuuden raja-arvosta. Jotta tuo akuutin toksisuuden raja-arvo olisi saavutettu, olisi se edellyttänyt 2 tunnin ja 20 minuutin savusukellusta testatuissa olosuhteissa. Tutkimuksessa todettiin myös, että fluorivety muuttuu fluorivetyhapoksi ilman kosteuden vaikutuksesta, jolloin sen ihon läpi imeytyminen lisääntyy merkittävästi (Dennerlein ym., 2016).

Ihoaltistumisen torjunnassa palopuvulla on merkittävä rooli, mutta myös sen alla olevilla kerroksilla on suuri merkitys suojautumisen kannalta. Ensiksi on tärkeää tietää, että palopukujen puhdistuminen normaalissa vesipesussa ei ole täydellistä. Tämän vuoksi palopuvun alla olevien vaatekerrosten tulee olla pitkähihaisia ja -lahkeisia, esimerkiksi puuvillaisia asemapalveluspukuja, jotta pelastajat eivät ole suorassa ihokontaktissa palopuvun kemikaalijäämille. Toiseksi jos käytetään teknistä alusasua asemapalvelupuvun alla, se poistaa myös ihon pinnasta kosteutta, joka vähentää ihoaltistumisriskiä ja fluorivedyn muuttumista vastaavaksi hapoksi (Dennerlein ym., 2016; Wingfors ym., 2021). Kolmanneksi jo ihon peittämisen on todettu vähentävän merkittävästi ihoaltistumista. Pitkähihaisten ja -lahkeisten teknisten alusvaatteiden käytön todettiin vähentävän polysyklisille aromaattisille hiilivedyille altistumista rinnan ja selän alueella 70 % sekä reiden ja nilkan alueella 90 % verrattuna altistumiseen, jos käytetään palopuvun alla vain shortseja ja t-paitaa (Laitinen ym., 2021). Suosittelemme litiumioniakkupaloihin rakennuspaloihin tarkoitettua palopukua, joka täyttää standardin EN469:2020 tason 2 vaatimukset. Litiumioniakkupaloissa esiintyy kuumia heitteitä ja pistoliekkejä, ja räjähdysriski on tehtävällä läsnä. Tason 2 puku antaa paremman lämmönsuojauskyvyn liekkikuumuuden ja lämpösäteilyn osalta kuin tekniseen pelastamiseen tarkoitettu tason 1 puku, jota käytetään jonkin verran teknisessä pelastamisessa. Kemikaalisuojauksen osalta eroa pukujen välillä ei ole.

Jos sammutusasu kastuu läpimäräksi litiumioniakkupalojen sammutuksessa, se on vaihdettava ja sen käyttäjän on mentävä välittömästi suihkuun ihoaltistumisen katkaisemiseksi. Tämä on erityisen tärkeää fluorivedylle ja sen hapolle altistuttaessa, koska ne ovat vesiliukoisia ja niiden läpäisy kostean palopuvun läpi lisääntyy veden mukana. Myös ihoa herkistävien vesiliukoisten metallien (nikkeli ja koboltti) läpäisy palopuvun läpi voi lisääntyä. Lisäksi palopuvun kastuminen lisää myös sähköisku- ja palovammariskiä merkittävästi (Malaquias ja Campos, 2024).

Suljetuissa tiloissa ja vaativissa olosuhteissa työskenneltäessä suosittelemme palopuvun alle väliasuksi aktiivihiiliasua litiumioniakkupaloihin tuomaan lisäsuojaa. Aktiivihiiliväliasu täyttää standardin EN ISO 13982. Se kestää valmistajan mukaan vähintään 20 pesua, ja pakkauksesta poistettu puku säilyy toimintakuntoisena seitsemän vuotta. Testeissä 24 savusukelluskerran jälkeen palopuvun ja aktiivihiiliväliasun suojauskerroin oli vielä 132. Ilman aktiivihiiliväliasua normaalilla väliasulla ja palopuvulla suojakerroin oli 62 (Ekberg ym., 2021). Aktiivihiiliväliasun haittapuolena on, että se kuormittaa pelastajaa normaalia enemmän pelastustoiminnan aikana.

Kun sammutettavassa suljetussa tilassa on runsaasti kosteutta ja vaarana on sammutusasun kastuminen, on mahdollista saada lisäsuojausta ihoaltistumista vastaan palopuvun ylle puettavalla lämpöä ja roiskeita kestävällä kemikaalisuojapuvulla, joka täyttää myös kuumuudelta ja tulelta suojaavuuden osalta standardin EN 14116. Erittäin vaativissa pelastustilanteissa, jotka muistuttavat kemikaalionnettomuutta suljetuissa tiloissa ja joissa fluorivetypitoisuudet ovat korkeita, on lämpöä kestävän ja kaasutiiviin kemikaalisuojapuvun käyttö myös perusteltua. Kemikaalisuojapuku täyttää standardin EN 943-2:2019.

Pään suojaamiseen suositellaan raskasta palokypärää, joka täyttää standardin EN 443. Palokypärän alla tulee olla standardin EN 13911 mukainen alushuppu.

Käsien kautta tulevaa altistumista vähennetään palokäsineillä, jotka täyttävät standardin EN 659. Palokäsineiden alle suositellaan aluskäsineitä, jotka on valmistettu nahasta tai puuvillasta. Kuivissa olosuhteissa puuvillakäsineiden on todettu vähentävän palomiesten käsien kautta tulevaa altistumista polysyklisille aromaattisille yhdisteille 80 %. Jos käsineet kastuvat, ne on vaihdettava samasta syystä kuin palopuvutkin (Laitinen ym., 2010). Kosteisiin olosuhteisiin suositellaan nitriilikäsineitä, joilla estetään haitallisten kemiallisten aineiden imeytyminen työskentelyn tai varusteiden riisumisen aikana (Everaert ym., 2023). Palokäsineiden sähkönjohtavuutta ei testata, minkä vuoksi ne eivät sovellu korkeajännitteellisiin pelastustilanteisiin. Jännitteelliseen työhön tulee käyttää EN 60903 standardin mukaisia käsineitä. Ongelmana on, että jännitetyöhön suunnitellut käsineet eivät kestä pitkäkestoista kuuma-altistusta. Käsineitä valitessa tulee huomioida niiden luokka ja erityisominaisuudet. Pelastustoimen käyttöä ajatellen suositellaan vähintään luokan 0 (1 000 V) käsineitä erityisominaisuudella RC. Ne kestävät happoja, öljyä, otsonia ja kylmää. Jännitetyöhön suunnitellut käsineet kestävät rasitusta ja viiltoja huonommin kuin palomiehen käsineet.

Palomiehen turvajalkineet täyttävät standardin EN 15090, ja niitä on kolmea eri tyyppiä, joista tyyppi 2 (F2A) soveltuu savusukellukseen. Litiumioniakkupaloihin suositellaan tyypin 3 (F3I) jalkineita, joissa on kemikaalisuojaus, ja ne täyttävät myös sähköneristävyysvaatimukset. Turvajalkineita valittaessa on huomioitava myös niiden kemikaalisuojaus. Turvajalkineiden yhteydessä käytetään aina villasukkia lämmöneristävyyden ja käyttömukavuuden lisäämiseksi.

Kansainvälissä suosituksissa litiumioniakkupaloissa ohjeistetaan käyttämään turvapaineellisia paineilmahengityslaitteita, jotka täyttävät standardit EN136 ja EN137. Tämä on hyvin perusteltavissa myös riskinarvioinnin kautta, koska litiumioniakkupalossa palokaasuissa esiintyy yhdisteitä, joita puhallinavusteiset hengityksensuojaimet eivät pysty suodattamaan hengitysilmasta (Lecocqin ym.,

2012; Hynynen ym., 2023). Suodattamisen kannalta hankalia yhdisteitä ovat typen oksidit, hiilimonoksidi ja pienimolekyyliset hiilivedyt. Lisäksi korkeat pitoisuudet rajaavat suodattimilla varustettujen hengityksensuojainten käyttöaikaa ja niiden suojaustehokkuus on selvästi huonompi kuin turvapaineella varustettujen paineilmahengityslaitteiden.

10.4 Palontutkijoiden suojautuminen

Palontutkijat altistuvat litiumioniakkupalojen tutkinnassa pinnoille laskeutuneille kiinteille ja vähemmän haihtuville kemiallisille aineille. Altistumisen vähentämiseksi ennen palontutkintaa tilojen tulee olla hyvin tuuletetut ja on varmistettava, että tilaan on turvallista mennä. Tilassa palontutkijoiden tulee suojautua vähintään puhallinavusteisilla hengityksensuojaimilla, jotka on varustettu ABEK-P3-luokan yhdistelmäsuodattimella ja silmät suojaavalla kasvo-osalla. Lisäksi suosittelemme 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. (Laitinen ym., 2010.) Akkuja käsiteltäessä tulee käyttää jännitesuojakäsineitä (EN 60903 luokka 0 RC), joiden päällä on hyvä käyttää nahkakäsineitä, koska jännitesuojakäsineet eivät kestä viiltoja.

10.5 Muiden palopaikalla toimijoiden suojautuminen

Ensihoitajien ja muiden onnettomuuspaikalla toimivien viranomaisten tulee pysyä poissa vaara- ja välittömän vaaran alueelta. Ensihoidolle tuotavat potilaat tulee olla dekontaminoitu ennen luovuttamista, jotta vähennetään ensihoitajien altistumista haitta-aineille. Potilaiden luovuttaminen tapahtuu pelastustoiminta-alueen suoja-alueella.

10.6 Varusteiden huolto

10.6.1 Henkilösuojainten huolto

Likaantuneet varusteet ja putoamissuojaimet on riisuttava jo tilannepaikalla sekä paketoitava itsesulaviin pusseihin. Riisumisen aikana käytetään hengityksensuojainta ja kemikaalisuojakäsineitä tarpeettoman altistumisen välttämiseksi. Varusteet kuljetetaan varustehuoltoon erillään miehistötilasta ja ne tulisi siirtää pesukoneisiin itsesulavissa pesupusseissa. Mikäli varusteet ovat tavallisissa muovipusseissa, varustehuoltajan on käytettävä varusteiden siirrossa ABEK-P3-luokan yhdistelmäsuodattimella varustettuja hengityksensuojaimia, jotka on varustettu silmät suojaavalla kasvo-osalla. Lisäksi on käytettävä kemikaalisuojakäsineitä. Varusteet on pestävä mahdollisimman nopeasti niiden likaannuttua, jolloin voidaan vähentää epäpuhtauksien pinttymistä ja niiden syövyttävää vaikutusta varusteisiin. Esipesuohjelma on tärkeä itsesulavien pussien avautumisen varmistajana, jotta varsinainen pesu pääsee nopeasti käyntiin. Ohjelman tulisi sisältää myös kolme pääpesua hyvän pesutuloksen saavuttamiseksi. Ristiin likaantumisen ehkäisemiseksi suosittelemme pesemään yhden palopuvun kerrallaan ja lajittelemaan pyykin sen likaisuuden perusteella. Palopuvut, väliasut ja alusasut pestään eri pesuissa. Litiumioniakkupalossa olleet palopuvut ovat pesun jälkeen tärkeä tarkistaa, koska vetyfluorihappo on hyvin syövyttävää. (Salmi & Laitinen, 2024.)

Tutkimustulosten mukaan vesipesun puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille ulommissa palopuvun kerroksissa oli keskimäärin 56 %. Tulosten perusteella vesipesussa 40 °C:n pesulämpötila riitti ja

kuivauksessa lämpökaappikuivaus tai kuivaushuone toimivat hyvin. Lisäkäsittelyistä otsonointi lisäsi vesipesun puhdistustehokkuutta palotakin ulkokerroksissa, mutta otsonoinnin jälkeen varusteet on tuuletettava hyvin, ja epätoivottujen reaktioiden estämiseksi palopukujen on oltava erittäin kuivia ennen otsonointia. Suosittelemme varauksella otsonikäsittelyä. (Salmi & Laitinen, 2024.)

Palopukujen puhdistaminen LCO2-tekniikalla osoitti 74 %:n puhdistustehokkuutta ulommille kerroksille, mutta erityisen hyvin se puhdisti palopuvun keskikerroksen saavuttaen enimmillään 85 %:n puhdistustehokkuuden. Jotta pukujen ominaisuudet säilyisivät ja niiden käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä, suosittelemme nestemäistä hiilidioksidikäsittelyä vähintään kerran vuodessa palopuvun sisäkerrosten puhdistumisen ja toimivuuden varmistamiseksi. Tehostettua pesua suositellaan myös NFPA 1851 -standardissa puolen vuoden välein tai erityisen haastaville kemikaaleille altistuneille palopuvuille (NFPA 1851, 2020; Salmi & Laitinen, 2024).

Paineilmahengityksensuojainten kasvo-osien ylivoimaisesti yleisin puhdistustapa on käsin puhdistus, joka osoitti 85 %:n puhdistustehokkuutta. Tehokkain tapa oli rumpuvesipesu teollisuuspesukoneessa osoittaen 94 %:n puhdistustehokkuutta. Ruiskupesulla päästiin myös 75 %:n pesutehokkuuteen. Suosittelemme ensisijaisesti käsinpesua ja rumpupesua kasvo-osien puhdistamiseen (Salmi & Laitinen, 2024). Myös näissä työvaiheissa on käytettävä ABEK-P3-luokan yhdistelmäsuodattimella varustettua hengityksensuojainta ja kemikaalisuojakäsineitä.

10.6.2 Muiden varusteiden huolto

Lämpökameroiden ja niiden suojapussien puhdistaminen pintapuhdistusliinalla ja vetyperoksidikäsittelyllä antoi puhdistustehokkuudeksi 60 % mitatuille PAH-yhdisteille. VOC-yhdisteiden häviäminen vetyperoksidikäsittelyssä osoitti menetelmän olevan hyvä poistamaan myös palossa tulleita palojäämiä, mutta pelkällä pintapyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi. Lämpökameroiden ja suojapussien puhdistamiseen testattiin myös pintapuhdistusliinaa yhdistettynä lämpökameran suojapussin rumpuvesipesuun. Yhdistelmän puhdistustehokkuus PAH-yhdisteille oli 91 %. Pelkällä pintapyyhinnällä tulos olisi jäänyt huonoksi. Suosittelemme jälkimmäistä yhdistelmäpuhdistusta lämpökameroiden puhdistamiseen. (Salmi & Laitinen, 2024.) Myös näissä työvaiheissa on käytettävä ABEK-P3-luokan yhdistelmäsuodattimella varustettua hengityksensuojainta ja nitriilisuojakäsineitä varustehuoltajan altistumisen vähentämiseksi.

Myös sammutusletkujen ja armatuurikaluston huollossa on käytettävä ABEK-P3-luokan yhdistelmäsuodattimella varustettua hengityksensuojainta ja nitriilisuojakäsineitä. Jos huolletaan esimerkiksi sähköauton upotuksessa käytettävää konttia painepesurilla, se tuottaa ympäristöön aerosoleja. Ihosuojauksen parantamiseksi on tarpeellista käyttää edellä mainittujen suojavarusteiden lisäksi roiskevesisuojan antavaa Tyvek-haalaria.

10.7 Pelastajan altistumisen arviointi litiumioniakkupalon jälkeen

Litiumioniakkupalojen sammutustehtävät ovat pitkäkestoisia pelastustilanteita, jotka altistavat pelastajia tavallista enemmän. Pidempien savusukellusten jälkeen pelastajien altistumista kannattaa biomonitoroida virtsan polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen indikaattoreiden (U-PAH) ja virtsan S-fenyylimerkaptuurihapon (U-SPMA) avulla heti altistumisen jälkeen mitattuna. Ensimmäinen biomonitorointimenetelmä kuvastaa altistumista naftaleeneille ja pyreeneille sekä jälkimmäinen bentseenille.

Fluorivedylle altistuttaessa verenkiertoon imeytynyt fluoridi sitoo veren kalsiumia, joka voi vakavimmissa altistustilanteissa aiheuttaa hypokalsemian. Se voi puolestaan pahimmillaan johtaa sydänperäiseen kuolemaan. Tämän vuoksi on tärkeä mitata veren kalsiumpitoisuutta, hypokalsemian poissulkemiseksi. Myös altistumisen vaikutusta per- ja polyfluorattujen alkyyliyhdisteiden pitoisuuteen elimistössä voidaan monitoroida seerumista ja näyte voidaan ottaa vielä pari viikkoakin altistumisen jälkeen, koska PFAS-yhdisteet pysyvät elimistössä pitkään.

Jos ärsyttävät palokaasut ovat altistaneet hengitysteitse ja aiheuttaneet oireita, pelastajan keuhkofunktioita tulee seurata viikon verran. Mikäli ne eivät palaudu normaaliksi viikon aikana, pelastaja tulee ohjata jatkotutkimuksiin. Jos pelastaja altistuu lyhytaikaisesti korkeille fluorivetyhappopitoisuuksille hengitysteitse tai ihon kautta, altistuneen tilaa on seurattava viivästyneiden oireiden varalta.

11 Sammutustaktiikka ja -tekniikka

Kansallisen, kansainvälisen sekä nykytutkimustiedon mukaan toimivin ratkaisu litiumioniakkupaloissa on jäähdyttää ja sammuttaa paloa sekä lämpökarkaamista vedellä. Ghiji ja kumppanit kokosivat tutkimuksessaan eri litiumioniakkututkimuksia, ja selkeä päätelmä oli, että vesi on nykytiedon mukaan toimivin sammutusaine (Ghiji ym., 2021). Litiumioniakkupalo on itseään ruokkiva tapahtuma monikennoisessa akussa, joka on erittäin vaikea sammuttaa. Lämpökarannut kenno tuhoutuu aina, minkä vuoksi lämmön siirtyminen toiseen kennoon tai akkuun pyritään rajoittamaan jäähdytyksellä. Palamisen edellytyksiä ei saada poistettua samalla tavalla kuin perinteisessä tulipalossa. Moni valmistaja on pyrkinyt löytämään myös ratkaisuja akun lämmönhallinnan ratkaisemiseksi erilaisin menetelmin.

11.1 Sammutustaktiikka

Sammutustaktiikkaan vaikuttavat akun sijainti ja palavan kohteen koko. Pienissä akkupaloissa voidaan hyödyntää hyökkäävää sammutusmenetelmää, koska yksittäiset pienet akut eivät muodosta samanlaista kaasujen leimahdus-/räjähdysriskiä. Pääsääntöisesti pienet akut ovat palaneet kokonaan ennen pelastustoimen saapumista tapahtuma paikalle. Avoimessa tilassa voidaan savutuulettimen tai sumusuihkun avulla ohjata savukaasuja ja samalla ulkoisesti jäähdyttää lämpökarannutta akkua. Taktisesti voidaan tilanteen mukaan hyödyntää hyökkäävää menetelmää tai esimerkiksi isojen akustojen osalta puolustavaa menetelmää suojellen ympäristöä. Ohjekortti avoimen tilan sähköajoneuvopalon sammutustaktiikasta ja tekniikasta on liitteenä 3.

Suljetun tilan akkupaloissa pääpaino on tiedustelussa ja sammutustaktiikan valinnassa. Leimahdus-/räjähdysriskin vuoksi tulee pyrkiä selvittämään, mitä palaa ja miten paljon tilassa mahdollisesti on akkuja. Onko tilassa oma sammutusjärjestelmä ja onko se toiminut? Ennen tilaan menoa tulee antaa tilan oman sammutusjärjestelmän toimia sen vaatiman ajan. Suljetun tilan savutuuletus tulee aloittaa ennen sisään menoa, savutuuletus voidaan tehdä tilan omalla savunpoistojärjestelmällä tai savutuulettimia hyödyntäen. Savutuuletuksella pyritään muodostamaan pelastajille turvallisemmat olosuhteet sammutustyöhön. Pelastustoiminnan johtajan tulee huomioida savun kulkeutuminen ja tarvittaessa ryhtyä sen vaatimiin toimiin. Ohjekortti suljetun tilan sähköajoneuvopalon sammutustaktiikasta ja tekniikasta on liitteenä 4.

Isompien akkuenergiavarastojen kohdalla voidaan ennakoidusti kirjata kohdekorttiin tai pelastussuunnitelmaan kohteeseen soveltuvat sammutustaktiikat ja tekniikat, kun hyödynnetään valmistajan ohjeita. Akkuenergiavarastojen kohdalla EU:n akkuasetus (2023/1542) määrittelee valmistajan toimittamaan ohjeet, miten toimitaan poikkeustilanteissa, kuten esimerkiksi tulipalon sattuessa. Pääsääntöisesti litiumioniakkuenergiavarastojen sammutus on ulkoapäin puolustavaa. Liitteenä 7 on litiumioniakkuenergiavaraston kohdekorttipohja, jota pelastuslaitokset voivat vapaasti hyödyntää.

11.2 Sammutustekniikka

Pienet yksittäiset litiumioniakut voidaan sammuttaa ja jäähdyttää vedellä. Tällainen akku on yleensä palanut jo ennen pelastuslaitoksen saapumista kohteeseen. Palaneet akut voi upottaa vermikuliittiin, lasirouheeseen tai jäähtymään veteen. Akun tulee olla vähintään vuorokauden verran upotettuna ennen sen toimittamista kierrätykseen. Veteen upotus ei välttämättä pura virtaa akusta,

mikä tulee huomioida akkujen jälkikäsittelyssä ja kierrätyksessä. Upotettu monikennoinen akku voi ajautua uudestaan lämpökarkaamiseen myöhemmin myös veden myötä vaikuttamien oikosulkujen vuoksi. Monikennoisten akkujen kennojen tilaa/kuntoa on hankala tai miltei mahdotonta arvioida lämpökarkaamisen jälkeen.

Litiumioniakkuenergiavaraston lämpökarkaamisen jäähdyttämiseen ja palon sammuttamiseen suositellaan vettä. Jäähdytystä ja sammutusta voidaan tehdä työjohtoselvityksen avulla tai sitten kohteen koon mukaan järeää työjohtoselvitystä hyödyntäen. Teknisesti sammuttaminen ei poikkea perinteisestä kovin paljon, mutta huomioitavana on palosta muodostuvat haitalliset aineet ja liekittömän lämpökarkaamisen leimahdusriski.

Sähköajoneuvopalossa riittävänä sammutusmenetelmänä on perinteinen työjohtoselvitys. Sammutus ja jäähdytys aloitetaan kauempaa suorasuihkulla ja lähestyttäessä ajoneuvoa suihkukulmaa laajennetaan. Ensisijaisena toimenpiteenä sammutetaan varsinainen autopalo ennen ajovoima-akun jäähdyttämistä. Suihkuputkella voidaan jäähdyttää akkua kotelon ulkopuolelta tai jos akkuun on palon tai muun syyn vuoksi muodostunut aukko, josta vettä voidaan suihkuttaa suoraan akun sisään jäähdyttämään akkua. Sähköajoneuvopalossa tulee huomioida savun kulkeutuminen ja valita sen mukaan hyökkäyssuunta ja mahdolliset lisätoimenpiteet, kuten esimerkiksi savutuuletin tai toinen työjohtoselvitys. Toisella työjohtoselvityksellä toinen sammutuspari suojaa varsinaista sammutusparia savukaasuilta ja akusta muodostuvilta ”liekkisuihkuilta”.

Tarvittaessa akuston jäähdyttämiseen ja liekkipalon sammuttamiseen voidaan hyödyntää vaihtoehtoisia menetelmiä, esimerkiksi itsenäisesti toimivaa varsisammutinta tai alustasprinkleriä, jolloin henkilöresursseja ei tarvitse sitoa jäähdyttämiseen. Lävistäviä menetelmiä voidaan myös hyödyntää, mutta niiden käyttö tulee kouluttaa ainoastaan yksittäiselle pelastusyksikölle. Cold Cut Cobra- järjestelmää on testattu valmistajan ja useamman erillisen tahon toimesta, ja tietyissä tilanteissa UHP-laitteella jäähdytysvaikutus on saatu nopeasti akkuun, mutta muutamassa testissä on jouduttu akku lävistämään useammasta kohtaa ennen riittävää jäähdytys- ja sammutusvaikutusta. Kyseistä menetelmää voidaan käyttää, jos muu vesijäähdytys ei toimi tai loppuun polttoa ei voida tehdä. Muita läpilyötäviä menetelmiä ei suositella käytettäväksi niiden epävarman toimivuuden ja tehokkuuden vuoksi. Huomioitavaa vaihtoehtoisissa menetelmissä on se, että niiden asentaminen tai käyttäminen vaatii toisen työjohtoselvityksen, jolla suojataan vaihtoehtoista menetelmää käyttävää työparia savukaasuilta ja liekeiltä. (MSB, 2023.)

Autonsammutuspeitteitä ei suositella käytettävän sähköautopaloissa, koska ne lisäävät leimahdus-/räjähdysriskiä. Autonsammutuspeite on hankala saada asetettua turvallisesti ajoneuvon päälle niin, että se olisi riittävän tiiviisti. Tukahduttaminen ei estä lämpökarkaamista, minkä vuoksi autonsammutuspeitteen alle muodostuu lisää syttymiskelpoisia kaasuja. Esimerkiksi yhdessä amerikkalaistutkimuksessa havaittiin, että vielä 60 minuuttia autonsammutuspeitteen asennuksen jälkeen peitteen alla olevat kaasut ovat leimahduskelpoisia. Autonsammutuspeite on myös kertakäyttöinen, koska palosta muodostuneita haitta-aineita ei saada pestyä tai poistettua riittävän hyvin peitteestä tehtävän jälkeen. Likaantunut autonsammutuspeite mahdollistaa pelastajien altistumisen haitta-aineille. (Sturm ym., 2023; Fire Safety Research Intitute 2025.)

Sähköajoneuvo- ja akkuenergiavarastopalojen sammuttamisesta on koostettu lyhyet ohjekortit, jotka ovat liitteissä 3–6. Ohjekortit ovat saatavilla myös hankkeen suosituksista.

11.3 Litiumioniakkuenergiavarastojen sammutuslaitteistot

Litiumioniakkuenergiavarastot on pääsääntöisesti varustettu paloturvallisuusjärjestelmin, joihin kuuluu myös sammutusjärjestelmät. Litiumioniakkuenergiavarastojen sijoittaminen ja paloturvallisuus -suosituksessa kappaleessa 7 on kerrottu, minkälaisia vaihtoehtoja on käytössä. EU:n 2023/1542-asetuksen mukaisesti valmistajan on testattava kiinteiden akkupohjaisten energiavarastojärjestelmien turvallisuus. Valmistaja voi valita laitteistolleen sopivan palonsammutusjärjestelmän, mutta se tulee olla kolmannen osapuolen testaama ja hyväksymä.

Jos kohteesta ei ole olemassa kohdekorttia, pelastuslaitos ei voi tietää, minkälainen sammutusjärjestelmä on asennettu ja miten sen kanssa tulee toimia. Pääsääntöisesti suljettuihin tiloihin asennettujen sammutuslaitteistojen tulee antaa toimia itsenäisesti. Vaihtoehtoisesti joihinkin ratkaisuihin on asennettu sprinkleri, jossa on ulkoinen liitos ja jota pelastuslaitos voi hyödyntää. Kohteissa voi olla myös aerosolipohjaisia järjestelmiä, mutta niiden kanssa tulee huomioida mahdollinen leimahdus-/räjähdysriski.

11.4 Litiumioniakkupalo kotitaloudessa

Litiumioniakut ovat yleistyneet kotitalouksissa niiden tarjoaman suorituskyvyn ansiosta. Niitä käytetään monissa arjen laitteissa, kuten kannettavissa tietokoneissa, puhelimissa, sähkötyökaluissa sekä suuremmissa laitteissa, kuten mm. ruohonleikkureissa tai lehtipuhaltimissa (kuva 4). Lisäksi litiumioniakustot yleistyvät myös koteihin tarkoitetuissa energiavarastoissa ja liikkumiseen tarkoitetuissa välineissä, kuten polkupyörät, skuutit ja autot.

Akkupalon vaarat kotitalouksissa ovat samat kuin kaikkialla muuallakin, mutta sen lisäksi suosituksia tehtäessä yhdeksi riskiksi arvioitiin myös käyttäjäryhmä. Käyttäjäryhmän valmius sammuttaa minkäänlaisia paloja nousee esille varsinkin litiumioniakkupalojen kohdalla, koska akkupalo ei ole koskaan samanlainen ja akun palokäyttäytyminen ei ole ennalta arvattavissa. Akun käyttäytyminen voi yllättää ammattilaisenkin, niin kuin monessa paikkaa on testeissä havaittu.

Palavaa tai savuavaa akkua ei pidä yrittää sammuttaa ilman asianmukaisia suojavarusteita. Tätä ei suositella edes teollisuudessa tapahtuvissa paloissa, joissa tilanteita voidaan harjoitella. Kotitalouksissa, joissa tilanteet tulevat ilman harjoittelua, sammuttajan loukkaantumisen riski on liian suuri, että mitään toimia voitaisiin palavalle tai savuavalle akulle suositella. Litiumioniakkupaloihin varautuminen kotitalouksissa -suosituksen liitteessä 2 on suositukset, miten akkupalossa tulee toimia. Suosituksessa on mainittu, että toimenpiteitä voi tehdä, jos akku ei savua tai ulkopuolisia liekkejä ei ole havaittavissa. Toimenpiteet tulee silti tehdä siten, että ei altistuta savulle tai pistoliekeille.

Akkupaloja ja niiden seurauksia voidaan vähentää pienillä toimenpiteillä, jotka olisi hyvä saada jokaisen kansalaisen tietoon. Litiumioniakkupaloihin varautuminen kotitalouksissa -suositusten liitteessä 1 on turvallisuusohjeet akkujen turvalliseen käyttämiseen. Ohjeesta tärkeimpänä voidaan nostaa esille kohta 4 – lataus- ja säilytyspaikka. *On merkittävää, että lataus- ja säilytyspaikan ympäristössä olisi mahdollisimman vähän palavaa materiaalia ja että paikka ei sijaitsisi poistumisreitillä.* Nämä kaksi seikkaa ovat erityisen tärkeitä juuri litiumioniakkujen kohdalla niiden voimakkaan savukaasujen muodostumisen sekä niistä syntyvien palavien heitteiden ja pistoliekkien takia.

Kotitalouksissa yleisen käsityksen mukaan sähkö- tai hybridiauto aiheuttaa paloturvallisuusriskin. Näiden palojen määrä Suomessa on vielä kohtuullisen vähäistä, ja niiden sammuttamiseen kuluttaja

voi varautua palohälyttimellä. Itse sammuttaminen ei kotikonstein ole mahdollista. Paloturvallisuutta voi parantaa myös käyttämällä tunnettujen laitteiden valmistajia sekä kiinnittämällä huomiota niiden sähköasennuksiin. *Latauslaitteet saa asentaa ainoastaan sähköasentajan pätevyyden omaava henkilö.*

12 Suositukset ja Koulumaali-kurssi

Kansallisen ja kansainvälisen tiedonhankinnan avulla hankkeen aikana muodostettiin neljä suositusta, joiden toivotaan ohjaavan toimintaa liittyen litiumioniakkuihin. Suositukset tehtiin yhdessä kehittämistyöryhmän ja hankekumppaneiden kanssa. Kehittämistyöryhmä antoi palautetta materiaalista, ja suosituksia muokattiin kahdessa työpajapäivässä. Suosituksiin saatiin myös kommentteja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) ja SESKO ry:n asiantuntijoilta.

Suositukset käsittelevät pelastuslaitosten operatiivista toimintaa litiumioniakkupaloissa, litiumioniakkuenergiavarastoja, teollisuuden litiumioniakkujen käsittelyä ja kierrätystä sekä kotitalouksia. Monet tiedonhankinnan perusteella koostetut asiat suosituksissa eivät ole uusia, mutta ne on koostettu yhtenäiseen kokonaisuuteen lähdeviitteineen. (kuva 16.)

Kuva 16. LION-hankkeen suositukset.

Suositukset julkaistiin talvella 2025 ja julkaisun yhteydessä pidettiin webinaarit, joihin osallistui paljon kuuntelijoita. Suosituksia päivitettiin syksyllä 2025 saatujen palautteiden, lainsäädännön muutoksen ja uudentiedon perusteella. Suositukset ovat saatavilla hankkeen nettisivuilta, pelastusopiston sivuilta kohdasta Muut materiaalit sekä Koulumaalissa litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet -kurssin materiaaleissa. Pelastuslaitokset voivat hyödyntää suosituksia oman toiminnan ja palvelujen kehittämiseen.

Suositusten ja tiedonhankinnan pohjalta on rakennettu Koulumaali-verkko-oppiympäristöön Litiumioniakkujen elinkaaren paloturvallisuus- ja varautumisohjeet -kurssi. Kurssin sisältö jakautuu yleiseen tietoon litiumioniakuista, pelastustoimen operatiiviseen toimintaan litiumioniakkupaloissa ja onnettomuuksien ehkäisyn ohjeistukseen liittyen litiumioniakkuenergiavarastojen sijoittamisesta, paloturvallisuudesta ja litiumioniakkujen varastoimisesta sekä kierrätyksestä. Kurssi jakaantuu kahteen osioon: operatiiviseen toimintaan ja onnettomuuksien ehkäisyyn. Kurssin suorittaja voi suorittaa molemmat tai vain toisen osion. Hyväksytysti suoritetuista osioista voi tulostaa erillisen todistuksen.

Koulumaali-kurssi pilotoitiin syksyllä 2025 yhteistyössä Varsinais-Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitoksen kanssa.

Pelastuslaitoksilla on mahdollisuus hyödyntää Koulumaali-kurssia osana omaa koulutusta, ja jokaiselle pelastuslaitokselle toimitettiin kurssiavain.

Lähteet

Amano, K., Hahn, S., Butt, N., Vorwerk, P., Gimadieva, E., Tschirschwitz, R., Rappsilber, T. & Krause, U. (2023). Composition and Explosibility of Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries Undergoing Thermal Runaway. Haettu 20.5.2024 osoitteesta https://www.mdpi.com/2313-0105/9/6/300

Barowy. A. (2023). The Science of Fire and Explosion Hazards from Lithium-Ion Batteries. An introduction to lithium-ion battery construction, thermal runaway, and potential hazards. Haettu 3.4.2024 osoitteesta https://fsri.org/lithium-ion-battery-guide

Battery University. (2025). BU-205: Types of Lithium-ions. Haettu 14.8.2025 osoitteesta https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion.

Blake BE., Fenton SE. (2020). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes: a review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri and postnatal effects. Toxicology 443:152565. https://doi.org/10.1016/j.tox. 2020. 152565

Bordes, A., Papin, A., Marlair, G., Claude, T., El-Masri, A., Durussel, T., Bertrand, J-P., Truchot, B & Lecocq, A. (2024). Assessment of Run-Off Waters Resulting from Lithium-Ion Battery Fire-Fighting Operations. Haettu 9.7.2024 osoitteesta https://www.mdpi.com/2313-0105/10/4/118

Bugryniec, P., Resendiz, E., Nwophoke, S., Khanna, S., James, C & Brown, S. (2024). Review of gas emissions from lithium-ion battery thermal runaway failure — Considering toxic and flammable compounds. Haettu 16.7.2024 osoitteesta https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X24008739

Buston J, Gill J, Lisseman R, Morton J, Musgrove D, Williams R. (2023). Experimental determination of metals generated during the thermal failure of lithium-ion batteries. Energy Adv., 2023, 2, 170. DOI:10.1039/d2ya00279e

Claassen, M., Bingham, B., Chow, J.C., Watson, J.G., Wang, Y., Wang, X. (2024) Characterization of Lithium-Ion Battery Fire Emissions—Part 1: Chemical Composition of Fine Particles (PM2.5). Batteries 2024, 10, 301. https://doi.org/10.3390/batteries10090301

CTIF Norway (2022) Handling fire in Lithium-ion batteries. https://www.ctif.fi/resources/public/Kansainv%C3%A4linen%20toiminta/norway_handling-of-battery-fires.pdf?utm_source=chatgpt.com

Daniel, C., Besenhard, J.O. (2012). Handbook of Battery Materials. John Wiley & Sons. Weinheim. Germany.

DBS. Norwegian Directorate for Civil Protection. (2021). Risk assessment and handling of fire in lithium-ion batteries. Haettu 17.7.2024 osoitteesta https://www.dsbinfo.no/DSBno/2022/veileder/risk-assessment-and-handling-of-fire-in-lithium-ion-batteries/?Page=7&page=1

Dehghani, M., DiDomizio, M., Sauer, N., Barowy, A. 2025. Heat exposure from electric vehicle fires: Experimental results and analysis. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711225001997?via%3Dihub7#sec4

DGUV. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (2024). Brandschutz beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien. Haettu 9.7.2024 osoitteesta https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4668

DGUV. Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. (2022). Umgang mit Hochvoltspeichern. Haettu 8.7.2024 osoitteesta https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4518

DNV. Partner Group. (2019). Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression. Haettu 8.7.2024 osoitteesta https://www.dnv.com/publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062/

dos Reis, G.S., Molaiyan, P., Subramaniyam, C., García-Alvarado, F., Paolella, a., Pequeno de Oliveira, H., Lassi, U. (2023) 'Biomass-derived carbon–silicon composites (C@Si) as anodes for lithium-ion and sodium-ion batteries: A promising strategy towards long-term cycling stability: A mini review', Electrochemistry Communications, 153(July), p. 107536. Https://doi.org/10.1016/j.elecom.2023.107536.

DSB. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2025). Brannstatistikk. Haettu 17.6.2025 osoitteesta https://brannstatistikk.no/search?searchId=9B13517C-F1CD-490F-82A1-57B9CA38ACA5&type=SEARCH_DEFINITION

EV FireSafe. (2024). https://www.evfiresafe.com/

Fenton SE., Ducatman A., Boobis A., DeWitt JC., Lau C., Ng C., Smith JS., Roberts SM. (2021). Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: current state of knowledge and strategies for informing future research. Environ Toxicol Chem 40:606–630. https://doi.org/10.1002/etc.4890

Fraunhofer ISI. (2023). Alternative Battery Technologies Roadmap 2030+. https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/ea395bdf-6a1e-4951-bfa0-1e1a31694e66

FSRI. Fire Safety Research Institute. (2025). The Fire Protection Research Foundation and the Fire Safety Research Institute Issue Notice Around Potential Hazard Involving Fire Blankets Used for Electric Vehicle Fire Suppression Efforts with Battery Involvement. Haettu 30.5.2025 osoitteesta https://fsri.org/news/potential-hazard-involving-ev-fire-blankets

Ghiji, M., Edmonds, S. & Moinuddin, K. (2021). A Review of Experimental and Numerical Studies of Lithium-Ion Battery Fires. Haettu 17.6.2025 osoitteesta https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1247

Grönlund, O., Quant, M., Rasmussen, M., Willstrand, O. & Hynynen, J. (2023). Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems. Haettu 20.5.2025 osoitteesta https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1824438/FULLTEXT01.pdf

Guo P, Furnary T, Vasiliou V, Yan Q, Nyhan K, Jones DP, Johnson CH, Liew Z (2022) Non-targeted metabolomics and associations with per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure in humans: a scoping review. Environ Int 162:107159. https://doi.org/10.1016/j. Envint. 2022. 107159

Held, M., Tuchschmid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L., Welte, U., Kompatscher, M., Hermann, M. & Nachef, L. (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. Haettu 17.7.2024 osoitteesta https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122003793

Huo, H. and Janek, J. (2023). Solid-state batteries: from “all-solid” to “almost-solid”’. National Science Review 10(6). https://doi.org/10.1093/nsr/nwad098

Hwang, J.Y., Myung, S.T. and Sun, Y.K. (2017). Sodium-ion batteries: Present and future. Chemical Society Reviews. 46(12). pp. 3529–3614. https://doi.org/10.1039/c6cs00776g.

Hynynen, J., Willstrand, O., Blomqvist, P. & Quant, M. (2023). Investigation of extinguishing water and combustion gases from vehicle fires. Haettu 9.7.2024 osoitteesta https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1744894/FULLTEXT01.pdf

Kang, S., Kwon, M., Choi, J. & Choi, S. (2023). Full-scale fire testing of battery electric vehicles. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922017548

Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P. & Mellander, B-E. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Haettu 20.5.2024 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/319368068_Toxic_fluoride_gas_emissions_from_lithium-ion_battery_fires

Linja-aho. V. (2022). Litiumioniakkutekniikka, Rakenne-Ominaisuudet-Turvallisuus. Hansaprint

Liu, Y., Zhang., R., Wang, J. & Wang, Y. (2021). Current and future lithium-ion battery manufacturing. Haettu 28.5.2025 osoitteesta https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258900422100300X

London Fire Brigade. (2024). New record high of e-bike and e-scooter fires in London. Haettu 16.7.2024 osoitteesta https://www.london-fire.gov.uk/news/2023/august/new-record-high-of-e-bike-and-e-scooter-fires-in-london/

Mantriham, A., Fu, Y., Chung, S-H., Zu, C., Su, Y-S. (2014). Rechargeable Lithium–Sulfur Batteries, 10.1021/cr500062v. Chem. Rev. 2014, 114, 11751−11787

Malaquias AF ja Campos JBLM (2024). Sudden water exposure on geared firefighters may cause unexpected burns in post-fire periods. Thermal Science and Engineering Progress 49 (2024) 102452. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102452

Meraner, C., Li, T. & Sanfeliu Meliá, C. (2021). Avgassing fra litium-ion batterier i hjemmet. Haettu 20.5.2024 osoitteesta https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1562087/FULLTEXT01.pdf

Molaiyan, P., dos Reis, G.S., Karuppiah, D., Subramaniyam, C., García-Alvarado, F., Lassi, U. (2023) Recent Progress in Biomass-Derived Carbon Materials for Li-Ion and Na-Ion Batteries—A Review, Batteries, 9(2), pp. 1–22. https://doi.org/10.3390/batteries9020116.

Molaiyan, P., Boz, B., dos Reis, G., Sliz, R., Wang, S., Borsari, M., Lassi, U., Paolella, A. (2024) Paving the path toward Silicon as Anode material for future Solid-state Batteries, eTransportation. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259011682400081X. DOI: 10.1016/j.etran.2024.100391

Motiva. Sähköautot. haettu 17.6.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot

MSB. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2023). Demonstration av släckmetod för litiumjonbatterier. Metodtillämpning på olika aggregationsnivåer – modul, sub-batteri, elbilspack och fordonsnivå. https://rib.msb.se/filer/pdf/30340.pdf

MSB. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2025). Bränder i elfordon och eltransportmedel. Haettu 1.8.2025 osoitteesta https://www.msb.se/sv/aktuellt/nyheter/2025/maj/brander-i-elfordon-och-eltransportmedel/

Mylenbusch, I., Claffey, K. & Chu, B. (2023). Hazards of lithium-ion battery energy storage systems (BESS), mitigation strategies, minimum requirements, and best practices. Haettu 9.7.2024 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/371850177_Hazards_of_lithium-ion_battery_energy_storage_systems_BESS_mitigation_strategies_minimum_requirements_and_best_practices

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (2022). Sähköajoneuvojen latauspisteet kiinteistöissä ja pelastustoiminnan edellytysten huomioiminen, Ohje toiminnanharjoittajalle. Haettu 10.1.2025 osoitteesta https://pelastuslaitokset.fi/julkaisut/sahkoautojen-latauspisteet

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (2024). Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje. Haettu 10.1.2025 osoitteesta https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2024-11/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_%20S_13062024.pdf

Perttula, P., Rodríguez Llopis, I., Säämänen, A., Barruetabeña, L., García, L., Kannisto, H., Vorne J., Kangas, A., Sergio V., Santonen, T., Lantto E., Lannetta T. & Viitanen, A-K. (2023). Lithium-ion battery's life cycle: safety risks and risk management at workplaces. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-040-9

PGS. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen. (2023). Lithiumhoudende energiedragers: Opslag. Haettu 10.1.2025 osoitteesta https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/online/pgs-37-2/2023/1-0-december-2023#2

Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitos. (2023). Ohje energiavarastojen suunnitteluun. Haettu 10.1.2025 osoitteesta https://pelastustoimi.fi/documents/25266713/144482759/PPpela+ohje+energiavarastojen+suunnitteluun+v1.0+3.11.2023.pdf/1ba15f66-27bb-f161-bfc2-085376a2ab70/PPpela+ohje+energiavarastojen+suunnitteluun+v1.0+3.11.2023.pdf?t=1698995017005

Pronto. Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto. (2025). https://prontonet.fi/

Quant, M., Willstrand, O., Mallin, T. & Hynynen, J. (2023). Ecotoxicity Evaluation of Fire-Extinguishing Water from Large-Scale Battery and Battery Electric Vehicle Fire Tests. Haettu 9.7.2024 osoitteesta https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10061927/

Rappsilber, T., Yusfi, N., Krüger, S., Hahn, S-H., Fellinger, T-P., Krug von Nidda, J & Tschirschwitz, R. (2022). Meta-analysis of heat release and smoke gas emission during thermal runaway of lithium-ion batteries. Haettu 21.7.2025 osoitteesta https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X22025683#s0195

Reddy, M., Maufer, A., Julien, C., Paolella, A. & Zaghib, K. (2020). Brief History of Early Lithium-Battery Development. Haettu 28.5.2025 osoitteesta https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7215417/

Ruiz, V., Pfrang, A., Kriston, A., Omar, N., Bossche, P. & Boon-Brett, L. (2018). A review of international abuse testing standards and regulations for lithium-ion batteries in electric and hybrid

electric vehicles. Haettu 24.7.2024 osoitteesta https://www.sciencedirect.co+m/science/article/pii/S1364032117308250?via%3Dihub

Rytkönen, K., Mikkonen, J., Laitinen, J., Hanhineva, A., Lankinen, M., Jylhä, M., Hassinen, M., Lassi, U., Linja-aho, V., Meurman, K., Mäkinen, H., Suosalo, J & Wennberg, I. A. (2025). Litiumioniakkuenergiavarastojen sijoittaminen ja paloturvallisuus. https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Litiumioniakkuenergiavarastojen-sijoittaminen-ja-paloturvallisuus-11-2025.pdf

Rytkönen, K., Mikkonen, J., Laitinen, J., Hanhineva, A., Lankinen, M., Jylhä, M., Hassinen, M., Lassi, U., Linja-aho, V., Meurman, K., Mäkinen, H., Suosalo, J & Wennberg, I. B. (2025). Litiumioniakkupalojen operatiivisen toiminnan suositukset. Pelastustoimen suositukset. https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Litiumioniakkupalojen-operatiivisen-toiminnan-suositukset-Pelastustoimen-suositukset-11-2025.pdf

Shahid, S. & Agelin-Chaab, M, (2022). A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries. Haettu 23.7.2025 osoitteesta https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174522001337

Siren Fjærestad, J., Fjellgaard Mikalsen, R. & Meraner, C. (2023). Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel. Haettu 20.5.2024 osoitteesta https://www.dsb.no/siteassets/rapporter-og-publikasjoner/rise/romning-ved-brann-i-litium-ion-batteri-i-elsparkesykkel.pdf

Sturm, P., Fößleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Heindl, S., Krausbar, S. & Heger, O. (2023). Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711222001722#sec4

Suomen Palopäällystöliitto. SPPL. (2022). Toimintamallin luonti sähköautopaloon. Haettu 10.1.2025 osoitteesta https://sppl.fi/palvelut/asiantuntijatoiminta/menneet-hankkeet/toimintamallin-luonti-sahkoautopaloon/

TEPA-termipankki. Litiumioniakku. Haettu 12.12.2024 osoitteesta https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/litiumioniakku

The International Organization for Industrial Emergency Services Management (JOIFF) (2020). JOIFF Guideline on Emergency Response to Incidents involving vehicles powered by Alternative Fuels. https://www.joiff.com/wp-content/uploads/2024/10/JOIFF-Guideline-Alt-Fuels-2022_04_25-11_31_56-UTC.pdf

Tiainen, E., Linja-Aho, V., Pänkäläinen, M., Turpeinen, T., Stenbäck, L-M & Orrberg, M. (2024). Akkuenergiavarastot. ST-Käsikirja 42. Sähkötieto

Traficom. Liikenne- ja viestintävirasto. (2025). Tilastotietokanta. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot muuttujina Käyttövoima ja Vuosineljännes. MANNER-SUOMI, Kaikki autot. PxWeb

Tukes. Turvallisuustekniikan keskus. (2025a). Sähköisiin liikkumisvälineisiin sovellettava lainsäädäntö ja vaatimukset. Haettu 17.6.2025 osoitteesta https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet/sahkoiset-liikkumisvalineet

Tukes. Turvallisuustekniikan keskus. (2025b). Sähkölaitteiden vaatimukset. Haettu 2.6.2025 osoitteesta https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet

Tukes. Turvallisuustekniikan keskus. (2025 c). Usein kysyttyä sähkötöistä ja sähköasennuksista. Haettu 19.8.2025 osoitteesta https://tukes.fi/tietoa-tukesista/usein-kysytyt-kysymykset/usein-kysyttya-sahkotoiden-tekemisesta

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2023). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Haettu 28.7.2025 https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf.

Työterveyslaitos a. (2025) Ova-ohjeet. Kloorivety ja suolahappo. https://ova.ttl.fi/kloorivety-ja-suolahappo.

Työterveyslaitos b. (2025) Ova-ohjeet. Fluorivety ja fluorivetyhappo. https://ova.ttl.fi/fluorivety-ja-fluorivetyhappo.

U.S. Fire Administration and FEMA (2025) Electric Vehicle Fire/Rescue Response Operations. https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/electric-vehicle-fire-rescue-response-operations.pdf

Wang, R., Weisheng, C., Chu, F., Feixianf, W. (2020). Lithium metal anodes: Present and future Author links open overlay panel. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095495620300012

Warner, J. (2019). Litihium-Ion Batter Chemistries. https://www.sciencedirect.com/book/9780128147788/lithium-ion-battery-chemistries

Willstrand, O., Quant M., Hynynen J.:(2025). Contaminations from Lithium-Ion Battery Fires—Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Soot. Fire Technology (2025) 61:2889–2899. https://doi.org/10.1007/s10694-025-01708-y

Willstrand, O., Bisschop, R., Blomqvist, P., Temple, A & Anderson, J. (2020). Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. Haettu 20.5.2024 osoitteesta https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf

Ympäristö.fi. Ympäristövaikutusten arviointi. Haettu 14.5.2025 osoitteesta https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi

Lait, asetukset ja standardit

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, akuista ja paristoista ja jäteakuista ja -paristoista 2023/1542. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj?locale=fi

Jätelaki 646/2011. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2011/646

Laki jätelain muuttamisesta 799/2025. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2025/799

Pelastuslaki 379/2011. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2011/379

Rakentamislaki 751/2023. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2023/751

SFS-EN IEC 62485-5:2021 Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 5: Litiumionipaikallisakkujen turvallinen käyttö.

Sähkötieto Ry. (2022). Akkuhuoneet ja varaamotilat (ST 52.30.01)

Sähkötieto Ry. (2023). Akkuteknologiaan perustuvat energiavarastot (ST 55.37)

Valtioneuvoston asetus paristoista ja akuista 520/2014. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/520

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2017/848

Boverkets författningssamling BFS 2024:7. https://rinfo.boverket.se/BFS2024-7/pdf/BFS2024-7.pdf

NFPA. National Fire Protection Association. NFPA 855. (2020) Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-855-standard-development/855

SFS-EN IEC 62933-5-2:2020 Electrical energy storage (EES) systems. Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems. Electrochemical-based systems

SFS 6002. (2015) Sähkötyöturvallisuus.

Liitteet
Liite 1: Pelastustoimen haastattelu kysymykset

1. Onko teillä teollisuudelle tarkoitettua ohjeistusta tai käytäntöjä litiumioniakkupalojen varalle seuraaville osa-alueille? Voit merkitä useamman kohdan.

- Energiavarastoille
- Litiumioniakkujen tai niitä käyttävien laitteiden tuotantoon
- Akkujen varastoinnille
- Sähköautojen säilytykseen tai lataukseen
- Sähköpolkupyörien/skuuttien säilytykseen tai lataukseen
- Muille akkukäyttöisille ajoneuvoille tai laitteille
- Meillä ei ole ohjeistuksia litiumakkupaloja varten

1.1. Millaisia ohjeistuksia teillä on?

1.2 Mihin muihin akkukäyttöisiin ajoneuvoihin tai laitteisiin teillä on ohjeistusta ja millaiset ne ovat?

2. Onko teillä kotitalouksille tarkoitettua ohjeistusta tai käytäntöjä litiumioniakkupalojen varalle seuraaville-alueille? Voit merkitä useamman kohdan.

- Aurinkoenergiavarastoille
- Sähköautojen säilytykseen tai lataukseen
- Pienakuille (kännykät, polkupyörät, työkalut)
- Muille akkukäyttöisille ajoneuvoille tai laitteille
- Meillä ei ole kotitalouksille ohjeistuksia

2.1 Millaisia ohjeistuksia teillä on?

2.2 Mihin muihin kotitalouksien akkupalo tapauksiin teillä on ohjeet?

3. Onko teillä pelastajille ohjeistusta suojautumisesta akkupaloon?

- Meillä on akkupaloihin suojautumisen ohjeistusta
- Meillä ei ole akkupaloihin suojautumisen ohjeistusta

3.1 Millaiset ohjeet teillä on?

4. Onko teillä ohjeistusta akkupalon jälkitoimenpiteille, kuten sammutusvesien käsittelylle tai akkujen jälkivartioinnille?

- Meillä on ohjeistusta jälkitoimenpiteille
- Meillä ei ole ohjeistusta jälkitoimenpiteille

4.1 Millaiset ohjeet teillä on?

5. Onko teillä erityisiä sammutusvälineitä akkupalojen sammuttamiseen?

- Meillä on akkupaloihin tarkoitettuja sammutusvälineitä
- Meillä ei ole akkupaloihin tarkoitettuja sammutusvälineitä

5.1 Millaisia sammutusvälineitä teillä on käytössä akkupaloihin?

6. Litiumioniakkupalossa riskit ovat erilaisia suljetussa tilassa ja avoimessa tilassa olevassa akkupalossa. Onko teillä olemassa sammutustaktiikkaa tällaisille tilanteille?

- Meillä on olemassa ohjeistus/taktiikka eri tiloissa oleville akkupaloille
- Meillä ei ole olemassa ohjeistusta akkupaloille

6.1 Millaisia taktiikoita teillä on käytössä?

Liite 2: Teollisuuden haastattelu kysymykset

Yleistä

1. Onko teillä ohjeistusta tai käytäntöjä litiumioniakkupalojen varalle seuraaville osa-alueille? Voit merkitä useamman kohdan.

- Energiavarastoille
- Litiumioniakkujen tai niitä käyttävien laitteiden tuotantoon tai huoltoon
- Akkujen varastoinnille
- Sähköautojen säilytykseen tai lataukseen
- Sähköpolkupyörien/skuuttien säilytykseen tai lataukseen
- Muille akkukäyttöisille ajoneuvoille tai laitteille, kuten trukit yms.
- Meillä ei ole ohjeistuksia litiumakkupaloja varten

1.1 Tarkentaisitteko seuraavat asiat energiavarastoihin liittyen:
Onko varasto ulkona vai sisällä ja onko sen lähelle esteetön pääsy?
Millainen palonsammutusjärjestelmä teillä on energiavarastossa?
Onko etäisyyttä muihin rakennuksiin määritetty?
Onko rakenteille olemassa paloluokitus?
Onko tilan räjähdyssuojaus otettu huomioon?
Onko tilassa kaasun tunnistusta?
Onko energiavarasto mahdollista kytkeä irti kuormasta pelastustoimen toimesta, vaikka hätäseispainikkeella?

1.2 Tarkentaisitteko seuraavat asiat varastoihin liittyen:

- Millainen palonsammutusjärjestelmä teillä on varastoissa?
- Onko rakenteille olemassa paloluokitus?
- Onko tilan räjähdyssuojaus otettu huomioon?
- Onko tilassa kaasun tunnistusta?

1.3 Millaisia ohjeistuksia teillä on?

1.4 Mihin muihin akkukäyttöisiin ajoneuvoihin tai laitteisiin teillä on ohjeistusta ja millaiset ne ovat?

2. Onko teillä automaattista palonilmoitusjärjestelmää, joka ilmoittaa ulkopuoliselle taholle palohälytyksestä

- Meillä on palonilmoitin järjestelmä
- Meillä ei ole palonilmoitinjärjestelmää

2.1 Millaisia ilmaisimia teillä on käytössä? Esimerkiksi laitteen tyyppi riittää vastaukseksi?

3. Onko teillä akkupalon tunnistamiseen tarkoitettuja ilmaisimia käytössä? (esimerkiksi kaasun-, lämmön- tai savunilmaisimia?)

- Meillä on akkupalontunnistamiseen soveltuvia ilmaisimia käytössä
- Meillä ei ole akkupalontunnistamiseen soveltuvia ilmaisimia

4. Onko teillä käytössä akkupaloille soveltuvia sammutusvälineitä kuten sprinkleri, vesialtaat, paloturvalliset kaapit yms.)

- Meillä on sammutusvälineitä tai järjestelmiä käytössä akkupaloja varten.
- Meillä ei ole käytössä sammutusvälineitä akkupaloille.

4.1 Millaisia sammutusvälineitä tai järjestelmiä teillä on käytössä?

5. Onko teillä kohdekortissa tieto akkujen/akkuvarastojen sijainnista??

- Meillä on akkuvarastot merkattu kohde korttiin
- Akkuvarastoja ei ole merkattu kohdekorttiin
- Meillä ei ole kohdekorttia

6. Onko teillä käytöstä poistettujen tai hylättyjen akkujen säilytykseen käytäntöä?

- Meillä on ohjeistus vikaantuneiden akkujen varalle
- Meillä ei ole ohjeistusta

6.1 Millaiset ohjeistukset teillä on hylättyjen akkujen säilytykseen?

Akkujen tai akkuja sisältävien laitteiden tuotanto

7. Onko teillä varauduttu tuotannon aikaiseen akkupaloon?

- Meillä on varauduttu akkupaloon tuotannossa
- Meillä ei ole varauduttu akkupaloon

7.1 Miten olette varautuneet tuotannon akkupaloon?

8. Onko teillä ohjeistus tai käytäntö akkujen tai tuotteiden koekäytön tai latauksen aikaiseen akkupaloon?

- Meillä on olemassa ohjeistus/käytäntö testauksen aikaiseen akkupaloon
- Meillä ei ole olemassa ohjeistusta akkupaloille
- Yhteistyöpaloviranomaisten kanssa

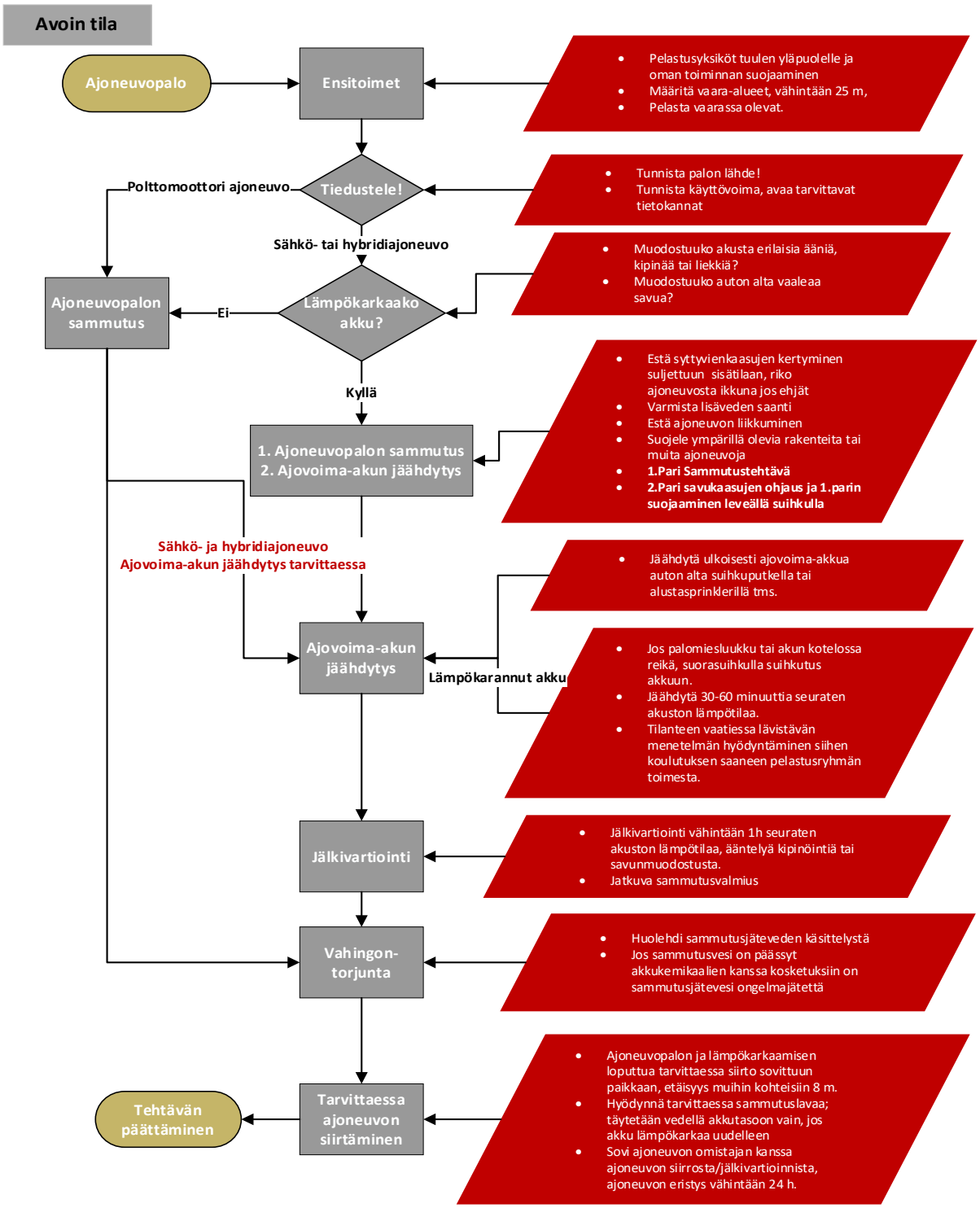
8.1 Millainen ohjeistus/käytäntö teillä on?

9. Oletteko saaneet ohjeistusta tai apua palonviranomaisilta litiumioniakkuihin liittyvissä asioissa

- Kyllä olemme olleet yhteistyössä viranomaisten kanssa
- Emme ole olleet yhteistyössä
- Emme ole saaneet apua pyynnöistä huolimatta

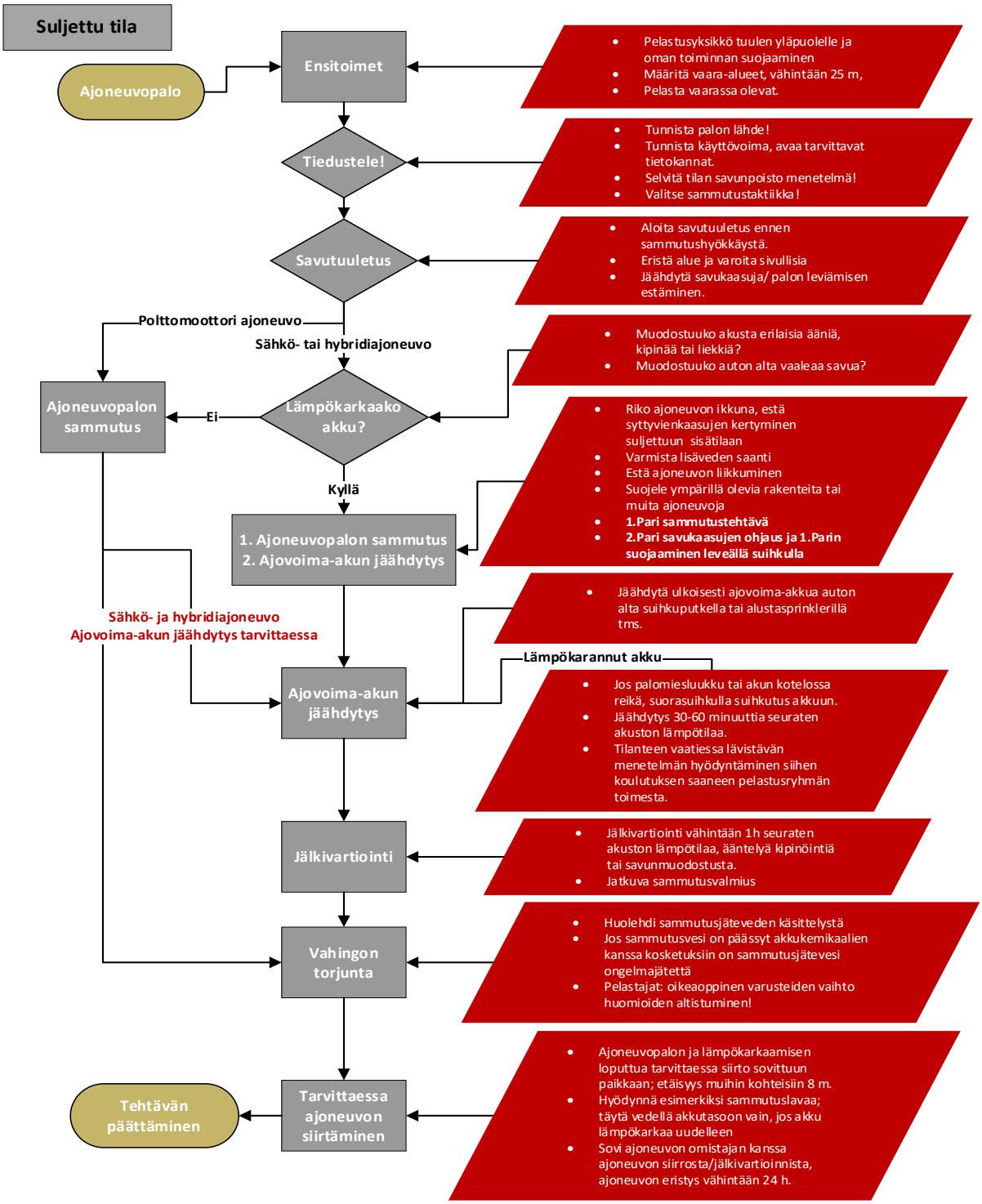
9.1 Keneltä ja millaista apua olette saaneet?

Liite 3: Sähköajoneuvopalon ohjekortti, avoin tila



- Jos lämpökarkaamista ei saada jäähdytettyä tai estettyä; hallittu sähköajoneuvon polttaminen ympäristöä suojellen.
- Pelastajien tulee suojautua oikealla tavalla; paloasun alla oltava pitkähihainen ja lahkeinen suojavaatetusta.
- Lävistävien menetelmien käyttäminen ainoastaan niiden käyttökoulutuksen saaneiden toimesta.

Liite 4: Sähköajoneuvopalon ohjekortti, suljettu tila



- Savutuuletuksella pelastajien altistumista ja suljetun tilan lämpökuormaan vähennetään suljetuissa tiloissa.
- Pelastajien tulee suojautua oikealla tavalla; paloasun alla oltava pitkähihainen ja lahkeinen suojavaatetusta.
- Lävistävien menetelmien käyttäminen ainoastaan kyseisten välineiden käyttökoulutuksen saaneiden toimesta.

Liite 5. Litiumioniakkuenergiavarastopalon ohjekortti

Litiumioniakku-energiavarastopalo

ENSITOIMET

- Pelastusyksiköt riittävälle etäisyydelle tuulen yläpuolelle
- Määritä vaara-alueet: Pienkiinteistö vähintään 25 m, energiavarastokontti 50-100 m ja energiavarastokenttä 100 – 300 m.
- Pelasta vaarassa olevat.
- Evakuoi lähistöllä olevat ihmiset

TIEDUSTELU

- **Selvitä kohdekortista tai kohteen edustajalta kohteen tiedot sekä miten toimitaan palon/lämpökarkaamisen tapahtuessa**
- **Älä avaa energiavarastojen ovia, jos lämpökarkaaminen käynnissä ja sammutuslaitteisto on lauennut**
- **LEIMAHDUS-/RÄJÄHDYSVAARA**
- Katkaise sähköt hätäkatkaisimesta

LEVIÄMISEN ESTÄMINEN

- Suojele ympärillä olevia rakenteita ja rakennuksia, energiavarastokentillä erityisesti viereisiä energiavarastokontteja

SAMMUTUS JA JÄÄHDYTYS

- Varmista lisäveden saanti, sekä riittävät pelastustoimen resurssit
- **Pienkiinteistöt: Suljetussa tilassa savutuuletuksen aloitus ennen sammutushyökkäystä.** Hyödynnä täydentäviä sammutusmenetelmiä leimahdusvaaran vähentämiseksi
- **Energiavarastokontti tai energiavarastokentät: Älä lähesty kohdetta ennen kuin kohteesta on hävinnyt savu ja liekki**
- Anna kohteen omat sammutuslaitteiston toimia tai aktivoi sammutuslaitteisto käsin. Odota vähintään 30 min.
- Hyödynnä kohteen sprinklerijärjestelmää
- Huolehdi riittävästä miehistökierrosta, sammutuspari käyttää enintään yhden paineilmapullon altistumisen vähentämiseksi

SAVUKAASUJEN POISTO

- Hyödynnä savunpoistolaitteistoa, jos kohteeseen asennettu
- Tarkasta onko paineenpurkuluukku/aukko toiminut

JÄLKI-VARTIOINTI

- Jälkivartiointi siihen asti kun akkujen lämpötila on laskenut alle 50 °C. Jälkivartiointia voidaan joutua suorittamaan tunnista useampaan päivään.
- Jatkuva sammutusvalmius

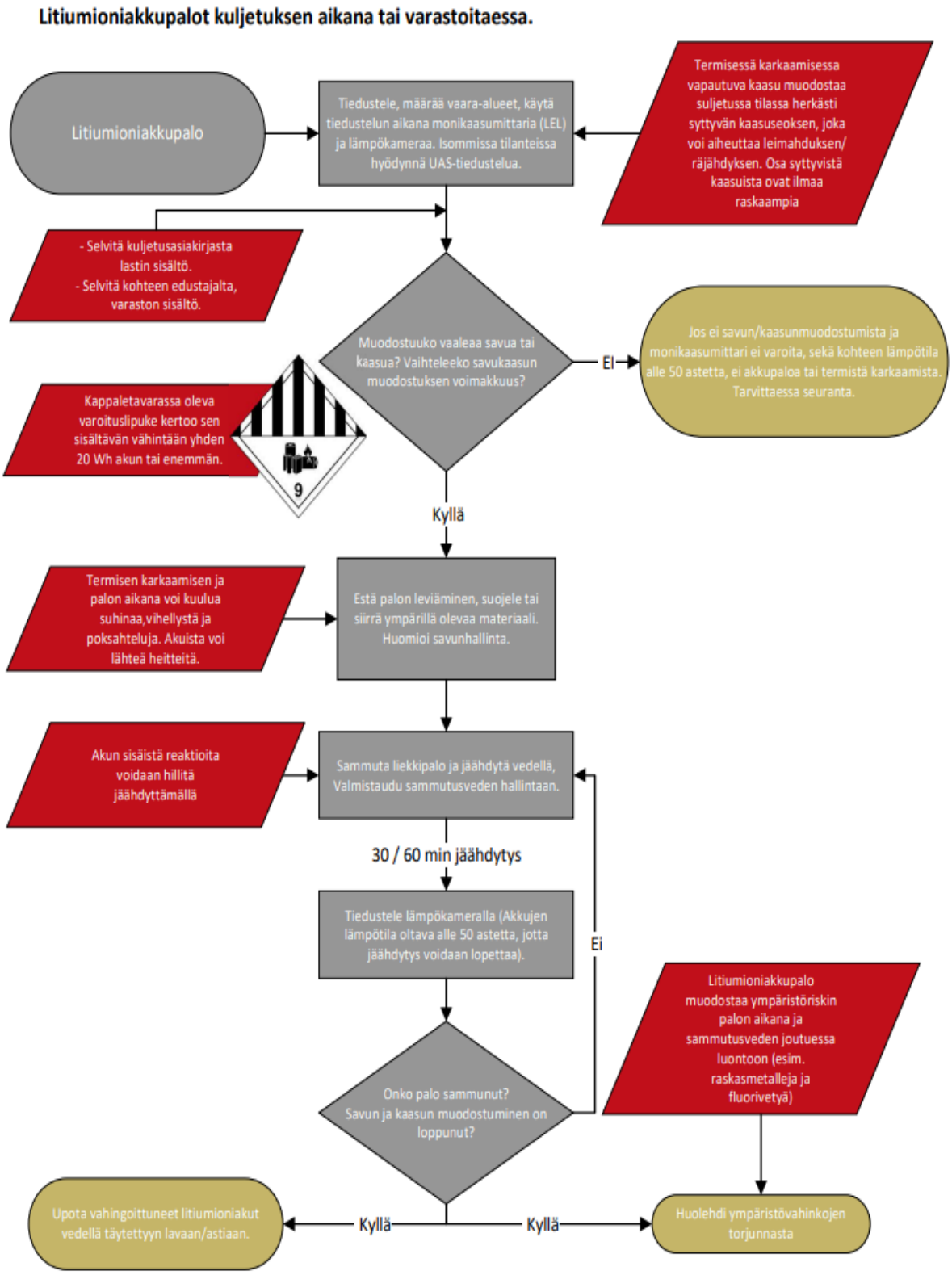
VAHINGON-TORJUNTA

- Huolehdi sammutusjäteveden käsittelystä
- Jos sammutusvesi on päässyt akkukemikaalien kanssa kosketuksiin on sammutusjätevesi ongelmajätettä
- Jos kyseessä iso litiumionienergiavarasto, ilmoita palosta ympäristösuojeluviranomaiselle

TEHTÄVÄN PÄÄTTÄMINEN

- Tehtävä voidaan päättää kun akkujen lämpötila on laskenut alle 50 °C ja savua sekä ääniä ei enää muodostu
- Kohteen edustajan on oltava paikan päällä. Sovi kohteen jälkivartioinnista

Liite 6. Litiumioniakkupalot kuljetuksen aikana tai varastoitaessa



Liite 7. Akkuenergiavaraston kohdekorttimalli

Kohdekorttimalli on muokattu Iiro Wennbergin suunnitteleman kohdekortin pohjalta. Kohdekorttimallia voidaan hyödyntää akkuenergiavarastojen kohdekortteja luodessa. Jokaisella sivulla on kerrottu mitä kyseiseen kohtaan tulee täyttää. Kohdekorttia voi muokata pelastuslaitoksen tarpeiden mukaisesti tai yhdistää jo olemassa oleviin kohdekorttipohjiin.

Kohdekortti suositellaan toteuttavaksi sähköisesti, joka on saatavilla kohteessa esimerkiksi QR-koodin avulla.

Akkuenergiavaraston turvallisuus- ja pelastuskortti hätätilanteisiin

Yritystiedot

kohteen osoite

QR-koodi tai lyhytverkko-osoite sähköiseen kohdekorttiin.

Tiivistelmä

Perustieto

Yhteystiedot hätätilanteissa	(henkilö/t, puhelinnumero/t)
Käytetty akkukemia	(NMC, LFP jne.)
Energiavaraston koko	xxx kWh (akkuenergiavarastokentällä konttien määrä xx kpl)
Ympäristövaikutus	(onko pohjavesialueella, lähin asutus)

Paloturvallisuus

Kaasuntunnistus ja hallinta:	(millä menetelmällä toteutettu ja mitä kaasuja seurataan)
Räjähdys/Leimahdusvaara:	(onko olemassa ja millä menetelmällä riskiä on vähennetty)
Varoitusjärjestelmä:	(lyhyt kuvaus varoitusjärjestelmän toiminta. Ääni, valo jne.)
Sammutusjärjestelmä	(lyhyt kuvaus sammutusjärjestelmästä)
Etävalvonta:	(lyhyt kuvaus etävalvonnasta ja sen toiminnasta,
Sammutusveden saanti:	(lyhytkuvaus millä tavoin toteutettu)

Kohteen riskit

- (Luettelo kohteen tunnistetuista riskeistä pelastustoimelle, esim. leimahdusvaara jne.)
- xx
- xx

Pelastuslaitoksen ensitoimenpiteet kohteessa (muokattava paikallisen ohjeistuksen mukaiseksi)

1	Varmista kohteen virrankatkaisu sähköverkosta ennen pelastus- tai sammutustoimenpiteitä
2	Pidä etäisyyttä palavaan kohteeseen ja savukaasuihin
3	Eristä ja rajaa palava kontti muista ehjistä konteista vesisuihkuilla
4	Ota yhteyttä kohteen haltijaan/edustajaan

Sisältö

1. Litiumioniakkuenergiavarastojen tunnistaminen ja kohteen rakennukset
2. Kohteeseen ja kontteihin pääsy ja lukitukset
3. Sähköturvallisuus ja virrattomaksi tekeminen
4. Tulipalon sattuessa
5. Kaasunhallinta
6. Lisätietoja

1. Litiumioniakkuenergiavarastojen tunnistaminen ja kohteen rakennukset

Lisää seuraavat tiedot:

- Millaisia energiavarastoja ja kuinka monta, sekä mitä muita akkuenergiavarastoon liittyviä rakennuksia on kohteessa. Valokuva sekä rakennekuva akkuenergiavarastosta.
- Lisää ilmakuva, jossa merkittynä akkuenergiavarastot sekä muut toimintaan liittyvät rakennukset. Kuvassa oltava merkittynä pelastuslaitoksen ajo-ohjeistus ja sisääntulokohta.
    a. Ilmakuvassa merkittynä hätäkatkaisimen sijainti sekä muut tarvittavat merkinnät, kuten esimerkiksi savunpoistoluukku jne.

2. Kohteeseen ja kontteihin pääsy ja lukitukset

Lisää seuraavat tiedot:

- Miten alueen porttien lukitus on toteutettu ja kuinka pelastuslaitos pääsee alueelle
- **Mihin rakennuksiin tai rakennuksen osaan pelastuslaitoksen ei tule koskea tai mennä (jännitteelliset tilat)**
    - Lisää kyseisestä kohdasta tai rakennuksesta kuva
- Lisää kuvaus miten konttia/kontteja voidaan lähestyä turvallisesti tulipalon jälkeen, tarvittaessa selventävät kuvat.

3. Sähköturvallisuus ja virrattomaksi tekeminen

Lisää seuraavat tiedot:

- Ohjeistus kuinka akkuenergiavarasto/t tai akkuenergiavarastokenttä kytketään irti sähköverkosta.
- Lisää kuva hätäseiskytkimen paikasta kontissa tai akkuenergiavarastokentällä, merkitse kuvaan kohdat, joihin pelastuslaitos ei saa koskea.
- Lisää kuvaus järjestelmän toiminnasta, jos paloturvallisuuslaitteisto katkaisee sähköt kohteesta automaattisesti.
- Lisää tarvittava ohjeistus sähköturvallisuudesta

4. Tulipalon sattuessa

Lisää seuraavat tiedot:

- Millainen paloturvallisuuslaitteisto on kohteessa (Automaattinen, aerosoli, sprinkleri jne.)
    - Lisää kuvat paloturvallisuuslaitteista
- Miten on toteutettu lämpökarkaamisen leviämisen estäminen akkumoduuleista toiseen
- Miten paloturvallisuus laitteisto toimii
    - **Miten tunnistetaan, että paloturvallisuuslaitteisto on lauennut**
- Lisää ohjeistus kuinka pelastuslaitoksen tulee toimia tulipalon sattuessa
    - Myös ohjeistus siitä, mitä ei saa tehdä tulipalotilanteissa

- Lisää karttakuva, johon merkitty palopostit tai vesiasemat. Lisäksi niiden koko xxx mm ja veden tuotto (l/min).

5. Kaasunhallinta

Lisää seuraavat tiedot:

- Miten on järjestetty lämpökarkaamisen aikana muodostuvien kaasujen hallinta, onko paineen purkausaukkoa tai savutuuletusta
- Onko kohteessa kaasuntunnistusjärjestelmä

6. Lisätietoja

Lisää seuraavat tiedot:

- Muut huomioitavat, jotka eivät sovellu aiempien otsikoiden alle

Pelastusopisto

ISBN 978-952-7620-01-4 (pdf)

ISSN 2342-9313 (pdf)